



**UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES**

**CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCION
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCION Y ESTRUCTURAS**

TESIS

**DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL DE LA
CAPILLA DE LA TRINIDAD, SAN FRANCISCO DE LOS ROMO, AGS.**

PRESENTA

ARQ. CARLOS JOB ESPARZA ROJAS

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL
ESPECIALIDAD EN EL AREA DE ESTRUCTURAS**

TUTOR:

DR. JESÚS PACHECO MARTÍNEZ

COMITÉ TUTORAL

**M. EN R. JOSÉ LUIS GARCÍA RUBALCAVA
DR. MARIO EDUARDO ZERMEÑO DE LEÓN**

AGUASCALIENTES, AGS. 22 DE NOVIEMBRE DE 2013



SOLICITUD DE REGISTRO DE PROYECTO RECEPCIONAL

No. de expediente: _____

DATOS DEL ESTUDIANTE	
NOMBRE: CARLOS JOB ESPARZA ROJAS	ID (No. de Registro): 54085
PROGRAMA:	ÁREA: ESTRUCTURAS
LUGAR DE TRABAJO: TELÉFONO:	PUESTO/CARGO:
DATOS DEL PROYECTO RECEPCIONAL	
TÍTULO: DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL DE LA CAPILLA LA TRINIDAD, EX HACIENDA LA TRINIDAD, SAN FRANCISCO DE LOS ROMO , AGS.	
TESIS (X)	TRABAJO PRÁCTICO ()
OBJETIVO: VERIFICAR Y DIAGNOSTICAR EL ESTADO QUE GUARDAN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA CAPILLA LA TRINIDAD, PARA ESTUDIARLOS Y ANALIZARLOS, FORMANDO UN CRITERIO PARA LA ELABORAR UNA PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL, CUMPLIENDO CON LA LEGISLACION VIGENTE EN MATERIA DE RESTAURACION DE EDIFICIOS HISTORICOS A NIVEL NACIONAL E INTERNACIONAL.	
CUERPO ACADÉMICO:	LÍNEA GENERAL DE APLICACIÓN DEL CONOCIMIENTO (LGAC):
COMITÉ TUTORAL	
NOMBRE	FIRMA
Tutor / Asesor Académico: (en caso de tener dos Tutores, favor de abrir otro espacio)	DR. JESUS PACHECO MARTINEZ
Integrante del Comité Tutorial:	ARQ. JOSE LUIS GARCIA RUVALCABA
Integrante del Comité Tutorial:	
VISTO BUENO	
NOMBRE	FIRMA
Consejero Académico:	
Secretario Técnico del Programa: <i>Jesús Pacheco Mte</i>	
Secretario de Investigación y Posgrado:	

Aguascalientes, Ags. a 18 de ENERO de _____





UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES

Centro de Ciencias del Diseño
y de la Construcción

No. Oficio: CCDC-D-224-12
Asunto: Integración de Comité Tutorial
programada de Maestría en Ingeniería Civil

ARQ. CARLOS JOB ESPARZA ROJAS
P R E S E N T E

Con fundamento en el Artículo 105-G Sección 2 del Capítulo XI del Reglamento General de Docencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, me permito designar como tutor al DR. JESÚS PACHECO MARTÍNEZ, como cotutor al ARQ. JOSÉ LUIS GARCÍA RUVALCABA y como asesor al DR. MARIO EDUARDO ZERMEÑO DE LEÓN del proyecto de tesis titulado “DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA DE RESTAURACIÓN DE LA CAPILLA DE LA TRINIDAD, SAN FRANCISCO DE LOS ROMO, AGUASCALIENTES” en el marco del programa de posgrado de la Maestría en Ingeniería Civil con salida en estructuras, durante el periodo del 23 de Julio del 2012 al 30 de Junio del 2013.

Esta asignación de comité tutorial sustituye a cualquier otra realizada con fecha anterior. Sin otro particular lo exhorto a que continúe trabajando con esmero y dedicación para que pueda obtener el grado en el tiempo y forma establecidos en nuestra legislación vigente.

A T E N T A M E N T E
“SE LUMEN PROFERRE”

Aguascalientes, Ags., 09 de noviembre de 2012.


DR. MARIO EDUARDO ZERMEÑO DE LEÓN
DECANO

c.c.p. Dr. Jesús Pacheco Martínez- Coordinador del programa de Maestría en Ingeniería Civil.
c.c.p. Archivo
JPM/cgm.





UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES

FORMATO DE CARTA DE VOTO APROBATORIO

DR. MARIO EDUARDO ZERMEÑO DE LEON
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO
Y DE LA CONSTRUCCION.
P R E S E N T E.

Por medio del presente como Tutor designado del estudiante **CARLOS JOB ESPARZA ROJAS** con ID **54085** quien realizó la tesis titulada: **DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL DE LA CAPILLA LA TRINIDAD, SAN FRANCISCO DE LOS ROMO, AGS.** y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que él pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
"Se Lumen Proferre"

Aguascalientes, Ags., a 16 de Octubre de 2013.

Dr. Jesús Pacheco Martínez.
Tutor de tesis.

M. en Arq. José Luis García Rubalcava
Co-tutor

Dr. Mario Eduardo Zermeño De León.
Asesor

- c.c.p.- Interesado
- c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado
- c.c.p.- Jefatura del Depto. de Construcción y Estructuras
- c.c.p.- Consejero Académico
- c.c.p.- Minuta Secretario Técnico

UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES
18 OCT. 2013
CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO
Y DE LA CONSTRUCCION

AGRADECIMIENTOS

- A Dios por hacer todo posible.
- A CONACYT por el apoyo económico brindado para la realización de estos estudios de maestría.
- A la Universidad Autónoma de Aguascalientes por facilitarme sus instalaciones y equipos especializados para la realización de los estudios y pruebas experimentales.
- A los propietarios de la capilla de la Trinidad, al Ing. Manolo De Alba Ortega por haberme otorgado la confianza así como todas las facilidades y disposición para llevar a cabo la investigación y los trabajos experimentales en campo.
- Al Dr. Jesús Pacheco Martínez, por toda la disposición y atención brindada en la dirección de este trabajo, al haberme compartido una pequeña parte de sus conocimientos y sobre todo por la confianza depositada. ANIMO !!!!! .
- Al M.R. José Luis García Rubalcava por la asesoría brindada, por la amabilidad disposición y amistad otorgada a lo largo de este trabajo, además de compartir sus conocimientos.
- Al Prof. Juan Antonio Reyes Castañeda, cronista de San Francisco de los Romo, por la aportación de los datos históricos.
- A Tonatiuh, Marisol, Héctor Animas quienes además de brindarme su amistad me otorgaron todo el apoyo requerido para la realización de las pruebas experimentales en campo y en laboratorio, mi especial reconocimiento, Muchas gracias !!!!!.
- Para todas las personas que colaboraron para la realización de este trabajo, mi más sincero reconocimiento y agradecimiento por todo el apoyo brindado.

A Claudia.

Por haberme empujado a esta aventura del postgrado, por todo tu amor, por ser mi cómplice, por tu paciencia, por el apoyo incondicional y sobre todo la confianza que me has brindado.

A mis Padres y a mis hermanos por mostrarme siempre su apoyo

A mi suegra y a mi Cuñado Carlos por todo el apoyo y el cariño brindado.

INDICE GENERAL

INDICE GENERAL..... 1

INDICE DE TABLAS5

INDICE DE FIGURAS..... 6

INDICE DE GRAFICAS 14

RESUMEN..... 15

ABSTRACT..... 16

INTRODUCCION..... 17

CAPITULO 1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 19

CAPITULO 2.- OBJETIVOS.....21

 2.1 OBJETIVO GENERAL.....21

 2.2 OBJETIVOS PARTICULARES.....21

CAPITULO 3.- METODOLOGIA..... 23

 3.1 ESTADO DEL CONOCIMIENTO..... 23

 3.2 DATOS HISTORICOS DE LA CAPILLA DE LA TRINIDAD..... 23

 3.3 LOCALIZACION DEL OBJETO DE ESTUDIO..... 24

 3.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO..... 24

 3.5 CARACTERIZACION DINAMICA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES..... 24

 3.6 LEVANTAMIENTO DE PATOLOGIAS ESTRUCTURALES..... 25

 3.7 CARACTERIZACION DE MATERIALES..... 25

 3.8 MODELO NUMERICO MATEMATICO..... 25

 3.9 PROPUESTA DE RE-ESTRUCTURACION..... 26

 3.10 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES..... 26

CAPITULO 4.- ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO..... 27

 4.1 INTRODUCCION..... 27

 4.2 DEFINICIONES..... 28

 4.3 HISTORIA: LA EVOLUCION DE LA RESTAURACIÓN..... 31

 4.4 LOS AVANCES CIENTIFICOS EN EL ESTUDIO DE EDIFICIOS HISTORICOS..... 34

 4.4.1 INTRODUCCION..... 34

 4.4.2 METODOS, PROCESOS Y ESTUDIOS PREVIOS A LA RESTAURACION..... 35

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

4.5 ESTUDIOS REALIZADOS A EDIFICIOS SIMILARES A LA CAPILLA.....	37
CAPITULO 5.- DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO:.....	48
CAPILLA LA TRINIDAD.....	48
5.1 LOCALIZACION.....	48
5.2 ANTECEDENTES Y DATOS HISTORICOS.....	50
5.3 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.....	54
5.3.1 CIMENTACION.....	54
5.3.2 MUROS.....	55
5.3.3 BOVEDA.....	56
5.3.4 SISTEMAS ESTRUCTURALES ADICIONADOS.....	57
5.4 RECONSTRUCCIÓN DE INTERVENCIONES.....	59
5.4.1 PRIMERA INTERVENCION.....	60
5.4.2 SEGUNDA INTERVENCION.....	62
5.4.3 TERCERA INTERVENCION.....	63
CAPITULO 6.- LEVANTAMIENTO GEOMETRICO.....	66
6.1 INTRODUCCION.....	66
6.2 OBJETIVO.....	66
6.3 METODOLOGIA.....	67
6.4 PLANOS ARQUITECTONICOS.....	68
CAPITULO 7.- IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE PATOLOGIAS.....	69
7.1 INTRODUCCION.....	69
7.2 OBJETIVO.....	69
7.3 METODOLOGIA.....	69
7.3.1 RECONOCIMIENTO VISUAL.....	70
7.4 ELABORACION DE FICHAS TECNICAS.....	75
7.4.1 FORMATO DE FICHAS TECNICAS.....	75
7.5 CONCLUSIONES.....	76
CAPITULO 8.- CARACTERIZACION DINAMICA DEL TERRENO Y DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	79
8.1 INTRODUCCION.....	79
8.2 OBJETIVO.....	79

8.3 METODOLOGIA.....79

8.4 EQUIPO UTILIZADO.80

8.5 CARACTERIZACION DINAMICA DEL TERRENO.82

 8.5.1 DISTRIBUCION DE GEOFONOS.....84

 8.5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS.....86

 8.5.3 RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL TERRENO.89

8.6 MUROS.....91

8.7 BOVEDA.97

 8.7.1 RESULTADOS EN BOVEDAS DE AZOTEA, REGISTROS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL.102

 8.7.2 RESULTADOS EN BOVEDAS DE AZOTEA PRODUCIDAS POR VIBRACION FORZADA.....104

8.8 LOSA DE CORO Y ESCALERA.....105

 8.8.1 LOSA DE CORO105

 8.8.2 ESCALERA.....108

CAPITULO 9.-CARACTERIZACION MECANICAS DE LOS MATERIALES MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS.....111

 9.1 INTRODUCCION.111

 9.2 OBJETIVO.111

 9.3 METODOLOGIA.....111

 9.4 CONCEPTOS DE ONDA P Y S.....114

 9.5 OBTENCION DE DATOS EN CAMPO.....115

 9.6 CALCULO DE LOS VALORES.117

CAPITULO 10.- MODELO NUMERICO.....119

 10.1 INTRODUCCIÓN.119

 10.2 OBJETIVO.119

 10.3 METODOLOGIA.....119

 10.4 ELABORACION DE MODELO NUMERICO.....120

 10.5 ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Y COMPRESION EN BÓVEDAS.....125

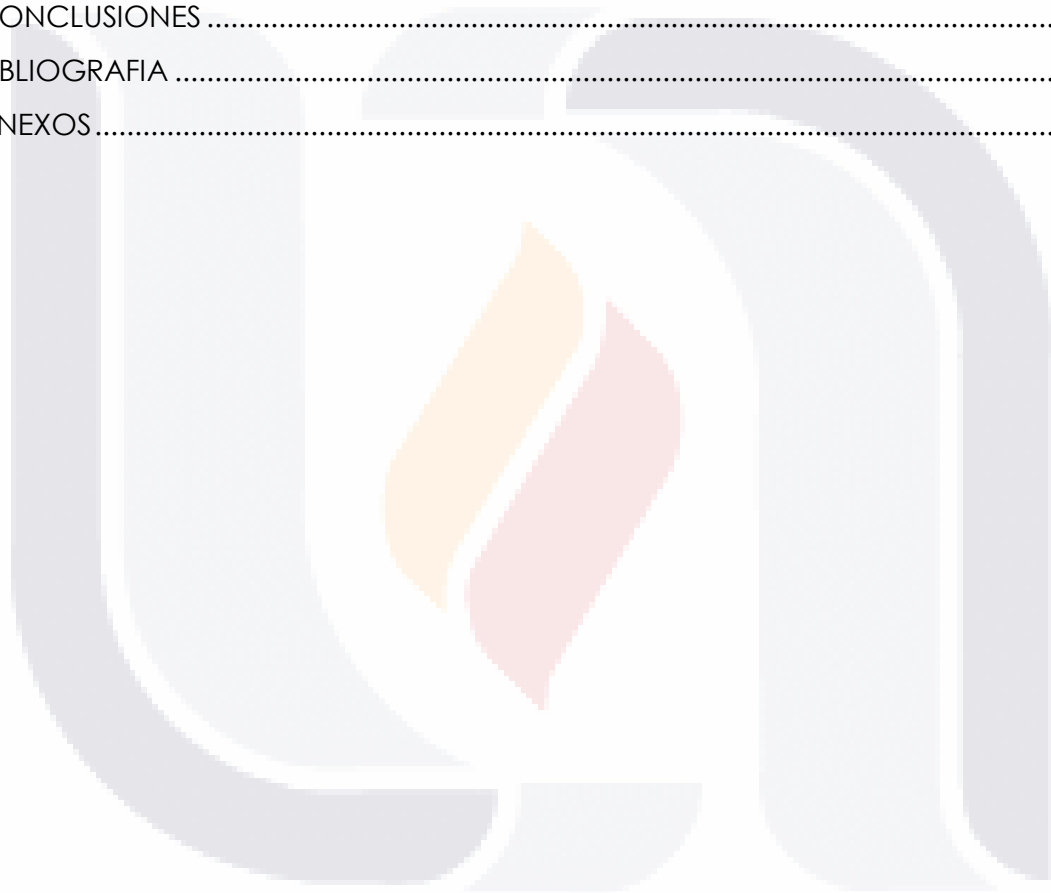
CAPITULO 11.- PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.....136

 11.1 INTRODUCCION.136

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

11.2 OBJETIVO.	136
11.3 PROPUESTA.	136
11.4 CALCULO DEL DIAMETRO DEL TENSOR Y PLACA DE ANCLAJE.	140
11.4.1 TENSOR.	140
11.4.2 PLACA.....	140
11.5 RECOMENDACIONES Y PROCESO CONSTRUCTIVO.....	144
CAPITULO 12.- DISCUSION DE RESULTADOS.	147
CONCLUSIONES	148
BIBLIOGRAFIA	149
ANEXOS.....	152



INDICE DE TABLAS

Tabla 1 RESUMEN DE PATOLOGIAS76

Tabla 2 RESUMEN DE FRECUENCIAS 110

Tabla 3 VALORES DETERMINADOS DE VP Y VS. 118

Tabla 4 VALORES DE MÓDULO DE POISSON Y MÓDULO DE ELASTICIDAD..... 118



INDICE DE FIGURAS

Fig.1: Imagen satelital de la ubicación de la capilla con respecto a la cabecera municipal de san Francisco de los Romo, Google Earth.	19
Fig.2: Descripción esquemática de la geometría y de los elementos que conforman el sistema	37
Fig.3: Revisión del patrón de agrietamiento y fisuras en elementos estructurales	38
Fig.4: Esquema de utilización de tensores como solución viable para la estabilización de esfuerzos a tensión a los que pueda someterse un arco deformado	39
Fig.5: Elaboración de modelo numérico de los arcos o segmentos de bóveda para revisar los esfuerzos de compresión de la mampostería	40
Fig.6: Alternativa de solución a las bóvedas o arcos.	40
Fig.7: Alternativa de solución a las bóvedas o arcos.	40
Fig.8: Alternativa de solución para reparación de elementos estructurales.	41
Fig.9: Modelos de elemento finito tipo placa realizados para el análisis estructural de edificios históricos.	41
Fig.10: Fragmento de Tabla elaborada con la indicación del elemento estructural y las patologías encontradas mencionadas en la columna del lado derecho	43
Fig.11: Formato de ficha técnica utilizada para describir y ubicar el elemento estructural, con indicaciones de las patologías encontradas y las acciones para subsanar la lesión	43
Fig.12: Formato de tabla con puntuación para determinar la salud estructural de los muros del club San Carlos	44
Fig.13: Mapa del estado de Aguascalientes con indicación del municipio de San Francisco De Los Romo.....	48
Fig.14: Imagen satelital ubicación de San Francisco. De los Romo con respecto a la ciudad de Aguascalientes. Fuente: Google Earth.....	48
Fig.15: Imágenes Satelital de la ubicación del Terreno y de la ubicación de la Capilla La Trinidad. Fuente: Google Earth.....	49

Fig.16: Fachada Principal de la capilla La Trinidad. Fotografía tomada el 2 de agosto del 2012 49

Fig.17: Mapa del sitio de ganado mayor de la Cruz, terrenos de la hacienda de San Blas de Pabellón, foto tomada de Reyes, 2011. 50

Fig.18: Documento de deslinde y limite de terrenos tras la compra-venta de los terrenos de Buenavista, foto a través de (Reyes,. 2011) 51

Fig.19: Fotografías de las celebraciones del 100 Aniversario de la construcción de la capilla (año de 1950), a través de Reyes 2011 53

Fig.20: Detalle de la disposición de la piedra e intervenciones posteriores a su construcción con tabique rojo. 54

Fig.21: Muros de adobe con ausencia de aplanado y los daños que presenta actualmente a causa del intemperismo. 55

Fig.22: Bóveda de cañón 2 capas de cuña de barro correspondiente al granero y capa de concreto armado sobre bóveda original de la capilla. 56

Fig.23: Acero de refuerzo expuesto en la capa de concreto de la bóveda. Se desconoce la cuantía y resistencia del acero. 56

Fig.24: Contrafuertes a base de bloques de adobe adosados a los pilares de los muros construidos anteriormente, formando arcos tipo botarel se observa el color en el cambio de los materiales utilizados en distintas etapas. 58

Fig.25: Contrafuerte de la fachada oriente formado a base de mampostería de piedra en basamento y en el cuerpo a base de mezcla de materiales de piedra y algunos de barro. 59

Fig.26: imagen representativa que muestra como podría haber sido inicialmente el edificio..... 60

Fig.27: Esquema que muestra la pérdida en la geometría del los arcos interiores debido al peso de la bóveda, provocando desplomes en los muros por el empuje lateral del sistema de techo. 61

Fig.28: Planta e isométrico de la representación en la adición de los pilares para contrarrestar el empuje de los muros..... 61

Fig.29: Esquema que muestra la colocación de una capa de concreto sobre la bóveda de cuña de barro lo que añade mas peso a la estructura 62

Fig.30: Construcción de Contrafuertes de adobe en fachada poniente..... 63

Fig.31: Ubicación de tensores interiores al centro de claros para evitar la pérdida de verticalidad de los muros. Los tensores son de tubería galvanizada lo que sugiere que su adición se realizó de una manera muy improvisada 64

Fig.32: Detalle del anclaje exterior de los tensores . Se utilizó madera que en la actualidad se encuentra muy deteriorada 64

Fig.33: Equipo de topografía utilizado en el levantamiento geométrico..... 67

Fig.34: Inspección visual y reconocimiento de un área de la capilla para localización e identificación de patologías existentes y sus características 70

Fig.35: Utilización de herramienta para la determinación de la pérdida de verticalidad en muros..... 71

Fig.36: Planta arquitectónica de la Capilla de la trinidad utilizada para la determinación y seccionamiento de las área y elementos estructurales para llevar a cabo el levantamiento de daños. 72

Fig.37: Imágenes escaneadas de fichas técnicas realizadas en campo..... 73

Fig.38: Fotografía de crecimiento de material orgánico vegetal al interior de los muros de la Capilla, con desprendimiento de acabado. 73

Fig.39: Presencia de humedad con agrietamiento, separación entre el muro y la columna. Aparición de moho, desprendimiento de pintura y repellado a causa del crecimiento de material vegetal 74

Fig.40: Medición de desplome del muro de lado poniente, por medio de nivel de mano, en la imagen es evidente la pérdida de verticalidad debido al pateo de la bóveda..... 74

Fig.41: Desprendimiento de aplanado y pérdida de sección del material base del muro de la fachada oriente severamente intemperizado..... 74

Fig.42: Formato de ficha técnica para el registro de Patologías..... 75

Fig.43: Imágenes de geófonos utilizados en la toma de lecturas. 80

Fig.44: Sismógrafo Geode Ultra-light. 81

Fig. 45 Imagen de laptop utilizado en campo. 81

Fig.46: Colocación de geófonos en la dirección según los ejes manifestados en la medición del terreno..... 83

Fig.47: Ejes de referencia para la adquisición de registros de vibración ambiental.83

Fig.48: Distribución de los grupos de geófonos para la medición de vibración ambiental del terreno.....84

Fig.49: Colocación de la primera línea de medición de 24 canales dividida en 8 grupos de 3 cada uno, con geófonos para la medición de los ejes X, Y y Z.85

Fig.50: Lectura de Vibración ambiental en el costado Poniente de la capilla correspondiente a la línea de medición para los grupos G-20 al G-27.85

Fig.51: Diagrama de procesamiento de datos para la obtención de la frecuencia de los elementos.....87

Fig.52: Gráfica obtenida a través del programa TAPE de archivo .dat de toma de lectura de vibración ambiental del terreno para conversión de dato a archivos tipo Ascii.....87

Fig.53: Datos procesados a Excel, las columnas de la derecha en color azul son las convertidas a velocidad.88

Fig.54: Gráficas de vibración ambiental y de golpe, generadas por el programa Degtra A4 del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Correspondientes al terreno, mostrando en su parte derecha el espectro de Fourier arrojado según los datos suministrados.89

Fig.55: Medición para la colocación de los geófonos en muro de fachada oriente.....91

Fig.56: Distribución de geófonos en el muro de la fachada oriente.....91

Fig.57: Preparación y conexión del equipo de medición para toma de vibraciones en muro.92

Fig.58: Ubicación de geófonos en muro de fachada oriente y localización de punto de golpe en planta arquitectónica.93

Fig.59: Ubicación de geófonos en muro de fachada poniente y localización de punto de golpe en planta arquitectónica.93

Fig.60: Seccionamiento de bóveda para estudio y determinación de vibraciones ambientales y provocadas por golpe.....97

Fig.61: Distribución de grupos de geófonos en los segmentos de bóveda:98

Fig.62: a). Preparación de cableado de conexión de geófonos 99

Fig.63: Fotografía de generación de vibraciones por medio de golpe, en la parte inferior izquierda se observa la placa que es golpeada con un marro de 20 lbs..... 100

Fig.64: Imagen de la respuesta del comportamiento de las vibraciones cuando son generadas por medio de golpe..... 100

Fig.65: Gráficas de resultados de la frecuencia natural de los segmentos de bóveda de la No. 11 a la No. 15 de, vistas de arriba hacia abajo. Obtenida a través de vibración ambiental..... 102

Fig.66: Gráficas de resultados de la frecuencia natural de los segmentos de bóveda de la No. 16 a la No. 20 de, vistas de arriba hacia abajo. Obtenida a través de vibración forzada 104

Fig.67: Localización de la losa del coro y distribución de los grupos de medición 106

Fig.68: Disposición del cuerpo de escalera en alzado con respecto al conjunto. 108

Fig.69: Disposición en planta de la distribución de los grupos de geófonos utilizados para la determinación de la frecuencia natural 108

Fig.70: a) y b) Momento de generación de onda elástica directamente sobre la mampostería del contrafuerte del lado oriente realizado de forma manual por medio de marro. 112

Fig.71: Retiro de capa de aplanado para descubrir material base de los muros Adobe..... 113

Fig.72: Instrumentación del muro de la fachada oriente para determinar las características físicas y mecánicas del adobe. 113

Fig.73: Esquema de propagación de la onda P, se muestra la compresión y dilatación del material por donde se transmite..... 114

Fig.74: Esquema de propagación de la onda. 114

Fig.75: Esquema de propagación de los arribos de las ondas P y S, se denota al arribo inmediato de la onda P, imagen a través de IGEO 2013..... 115

Fig.76: Instrumentación del muro de la fachada oriente para la obtención de las propiedades del muro de adobe..... 115

Fig.77: Señalización de distancias y distribución de canales receptores de geófonos para la obtención de los datos de arribo de la onda P y S, la señal en color rojo nos indica el punto donde se aplicó el golpe que generó las vibraciones..... 116

Fig.78: a) y b), Muestra esquemática de los acomodos del geófono receptor y punto de generación de la onda para la toma de lectura para la obtención del arribo de la onda P y onda S, correspondiente a la mampostería del contrafuerte de la fachada oriente de la capilla. 116

Fig.79: Elaboración de modelo numérico de la capilla de La Trinidad en su estado no dañado, utilizando elementos tipo Shell. 120

Fig.80: Deformaciones que adopta el modelo idealizado en su estado no dañado..... 122

Fig.81: Modelo con configuración dañada, muestra las deformaciones en los muros provocadas por las deformaciones en la bóveda amplificadas en 20 veces para su apreciación..... 122

Fig.82: Imagen del modelo de la bóveda de la capilla para el análisis de manera independiente. Se muestran dos imágenes, a) configuración dañada, b) configuración no dañada..... 123

Fig.83: Deformaciones verticales obtenidas de un análisis por cargas gravitacionales, a) resultados considerando un modelo con configuración geométrica en condición actual (dañada); b) Resultados considerando un modelo con geometría de la bóveda. 124

Fig. 84 Distribución de esfuerzos en la dirección longitudinal de las bóvedas .. 125

Fig.85: Distribución de esfuerzos en la dirección longitudinal del edificio sobre los muros para la configuración geométrica actual (estado dañado) de la estructura..... 126

Fig.86: Distribución de esfuerzos en la dirección transversal de la bóveda .La imagen a) representa al modelo con la configuración dañada, se observan los

esfuerzos máximos de tensión al centro de la bóveda , la imagen b) representa la bóveda en su estado no deformado..... 127

Fig.87: Representación de la distribución de esfuerzos en la dirección transversal al edificio. La figura muestra cómo se transmiten esfuerzos de tensión (tonos verde a azul) a los muros . El modelo corresponde al de la geometría en su estado dañado. 127

Fig.88: Diagrama de isovalores de la bóveda con la representación de los esfuerzos cortantes en la dirección X-Z a) modelo de la bóveda elaborado a partir de la configuración geométrica dañada. b) modelo de la bóveda considerando la configuración geométrica no dañada..... 128

Fig.89: Distribución de esfuerzo cortante X-Z en los muros. Se observa una concentración de esfuerzos en los puntos de contacto de los contrafuertes con los muros de la capilla..... 129

Fig. 90 Diagrama de isovalores de la bóveda con la representación de los esfuerzos cortantes en la dirección Y-Z, a) Modelo de la bóveda considerando la geometría dañada, b) Modelo de la bóveda considerando la configuración geométrica no dañada..... 130

Fig.91: Distribución del esfuerzo cortante Y-Z en los muros causado por el sistema de bóvedas. Se observa una concentración a lo largo de la unión del muro con el sistema de bóvedas. 130

Fig.92: Distribución de momentos en la dirección X. a) modelo de la bóveda configuración dañada, b) modelo de la bóveda configuración no dañada. 131

Fig.93: Distribución de momentos en la dirección X o longitudinal..... 132

Fig.94: Distribución de momentos en la dirección Y en la bóveda. a) modelo de la bóveda configuración dañada, b) modelo de la bóveda configuración no dañada..... 133

Fig.95: Distribución de momentos en la dirección Y sobre los muros que causa el sistema de bóvedas..... 134

Fig. 96: Valores en kg. de las reacciones horizontales obtenidas a través del análisis del sistema de bóvedas en su configuración dañada..... 137

Fig.97: Esquema de propuesta en planta para la colocación de tensores para contrarrestar las fuerzas horizontales que produce el sistema de bóvedas. 138

Fig.98: Esquema de propuesta en alzado para la colocación de tensores para contrarrestar la fuerza horizontal que ejerce el sistema de bóvedas sobre el muro. 139

Fig.99: Isométrico de una sección de la capilla en donde se muestra la disposición de los elementos de refuerzo (tensores). 143



INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1: Gráfica de la función de transferencia mostrando la frecuencia con la que vibra el terreno donde está construida la capilla de la trinidad..... 90

Gráfica 2: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro oriente con lectura de vibración ambiental promedio 94

Gráfica 3: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro oriente con lectura de vibración producida por golpe promedio..... 94

Gráfica 4: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro Poniente con lectura de vibración ambiental promedio..... 95

Gráfica 5: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro Poniente con lectura de vibración producida por golpe promedio con intervalo de 0.5 ms. . 95

Gráfica 6: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro Poniente con lectura de vibración producida por golpe promedio con intervalo de 2.0 ms .. 96

Gráfica 7: Gráfica de Frecuencia natural de losa de coro obtenida a través de vibración ambiental..... 107

Gráfica 8: Gráfica de Frecuencia natural de losa de coro obtenida a través de vibración generada por medio de golpe..... 107

Gráfica 9: Gráfica de frecuencia natural del cuerpo de escalera de caracol obtenida a través de toma de lectura de vibración ambiental..... 109

Gráfica 10: Gráfica de frecuencia natural del cuerpo de escalera de caracol obtenida a través de toma de lectura de vibración producida con golpe..... 109

RESUMEN

La Capilla de La Trinidad ha pasado por un proceso de varias intervenciones y restauraciones, en esta ocasión, se realizaron actividades para llevar la investigación a un nivel más alto, el rescate estructural.

Se inicia por conocer la salud integral de la estructura y de los materiales de construcción, realizando una inspección visual, una recopilación fotográfica y enunciativa de las patologías que están afectando al edificio, los datos obtenidos se analizaron para posteriormente realizar la emisión de un diagnóstico del estado físico real. Las propiedades mecánicas de los materiales se conocieron a través del empleo de métodos no destructivos que permitió conocer el estado que guarda la edificación en su conjunto sin provocar daños mayores a su estructura, con los datos obtenidos se dictaminó la salud estructural del edificio, dejando constancia del estado físico y de las condiciones actuales a través de la realización de un modelo numérico matemático deformado. El estudio de la Capilla permitirá analizar la edificación evaluando los resultados posteriores a la intervención, con el fin de verificar la rigidez y estabilidad de los elementos con la realización de un nuevo modelo numérico matemático en su estado reparado, se podrá determinar si la intervención a nivel estructural fue adecuada y satisfactoria.

ABSTRACT

Throughout recent years, The Holy Trinity Chapel (Capilla de la Trinidad), located in Aguascalientes, Mexico; has been subjected to several interventions and restorations, but for this time, the research has been developed thoroughly focused on analyzing and understanding the actual structural condition of the chapel to achieve structural conservation of the building.

In order to understand and achieve the structural conservation of the building, it was needed to develop a visual inspection of the overall building's health and identify construction materials used on the structure; after compiling photographic evidence and identifying the various pathologies that affect the building, recorded data was analyzed to issue a complete diagnose on the actual condition of the building. Mechanical properties for the materials were obtained by non-destructive methods, by these means the current structural condition of the building was obtained without damaging it. The building's overall structural health was obtained by analyzing recorded data, noting the current physical condition of the structure by the development of a deformed mathematical numerical method. The present research will allow to analyze the building, evaluating subsequent results obtained from the initial intervention; with the purpose to verify structural stability and stiffness of the elements, generating a new mathematical numerical method for the restored building's condition, by these means it will be determined if the structural intervention was adequate and satisfactory.

INTRODUCCION

Los sitios y monumentos históricos son elementos que perpetúan nuestra historia ante el paso del tiempo, siendo fieles testigos de cada una de las épocas por la que ha pasado la humanidad.

Las edificaciones son representativas de la sociedad que las construyeron, transmiten la ideología, la economía, la tecnología y los aspectos de la región. Cualquier sitio o monumento histórico posee reconocimiento e importancia ya sea por su antigüedad, significado histórico, o por cumplir una función social, estos reconocimientos están ligados a nuestro pasado por varios factores: por su diseño o estilo arquitectónico, su forma estética, su funcionalidad y tecnología de construcción entre otras. Son catalogados siguiendo el patrón de funcionalidad o de servicio, la gran mayoría de ellos son construcciones de tipo militar, civil, o religiosa. (Gutiérrez y Pérez, 2008).

El concepto de restauración surge en el siglo XVII al momento que se desarrolla la conciencia del valor histórico y artístico de los monumentos y toma fuerza a raíz de los descubrimientos arqueológicos en Pompeya en 1748, (Aspilcueta,1995)

Los primeros planteamientos en cuanto a la restauración de monumentos arquitectónicos se expresaron originalmente en Europa, específicamente en países como Francia, Inglaterra, Italia, Grecia, en edificaciones que fueron ícono dentro del desarrollo tecnológico de la época. (Aspilcueta, 1995)

Dentro de la misma historia se reconoce que las restauraciones que se realizaban a las edificaciones de carácter religioso, solo se podían intervenir respetando la estética del edificio, sin importar las condiciones que guardara la estructura, debido a que se conceptualizaba más la espiritualidad de la edificación que la propia seguridad. (Aspilcueta, 1995).

En el continente americano, específicamente en la República Mexicana se han presentado infinidad de restauraciones a edificaciones de carácter histórico, entre las más importantes se encuentra la catedral metropolitana de la ciudad de México. Pero no sólo la ciudad de México cuenta con edificios históricos, en la ciudad de Aguascalientes, al igual que en las principales ciudades del resto de la república se encuentran un número considerable de sitios catalogados por el INAH como monumentos históricos, por su valor artístico y por la historia que representan.

En este trabajo abordaremos el tema de la restauración desde la perspectiva del rescate estructural del edificio. Es importante señalar que debido a las condiciones de seguridad que guarda la edificación del caso de estudio que se presenta en este trabajo, se inició por conocer la salud integral del edificio. Para ello se realizó una inspección visual y una recopilación fotográfica de las patologías estructurales para la realización y emisión de un diagnóstico de su condición estructural actual. Además se realizó una caracterización experimental "in situ" de edificio que consistió en la adquisición de datos de vibraciones para determinar la frecuencia y modos de vibrar del edificio en su estado actual (condición estructural dañada o deteriorada). Estos datos sirvieron para calibrar el modelo numérico del edificio y para dejar testimonio del comportamiento estructural en la condición dañada para su posterior contraste con datos que se deberán tomar una vez que el edificio se recupere estructuralmente (condición estructural recuperada).

CAPITULO 1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Dentro de la estructura organizacional de la Dirección General de Proyectos de la Secretaría de Infraestructura y Comunicaciones (SICOM), se encuentra la Dirección de Proyectos de Rescate Patrimonial y Restauración (DPRPyR) , dirección que se encarga de llevar a cabo estudios de los diferentes sitios y monumentos de carácter histórico que se encuentran en el estado de Aguascalientes.

En convenio realizado con la Universidad Autónoma de Aguascalientes (UAA), y la Maestría en Ingeniería Civil, se desarrolló el proyecto de rescate estructural de la capilla de la ex – hacienda La Trinidad.

La capilla de La Trinidad está ubicada en el municipio de San Francisco de los Romo, al sur de la cabecera municipal (Fig.1).



Fig.1: Imagen satelital de la ubicación de la capilla con respecto a la cabecera municipal de san Francisco de los Romo, Google Earth.

Actualmente el edificio presenta diversas patologías desde leves (descascaramiento de repellados) hasta graves (desplome de muros de carga, exceso de pandeo en cúpulas y arcos) debido a la nula inversión en actividades de mantenimiento, reparación y/o rehabilitación. El intemperismo a que ha estado sometido por periodos largos de tiempo, ha deteriorado los elementos estructurales que conforman el sistema, por lo que con la finalidad de recuperar la salud estructural del edificio se propuso un estudio para determinar la condición del daño estructural que tiene la edificación y con base en esta determinación del daño, hacer una propuesta de rescate estructural, con el objetivo otorgarle años de vida útil, y regresarle la funcionalidad al edificio.

CAPITULO 2.- OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una propuesta de rescate estructural para que la capilla recupere la seguridad estructural requerida por las legislaciones vigentes estatales, nacionales e internacionales, para que el edificio desempeñe las funciones para lo que fue construida. El objetivo general se conseguirá con la consecución de los siguientes objetivos particulares.

2.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Estudio de avances científicos y tecnológicos relacionados al estudio de estructuras similares, (revisión del estado del conocimiento).
- Revisar los datos históricos de la capilla para determinar la edad de la estructura y las diferentes intervenciones que ha sufrido, a través de la revisión de bibliografía del estado, documentación histórica y entrevistas.
- Determinar la frecuencia con la que vibra el terreno, para verificar si existe algún efecto de resonancia, principalmente debido a las vibraciones que induce el tráfico vehicular.
- Determinar las características dinámicas (frecuencia natural y modos de vibrar) de los elementos estructurales (muros, bóveda, arcos, contrafuertes) a través de métodos no destructivos para calibrar y validar el modelo numérico del edificio, además de obtener valores de referencia de la frecuencia natural del edificio para contrastarlos con mediciones post-recuperación estructural y estimar el efecto de la intervención.

Determinar las características mecánicas de los materiales de la edificación "in situ" mediante métodos no destructivos.

- Identificación de las patologías existentes a través de un levantamiento de daños presentes en el edificio, con la elaboración de una memoria fotográfica y descriptiva de cada elemento estructural donde se indique el tipo de falla y características propias de la patología encontrada.
- Obtener las características geométricas de la edificación a partir de la realización de un levantamiento topográfico en dos y tres dimensiones.
- Realizar un análisis de los esfuerzos y deformaciones del edificio, a través de la elaboración de un modelo numérico estático lineal, analizando la estructura en su condición deteriorada (actual), para su calibración y validación con las propiedades dinámicas y mecánicas determinadas experimentalmente "in situ" y los datos del levantamiento de patologías
- Realización de una propuesta practico-funcional de rescate estructural para la restructuración de la capilla con base en los datos obtenidos de los estudios realizados, comparados con el estado actual del edificio y los arrojados en el análisis del modelo de elemento finito.

CAPITULO 3.- METODOLOGIA.

La metodología seguida en este trabajo se describe a continuación separándolas por actividad:

3.1 ESTADO DEL CONOCIMIENTO.

Para alcanzar los objetivos planteados fue necesario realizar una investigación bibliográfica, que sirvió para conocer las intervenciones estructurales que se han realizado a edificios con las características similares a la de la capilla de La Trinidad. Para ello se realizó una consulta de artículos, reportes técnicos, tesis de posgrado y libros especializados, en donde explican los procesos y diferentes técnicas para la evaluación del estado físico de estructuras. La revisión se centró en aquellos edificios que han sido catalogados como monumento histórico o que se les haya otorgado un valor intrínseco.

3.2 DATOS HISTORICOS DE LA CAPILLA DE LA TRINIDAD.

Se realizó una investigación documental para conocer la historia de la capilla. Se enfocó en la obtención de datos desde su concepción, la realización del proyecto, la ejecución de la obra, hasta los procesos de intervenciones y modificaciones que experimentó la estructura con respecto a su estado original. Se llevó a cabo una revisión de los diferentes documentos que describen y narran la historia del estado de Aguascalientes y del propio municipio en donde se construyó el edificio en estudio.

Se realizaron entrevistas con los propietarios, con las entidades y personalidades que desarrollan el tema de restauración y conservación del patrimonio edificado a nivel estatal, tales como los encargados de las diferentes dependencias gubernamentales estatales y nacionales que tienen injerencia en el rescate o estudio del patrimonio edificado o en la historia local de Aguascalientes, además de aquellas personas que conocen de los procesos constructivos usados en edificios similares al del caso de estudio

Con la revisión del estado del conocimiento, se marcaron los lineamientos para establecer los objetivos antes comentados siguiendo las recomendaciones publicadas en la literatura especializada. Una vez realizada la revisión del estado del arte se tuvo claro el proceso y lineamientos a seguir para lograr el objetivo principal, y se estuvo en posibilidad de comenzar con el trabajo de campo, o campañas experimentales de mediciones y levantamiento de datos para el estudio de la capilla.

3.3 LOCALIZACION DEL OBJETO DE ESTUDIO.

Se realizó una localización del edificio estudiado para analizarlo en el contexto de los efectos que pudieran estar afectándolo (tráfico, hundimientos, etc). La ubicación parte del contexto regional al particular ubicando el edificio en el contexto de la antigua hacienda de la Trinidad.

3.4 LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO.

Se realizó un levantamiento topográfico del edificio, para conocer la geometría y composición de la estructura, además de generar un registro de comparación con levantamientos futuros que servirá para cuantificar los daños por hundimiento, deformaciones, desplomes en muros, deformaciones en bóvedas y contrafuertes etc. Este levantamiento de la geometría del edificio sirvió para alimentar el modelo numérico en tres dimensiones para el análisis de esfuerzos y deformaciones.

3.5 CARACTERIZACION DINAMICA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

Se realizaron mediciones de la vibración ambiental del terreno en donde se encuentra construida la capilla empleando para ello un sismógrafo y un grupo de geófonos para determinar la frecuencia natural de vibración del terreno. De la misma manera se tomaron registros de vibración ambiental y forzada de muros, bóveda, contrafuertes para determinar los modos de vibrar del edificio y

de sus elementos estructurales principales. Los datos obtenidos permitieron determinar si existe algún efecto de resonancia en la estructura, además de tener datos para calibrar el modelo numérico.

3.6 LEVANTAMIENTO DE PATOLOGIAS ESTRUCTURALES.

Se realizó un levantamiento de patologías en todos los elementos que conforman el sistema estructural, para determinar las zonas que se encuentran más afectadas, describiendo en este apartado, todas las patologías existentes incluyendo las características visuales de las patologías, longitudes, trayectorias, profundidades, y presencia de material ajeno al de la estructura original. Esta información se utilizó posteriormente una vez que se completó el modelo numérico para corroborar si los daños corresponden a los esfuerzos o deformaciones que está tomando la estructura según el análisis realizado. Con esto el modelo numérico fue validado.

3.7 CARACTERIZACION DE MATERIALES.

Se determinaron las características mecánicas de los materiales de construcción "in situ" mediante técnicas no destructivas, obteniendo el módulo de elasticidad (E), relación de Poisson (ν), y pesos volumétricos de los materiales.

3.8 MODELO NUMERICO MATEMATICO.

Se realizó un modelo numérico en el software de análisis estructural SAP 2000, para determinar los esfuerzos a los que está sometida la estructura en su estado actual (condición estructural deteriorada). El modelo fue calibrado con los datos de las características dinámicas de la estructura determinadas de manera experimental, y fue validado con los datos del levantamiento de patologías.

3.9 PROPUESTA DE RE-ESTRUCTURACION.

Con la obtención de los resultados del análisis estructural se identificaron las deformaciones y esfuerzos que se generan en la estructura. Con base en lo anterior se realizó la propuesta de recuperación estructural, la cual fue integrada al modelo numérico inicial para verificar que los esfuerzos y deformaciones críticos se eliminen para recuperar el nivel de seguridad del edificio.

El primer análisis de esfuerzos y deformaciones se considera una constancia de las condiciones estructurales que guarda actualmente la edificación, mientras que el análisis estructural del edificio incluyendo la propuesta de recuperación estructural, permitió estimar las condiciones que se generaran con la adecuación de la estructura.

3.10 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

Se discute al final de este trabajo de tesis las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo realizado. Se comentan además las perspectivas futuras sobre las líneas de investigación identificadas, principalmente la de los métodos no invasivos en la caracterización mecánica de los materiales, el de la determinación experimental de las características dinámicas del edificio, y el de la intervención para materializar la propuesta de recuperación estructural y el seguimiento que debe dársele para verificar su eficacia.

CAPITULO 4.- ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.

4.1 INTRODUCCION.

La restauración del patrimonio edificado ha sido tema de estudio por muchos años, se ha desarrollado en diferentes ramas y con diferentes vertientes pero con un solo objetivo: preservar los edificios considerados patrimonio edificado.

En este capítulo se presentan los temas de los avances, técnicas y metodologías en las líneas de investigación sobre la restauración del patrimonio edificado vigentes, siguiendo las especificaciones establecidas por los investigadores.

El enfoque para la investigación del estado del conocimiento tendrá 3 vertientes principales:

1. La investigación a través de la historia de la restauración y de los avances científicos y tecnológicos relacionados al estudio de estructuras similares.
2. La investigación de los métodos no destructivos que hayan sido aplicados en edificios históricos para realizar la caracterización de los componentes de la estructura y de los materiales.
3. Investigación de los métodos de análisis estructural de edificios históricos, usando métodos numéricos con el apoyo de software especializado

4.2 DEFINICIONES.

- **PRESERVACIÓN.** Constituye el conjunto de medidas cuyo objetivo es prevenir del deterioro a los inmuebles. Es una acción que antecede a las intervenciones de conservación y/o restauración, procurando que, con estas actividades, las alteraciones se retarden lo más posible, e implica el realizar operaciones continuas que buscan mantener al monumento en buenas condiciones. (Terán, 2004).
- **CONSERVACIÓN.** Consiste en la aplicación de los procedimientos técnicos cuya finalidad es la de detener los mecanismos de alteración o impedir que surjan nuevos deterioros en un edificio histórico. Su objetivo es garantizar la permanencia de dicho patrimonio arquitectónico (Terán, 2004).
- **RESTAURACIÓN.** Como grado de intervención está constituida por todos aquellos procedimientos técnicos que buscan restablecer la unidad formal y la lectura del bien cultural en su totalidad, respetando su historia, sin descomponer ni dar datos falsos (Terán, 2004).
- **INTERVENCIÓN.** Se divide en varias especialidades.
 - α) **LIBERACION.** Es la intervención que tiene por objeto eliminar materiales y elementos que hayan sido agregados y que no corresponde al bien inmueble original (Terán, 2004) así como la *"...supresión de elementos agregados sin valor cultural o natural que [dañen, alteren, al bien cultural] afecten la conservación o impidan el conocimiento del objeto"* (Terán, 2004).

Las técnicas empleados en la liberación tienen como fin eliminar aquellos agregados, materiales y/o elementos que se encuentran alterando al inmueble. Dichos agregados no son originales ni tienen un valor correspondiente a la historicidad del conjunto. En las tareas de liberación se incluyen la remoción de escombros, la limpieza, la eliminación de humedades, sales, flora, fauna y/o de agregados debidos a causas humanas, así como, cuando sea necesario, la eliminación de intervenciones anteriores (Terán, 2004)

- b) **CONSOLIDACION.** Implica cualquier acción que se realice para dar solidez a los elementos de un edificio. En algunos casos un apuntalamiento o colocación de un resane en un muro puede considerarse como proceso de consolidación, la finalidad es detener el deterioro de sus elementos o materiales (Terán, 2004)

Dentro de este tipo de intervención se contemplan las tareas de apuntalamiento de arcos, muros y cubiertas, inyección de grietas y fisuras, la restitución de los materiales y repellados perdidos en muros, cerramientos, cubiertas y pretilas, la consolidación (aplicación de un consolidante) de muros por debilitamiento de mamposterías, así como de aplanados y pintura mural. (Terán, 2004)

- c) **REESTRUCTURACIÓN:** "Es la intervención que devuelve las condiciones de estabilidad perdidas o deterioradas, garantizando, sin límite previsible, la vida de una estructura arquitectónica." (Terán, 2004).

Dentro del proyecto ejecutivo de restauración el estudio y solución de los daños estructurales deberá ser realizada necesariamente por un especialista en estructuras históricas, quien además deberá asesorar la ejecución de dicha intervención en la obra. (Terán, 2004).

d) **REINTEGRACIÓN:** Es la intervención que tiene por objeto devolver unidad a elementos arquitectónicos deteriorados, mutilados o desubicados. La forma teórica ideal de reintegración es la llamada "anastilosis", o reubicación de un elemento desplazado de su posición. (Terán, 2004)

La "anastylosis" o reconstrucción mediante ensamblaje, se aplica al proceso de reconstruir un edificio que se ha demolido como resultado de causas accidentales o por un colapso debido a negligencia y abandono. (Terán, 2004).

e) **INTEGRACIÓN:** Consiste en completar o rehacer las partes faltantes de un bien cultural con materiales nuevos o similares a los originales, con el propósito de darle estabilidad y/o unidad visual a la obra sin pretender engañar, por lo que se diferenciará de alguna forma del original. (Terán, 2004).

f) **RECONSTRUCCIÓN:** Es la intervención que tiene por objeto volver a construir partes desaparecidas o perdidas de un monumento. La reconstrucción supone el empleo de materiales nuevos y no la reutilización de elementos pertenecientes a la construcción original ya perdida. Esta intervención se refiere a las labores que se realizan en el monumento a nivel estructural; debe fundamentarse en el respeto al inmueble y será efectuada de tal manera que sea reconocible. (Terán, 2004).

4.3 HISTORIA: LA EVOLUCION DE LA RESTAURACIÓN.

"Antes de restaurar, pero en vistas a restaurar, es necesario investigar. Muchos especialistas pueden investigar, pero sólo el restaurador sabrá buscar los datos necesarios para programar su trabajo específico." (Chanfón, 1996)

La restauración aparece con la pérdida del pasado, de la historia, de la identidad, la restauración se inicia por los reflejos de una sociedad por mantener vigente el patrimonio heredado por sus antepasados.

Las primeras manifestaciones de la restauración se dieron a partir del conocimiento del término patrimonio en el siglo XV, consolidándose en el siglo XVIII. (Aspilicueta, 1995)

En el siglo XVII, se desarrolló la conciencia del valor artístico e histórico de los sitios y monumentos, se inicia el tema de la restauración con visión científica, basada en las teorías del Neoclásico y del Romanticismo. (Aspilicueta, 1995).

Con los descubrimientos arqueológicos de Pompeya en 1748. Las excavaciones en la villa Adriana y el palatino en Roma, se inició el concepto moderno de la restauración. (Aspilicueta, 1995).

A mediados del siglo XVII, tomó valor la conciencia histórica-artística, e inició la restauración de edificios con la aplicación de 7 categorías principales, una de las restauraciones principales de la época donde se aplicaron de estos conceptos fue la restauración del Panteón de Roma, realizada por Bernini : (Perogalli, 1954).

- Destrucción total o parcial
- Despojo y aprovechamiento de los materiales.
- Reiniciación de obras inconclusas.
- Reconstrucción total o parcial.
- Abandono y adaptación a otros usos.
- Excavaciones.
- Ampliación o limitación del proyecto original.

Las principales restauraciones se llevaron a cabo en el continente Europeo, entre los países de Inglaterra, Italia, Francia y Grecia.

En los años de 1800, sobresale como uno de los mejores restauradores el Arq. Eugene Emmanuel Viollet-le-duc que conceptualiza la restauración como estilística, y fundamenta eliminar aquellas partes arquitectónicas y decorativas, agregadas en épocas posteriores, para lograr su unidad original y su pureza estilística. (Aspilicueta, 1995).

Hacia fines del siglo XIX, La escuela Italiana, formuló su propia teoría, a través de Camilo Boito (1836 -1914) "El restauro moderno" que busca una dialéctica entre lo antiguo y lo nuevo: reconocimiento del doble valor del monumento arquitectónico, como obra de arte y como testimonio histórico. (Aspilicueta, 1995).

El restauro moderno contemplaba los siguientes fundamentos: (Aspilicueta, 1995).

- Cuando sea necesario intervenir un monumento se debería consolidar antes que reparar, y reparar antes que restaurar.
- Diferenciar materiales en sus fábricas y simplificar las adiciones, en caso de elementos arquitectónicos decorativos.
- Los agregados son parte del edificio, salvo cuando estos tengan una importancia artística e histórica menor al propio edificio.
- Registro visual del procedimiento y colocación de fecha de intervención.

Después del movimiento del restauro moderno, se reconoce a “La Restauración Científica”, promovida por Gustavo Giovannoni (1873 -1947). El autor manejaba un principio fundamental, la veracidad en la restauración, basada en datos concretos (Investigación) y no en hipótesis (Aspilicueta, 1995). Formula niveles de intervención y sus características, según el tipo de identificación: prevención, consolidación, recomposición, restauración por anastilosis, restauración por eliminación, restauración por complemento, reconstrucción de la innovación por la funcionalidad (Aspilicueta, 1995).

Recientemente en el 2000 “La carta de Cracovia “elimina por completo la restauración por estilo y asume que las adicionales o superposiciones constructivas durante la vida del edificio son parte del monumento (Aspilicueta, 1995).

4.4 LOS AVANCES CIENTIFICOS EN EL ESTUDIO DE EDIFICIOS HISTORICOS.

4.4.1 INTRODUCCION.

La necesidad de mantener vigentes a los edificios, ha creado diferentes metodologías para la recuperación del patrimonio dañado, así mismo, han evolucionado las diferentes conceptualizaciones tales como rescate, reutilización, adaptación, o en su más acentuado y actualizado concepto de "Reciclaje de edificios históricos".

Actualmente en la diagnosis del estado o condición de deterioro de los edificios históricos se ha involucrado la ciencia y la tecnología, desarrollando equipo especializado para el conocimiento de las características de los materiales de construcción y para la evaluación del estado de salud que guardan los elementos estructurales.

4.4.2 METODOS, PROCESOS Y ESTUDIOS PREVIOS A LA RESTAURACION.

Para la intervención adecuada de un monumento histórico es necesario e imprescindible la realización de un proyecto ejecutivo, donde sea evaluado el grado de intervención para cada caso, y se consignen los tipos de intervención, llevando una secuencia y orden de dichas acciones, fundamentadas en los principios teóricos de la restauración (Terán, 2004).

Se propone realizar la restauración en 4 técnicas: (Jurado, 1998).

1. Estudios previos. Divididos en :

- a) **Históricos.** Atención de los aspectos constructivos del edificio, fechas, intervenciones, modificaciones, cronología.
- b) **Ambientales.** Determinación de los agentes externos que afectan al terreno y a los materiales.
- c) **Geométricos.** Levantamiento geométrico, planimetría, topografía, fotogrametría. Elaboración de planos.
- d) **Ensayos de materiales.** Identificación de las características de los materiales, ensayos mecánicos, utilización de lámina delgada, espectrografía de rayos x, análisis químicos, dureza, rigidez de los materiales en situación de servicio.
- e) **Investigaciones in situ.** Catas arqueológicas, sondeos geotécnicos, estudios geofísicos de georádar, resistividad eléctrica, medición de vibraciones, auscultación dinámica, velocidad ultrasónica etc.

2. Monitorización.

- a) Control de deformaciones.
- b) Control de vibraciones.
- c) Control de tensiones.
- d) Control de temperatura y humedad.

3. Realización del proyecto.

- a) Toma de datos geométricos.
- b) Restituciones y representación.
- c) Simulaciones con ordenador.
- d) Maquetas.

4. La ejecución.

- a) Recalces de cimentaciones.
- b) Limpieza de paramentos.
- c) Inyección de grietas.
- d) Técnicas tradicionales.
- e) Moldeados y reproducciones.
- f) Medios auxiliares.

4.5 ESTUDIOS REALIZADOS A EDIFICIOS SIMILARES A LA CAPILLA.

Existen infinidad de estudios relacionados al rescate estructural de los edificios históricos. Tal es el caso de, De La Torre Rangel et al, 2002, quienes presenta una revisión de casos de intervenciones a edificios patrimoniales que abarca el estudio de varios templos ubicados en el territorio de la República Mexicana principalmente en los estados de Colima, Jalisco, Puebla, Tlaxcala y Oaxaca, construcciones catalogados como patrimonio histórico, los estudios fueron realizados en un periodo que comprende los últimos de 50 años a la fecha de presentación del artículo, En sus recomendaciones señalan:

1. Revisar la vulnerabilidad de las edificaciones respetando la concepción del sistema estructural, de que los sistemas estructurales trabajan a gravedad, considerando que las edificaciones se constrúan a base de mampostería simple sin refuerzos y de secciones con grandes espesores.
2. Revisión de la geometría del edificio con la descripción del edificio, descripción de los sistemas constructivos de muros, cubiertas, bóvedas, pisos, torres, cúpulas, etc. Así como los elementos estructurales y ornamentales que conforman el sistema. Fig.2
3. Revisión de daños considerando fisuras y agrietamientos en la mampostería, hasta colapsos parciales. Fig.3

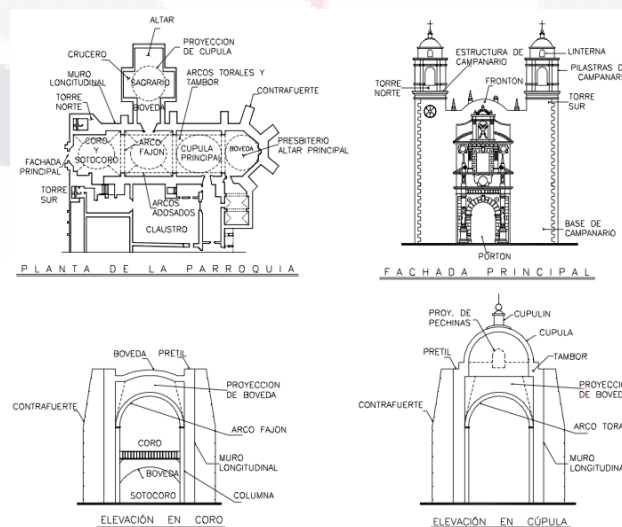


Fig.2: Descripción esquemática de la geometría y de los elementos que conforman el sistema

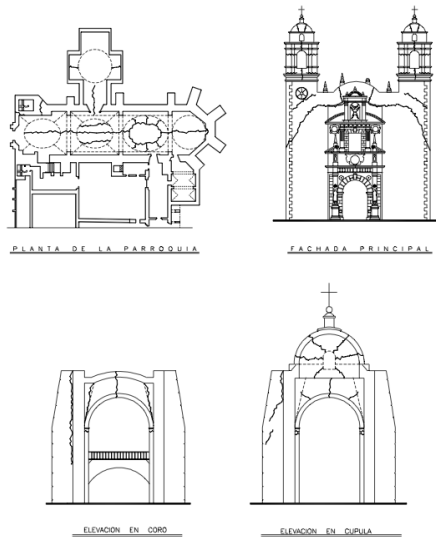


Fig.3: Revisión del patrón de agrietamiento y fisuras en elementos estructurales

4. Revisión de la estructuración y de los materiales originales.
5. Revisión de las cargas actuantes.

4.5.1 CRITERIOS DE REHABILITACIÓN.

- Adaptación del proyecto a la normatividad vigente establecida por las dependencias gubernamentales.
- No alterar significativamente la arquitectura original, adecuando las soluciones constructivas con un mínimo de afectación.
- Restablecer el equilibrio del sistema estructural original proporcionando mejora para que los elementos estructurales trabajen en conjunto.
- Consolidación de la mampostería reponiendo piezas dañadas o reparación de grietas y fisuras.
- Proporcionar rigidez al sistema estructural realizando un modelo de elementos finitos para determinar las fuerzas que están actuando en la edificación.

4.5.2 PROCESOS DE REHABILITACION EN ARCOS Y BOVEDAS.

De los procesos más comunes y ampliamente reconocidos como una solución adecuada para la rehabilitación de estos elementos se encuentra la aplicación de tensores, que en los casos reportados en la literatura han presentado buen comportamiento, aunque según los algunos críticos afecta la estética del edificio. En la Fig.4 se muestra el esquema de utilización de tensores en arcos.

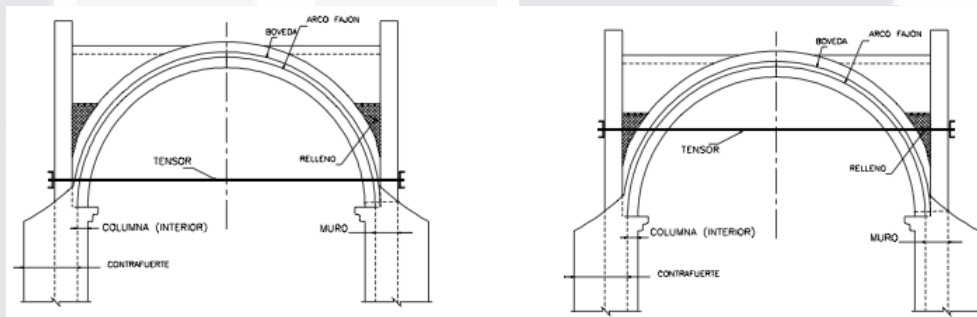


Fig.4: Esquema de utilización de tensores como solución viable para la estabilización de esfuerzos a tensión a los que pueda someterse un arco deformado

Para la evaluación del sistema global, de los arcos y bóvedas recomiendan realizar el diseño de los elementos de refuerzo mediante una evaluación numérica Fig.5 de las condiciones existentes teniendo en cuenta las condiciones de cargas actuantes empleando 3 técnicas de análisis estructural:

- Arco elástico continuo. Desarrollado mediante un análisis elástico lineal convencional de elementos tipo barra, con las dimensiones netas de los elementos.
- Arco elástico con tres articulaciones.
- Analogía del cable invertido.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

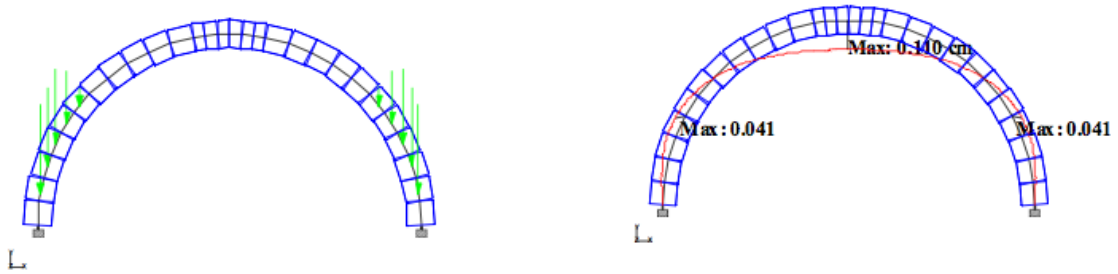


Fig.5: Elaboración de modelo numérico de los arcos o segmentos de bóveda para revisar los esfuerzos de compresión de la mampostería

Con los resultados obtenidos mediante los modelos numéricos recomiendan las posibles soluciones para la rehabilitación, según lo muestran las Fig.6, Fig.7 y Fig.8 para los diferentes elementos del sistema.

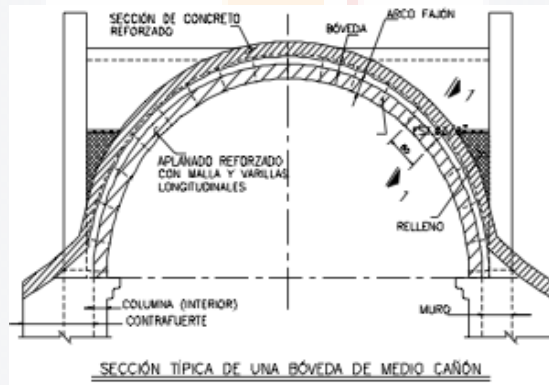


Fig.6: Alternativa de solución a las bóvedas o arcos.

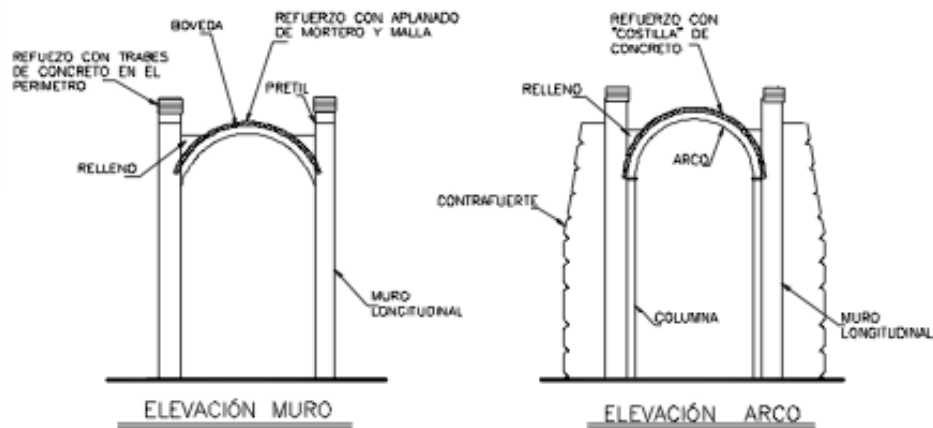


Fig.7: Alternativa de solución a las bóvedas o arcos.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

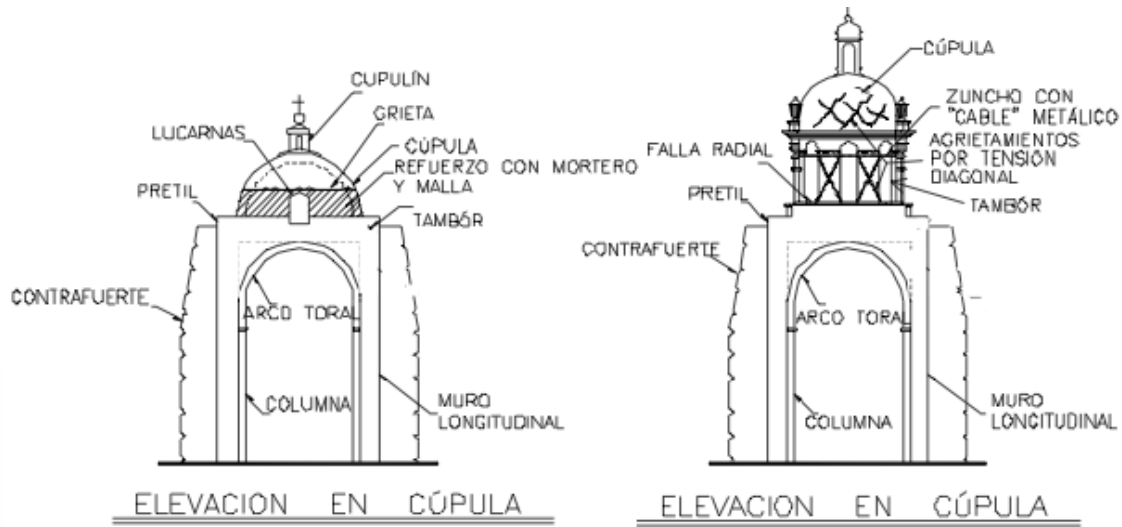


Fig.8: Alternativa de solución para reparación de elementos estructurales.

Realización de un modelo de análisis estructural completo del edificio el cual les permitió observar el primer modo de vibrar, donde se observan qué elementos aportan mayor rigidez al inmueble, donde se encuentran los esfuerzos de tensión y qué elementos los están soportando, en la Fig.9 se muestran los modelos de elemento finito aplicados para el estudio de los edificios históricos. En la Fig.9a se muestra el templo de la compañía de Jesús, en la Fig.9b un corte transversal de una capilla tipo y en la Fig.9c el Beaterio de Colima.

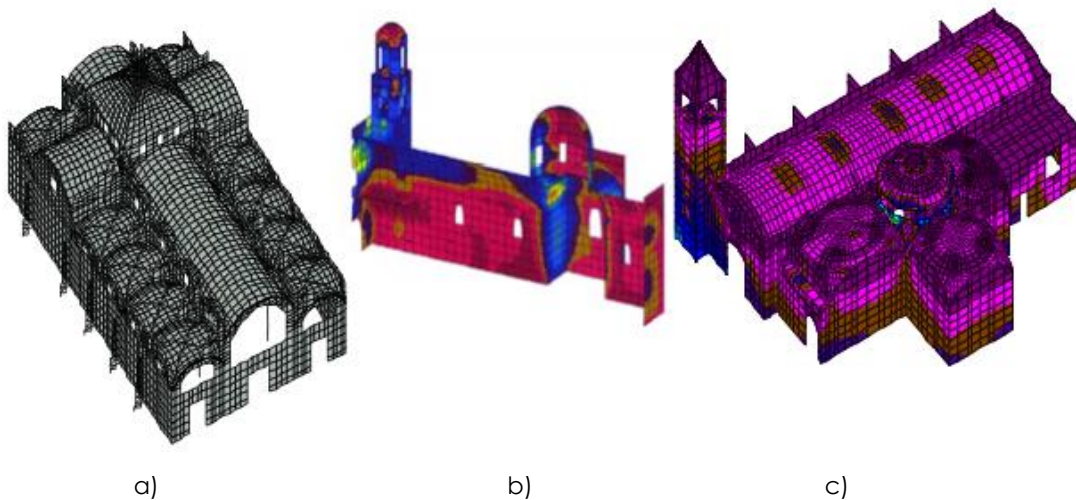


Fig.9: Modelos de elemento finito tipo placa realizados para el análisis estructural de edificios históricos.

El diagnóstico estructural es una de las partes fundamentales para la valoración de la condición de salud de los elementos estructurales de cualquier sistema. Macías Martínez et al, (2011), proponen realizar una inspección minuciosa y directa del inmueble y sus características. Para lo cual marcan el siguiente proceso:

- Inspección inicial de la edificación.
- Diagnóstico de los elementos estructurales a través de la inspección visual.
- Elaboración de la información mediante fichas técnicas.
- Evaluación del estado técnico del inmueble.
- La inspección inicial realizarla con un levantamiento fotográfico.

El diagnóstico lo iniciaron marcando las características arquitectónicas, seguido de la descripción de las características estructurales, marcando en esta descripción todos y cada uno de los elementos estructurales.

Seguido redactaron los resultados de la inspección visual inicial a través de una tabla comparativa por elemento estructural en donde se marcaron las patologías encontradas, Fig.10

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

Elemento estructural	Lesiones
Muros	-Manchas de humedad. -Pérdida del repello. -Abofamiento del repello. -Eflorescencia. -Grietas y fisuras. -Vegetación parásita.
Losas	-Acero expuesto con presencia de corrosión. -Manchas de humedad. -Pérdida de recubrimiento del acero. -Grietas y fisuras. -Delaminación del acero de refuerzo. -Hundimiento de pisos.

Fig.10: Fragmento de Tabla elaborada con la indicación del elemento estructural y las patologías encontradas mencionadas en la columna del lado derecho

Posterior a la realización de la inspección inicial, realizaron fichas técnicas en donde indican la ubicación del elemento en una planta arquitectónica del inmueble, con el archivo fotográfico correspondiente mencionando la lesión o patología encontrada y las acciones a realizar para subsanar la lesión. Según lo muestra el formato de la Fig.11

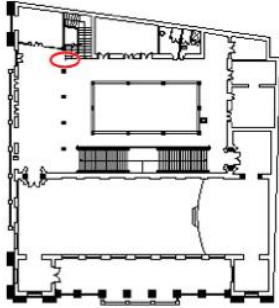

Ficha Técnica No. 1	Elemento: Vigas
Esquema de ubicación en planta  <p style="text-align: center;">2do Nivel</p>	Foto de las vigas 
Lesión: Acero expuesto con presencia de corrosión. Posibles causas: Humedad por rotura de elementos de impermeabilización de cubierta e insuficiente recubrimiento de las armaduras de refuerzo. Trabajos a realizar: 1-Eliminar todo el material suelto. 2-Revisar nivel de daño del acero y qué por ciento de la sección se ha perdido. 3-Reforzar el elemento según esfuerzos actuantes, con la utilización de aditivos que vinculen el hormigón nuevo con el viejo.	

Fig.11: Formato de ficha técnica utilizada para describir y ubicar el elemento estructural, con indicaciones de las patologías encontradas y las acciones para subsanar la lesión

Con base en los resultados observados en las fichas técnicas los autores propusieron un sistema de evaluación con puntaje para determinar una escala de deterioro, dependiendo de la calificación es como determinaron el estado y calidad de los elementos estructurales. En la Fig.12 se observa la organización de la tabla con el resultado de salud estructural de los elementos en este caso muestra el diagnóstico de los muros.

Evaluación del estado técnico del Club San Carlos						
Muros						
Tipo de material	Nombre	Datos de interés		% total de deterioro	Puntuación (% deterioro)	Calificación
		Áreas (m ²)				
		Total	Afectada			
Ladrillos y hormigón	Entrepiso	1063	600	56	40	Malo
			600	56	40	Malo
	Subtotal	1063	1200	113	80	Malo
	Cubierta	1184	600	51	59	Malo
			600	51	59	Malo
	Total del elemento	1063	2400		198	Malo
Total del componente	2247	2400		49,5		

Fig.12: Formato de tabla con puntuación para determinar la salud estructural de los muros del club San Carlos

Con este proceso los autores diagnosticaron cuales patologías son más comunes y que elementos son los más afectados, interpretando la posible causa de la manifestación de las patologías y las acciones para corregirlas.

En los últimos 30 años en la ciudad de México, D.F. Meli (2012) ha desarrollado proyectos de gran importancia de restauración y restructuración, entre ellos se encuentra la catedral metropolitana, Palacio de Medicina, templo de San Agustín, Palacio de Minería, Templo de San Pedro y San Pablo, Antigua Escuela de Economía, Edificio de Geología, La Academia de San Carlos.

La metodología que propone Meli (2012) es la siguiente, primeramente recomienda la revisión de la legislación vigente a través de:

- Consejo mundial de monumentos (ICOMOS). Parte de UNESCO- Carta de Venecia y otras cartas.
- Comité Científico Internacional para el Análisis y Restauración de Estructuras del Patrimonio Histórico (ISCARSAH). Cuerpo consultivo de ICOMOS.
- "Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage (principles and guidelines)" ISCARSAH, 2003.

Para realizar la evaluación y el diagnóstico correspondiente:

- Análisis histórico. Evaluar el desempeño en el pasado puede permitir prever el desempeño futuro y dar indicaciones sobre el nivel de la seguridad de la estructura en su situación actual.
- Análisis cualitativo (procedimiento inductivo), basado en comparar la situación actual de la estructura con la de otras similares cuyo comportamiento ha podido ser evaluado y confirmado.
- Análisis cuantitativo, incluye modelos matemáticos resueltos con los principios y herramientas de la ingeniería estructural.

Recomienda 4 etapas fundamentales para la adquisición de datos:

- Reunir la información histórica (o arqueológica) sobre la concepción de la estructura, las técnicas de construcción de las modificaciones realizadas y del desempeño a lo largo del tiempo y de la situación actual.
- Determinación de características estructurales; propiedades geométricas y mecánicas; preparar planos estructurales, levantamiento de daños y deterioros; determinar si los daños se han estabilizado.
- Estudios de campo, pruebas para determinar las propiedades mecánicas de los materiales estructurales y del subsuelo
- Monitoreo, especialmente de grietas, desplomes y asentamientos.

Para la verificación y comprobación del estado de salud de la estructura realizo estudios de: ultrasonido, extracción de núcleos, esclerometría, radar de penetración, pruebas de resistencia de los materiales para determinar esfuerzos a compresión.

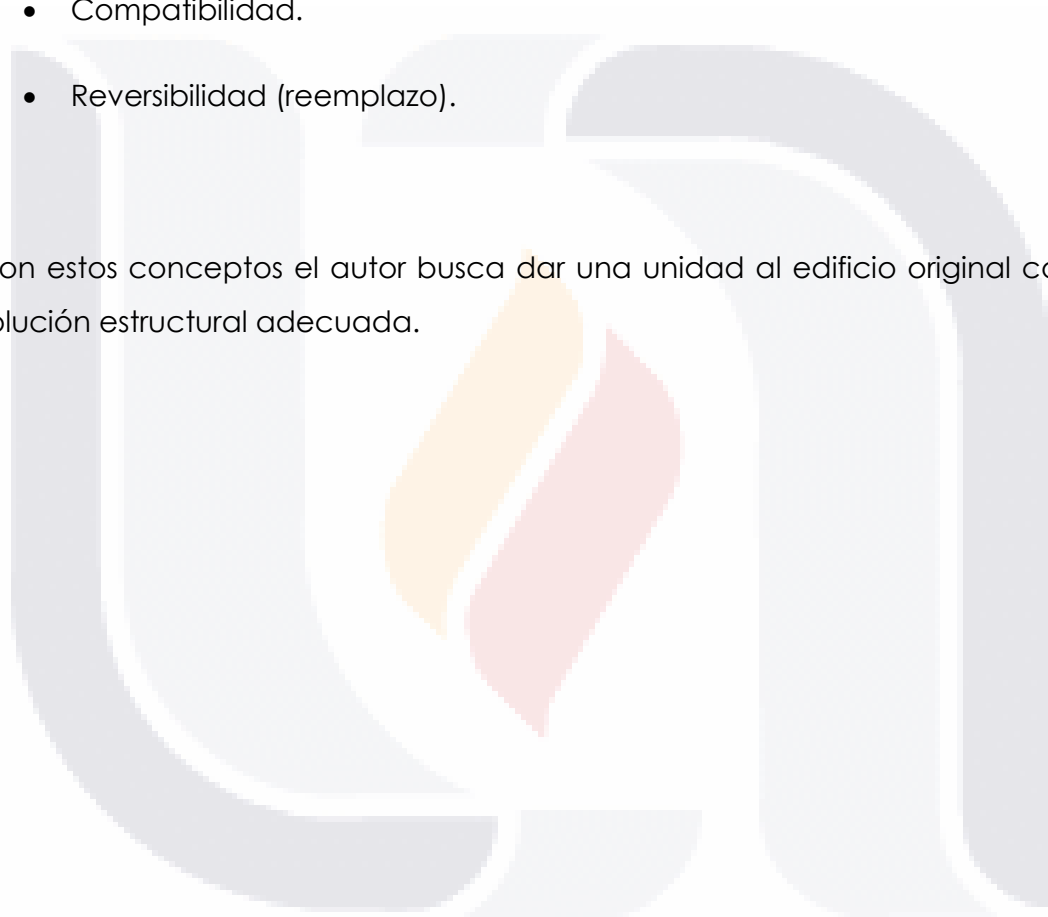
Las medidas para la rehabilitación manejan 2 conceptos:

- Emplear solo técnicas y materiales similares a los del edificio original.
- Incluir medidas a base de materiales y técnicas más efectivas acorde al edificio.

Estos 2 conceptos consideran 4 requisitos para su validación y funcionamiento:

- Efectividad.
- Mínima alteración.
- Compatibilidad.
- Reversibilidad (reemplazo).

Con estos conceptos el autor busca dar una unidad al edificio original con la solución estructural adecuada.



CAPITULO 5.- DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO: CAPILLA LA TRINIDAD.

5.1 LOCALIZACION.

La capilla de la Trinidad se encuentra en el estado de Aguascalientes, en el municipio de San Francisco De Los Romo (Fig.13). Este municipio se localiza al norte de la ciudad de Aguascalientes, a 20 km aproximadamente (Fig.14).



Fig.13: Mapa del estado de Aguascalientes con indicación del municipio de San Francisco De Los Romo.



Fig.14: Imagen satelital ubicación de San Francisco. De los Romo con respecto a la ciudad de Aguascalientes. Fuente: Google Earth.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

El predio donde se ubica la capilla se encuentra en el kilómetro 21 de la carretera federal No. 45 Norte, dentro de los predios de lo que hoy es conocido como la ex-hacienda de la trinidad (Fig.15 a y b).



fig. 15a

fig. 15b

Fig.15: Imágenes Satelital de la ubicación del Terreno y de la ubicación de la Capilla La Trinidad.

Fuente: Google Earth

En la Fig.16 se muestran las condiciones actuales de la fachada principal de la Capilla.



Fig.16: Fachada Principal de la capilla La Trinidad. Fotografía tomada el 2 de agosto del 2012

5.2 ANTECEDENTES Y DATOS HISTORICOS.

El lugar donde se encuentra edificada la capilla de La Trinidad fue un sitio llamado Buenavista, poseía ganado de mayor realengo, lote baldío y hueco, como se les llamo en ese entonces a las tierras excedentes e ilegales en tiempos de la colonia como se muestra en la Fig.17 (Reyes, 2011).

El terreno fue adquirido el 8 de junio de 1696 por un agricultor muy acaudalado, minero de ocupación, y propietario de la hacienda de San Blas de Pabellón llamado Joseph de la Peña Duran. (Reyes, 2011).

Durante 133 años Buenavista fue propiedad de la hacienda de San Blas de Pabellón, sus tierras no fueron cultivadas por sus propietarios, que al igual de otros sitios se llenaron de arrendatarios, se llamaba así a los trabajadores que aprovechaban pequeños y medianos ranchos a cambio de una renta anual fija. (Reyes, 2011).



Fig.17: Mapa del sitio de ganado mayor de la Cruz, terrenos de la hacienda de San Blas de Pabellón, foto tomada de Reyes, 2011.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

En 1978 la hacienda de San Blas de Pabellón fue comprada por Don Bernardo Iriarte, con lo cual también contrajo los problemas que acarrea la hacienda entre ellas las deudas, en 1829, estas deudas incrementaron, por lo que Don Bernardo encontró en la venta de terrenos la solución para solventar dicha situación. Con esta venta iba también la del terreno de Buenavista, por lo cual inició la partición y desmembramiento de la hacienda de San Blas, el deslinde del terreno se determinó según lo muestra la Fig.18. (Reyes,. 2011).

El terreno de Buenavista, fue adquirido por los señores Francisco Ignacio Romo de Vivar, José Manuel Romo de Vivar y Cesáreo Lozano por la cantidad de \$8,000.00 pesos (Reyes, 2011).

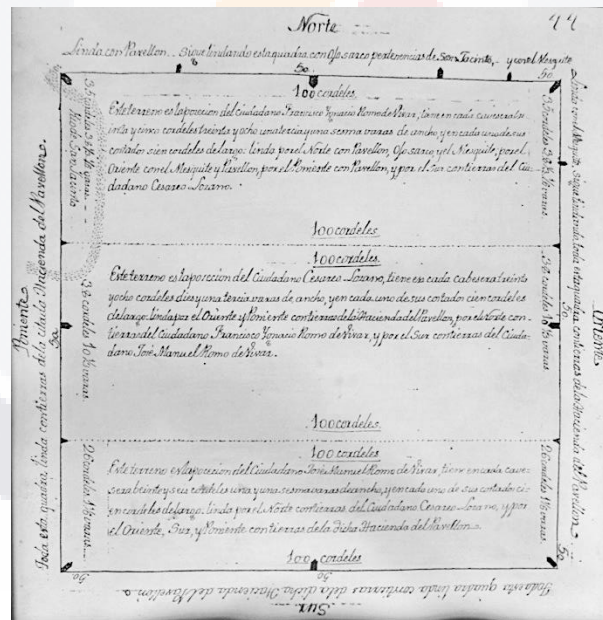


Fig.18: Documento de deslinde y limite de terrenos tras la compra-venta de los terrenos de Buenavista, foto a través de (Reyes,. 2011)

Una vez que tomaron posesión de las propiedades, se prepararon para empezar a cultivar las tierras y construir sus ranchos. El Sr. Francisco Romo de Vivar llamó a su rancho "San Francisco", el Sr. José Manuel lo llamo "San José de Buenavista" el Sr. Cesáreo lo llamo "Rancho de la Noria de la Trinidad" (Reyes, 2011).

Posteriormente con el paso del tiempo, la salud del Sr. Cesáreo Lozano se vio afectada llevando esto a su fallecimiento, dejando como herederos de la Noria de la Trinidad a sus hijos Félix y Justo. En 1840 Félix Lozano falleció dejando como beneficiarios a sus hijos Luis y Pantaleón Lozano quedando bajo la tutela de su fío Justo Lozano al igual quedó como administrador de los bienes y de la propiedad. (Reyes, 2011).

Al señor Justo Lozano se le reconoce la entrega de la capilla, ya que fue de él la iniciativa de construir dentro de su propiedad una capilla y un cementerio para sus trabajadores. Sin embargo a causa de la obra su capacidad financiera se vio afectada, al grado de solicitar un préstamo a cambio del cual tuvo la necesidad de hipotecar la Noria de la Trinidad, con lo que pudo continuar con la construcción de la capilla (Reyes, 2011).

En las figuras Fig.19a y b se muestran las festividades del 100 aniversario de la construcción de la capilla , en ellas se puede observar el auge de las actividades de la hacienda, así mismo el estado de conservación que tenía en ese tiempo la capilla, se conoce que para estas festividades, los propietarios ordenaron realizar trabajos mayores de reparación y mantenimiento, realizando en esta época, una de las intervenciones mayores a las que ha sido sometida a la capilla.



fig. 19a

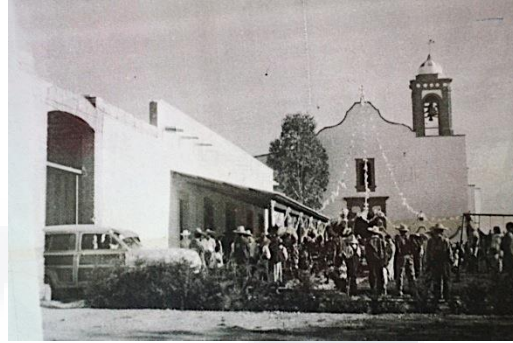


fig. 19b

Fig.19: Fotografías de las celebraciones del 100 Aniversario de la construcción de la capilla (año de 1950), a través de Reyes 2011

En el verano de 1850 se dieron por terminados los trabajos de una torre de la capilla, por lo cual se solicitó el permiso a la diócesis de la parroquia de Jesús María para llevar a cabo las ceremonias religiosas, siendo hasta el 17 de septiembre de 1850 que se informó que ya se contaba con la licencia para llevar a cabo la bendición de la parroquia y por consiguiente la realización de ceremonias religiosas (Reyes, 2011).

A la Hacienda de la Noria de la Trinidad se le atribuye ser el inicio de la actual población de San Francisco de los Romo, ya que aquí se realizaban las principales actividades de comercio y las celebraciones religiosas.

5.3 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS.

Actualmente se observa que la capilla de la Trinidad ha sufrido modificaciones en su estructura original. A continuación se describen los sistemas estructurales que se identificaron en el edificio al mes de Junio del 2013.

Dentro de las intervenciones a la estructura original se distinguen por lo menos 3 principales intervenciones de las cuales no se consiguieron registros o información de cuando fueron realizadas. Se observa, sin embargo que estas intervenciones no consiguieron consolidar la estructura de la capilla, más bien afectaron su comportamiento y son causa de algunas de las patologías observadas. .

5.3.1 CIMENTACION.

Se desconocen las características de la cimentación ya que no fue posible realizar excavaciones para determinar profundidad de desplante, secciones y tipo de materiales empleados. Sin embargo de acuerdo a observaciones parciales en algunos puntos de la capilla, la nave principal de la capilla podría estar desplantada sobre una cimentación a base de mampostería de piedra de la región juntada y rajueleada en la boquilla externa (Fig.20a y b)

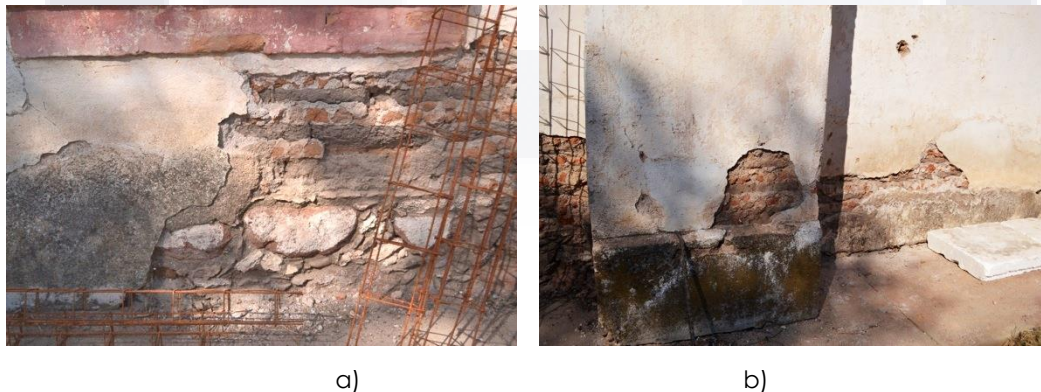


Fig.20: Detalle de la disposición de la piedra e intervenciones posteriores a su construcción con tabique rojo.

5.3.2 MUROS.

Los muros son de mampostería a base de bloques de adobe de sección de 60 x 40 cm x 8.50 mts. de altura, colocados en 2 hileras entrelazadas para formar el muro, el cual tiene una sección transversal total de 1.20 m.

El adobe es de un color café claro. Al momento del levantamiento de datos de campo existían zonas en donde el muro se encuentra muy afectado por efecto de la intemperización, principalmente por la lluvia. Se observó además presencia de vegetación y pérdida de sección transversal (Fig.21b).

El muro presenta un repellado con mortero a la cal en su interior, en algunas zonas de los muros presenta desprendimiento y ausencia del aplanado (Fig.21a). Se observa además un repellado con un mortero cemento-cal-arena en zonas específicas del muro. La consistencia de este repellado sugiere que es parte de reparaciones recientes.



Fig.21: Muros de adobe con ausencia de aplanado y los daños que presenta actualmente a causa del intemperismo.

5.3.3 BOVEDA.

La bóveda de la capilla es en forma de cañón soportada por arcos internos, fue construida a base de 2 capas de cuña de barro rojo recocida (Fig.22a). En una de las intervenciones anteriores que se le realizó a la capilla, se le adicionó a la bóveda una capa de concreto reforzado de 10 cm de espesor (Fig.23).



Fig.22: Bóveda de cañón 2 capas de cuña de barro correspondiente al granero y capa de concreto armado sobre bóveda original de la capilla.



Fig.23: Acero de refuerzo expuesto en la capa de concreto de la bóveda. Se desconoce la cuantía y resistencia del acero.

5.3.4 SISTEMAS ESTRUCTURALES ADICIONADOS.

Los elementos estructurales que se le adicionaron a la capilla de la Trinidad en intervenciones anteriores se pueden resumir a continuación:

- a). Construcción de una serie de contrafuertes en la fachada poniente a base de bloques de adobe cuatrapeados en sección de 1.20 m en su base (Fig.24). La sección se conserva en toda la altura del contrafuerte. Fueron unidos a los pilares de la capilla, al parecer para contrarrestar el empuje lateral producido por el peso de la bóveda. Los contrafuertes tienen en su tercio continuo al muro de la capilla un arco tipo botarel.
- b). Construcción de un contrafuerte en la fachada oriente. Construido con mampostería de piedra braza de la región junteada con mortero cemento-cal-arena, con rajueleado de la misma piedra en su boquilla (Fig.25). El contrafuerte se compone de dos cuerpos, uno formado por una base prismática rectangular de 3.06 m x 1.15 m de base, por 2.10 m de alto, del cual surge propiamente el contrafuerte que es una trabe-columna inclinada a 134°, del mismo tipo de mampostería que se recarga sobre el muro de la capilla. El lecho inferior de la trabe-columna está formado por bloques de piedra careada, aparentemente toba riolítica de la región (Fig.25).
- c). Adición de una losa de concreto reforzado sobre el sistema de bóvedas original (Fig.22 y Fig.23)

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

Tensores transversales de acero. Estos tensores fueron adicionados para contrarrestar el desplome de los muros que las presiones laterales del sistema de cúpulas produjo (Fig.24)



Fig.24: Contrafuertes a base de bloques de adobe adosados a los pilares de los muros construidos anteriormente, formando arcos tipo botarel se observa el color en el cambio de los materiales utilizados en distintas etapas.



Fig.25: Contrafuerte de la fachada oriente formado a base de mampostería de piedra en basamento y en el cuerpo a base de mezcla de materiales de piedra y algunos de barro.

5.4 RECONSTRUCCIÓN DE INTERVENCIONES.

No se conoce con exactitud el número de intervenciones que ha sufrido la capilla de la Trinidad, sin embargo los elementos estructurales que han sido añadidos a la estructura principal, reconocidos por estar contruidos con materiales diferentes a los de la capilla, sugieren que al menos han sido tres principales intervenciones.

Aunque se desconoce el tipo de trabajos que se ejecutaron así como la fecha exacta en que fueron realizados, a continuación se presenta una descripción gráfica hipotética de cómo se podrían haber llevado a cabo estas intervenciones:

Eliminando los contrafuertes que de acuerdo a observaciones realizadas en el sitio, el tipo de material (mampostería de contrafuerte oriente) y la calidad (contrafuertes muro poniente) no es la misma que la del material de los muros, se propuso que originalmente el edificio fue constituida por dos cuerpos: la nave principal y, en la parte posterior o trasera, un espacio que regularmente era el granero, lugar en donde se guardaba el producto de la cosecha (Fig.26).

Actualmente en la fachada oriente se encuentra adosada una construcción a la cual se le dio el uso de sacristía.



Fig.26: imagen representativa que muestra como podría haber sido inicialmente el edificio

5.4.1 PRIMERA INTERVENCION.

Lo primero que se observa en la capilla de La Trinidad es que los muros de la nave principal presentan un desplome hacia afuera del edificio. Seguramente asociado al "pateo" o el empuje lateral que el sistema de bóvedas y arcos ejerce sobre el muro (Fig.27). A causa de este desplome se generó una pérdida de la geometría de los arcos de la nave, por lo que la primera intervención debió de consistir en reforzar los muros con contrafuertes para adicionarles mayor rigidez para soportar los empujes horizontales del sistema de techo (Fig.28), y de esta manera detener o al menos minimizar el desplome que se estaba generando.

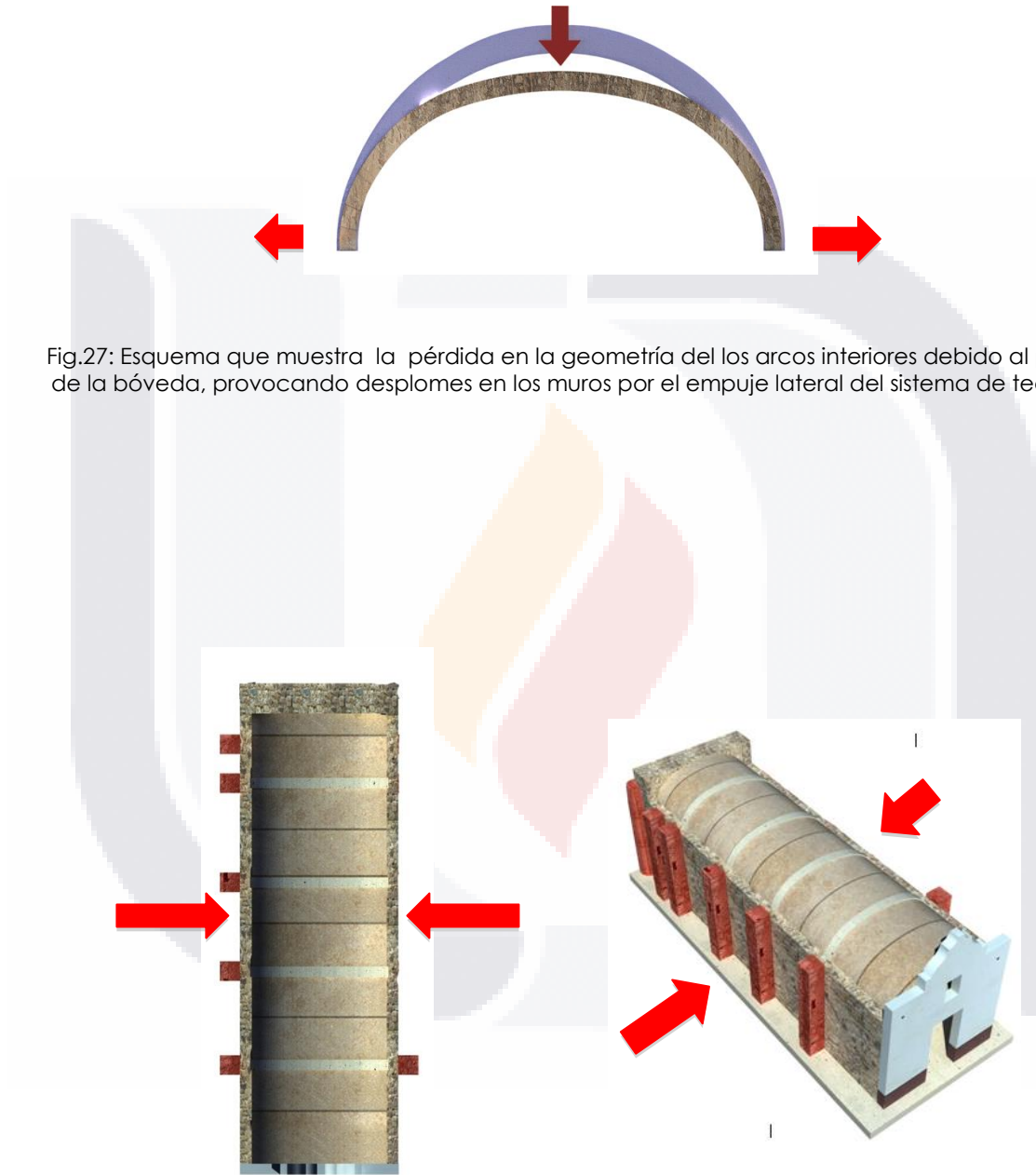


Fig.27: Esquema que muestra la pérdida en la geometría de los arcos interiores debido al peso de la bóveda, provocando desplomes en los muros por el empuje lateral del sistema de techo.

Fig.28: Planta e isométrico de la representación en la adición de los pilares para contrarrestar el empuje de los muros.

5.4.2 SEGUNDA INTERVENCION.

Probablemente la pérdida de geometría del sistema de techo produjo fracturas y fisuras que debieron ser puntos de infiltración y humedad. Lo anterior pudo haber sido el motivo de la segunda intervención, la cual consistió en colocar una capa de concreto reforzado sobre las cúpulas para eliminar el problema de infiltraciones y además "reforzar" el sistema de techo, esta capa de concreto reforzado incrementó el problema del desplome de los muros, ya que aumentó el peso del sistema de techo con el consiguiente aumento en el empuje lateral sobre los muros (Fig.29), provocando en ellos un efecto de desplome o volteo extra. Para evitar esto los propietarios tomaron la decisión de reforzar los contrafuertes tanto en el muro de la fachada poniente como en el muro oriente. La Fig.30 representa la adición de los contrafuertes...

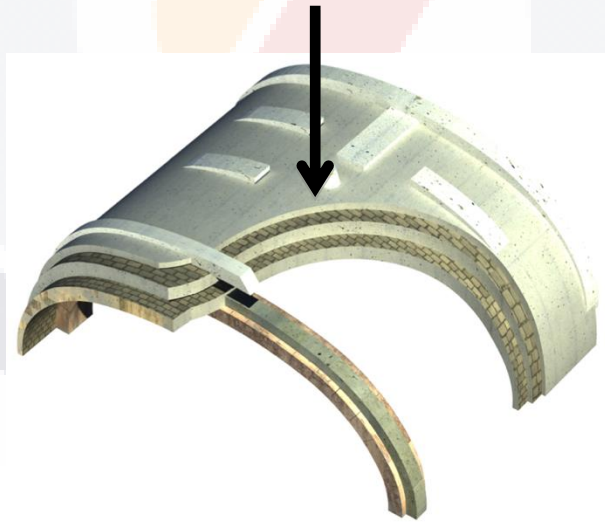


Fig.29: Esquema que muestra la colocación de una capa de concreto sobre la bóveda de cuña de barro lo que añade más peso a la estructura

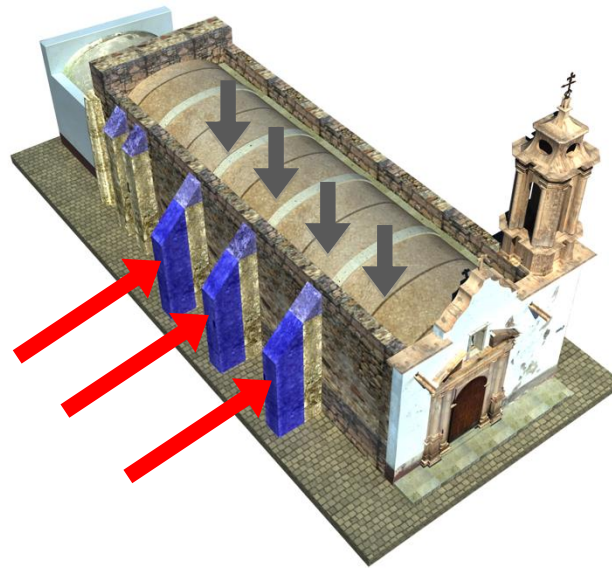


Fig.30: Construcción de Contrafuertes de adobe en fachada poniente

5.4.3 TERCERA INTERVENCION.

A pesar de las intervenciones anteriormente descritas y debido al mal comportamiento estructural del edificio después de colocar los sistemas anteriormente mencionados, la estructura continuó presentando deformaciones en sus muros por lo que en una tercera intervención se optó por colocar unos tensores interiores (Fig.31). Los tensores tuvieron el propósito de evitar que los muros siguieran perdiendo verticalidad a causa de la presión horizontal que la bóveda ejerce sobre ellos. Este sistema de arriostamiento a la fecha ha resultado insatisfactorio, debido a que los tensores se han desprendido de los muros debido a un mal anclaje (Fig.32), además de que la ubicación de los tensores no fue la óptima para conseguir la estabilización de los muros.



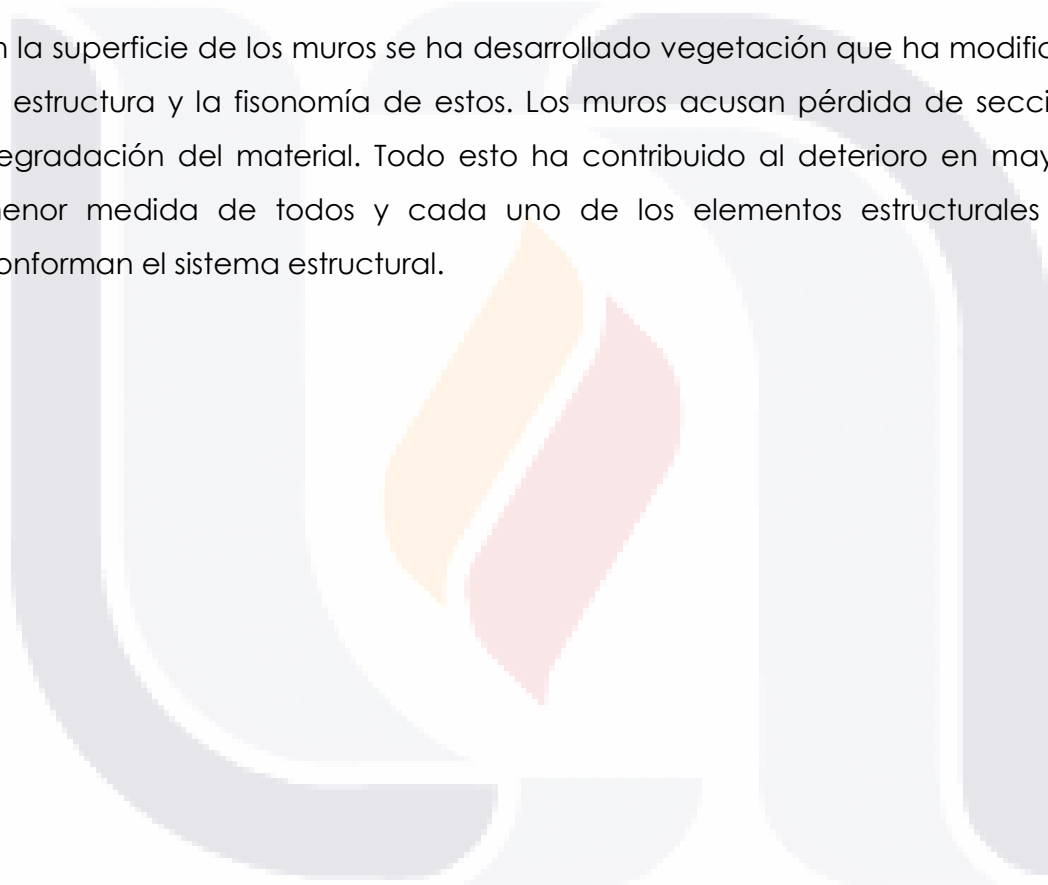
Fig.31: Ubicación de tensores interiores al centro de claros para evitar la pérdida de verticalidad de los muros. Los tensores son de tubería galvanizada lo que sugiere que su adición se realizó de una manera muy improvisada



Fig.32: Detalle del anclaje exterior de los tensores . Se utilizó madera que en la actualidad se encuentra muy deteriorada

La capilla no ha recibido ningún tipo de mantenimiento en los últimos 30 años, por lo que actualmente se encuentra en condiciones de inseguridad. Los materiales y elementos estructurales que se encuentran en contacto con el exterior han sufrido modificaciones en su estructura y en sus características físicas, como pérdida de sección y de resistencia.

En la superficie de los muros se ha desarrollado vegetación que ha modificado la estructura y la fisonomía de estos. Los muros acusan pérdida de sección y degradación del material. Todo esto ha contribuido al deterioro en mayor o menor medida de todos y cada uno de los elementos estructurales que conforman el sistema estructural.



CAPITULO 6.- LEVANTAMIENTO GEOMETRICO.

6.1 INTRODUCCION.

Se realizó el levantamiento geométrico del edificio utilizando equipo de topografía (estación total) para determinar con precisión milimétrica las dimensiones que presenta en planta y en alzado, así como las dimensiones de sus elementos estructurales. Además el levantamiento realizado permitió cuantificar los desplomes que presentan los muros, así como las deformaciones de los arcos interiores.

6.2 OBJETIVO.

Realizar un levantamiento geométrico del edificio para elaborar representaciones en 2 y 3 dimensiones.

Conocer el estado geométrico actual (condición deteriorada).

Obtener los planos correspondientes para el vaciado de la información correspondiente a las patologías (fracturas, desprendimientos etc.) que presenta el edificio.

6.3 METODOLOGIA.

El equipo utilizado fue una estación total marca Sokkia, modelo 630 RK3 que puede medir distancias a objetivos opacos sin necesidad de un prisma. (Fig.33).

El procedimiento que se realizó para la obtención de coordenadas x , y , z de puntos en rasgos relevantes del edificio tales como puntos de inicio y fin del ancho y largo de los elementos estructurales principales, tanto en el exterior como en el interior de la edificación.

Los datos de la posición x , y , z de los puntos levantados se ingresaron en el software AUTOCAD 2012. Uniendo líneas entre los puntos se consiguió generar los planos y representaciones 3D del edificio. La representación geométrica en 3 dimensiones del edificio, posteriormente sería exportado al software SAP 2000 para generar el modelo numérico del edificio en su condición deteriorada.

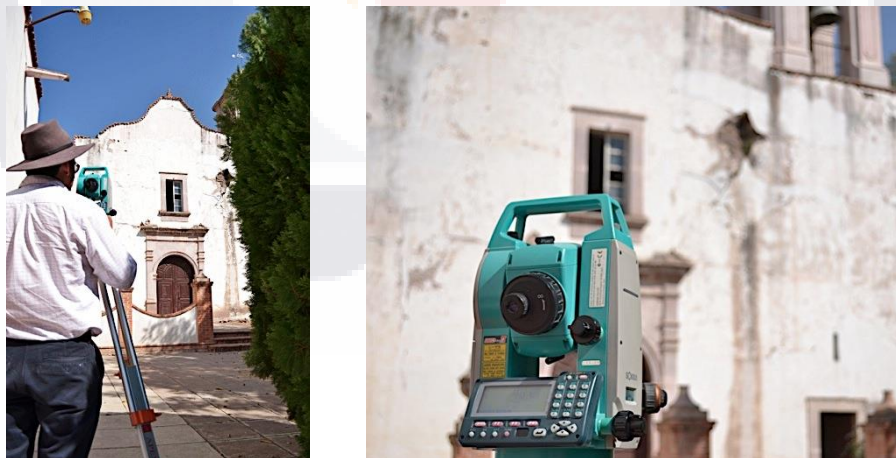


Fig.33: Equipo de topografía utilizado en el levantamiento geométrico.

6.4 PLANOS ARQUITECTONICOS.

Los planos arquitectónicos y de la geometría de La Capilla, resultado del levantamiento geométrico y topográfico tridimensional, se encuentran en el anexo A de este Trabajo.



CAPITULO 7.- IDENTIFICACION Y DESCRIPCION DE PATOLOGIAS.

7.1 INTRODUCCION.

El estudio del edificio requirió obtener datos para evaluar la condición estructural en que se encuentra el edificio. Para conseguir esto se realizó el levantamiento de toda manifestación de falla, grieta, desplome o desprendimiento, presentada en los elementos que conforman el sistema estructural. La información obtenida permitió identificar los tipos de patología que presenta el edificio.

7.2 OBJETIVO.

Determinar el tipo y ubicación de las patologías que afectan al edificio. Obtener datos de deformación, aplastamiento, fracturas etc., para calibrar el modelo numérico, partiendo de la hipótesis de que en las zonas donde el modelo numérico reporte algún tipo de esfuerzo, deberán corresponder con las patologías relacionadas a ese tipo de esfuerzo.

7.3 METODOLOGIA.

Para partir del levantamiento geométrico se definieron los elementos estructurales y se obtuvieron los planos para el vaciado de la información de patologías.

Para mayor facilidad y control del levantamiento se determinaron áreas delimitadas por los ejes principales del edificio. Posteriormente se llevó a cabo una inspección visual a detalle de cada área para detectar cualquier tipo de falla, midiendo en el caso de las grietas longitud de desarrollo, espesor de apertura; describiendo el color o presencia de material vegetal o humedad en caso de muros etc. El levantamiento de patologías fue realizado mediante el llenado de fichas o formularios de reconocimiento, indicando ubicación, tipo de patología, descripción con fotografías de la patología observada.

7.3.1 RECONOCIMIENTO VISUAL.

Durante el recorrido de inspección se identificaron las áreas con mayor deterioro. Se diferenciaron aquellas patologías que afectan elementos estructurales (muros de carga, bóvedas etc.), de aquellas que sólo afectan a los elementos no estructurales como aplanados, pintura y elementos ornamentales. En la Fig.34 se muestra el equipo de colaboración llevando a cabo la inspección visual minuciosa de una de las áreas de la capilla, una vez que se identificaba alguna patología se daba inicio con las mediciones correspondientes.



Fig.34: Inspección visual y reconocimiento de un área de la capilla para localización e identificación de patologías existentes y sus características

Las herramientas utilizadas para la realización del levantamiento de daños e identificación de patologías fueron esencialmente un flexómetro, un distanciómetro de rayo infrarrojo marca Stanley, modelo TLM 300, nivel de mano y plomada.

La patología más perceptible al interior de la Capilla, es el desplome que tienen los muros con respecto a la vertical, se procedió a tomar lectura en un punto a cierta altura para determinar dicho desplome a través de la utilización de nivel de mano y flexómetro para tratar de determinarlo con exactitud. (Fig.35), posteriormente se verifico con estación total, para tener el dato exactamente.



Fig.35: Utilización de herramienta para la determinación de la pérdida de verticalidad en muros.

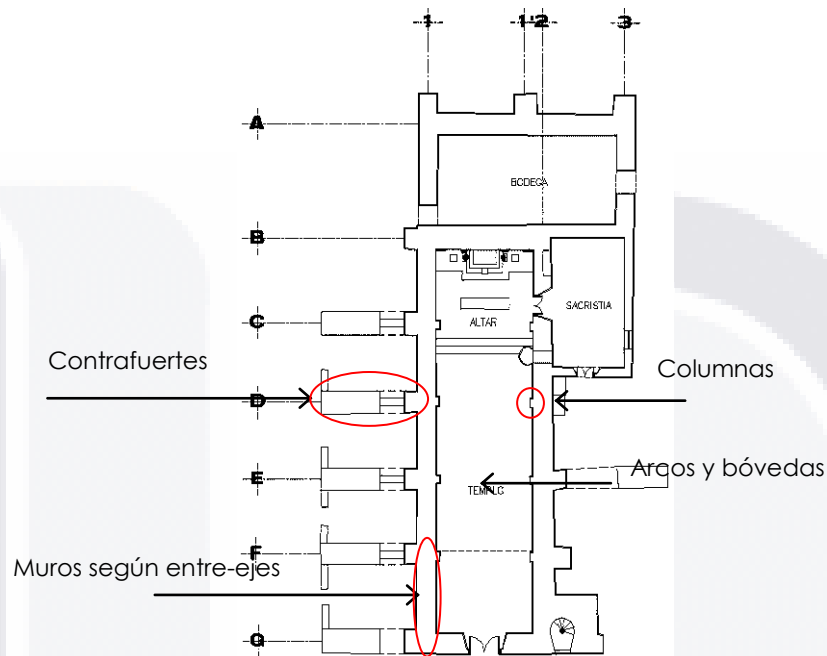


Fig.36: Planta arquitectónica de la Capilla de la trinidad utilizada para la determinación y seccionamiento de las área y elementos estructurales para llevar a cabo el levantamiento de daños.

Las fichas técnicas de las patologías observadas dejarán constancia de los daños y patologías existentes a la fecha de su levantamiento. En ellas se plasmó el tipo de falla o patología, las características propias, el elemento en que se encuentra, la ubicación (representada en la Fig.36), trayectoria y características propias (Fig.37). Contienen además la memoria fotográfica del área específica donde se observó la patología.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

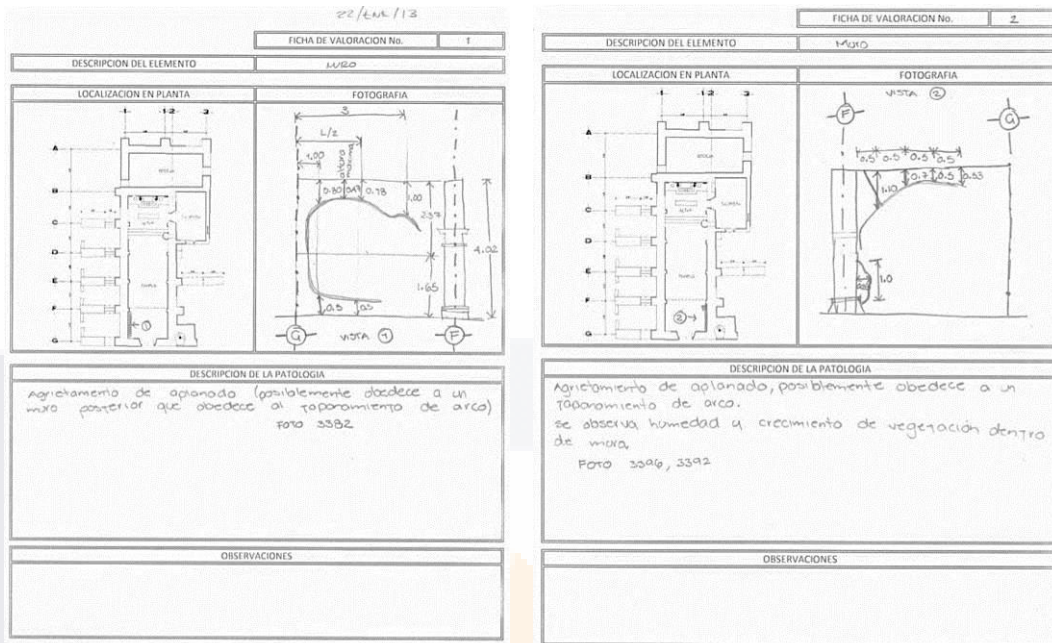


Fig.37: Imágenes escaneadas de fichas técnicas realizadas en campo.

A continuación se presentan algunas imágenes de algunas patologías encontradas (Fig.38, 39, 40 y 41)



Fig.38: Fotografía de crecimiento de material orgánico vegetal al interior de los muros de la Capilla, con desprendimiento de acabado.



Fig.39



Fig.40

Fig.39: Presencia de humedad con agrietamiento, separación entre el muro y la columna. Aparición de moho, desprendimiento de pintura y repellado a causa del crecimiento de material vegetal

Fig.40: Medición de desplome del muro de lado poniente, por medio de nivel de mano, en la imagen es evidente la pérdida de verticalidad debido al pateo de la bóveda.



Fig.41: Desprendimiento de aplanado y pérdida de sección del material base del muro de la fachada oriente severamente intemperizado.

7.4 ELABORACION DE FICHAS TECNICAS.

7.4.1 FORMATO DE FICHAS TECNICAS.

Las fichas del levantamiento de patologías usadas en campo son formularios con un formato diseñado previamente. La ficha se diseñó para que se levantara los datos más importantes de las patologías encontradas, incluyendo el elemento afectado, ubicación en el contexto arquitectónico, descripción de la patología, archivo fotográfico, ubicación o trayectoria de la falla si de esta se trata. (Fig.42).

The diagram shows a technical form with several sections and annotations:

- Top Section:** A header box containing 'FICHA DE VALORACION No. 02'. Below it, a row with 'DESCRIPCION DEL ELEMENTO' and 'FECHA'.
 - Annotation: 'Nombrar aquí el elemento analizado' points to the 'DESCRIPCION DEL ELEMENTO' field.
 - Annotation: 'Se colocará el número de ficha en orden cronológico según el avance y el elemento' points to the 'FICHA DE VALORACION No. 02' box.
 - Annotation: 'Inscripción de fecha cuando fue realizado el levantamiento' points to the 'FECHA' field.
- Second Section:** A box divided into 'LOCALIZACION EN PLANTA' and 'FOTOGRAFIA'.
 - Annotation: 'Localización dentro del conjunto según la planta arquitectónica' points to the 'LOCALIZACION EN PLANTA' field.
 - Annotation: 'Colocación de fotografía indicando la ubicación de la patología y trayectorias.' points to the 'FOTOGRAFIA' field.
- Third Section:** A box labeled 'DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA'.
 - Annotation: 'Descripción de la patología indicando las características mas importantes observadas' points to this field.
- Fourth Section:** A box labeled 'OBSERVACIONES'.
 - Annotation: 'Observaciones en particular debido al grado de deterioro o avance de la patología.' points to this field.

Fig.42: Formato de ficha técnica para el registro de Patologías

7.4.2 DIGITALIZACIÓN DE FICHAS TÉCNICA

El levantamiento de daños se reflejó con el vaciado de los datos obtenidos a través de la inspección visual y de la descripción de las características de las patologías encontradas, el resultado obtenido fueron las fichas técnicas que contienen la información detallada, estas fichas se encuentran en el anexo B de este trabajo.

7.5 CONCLUSIONES.

La información obtenida muestra que los elementos estructurales (muros contrafuertes, bóvedas) manifiestan afectaciones de diferente origen y diferente intensidad. En la Tabla 1 se resumen las patologías observadas.

Tabla 1 RESUMEN DE PATOLOGIAS

ELEMENTO ESTRUCTURAL	PATOLOGIA OBSERVADA	PROBABLE ORIGEN	MAGNITUD MAXIMA OBSERVADA O ESTADO ACTUAL
MUROS	Humedad	Filtración de agua de lluvia	4.0 m2
	Agrietamientos	Crecimiento de material vegetal al interior, resanes posteriores.	altura total del muro 8.0 mts, ancho de 30 cm.
	Desplome	Pateo o empuje de los arcos en la parte superior	5 cm
	Perdida de sección	Intemperismo	20.0 m2
	Abultamiento de aplanado	Esfuerzos de muro y crecimiento de material vegetal	5.0 m2

CAPILLA LA TRINIDAD
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

COLUMNAS	Agrietamiento	Esfuerzos de tensión	40 cm largo, 2 mm de espesor y 3 mm de prof.
	Perdida de sección	Aplastamiento del material	
	Separación entre piezas de cantera	Esfuerzos producidos por el desplome del muro	5 mm de separación
	Humedad	Filtración de agua de lluvia	De nivel 0.0 a 4.5 m de altura.
	Desplome	Esfuerzos producidos por el desplome del muro	5 cm
ARCOS	Perdida de geometría	Esfuerzos de tensión	severo
	Separación de bloques de cantera	Esfuerzos de tensión	severo
	Perdida de piezas	Esfuerzos de tensión	severo
	Agrietamiento	Esfuerzos de tensión	severo
	Humedad	Filtración de agua de lluvia	
BÓVEDA INTERIOR	Agrietamiento	Esfuerzos de tensión	20.0 m de largo, 2 mm de espesor
	Desprendimiento de aplanado	Esfuerzos de tensión	1.0 m ²
	Separación con respecto al muro	Esfuerzos de tensión	todo el perímetro de los costados
PILASTRAS	Desprendimiento de aplanado	Intemperismo	20.0 m ²
	Separación con respecto al muro	Esfuerzos producidos por el desplome del muro	
	Perdida de sección	Intemperismo	8.0 m de long.
	Humedad	Intemperismo	
	Crecimiento de material vegetal	Intemperismo	
ESCALERA	Desprendimiento de aplanado	Intemperismo	2.0 m ²
	Humedad	Filtración de agua de lluvia	
	Desgaste de escalones	paso del tiempo	
BÓVEDA EXTERIOR	Agrietamiento	Esfuerzos de tensión	20.0 m de largo, 3 mm de espesor y 5 mm de prof.
	Exposición de Acero de Refuerzo	Intemperismo	

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

CONTRAFUERTE LADO PONIENTE	desplomes	Intemperismo	Severo
	Perdida de sección	Intemperismo	severo
PRETILES	Desprendimiento de aplanado	Intemperismo	8.0 m2
	desplomes	Intemperismo	
	Perdida de sección	Intemperismo	
	Crecimiento de material vegetal	Intemperismo	

Debido a la gravedad de las patologías y condiciones de los elementos, se recomienda tomar acciones de manera inmediata, para evitar que la estructura y los componentes del edificio continúen fatigándose.

CAPITULO 8.- CARACTERIZACION DINAMICA DEL TERRENO Y DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

8.1 INTRODUCCION.

En este capítulo se describen las diferentes campañas de mediciones en campo para determinar la frecuencia natural con la que vibran los elementos estructurales que conforman el sistema en general. Los resultados de estos trabajos sirvieron además para calibrar el modelo numérico.

8.2 OBJETIVO.

Determinar experimentalmente la frecuencia natural con la que vibran los elementos estructurales (muros, bóvedas, arcos,) y el terreno sobre el cual está desplantado el edificio.

8.3 METODOLOGIA.

El procedimiento para la obtención de los datos, consistió en la toma de lecturas de vibración ambiental y vibración forzada.

Los registros obtenidos fueron procesados para la obtención de las frecuencias dominantes aplicándoles a las series de tiempo la transformada rápida de Fourier. Se obtuvieron gráficas en el dominio de la frecuencia, que nos permitieron caracterizar el comportamiento dinámico de la estructura en general.

Los datos servirán también de referencia para comparar la respuesta dinámica del edificio en las condiciones actuales (dañado) con mediciones que se sugiere sean realizadas una vez que la recuperación estructural se efectúe, para contrastar y tener una forma de cuantificar la recuperación estructural del edificio.

8.4 EQUIPO UTILIZADO.

Para la adquisición de datos se utilizó un sistema de 24 canales, se emplearon geófonos verticales y horizontales de 4.5 Hz (Fig.43), y como controlador se empleó un sismógrafo Geometrics modelo GEODE (Fig.44).

Un geófono es un dispositivo mecánico que se utiliza para detectar las vibraciones sísmicas. Los geófonos miden velocidad del movimiento, transforman el movimiento del sensor en pulsos eléctricos directamente proporcionales a la velocidad del movimiento de tierra. Estos dispositivos miden el movimiento de manera unidireccional, por lo que para caracterizar un movimiento se utilizan en grupos de al menos tres, uno en cada dirección principal (X, Y y Z).

Los registros del sismógrafo están dados en voltaje. Para determinar el valor de la aceleración existe una constante asociada a las características del geófono llamada sensibilidad intrínseca. Es un factor que se usa para convertir los datos de los registros de volts a velocidad. La sensibilidad intrínseca de los geófonos usados es 0.28 V / cm / sec.



Fig.43: Imágenes de geófonos utilizados en la toma de lecturas.

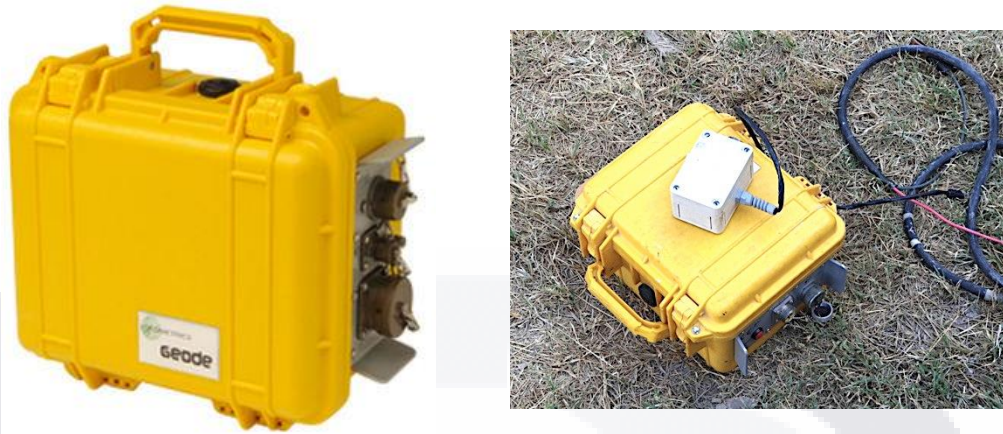


Fig.44: Sismógrafo Geode Ultra-light.

El sistema es controlado por medio de una laptop conectada al sismógrafo. En la Fig. 45 se presenta una fotografía de la laptop durante la adquisición de un registro de vibración ambiental.



Fig. 45 Imagen de laptop utilizado en campo.

8.5 CARACTERIZACION DINAMICA DEL TERRENO.

La caracterización del terreno consistió en la toma de registros de vibración ambiental para determinar el periodo fundamental en el que está vibrando el terreno mediante la técnica de Nakamura o también conocida como análisis espectral H/V (Nakamura, 1989).

La vibración ambiental es generada principalmente por la actividad humana tal como el funcionamiento de maquinaria industrial y el tráfico de vehículos (Kanai y Tanaka, 1961), además también contiene vibraciones producidas por el viento, que son introducidas en el subsuelo por árboles, edificaciones, o por su impacto con el relieve.

La vibración ambiental además contiene efectos naturales. Algunos investigadores consideran que el ruido de origen natural está formado por ondas superficiales generadas en zonas de interacción océano-continente, modos fundamentales de vibración del planeta, cambios en la presión atmosférica y actividad volcánica interna (Espinoza, 1999).

La determinación de características dinámicas del suelo utilizando vibración ambiental fue impulsada gracias a la técnica de Nakamura (Nakamura, 1989), que en la actualidad constituye una herramienta para determinar los espesores de los sedimentos además que ha demostrado ser una de las técnicas más económicas y confiables para determinar las frecuencias predominantes de los depósitos de suelo blando. (Espinoza, 1999).

La teoría concerniente a la técnica de Nakamura está ampliamente descrita en la literatura, (p.e. Nakamura and Saita, 2004; Nakamura, 1999, 2000, 2008). En este trabajo se emplea la técnica como una herramienta para la caracterización dinámica del terreno.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

El procedimiento en campo para la adquisición de datos consistió en formar grupo de 3 geófonos por punto medido (dos horizontales y un vertical), para obtener información en las direcciones ortogonales X, Y, Z (Fig.46).

El eje de las X, corresponde a la dirección horizontal longitudinal de la capilla, el eje Y corresponde a la dirección horizontal transversal y el eje Z al de la dirección vertical (Fig.47).

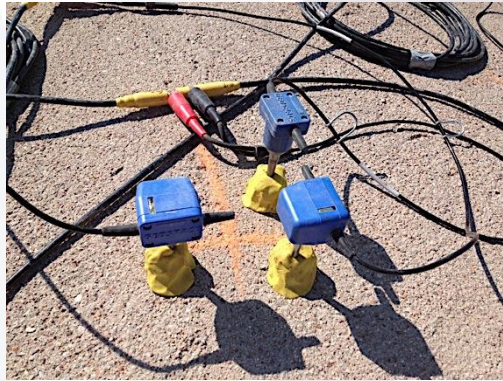


Fig.46: Colocación de geófonos en la dirección según los ejes manifestados en la medición del terreno.

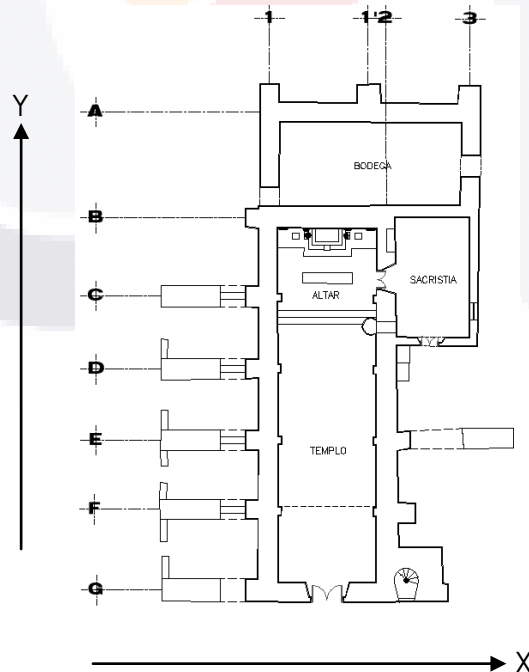


Fig.47: Ejes de referencia para la adquisición de registros de vibración ambiental.

Las mediciones fueron realizadas con una longitud de registro de 5 seg para los registros de vibración forzada, y de 20 seg para los registros de vibración ambiental. Para el caso de la vibración ambiental se tomaron tres registros de en cada punto, para que el análisis de frecuencias fuera más robusto.

8.5.1 DISTRIBUCION DE GEOFONOS.

La ubicación de los puntos medidos en el terreno estudiado se muestra en la Fig.48. Básicamente se colocaron los grupos de geófonos alrededor de la capilla como lo muestra la Fig.48

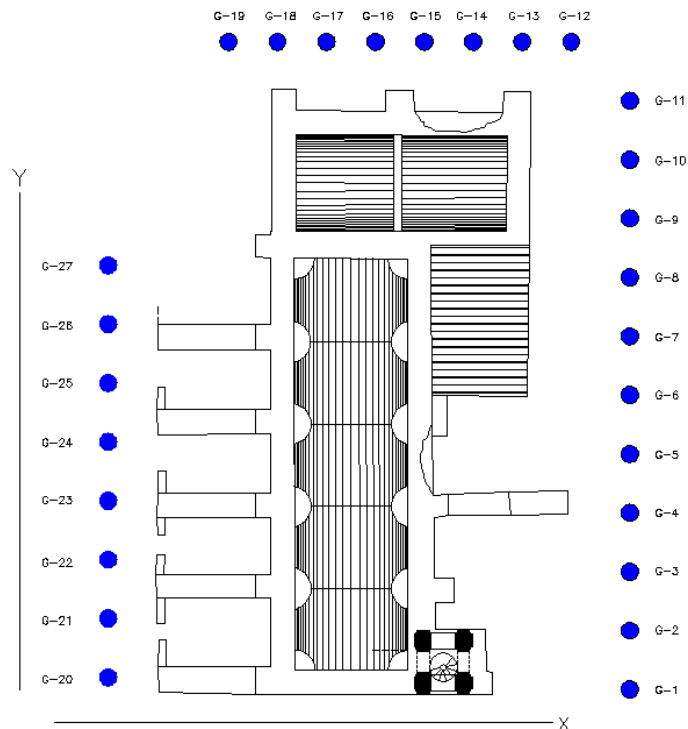


Fig.48: Distribución de los grupos de geófonos para la medición de vibración ambiental del terreno.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

En las Fig.49 y Fig.50 se presentan algunos aspectos de la adquisición de datos para la caracterización dinámica del terreno.



Fig.49: Colocación de la primera línea de medición de 24 canales dividida en 8 grupos de 3 cada uno, con geófonos para la medición de los ejes X, Y y Z.



Fig.50: Lectura de Vibración ambiental en el costado Poniente de la capilla correspondiente a la línea de medición para los grupos G-20 al G-27.

8.5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS.

Los registros de datos son guardados por el software que controla la adquisición en formato SEG. El primer paso en el procesamiento de datos es una conversión de los registros en formato SEG a formato ASCII por medio del programa TAPE.exe proporcionado de forma gratuita por GEOMETRICS INC. El software TAPE.exe nos permite visualizar las gráficas de la información obtenida en campo de cada canal. El software produce un archivo ASCII con dos columnas de datos, una es el tiempo en milisegundos, y la otra son las amplitudes del movimiento en milivolts.

Posteriormente los datos se procesaron en Microsoft Excel, en donde los datos se convierten de mv a velocidad a través de la constante (sensibilidad intrínseca) del geófono usado. El proceso que sigue es guardar los datos de velocidad en formato ASCII para leerlos con el programa Degtra A4 (programa desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM).

Con el programa Degtra A4 se calcularon los espectros de frecuencias aplicando la transformada rápida de Fourier a serie de tiempo de cada registro realizado (dos horizontales y un vertical) en cada punto medido. Una vez calculado el espectro de frecuencias de cada registro, se calcula la función de transferencia o razón espectral H/V. La función se calcula para las dos direcciones horizontales y se realiza con el mismo programa DEGTRA A4.

Las funciones de transferencia se graficaron para identificar la frecuencia dominante en cada registro.

En la Fig.51 esquematiza el uso de los diferentes programas informáticos para el procesamiento de los datos para la obtención de resultados, iniciando con la obtención por medio de la computadora laptop como receptora, los datos son ingresados al programa TAPE.exe y de inicio la pantalla nos muestra los canales activos así como el comportamiento de las ondas Fig.52.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

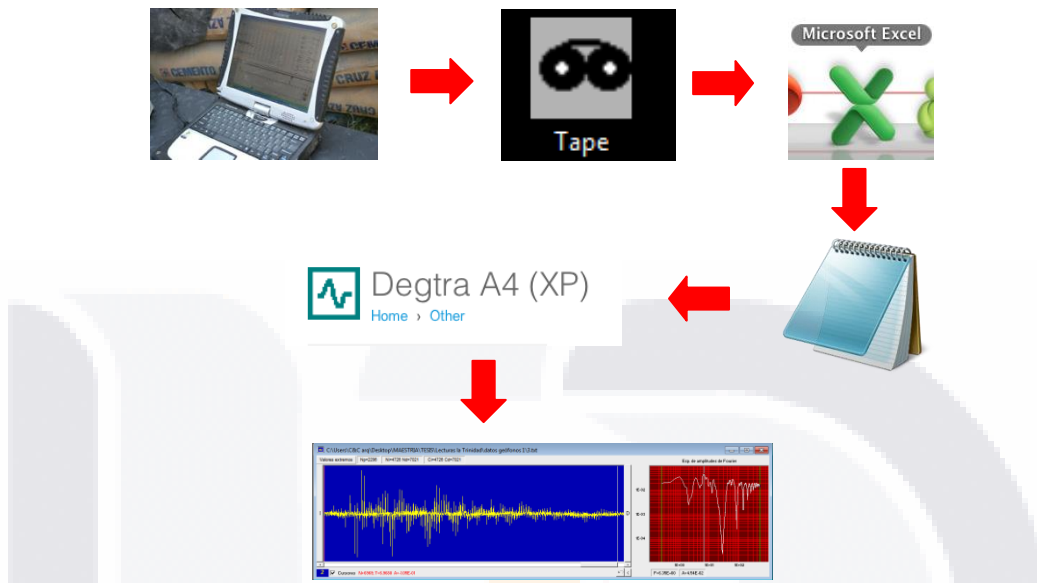


Fig.51: Diagrama de procesamiento de datos para la obtención de la frecuencia de los elementos.

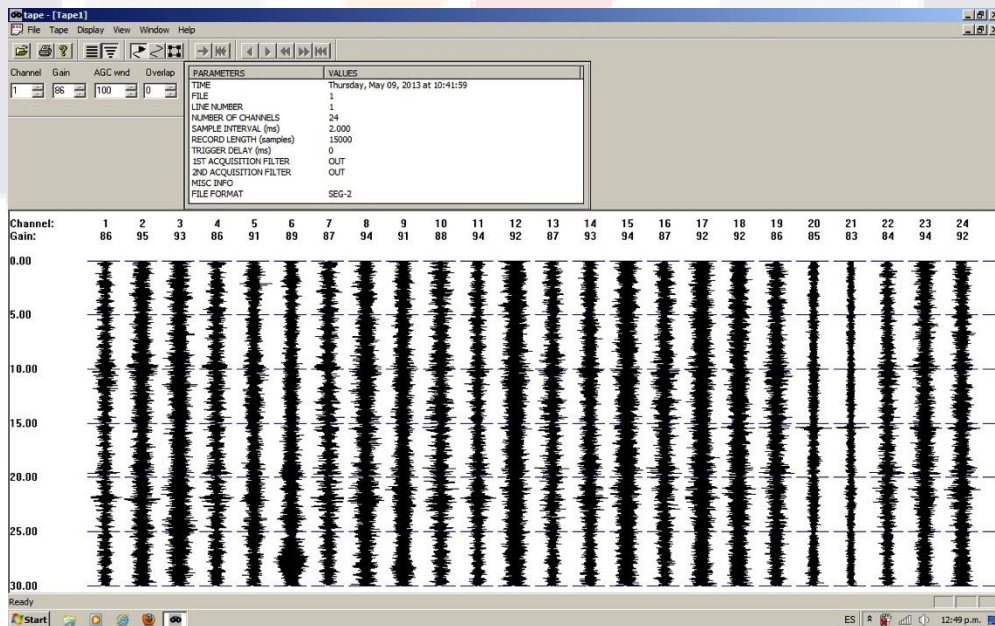


Fig.52: Gráfica obtenida a través del programa TAPE de archivo .dat de toma de lectura de vibración ambiental del terreno para conversión de dato a archivos tipo Ascii.

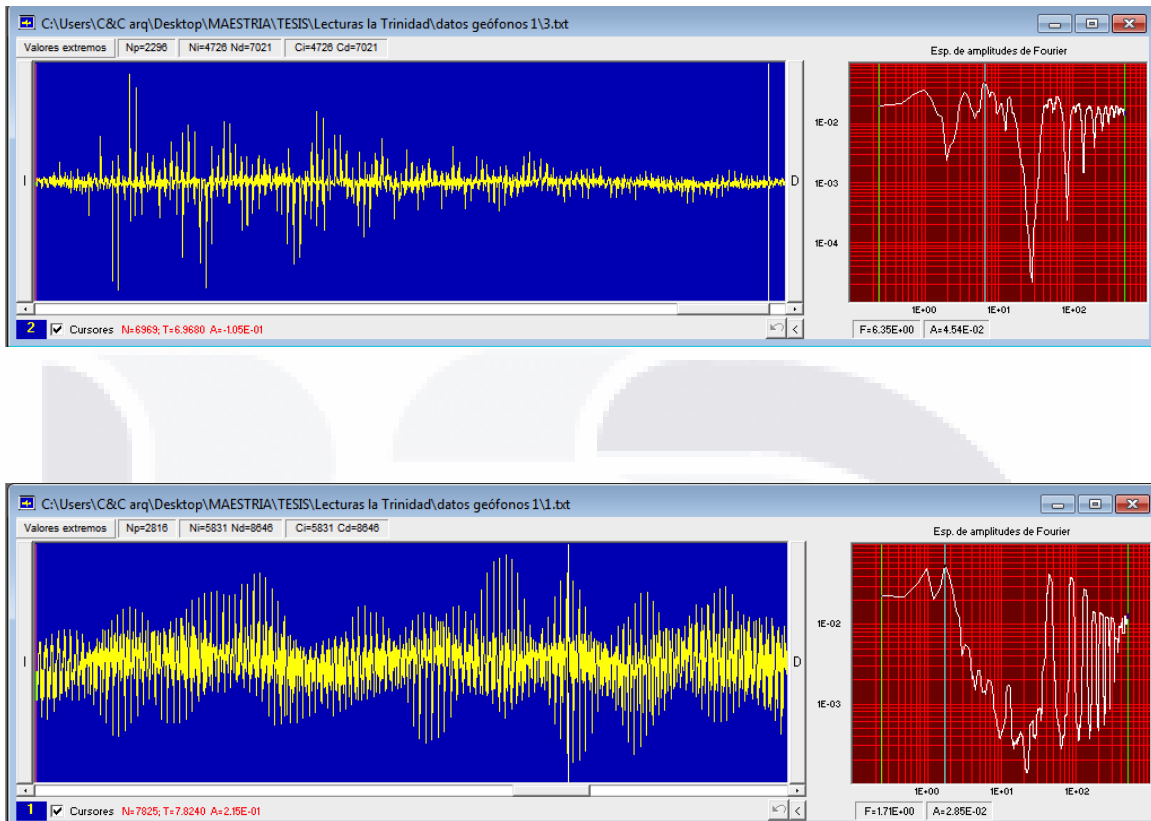
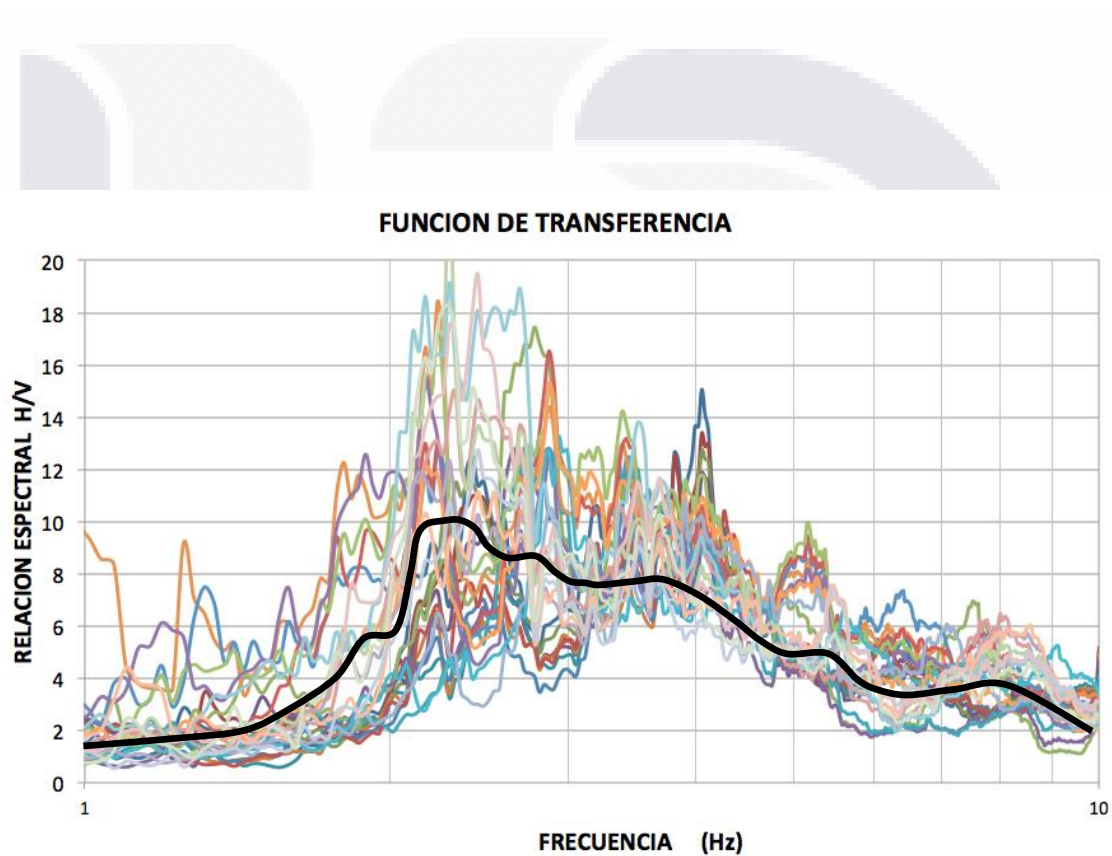


Fig.54: Gráficas de vibración ambiental y de golpe, generadas por el programa Degtra A4 del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Correspondientes al terreno, mostrando en su parte derecha el espectro de Fourier arrojado según los datos suministrados.

8.5.3 RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DEL TERRENO.

Uno de los objetivos de la caracterización dinámica del terreno y de la estructura, fue el de verificar que no se encuentren vibrando a la misma frecuencia. Esto nos permitió verificar que la estructura no entre en resonancia con el terreno ante la vibración inducida por el tráfico de los vehículos que transitan por las carreteras aledañas.

La frecuencia natural del terreno se determinó mediante la obtención de una envolvente suavizada de todos los resultados arrojados por el análisis espectral H/V, los 27 puntos medidos fueron graficados, el resultado arrojado según la media indica que el terreno vibra con frecuencias de entre 2.2 y 4.0 Hz (Hertz) presentándose la amplitud máxima en 2.4 hz como lo indica la Gráfica 1



Gráfica 1: Gráfica de la función de transferencia mostrando la frecuencia con la que vibra el terreno donde está construida la capilla de la trinidad.

8.6 MUROS.

La instrumentación implementada para la caracterización de los muros, fue propuesta a partir de la necesidad de conocer la respuesta dinámica de los muros. Se obtuvieron registros de vibración ambiental y de vibración inducida. Se midió sólo la dirección transversal del muro. Se utilizaron geófonos horizontales de 4.5 hz, colocados sobre la parte más alta del muro, con una separación de 1.0 m entre ellos (Fig.55, Fig.56 y Fig.57).



Fig.55: Medición para la colocación de los geófonos en muro de fachada oriente.



Fig.56: Distribución de geófonos en el muro de la fachada oriente.

Se tomaron lecturas con una longitud de registro de 5 segundos para la vibración inducida y de 30 segundos para las de vibración ambiental.



Fig.57: Preparación y conexión del equipo de medición para toma de vibraciones en muro.

La ubicación de los geófonos en el muro oriente se presenta en la Fig.58, mientras que la Fig.59 presenta la ubicación de los geófonos en el muro poniente

El procesamiento de los datos para caracterizar el comportamiento dinámico de los elementos estructurados se procesó de manera similar a los del terreno, sin embargo sólo se determinó el espectro de frecuencias de los registros, el cual contiene la información de las frecuencias dominantes con que vibra el muro. Las gráficas correspondientes al muro oriente se presentan en las Gráfica 2 y Gráfica 3, mientras que las correspondientes al muro poniente se muestran en las Gráfica 4, Gráfica 5 y Gráfica 6.

CAPILLA LA TRINIDAD
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

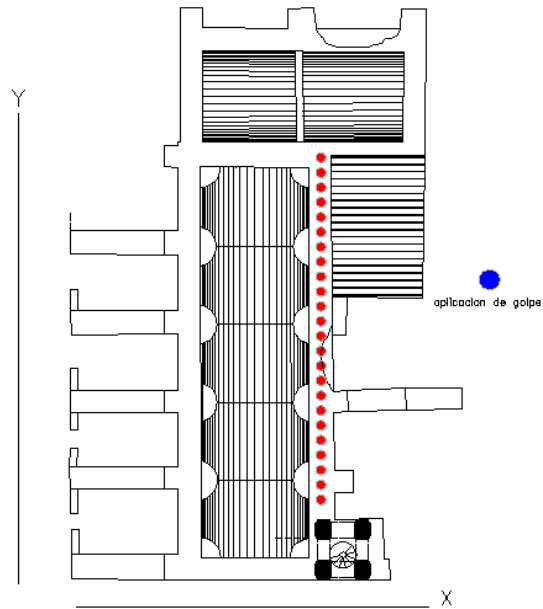


Fig.58: Ubicación de geófonos en muro de fachada oriente y localización de punto de golpe en planta arquitectónica.

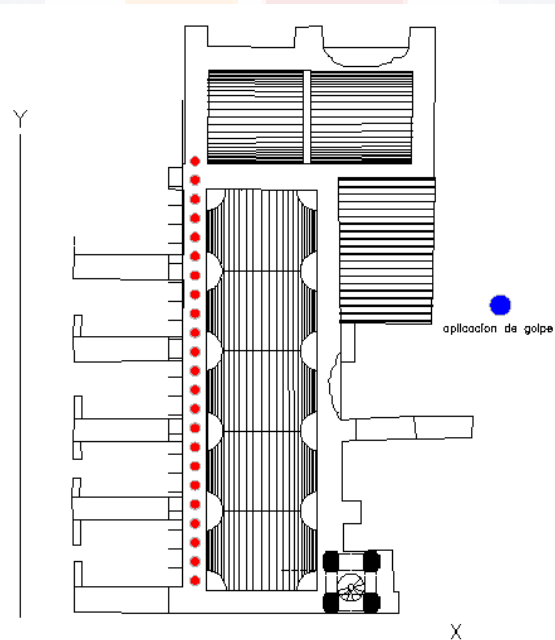
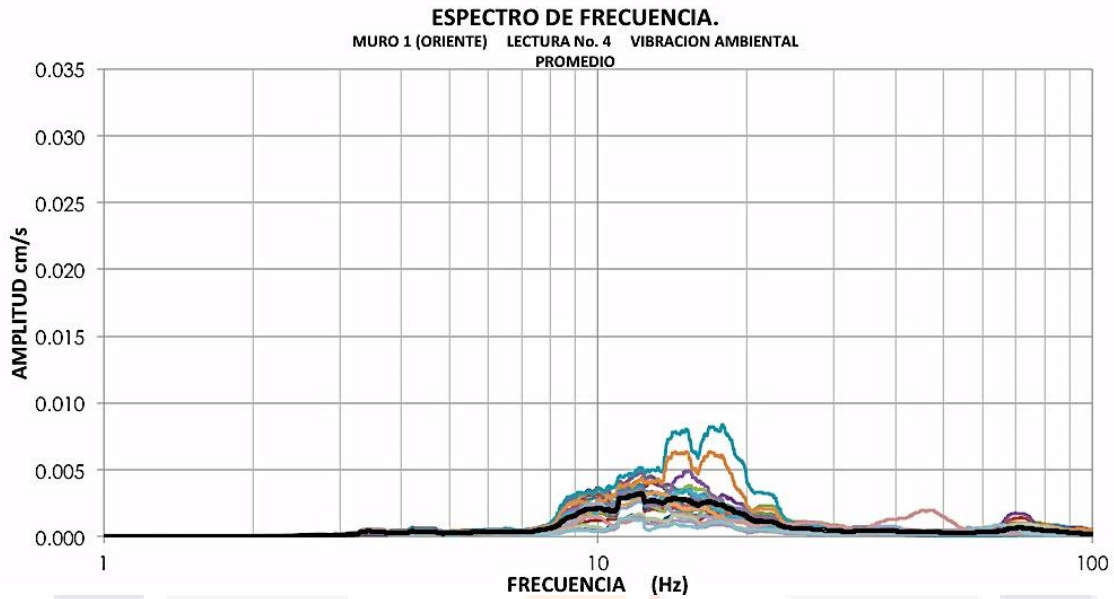
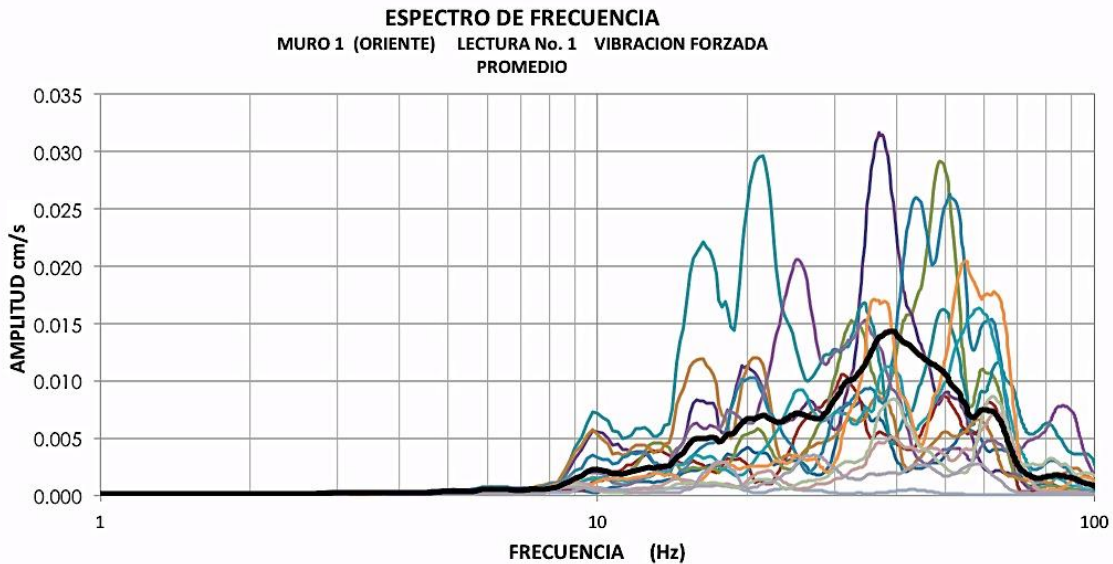


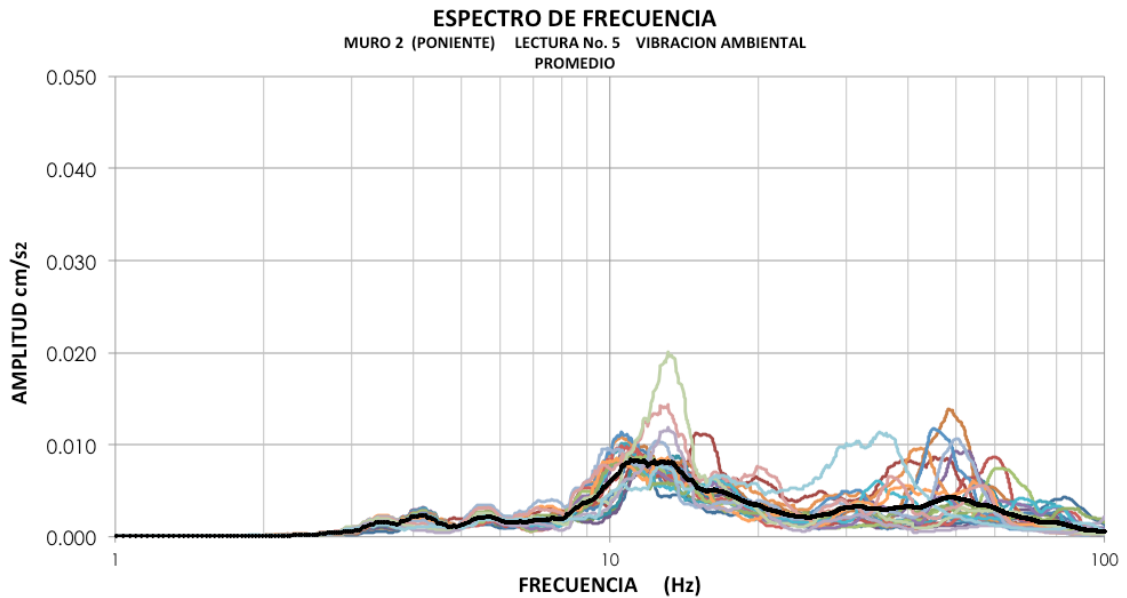
Fig.59: Ubicación de geófonos en muro de fachada poniente y localización de punto de golpe en planta arquitectónica.



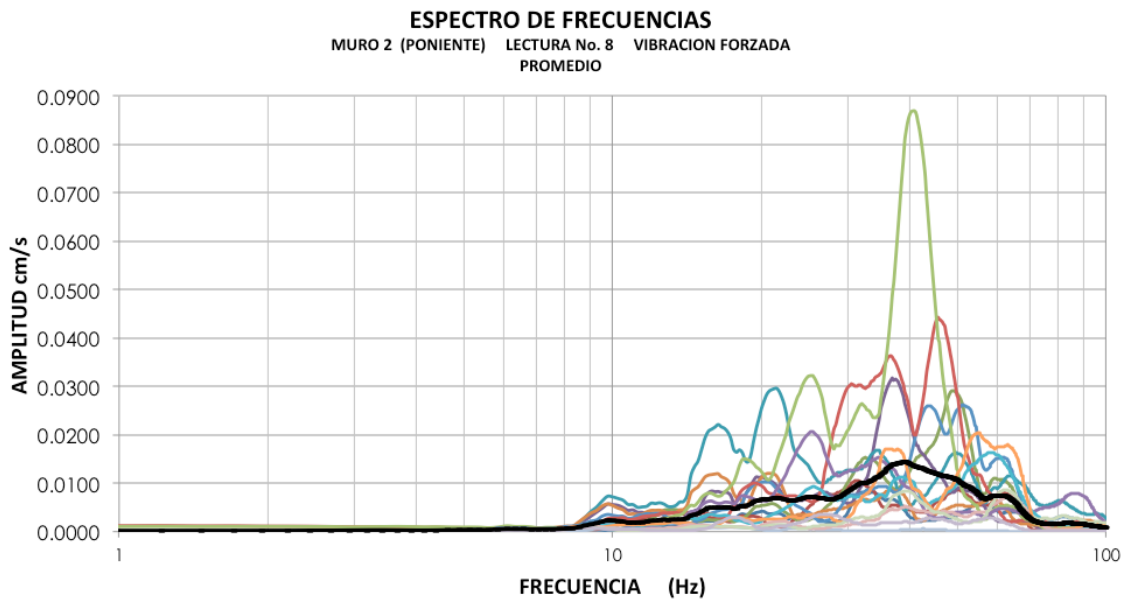
Gráfica 2: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro oriente con lectura de vibración ambiental promedio



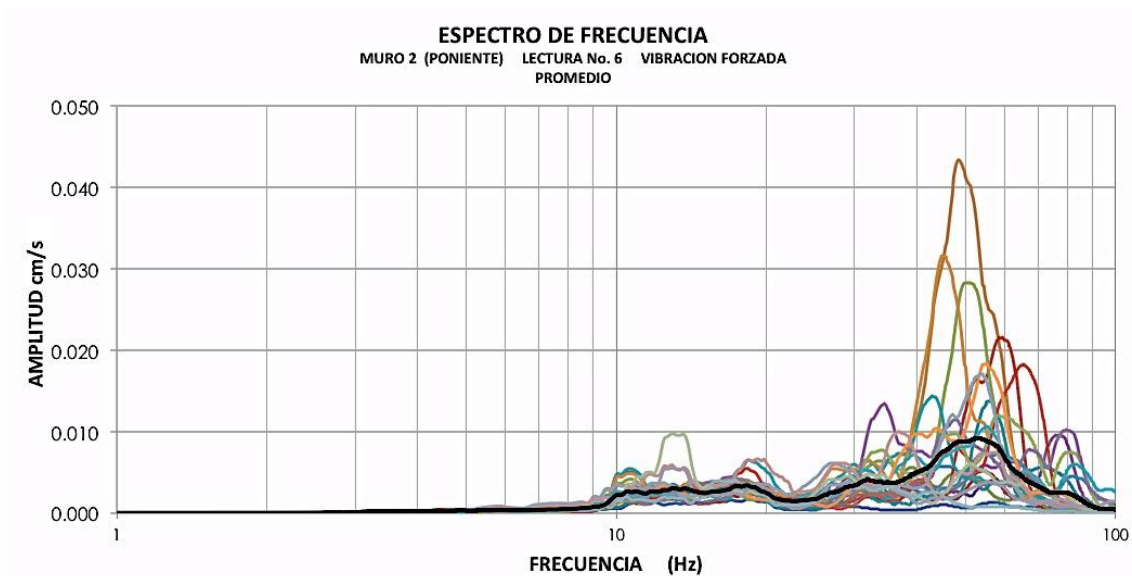
Gráfica 3: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro oriente con lectura de vibración producida por golpe promedio.



Gráfica 4: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro Poniente con lectura de vibración ambiental promedio



Gráfica 5: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro Poniente con lectura de vibración producida por golpe promedio con intervalo de 0.5 ms.



Gráfica 6: Gráfica de frecuencia natural de vibrar de muro Poniente con lectura de vibración producida por golpe promedio con intervalo de 2.0 ms

Los resultados mostrados en las Gráfica 2, Gráfica 3, Gráfica 4, Gráfica 5 y Gráfica 6 muestran las frecuencias obtenidas en la toma de lecturas de vibración ambiental presentan una frecuencia dominante de 12 Hz y de 39 Hz las lecturas de vibración forzada, los resultados se analizaron tomando como referencia los resultados obtenidos en la función de transferencia del terreno (Gráfica 1), por lo tanto se concluye que la frecuencia natural de los muros es mayor a la frecuencia obtenida del terreno, por lo que se descarta el efecto de amplificación de vibraciones, esto se traduce a que el edificio no entrará en resonancia con el terreno.

8.7 BOVEDA.

Para el levantamiento de datos se dividió el sistema de techo en 5 secciones según las bóvedas individuales delimitadas por los ejes que presenta la planta arquitectónica en la Fig.60

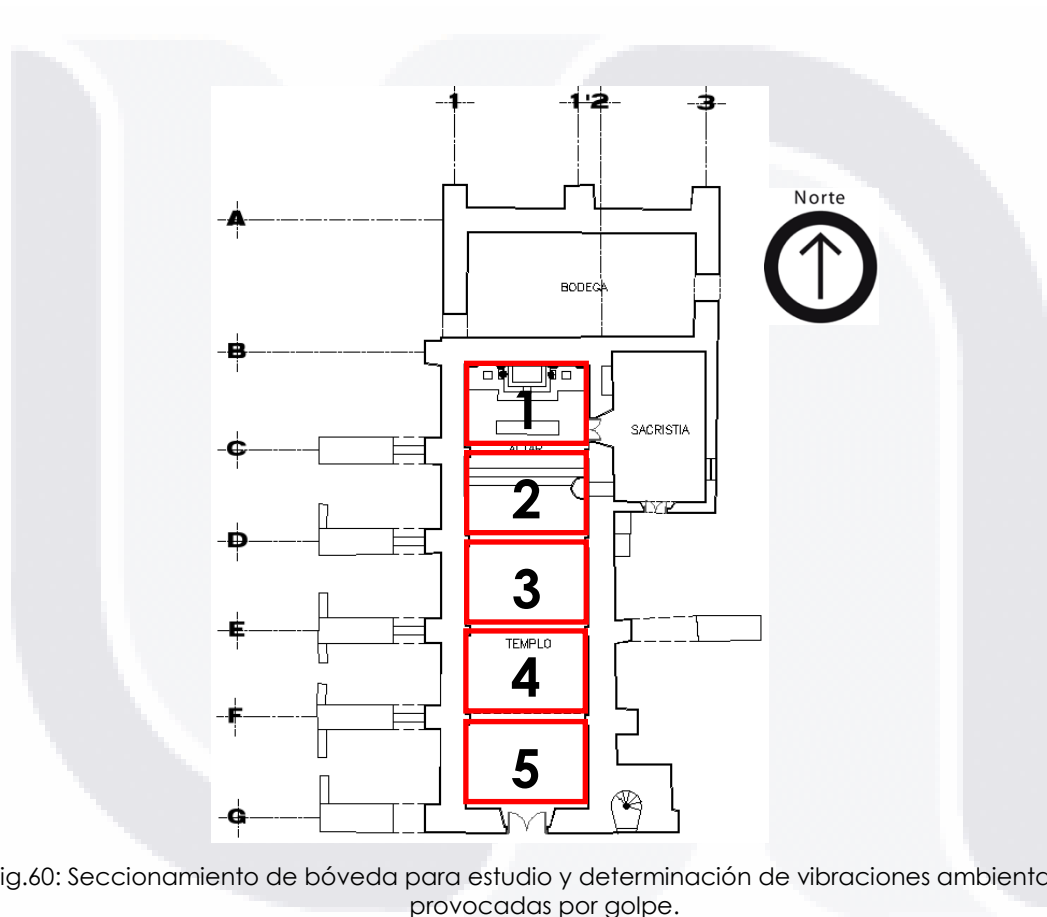


Fig.60: Seccionamiento de bóveda para estudio y determinación de vibraciones ambientales y provocadas por golpe.

En la Fig.61 se presenta la ubicación de los diferentes puntos medios en cada sección del sistema de techo. En cada sección del techo se midieron 8 puntos. Cada punto consistió en la medición con tres geófonos para tomar lecturas en las direcciones X, Y y Z respetando la orientación que se observa en la. Fig.47

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

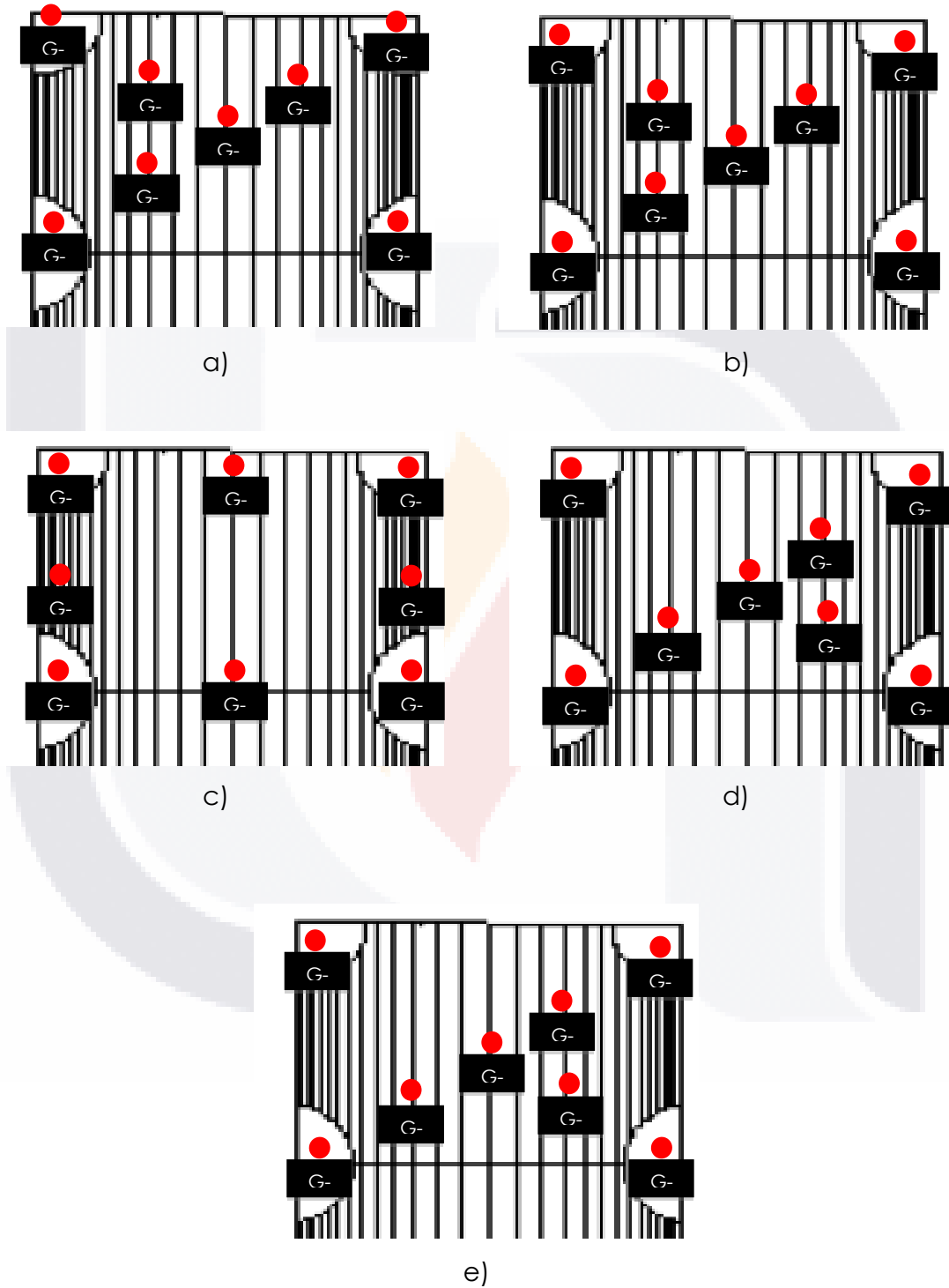
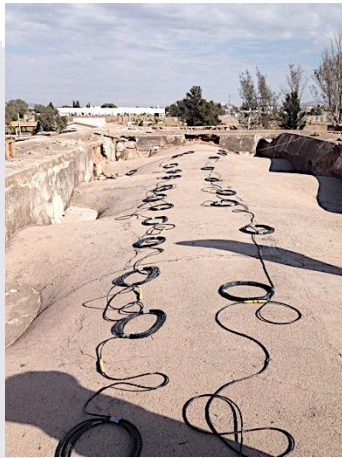


Fig.61: Distribución de grupos de geófonos en los segmentos de bóveda:
a) Bóveda 1, b) Bóveda 2, c) Bóveda 3, d) Bóveda 4 y e) Bóveda 5

En la Fig.62 b) y c), se observa la instrumentación y ubicación real de los grupos de geófonos en la sección de la bóveda 2 según el esquema presentado en la Fig.61, la Fig.62 a) muestra el tendido del cableado previo a la conexión de la línea de lectura.



a)



b)



c)

Fig.62: a). Preparación de cableado de conexión de geófonos
b) y c). Instrumentación del segmento de bóveda No. 2 respectivamente.

Se tomaron lecturas con una longitud de registro de 20 seg para los registros de vibración ambiental y de 5 segundos para la vibración inducida por el golpe de un marro de 10 lb, golpeando sobre el terreno natural a un lado del edificio (Fig.63).



Fig.63: Fotografía de generación de vibraciones por medio de golpe, en la parte inferior izquierda se observa la placa que es golpeada con un marro de 20 lbs.

Las lecturas del comportamiento de las vibraciones se ven reflejadas en la pantalla de la laptop, Fig.64, en ella se observa el momento en que las ondas se magnifican debido al golpe producido.

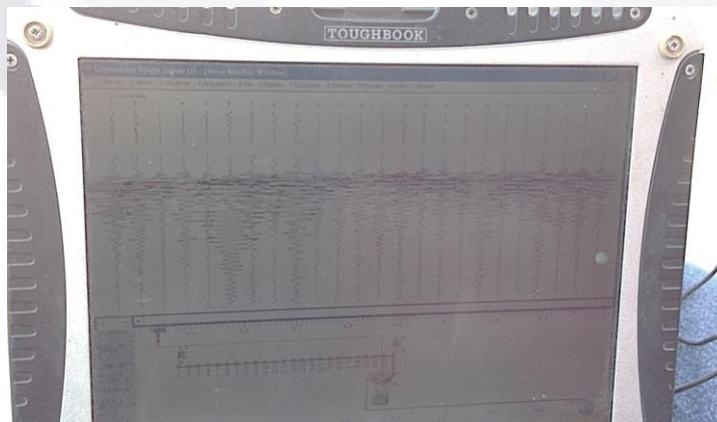


Fig.64: Imagen de la respuesta del comportamiento de las vibraciones cuando son generadas por medio de golpe.

Los resultados obtenidos de las campañas de toma de datos in situ de vibración ambiental de las bóvedas están representados y mostrados en la fig.65.

En las gráficas de la imagen se observa que los segmentos de bóveda se encuentran vibrando aproximadamente con la misma frecuencia 18 Hz., sin embargo se observan algunas diferencias en las amplitudes presentadas como lo muestra la gráfica de las bóvedas 1, lectura 184 y bóveda 2, lectura 173, donde las amplitudes son mayores, que se interpreta como sanas debido a que la velocidad de la onda viaja más rápido, por lo tanto el segmento de bóveda presenta mayor rigidez.

Así mismo se interpreta que las bóvedas 3, 4 y 5 muestran menor amplitud. Por lo que se traduce a menor rigidez, y que posiblemente presentan alguna discontinuidad o falla en su estructura.

8.7.1 RESULTADOS EN BOVEDAS DE AZOTEA, REGISTROS DE VIBRACIÓN AMBIENTAL.

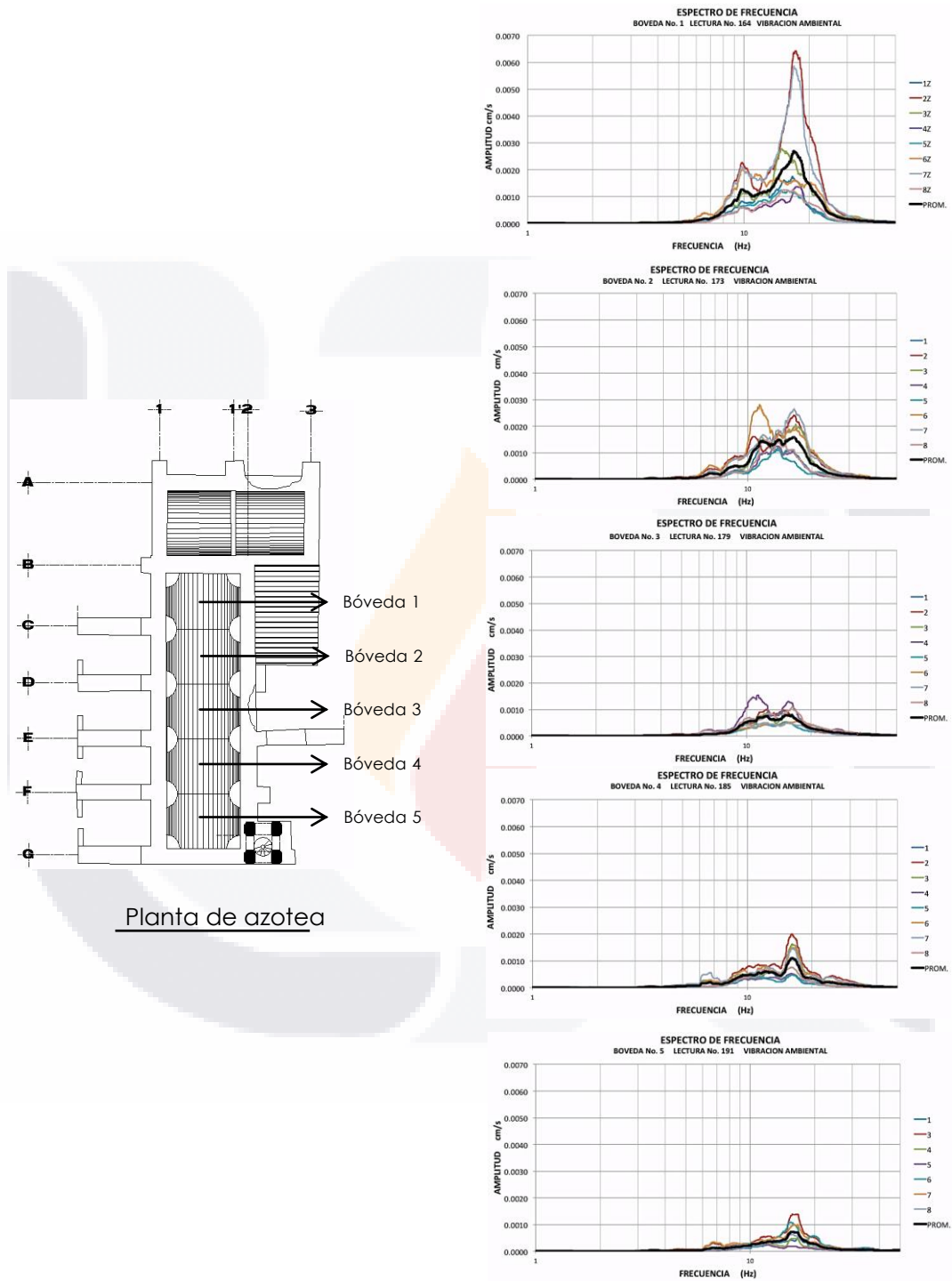


Fig.65: Gráficas de resultados de la frecuencia natural de los segmentos de bóveda de la No. 11 a la No. 15 de, vistas de arriba hacia abajo. Obtenida a través de vibración ambiental.

Los resultados obtenidos de las campañas de toma de datos in situ de vibración ambiental de las bóvedas están representados y mostrados en la fig.66.

En las gráficas de la imagen se observa que los segmentos de bóveda se encuentran vibrando de manera más dispersa que en la vibración ambiental, se tienen variaciones en la frecuencia desde 16 Hz hasta 30 Hz, posiblemente debido al incremento de la onda por medio de la excitación del golpe.

8.7.2 RESULTADOS EN BOVEDAS DE AZOTEA PRODUCIDAS POR VIBRACION FORZADA.

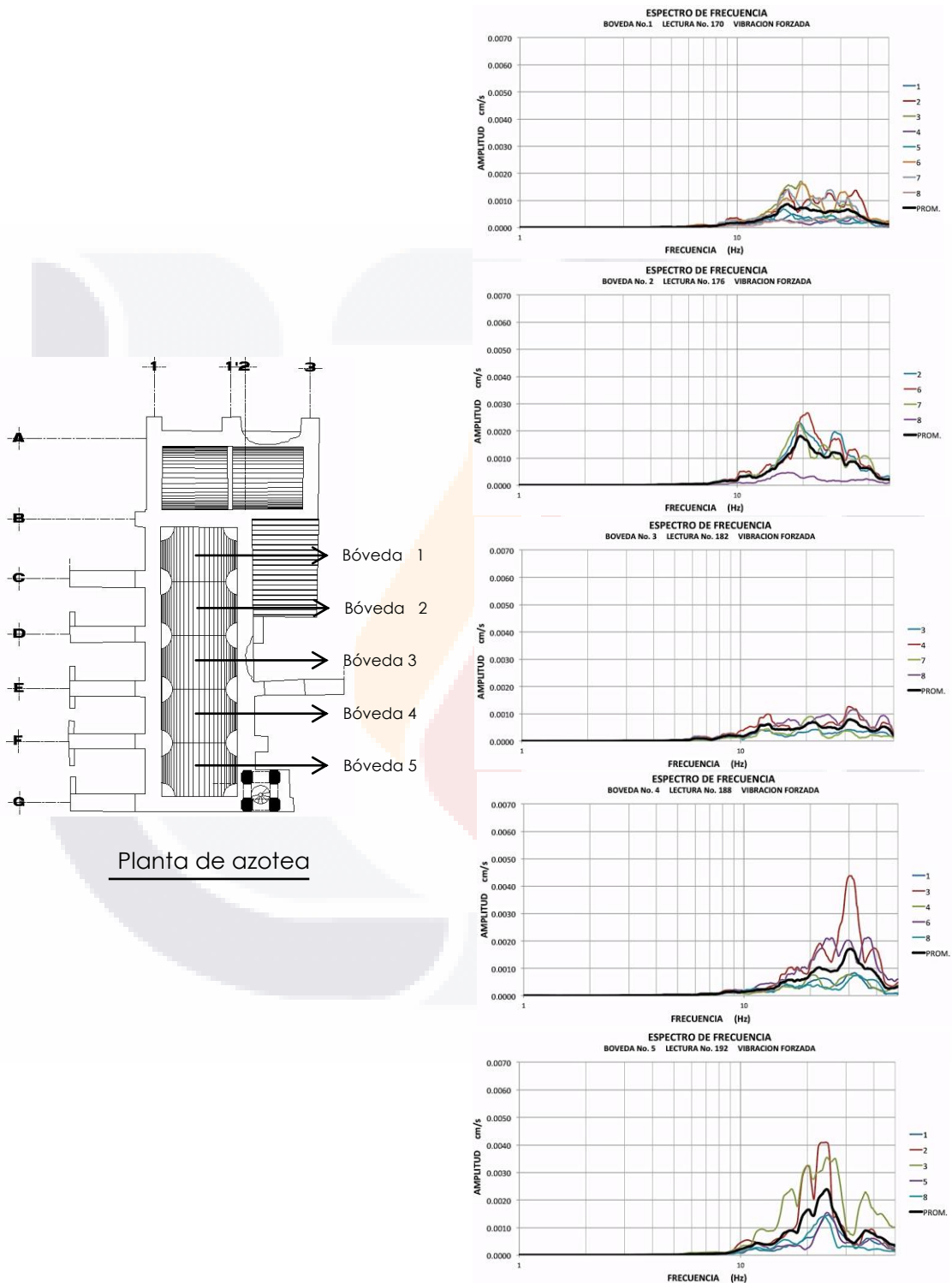


Fig.66: Gráficas de resultados de la frecuencia natural de los segmentos de bóveda de la No. 16 a la No. 20 de, vistas de arriba hacia abajo. Obtenida a través de vibración forzada

Los resultados de las gráficas mostradas en las Fig.65 y Fig.66 se obtuvieron con el fin de descartar cualquier anomalía y discontinuidad en los elementos. Las gráficas servirán como información básica dejando constancia de las vibraciones que tiene la bóveda en su estado deteriorado.

8.8 LOSA DE CORO Y ESCALERA.

8.8.1 LOSA DE CORO

Para el estudio y determinación de la frecuencia natural de la losa de coro, se instrumentó siguiendo el mismo criterio utilizado para el ensaye de los segmentos de bóveda.

De la misma manera que las anteriores se midieron 8 puntos formaron grupos de 3 geófonos para el registro de las vibraciones en los ejes X, Y y Z como se muestra en la Fig.67

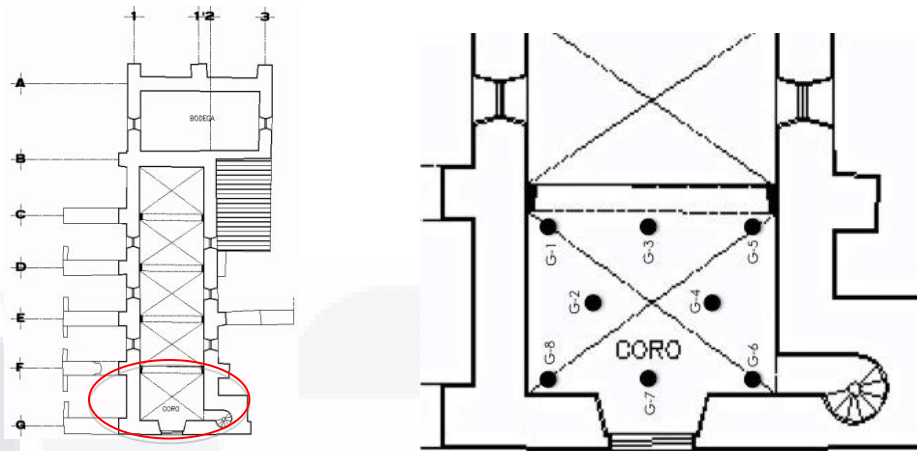
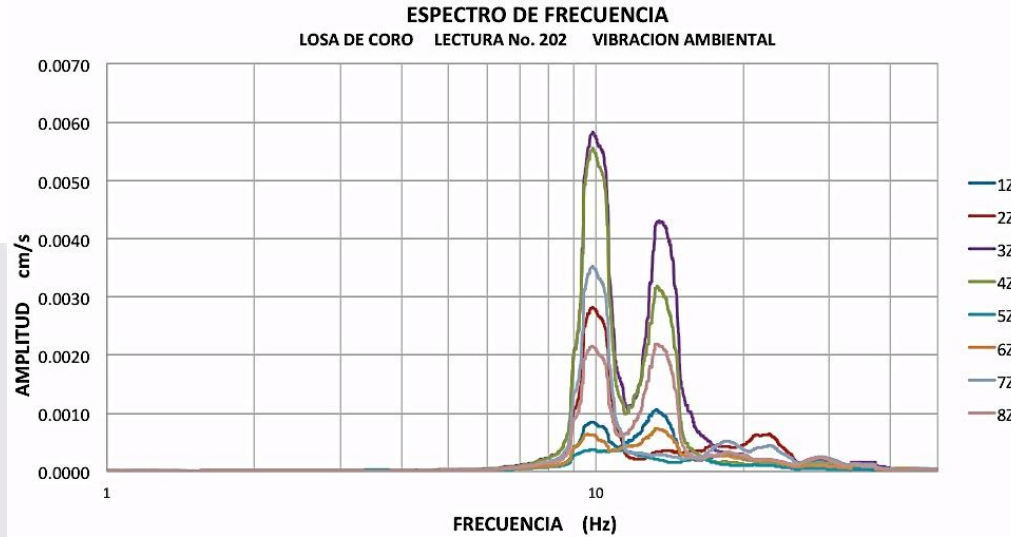


Fig.67: Localización de la losa del coro y distribución de los grupos de medición

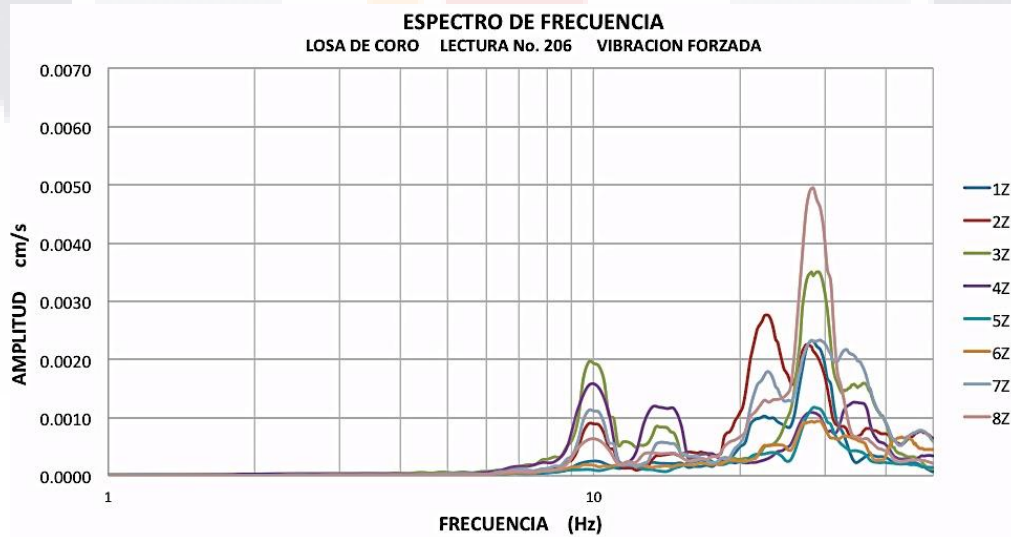
Los registros fueron levantados con el mismo criterio anteriormente descrito, utilizando longitudes de registro de 20 segundos para las lecturas de vibración ambiental y de 5 segundos para las lecturas de vibración forzada.

DETERMINACION DE LA FRECUENCIA NATURAL LOSA DE CORO.

Los resultados obtenidos en la losa del coro se pueden observar en la gráfica 7 y gráfica 8, donde se observan 2 modos de vibrar diferente, el valor que tomaremos como valido es el que presenta la amplitud más alta, tanto en la toma ambiental como en la toma de vibración forzada, se deduce que la losa presenta una rigidez muy baja en su estructura y posiblemente este transmitiendo las vibraciones y produzca el efecto de amplificación.



Gráfica 7: Gráfica de Frecuencia natural de losa de coro obtenida a través de vibración ambiental.



Gráfica 8: Gráfica de Frecuencia natural de losa de coro obtenida a través de vibración generada por medio de golpe.

8.8.2 ESCALERA.

Regularmente en todas las edificaciones el cubo de la escalera de acceso al campanario y al sistema de techo es el elemento que tiene mayor rigidez, en la Fig.68 se muestra la disposición en alzado de este cuerpo con el resto de la Capilla. Para este estudio fue de interés su caracterización además de que fue posible tomar registros a diferentes alturas sobre la escalera, tomando en cuenta los peldaños.

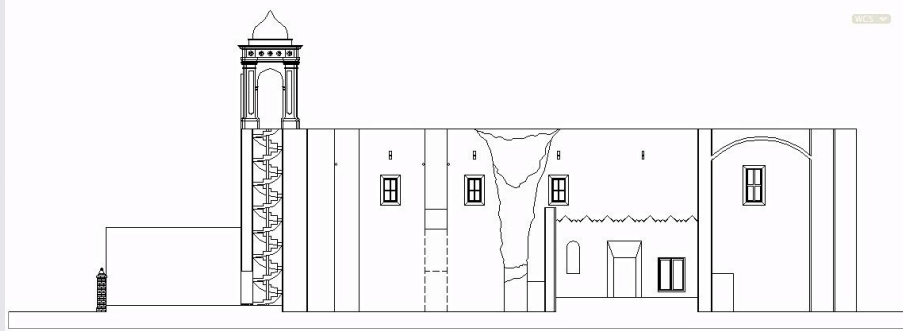


Fig.68: Disposición del cuerpo de escalera en alzado con respecto al conjunto.

Para la distribución de los grupos de geófonos se realizó el conteo de los escalones y se dividió entre el número de grupos (8), arrojando como resultado la distribución que se presenta esquemáticamente en la Fig.69

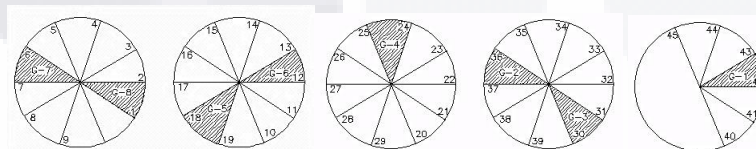
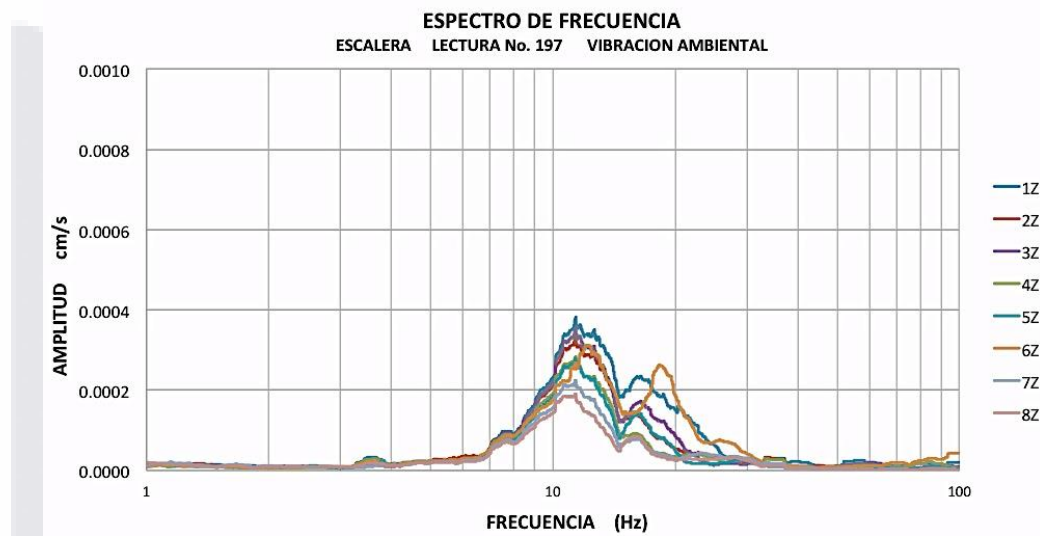


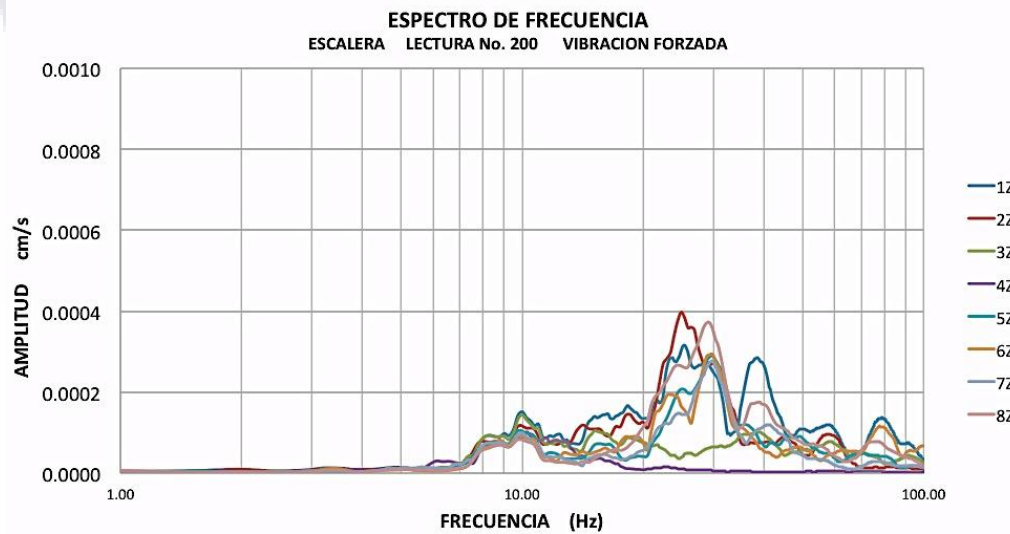
Fig.69: Disposición en planta de la distribución de los grupos de geófonos utilizados para la determinación de la frecuencia natural

La toma de registros de vibración ambiental y forzada se realizó mediante una sola línea de lectura, con 8 grupos de geófonos distribuidos en la totalidad de la altura de la escalera tomando en cuenta la distribución de la Fig.69, y respetando los ejes manifestados en la Fig.47.

Los resultados obtenidos de la toma de lecturas son los que se muestran en las Gráfica 9 y Gráfica 10, en vibración ambiental se obtuvo la frecuencia fundamental de 12 Hz, y en la toma de vibración forzada de 25 Hz incrementándose por la acción del golpe generado; las gráficas corresponden al espectro de frecuencias de la vibración ambiental y vibración forzada respectivamente.



Gráfica 9: Gráfica de frecuencia natural del cuerpo de escalera de caracol obtenida a través de toma de lectura de vibración ambiental.



Gráfica 10: Gráfica de frecuencia natural del cuerpo de escalera de caracol obtenida a través de toma de lectura de vibración producida con golpe.

Tabla 2 RESUMEN DE FRECUENCIAS

Elemento caracterizado	Frecuencia	Dirección
Terreno	2.4 Hz	Z
Muro Oriente	12.0 Hz	X
Muro Poniente	12.0 Hz	X
Bóveda 1	18.0 Hz	Z
Bóveda 2	16.0 Hz	Z
Bóveda 3	16.0 Hz	Z
Bóveda 4	16.0 Hz	Z
Bóveda 5	16.0 Hz	Z
Losa de Coro	10.0 Hz	Z
Escalera	12.0 Hz	X

CAPITULO 9.-CARACTERIZACION MECANICAS DE LOS MATERIALES MEDIANTE METODOS NO DESTRUCTIVOS.

9.1 INTRODUCCION.

Los materiales pueden ser caracterizados en su comportamiento mecánico mediante pruebas destructivas en muestras o probetas del material a caracterizar. Las características más comunes y que nos dan información sobre el comportamiento mecánico de un material son: Peso volumétrico (γ), módulo de elasticidad (E), módulo de Poisson (ν), resistencia al esfuerzo cortante, a la tensión y a la compresión.

La caracterización mecánica de materiales se realiza en laboratorios con equipo y especímenes del material a caracterizar.

En el caso de estudio que presentamos, la obtención de muestras o probetas del material no es una opción, puesto que el edificio está catalogado como histórico, por lo que se implementó la medición de propiedades mecánicas "in situ" para la obtención de los módulos de elasticidad, la relación de Poisson, y el peso volumétrico del material. Estos datos fueron un insumo para la elaboración del modelo numérico para el análisis de esfuerzos y deformaciones del edificio.

9.2 OBJETIVO.

Determinar los valores del módulo de elasticidad (E), el módulo de Poisson (ν), y el peso volumétrico de los materiales de construcción del edificio.

9.3 METODOLOGIA.

El cálculo de las constantes elásticas del material con que se construyeron los muros (adobe) y los contrafuertes (mampostería) se realizó a partir de la obtención de los valores de la velocidad de propagación de la onda sísmica compresional (V_p) y de la de cortante (V_s).

Para determinar los valores de V_p y V_s se usó un sismógrafo marca GEOMETRICS, modelo GEODE de 24 canales. Se usó un solo canal con un geófono horizontal de 4.5 Hz.

Se generó una onda elástica golpeando con un marro de 3 lb directamente sobre el material analizado, a diferentes distancias de la ubicación del geófono. Fig.70 a y b.

En la prueba realizada sobre la mampostería de los muros fue necesario retirar la capa de aplanado para que las ondas generadas se propagaran a través del adobe y llegaran directamente al geófono con el fin de que los resultados no estuvieran erróneos Fig.71, para la determinación de las características del material, se instrumentó el muro de tal manera que nos fuera posible tener la recepción de ondas en los 24 canales y asegurar la mayor obtención de datos, (Fig.72)



Figura 70 a



Figura 70 b

Fig.70: a) y b) Momento de generación de onda elástica directamente sobre la mampostería del contrafuerte del lado oriente realizado de forma manual por medio de marro.



Fig.71: Retiro de capa de aplanado para descubrir material base de los muros Adobe.

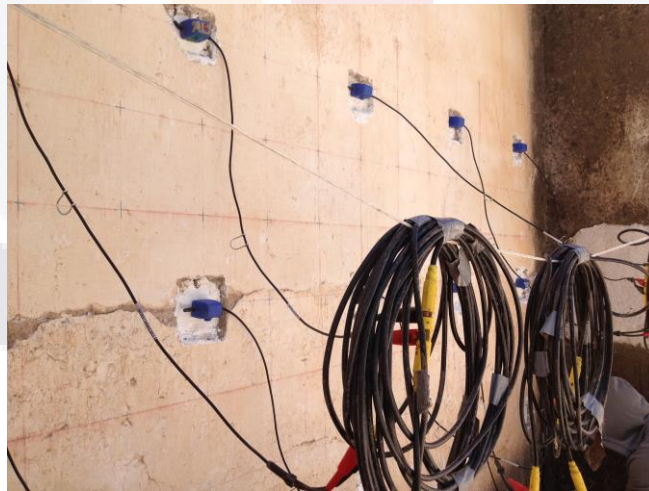


Fig.72: Instrumentación del muro de la fachada oriente para determinar las características físicas y mecánicas del adobe.

9.4 CONCEPTOS DE ONDA P Y S.

Ondas P.- Son ondas longitudinales o compresionales. Lo cual significa que el material es altamente comprimido y dilatado en dirección de la propagación, estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S, viajan a través de cualquier material sólido o líquido. (IGEO, 2013). Fig.73

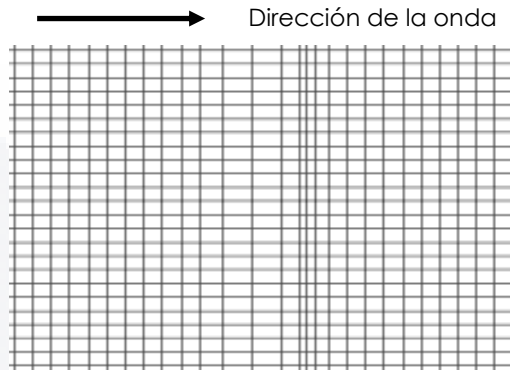


Fig.73: Esquema de propagación de la onda P, se muestra la compresión y dilatación del material por donde se transmite.

Ondas S.- Son ondas en las cuales el desplazamiento es transversal a la dirección de propagación, su velocidad es menor que la de las ondas P, por lo que estas ondas aparecen después del arribo de las ondas. Estas ondas son las que generan las oscilaciones durante el movimiento sísmico y las que producen la mayor parte de daños. (IGEO, 2013). Fig.74

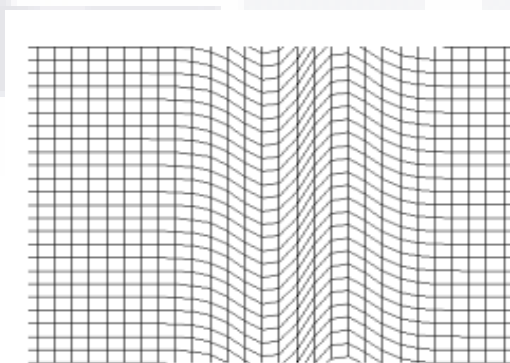


Fig.74: Esquema de propagación de la onda.

En la Fig.75 se muestra esquemáticamente los arribos de cada una de las ondas a través del material.

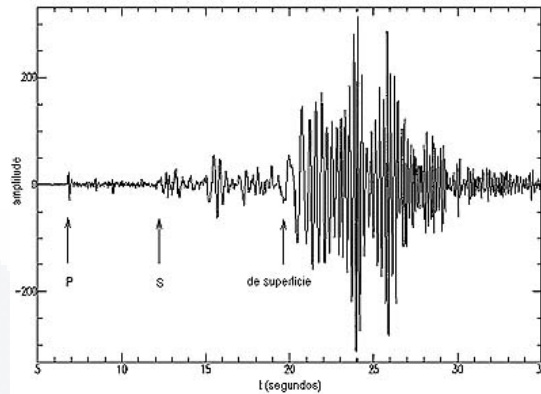


Fig.75: Esquema de propagación de los arribos de las ondas P y S, se denota al arribo inmediato de la onda P, imagen a través de IGEO 2013.

9.5 OBTENCION DE DATOS EN CAMPO.

Se realizaron 3 muestreos para determinar las características de los materiales predominantes en la capilla. Se analizaron los materiales de los siguientes elementos: adobe en muros, adobe pilastras y mampostería de contrafuerte del lado oriente. En la Fig.76 se muestra la instrumentación del muro para la obtención de las propiedades del material. En la Fig.77 se muestra el esquema de las distancias para la obtención de datos.



Fig.76: Instrumentación del muro de la fachada oriente para la obtención de las propiedades del muro de adobe.

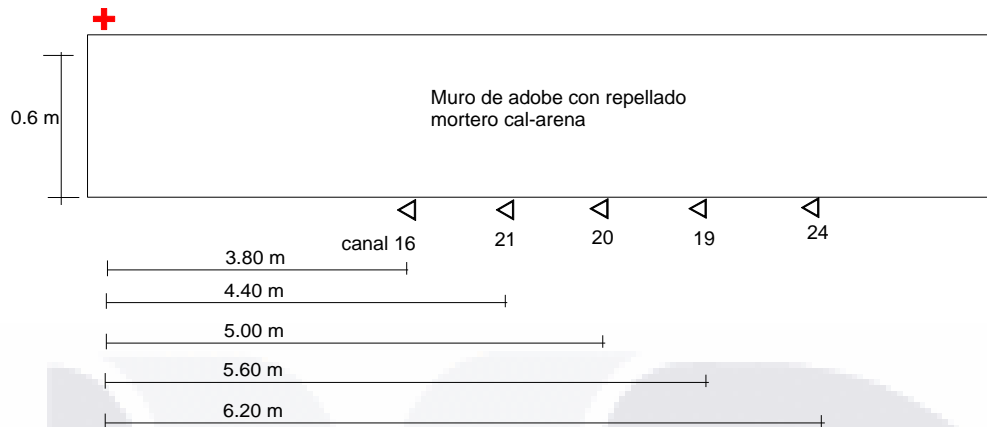


Fig.77: Señalización de distancias y distribución de canales receptores de geófonos para la obtención de los datos de arribo de la onda P y S, la señal en color rojo nos indica el punto donde se aplicó el golpe que generó las vibraciones.

El basamento de arranque del contrafuerte de la fachada oriente se analizó de la misma manera, en este caso solo se colocó un geófono en el extremo opuesto de donde se generaría la onda, de esta manera se pudo calcular la velocidad de propagación y el arribo de la onda P. En las imágenes Fig.78 a y b, se observa la disposición que guardaron los elementos para la toma de datos, así como las medidas para determinar valores, la señal de color rojo significa el lugar donde se inicia la onda por medio de golpe, el triángulo el receptor de la onda (geófono).

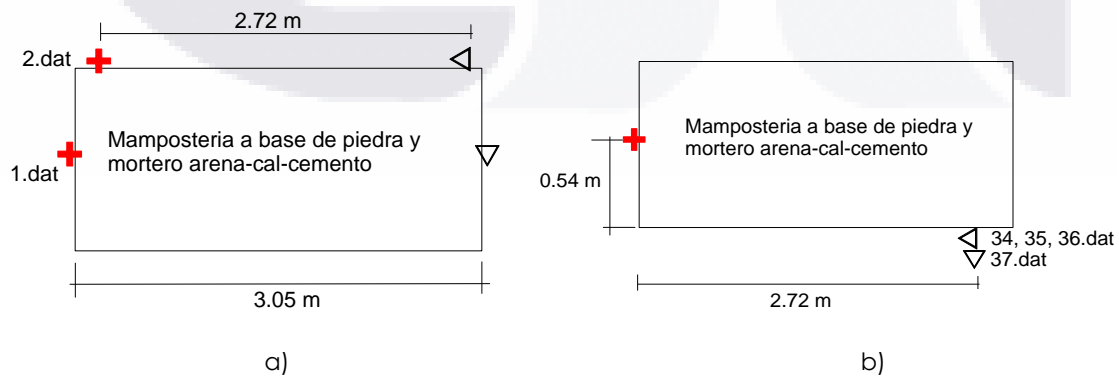


Fig.78: a) y b), Muestra esquemática de los acomodos del geófono receptor y punto de generación de la onda para la toma de lectura para la obtención del arribo de la onda P y onda S, correspondiente a la mampostería del contrafuerte de la fachada oriente de la capilla.

9.6 CALCULO DE LOS VALORES.

Una vez determinados los valores de V_p y V_s , se calcularon primero las constantes Lamé (μ y λ) con las ecuaciones 1 y 2 (Sheriff y Geldart, 1995)

$$v_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho} \tag{1}$$

$$v_s = \sqrt{\mu / \rho} \tag{2}$$

Donde ρ es la densidad que se puede calcular con la ecuación 3 propuesta por Gardner et al. (1974)

$$\rho = 0.31 V_p^{\frac{1}{4}} \tag{3}$$

Con ρ en gr/cm^3 y V_p en m/s .

Una vez conocidas las constantes de Lamé es posible calcular las constantes elásticas del material del subsuelo con las ecuaciones 4 y 5 (Sheriff and Geldart, 1995):

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu} \tag{4}$$

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)} \tag{5}$$

Los resultados de los cálculos se resumen en las Tabla 3 y Tabla 4 para los dos materiales caracterizados.

Tabla 3 VALORES DETERMINADOS DE VP Y VS.

Material	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γ (kg/m³)
Mampostería piedra junteada con mortero cemento-cal-arena en contrafuertes.	1357	528	1881
Muro de Adobe repellado con mortero cal-arena	525	291	1483
Pilastra de Adobe repellado con mortero cal-arena	627	320	1551

Tabla 4 VALORES DE MÓDULO DE POISSON Y MÓDULO DE ELASTICIDAD.

Material	v	G (kg/cm2)	E (kg/cm2)
Mampostería piedra junteada con mortero cemento-cal-arena en contrafuertes.	0.41	5347	15088
Muro de Adobe repellado con mortero cal-arena	0.28	1281	3274
Pilastra de Adobe repellado con mortero cal-arena	0.32	1620	4288

Estos valores se suministrarán en el programa de análisis estructural SAP2000 para calibrar el modelo numérico para su análisis.

CAPITULO 10.- MODELO NUMERICO.

10.1 INTRODUCCIÓN.

El modelo numérico se desarrolló en el programa de análisis estructural SAP2000, utilizando elementos tipo Shell para la representación de los elementos estructurales. Se realizó a partir de los datos obtenidos del levantamiento geométrico y de los datos obtenidos de la caracterización de los materiales.

10.2 OBJETIVO.

Realizar un modelo numérico para su análisis estructural que nos permita conocer las deformaciones y esfuerzos a los que está sometida la estructura en su condición actual (con desplomes y deflexiones) y en un hipotético estado recuperado.

10.3 METODOLOGIA.

Los datos obtenidos del levantamiento geométrico y las propiedades mecánicas de los materiales determinadas "in situ" se usaron para alimentar el modelo numérico. Se realizó un modelo tridimensional con elementos tipo Shell o membrana; se realizaron los siguientes análisis:

- a) Todo el edificio, considerando la geometría de un estado no dañado, es decir, sin desplomes en los muros ni deformaciones permanentes como las que se observan actualmente.
- b) Todo el edificio considerando una geometría dañada, tomando en cuenta los datos del levantamiento geométrico donde se midieron desplomes y desplazamientos laterales de los muros y flechas excesivas en el sistema de bóvedas.
- c) Análisis de la bóveda en su estado no dañado.
- d) Análisis de la bóveda en su estado dañado.

Los resultados se interpretaron para su análisis y se identificaron las posibles causas que han provocado el deterioro estructural de la capilla según las deformaciones y esfuerzos calculados.

10.4 ELABORACION DE MODELO NUMERICO.

A partir de los datos del levantamiento geométrico se elaboró el modelo numérico de La Capilla, utilizando elementos tipo Shell, con la finalidad de conocer el comportamiento de los elementos estructurales en su conjunto. Se analizó la magnitud de esfuerzos y deformaciones que afectan a toda la estructura. En la Fig.79 a y b se presenta el mallado del modelo no dañado, en ella se observan los elementos que conforman el sistema estructural del edificio.

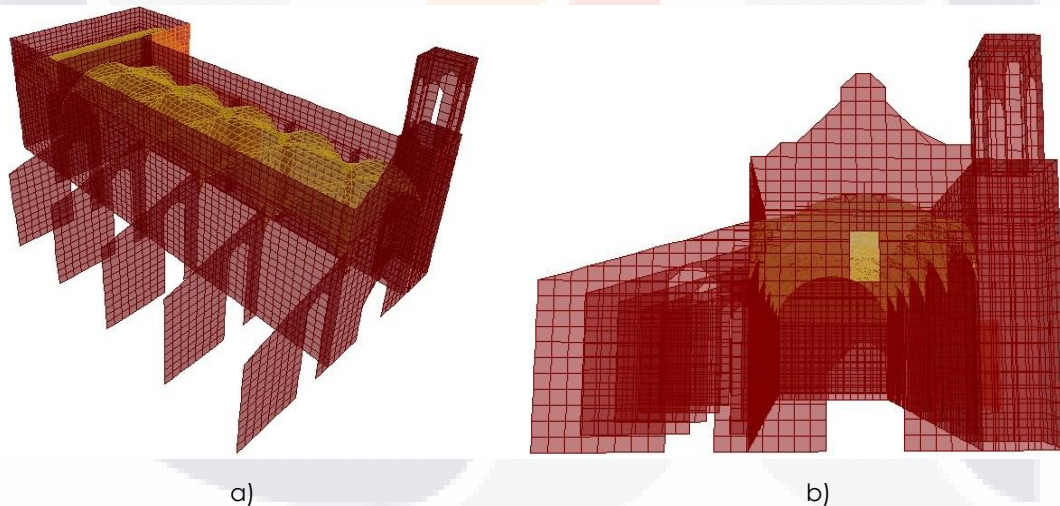


Fig.79: Elaboración de modelo numérico de la capilla de La Trinidad en su estado no dañado, utilizando elementos tipo Shell.

En el análisis del modelo se consideró además del peso correspondiente a la bóveda de 15 cm de espesor, la capa de 10 cm de espesor de concreto colocada en una de las intervenciones. Se consideró un peso de 240.00 Kg/m²

Se realizó el análisis de las deformaciones en su conjunto para verificar el comportamiento del sistema. Este análisis se llevo a cabo realizando la comparación entre el modelo idealizado en su configuración geométrica no dañada (geometría sin desplomes ni deflexiones) y un modelo con la configuración geométrica real (con la geometría levantada que incluye desplomes y deflexiones (Estado dañado)). En la Fig.80 se muestran las deformaciones exageradas 20 veces que adopta el modelo idealizado en su estado no dañado, la imagen muestra que la deformación es imperceptible debido a que en un principio durante los primeros años de vida de la estructura, los muros debieron tomar la carga horizontal ("el pateo") del sistema de cubierta sin una afectación inmediata. Sin embargo estas fuerzas laterales sobre los muros causaron su desplome y como consecuencia una deflexión excesiva de las bóvedas, lo que a su vez incrementó las fuerzas sobre los muros y su desplome, convirtiéndose esto en un proceso continuo que cada vez generaba más desplome en los muros y deflexión en las bóvedas.

La Fig.81 muestra las deformaciones amplificadas 20 veces de la capilla analizado con las mismas cargas que el modelo de las Fig.80, pero con la geometría actual, es decir, en su estado dañado.

La Fig.81 muestra que el considerar los desplomes en los muros y en las bóvedas del modelo hace menos eficiente a la estructura.

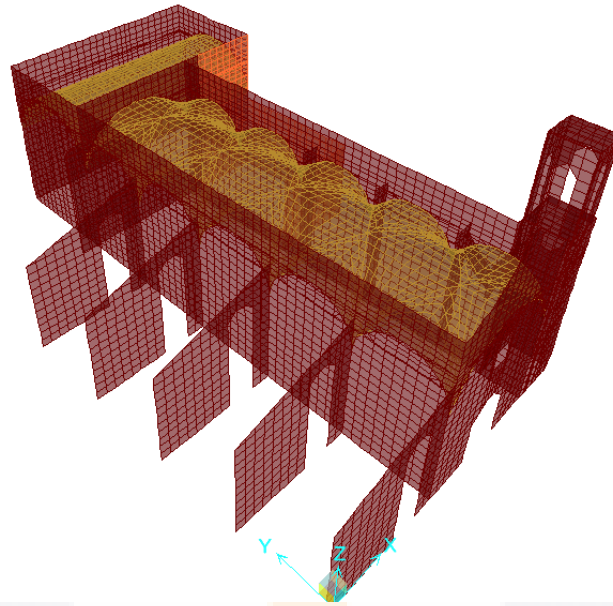


Fig.80: Deformaciones que adopta el modelo idealizado en su estado no dañado.

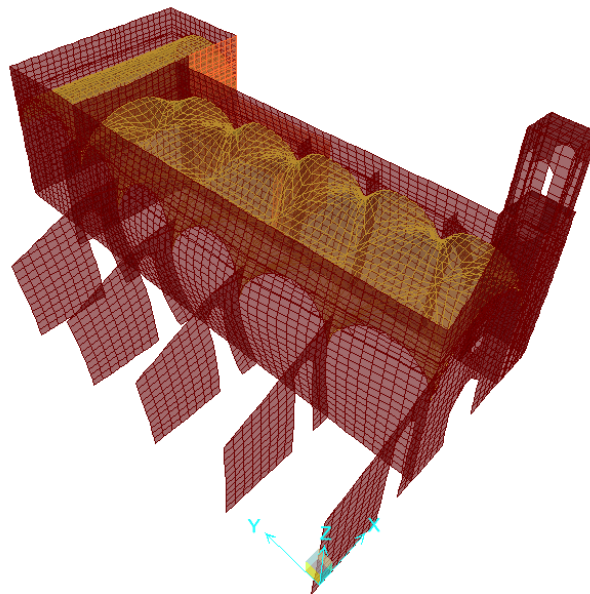


Fig.81: Modelo con configuración dañada, muestra las deformaciones en los muros provocadas por las deformaciones en la bóveda amplificadas en 20 veces para su apreciación.

Con base en los resultados observados en la imagen que nos representa la Fig.81 se tomó la decisión de analizar la bóveda de manera independiente para determinar las deformaciones que influyen en ella directamente, además de cómo afectan al resto de la estructura. La Fig.82 muestra la bóveda independiente. El análisis se trabajó en dos modelos, el deformado real y el idealizado en estado sano para comparación de resultados.

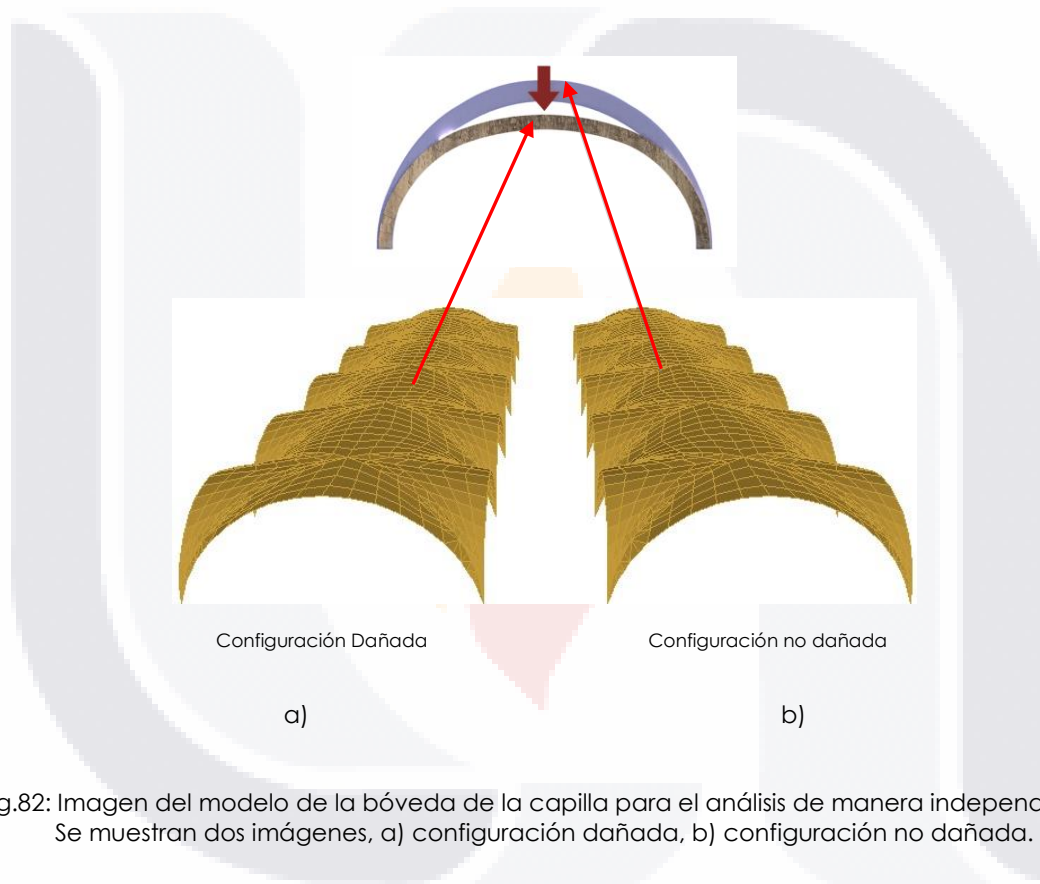


Fig.82: Imagen del modelo de la bóveda de la capilla para el análisis de manera independiente. Se muestran dos imágenes, a) configuración dañada, b) configuración no dañada.

La Fig.83 muestra la distribución de deformaciones verticales obtenidas para un análisis de cargas gravitacionales de la bóveda en sus dos estados, no dañado y dañado.

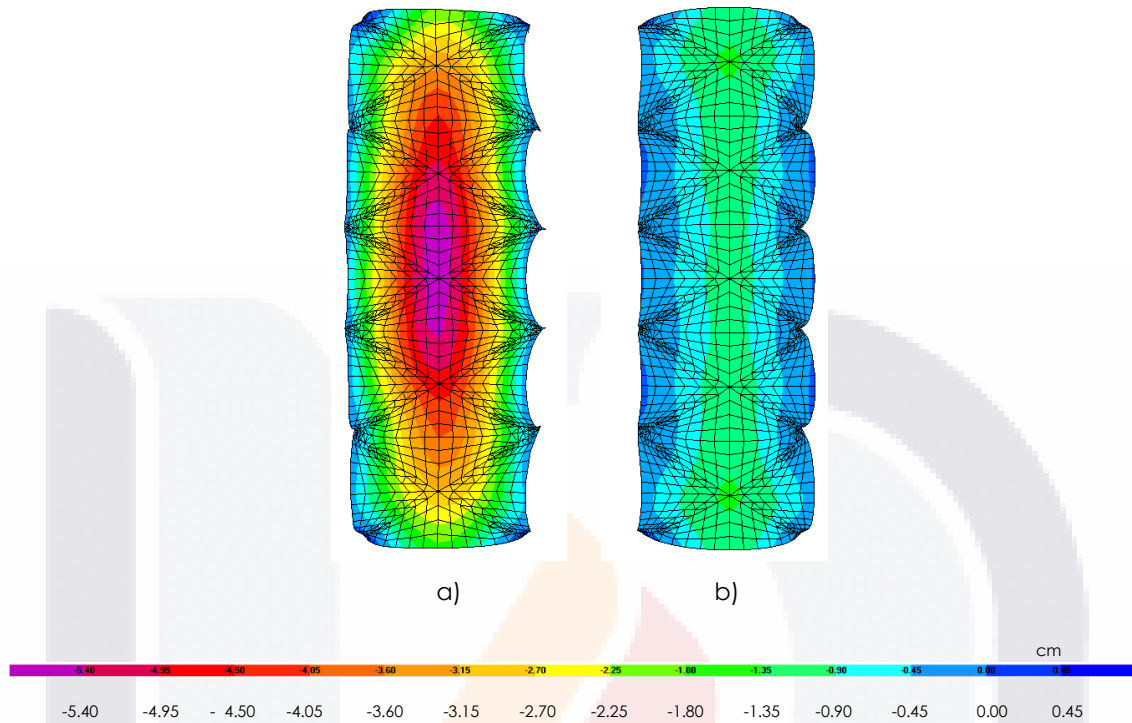


Fig.83: Deformaciones verticales obtenidas de un análisis por cargas gravitacionales, a) resultados considerando un modelo con configuración geométrica en condición actual (dañada); b) Resultados considerando un modelo con geometría de la bóveda.

La magnitud de la deformación vertical obtenida al centro de la bóveda del modelo generado a partir de la configuración no dañada fue de 1.06 cm, mientras que la magnitud de la bóveda del modelo realizado a partir de la configuración geométrica dañada fue de 5.60 cm lo que demuestra que el sistema de techo es menos eficiente y que ya no está trabajando como inicialmente se conceptualizó. De no llevar a cabo una recuperación estructural, el sistema de cubierta cada vez se hará menos eficiente hasta llegar al colapso.

10.5 ESFUERZO MAXIMO DE TENSION Y COMPRESION EN BÓVEDAS.

a) Esfuerzos en el sentido longitudinal.

Se realizó el análisis de los esfuerzos máximos a tensión y compresión para identificar las zonas más solicitadas en la bóveda. En la fig. 84 se muestra la distribución de esfuerzos en la dirección longitudinal obtenida para ambos modelos. El modelo de la bóveda en su configuración geométrica no dañada la fig. 84a) presenta magnitudes en tensión de 2.6 kg/cm², y en compresión de 5.0 kg/cm². La imagen de la izquierda presenta la distribución de esfuerzos de la bóveda en su condición geométrica dañada (con deflexiones permanentes). Las magnitudes de los esfuerzos máximos que presenta son, en tensión 10 kg/cm², en compresión de 6.0 kg/cm² en el sentido longitudinal. Lo anterior apoya la aseveración de que en las condiciones actuales la bóveda es menos eficiente, ya que como lo muestra la fig. 84a originalmente debió trabajar a compresión, y como también lo muestra la fig. 84 b) actualmente está trabajando mayormente a tensión.

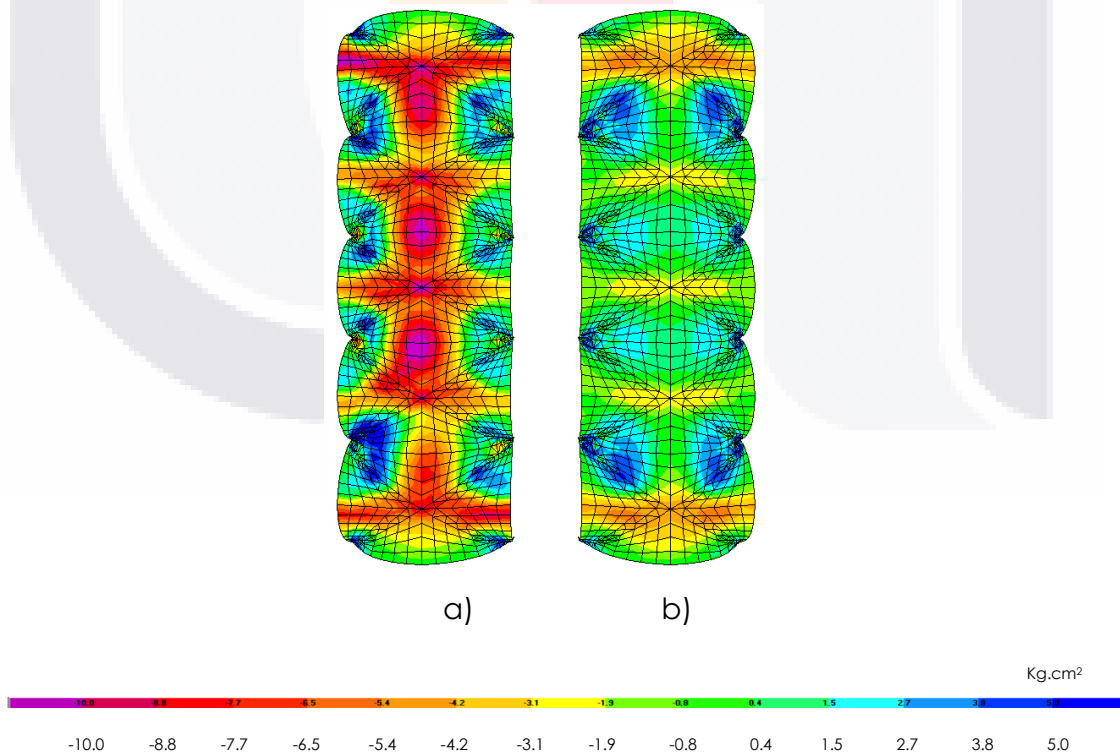


Fig. 84 Distribución de esfuerzos en la dirección longitudinal de las bóvedas

En la Fig.85 se muestra cómo los esfuerzos de tensión que produce la bóveda (Tonos verdes) se transmiten además al muro, para lo cual no está diseñado. Los esfuerzos corresponden a la configuración actual (estado dañado).

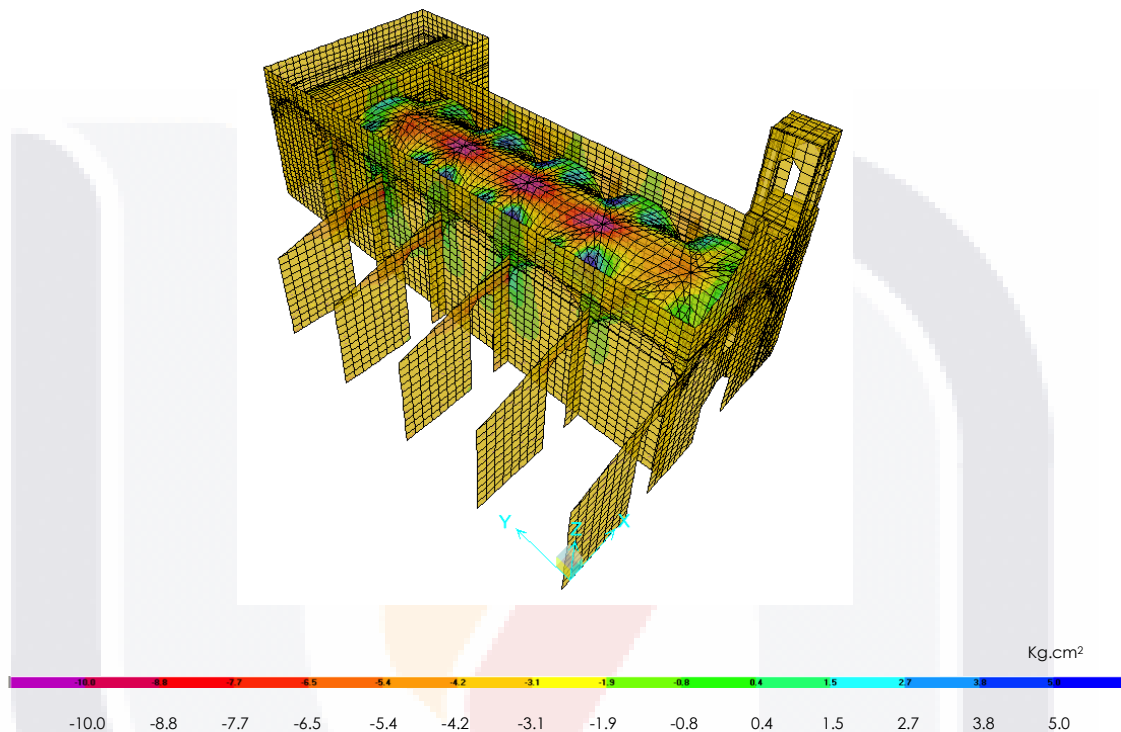


Fig.85: Distribución de esfuerzos en la dirección longitudinal del edificio sobre los muros para la configuración geométrica actual (estado dañado) de la estructura.

b) Esfuerzos en el sentido transversal.

La magnitud de los esfuerzos en la dirección transversal del edificio obtenidos para la bóveda para la configuración geométrica no dañada son de 6.9 kg/cm² en tensión y de 7.0 kg/cm² en compresión (Fig.86a), mientras que en la bóveda con las condiciones geométricas actuales (configuración dañada) las magnitudes resultaron de 21.0 kg/cm² en tensión y de 8.0 kg/cm² en compresión, lo que significa que la bóveda, en su mayor parte ya no está trabajando a compresión (Fig.86b).

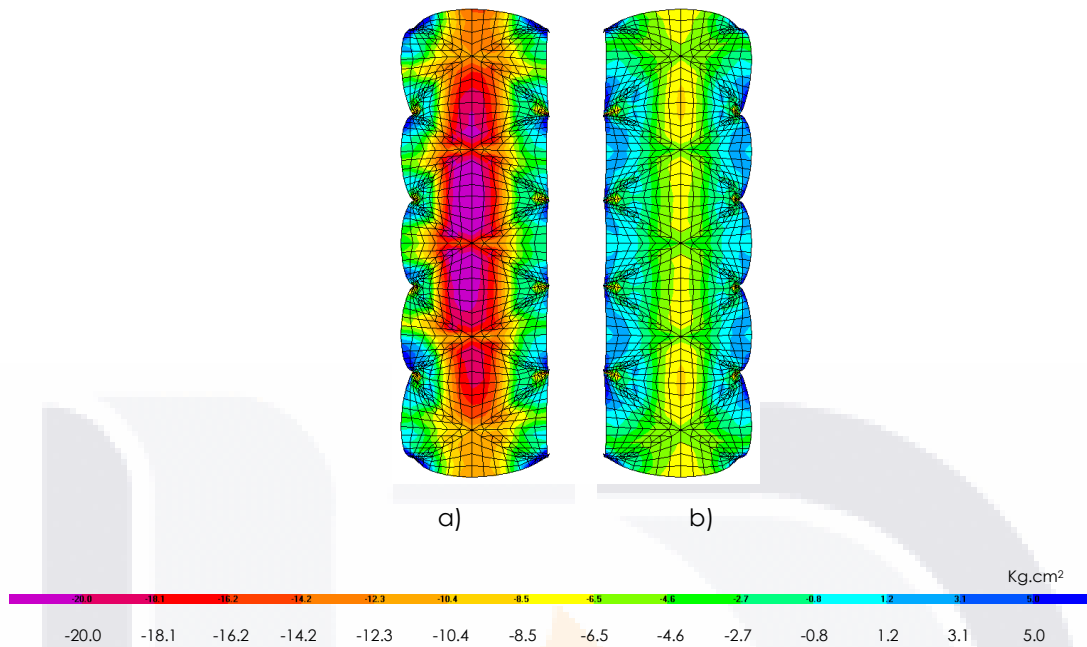


Fig.86: Distribución de esfuerzos en la dirección transversal de la bóveda .La imagen a) representa al modelo con la configuración dañada, se observan los esfuerzos máximos de tensión al centro de la bóveda , la imagen b) representa la bóveda en su estado no deformado.

En la Fig.87 se muestra cómo los muros están tomando esfuerzos en tensión en el sentido transversal causado por el sistema de bóvedas.

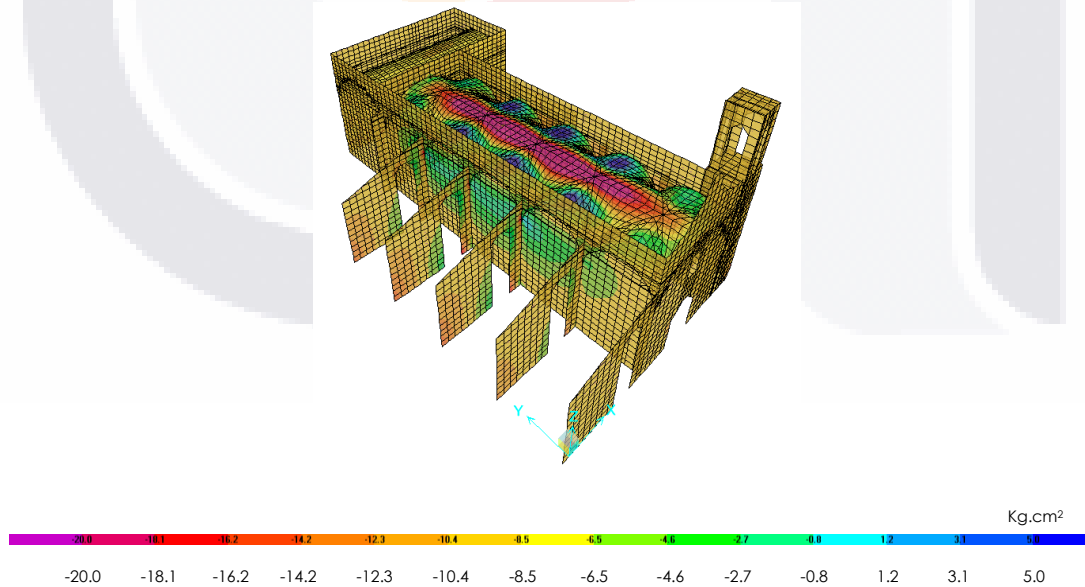


Fig.87: Representación de la distribución de esfuerzos en la dirección transversal al edificio. La figura muestra cómo se transmiten esfuerzos de tensión (tonos verde a azul) a los muros. El modelo corresponde al de la geometría en su estado dañado

c) Esfuerzo Cortante (X-Z y Y-Z).

Las magnitudes de los esfuerzos cortantes en el sistema de bóvedas son relativamente bajas. En la dirección del plano X-Z resultaron de 2.15 kg/cm² para el modelo con la configuración geométrica no dañada y de 2.50 kg/cm² en el modelo elaborado a partir de la configuración geométrica dañada. La distribución de esfuerzos cortantes se muestra en la Fig.88. En la Fig.89 se muestra la distribución de esfuerzos cortantes en el plano Y-Z sobre los muros. Se observa en este caso que hay una concentración de esfuerzos en el contacto de los muros con los contrafuertes.

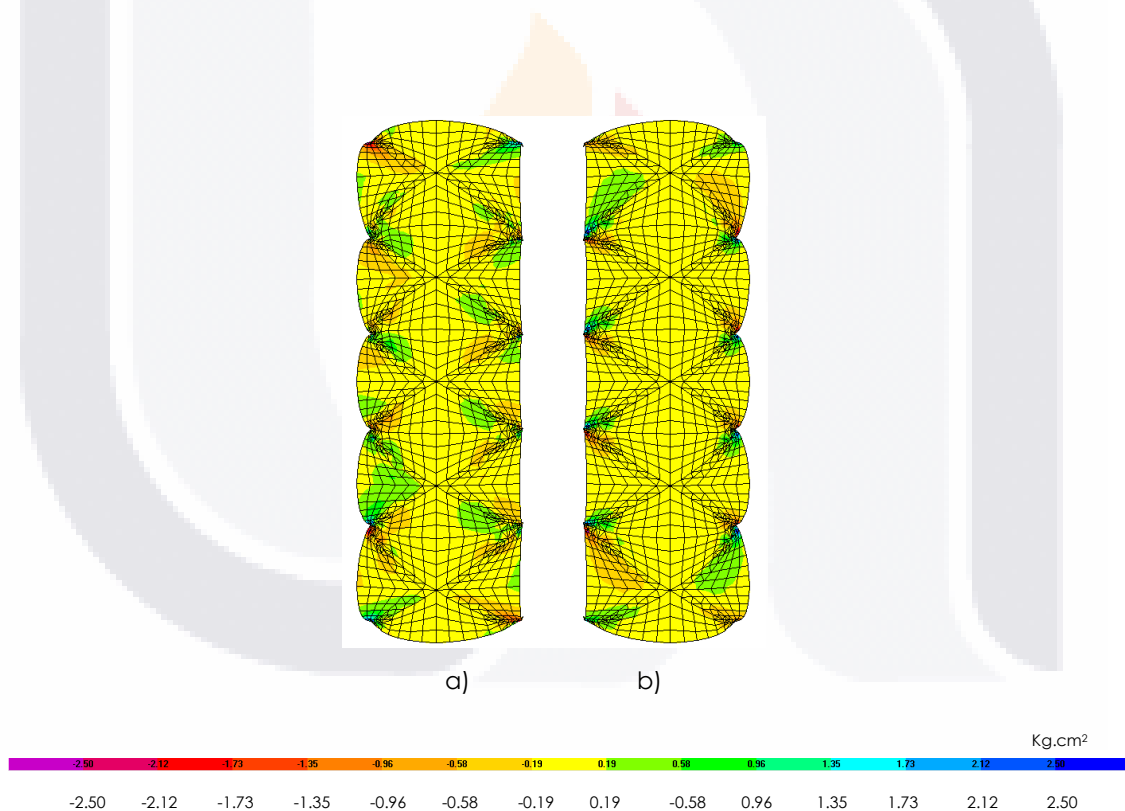


Fig.88: Diagrama de isovalores de la bóveda con la representación de los esfuerzos cortantes en la dirección X-Z a) modelo de la bóveda elaborado a partir de la configuración geométrica dañada. b) modelo de la bóveda considerando la configuración geométrica no dañada.

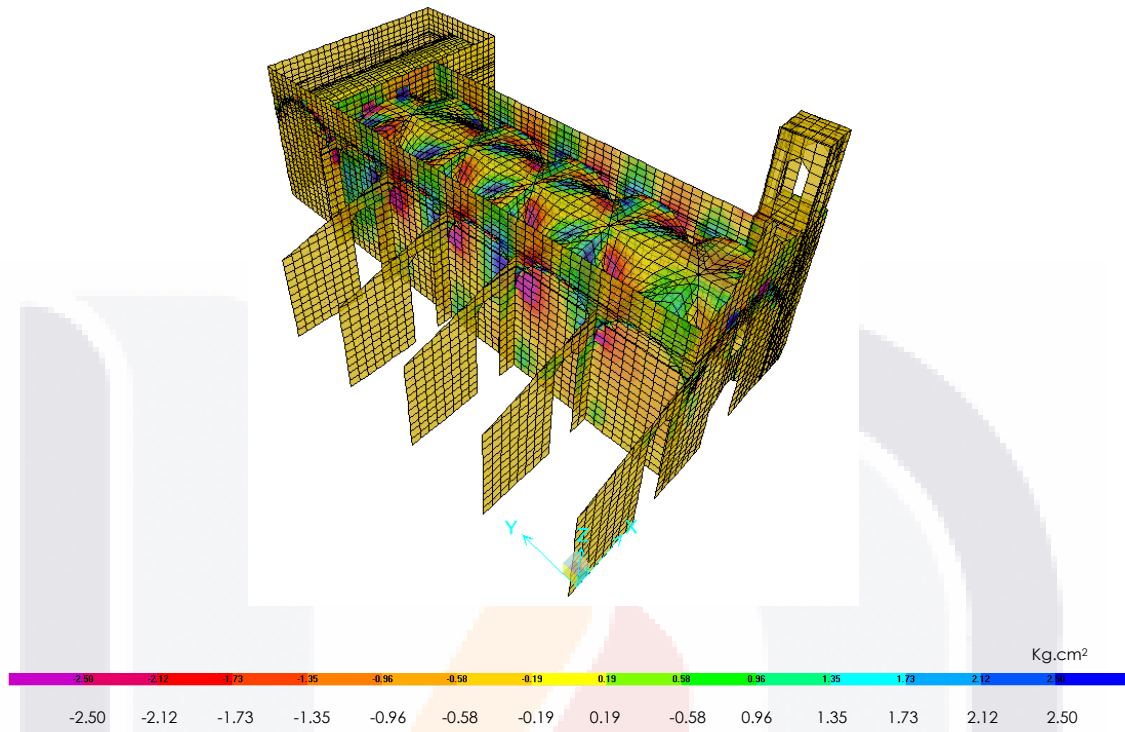


Fig.89: Distribución de esfuerzo cortante X-Z en los muros. Se observa una concentración de esfuerzos en los puntos de contacto de los contrafuertes con los muros de la capilla.

Las magnitudes del esfuerzo cortante en el sentido Y-Z resultaron de 0.60 kg/cm² para el modelo con configuración geométrica no dañada y de 0.78 kg/cm² en el modelo elaborado a partir de la configuración geométrica dañada. La distribución de cortantes Y-Z se muestra en la fig.90. En la Fig.91 se muestra que los muros están recibiendo niveles de cortante Y-Z altos causado por el sistema de bóvedas.

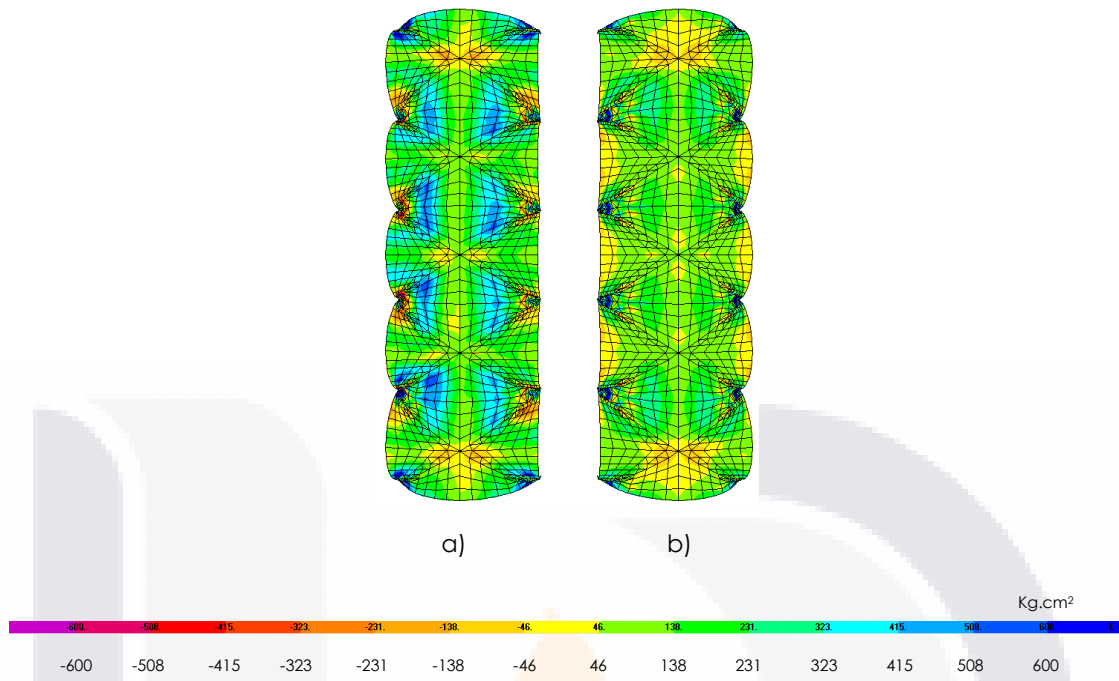


Fig. 90 Diagrama de isovalores de la bóveda con la representación de los esfuerzos cortantes en la dirección Y-Z, a) Modelo de la bóveda considerando la geometría dañada, b) Modelo de la bóveda considerando la configuración geométrica no dañada.

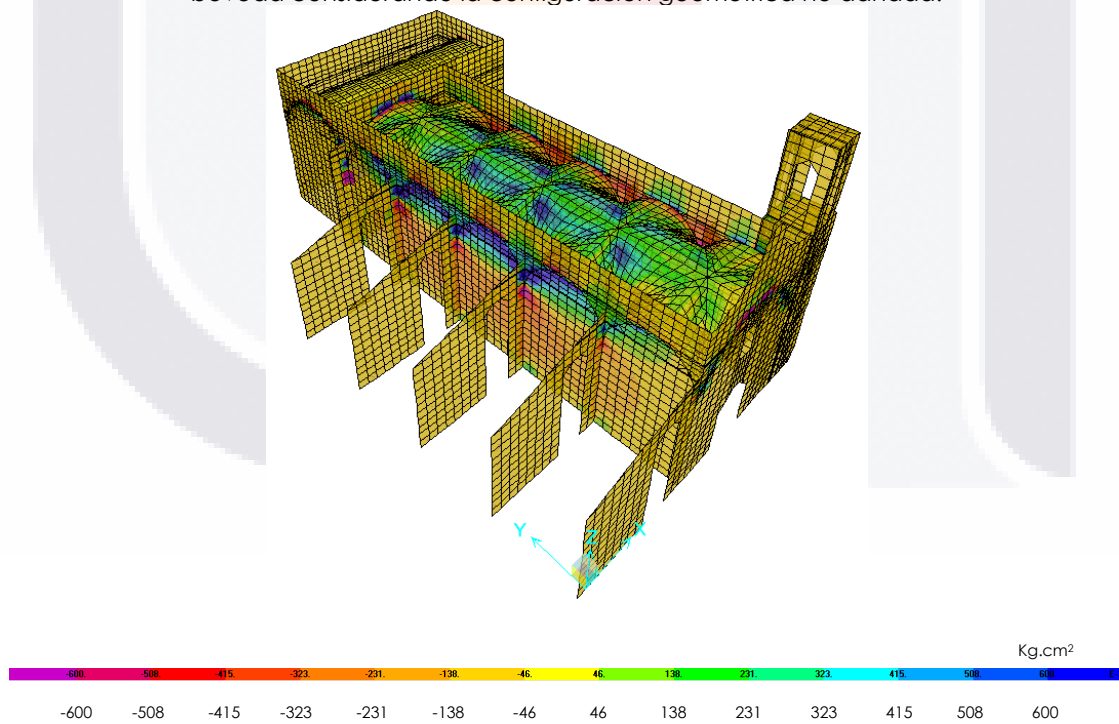


Fig.91: Distribución del esfuerzo cortante Y-Z en los muros causado por el sistema de bóvedas. Se observa una concentración a lo largo de la unión del muro con el sistema de bóvedas.

d) Momentos.

El momento máximo para el modelo de la bóveda en su configuración geométrica dañada en la dirección X es de 550.0 kg-m/m y de 200.0 kg-m/m como lo muestra el diagrama de la Fig.92a); para el modelo de la bóveda considerando su configuración geométrica no dañada se muestra en la figura Fig.92b); las figuras muestran la distribución de momentos en los modelos de las bóvedas en dirección X.

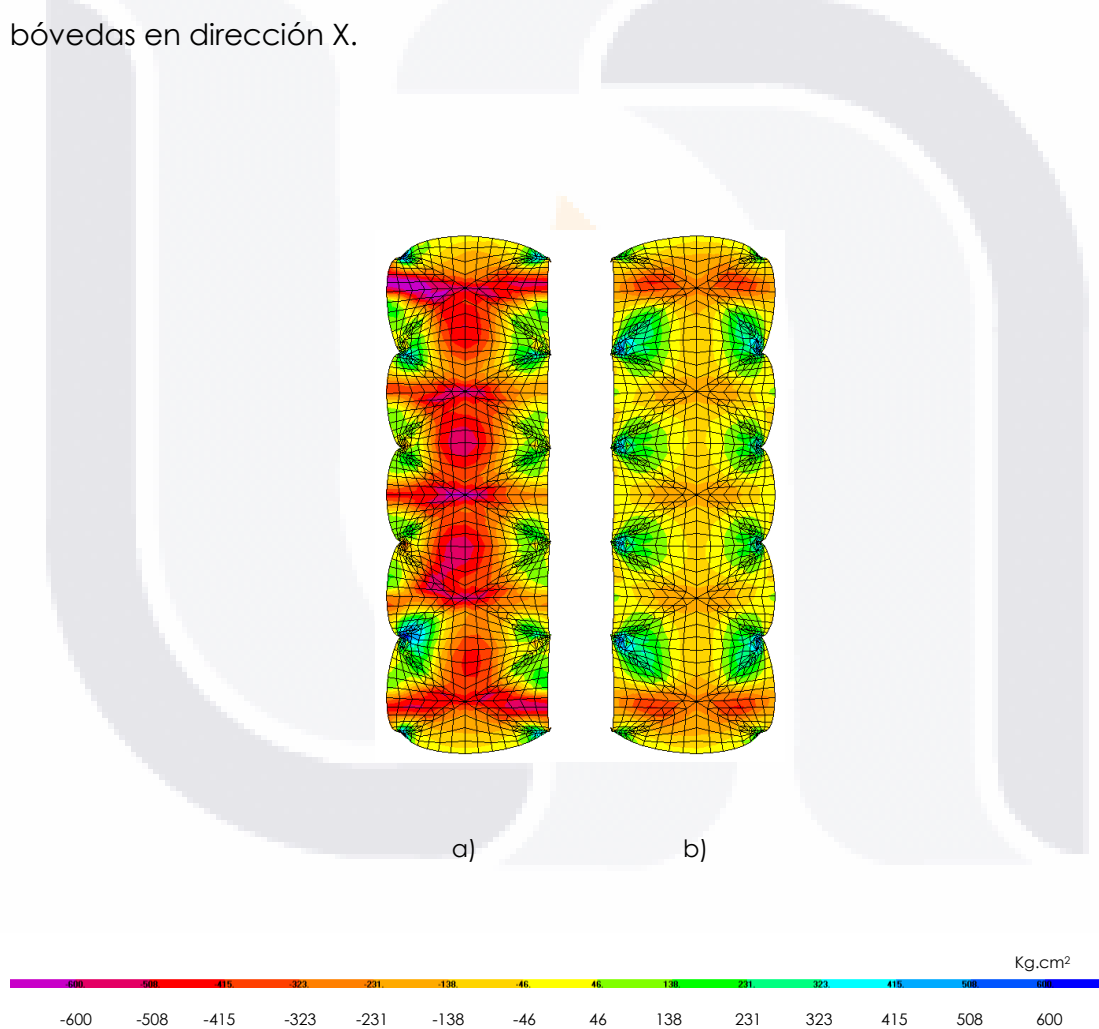


Fig.92: Distribución de momentos en la dirección X. a) modelo de la bóveda configuración dañada, b) modelo de la bóveda configuración no dañada.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

La Fig.93 muestra la distribución de momentos en la dirección X en los muros causados por el sistema de bóvedas. Se observa una concentración de momentos en la unión de los arcos de soporte de la bóveda con el nodo en donde se hace la transmisión de la carga a la columna.

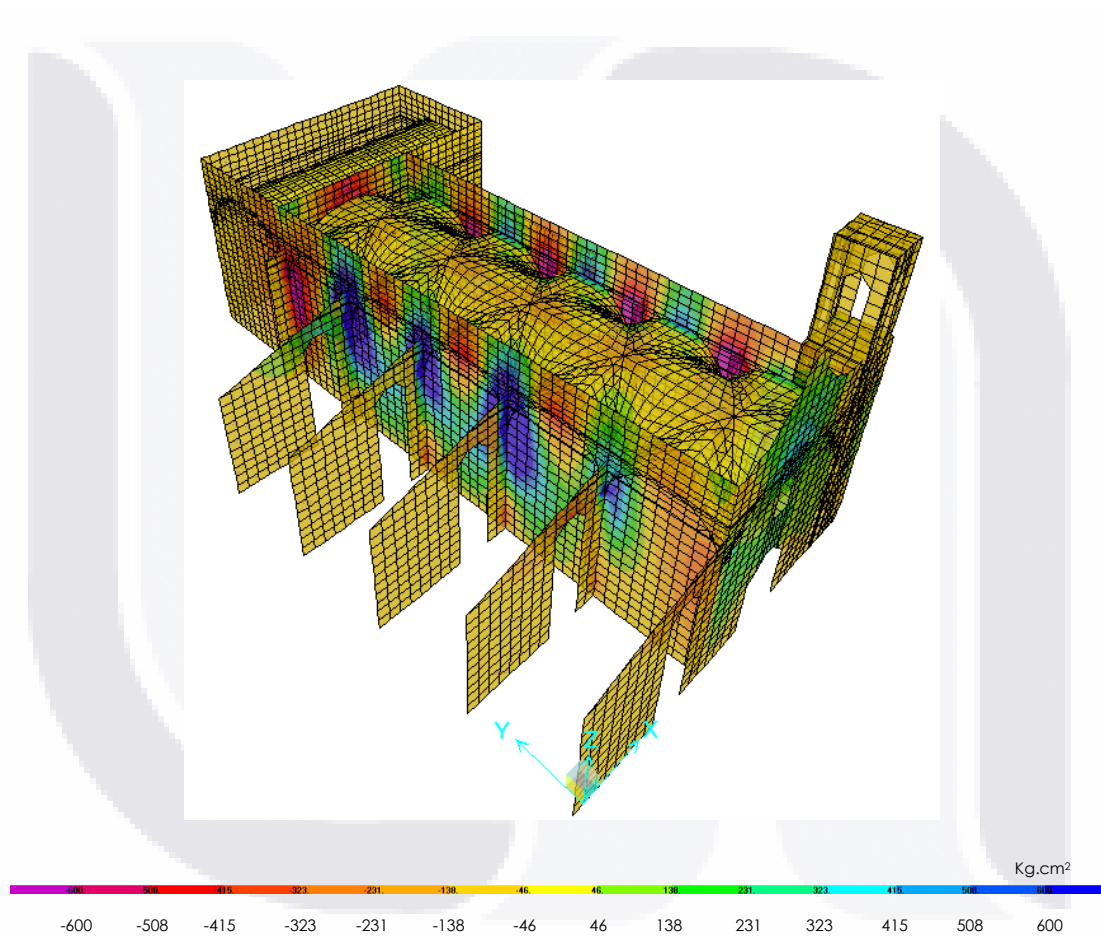


Fig.93: Distribución de momentos en la dirección X o longitudinal.

La Fig.94 muestra la distribución de momentos para la dirección "Y", el resultado del análisis reporta un momento en la dirección "Y" para el modelo de la bóveda elaborada a partir de la configuración dañada de 1500 kg-m/ml, y 440.0 kg-m/ml para el modelo de la bóveda con la configuración geométrica no dañada. La figura muestra que los esfuerzos de tensión se magnifican al centro de la bóveda debido a los momentos actuantes.

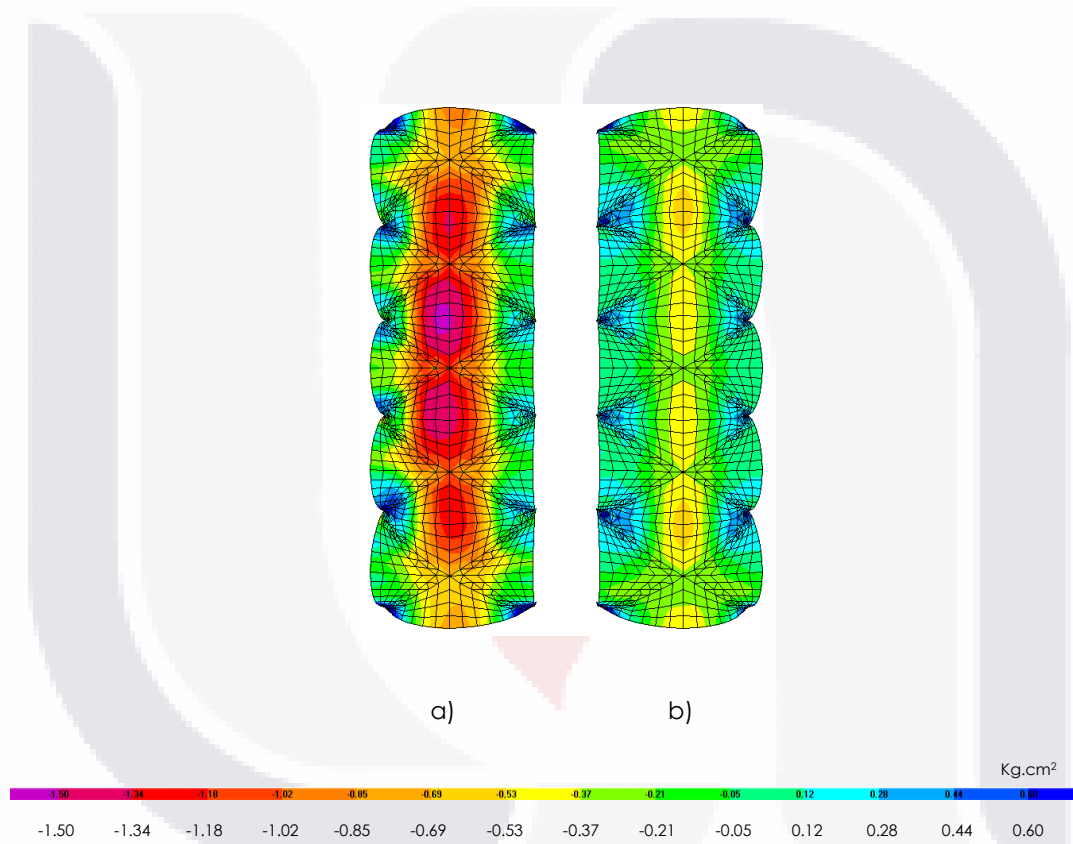


Fig.94: Distribución de momentos en la dirección Y en la bóveda. a) modelo de la bóveda configuración dañada, b) modelo de la bóveda configuración no dañada.

La Fig.95 muestra la distribución de momentos que actúan en la dirección "Y" sobre los muros. Los momentos son mayores en este sentido lo que sugiere que el esfuerzo de tensión sobre los muros (figura 11.9) y los desplomes que actualmente tienen los muros (figura 11.3) es causada por un efecto de momento flector en los muros.

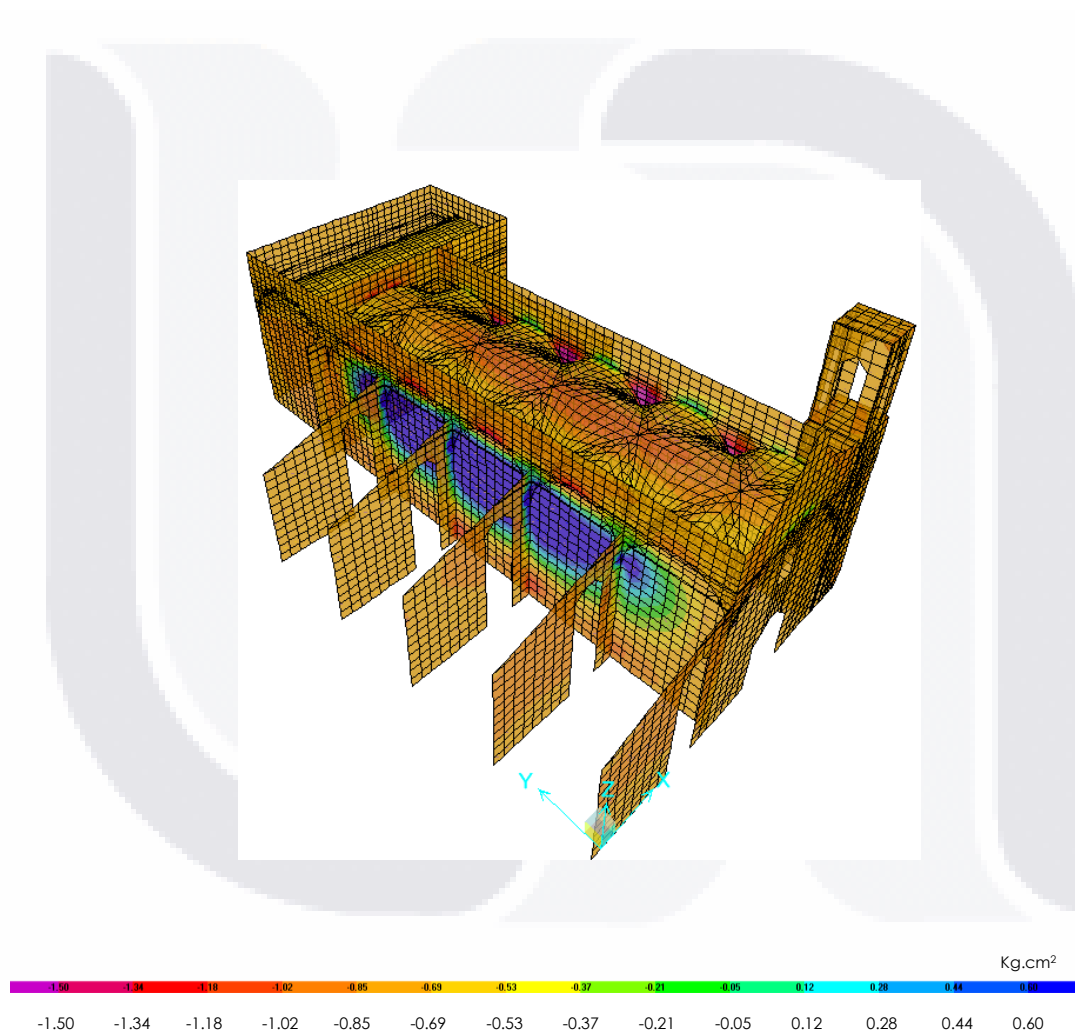


Fig.95: Distribución de momentos en la dirección Y sobre los muros que causa el sistema de bóvedas.

Los resultados obtenidos a través del análisis numérico del modelo elaborado a partir de la configuración geométrica dañada, demuestran que las deformaciones que ha experimentado el edificio y el sistema estructural, lo hacen cada vez menos eficiente, provocando que el desplome observados en los muros sea cada vez mayor, además los resultados sugieren que el trabajo actual de la bóveda es a tensión y no a compresión como se idealizó en algún momento.

Los resultados sugieren también que no es opción tratar de regresar el edificio a su configuración geométrica original, ya que las deformaciones están permanentemente y en aumento, el deterioro de los materiales hace que el edificio esté en riesgo de colapso. Lo que se propone es adicionar elementos que permitan detener el proceso de deformación tanto en el sistema de bóvedas como en los muros.

CAPITULO 11.- PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

11.1 INTRODUCCION.

Los estudios realizados previamente nos ayudaron a dictaminar cuales son los elementos mecánicos que están actuando en la estructura para que esta tenga el estado de salud estructural actual. Se presenta a continuación la propuesta de rescate estructural, objetivo principal de este trabajo.

La propuesta se realizó considerando los resultados del análisis del modelo numérico, es decir, la determinación de los esfuerzos y deformaciones que están afectando directamente a la estructura. La propuesta tiene el fin de adicionarle mayor rigidez y estabilidad a los muros, para aumentar años de vida útil a la estructura.

11.2 OBJETIVO.

Realizar una propuesta de rescate estructural adecuada para el sistema estructural del edificio, considerando la información obtenida en los estudios previos.

11.3 PROPUESTA.

Con base en los resultados obtenidos a través del levantamiento de patologías y del análisis estructural realizado, se concluye que la Capilla se encuentra en un estado de vulnerabilidad estructural que de no tomarse las medidas de conservación adecuadas, el edificio puede colapsar.

Los resultados del análisis estructural muestran que el sistema de bóvedas está transmitiendo una combinación de esfuerzos y efectos al muro para el cual no fue diseñado lo que está provocando el mal comportamiento de la estructura.

De los resultados obtenidos del modelado numérico se tiene que los contrafuertes están tomando una fuerza horizontal por el "pateo" del sistema de bóvedas de $F = 7,505 \text{ kg}$ (**Error! Reference source not found.**). El desplome en los muros sugiere que esta fuerza no ha podido ser contrarrestada por los contrafuertes por lo que la propuesta para contrarrestar dicha fuerza es la colocación de tensores metálicos.

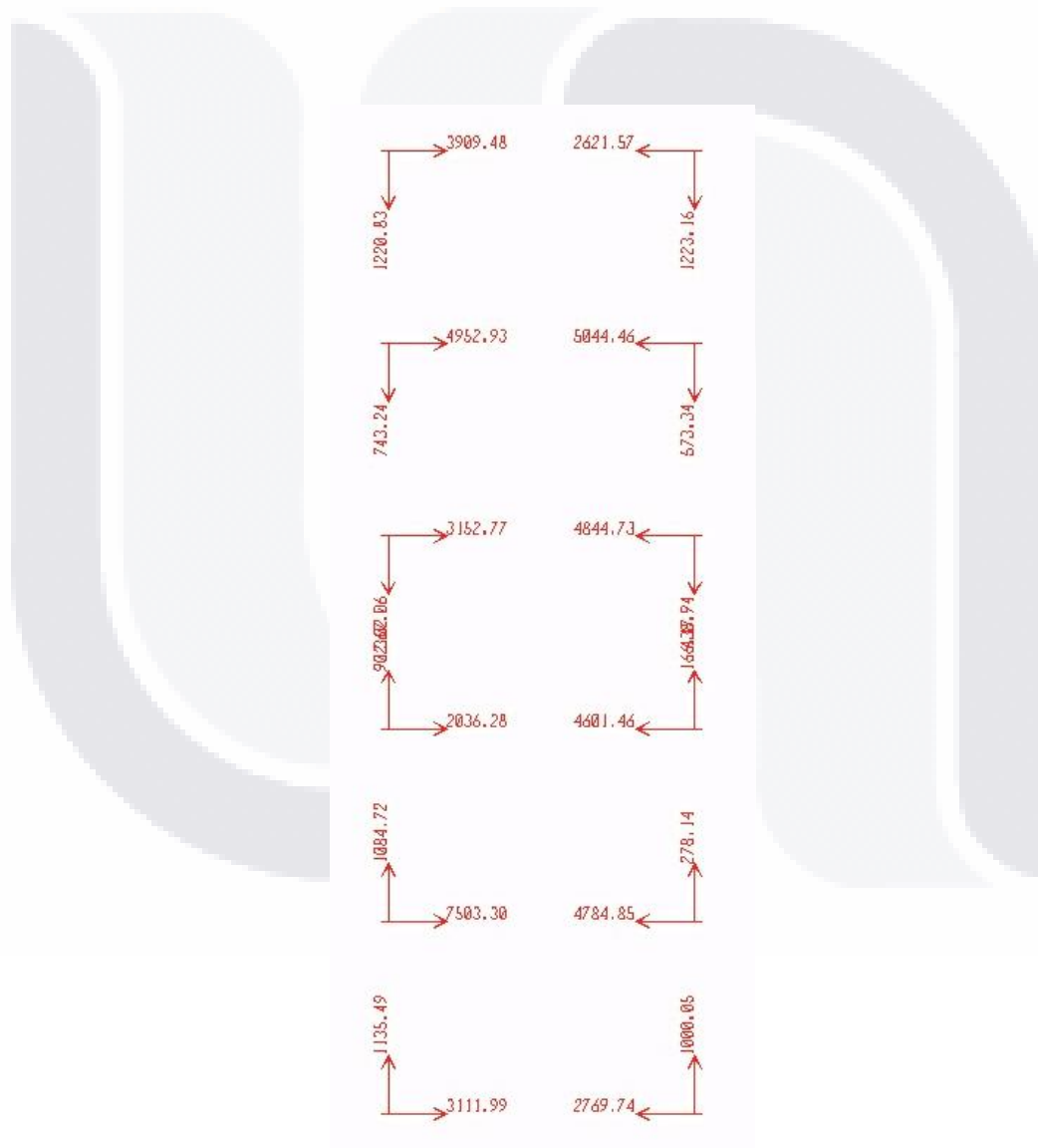


Fig. 96: Valores en kg. de las reacciones horizontales obtenidas a través del análisis del sistema de bóvedas en su configuración dañada.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

Los tensores se anclarán a los muros y deberán soportar los empujes de la fuerza horizontal producida por el sistema de bóvedas. Se propone colocar 2 tensores en cada eje anclados a las columnas. En las

Fig.97 y

Fig.98 se muestra de manera esquemática la solución propuesta.

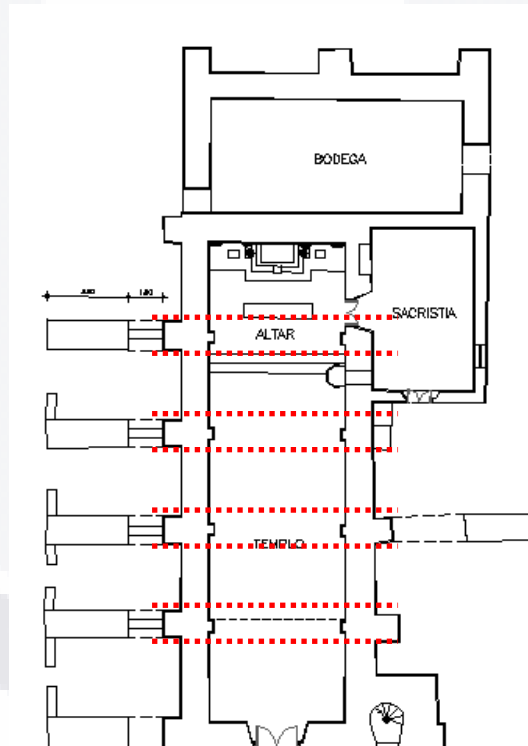


Fig.97: Esquema de propuesta en planta para la colocación de tensores para contrarrestar las fuerzas horizontales que produce el sistema de bóvedas.

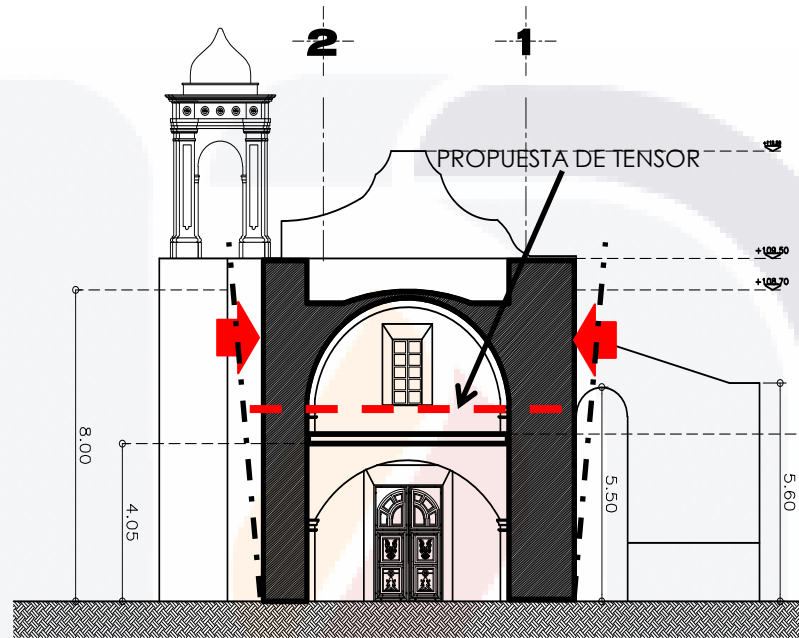


Fig.98: Esquema de propuesta en alzado para la colocación de tensores para contrarrestar la fuerza horizontal que ejerce el sistema de bóvedas sobre el muro.

11.4 CALCULO DEL DIAMETRO DEL TENSOR Y PLACA DE ANCLAJE.

11.4.1 TENSOR.

Esfuerzo del aceroFs=0.6fy

Considerando torón de acero A-36fy= 17100 kg/cm2.

$F_s = 0.6(17100 \text{ kg/cm}^2)$

$F_s = 10260.0 \text{ kg/cm}^2$

$A_s = F_s / f_s = 7505 / 10260 = 0.73 \text{ cm}^2$

Por lo tanto se propone:

1 torón de 1/2" (A=0.987cm2).

11.4.2 PLACA.

Esfuerzo admisible = 1.5 kg/cm2.

$\text{Área } A = F / f_s$

$A = (7505 \text{ kg}) / (1.5 \text{ kg/cm}^2)$

$A = 5003 \text{ cm}^2$

Altura $h = 5003 / 120$

$h = 41.69 \text{ cm}$

se utilizará $h = 50.00 \text{ cm}$

por lo tanto la dimensión de la placa será:

Placa rectangular de 120 x 50 cm.

Espesor de la placa

Sección de 120 x 50 cm.

$$M = \frac{Wl^2}{8} \tag{6}$$

de la fórmula del momento de Inercia..... $I = \frac{bh^3}{12}$

$$I = \frac{50t^3}{12}$$

Recomendación de acero A-36 $f_y=2530$.

$$0.6 f_y = 0.6 (2530) = 1518 \text{ kg/cm}^2$$

$$W=1.5 (50) = 75 \text{ kg-cm}$$

Sustituyendo valores en (1)

$$M = \frac{75 \times 120^2}{8} = 135,000.0 \text{ kg-cm.}$$

Despejando para obtener t .

$$S = \frac{M\left(\frac{t}{2}\right)}{I} = \frac{Mc}{I}$$

$$S = \frac{M \frac{t}{2}}{\frac{50t^3}{12}}$$

$$t = \sqrt{\frac{12(135,000)}{100(1518)}}$$

$$t = 3.27 \text{ cm.}$$

Por lo tanto se utilizará placa de 1 1/2" de espesor.

El resultado de la reacción de magnitud $F = 7,505 \text{ kg}$ se contrarrestará con la utilización de 2 tensores, cada uno al costado de la columna central (Torón de acero de 1/2" de diámetro), apoyados en una placa de acero de sección de 120 x 50 cm y espesor de 1 1/2". En la Fig.99 se muestra el isométrico con la disposición de los tensores, que deberán anclarse por medio de una placa de acero abarcando los extremos de las pilastras de adobe. La solución considera dos tensores debido a que no es recomendable realizar la perforación al centro de la columna.

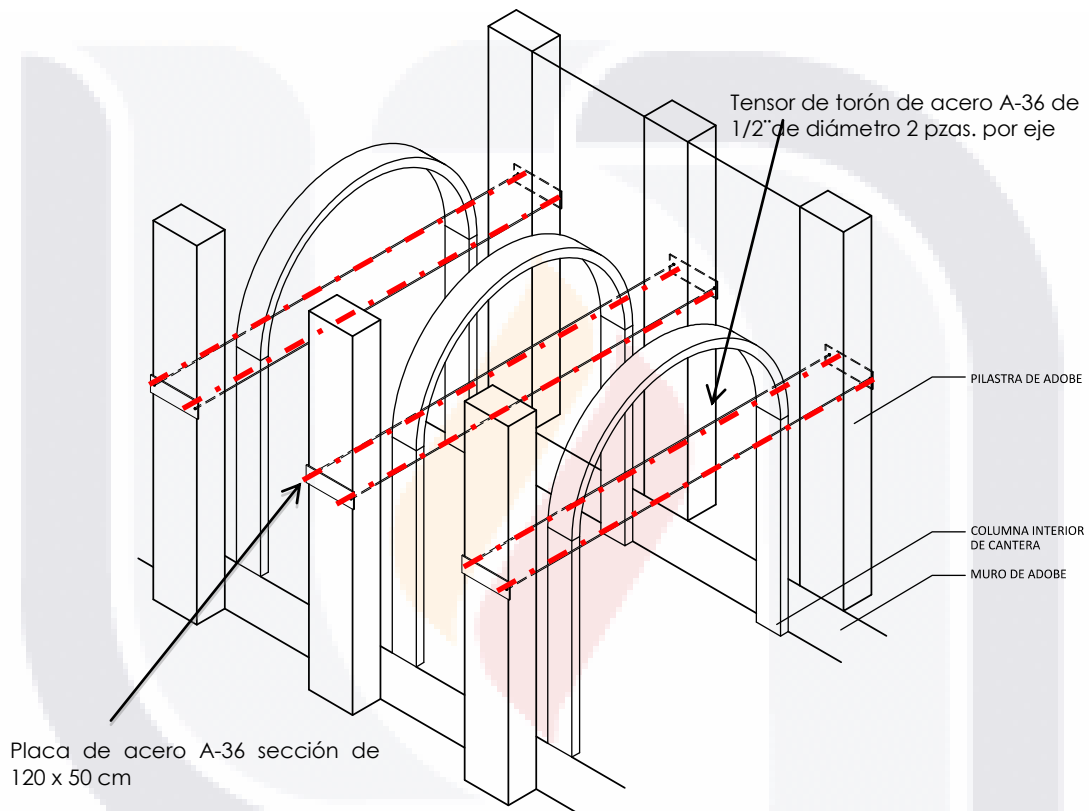


Fig.99: Isométrico de una sección de la capilla en donde se muestra la disposición de los elementos de refuerzo (tensores).

11.5 RECOMENDACIONES Y PROCESO CONSTRUCTIVO.

APUNTALAMIENTO.- se recomienda realizar el apuntalamiento en las zonas con mayores desprendimientos y en especial cuidado en los arcos debido a la deformación existente. Se deberán apuntalar los muros por el lado exterior con vigas de madera para proporcionarles estabilidad mientras se realizan los trabajos.

1. PROCESO CONSTRUCTIVO.- Se deberá de realizar 2 perforaciones una a cada lado de las columnas para poder pasar el cable de acero de los tensores, se colocará la placa de acero de respaldo con dos perforaciones donde irán anclados los tensores de un extremo, los cuales deberán ser soldados a la placa. Se realizará este proceso para todas y cada una de las columnas a intervenir una vez realizado este procedimiento, en el lado opuesto es donde se tensará el cable de acero y se soldara a la placa de respaldo del extremo opuesto una vez tensado, el proceso será iniciando de la columna del centro hacia las columnas exteriores de la capilla.
2. RECUPERACIÓN DE MURO. Previo a estos trabajos se deberán de apuntalar todas las zonas en donde se vaya a intervenir los muros. En las zonas que se encuentren deterioradas a causa del crecimiento de materia vegetal, se deberá de retirar el adobe, para sustraer de raíz la rama o de la materia de que se trate, posteriormente se sustituirán las piezas por nuevas en el área afectada. En el caso de los muros de los prefiles donde se encuentran madrigueras de animales, se deberá de retirar el material intemperizado y se deberá de sustituir por adobe nuevo realizando la liga de manera cuatrapeada y eliminar todos los vacíos o huecos en los muros de pretil.

3. La zona del muro de la fachada oriente que es la más intemperizada se deberá de colocar obra falsa para proteger por completo la zona, se deberá de retirar todo el material hasta localizar la sección del muro más uniforme, desde este punto se deberá colocar adobe nuevo de manera cuatroporado hasta llegar a la parte inferior de la bóveda, ahí se deberá realizar una liga con el sistema de bóveda para que el sistema trabaje de manera conjunta, las pilastras deberán construirse a la par de la construcción del muro, todos los muros posterior a su reparación deberán ser repellados para evitar la intemperización.
4. RECUPERACIÓN DE LA BÓVEDA. Para la bóveda se propone colocar una serie de inyección de grietas para evitar la filtración de agua, posteriormente se le deberá de colocar un sistema de impermeabilización a base de jabón amarillo con acabado bruñido.
5. RECUPERACIÓN DE SISTEMAS NO ESTRUCTURALES
 - PLAFONES.- Retirar la capa de aplanado que se encuentre dañada para sustituirla por nueva, las piezas de canteras que forman los arcos deberán de sustituirse, hay piezas que son rescatables, dependerá del daño que presenten al momento de la valoración.
 - PISOS.- Se recomienda realizar una limpieza previa a los trabajos, se pretende que permanezca tal y como esta, si existieran piezas rotas cambiarlas y emboquillar todo el piso , para posteriormente realizar una limpieza a base de solución de jabón, agua y un poco de ácido muriático.

6. PROYECTO DE SEGURIDAD.- Hay que tener presente que el edificio se encuentra en condiciones de vulnerabilidad estructural debido a los desplomes en muros y deformaciones permanentes en las bóvedas, y que cualquier trabajo que implique solicitaciones extras a la estructura podría hacerla colapsar, por lo que es necesario realizar un proyecto de evacuación ante cualquier eventualidad, en donde se describan las rutas de salidas de emergencia y los protocolos de emergencia que se deberá seguir ante cualquier evento. Se deberá considerar un registro del personal que ingresa al interior de la Capilla por día.
7. SUPERVISION.- Se debe de contar con personal calificado y con experiencia en la ejecución de intervenciones a edificios históricos, deberá de tener el conocimiento previo de los trabajos a realizarse.
8. Para la reposición de piezas dañadas o reconstrucción de alguna zona que se altere durante la intervención es necesario apuntalar la zona para evitar que el material de la techumbre sea dañado, una vez asegurado el elemento se procederá al retiro de las piezas dañadas o reposición del elemento.
9. Se recomienda reponer los aplanados en las áreas expuestas, para brindar seguridad al material base ante la intemperización.

CAPITULO 12.- DISCUSION DE RESULTADOS.

Los resultados obtenidos a través de las campañas experimentales permitieron conocer los diferentes sistemas estructurales que conforman la edificación, se conocieron a fondo las patologías que están afectando la salud estructural del edificio. Se determinaron las frecuencias fundamentales de vibración del terreno y de los elementos estructurales de la capilla, aseverando que no existe riesgo de presentarse el fenómeno de amplificación sísmica o efecto de resonancia.

La caracterización de los materiales con la utilización del método Nakamura, permitió conocer los valores del módulo de elasticidad y módulo de Poisson a través de la generación de ondas P y S, los resultados alimentaron el modelo numérico, demostrando la variación físico real con respecto a los valores teóricos de los reglamentos.

La realización del análisis elástico lineal estático del modelo numérico matemático permitió determinar las deformaciones y esfuerzos que están presentando los elementos estructurales tanto en la situación deformada (actual) y no deformada, para llevar a cabo la diferenciación de patrones en el cambio de propiedades de los elementos.

Con la obtención de las fuerzas resultantes fue posible realizar la propuesta de rescate estructural partiendo de los resultados obtenidos del modelo numérico. Con el conocimiento del estado de salud de la capilla se realizaron una serie de recomendaciones para llevar a cabo durante el proceso de intervención de la capilla.

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos a través del proceso de investigación de la capilla se determinó que la capilla se encuentra en un severo estado de salud estructural debido al daño que presentan los elementos estructurales. Las deformaciones y los esfuerzos que presenta la capilla se deben a la adición de sistemas estructurales no definidos y fuera de concepción, los cuales han contribuido al daño junto con los factores climáticos y de intemperismo, al mismo tiempo del descuido y nulas reparaciones.

El estudio concluye que la capilla se encuentra en estado de vulnerabilidad estructural, con riesgo de colapso, aunque se descartan el efecto de amplificación sísmica entre el terreno y la construcción.

Se recomienda iniciar acciones de inmediato para evitar que los factores climáticos sigan afectando la construcción, ya que este factor ha sido el mayor degradante de los materiales y por consiguiente de la construcción en general.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, A. (2010). *Réquiem por un Centro Histórico: El patrimonio en ciernes en Aguascalientes*. Sistema de Información Científica REDALYC, Investigación y Ciencia, Núm. 50, 16-23.

Aspilcueta, J. (1995). *Historia de la restauración Arquitectónica*. Recuperado de <http://histórest.files.wordpress.com/2008/03/historia-de-la-restauracion-2.ppt>.

Carta de Venecia, a través de ICOMOS.

Cedeño, A. (2008). *Valoración de las condiciones De La Estructura Antigua Departamento de Métodos y Sistemas*. UAM-Xochimilco, Diseño y Sociedad.

Chanfón, C. (1996). *Fundamentos Teóricos de la Restauración*, México: Facultad de Arquitectura UNAM.

Espinoza, F. (1999). *Determinación de Características Dinámicas de Estructuras*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

Gutiérrez, F. y Pérez P. (1998). *Elementos Constructivos, Materiales, Sistemas Estructurales y Recursos Ornamentales Propios de la Arquitectura Tradicional Canaria, Obras de Restauración Sobre el Patrimonio; Criterios de Intervención, Técnicas Constructivas*, 2o. Congreso Iberoamericano y X jornada Técnicas de Restauración y Conservación del Patrimonio.

Igeo (2013), *Instituto de Geociencias de Madrid*. Recuperado de <http://www.igeo.ucm-csic.es/cultura-cientifica/divulgacion/228-igeoquiz-12-marzo-el-núcleo-l%C3%ADquido-de-la-tierra>.

Jurado F. (1998). *Tecnología Previa a la Restauración de edificios Históricos*, Escuela Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid.

Ley federal Sobre Monumentos Y Zonas Arqueológicas, Artísticos e Históricos (1972).

Macías-Martínez, M. Et al (2011). *Diagnostico Estructural del Edificio Club San Carlos*, Sistema de Información Científica REDALYC, Ciencia en su PC Núm. 1, 12-24.

Meli R. ponencia “*Diagnóstico y rehabilitación estructural de edificios históricos*”. Dentro del marco del VII Simposio de Ing. Civil “Por una Ingeniería Sustentable”, Sept. 2012 Ags, Ags.

Meli, R. (1998). *Ingeniería Estructural de los edificios Históricos*, México: Fundación ICA.

O. De la Torre, et al, (2004). Evaluación Estructural y Comportamiento de las reparaciones Efectuadas a Edificaciones Históricas, *Revista de Ingeniería Sísmica*, (070), 1-26.

Reyes, J. (2012) Cronista del Municipio de San Francisco de los Romo, Entrevista realizada el 8 de oct. del 2012.

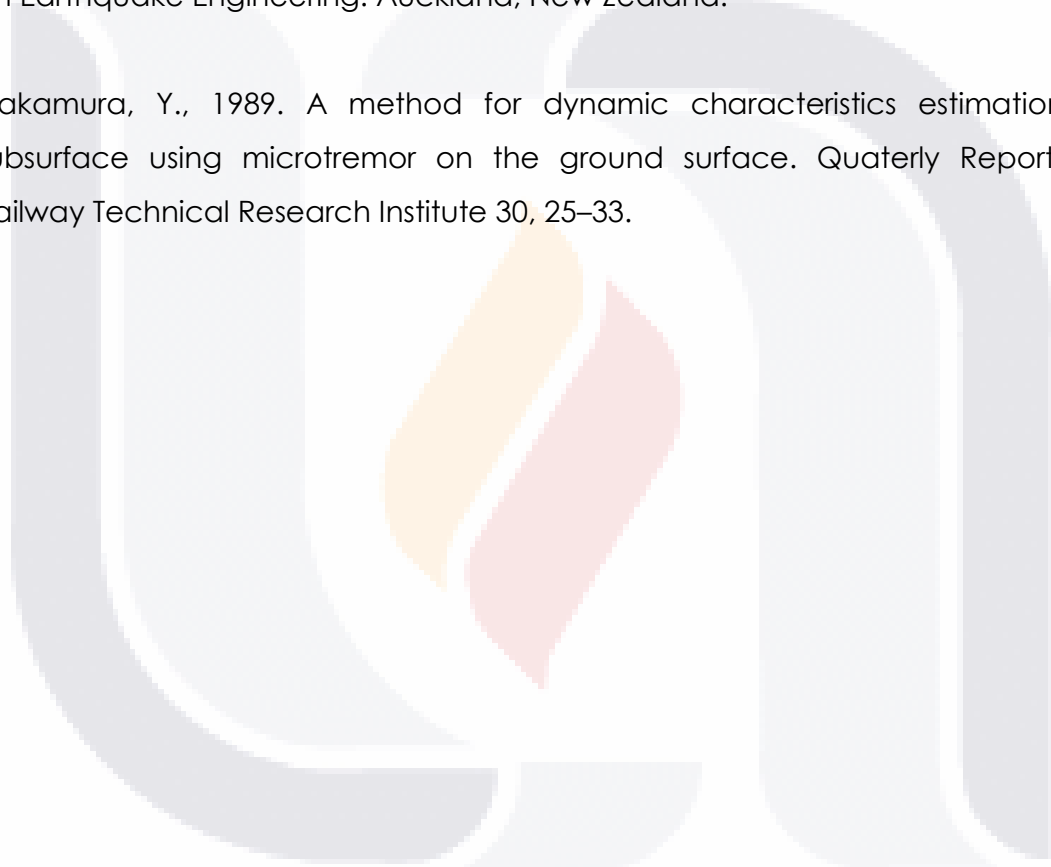
Terán, J. (1999). *Consideraciones que Deben Tenerse en Cuenta Para la Restauración Arquitectónica*, 101-122.

Nakamura, Y., 2008. On the H/V spectrum, in: Proceedings of the 14th World Conference on Earth Engineering. Beijing, china, pp. 1–10.

Sato, T., Nakamura, Y., Saita, J., 2004. Evaluation of the amplification characteristics of subsurface using microtremors and strong motion - The studies at México city -, in: Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C. Canada, pp. 1-7.

Nakamura, Y., 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, in: Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering. Auckland, New Zealand.

Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quaterly Reports of Railway Technical Research Institute 30, 25-33.



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



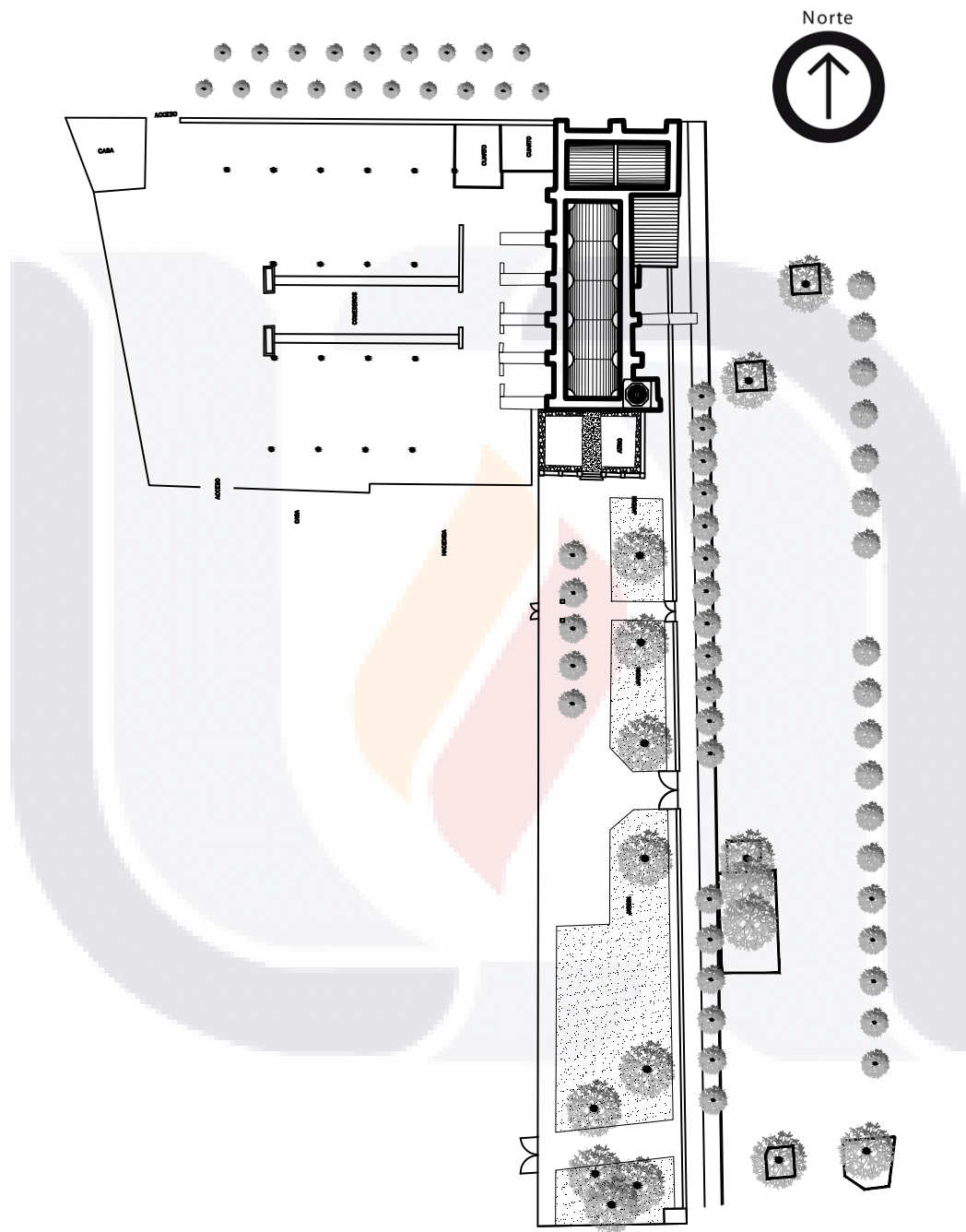
CAPILLA LA TRINIDAD
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

CAPILLA LA TRINIDAD

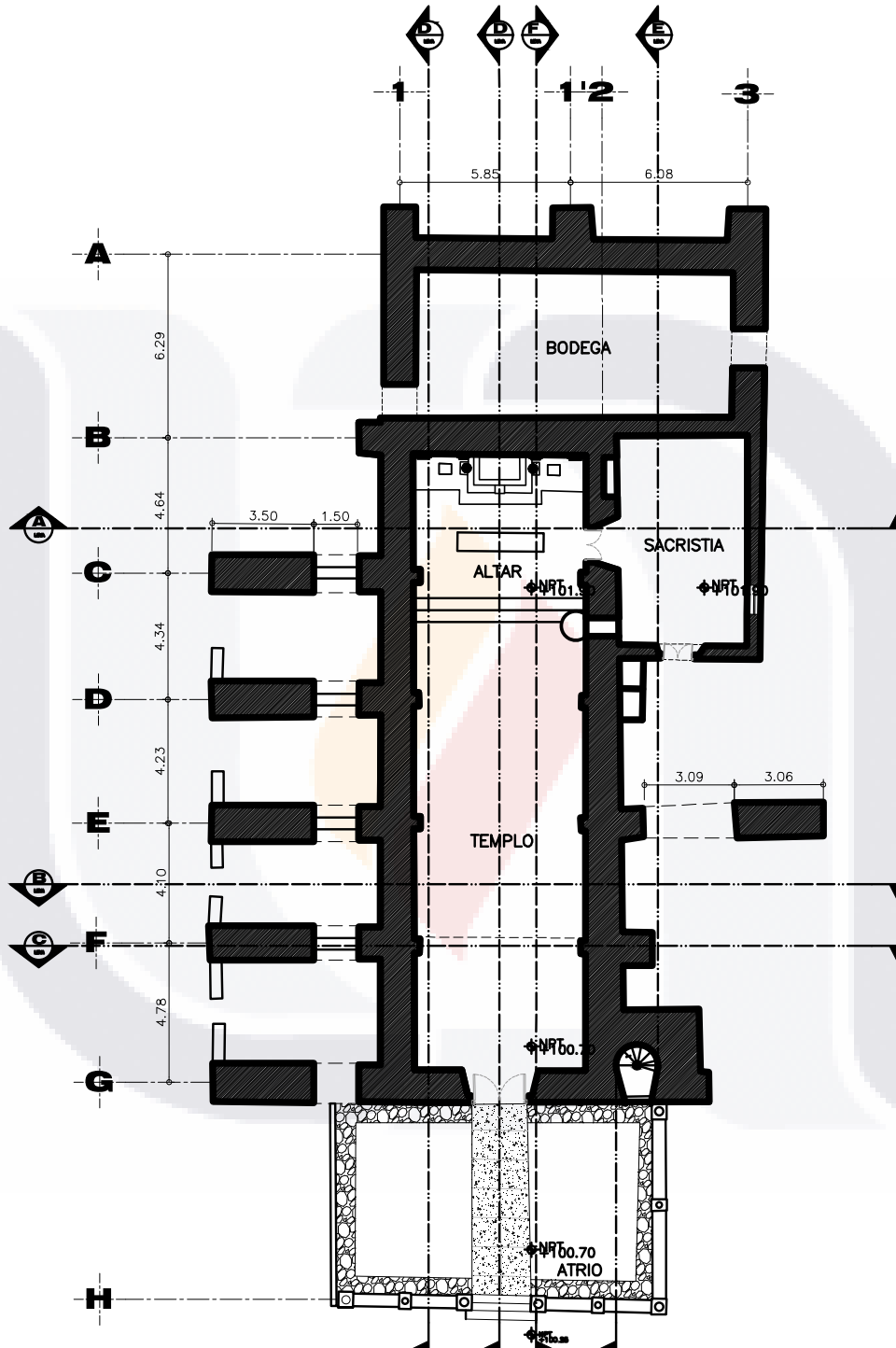
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



Planta Arquitectónica de conjunto. (sin escala)

CAPILLA LA TRINIDAD

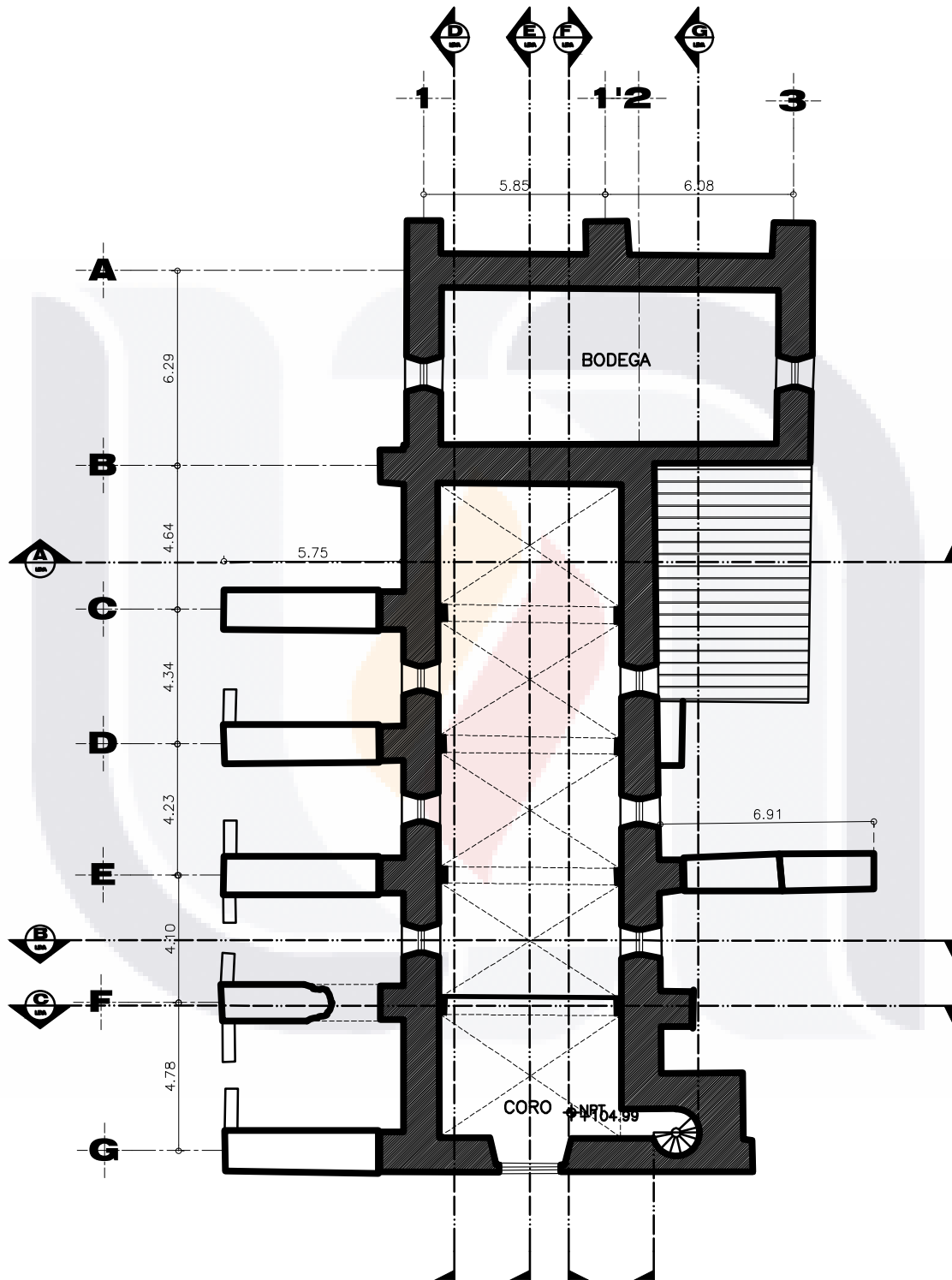
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



Planta Arquitectónica. (sin escala)

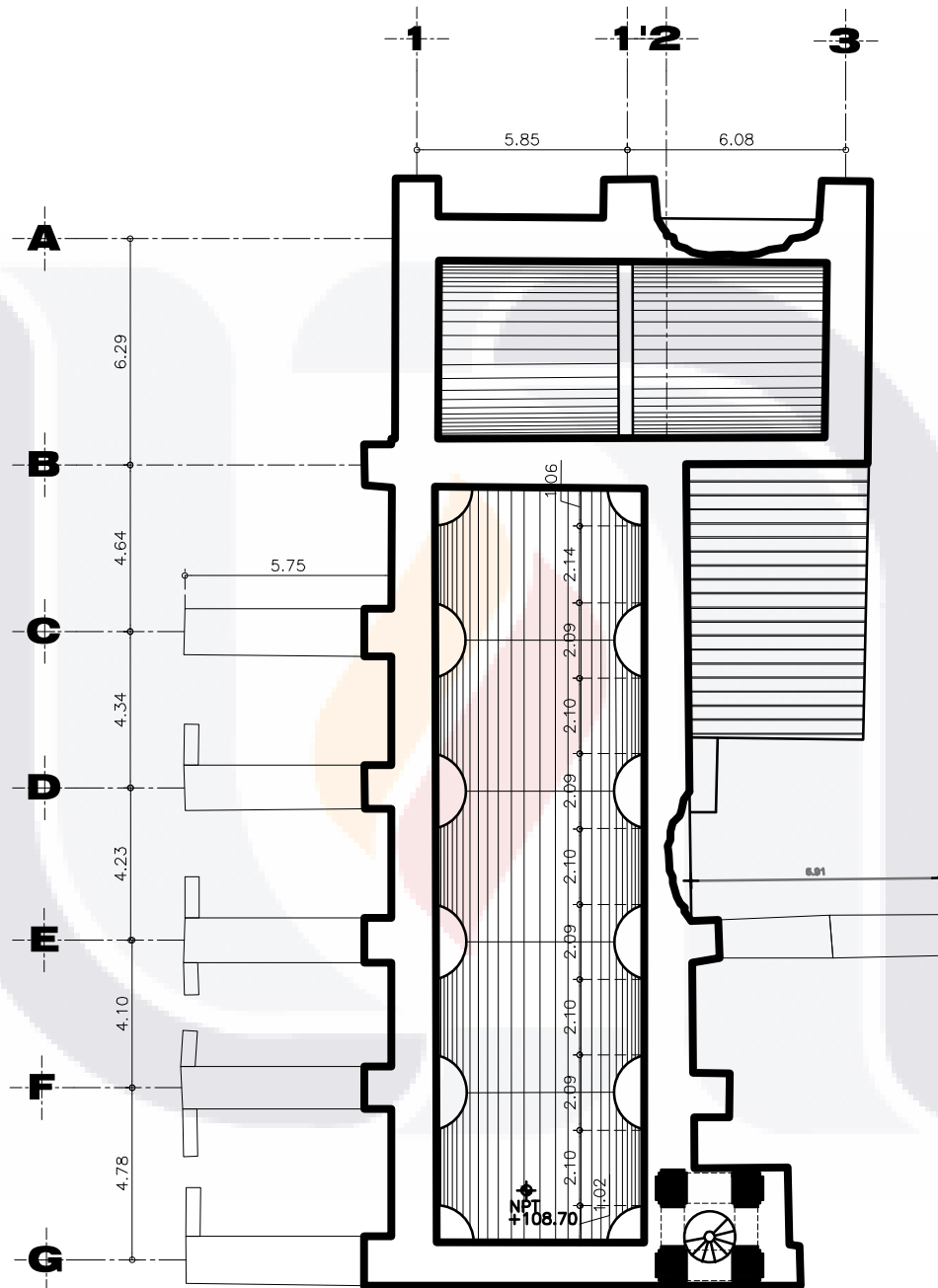
CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



Planta de mezanine del coro. (sin escala)

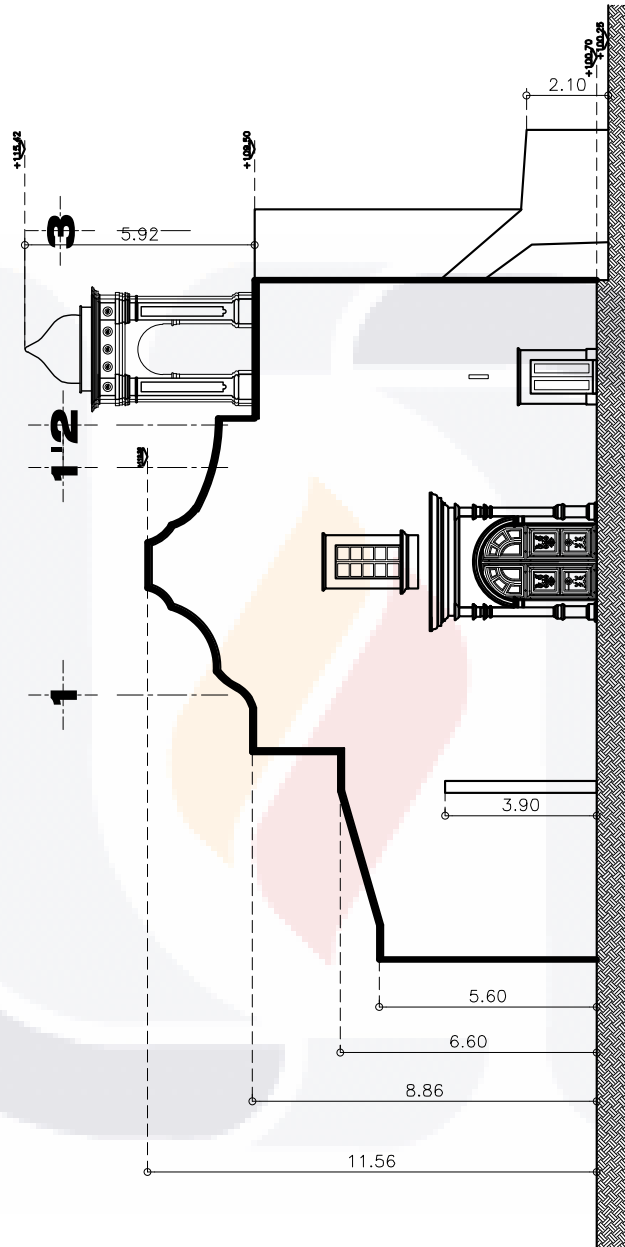
CAPILLA LA TRINIDAD
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



Planta de azotea. (sin escala)

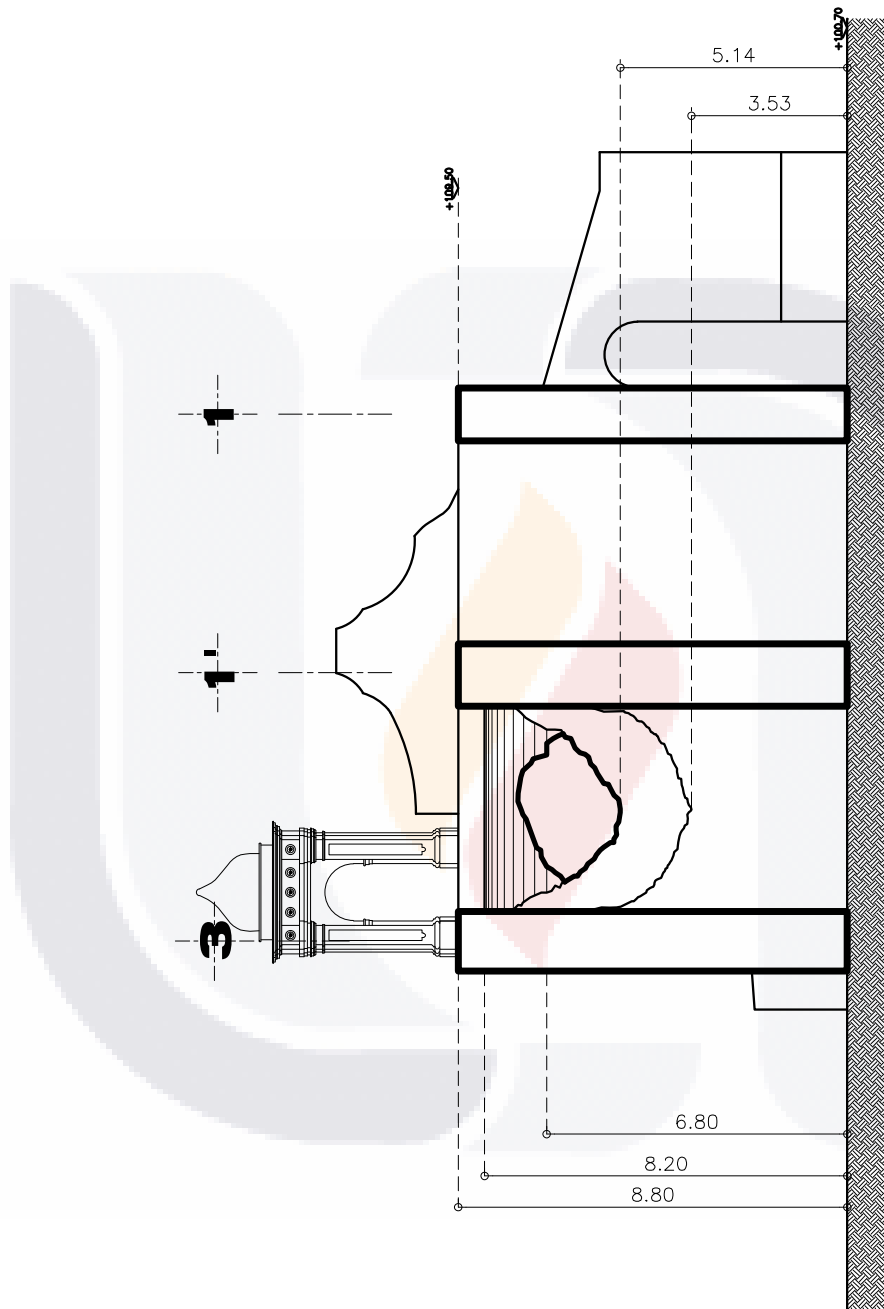
CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



Fachada Principal. (sin escala)

CAPILLA LA TRINIDAD
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

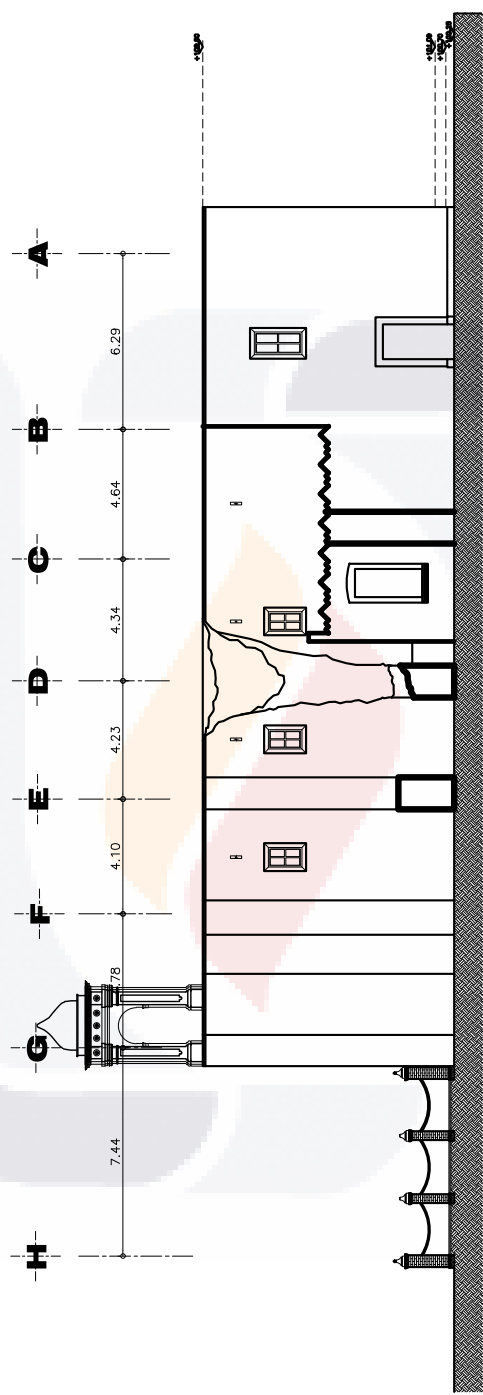


Fachada Posterior. (Sin escala).

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

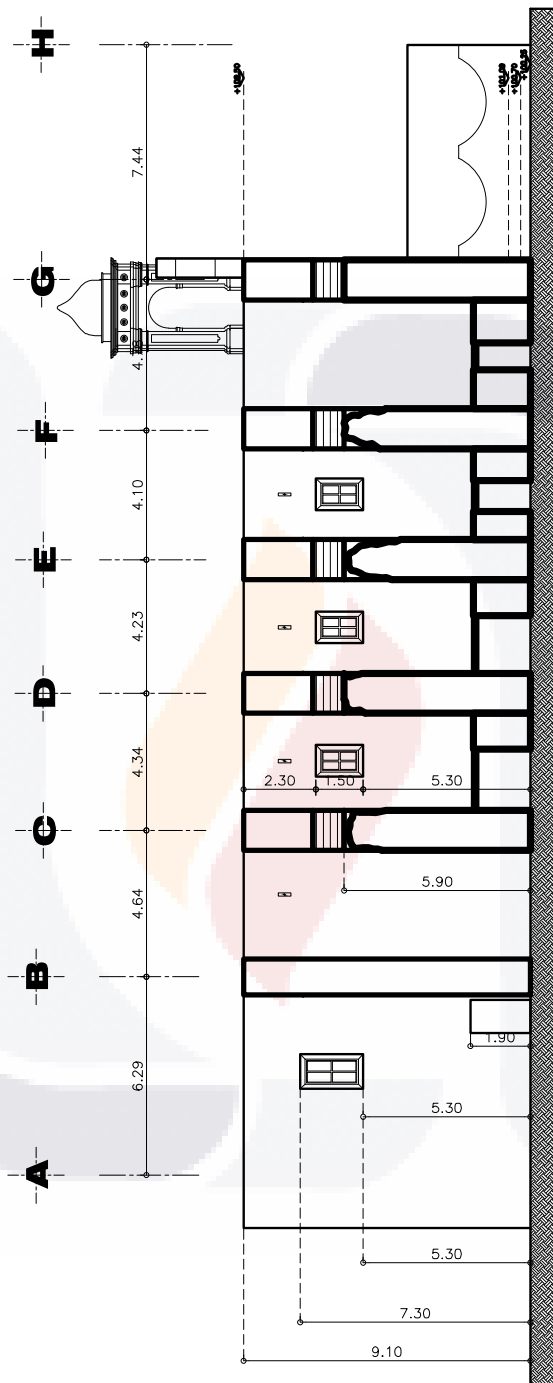


Fachada Oriente. (Sin escala).

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

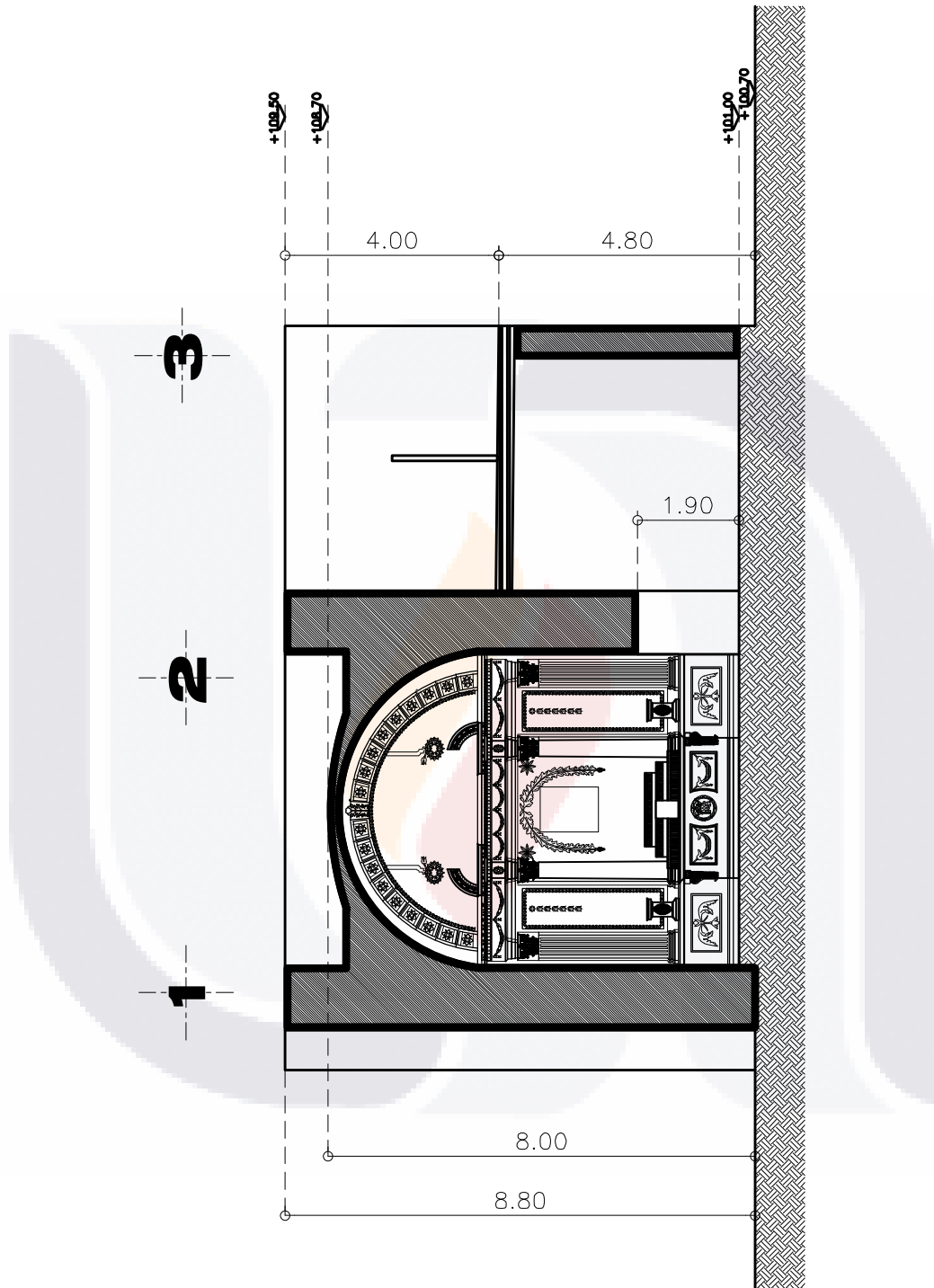
CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



Fachada Poniente. (Sin escala).

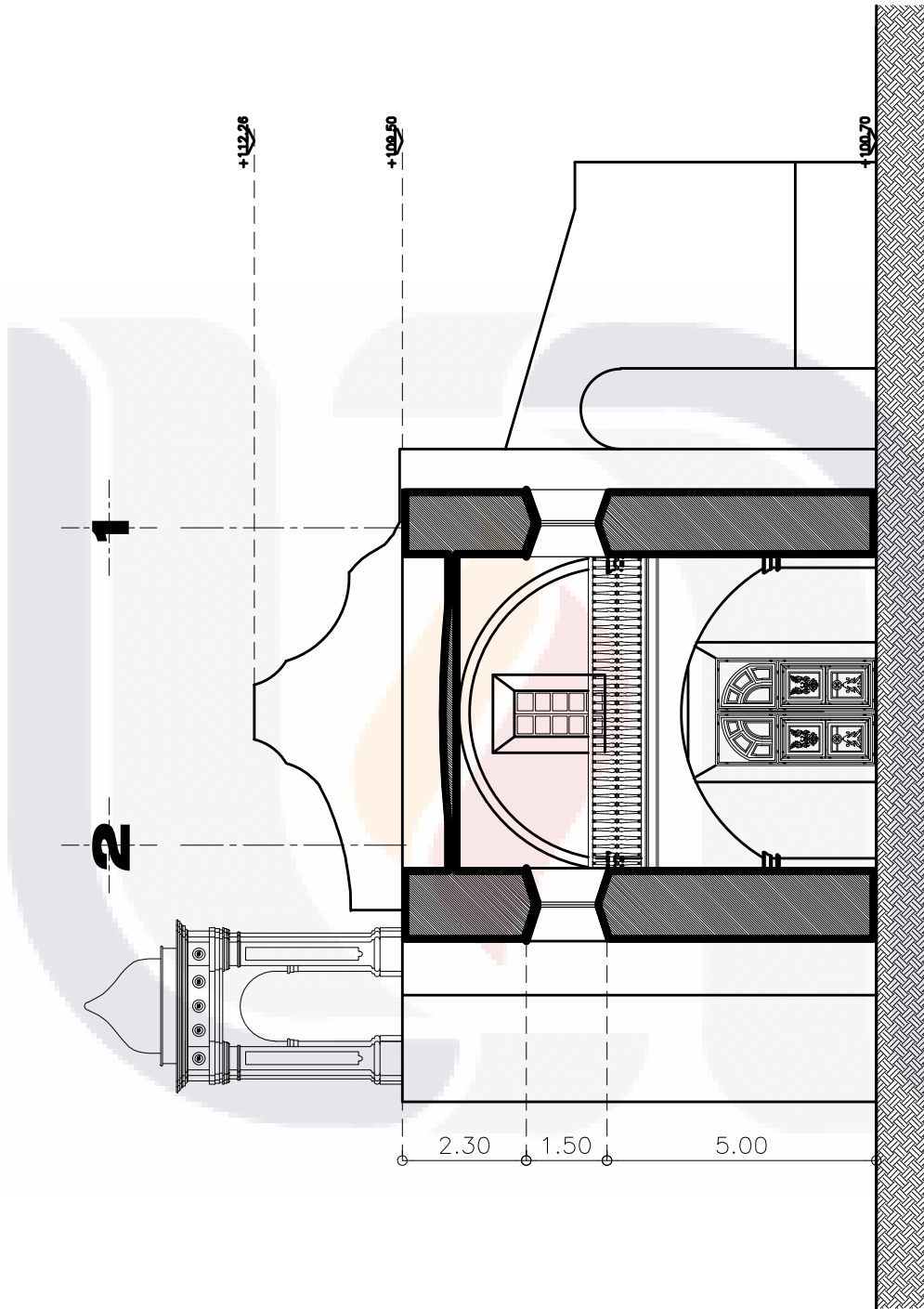
CAPILLA LA TRINIDAD
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



Dibujo correspondiente al Corte A. (Sin escala).

CAPILLA LA TRINIDAD

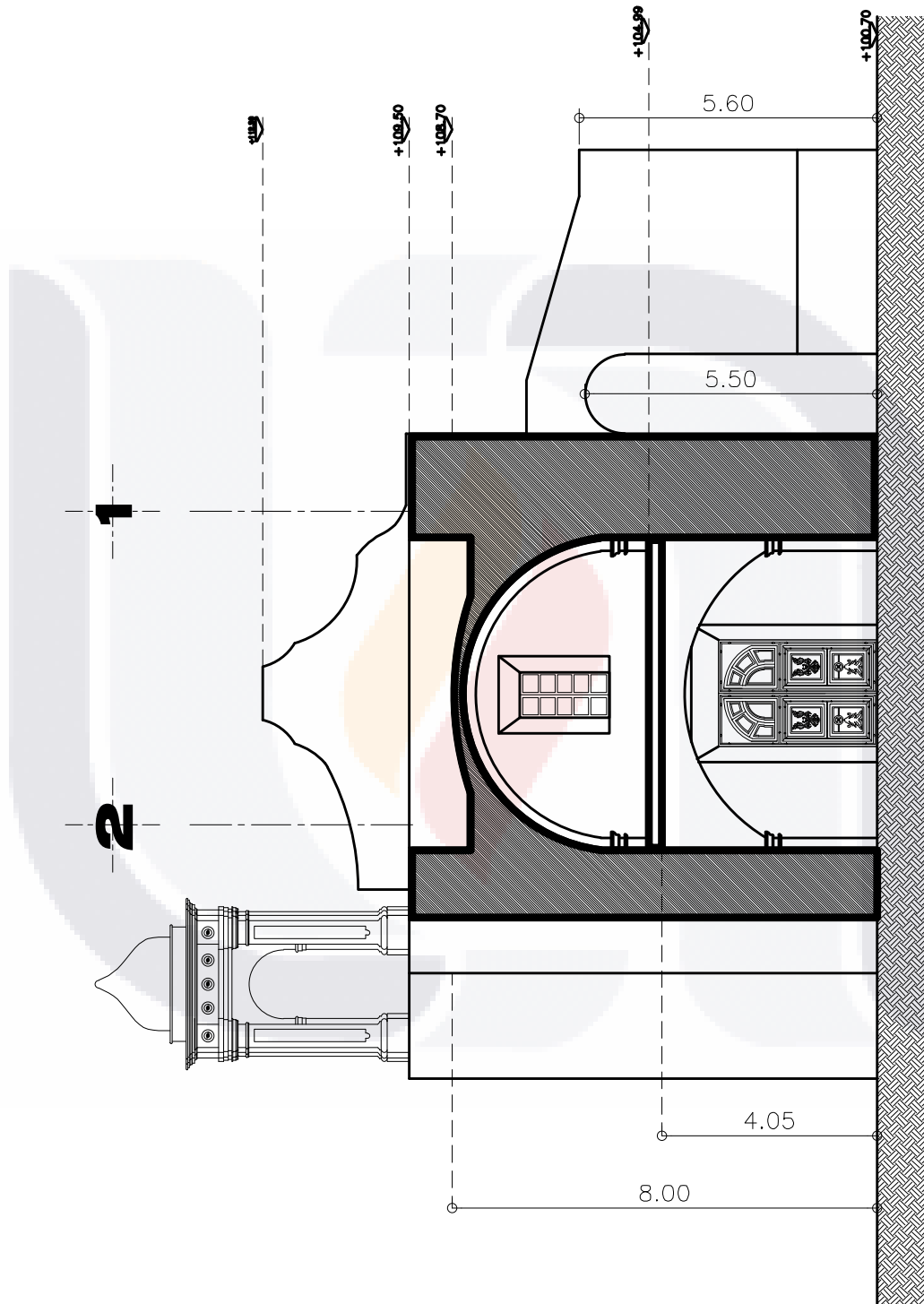
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



Dibujo correspondiente al Corte B. (Sin escala).

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

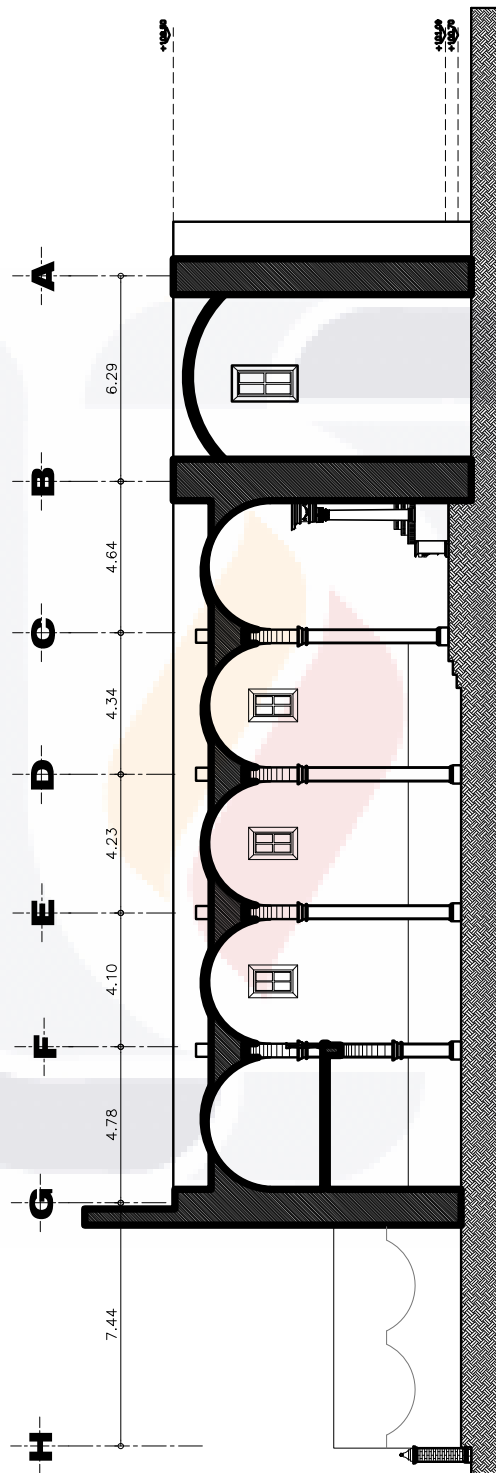


Dibujo correspondiente al Corte C. (Sin escala).

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

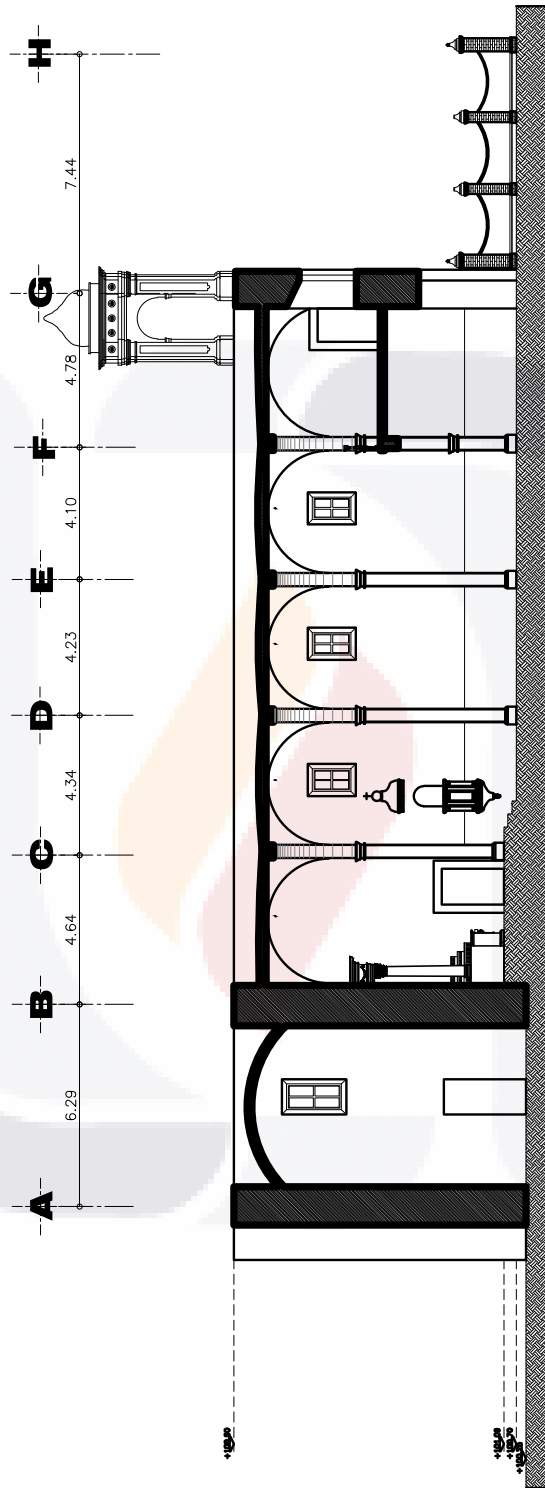


Dibujo correspondiente al Corte E. (Sin escala).

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

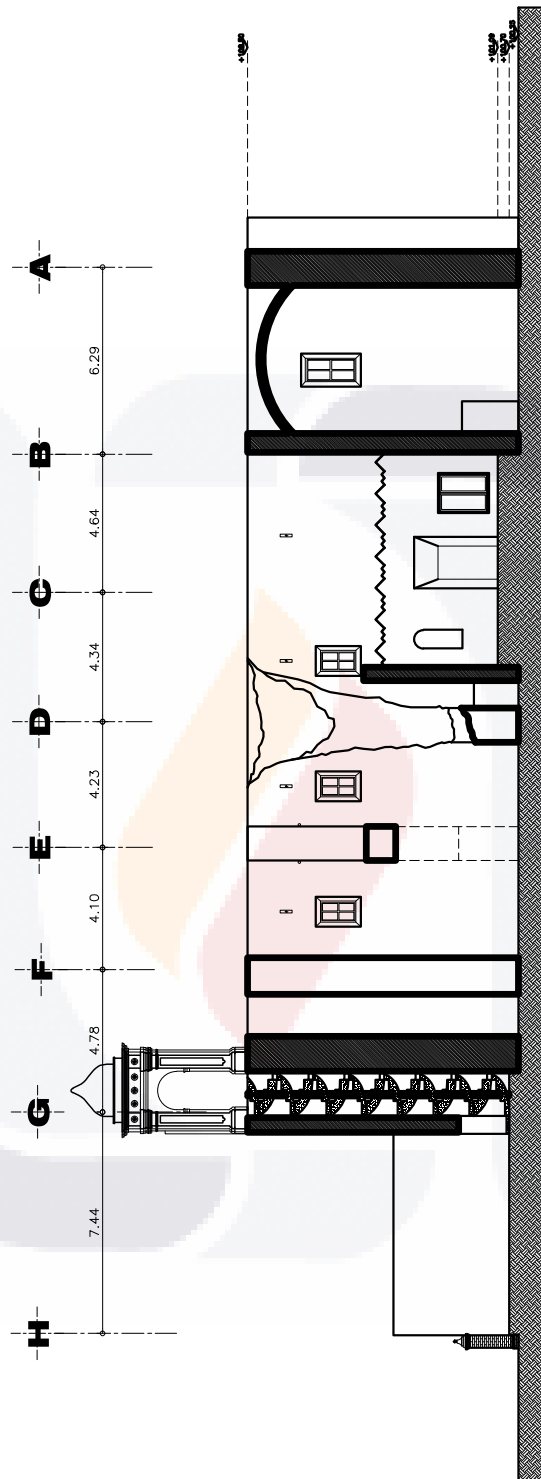
CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



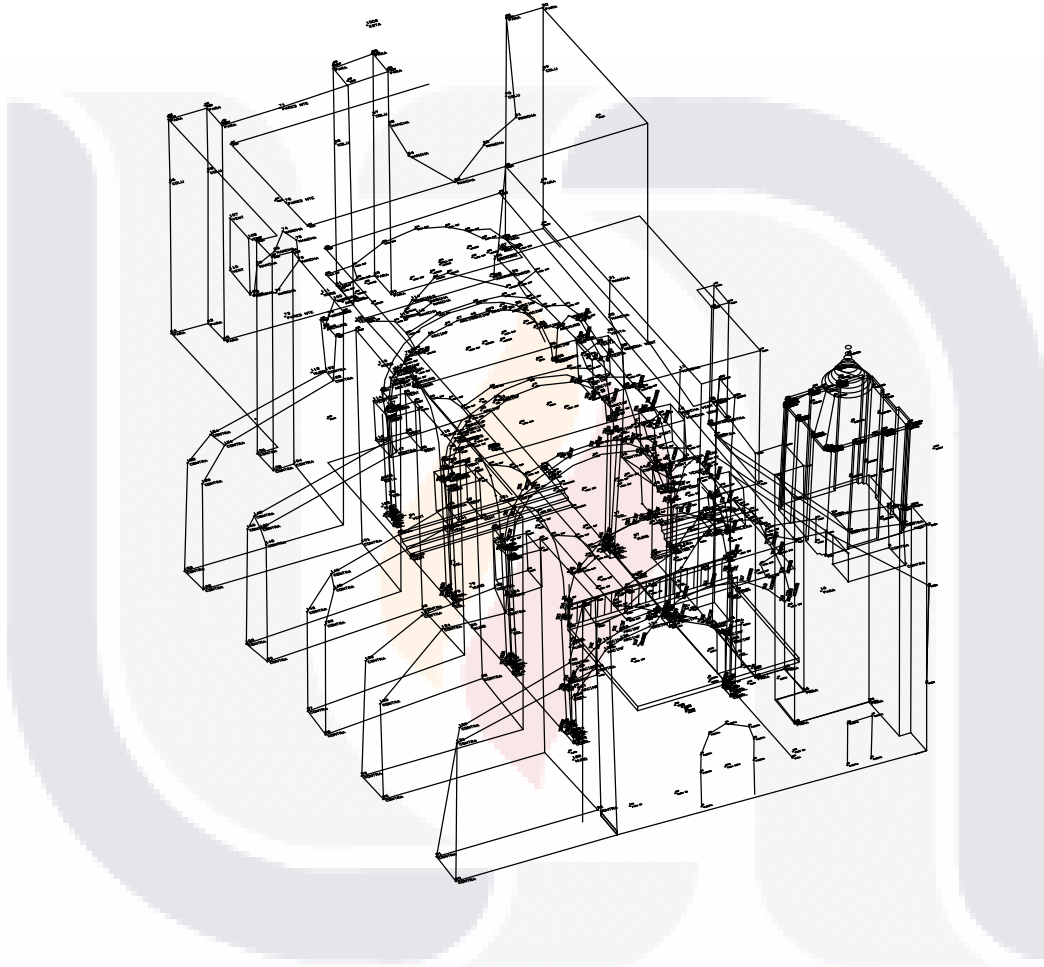
Dibujo correspondiente al Corte F. (Sin escala).

CAPILLA LA TRINIDAD
DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



Dibujo correspondiente al Corte G. (Sin escala).

LEVANTAMIENTO 3 DIMENSIONES.



Levantamiento En 3 dimensiones de la capilla.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.



CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

1

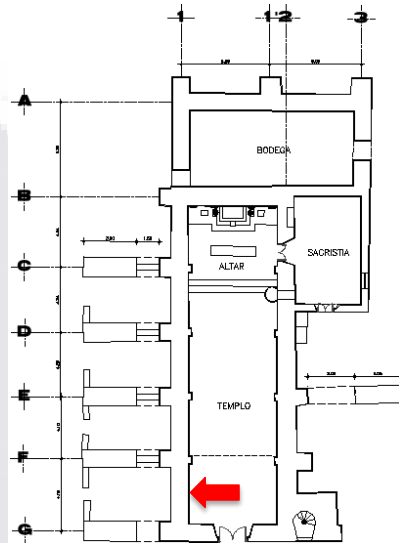
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

Agrietamiento aparentemente del aplanado, no se distingue si la grieta es solo superficial o esta afectando el muro, posiblemente se trate de un muro diafragma que fué construido posteriormente a la construcción original, ya que se observa por la dirección y forma de la grieta que anteriormente existía un hueco, esto supuesto por la forma de arco.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

2

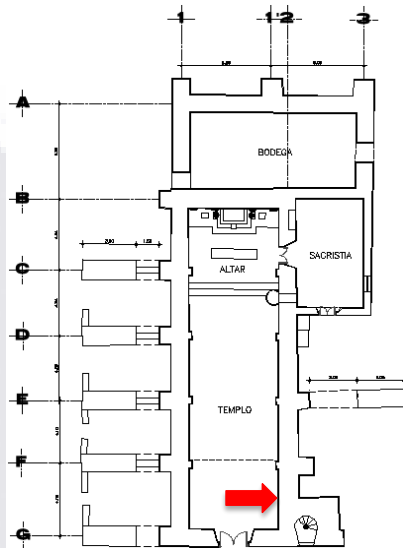
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamiento aparentemente del aplanado, no se distingue si la grieta es solo superficial o está afectando el muro, posiblemente se trate de un muro diafragma que fue construido posteriormente a la construcción original, ya que se observa por la dirección y forma de la grieta que anteriormente existía un hueco, esto supuesto por la forma de arco.
- Se observa la presencia abundante de humedad en la unión con la columna.
- Crecimiento de materia vegetal al interior del muro de adobe.
- Desprendimiento del aplanado.
- Agrietamiento del muro.
- Pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

3

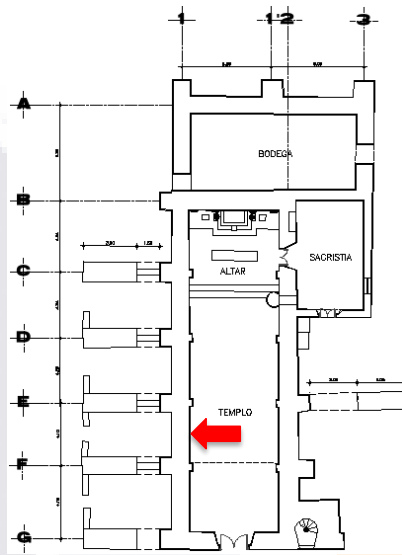
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Desprendimiento de aplanado en los costados de la ventana.
- Presencia de Humedad.
- Separación del muro con la Bóveda en su unión.
- Agrietamiento del aplanado en la parte superior del vano de la ventana.
- Agrietamiento de aplanado en los costados del vano de la ventana.
- Pérdida de verticalidad.

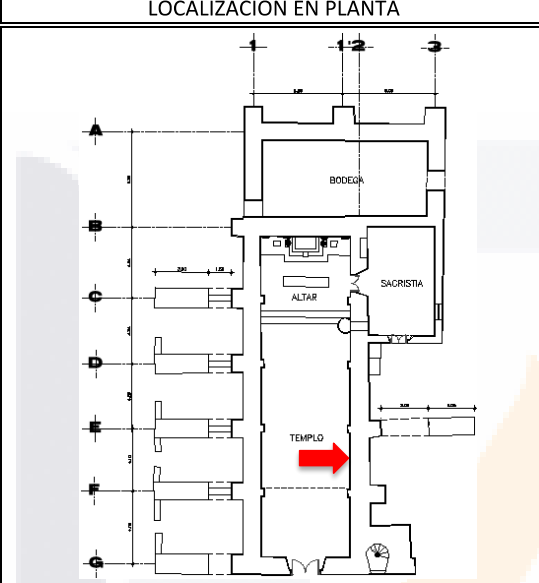

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No. 4

DESCRIPCION DEL ELEMENTO MURO FECHA 22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA	FOTOGRAFIA
	

DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presencia y crecimiento de material vegetal.
- Desprendimiento de capa de aplanado.
- Manchas de Humedad y Moho.
- Desprendimiento de aplanado posiblemente por haberla realizado posteriormente.
- Pérdida de verticalidad.
- Se observa que el tensor colocado ha sufrido una separación del muro aprox. de 7 cm.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

5

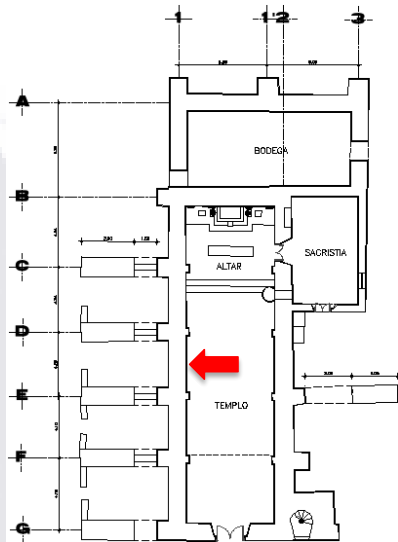
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Desprendimiento de recubrimiento debido a la grieta que baja desde la parte superior del arco, hasta el hueco de la ventana.
- Agrietamiento que inicia en la parte inferior derecha con inclinación aprox. de 10° superficial.
- Agrietamiento en la parte sup. derecha con inclinación Aprox. de 45°.
- Agrietamiento al centro del vano de la ventana al parecer se prolonga desde el tensor que tiene al centro.
- Presenta manchas de humedad.
- Desprendimiento y separación del muro con la bóveda
- Presenta pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

6

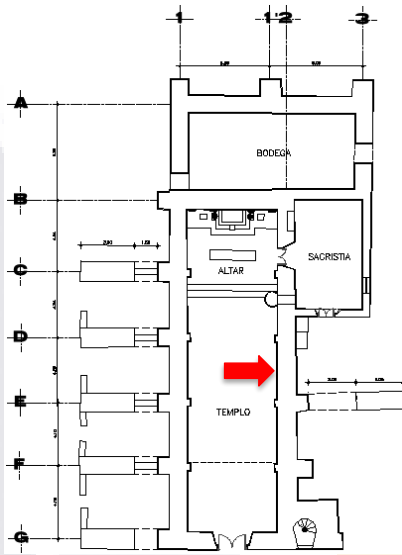
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamiento que simula un semicirculo en la parte superior de la ventana.
- Agrietamiento al centro del vano de la ventana
- Presenta manchas de humedad.
- Desprendimiento de aplanado.
- Desprendimiento y separación del muro con la bóveda
- Presenta pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

7

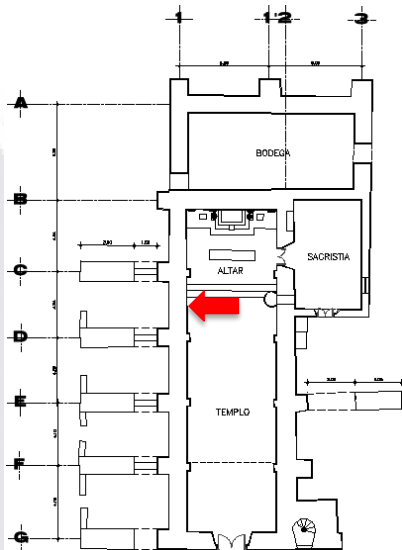
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamiento que simula un semicirculo en la parte superior de la ventana.
- Agrietamiento que inicia desde la esquina superior izquierda de la ventana, hasta llegar a 2/3 del muro con una longitud de 2.45 m.
- Desprendimiento de aplanado en el area en donde se encuentra ubicado el tensor.
- Agrietamiento al centro desde el tensor hasta el centro de la ventana.
- Presencia de humedad junto a las columnas y al lado derecho de la ventana.
- Desprendimiento y separación del muro con la bóveda
- Presenta pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

8

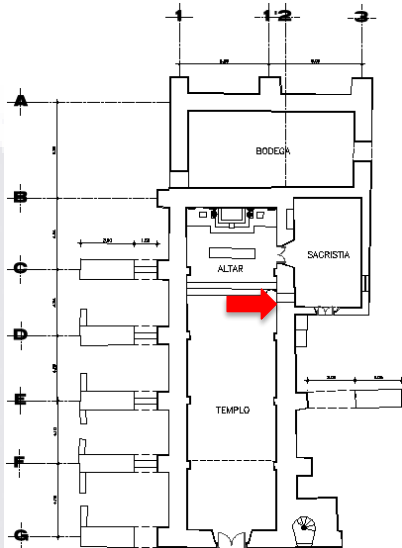
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamiento que simula un semicirculo en la parte superior de la ventana.
- Agrietamiento que inicia desde la esquina inferior derecha de la ventana.
- Desprendimiento de aplanado en el area en donde se encuentra ubicado el tensor.
- Agrietamiento al centro desde el tensor hasta el centro de la ventana.
- Presencia de humedad junto a las columnas y al lado derecho de la ventana, presencia de moho.
- Desprendimiento y separación del muro con la bóveda
- Presenta pérdida de verticalidad.

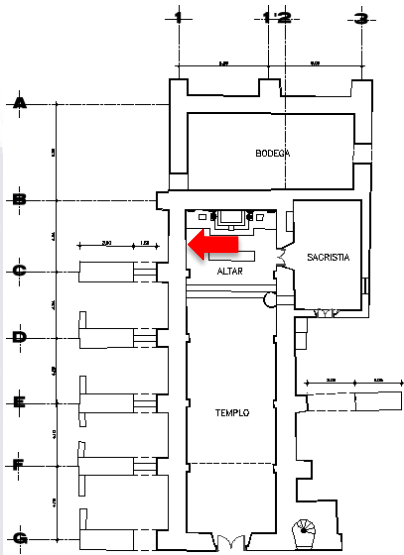

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.	9
-------------------------	---

DESCRIPCION DEL ELEMENTO	MURO	FECHA	22/01/2013
--------------------------	-------------	-------	------------

LOCALIZACION EN PLANTA	FOTOGRAFIA
	

DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> - Agrietamiento que simula un semicirculo en la parte superior antes de unirse a la bóveda - Agrietamiento que cruza el ancho del muro a la altura de los capiteles de las columnas - Agrietamiento al centro del muro con 2 derivaciones . - Agrietamiento que inicia en la columna del lado izquierdo long. aprox. de 1.20 m. - Agrietamiento que inicia en la columna del lado derecho corre en dirección horizontal long. aprox de 1.50 m - Desprendimiento de acabado en una zona junto a la unión con la bóveda. - Oquedad en el muro debido al elemento ornamental del muro del altar - Presencia de humedad, presencia de moho. - Desprendimiento y separación del muro con la bóveda - Presenta pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

10

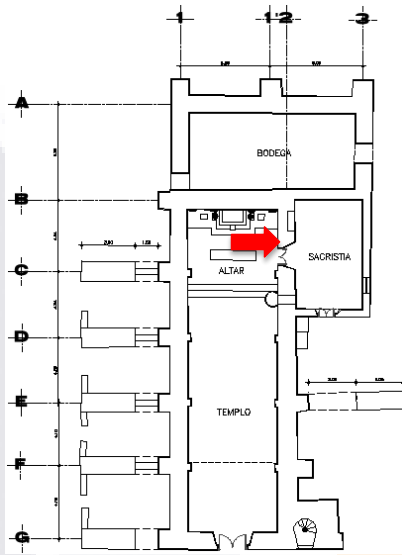
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamiento que simula un semicirculo en la parte superior antes de unirse a la bóveda
- Agrietamiento central que inicia en la union con la bóveda y baja de manera vertical hasta casi la altura de la puerta.
- Agrietamiento que inicia en el capitel del elemento ornamental del altar y atravieza la grieta central.
- Oquedad en el muro debido al elemento ornamental del muro del altar
- Presencia de humedad, presencia de moho.
- Desprendimiento y separación del muro con la bóveda
- Presenta pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

11

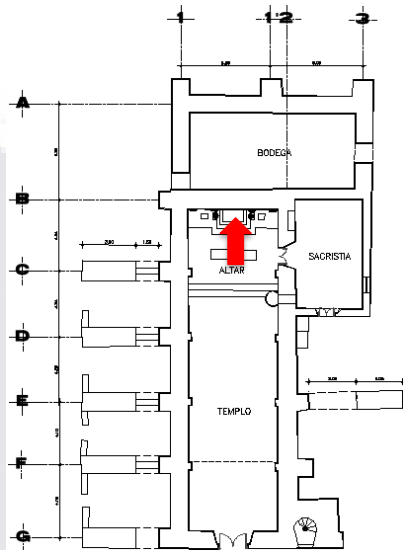
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamientos al centro en la parte superior.
- Agrietamiento lateral con la unión de muro con la bóveda.
- Agrietamiento que inicia en el capitel del elemento ornamental del altar hasta la parte inferior del basamento.
- Elemento ornamental dañado por agrietamiento en la zona.
- Presencia de humedad, presencia de moho.
- Presenta pérdida de verticalidad. se percibe una leve deformación del muro estando en el sitio.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

12

DESCRIPCION DEL ELEMENTO

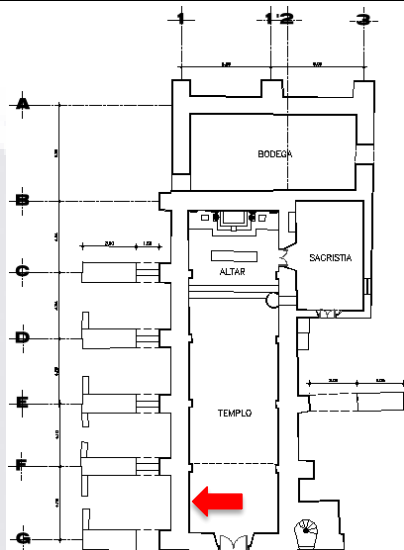
MURO%^A

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA

FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamientos al centro del muro donde la grieta rodea la parte central del mismo.
- Agrietamiento lateral con la unión de muro con la bóveda.
- Presencia de humedad, presencia de moho.
- Presenta pérdida de verticalidad .
- Presenta hundimiento en la zona en donde se encuentran las grietas aprox de 4 cm.

OBSERVACIONES

Muro correspondiente al eje 1 entre los ejes G y F visto a partir de la losa de entrepiso del coro.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

14

DESCRIPCION DEL ELEMENTO

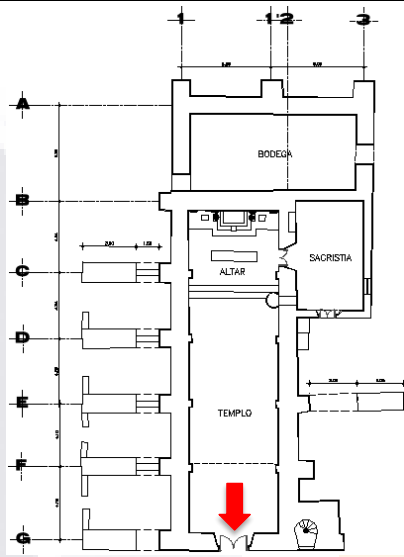
MURO ACHADA INT.

FECHA

22/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA

FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamientos verticales al lado izquierdo y derecho del muro
- Agrietamiento lateral con la unión de muro con la bóveda.
- Presencia de humedad, presencia de moho.
- Presenta desprendimiento de acabado.

OBSERVACIONES

Muro correspondiente al eje G entre los ejes 1 y 2 visto a partir de la losa de entrepiso del coro.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

15

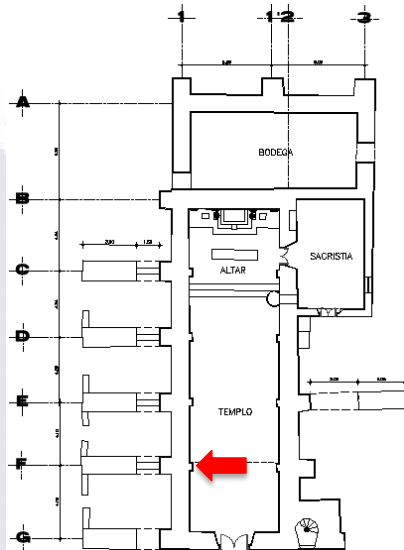
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

COLUMNA NT.º

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamiento en capitel de la columna.
- Agrietamiento en la interfase columna-basamento.
- Fisura a lo largo de la columna, causada al parecer por la separación entre sistemas Arco-Columna.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

16

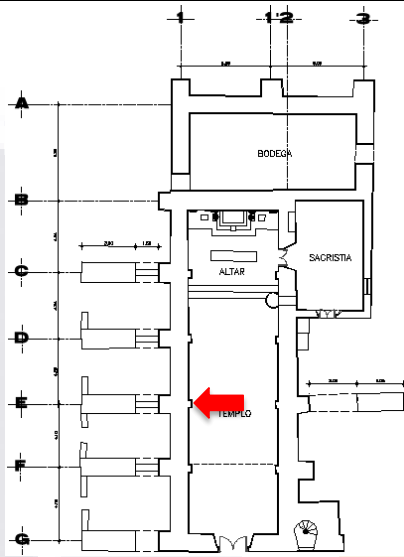
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

COLUMNA INT. 2

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamiento entre bloques de columna con separacion max de 2mm y 12 cmm de profundidad.
- Agrietamiento entre capitel y bloque de la columna.
- Pérdida de verticalidad.

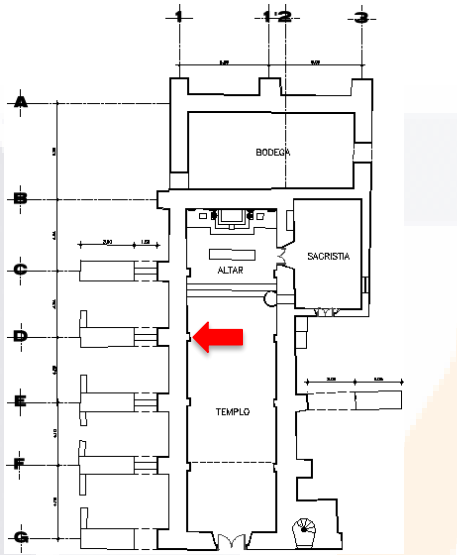

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.	17
-------------------------	----

DESCRIPCION DEL ELEMENTO	COLUMNA INT. 2	FECHA	23/01/2013
--------------------------	-----------------------	-------	------------

LOCALIZACION EN PLANTA	FOTOGRAFIA
	

DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> - Separación de los bloques del basamento y bloque de arranque de la columna, de hasta 4mm de apertura y una profundidad aprox. de 12 cm. - Separación de los bloques entre la unión de la columna con el capitel. - Ambas separaciones fueron resanadas con yeso, segun se observó en campo. - Presencia de humedad a los costados de la columna. - Presencia de moho. - Pérdida de verticalidad, a una altura de 2.0 aprox, el desplome resulto de 2 cm.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

18

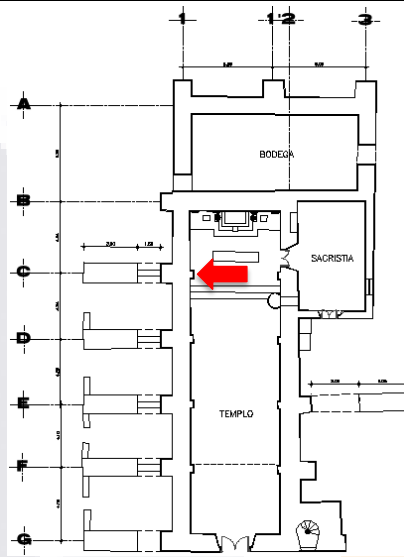
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

COLUMNA INT.

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Separación de los bloques del basamento y bloque de arranque de la columna., de hasta 5 mm de apertura y una Profundidad aprox. de 16 cm.
- Separación de todos los bloques desde el basamento hasta el capitel.
- Presencia de humedad a los costados de la columna.
- Agrietamiento en bloque intermedio de 38 cm de long. y un angulo aprox de 45°.
- Presencia de moho.
- Pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

19

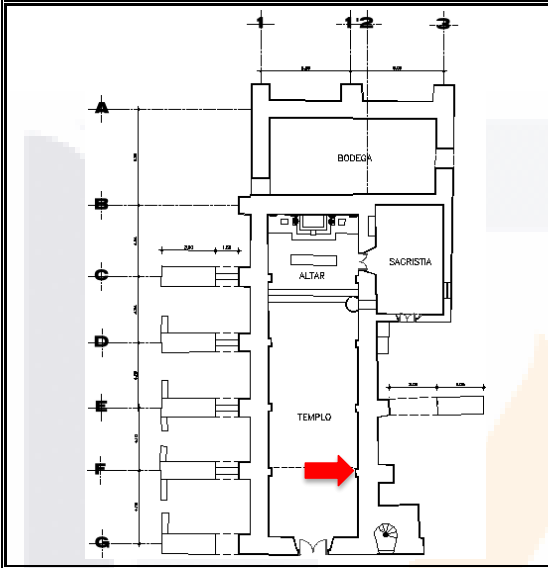
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

COLUMNA INT. 2

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presencia de humedad considerable en arco y columna.
- Desprendimiento y separación de columna contra el arco que sostiene la losa del coro.
- Desprendimiento lateral con el muro.
- Pérdida de sección debido al empotramiento de la losa y del barandal de madera del coro.
- Pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

Empty box for observations.

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

20

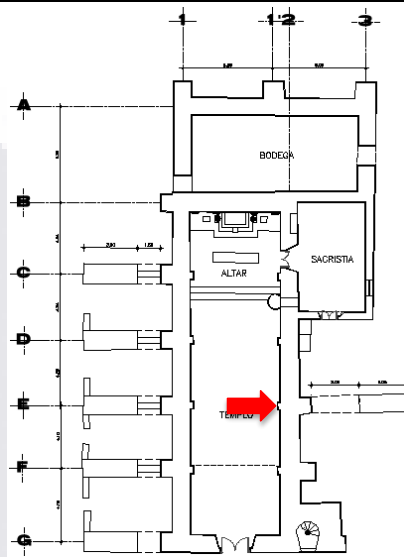
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

COLUMNA INT.%

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presencia de humedad.
- Estallamiento de una de las aristas de la parte superior.
- Pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

21

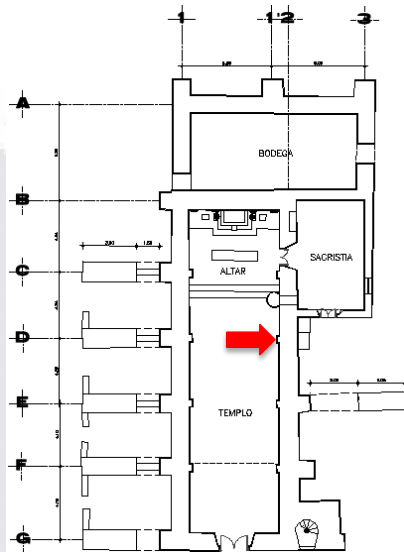
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

COLUMNA NT.º

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamiento en la unión del bloque de columna superior y capitel
- Presencia de humedad.
- Presencia de moho.
- Se percibe de manera representativa todas las uniones de los bloques que conforman la columna.
- Pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

22

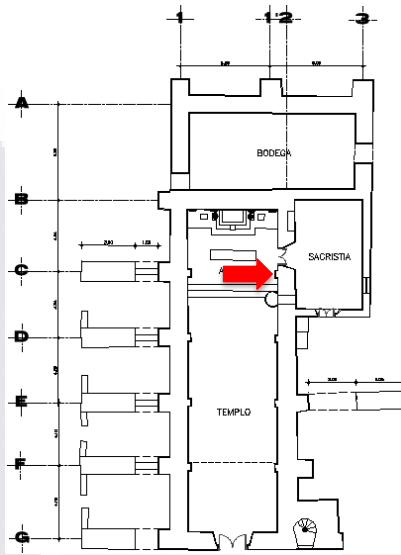
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

COLUMNA INT. 2

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Agrietamiento en la unión del bloque de columna superior y capitel, presenta excentricidad.
- Presencia de humedad.
- Presencia de moho.
- Agrietamiento en uno de los bloques
- Pérdida de verticalidad.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

23

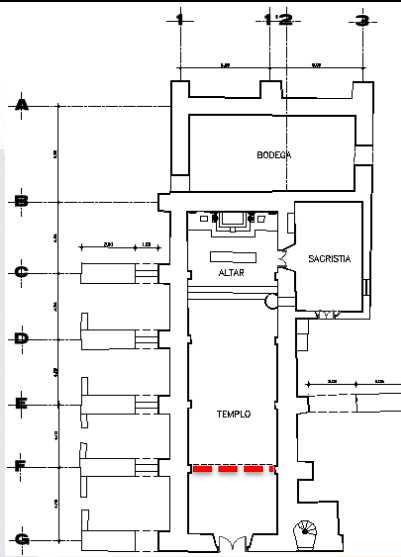
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

ARCO No. %

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Desprendimiento de la pieza central o piedra clave.
- Presenta pérdida de la geometría.
- Separación de los bloques que conforman el arco.
- Perdida de sección en el arranque del arco por anclajes de losa y barandal de coro.
- Presenta agrietamientos considerables en su sección.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

24

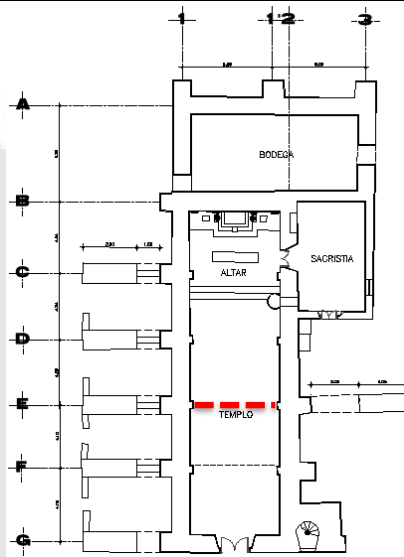
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

ARCO No. 2

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Bloques de la sección estan por desprenderse.
- Pérdida de sección geométrica.
- Separación entre bloques.
- Agrietamiento de uno de los bloques cercano a la parte central.

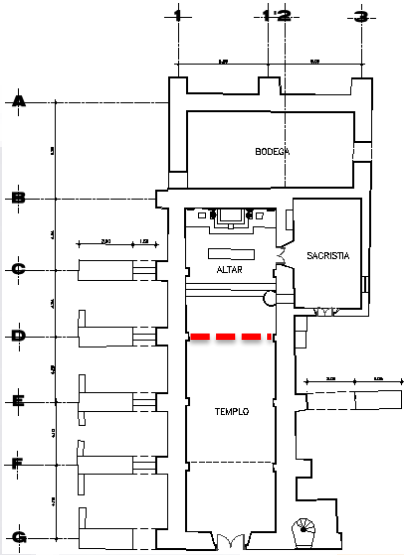
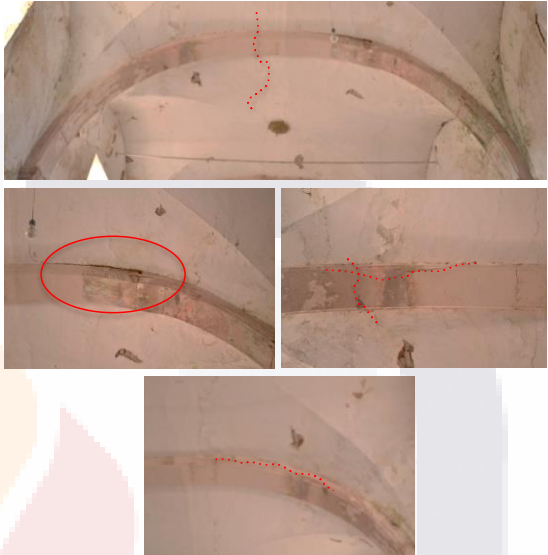
OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.	25
-------------------------	----

DESCRIPCION DEL ELEMENTO	ARCO No. 2	FECHA	23/01/2013
--------------------------	-------------------	-------	------------

LOCALIZACION EN PLANTA	FOTOGRAFIA
	

DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> - Bloques de la sección estan por desprenderse. - Pérdida de sección geométrica. - Separación entre bloques. - Agrietamiento en los bloque por la parte lateral, estan por desprenderse - Separación de la sección de arco con la bóveda. - Presencia de humedad y moho. - Delaminación de los bloques de cantera.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

26

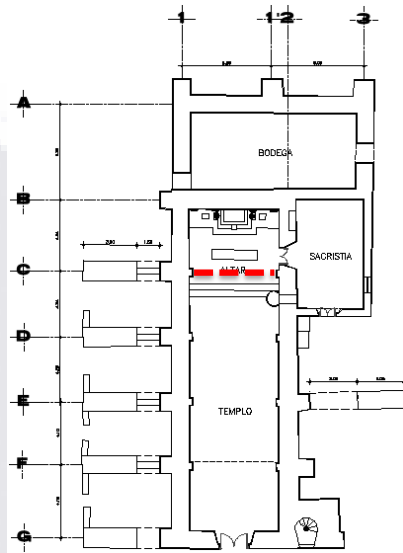
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

ARCO No. 4

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Bloques de la sección presentan separación entre ellos.
- Pérdida de sección geométrica.
- Agrietamiento en los bloques por la parte lateral, están por desprenderse
- Separación de la sección de arco con la bóveda.
- Presencia de humedad y moho.
- Pérdida de la sección en uno de los bloques.
- Delaminación de los bloques de cantera .

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

27

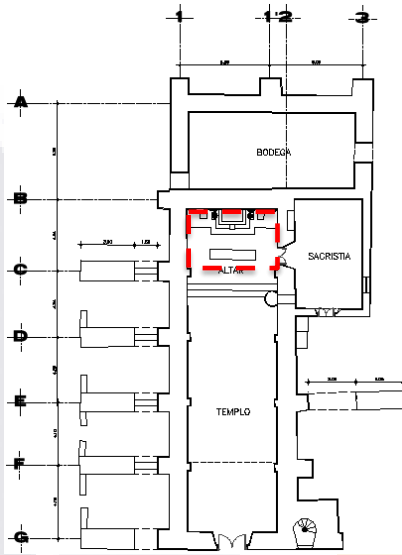
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

BOVEDA INTERIOR

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta varias zonas con desprendimiento de aplanado, con exposición de material de barro rojo.
- Presenta agrietamiento al centro de la bóveda a partir del ornamento del centro en direccion sur.
- Presenta separación del muro y la bóveda en el lado izquierdo y agrietamiento severo en la unión con la columna con desprendimiento y pérdida de sección del material.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

28

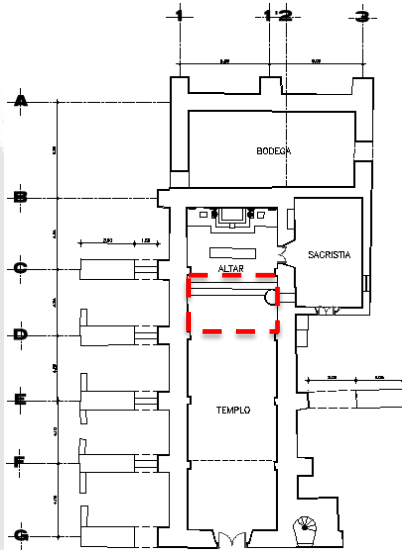
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

BOVEDA INTERIOR

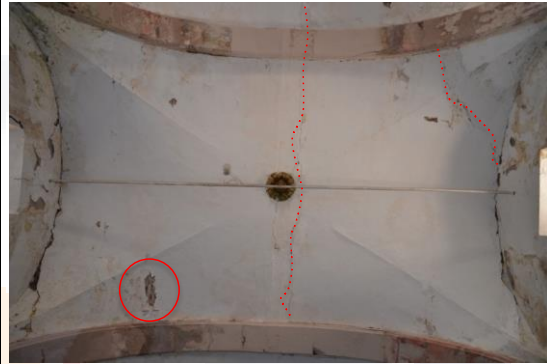
FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta varias zonas con desprendimiento de aplanado, con exposición de material de barro rojo.
- Presenta agrietamiento al centro de la bóveda en todo el entre eje.
- Presenta separación del muro y la bóveda ambos costados, agrietamiento severo en la unión del arranque de la bóveda.
- Presenta agrietamiento en la zona central posiblemente debido a una intervención anterior

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

29

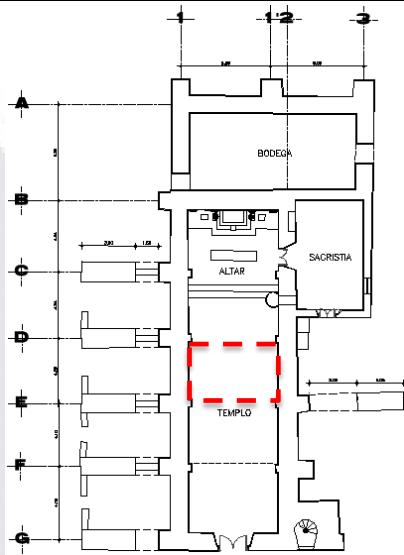
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

BOVEDA INTERIOR

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta varias zonas con desprendimiento de aplanado, con exposición de material de barro rojo.
- Presenta agrietamiento al centro de la bóveda en todo el entre eje.
- Presenta ligera separación del muro y la bóveda ambos costados, agrietamiento severo en la unión del arranque de la bóveda. con el muro de la fachada oriente
- Presenta agrietamiento en la zona central posiblemente debido a una intervención anterior

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

30

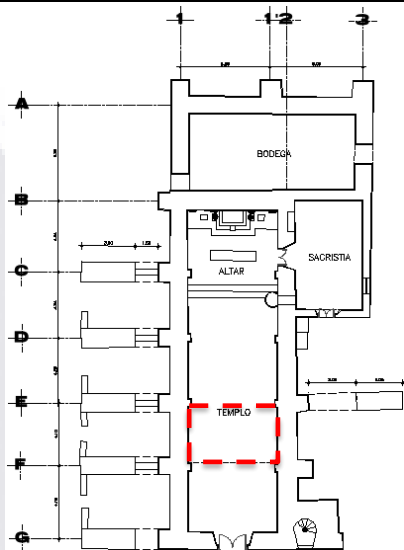
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

BOVEDA INTERIOR

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta varias zonas con desprendimiento de aplanado, con exposicion de material de barro rojo.
- Presenta agrietamiento al centro de la bóveda en todo el entre eje.
- Presenta ligera separación del muro y la bóveda ambos costados, agrietamiento severo en la union del arranque de la bóveda. con el muro de la fachada oriente
- Presenta agrietamiento en la zona central posiblemente debido a una intervención anterior

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

31

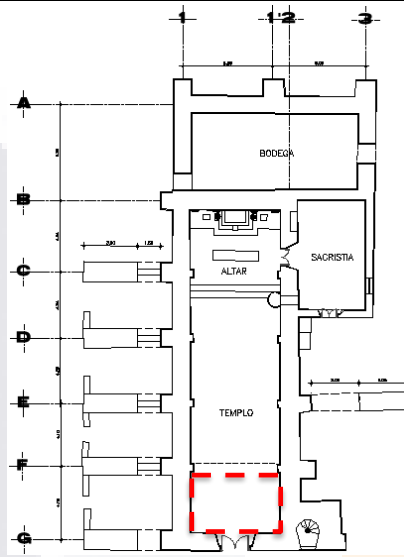
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

BOVEDA INTERIOR

FECHA

23/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta varias zonas con desprendimiento de aplanado, con exposici3n de material de barro rojo.
- Presenta agrietamiento al centro de la b3veda.
- Presenta agrietamiento en la zona central posiblemente debido a una intervenci3n anterior

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

32

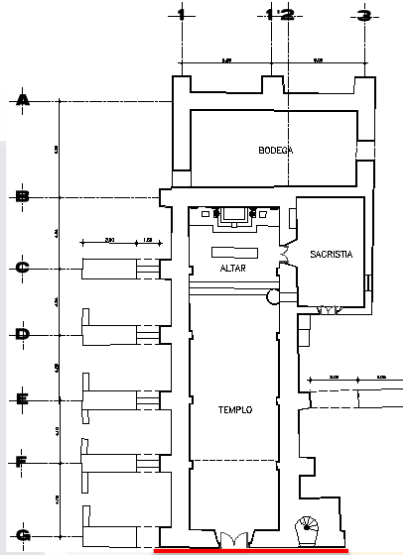
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO %ACHADA %PAL.

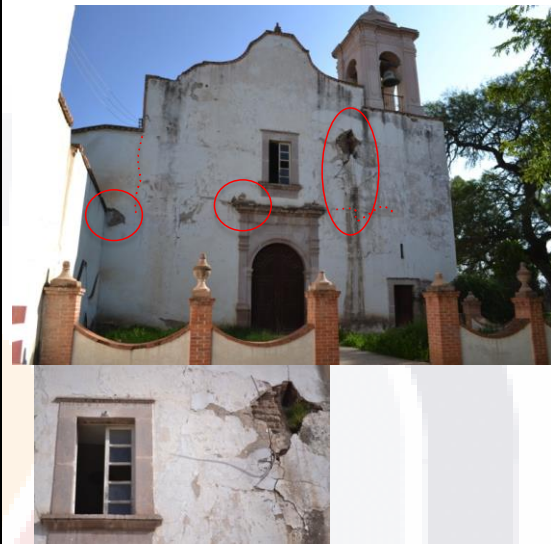
FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta desprendimiento de acabado.
- Socavación de la mampostería en unión de elementos ornamentales de cantera en la parte superior de la puerta.
- desprendimiento de gárgola de bajante de agua, presenta mancha de escurrimiento y humedad en esa zona.
- Se observa que existe vegetación al interior de la mampostería.
- Presenta abultamiento del aplanado.
- Presenta muchas grietas superficiales en toda el área del muro.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

33

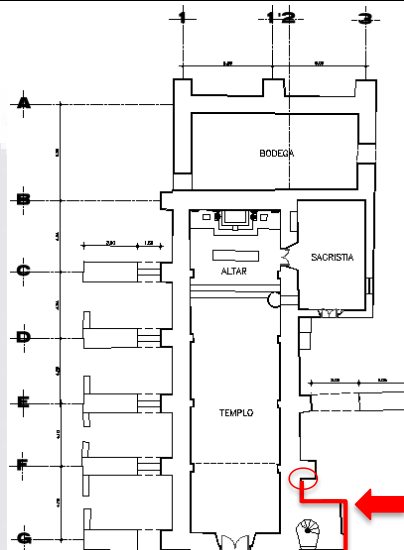
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO %ACHADA %TE.

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta varias oquedades en el muro .
 - Presenta un hueco para dar iluminación y ventilación a la escalera de caracol.
 - Existe presencia de humedad y moho.
 - Presenta desprendimiento da acabado.
- En el despalnte se observa que el material esta expuesto, así mismo presenta una reparación con material distinto.
- Existe un deprendimiento entre el pilar del eje F con el muro, a pesar de que se observa que está de manera continua con el muro.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

34

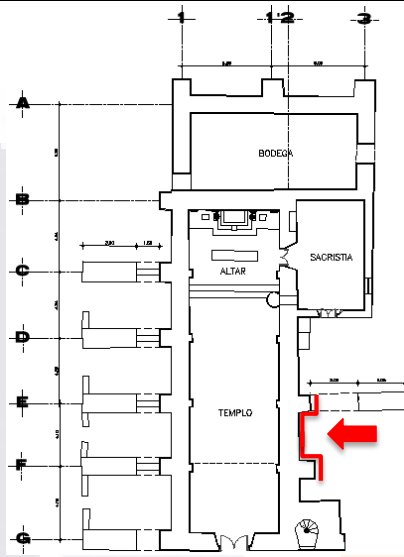
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO SACHADA DE TE.

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta desprendimiento de aplanado en varias zonas.
- Presenta zonas en donde la mampostería está expuesta e intemperizada.
- Existe un hueco en el muro de sección considerable.
- En la zona donde está conectado el tensor presenta pérdida de material por lo que existe un vacío en la zona.
- Existen resanes en la parte superior del muro posiblemente realizados en fecha no muy reciente.
- Exposición del material en la unión del contrafuerte con la pilastra.
- Existe separación entre la pilastra y el muro.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

35

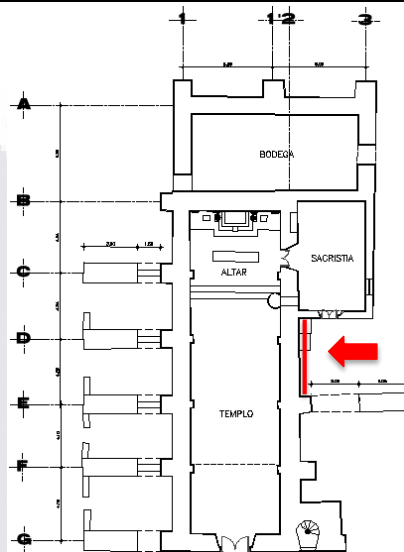
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO ACHADA DE TE.

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta pérdida de la sección del pilar principal en un 70% de su estructura.
- Desprendimiento y derrumbamiento del material.
- Pérdida de sección de muro.
- Presencia de humedad e intemperización del material del muro
- Presencia de material vegetal.
- La bajada de agua pluvial es al parecer lo que ha provocado el deterioro.
- Socavación en la zona en donde el agua forma su cause al momento de la caída.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

36

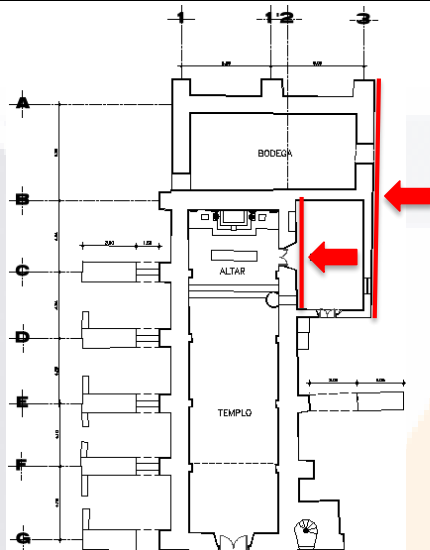
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO %ACHADA %TE.

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta pérdida de aplanado en la parte superior, lo que provoca que el material se esté intemperizando.
- Existe presencia de crecimiento de vegetación en la zona en donde existe la bajada de agua pluvial.
- Presenta abultamiento del aplanado en la parte superior en la unión con el tabique de remate del muro.
- Presenta agrietamiento en la parte donde el muro tiene mayor altura.
- Presenta múltiples grietas en toda el área del muro.
- Existe pérdida de verticalidad del muro.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

37

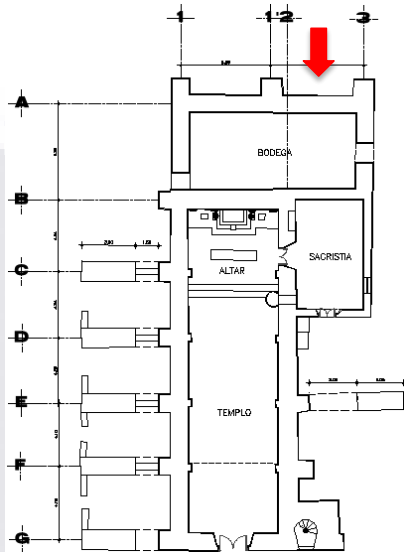
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO ACHADA DE TE.

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Muro dañado severamente, pérdida de sección
- La bóveda presenta derrumbe en la zona al centro del muro.
- Presencia de humedad e intemperización del material.
- Los pilares presentan pérdida de verticalidad.
- En algunas zonas presenta desprendimiento de acabado.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

38

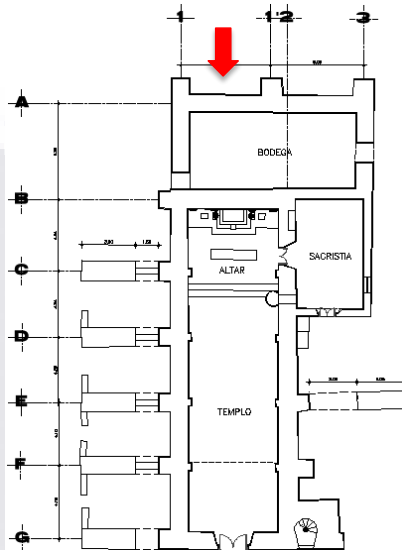
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO %ACHADA %TE.

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta desprendimiento de acabado en la parte central del muro.
- Preseta una grieta que tiene sentido vertical, que casi corre de su parte media hasta la parte última del muro.
- Presenta adiciones de aisladores de cables de energía eléctrica.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

39

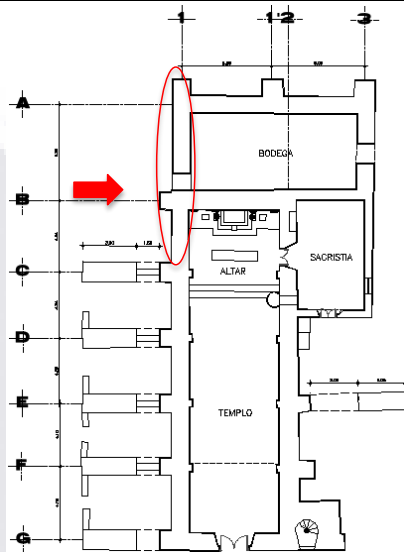
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO %ACHADA %ONIENTE

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- El muro presenta apertura intencional para adosar la cubierta de la construcción.
- Presenta elementos de fijación de cables de energía eléctrica.
- Presencia de vegetación que nace en los muros de la Capilla en la arista de las pilastras.
- Existe ligera separación entre la pilastra y el muro.

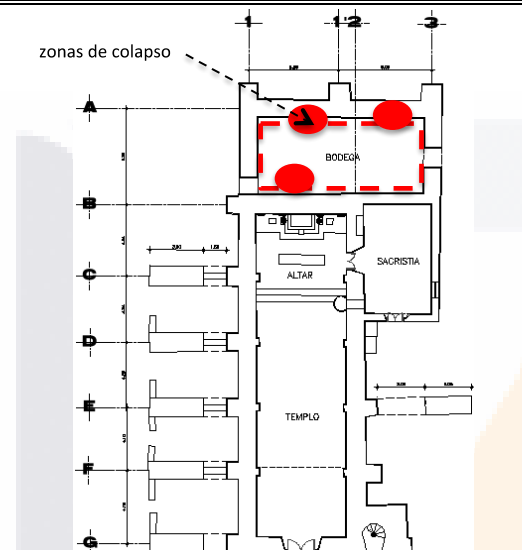

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.	40
-------------------------	----

DESCRIPCION DEL ELEMENTO	BOVEDA BODEGA	FECHA	30/01/2013
--------------------------	---------------------------------	-------	------------

LOCALIZACION EN PLANTA	FOTOGRAFIA
 <p>zonas de colapso</p>	

DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> - La bóveda se encuentra severamente dañada, presenta colapsos en forma parcial. - No existe continuidad estructural con los muros en ciertas zonas. - El arco central ya no se encuentra cumpliendo su funcion estructural. - La bóveda esta apunto de colapsar por completo y esto puede provocar daños colaterales. - Presenta crecimiento de materia vegetal. - Se han encontrado madrigueras de animales en los pretiles de los muros de adobe en esta zona.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

41

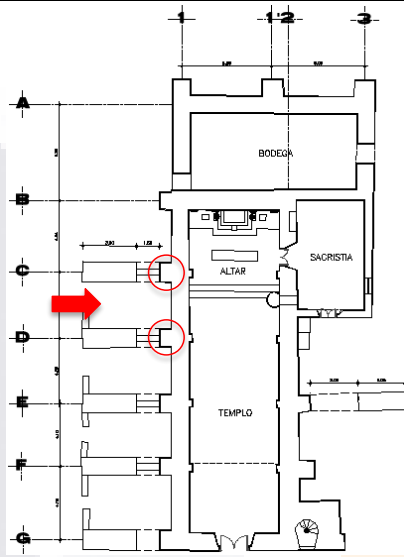
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO%ACHADA%ONIENTE

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Las pilastras se encuentran sin aplanado, lo que produce que la mampostería se este intemperizando.
- Los contrafuertes se encuentran sin aplanado , el material se encuentra intemperizado severamente.
- Los contrafuertes presentan pérdida de sección geométrica.
- Presentan oquedades.
- El muro no presenta agrietamiento visible.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

42

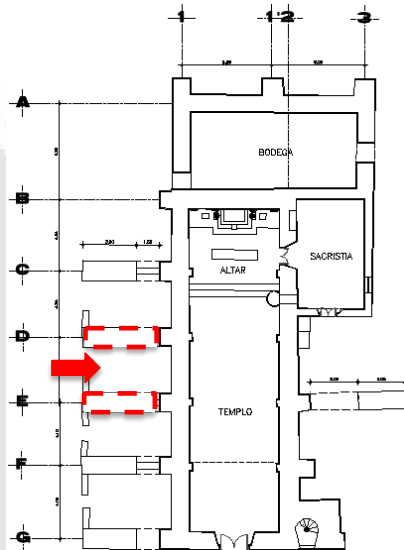
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO %ACHADA %ONIENTE

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Las pilastras se encuentran sin aplanado, lo que produce que la mampostería se este intemperizando.
- Los contrafuertes se encuentran sin aplanado, el material se encuentra intemperizado severamente.
- Los contrafuertes presentan pérdida de sección geométrica.
- Presentan oquedades.
- El muro no presenta agrietamiento visible.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

43

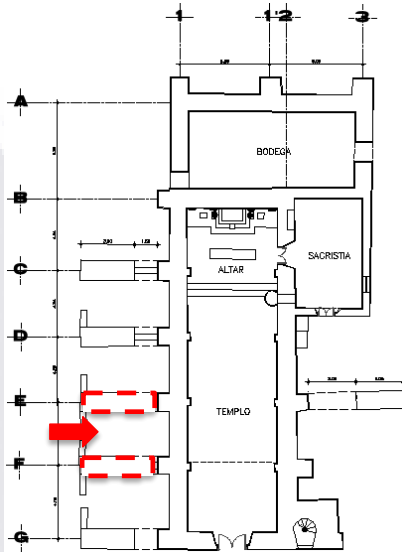
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO %ACHADA %ONIENTE

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Las pilastras se encuentran sin aplanado, lo que produce que la mampostería se este intemperizando.
- Los contrafuertes se encuentran sin aplanado , el material se encuentra intemperizado severamente.
- Los contrafuertes presentan pérdida de sección geométrica.
- Presentan oquedades.
- Crecimiento de material vegetal en la union entre la pilastra y el muro.
- El muro no presenta agrietamiento visible.
- Se nota la presencia de humedad y moho.
- El contrafuerte del eje F, presenta pérdida de verticalidad, pérdida de sección geométrica.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

44

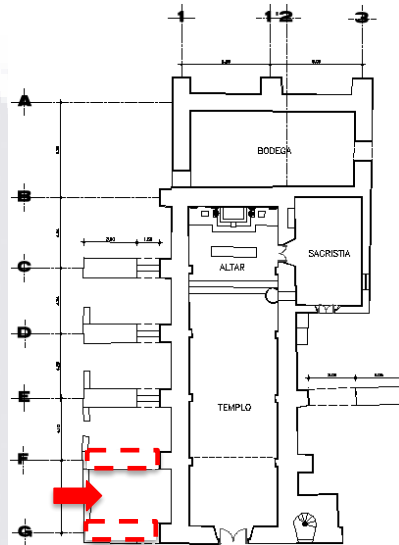
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

MURO % ACHADA % ONIENTE

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Las pilastras se encuentran sin aplanado, lo que produce que la mampostería se este intemperizando.
- Los contrafuertes se encuentran sin aplanado , el material se encuentra intemperizado severamente.
- Los contrafuertes presentan pérdida de sección geométrica y crecimiento de material vegetal.
- Presentan oquedades.
- Crecimiento de material vegetal en la union entre la pilastra y el muro.
- El muro no presenta agrietamiento visible.
- Se nota la presencia de humedad y moho.
- El contrafuerte del eje F, presenta pérdida de verticalidad, pérdida de sección geométrica.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

45

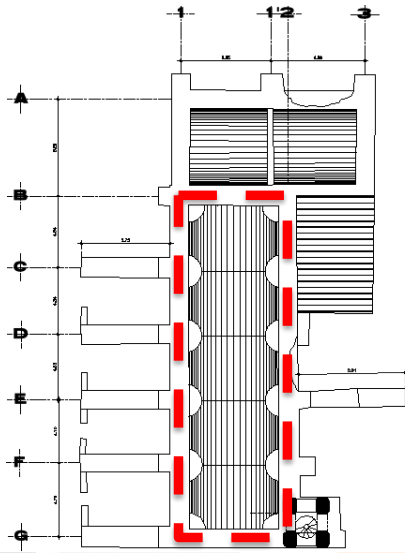
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

PRETILES

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Los muros de los pretiles se encuentran deteriorados, debido a la intemperización que han sufrido, se piensa que donde inició el problema fué en las zonas de las bajadas de agua pluvial, debido a que en su interior se detecto crecimiento de material vegetal y pues esto ocasionó que el aplanado se haya caido.
- Se localizan grietas de forma longitudinal en la zona media del pretil.
- En la zona de la cabecera, se han encontrado madrigueras de ardillas , por lo cual esto ha contribuido de manera considerable al degradamiento del material.

OBSERVACIONES

CAPILLA LA TRINIDAD

DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE RESCATE ESTRUCTURAL.

FICHA DE VALORACION No.

46

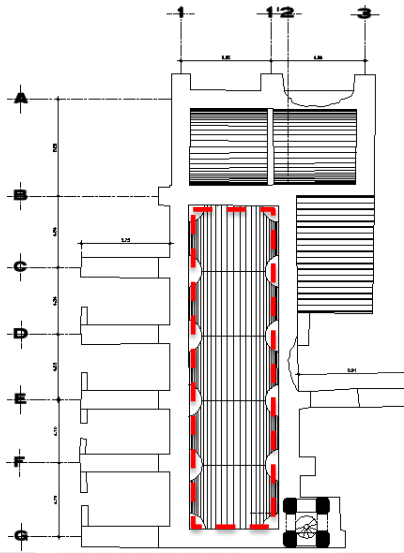
DESCRIPCION DEL ELEMENTO

BOVEDA DE CONCRETO

FECHA

30/01/2013

LOCALIZACION EN PLANTA



FOTOGRAFIA



DESCRIPCION DE LA PATOLOGIA

- Presenta agrietamiento en toda la superficie de la bóveda.
- Existen grietas de apertura de hasta 4 mm.
- En algunas zonas, presenta falta de concreto y por ende la exposición del acero de refuerzo.
- Esta bóveda al parecer fue colocada posteriormente y puede ser la causa que la estructura este soportando cargas mayores de las que posiblemente fue diseñada.

OBSERVACIONES