

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**METODOLOGIA PARA RESTAURACION DEL SISTEMA  
ESTRUCTURAL DE MONUMENTOS  
O INMUEBLES HISTORICOS DEL PATRIMONIO  
CULTURAL EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**GINO FRANCISCO CABALLERO MORALES  
ROLANDO ALFREDO SAMAYOA MARTINEZ**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO DE 2010

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SANCHEZ**

**SECRETARIO GENERAL :**

**LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHAVEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

**SECRETARIO :**

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUIN HERNANDEZ**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**DIRECTOR :**

**MSc. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERON**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título:

**METODOLOGIA PARA RESTAURACION DEL SISTEMA  
ESTRUCTURAL DE MONUMENTOS  
O INMUEBLES HISTORICOS DEL PATRIMONIO CULTURAL EN  
EL SALVADOR**

Presentado por:

**GINO FRANCISCO CABALLERO MORALES  
ROLANDO ALFREDO SAMAYOA MARTINEZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Directores:

**ING. MSc. ROGELIO ERNESTO GODINEZ GONZALEZ  
ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ**

**San Salvador, enero de 2010**

**Trabajo de Graduación Aprobado por:**

**Docentes Directores:**

**ING. MSc. ROGELIO ERNESTO GODINEZ GONZALEZ**

**ING. JULIO EDGARDO BONILLA ALVAREZ**

## **A NUESTROS ASESORES**

Gracias, por ser tutores y guía muy especial para nosotros, en el desarrollo del trabajo de graduación, en el cual, no solamente es nuestro, si no, también de ustedes. Gracias por darnos ese apoyo de manera muy profesional y de forma desinteresada, mostrando siempre la voluntad para ayudarnos, orientarnos y animarnos, a seguir adelante en todo momento.

Agradecemos, haber trabajado con unos excelentes profesionales y también con unos verdaderos amigos, con quienes podamos contar invariablemente y también nosotros poder ayudarles cuando lo necesiten.

**GINO CABALLERO Y ROLANDO SAMAYOA**

## **DEDICATORIA**

**A Dios todo poderoso**, por nunca apartar su santa mano de mí y permitir que llegue hasta este logro, por regalarme sabiduría y discernimiento a través de todo este tiempo.

**A mis padres**, Carlos y Regina, por haberme brindado su apoyo durante toda mi carrera universitaria e impulsarme a alcanzar mis metas; y en especial a Susy, por haber sido siempre una luz y guía en mí camino.

**A mis hermanos**, por Carlos, Karla y Rebeca, por haberme dado siempre su apoyo, su cariño y su comprensión durante toda mi vida.

**A mis hermanos de comunidad**, por haberme tenido siempre en oración cuando más lo he necesitado y haberme apoyado a lo largo de todo este caminar.

**A mis amigos incondicionales**, Mike, Emilio, Fer, Luis, Billy, Sara y Olga, quienes a lo largo de toda mi carrera universitaria siempre estuvieron conmigo y me brindaron su cariño, amistad y apoyo.

**A mis amigos y compañeros**, Olga, Rolando, Carlos, Fátima y Mario, quienes fueron mi apoyo y me acompañaron y ayudaron a lo largo de mis años de estudios.

**GINO**

## DEDICATORIA

**A Dios**, por darme fortaleza e ingenio para poder pasar todo obstáculo académico, en el proceso de formación superior, hasta llegar hasta el fin de este logro.

**A mi madre y abuela Bertha**, por darme el amor, confianza y apoyo incondicionalmente en todo momento, es por ello que les dedico este logro alcanzado.

**A mi padre**, por darme buenos consejos y ayudarme en la recta final de este proceso.

**A mi esposa**, por ser mi amiga, consejera, novia y convertirse en mi esposa, quien estuvo desde el inicio sabiendo escucharme y entregarme un amor sincero, fruto de ese amor nació mi hijo Rolando Benjamín, a quienes les dedico este trabajo de graduación con mucho amor.

**A mi familia**, mis abuelos, hermanos, tíos que están en el momento que les he buscado, pero especialmente a mi tía Maritza, por el sacrificio desde el inicio de este largo camino, y ese sacrificio que hizo lo llevare siempre y no tiene manera de pago.

**A mis amigos y compañeros**, Boris, Dubón, Alex, Chamba, Gino y Letty, que estuvieron acompañándome en el transcurso formación, a Ing. Godínez, por ser no sólo asesor de tesis sino un amigo más, que, sin él, no se hubiese cumplido esta meta.

**ROLANDO**

## RESUMEN

En el trabajo de graduación, “Metodología para Restauración del Sistema Estructural De Monumentos o Inmuebles Históricos del Patrimonio Cultural de El Salvador”, la investigación histórica cronológica de construcciones y asentamientos poblacionales abarcó los años desde 1500 a.c. hasta 1900 retomando el periodo colonial con sus edificaciones típicas con materiales ancestrales y tecnologías de construcción todavía no industriales, en El Salvador, donde vivienda y templos católicos o iglesias son relevantes y que actualmente se mantienen sus edificaciones, como monumentos históricos, culturales y patrimonio cultural del país y algunos de la humanidad.

El caso de estudio de aplicación es la iglesia San Esteban, tiene un sistema estructural de armazón de entramados, con elementos prismáticos, rectos, largos, cortos, de sección rectangular y con variedad de tipos de acoples. En el sistema estructural de esta edificación se realizaron mediciones métricas, donde se verificó el alineamiento de las columnas internas, dando un desalineamiento promedio de 3 cm. En la medición de las diagonales se comprobó que la iglesia tiene desplazamientos laterales y retorcimiento que se puede asociar a un efecto de gusano. El análisis estructural incluyó el levantamiento físico para realizar un modelo de simulación que se adecuara al sistema estructural que tiene la iglesia debido a la complejidad de su sistema estructural. Así, se aplicó el programa ETABS 9.5, que analiza la estructura por nudos y ocupando la teoría de elementos finitos, la iglesia tiene desplazamientos horizontales proyectados de 109.35 cm antes de llegar al colapso, esto a partir del efecto de la fuerza cortante basal que es de 1,797,954.73 Kg. Por lo cual, la iglesia San Esteban, actualmente se encuentra localmente estabilizada a partir de apuntalamientos, cimbrado preventivo, pero su sistema estructural está inestable y en

consecuencia la edificación. A partir de lo cual, el plan de restauración debe basarse en procedimientos constructivos para restauración basándose en recomendaciones hechas por consultores estructurales en congruencia con el cumplimiento de requerimientos legales y reglamentos de CONCULTURA y los de la construcción para este tipo de edificaciones y sus fines. La metodología propuesta tiene como fundamento un diagnóstico obligatorio que se basa principalmente en detección por observación y medición directa en la medición de datos, la modelación y simulación para resultados del análisis estructural, lo cual sirve de base para la propuesta del plan de reconstrucción de cualquier monumento o edificación histórica y cultural.

# INDICE

	Página
Introducción.....	i
Capítulo 1: Generalidades.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Alcances.....	6
1.5 Limitaciones.....	6
1.6 Justificación.....	7
1.7 Metodología de la investigación a desarrollar.....	8
Capítulo 2: Historia de los Monumentos e Inmuebles Históricos de El Salvador, restauración y sus sistemas estructurales.....	10
2.1 Síntesis histórica de El Salvador.....	11
2.1.1 El patrimonio nacional.....	11
2.1.2 Las construcciones y asentamientos poblacionales del país.....	11
2.1.3 Historia del desarrollo humano y de las edificaciones altas y bajas del país.....	18
2.2 Monumentos o edificios históricos.....	31
2.2.1 Monumentos o edificios históricos.....	31
2.3 Sistemas estructurales en distintos tipos de Monumentos Históricos	

y su clasificación.....	33
2.3.1 Sistemas estructurales en el sistema constructivo de Adobe.....	33
2.3.2 Sistemas estructurales construidos con Madera.....	38
2.4 Tipos de materiales y sistemas constructivos utilizados en monumentos	
históricos.....	43
2.4.1 Descripción de los materiales más utilizados en Monumentos	
históricos .....	43
2.4.1.1 Piedra natural.....	44
2.4.1.2 Rocas ígneas.....	44
2.4.1.3 Rocas sedimentarias.....	44
2.4.1.4 Rocas metamórficas.....	44
2.4.1.5 El barro crudo.....	44
2.4.1.6 El bahareque.....	44
2.4.1.7 Morteros.....	44
2.4.1.8 Madera.....	45
2.4.2 Sistemas Constructivos.....	45
2.4.2.1 Sistema Constructivo de Adobe.....	46
2.4.2.2 Adobe Estabilizado.....	46
2.4.2.3 Sistema Constructivo de Bahareque.....	48
2.4.2.4 Sistema Constructivo de Lámina Troquelada.....	49
2.4.2.5 Sistema Constructivo de Mampostería de Ladrillo	
(Mixto).....	49
2.5 Resistencia de los materiales utilizados en los diversos Monumentos	
Históricos.....	51

2.6 Tipos de restauraciones estructurales hechas en Monumentos Históricos.....	52
Capítulo 3: Bases técnicas de una Propuesta Metodológica para restauración de sistemas estructurales en los monumentos históricos de El Salvador, de acuerdo con lineamientos del análisis estructural.....	57
3.1 Generalidades.....	58
3.2 Evaluación y diagnostico de la situación actual de un monumento histórico.....	58
3.2.1 Inspección y levantamiento.....	60
3.3 Clasificación y tipificación de los daños existentes.....	67
3.3.1 Daños Físicos.....	67
3.3.2 Daños Mecánicos.....	69
3.3.3 Daños estructurales en las edificaciones y monumentos históricos y daños asociados a estos.....	74
3.4 Elementos para propuesta de una metodología para restaurar los sistemas estructurales de edificios y monumentos históricos en base a lineamientos del análisis estructural.....	77
Capítulo 4: Caso de aplicación. Restauración estructural dela iglesia San Esteban.....	82
4.1 Descripción y Diagnóstico para la restauración estructural de la iglesia San Esteban.....	83
4.1.1 Antecedentes Históricos de la iglesia San Esteban.....	84
4.1.2 Sistema Estructural y Sistema Constructivo de la Iglesia San Esteban.....	84

4.1.2.1 Sistema estructural de la iglesia San Esteban.....	84
4.1.2.1.1 Fundaciones.....	86
4.1.2.1.2 Paredes.....	87
4.1.2.1.3 Estructura de piso.....	88
4.1.2.1.4 Columnas.....	90
4.1.2.1.5 Estructura del techo.....	90
4.1.2.1.6 Estructura de techo sobre el coro.....	93
4.1.2.2 El Sistema constructivo de la iglesia San Esteban.....	94
4.1.2.2.1 Fundaciones.....	95
4.1.2.2.2 Paredes.....	96
4.1.2.2.3 Piso de la planta principal de la nave.....	98
4.1.2.2.4 Torres del Campanario.....	98
4.1.2.2.5 Cielo falso.....	100
4.1.2.2.6 Cubierta de techo.....	103
4.1.2.2.7 Nártex.....	104
4.1.3 Elementos para la realización del diagnóstico de la iglesia San Esteban.....	107
4.2 Métodos que se aplican en la restauración estructural. Tipos de Métodos y su clasificación en la iglesia San Esteban.....	109
4.2.1 Inspección visual.....	109
4.2.2 Evaluación de daños de la iglesia San Esteban.....	109
4.2.3 Pruebas y recolección de datos métricos para el diagnóstico de La iglesia San Esteban.....	112
4.2.4 Estudio analítico del Sistema Estructural de la iglesia San	

Esteban.....	117
4.2.4.1 Calculo de Centros de Gravedad y Momentos de Inercia de la iglesia San Esteban.....	117
4.3 Metodología práctica para la restauración estructural.....	121
4.4 Propuesta de una metodología para la restauración de la iglesia San Esteban.....	134
Capítulo 5: Resultados y análisis.....	142
5.1 Análisis de los resultados del sistema estructural de la iglesia San Esteban.....	143
5.1.1 Resultados de la inspección visual.....	143
5.1.2 Resultados de la Evaluación de daños.....	144
5.1.3 Resultados de centros de gravedad, momentos de inercias y radio de giros.....	144
5.1.4 Resultados del análisis del Sistema Estructural.....	145
5.1.5 Análisis de los resultados obtenidos de los desplazamientos.....	149
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones.....	152
6.1 Consideraciones.....	153
6.2 Conclusiones.....	155
6.3 Recomendaciones.....	157
6.4 Bibliografía.....	159
Anexos.....	160

## INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Evolución de la estructura urbana de San Salvador de 1525 a 1935.....	18
Figura 2.2. Evolución de la estructura urbana de San Salvador de 1935 a 1995.....	19
Figura 2.3. Crecimiento de la ciudad desde 1594 a 1998.....	21
Figura 2.4. Densidades residenciales y estructura económica del A.M.S.S.....	24
Figura 2.5. Uso de lotes según anillos del centro histórico de San Salvador, 2000.....	25
Figura 2.6. Fotografías de inmuebles históricos restaurados.....	26
Figura 2.7. Edificios de valor patrimonial en San Salvador, 1996.....	27
Figura 2.8. Materiales de las viviendas identificadas en el centro histórico de San Salvador, 2000.....	28
Figura 2.9. Usos predominantes de viviendas en el centro de San Salvador, 1999.....	29
Figura 2.10 Tipos de viviendas identificadas en el centro histórico de San Salvador, 2000, de acuerdo con la tabla 2.1.....	31
Figura 2.11. Aximetría: elementos constructivos básicos.....	36
Figura 2.12. Sección transversal tipo .....	36
Figura 2.13 Diagrama del proceso de fabricación del adobe. Unidad básica del mampuesto.....	37
Figura 2.14. Vivienda construida con troncos macizos, de diámetro promedio de 30 a 35 cm.....	39
Figura 2.15. Cada tronco se va colocando uno sobre otro, amarrados en su interior con fierros verticales de diámetro de 8 mm (1) y sellando	

longitudinalmente el encuentro entre estos con espuma de poliuretano (2), como protección a la infiltración de aire y lluvia del exterior y salida de calor del interior.....	40
Figura 2.16. Instalación de una puerta a un tabique autosoportante.....	41
Figura 2.17. Ejemplo de estructura de entramado de madera.....	41
Figura 2.18. Sistemas de entramados en estructuras de madera.....	43
Figura 2.19. Vivienda de adobe.....	47
Figura 2.20. Elaboración y uso moderno del adobe estabilizado.....	48
Figura 2.21. Sistema Constructivo y estructural simple, con bahareque.....	49
Figura 2.22. Edificaciones de Lámina Troquelada, Iglesia El Carmen, San Salvador.....	50
Figura 2.23: Edificación de Mampostería de Ladrillo de barro, Sistema estructural y sistema constructivo mixto.....	51
Figura 4.1 Fachada poniente actual de la Iglesia San Esteban.....	83
Figura 4.2. Esquema de la fundación en la fachada, en forma de pila.....	86
Figura 4.3 a) fundación de los laterales de la iglesia en forma de murete que la rodea, espesor 25 cm. Esquema b) fundación de las columnas interiores de la iglesia.....	87
Figura 4.4. a) Detalle estructural de las paredes de la nave de la iglesia San Esteban, vista de perfil, b) Detalle estructural de una porción de las paredes vista frontal sin lámina troquelada. Puntales principales arriostrados en cruceta rigidizando en ambas direcciones (Por ej. Poniente a Oriente).....	88
Figura 4.5 Planta Arquitectónica del Coro de la nave principal de la iglesia San Esteban. Esquema proporcionado por sacristán de la iglesia San Esteban.....	89

Figura 4.6 a) Cercha original de la estructura de techo, tipo I. b) secciones de cerchas original de estructura de techo.....	91
Figura 4.7 a) Cercha actual de la estructura de techo, tipo II. b) secciones de cerchas actual de estructura de techo.....	92
Figura. 4.8 a) Tijeras laterales de la estructura de techo que van del pasillo de la nave principal en el costado norte y sur, b) secciones de tijeras laterales de la estructura del techo.....	93
Figura 4.9 Estructura de techo sobre el coro de la iglesia san Esteban hecha de madera y lámina.....	94
Figura 4.10: Detalles de diferentes tipos de láminas troqueladas en paredes de iglesia San Esteban, a) Detalle de lámina troquelada LT-1 y LT-2, b) Detalle de lámina troquelada LT-3, c) Detalle de lámina troquelada LT-4 y detalle de lámina LT-6.....	97
Figura 4.11 Detalle de columna tipo escalerín. Tipo 1.....	98
Figura 4.12 Detalle de la estructura de columnas tipo escalerín en el campanario.....	99
Figura 4.13 Detalle de columna tipo esquinero, a) Entramado esquinero de soporte vertical en el campanario, b) planta del esquinero de soporte vertical del campanario.....	99
Figura 4.14 Detalle de ensamble de espiga encajonada ente pilares centrales y vigas.....	100
Figura 4.15 Estructura de cielo falso en isométrico.....	102
Figura 4.16 Estructura de techo de la nave principal.....	104
Figura 4.17 Detalle de planta columnas en nártex.....	105
Figura 4.18 Foto de nártex de la Iglesia San Esteban.....	106

Figura 4.19 Verificación de alineamiento de columnas de nave principal de la iglesia San Esteban.....	113
Figura 4.20 Verificación de diagonales en la nave principal de la iglesia San Esteban.....	114
Figura 4.21 Verificación de plomo en columnas de la nave principal de la iglesia San Esteban.....	116
Figura 4.22 Centro de Gravedad de la vista en planta de la iglesia San Esteban.....	118
Figura 4.23 Centro de Gravedad de la fachada actual de la iglesia San Esteban.....	119
Figura 4.24 Centro de Gravedad de la fachada original de la iglesia San Esteban.....	120
Figura 4.25 Vista en planta de los ejes de la iglesia San Esteban a partir de su estructuración principal.....	123
Figura 4.26 Estructuración principal y sectorización por ejes en la elevación principal a partir de la fachada y en concordancia con la planta principal de la iglesia San Esteban.....	124

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 La definición cronológica del urbanismo de San Salvador.....	19
Tabla 2.2 Distribución de inmuebles históricos según funcionabilidad.....	30
Tabla 2.3 resistencia mínima a la compresión de algunas rocas (según Norma DIN 1053).....	51
Tabla 2.4 Propiedades mecánicas de algunos tipos de mampostería de edificios históricos.....	52
Tabla 3.1 Formato para el diagnóstico y evaluación de sistemas y subsistemas Estructurales.....	81
Tabla 4.1 Cronología de antecedentes históricos de la Iglesia San Esteban.....	85
Tabla 4.2 de resultados datos de areas y centro de gravedad y momento de inercias.....	118
Tabla 4.3 resultados de centro de gravedad y momentos de inercia en condición actual de la iglesia San Esteban.....	120
Tabla 4.4 resultados de centro de gravedad y momentos de inercia en condición original de la iglesia San Esteban.....	121
Tabla 4.5 Propiedades físicas del bálsamo.....	125
Tabla 4.6: Detalles de parámetros para la evaluación del modelo de la Iglesia San Esteban.....	127
Tabla 4.7: Esfuerzos cortantes por nivel de la Iglesia San Esteban en estado original y estado actual.....	129

Tabla 5.1 Resultados Centros de gravedad y cálculos de momentos de inercia.....	144
Tabla 5.2 Resultados de rigideces, desplazamiento y cortantes de la nave principal de la Iglesia San Esteban, del eje B a eje P, del sistema original.....	146
Tabla 5.3 Resultados de rigideces, desplazamiento y cortantes de la nave principal de la Iglesia San Esteban, del eje B a eje P, del sistema actual.....	147
Tabla 5.4 Resultados de Rigideces en el eje C.....	148
Tabla 5.5 Resultados de Rigideces en el eje H.....	149
Tabla 5.6 Resultados de Rigideces en el eje P.....	149

## **INTRODUCCIÓN.**

El Trabajo de Graduación Metodología para Restauración del Sistema Estructural de Monumentos o Inmuebles Históricos del Patrimonio Cultural en El Salvador, tiene por objeto, elaborar una metodología general para la restauración de monumentos históricos, según el sistema estructural con el que fueron construidos, consta de seis capítulos, el primero explicará conceptos, breves reseñas históricas o antecedentes relacionados con la aplicación de los sistemas estructurales que contienen las construcciones históricas existentes. El segundo capítulo, recopilará una síntesis histórica de los sistemas estructurales más utilizados en los monumentos históricos, evolución de las construcciones y asentamientos poblacionales en el país y algunas experiencias de restauraciones realizadas. El tercer capítulo, describe las bases técnicas para realizar una propuesta de metodología para la restauración estructural de los monumentos o edificaciones históricas en base a los lineamientos del análisis estructural. El cuarto capítulo, es un caso de aplicación, haciendo evaluación y diagnóstico de los daños estructurales existentes, esto servirá de base para formular la metodología propuesta. En el quinto capítulo y sexto, se analizarán los resultados obtenidos de la iglesia San Esteban como caso de estudio. Con estos resultados, principalmente del caso de aplicación, y la metodología propuesta para la restauración del sistema estructural de cualquier monumento o edificio histórico, se llegará a conclusiones y recomendaciones que conforman el sexto capítulo.

# **Capítulo I: Generalidades**

## **1.1 Antecedentes.**

En la región mesoamericana donde se localiza El Salvador, ocurren sismos constantemente porque está asentado superficialmente sobre una gran masa de tierra, en la placa Centro Americana, que en el Océano Pacífico tiene sus bordes sobre otra placa gigantesca, la de Cocos, con la cual interactúa y subduce, sus movimientos y la fricción entre estas dos provocan los sismos. Por esta acción natural, los sismos y sus consiguientes destrucciones han sido inevitables en el territorio nacional, al punto de que ciudades enteras han sido devastadas y han afectado su desarrollo económico, social y político, por ejemplo, en Armenia, municipio de Sonsonete, todas las casas habían caído y otras quedaron a punto de caer por el sismo ocurrido, el 7 Junio de 1917<sup>1</sup>.

El primer evento sísmico registrado en el país data de 1575<sup>2</sup>, recién erigida por los españoles durante la colonización, la ciudad de San Salvador, destruida por primera vez el 23 de mayo de ese año, sucumbiendo la iglesia mayor. Este primer evento está documentado por historiadores. Desde la Colonia, en adelante, se han registrado más de una decena de sismos de gran magnitud, en 1625, el 29 de noviembre de 1783, 16 de abril de 1854, 15 de septiembre de 1902, 7 junio de 1917, 19 de Diciembre de 1936, 6 de mayo de 1951, 3 mayo de 1965, 10 de octubre de 1986, 13 enero de 2001 y 13 de febrero de 2001, dejando en escombros muchas estructuras antiguas del patrimonio cultural y otras con severos daños estructurales.

---

<sup>1</sup> Barba Jacob, Porfirio, 1999. El Terremoto de San Salvador, 5° Ed., Pág. 166.  
CONCULTURA.

<sup>2</sup> Estadística del Diario de Hoy (17 de Enero de 2008)

Algunos monumentos dañados por los anteriores sismos y el de 1986 son, el monumento a la imagen del Divino Salvador del Mundo, de unos seis metros de altura, la iglesia La Merced en la capital (la más antigua de la fundación de la villa de San Salvador, sobre la cuesta del Palo Verde), la iglesia del Pilar y la torre del Parque Central en San Vicente, la iglesia de Panchimalco, la casa dueñas en Santa Tecla, Hospital Rosales en San Salvador, etc., así, de ellos se pueden mencionar muchos más, donde unos ya pasaron a la historia del país y otros están con severos daños.

A la fecha, sólo se dispone de estadísticas de destrucción y pérdidas de las estructuras. En la práctica, se han desarrollado algunas metodologías para su restauración general, para las que todavía se han podido rescatar, y así, salvar el patrimonio cultural del país, sin que se tengan documentadas, sistematizadas y a la disposición, estas experiencias para aplicarlas en otros casos.

## **1.2 Planteamiento del problema.**

En el siglo XX, el territorio Salvadoreño, ha tenido cuatro eventos sísmicos muy significativos, en donde se valora el impacto y sus consecuencias hasta el largo plazo <sup>3</sup> (ver anexo), estos son el 13 de mayo de 1965, 10 de octubre de 1986, 13 de enero y 13 de febrero de 2001, causando daños parciales o totales en muchas infraestructuras importantes para el patrimonio cultural del país, estas consecuencias, conllevan a

---

<sup>3</sup> A la vez, los severos fenómenos meteorológicos han conllevado a que los daños fueran mayores en el largo plazo, por el intemperismo.

realizar una metodología para restaurar sistemas estructurales de los monumentos o edificaciones antiguas (según su propia estructuración, arquitectura y complejidad; así mismo, los graves daños) las cuales tienen gran valor cultural para que estén preparadas a soportar próximos sismos y resistan las condiciones naturales del intemperismo, y así, no pasen a formar parte de la historia.

Técnicamente, también se necesita disponer del recurso humano que domine los métodos y procesos de reparación estructural para cada caso en particular, basado en la experiencia que se disponga con una metodología apropiada para tal fin, ya que actualmente no se tiene sistematizada y está dispersa o no la hay, y en los 262 municipios del país, hay muchas infraestructuras postcoloniales, algunas coloniales y precolombinas que son un tesoro cultural salvadoreño donde varias están dañadas gravemente con el transcurrir de los años. Pero no sólo por culpa de los sismos, sino también, por el envejecimiento de los materiales y el impacto de la intemperie, en tanto se mantienen en pie, inherente al poco interés de la gran mayoría de instituciones y personas o técnicos en querer conservar la ingeniería de la construcción ancestral, colonial, postcolonial y moderna.

El problema se hace mayor cuando hay daños en la estructura principal de la edificación y no se actúa oportuna y técnicamente con reparaciones o restauraciones de esta importancia, sin desmedro a la estética propia de cada monumento en su época, entonces, se llega a la desaparición de muchas infraestructuras valiosas e importantes para la historia del país.

### **1.3 Objetivos.**

#### **Objetivo General.**

Elaborar Lineamientos generales, desde los del análisis estructural, adecuándolos a una metodología para la restauración del sistema estructural de los monumentos o inmuebles históricos del patrimonio histórico y cultural en El Salvador.

#### **Objetivos Específicos.**

1. investigar metodologías o métodos de restauración estructural que se han aplicado a diferentes monumentos o edificaciones del patrimonio histórico cultural del país.
2. Proponer al patrimonio histórico y cultural del país<sup>4</sup> una metodología para rescate, restauración, rehabilitación, reparación o rediseño del sistema estructural dañado de los monumentos y edificios históricos que lo constituyen.
3. Aplicar la metodología propuesta, en el sistema estructural de un caso de estudio para la restauración estructural, cuya infraestructura esté en peligro inminente de dañarse o propensa a ser destruida, debido a un próximo evento sísmico, o gravemente impactada en el sistema estructural para mantenerse en pie, estable, segura y en buen estado.
4. Dar recomendaciones de análisis y de procesos constructivos en los sistemas estructurales de los monumentos o edificios históricos y culturales del país, para que disminuya el impacto sobre ellos y que al ponerlos en práctica, los costos también sean bajos o muy bajos, debido al mejoramiento con técnicas de

---

<sup>4</sup> CONCULTURA, Ministerio de Educación e instituciones del Estado afines al tema

reforzamiento o rigidización estructural que buscan su estabilidad y seguridad para el más largo plazo.

#### **1.4 Alcances.**

Se propondrá una metodología para la restauración de monumentos y edificios históricos del país, para aplicarla en esa infraestructura que está construida y que actualmente se encuentra en malas condiciones físicas o de seguridad, por lo cual, se les mantiene restricciones de uso o veda por el patrimonio cultural del país, consistiendo ello, en lograr dar mayor rigidez al sistema estructural. Además, se recomendará procesos de reparación estructural basados en rediseño, técnicas estructurales de rescate o restauración que se puedan poner en práctica pero con costos bajos o muy bajos y que perdure segura, en buen estado debido al buen mantenimiento que se les dé.

#### **1.5 Limitaciones.**

- La información estadística disponible de restauraciones realizadas y metodologías aplicadas, en el país, en edificios o monumentos del patrimonio histórico y cultural que se tienen, es poca y está dispersa, así como las experiencias, si la describieron los que han trabajado en ello, sin que a la fecha estén sistematizadas.

- El marco de referencia de la información a recolectar y que contendrá este estudio, abarcará el periodo comprendido entre los años 1900 a 2007.
- Las pruebas de laboratorio, por ejemplo, resistencia de los materiales u otra que se proponga, su aplicación dependerá de la agilidad que permitan los permisos y autorizaciones requeridas, los retrasos detendrán resultados o los ensayos no se realizarían en el debido tiempo.

### **1.6 Justificación.**

En El Salvador, con 262 municipios, en sus ciudades o cantones son muchas las construcciones, estructuras o monumentos antiguos que tienen severos daños y avanzado deterioro físico, principalmente en su sistema estructural. En la actualidad algunos, o varios de estos fueron modificados parcial o totalmente por algún tipo de obra que se les ha realizado inadecuadamente, agregándole o quitándole alguna parte o elemento estructural o de apariencia, cambiando en mucho la forma en que responde el funcionamiento con las nuevas condiciones del sistema estructural y por efecto propio de sus reacciones internas, incluyendo su basamento, que generalmente contiene graves problemas en este punto. Así, por ejemplo, inmuebles eclesiásticos (iglesias), edificaciones estatales e inmuebles de familias particulares. Por ello, se hará el presente estudio, para crear y recomendar una metodología que se pueda poner en práctica con bajos costos y se puedan salvar las estructuras, restaurándolas y rehabilitándolas, porque son de valor cultural en el país. Ya que la Ley Especial de

Protección al Patrimonio Cultural de El Salvador, en el Art. 27 establece que: las investigaciones, estudios o intervenciones podrán ser realizados directamente por el Ministerio de Educación o por medio de entidades nacionales. Así, estos lineamientos, al adoptarlos las instituciones como CONCULTURA, los técnicos y constructores, dispondrán de una propuesta técnica apropiada para garantizar una buena restauración estructural.

### **1.7 Metodología de la investigación a desarrollar.**

Contenida en un plan de acción que lleve a la consecución de los objetivos, haciendo las siguientes actividades:

1. Investigación Bibliográfica respecto al tema y su contenido.
2. Investigación en Internet.
3. Recolección y análisis de datos estadísticos sobre restauraciones estructurales en el país.
4. Entrevistas a profesionales con experiencias en restauración de este tipo de edificaciones con enfoque en los sistemas estructurales.
5. Investigación de campo.

Descripción del plan de acción metodológico:

La metodología a seguir para el desarrollo secuencial y de forma ordenada del presente trabajo de graduación, se dividirá de la siguiente manera:

1. Investigación bibliográfica, para adquirir documentación relacionada al tema, tales como libros, manuales, seminarios de graduación, para reforzar y ampliar los conocimientos adquiridos.
2. Investigación en sitios de Internet para adquirir información sobre el tema de investigación en otros países con una cultura parecida a la de El Salvador, países latinoamericanos y europeos principalmente.
3. Visitas a instituciones que posean información sobre normativas y datos estadísticos de monumentos y edificaciones históricas anteriormente realizadas en el país.
4. Entrevista con profesionales, para, tener varios criterios y llegar a conclusiones generales para elaborar los lineamientos generales de la metodología a proponer para la restauración de los sistemas estructurales de los monumentos y edificaciones históricas de El Salvador.
5. Se realizarán visitas a técnicas a proyectos que se estén ejecutando o se hayan ejecutado en el país, con el objetivo de observar las técnicas o conceptos estructurales aplicados a la restauración de monumentos. Además, en la edificación a realizar la restauración del sistema estructural como caso de aplicación, se harán los ensayos o pruebas para conocer las características físicas y mecánicas de los materiales, tal como la resistencia de sus miembros estructurales cuando sea factible.

**Capítulo II: Historia de los  
Monumentos e Inmuebles Históricos de  
El Salvador, restauración y sus sistemas  
estructurales.**

Una síntesis histórica de los monumentos, edificaciones, construcciones nacionales, asentamientos poblacionales, está contenida en este capítulo. Así mismo, acerca de los respectivos sistemas estructurales, de distintos tipos y su clasificación, de acuerdo con los diferentes tipos de materiales utilizados.

## **2.1 Síntesis histórica de El Salvador.**

### 2.1.1 El patrimonio nacional.

Los monumentos del patrimonio nacional lo conforman monumentos nacionales, bienes culturales, monumentos históricos nacionales, monumentos arqueológicos, conjuntos históricos y lugares históricos. Ver el Anexo 2.1, un catálogo y clasificación estos monumentos.

### 2.1.2 Las construcciones y asentamientos poblacionales del país.

Antes de la conquista española, el territorio que actualmente ocupa la República de El Salvador, estaba ocupado por tres grandes estados y varios principados. Entre los pueblos indígenas de la región se encontraban los lencas, chortis, xincas, uluas, chorotegas, pocomames, y pipiles, pertenecientes al área cultural mesoamericana. Antes de año 1500 a.c., El Salvador estuvo habitado por grupos étnicos, primitivos, indígenas, hoy paleoindios. Después estuvieron los mayas y lencas. Entre los años 600 y 1000 a.c., se estableció la cultura de Cotzumalhuapa, cuya evidencia arqueológica, en El Salvador, fue descubierta en el municipio Cara Sucia, Ahuachapán. Durante el periodo clásico, los sitios dominantes, incluyendo la

arquitectura del área occidental y central, estuvieron muy influenciados por los de Copán en Honduras. Para el periodo Clásico Tardío, los grupos étnicos y las etnias eran lencas (potones y taulepas), uluas (cacaoperas), mayas (chortíes y pocomames), xincas y Chorotegas. En el año 900 a.c. llegaron los pipiles. Desde esa fecha hasta el año 1200 d.c., a ese período se le llamó epiclásico. Fue en ese tiempo, cuando los indígenas que habían vivido allí, antes de los pipiles, lograron mantener su soberanía, aliándose con ellos, en sitios como Tazumal, habitado por pocomames, y en Cihuatán, construida en este período por mayas y lencas. Atiquizaya, hoy ciudad Atiquizaya, en Ahuachapán, fue convertida en capital de un señorío pocomán que ocupaba gran parte de Ahuachapán y parte de Santa Ana. La cultura de los pipiles era similar a la de otros pueblos del centro de mesoamérica, especialmente de las nahuas (tolteca).

Los pipiles encabezaron varios cacicazgos, en territorios como Ahuachapán, Apaneca, Apastepeque, Cuzcatlán, Guacotecti, Ixtepetl, Izalco y Tehuacán. De ellos, el de Cuzcatlán fue el que logró imponer su hegemonía, al unificar el territorio pipil para crear el Señorío de Cuzcatlán, que estaba organizado como una federación. De esta forma, sobrevivieron los cacicazgos sometidos, como estados o departamentos que eran dependientes del cacique de Cuzcatlán. A mediados del siglo XI, los mayas chortí, que desde mucho antes habían ocupado la región al norte del río Lempa, en la zona del distrito de Metapán (Santa Ana) y en Chalatenango, crearon el reino payaquí, que ocupaba también regiones de las actuales Guatemala y Honduras. En el siglo XIII el actual territorio salvadoreño recibió la influencia cultural de los pipiles, a

tal grado que cuando llegaron los españoles, se hablaba en gran parte de la región el alajuilak, una lengua que combinaba elementos del chortí y el nahuat. Alrededor del siglo XIV, los lencas se unificaron formando su propio señorío Chaparrastique, al igual que el reino payaquí, era un Estado confederado. En el año 1400 d.C. los pipiles conquistaron el señorío de los pocomames y su capital, Atiquizaya. Antes y durante la conquista, este territorio, que en el futuro sería El Salvador, se encontraba dividido en 3 partes siguientes:

- Reino Payaquí (señorío Chorti) extendido al norte del río Lempa, también con territorios en Guatemala y Honduras.
- Señorío de Cuzcatlán, se extendió desde el río Paz hasta el río Lempa.
- Señorío de Chaparrastique, señorío Lenca, se extendió en toda la zona oriental y también con territorios en Honduras.

La conquista española, en El Salvador, comenzó el 31 de mayo de 1522, el español Andrés Niño, a la cabeza de una expedición, desembarcó en la isla de Meanguera en el (golfo de Fonseca); y posteriormente descubrió la bahía de Jiquilisco y la desembocadura del río Lempa.

En junio de 1524, Pedro de Alvarado salió de la población de Iximché en el actual territorio de Guatemala para iniciar el proceso de conquista de Cuscatlán. De las batallas más importantes de Alvarado en territorio nacional, se tiene la de Acaxual (Acaxutla); a pesar de la batalla, Alvarado marchó contra el poblado de Tacuzcalco (hoy Nahuilingo), que se encontraba situado al sur de la actual ciudad de Sonsonate. Otras batallas ocurridas dentro del territorio actual de El Salvador son, las batallas de

Cenzonapan (el mismo lugar donde posteriormente se fundaría Sonsonate), Tecpan Izalco, Yopicalco (Opico) y Xilopango (Ilopango).

La Villa de San Salvador fue fundada por Diego de Holguin y Gonzalo de Alvarado, el 1 de abril de 1525, en el sitio conocido como Ciudad Vieja, en el valle de la Bermuda, a 8 kilómetros al sur de la actual Suchitoto. En 1526 estalló una sublevación indígena que obligó a abandonar la villa. En 1528, la villa de San Salvador fue refundada por Diego de Alvarado. En 1530, una expedición terminó la conquista de la zona oriental y fundó la villa de San Miguel de la Frontera. La conquista del territorio significó el fin de una época de poblamiento indígena que había durado varios milenios. Después de miles de años de aislamiento, el territorio fue incorporado, por la fuerza, al imperio español y convertido en colonia. El imperio determinó que el territorio que hoy ocupa El Salvador formara parte de la Capitanía General de Guatemala, la cual dependía administrativamente del virrey de la Nueva España. La población nativa sobreviviente, diezmada por las guerras de conquista y por las nuevas enfermedades provenientes de Europa, pasaron a ser "indios" y su trabajo sería servir a sus conquistadores.

La Nueva España (1535-1821) era el virreinato español que se extendía desde el Oeste de los Estados Unidos hasta Costa Rica en Centroamérica, teniendo su capital en la Ciudad de México. De este virreinato, dependía la Capitanía General de Guatemala (comprendida por los actuales territorios de Guatemala, Costa Rica, El Salvador, Honduras y Nicaragua). Desde 1532 hasta 1786, el país que en el futuro sería El Salvador, estaba dividido como sigue:

- Alcaldía Mayor de Sonsonate, los actuales departamentos de Sonsonate y Ahuachapán.
- Alcaldía Mayor de San Salvador, con toda la zona central y el Departamento de Santa Ana.
- Alcaldía Mayor de San Miguel, toda la zona oriental.

Desde 1786 hasta 1824, como parte de las reformas borbónicas, el territorio se reorganizó en dos partes, Alcaldía Mayor de Sonsonate, y la Intendencia de San Salvador, constituida por las Alcaldías Mayores de San Salvador y San Miguel.

Durante la época colonial, se formaron las ciudades más importantes del territorio salvadoreño, pero también, se perdió una gran parte de la etnicidad del territorio nacional, por el abuso de los colonizadores españoles. Después de la época colonial, la época independentista, de los años 1811 a 1821, donde el rol de El Salvador fue fundamental para la independencia del territorio centroamericano. Seguidamente, la época de la Federación, donde primeramente se buscó, que el recién formado gobierno salvadoreño se uniese a la emergente República Federal de Centroamérica. Pero el gobierno se rehusó, y fue así como se instauró el gobierno de la nueva República de El Salvador, teniendo como primer jefe de Estado a Juan Manuel Rodríguez. Continuó el gobierno salvadoreño en su lucha para establecerse como República, hasta mediados de la época de 1870, cuando el gobierno tuvo un fuerte crecimiento económico por la producción y exportación de café, el cual facilitó la explosión demográfica y el crecimiento de los polos poblacionales en el país,

consecuentemente, se vio un auge en la construcción de edificaciones, de las cuales, muchas, hoy<sup>5</sup> son consideradas como monumentos históricos del país. Esta época cafetalera continuó hasta principios de los años 1930's, cuando la gran depresión, tuvo un fuerte impacto en la economía nacional, desplomando los precios del café, que hasta esa época, era el principal sustento de la economía salvadoreña. A raíz de esta crisis económica mundial, el gobierno fue derrocado por militares, donde el autoritarismo militar continuó hasta finales de los años 1970's, (15 de octubre de 1979), donde comenzó el conflicto armado que azotó al país hasta principios de los años 1990's, 16 de enero de 1992, con la firma de los Acuerdos de Paz, en esta fecha, en el castillo de Chapultepec, México. Este conflicto perjudicó increíblemente el patrimonio cultural del país, puesto que durante esta guerra se destruyeron monumentos y edificaciones de gran valor cultural e histórico que en cualquier otra época, y, hasta la fecha se continúa tratando de restaurarlos para su rescate.

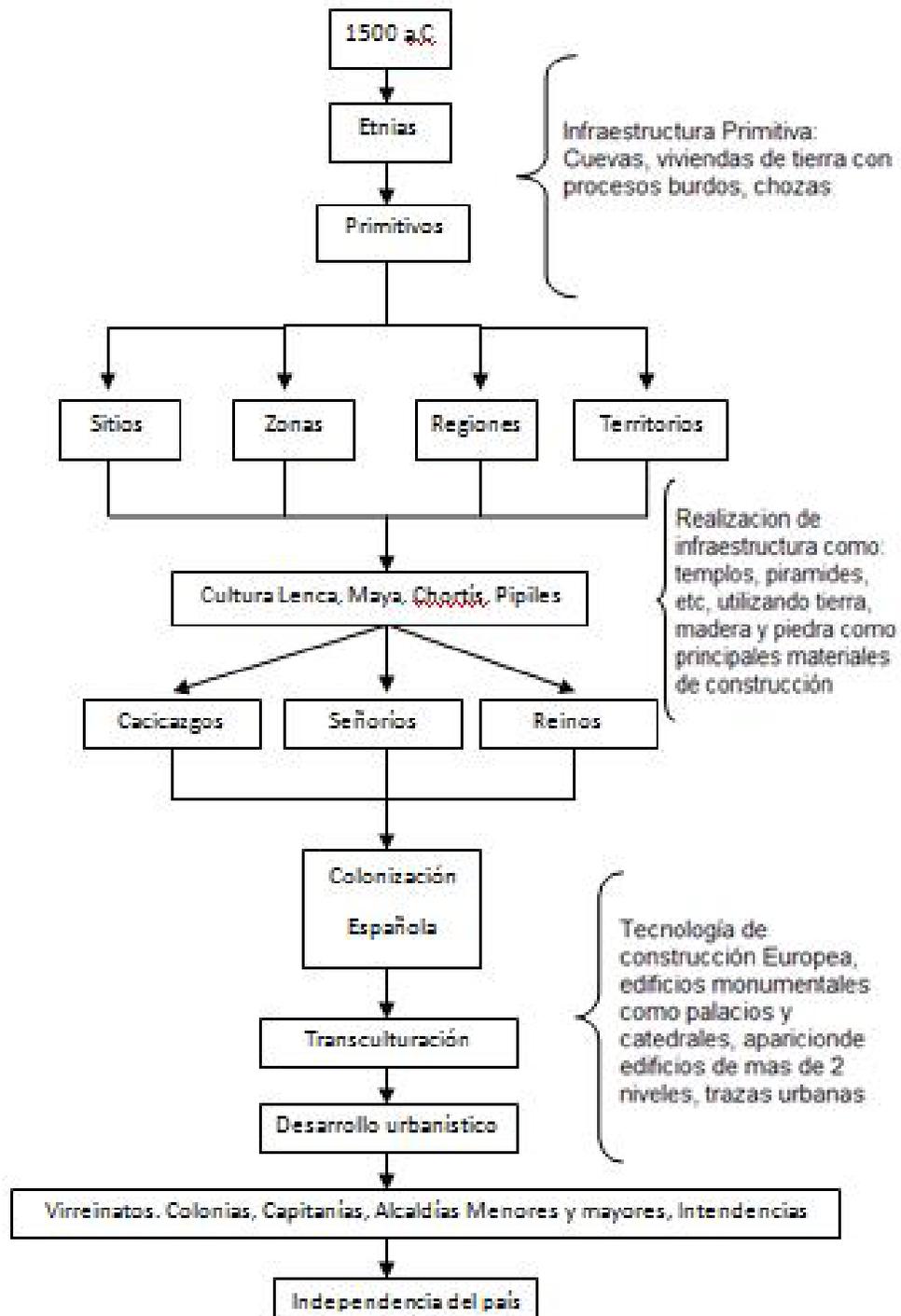
Esta síntesis de la Historia los asentamientos poblacionales y de construcciones en El Salvador se resume en el esquema de la página siguiente:

---

<sup>5</sup> Vale indicar, la referencia de este modernismo de la época, 1800, en referencia a la aplicación de sistemas estructurales muy usuales en Europa, principalmente, así mismo los materiales utilizados. Técnicamente el país poco había avanzado en unos 30 años y casi no se conocía del desarrollo de construcciones complejas, que se hicieron en varias ciudades importantes del país, en adelante, generalmente por profesionales formados fuera del país.

Esquema de síntesis histórica de asentamientos poblacionales y construcciones.

Fig. 2.1 Síntesis histórica de El Salvador de construcciones y asentamientos poblacionales



### 2.1.3 Historia del desarrollo humano y de las edificaciones altas y bajas en el país.

Las figuras 2.1 y 2.2 ilustran la evolución cronológica de la estructura urbana de Salvador a partir del urbanismo alcanzado con sus edificaciones.

Ver mapas actuales en la figs. 2.1 y 2.2.

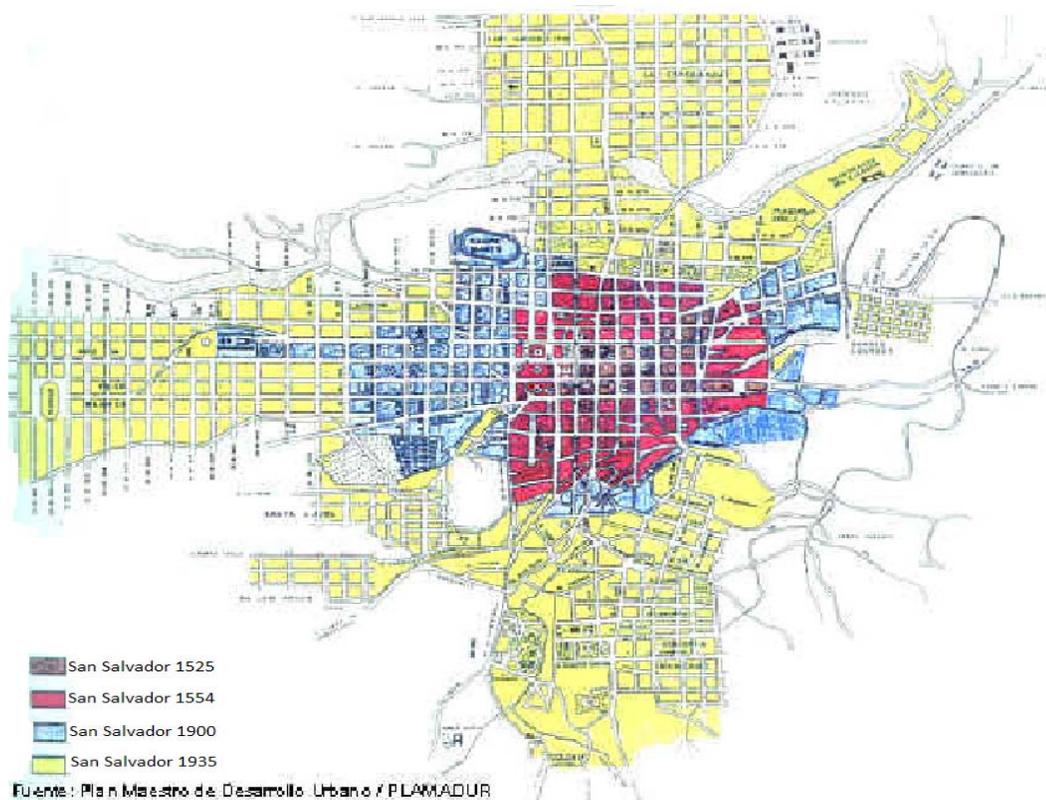


Figura 2.1. Evolución de la estructura urbana de San Salvador de 1525 a 1935.

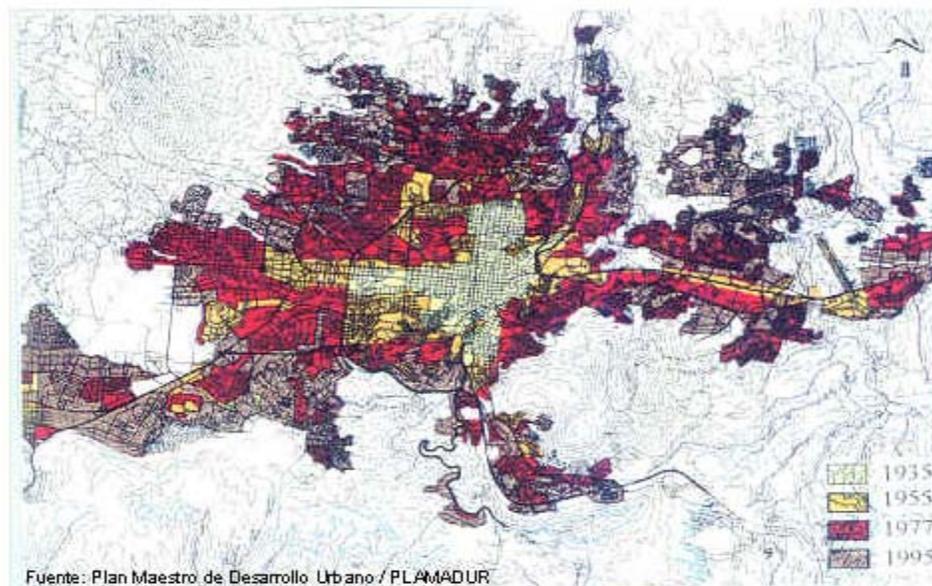


Figura 2.2. Evolución de la estructura urbana de San Salvador de 1935 a 1995.

Tabla 2.1 La definición cronológica del urbanismo de San Salvador.

1525	Se fundó la villa de San Salvador
1554	La ciudad comprendía unas pocas manzanas y elementos urbanos que definían su trazo original en cuadrícula
1807	Construcción de edificios públicos importantes y el apareamiento de algunos barrios, la ciudad triplicó su extensión
1990	Ciudad consolida con sus barrios residenciales <sup>6</sup> especialmente hacia el poniente
1935	La ciudad se definió como el núcleo poblacional de mayor dimensión del país
1935-1995	Crecimiento acelerado de la ciudad de San Salvador dentro del Área Metropolitana, causando un crecimiento que se expande de forma desordenada

<sup>6</sup> Estas residencias todavía constituyen edificios e inmuebles que forman parte histórica y son testigos de los sistemas estructurales antiguos utilizados en las construcciones o monumentos históricos del país.

A finales del siglo XIX e inicios del siglo XX. La ciudad se consolidó como el principal centro urbano del país: de capital política – administrativa del país, se convirtió en la sede de talleres de manufactura, instituciones financieras, compañías aseguradoras, así como de los principales establecimientos de la época que se localizaron en su mayoría en el Centro Histórico de la ciudad. Además, fueron construidos los principales edificios símbolos de la capital: Palacio Nacional, Catedral, Teatro Nacional, Universidad Nacional, en los alrededores de las tres plazas históricas, y en sus inmediaciones, las residencias de las familias pudientes, capitalistas y los de mayores ingresos. Simultáneamente este crecimiento se extendió de forma desordenada por la falta de una buena estructuración de la red vial urbana para la movilización eficiente de los diversos medios de transporte desde el interior de las zonas urbanas hacia la periferia y de sus conexiones hacia el sistema vial interdepartamental. Ver fig.2.3.



Figura 2.3. Crecimiento de la ciudad desde 1594 a 1998

Desde 1930, debido al desplazamiento de las familias de altos ingresos, las residencias abandonadas se han transformado en establecimientos comerciales o se han dividido en viviendas populares llamadas “mesones”, viviendas de una sola habitación para cada familia que comparten los servicios sanitarios. Pero se conservaron aún, las funciones de integración social y cultural para los habitantes de la ciudad, hasta finales de los años 1950’s, cuando se acostumbraba visitar el Centro Histórico, especialmente en días festivos, a pesar que los visitantes no habitaban éste lugar, lo compartían socialmente.

Desde los años 1950’s, a mediados del siglo XX, las sedes de los bancos, los establecimientos de servicios privados especializados, los grandes almacenes, los

pocos hoteles importantes y las familias de altos ingresos se desplazaron del Centro Histórico a la zona oeste de la ciudad, donde además se habían desarrollado nuevos y lujosos centros comerciales y hoteles. Sin embargo, un significativo número de pequeños y medianos establecimientos comerciales y de servicios orientados al consumidor final permanecieron en el Centro Histórico. Esta actividad económica desarrollada a finales del siglo XX, fue totalmente diferente a la de mediados o inicios del mismo cuando alcanzó su mayor esplendor, esto caracteriza al actual Centro Histórico de la ciudad capital, San Salvador Moderno. Luego del desplazamiento definitivo de las grandes actividades económicas del Centro Histórico, a partir de 1960, el sector informal invadió ésta área con sus ventas en calles, aceras, parques y plazas, se acrecentó la inseguridad y la violencia urbana, convirtiéndose en un lugar de paso<sup>7</sup>. “La evolución del Centro Histórico fue drásticamente afectada por la nueva política de crecimiento basada en la sustitución de importaciones y la creación del Mercado Común Centroamericano en 1960. La dinámica general de la economía del país y de la ciudad se modificó. Nuevas zonas industriales fueron creadas en la periferia de la ciudad, se amplió el sistema financiero, crecieron los servicios y el comercio, hubo rápida expansión en la construcción de conjuntos residenciales para grupos con ingresos medios y medio bajos. Consecuentemente, se construyeron nuevas redes de infraestructura urbana

---

<sup>7</sup> Hoy son aceras por los vendedores callejeros y comercio informal y la alcaldía municipal de San Salvador. La agudeza mayor de este caso la ha propiciado la administración municipal del Alcalde del año 1976, Dr. Antonio Morales Erlich, al crear las zonas peatonales para los vendedores, imitando modelos informales de otros países latinoamericanos y caribeños

transformando el paisaje urbano. En éste contexto, las inversiones en el Centro Histórico pasaron a ocupar un lugar secundario” (Lungo, M. 2000).

Durante éstos años también se dieron los primeros esfuerzos de planificación metropolitana con la formulación del “Plan de Desarrollo Metropolitano METROPLAN 80” (1968-69), a cargo del Consejo Nacional de Planificación y Coordinación Económica CONAPLAN, en el cual, se proponían lineamientos generales y particulares sobre los sectores del área central comercial, vivienda, recreación, transporte e industria, enmarcados dentro de un modelo de “ciudad ideal”. Ver figura 2.4.

En el terremoto del 10 de octubre de 1986, fueron destruidas edificaciones en el centro histórico de San Salvador, provocando apareamiento de lotes o predios baldíos. En la actualidad hay 450 lotes, de los cuales solo el 72.44% son utilizados para estacionamientos vehiculares, talleres de reparación de automóviles y pequeños comercios. En 27.56% de los lotes baldíos no se desarrolla ningún tipo de actividad y en algunos casos existen construcciones en ruinas. El METROPLAN 80, no fue implementado como tal, contribuyendo esto a que se prestara poca atención al Centro Histórico.

Al final de los años 1970's. La concepción de planificación del desarrollo urbano había perdido casi toda su vigencia, abriéndose un período de incertidumbre en torno a cómo manejar los problemas generados por el continuo crecimiento del área metropolitana.

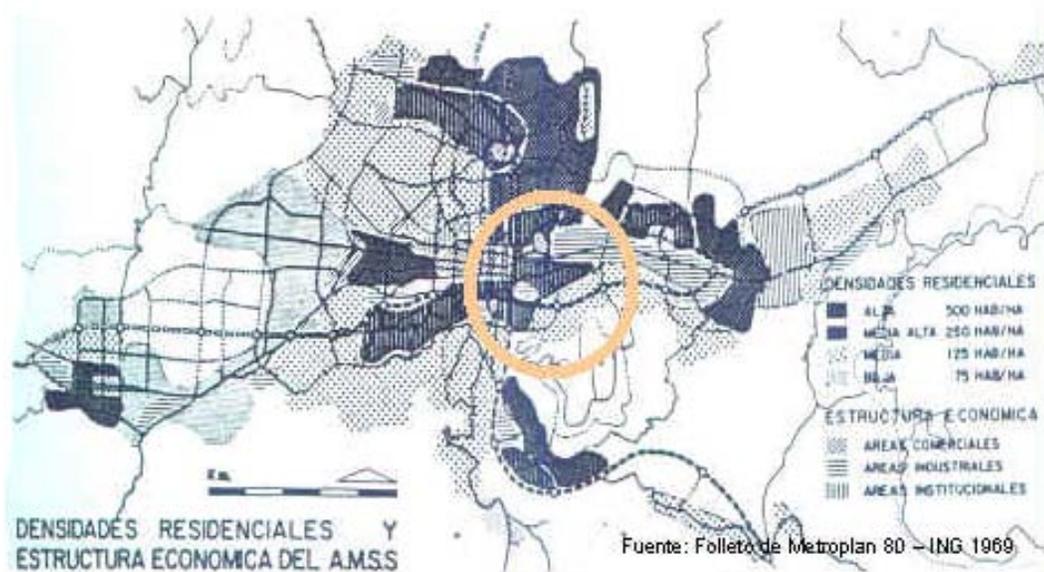


Figura 2.4. Densidades residenciales y estructura económica del A.M.S.S.

El Centro Histórico, a raíz del terremoto del 10 de Octubre de 1986, una vez más, un terremoto de gran intensidad (5.5 grados en la escala de Richter) causó daños severos a la infraestructura de la ciudad y los pocos establecimientos de servicios especializados y los bancos que quedaban<sup>8</sup>. El antiguo Centro Histórico ha cambiado drásticamente y más importante que su revitalización económica, es impulsar su rescate a través de iniciativas como la restauración de las edificaciones de valor patrimonial, la conservación de la traza urbana colonial, la recuperación de los espacios públicos, el ordenamiento del transporte público, el ordenamiento y reubicación del comercio informal y la recuperación de su función habitacional.

<sup>8</sup> Fueron trasladados definitivamente a la zona oeste de la ciudad

Actualmente, el Centro Histórico ha sido excluido de las políticas públicas del gobierno central y es considerado por la mayoría de los habitantes zona insegura para visitar.

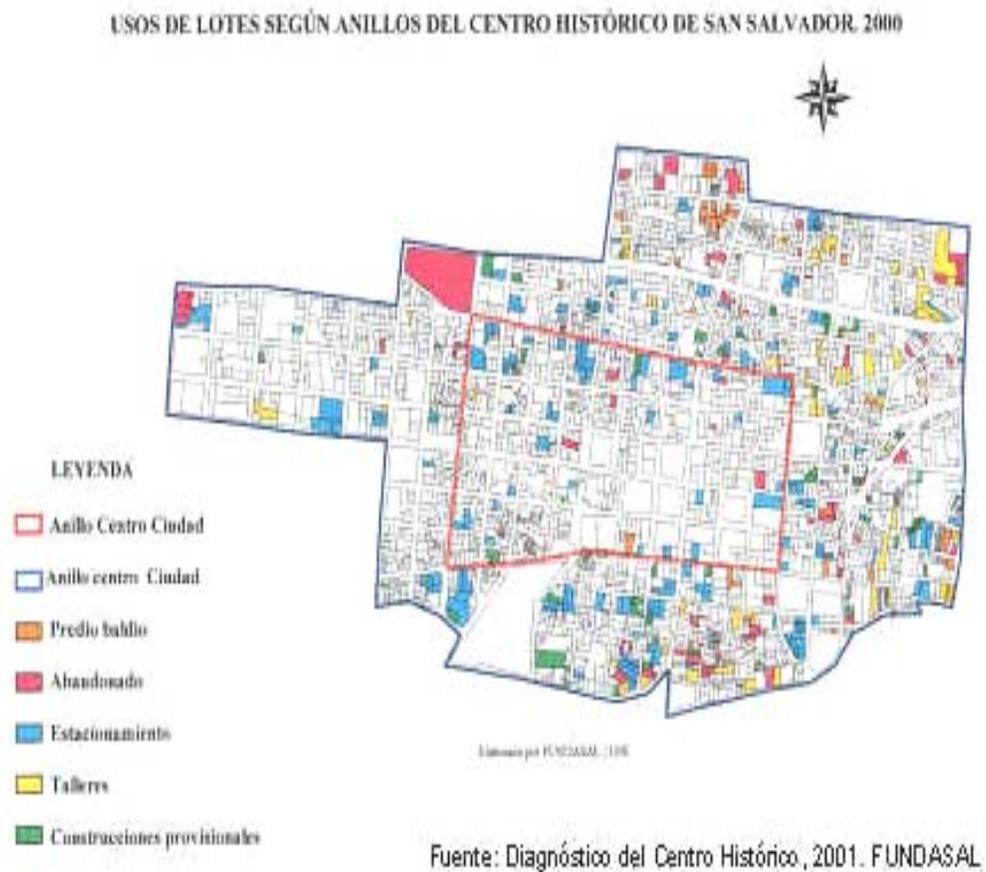


Figura 2.5. Uso de lotes según anillos del centro histórico de San Salvador, 2000.

En 1996 se contabilizaron 540 edificios de valor patrimonial en todo el Centro Histórico (ver figs. 2.5 y 2.6): 69% (374) en el perímetro del Centro Consolidado y 31% (166) en el Centro Ciudad.



a) Portal de la Dalia



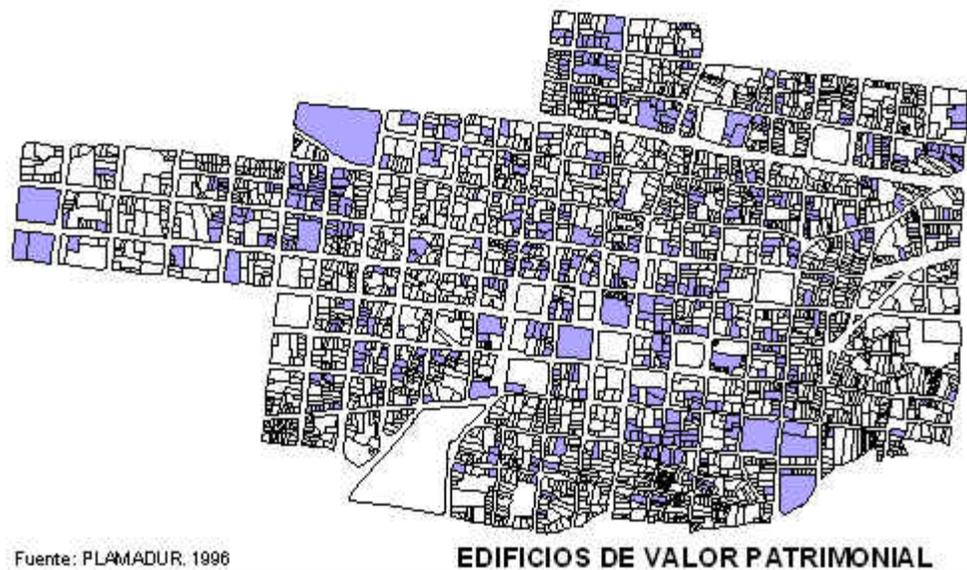
b) Palacio Nacional

Figura 2.6. Fotografías de inmuebles históricos restaurados.

De las 59 manzanas del Centro Ciudad, sólo el 31% están en buen estado de conservación, el resto está deteriorado o abandonado, revelando mayor vulnerabilidad

en el Centro Consolidado, donde hay muchas edificaciones de madera y lámina o bahareque y lámina.

El Centro Ciudad aparece más susceptible a las transformaciones debido a la presencia de numerosos lotes vacíos y de edificaciones de mayor volumen, dañadas por el terremoto de 1986. El Centro Consolidado aparece más compactado y equilibrado con edificios de 1 a 3 pisos. La precariedad de los materiales de construcción y las transformaciones causadas por la presión de las funciones comerciales, son los factores que favorecen la degradación de los edificios históricos más vulnerables. Ver fig. 2.8



Color morado indica que es un edificio con valor cultural.

Figura 2.7. Edificios de valor patrimonial en San Salvador, 1996.

Del total de viviendas del Centro Histórico, el 9.27% han sido clasificadas con valor cultural, por sus detalles arquitectónicos representativos del período histórico en que fueron construidas. El inventario de bienes culturales inmuebles realizado por El Consejo Nacional para La Cultura y El Arte, CONCULTURA en el año 2000 y por la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador, OPAMSS en el año 2001, hay algunas edificaciones construidas antiguamente siguen conservando su uso habitacional o de comercio. El 98.92% de viviendas con valor cultural se concentran en el Centro Consolidado.



Figura 2.8. Materiales de las viviendas identificadas en el centro histórico de San Salvador, 2000.

72.63% son viviendas de sistema mixto, el 13.42% son viviendas construidas de madera y lámina troquelada importada de países europeos, y el 7.50% son viviendas construidas con materiales de desechos. En el Centro Consolidado se concentra el mayor porcentaje (99.64%) de viviendas construidas de sistema mixto.

Deficiencia de Parquesos.

La proliferación de parquesos provoca la desaparición de los pocos inmuebles con valor histórico debido a su demolición. Ver fig 2.9.

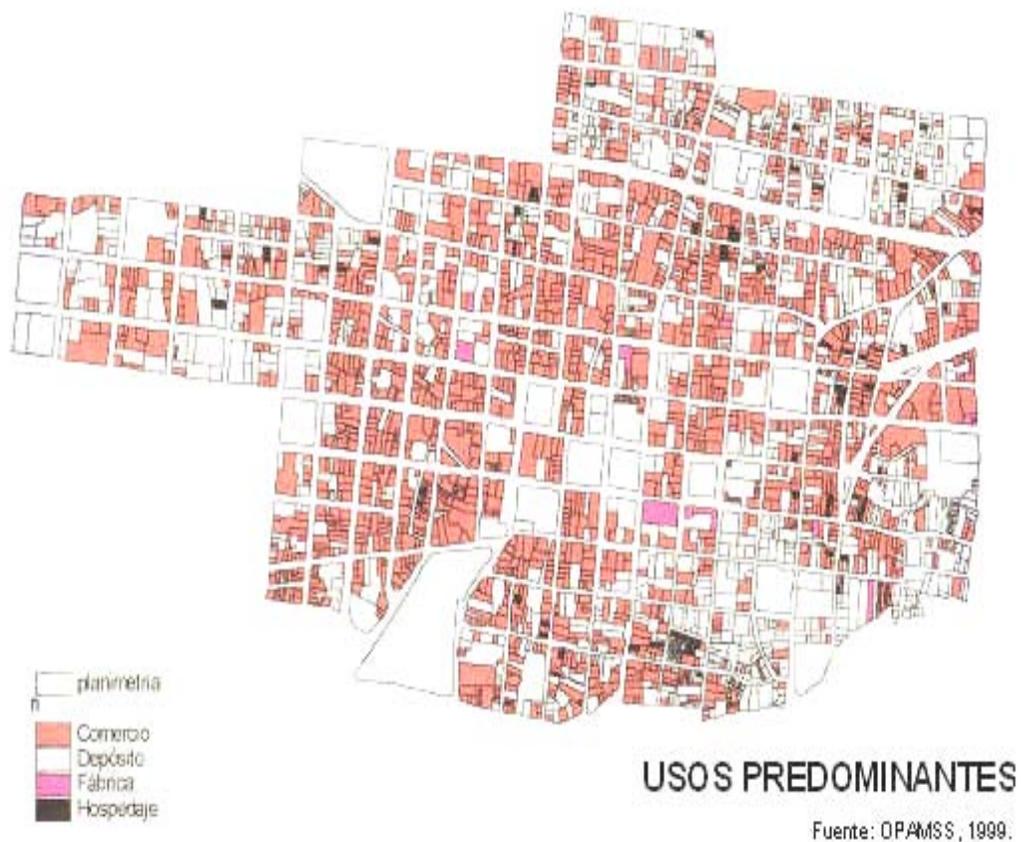


Figura 2.9. Usos predominantes de viviendas en el centro de San Salvador, 1999.

Uso comercial generalizado.

La tendencia mono-funcional, comercial de bienes y servicios de los inmuebles y comercio informal en los espacios públicos, va haciendo desaparecer la preservación de que existan instituciones públicas y vivienda; reforzando la segregación espacial y la exclusión social. Ver fig. 2.10 y tabla 2.1.

En el terremoto del 10 de Octubre de 1986 fueron destruidas edificaciones en el Centro Histórico de San Salvador, provocando apareamiento de lotes o predios baldíos. En la actualidad hay 450 lotes, de los cuales el 72.44% son utilizados para estacionamientos vehiculares, talleres de reparación de automóviles y pequeños comercios. En 27.56% de lotes baldíos no se desarrolla ningún tipo de actividad y en algunos casos existen construcciones en ruinas.

Uso de suelo.

Tabla 2.2 Distribución de inmuebles históricos según funcionabilidad

Infraestructura	Centro Ciudad	Centro Consolidado
Bloques o manzanas	59	141
Edificios de valor histórico	166	374
a. Comercio	83.00	66.00
b. Educación recreación	3.00	10.00
c. Vivienda	0.20	11.00
d. otros	13.80	13.00

## TIPOS DE VIVIENDAS IDENTIFICADAS EN EL CENTRO HISTÓRICO DE SAN SALVADOR. 2000

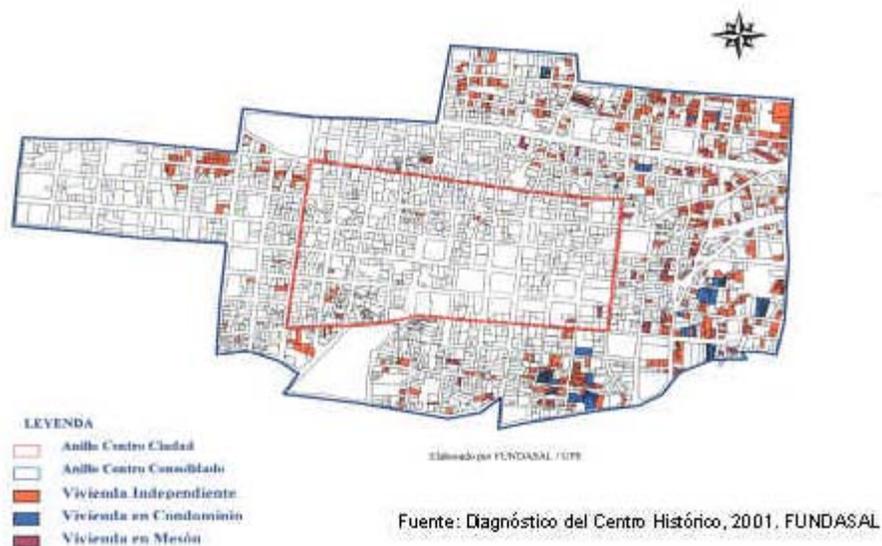


Figura 2.10 Tipos de viviendas identificadas en el centro histórico de San Salvador, 2000, de acuerdo con la tabla 2.1

## 2.2 Monumentos o edificios Históricos.

### 2.2.1 Monumentos o edificios históricos:

- Monumento: obra arquitectónica o escultórica destinada a recordar un acontecimiento<sup>9</sup>.
- Monumentos Históricos: bienes inmuebles que constituyen la realización de obras de arquitectura o ingeniería, que ofrezcan el testimonio de una civilización, de una fase significativa de su evolución o de un suceso histórico, y que tengan a la vez interés artístico, científico o social.

<sup>9</sup> Pequeño Larousse Ilustrado, 15 a. Edit. Larousse, D.F. 1990, Pág. 698.

- Monumentos o Inmuebles que se son del Patrimonio Cultural: bienes culturales pertenecientes a las épocas precolombinas, colonial, independentista y post independentista, así como los de la época contemporánea que merezcan reconocimiento de su valor cultural.<sup>10</sup>

Luigi Crema, define Monumento así: “El monumento es un documento arquitectónico. Es toda obra de notable importancia para la historia del arte y la civilización”. Crema indica la subjetividad que puede tener una concepción de monumento, según sea la sensibilidad, el gusto o la educación cultural que se posea.

Pierro Gazzola, “Un monumento es mucho más de una simple construcción. Afecta y es afectada por su entorno y sus relaciones con ese entorno son parte importante de su valor histórico-artístico. No son meramente obras de arte”.<sup>11</sup>

La Carta de Venecia, dice en el artículo 1 lo siguiente: “La noción de un monumento comprende la creación arquitectónica aislada así como también el sitio urbano o rural que nos ofrece el testimonio de una civilización particular, de una fase representativa, de evolución o progreso, o de su suceso histórico. Se refiere no sólo a las grandes creaciones, sino a las obra maestras que han adquirido con el tiempo un significado cultural”<sup>12</sup>.

Monumento, en general, es toda obra de construcción civil y arquitectónica, artística, en la que, se debe incluir el sitio urbano y rural, que sirve de testimonio histórico de

---

<sup>10</sup> Ley Especial de Protección al Patrimonio Cultural del El Salvador y su Reglamento, Págs. 45.

<sup>11</sup> Crema y Gazzola cit. Bono, Thomas J., op. Cit. Pág. 3.

<sup>12</sup> Documento ICOMOS, carta internacional sobre la conservación y restauración de los monumentos y de los sitios, Carta de Venecia, s/e, Pág. 5.

una civilización, indicando su evolución o sucesos históricos, tomando en cuenta la obra por su tamaño o magnificencia, y su valor cultural o histórico. En El Salvador hay Monumentos Históricos como los siguientes: Palacio Nacional, Casa Dueñas, Iglesia del Pilar, Iglesia de Candelaria, Catedral de Nuestra Señora de Santa Ana, Ex Casa Presidencial en san Jacinto, Teatro Nacional, Casa Ambrogi, Iglesia San Esteban, Catedral de San Salvador, Iglesia de Panchimalco. Antiguos puentes carreteros y del ferrocarril del país, por ejemplo, el puente colgante de Colima, conecta a Chalatenango, puente del ferrocarril en San Marcos Lempa, etc.

### **2.3 Sistemas estructurales en distintos tipos de Monumentos Históricos y su clasificación.**

En el periodo de la conquista de Centroamérica, por los españoles, y de la colonización, el tipo edificaciones que tuvo mayor auge fue la de adobe y madera con lámina troquelada. Fueron los dos materiales constructivos más usados en monumentos o edificaciones históricas con valor cultural en El Salvador.

#### **2.3.1 Sistemas estructurales en el sistema constructivo de Adobe.**

El sistema estructural de edificaciones de adobe<sup>13</sup> consiste principalmente en muros de carga. Se diseñaron intencionalmente o no para soportar cargas verticales (peso propio, entrepisos, cubiertas y otros) y de servicio (carga viva), sin incluir los efectos

---

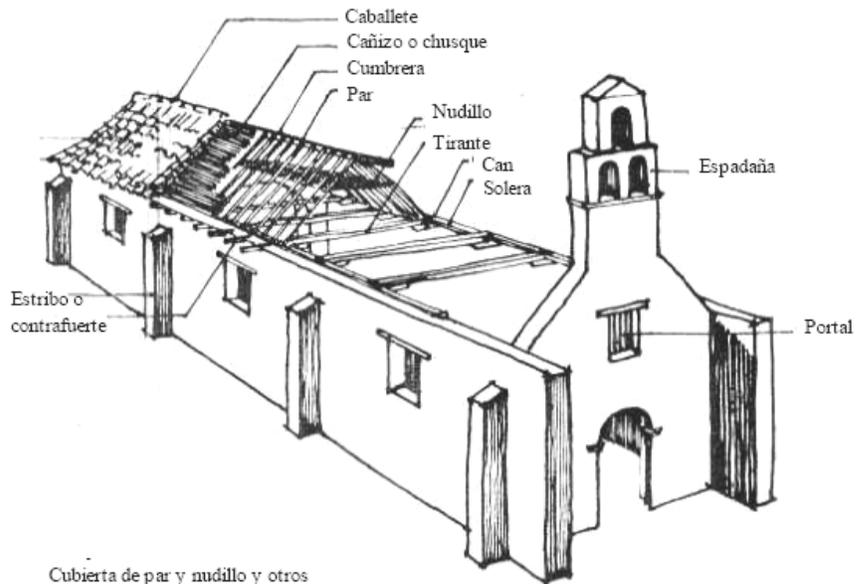
<sup>13</sup> Inicialmente fue burdo, empírico, instintivo e intuitivo, para resguardo y permanecer en el lugar, ranchos de paja hasta llegar al bloque de arcilla cocido a alta temperatura.

producidos por sismo. Se homologa a un sistema de mampostería, compuesto por unidades de tierra cruda, aparejadas de diferentes formas, con la cual se construyen muros que varían en espesor y altura. Por ejemplo, Las “capillas” del tiempo de la colonización tienen una configuración y geometría particular dentro de los diferentes bienes inmuebles de interés cultural que posee el país. La conformación constructiva en general de las “capillas”, está marcada por los siguientes conceptos: ver gráficamente en la Figura 2.11 y 2.12.

- Cimientos corridos, con mampostería ciclópea, contruidos en conglomerado de roca nativa y barro compacto como ligamento. Sobre éstos se apoyan los muros de carga. Sus magnitudes son variables en función del tipo de suelo sobre el que se apoyan (esto para su profundidad) y generalmente con un sobreancho con respecto al de los muros que soportan.
- Muros cargueros longitudinales. De espesor variable entre 0.90 y 1.20 metros; o hasta 1.50 m, altura entre 5 y 7 metros. Además, existen aperturas ocasionales para vanos de puertas y ventanas.
- Muros longitudinales, trabajan en conjunto con contrafuertes que le rodean, para evitar volteos hacia el lado exterior. Se ubican a cuartas o quintas luces de la longitud del elemento, es decir separados entre 3 y 4 metros, para grandes longitudes. Estos muros, generalmente reciben las cargas de cubierta, trasmitidas a éstos, mediante el apoyo de los tirantes, que descansan sobre durmientes (viga solera) y demás estructura de armar a una viga solera que se ubica sobre el cabezal

del muro. Por ejemplo, la Iglesia de Asunción, Izalco municipio de Sonsonate y la Catedral de San Salvador.

- El muro testero o tapa anterior de la capilla, es el que forma el ábside y que cierra el edificio delante del presbiterio se encuentra construido de lado a lado, es decir sin aperturas o vanos y vinculando los dos costados longitudinales.
- El frontón de fachada, en la mayoría de los casos está construido en sillares (mampostería) de roca natural rústica y/o mampostería en unidades de arcilla cocida y se empalman con una traba irregular en los muros longitudinales.
- Marcando la importancia del presbiterio, entre éste y la nave del templo se presenta el arco toral que se dispone perpendicularmente a los muros longitudinales y que generalmente se acompaña de los respectivos contrafuertes colocados por el exterior de los muros longitudinales.
- Todo el sistema se afianza con el entramado del techo, conformado generalmente por una trama de madera en par y nudillo (una de las técnicas de armadura más comunes) y que constituye la forma estructural más sencilla para salvar la luz transversal de la única nave de la capilla. Como función adicional a la de cubierta en techo, la conforman la estructura de madera y su manto (teja, barro, esterilla, etc.), las cuales tienen la función de estabilizar el sistema de muros, así como de proteger al material básico del sistema estructural, hecho con unidades de tierra cruda, o adobe.



Cubierta de par y nudillo y otros elementos constructivos en una iglesia doctrinera.

Figura 2.11. Axometría: elementos constructivos básicos.

Corte transversal de un templo doctrinero

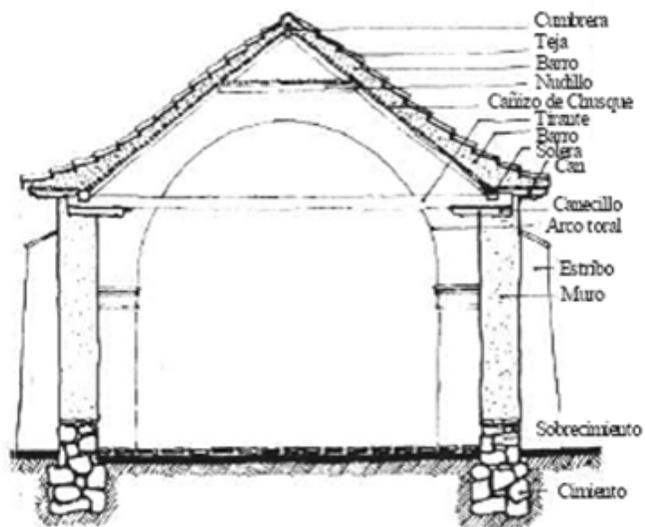


Figura 2.12. Sección transversal tipo.

La tierra cruda, el adobe, como material estructural, constituyente del sistema de muros de tierra. El sistema constructivo en tierra cruda con muros hechos de adobe, está formado por el aparejado de unidades de tierra cruda secadas libremente al sol (adobes), colocados, simplemente aglutinados con barro que hace las veces de mortero de pega. Las unidades básicas de este mampuesto son fabricadas moldeadas en diversos formatos y con variadas composiciones granulométricas. En el diagrama de fabricación del adobe (Figura 2.13) se indican las acciones invariables y cíclicas que se deben llevar a cabo para la fabricación de las unidades de bloque adobe, buscando mejorar las propiedades mecánicas y durabilidad, principalmente del intemperismo al que se encuentran sometidas en su gran mayoría estas estructuras.

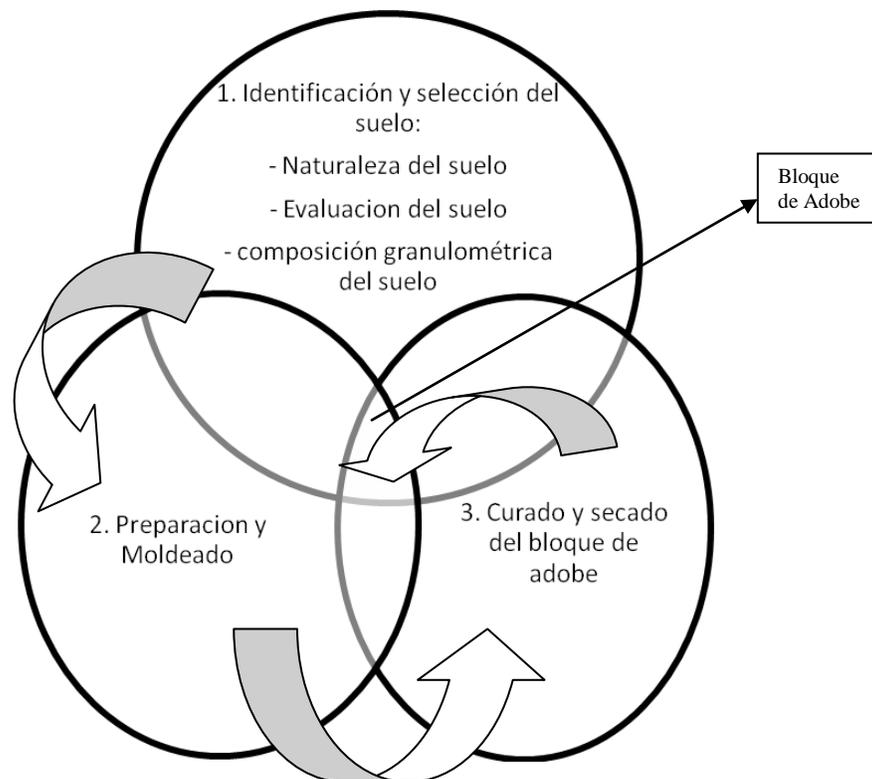


Figura 2.13 Diagrama del proceso de fabricación del adobe. Unidad básica del mampuesto.

Para que el adobe puesto mantenga su integridad en el sistema estructural, aparentemente simple, en la mampostería de obra o de edificación hecha, se revisan con exactitud la calidad que tengan los materiales empleados, las propiedades físicas, mecánicas y químicas, esto para posibles restauraciones, reconstrucciones o rescate físico más apropiado, para los bienes de interés cultural.

### 2.3.2 Sistemas estructurales contruidos con Madera.

La madera es históricamente uno de los materiales más utilizados por el hombre. Actualmente, en la mayoría de los países desarrollados su uso como material estructural alcanza a más del 90% de la construcción habitacional de 1 a 4 pisos.

Clasificación de los sistemas estructurales de madera.

Los sistemas estructurales desarrollados para viviendas de madera se dividen en dos grandes grupos según el largo de los elementos estructurales y las distancias o luces entre los apoyos:

- Estructuras de luces menores.
- Estructuras de luces mayores.

Estructuras de luces menores.

Se subdividen en:

- Estructuras macizas.
- Estructuras de placa.
- Estructuras de entramados.

Estructuras macizas. Sistema constructivo que por su aspecto de arquitectura, solución estructural y constructiva, es particularmente diferente. Su presentación es de una connotación de pesadez y gran rigidez por la forma en que se disponen los elementos que lo constituyen, en este caso rollizo o basa.

Estructuralmente no corresponde a una solución eficaz, ya que por la disposición de las piezas, éstas son solicitadas perpendicularmente a la fibra, o sea en la dirección en la cual la resistencia es menor. Sin embargo, el disponer de esta forma el material facilita el montaje de los diferentes elementos que conforman la estructura de la vivienda. Otra ventaja que ofrece es la buena aislación térmica, garantizada por la masa de la madera, pero presenta problemas en la variabilidad dimensional por efecto de los cambios climáticos, los que afectan en gran medida los rasgos de ventanas y puertas, como también las instalaciones sanitarias. Hoy el avance de la industria ha permitido mejorar el sistema de construcción maciza, introduciendo nuevos diseños, aprovechando los aspectos de aislación, facilitando y mejorando los aspectos estructurales y los de montaje de la construcción.



Figura 2.14. Vivienda construida con troncos macizos, de diámetro promedio de 30 a 35 cm.

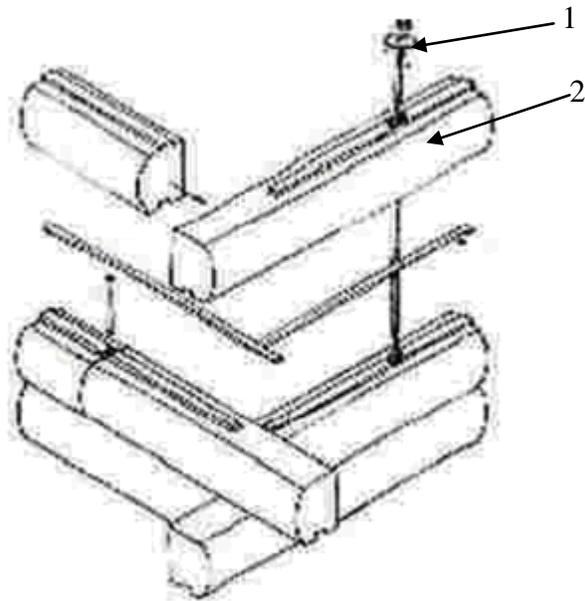


Figura 2.15. Cada tronco se va colocando uno sobre otro, amarrados en su interior con fierros verticales de diámetro de 8 mm (1) y sellando longitudinalmente el encuentro entre estos con espuma de poliuretano (2), como protección a la infiltración de aire y lluvia del exterior y salida de calor del interior.

Estructuras de placas. La necesidad de reducir los plazos en la construcción y de mejorar y garantizar la calidad de terminación del producto, ha conducido a que gran parte de los elementos que conforman la estructura de la vivienda sean fabricados y armados en industrias especializadas o en talleres de las propias empresas constructoras y cuya aplicación se ha ido acentuando en la medida que aumenta la mecanización de los procesos constructivos.

Este sistema básicamente consiste en la fabricación de paneles que están conformados por bastidores de perfil de madera, provistos de revestimiento que le imprimen la rigidez y arriostramiento al conjunto. Ver Figura 2.16.



Figura 2.16. Instalación de una puerta a un tabique autoportante.

Estructuras de entramados. Está conformado con piezas de madera, vigas, columnas o pilares y bastidores, conectados entre sí para formar la estructura principal y general, de la edificación.

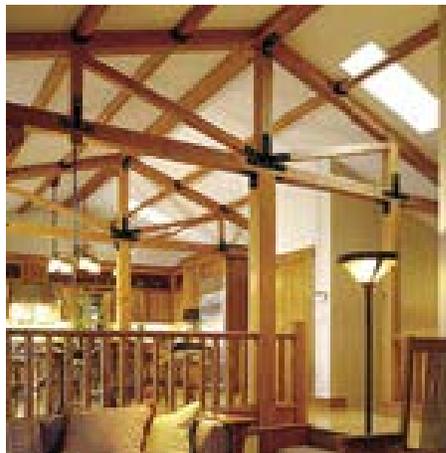


Figura 2.17. Ejemplo de estructura de entramado de madera.

Dependiendo de la distancia entre apoyos o luz, las estructuras se pueden clasificar en menores y mayores. Estructuras menores: el claro no excede los seis metros de luz y resultan ideales para la construcción de viviendas. Constructivamente las vigas se disponen como sigue:

- Vigas sobre columnas: sobre las columnas se disponen las vigas principales y sobre las vigas principales, las viguetas del techo o del piso.
- Viga sobre columna para dos pisos: siguiendo exactamente la misma disposición del primer nivel, sobre la columna va montada la columna del siguiente piso.
- Viga contra columna: la columna es continua y todas las vigas rematan contra ella, modernamente para su ensamble, se utilizan herrajes metálicos.
- Doble viga en entramado: consiste en las columnas y las vigas, no se cortan en las uniones y van paradas en sentido contrario unas sobre otras.
- Doble columna: la viga principal va cazada entre dos columnas y la transmisión de cargas se efectúa por medio de clavos o pernos (ver figura 2.18), versión moderna

Estructuras con luces mayores que los seis metros útiles, para cubrimiento de grandes espacios, gimnasios, galpones, fábricas y piscinas, etc. de este tipo son los planares, que cubren una luz con base en uno o varios elementos –vigas, cerchas, marcos, arcos, que van unidos entre sí.

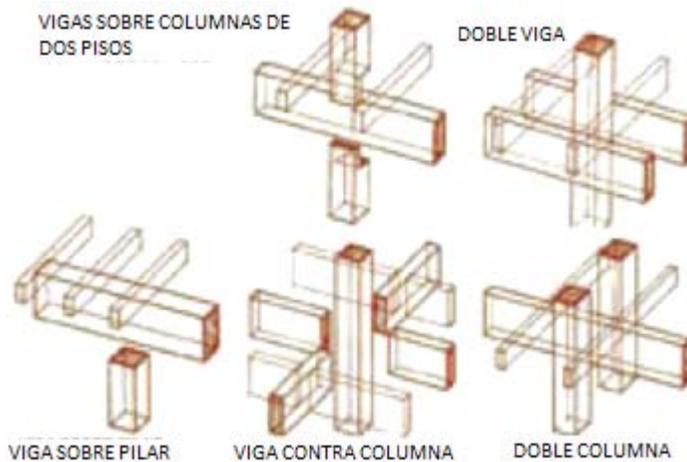


Figura 2.18. Sistemas de entramados en estructuras de madera.

## 2.4 Tipos de materiales y sistemas constructivos utilizados en monumentos históricos.

Los materiales más comunes en las edificaciones históricas son, mampostería de piedra o de ladrillo, adobe, bajareque, madera y hierro o láminas metálicas, clavos, tornillos, herrajes de hierro, etc. otros decorativos y complementarios como bronce, aluminio, cobre, zinc, plata, latón, etc.

### 2.4.1 Descripción de los materiales más utilizados en Monumentos Históricos.

2.4.1.1 Piedra natural. Es el componente más común y antiguo para la mampostería de las construcciones históricas, constituye además, un material estructural monolítico por sí solo, en bloques individuales o por piedras labradas y escuadradas sobrepuestas, por ejemplo, de dos metros de alto y ancho.

2.4.1.2 Rocas Ígneas., es el magma fundido y solidificado posteriormente, son muy duras y muy difíciles de trabajar. Por ejemplo, el basalto, andesita, diorita, granito.

2.4.1.3 Rocas Sedimentarias. Resultan de los procesos de reconsolidación de las rocas, han tenido mayor utilización en las construcciones, por la facilidad de corte y labrado en formas deseadas. Las areniscas y las calizas son las más comunes de este tipo, por estar depositadas en capas sucesivas, son más débiles en la dirección perpendicular a la del lecho del depósito.

2.4.1.4 Rocas metamórficas. Resultan de transformaciones a través de distintos procesos químicos, por temperatura y presión. Por ejemplo, el mármol, es decorativo en los grandes monumentos.

2.4.1.5 El barro crudo. Se comenzó a usar en las construcciones, en la modalidad de tierra apisonada o en bloque de adobe, de diferentes medidas en algunas regiones, como recubrimiento o relleno de entramados de vara de castilla o carrizos en forma semi-fluida o lodo.

2.4.1.6 El bahareque. Su principal debilidad es la degradación por la intemperie y el agrietamiento a causa de exceso de secado al perder la humedad el lodo de relleno. Pocas construcciones antiguas de este tipo sobreviven a la fecha por el paso del tiempo y el abandono intencionado o no.

2.4.1.7 Morteros. Primitivamente se usó el barro, por su pegajosidad<sup>14</sup>, aunque su debilidad es la degradación ante la intemperie. En Mesopotamia se usó el asfalto

---

<sup>14</sup> Son arcillas naturales mineralizadas, de mina, que se localizan como bancos de donde se extraen en cantidades grandes. Las hay en todo el país, Metapán, Ilobasco, Chalatenango, Morazán, Suchitoto, etc.

como estabilizador de barro (3000 a.C) o lodo para las juntas y rellenos. Posteriormente, el mortero de cal, y la arena, permitiendo la elaboración de elementos más resistentes y más durables.

Los morteros de cal y arena, alcanzan resistencias a la compresión entre 5Kg-cm<sup>2</sup> a 20 Kg-cm<sup>2</sup>, y son mucho más durables que los morteros hechos de barro, también son afectados por el intemperismo, debido a su relativa porosidad y la absorción de la humedad (w%).

2.4.1.8 Madera, más empleada desde la antigüedad, por su bajo peso y buena resistencia, es atractiva para uso estructural en techos, pisos, columnas y como rigidizante de paredes para refuerzo de estructuras de mampostería, poste interno como columnas entre la mampostería, refuerzo vertical y horizontal en muros, columnas, vigas, muros transversales. Su inconveniente principal, es la poca durabilidad debido a la humedad, descomposición orgánica, química y biológica, los incendios, intemperismo, y el ataque biológico de las polillas, termitas, hongos, etc.<sup>15</sup>

#### 2.4.2 Sistemas Constructivos.

Los sistemas constructivos más comunes desde la Colonia en la construcción de El Salvador, a la fecha, son de adobe, bahareque, lámina troquelada, mampostería de

---

<sup>15</sup> La madera usada en bruto es siempre más vulnerable. Esto disminuye cuando se usa líquidos curadores baratos como el alquitrán, carbolíneo, aceite quemado, otros con más costos los fabrican los productores químicos en forma de pinturas, como antipolilla, otros. La madera tratada o curada y tratada es mucho más cara pero más durable, modernamente en la industria de construcción de casas en países nórdicos y Europa

ladrillo de arcilla (sistema mixto), este último es más contemporáneo o de comienzos del siglo XX.

2.4.2.1 Sistema Constructivo de Adobe. Fue ampliamente difundido en las zonas urbanas y rurales de El Salvador, ver fig. 2.19. La facilidad para fabricarlo artesanalmente y su aún bajo costo, lo hace una alternativa todavía viable para muchas familias rurales, principalmente en cantones y caseríos. Así, el aislamiento térmico de las paredes lo hace más atractivo en las viviendas, pero no su bajo desempeño estructural cuando soporta movimientos sísmicos. Su baja rigidez y resistencia lo hace muy vulnerable, en grandes claros, de habitaciones o espacios libres, paredes de grandes alturas mayores de 2.5 metro, techos excesivamente pesados, transferencia de carga, usualmente verticales entre los elementos estructurales, tales como paredes-paredes, techo-paredes y paredes-fundaciones. La mayoría de estructuras antiguas no tienen fundaciones y su degradación basal es rápida, principalmente por la acción de la humedad y muy severa durante la época lluviosa en país. Esto en monumentos de valor cultural como la Iglesia Nuestra Señora de Dolores en Izalco, La iglesia de Suchitoto y las varias ciudades, cantones y caseríos del país.

2.4.2.2 Adobe Estabilizado. Al Adobe tradicional se le ha incorporado otros materiales, fibra, principalmente, con el fin de mejorar la consistencia y resistencia ante la presencia de humedad. Modernamente, después de 1960, el material

incorporando al barro simple, como estabilizadores son cemento, cal, arena o cemento y arena. Ver fig. 2.20.



Figura 2.19. Vivienda de adobe.

También más tecnológicamente un adobe totalmente estabilizado debe limitar la proporción de agua que asimila, al 4 % de su peso, requiriendo para ello la incorporación de una emulsión asfáltica de 6 al 12 % de su peso total. Las paredes exteriores construidas con adobe así estabilizado (y su mortero), sin recubrimiento ni acabados y expuesta a intemperie en más lento y menor el impacto al deterioro, y sus contornos aumentan, pero todas paredes con repellos y afinados aumenta su impermeabilizado y garantiza su permanencia en buen estado durante largo tiempo indicado que todo recubrimiento, protege en edificación de todo daño que conlleve a su deterioro. Pero siempre es necesario el mantenimiento y vigilancia del buen estado de la construcción.



Figura 2.20. Elaboración y uso moderno del adobe estabilizado.

2.4.2.3 Sistema Constructivo de Bahareque. Constituido por elementos verticales y horizontales, por ejemplo, de bambú, madera o caña de castilla o carrizo, Su desempeño es de buen funcionamiento cuando se somete a excitaciones sísmicas. Si está dañado y desprotegido contra interperismo y la acción de insectos, la falta de mantenimiento y pesados techos, de madera y teja, son factores que comprometen la resistencia sísmica de este estructural. Ver fig. 2.21, porque el funcionamiento de las piezas se manifiesta más estructuralmente con desplazamientos horizontales y

verticales, así como giros y hundimientos o imperfecciones estructurales locales, que son causa de daño o deterioro del sistema estructurado.



a) Construcción madera con bahareque

b) Construcción antigua con bahareque

Figura 2.21. Sistema Constructivo y estructural simple, con bahareque.

2.4.2.4 Sistema Constructivo de Lámina Troquelada. Está compuesto por entramados o bastidores de madera o metálicos, forrados con lámina metálica decorada o no, y resiste acciones sísmicas. Hay construcciones de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, que aún se conservan en el país. Por ejemplo, el Hospital Rosales (todo metálico), Iglesia Sagrado Corazón de Jesús y la Iglesia de Candelaria, a si como viviendas en el centro de San Salvador en el centro histórico de la ciudad y sus alrededores. Que son de madera y lámina troquelada. Ver fig. 2.22.

2.4.2.5 Sistema Constructivo de Mampostería de Ladrillo (Mixto). Es moderno compuesto de ladrillo de barro cocido, pegado con mortero hecho de arena, cemento, cal y agua como ligante, los bloques van confinado con elementos de concreto, del

mismo ancho que la pared, reforzados con varillas de acero, nervios, cuando son elementos verticales, o soleras, cuando son horizontales.



Figura 2.22. Edificaciones de Lámina Troquelada, Iglesia El Carmen, San Salvador.

Estas paredes pueden dar buen soporte por cargas verticales y horizontales. Modernamente es un sistema constructivo muy generalizado para la construcción de viviendas unifamiliares de uno o dos niveles y presenta buen desempeño ante los movimientos sísmicos moderados. Ver fig. 2.23, porque su sistema estructural funciona en unidad y la clave de esto es que todo va unido, ligado, anclados entre si los elementos constituyentes a través de dobleces de enganches de hierro, así mismo los paños de tabique cocido, van confinados firmemente alineados.



Figura 2.23: Edificación de Mampostería de Ladrillo de barro, Sistema estructural y sistema constructivo mixto.

## 2.5 Resistencia de los materiales utilizados en los diversos Monumentos Históricos.

Las tablas 2.2 y 2.3 contienen las resistencias y propiedades mecánicas de algunos materiales de construcción mayormente utilizados en monumentos o inmuebles históricos.

Tabla 2.3 resistencia mínima a la compresión de algunas rocas (según Norma DIN 1053)

Grupo	Tipo de rocas	Resist. mín. a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
A	Caliza, travertino, tobas volcánicas	200
B	Areniscas blandas y calizas arcillosas	300
C	Calizas compactas, dolomitas, mármol, basalto	500
D	Areniscas cuarzosas (con cemento siliceo)	800
E	Granito, sienita, diorita, pórfido, diabasa, basalto (rocas ígneas en general)	1200

Tabla 2.4 Propiedades mecánicas de algunos tipos de mampostería de edificios históricos.

material	Peso volumétrico t/m <sup>3</sup>	Resistencia a compresión kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia a cortante kg/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidad kg/cm <sup>2</sup>
Adobe	1.8	2-5	0.5	3000
Bloques de tepetate con mortero de cal	1.8	5-10	0.5	5000
Ladrillo con mortero de lodo	1.6	5-10	1.0	5000
Ladrillo con mortero de cal	1.6	15-20	2.0	10000
Mampostería de piedra irregular con mortero de cal	2.0	10-15	0.5	5000
Mampostería de piedra de buena calidad	2.0	30	2.0	20000

Las propiedades indicadas representan valores conservadores entre los encontrados en la literatura.

## 2.6 Tipos de restauraciones estructurales hechas en Monumentos Históricos.

En 1883, fue creado el museo David J. Guzmán, para “resguardar y conservar colecciones arqueológicas, históricas, naturales, artísticas y científicas del país”, al inicio, el interés era por vestigios arqueológicos de la cultura prehispánica, y el deseo de promover la identidad y proteger la herencia cultural. Se creó un departamento de restauración de bienes culturales, encargado de los trabajos de conservación. Por

ejemplo, las ruinas del Tazúmal, en 1973, tenían graves daños. En 1974 se fundó la Administración del Patrimonio Cultural, cuya finalidad es velar por la conservación del patrimonio, ya sea inmueble o mueble, este depende de la Dirección de Sitios y Monumentos Históricos, que se encarga de la preservación de los bienes inmuebles con valor cultural de la nación. En el año 1976, se incorporaron técnicos restauradores y auxiliares, se crearon los departamentos Exploración y Reconocimiento, Investigación y de Restauración y unidades de apoyo, con las funciones de planificar proyectos de restauración, realizar investigaciones histórico-artísticas de los monumentos a restaurar, hacer levantamiento e inventario de bienes culturales y velar por el salvaguardo del tesoro cultural salvadoreño. El 12 de noviembre de 1987, se promulgó la ley transitoria de protección al patrimonio cultural, esta sirvió de base para la creación de la ley actual. A raíz del interés del Gobierno por el rescate y fomento de la identidad nacional, en noviembre de 1991 se creó el Consejo Nacional para la Cultura y el Arte, CONCULTURA, con el fin de contribuir en la consolidación del esfuerzo conjunto de la sociedad civil y el Gobierno para el fortalecimiento de nuestra identidad cultural; caracterizándolos en la investigación, difusión, valorización y desarrollo de la creatividad individual y colectiva, siendo esta una entidad regidora hacia las direcciones de patrimonio. El 22 de abril de 1993 fue aprobada la ley especial de protección al patrimonio cultural de El Salvador, aprobada por el Decreto Legislativo N° 513, en el que dice:

Considerando III “Que el patrimonio cultural salvadoreño, debe ser el objeto de rescate, investigación, estudio, reconocimiento, identificación, conservación,

fomento, promoción, desarrollo, difusión y valoración, por lo que se vuelve indispensable regular su propiedad, posesión, tenencia y circulación, para hacer posible que sobre esos bienes se ejerza el derecho de goce cultural mediante la circulación de su mensaje a los habitantes del país”.

El 28 de marzo de 1996, por Decreto Legislativo N° 409, se aprobó el reglamento de la ley especial de protección al patrimonio cultural de El Salvador en el que establece su finalidad de regular el rescate, investigación, conservación, protección, promoción, fomento, desarrollo, difusión y valoración del patrimonio o tesoro cultural salvadoreño, a la vez se definen conceptos y reconocimiento de bienes culturales y monumentos como sigue:

Art. 10, Bienes inmuebles que constituye la realización de obras de arquitectura o ingeniería, que ofrezcan el testimonio de una civilización, de una fase significativa de su evolución o de un suceso histórico, y que tenga a la vez interés artístico, científico y social”.

Experiencia en restauraciones de monumentos o inmuebles del patrimonio cultural de El Salvador.

La Iglesia de Panchimalco, cuyo sistema estructural es de adobe, está ubicada en una zona sísmica, históricamente impactada por sismos ocurridos en periodos históricos o actuales, dañando su construcción colonial toda de adobe. Su restauración se realizó,

primeramente quitando carga a la estructura del techo, para posteriormente empezar a reemplazar, desde las partes altas de los muros, los bloques de adobe, uno por uno. Con esto, se pretendió reforzar los muros constituyentes de la estructural principal.

En la Iglesia Nuestra señora del Pilar, San Vicente. El sistema estructural de conjunto que fue concebido como de “gravedad” y constructivamente es bloque de materiales mixtos y ligados con proceso de calicanto, este inmueble se intervino<sup>16</sup> casi en su totalidad después de los dos terremotos de enero y febrero de 2001, la restauración fue similar a la de la iglesia de Panchimalco, la variante que a las grietas se inyectó concreto y se repararon fracturas por cortante en los muros longitudinales. También se reconstruyeron sus cúpulas que conforman la estructura de techo, ya que eran estructuras simples, sin refuerzos de acero, los cuales absorben los esfuerzos de tensión, y fue el motivo de falla total en sus cúpulas, lo cual dio motivo para hacer una reconstrucción total.

La ex Casa Presidencial, ubicada en el barrio San Jacinto, San Salvador, el objetivo principal de la restauración fue devolverle su valor histórico. Estructuralmente, sólo de reforzaron las zapatas de algunas columnas, debido a cárcavas ocasionadas por fugas de agua en antiguas tuberías. Se eliminó todo el sistema hidráulico y se diseño uno nuevo para proteger de la humedad las bases del edificio.

---

<sup>16</sup> Intervención: se define como intervención de un inmueble con valor cultural, a todo proceso de restauración, reparación, reconstrucción por el envejecimiento de los monumentos y los trastornos causados por su entorno moderno que pueden originar patologías o evoluciones preocupantes. Puede ocurrir que el carácter simbólico del monumento, o al contrario la obcecación relacionada con la inmutabilidad aparente del sitio inciten a tomar decisiones irracionales: reparaciones e inversiones inútiles, inacción y carencia nefasta de mantenimiento

Otros inmuebles restaurados son, la iglesia de Suchitoto, La iglesia de Jayaque, La iglesia de Nahuilingo, La iglesia de Salcoatitán, El Teatro Nacional de Santa Ana y de San Salvador, La casa Ambrogi, actualmente desaparecida la mayor parte, etc.

**Capítulo III: Bases técnicas de una  
Propuesta Metodológica para  
restauración de sistemas estructurales  
en los monumentos históricos de El  
Salvador, de acuerdo con lineamientos  
del análisis estructural.**

### **3.1 Generalidades.**

Para una propuesta de restauración estructural de un monumento histórico, es necesario un diagnóstico del edificio para tener un conocimiento completo y detallado de su situación actual. Pero, en pocas ocasiones se puede contar con documentación o antecedentes de los monumentos históricos por sus fechas de construcciones, que son remotas y se ha perdido información parcial o total. Por ejemplo, fecha de construcción y planos ó intervenciones (reconstrucciones o reparaciones) hechas. Por ello, siempre es necesario realizar una serie de estudios de campo preliminares, para obtener los datos actuales con la finalidad de evaluar la seguridad estructural, el grado en que se encuentra actualmente el monumento y riesgo que puede representar. La inspección general y detallada es muy importante que se haga preliminarmente, consiste en una revisión visual de todas las partes de la estructura interna y externamente, hasta donde sea posible, en superficie y altura, para lograr la identificación de todos los daños existentes, así como comprender el sistema estructural y cómo ha ido respondiendo en la historia de su existencia, por ejemplo, ante sismos, intemperie, reparaciones, etc.

### **3.2 Evaluación y diagnóstico de la situación actual de un monumento histórico.**

Con la finalidad de evaluar la su seguridad estructural de la construcción, se toma en cuenta la edad y el tiempo total en el que fue construida, para cuando se haya realizado en tiempos generalmente largos, y con frecuentes y prolongadas

interrupciones. Esto conduce a diferencias no sólo de estilos y formas, sino de soluciones estructurales y de materiales. Además, a lo largo de los años o siglos, estos edificios han sido sometidos posiblemente a reparaciones o a modificaciones que puedan haber alterado su buen funcionamiento estructural y su estabilidad. Un levantamiento de daños en la estructura, incluirá lo siguiente:

1. Levantamiento del sistema estructural del edificio, y de sus detalles estructurales.
2. Levantamiento de niveles topográfico, para verificar posibles asentamientos, desplomes de paredes, desplazamientos, giros y demás efectos locales que resultan del funcionamiento estructural o daños ocurridos. Ver anexo 3.1.
3. Levantamientos de daños estructurales, incluye en, materiales constructivos e instalaciones. Esto, en muros o paredes, cubiertas, pisos, entresijos, etc., para determinar las causas de los daños estructurales y del deterioro del inmueble.
4. Levantamiento detallado en planos y fichas de daños al sistema estructural y a cada elemento que lo compone o subsistema, así mismo, alteraciones (espaciales y formales) y deterioros. Estos se representan en los planos y se referencian por medio de una simbología de identificación y descripción.

El diagnóstico toma en cuenta el registro de los daños, sus orígenes o causas que lo han producido, los materiales constructivos utilizados y su deterioro actual, respecto a la estabilidad estructural del inmueble. A través de observaciones directas,

descripciones de las comprobaciones preliminares y datos previos que se asocian en observación, se estimará lo siguiente:

- Condiciones físicas del inmueble en base al registro de daños y hacer un estudio histórico para tener una concepción estructural original y la forma en que ésta fue llevada a la práctica, y cómo fue o ha sido modificada a lo largo de los años, edad cronológica.
- Condiciones actuales de deterioro de los materiales y elementos estructurales que presenta el edificio, gradualmente calificados.
- Estudio analítico del sistema o cada elemento principal, respecto a solicitaciones que actúan sobre la estructura y la capacidad de esta para resistirlas, así mismo cómo históricamente una respuesta dando aplicación del análisis estructural y el comportamiento estructural.
- Seguridad actual del edificio identificando la estabilidad del sistema estructural y la de cada elemento componente.
- Caracterización estructural del edificio.

### 3.2.1 Inspección y levantamiento.

La inspección y levantamiento de condiciones que tiene actualmente el monumento se realiza para determinar el estado actual del sistema estructural que lo está constituyendo, sus componentes a nivel macro y micro, la estabilidad real que tiene la

estructura actual, sus daños estructurales y su desempeño a partir de mediciones de desplazamientos, giros, distorsiones, retorcimientos, hundimientos y otros aspectos que lleven a determinar su grado de estabilidad. Se hace una representación gráfica y numérica de la estructura, principalmente en lo que se refiere a las dimensiones de los elementos estructurales y de la interrelación que tienen entre sí y con el resto de la construcción. La inspección permite detectar irregularidades geométricas y constructivas, así como daños o signos de mal estado de respuesta por funcionamiento del sistema estructural y de cada elemento componente.

El levantamiento de la estructura se realiza con mediciones directas con instrumentos topográficos, muy precisos preferentemente, por ejemplo, hay instrumentos con rayos láser que permiten mediciones a distancia, con alta precisión, apoyos fotográficos y videográficos para atestiguar las mediciones<sup>17</sup>.

El estudio geométrico de la estructura y de cada elemento, es la obtención de su configuración y el grado de desconformación que tiene por giros, desplazamientos, hundimiento y sollevamientos de las superficies.

Agrietamientos, los que presente la estructura como un recurso para diagnosticar los tipos de daños y sus causas, así como los efectos por la transmisión de cargas en la estructura y sus consecuencias anteriores, lo cual dará pistas claras de la inestabilidad estructural, vulnerabilidad, deterioro y riesgos actuales y posteriores.

- Los desplomes de columnas y muros, desplazamientos y giros y daños locales.

---

<sup>17</sup> Las imágenes fotográficas permiten determinar algunas veces las dimensiones de elementos poco accesibles. Así mismo, el video sonda, con la cual se puede penetrar al interior de la construcción y de los propios elementos estructurales, y así conocer sus características.

- Dislocaciones de los elementos estructurales y desprendimiento, falta de algunos elementos u otros que ya no estén conectados.
- La evolución de estos desperfectos y actualizarlos después de eventos que pueden haber dañado la estructura, por ejemplo con los terremotos.
- Elementos estructurales ocultos presentan dificultades y limitaciones para su identificación de daños, remoción de acabados o en la realización de calas.
- Elementos de cimentación, que requiere excavación de pozos y trincheras; la video sonda resulta particularmente útil en oquedades existentes, drenajes antiguos, socavaciones, para conocer el tipo, deterioro y daños de los elementos de cimentación.
- De todo lo citado se elabora un registro fotográfico de ese monumento, dentro del levantamiento de datos.

Determinación de las características mecánica y estados de daños existentes.

Para ello, se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Calidad de los materiales de la estructura, y su estado de daños o deterioro acumulado en los años de existencia. Usualmente, esto se hace cualitativamente por inspección visual o por percusión sobre los elementos.
- Análisis de muestras en laboratorio<sup>18, 19</sup>.

---

<sup>18</sup> La técnica más confiable es la extracción de probetas de los elementos estructurales en estudio o de otros que se consideren similares, pero que tienen una función menos esencial en la estructura o que son menos visibles. Las pruebas que se realizan en el laboratorio son esencialmente de carga de compresión, para determinar la curva esfuerzo-deformación, y, de ella, el esfuerzo resistente, y el módulo de elasticidad. Cuando el elemento es de mampostería irregular, las propiedades determinadas en probetas son poco representativas de las del conjunto. Los núcleos sirven sólo para identificar los

- Estimaciones razonables acerca de la calidad de elementos de piedra, mampostería y madera, recurriendo a operaciones tan simples como golpear con un pequeño martillo, o raspar con un clavo o una llave.

Técnicas para detección de daños y diagnóstico.

Especímenes representativos, su extracción rara vez es factible en elementos estructurales principales o secundarios, en construcciones o monumentos históricos. Pero en laboratorio, se podrá producir especímenes elaborados con las técnicas originales y con materiales que reproduzcan lo más fielmente los del prototipo.

Pruebas directas, son útiles para determinar propiedades físicas y mecánicas.

Pruebas indirectas son menos precisas, pero con la ventaja que no son destructivas, estas pruebas sirven para identificar zonas defectuosas donde tales propiedades son menores que las esperadas, según las especificaciones del material y proceso constructivo, por defectos constructivos o por deterioro por alguna causa externa. Por ejemplo, con el esclerómetro o martillo de rebote en elementos de concreto reforzado. Esta prueba consiste en proyectar una punta semiesférica contra la superficie del elemento, al soltar un resorte que empuja un émbolo que termina en la punta. Se mide la distancia a la que la masa es rebotada, y que es proporcional a la rigidez del

---

materiales componentes, morteros y piedras. En este caso, la mejor opción para estimar las propiedades mecánicas del conjunto, es cortar un espécimen de tamaño tal, que permita representar la estructura del conjunto y ensayarlo en laboratorio.

<sup>19</sup> La extracción de núcleos, mediante una máquina perforadora con punta de tungsteno o diamante. Pueden extraerse núcleos ( $\phi = 7.5$  cm.,  $h = 15$  cm.) ó que atraviesen el grueso total del elemento, para determinar su composición interna y las posibles diferencias de la parte central con respecto a la exterior. Del núcleo total se pueden cortar probetas para ensayarlas en laboratorio

material sobre el que impacta; esta distancia también se correlaciona indirectamente con la resistencia del material. Mediante curvas de calibración se estima la resistencia del material; las ventajas son su sencillez y bajo costo, por lo que puede utilizarse a gran escala y repetirse varias, 6 a 12 mediciones, en cada puntos cercanos para verificar resultados. Sin embargo, la técnica es de confiabilidad muy baja, sólo refleja las características de una capa muy superficial del material y es muy sensible a la forma en que se hace el disparo y a la presencia de irregularidades locales en el punto de contacto. Puede usarse para una revisión primaria, y detectar algunas zonas particularmente débiles que deben ser estudiadas después con otro método más confiable.

Velocidad de ondas de ultrasonido emitidas por un transductor electrodinámico y recibidas por un sensor colocado a cierta distancia. La velocidad de transmisión de las ondas sónicas es proporcional al módulo de elasticidad del material. El empleo más útil de esta técnica es para detectar defectos o cavidades internas. El emisor y el receptor se pueden colocar en distintas posiciones, dependiendo de la forma del elemento y de la zona que se quiere estudiar. Resulta un método económico para una revisión generalizada de la estructura mediante la medición de puntos; el método permite, además, estudiar materiales de gran espesor. Si se mapean los resultados, se puede obtener una especie de tomografía sónica, en la que se detecten zonas de anomalías.

Magnetometría, se recorre la superficie con una pequeña sonda que mide el campo magnético y que detecta la presencia de elementos metálicos en el interior de una estructura de mampostería o de cuerpos extraños.

La termografía, se basa en la medición de la diferencia de emisión y conducción térmica que tienen diversos materiales. Las radiaciones térmicas, detectadas por instrumentos sensibles a la radiación infrarroja, son transformadas por el instrumento en señales eléctricas, y finalmente convertidas en imagen con diferentes coloraciones. Las imágenes reproducidas en monitores o impresas, permiten identificar la presencia de cavidades o de objetos extraños en el elemento. La resolución de la imagen suele ser pobre debido a la baja conductividad térmica de la mampostería.

Sensores remotos, el radar de penetración, basado en medir la velocidad de ondas electromagnéticas ( $\lambda$ ) a través del monumento o edificio histórico elemento. Se presta para obtener visiones completas de los elementos, e interpretaciones automáticas de los resultados con ayudas de procesadores digitales de las imágenes obtenidas.

El gato plano, es una técnica ligeramente destructiva, para determinar, las propiedades mecánicas del material, y el estado de esfuerzos en ciertas porciones del elemento. Este fue desarrollado para el estudio de las rocas, especialmente en problemas de túneles; recientemente se ha adaptado a la mampostería de edificios históricos. Consiste en practicar un pequeño corte plano en la superficie del elemento y en medir la pérdida de esfuerzos que se produce en la zona analizada; el corte produce una redistribución de esfuerzos y un cierre parcial de la ranura. En su modalidad más usual, se emplea para estimar los esfuerzos de compresión al que está

sometido un elemento. Para ello, se ubican dos o tres pares de puntos a ambos lados de la línea sobre la que se va a efectuar el corte; se miden las distancias iniciales entre puntos homólogos, se realiza el corte y se miden nuevamente las distancias, ahora disminuidas por el cierre parcial de la ranura. Se inserta un gato plano del tamaño de la ranura que se ha cortado; se aplica presión al gato midiendo como va creciendo la distancia entre pares de puntos. Cuando se recupere la distancia medida inicialmente, se habrá restablecido una condición de esfuerzos en el muro cercana a la original. La presión que se tuvo que producir en el gato para recuperar la distancia, será igual al esfuerzo de compresión que actúa sobre el muro. Esta prueba ha sido empleada con éxito en un buen número de monumentos y ha probado ser capaz de proporcionar estimaciones confiables del nivel de los esfuerzos en compresión. Una variante de esta técnica se emplea en la determinación de la curva esfuerzo-deformación del material; se realizan dos cortes que limitan un espécimen de mampostería de tamaño suficiente para representar la distribución de los materiales componentes; se inserta un gato plano en cada ranura y se aplica una presión igual y creciente en los dos gatos, a la vez que se mide el acortamiento de la zona bajo esfuerzo, mediante dispositivos semejantes a los del caso anterior. Se puede llevar la prueba hasta esfuerzos correspondientes a la aparición de algún agrietamiento o aplastamiento. La curva esfuerzo-deformación, así obtenida permite definir el módulo de elasticidad y tener una indicación de la resistencia.

### **3.3 Daños existentes en edificaciones y monumentos históricos.**

Comúnmente, los daños son cada una de las manifestaciones de un problema constructivo o de funcionamiento estructural, así mismo respecto a la seguridad. La tipología de los daños es el punto de partida de todo estudio o evaluación de daños, del tratamiento para restaurar, así mismo, la diversidad de materiales y unidades constructivas que se suelen utilizar. Los daños en función del carácter y tipología son: daños físicos, mecánicos y químicos.

#### **3.3.1 Daños Físicos.**

Manifiestos en la identificación por factores como lluvias, heladas, condensaciones, aflojamiento por funcionamiento o aplastamiento, intemperismo, etc.

Humedad: presencia de agua en cantidades mayores que las normales en los materiales o elementos, esto puede llegar a producir variaciones de las características físicas, geométricas y de resistencia de los materiales. Los contenidos de humedad más dañinos son los siguientes:

- De obra: es generada durante el proceso constructivo, el secado no es suficiente o está impedida la evaporación normal, el agua residual es retenida en los materiales.
- Humedad capilar, se presenta en las zonas bajas de las construcciones, en muros o cimentaciones y están en íntimo contacto con el terreno. La humedad capilar se debe a que los materiales de la construcción absorben el agua del terreno.

- Humedad de filtración, es la procedente del exterior y que penetra en el interior del edificio a través de fachadas y cubiertas.
- Humedad de condensación, es la producida por la condensación del vapor de agua desde los ambientes con mayor presión que la del vapor, como los interiores, hacia los de presión más baja, como los exteriores.
- Humedad accidental, es la producida por las roturas de conducciones o cañerías y suele provocar focos muy puntuales de humedad.

Erosión: es la pérdida o transformación de un material, y puede ser total o parcial.

- Erosión atmosférica, es la producida por la acción física de los agentes atmosféricos. Por ejemplo, la meteorización de materiales pétreos provocada por la absorción de agua de lluvia que, si va acompañada por posteriores heladas y su consecuente dilatación, rompe láminas superficiales del material constructivo.

Suciedad: es el depósito de partículas en suspensión sobre la superficie de las fachadas. En algunos casos puede incluso llegar a penetrar en los poros superficiales de fachadas. Hay dos tipos diferentes de suciedad<sup>20</sup>

- Ensuciamiento por depósito, es el producido por la simple acción de la gravedad sobre las partículas en suspensión en la atmósfera que se depositan

---

<sup>20</sup> En el ambiente se produce y permanece una cantidad de partículas de polvo cósmico combinado con el resultado de la quema de los hidrocarburos que usa la industria, la población automovilística, etc. todo esto se deposita en formas de capas de hollín, dando lugar al deterioro de los recubrimientos y piezas de la estructura.

en la superficie adhiriéndose y penetrando a través de poros, grietas, fisuras, etc.

- Ensuciamiento por lavado diferencial, es el producto por partículas ensuciantes que penetran en el poro superficial del material por la acción del agua lluvia y que tiene como consecuencia más característica churretones (o parches negros o sombreados oscuros) que se ven en las fachadas urbanas.

### 3.3.2 Daños Mecánicos.

Son consecuencia del funcionamiento de los elementos estructurales y del conjunto que forma el sistema estructural, de acciones físicas en la transmisión de fuerzas y creación de estados de esfuerzos donde predominan los movimientos, desgaste, aberturas o aplastamiento, separaciones de materiales o elementos constructivos, hasta pérdida de algunos elementos.

Deformaciones, son cualquier variación en la forma geométrica de las piezas hechas de distintos materiales. Estos son, desplazamientos horizontales y verticales y giros, ocurridos en los elementos estructurales y los no estructurales y que son consecuencia de haber sobrepasado los esfuerzos debidos a las cargas estáticas y dinámicas que soportan. Entre estos daños primero están los cuatro subgrupos que se describen, que a su vez pueden originar daños secundarios como fisuras, grietas y desprendimientos:

- Flechas, son desplazamientos horizontales o verticales al curvarse una pieza recta del sistema estructural, son la consecuencia directa de la flexión o flexos compresión de elementos horizontales y verticales debidos a la carga normal o exceso de cargas verticales u horizontales transmitidas en uniones apoyos.
- Pandeos, se producen por la compresión que sobrepasa la capacidad resistente del elemento recto horizontal o vertical.
- Desplomes, son la consecuencia, común, de empujes horizontales sobre la cabeza de elementos verticales al separar estos de su propia verticalidad, en paredes, pilares, columnas y todos los elementos estructurales que deben permanecer siempre perfectamente verticales para mantener estable la estructura principal.
- Alabeos: son la consecuencia de la rotación, de los elementos debido, generalmente, a esfuerzos horizontales y verticales por recogimiento en una sola parte del elemento o zona de debilidad.

Grietas, son aberturas longitudinales, por ejemplo, mayores que 2 mm, que afectan a todo el espesor o cuerpo de un elemento constructivo, estructural o no estructural. Algunas veces sólo afectan a la superficie o acabado superficial de un elemento constructivo. No se considera como grietas las fisuras con espesor inferior a 2 mm. Según el esfuerzo, flexión, tracción o compresión, torsión, hay los siguientes tipos de grietas:

- Por exceso de carga: son grietas que se forman en los elementos estructurales cuando son sometidos a cargas que superan las de diseño. Siendo este el primer efecto manifiesto del mal proceder de los usuarios o de la debilidad del elemento o la estructura respecto a la estabilidad o seguridad. Este tipo de grietas requieren, generalmente, un refuerzo para mantener la seguridad de la unidad constructiva.
- Por dilataciones y contracciones higrotérmicas: afectan sobre todo a elementos de cerramiento de fachadas o cubiertas, elementos de acabos que recubren elementos estructurales, pero también pueden afectar a las estructuras cuando no se prevén las juntas de dilatación.

Fisuras, son aberturas longitudinales, con anchuras menores que 2 mm, afectan a la superficie o al acabado de un elemento constructivo. Su sintomatología es similar con la de las grietas, su origen y su evolución son distintos, y en algunos casos se consideran una etapa previa a la aparición de las grietas. El concreto reforzado, por su armadura tiene capacidad de retener los movimientos deformantes y lograr que primero ocurran las fisuras, lo que en el caso de un bloque simple acabaría siendo una grieta o rotura espontánea. Hay dos grupos de fisuras como sigue:

- Reflejo del soporte, es la fisura que se produce sobre el soporte cuando se da una discontinuidad constructiva, por una junta, por falta adherencia o por deformación, cuando el soporte se somete a un movimiento que no puede resistir.

- Inherente al acabado, en este caso, la fisura se produce por movimientos de dilatación-contracción, por temperatura, en el caso de los enchapados, y por retracción, en el caso de los morteros.

Desprendimiento, es la separación entre un material de acabado y el soporte al que está aplicado por falta de adhesión entre dos superficies, y suele producirse como consecuencia de otros daños previos, falta de humedades, deformaciones o grietas, mala adhesión por dosificación pobre de ligante. Los desprendimientos afectan a los acabados continuos en revestimientos como cemento, cal, yeso y a los acabados por elementos, como por ejemplo enchapados, los cuales representan un peligro para la seguridad de los peatones.

Erosiones mecánicas, son las pérdidas de material superficial debidas a esfuerzos mecánicos, como golpes o rozaduras, cambios térmicos, ataque químico, etc. Por ejemplo, en los pavimentos, también las partes bajas y altas de fachadas y tabiques, cornisas, debido a las partículas que transporta el viento.

Daños Químicos. Se producen a partir de un proceso patológico de carácter químico, su origen suele ser la presencia de sales, ácidos o álcalis que reaccionan provocando descomposiciones que afectan a la integridad del material y reducen su durabilidad.

Hay los siguientes grupos:

Eflorescencia, es un proceso patológico de los morteros principalmente, manifiesto en superficies repelladas o en acabados a base de cemento y pinturas, otros que contiene

sales minerales, por la aparición de humedad. Los materiales contienen sales solubles y éstas son arrastradas por el agua hacia el exterior durante su evaporación y cristalizan en la superficie del material.

Oxidaciones y corrosiones, son un conjunto de transformaciones moleculares que tiene como consecuencia la pérdida del material en la superficie de metales como el hierro y el acero. Sus procesos patológicos son químicamente diferentes, pero se consideran un solo grupo porque son prácticamente simultáneos y tienen una sintomatología muy similar.

- Oxidación, es la transformación de los metales en óxido al entrar en contacto con el oxígeno. La superficie del metal puro o en aleación tiende a transformarse en óxido químicamente más estable, y de este modo protege al resto del metal de la acción del oxígeno.
- Corrosión, es la pérdida progresiva de partículas de la superficie del metal. Este proceso se debe a la acción de una pila electroquímica en la cual el metal actuará como ánodo o polo negativo y perderá electrones a favor del cátodo o polo positivo.

Agentes biológicos, micro fauna y flora: tanto los organismos animales como vegetales pueden llegar a afectar la superficie de los materiales. Su proceso patológico es fundamentalmente químico, puesto que se segregan sustancias que alteran la estructura química de los materiales donde se alojan, pero también afectan

al material en su estructura física. Entre los organismos se pueden diferenciar dos grupos, animales y vegetales:

- Animales, suelen afectar, en muchas ocasiones deteriorar los materiales constructivos, sobre todo, los insectos que a menudo se alojan en el interior del material y se alimentan de éste, pero también las aves o pequeños mamíferos que causan principalmente daños erosivos.
- Plantas, entre las que pueden afectar los materiales constructivos de los elementos que portan carga, causando daños debido a su peso o a la acción de las raíces, pero también las plantas microscópicas, que causan daños mediante ataques químicos, éstas se dividen en:
  - Mohos, que se encuentran, casi siempre, en los materiales porosos, donde desprenden sustancias químicas que producen cambios de color, olor, de aspecto y a veces incluso erosiones; y en hongos, algas, líquenes y helechos que atacan normalmente a la madera y pueden llegar incluso a acabar destruyéndola por completo.

3.3.3 Daños estructurales en las edificaciones y monumentos históricos y daños asociados a estos.

Al hacer un diagnóstico para evaluar estructuralmente, y en general, un monumento o inmueble histórico, de adobe, madera y lámina, mampostería no confinada y no reforzada., se tiene que tener en cuenta los tipos de daños que puede presentar el

monumento. Estos dependen directamente de los esfuerzos a los que estén sometidos y de su capacidad para resistirlos. Por lo que es importante comprender los efectos de los elementos estructurales que están soportando, dependiendo de las condiciones de apoyo y la forma en que las cargas actúan y transmiten las fuerzas a través de cada elemento estructural y no estructural. Los daños estructurales en elementos más comunes observados para cada subsistema estructural son los siguientes:

#### Columnas.

- Grietas inclinadas: las fuerzas de torsión, giros, conducen a la tensión diagonal, por lo general a 45 grados, esto ocasiona grietas inclinadas.
- Grietas en espiral a 45 grados: el efecto de torsión produce tensión diagonal, las grietas se presentan en este elemento a lo largo de líneas en espiral a 45 grados, los esfuerzos diagonales resultantes de la torsión ocurren en todas las caras del miembro.
- Grietas horizontales: el efecto de flexo-compresión ocasiona que las barras longitudinales se pandeen, apareciendo grietas horizontales en la zona de tensión, su falla se caracterizan por aplastamiento.

#### Vigas.

- Grietas en extremos de viga: el efecto de cortante ocasiona grietas en los extremos de la viga, ya que allí, en donde las fuerzas cortantes son mayores,

las grietas son diagonales, y pueden llegar a la rotura efectuar rompimiento del elemento y a veces produce aplastamiento por debilitamiento en la zona de compresión.

- Grietas verticales: el efecto de flexión ocasiona grietas verticales en la zona de tensión, rotura y aplastamiento. Este efecto se produce donde el momento es máximo.
- Grietas diagonales: el efecto de torsión no siempre se espera en las vigas, pero al darse, se presenta por grietas diagonales que se pueden confundir con las grietas de cortante.

Unión viga – columna.

- Grietas diagonales: las grietas debido a al efecto cortante son diagonales. Los ensayos han demostrado que las grietas críticas de tensión diagonal corren entre las esquinas diagonalmente opuestas al núcleo de la junta.
- Grietas y fisuras por adherencia: el efecto de flexión provoca fallas por adherencia del refuerzo de la viga, formación de grietas en la viga cercana al rostro de la columna y por lo tanto todas las fuerzas en la viga se transfieren al núcleo del nudo.

Muros de mampostería.

- Grietas horizontales: el elemento estructural presenta falla por flexión cuando las fuerzas sísmicas actúan en la dirección transversal a su plano. Las grietas

de tensión se localizan en el centro, extremos y esquinas, entre más largo sea el muro más importante es el daño. La flexión ocurre en los muros altos que se comportan como vigas en voladizo, también ocurre en los muros aislados donde actúan fuerzas laterales en la dirección normal a su plano, cuando este fenómeno ocurre se presentan grietas horizontales en la parte inferior del elemento.

- Grietas diagonales: el efecto de cortante genera grietas diagonales, pueden ser por causa de la compresión o tensión diagonal, estas fallas pueden presentarse diagonalmente a través de las piezas las cuales siguen la trayectoria de la sisa. Si existen aberturas se inician las grietas en las esquinas y algunas veces en el centro de los segmentos de muros, la flexión y cortante actúan juntos y a menudo se presentan combinados debido a que los sismos se presentan en ambas direcciones de un edificio. En ocasiones los muros de mampostería están confinados por elementos estructurales (columna), lo que puede producir falla por aplastamiento en las esquinas.

### **3.4 Elementos para propuesta de una metodología para restaurar los sistemas estructurales de edificios y monumentos históricos en base a lineamientos del análisis estructural.**

Es necesario, que en cualquier proyecto de restauración de estructuras del patrimonio cultural e histórico haya participación multidisciplinaria, de organización para los

estudios y análisis realizar, en similitud con los utilizados en medicina, a través de diagnóstico, tratamientos al sistema estructural del monumento y sistemas de vigilancia, correspondientes a la condición de estudio, la identificación de las causas de daños y descomposición de sistemas y subsistemas estructurales de los monumentos, la elección de tratamientos correctivos y de control eficiente, una vez se hayan realizado estos.

El diagnóstico, se hacen dos tipos de investigación, investigación documental y literaria, e investigación de campo.

La investigación documental y literaria, correspondiente a la identificación de la estructura, los antecedentes arquitectónicos y constructivos del monumento, su año de construcción, el sistema estructural bajo el cual fue diseñado, el sistema constructivo que se utilizó para su elaboración, los tipos de materiales que se utilizaron, la finalidad del monumento cuando fue edificado, su función a lo largo del tiempo hasta el presente y los tipos de restauraciones a las que ha sido sometido el monumento histórico para poder determinar las condiciones que actualmente tiene el sistema estructural del monumento y como ha funcionado y respondido ante solicitudes de cargas y sometimiento a los factores ambientales.

La investigación de campo o indagación de campo, recopila la información del estado actual del monumento, llevando acabo inspecciones y evaluaciones preliminares. Primero se lleva acabo una inspección visual general del monumento para ver su estado actual, el sistema estructural de la edificación, así como también de sus

subsistemas estructurales. Se realizan después, varias visitas para recolectar información métrica y descriptiva detallada para un diagnóstico preliminar del estado del sistema estructural del monumento, evaluando el estado actual y la estabilidad de la edificación. En tal caso, se usan herramientas básicas, como nivel de caja, nivel de pita, plomada de albañil, cordel, cinta métrica, escuadra, falsa escuadra, clavos y martillo, cartabón, etc. Se puede realizar el diagnóstico preliminar evaluando niveles de pisos, alineamientos de columnas y paredes, escuadras de columnas y pilas, plomadas de columnas y paredes. Evaluando estas características físicas de las estructuras, se puede determinar el grado actual de estabilidad, que tiene todo el sistema estructural del monumento, para proceder a evaluar la estabilidad del sistema estructural, centro de gravedad centro de rigidez, centro de giro, cortantes basales de cada elementos principales, etc.

Subsistemas estructurales, son componentes del sistema estructural, se recolecta su ubicación, el material del cual está elaborado, el sistema constructivo con el que fue hecho. Se clasifican el tipo y grado de cada daño, su causa y descripción. El anexo 3.1 es un formato ejemplo, para la evaluación de subsistemas estructurales.

Los tratamientos que se den, a cualquier sistema estructural, se harán en función de los tipos de daños de los elementos que lo componen, y a partir de estos se harán tratamientos correctivos, reconstructivos, sustitutivos, de rigidización o de estabilización, según sea el caso.

Sistemas de vigilancia, o sistemas de monitoreo en monumentos históricos ya restaurados, para garantizar la estabilidad y desempeño estructural de la edificación, haciendo visitas periódicas de limpieza de la infraestructura del edificio o monumento histórico, para evitar el degrado de los materiales por descomposición a causa de agentes químicos y biológicos, y visitas para evaluar los elementos estructurales, sistemas y subsistemas del edificio o monumento histórico después de sismos.

Sistemas de mantenimiento, para garantizar el buen funcionamiento de los materiales que conforman los sistemas y subsistemas de los edificios o monumentos históricos, principalmente en sistemas de madera y lámina, y estructuras de acero, que están más expuestos a los desgastes por el intemperismo y agentes biológicos.

Carpeta técnica, para mantener un control del edificio o monumento histórico, desde el análisis de los antecedentes, la investigación documental y literaria, la investigación de campo y todos los análisis y diagnósticos de los sistemas y subsistemas estructurales para llevar un control de todos los estudios que se han realizado del edificio o monumento histórico, para poder utilizarlas en un futuro, al llevar acabo otro estudio estructural, rehabilitación, restauración, reconstrucción o cualquier acción para el buen estado de los sistemas estructurales, constructivos y de buen funcionamiento así como el de su propia seguridad y el de los ocupantes cuando se encuentre en condiciones de servicios al público.

Tabla 3.1 Formato para el diagnóstico y evaluación de sistemas y subsistemas estructurales.

<b>CUADRO DE IDENTIFICACION DE DAÑOS</b>				
<b>ELEMENTO</b>			<b>GRADO DE DAÑO</b>	
<b>UBICACIÓN</b>			Levemente Dañado	
<b>MATERIAL</b>				
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>				LD
			Moderadamente Dañado	MD
			Severamente Dañado	SD
<b>TIPO DE DAÑO</b>	<b>GRADO DE DAÑO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	

**Capítulo IV: Caso de aplicación.**  
**Restauración estructural de la iglesia**  
**San Esteban.**

#### **4.1 Descripción y Diagnóstico para la restauración estructural de la iglesia San Esteban.**

Descripción de la Iglesia San Esteban. Su ubicación está incluida en lo que hoy constituye el centro Histórico de San Salvador, en la 6ª calle oriente del barrio San Esteban, a 540 metros del costado oriente de la Plaza Libertad. La rodean al norte los barrios Zurita (antes cantón Zurita), al oriente el barrio Lourdes, al sur el Bulevar Venezuela, paralelo al río Acelhuate y la colonia El Paraíso y al poniente el Barrio San Esteban. Ver Figura 4.1, Fachada poniente o frente de la entrada principal.



Fig. 4.1 Fachada poniente actual de la Iglesia San Esteban.

#### 4.1.1 Antecedentes Históricos de la Iglesia San Esteban.

La actual iglesia San Esteban, al final del siglo XVII, fue un oratorio privado del barrio San Esteban<sup>21</sup>, la fecha exacta de construcción de esta iglesia se desconoce, pero se ha estimado que es del principio del siglo XVIII. Su apareamiento físico inventariado se encuentra hasta el año 1807, en un antiguo plano del centro de San Salvador, extraído de “historia de la erección de las diócesis de San Salvador<sup>22</sup>”. El 19 de marzo de 1873, un fuerte terremoto destruyó totalmente las viviendas y edificios de la ciudad, entre éstos se encontró la primera iglesia San Esteban. En la memoria urbanística de la Alcaldía de San Salvador, se encuentra que en el año 1911, el predio de la Iglesia San Esteban apareció en el Barrio San Esteban, en un listado de medida de predios urbanos, como una propiedad de Doña Dolores E. Calderón, con una extensión de 132.35 m<sup>2</sup>. Cronológicamente, los antecedentes de la iglesia San Esteban, son los siguientes, ver Tabla 4.1.

#### 4.1.2 Sistema Estructural y Sistema Constructivo de la Iglesia San Esteban.

4.1.2.1 Sistema estructural de la Iglesia San Esteban. Constituido por un sistema de armazón de entramados, con elementos prismáticos, rectos, largos, cortos y relativamente cortos, todos de sección rectangular sólida, las uniones de estos elementos son variadas, acople y espiga, endientados, acoples, espiga y caja, espiga y

---

<sup>21</sup> Información proporcionada por el Sacerdote Jesús Delgado, Doctor en teología bíblica e historiador salvadoreño.

<sup>22</sup> “Conmemorando los cincuenta años de la regerencia de la parroquia de El Calvario por parte de la comunidad Somasca” (1924-1974). P. Agustín M. Griseri, San Salvador, Julio de 1974.

media caja, uniones clavadas a tope, chaflanadas, empernadas y un sistema de ensamble para un desempeño en conjunto o unidad estructural. En una intervención restaurativa del sistema estructural de la iglesia, se hará de acuerdo con los subsistemas principales que constituyen el sistema estructural del inmueble o edificación, como sigue:

Tabla 4.1 Cronología de antecedentes históricos de la Iglesia San Esteban

TIEMPO	ANTECEDENTES
Finales del siglo XVII	Era un oratorio privado.
Siglo XVIII	Se estima la construcción de la iglesia.
1807	Año en que aparece ubicada la iglesia en un plano de San Salvador.
1873	19 de Marzo, La iglesia fue destruida por un terremoto en su totalidad.
1878	Se reedificó la iglesia.
1893	Se presume que un nuevo terremoto destruyó nuevamente la iglesia.
1911-1916	En este periodo se reconstruyó la iglesia con la colaboración de la Sra. Sara Duke Vda. De Mejía. Sistema constructivo de Madera y lámina.
1917	Terremoto en este año dejó en ruinas gran parte de la ciudad y la iglesia es una de las pocas estructuras que lo resistió, si tener daños graves.
1925	Se conoce que hubo reparaciones de la iglesia, verificado por recibos de materiales y de mano de obra pagados que se encuentran en el arzobispado de San Salvador.

Fuente: Información del Archivo Nacional de Monumentos, Ficha de Inventario de inmuebles con valor cultural, abril 1997.

4.1.2.1.1 Fundaciones. La iglesia San Esteban, tiene dos tipos de fundaciones, una su forma de pila y otra en forma de murete. La fundación tipo pila tiene los detalles estructurales, indicados en la figura 4.2.

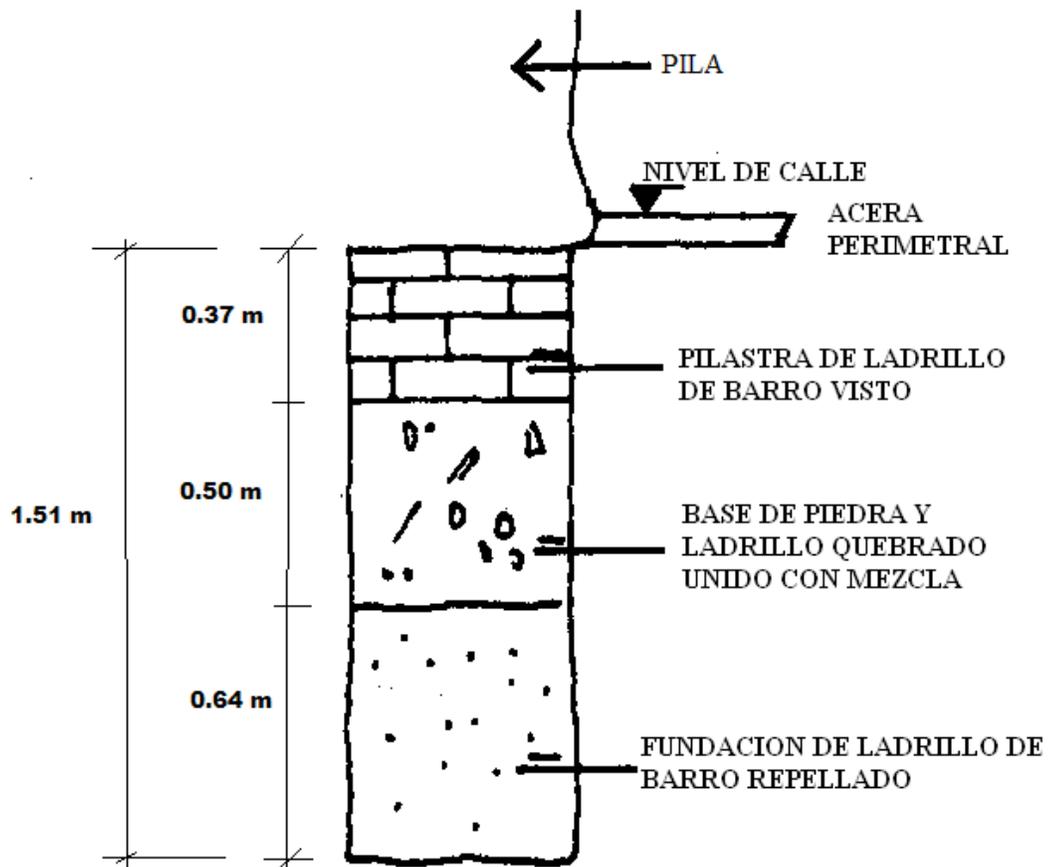


Figura 4.2. Esquema de la fundación en la fachada, en forma de pila.

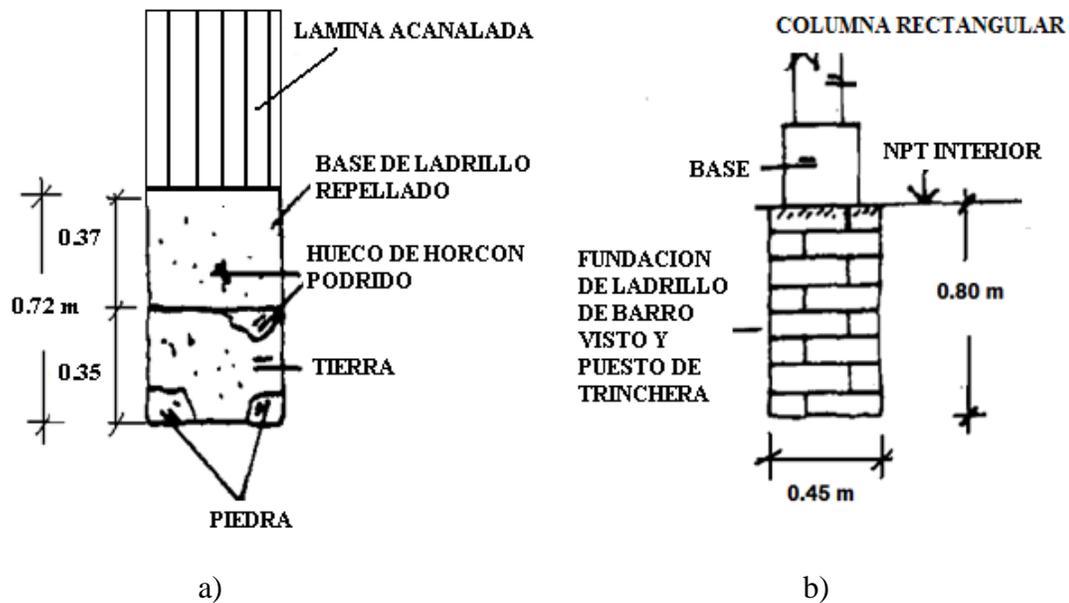


Figura 4.3 a) fundación de los laterales de la iglesia en forma de murete que la rodea, espesor 25 cm. Esquema b) fundación de las columnas interiores de la iglesia.

4.1.2.1.2 Paredes. Estructuralmente, las paredes están formadas de acuerdo como se tipificado el sistema estructural, por entramados de madera que lo componen, formando en cada lado un solo paño en forma de un gran cartel. Esta estructuración esta hecha con horcones de 25cm de diámetro de sección circular y altura de 4.00 metros, separados entre 2.50 m y 3.00 m de distanciamiento entre si, están a lo largo de cada fachada lateral, también, un refuerzo longitudinal en forma de viga o durmiente, sección rectangular 13cm x 10 cm, refuerzos diagonales de 6cm x 6cm y entramados de riostras de madera, para sostener el forro de la lámina troquelada. Ver Figura 4.4

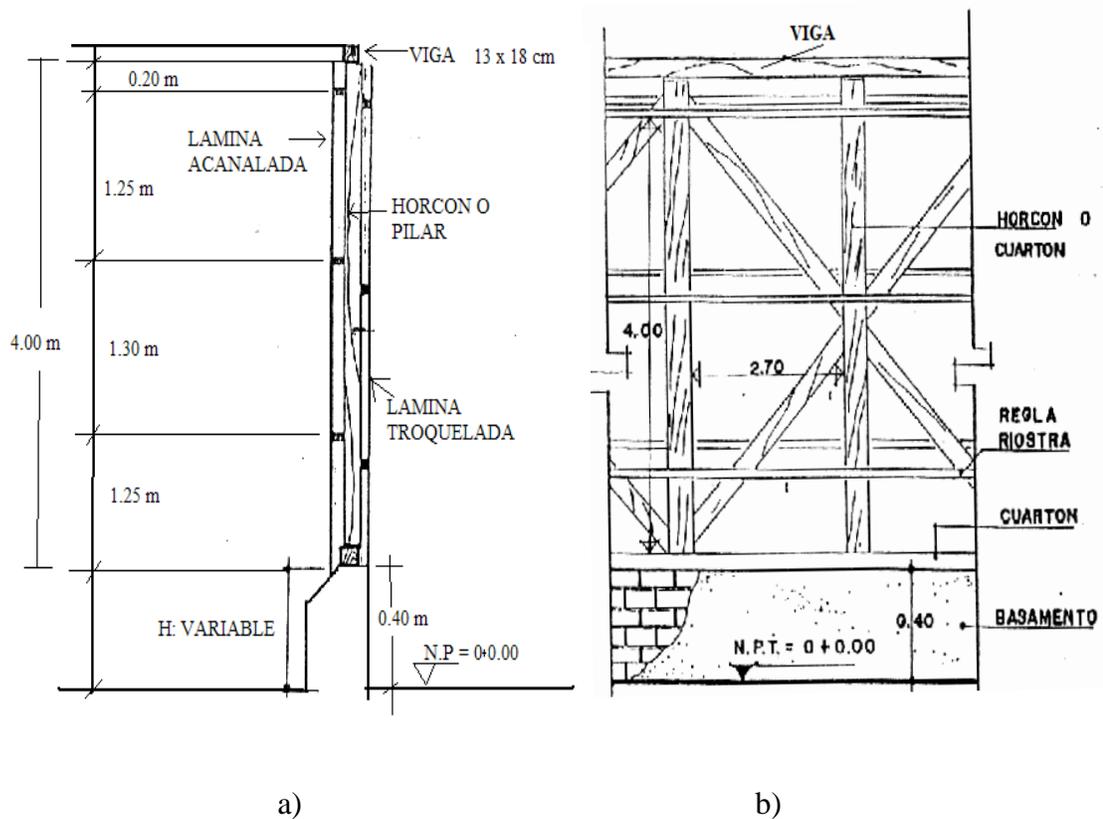


Figura 4.4. a) Detalle estructural de las paredes de la nave de la iglesia San Esteban, vista de perfil, b) Detalle estructural de una porción de las paredes vista frontal sin lámina troquelada. Puntales principales arriostrados en cruzeta rigidizando en ambas direcciones (Por ej. Poniente a Oriente).

4.1.2.1.3 Estructura de piso. La iglesia dispone de un segundo nivel que la integra con la fachada principal y las torres de los campanarios, este es el coro, formado por un marco de vigas encachetadas para más sección transversal y vigas en dirección longitudinal a la nave de la iglesia, separadas entre 40 cm a 60 cm, una de otra, acopladas en el marco del entrepiso y entramados, forrado de tabla, para conformar el entrepiso, constituyendo un diafragma, que es donde llegan las escaleras. Ver figura 4.5

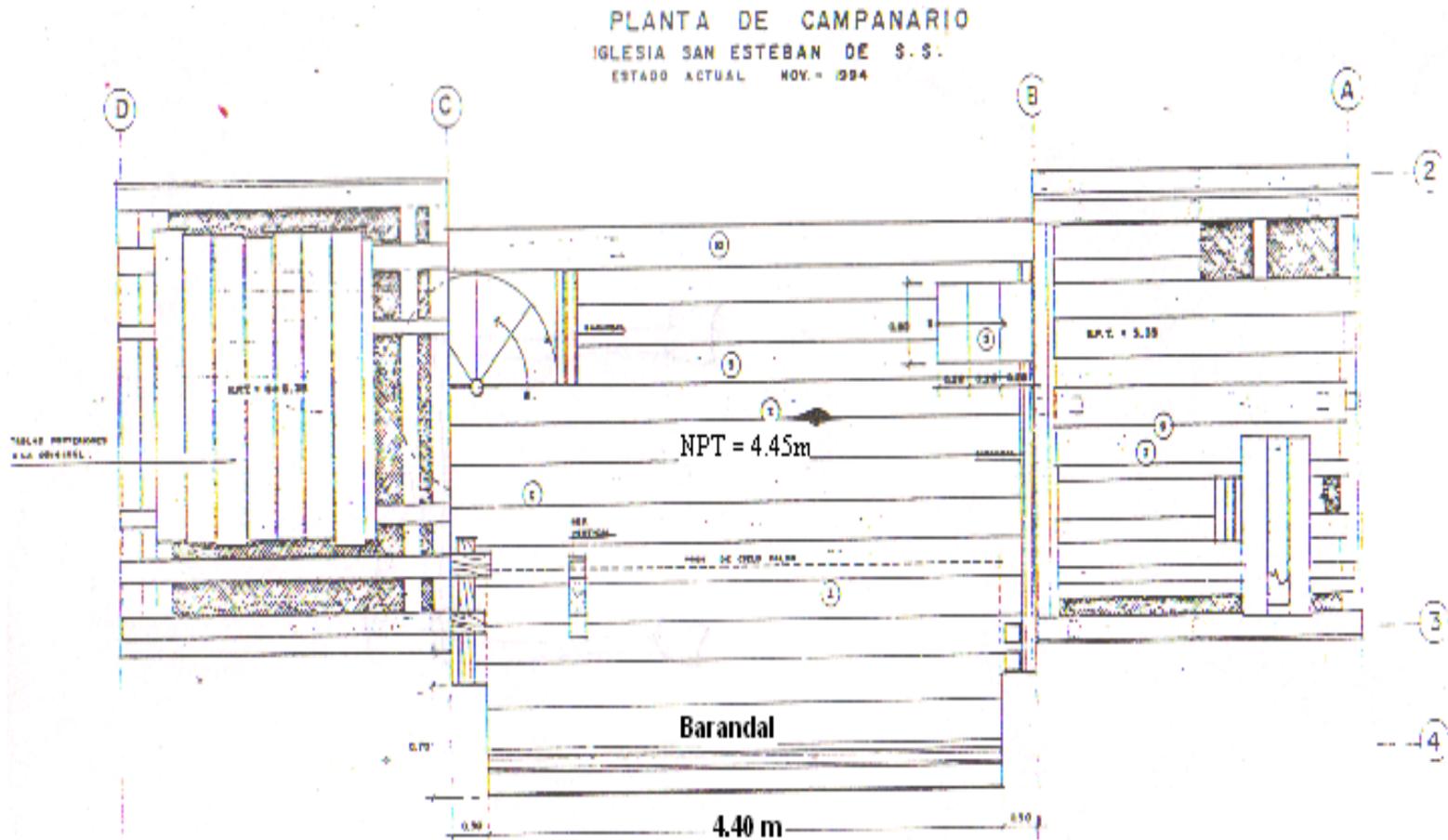
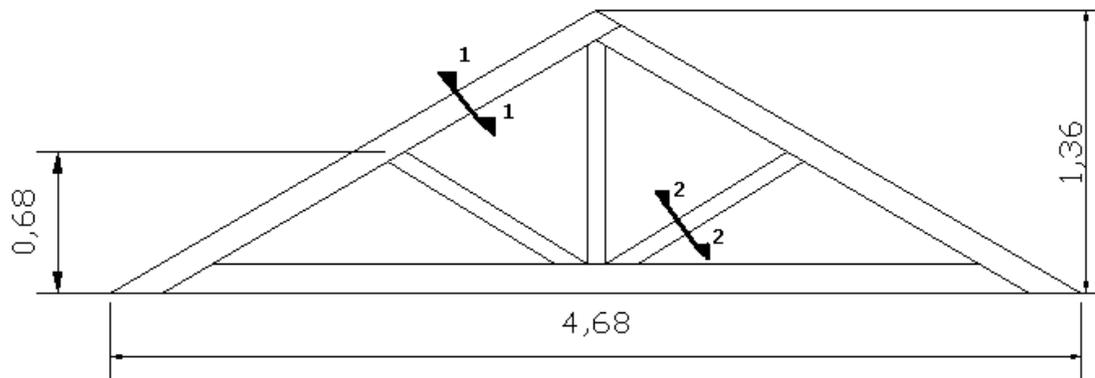


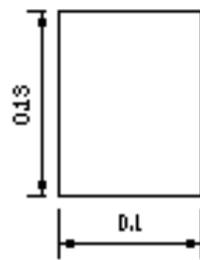
Figura 4.5 Planta Arquitectónica del Coro de la nave principal de la iglesia San Esteban. Esquema proporcionado por sacristán de la iglesia San Esteban.

4.1.2.1.4 Columnas. La iglesia posee 3 grupos de columnas, el grupo 1, son columnas de sección transversal rectangular, 18 cm x 13 cm, forradas con lámina troquela decorada y apoyadas en una pilastra de 30 cm x 30 cm, el grupo 2 de columnas, son horcones con diámetros de 20 cm a 25 cm y el grupo 3 de columnas son las que están en la fachada principal 18 cm x 13 cm con un forro circular de madera de 50 cm de diámetro y otras de 30 cm x 50 cm.

4.1.2.1.5 Estructura del techo. El sistema estructural en la nave principal de la Iglesia San Esteban, tiene dos tipos de cerchas de dos aguas en la nave principal y otra de otro tipo, de una sola agua en los laterales adyacentes a la nave principal, los costados norte y sur, conocidas como tijeras media agua. Las cerchas de dos aguas, son, las más antiguas u originales, y cubren un tercio de la longitud de la nave principal. Ver figura 4.6. Las demás, son más modernas, fueron colocadas cuando se realizaron reparaciones en la estructura del techo y la cubierta, en el tramo que cubre los otros dos tercios de largo de la iglesia hacia el oriente de la nave principal, ver figura 4.7.



a)



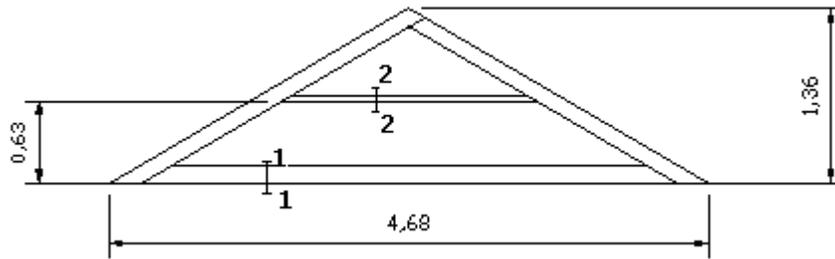
Sección 1-1



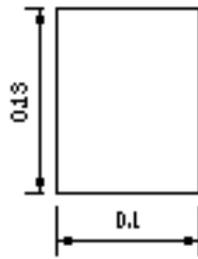
Sección 2-2

b)

Figura 4.6 a) Cercha original de la estructura de techo, tipo I. b) secciones de cerchas original de estructura de techo.



a)



Sección 1-1

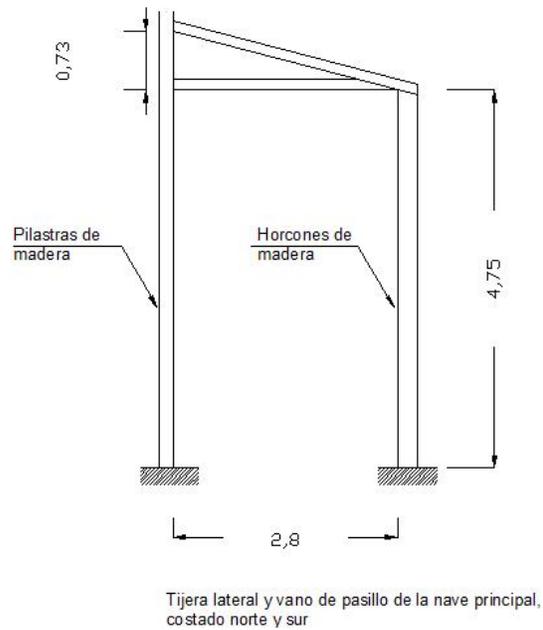


Sección 2-2

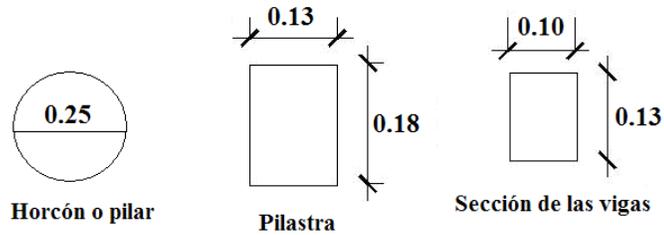
b)

Figura 4.7 a) Cercha actual de la estructura de techo, tipo II. b) secciones de cerchas actual de estructura de techo.

Las tijeras laterales de un solo agua en nave principal, son las que están en los laterales de la iglesia San Esteban, en el costado norte y en el costado sur se detallan de la siguiente forma en la figura 4.8



a)



**Secciones de los elementos estructurales de madera de las tijeras laterales**

b)

Figura. 4.8 a) Tijeras laterales de la estructura de techo que van del pasillo de la nave principal en el costado norte y sur, b) secciones de tijeras laterales de la estructura del techo.

4.1.2.1.6 Estructura de techo sobre el coro, conformada por ocho tijeras que distan una de otra entre 0.64 m y 0.67 m, cubriendo el espacio sobre el coro y está apoyado sobre las paredes de la fachada principal y posterior del campanario. Ver figura 4.9.

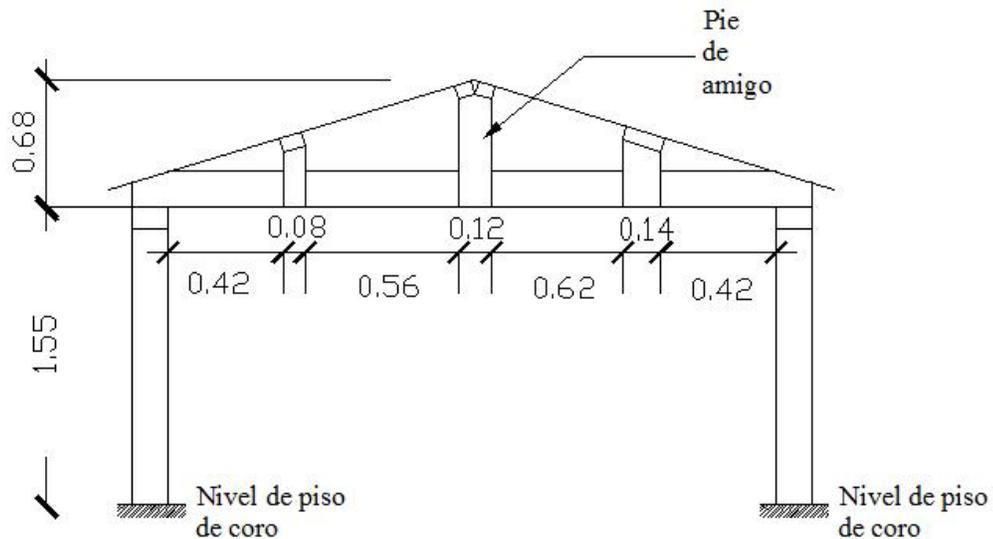


Figura 4.9 Estructura de techo sobre el coro de la iglesia san Esteban hecha de madera y lámina.

4.1.2.2 El sistema constructivo de la iglesia San Esteban, es un sistema antiguo, artesón de madera y lámina, con acoples de conexión y conectores como pines y pernos, formando grandes acartelamientos, en paneles continuos contrachapados, en un entramado reticulado, de espesor relativamente delgado en unidad con materiales de madera y lámina, del tipo emparedado, los cuales descansan en un murete hecho de mampostería de bloque de barro cocido que rodea todo el perímetro de la nave principal en forma de broquel. La fundación de este murete va apoyada directamente en el suelo de soporte. Este sistema fue muy utilizado a comienzos del siglo XX en San Salvador, donde a la fecha, en el antiguo San Salvador y otros lugares del país,

existen otras iglesias con un sistema similar, como la iglesia de Candelaria, iglesia Sagrado Corazón. Así mismo, hay casas de habitación de grupos familiares de la época hechas con este sistema, en el centro histórico de San Salvador.

La estructuración descrita, desde la base hacia el techo se describe de la siguiente forma:

4.1.2.2.1 Fundaciones. Conocidas como basamentos, en este tipo de construcciones antiguas. Las columnas de la fachada principal, tienen forma de pilastras hechas de ladrillo rojo de barro cocido, hecho a mano, visto, puesto de lazo, seguido de piedra y ladrillo quebrado ligado con mezcla de calicanto, más un cimientado de ladrillo de barro repellido hasta 1.50 m de profundidad. El perímetro de toda la nave de la iglesia, está rodeado con un murete de fundación para soporte de las paredes, está directamente apoyado sobre el terreno, con altura variable 0.45 m a 1.70 m, y espesor de 25 cm, hecho con materiales como ripio, tierra común, piedra suelta, en la que los “horcones” o puntales (troncos de árboles) son apoyos verticales al igual que las pilas) están sembrados en tierra directamente. En el interior de la iglesia, la fundación de las columnas es de ladrillo de barro visto puesto de trinchera y ligados con mezclas de calicanto, a 80 cm de profundidad a partir de nivel de piso, ver figura 4.3 literal b.

4.1.2.2.2 Paredes. Su arranque inicia apoyándose sobre un basamento hecho de ladrillo de obra, puesto de lazo, repellido, afinado y pintado en interiores,

constituyendo un murete perimetral que rodea los límites externos de la iglesia en forma de broquel dando forma de una caja de base para conformar el volumen de la nave principal. Hacia arriba, en el interior de la iglesia están conformadas con lámina troquelada y divididas según el tipo en dos partes, una inferior que se origina desde el basamento hasta la altura de 1.10 m con láminas de 0.62m X 0.62 m y otra superior formada por láminas de 0.62m X 2.40 m que terminan hasta el cielo falso.

Las paredes al exterior, están forradas con láminas galvanizadas onduladas de 0.90 m de ancho y largo variable, pintadas en la fachada color beige y los laterales color natural del galvanizado de la lámina.

La pared que se encuentra en el coro, está revestida con láminas LT-1, LT-4, LT-5, LT-3 (ver detalles constructivos, figura 4.10), iniciando la colocación de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba, con 4" de traslape en dos de sus cuatro lados, uno a la derecha y otro en la parte superior.

En la pared interior oriente de la nave central, se encuentra el altar mayor, esta pared está revestida con madera de plywood, de piso a cielo, con tres consolas donde se ubican las imágenes de los santos que veneran los feligreses, las paredes orientes de las naves laterales están revestidas con lámina del mismo tipo y decoradas como las otras paredes interiores, a excepción de una puerta ubicada al lado izquierdo de esta pared.

Los vanos de las ventanas, están formados por marcos con dos montantes, un cabecero y una peana, armados en la estructura de la pared; los vanos de las puertas también interrumpen la estructura formando su marco con dos montantes y un cabecero y la puerta embisagrada.

La estructura de la pared posterior del campanario, está elevada a 4.13 m desde el nivel del piso del coro, sosteniendo tanto el techo como la trama del cielo falso; con cuarterones de bálamo ensamblados con empalmes a media madera.

Detalles Constructivos de paredes:

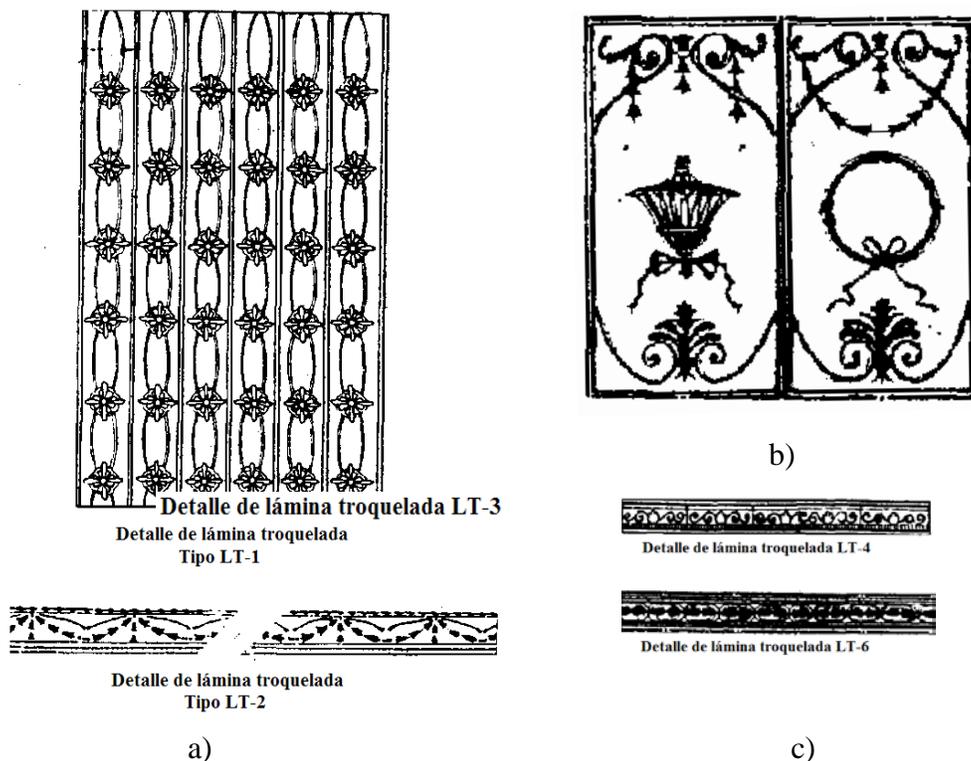


Fig. 4.10: Detalles de diferentes tipos de láminas troqueladas en paredes de iglesia San Esteban, a) Detalle de lámina troquelada LT-1 y LT-2, b) Detalle de lámina troquelada LT-3, c) Detalle de lámina troquelada LT-4 y detalle de lámina LT-6.

4.1.2.2.3 Piso de la planta principal de la nave. Está hecho con ladrillo cuadrado corriente, hecho de arena y cemento, 0.20 m x 0.20 m, colores gris y rojo, liso, un solo color cada uno, dispuestos en colocación alterna gris rojo, ambos lados sucesivamente, pegados con mezcla de arena cemento, sobre un colchón de cascajo como tradicionalmente se hace.

4.1.2.2.4 Torres del campanario, actualmente solo hay una, la torre norte, estructuralmente está compuesta por columnas esquineras formadas con escalerines de dos formas, como se muestra en la figura 4.11, 4.12 y 4.13

Columna tipo escalerín tipo 1

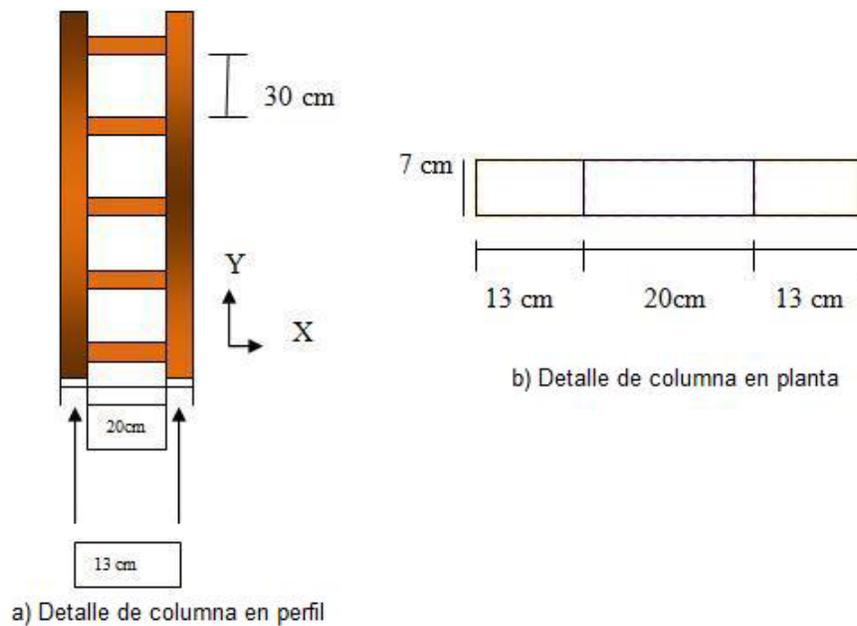


Fig. 4.11 Detalle de columna tipo escalerón. Tipo 1

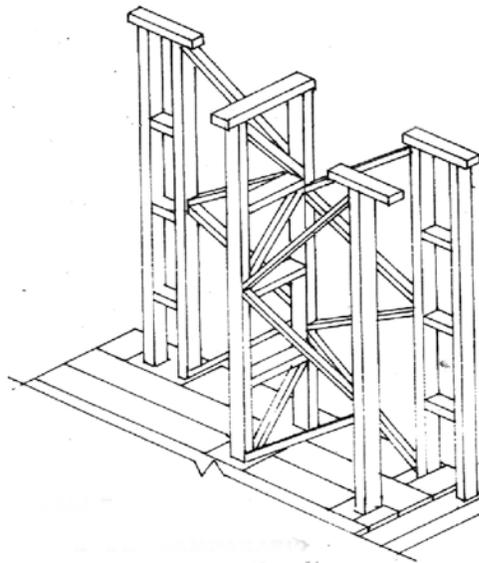


Fig. 4.12 Detalle del conjunto de columnas tipo escalerín en el campanario, en forma

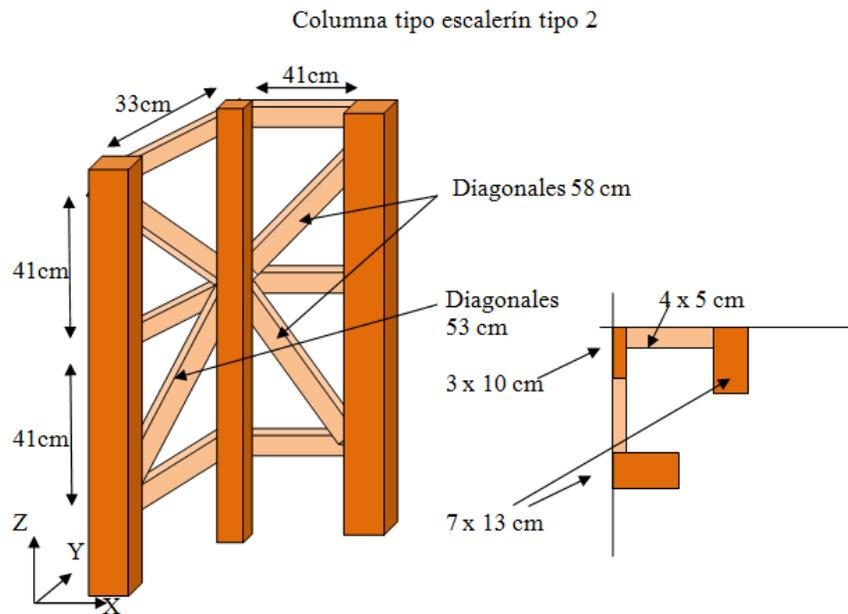


Fig. 4.13 Detalle de columna tipo esquinero, a) Entramado esquinero de soporte vertical en el campanario, b) planta del esquinero de soporte vertical del campanario.

Este tipo de sistema estructural del campanario, está acoplado por medio de ensambles de espiga encajonada (ver Fig. 4.14), que permite el ajuste sin clavos ni pernos de una pieza de madera a otra, a presión, complementariamente se usa cola (antiguamente cola de tableta diluida en agua caliente al baño maría o polvo de cascamite a base de agua como diluyente).

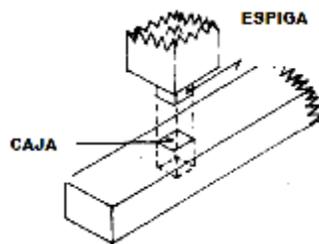


Fig. 4.14 Detalle de ensamble de espiga encajonada ente pilares centrales y vigas.

Constructivamente, las dos torres de la fachada principal eran de forma cuadrada y simétricas, todas sus caras iguales. Cada cara se compone de una base de madera con dos rectángulos horizontales sobre las que se elevan dos ventanas de madera conformada en su parte superior por vanos de medios puntos. Tiene un doble techo a cuatro aguas de lámina en pirámide regular, sostenido por cuatro pilastras con capiteles decorados por su arquitectura, el segundo se eleva de un elemento de forma casi cuadrado dividido en dos partes iguales hecho de madera. En la punta del techo de cada torre tenía una cruz de madera.

4.1.2.2.5 Cielo falso, la misma estructura de madera está directamente revestida con lámina troquelada haciendo un cielo falso en artesón de madera y lámina. La

colocación de las láminas en los tres cuerpos de la nave, inicia de oriente a poniente. Su orden de colocación es el siguiente:

La lámina LT-7, en cuerpo central de la nave se inicia de norte a sur en las primeras trece losetas y con las siguientes cambia de sur a norte, esta última colocación se observa en las naves laterales.

Lámina LT-10, se encuentra en cuerpo central de la nave, en el perímetro de la lámina LT-7, colocada de oriente a poniente y los extremos de norte a sur.

Lámina LT-11, se encuentra colocada perimetralmente a la lámina LT-7 en el cuerpo central de la nave de la iglesia, sobre ésta y la lámina LT-10, colocándose de oriente a poniente y en los extremos de norte a sur.

Lámina LT-8, cuatro de ellas forman cuadros, ubicando cuatro de ellos en el cuerpo central de la nave y uno en cada nave lateral; también en las esquinas donde se junta la lámina LT-11

Lámina LT-9, es una moldura que se encuentra en el perímetro del cuerpo central de la nave, su colocación es de oriente a poniente y en sus extremos de norte a sur.

Lámina LT-5, es una moldura que se encuentra en el perímetro de toda la nave lateralmente al interior de los tres cuerpos de la nave, su colocación es de oriente a poniente, y sus extremos de norte a sur.

Lámina LT-4, es una moldura que se encuentra en el perímetro del cielo falso del campanario, su colocación es en el sentido de las agujas del reloj, y se coloca después de la lámina LT-7

Todas estas losetas y molduras tienen un traslape de alicatado en la estructura de madera con clavos.

Estructura del cielo falso. Está formada por una cuadrícula de madera, que mide de eje a eje 60 centímetros para lámina LT-7. Para las restantes láminas la trama media se modula de acuerdo con las dimensiones de las láminas de cielo falso.

Ver Figura 4.15

Detalles de la estructura para el cielo falso:

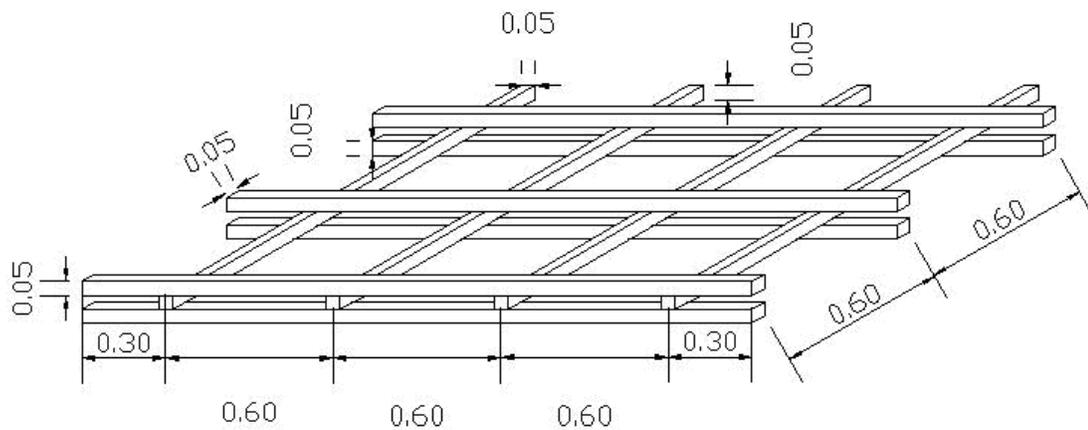


Fig. 4.15 Estructura de cielo falso en isométrico

Estructura de techo del cuerpo principal. El sistema estructural del techo actual que tiene la Iglesia San Esteban, actualmente, lo conforman dos tipos de cerchas de dos aguas l y otra en el cuerpo lateral del centro de la iglesia, conocidas en el medio como tijeras a dos aguas (artesón de montantes).

Tijeras Laterales, son estructuras de media agua, hay veintiuna a cada lado, las que su distancia variable entre una y otra de 2.15 m. a 2.80 m., se ajustan a la viga de la pared por medio de un empalme y al pilar que se encuentra al interior de la nave central con clavos, al inicio de cada cuerpo (de poniente a oriente) se encuentra una tijera con “par” y “travesía”, alternándose cada dos de ellas. Tiene pendiente de botagua de 12% en caída, norte y sur respectivamente.

Tijeras Principales. Son veinte, colocadas sobre el cuerpo central de la nave. Hay dos diseños diseños, Tipo1 (ver figura 4.6) desde la 1 a la 16, y desde la 17 a la 20 con el tipo 2, con una pendiente de 40% ambos lados (ver fig. 4.6 y 4.7). La distancia entre una y otra varía entre 2.15 m y 2.80 m. Toda estructura de cerchas está ensamblada a través de empalmes y clavos.

4.1.2.2.6 Cubierta de techo. Es de lámina acanalada galvanizada calibre 26, sujetas a las costaneras de las tijeras con clavos de charnela para este tipo de cubierta, teniendo anchos variables en su colocación. Las láminas originales presentan mayor uniformidad en su colocación, instalándose una lámina completa sobre dos láminas antes puestas (ver figura 4.16).

Las láminas han conservado en 90% la posición original. Las láminas del techo del cuerpo central son de 3 yardas de largo, las del norte, 1 ½ yarda y las de los cuerpos laterales de 2 ½ yardas de largo.

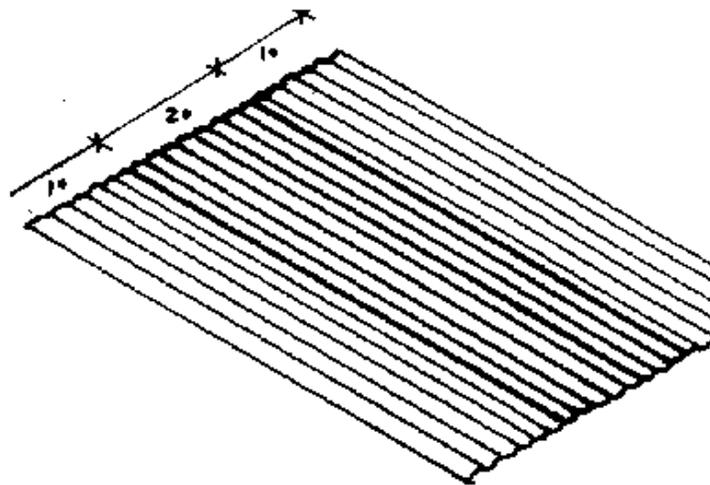


Fig. 4.16 Colocación de lámina sobre techo.

Las láminas del campanario son de media yarda de largo, galvanizada y acanalada calibre 26, traslapadas, a una onda, sujeta con clavos en la estructura de madera que las soporta.

4.1.2.2.7 El nártex<sup>23</sup>. Es la fachada principal al poniente y el frente de la iglesia, lo integran tres cuerpos. Está compuesto por cuatro columnas rectangulares de 0.48 m

---

<sup>23</sup> El nártex, en las basílicas románicas es el átrio separado del resto de las naves por divisiones fijas, destinado a los penitentes y a los catecúmenos (no bautizados). El modelo proviene de las antiguas basílicas paleocristianas. Cuando se encuentra en el exterior de las fachadas, como pórtico abierto, se llama exonártex. Al tener un segundo nártex interiormente, se le denomina

por 0.27 m con una altura de 3.82 m, simplemente apoyadas, en una pilastra de 0.58 m desde el nivel de piso; y cuatro columnas circulares simuladas de 0.50 m de diámetro con una altura de 3.82 m simplemente apoyadas en una pilastra de 0.58 m desde el nivel de piso, como se detallan a continuación en la figura 4.17 y figura 4.18

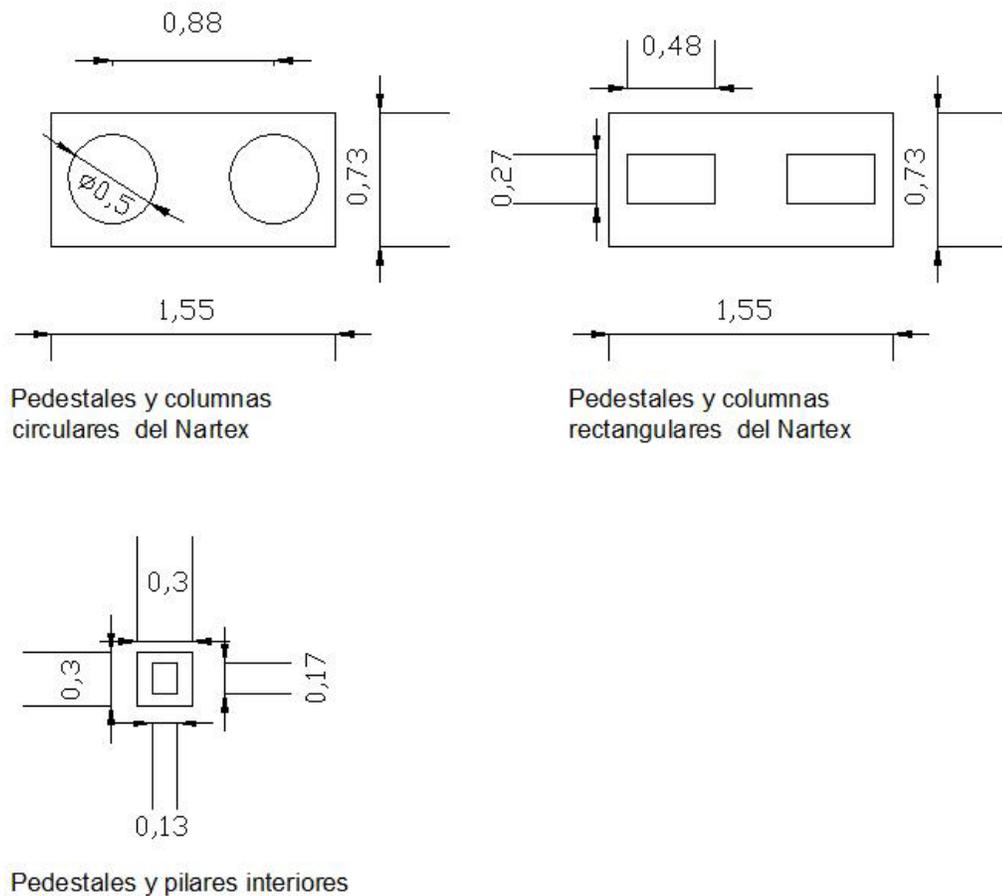


Fig. 4.17 Detalle de planta columnas en narthex.

esonártex, como es el caso de la Iglesia bizantina de San Salvador en Chora de Constantinopla, actual Estambul.

Este constituye el frente o fachada principal de la Iglesia, esta hecho totalmente de madera, a excepción de los pedestales de las columnas, que están hechos de ladrillo de barro cocido puesto de trinchera. El piso es el mismo que del interior de la nave principal.



Fig. 4.18 Foto de nártex de la Iglesia San Esteban.

Las columnas están revestidas con duela machihembrada de pino, en su interior tiene cuatro elementos, dos de cedro y dos de barío, que sujetados con una plantilla de círculo o abrazadera quedan sujetos como estructura interna para simular columnas circular; sobre la plantilla están clavadas las duelas. El capitel de cada una de ellas es de cedro.

Las columnas son de madera de conacaste, siendo cuatro en la fachada, sustentando, junto a las columnas el cielo falso del nártex.

El cielo falso del nártex es duela machihembrada de conacaste, cedro y barío; no es plano como en otras áreas de la Iglesia, sino que es convexo, con superficie plana al centro.

Las láminas del techo del nártex son acanaladas y galvanizadas, calibre 26 de 1 yarda, y 2 yardas, teniendo adaptado como capote lámina lisa galvanizada calibre 26. Todo el entablamento está hecho de madera al igual que el frontón, estos, predominando en toda la fachada principal, donde se encuentran dos tipos de láminas galvanizadas calibre 26, bajo el entablamento son troqueladas del tipo LT-1, y sobre este son acanaladas. El revestimiento del campanario es de madera. En la sacristía, espacio situado atrás del altar mayor se encuentra una pared de reciente construcción que fue dañada por el pasado terremoto de 1986, por lo que actualmente se encuentra desplomada y está unida a la estructura del techo con polines metálicos

#### 4.1.3 Elementos para la realización del diagnóstico de la iglesia San Esteban.

- La inspección visual, permite detectar geometrías y condiciones constructivas existentes, así como daños o signos de mal estado de respuesta por funcionamiento del sistema estructural y de cada elemento componente. Todo esto, a través de observaciones directas con descripciones y fotografías como testigos.

- Inventario físico. Levantamiento de daños de la estructura y su sistema estructural en conjunto y de cada componente (fundaciones, paredes, techos, cielos falsos, etc), se realiza con mediciones directas con instrumentos o herramientas, muy precisas preferentemente e ir determinando cuantitativamente, irregularidades geométricas y constructivas. Se elaboran planos a escala del levantamiento si estos no existen, se harán esquemas de ayuda, notas de apoyo descriptivo, fotografías o video, todo con el fin de tener información de análisis.
- Evaluación de condiciones actuales de daño de los materiales y elementos estructurales que presenta el edificio en conjunto y sus distintas partes y elementos, calificando gradualmente, según se encuentre al calificarlo. Ver formatos Anexo 4.
- Se hará un estudio analítico del sistema estructural subsistemas de la iglesia San Esteban, respecto a solicitaciones de las distintas cargas que actúan sobre la estructura y la capacidad de esta para resistirlas, su estado de respuesta y desempeño estructural. Transmisión de fuerzas y esfuerzos, desplazamientos, giros, deformaciones, distorsiones, aplastamientos y efectos locales o de conjunto en cada elemento particularizado para la obtención de buenos resultados.
- Valoración de resultados, particulares y de conjunto para llegar a un buen diagnóstico.

- Diagnóstico general, indicando sus distintos estados y condiciones existentes del sistema, subsistemas, y elementos o partes que ameriten más detallamiento de sus condiciones que tienen débil.

## **4.2 Métodos que se aplican en la restauración estructural. Tipos de métodos y su clasificación en la Iglesia San Esteban.**

### 4.2.1 Inspección visual.

Este método visual por observación directa, el objetivo es detectar e identificar exactamente lo más verás posible, las condiciones en que se encuentra el monumento o inmueble, se hace lo más minucioso posible en lo que respecta a irregularidades, deterioro o daño, o sea estudio de detalle. Por esto se ha elaborado un formulario (ver Anexo 4) que contiene la siguiente información a llenar correspondientemente, para posteriormente analizarlos y llegar a un resultado concreto, donde se especifique e identifique el estado y condiciones existentes. Ver formulario 4.1 en la siguiente página.

### 4.2.2 Evaluación de daños de la iglesia San Esteban.

En este proceso, la tipología de los daños es un punto de partida para todo estudio o evaluación de daños. Por eso se ha diseñado un cuadro de evaluación de daños que contiene los siguientes ítems, ver tabla 3.1, Capítulo 3:

- Elemento, es el elemento descrito e identificado a ser evaluado en las condiciones actuales. Hacer esquema de ayuda con sus códigos.
- Ubicación donde se encuentra el elemento a ser evaluado. Esquema y código.
- Elemento, es el elemento descrito e identificado a ser evaluado en las condiciones actuales. Hacer esquema de ayuda con sus códigos.
- Ubicación donde se encuentra el elemento a ser evaluado. Esquema y código.
- Material, identificar e indicar los materiales más sobresalientes con los cuales está formado el elemento. Esquemas y fotografías.
- Sistema constructivo, descripción del sistema constructivo o cómo está elaborado y conformado el elemento. Fotografías y videos.
- Grado de daño que tiene actualmente, condición apreciable de cómo se encuentra el elemento dañado, apreciación de la magnitud de el o los daños que actualmente tienen. Fotografías de detalles, descripción y esquemas.
- Elemento, es el elemento identificado a ser evaluado en las condiciones actuales.
- Ubicación donde se encuentra el elemento a ser evaluado.
- Material, mencionar los materiales más sobresalientes por los cuales está formado el elemento.

Formulario 4.1. Inspección Visual

INSPECCION VISUAL	
<p>Fecha:</p> <p>Elementos observados:</p> <p>Sistema Estructural:</p> <p>Condiciones:      Bueno _____ Regular _____ Malo _____</p> <p>Daños:              Poco/nada _____ Algunos _____ Muchos _____</p>	
Descripción de la Inspección visual	

- Sistema constructivo, descripción del sistema constructivo o como está elaborado el elemento.
- Grado de daño, condición apreciable de cómo se encuentra el elemento dañado, apreciación de la magnitud de el o los daños.
- Tipo de daño, identificando o tipificando qué tipo de daño muestra el elemento.
- Causa, de acuerdo con la tipología del daño encontrado en el elemento evaluado.
- Descripción, un comentario de la causa de los daños.

#### 4.2.3 Pruebas y recolección de datos métricos para el diagnóstico de la iglesia San Esteban.

Verificación del alineamiento de las columnas de la nave de la iglesia.

El procedimiento muy preciso utilizado para evaluar el alineamiento de las columnas fue el siguiente:

- Colocación de cordel de nylon en las bases de las pilastras.

En esta prueba se observará si hay desplazamientos de las columnas desde la base, se mide el alineamiento de las bases.

- Datos Obtenidos:

Esta prueba se realizó desde las columnas 5D a 5H (Columnas del lado norte) y 2D a 2H (Columnas lado sur), ver figura 4.19.

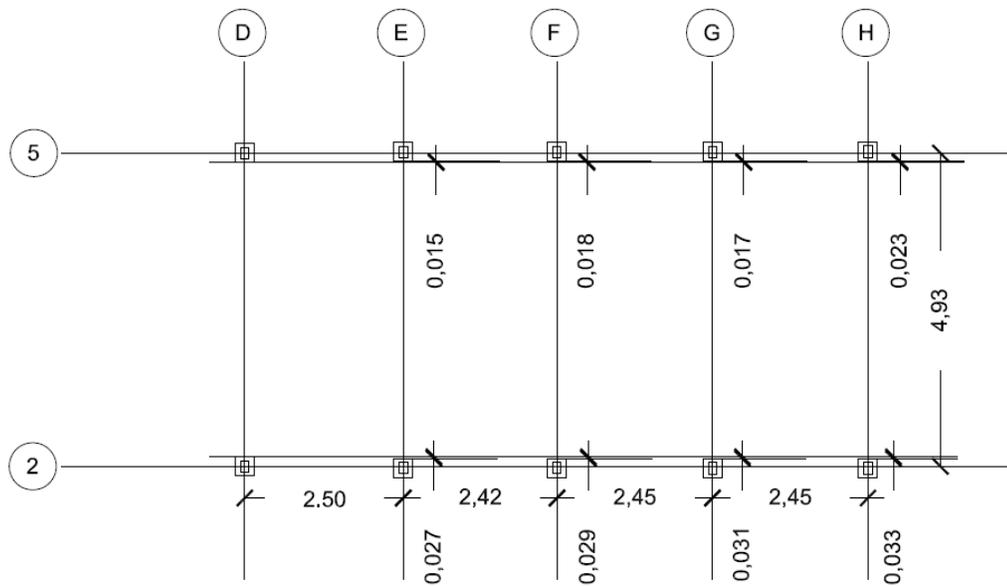


Fig. 4.19 Verificación de alineamiento de columnas de nave principal de la iglesia San Esteban

En las columnas del Eje 5 el resultado es un desplazamiento promedio de las columnas de 2 cm.

En las columnas del Eje 2 sur el resultado es un desplazamiento promedio de las columnas de 3 cm. Sin embargo en la columna 2H se nota un desplazamiento superior al promedio, de 3.3 cm.

Las herramientas utilizadas para la evaluación del alineamiento de las columnas fueron cordel de nylon, cinta métrica, lápiz de color, nivel de pita, nivel de caja y escuadra.

### Verificación de Diagonales en la nave principal.

El área de la medición fue desde las columnas interiores del eje d hasta las columnas del eje H, el procedimiento para esta medición fue el siguiente:

- Se coloca el cordel de nylon bien sujetado desde la primer columna D norte hasta la columna H sur, de igual forma se coloca cordel nylon desde la columna D sur hasta la columna H norte, ver fig. 4.20.

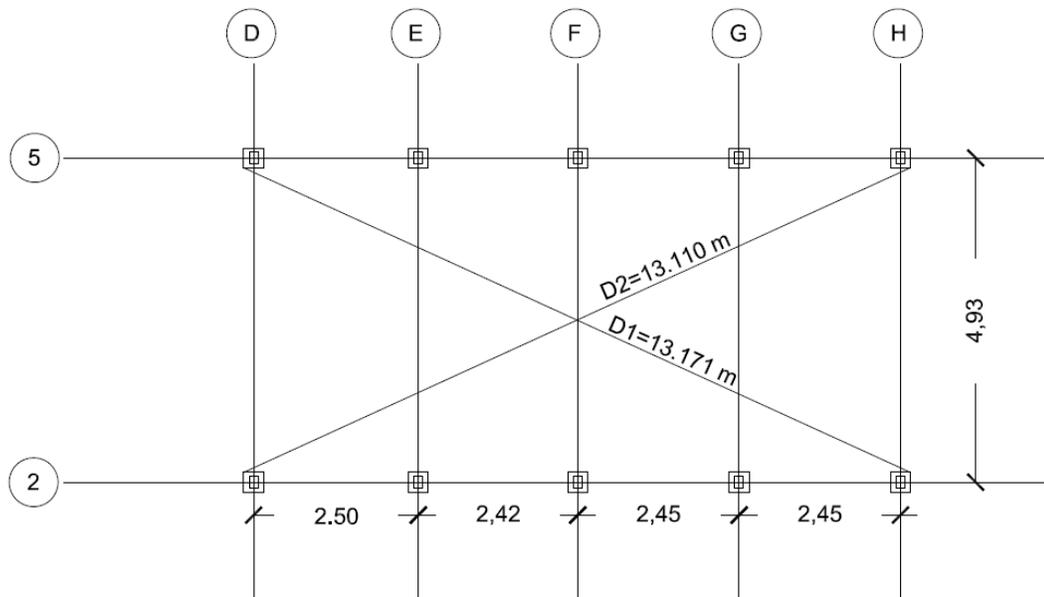


Fig. 4.20 Verificación de diagonales en la nave principal de la iglesia San Esteban

Resultados:

Diagonal 1, que es la distancia desde la columna 5D a la columna 2H.

Diagonal 2, es la distancia desde la columna 2D a la columna 5H.

$D1 = 13.171\text{m}$

$D2 = 13.110\text{m}$

Donde  $D1 > D2$ , diferencia entre  $D1$  y  $D2$  es de  $0.061\text{m}$  ( $6.1\text{ cm}$ )

Esta diferencia da a suponer que hay un efecto de retorcimiento de la nave, llamándose también a este efecto como de gusano.

Verificación de plomos de columnas internas de la nave de la Iglesia San Esteban.

Para esta medición se utilizaron herramientas como: plomada de albañil, alambre de amarre, escalera, cinta métrica y un trozo de cuartón codaleado de ambos lados y una sección de  $40\text{cm} \times 9\text{cm} \times 4.5\text{cm}$ .

El procedimiento de esta prueba, fue colocando y sujetando la pieza de cuartón con alambre de amarre a una columna que está sin el revestimiento de lámina troquelada en el interior de la iglesia, de manera que la sección del cuartón quede de canto (el lado de  $4.5\text{ cm}$  a rostro de la columna), ver figura 4.21.

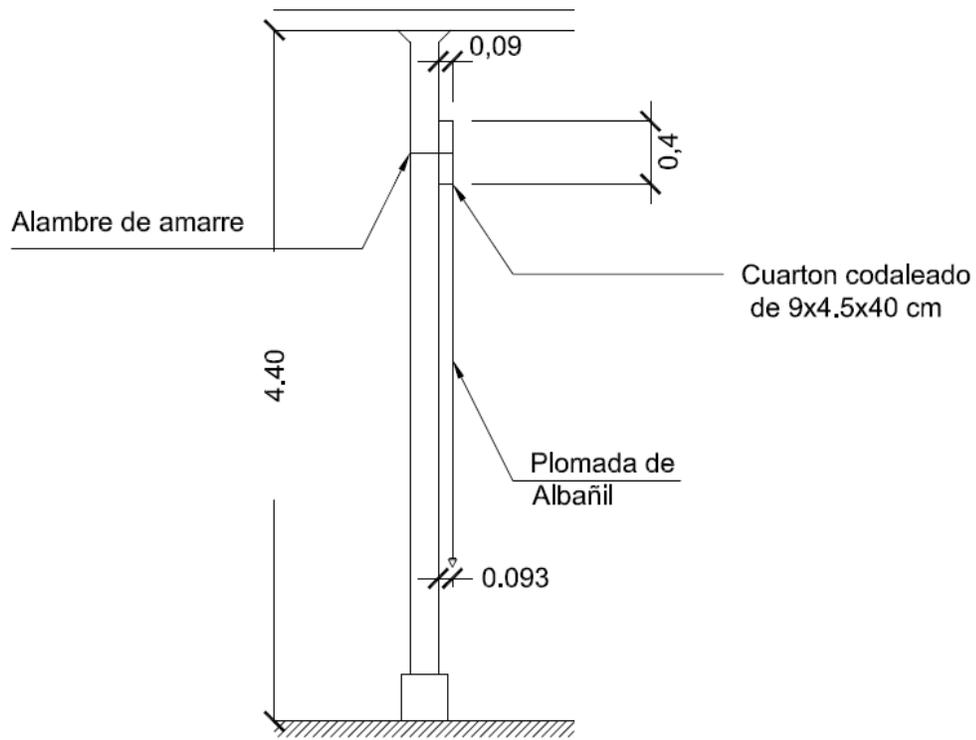


Fig. 4.21 Verificación de plomo en columnas de la nave principal de la iglesia San Esteban.

Como resultado de esta prueba es 3 mm de desplome de la columna, y para la altura de 4.40 m de la columna, este desplome es admisible, a este resultado se puede decir que la estructura ha funcionado bien y que por el apuntalamiento que tiene en todas sus columnas puede ser que es lo que resiste a no tener desplomes que pasen de lo admisible. (desplome admisible =  $0.005 \text{ m} / \text{m}$  de altura)

#### 4.2.4 Estudio analítico del Sistema Estructural de la Iglesia San Esteban.

##### 4.2.4.1 Cálculo de Centros de Gravedad y Momentos de Inercia de la Iglesia San Esteban.

Evaluación del centro de gravedad de la Iglesia San Esteban. Se ocupó un software gratuito para calcular centro de gravedad y momentos de inercia de secciones formadas con figuras planas, éste es llamado Ulises I y se encuentra en la siguiente dirección web: [http://www.portalplanetasedna.com.ar/ingenieria\\_civil.htm](http://www.portalplanetasedna.com.ar/ingenieria_civil.htm), los datos que se ingresan son en centímetros.

- a) Centro de gravedad y Momentos de Inercia de la planta arquitectónica actual de la Iglesia San Esteban

Datos de entrada para el software de cálculo de momentos de inercia. Ver

Figura 4.25

Figura 1: 285 cm x 576 cm

Figura 2: 3600 cm x 1080 cm

Figuras 3: 100 cm x 1080 cm + triángulo (base= 222cm, altura= 1080 cm)

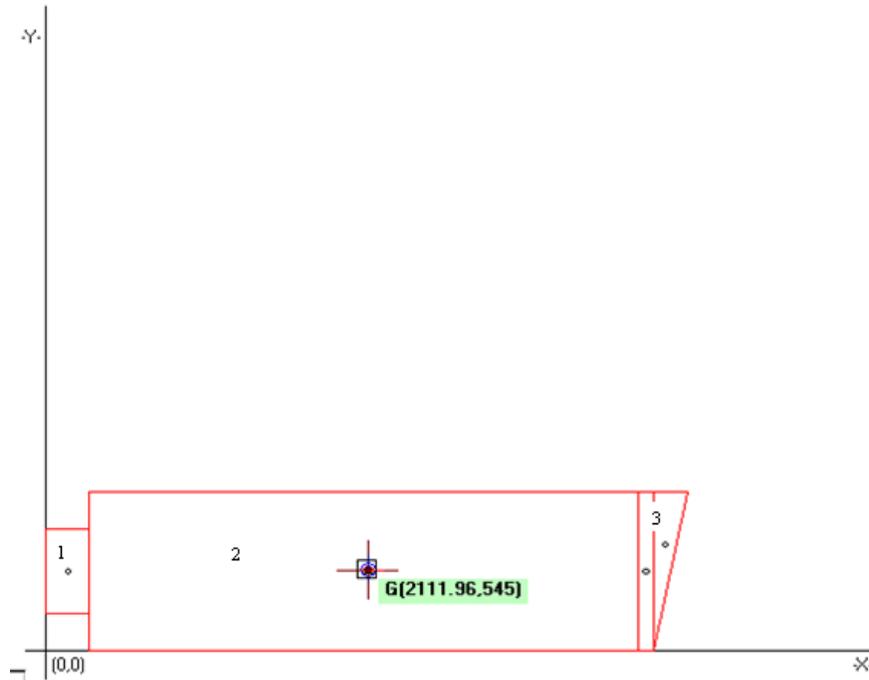


Fig. 4.22 Centro de Gravedad de la vista en planta de la iglesia San Esteban.

Tabla 4.2 de resultados datos de áreas y centro de gravedad y momento de inercias

Area Total (cm <sup>2</sup> )	4278960
Coordenadas del centro de gravedad (cm)	
Coordenada X	2111.96
Coordenada Y	545
Momentos de inercia en ejes centroidales (cm <sup>4</sup> )	
I <sub>gx-x</sub>	4043905000
I <sub>gy-y</sub>	5649119000
I <sub>gx-gy</sub>	4240537000
Momentos de Inercia Principales (cm <sup>4</sup> )	
I <sub>max</sub>	5649461628
I <sub>min</sub>	4040476387
Radios de giro (grados)	
@1	90.47
@2	180.47

b) Centro de gravedad y Momentos de Inercia de Fachada principal en condiciones actuales.

Figura 1: 1125 cm x 910 cm

Figura 2: 280 cm x 415 cm

Figuras 3: 2 triángulos (base= 90 cm, altura= 50 cm) + 100 cm x 50 cm

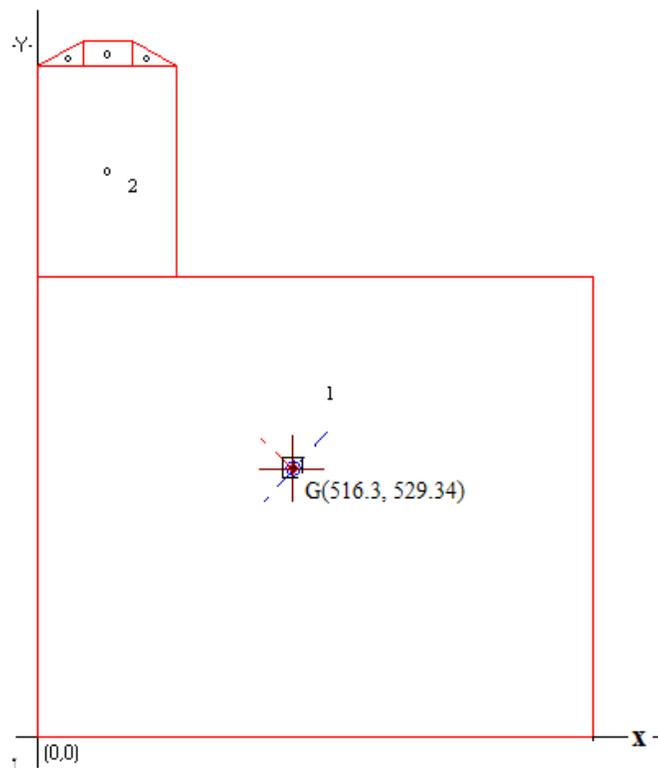


Fig. 4.23 Centro de Gravedad de la fachada actual de la iglesia San Esteban.

Tabla 4.3 resultados de centro de gravedad y momentos de inercia en condición actual de la iglesia San Esteban

Area Total (cm <sup>2</sup> )	1149450
Coordenadas del centro de gravedad (cm)	
Coordenada X	516.3
Coordenada Y	529.34
Momentos de inercia en ejes centroidales (cm <sup>4</sup> )	
I <sub>gx-x</sub>	1245085000
I <sub>gy-y</sub>	1287523000
I <sub>gx-gy</sub>	-3215362000
Momentos de Inercia Principales (cm <sup>4</sup> )	
I <sub>max</sub>	1588539986
I <sub>min</sub>	9440687504
Radios de giro (grados)	
@1	46.89
@2	136.89

c) Centro de gravedad Momentos de Inercia de Fachada principal en condición original.

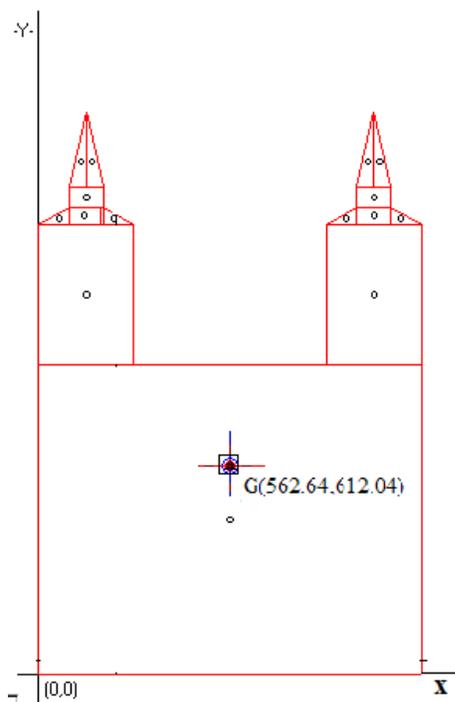


Fig.4.24 Centro de Gravedad de la fachada original de la iglesia San Esteban.

Tabla 4.4 resultados de centro de gravedad y momentos de inercia en condición original de la iglesia San Esteban

Area Total (cm <sup>2</sup> )	1309150
Coordenadas del centro de gravedad (cm)	
Coordenada X	562.64
Coordenada Y	612.04
Momentos de inercia en ejes centroidales (cm <sup>4</sup> )	
I <sub>gx-x</sub>	1943285000
I <sub>gy-y</sub>	1605452000
I <sub>gx-gy</sub>	1392906000
Momentos de Inercia Principales (cm <sup>4</sup> )	
I <sub>max</sub>	1943290847
I <sub>min</sub>	1605446033
Radios de giro (grados)	
@1	0
@2	90

### 4.3 Metodología práctica para la restauración estructural

La metodología para la restauración del sistema estructural de monumentos o inmuebles históricos del patrimonio cultural en El Salvador, se hará en base a la experiencia del caso de aplicación, en la Iglesia San Esteban. Poniendo en práctica los pasos para la realización de un diagnóstico, capítulo 3 numeral 2.

En la restauración estructural se tiene que evaluar el sistema estructural en conjunto y cada subsistema por separado. Para ello, se hacen inspecciones visuales con identificación de daños de los elementos que componen el sistema estructural. El análisis en conjunto como el análisis de subsistemas se hace por medio de inspecciones visuales como con inspecciones de identificación y codificación de

daños, con los formatos de la tabla 3.1 del capítulo III y las tablas presentadas en el caso de estudio del capítulo IV en el subcapítulo 4.2. El análisis en conjunto permite dar una apreciación preliminar del estado del sistema estructural por medio de observaciones visuales, ver subcapítulo 4.2.

Sistema estructural de la iglesia San Esteban. El análisis del sistema estructural de la iglesia San Esteban se hace con asistencia de ordenador, este aplicando el programa ETABS 9.5, útil para análisis y diseño de edificios y naves industriales<sup>24</sup>. Calcula coordenadas de centros de masas ( $X_m$ ,  $Y_m$ ), coordenadas de centros de rigideces ( $X_t$ ,  $Y_t$ ), fuerzas sísmicas y excentricidades y aplicación en el centro de masas del edificio utilizando las diferentes combinaciones de cargas muertas y cargas vivas, así como cargas muertas, vivas y de sismo, respectivamente MV y MVS, división de elementos. Plantillas predefinidas de sistemas de losas planas, losas en una dirección, losas reticulares o con nervaduras y casetones, cubiertas, etc.

Para el caso de aplicación, iglesia San Esteban, con el programa ETABS 9.5 se hace un modelo de simulación y análisis donde se los ejes principales según la estructuración principal de la nave en conjunto, ver figuras 4.25 y 4.26

---

<sup>24</sup> La metodología aplicada por el programa para el análisis estructural es el Método de los Elementos Finitos, ver Anexo 4.7

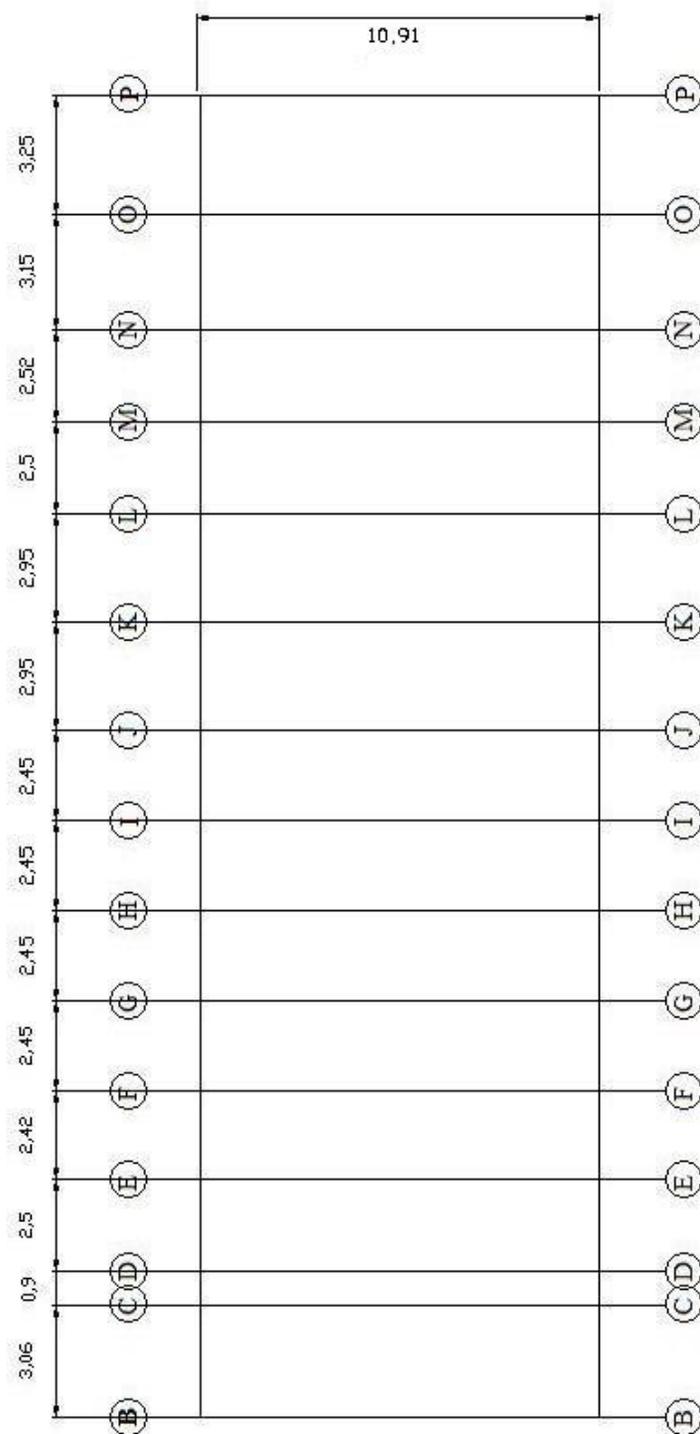


Fig. 4.25 Vista en planta de los ejes de la iglesia San Esteban a partir de su estructuración principal, cotas en metros.

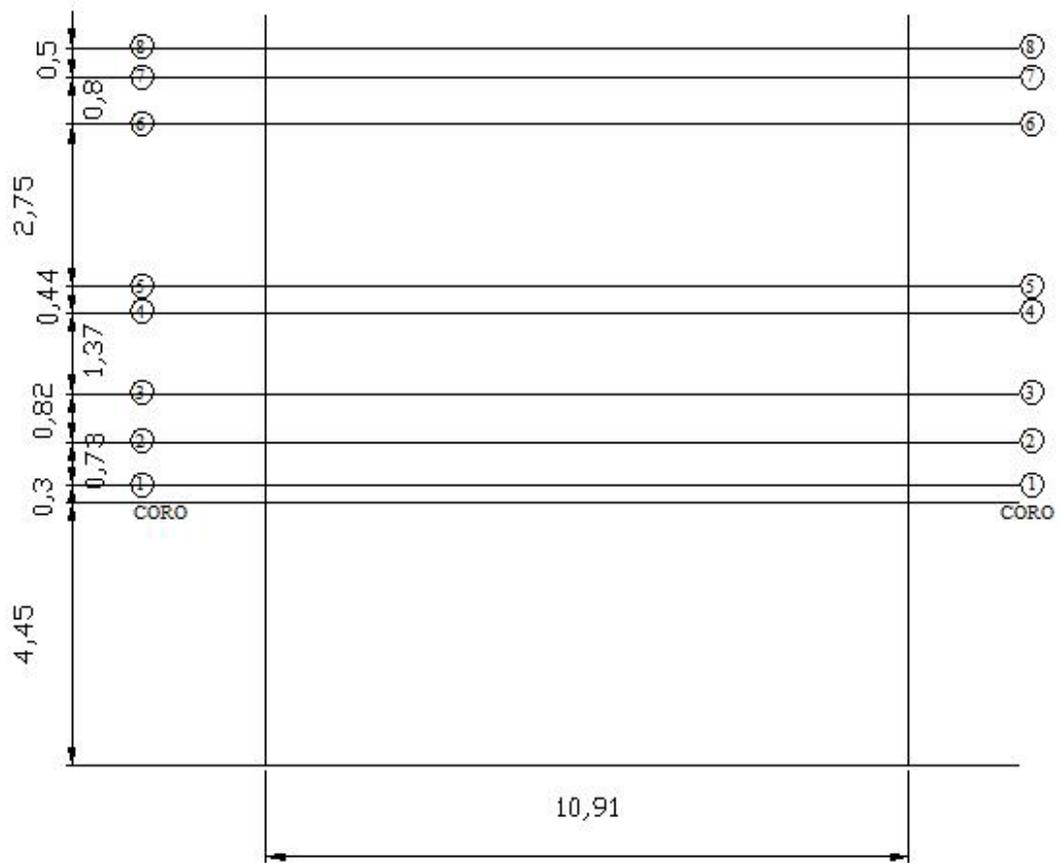


Fig. 4.26 Estructuración principal y sectorización por ejes en la elevación principal a partir de la fachada y en concordancia con la planta principal de la iglesia San Esteban, cotas en metros.

Teniendo definido el modelo tridimensional de toda la iglesia San Esteban aplicando el programa ETABS 9.5, se definen las propiedades de los materiales y las secciones de vigas y columnas. El unico material utilizado en el caso de aplicación iglesia San

Esteban es madera de balsamo, y sus propiedades físicas están detalladas en la tabla 4.5.

Tabla 4.5 Propiedades físicas del balsamo.

Propiedades del bálsamo (Unidades en kg/cm)		
Unidades de masa por volumen	0.95	
Modulos de elasticidad	Dirección 1	127070
	Dirección 2	127070
	Dirección 3	127070
Relacion de Poisson	Plano 1-2	12.06
	Plano 1-3	12.06
	Plano 2-3	12.06
Coeficiente de expansion térmica	Dirección 1	$9.900 \times 10^{-6}$
	Dirección 2	$9.900 \times 10^{-6}$
	Dirección 3	$9.900 \times 10^{-6}$
Esfuerzo cortante	Plano 1-2	531.87
	Plano 1-3	531.87
	Plano 2-3	531.87

La estructura de madera que conforma el sistema estructural de la iglesia San Esteban consiste en columnas y vigas siguientes, todas con secciones macizas, madera de balsamo, como sigue:

- Columnas o pilastras de 18 cm x 13 cm.
- Columnas de 13 cm x 10 cm.
- Columnas tipo escalerin, entramado de crucetas y travesias (ver figura 4.12)

- Columnas tipo esquinero, compuesto por dos escalerines formando 90° (ver detalle 4.14)
- Vigas de 13 cm x 10 cm
- Vigas de 6 cm x 14 cm
- Vigas de 6 cm x 6 cm
- Vigas encachetadas de 10 cm x 21 cm

Habiendo definido completamente los modelos simulación y analisis de la Iglesia San Esteban se establecieron las condiciones de cargas a las que estarán sometidos, con los cuales se hace evaluación estructural. El reglamento para la seguridad estructural de las construcciones del ministerio de obras públicas de la republica de el salvador, en el Titulo II: Criterios De Diseño Estructural, Capitulo I, Artículo 21 establece que la carga se calcula como sigue:

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV \qquad \qquad \qquad UCMV \qquad \qquad (Ec. 4.1)$$

$$U = 0.75 ( 1.4 CM + 1.7 CV + 1.87 S ) \qquad \qquad \qquad UCMVS \qquad \qquad (Ec. 4.2)$$

Donde, U es la carga(s) factorizada (s), CM la carga muerta, CV la carga viva y S la carga de sismo. Debiendo investigar las combinaciones de CM, CV y S, para determinar la mayor resistencia requerida de los elementos estructurales.

Una vez calculada la carga factorizada para ambos casos, CMV y CMVS, los parámetros para análisis estructural de la iglesia San Esteban son los siguientes:

Datos para análisis de esfuerzos para cada elemento del sistema	Iglesia San Esteban	
	Original	Actual
Peso de Estructura (Kgf)	20238469.95	19080975.2
Cortante Basal en X (Kgf)	1906323.95	1797954.73
Cortante Basal en Y(Kgf)	1906323.95	1797954.73
Ca	0.40	0.40
R	7.00	7.00
Ct	0.035	0.035

Tabla 4.6: Detalles de parámetros para la evaluación del modelo de la Iglesia San Esteban.

donde:

- Ca: es el factor de zonificación sísmica, tomado de la Norma Técnica para Diseño por Sismo de El Salvador, MOP.
- R: grado de sismo para evaluación de la respuesta del sistema estructural.
- Ct: Periodo de tiempo de la respuesta sísmica para el análisis.

Aplicación del programa ETABS 9.5. El sistema estructural de la iglesia San Esteban es una estructura de entramados de madera, no contiene diafragma rígido ni semirrígido, por lo que este programa no calcula las derivas de entrepiso por medio de rigideces, sino que las calculará por el teorema de áreas tributarias<sup>25</sup>.

<sup>25</sup> Ver Anexo 5 para detalle sobre Teorema de áreas tributarias.

Haciendo el análisis dinámico de las estructuras de la Iglesia San Esteban, tanto como para el caso de la iglesia original como para el caso de la iglesia actual, se obtuvieron estos datos de esfuerzos cortantes de entrepisos presentados en la tabla 4.9.

Tabla 4.7: Esfuerzos cortantes por nivel de la Iglesia San Esteban en estado original y estado actual

Fuerzas cortantes por nivel de la iglesia San Esteban en estado original					Fuerzas cortantes por nivel de la iglesia San Esteban en estado actual				
NIVEL	EJE X		EJE Y		EJE X		EJE Y		NIVEL
	CORTANTE LOCAL	CORTANTE	CORTANTE LOCAL	CORTANTE	CORTANTE LOCAL	CORTANTE	CORTANTE LOCAL	CORTANTE	
7	117663.71	8075346.905	116163.71	7383913.67	62153	6427498.13	60653	5938667.595	7
6	279847.28	7957683.195	271691.03	7267749.96	150015.32	6365345.13	141859.07	5878014.595	6
5	521928.605	7677835.915	507800.48	6996058.93	350976.165	6215329.81	336848.04	5736155.525	5
4	533263.565	7155907.31	346102.135	6488258.45	362230.82	5864353.645	176167.885	5399307.485	4
8-2	535118.135	6622643.745	200639.45	6142156.315	363795.53	5502122.825	29295.64	5223139.6	8-2
8-1	632186.89	6087525.61	296591.81	5941516.865	465109.19	5138327.295	129430.36	5193843.96	8-1
3	1023398.89	5455338.72	1001798.13	5644925.055	874319.82	4673218.105	852719.06	5064413.6	3
2	637106.325	4431939.83	681428.53	4643126.925	497814.765	3798898.285	577728.14	4211694.54	2
8-4	191965.275	3794833.505	332222.935	3961698.395	62831.49	3301083.52	282230.49	3633966.4	8-4
8-3	178675.77	3602868.23	267083.07	3629475.46	52066.3	3238252.03	227351.03	3351735.91	8-3
1	1467524.61	3424192.46	1441081.52	3362392.39	1337891.78	3186185.73	1311448.47	3124384.88	1
CORO	1956667.85	1956667.85	1921310.87	1921310.87	1848293.95	1848293.95	1812936.41	1812936.41	CORO

## Diagnóstico.

### I- Inspección visual.

- La torre sur y las columnas norte de la puerta principal desaparecieron por causa de deterioro y terremotos. La torre norte está en muy mal estado y parcialmente destruida e inclinada.
- Las láminas que recubren la parte exterior del muro perimetral de la iglesia están bien oxidadas y corroídas.
- Los muretes de mampostería, lados norte y sur están dañados con fracturas, fisuras y grietas, lo que permite la filtración de humedad.
- Fachada oriente, culata, de la nave principal de la iglesia San Esteban, está completamente destruida y ha sido reconstruida parcialmente en una adaptación incoherente con la edificación, materiales, técnica, arquitectura..
- Elementos estructurales del interior de la nave: entramados de madera, que tienen láminas troqueladas, están oxidados, quebrados y partes que les han desaparecidos en su retícula.
- Hay severos daños en toda la estructura de madera. En el coro en exceso a causa de agentes biológicos, principalmente el guano de palomas de castilla, que es el lugar donde ellas habitan, anidan y se reproducen rápidamente.
- El nártex también tiene daños estructurales severos, materiales deteriorados y falta de mantenimiento.

## II- Daños en elementos.

- La fachada principal, nártex, hecho principalmente con madera, presenta daños de corrosión superficial, pandeo, putrefacción y piezas faltantes.
- En las paredes laterales de la nave principal hay fisuras, grietas, erosión y desintegración del sistema constructivo y estructural.
- En el coro y campanario hay daños de desintegración provocados por humedades e insectos, fracturas en la madera de los entramados, putrefacción de la madera por la humedad e insectos y piezas faltantes.
- En las columnas interiores hay daños físicos y agujeros producidos por el hombre, piezas faltantes y corrosión superficial en las láminas.
- En la estructura de techo y cielo falso, los daños que se identificaron fueron desintegración y de putrefacción, provocados por el intemperismo e insectos.

## III- Levantamiento de datos cuantitativos, mediciones del estado actual de la estructura del inmueble.

- El levantamiento de las diagonales en la nave principal y el levantamiento de la alineación de las columnas en la mitad poniente de la nave principal, da resultados de desplazamientos de columnas desde 2 cm en el lado norte y 3 cm en el lado sur, lo cual puede tener como causa el proceso constructivo, ya que en la antigüedad no había el equipo necesario ni la metodología para garantizar el alineamiento de los ejes de las columnas. Visualmente la nave

principal en su sistema estructural y constructivo denota un efecto de “S” alargada.

- La medición de la verticalidad de las columnas alcanza los 3 mm de separación respecto a la vertical, valor que es admisible para una estructura de madera con la edad de 83 años, ver antecedentes de la iglesia San Esteban en capítulo 4, sección 4.1.1.

IV- Análisis estructural de la iglesia San Esteban por medio del programa de análisis de estructuras ETABS 9.5. Este genera valores de desplazamientos y fuerzas que se alcanzarán, según las especificaciones del análisis al que es sometido el modelo de la estructura de la iglesia San Esteban, los cuales serian una proyección al sometimiento extremo de funcionamiento.

- Así, los cortantes basales calculados son de 1906323.95 Kgf para la iglesia en su estado original y 1797954.73 Kgf para la iglesia en su estado actual.
- Las tablas 4.9 y 4.10 contienen los valores de los esfuerzos cortantes de entrepiso, para cada nivel, en ambos ejes X y Y, para el modelo de la iglesia San Esteban original y actual. Para el caso de la iglesia San Esteban en estado original las fuerzas cortantes llegan hasta 8075346.9 Kgf en el eje X y 7383913.7 Kgf en el eje Y. Para el caso de la iglesia San Esteban en estado actual, las fuerzas cortantes llegan hasta 6427498.13 Kgf en el eje X y 5938667.6 Kgf en el eje Y.
- En el Anexo 7, cuadros de 1 al 30 desplazamientos por eje B a P, estado original y estado actual, Los desplazamientos en el eje D en la iglesia en

estado original generados por la aplicación de la fuerza de cortante basal son de 10.56 cm y de 77.42 cm en los ejes X y Y correspondientemente; en estado actual los desplazamientos para el mismo punto son de 8.52 cm y de 86.77 cm en los ejes X y Y correspondientemente. Los desplazamientos en el eje H en la iglesia en estado original son de 10.06 cm y de 96.38 cm en los ejes X y Y correspondientemente; en estado actual los desplazamientos para el mismo punto son de 10.80 cm y de 82.27 cm en los ejes X y Y correspondientemente. Y finalmente, los desplazamientos en el eje P en la iglesia en estado original son de 9.00 cm y de 159.89 cm en los ejes X y Y correspondientemente; en estado actual los desplazamientos para el mismo punto son de 8.79 cm y de 98.22 cm en los ejes X y Y correspondientemente. En la nave principal de la iglesia San Esteban se dan los mayores desplazamientos en los puntos más altos de cada eje, principalmente en los ejes 1, 6 y 7, aumentan a medida que el eje se aleja hacia el poniente de las torres. Esto quiere decir que los desplazamientos en el eje H son mayores que los desplazamientos en el eje D, y los desplazamientos en el eje P son mayores a los desplazamientos en el eje H.

De acuerdo con los datos obtenidos del análisis estructural por ordenador utilizando el programa ETABS 9.5, la iglesia San Esteban actualmente se encuentra en aparente equilibrio inestable, las armazones que componen el entramado reticulado se han ido

acomodando a lo largo del tiempo, dando a la estructura un grado de “trabazón” entre sus componentes unitarios y en conjunto, evitando más inestabilidad y el colapso. La falta de mantenimiento y el intemperismo severo e intenso ha dañado todos los elementos y los subsistemas de la iglesia. Los datos obtenidos del análisis estructural indican que los mayores desplazamientos se dan en la culata de la nave, hasta generar un giro en la parte posterior de la nave principal.

Para rigidizar la estructura de la nave principal de la Iglesia San Esteban, comenzando por la culata de la nave principal para no poner en peligro la parte más inestable de la estructura, de igual forma es necesaria la reconstrucción de la torre sur para brindar estabilidad a la estructura y finalmente cambiar, restituir o rediseñar los elementos dañados o faltantes.

#### **4.4 Propuesta de una metodología para la restauración de la Iglesia San Esteban.**

La propuesta de una metodología para restauración estructural de cualquier edificio o monumento histórico o cultural, por ejemplo la iglesia San Esteban, se basa en un diagnóstico preliminar detallado, principalmente:

1. Plan de ejecución.
2. Preparación de condiciones del lugar objeto de restauración edificio o monumento. Consiste en revisar y preparar condiciones físicas y de seguridad,

antes de hacer cualquier acción (intervención) referida a las siguientes actividades mínimas :

- 2.1 Limpieza y desalojo de obstáculos en el área de trabajo
- 2.2 Obras preliminares
- 2.3 Revisión de condiciones existentes de los sistemas y subsistemas estructurales
- 2.4 Plan de seguridad, el cual incluye aspectos de la seguridad de la estructura y del personal a realizar el trabajo de restauración estructural
- 2.5 Establecimiento de elementos a completar o cuáles son los faltantes de la geometría de la iglesia que implican peligro ante la intervención en el sistema estructural.

3. Apuntalamientos y cimbrados.

- 3.1 Acciones u obras a realizar, en la edificación o monumento histórico o cultural.
- 3.2 Reconformar, hacer o rehacer constructivamente la fundación de las columnas antiguas, de la edificación o monumento histórico o cultural comenzando desde la base hacia el techo de cubierta o zonas más altas, como sigue;

#### Reconstrucción estructural: diseño:

- Rediseñar una zapata a la profundidad donde se encuentre un estrato firme o restituir el suelo de la fundación, según el estudio realizado.
- Cimbrado, en esta actividad se debe comenzar apuntalar, hacer castillo la estructura de soporte más adecuada, en las zonas más inestables, basándose en el análisis estructural, para garantizar que no habrá ningún tipo de daños o riesgos de inestabilidad respecto al que actualmente tiene la estructura principal.

#### Constructivamente, ejecución.

- Excavación. Consistirá en excavar alrededor de la columna cuadrada según el diseño de la zapata a construir y retirar el suelo excavado a un lugar protegido y cubrirlo con plástico negro para preservarlo totalmente.
- Construir, por ejemplo una viga de soporte, previamente diseñado para que descansa la columna y evitar desplazamientos. Es recomendable utilizar gatos hidráulicos.
- Restitución de la fundación antigua: construyendo el nuevo sistema de fundación diseñado apropiadamente para soporte a solicitaciones sísmicas futuras.

Esta acción se podrá hacer en cada elemento de fundación, como los pedestales de columnas, en todo el sistema de fundación. Toda acción constructiva la decidirán y ejecutarán entre el ingeniero de diseño, el constructor, el arquitecto encargado autorizados por los equipos encargados o administradores de estos bienes correspondientes, CONCULTURA, patrimonio cultural, etc.

Paredes, el objetivo es resanar, complementar, sustituir, cambiar los elementos dañados en los entramados y dar tratamientos a toda lámina corroída cuando todavía sea tratable, sustituir o cambiarla o complementarla, rigidizar; así mismo, el murete actual de la nave de la iglesia (según lo establezca el diseño y la arquitectura propia), acoplando otro similar para aumentar la sección y resanar los daños actuales para evitar filtraciones de agua escurrida.

El cimbrado.

Diseño. Se debe comenzar por el apuntalado por las zonas más inestables, basarse en el análisis estructural. Esto con castillo y encuadrado y apuntalado o haciendo la estructura más conveniente según lo establezca el ingeniero de diseño respecto a mantener la buena condición de estabilidad de la estructura.

Constructivamente. Desprender cuidadosamente toda la lámina de las paredes, previa codificación para su embodegaje por partes, retiradas para facilidad de tratamiento y de nueva colocación.

Revisar las condiciones de los elementos de los entramados, columnas, vigas y diagonales de arriostramiento: retirar, sustituir, complementar, entre los elementos constituyentes de este subsistema.

Reparaciones de grietas y fisuras y agujeros del murete en que se apoyan los durmientes de pared, los horcones y entramados, dar tratamiento previo de limpieza y asegurarse que no queden daños antiguos. Y garantizar buen resane de cada pieza y del subsistema.

Sustitución de los elementos dañados: los acoples, ensambles, colocación de cualesquiera tipos de conectores se hará adecuado al caso y con buen ajuste según lo establezca el ingeniero de diseño y las necesidades de buen funcionamiento así como la seguridad de la estructura.

Montaje de la lámina garantizando buen ajuste y que no habrá riesgos de desprendimientos futuros, para ello se necesitan instrumentos más actualizados como tornillos autorroscantes, para mejor resistencia a los vientos y una lámina de mayor calibre de las existen en el mercado actualmente.

Estructura del techo, cambio de piezas de las tijeras centrales y laterales que estén dañadas por las causas indicadas en la inspección y evaluación de los elementos. La intervención se hace a criterio del ingeniero de diseño, así mismo del constructor o los administradores del proyecto, el encargado de construcción y el arquitecto encargado de la obra por CON CULTURA. En todas las acciones, cada parte de la estructura, sistema o subsistema estructural por mínima que sea, esta tendrá un código

asignado para garantizar el control de calidad apropiado para cada una de las acciones.

- Desmontaje de la cubierta de techo, usar herramientas adecuadas y no forrar piezas para garantizar la integridad del elemento.
- Reparación o sustitución de los elementos de las tijeras de la estructura.

Diseño, se hará de acuerdo con el diseño previsto y el proceso indicado para cada caso, siempre con la supervisión de los ingenieros y arquitectos designados, en primera instancia y atendiendo a planos aprobados y autorizados, asimismo las ordenes autorizadas.

Construcción: Montaje de la lámina, se garantizará buenos ajustes y acabados con los conectores correspondientes en número adecuado y colocación segura.

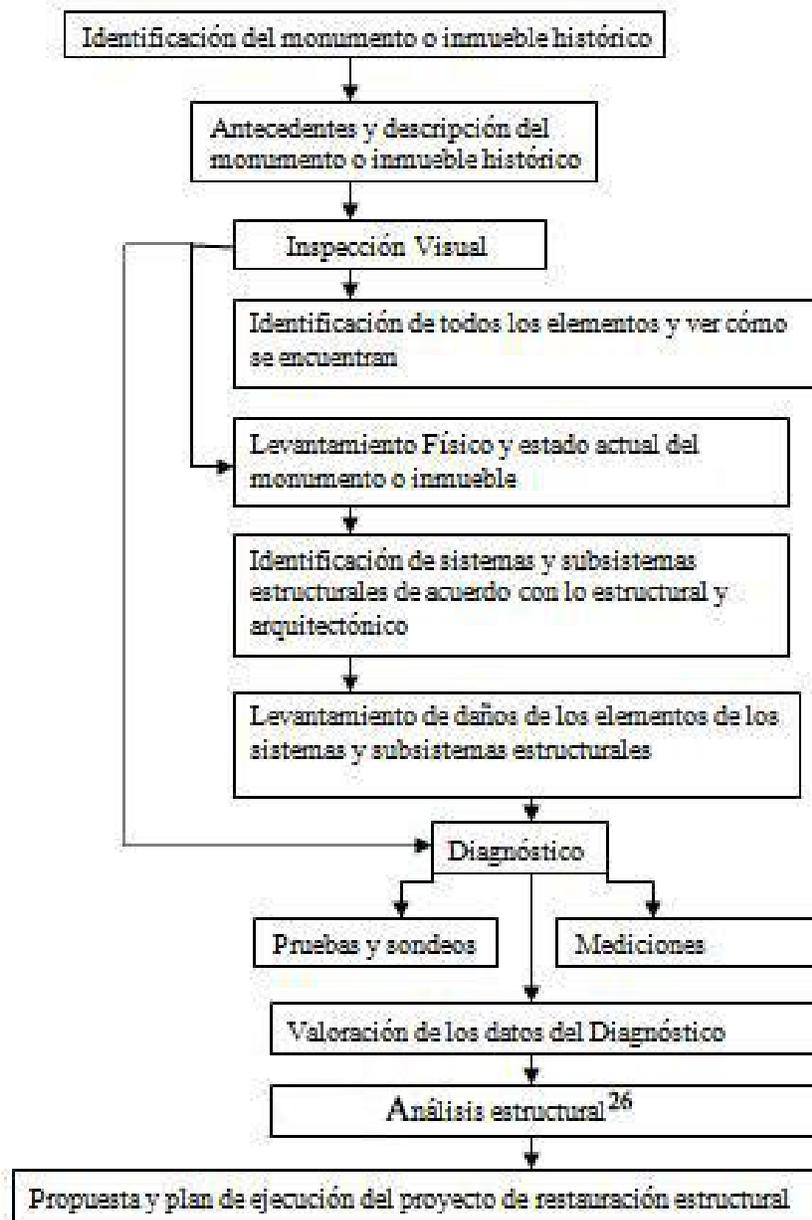
Torre sur faltante, su construcción sea igual a la torre norte existente, actualmente en malas condiciones, con la mismas estructuración y tipo de construcción arquitectónica, para completar los sistemas estructurales y constructivos para unificar el sistema estructural de toda la Iglesia San Esteban.

- Revisión de condiciones existentes, para reparar astillamientos, fracturas, fisuras, para poder acoplar los elementos nuevos. Se usarán procedimientos,

materiales, herramientas, personal, accesorios y todo adecuado para garantizar la buena obra, a criterio de los ingenieros y arquitectos encargados.

- Acoplamiento de los elementos estructurales de la torre con personal, equipo y herramientas especializados y condiciones de seguridad para no tener riesgos.
- Montaje de los elementos estructurales y arquitectónicos. Se garantizará condiciones de seguridad y buen montaje.

Esquema para aplicar una metodología para restauración del sistema estructural de monumentos o inmuebles históricos del patrimonio cultura en El Salvador.



<sup>26</sup> Una edificación es un conjunto de sistemas pero para fines de estudio, se basa en el sistema estructural de la edificación, analizado con una tecnología moderna, una vez se adecue. El método de elementos finitos trabaja en base a nodos, para sistemas complejos tal como la iglesia San Esteban Se elabora un modelo de simulación siendo sometiendo a fuerzas proyectadas en cada elemento o nodo para generar desplazamientos laterales y horizontales en altura.

## **Capítulo V: Resultados y análisis.**

## **5.1 Análisis de los resultados del sistema estructural de la Iglesia San Esteban.**

El análisis de resultados se obtiene de la metodología descrita en el capítulo 4.4, y, con herramientas de apoyo, estas son, software utilizados para obtener resultados a partir de datos y mediciones realizados en la iglesia San Esteban.

### 5.1.1 Resultados de la Inspección visual.

- El suelo superficial se ve lodoso a la profundidad de 20 cm.
- Falta la torre sur, y la torre norte tiene un desplazamiento de norte a sur.
- La lámina troquelada externa, que es la que protege del intemperismo la estructura de madera de la iglesia, tiene severos daños de oxidación y degradación.
- La pared de mampostería de ladrillo de barro en la parte de atrás de la iglesia San Esteban, está completamente dañada, con explosión de los recubrimientos de nervaduras, grietas en toda la pared, desprendimiento del ladrillo de obra.
- Internamente, la iglesia tiene un apuntamiento en todas sus columnas, el piso con levantamientos y grietas.
- El sistema estructural de columnas del coro y torres de campanarios, tiene, una degradación avanzada en la madera por la putrefacción ocasionada por la humedad, goteras y guano de las aves
- En la estructura de techo, se encuentra en buenas condiciones un tercio de las cerchas del cuerpo principal de la iglesia, se observó que se han hecho reparaciones recientes, y el resto de cerchas son las antiguas y están con daños.

- Los pilares o cuartones empotrados están podridos en el murete perimetral de la iglesia

### 5.1.2 Resultados de la Evaluación de daños

Los daños que más comunes en toda la estructuración de la iglesia San Esteban son, corrosión, desprendimiento de piezas, levantamiento y asentamiento de pisos, degradación de materiales estructurales y no estructurales, faltantes de elementos estructurales y no estructurales, putrefacción de elementos estructurales y no estructurales, fisuras, grietas. Todo esto, principalmente por la falta de mantenimiento. Los sismos y viento también han ocasionado daños, y, provocaron la caída y desaparecimiento de la torre sur del campanario de la iglesia San Esteban, dejando la iglesia con más inestabilidad por la asimetría.

### 5.1.3 resultados de centros de gravedad, momentos de Inercias y radio de giros

Tabla 5.1 Resultados Centros de gravedad y cálculos de momentos de inercia

Diseño original de la Iglesia, de acuerdo con la figura 4.24	Diseño actual de la Iglesia, de acuerdo con la figura 4.23
$I_{g\ x-x} = 1943285000$ $I_{g\ y-y} = 1605452000$ En centímetros a la cuarta	$I_{g\ x-x} = 1245085000$ $I_{g\ y-y} = 1287523000$ En centímetros a la cuarta
Radio de giro respecto a eje x = $0^\circ$ Radio de giro respecto a eje y = $90^\circ$	Radio de giro respecto a x = $46.89^\circ$ Radio de giro respecto a y = $136.89^\circ$

De la tabla 5.1 el momento de inercia en el eje x del diseño original es 1.56 veces mayor que el actual y en el eje y, es 1.25 veces mayor en condición original al actual. Con estos resultados se puede decir que en el eje x la iglesia resiste menos al sometimiento a una fuerza de sismo o de viento. Y por el desprendimiento de una torre, la iglesia San Esteban

quedó con asimetría, lo que genera un radio de giro de  $46.89^\circ$  con respecto al eje x, y en el diseño original es simétrica, su ángulo de giro es  $0^\circ$

#### 5.1.4 Resultados del análisis del Sistema estructural.

Con la relación siguiente:

$$R = V/\Delta \quad (\text{ton/cm}) \quad (\text{Ec. 5.1})$$

Donde R: es la rigidez del eje (en toneladas por centímetros), V: es la fuerza cortante basal en el eje X y en el eje Y (en toneladas), y  $\Delta$ : es el desplazamiento relativo del eje respecto a la vertical, calculado como el promedio del desplazamiento en ambos ejes de cada punto que conforma el marco del eje (en centímetros).

Tabla 5.2. Resultados de rigideces, desplazamiento y cortantes de la nave principal de la Iglesia San Esteban, del eje B a eje P, del sistema original.

EJE	SAN ESTEBAN ORIGINAL					
	EJE X			EJE Y		
	CORTANTE (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (cm)	RIGIDECES (Kgf/cm)	CORTANTE (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (cm)	RIGIDECES (Kgf/cm)
B	1906323.95	49.05	38865.85	1906323.95	94.15	20248.45
C	1906323.95	28.38	67162.23	1906323.95	85.30	22348.83
D	1906323.95	10.56	180538.24	1906323.95	77.42	24622.73
E	1906323.95	10.44	182567.10	1906323.95	81.65	23348.23
F	1906323.95	10.30	185061.26	1906323.95	86.14	22131.16
G	1906323.95	10.21	186725.56	1906323.95	91.05	20937.19
H	1906323.95	10.06	189516.14	1906323.95	96.38	19778.64
I	1906323.95	9.97	191171.50	1906323.95	102.02	18686.64
J	1906323.95	9.82	194120.18	1906323.95	108.07	17639.28
K	1906323.95	9.71	196383.63	1906323.95	115.69	16477.35
L	1906323.95	9.53	200096.08	1906323.95	123.86	15390.63
M	1906323.95	9.31	204787.29	1906323.95	131.01	14551.28
N	1906323.95	9.30	204989.26	1906323.95	138.81	13733.19
O	1906323.95	9.17	207959.59	1906323.95	148.89	12803.95
P	1906323.95	9.00	211719.34	1906323.95	159.88	11923.43

Tabla 5.3. Resultados de rigideces, desplazamiento y cortantes de la nave principal de la Iglesia San Esteban, del eje B a eje P, del sistema actual.

EJE	SAN ESTEBAN ACTUAL					
	EJE X			EJE Y		
	CORTANTE (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (cm)	RIGIDECES (Kgf/cm)	CORTANTE (Kgf)	DESPLAZAMIENTO (cm)	RIGIDECES (Kgf/cm)
B	1797954.73	37.94	47392.82	1797954.73	73.95	24314.71
C	1797954.73	23.95	75079.56	1797954.73	71.92	24999.50
D	1797954.73	12.33	145781.18	1797954.73	71.95	24987.55
E	1797954.73	12.80	140440.13	1797954.73	83.12	21629.59
F	1797954.73	11.52	156091.82	1797954.73	92.19	19503.73
G	1797954.73	16.53	108774.17	1797954.73	75.07	23949.46
H	1797954.73	10.80	166488.74	1797954.73	82.27	21853.16
I	1797954.73	13.47	133447.03	1797954.73	88.46	20324.38
J	1797954.73	9.95	180714.02	1797954.73	90.32	19906.80
K	1797954.73	10.63	169063.33	1797954.73	88.53	20310.03
L	1797954.73	9.16	196257.86	1797954.73	101.62	17693.04
M	1797954.73	9.08	198040.37	1797954.73	82.07	21908.87
N	1797954.73	8.52	210916.86	1797954.73	86.77	20719.75
O	1797954.73	8.21	219114.66	1797954.73	104.64	17182.28
P	1797954.73	8.79	204501.27	1797954.73	98.23	18304.45

Los cálculos presentados anteriormente son datos relativos, puesto que son calculados con promedios de desplazamientos por eje y con el cortante basal. Por lo tanto, a continuación, se presentan tres casos de ejes donde se calculan las rigideces reales en cada punto del marco del eje, evaluando la relación del cortante en ambos sentidos en el nivel del punto evaluado contra el desplazamiento de tal punto en ambos ejes.

Los ejes evaluados son el Eje C, donde se intercepta el campanario con la nave, el Eje H, eje central de la nave y el Eje P, eje posterior de la estructura de la iglesia, los cuales se tomaron por ser los ejes más significativos para la evaluación de las rigideces.

Tabla 5.4 Resultados de Rigideces en el eje C

RIGIDECES EN EJE C							
San Esteban estado original				San Esteban estado actual			
Punto	Nivel	Rigideces		Punto	Nivel	Rigideces	
		X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)			X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)
C1	1	283154.9210	51828.3051	C1	1	606961.8871	15369.3713
C2	7	170496.5386	58900.5919	C2	7	268808.1322	76242.6240
C3	7	105250.3927	58734.9227	C3	7	160419.5526	76811.8218
C4	5	189159.1113	79884.2958	C4	5	272848.7058	87207.2915
C5	3	281111.7379	74896.8752	C5	3	365689.4097	64969.1935
C6	2	287415.0344	66099.0380	C6	2	522760.1878	59604.0619
C7	4	906292.8785	83547.0874	C7	4	352412.3917	83679.7056
C8	2	589432.0827	57815.1972	C8	2	429263.7444	54457.3657
C9	3	425819.0924	65334.1758	C9	3	143223.7197	66126.8869
C10	5	224389.8679	80556.1382	C10	5	87993.7057	97607.2830
C11	7	110792.8435	104572.4598	C11	7	-	-
C12	7	351522.3378	104267.0883	C12	7	-	-
C13	1	770867.2805	39711.4980	C13	1	140890.0286	22237.0611

Tabla 5.5 Resultados de Rigideces en el eje H

RIGIDECES EN EJE H							
San Esteban estado original				San Esteban estado actual			
Punto	Nivel	Rigideces		Punto	Nivel	Rigideces	
		X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)			X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)
H1	1	283368.1560	40087.5623	H1	1	295608.4141	9727.1360
H2	3	831872.8129	66538.4803	H2	3	464733.2463	76855.5767
H3	2	229747.2761	45942.1689	H3	2	357859.9688	53725.9388
H4	4	619441.0857	65456.2430	H4	4	538270.8857	57594.1490
H5	3	506142.9862	47284.5184	H5	2	267005.3195	53494.5383
H6	2	588639.9776	54466.5063	H6	3	328037.2108	76827.3619
H7	1	1179210.8479	32348.2388	H7	1	667054.4813	22451.9651

Tabla 5.6 Resultados de Rigideces en el eje P

RIGIDECES EN EJE P							
San Esteban estado original				San Esteban estado actual			
Punto	Nivel	Rigideces		Punto	Nivel	Rigideces	
		X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)			X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)
P1	1	270637.9441	23530.3135	P1	1	432764.5510	22258.3851
P2	3	1327526.8214	36947.8695	P2	3	866517.9776	68950.6792
P3	2	312828.8262	31076.6838	P3	2	569165.9727	42660.6987
P4	4	375470.6462	41081.3855	P4	4	319733.1526	34197.4847
P5	3	13487339.7139	27803.4882	P5	2	317564.6001	41922.5923
P6	2	423166.7445	33274.5743	P6	3	515767.8882	54789.9253
P7	1	19055049.8609	18732.3667	P7	1	1159203.1325	12407.5403

5.1.5 Análisis de los resultados obtenidos de los desplazamientos al hacer la simulación proyectada.

Los cuadros de desplazamientos presentados en el anexo 7, muestran que el sistema estructural de la Iglesia San Esteban, en su estado original y su estado actual, al evaluar ambos modelos para los dos casos, y diferentes de combinaciones de carga, el primero con

cargas muertas y vivas (MV) y el segundo con cargas muertas, vivas y de sismo (MVS). Para los dos casos, los desplazamientos, sobre todo en el eje Y, los desplazamientos principales se dan en los puntos más elevados en los ejes B y C, alcanzando valores de desplazamientos relativos para el estado original en condiciones de carga MV y MVS de 110.00 cm y 125.00 cm respectivamente, y para el estado actual de la iglesia en las mismas condiciones de carga MV y MVS desplazamientos de 74.00 cm y 73.00 cm respectivamente. Estos datos concuerdan con las rigideces relativas y las rigideces reales, las cuales disminuyen entre el modelo en estado original y el estado actual, ocasionado principalmente por la falta de la torre sur de la iglesia.

Los desplazamientos relativos de los ejes de la iglesia en el eje Y aumentan mientras más se aleja el eje de las torres de la iglesia, la parte más rígida de toda la estructura. Dando como resultado que el Eje P, la parte posterior de la nave que compone la iglesia, tiene desplazamientos según el análisis estructural de hasta 160 cm en el modelo original y 98 cm en el modelo actual, que es congruente con la disminución de las rigideces, que disminuyen desde 41081.3855 Kgf/cm hasta el orden de 34197.4847 Kgf/cm. Por lo tanto, la culata de la estructura de la iglesia es la parte más inestable de todo el sistema reticular de entramados de madera, donde la inestabilidad va aumentando en cada eje a medida este se aleja de las torres, la parte más rígida de toda la estructura. Por lo tanto, por las rigideces y los desplazamientos obtenidos del análisis estructural asistido por ordenador, y por las medidas y observaciones de la inspección visual, se llega a que la culata de la estructura está desprendida, lo cual provoca el retorcimiento y deformación que presenta en la actualidad la Iglesia San Esteban.

Los movimientos sísmicos, las cargas vivas y muertas han deformado la estructura, llevándola hasta un punto de “inestabilidad relativamente moderada” donde todos los

elementos se han acomodado hasta llegar a un punto de equilibrio inestable. La holgura de los conectores corresponde a la holgura de los desplazamientos de los subsistemas, por lo que el sistema total es un módulo acomodado al aplastamiento de los conectores, por lo tanto todo el sistema depende del estado de los conectores.

**Capítulo VI: Conclusiones y  
recomendaciones.**

## 6.1 Consideraciones.

- En la síntesis histórica de El Salvador se hace referencia a los asentamientos poblacionales y construcciones del país, historia del desarrollo humano y de las edificaciones del país. El periodo de historia es desde el año 1500 a.c hasta finales del siglo XX, en este periodo la evidencia arqueológica fue descubierta en Cara Sucia, Ahuachapán, pertenecientes a grupos étnicos primitivos o indígenas, teniendo un desarrollo hasta antes de la colonización (Comienzos del siglo XVI d.c) y dejando construcciones como el Tazumal y cacicazgos (hoy ciudades) como Izalco, Cuscatlán. La conquista española empezó en 1522, incorporando el territorio al imperio español a la fuerza y convertido en colonia, esto conllevó al fin de una época de doblamiento indígena que había durado varios milenios de años.
- Las bases técnicas propuestas en este trabajo de graduación para la metodología de la restauración de sistemas estructurales en los monumentos históricos de El Salvador son la evaluación y el diagnóstico de la situación del monumento en estudio, por medio de inspecciones visuales y levantamientos de daños clasificando y tipificando los daños existentes, siendo estos daños físicos, mecánicos y de carácter biológicos.
- La metodología para la restauración del sistema estructural de monumentos o inmuebles históricos comienza por la identificación del monumento histórico, en

conjunto con la recolección e investigación de los antecedentes y descripciones técnicas del monumento o inmueble. Seguido de una inspección visual y de la identificación y tipificación de los elementos que componen los sistemas y subsistemas del sistema estructural del monumento. El levantamiento de daños de estos elementos conlleva a un diagnóstico mediante mediciones métricas y pruebas y sondeos. Teniendo las mediciones métricas y los resultados de las pruebas se realiza un estudio y un análisis estructural para proponer un plan de ejecución del proyecto de restauración estructural del monumento o inmueble histórico.

- El modelo realizado mediante el software ETABS 9.5 es preciso y cercano a la realidad. El análisis estructural del sistema estructural de la iglesia San Esteban permite proyectar la respuesta del sistema ante un evento sísmico tipo. Las deformaciones obtenidas mediante el análisis no son reales pero si son proyecciones bastante precisas del comportamiento de la iglesia, parcial y de conjunto de acuerdo con la simulación que hace el programa.
- El análisis por ordenador de los ejes C, H y P, ejes más significativos de la estructura de la Iglesia San Esteban, mediante el uso del software ETABS 9.5, la simulación muestra que el sistema estructural puede llegar a alcanzar deformaciones que superan valores de 100 cm, y aún así permanecer erguida, por lo tanto, la estructura ha alcanzado un grado de “equilibrio inestable”.

## 6.2 Conclusiones.

- El trabajo de graduación Metodología para Restauración de Sistema Estructural de Monumentos o Inmuebles Históricos del Patrimonio Cultural de El Salvador es importante. En el país no hay metodologías para restauración de sistemas estructurales de monumentos. En el caso de aplicación de la iglesia San Esteban se aplicó una metodología propuesta que incluye el análisis estructural y cómo se debe de hacer la restauración.
- La metodología propuesta para la restauración estructural de monumentos o inmuebles históricos del patrimonio cultural en El Salvador se estructura desarrollando los siguientes pasos: Antecedentes completos y confiables del monumento o inmueble histórico. Inspección visual detallada de todos los sistemas estructurales del monumento. Levantamiento de daños en el sistema estructural y subsistemas del monumento o inmueble histórico, realización de pruebas métricas y sondeos. Diagnóstico, a partir de los resultados de las etapas anteriores. Los análisis de los resultados y su diagnóstico, sirven para que se haga la propuesta del proyecto de restauración estructural.
- Es fundamental la inspección visual a través de una observación acuciosa, donde las fundaciones de la iglesia San Esteban, por ejemplo, se observan que están debilitadas, por exceso de humedad por ser bien superficiales, pilares que son base de la estructura de madera de la iglesia, se encuentran podridos y grietas en diferentes partes del murete perimetral que posee la iglesia. Se llega a que el método de restauración de este sistema de fundaciones es con la recimentación de estas

fundaciones e impermeabilización para evitar humedad infiltrada y efectos dañinos del drenaje.

- Para la aplicación de la metodología de restauración del sistema estructural de monumentos o inmuebles del patrimonio cultural, por ejemplo en la Iglesia San Esteban, en San Salvador, se aplica el programa ETABS 9.5 con ayuda del ordenador con lo que se modela, simule y estiman valores de fuerza en elementos y desplazamientos de nudos, es decir el sistema estructural del edificio en condiciones extremas de cargas de sometimiento, con lo cual se llega a que esta edificación puede alcanzar los 109.35 cm de desplazamiento en la dirección Y y 13.65 cm en la dirección X antes del colapso. Indicando así su potencial de gran inestabilidad como se estimó al inicio en forma cualitativa durante la inspección visual y las condiciones que actualmente tiene de apuntalamiento y relativa conservación para estabilidad

### **6.3 Recomendaciones.**

- Llevar a cabo investigaciones tomando como base el tema presentado en este trabajo de graduación, la metodología expuesta es una metodología general pero cada tipo de monumento e inmueble histórico tiene sus propias particularidades, por lo que es importante tener una metodología específica para cada uno de los tipos de monumentos e inmuebles históricos para así preservar el patrimonio histórico de El Salvador.
- Actualizar la base de datos de CONCULTURA, ya que la mayoría de información con la que cuenta sobre cada uno de los monumentos e inmuebles históricos del patrimonio cultural de complementándola.
- Recopilar de información para la elaboración de la carpeta técnica de cada uno de los monumentos e inmuebles históricos.
- Realizar un trabajo de graduación definiendo una metodología para el diagnóstico de los diferentes tipos de sistemas estructurales que hay en monumentos o inmuebles históricos.
- Comenzar la restauración de la iglesia San Esteban, partiendo desde la culata, puesto que es la zona más inestable de la estructura, el lugar donde está más comprometida la rigidez de los elementos, y al comenzar a intervenir desde la culata hacia las torres, se garantiza que en ningún momento la estabilidad del sistema estructural estará en riesgo, y ayudará al reacomodamiento automático de los

entramados, al desplazar el centro de rigideces cada vez más cerca al centro de masa de la estructura.

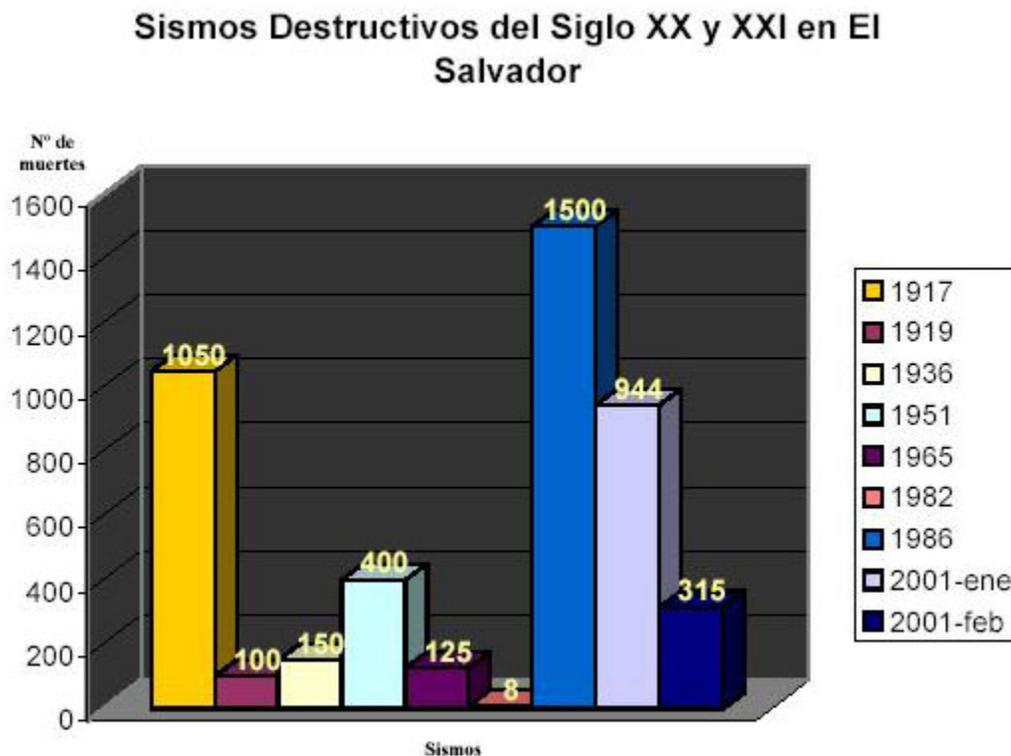
- Organizar cuadrillas para limpieza periódica de la iglesia San Esteban en conjunto con unidades de salud y escuelas aledañas, ofreciendo horas sociales a cambio. El deterioro en los materiales constructivos se debe principalmente al poco mantenimiento que la estructura ha recibido. Por lo cual, una limpieza y aseo regular es imprescindible para el buen funcionamiento y estado de la iglesia San Esteban.

## 6.4 Bibliografía

- Feilden, Sir Bernard M. 1987. Entre Dos Terremotos: Centro Internacional para el Estudio de la Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural, y Los Ángeles. Getty Conservation Institute.
- Cañas Dinarte, Carlos/El Diario de Hoy. El Salvador: cronología de una tierra danzarina.
- Barba Jacob, Porfirio. 1999. El terremoto de San Salvador.1ª edición. CONCULTURA. Colección Trigueros de León N° 1 S.S.
- Tesis “Reseña histórica evaluación de daños en estructuras construidas de diferentes sistemas estructurales afectados por sismos en El Salvador”, Universidad Politécnica de El Salvador, 2007.
- Guía de patologías constructivas estructurales y no estructurales. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Junio 2004.
- Manual “La construcción de viviendas de madera”. Corporación Chilena de la madera, CORMA
- Ingeniería Estructural de los edificios históricos  
Arq. Roberto Meli, Primera Edición, Fundación ICA.
- Páginas web.  
⇒ [www.linksbooks.net](http://www.linksbooks.net), Enciclopedia Broto de patologías de La construcción.

# **Anexos**

**Anexo 1 Gráfico comparativo de sismos destructivos del Siglo XX y XXI en El Salvador**



Ranking	Fecha	Magnitud	Pérdidas humanas	Lugar impactado
1	10.10.1986	5.4	1500	San Salvador
2	07.06.1917	6.7	1050	San Salvador
3	13.01.2001	7.6	944	Territorio Nacional
4	06.05.1951	6.2	400	Jucuapa-Chinameca
5	13.02.2001	6.6	315	Zona Paracentral - San Vicente, Cuscatlán, La Paz, Usulután, Cabañas
6	20.12.1936	6.1	100-200	San Vicente
7	03.05.1965	6.0	125	San Salvador
8	28.04.1919	5.9	100	Zona Central - San Salvador, La Paz, La Libertad
9	19.06.1982	7.0	8	Territorio Nacional

Ranking de los sismos más significativos en el siglo XX

## Anexo 2 Algunos monumentos nacionales

MONUMENTOS NACIONALES							
Nominación	Ubicación	Datos legales					Ficha
		Decreto legislativo	Fecha	Diario oficial	Tomo	Fecha	
Monumento nacional al general don francisco menéndez	Ahuachapán, depto. De ahuachapan	Sin n°	07/04/13	87	74	14/04/13	Mn0001
Monumento nacional la estatua para perpetuar la memoria del esclarecido ciudadano doctor antonio rosales	San miguel, depto. De san miguel	A.e.	21/06/19	145	86	27/06/19	Mn0002
Monumento nacional el sepulcro en que se guardan los restos del general don francisco menéndez	San salvador, depto. De san salvador	116 47	08/07/30 29/08/40	155 198	109 129	11/07/30 03/09/40	Mn0003
Monumento nacional la tumba del general nicolás angulo	Santa tecla, depto. De la libertad	138	20/08/30	207	109	17/09/30	Mn0004
Monumento nacional la tumba del general indalecio miranda	San vicente, depto. De san vicente	138	20/08/30	207	109	17/09/30	Mn0005
Monumento nacional el campanario	San salvador, depto. De san salvador	172	19/09/30	215	109	26/09/30	Mn0006

de la iglesia de la merced							
Monumento nacional y por consiguiente al cuidado de la república la tumba del doctor antonio ruiz	San sebastián, depto. De san vicente	282	10/12/47	01	144	05/01/48	Mn0007
Monumento nacional y por consiguiente al cuidado de la república la tumba del doctor jesús velasco	Sensuntepeque, depto. De cabañas	282	10/12/47	01	144	05/01/48	Mn0008
Monumento nacional de la república la tumba en que reposan los restos mortales del sabio profesor don jorge lardé	San salvador, depto. De san salvador	100	30/06/48	149	145	10/07/48	Mn0009
Monumento nacional la tumba del esclarecido escritor y maestro alberto masferrer	San salvador, depto. De san salvador	269 2526	30/08/49 22/11/57	190 233	147 177	31/08/49 10/12/57	Mn0010
Monumento nacional la iglesia de "el pilar" de la ciudad de san vicente	San vicente, depto. De san vicente	968	19/02/53	48	158	11/03/53	Mn0011

Monumento nacional la iglesia parroquial de la ciudad de metapán	Metapan, depto. De santa ana	1053	05/06/53	111	159	19/06/53	Mn0012
Monumento nacional el cerro del campanario	San pedro perulapan, depto. De cuscatlan	2325	28/01/57	31	174	14/02/57	Mn0013
Monumento nacional al capitán general gerardo barrios	San salvador, depto. De san salvador	304	04/06/65	110	207	16/06/65	Mn0014
Monumento nacional la tumba del capitán general gerardo barrios en el cementerio general	San salvador, depto. De san salvador	304	04/06/65	110	207	16/06/65	Mn0015

MONUMENTOS NACIONALES							
Nominación	Ubicación	Datos legales					Ficha
		Decreto legislativo	Fecha	Diario oficial	Tomo	Fecha	
Monumento nacional la gruta de corinto, conocida también como: "gruta del espíritu santo"	Corinto, depto. De morazan	25	29/06/72	129	236	12/07/72	Mn0016
Monumento nacional el templo	Panchimalco, depto. De san	209	27/02/75	55	246	20/03/75	Mn0017

católico de la población de panchimalco	salvador						
Monumento nacional el templo católico de la población de san juan talpa	San juan talpa, depto. De la paz	457	15/02/78	45	258	06/03/78	Mn0018
Monumento nacional el templo católico de la ciudad de san pedro nonualco	San pedro nonualco, depto. De la paz	522	04/05/78	93	259	22/05/78	Mn0019
Monumento nacional el templo católico de la población de santa maría ostuma	Santa María ostuma, depto. De la paz	521	04/05/78	93	259	22/05/78	Mn0020
Monumento nacional el templo católico de la parroquia de santa lucía	Suchitoto, depto. De cuscatlan	537	25/05/78	114	259	20/06/78	Mn0021
Monumento nacional la iglesia conocida con el nombre de huizúcar	Huizucar, depto. De la libertad	19	25/07/78	155	260	23/08/78	Mn0022
Monumento nacional la iglesia conocida con el nombre de barrio de roma	Ciudad barrios, depto. De san miguel	19	25/07/78	155	260	23/08/78	Mn0023
Monumento nacional la iglesia conocida con	San salvador, depto. De san	19	25/07/78	155	260	23/08/78	Mn0024

el nombre de candelaria	salvador						
Monumento nacional las ruinas de la iglesia de tacuba	Tacuba, depto. De ahuachapan	19	25/07/78	155	260	23/08/78	Mn0025
Monumento nacional al teatro nacional de san salvador	San salvador, depto. De san salvador	132	16/02/79	59	262	26/03/79	Mn0026
Monumento nacional el edificio conocido con el nombre de "palacio nacional de el salvador"	San salvador, depto. De san salvador	316	10/07/80	130	268	10/07/80	Mn0027
Monumento nacional la alcaldía municipal de santa ana	Santa ana, depto. De santa ana	88	14/10/82	193	277	20/10/82	Mn0028
Monumento nacional el teatro nacional de santa ana	Santa ana, depto. De santa ana	88	14/10/82	193	277	20/10/82	Mn0029
Monumento nacional el parque kessels	Santa ana, depto. De santa ana	88 312	14/10/82 07/10/83	193 191	277 281	20/10/82 17/10/83	Mn0030

MONUMENTOS NACIONALES								
Nominación	Ubicación	Datos legales					Fecha	Ficha
		Decreto legislativo	Fecha	Diario oficial	Tomo	Fecha		

Monumento nacional el monumento al presbítero y doctor josé simeón cañas y villacorta	San salvador, depto. De san salvador	262	14/07/83	138	280	25/07/83	Mn0031
Monumento nacional la tumba donde se encuentran los restos mortales del connotado artista agustín pio barrios mangoré	San salvador, depto. De san salvador	85	04/07/85	150	288	14/08/85	Mn0032
Monumento nacional el edificio del instituto nacional "general francisco menéndez"	San salvador, depto. De san salvador	53	27/06/85	141	288	26/07/85	Mn0033
Monumento nacional el "arco duran"	Ahuachapan, depto. De ahuachapan	214	12/12/85	03	290	08/01/86	Mn0034
Monumento nacional "la iglesia parroquial de nuestra señora de la asunción"	Ahuachapan, depto. De ahuachapan	760	03/09/87	168	296	11/09/87	Mn0035
Monumento nacional la capilla de "la medalla milagrosa"	San miguel, depto. De san miguel	628	26/03/87	74	295	24/04/87	Mn0036
Monumento nacional toda la estructura física original del hospital rosales	San salvador, depto. De san salvador	166	10/01/89	20	302	30/01/89	Mn0037
Monumento nacional el sitio arqueológico joya de cerén	San juan opico, depto. De la libertad	320	31/08/89	219	305	27/11/89	Mn0038
Monumento nacional los restos de la estructura física	Izalco, depto. De sonsonate	576	13/09/90	262	309	16/11/90	Mn0039

de la iglesia de asunción de izalco							
Monumento nacional los restos de la estructura física de la iglesia de caluco	Izalco, depto. De sonsonate	576	13/09/90	262	309	16/11/90	Mn0040
Monumento nacional la casa donde vivió la familia barrientos en la ciudad de izalco	Izalco, depto. De sonsonate	78	10/10/91	231	313	09/12/91	Mn0041
Monumento nacional el teatro nacional de la ciudad de san miguel	San miguel, depto. De san miguel	71	25/09/91	216	313	19/09/91	Mn0042
Monumento nacional el templo de "santiago apóstol" de la ciudad de chalchuapa	Chalchuapa, depto. De santa ana	271	02/07/92	140	316	28/07/92	Mn0043
Monumento nacional la catedral de la ciudad de santa ana	Santa ana, depto. De santa ana	328	20/04/95	94	327	24/05/95	Mn0044
Monumento nacional, el edificio que ocupó la facultad de medicina de la universidad de el salvador, conocida como "la rotonda"	San salvador, depto. De san salvador	134	30/10/97	227	337	04/12/97	Mn0045
Monumento nacional iglesia parroquial san miguel arcángel de la ciudad de ilobasco	Ilobasco, depto. De cabañas	612	06/05/99	99	343	28/05/99	Mn0046

BIENES CULTURALES							
Nominación	Ubicación	Datos legales					Ficha
		Acuerdo ejecutivo	Fecha	Diario oficial	Tomo	Fecha	
Bien cultural el sitio arqueológico "cuscatlán"	Entre san marcos, depto. De san salvador y antiguo cuscatlán, depto. De la libertad	A.e. 5614	06/07/92	228	317	10/12/92	Bc0001
Bien cultural "la casa dueñas"	San salvador, depto. De san salvador.	A.e. 8326	21/09/92	228	317	10/12/92	Bc0002
Bien cultural la casona	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 4417	16/06/93	46	338	09/03/98	Bc0003
Bien cultural el sitio arqueológico tacuscalco "los cerritos"	Nahulingo, depto. De sonsonate	A.e. 15-0583	14/05/97	111	335	18/06/97	Bc0004
Bien cultural la casa de la cultura de zacatecoluca	Zacatecoluca, depto. De la paz	A.e. 16-0250	31/08/98	177	340	24/09/98	Bc0005
Bien cultural el sitio arqueológico "finca rosita"	Santa ana, depto. De santa ana	A.e. 16-0391	14/12/98	19	342	28/01/99	Bc0006
Bien cultural la iglesia santa catarina virgen y mártir de la ciudad de apopa	Apopa, depto. De san salvador	A.e. 16-0232	28/06/99	135	344	20/07/99	Bc0007

Bien cultural la alcaldía municipal de santa tecla	Santa tecla, depto. De la libertad	A.e. 16-0210	28/08/01	198	353	19/10/01	Bc0008
Bien cultural el museo de historia natural	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0009
Bien cultural el parque saburo hirao	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0010
Bien cultural el parque zoológico nacional	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0011

<b>BIENES CULTURALES</b>							
<b>Nominación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Datos legales</b>					<b>Ficha</b>
		<b>Acuerdo ejecutivo</b>	<b>Fecha</b>	<b>Diario oficial</b>	<b>Tomo</b>	<b>Fecha</b>	
Bien cultural el círculo estudiantil conocido como “el polvorín”	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0012
Bien cultural el velódromo	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0013
Bien cultural la colonia minerva	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0014
Bien cultural la colonia nicaragua	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0015
Bien cultural la ex-casa presidencial	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0016
Bien cultural el parque felipe soto	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0017
Bien cultural el parque juan josé	San salvador, depto. De san	A.e.	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0018

cañas	salvador	16-0286					
Bien cultural el parque miguel de cervantes y saavedra	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0019
Bien cultural el cuartel el zapote	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0020
Bien cultural el núcleo urbano pasaje 10 de mayo	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0021
Bien cultural el parque venustiano carranza	San salvador, depto. De san salvador	A.e. 16-0286	07/01/03	24	358	06/02/03	Bc0022
Bien cultural el inmueble ubicado en segunda avenida norte número uno - cuatro de la ciudad de ahuachapán	Ahuachapán, depto. De ahuachapán	A.e. 16-0141	27/09/05	185	369	06/10/05	Bc0023

<b>MONUMENTOS HISTÓRICOS NACIONALES</b>							
<b>Nominación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Datos legales</b>					<b>Ficha</b>
		<b>Decreto legislativo</b>	<b>Fecha</b>	<b>Diario oficial</b>	<b>Tomo</b>	<b>Fecha</b>	
Monumento histórico nacional el cerro denominado "tazumal"	Chalchuapa, depto. De santa ana	133	22/05/47	115	142	29/05/47	Mh0001
Monumento histórico nacional el salón azul del palacio nacional	San salvador, depto. De san salvador	165	03/12/74	238	245	19/12/74	Mh0002

Monumento histórico nacional el árbol de tempisque y el sitio donde fue fundada la ciudad de san vicente	San vicente, depto. De san vicente	83	26/04/84	82	283	03/05/84	Mh0003
--	------------------------------------	----	----------	----	-----	----------	--------

MONUMENTOS ARQUEOLÓGICOS							
Nominación	Ubicación	Datos legales					Ficha
		Decreto legislativo	Fecha	Diario oficial	Tomo	Fecha	
Monumento arqueologico nacional de cara sucia	San francisco menéndez, depto. De ahuachapan	508	06/05/76	95	251	24/05/76	Ma0001
Monumento arqueologico nacional de casa blanca	Chalchuapa, depto. De santa ana	508	06/05/76	95	251	24/05/76	Ma0002
Monumento arqueologico nacional de el trapiche	Chalchuapa, depto. De santa ana	508	06/05/76	95	251	24/05/76	Ma0003
Monumento arqueologico nacional de san andres	Ciudad arce, depto. De la libertad	508	06/05/76	95	251	24/05/76	Ma0004
Monumento arqueologico nacional de cihuatlan	Aguilares, depto. De san salvador	508	06/05/76	95	251	24/05/76	Ma0005
Monumento arqueologico nacional de tehuacan	Tecoluca, depto. De san vicente	508	06/05/76	95	251	24/05/76	Ma0006
Monumento arqueologico	Quelepa, depto. De	508	06/05/76	95	251	24/05/76	Ma0007

nacional	de	san miguel						
quelepa								

CONJUNTOS HISTÓRICOS							
Nominación	Ubicación	Datos legales					Ficha
		Decreto legislativo	Fecha	Diario oficial	Tomo	Fecha	
Conjunto histórico de interés cultural la ciudad de suchitoto	Suchitoto, depto. De cuscatlan	1028	24/04/97	88	335	16/05/97	Ch0001

LUGARES HISTÓRICOS							
Nominación	Ubicación	Datos legales					Ficha
		Decreto legislativo	Fecha	Diario oficial	Tomo	Fecha	
Lugar historico de la republica el sitio donde se esta construyendo el nuevo templo de el rosario de la ciudad de san salvador	San salvador, depto. De san salvador	38	13/07/72	141	236	28/07/72	Lh0001
Lugar historico el cuartel que alberga actualmente al cuerpo de bomberos conocido	San salvador, depto. De san salvador	57	13/08/74	158	244	28/08/74	Lh0002

como sexto regimiento								
Lugar historico el redondel o parque de san miguelito	San salvador, depto. De san salvador	57	13/08/74	158	244	28/08/74	Lh0003	
Lugar historico el monumento levantado en la ciudad de ahuachapan, cerca del lugar denominado cinco calles, en memoria de la jornada del 12 de diciembre de 1944	Ahuachapán, depto. De ahuachapan	57	13/08/74	158	244	28/08/74	Lh0004	
Lugar historico de la republica, el cerro tacuazin o cerro del indio aquino	Santiago nonualco, depto. De la paz	520	04/05/78	93	259	22/05/78	Lh0005	

SITIOS HISTÓRICOS NACIONALES								
Nominación	Ubicación	Datos legales					Fecha	Ficha
		Decreto legislativo	Fecha	Diario oficial	Tomo	Fecha		
Sitio histórico nacional el lugar conocido como ciudad vieja	Suchitoto, depto. De cuscatlan	308	08/07/75	133	248	18/07/75	Sh0001	

Sitio histórico nacional el lugar donde estaba ubicada la casa en que vivió el general tomás de jesús regalado	Santa ana, depto. De santa ana	88	14/10/82	193	277	20/10/82	Sh0002
		211	12/05/83	90	279	17/05/83	
Sitio histórico el inmueble de naturaleza urbana, por haber nacido en él la poetisa claudia lars	Armenia, depto. De sonsonate	185	11/12/97	240	337	23/12/97	Sh0003

### **Anexo 3 Otros sistemas estructurales modernos**

#### **Tipo I: Sistema de Marcos**

Consiste en un sistema de marcos espaciales, esencialmente completos no arriostrados, que resisten todas las cargas tanto verticales como sísmicas.

#### **Tipo II: Sistema de Paredes Estructurales**

En este sistema las cargas verticales son llevadas por marcos no arriostrados espaciales esencialmente completos y las sísmicas son resistidas por paredes o marcos arriostrados.

#### **Tipo III: Sistema Dual**

Es un sistema estructural que combina marcos espaciales no arriostrados resistentes a momentos, que resisten las cargas verticales y parte de las cargas sísmicas, con paredes estructurales o marcos arriostrados, de acuerdo a los sistemas siguientes:

1. Los marcos y paredes estructurales o marcos arriostrados resisten la totalidad de las cargas sísmicas de acuerdo a sus rigideces relativas considerando la interacción entre las paredes estructurales y los marcos.
2. Los marcos resistentes a momentos deben ser capaces de resistir al menos un 25% de las cargas sísmicas.

#### **Tipo IV: Sistema de Muro de Carga**

Es un sistema estructural donde los muros de carga proveen soporte para todas o casi todas las cargas verticales y marcos arriostrados o paredes estructurales proveen la resistencia sísmica.

### **Tipo V: Sistemas Aislados**

Tanques elevados, chimeneas y todas aquellas construcciones que sean soportadas por una sola columna, una hilera de columnas orientadas perpendicularmente a la dirección de análisis, o cuyas columnas o muros no estén ligados en el techo y en el piso por elementos de suficiente rigidez y resistencia, para una adecuada distribución de las fuerzas horizontales entre elementos de distinta flexibilidad.

En la presente clasificación se entiende que una estructura puede pertenecer a uno de los tipos en una dirección de análisis y a otro distinto en dirección perpendicular a la primera.

En edificaciones históricas con valor cultural y monumentos según los sistemas constructivos utilizados adobe, bajareque, madera y lámina, respecto a los sistemas estructurales se pueden homologar con los de muros cargantes.

**Anexo 4: Formatos de inspección visual practicada en la iglesia San Esteban**

<b>INSPECCION VISUAL</b>		
<p>Fecha: Enero 2009          Elementos observados: Coro y torres del campanario          Sistema Estructural: paredes y pisos (entramados)          Materiales: Madera, lamina, pernos y clavos          Condiciones: Bueno _____ Regular _____ Malo <u>X</u>          Daños: Poco/nada _____ Algunos _____ Muchos <u>X</u></p>		
		
<p>Descripción de la Inspección visual</p>		
<p>El coro esta con daños severos por degradación de la madera, se encuentran capas hasta de 5 cm de guano, mayormente de palomas, las escaleras del piso de la nave al coro están severamente dañadas, los entramados horizontales, que son los que hacen el piso del coro también tienen daños de putrefacción, hay madera desaparecida, los entramados verticales también tiene capas de guano, pero estos no han sido severamente afectados, ya que las capas de guano no se aculan por estar en posición vertical los elementos del entramado verticales, como columnas, y diagonales.</p>		

## INSPECCION VISUAL

Fecha: Enero 2009  
Elementos observados: Fachada Principal  
Sistema Estructural: Paredes  
Materiales: Madera, lamina, cemento, ladrillo de barro  
Condiciones: Bueno \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Malo X  
Daños: Poco/nada \_\_\_ Algunos \_\_\_ Muchos X



### Descripción de la Inspección visual

La torre derecha de los campanarios desapareció y la torre izquierda está con daños severos y se observa con la vista que tiene desplome hacia la derecha, le falta una columna a la izquierda de la puerta principal, hay desprendimientos de piezas de madera en las columnas circulares, y rectangulares de la fachada, pandeo de forros de madera de las columnas, hundimiento de piso en la zona de las pilastras, desprendimientos de ladrillos de barro en las pilastras, deterioro de las láminas por oxidación y corrosión.

## INSPECCION VISUAL

Fecha: Enero 2009  
Elementos observados: Elevación lateral sur  
Sistema Estructural: Paredes  
Materiales: Madera, lamina, cemento, ladrillo de barro  
Condiciones: Bueno \_\_\_\_ Regular X Malo \_\_\_\_  
Daños: Poco/nada\_\_ Algunos \_\_\_\_ Muchos X



### Descripción de la Inspección visual

Se observa corrosión y oxidación en la mayoría de las laminas del lateral sur de la iglesia, la madera de las cornisas y fascia están con severos daños de degradación, le falta una torre del campanario, el muro de mampostería lateral está dañado con fracturas, fisuras y grietas, en donde se alojan plantas y permite la filtración de humedad, las bajadas de aguas lluvias y canales están destruidos. También no se observa que en el patio no tiene un sistema de drenaje, solo una canaleta antigua que está destruida casi en su totalidad, también los canales laterales están destruidos y tuberías de bajadas de agua lluvia, desaparecidas unas y otras totalmente dañadas.

## INSPECCION VISUAL

Fecha: Enero 2009  
Elementos observados: Elevación lateral norte  
Sistema Estructural: Paredes  
Materiales: Madera, lamina, cemento, ladrillo de barro  
Condiciones: Bueno \_\_\_ Regular X Malo \_\_\_  
Daños: Poco/nada \_\_\_ Algunos X Muchos \_\_\_



### Descripción de la Inspección visual

Se observa corrosión y oxidación en la mayoría de las laminas del lateral norte de la iglesia, la madera de las cornisas y fascia están con severos daños de degradación, la cornisa que escondía el canal para las aguas lluvia está destruido, una de las torres del campanario se evidencia que tiene desplome y le falta un nivel, también las laminas del campanario no las originales, el muro de mampostería lateral de altura variable casi quedo cubierto por la realización de la plaza san esteban elaborada en abril/2009.

## INSPECCION VISUAL

Fecha: Enero 2009  
Elementos observados: Fachada Trasera  
Sistema Estructural: Paredes  
Materiales: ladrillo de barro, hierro, mezcla de cemento  
Condiciones: Bueno \_\_\_\_\_ Regular \_\_\_\_\_ Malo X  
Daños: Poco/nada \_\_\_ Algunos \_\_\_ Muchos X



### Descripción de la Inspección visual

Aproximadamente la mitad de la pared en altura está destruida, quedando solo las soleras y nervaduras a la vista, la parte inferior de la pared está completamente dañada, con grietas en diagonales por toda la longitud de esta, la pared se sostiene en unas columnas en la parte de atrás de la iglesia, que es un taller automotriz llamado abarca, razón por la cual no se destruido completamente la pared de la fachada posterior de la iglesia.

## INSPECCION VISUAL

Fecha: Enero 2009  
Elementos observados: Tijeras o cerchas del techo  
Sistema Estructural: Estructura de techo  
Materiales: Madera  
Condiciones: Bueno \_\_\_ Regular X Malo \_\_\_  
Daños: Poco/nada\_\_\_ Algunos X Muchos \_\_\_



### Descripción de la Inspección visual

Las primeras 8 tijeras de estructura de techo fueron cambiadas entre los años 2000 y 2001, por cual están en buenas condiciones, pero se cambio la forma a las anteriores que eran cerchas queen post, las tijeras restantes no se pueden observar a simple vista pero por tener la lamina de techo muchos agujeros por corrosión se puede decir que están dañadas por humedad.

## INSPECCION VISUAL

Fecha: Enero 2009  
Elementos observados: Nave Principal (interiores)  
Sistema Estructural: Columnas y Paredes  
Materiales: Madera, lamina, cemento, ladrillo de barro  
Condiciones: Bueno \_\_\_ Regular X Malo \_\_\_  
Daños: Poco/nada\_\_\_ Algunos X Muchos \_\_\_



### Descripción de la Inspección visual

Hay apuntalamientos provisionales en todas las columnas, laminas con corrosión y oxidación, laminas desprendidas, madera de entramados para forrar con lamina degradada, quebrada y desaparecida en unos tramos por el altar mayor, hundimientos moderados en piso, pedestales de las columnas dañados, piezas de cielo falso desprendidos y la mitad de la nave es utilizada como bodega lo que perjudica ver más detalles en algunos sitios.

**Anexo 5. Formato para el diagnóstico y evaluación de sistemas y subsistemas estructurales.**

<b>CUADRO DE IDENTIFICACION DE DAÑOS</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>Elevación principal, fachada</b>		<b>GRADO DE DAÑO</b>	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Al poniente perpendicular a 6ª calle oriente</b>		Levemente Dañado	LD
<b>MATERIAL</b>	<b>Madera, lamina troquelada lisa, herrería, ladrillos de barro</b>			
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>	<b>Los pedestales de columnas y pilastras son de ladrillos de barro colocados en trincheras, las bases que fueron moldeadas creando esa forma de gradas también se han colocado los ladrillos en trincheras todo con repello.</b>			
			Moderadamente Dañado	MD
			Severamente Dañado	SD
<b>TIPO DE DAÑO</b>	<b>GRADO DE DAÑO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	
Corrosión superficial	LD	Daño químico	Es el producto de agentes químicos y externos: lluvia y viento que producen el oxido férrico desgastando la capa del galván	
Pandeo	MD	Mecánico	Se producen como consecuencia de esfuerzos de compresión que sobrepasa la capacidad de deformación	
Putrefacción	SD	Daños físicos	Por la humedad y desechos orgánicos de aves	
Faltantes	MD	Hombres	Piezas que han sido quitadas o desprendidas por un agente externo o humano	

<b>CUADRO DE IDENTIFICACION DE DAÑOS</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>Paredes</b>		<b>GRADO DE DAÑO</b>	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Costado norte</b>		Levemente Dañado	LD
<b>MATERIAL</b>	<b>Madera, lamina</b>			
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>				
Las paredes son entramadas de madera con lamina galvanizada puestas en forma vertical, con traslapes de 2 cm. Horizontal y verticalmente. Las columnas de madera son piezas sobre puestas como las pilastras, cornizo y molduras			Moderadamente Dañado	MD
			Severamente Dañado	SD
<b>TIPO DE DAÑO</b>	<b>GRADO DE DAÑO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	
Fisuras	LD	mecánico	Por falta de adherencia por una junta cuando se produce un movimiento que no puede resistir	
Grietas	MD	mecánico	Por excesos de carga y falta de dilatación en fachadas y cubiertas	
Erosión	LD	Físico	Perdida o transformación del material producido por la acción física de los agentes atmosféricos	
Desintegración	SQ	Físico QQ	Debido a humedades, plagas de insectos que se alimentan de las células, aves que hacen sus nidos	

<b>CUADRO DE IDENTIFICACION DE DAÑOS</b>				
<b>ELEMENTO</b>	<b>Coro y campanario</b>		<b>GRADO DE DAÑO</b>	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Segundo nivel</b>		Levemente Dañado	LD
<b>MATERIAL</b>	<b>Madera</b>			
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>			Moderadamente Dañado	MD
Las paredes son hechas con un entramado de madera, el entrepiso es hecho de viguetas de madera que conforman un entramado horizontal posee un barandal enriquecido con balaustradas planas			Severamente Dañado	SD
<b>TIPO DE DAÑO</b>	<b>GRADO DE DAÑO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	
Desintegración	SD	Daños físicos y químicos	Debido a humedades, plagas de insectos que se alimentan de celulosa, aves que hacen sus nidos	
Fracturas	SD	Daños mecánicos , físicos	Por la edad que posee la madera, los ataques de insectos y aves, la resistencia ha disminuido y con la carga de la estructura ha fallado también por sismos	
Putrefacción	SD	Daños Físicos	Por la humedad y desechos orgánicos de aves	
Faltantes	SD	Hombres	Piezas que han sido quitadas o desprendidas por un agente externo o humano	

<b>CUADRO DE IDENTIFICACION DE DAÑOS</b>				
<b>ELEMENTO</b>	Estructura de campanario		<b>GRADO DE DAÑO</b>	
<b>UBICACIÓN</b>	Campanario		Levemente Dañado	LD
<b>MATERIAL</b>	Madera			
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>				
Estructura de madera, elementos verticales llamados “pilares” y elementos rigidizantes llamados “regla de obra” que forman un cilindro donde se eleva la torre del campanario.			Moderadamente Dañado	MD
			Severamente Dañado	SD
<b>TIPO DE DAÑO</b>	<b>GRADO DE DAÑO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	
Desintegración	SD	Biológico	Debido a humedades, plagas de insectos que se alimentan de celulosa, aves que hacen sus nidos	
fractura	SD	Mecánico	Por la edad que posee la madera, los ataques de insectos y aves, la resistencia ha disminuido y con la carga de la estructura ha fallado también por sismos	
Desajuste	LD	Mecánico	Falla en los ensambles provocados por movimientos sísmicos	

<b>CUADRO DE IDENTIFICACION DE DAÑOS</b>			
<b>ELEMENTO</b>	Columnas interiores		<b>GRADO DE DAÑO</b>
<b>UBICACIÓN</b>	Nave principal		Levemente Dañado
<b>MATERIAL</b>	Ladrillo de barro, madera y lamina		
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>			LD
Base cuadrada de ladrillo de barro, repellados, el elemento vertical es un pilar o sección de árbol forrado en forma cuadrada con lamina troquelada			Moderadamente Dañado
			Severamente Dañado
<b>TIPO DE DAÑO</b>	<b>GRADO DE DAÑO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DESCRIPCION</b>
Agujero	SD	Físico	Agujeros de forma irregular a causa de la mano del hombre que ha colocado clavos para sujetar imágenes
Faltante	SD	Mecánico	En las bases es el resultado de la falta de mantenimiento de daños como fractura, humedad, grietas, que mas movimientos sísmicos han provocado desprendimiento y perdida de materiales
Corrosión superficie	LD	Físico	Producto de la interperie sobre la superficie de la lamina desgastando la capa de protección

**CUADRO DE IDENTIFICACION DE DAÑOS**

ELEMENTO		Estructura de Techo		GRADO DE DAÑO	
UBICACIÓN		Naves y Coro			
MATERIAL		Madera			
SISTEMA CONSTRUCTIVO				Levemente Dañado	
				LD	
				Moderadamente Dañado	
				MD	
				Severamente Dañado	
				SD	
TIPO DE DAÑO	GRADO DE DAÑO	CAUSA	DESCRIPCION		
Desintegración	MD	Insectos	Los elementos de madera los consumidos por insectos lo que provoca el daño		
Putrefacción	MD	Humedad y M.A. y animales	La putrefacción se da por el efecto del intemperie y heces de animales		

**CUADRO DE IDENTIFICACION DE DAÑOS**

<b>ELEMENTO</b>	<b>Estructura del cielo falso</b>		<b>GRADO DE DAÑO</b>	
<b>UBICACIÓN</b>	<b>Cielo falso</b>		Levemente Dañado	LD
<b>MATERIAL</b>	<b>Madera</b>			
<b>SISTEMA CONSTRUCTIVO</b>				
Está formada por una cuadrícula de madera, que mide de eje a eje 60 centímetros para lámina LT-7. Para las restantes láminas la trama media se modula de acuerdo con las dimensiones de las láminas de cielo falso			Moderadamente Dañado	MD
			Severamente Dañado	SD
<b>TIPO DE DAÑO</b>	<b>GRADO DE DAÑO</b>	<b>CAUSA</b>	<b>DESCRIPCION</b>	
Desintegración	SD	Insectos intemperie	Daño debido a plagas de insectos (ejemplo: polillas y carcomas) y la humedad	
Faltante (elemento)	SD	Movimiento sísmico	Deterioro por la falta de mantenimiento de los diferentes daños por "movimientos sísmicos" por mano del hombre han provocado y perdida de materiales	

## **Anexo 6 Teoría de elementos finitos.**

Método de los Elementos Finitos (FEM) es una poderosa técnica originalmente desarrollada para soluciones numéricas de problemas complejos en Mecánica estructural, y sigue siendo el método de elección para sistemas complejos. En el FEM, el sistema estructural es modelado por un conjunto de elementos finitos apropiadamente interconectados en puntos llamados nodos. Los elementos deben de tener propiedades físicas tales como espesor, Coeficiente de dilatación, Densidad, Módulo de elasticidad, Módulo de cortante y Coeficiente de Poisson.

Propiedades de los elementos.

Elementos rectos o curvados unidimensionales con propiedades físicas tales como rigidez axial, doblado, y torsional. Este tipo de elemento es adaptable para modelar cables, tirantes, vigas, refuerzos, redes y marcos. Los elementos rectos usualmente tienen dos nodos, uno en cada extremo, mientras los elementos curvados necesitaran al menos tres nodos incluyendo los nodos extremos. Los elementos están posicionados en el eje Centroidal de los miembros actuales.

Elementos bidimensionales para acción de Membrana ( esfuerzo en el plano, Deformación) en el plano y/o acción de doblado (placas y cascarones). Ellos deben tener una variedad de formas tales como planas o curvadas Triángulos y Cuadriláteros. Los nodos son usualmente colocados en las esquinas de los elementos y, si es necesario para mayor precisión, nodos adicionales pueden ser colocados a lo largo de los filos de los elementos o incluso dentro de los elementos. Los elementos son posicionados a la mitad de la superficie del espesor actual de la capa.

Elementos en forma de Toro para problemas eje simétricos tales como delgados, placas gruesas, cascarones, y sólidos. La sección transversal de los elementos es similar a los tipos previamente descritos: unidimensional para placas delgadas y cascarones, y bidimensional para sólidos, y placas gruesas y cascarones.

Elementos tridimensionales para modelar sólidos en 3D tales como componentes de Máquina, Presas, Terraplén o masas sólidas. Formas de elementos comunes incluyen Tetraedros y hexahedros. Los nodos son colocados en los vértices y posiblemente en las caras de elementos o dentro del elemento.

Interconexión de elementos y desplazamientos.

Los elementos están interconectados sólo en los nodos exteriores, y ellos completamente deberían cubrir el dominio entero tan preciso como sea posible. Los nodos tendrán (vector) desplazamiento nodal o grados de libertad los cuales deben incluir traslaciones, rotaciones, y para aplicaciones especiales, Derivadas de alto orden de desplazamientos. Cuando los nodos se desplazan, ellos arrastrarán los elementos a lo largo en una cierta manera dictada por la formulación del elemento. En otras palabras, desplazamientos de algún punto en el elemento serán interpolados desde los desplazamientos nodales, y esta es la principal razón para la naturaleza aproximada de la solución.

Consideraciones prácticas.

Desde el punto de vista de la aplicación, es importante modelar el sistema tal que:

- Las condiciones de simetría o asimetría sean explotadas en disposición de reducir el tamaño del dominio.

- La compatibilidad de desplazamientos, incluyendo alguna discontinuidad requerida, es asegurada en los nodos, y preferiblemente, a lo largo del filo de los elementos también, particularmente cuando elementos adyacentes son de diferentes tipos, material o densidad. La compatibilidad de desplazamiento de muchos nodos puede ser usualmente impuesta mediante relaciones de restricción. Cuando tal característica no está disponible en el paquete de software, un modelo físico que impone las restricciones debe ser usado en su lugar.
- El comportamiento de los elementos captura las acciones dominantes del actual sistema, ambos local y globalmente.
- La malla de elementos es suficientemente fina en disposición de tener una precisión aceptable. Para evaluar la precisión, la malla es refinada hasta que los resultados importantes muestran pequeños cambios. Para mayor precisión, la Relación de aspecto de los elementos debería ser tan cercana a la unidad como sea posible, y pequeños elementos son usados sobre las partes de grandes Gradientes de esfuerzo.
- Restricciones adecuadas de soporte son impuestas, con especial atención, a nodos en ejes de simetría.

Paquetes de software comercial de gran escala usualmente proveen facilidades para generar la malla, salidas gráficas de entradas y salidas, los cuales grandemente facilitan la verificación de ambos datos de entrada e interpretación de resultados.

Visión general teórica de Formulación de Desplazamientos-FEM: Desde elementos a sistema a solución

La teoría de FEM puede ser representada en diferentes perspectivas o énfasis, su desarrollo para Análisis estructural siguiendo los más tradicionales enfoques mediante el principio de trabajo Virtual o el principio de energía potencial total mínima. El enfoque del principio de trabajo virtual es más general como es aplicable a ambos comportamientos de material lineal y no lineal.

El principio de desplazamientos virtuales para el sistema estructural expresando la identidad matemática de trabajo virtual interno y externo:

$$\text{Trabajo virtual externo} = \int_V \delta \epsilon^T \sigma dV \quad (\text{Ec. 1})$$

El trabajo virtual interno en el lado derecho de la ecuación superior debe ser encontrado sumando el trabajo virtual en los elementos individuales--Este es el paso crucial donde necesitaremos funciones de desplazamiento escrita sólo para los bastantes dominios pequeños que sobre el sistema completo. Como se muestra en las subsecuentes secciones, Eq. (1) lleva a las siguientes ecuaciones de equilibrio gobernando para el sistema:

$$R = Kr + R^o \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

R: vector de fuerzas nodales, representando fuerzas externas aplicadas a los nodos del sistema

r: vector de desplazamientos nodales del sistema, los cuales serán, por interpolación, desplazamientos de cedencia en algún punto de la malla de elementos finitos.

R<sup>o</sup>: vector de fuerzas nodales equivalentes, representando todos los efectos externos diferentes de las fuerzas nodales las cuales son todavía incluidas en el vector de fuerza nodal precedente R. Estos efectos externos deben incluir fuerzas

superficiales distribuidas o concentradas, fuerzas de cuerpo, efectos térmicos, esfuerzos iniciales y restricciones.

K: matriz de rigidez del sistema, la cual debe ser establecida por ensamblando las matrices de rigidez de los elementos  $K^e$

Una vez las restricciones en los soportes son representadas, los desplazamientos nodales son encontrados resolviendo el Sistema de ecuaciones lineales (2), simbólicamente:

$$r = K^{-1}(R - R^o) \quad (\text{Ec. 3})$$

Subsecuentemente, las restricciones y esfuerzos en elementos individuales debe ser encontrada como sigue:

$$\epsilon = Bq \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\sigma = E(\epsilon - \epsilon^0) + \sigma^0 = E(Bq - \epsilon^0) + \sigma^0 \quad (\text{Ec. 5})$$

donde:

q: vector de desplazamientos nodales de elementos--un subconjunto de los vectores de desplazamiento del sistema r que pertenecen a los elementos bajo consideración.

B: matriz de restricciones-desplazamientos que transforman los desplazamientos nodales q a restricciones en algún punto del elemento.

E: matriz de elasticidad que transforma restricciones efectivas a esfuerzos a algún punto en el elemento.

$\epsilon^0$ : vector de restricciones iniciales en el elemento.

$\sigma^0$ : vector esfuerzos iniciales en el elemento.

Aplicando el Trabajo virtual ecuación (1) al sistema, podemos establecer las matrices de elementos B,  $k^e$  así como la técnica de ensamblar las matrices del sistema  $R^0$  y K. Otras matrices tales como  $\epsilon^0$ ,  $\sigma^0$ , R y E pueden ser directamente creadas de los datos de entrada.

Interpolación o funciones de forma.

Permite a q ser el vector de desplazamientos nodales de un elemento típico. Los desplazamientos en algún punto del elemento deben ser encontrados por funciones de interpolación , simbólicamente:

$$U = Nq \quad (\text{Ec. 6})$$

donde:

U: de desplazamientos en algún punto {x,y,z} del elemento.

N: matriz de funciones forma actuando como funciones de interpolación .

La ecuación (6) da subida a otras cantidades de grandes intereses:

Desplazamientos virtuales consistentes con desplazamientos virtuales nodales:

$$\delta u = N\delta q \quad (\text{Ec. 6b})$$

Restricciones en los elementos:

$$\epsilon = Du = DNq \quad (\text{Ec. 7})$$

donde

D: matriz de operadores diferenciales que convierten desplazamientos a restricciones usando teoría de elasticidad lineal . Eq.(7) muestra que la matriz B en (4) es

$$B = DN \quad (\text{Ec. 8})$$

Restricciones virtuales consistentes con el desplazamiento nodal virtual de los elementos:

$$\delta\varepsilon = B\delta q \quad (\text{Ec. 9})$$

Trabajo virtual interno en un elemento típico.

Para un elemento típico de volumen  $V$ , el trabajo virtual interno debido a los desplazamientos virtuales es obtenido por sustitución de (5) y (9) dentro de (1):

$$\text{Trabajo virtual interno} = \int_{V^e} \delta\varepsilon^T \sigma dV^e = \delta q^T \int_{V^e} B^T \{E(Bq - \varepsilon^0) + \sigma^0\} dV^e \quad (\text{Ec. 10})$$

Matrices de Elementos.

Primeramente para la conveniencia de referencias, las siguientes matrices pertenecen a elementos típicos que deben ser definidos:

Matriz de rigidez de elementos:

$$k^e = \int_{V^e} B^T E B dV^e \quad (\text{Ec. 11})$$

Vector de carga de elemento equivalente

$$Q^{0e} = \int_{V^e} -B^T (E\epsilon^0 - \sigma^0) dV^e \quad (\text{Ec.12})$$

Estas matrices son usualmente evaluadas numéricamente usando la cuadratura gaussiana para integración numérica. Su uso simplifica (10) a lo siguiente:

$$\text{Trabajo virtual interno} = \delta q^T (k^e q + Q^{0e}) \quad (\text{Ec.13})$$

Trabajo virtual de elementos en términos de los desplazamientos nodales del sistema

Desde que el vector de desplazamientos nodales  $q$  es un sujeto del sistema de desplazamientos nodales  $r$  (para la compatibilidad con los elementos adyacentes), podemos reemplazar  $q$  con  $r$  expandiendo el tamaño de las matrices de elementos con nuevas columnas y filas de ceros:

$$\text{Trabajo virtual interno} = \delta q^T (k^e r + Q^{0e}) \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde, por simplicidad, usamos los mismos símbolos para las matrices de elementos, las cuales ahora han expandido su tamaño así como adecuadamente reordenado sus filas y columnas.

Trabajo virtual del sistema

Sumando los trabajos virtuales internos (14) para todos los elementos dados en el lado derecho de (1):

$$\text{Trabajo virtual interno} = \sum_e \delta q^T (k^e r + Q^{0e}) = \delta q^T (\sum_e k^e) r + \delta q^T \sum_e Q^{0e} \quad (\text{Ec. 15})$$

Considerando ahora el lado izquierdo de (1), el trabajo virtual externo del sistema consiste de:

El trabajo hecho por las fuerzas nodales:

$$R = \delta R^T R \quad (\text{Ec. 16})$$

El trabajo hecho por las fuerzas externas  $T^e$  en la parte  $S^e$  de los filamentos de los elementos o superficies, y por las fuerzas del cuerpo  $f^e$ :

$$\sum_e \int_{S^e} \delta u^T T^e dS^e + \sum_e \int_{V^e} \delta u^T f^e dV^e \quad (\text{Ec. 17})$$

La sustitución de (6b) da:

$$\delta q^T \sum_e \int_{S^e} N^T T^e dS^e + \delta q^T \sum_e \int_{V^e} N^T f^e dV^e$$

$$\text{O } -\delta q^T \sum_e (Q^{te} + Q^{fe}) \quad (\text{Ec. 17a})$$

Donde hemos introducido matrices de elementos adicionales definidas abajo:

$$Q^{te} = - \int_{S^e} N^T T^e dS^e \quad (\text{Ec. 18a})$$

$$Q^{fe} = - \int_{V^e} N^T f dV^e \quad (\text{Ec. 18b})$$

Otra vez, la Integración numérica es conveniente para su evaluación. Un reemplazo similar de  $q$  en (17a) con  $r$  dados, reordenando y expandiendo después los vectores  $Q^{te}$ ,  $Q^{fe}$  :

$$-\delta r^T \sum_e (Q^{te} + Q^{fe}) \quad (\text{Ec. 17b})$$

Ensamblaje de matrices de sistemas

Añadiendo (16), (17b) e igualando la suma a (15) da:

$$\delta r^T R - \delta r^T \sum_e (Q^{te} + Q^{fe}) = \delta r^T \left( \sum_e k^e \right) + \delta r^T \left( \sum_e Q^{oe} \right)$$

Desde que los desplazamientos virtuales  $\delta \mathbf{r}$  son arbitrarios, la igualdad anterior se reduce

a:

$$R = \left( \sum_e k^e \right) r + \sum_e (Q^{0e} + Q^{te} + Q^{fe})$$

Comparando con (2) muestra que:

- La matriz de rigidez del sistema es obtenida sumando las matrices de rigidez de los elementos:

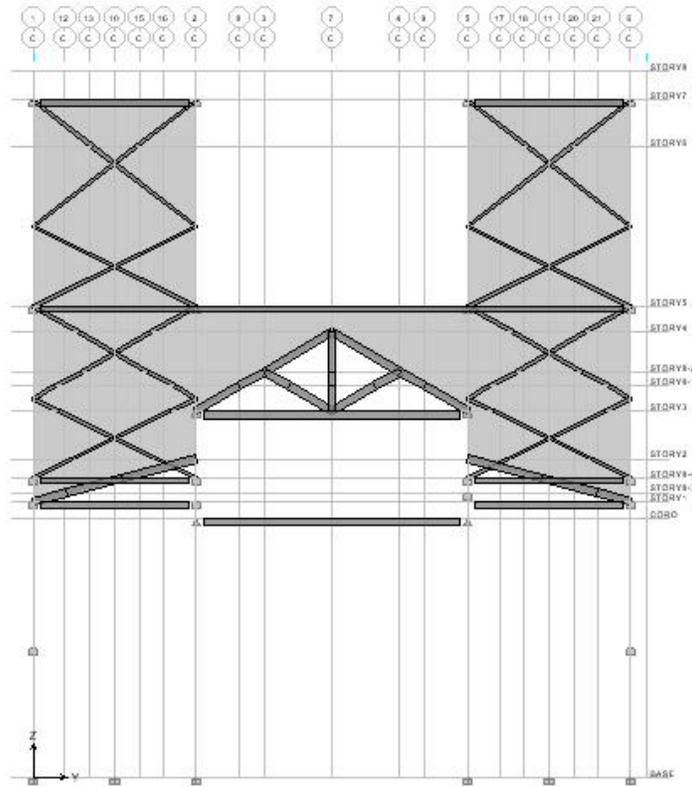
$$K = \sum_e k^e$$

El vector de fuerzas nodales equivalentes es obtenido sumando los vectores de carga de los elementos:

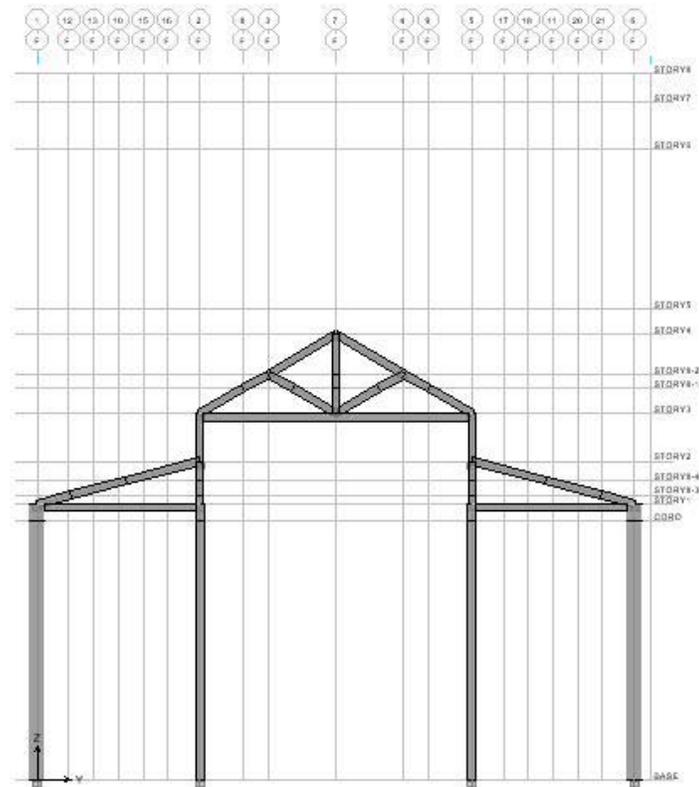
$$R^0 = \sum_e (Q^{0e} + Q^{te} + Q^{fe})$$

En la práctica, las matrices de elementos ninguna es expandida o reordenada. En lugar, la matriz de rigidez del sistema  $K$  es ensamblada añadiendo coeficientes individuales  $k_{ij}^e$  a  $K_{kl}$  donde los subíndices  $ij, kl$  significan que los desplazamientos nodales de los elementos  $q_i^e, q_j^e$  coinciden respectivamente con los desplazamientos nodales del sistema  $r_k, r_l$ . Similarmente,  $R^0$  es ensamblado añadiendo coeficientes individuales  $Q_i^e$  a  $R_k^0$  donde  $q_i^e$  coincide  $r_k$ . Esta adición directa de  $k_{ij}^e$  dentro de  $K_{kl}$  da al procedimiento el nombre de Método de rigidez directa (Método matricial de la rigidez).

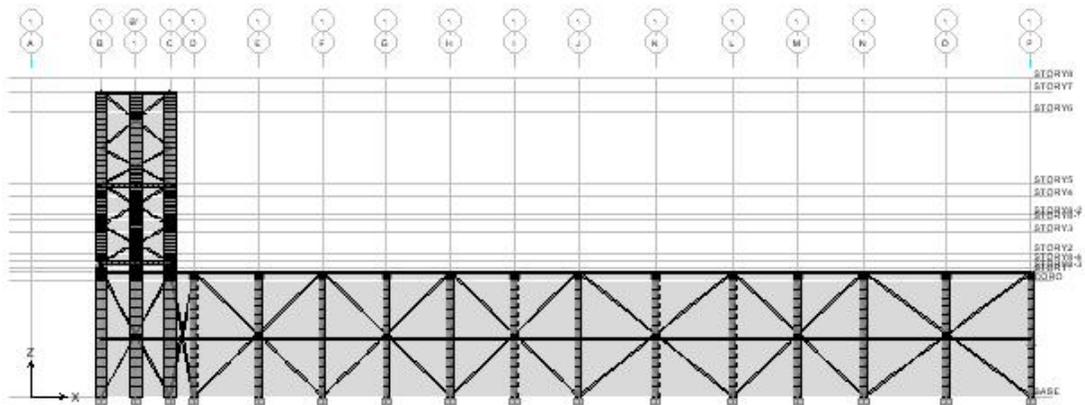




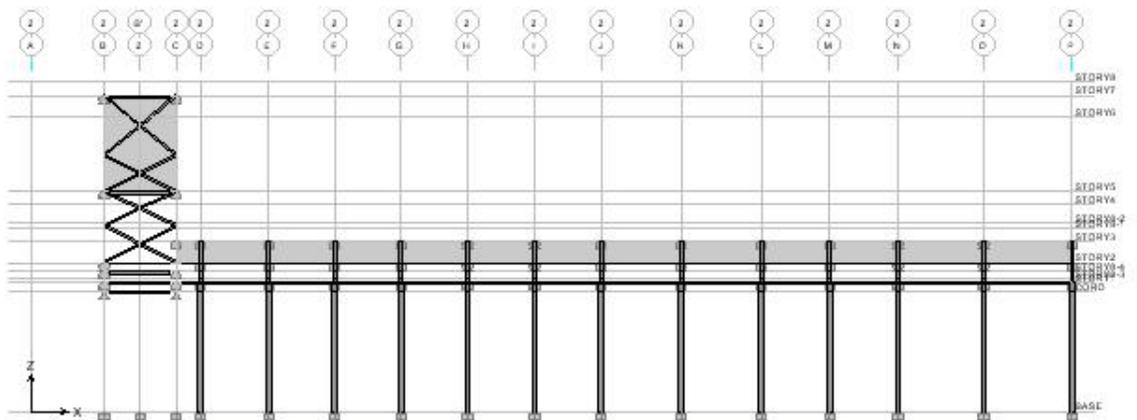
Sección C-C. Iglesia San Esteban estado original



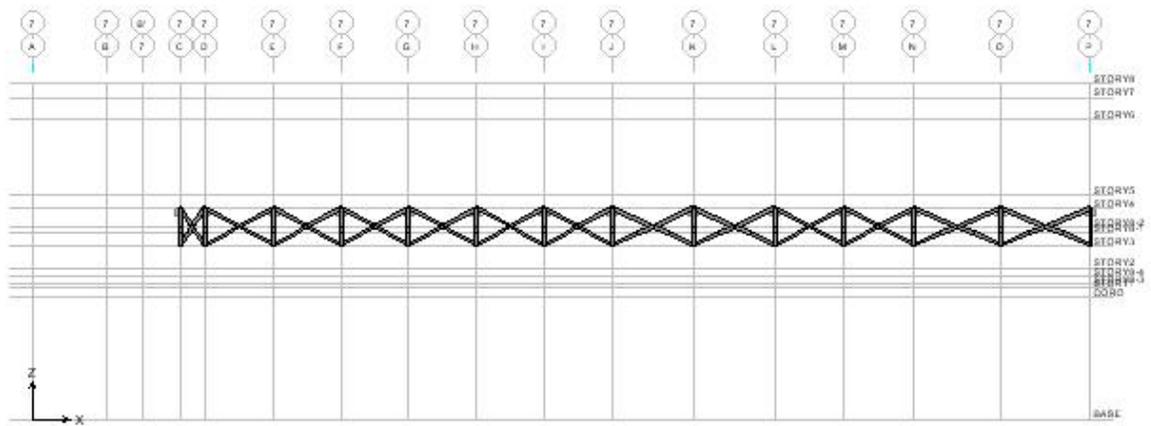
Sección D-D hasta la Sección P-P. Iglesia San Esteban estado original



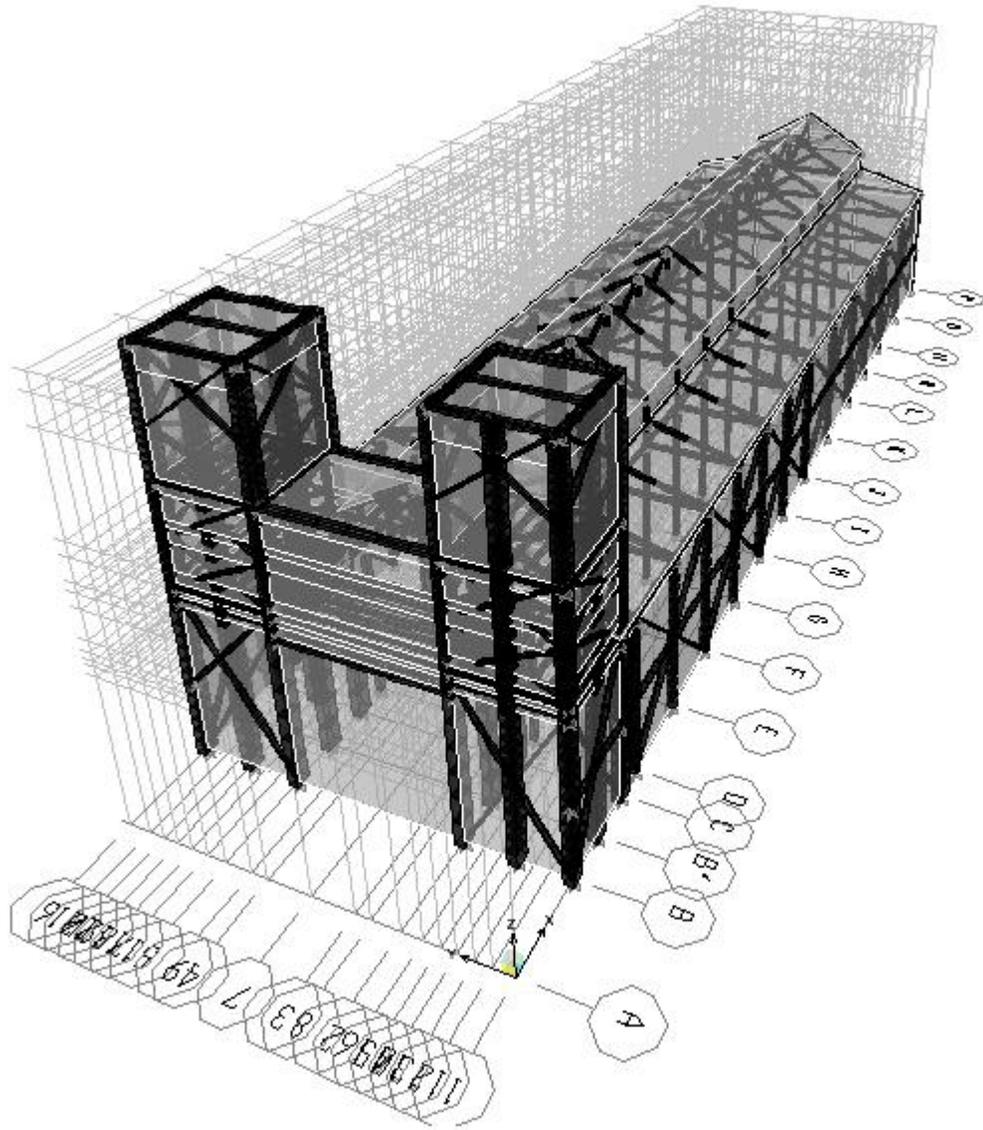
Sección 1-1 y Sección 6-6. Iglesia San Esteban estado original



Sección 2-2 y Sección 5-5. Iglesia San Esteban estado original

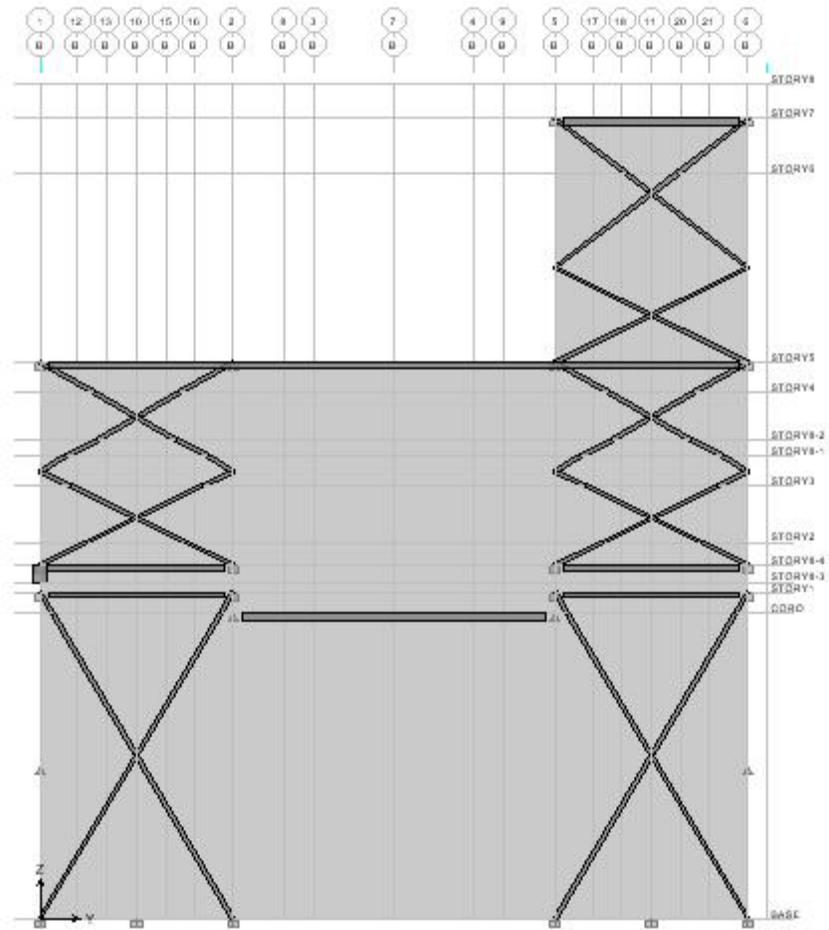


Sección 7-7. Iglesia San Esteban estado original

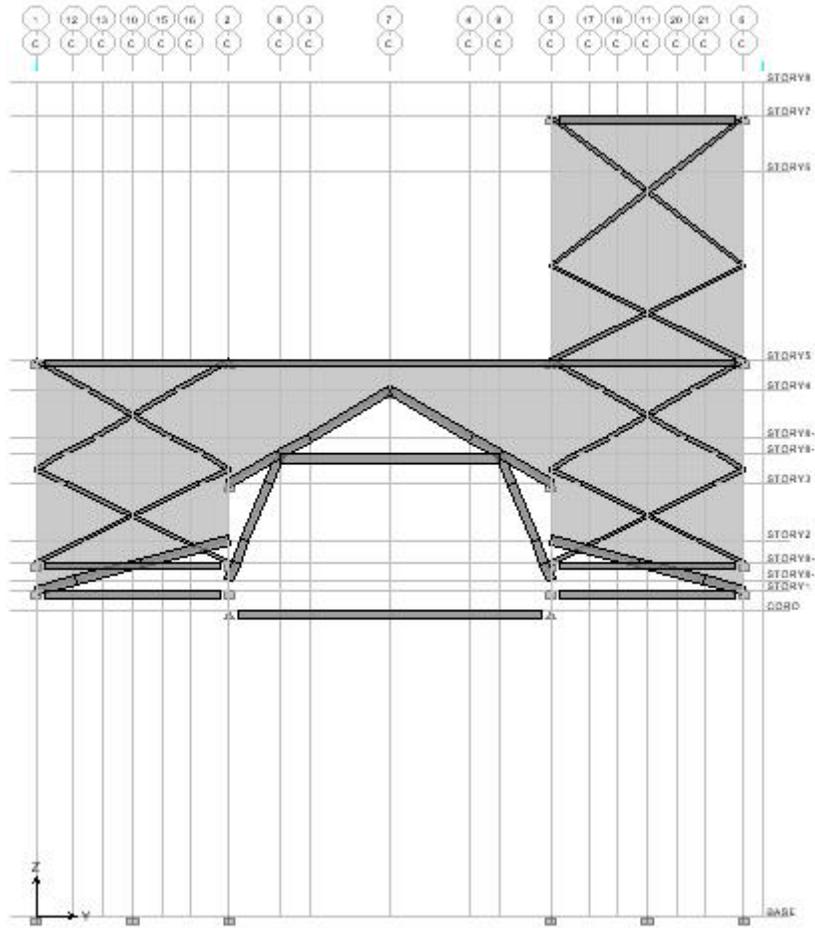


Modelo en 3D de la Iglesia San Esteban, estado original.

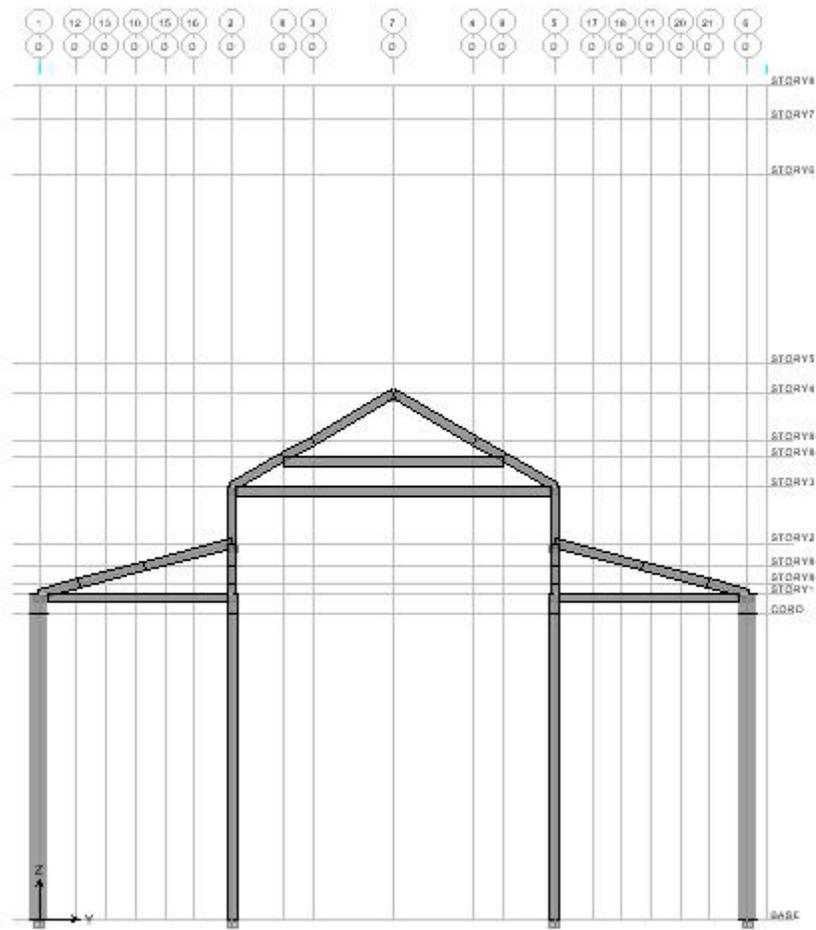
Modelo de Iglesia San Esteban estado Actual, condiciones de carga MVS.



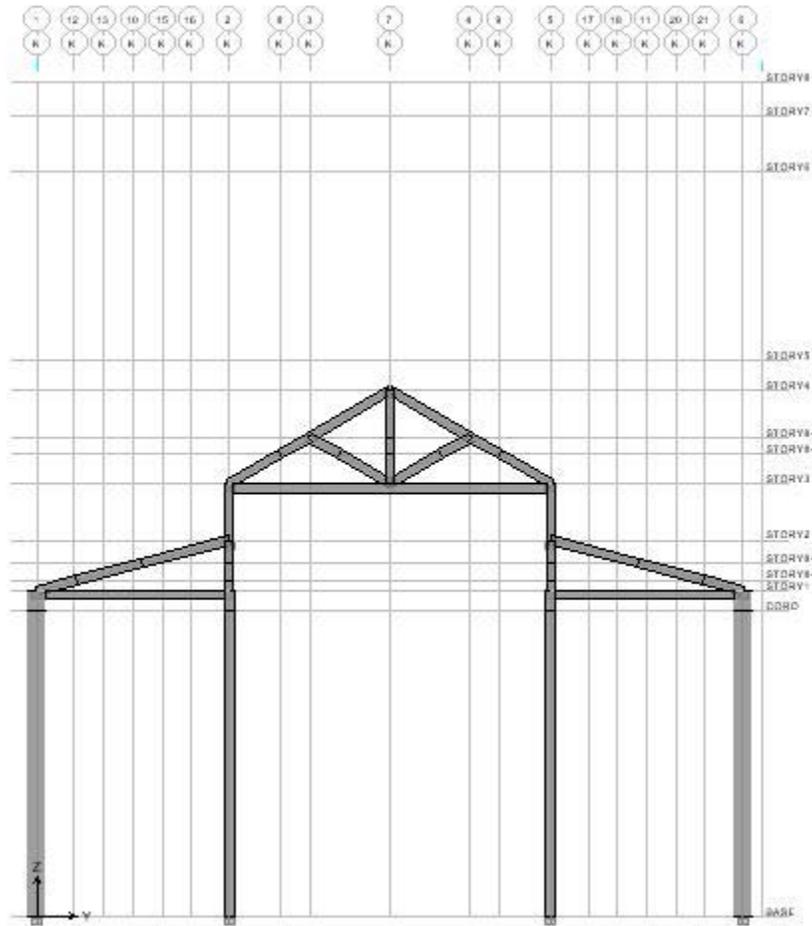
Sección B-B. Iglesia San Esteban estado actual



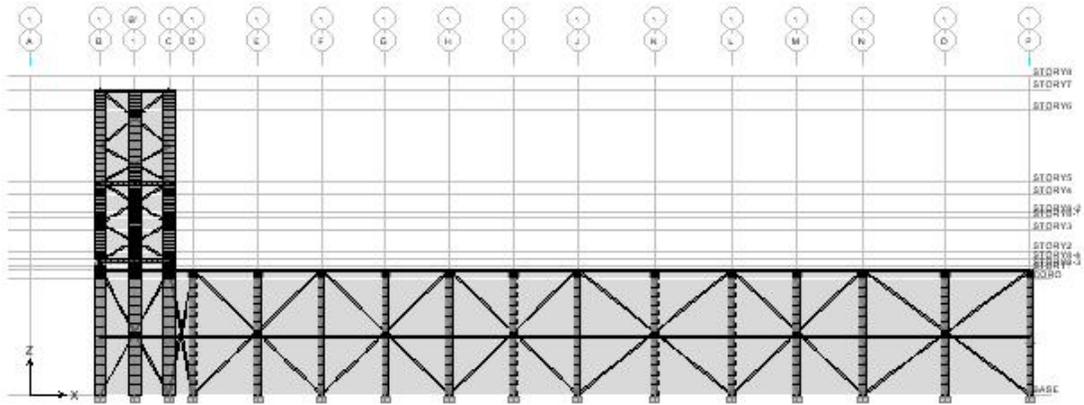
Sección C-C. Iglesia San Esteban estado actual



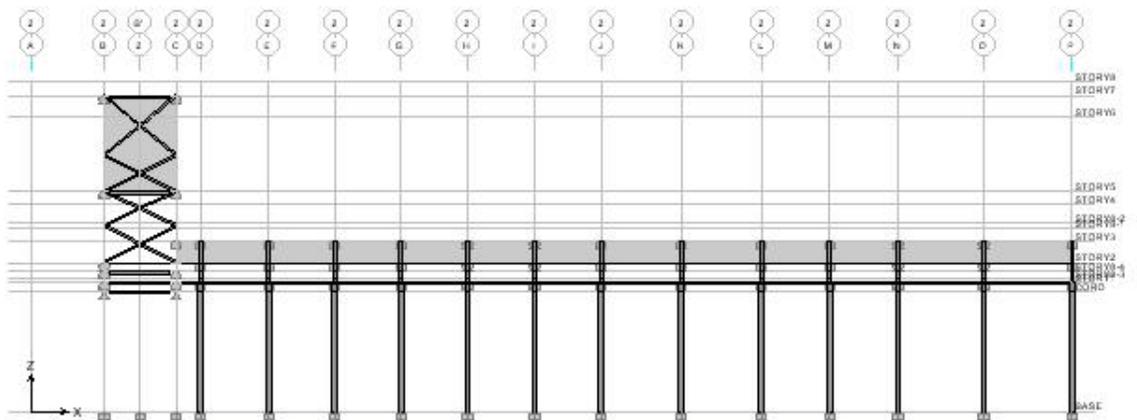
Sección D-D hasta la Sección J-J. Iglesia San Esteban estado actual



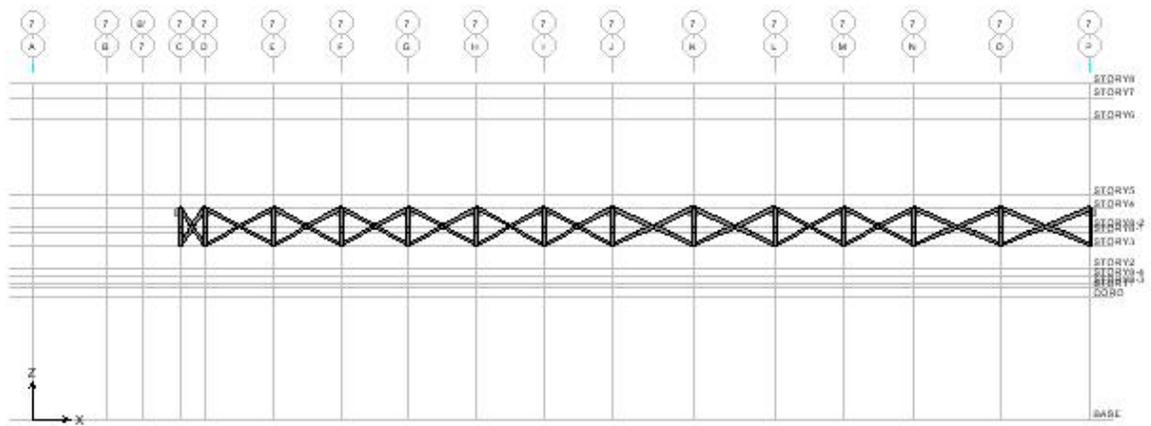
Sección K-K hasta la Sección P-P. Iglesia San Esteban estado actual



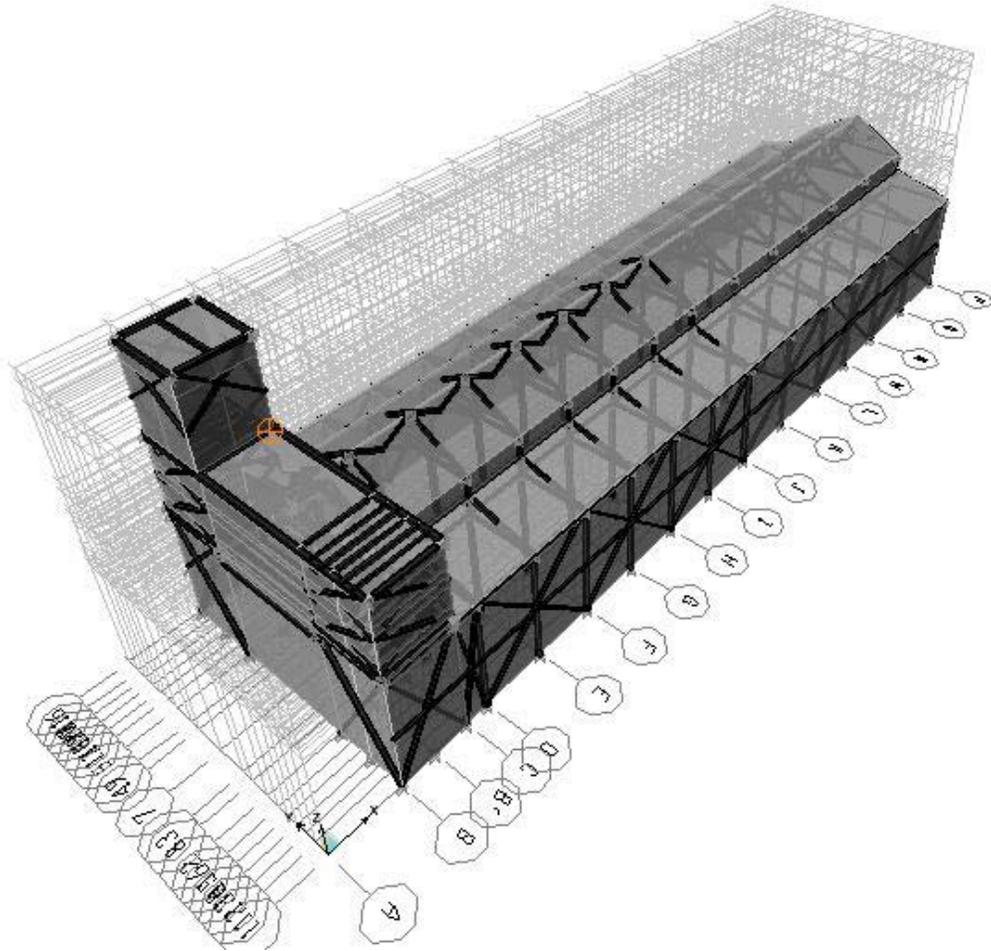
Sección 1-1 y Sección 6-6. Iglesia San Esteban estado actual



Sección 2-2 y Sección 5-5. Iglesia San Esteban estado actual



Sección 7-7. Iglesia San Esteban estado actual



Modelo en 3D de la Iglesia San Esteban, estado actual.

**Anexo 8 Tablas de desplazamientos y rigideces calculados por el programa ETABS 9.5**

**DESPLAZAMIENTOS POR EJE CASO SAN ESTEBAN ORIGINAL**

DESPLAZAMIENTOS EN EJE B						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
B1	47.36010	110.03360	6.98940	-0.06958	0.05310	-0.01446
B2	76.42570	110.13040	-10.75030	-0.06800	0.10372	0.00520
B3	40.48400	83.58300	-9.35580	-0.09658	0.11229	0.01470
B4	34.20230	83.56390	6.48110	-0.00624	0.10860	0.01262
B5	72.86770	88.76010	5.16990	-0.01209	0.11027	0.04741
B6	22.95310	88.80910	1.58420	-0.01036	0.02921	0.06545
DESPLAZAMIENTOS EN EJE C						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
C1	12.09300	64.87560	-6.03070	-0.10116	0.04545	0.02808
C2	47.36370	125.36230	-7.07510	-0.10436	0.05318	-0.03967
C3	76.72510	125.71590	-36.41650	-0.10231	0.09040	-0.01711
C4	40.58930	87.57740	-35.70780	-0.11247	0.10328	0.01480
C5	21.77560	76.00640	-36.12090	-0.04993	0.14498	0.14446
C6	7.69950	72.02860	-33.42470	-0.08049	0.08841	0.04008
C7	7.89580	77.65990	-39.22690	0.02384	-0.06609	0.01532
C8	7.51900	80.30980	-21.79980	-0.06333	0.07625	-0.00896
C9	12.81140	86.40080	-23.96690	-0.04502	0.09492	-0.07587
C10	34.21650	86.84700	-22.67870	0.05237	0.11429	0.01237
C11	72.88690	70.61050	-22.90950	0.04925	0.09827	0.02430
C12	22.97250	70.81730	-6.17170	0.05179	0.02948	0.04368
C13	4.44200	84.67050	-4.43780	-0.07226	0.01786	0.00647

DESPLAZAMIENTOS EN EJE D						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
D1	12.09180	64.83430	-0.19360	-0.14637	0.02083	0.02210
D2	7.60560	67.94580	-11.82310	0.00542	0.17840	0.06390
D3	21.56770	68.57640	-14.21370	-0.11526	0.12319	0.13054
D4	8.20070	79.07150	-33.44960	0.00842	-0.06228	0.01604
D5	12.47270	90.63750	-13.64260	0.06224	-0.00742	-0.01449
D6	7.66540	84.08960	-11.25370	-0.00717	0.17679	-0.03413
D7	4.30990	86.79410	-0.29680	-0.16746	0.00566	0.01060

DESPLAZAMIENTOS EN EJE E						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
E1	12.15240	69.11500	0.00910	-0.16031	0.01693	0.02233
E2	7.34250	71.19100	-7.07450	-0.03407	0.07980	0.03924
E3	20.98460	79.47700	-8.12150	-0.11231	0.15619	0.14602
E4	9.04740	83.45940	-18.82490	0.01106	-0.05307	0.01846
E5	11.52430	89.46640	-7.79500	0.04333	0.02341	-0.02834
E6	8.07240	88.62650	-6.73160	0.03282	0.04227	0.00381
E7	3.96880	90.19690	-0.13440	-0.19782	0.00381	0.01378

DESPLAZAMIENTOS EN EJE F						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
F1	12.05680	73.66740	0.00960	-0.16690	0.01697	0.02362
F2	7.08530	75.03280	-3.87710	-0.06166	0.09349	0.04398
F3	20.42450	88.00320	-4.08130	-0.10079	0.15060	0.13342
F4	9.87080	88.34380	-7.50600	0.00989	-0.04200	0.02056
F5	10.60980	90.44180	-3.75560	0.02596	0.00956	-0.01037
F6	8.46790	93.33520	-3.52880	0.05774	0.03780	0.00757
F7	3.59220	94.13860	-0.05360	-0.21182	0.00144	0.01706

DESPLAZAMIENTOS EN EJE G						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
G1	12.22980	78.57300	0.06680	-0.17692	0.01721	0.02487
G2	6.82240	79.66690	-2.31030	-0.07623	0.08845	0.04377
G3	19.85700	94.93370	-2.09060	-0.08834	0.15205	0.12543
G4	10.71680	93.61880	-0.43810	0.00812	-0.02874	0.02205
G5	9.68290	93.61390	-1.75960	0.01047	0.00188	0.00448
G6	8.86790	98.26270	-1.95250	0.07182	0.01689	0.01562
G7	3.28780	98.67870	-0.10800	-0.22574	0.00214	0.01946

DESPLAZAMIENTOS EN EJE H						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
H1	12.08390	83.87620	0.05610	-0.18868	0.01520	0.02550
H2	6.55790	84.83700	-1.65660	-0.08136	0.08655	0.04428
H3	19.29050	101.06460	-1.26010	-0.08151	0.15107	0.11828
H4	11.55220	99.12360	2.87930	0.00692	-0.01631	0.02320
H5	8.75630	98.19550	-0.91780	0.00237	-0.00891	0.01926
H6	9.26770	103.64030	-1.28510	0.08013	0.00117	0.02239
H7	2.90380	103.94360	-0.04430	-0.23928	-0.00090	0.02292

DESPLAZAMIENTOS EN EJE I						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
I1	12.30780	89.27270	0.08270	-0.20111	0.01743	0.02702
I2	6.29260	90.24720	-1.47580	-0.08288	0.08330	0.04427
I3	18.72430	106.91150	-1.02900	-0.08018	0.14928	0.11227
I4	12.37890	104.84670	3.89370	0.00622	-0.00562	0.02418
I5	7.82960	103.62030	-0.67200	0.00072	-0.02109	0.03331
I6	9.66730	109.49790	-1.08820	0.08508	-0.01427	0.02908
I7	2.60210	109.71090	-0.11480	-0.25350	0.00057	0.02515

DESPLAZAMIENTOS EN EJE J						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
J1	12.13630	95.03520	-0.00260	-0.21482	0.01549	0.02743
J2	6.02970	96.06380	-1.79870	-0.08179	0.14559	0.06130
J3	18.16920	112.79440	-1.35560	-0.08047	0.12311	0.09274
J4	13.20040	110.79660	3.63690	0.00635	0.00398	0.02506
J5	6.91320	109.55000	-0.96660	0.00323	-0.05759	0.06077
J6	10.07000	115.97370	-1.38080	0.09206	0.03624	0.01863
J7	2.22350	116.29500	-0.06340	-0.26890	-0.00220	0.02856

DESPLAZAMIENTOS EN EJE K						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
K1	12.40190	101.91920	0.10150	-0.23190	0.01715	0.02891
K2	5.70480	103.15380	-2.37930	-0.08007	0.07694	0.04434
K3	17.47810	119.86590	-2.00960	-0.08519	0.14374	0.09937
K4	14.18500	118.22730	2.08220	0.00674	0.01579	0.02599
K5	5.78630	117.30240	-1.58900	0.01209	-0.05062	0.06426
K6	10.54760	124.49050	-1.93330	0.10013	-0.04499	0.04308
K7	1.84630	124.89630	-0.13460	-0.28929	-0.00121	0.03157

DESPLAZAMIENTOS EN EJE L						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
L1	12.24910	109.19800	0.16570	-0.25047	0.01440	0.02929
L2	5.37870	110.53200	-2.92370	-0.07152	0.01197	0.02839
L3	16.78900	126.60250	-2.76430	-0.09645	0.16424	0.10414
L4	15.17520	125.91310	-1.44920	0.00658	0.02987	0.02683
L5	4.66050	125.95240	-2.30660	0.03204	-0.04495	0.07011
L6	11.02520	134.14310	-2.44650	0.10869	-0.11929	0.06567
L7	1.41160	134.69710	-0.05130	-0.31261	-0.00451	0.03566

DESPLAZAMIENTOS EN EJE M						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
M1	12.49550	115.52580	0.11300	-0.26685	0.01732	0.03118
M2	4.17730	116.41770	-3.66920	-0.00556	0.00228	0.03576
M3	16.22160	131.65890	-4.29450	-0.11241	0.14424	0.08392
M4	16.03050	132.61210	-7.66480	0.00667	0.04424	0.02749
M5	3.72160	134.35010	-3.78910	0.05810	-0.07759	0.09918
M6	11.43480	142.87210	-3.56510	0.11133	-0.07229	0.05611
M7	1.08030	143.61430	-0.15000	-0.33228	-0.00277	0.03801

DESPLAZAMIENTOS EN EJE N						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
N1	12.38150	122.34210	0.02330	-0.28700	0.01876	0.03263
N2	4.82940	124.52190	-7.08930	-0.03116	0.14124	0.06416
N3	15.64940	135.52460	-7.99350	-0.13116	0.11780	0.05757
N4	16.90690	139.53190	-18.93250	0.00790	0.05930	0.02815
N5	2.77340	144.41060	-7.41720	0.09100	-0.11635	0.13402
N6	11.84780	151.93150	-6.51310	0.10848	-0.00474	0.04104
N7	0.70900	153.41780	-0.05500	-0.35280	-0.00286	0.04079

DESPLAZAMIENTOS EN EJE O						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
O1	12.59880	131.29850	-0.14630	-0.31685	0.02382	0.03531
O2	4.47630	135.05290	-13.98180	0.02747	0.06539	0.04585
O3	14.91640	136.71560	-16.59360	-0.14897	0.14444	0.06167
O4	17.96770	148.42590	-40.45220	0.00907	0.07318	0.02901
O5	1.56820	160.98160	-15.93110	0.13235	-0.10671	0.14121
O6	12.36000	163.26680	-13.34020	0.08408	-0.08847	0.06598
O7	0.28020	166.45800	-0.43110	-0.37593	0.00180	0.04318

DESPLAZAMIENTOS EN EJE P						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
P1	12.65230	142.89620	-7.56040	-0.35639	0.01839	0.03518
P2	4.10940	152.78080	-45.34840	-0.00702	-0.22373	-0.02841
P3	14.16730	149.40870	-51.76320	-0.06230	0.24713	0.12349
P4	19.05850	157.93670	-66.66240	0.00649	0.08692	0.02957
P5	0.32860	166.99800	-50.92960	0.07862	0.02093	0.06658
P6	12.89170	169.64680	-44.56200	0.15029	-0.39639	0.14988
P7	-0.17970	179.49640	-7.04300	-0.39079	-0.00633	0.04878

DESPLAZAMIENTOS POR EJE CASO SAN ESTEBAN ACTUAL

DESPLAZAMIENTOS EN EJE B						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
B1	23.91800	72.37670	5.15420	-0.04726	0.04059	-0.02813
B2	39.92450	72.61570	-4.97390	-0.09966	0.12239	0.01645
B3	32.64600	72.78230	4.80690	0.00303	0.10490	0.01528
B4	70.60300	75.95260	3.58950	-0.00631	0.10847	0.04655
B5	22.59490	75.99840	1.70950	-0.00468	0.02889	0.06495

DESPLAZAMIENTOS EN EJE C						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
C1	5.24940	85.32870	6.12250	-0.04391	0.01239	0.02678
C2	23.91110	77.89170	-5.55450	-0.06090	0.04048	-0.03330
C3	40.06680	77.31450	-32.30350	-0.10493	0.10304	0.01818
C4	22.77940	65.77610	-6.59610	-0.04636	0.07590	0.05088
C5	12.77920	77.95100	-12.46910	-0.01187	0.06343	0.02605
C6	7.26700	70.66120	-38.51110	0.01694	-0.06517	0.01649
C7	16.64060	64.52350	3.40030	-0.04845	0.03977	0.02992
C8	8.84980	77.33930	-4.30550	0.00045	0.02472	0.01649
C9	32.62880	76.58630	-23.67400	0.06080	0.11156	0.01354
C10	70.63380	58.76770	-23.91420	0.05367	0.09636	0.02249
C11	22.61470	58.97580	-5.95960	0.05616	0.02915	0.04223

DESPLAZAMIENTOS EN EJE D						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
D1	4.96620	74.22880	-10.33770	-0.12266	0.04324	-0.02189
D2	18.39480	68.05680	-16.28850	-0.06149	0.15441	0.00871
D3	8.81290	70.43030	0.42740	-0.03861	0.02492	0.06652
D4	7.56950	72.18100	-32.81480	0.00822	-0.06140	0.01727
D5	17.60230	79.15710	-21.14870	-0.01333	0.11862	0.00250
D6	18.36850	67.07360	-10.55370	-0.06089	0.08014	0.02949
D7	10.61850	72.55060	0.04100	-0.18940	0.01579	0.02457

DESPLAZAMIENTOS EN EJE E						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
E1	10.59340	123.84340	-10.86780	-0.10683	0.04878	0.02990
E2	7.73830	69.05710	0.25230	-0.04029	0.02371	0.06758
E3	20.46090	63.76640	-4.72680	-0.04406	0.11355	0.00713
E4	8.40970	76.89760	-18.40490	0.01134	-0.05226	0.01985
E5	23.08500	65.10140	-3.20850	-0.04442	0.10943	0.00156
E6	7.77970	77.28070	-4.04170	0.00080	0.02377	0.02453
E7	11.54900	105.92690	0.15040	-0.24236	0.01277	0.03219

DESPLAZAMIENTOS EN EJE F						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
F1	3.34130	155.27580	12.96550	-0.11699	-0.00381	0.05794
F2	14.05250	76.88150	-10.40610	-0.04687	0.11141	0.03075
F3	11.26420	68.23730	2.27570	-0.02245	0.03512	0.05868
F4	9.22680	82.13870	-7.27950	0.01010	-0.04128	0.02210
F5	16.47760	67.21400	5.71980	-0.05005	0.09648	0.00623
F6	14.42720	74.61040	-5.10160	-0.05323	0.09811	0.05998
F7	11.84040	120.93840	0.01830	-0.28349	0.01743	0.03646

DESPLAZAMIENTOS EN EJE G						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
G1	10.69080	115.69240	-9.36030	-0.08186	0.03187	0.02444
G2	16.43950	63.36020	3.49820	-0.03526	0.04895	-0.00218
G3	23.82740	68.42570	-32.76200	-0.03820	0.12714	-0.00959
G4	10.06610	87.81090	-0.35880	0.00828	-0.02816	0.02374
G5	25.71960	69.20370	-28.99030	-0.11783	0.10900	-0.02451
G6	18.28730	62.84940	-3.33820	-0.02972	0.10098	-0.00167
G7	10.67400	58.16790	-5.26220	-0.08930	0.03877	0.02597

DESPLAZAMIENTOS EN EJE H						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
H1	10.77840	134.82370	-13.56810	-0.15784	0.03747	0.02946
H2	10.05570	65.89520	1.73830	-0.00647	0.03551	0.04448
H3	10.61560	78.39220	-6.57090	0.04409	0.03949	0.04936
H4	10.89480	93.74750	2.86670	0.00707	-0.01588	0.02504
H5	14.22780	78.73130	-24.48130	-0.02214	0.10367	-0.02373
H6	14.24600	65.91940	4.63860	-0.02078	0.08422	0.00851
H7	4.77650	58.41130	-8.96650	-0.07294	-0.05057	0.01266

DESPLAZAMIENTOS EN EJE I						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
I1	3.09820	169.28260	12.58610	-0.09603	-0.01736	0.06524
I2	20.31550	67.79430	-28.16810	-0.13165	0.12703	-0.02329
I3	16.63110	67.30820	-5.46930	-0.05478	0.03980	-0.00997
I4	11.71500	99.93630	3.82880	0.00636	-0.00531	0.02615
I5	17.13610	67.29090	-7.96440	-0.05864	0.05545	-0.00930
I6	21.29290	67.66130	-33.09130	-0.03733	0.14826	0.14700
I7	4.12340	79.96710	-0.28020	-0.15202	0.00488	0.01191

DESPLAZAMIENTOS EN EJE J						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
J1	3.74870	134.83620	11.82460	-0.11726	-0.02842	0.05843
J2	9.34810	77.95480	-7.32330	0.05498	0.03217	0.03785
J3	11.77530	78.42970	-24.92170	-0.03317	0.08720	-0.06966
J4	12.53010	106.38540	3.54210	0.00651	0.00418	0.02716
J5	15.37250	73.14500	-38.23500	0.02415	-0.05300	0.04484
J6	13.10940	77.80970	-21.57520	0.09129	0.08199	-0.01332
J7	3.76010	83.66950	-0.12660	-0.18236	0.00312	0.01526

DESPLAZAMIENTOS EN EJE K						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
K1	10.25270	149.03320	-24.87200	-0.24559	-0.02886	0.02842
K2	13.38830	62.87540	-5.37460	-0.06189	0.03881	0.00730
K3	11.42850	83.50850	-13.42260	0.06259	-0.01972	-0.00555
K4	13.50700	114.45970	1.96590	0.00696	0.01588	0.02824
K5	16.17140	72.80050	-32.66760	0.00042	-0.05688	0.01087
K6	6.40170	64.79680	-30.68890	-0.06981	0.09376	0.04111
K7	3.29400	72.20420	-1.77380	-0.03753	-0.00267	0.02452

DESPLAZAMIENTOS EN EJE L						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
L1	2.25410	182.98120	4.55840	-0.03456	-0.09047	0.07392
L2	5.85050	78.71360	-4.65310	-0.01079	0.02267	0.03471
L3	10.45770	82.76940	-7.65360	0.04335	0.01021	-0.01868
L4	14.48930	122.83180	-1.57530	0.00682	0.02985	0.02922
L5	15.48840	78.00880	-18.36100	0.00422	-0.04088	0.01178
L6	7.60850	73.15450	-22.64970	-0.05505	0.06665	-0.00547
L7	7.97980	92.87610	-1.47950	-0.06656	0.01434	0.01897

DESPLAZAMIENTOS EN EJE M						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
M1	7.61210	54.78150	0.09870	-0.10691	0.05242	0.01668
M2	6.29360	61.33950	-11.58710	0.00431	0.18671	0.06585
M3	9.52140	84.17270	-3.69080	0.02592	-0.00425	-0.00029
M4	15.33790	130.14390	-7.78540	0.00696	0.04411	0.03000
M5	14.34130	83.12000	-7.43050	0.00420	-0.02671	0.01281
M6	7.76610	77.29170	-11.08430	-0.00709	0.16623	-0.03032
M7	2.67870	83.60670	-1.15730	-0.04226	-0.00170	0.02661

DESPLAZAMIENTOS EN EJE N						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
N1	5.30470	56.75230	2.25730	-0.12491	0.04032	-0.02099
N2	5.99060	64.61760	-6.95530	-0.03722	0.08615	0.04112
N3	8.57220	87.78460	-1.74060	0.01055	-0.01260	0.01496
N4	16.20730	137.70990	-19.02200	0.00830	0.05904	0.03078
N5	12.94350	88.57150	-0.48200	0.00356	-0.00961	0.01319
N6	8.20430	82.10160	-6.62240	0.03170	0.03170	0.00782
N7	2.44870	89.88690	-1.41300	-0.04762	-0.01992	0.03092

DESPLAZAMIENTOS EN EJE O						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
O1	3.55780	144.61790	12.41600	-0.12128	-0.01739	0.05845
O2	5.69500	68.58610	-3.81620	-0.06578	0.10039	0.04643
O3	7.62350	92.82170	-0.92410	0.00261	-0.02405	0.03017
O4	17.25940	147.45220	-40.44450	0.00958	0.07274	0.03178
O5	12.12110	94.36120	2.85520	0.00311	0.00176	0.01359
O6	8.63010	87.12760	-3.47990	0.05609	0.02680	0.01190
O7	2.55190	97.51360	-1.86630	-0.05599	-0.00693	0.02888

DESPLAZAMIENTOS EN EJE P						
Punto	Desplazamientos			Rotaciones		
	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)	X (grados)	Y (grados)	Z (grados)
P1	7.36240	58.91930	-12.11040	-0.04003	0.05367	0.02645
P2	5.39310	73.44980	-2.28480	-0.08105	0.09592	0.04680
P3	6.67450	98.72540	-0.69150	0.00109	-0.03687	0.04465
P4	18.34140	157.88610	-66.48610	0.00711	0.08632	0.03248
P5	11.96260	100.46360	3.90210	0.00284	0.00742	0.01383
P6	9.06070	92.43330	-1.93970	0.06990	0.00545	0.02025
P7	2.74860	105.69770	-2.29130	-0.06517	0.00417	0.02676

### RIGIDECES RELATIVAS

EJE	SAN ESTEBAN ORIGINAL					
	EJE X			EJE Y		
	CORTANTE Vx (Kgf)	DESPLAZAMIENTO $\Delta x$ (cm)	RIGIDECES Rx (Kgf/cm)	CORTANTE Vy (Kgf)	DESPLAZAMIENTO $\Delta y$ (cm)	RIGIDECES Ry (Kgf/cm)
B	1906323.95	49.05	38865.85	1906323.95	94.15	20248.45
C	1906323.95	28.38	67162.23	1906323.95	85.30	22348.83
D	1906323.95	10.56	180538.24	1906323.95	77.42	24622.73
E	1906323.95	10.44	182567.10	1906323.95	81.65	23348.23
F	1906323.95	10.30	185061.26	1906323.95	86.14	22131.16
G	1906323.95	10.21	186725.56	1906323.95	91.05	20937.19
H	1906323.95	10.06	189516.14	1906323.95	96.38	19778.64
I	1906323.95	9.97	191171.50	1906323.95	102.02	18686.64
J	1906323.95	9.82	194120.18	1906323.95	108.07	17639.28
K	1906323.95	9.71	196383.63	1906323.95	115.69	16477.35
L	1906323.95	9.53	200096.08	1906323.95	123.86	15390.63
M	1906323.95	9.31	204787.29	1906323.95	131.01	14551.28
N	1906323.95	9.30	204989.26	1906323.95	138.81	13733.19
O	1906323.95	9.17	207959.59	1906323.95	148.89	12803.95
P	1906323.95	9.00	211719.34	1906323.95	159.88	11923.43

EJE	SAN ESTEBAN ACTUAL					
	EJE X			EJE Y		
	CORTANTE Vx (Kgf)	DESPLAZAMIENTO $\Delta x$ (cm)	RIGIDECES Rx (Kgf/cm)	CORTANTE Vy (Kgf)	DESPLAZAMIENTO $\Delta y$ (cm)	RIGIDECES Ry (Kgf/cm)
B	1797954.73	37.94	47392.82	1797954.73	73.95	24314.71
C	1797954.73	23.95	75079.56	1797954.73	71.92	24999.50
D	1797954.73	12.33	145781.18	1797954.73	71.95	24987.55
E	1797954.73	12.80	140440.13	1797954.73	83.12	21629.59
F	1797954.73	11.52	156091.82	1797954.73	92.19	19503.73
G	1797954.73	16.53	108774.17	1797954.73	75.07	23949.46
H	1797954.73	10.80	166488.74	1797954.73	82.27	21853.16
I	1797954.73	13.47	133447.03	1797954.73	88.46	20324.38
J	1797954.73	9.95	180714.02	1797954.73	90.32	19906.80
K	1797954.73	10.63	169063.33	1797954.73	88.53	20310.03
L	1797954.73	9.16	196257.86	1797954.73	101.62	17693.04
M	1797954.73	9.08	198040.37	1797954.73	82.07	21908.87
N	1797954.73	8.52	210916.86	1797954.73	86.77	20719.75
O	1797954.73	8.21	219114.66	1797954.73	104.64	17182.28
P	1797954.73	8.79	204501.27	1797954.73	98.23	18304.45

## RIGIDECES REALES

RIGIDECES EN EJE C							
San Esteban estado original							
Punto	Nivel	Desplazamientos $\Delta$		Cortante por Nivel V		Rigideces R	
		X (cm)	Y (cm)	X (kgf)	Y (kgf)	X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)
C1	1	12.0930	64.8756	3424192.4600	3362392.3900	283154.9210	51828.3051
C2	7	47.3637	125.3623	8075346.9050	7383913.6700	170496.5386	58900.5919
C3	7	76.7251	125.7159	8075346.9050	7383913.6700	105250.3927	58734.9227
C4	5	40.5893	87.5774	7677835.9150	6996058.9300	189159.1113	79884.2958
C5	3	19.4063	75.3693	5455338.7200	5644925.0550	281111.7379	74896.8752
C6	2	15.4200	70.2450	4431939.8300	4643126.9250	287415.0344	66099.0380
C7	4	7.8958	77.6599	7155907.3100	6488258.4500	906292.8785	83547.0874
C8	2	7.5190	80.3098	4431939.8300	4643126.9250	589432.0827	57815.1972
C9	3	12.8114	86.4008	5455338.7200	5644925.0550	425819.0924	65334.1758
C10	5	34.2165	86.8470	7677835.9150	6996058.9300	224389.8679	80556.1382
C11	7	72.8869	70.6105	8075346.9050	7383913.6700	110792.8435	104572.4598
C12	7	22.9725	70.8173	8075346.9050	7383913.6700	351522.3378	104267.0883
C13	1	4.4420	84.6705	3424192.4600	3362392.3900	770867.2805	39711.4980

RIGIDECES EN EJE C							
San Esteban estado actual							
Punto	Nivel	Desplazamientos $\Delta$		Cortante por Nivel V		Rigideces R	
		X (cm)	Y (cm)	X (kgf)	Y (kgf)	X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)
C1	1	5.24940	85.32870	3186185.7300	1311448.4700	606961.8871	15369.3713
C2	7	23.91110	77.89170	6427498.1300	5938667.5950	268808.1322	76242.6240
C3	7	40.06680	77.31450	6427498.1300	5938667.5950	160419.5526	76811.8218
C4	5	22.77940	65.77610	6215329.8100	5736155.5250	272848.7058	87207.2915
C5	3	12.77920	77.95100	4673218.1050	5064413.6000	365689.4097	64969.1935
C6	2	7.26700	70.66120	3798898.2850	4211694.5400	522760.1878	59604.0619
C7	4	16.64060	64.52350	5864353.6450	5399307.4850	352412.3917	83679.7056
C8	2	8.84980	77.33930	3798898.2850	4211694.5400	429263.7444	54457.3657
C9	3	32.62880	76.58630	4673218.1050	5064413.6000	143223.7197	66126.8869
C10	5	70.63380	58.76770	6215329.8100	5736155.5250	87993.7057	97607.2830
C11	7					-	-
C12	7					-	-
C13	1	22.61470	58.97580	3186185.7300	1311448.4700	140890.0286	22237.0611

RIGIDECES EN EJE H							
San Esteban estado original							
Punto	Nivel	Desplazamientos $\Delta$		Cortante por Nivel V		Rigideces R	
		X (cm)	Y (cm)	X (kgf)	Y (kgf)	X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)
H1	1	12.08390	83.87620	3424192.4600	3362392.3900	283368.1560	40087.5623
H2	3	6.55790	84.83700	5455338.7200	5644925.0550	831872.8129	66538.4803
H3	2	19.29050	101.06460	4431939.8300	4643126.9250	229747.2761	45942.1689
H4	4	11.55220	99.12360	7155907.3100	6488258.4500	619441.0857	65456.2430
H5	3	8.75630	98.19550	4431939.8300	4643126.9250	506142.9862	47284.5184
H6	2	9.26770	103.64030	5455338.7200	5644925.0550	588639.9776	54466.5063
H7	1	2.90380	103.94360	3424192.4600	3362392.3900	1179210.8479	32348.2388

RIGIDECES EN EJE H							
San Esteban estado actual							
Punto	Nivel	Desplazamientos $\Delta$		Cortante por Nivel V		Rigideces R	
		X (cm)	Y (cm)	X (kgf)	Y (kgf)	X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)
H1	1	10.77840	134.82370	3186185.7300	1311448.4700	295608.4141	9727.1360
H2	3	10.05570	65.89520	4673218.1050	5064413.6000	464733.2463	76855.5767
H3	2	10.61560	78.39220	3798898.2850	4211694.5400	357859.9688	53725.9388
H4	4	10.89480	93.74750	5864353.6450	5399307.4850	538270.8857	57594.1490
H5	2	14.22780	78.73130	3798898.2850	4211694.5400	267005.3195	53494.5383
H6	3	14.24600	65.91940	4673218.1050	5064413.6000	328037.2108	76827.3619
H7	1	4.77650	58.41130	3186185.7300	1311448.4700	667054.4813	22451.9651

RIGIDECES EN EJE P							
San Esteban estado original							
Punto	Nivel	Desplazamientos $\Delta$		Cortante por Nivel V		Rigideces R	
		X (cm)	Y (cm)	X (kgf)	Y (kgf)	X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)
P1	1	12.6523	142.8962	3424192.4600	3362392.3900	270637.9441	23530.3135
P2	3	4.1094	152.7808	5455338.7200	5644925.0550	1327526.8214	36947.8695
P3	2	14.1673	149.4087	4431939.8300	4643126.9250	312828.8262	31076.6838
P4	4	19.0585	157.9367	7155907.3100	6488258.4500	375470.6462	41081.3855
P5	3	0.3286	166.9980	4431939.8300	4643126.9250	13487339.7139	27803.4882
P6	2	12.8917	169.6468	5455338.7200	5644925.0550	423166.7445	33274.5743
P7	1	-0.1797	179.4964	3424192.4600	3362392.3900	19055049.8609	18732.3667

RIGIDECES EN EJE P							
San Esteban estado actual							
Punto	Nivel	Desplazamientos $\Delta$		Cortante por Nivel V		Rigideces R	
		X (cm)	Y (cm)	X (kgf)	Y (kgf)	X (kgf/cm)	Y (kgf/cm)
P1	1	7.36240	58.91930	3186185.7300	1311448.4700	432764.5510	22258.3851
P2	3	5.39310	73.44980	4673218.1050	5064413.6000	866517.9776	68950.6792
P3	2	6.67450	98.72540	3798898.2850	4211694.5400	569165.9727	42660.6987
P4	4	18.34140	157.88610	5864353.6450	5399307.4850	319733.1526	34197.4847
P5	2	11.96260	100.46360	3798898.2850	4211694.5400	317564.6001	41922.5923
P6	3	9.06070	92.43330	4673218.1050	5064413.6000	515767.8882	54789.9253
P7	1	2.74860	105.69770	3186185.7300	1311448.4700	1159203.1325	12407.5403

**Anexo 9 Memoria fotográfica**



Fachada principal de la iglesia San Esteban.



Detalle de pilastra, estructura principal de la nave.



Tabanco de entrepiso del coro de la iglesia San Esteban.



Detalle de columna con apuntalamientos, cimbrado de madera de pino.



Fachada sur, piso adyacente a fundaciones perimetral con agrietamientos.



Detalle pedestales del Nártex y sus pilastras.



Fachada Norte del perímetro de la iglesia murete o sobrefundación, paredes y ático del techo. Plazuela moderna.



Entramados originales de la torre sur que ya no existe, sólo este testigo.



Estructura de techo reconstruida.



Apuntalamiento de vigas longitudinales de madera, cimbrado de madera de pino.



Apuntalamiento de unión viga-columna con daños físicos, madera carcomida.



Grieta en fundación perimetral en el murete o sobrefundación.



Pieza de estructura de cielo falso dañada, desprendimiento y oxidación.



Vista superior de estructura de cielo falso de iglesia San Esteban.



Detalle de viga de estructura de campanario con daños, madera carcomida.



Detalle de viga de estructura de campanario con daños, madera carcomida.