

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingenieria Civil



RESTAURACION DE MONUMENTOS

T E S I S

Para Optar El Titulo Profesional De
INGENIERO CIVIL

Luis Enrique Bendezu Uelarde
Promocion 87 II

LIMA - PERU

1990

SUMARIO

El presente trabajo, en su mayor parte, es una recopilación de terminologías, datos y técnicas que nos va a servir para mostrar que es una restauración y como afrontarla.

En el primer capítulo se dan algunas definiciones de términos empleados en una restauración; las causas que originan el deterioro y la tipología de daños que se presentan en construcciones antiguas, ya sean éstas de piedra o adobe.

El segundo capítulo trata de los efectos de los movimientos sísmicos en las construcciones antiguas. En la primera parte se refiere a las obras de adobe, su comportamiento ante sollicitaciones sísmicas y una tipología de daños. En la segunda parte se analiza a las construcciones de piedra, para lo cual se toma como punto de partida el efecto de los movimientos sísmicos en los monumentos religiosos de la ciudad del Cuzco, para explicar posteriormente el comportamiento de éste tipo de estructuras y mostrar la tipología de daños. También se realizó un análisis de la iglesia de la Compañía de Jesús, donde se incluye una breve

reseña histórica, sistema constructivo, análisis estructural e interpretación de resultados.

En el tercer capítulo se muestran una serie de técnicas de restauración para las construcciones pre-hispanas, coloniales y republicanas, ya sean estas de adobe o piedra; también se indican las primeras precauciones o medidas que se deben tomar antes de realizar una restauración. En el cuarto capítulo se explican algunas recomendaciones y las conclusiones de la presente tesis.

INDICE

CAPITULO I

	Pag.
1.0 INTRODUCCION	1
1.1 DEFINICIONES	1
1.2 CAUSAS DE DETERIORO	5
1.2.1 Deterioro debido a esfuerzos o fatiga de los materiales	6
1.2.2 Deterioro por procesos de corrosión	7
1.2.3 Deterioro por presencia de humedad	8
1.3 TIPOLOGIA DE DAÑOS	9
1.3.1 Deterioro en construcciones de adobe	9
1.3.2 Deterioro en construcciones de piedra	9

CAPITULO II

2.0 EFECTO DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS EN CONSTRUCCIONES ANTIGUAS	12
2.1 CONSTRUCCIONES DE ADOBE	13
2.1.1 Comportamiento sísmico	14
2.1.2 Modos de falla de una construcción de adobe	15
2.2 CONSTRUCCIONES DE PIEDRA	16
2.2.1 Cronología de los movimientos sísmicos en la ciudad del Cuzco y sus efectos en los Monumentos religiosos	18
2.2.2 Comportamiento sísmico de las construcciones de piedra	22
2.2.3 Tipología de daños	25

2.2.4 Estudio del comportamiento sísmico de la iglesia de la Compañía de Jesús de la ciudad del Cuzco	25
---	----

CAPITULO III

3.0 TECNICAS DE RESTAURACION	36
3.1 PRIMERAS PRECAUCIONES	36
3.1.1 Apuntalamientos y cimbras	37
3.1.2 Toma de datos	38
3.1.3 Plantillas	40
3.2 TECNICAS DE RESTAURACION EN CONSTRUCCIONES PREHISPANAS	41
3.2.1 Construcciones de adobe	42
3.2.2 Construcciones de piedra	44
3.3 TECNICAS DE RESTAURACION EN CONSTRUC- CIONES COLONIALES Y REPUBLICANAS	46
3.3.1 Construcciones de adobe	46
3.3.2 Construcciones de piedra	49
3.3.3 Construcciones de madera	55
3.3.4 Problemas de humedad	56

CAPITULO IV

4.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
ANEXOS	62
BIBLIOGRAFIA	67

CAPITULO I

1.0 INTRODUCCION:

1.1 DEFINICIONES.

MONUMENTO: La noción de monumento histórico abarca tanto la creación arquitectónica aislada como el sitio urbano o rural que expresa el testimonio de una cultura determinada, de una evolución significativa o de un acontecimiento histórico. Tal noción comprende no solamente las grandes creaciones sino también las obras modestas que, con el tiempo, han adquirido un significado cultural.

Nuestra actitud hacia los Monumentos históricos es contradictoria; por un lado las ideas erróneas de "progreso" urbanístico, vial, económico, unidas a un desprecio de nuestro patrimonio cultural, atentan contra la existencia de muchos monumentos. Somos testigos de la demolición permanente de obras valiosas o de la indiferencia pública ante su necesario cuidado. Por otro lado el respeto por mantener el carácter invariable del monumento, cuando estos deben permanecer vigentes mediante el acondicionamiento en algunos casos para su nuevo uso.

RESTAURACION: La restauración es una disciplina que utiliza todas las ciencias y todas las técnicas que puedan contribuir al estudio y salvaguarda del patrimonio monumental. Trata de devolver a un monumento las características necesarias para que muestre su forma original, que por acción del tiempo o de la naturaleza se encuentra alterado o deteriorado. Las normas, criterios y conceptos en la que se sustenta la Restauración se rige por acuerdos internacionales como son la Carta de Atenas y la Carta de Venecia (Anexo 1).

Los estudios de un proyecto de restauración deben ser el resultado de los criterios ampliamente discutidos por un equipo de trabajo compuesto por arquitectos, arqueólogos, historiadores, ingenieros, etc dicho

proyecto se divide por especialidades, los cuales son:

i. Proyecto de Arquitectura o Arqueología: Los criterios de restauración que generalmente son adoptados tienen en cuenta los siguientes aspectos:

- La realidad y particularidad del monumento.
- La integración del monumento al espacio en el cual se encuentra.
- Objetivo social de la restauración (acondicionamiento o nuevo uso).
- Tratar de conservar mas que restaurar, a fin de intervenir lo menos posible y conservar al máximo todo lo original.
- La restauración solo se justifica cuando el monumento está en peligro o el uso nuevo lo justifica.
- La restauración termina cuando comienza la hipótesis.
- Los elementos agregados deben ser tratados con materiales contemporaneos y técnicas modernas, teniendo en cuenta que se debe lograr integración con el monumento y que su lectura sea fácil al observador corriente.

ii. Proyecto de Instalaciones Eléctricas y Sanitarias:

Se deben realizar utilizando la tecnología actual, teniendo presente el carácter, seguridad e

integridad del monumento y la necesidad de afectar lo menos posible sus estructuras originales.

iii. Proyecto de Estructuras: Se debe conservar consolidando sus partes con la tecnología contemporánea para garantizar su estabilidad y función. Se debe respetar los sistemas constructivos antiguos, ya que también constituyen un testimonio histórico.

Las estructuras nuevas serán elementos que tengan relación con la estructura propia del edificio tanto en su forma como en sus características exteriores. Estos elementos pueden ser de material tradicional o de tecnología reciente.

iv. Obras de Arte: Las obras de arte deben ser catalogadas y conservadas como primera medida, para posteriormente ser restauradas.

Dentro de las labores que se realizan en un proceso de restauración destacan las siguientes actividades:
CONSOLIDAR: Reparar grietas, fisuras, sustitución o relleno de mortero, tratamiento químico de los muros, etc. con la finalidad de dar estabilidad a las estructuras de una edificación.

CALZAR: Poner elementos de piedra, adobe u otro material por debajo de los existentes; sustitución de

piezas o elementos deteriorados por otros nuevos o en buen estado.

RECOMPONER: Desarmar muros de piedra, previa codificación y registro gráfico para rearmarlo (anastilosis).

INTEGRAR: Completar parte de un todo faltante con evidencias o como consecuencia lógica. Construcción de una parte inexistente pero documentada con otro material o el mismo pero identificables.

RESTITUIR: Reemplazar, desarmar muros de adobe y reemplazarlos por otros muros. Reconstituir elementos arquitectónicos que ya no existen con material nuevo.

1.2 CAUSAS DE DETERIORO:

El deterioro de una construcción antigua puede ser un proceso de acción lenta (acción química, biológica, meteorológica) o violenta (sismo, huayco, etc) debido fundamentalmente a la conjunción de los siguientes factores:

- Fenómenos Atmosféricos: el viento, la lluvia, nevadas, granizos, cambios bruscos de temperaturas y la humedad.
- Suelo: constitución y características del terreno de fundación, movimientos sísmicos.
- Naturaleza: hongos, polillas, xilófagos, roedores, plantas, árboles, etc.

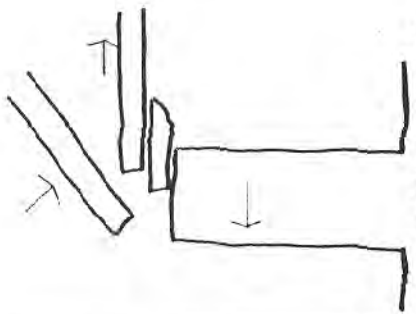
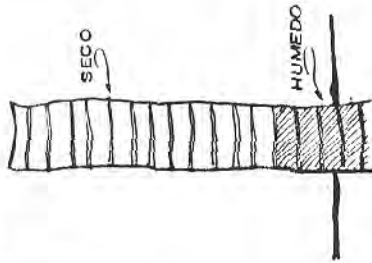
- El Hombre: por medio de las guerras, ideas "transformadoras y renovadoras", saqueos, etc.

Estos factores dan lugar a las principales causas del deterioro, algunas de las cuales se explican a continuación.

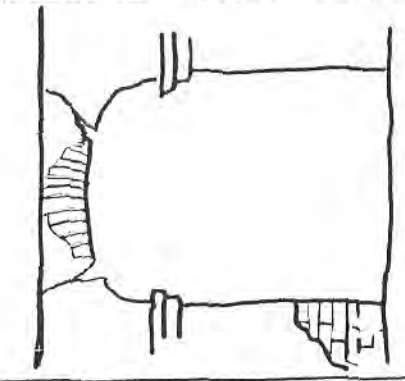
1.2.1 DETERIORO DEBIDO A ESFUERZOS O FATIGA DE LOS MATERIALES:

La aparición de esfuerzos que causan el deterioro de una construcción antigua puede ser producido por sobrecargas, cuando un elemento no está preparado para resistirlas; variación de temperatura, al dilatarse o contraerse un elemento causa esfuerzos, especialmente si el movimiento es restringido; por sismo, un movimiento sísmico puede afectar tanto a la fundación como a la superestructura de un monumento. Si hay asentamientos, deslizamientos o rotaciones parciales es probable la rotura de elementos perdiéndose el monolitismo de la construcción. En la superestructura las tensiones internas cambian de valor y de sentido; partes normalmente comprimidas se traccionan; se producen concentración de esfuerzos en todos los lugares de discontinuidad: en las uniones de partes finas con gruesas, en cambios de dirección, en las esquinas de los muros, en las uniones de los muros con los contra-

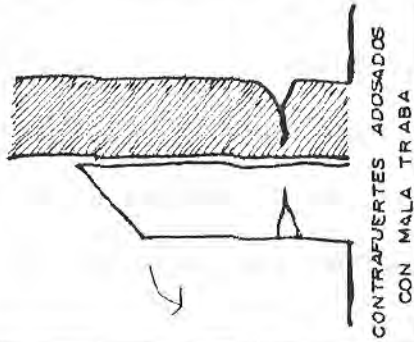
HUMEDAD POR CAPILARIDAD



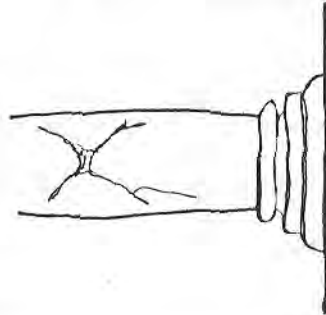
DETERIORO DE A FOYOS
POR XILOFAGOS



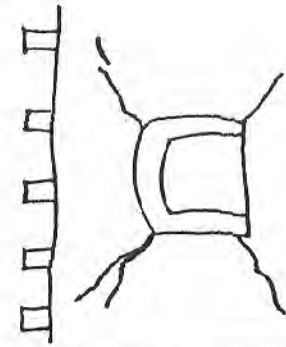
EMPUJES NO COMPENSADOS
DE BOVEDAS



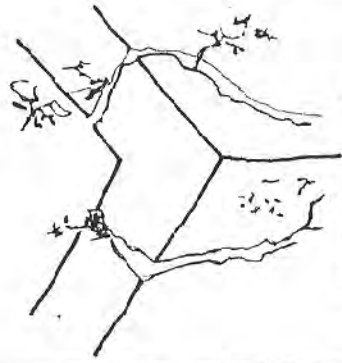
CONTRAFUERTE ADOSADOS
CON MALA TRABA



EXCESO DE
SOBRECARGAS

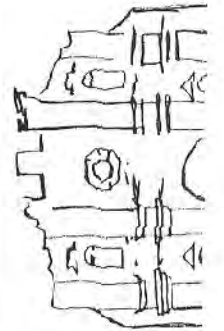


CONCENTRACION DE
ESFUERZOS

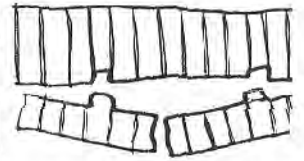


CONCENTRACION DE
ESFUERZOS

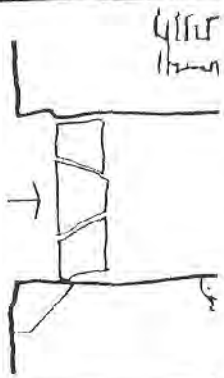
DEMOLICION DE
MONUMENTOS



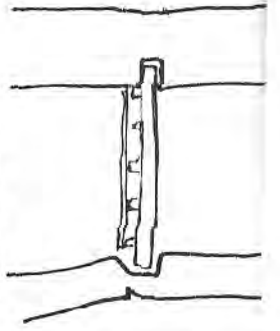
MALA FABRICA DEL MURO



DINTELES SIN
REFUERZOS



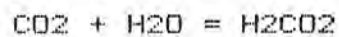
AGREGADOS EN LA
CONSTRUCCION QUE
DIBILITAN MURO



fuertes, en las juntas de materiales diferentes, en los lugares con vanos de los muros, etc.

1.2.2 DETERIORO POR PROCESOS DE CORROSION:

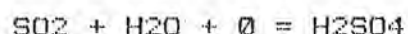
a.- Proceso de Corrosión Química, que se produce por efecto del agua y de la polución atmosférica. El contenido de Dióxido de Carbono de la atmósfera reacciona con el agua de la lluvia, provocando lo que se denomina una lluvia ácida y dando lugar a la formación de ácido carbónico:



Este ácido carbónico bajo ciertas condiciones puede transformar los carbonatos de calcio y de magnesio (presente en las calizas y feldespatos) en bicarbonatos y ser disuelto lentamente.

En otros casos como con las micas y silicatos (presentes en algunas areniscas) reaccionan lentamente y son transformadas en arcillas que pierden cohesión y aumentan de volumen, esto origina una costra en la superficie que puede soplarse o hincharse y desplazarse en la superficie de la piedra.

En lugares cercanos a centros urbanos el alto contenido de Dióxido de Azufre reacciona con el agua produciendo Ácido Sulfúrico:



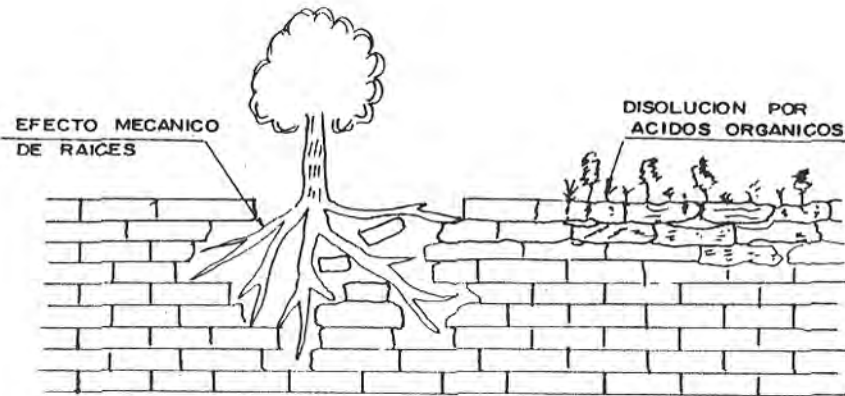
El Acido Sulfúrico causa un deterioro severo en diversos materiales por su gran poder erosivo (mayor que el Acido Carbónico), da lugar a la formación de una costra oscura, muy rica en sulfato de calcio, bajo la cual el material pierde cohesión y es fácilmente destruido.

b.- Proceso de Corrosión biológica, que es producido por micro-organismos, líquenes y por las planta superiores. Los micro-organismos (bacterias como el Thiobicilli) pueden convertir sulfatos en ácido sulfúrico. Los líquenes se introducen milímetros dentro del material y lo descomponen por medio de ácidos orgánicos. Las raíces de las plantas superiores como las hiervas, plantas, arbustos o árboles causan gran destrucción de muros debido a su gran poder de penetración.

1.2.3 DETERIORO POR PRESENCIA DE HUMEDAD:

La humedad es otra de las causas que mas contribuyen al deterioro de una construcción, afecta al terreno de fundación produciendo asentamientos. Sube por capilaridad en los muros disgregando al mortero de barro o a los adobes y originando la descomposición de muros y cimientos. Genera el

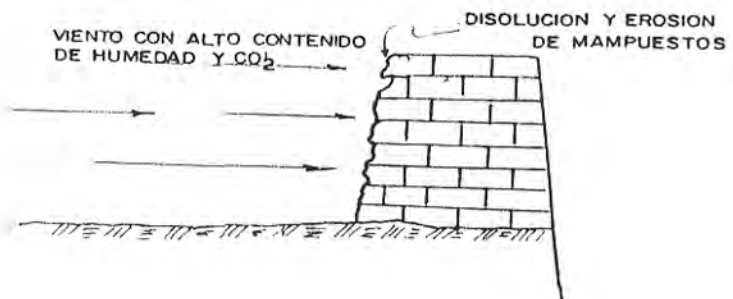
CORROSION BIOLÓGICA



CORROSION QUÍMICA



EROSION EOLICA Y QUÍMICA



crecimiento de materia orgánica como hongos, plantas, hiervas, etc.

1.3 TIPOLOGIA DE DAÑOS:

Conocidos las causas y factores que influyen en el deterioro de una construcción antigua veremos como se ven afectadas las construcciones de adobe y de piedra en procesos de acción lenta, dejando para el siguiente capítulo los efectos de sismo en estas construcciones.

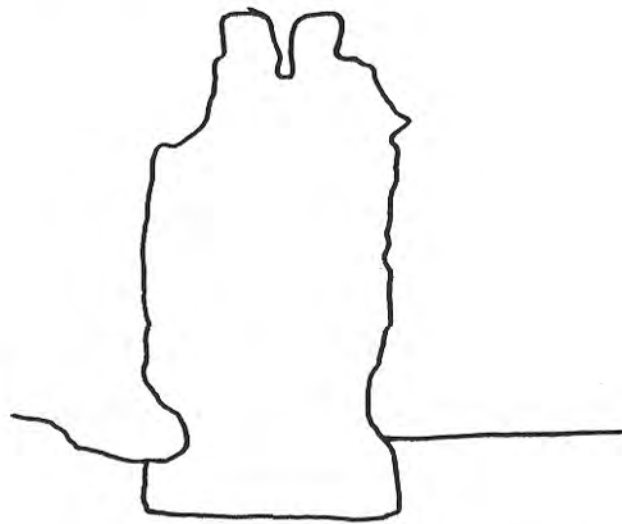
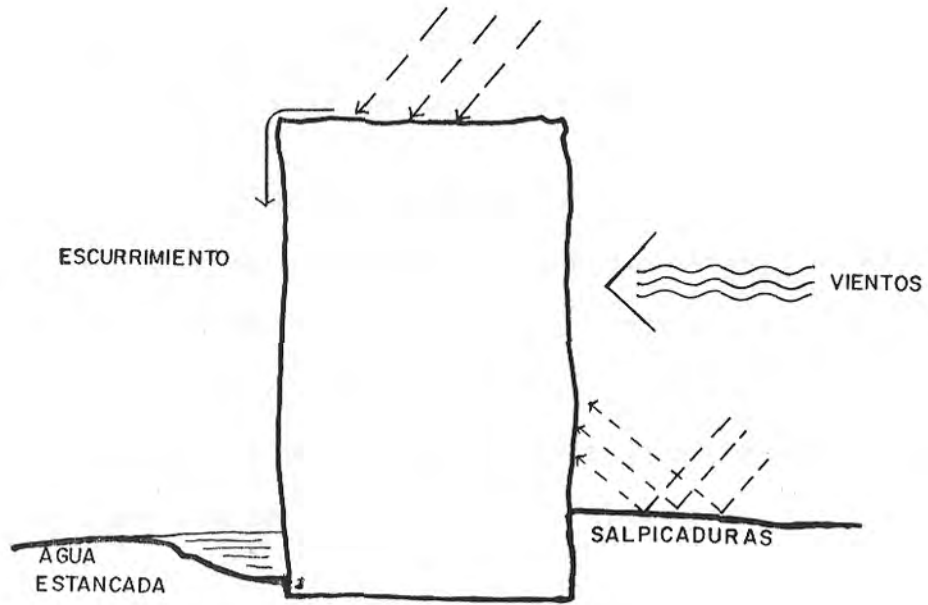
1.3.1 DETERIORO EN CONSTRUCCIONES DE ADOBE:

El principal agente de deterioro de una construcción de adobe es la humedad; cuando proviene del subsuelo sube por los muro por capilaridad disgregando a los materiales componentes del adobe y del mortero, expulsandolos hacia el exterior. Esto se agrava mas en aquellos muros que presentan un revoque de cemento que impiden que el agua salga al exterior y se evapore. Cuando el agua proviene de las lluvias y no existen coberturas o hay goteras, la cabecera de los muros se deteriora tremendamente.

1.3.2 DETERIORO EN CONSTRUCCIONES DE PIEDRA:

En este caso vamos a tomar como referencia a la Fortaleza de Kuelap, monumento arqueológico en el cual se observa como intervienen casi la totalidad

DETERIORO DEL MURO DE ADOBE



MURO DETERIORADO

de los agentes destructivos.

Kuelap se ubica en el Distrito de El Tingo, Provincia de Luya, Departamento de Amazonas. Ecológicamente se encuentra dentro de un área correspondiente al Bosque Humedo Montano a una altura de 3000 msnm.; las características constructivas y arquitectónicas se muestran en el anexo 2.

La Fortaleza está construida sobre un relleno de piedra y arcilla para formar terrazas, como antecedentes tenemos que en el interior la vegetación ha crecido en forma excesiva; temporadas de fuertes lluvias en los meses de Enero, Febrero y Marzo y; proximidad de Caserios y chacras.

La vegetación al crecer en forma excesiva ha destruido gran cantidad de muros por efecto de las raíces de las plantas y árboles, las plantas inferiores deterioran los mampuestos con sus ácidos orgánicos.

La proximidad de personas contribuyó con el deterioro del monumento por intermedio de saqueos; utilización del material pétreo de los restos de andenerías para obras comunales o para beneficio individual (caminos de herradura, pircas divisorias, viviendas, etc.); quema de pastos, que que por la proximidad afectan tremendamente algunas

zonas por medio de la corrosión química o poniendo en peligro de incendio a la fortaleza.

La humedad proveniente de las lluvias causa también grandes estragos en la fortaleza; el agua se filtra en el relleno disolviendo el material ligante de los agregados gruesos que es expulsado hacia afuera presionando a las murallas perimetrales, provocando la existencias de grandes bolsones y en algunos casos el colapso de ésta.

CAPITULO II

EFEECTO DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS EN CONSTRUCCIONES ANTIGUAS.

Una de las principales causas del deterioro o colapso de una construcción son los movimientos sísmicos. El sismo es el gran revelador de todas las debilidades mecánicas de una obra, de todos los errores de concepción y de construcción. Revela que la unidad formal y espacial aparentes no implican necesariamente una unidad mecánica real, en que se conserva la transmisión interna de las fuerzas sin sobrepasar las capacidades resistentes, sin desequilibrio ni deformación; es decir que la unidad estructural, indudable, ante las cargas de gravedad, puede dejar de serlo ante las

solicitaciones sísmicas.

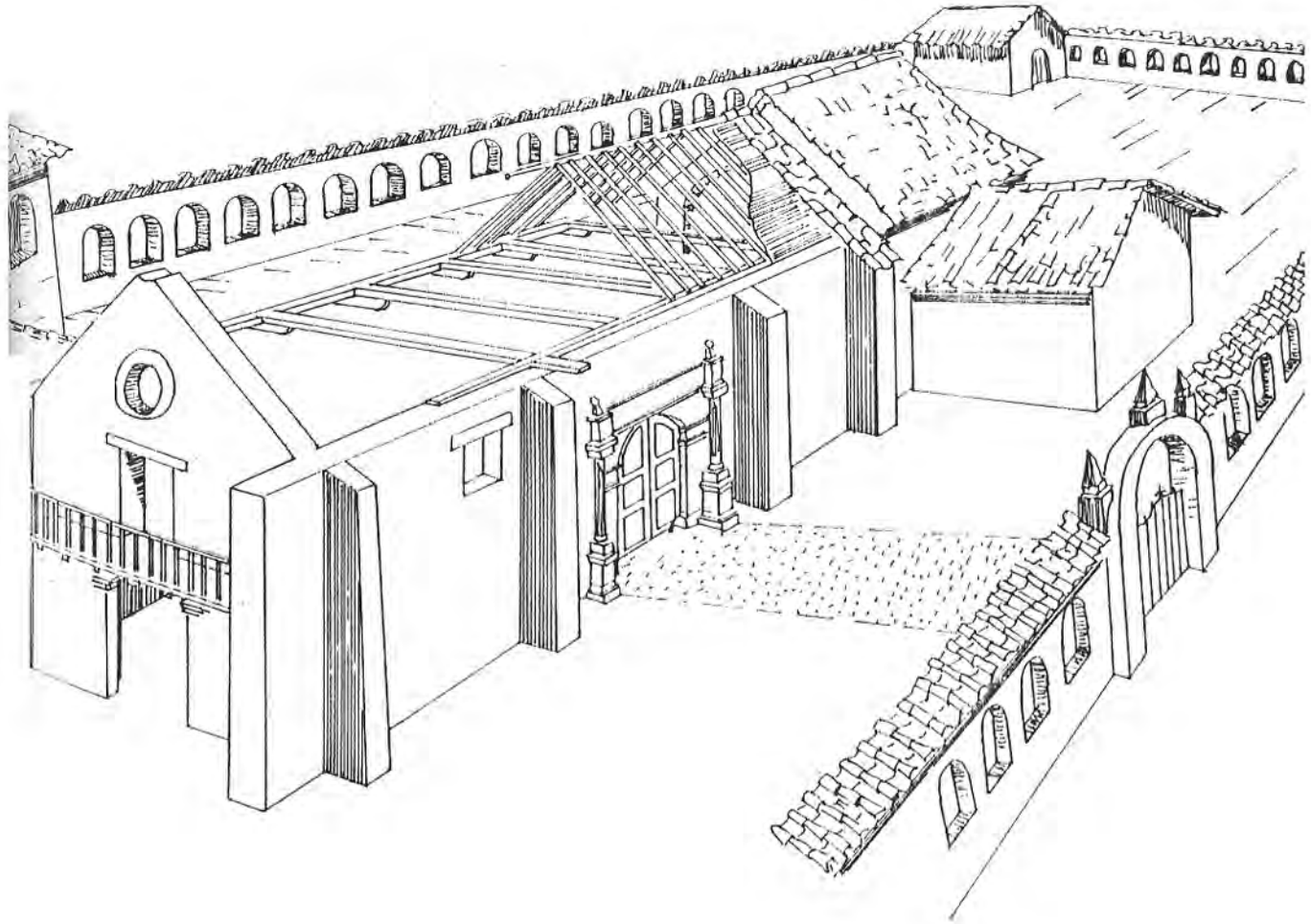
En este capítulo se tratará de explicar el comportamiento sísmico de las construcciones de adobe y de piedra, por ser las construcciones de mayor representatividad.

2.1 CONSTRUCCIONES DE ADOBE

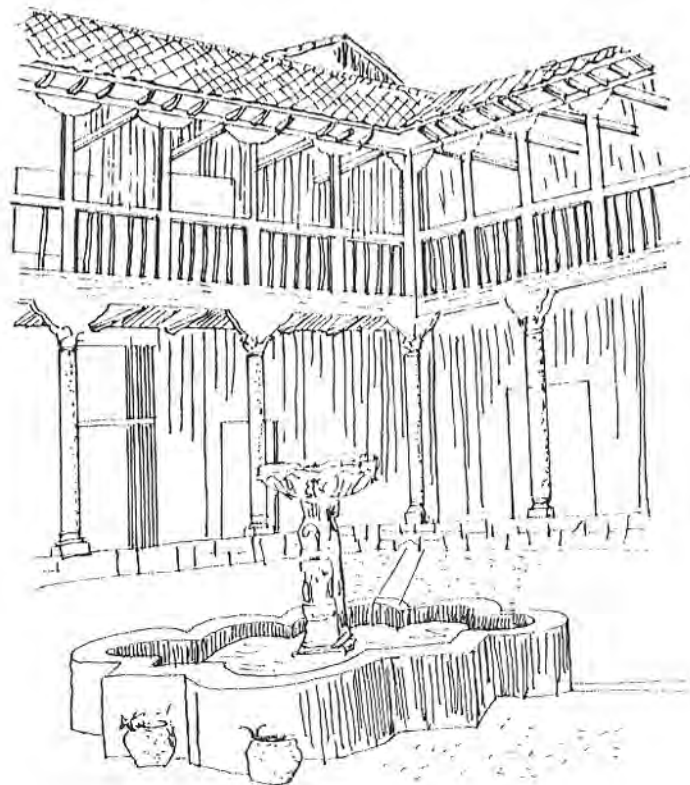
La frecuencia de colapsos o grandes daños en construcciones de adobe se debe tanto a las características de los materiales empleados como a los defectos de estructuración y construcción.

En muchas construcciones antiguas se observa una heterogeneidad en los materiales empleados de construcción; en un mismo edificio se mezclan mamposterías de piedra, ladrillo y adobe, que como se sabe tienen comportamientos elásticos distintos y bajo los efectos de un sismo tienden a disgregarse.

Los defectos de estructuración se hacen evidente en una distribución deficiente de muros o en muros excesivamente largos y de altura considerable sin elementos adecuados de arriostramiento; excesiva cantidad de vanos, traba deficiente en los encuentros de los muros; pésima fábrica en algunos muros anchos, modificaciones efectuadas en la estructura aumentando o suprimiendo tramos de muros, apertura de vanos, etc.



IGLESIA TIPICA DE ADOBE



CLAUSTRO

2.1.1 COMPORTAMIENTO SISMICO DE CONSTRUCCIONES DE ADOBE.

Para este acápite se ha realizado un resumen de los estudios realizados en la Universidad Autónoma de México. En ella se analizó el comportamiento sísmico de una vivienda de adobe idealizándolo del siguiente modo: muros empotrados en la cimentación con su masa distribuida uniformemente en su altura y cargas adicionales en sus extremos superiores que representan el peso del techo. Se supuso que los elementos estructurales del techo obligan a que los muros frontal y posterior tengan la misma configuración deformada pero que no proporcionan rigidez en el plano. Se consideró un comportamiento elástico lineal lo cual es aceptable solo antes de que ocurran grietas en los muros.

Para el análisis se consideró la estructura formada por elementos finitos tipo placa, que toman en cuenta el comportamiento de membrana y el de flexión; la malla de elementos empleada se muestra en la fig. 1, y aprovechando la simetría, sólo se analizó una cuarta parte de la estructura. Se realizó el análisis modal espectral superponiendo la respuesta de distintos modos con el criterio de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados.

Los resultados de la deformada de la estructura para los dos primeros modos de vibración se muestran en la fig. 3 observándose que los desplazamientos en el muro frontal, debido principalmente a flexión, son considerablemente mayores que los del muro transversal en el que predomina el comportamiento de cortante.

En la fig. 5 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes y la magnitud y posición de las fuerzas que provocaran ese diagrama sobre los muros transversales; es de notar que el cortante máximo no se presenta en la base, debido a la influencia del segundo modo de vibración. Asimismo se muestra que los momentos máximos se presentan en la esquinas.

2.1.2 MODOS DE FALLA DE UNA CONSTRUCCION DE ADOBE:

En las construcciones de adobe de 1 nivel se aprecia que las vibraciones inducen momentos flexionantes críticos en las esquinas superiores de los muros, los cuales se agritan progresivamente hacia abajo, de manera que el muro comienza a vibrar como un voladizo, ocurriendo el volteamiento cuando la altura agrietada del muro es suficiente para que la resultante de fuerzas caiga fuera de la sección del muro. El volteamiento

TABLA 1. CASOS ANALIZADOS

Caso	t (m)	L (m)	H (m)	Modo	sin cadena		con cadena	
					T (seg)	C _s (g)	T (seg)	C _s (g)
I	0.4	7.35	2.8	1	0.225	0.48	0.122	0.46
				2	0.072	0.28	0.055	0.23
II	0.2	7.35	2.8	1	0.489	0.48	0.297	0.48
				2	0.152	0.48	0.094	0.33
III	0.6	7.35	2.8	1	0.146	0.47	0.102	0.35
				2	0.051	0.22	0.047	0.21
IV	0.4	4.00	2.8	1	0.123	0.41	0.077	0.29
				2	0.052	0.23	0.043	0.20
V	0.4	5.00	2.8	1	0.165	0.48	0.096	0.34
				2	0.054	0.23	0.048	0.21
VI	0.4	10.00	2.8	1	0.270	0.48	0.194	0.48
				2	0.110	0.38	0.066	0.26
VII	0.4	7.35	2.4	1	0.187	0.48	0.123	0.41
				2	0.067	0.26	0.048	0.21
VIII	0.4	7.35	3.5	1	0.281	0.48	0.170	0.48
				2	0.079	0.30	0.067	0.26
IX	0.4	7.35	2.8*	1	0.104	0.36	0.081	0.30
				2	0.059	0.24	0.054	0.23
X	0.4	7.35	2.8**	1	0.376	0.48	0.206	0.48
				2	0.118	0.40	0.065	0.26
XI	0.4	7.35	2.8***	1	0.079	0.30		
				2	0.039	0.19		
XII	0.4	planta eliptica		1	0.122	0.41		
				2	0.093	0.33		
XIII	0.4	planta circular		1	0.100	0.35		
				2	0.079	0.30		

* Muro divisorio al centro

** Techo pesado

*** Techo rígido ligado a los muros

TABLA 2. ELEMENTOS MECANICOS MAXIMOS OBTENIDOS CON EL ANALISIS DINAMICO

Caso	sin cadena				con cadena			
	V (ton)	V* (ton)	M (kg m / m)	M* (kg m / m)	V (ton)	V* (ton)	M (kg m / m)	M* (kg m / m)
I	2.74	5.71	461	960	5.51	11.98	158	343
II	1.74	3.54	260	542	2.67	5.56	82	171
III	3.85	7.54	657	1398	6.30	18.00	193	551
IV	2.64	6.44	258	629	4.83	16.66	62	214
V	3.06	6.38	410	854	5.09	14.97	99	291
VI	2.49	5.19	448	933	5.01	10.44	179	373
VII	1.85	3.85	337	702	3.72	9.07	104	254
VIII	4.66	9.71	717	1494	8.12	16.92	239	498
IX	5.67	15.75	184	511	8.08	26.93	50	167
X	6.01	12.52	1050	2188	9.16	19.08	294	613

V^* , M^* Cortantes y momentos divididos entre la ordenada espectral

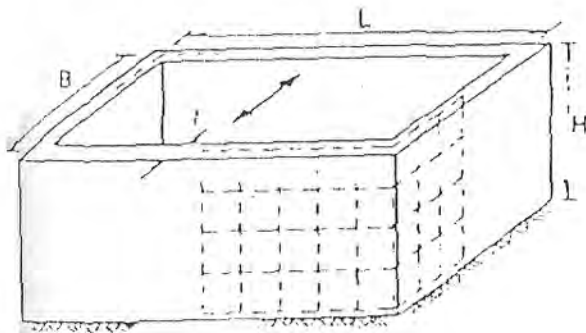


Fig 1. Idealización de casas de adobe para análisis dinámico

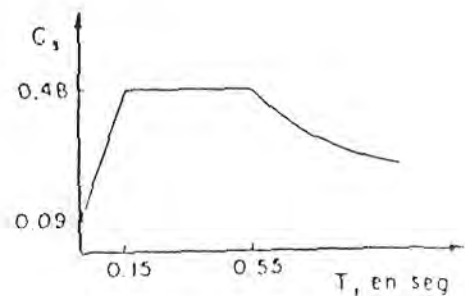
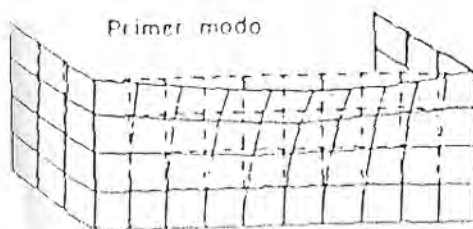
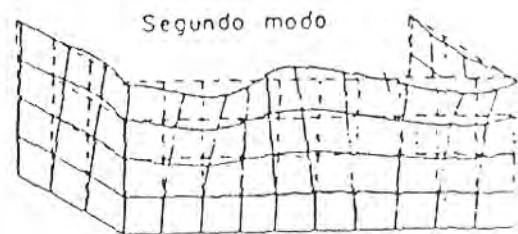


Fig 2. Espectro utilizado



Primer modo



Segundo modo

Fig 3. Configuraciones de los dos primeros modos de vibrar

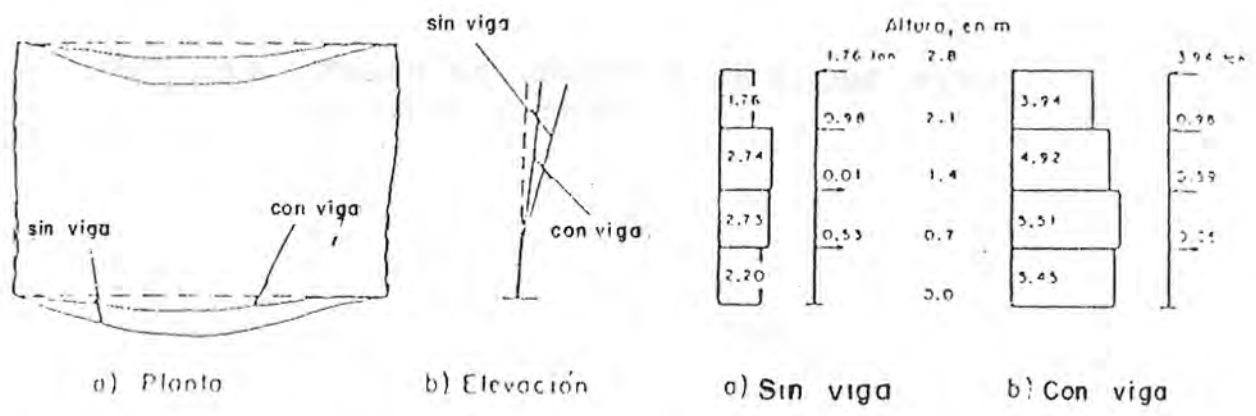


Fig. 4. Comparación de modos fundamentales de vibración de casa con y sin viga

Fig 5. Diagramas de fuerzas y de cortante en los muros transversales

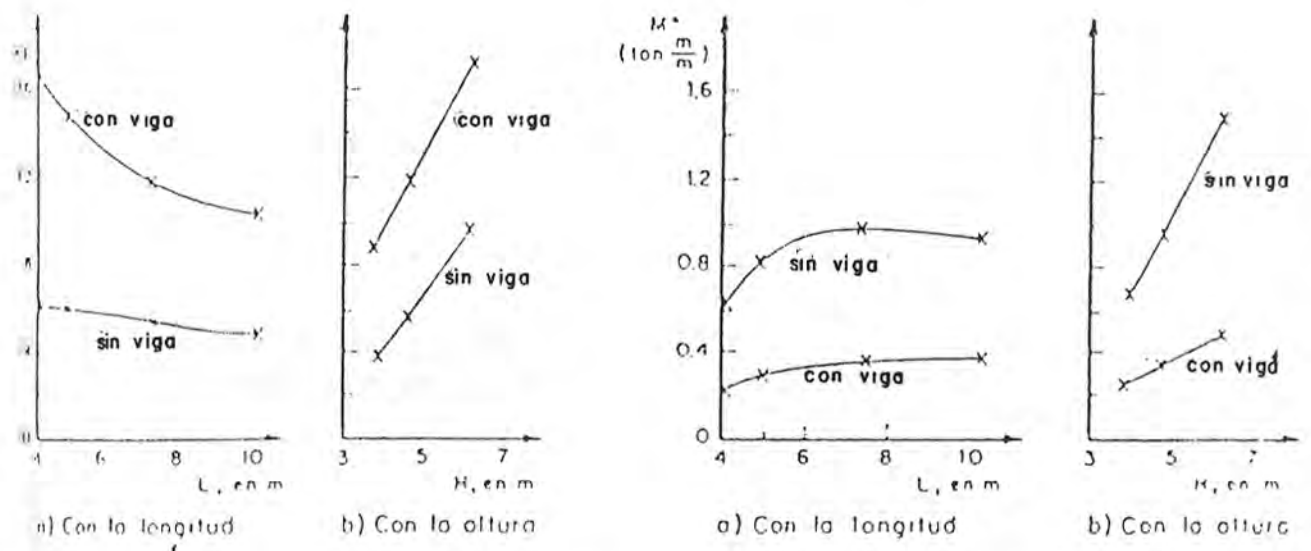


Fig. 6. Variación del cortante en los muros transversales

Fig 7. Variación del momento en los esquinas

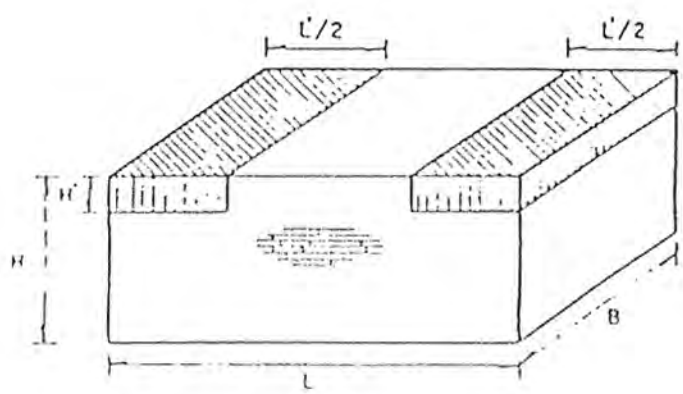
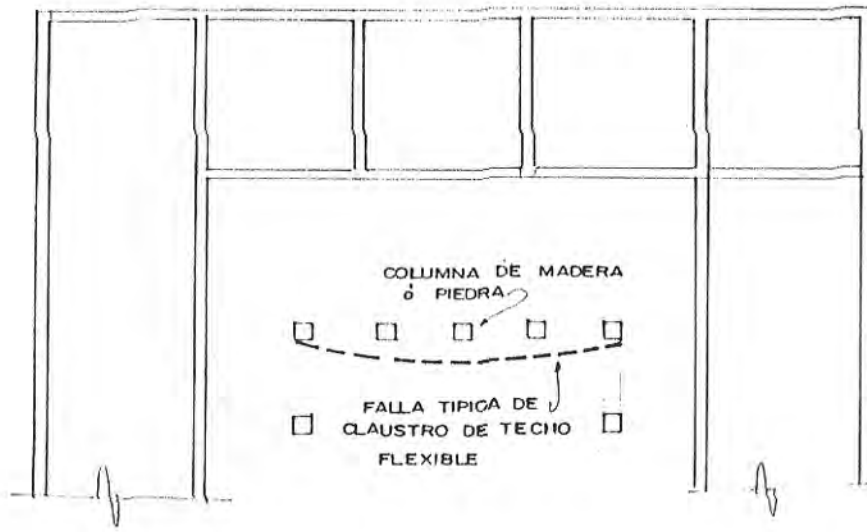
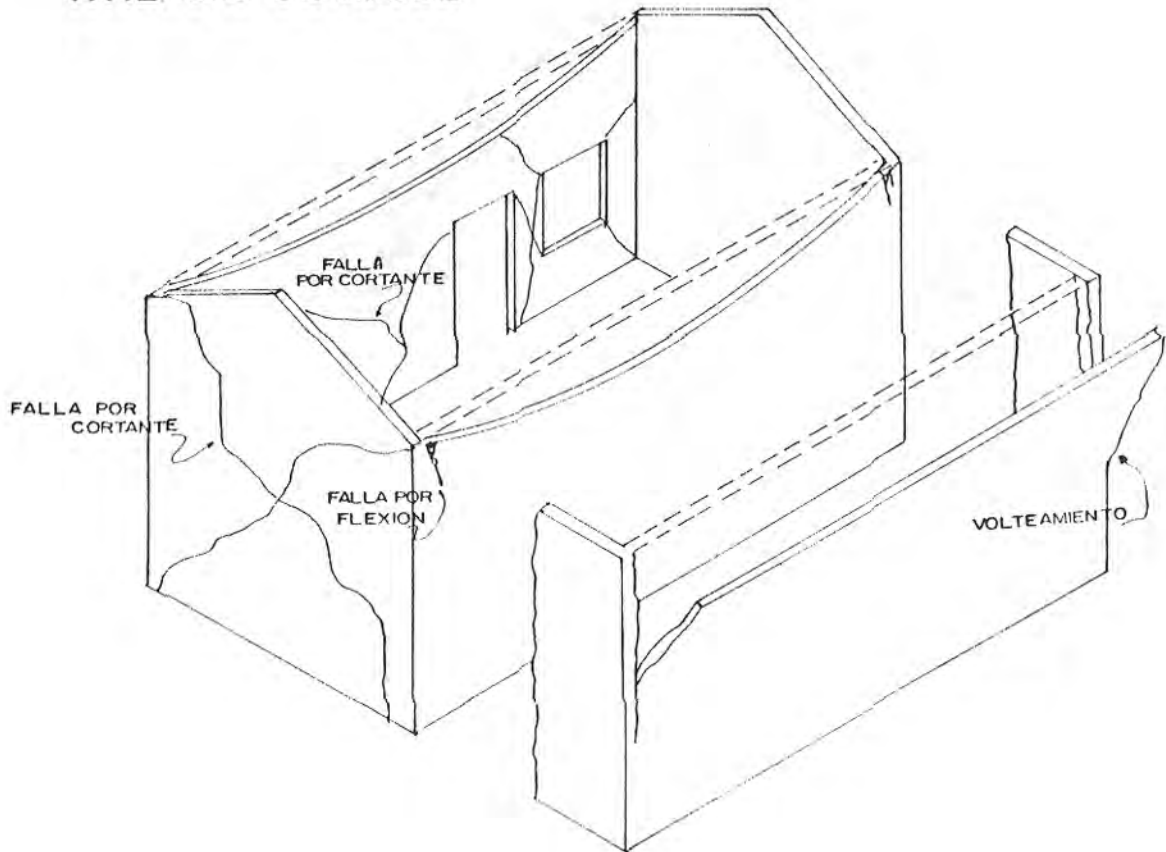


Fig. 8. Masa equivalente para calcular el cortante con el método simplificado

FALLAS TÍPICAS DE VIVIENDA DE ADOBE POR EFECTO DE SISMO



MODOS DE FALLA DE VIVIENDAS DE ADOBE



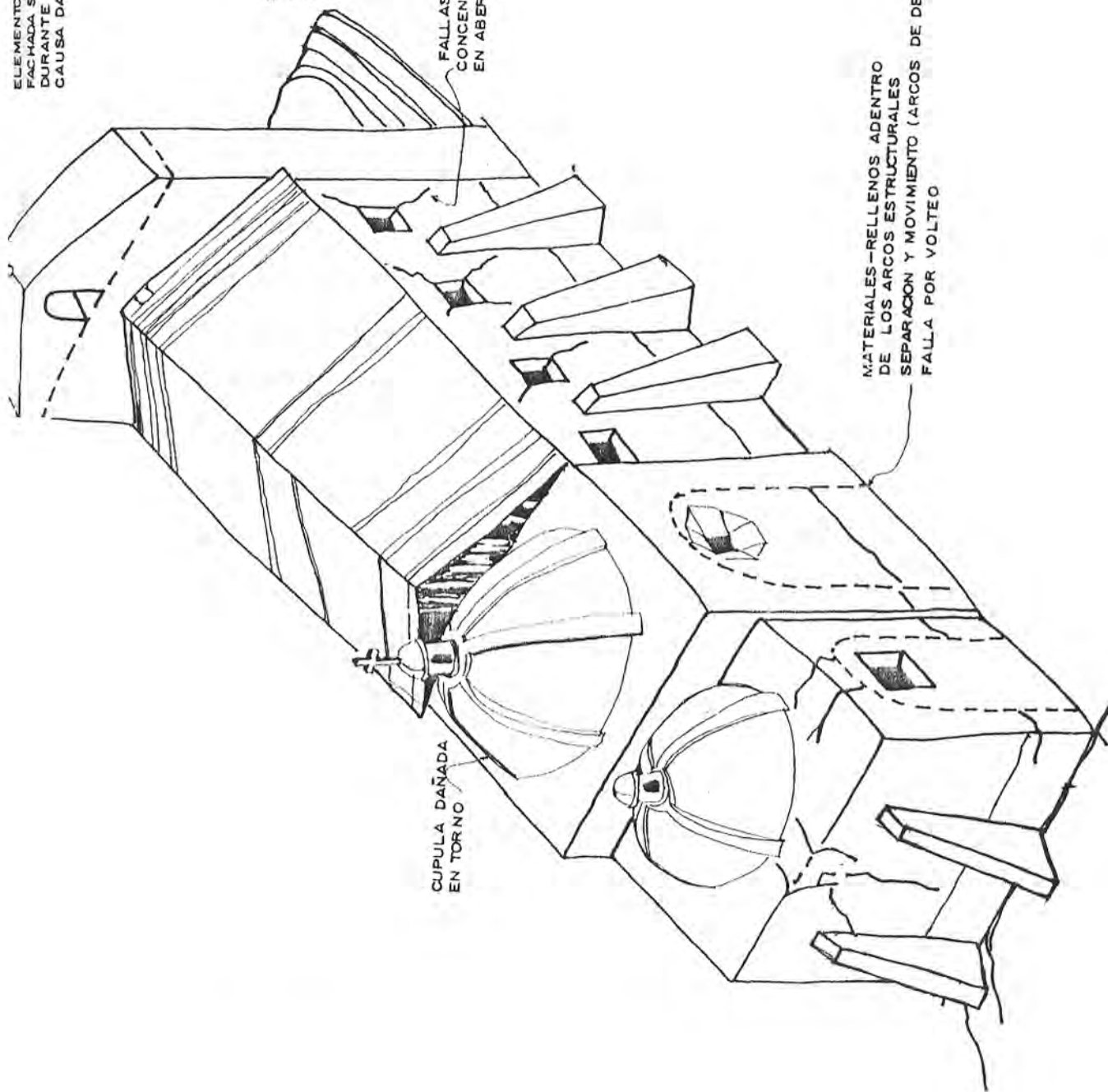
ELEMENTOS-PARTE DE
FACHADA SE DESPLOMA
DURANTE MOVIMIENTO SISMICO
CAUSA DANDOS A LOS TECHOS

LAS FACHADAS SON
MASIVAS Y MUY PESADAS
SIGUE EN MOVIMIENTO POR
LOS SISMOS. "EFECTO TIPO
PENDULO."

FALLAS POR CORTANTE
CONCENTRACION DE ESFUERZO
EN ABERTURA

MATERIALES-RELLENOS ADETRON
DE LOS ARCOS ESTRUCTURALES
SEPARACION Y MOVIMIENTO (ARCOS DE DESCARGA)
FALLA POR VOLTEO

CUPULA DAÑADA
EN TORNO



ocurre casi siempre hacia afuera, ayudado por el golpe de ariete del techo.

En construcciones en que la longitud no soportada de muros sea pequeña, la falla suele ocurrir por cortante a través de grietas diagonales. Este modo de falla es propiciado frecuentemente por la existencia de aperturas importantes en los muros.

Lo anterior es válido tanto para viviendas de 1 piso como para iglesias y capillas construidas enteramente de adobe. En el caso de construcciones de adobe con ladrillo y piedra tal como ocurre generalmente en las iglesias de la costa el comportamiento es diferente. Estas construcciones tienen la particularidad de incluir pilastras de ladrillo cada ciertos tramos o arcos de descarga que soportan la cobertura, donde el adobe es empleado como elemento de cerramiento. En este tipo de construcciones, al no existir traba entre los muros y pilastras, los muros de adobe se comportan como muros en voladizo fallando por volteo.

2.2 CONSTRUCCIONES DE PIEDRA.

Para el estudio del comportamiento sísmico de construcciones de piedra se ha tomado como referencia a los monumentos religiosos de la ciudad del Cuzco, para lo cual se ha realizado una reseña histórica de los

movimientos sísmicos y sus efectos en los monumentos religiosos; posteriormente se ha analizado a la Iglesia de la Compañía de Jesús a fin de evaluar su comportamiento ante sollicitaciones sísmicas.

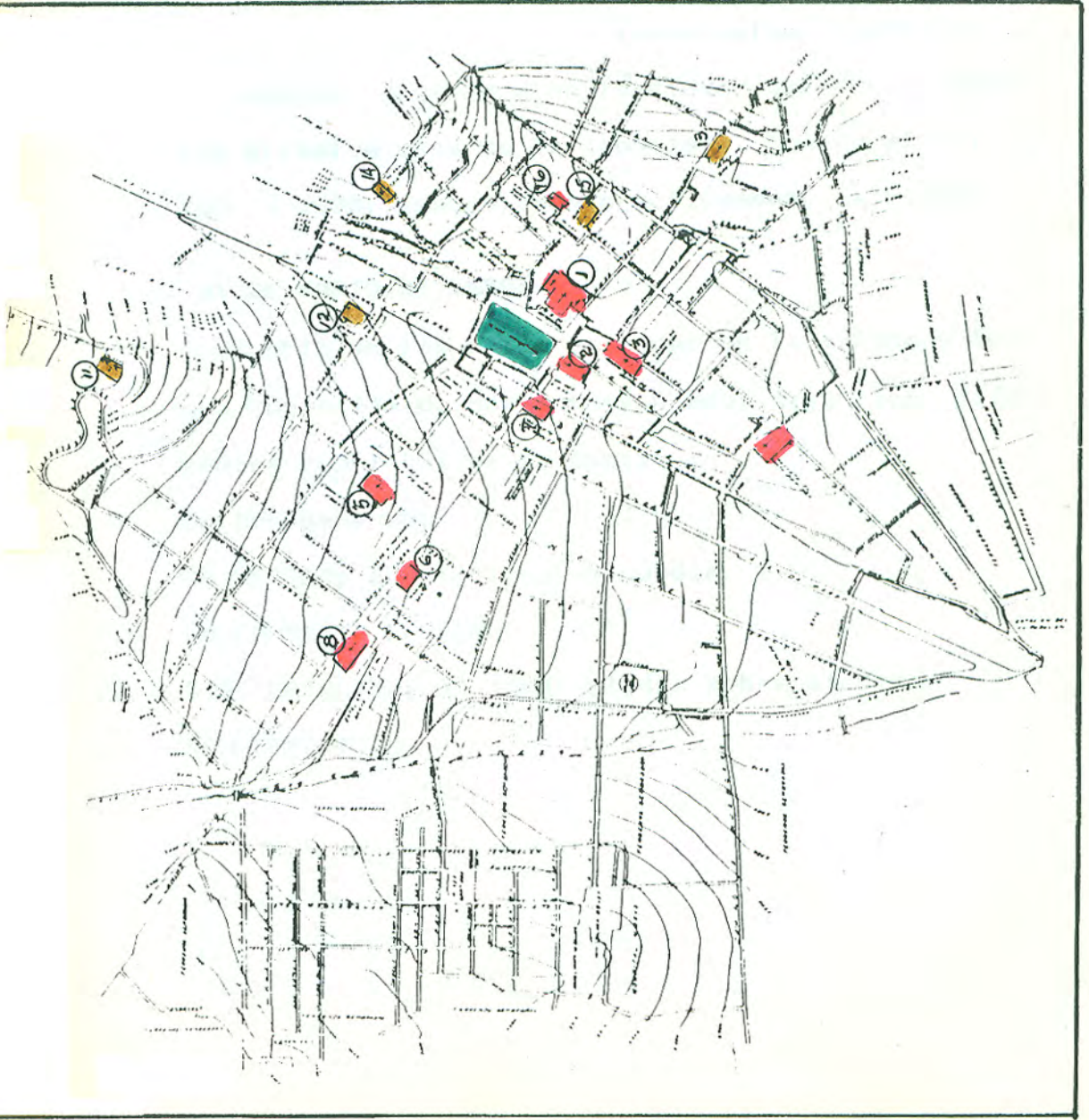
Al realizar el estudio de este capítulo observamos la importancia que tiene la historia a través de crónicas para determinar las zonas de mayor riesgo sísmico y las características del suelo. Analizando los datos disponibles, se observa que los sismos afectan poco a las iglesias que se encuentran en zonas elevadas, y por el contrario la parte plana y baja es la más afectada.

El sector de mayor riesgo sísmico es el comprendido entre los ríos Tullumayo, Huatanay y Chunchullmayo, en la cota altimétrica 3400 m.s.n.m. Esto debido a la constitución del suelo, al cual se refiere el Padre Antonio Vega Loayza en un manuscrito, en la construcción de la iglesia de la Compañía:

"Al abrir de los cimientos, se hallaron grandes dificultades y la mayor fué que cuanto se trabajaba en un día, se derrumbaba y cubría en otro, por ser todo el sitio de nuestra iglesia y casa, tierra movediza y cascajal porque antiguamente todo este suelo de nuestra casa y de esta plaza grande, a donde nosotros vivimos, estaba lleno de fontanas o

LEYENDA

		RIO CANALIZADO
1	■	IGLESIAS QUE HAN SUFRIDO DANOS -
2	■	IGLESIAS CON DANOS LEVES O SIN DANOS
3	■	PLAZA DE ARMAS
1	1	CATEDRAL
2	2	I. DE LA COMPANIA DE JESUS
3	3	IGLESIA Y CONVENTO STA CATALINA
4	4	IGLESIA Y CONVENTO STO DOMINGO
5	5	IGLESIA Y CONVENTO SAN FRANCISCO
6	6	IGLESIA Y CONVENTO SANTA CLARA
7	7	IGLESIA Y CONVENTO LA MERCED
8	8	IGLESIA SAN PEDRO
9	9	IGLESIA DE BELEN'
10	10	PARROQUIA DE SANTIAGO
11	11	IGLESIA DE SANTA ANA
12	12	IGLESIA DE SANTA TERESA
13	13	IGLESIA DE SAN BLAS
14	14	IGLESIA DE SAN CRISTOBAL
15	15	IGLESIA SAN ANTONNO DE ABAD
16	16	MONASTERIO DE LAS NAZARENAS



manantiales de agua de lo que resultaba estar todo ello hecho una laguna y pantano grande y para quitar esta fealdad lo Incas divirtieron las aguas de un río o arroyo que pasaba por medio de la ciudad (A quien llamarían en su lengua Huatanay), toda la laguna cubrieron de cascajo, echando a manos de indios, con lo que vino a quedar toda la plaza enjuta y pareja."

2.2.1 CRONOLOGIA DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS EN LA CIUDAD DEL CUZCO

Las crónicas señalan incontables temblores y terremotos ocurridos en la ciudad del Cuzco desde los primeros años de la conquista. Dos de ellos, en 1650 y 1950, destruyeron prácticamente la ciudad.

31 DE MARZO DE 1650:

Ocurrió en las primeras horas de la mañana y tuvo una duración de dos o tres Credos según los diferentes cronistas de la época.

Se Derrumbaron:

LA MERCED; que incluso se hundió.

LA COMPAÑIA DE JESUS

STA. CATALINA; no quedó piedra sobre piedra.

SAN SEBASTIAN

Regular Daño:

LA CATEDRAL

IGLESIA DE SANTIAGO

SAN FRANCISCO

SANTA CLARA

BELEN

SANTO DOMINGO.

30 DE DIC.1702:

Sufrieron regular daño:

LA MERCED, en el primer claustro.

SANTA CLARA, se rompió la cruz de piedra que estaba en el atrio.

SAGRARIO, desplomó tres cruces del atrio.

24 MARZO 1742:

Temblor derrivó uno de los angulos del primer claustro de la Merced.

19 DE NOV.1744:

LA MERCED, rajadura en las bóvedas.

STO. DOMINGO, se desplomó un claustro.

SAN ANDRES, se destruyó la portada nueva.

LA CATEDRAL, se desprendió algunos elementos de la fachada.

STA. CATALINA, se desprendió algunos elementos de la fachada.

En los barrios de Sto. Domingo, Belen, Almudena y

Santiago se cayeron algunas paredes.

18 DE SET.1941:

Temblor de regular intensidad provocó pequeños daños en San Sebastian y en La Compañía.

21 DE MAY.1950:

Ocurrió a la 1.39 p.m., tuvo una intensidad de VII grados en la escala de Mercalli.

GRANDES DAÑOS:

IGLESIA Y CONVENTO DE STO. DOMINGO; campanario cae sobre bóveda, colapso de los claustros del convento.

COMPAÑIA DE JESUS; caída de campanario, rajadura de bóvedas y cúpula.

BELEN; daños en las torres y bóvedas.

SAN SEBASTIAN; daños en las torres y bóvedas.

STA. CATALINA; derrumbe de claustro y daños en la iglesia.

REGULAR DAÑO:

LA CATEDRAL; rajaduras en las torres.

SAN FRANCISCO; daños en los claustros.

SANTA CLARA; daños en los claustros y en la torre.

5 de ABRIL 1986:

SANTA CLARA: Grandes daños en la torre, se tuvo que bajar las campanas para disminuir el peso; no

se presentaron daños en la bóveda.

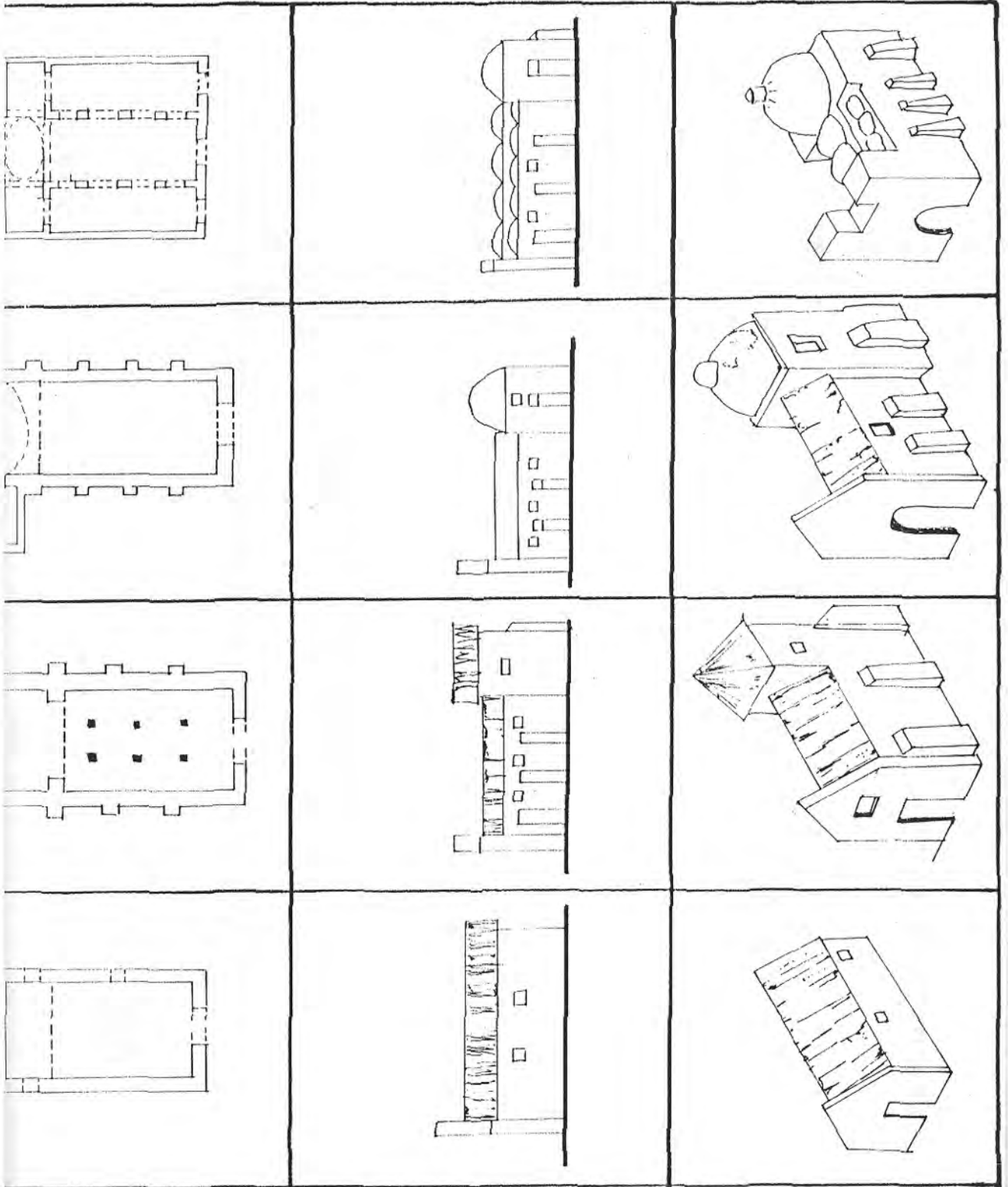
LA CATEDRAL: Fisuras en la torres; desprendimientos de pináculos y elementos decorativos que rematan la fachada. Rajaduras en las bóvedas, siendo la mas afectada la de la Sacristía.

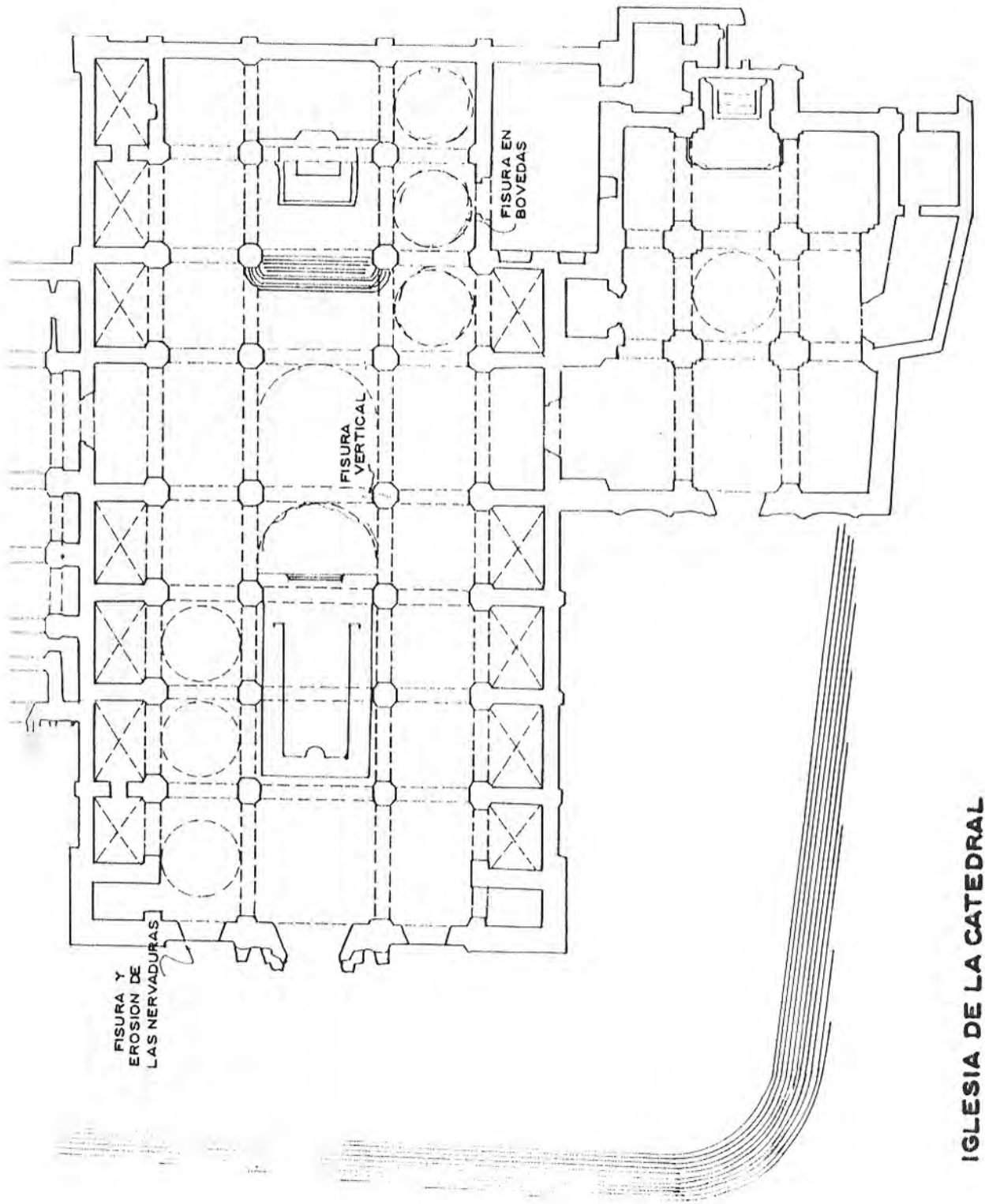
SANTA CATALINA: zona de la iglesia: daños en la bóveda (de cañón corrido), presenta fisuramiento en toda su longitud y en tres sectores. Se realizaron calas para verificar la verdadera estructura, encontrándose excesiva carga de elementos líticos y presencia de capas superpuestas en diferentes intervenciones.

Zona de Clausura: los muros de adobe presentan grietas y fisuras. Se tubo que realizar calzaduras de cimientos y muros.

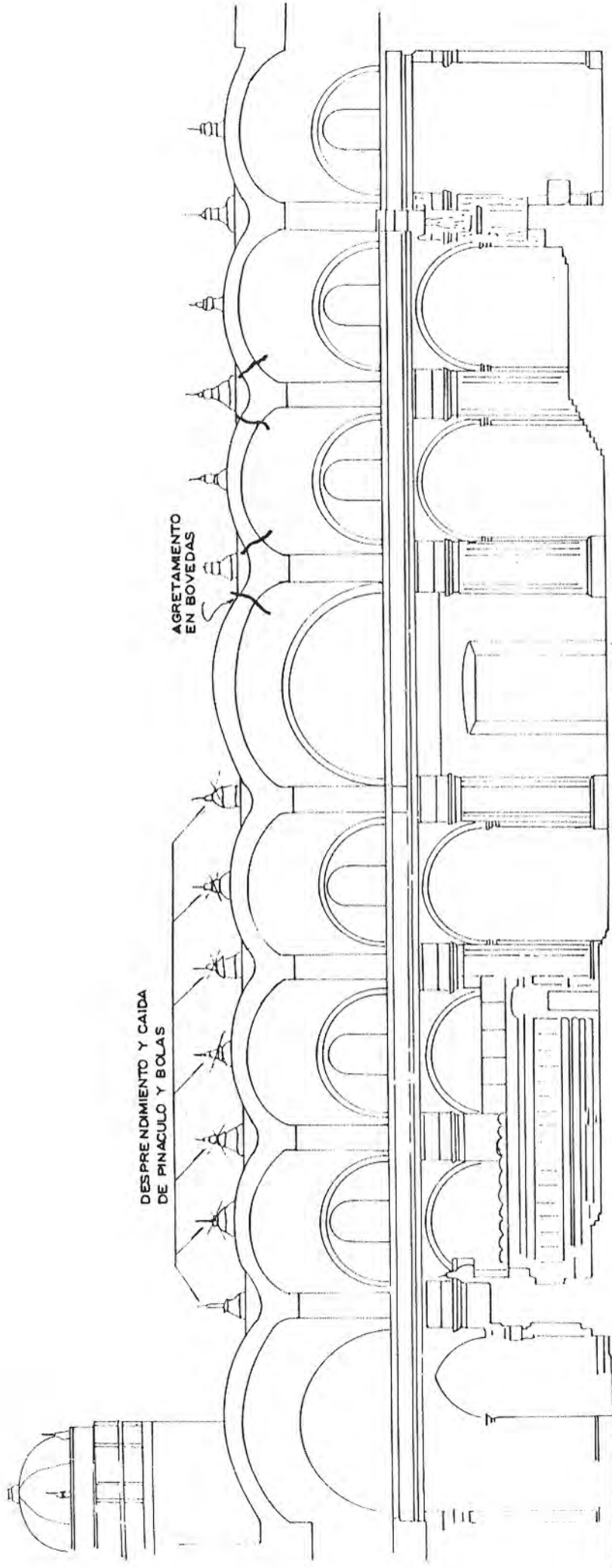
SAN FRANCISCO: Fallaron las torres y las bóvedas. Los pilares, pilastras, la cúpula y los arcos que soportan la torre presentan fisuras.

LA COMPAÑIA: Daños en las partes mas elevadas. Uno de los templetos cayó y el otro giró considerablemente. La linterna de la cúpula fué uno de los mas comprometidos, el ladrillo estaba quebrado y el mortero pulverizado. La cúpula presenta una rajadura vertical y el tambor que la soporta presenta fisuras.





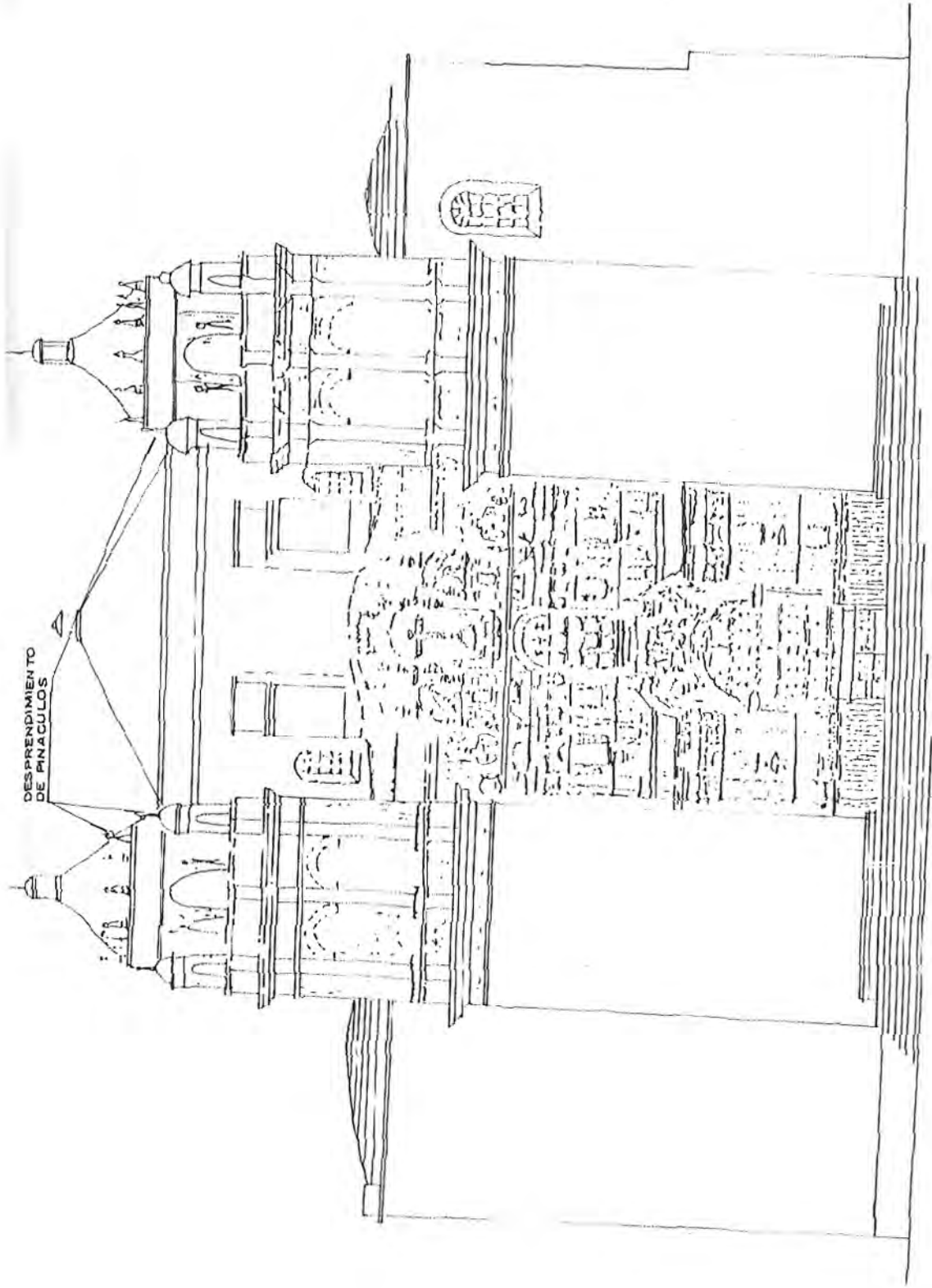
IGLESIA DE LA CATEDRAL



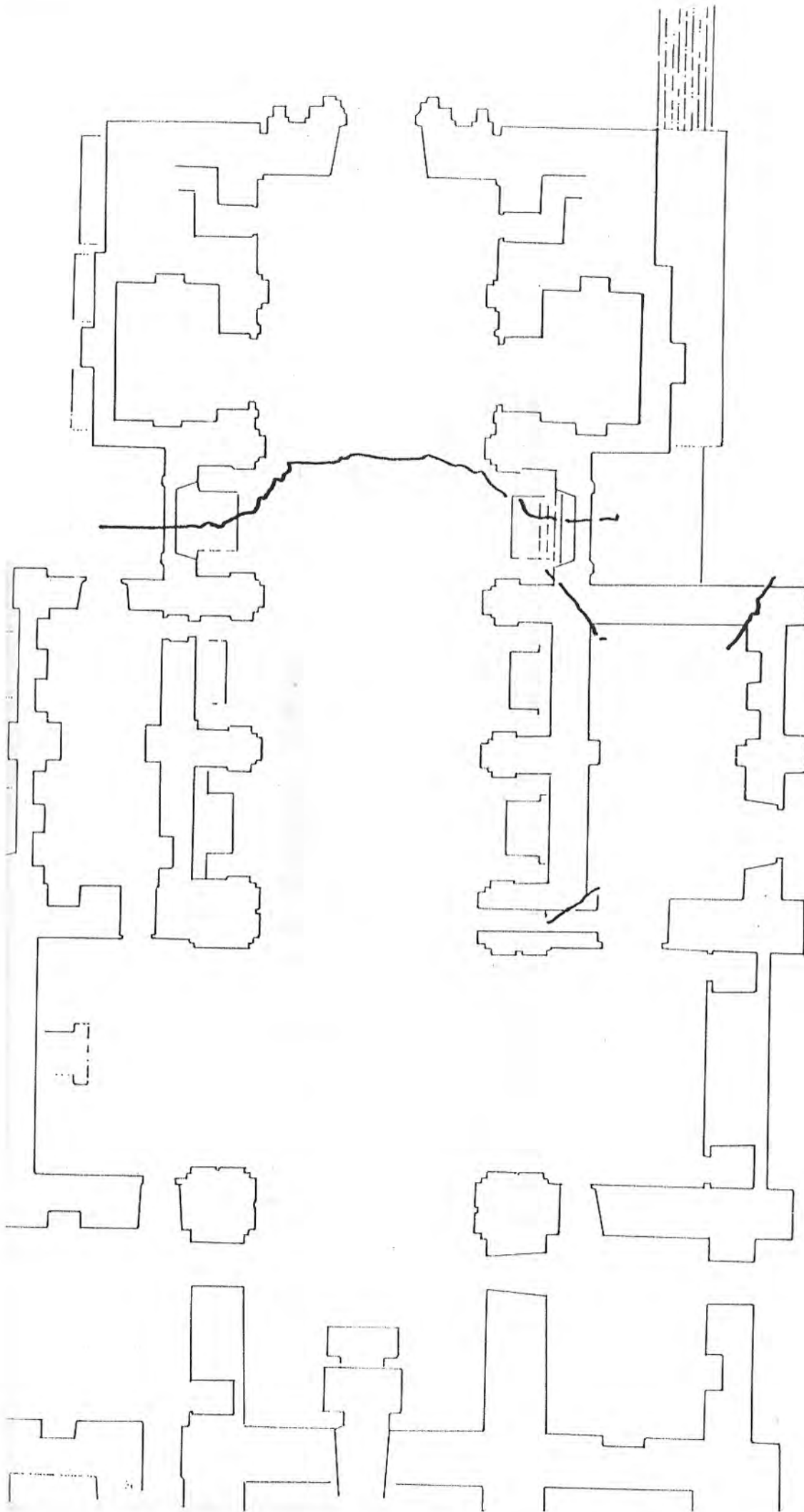
DESPRENDIMIENTO Y CAIDA
DE PINACULO Y BOLAS

AGRETAMIENTO
EN BOVEDAS

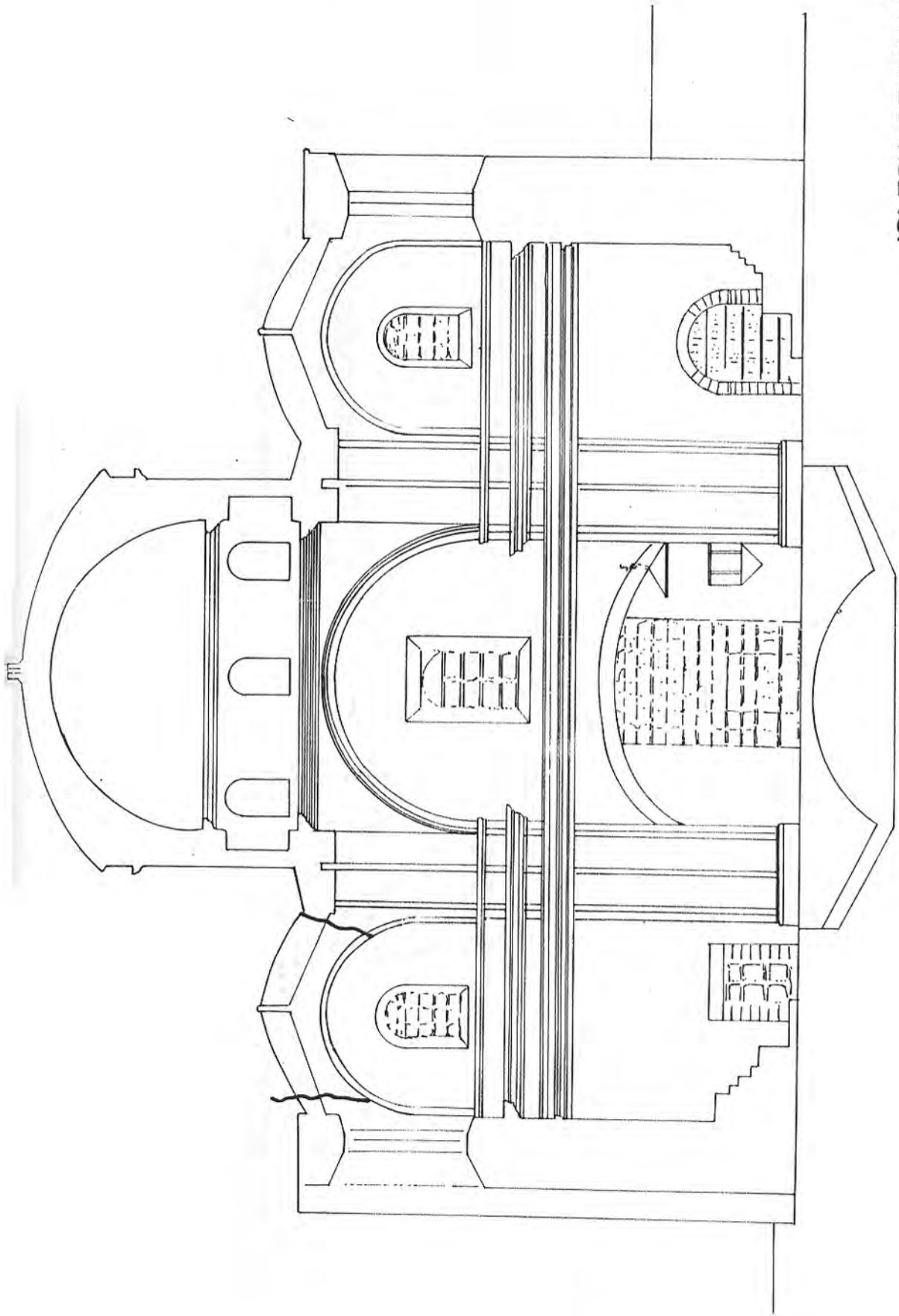
IGLESIA DE LA CATEDRAL



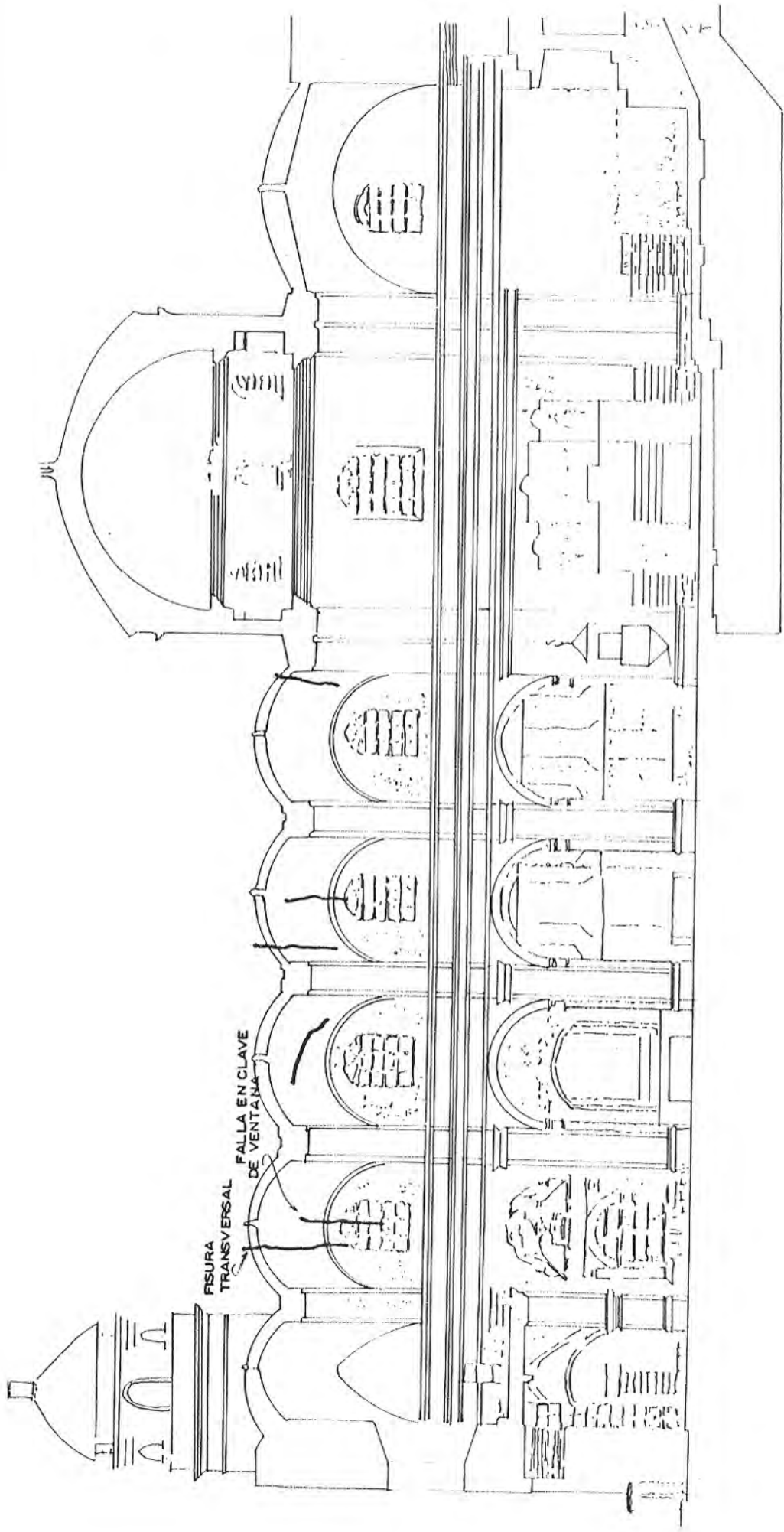
IGLESIA DE SAN PEDRO



IGLESIA DE SAN PEDRO



IGLESIA DE SAN PEDRO



FISURA
TRANSVERSAL

FALLA EN CLAVE
DE VENTANA

IGLESIA DE SAN PEDRO

STA. TERESA: Los daños son de consideración en la zona de clausura donde se detectaron fisuras en los muros de adobe debido a la existencia de vanos grandes.

LA MERCED: Uno de los monumentos mas afectados. La caída de uno de los templetes abrió un forado en la bóveda del coro y dañó la del sotocoro. La torre se encuentra debilitada, algunos elementos presentan desprendimiento. Los dinteles que dan acceso a la torre fallaron y en la parte superior se evidencia fisuras en el muro.

2.2.2 COMPORTAMIENTO SISMICOS DE CONSTRUCCIONES DE PIEDRA:

Para el análisis sísmico de los monumentos de piedra de deben afrontar dos condiciones iniciales desfavorables; por un lado, son diferentes de los tipos estructurales que han constituido la preocupación preferente de la ingeniería antisísmica; hay pocos de entre todos los desarrollos recientes de ésta que le sean aplicables directamente. Constituyen problemas poco o nada estudiados.

Por otro lado, sus estructuras resistentes suelen ser inadecuadas: son frágiles, poco redundantes; sus daños conducen rápidamente a la inestabilidad; son discontinuas, no uniformes, pesadas; de mate-

riales y uniones poco resistentes; degradables irreversiblemente.

En Hispanoamérica tenemos otros problemas que se agregan a estos por razón de venir la arquitectura del viejo mundo: su tipología maduró en áreas no sísmicas; su historia fué demasiado corta como para exhibir una evolución oportuna y acertada; la calidad de su construcción fue inferior, en general, a la de su país de origen por desconocimiento o pobreza. A veces, la forma se adopta con una comprensión inadecuada de su mecánica interna (arcos o bóvedas con empujes insuficientemente contrarrestados) o se altera de manera contraducente. El rebaje de arcos y bóvedas los hace menos sensibles al sismo internamente, pero aumenta su sensibilidad a los desplazamientos de apoyos e incrementa los empujes; solo se traslada el problema de un lugar a otro.

Los códigos o normas de cálculo antisísmico no son aplicables a los monumentos históricos, ya que generalmente cubren a las construcciones que se construirán según sus indicaciones y no podrían aplicarse sin más a los monumentos sin atentar contra los estándares habituales de conservación y restauración. Para el estudio de este tipo de

construcciones es preferible analizar las tipologías de partes bien definidas, ya que la interacción entre éstas para formar sistemas más complejos suele ser débil.

De acuerdo con los resultados de los análisis realizados se observa que los muros, pilares o pilastras casi no transmiten momentos a las bóvedas o arcos, formándose prácticamente una rótula en la unión de estos. Los máximos esfuerzos y momentos se producen en las bases de los muros o pilares. Esto se debe a la gran diferencia de rigidez y del módulo de elasticidad entre muros o pilares y las bóvedas o arcos, sin considerar además que la unión entre estos no es monolítica.

El análisis sísmico realizado consideró diferentes estados de carga (cargas de gravedad y de sismo) en dos tipos de pórticos, uno con arco de medio punto y el otro con arco rebajado. En los siguientes gráficos se muestra la variación de los momentos y esfuerzos según varía la fuerza sísmica.

El comportamiento sísmico de las torres corresponde al de un sistema de masa continua con la particularidad de cambios bruscos de rigidez cada ciertos niveles y la influencia del peso de las campanas en algunos casos .

2.2.3 TIPOLOGIA DE DAÑOS

Según indica la cronología de los movimientos sísmicos y sus efectos en los monumentos religiosos, los daños mas graves se producen en los elementos poco o nada arriostrados como son las torres y las arquerías de los patios. Todos los monumentos religiosos han sufrido daños en mayor o menor grado en sus torres y en las galerías de los patios; los campanarios al caer, hacen estragos en las bóvedas o techumbres, sucede lo mismo con los grandes planos de arquerías de los claustros que, al caer, arrastran techumbres y vigas de los pisos superiores. Por otro lado observamos que las bóvedas doblemente curvadas tienen un mejor comportamiento ante las ondas sísmicas que las bóvedas de cañón corrido, que solo resisten presiones verticales.

2.2.4 ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SISMICO DE LA IGLESIA DE LA COMPAÑIA DE JESUS

a.- RESEÑA HISTORICA:

Realizada la fundación española de la Ciudad del Cuzco se inició el reparto de solares, los cuales se adaptan a la estructura urbana inca. Es así que la gran plaza Inca (el Aucaypata) se mantiene como plaza mayor y que sobre las canchas señoriales se

levantan nuevas construcciones coloniales, de tal manera que los edificios incaicos fueron desmantelados o modificados para adecuarlos a diversos usos como viviendas, lugares de culto o sede de comunidades religiosas: El Acllahuasi, es convertido en el monasterio de Santa Catalina; sobre el Coricancha se construyó la iglesia y el convento de Santo Domingo.

En el momento del reparto, Hernando Pizarro recibió una importante parcela de tierra en la plaza mayor, era el Amarucancho (Palacio de Huayna Capac), que años mas tarde es comprada por los Jesuitas.

Con fondos aportados por doña Teresa Ordoñez, casada con un capitán español de nombre Diego de Silva, se construye la primera iglesia de la Compañía de Jesús; construcción, mas modesta que la actual, que fué destruida por el sismo de 1650.

Entre los años 1651 y 1668 se construye la actual iglesia de la Compañía, cuyas características corresponde a un estilo barroco mestizo. Su planta es de cruz latina y sobre el crucero se levanta una cúpula con tambor.

b.- SISTEMA CONSTRUCTIVO:

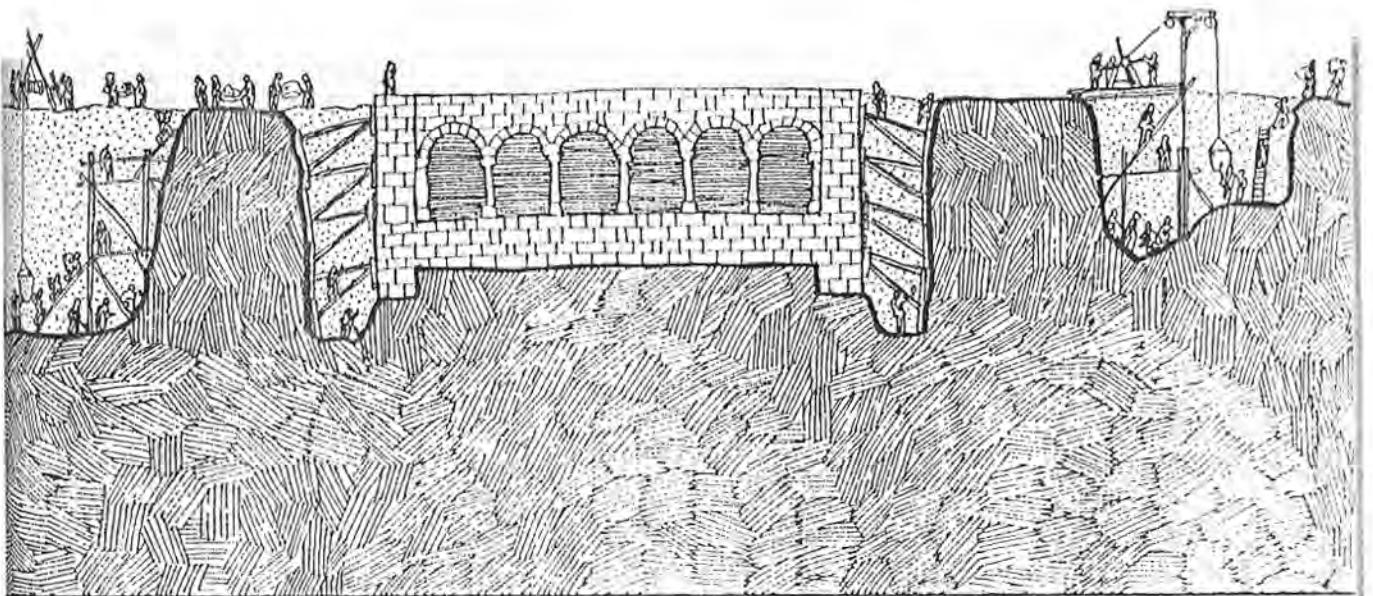
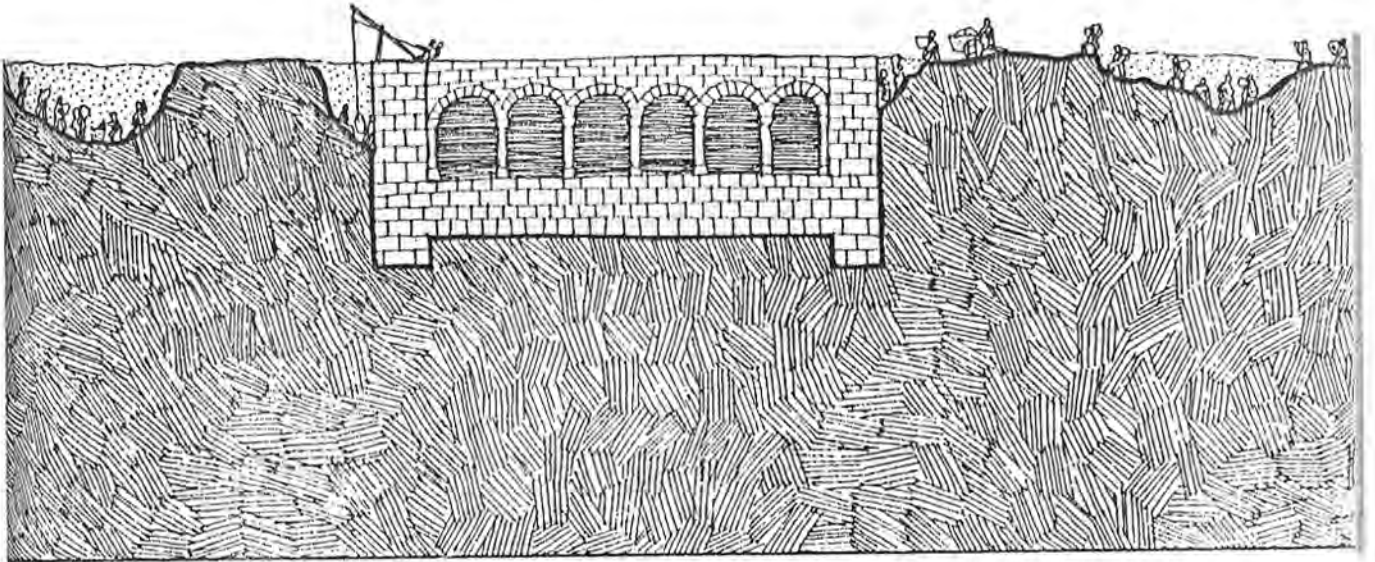
La estructura básica del edificio es de piedra (andesita); a excepción de las bóvedas cuya fábrica es de ladrillos.

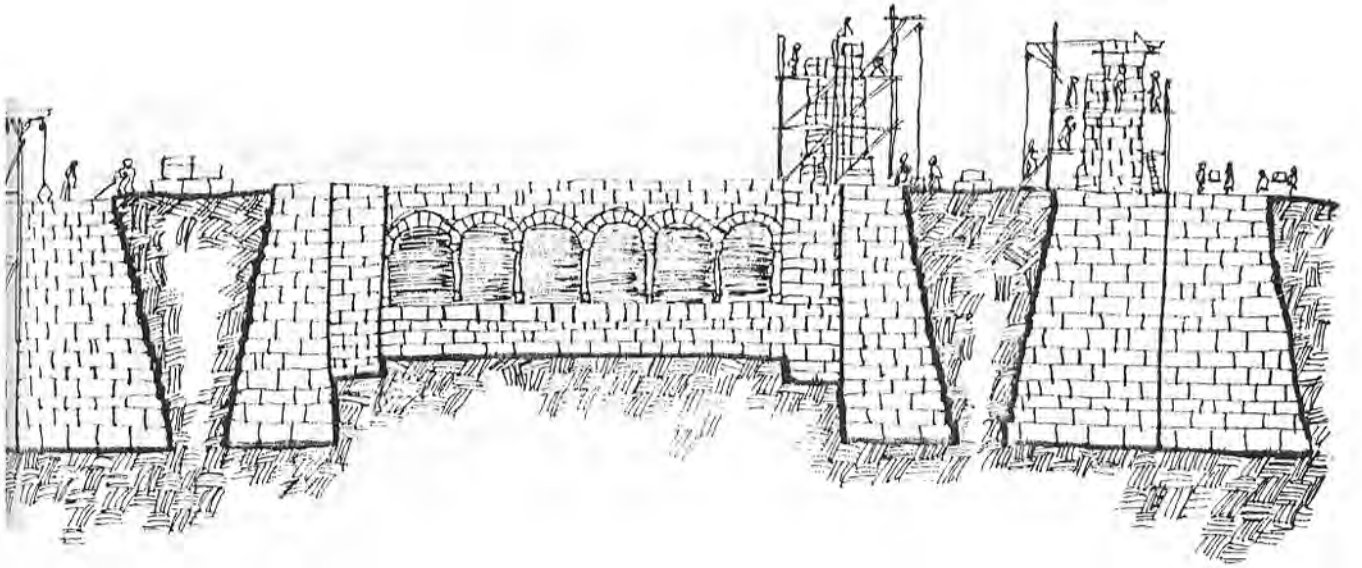
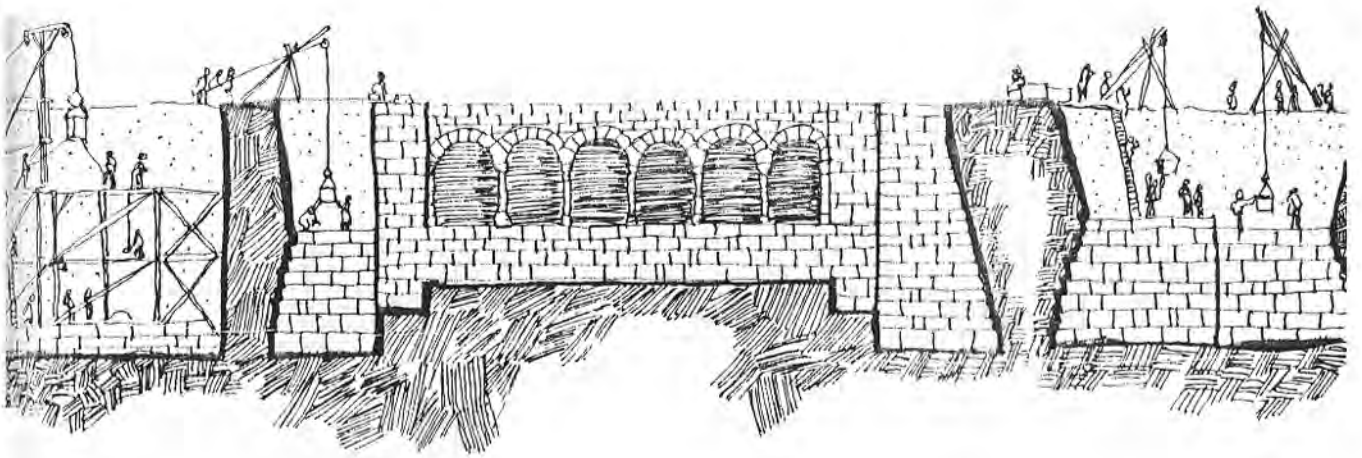
El conjunto estructural está formada por una serie de arcos dispuestos en los dos sentidos que transmiten la carga de la bóveda a las pilastras, y donde los muros por lo general solo cumplen una labor de cerramiento y en contribuir a dar una mayor rigidez al conjunto.

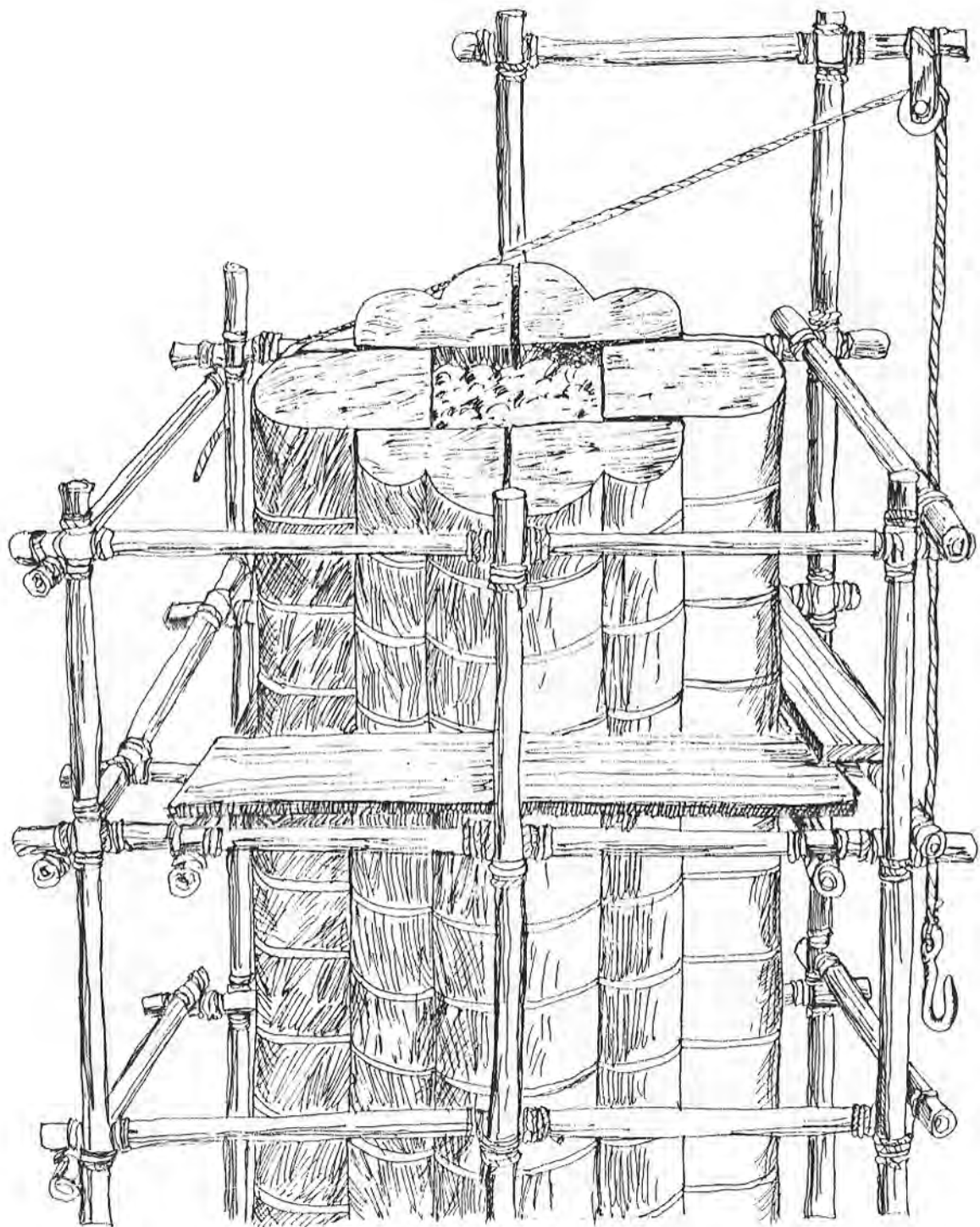
Las bóvedas son vaídas y de nervadura; es decir de doble curvatura y formado por nervios estructurales que trabajan como arcos independientes. Para la construcción de estas bóvedas se elaboran primero a los arcos estructurales y posteriormente se rellenan los espacios vacios con ladrillo terminando de darle la forma de bóveda. En las sgtes. figuras se muestran el procedimiento constructivo de una iglesia y que podría aplicarse al caso de la iglesia de la Compañía.

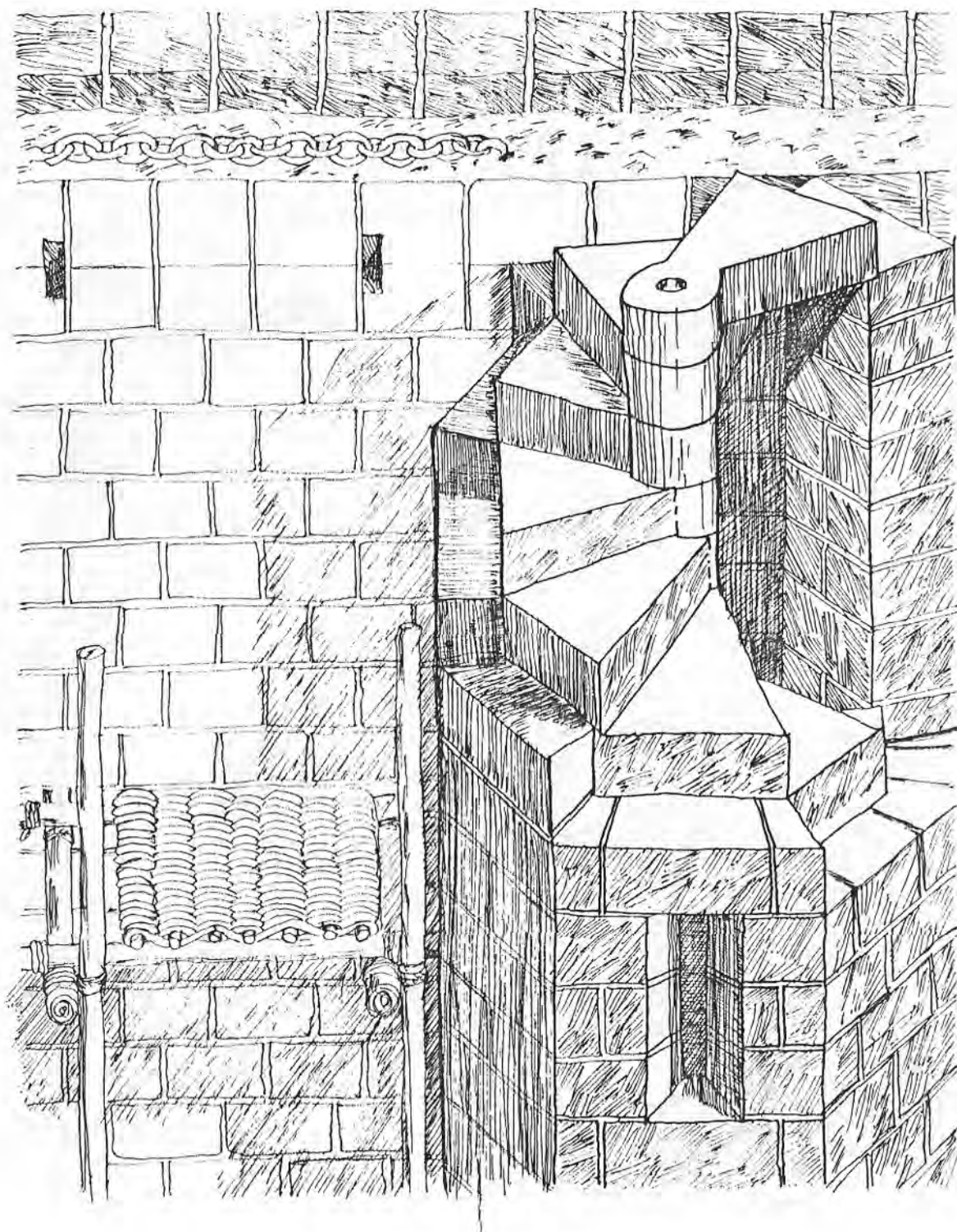
Sobre la estructura de ladrillo de la bóveda se coloca una segunda capa de relleno formado por piedras de tamaño mediano para finalizar con una tercera capa de ladrillo pastelero colocado a cuatro aguas y con un sistema perfecto de drenaje.

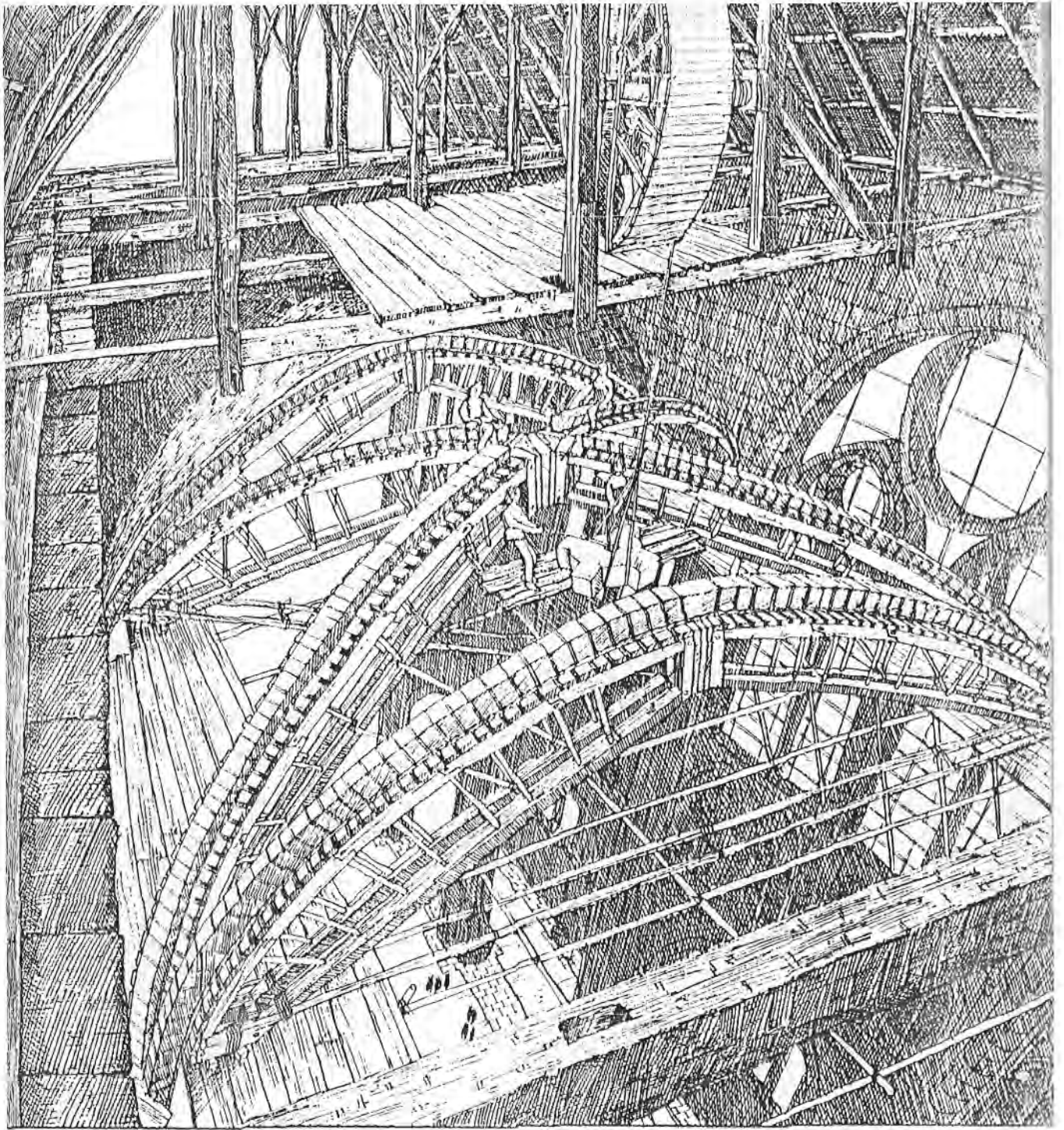
SISTEMAS CONSTRUCTIVOS

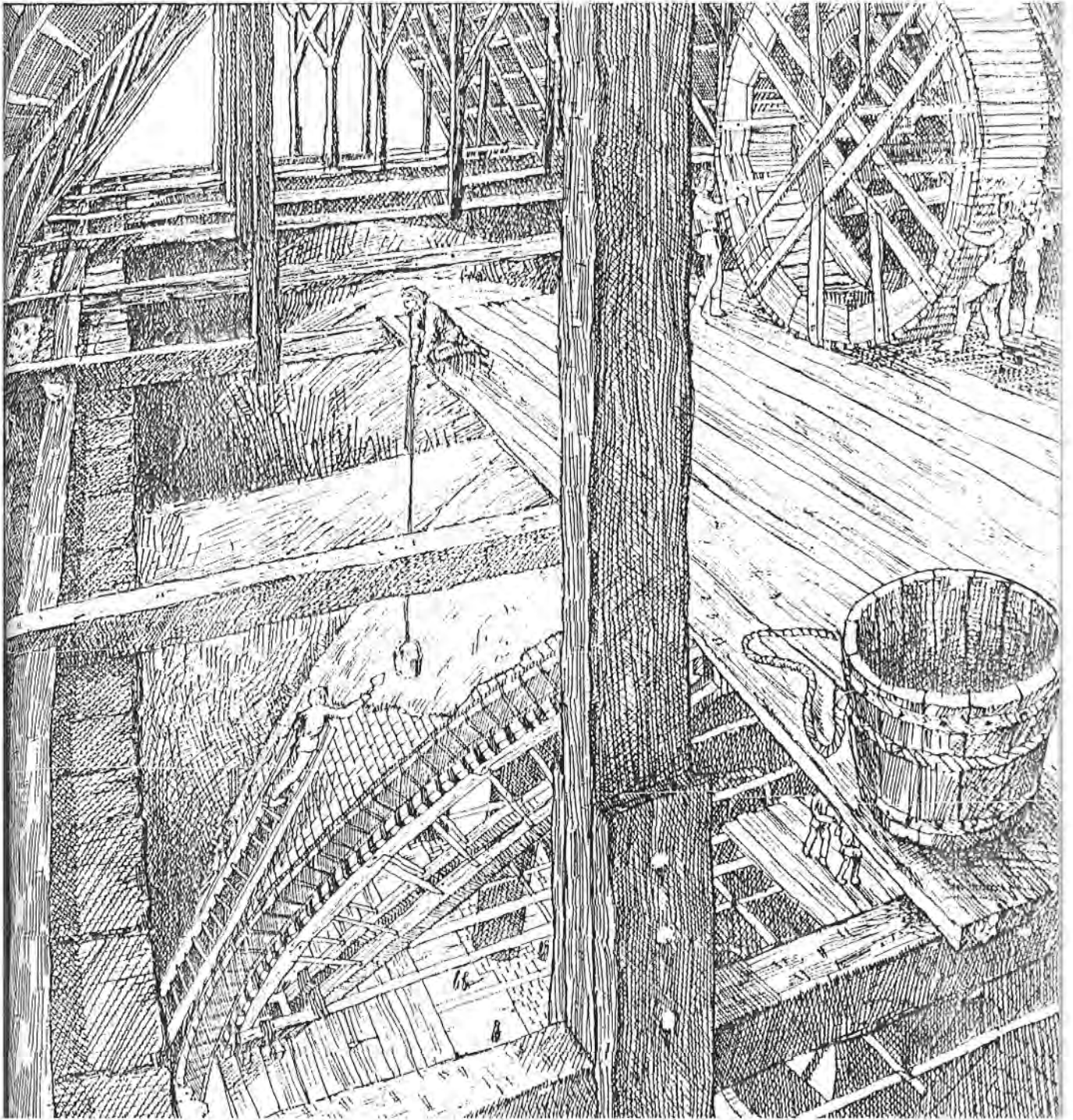












Esto es muy común en todas las construcciones monumentales del Cuzco ya sean las bóvedas de doble curvatura o de cañón corrido.

c.-INVENTARIO DE DAÑOS Y FALLAS:

A raíz del último sismo, la iglesia de la Compañía ha sufrido una serie de daños, los cuales se concentran en las partes mas elevadas y ocurren principalmente por los siguientes motivos:

- La falta de arriostre y fijación de elementos secundarios en la estructura como son los templetos, la cruz de la fachada y la linterna en la cúpula. Esto se evidencia cuando al caer uno de los templetos sobre la bóveda casi ocasiona el colapso de ésta.
- Por efecto del sismo aparecen esfuerzos de tracción en elementos cuya respuesta es exclusivamente a compresión.
- Fatiga de los materiales, producto de los diferentes movimientos sísmicos a lo largo de su historia.

A fin de identificar la magnitud y ubicación de las fallas se ha elaborado un inventario de estos:

RAJADURAS Y DESPRENDIMIENTOS EN LA CUBIERTA:

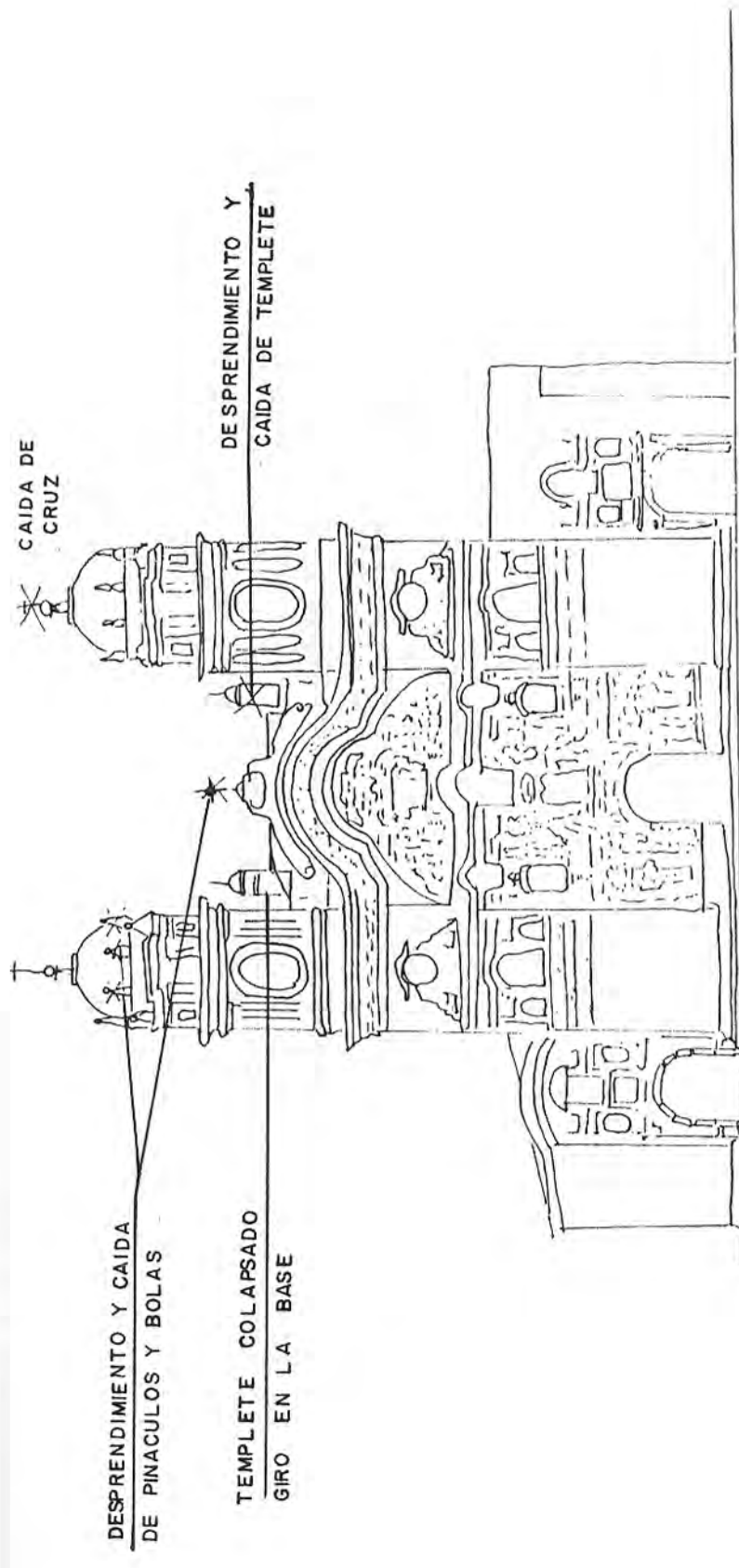
- UBICACION: Bóvedas
- DESCRIPCION: Todas las bóvedas presentan rajaduras de orientación variable. En todos los casos se observa la expulsión del mortero sin producir grandes grietas.
- RIESGO: Si bien las bóvedas con mayor riesgo de colapsar han sido consolidadas en caso de un movimiento sísmico pueden volver a fallar o incluso colapsar aquellas que no han sido consolidadas.
- UBICACION: Cúpula, en el tercio central
- DESCRIPCION: Fisura vertical de espesor no determinado, se produjo expulsión del mortero.
- RIESGO: Se ha eliminado al ser consolidado.
- UBICACION: Arcos fajones o torales, en riñones y claves.
- DESCRIPCION: Expulsión de mortero.
- RIESGO: No se evidencia posibilidad de colapso inmediato.

GRIETAS EN LOS MUROS:

- UBICACION: Tambor de la cúpula.
- DESCRIPCION: Expulsión del mortero, desalineamiento del sillar, grietas de regular espesor. Falla típica por cortante.
- RIESGO: Si bien las grietas se encuentran estabilizadas, en caso de un sismo leve puede colapsar originando la caída de la cúpula.
- UBICACION: En partes altas de los muros y en zonas cercanas a las ventanas.
- DESCRIPCION: Expulsión de mortero y grietas de pequeñas dimensiones. Falla por cortante.
- RIESGO: Han sido consolidados
- UBICACION: Parte superior de la torre del lado derecho.
- DESCRIPCION: Desprendimiento de mortero en forma escalonada.
- RIESGO: No representa mayor riesgo.

DESPRENDIMIENTOS:

- UBICACION: Templetas, pináculos bolas y la cruz



DESPRENDIMIENTO Y CAIDA
DE PINACULOS Y BOLAS

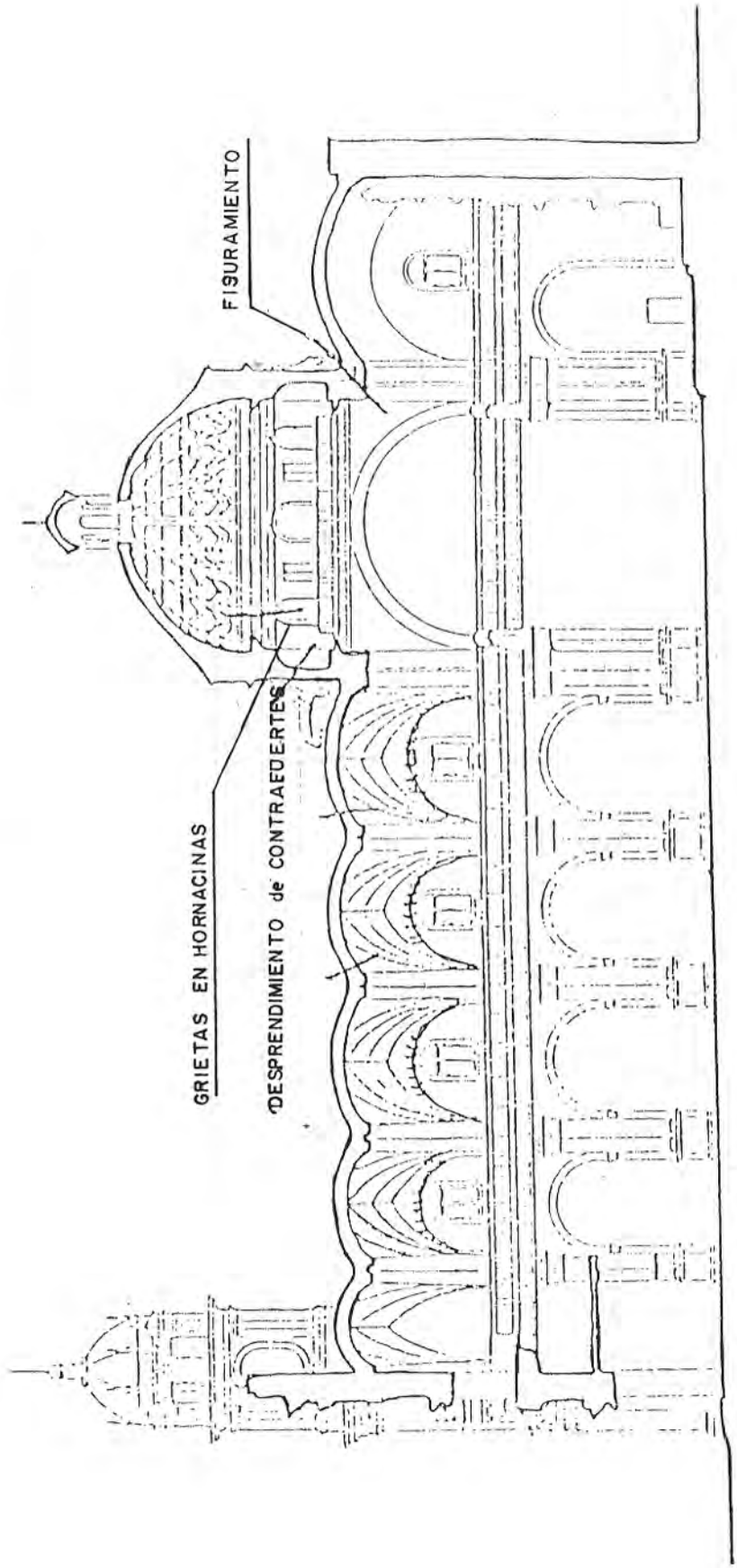
TEMPLETE COLAPSADO
GIRO EN LA BASE

CAIDA DE
CRUZ

DESPRENDIMIENTO Y
CAIDA DE TEMPLETE

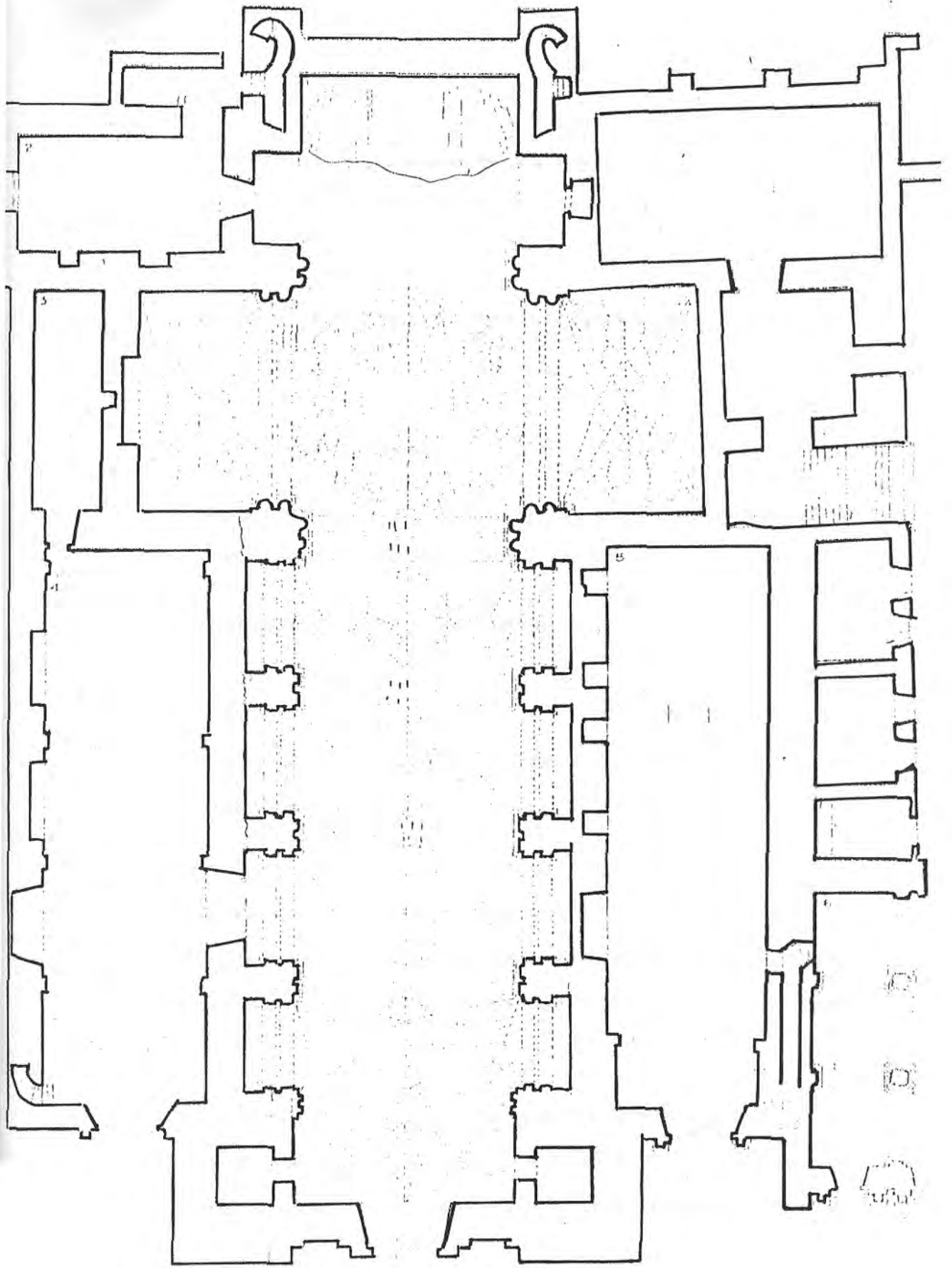
IGLESIA DE LA COMPAÑIA DE JESUS

CORTE LONGITUDINAL



CORTE LONGITUDINAL DE LA IGLESIA DE LA COMPAÑIA DE JESUS
Escala: 1:200

IGLESIA DE LA COMPAÑIA DE JESUS
UNIC. PUEBLO DE JESUS



IGLESIA DE LA COMPANIA DE JESUS

de la fachada.

- DESCRIPCION: Se cayeron la cruz, bolas, pináculos y uno de los templetas, el otro giró considerablemente.
- RIESGO: No representan riesgos pues ya colapsaron.
- UBICACION: Linterna de la cúpula.
- DESCRIPCION: El ladrillo se encontraba quebrado y el mortero pulverizado.
- RIESGO: Ha sido consolidado.

d.- ANALISIS ESTRUCTURAL:

Para el análisis de la iglesia se consideraron las siguientes hipótesis:

HIPOTESIS # 1.- Se consideró que el conjunto monumental forma una unidad y que las bóvedas son lo suficientemente rígidas para transmitir las cargas sísmicas en forma proporcional a la rigidez de cada elemento.

HIPOTESIS # 2.- Considera que la union de los elementos estructurales no es monolítica y que la fuerza sísmica se reparte en forma proporcional a

la reacción estática de cada elemento.

Para el cálculo de la fuerza sísmica se emplearon los siguientes coeficientes del R.N.C.:

$$C=0.4 \quad U=1.0 \quad S=1.0 \quad R_d=1.5 \quad Z=1.0$$

$$C=0.4 \quad U=1.0 \quad S=1.0 \quad R_d=2.5 \quad Z=1.0$$

El análisis estructural se realizó empleando los programas SAFE (Structural Analysis by Finite Elements) y SAP 80 (Structural Analysis Program), que consideran la posibilidad de análisis tridimensional y de elementos finitos.

El modelo empleado consideró el sistema constructivo de la iglesia: Una serie de arcos que dan forma a la bóveda y se apoyan directamente en los pilares.

Para efectos de lograr una conclusión válida se emplearon los siguientes estados de carga:

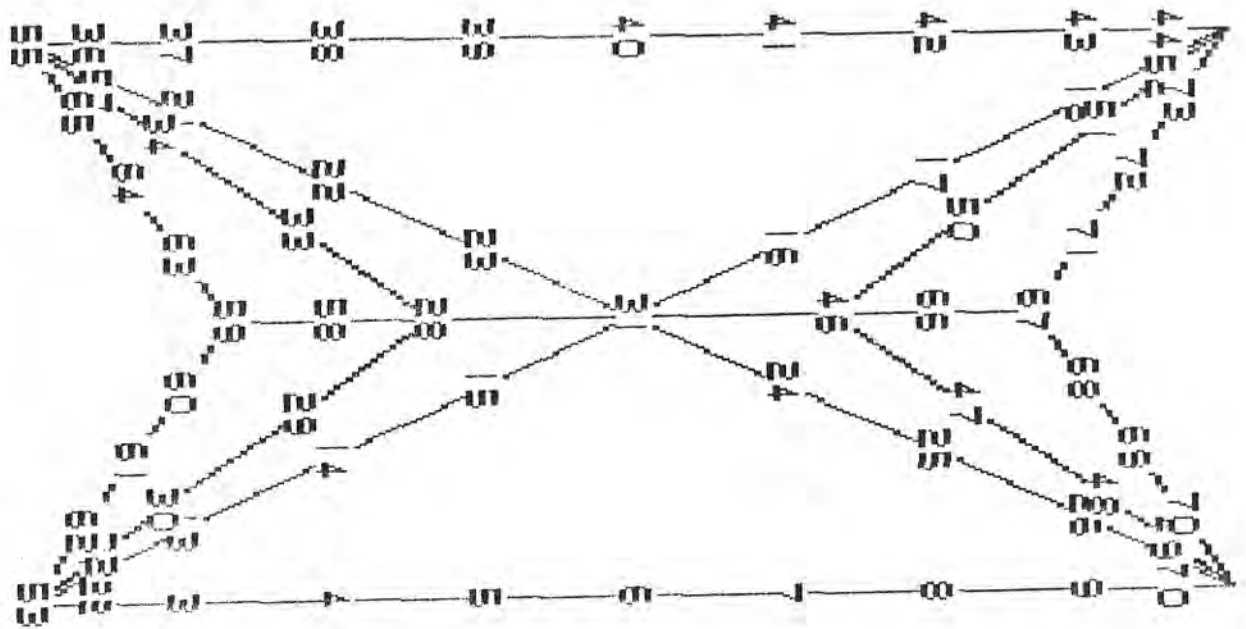
1er. Estado de Carga: Carga muerta considerando la sobrecarga del relleno de piedra.

2do. Estado de Carga: Carga Muerta + Sismo (calculada de la primera hipótesis) $H=45$ tn.

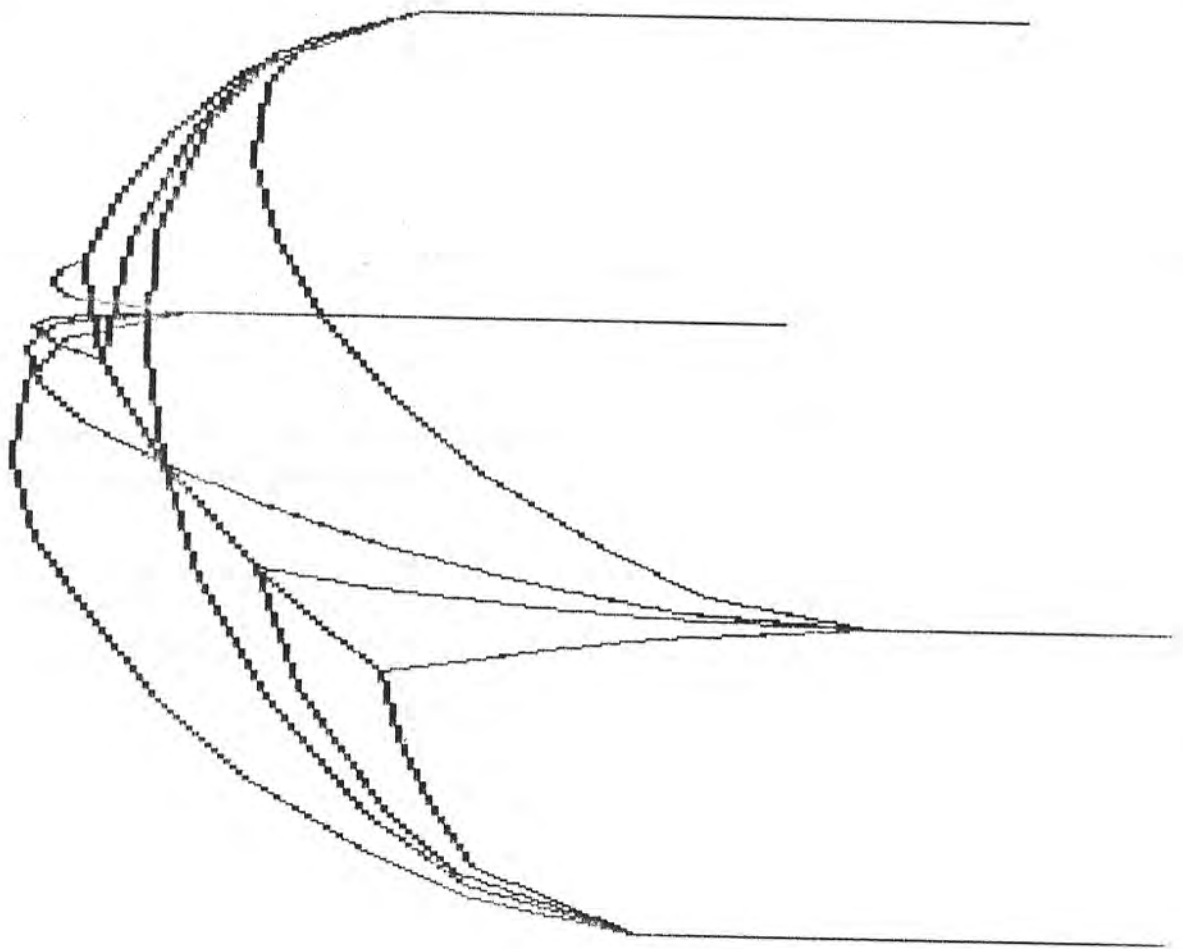
en cada pilar

3er. Estado de Carga: Carga Muerta + Sismo (proporcional al peso de la bóveda y de los pilares)

VISTA EN PLANTA DE MODELO ESTRUCTURAL
DE BOVEDA DE LA IGLESIA DE LA COMPAÑIA.



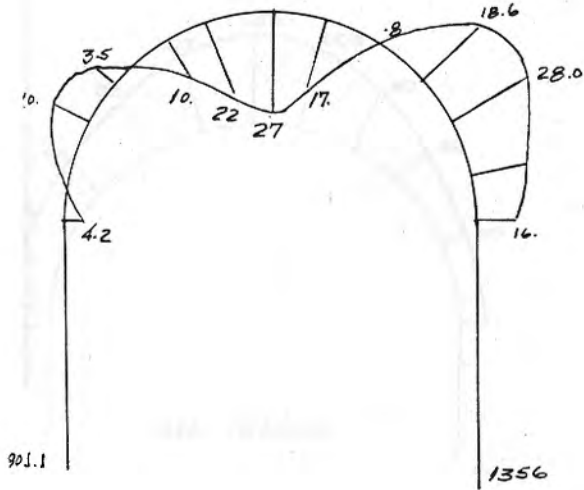
ISOMÉTRICO DE BOVEDA
DE IGLESIA DE LA COMPAÑIA



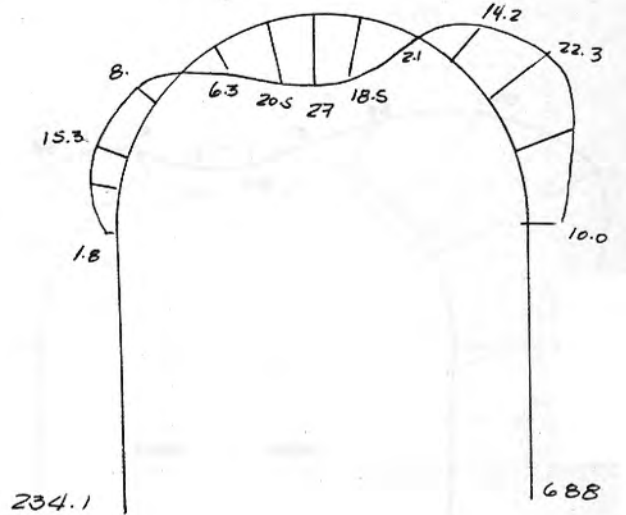
DIAG. MTOS. FLECTORES (Tn-m)

ARCO PRINCIPAL IGLESIA DE LA COMPAÑIA

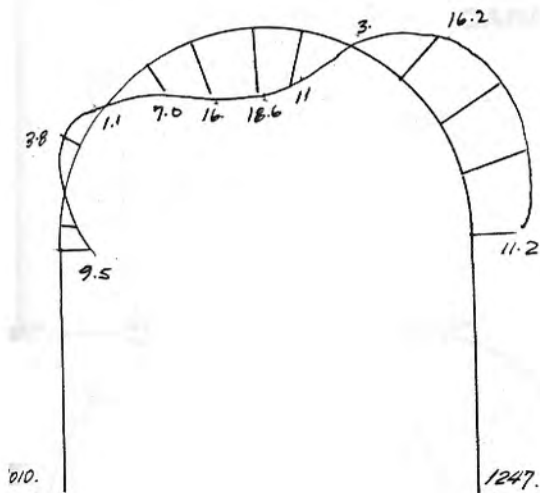
SISMO + C.M. (H=110 Tn/pilar)
SISMO PROPORCIONAL A REACCION ESTATICA.



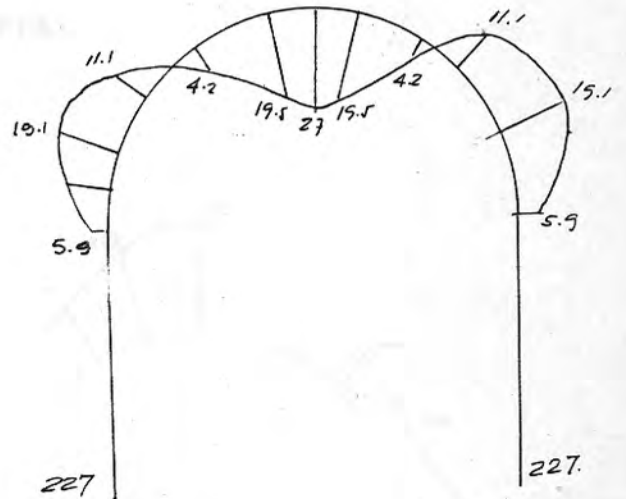
SISMO + C.M. (H=44.5 Tn/pilar)
SISMO PROPORCIONAL A C/ELEM.



SISMO + C.M. (H=110 Tn/pilar)
SIN CONSIDERAR RELLENO.

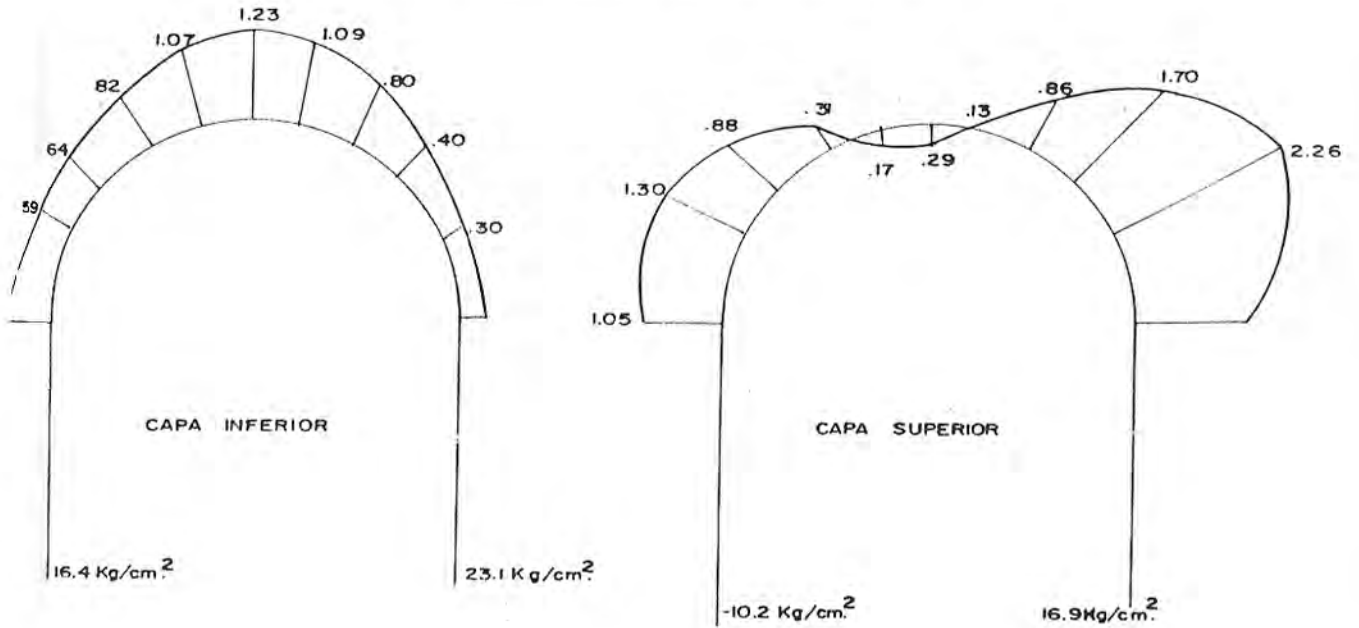


CARGA MUERTA.

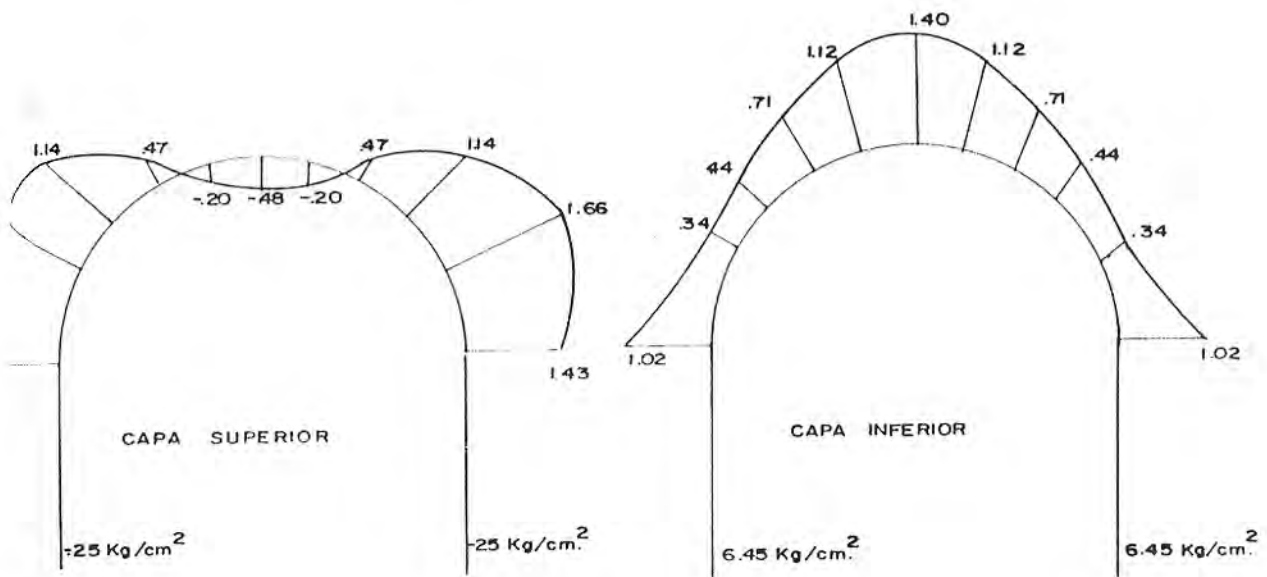


**DIAGRAMA DE
ESFUERZOS POR FLEXION
ARCO PRINCIPAL
IGLESIA DE LA COMPAÑIA**

SISMO PROPORCIONAL A REACCION ESTATICA

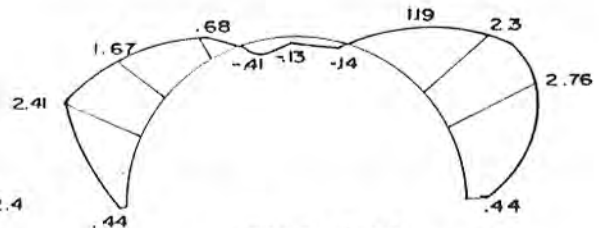
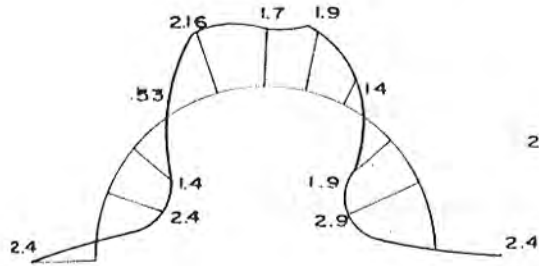


CARGA MUERTA

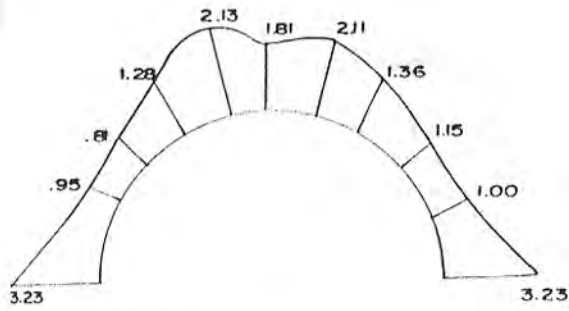


**ARCO DE BOVEDA
DIAGONAL**

**FUERZA SISMICA PROPORCIONAL
A REACCION ESTATICA**

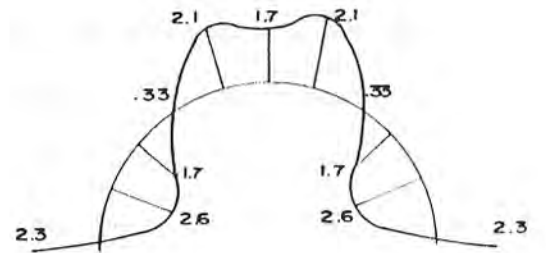


**ESFUERZOS POR
FLEXION CAPA SUPERIOR**



**ESFUERZOS POR
FLEXION CAPA INFERIOR**
Kg/cm²

CARGA MUERTA



H=110 tn. en cada pilar.

4to. Estado de Carga: Carga Muerta + Sismo (Se amplificó el valor anterior cuatro veces) H=440 tn. en cada pilar.

5to. Estado de Carga: Carga Muerta (sin considerar la sobrecarga del relleno) + Sismo H=110 tn. en cada pilar.

6to. Estado de Carga: Sismo H=110 tn en cada pilar.

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS:

- Del analisis realizado en la primera hipótesis se observa que los muros longitudinales absorven casi el 80 % de la fuerza sísmica a pesar que estos no soportan a las bóvedas. Esto podría considerarse como válido si la union en todos los elementos fuese monolítica y existiera una continuidad en la transmisión de esfuerzos.

- Suponiendo que lo anterior es válido observamos que en los muros longitudinales se obtiene un esfuerzo cortante máximo de 3.75 Kg/cm² y un esfuerzo de tracción por flexión máximo de 6.64 Kg/cm²; para un Rd=1.5; y de un esfuerzo cortante de máximo de 2.28 Kg/cm² y un esfuerzo de tracción por flexión máximo de 3.20 Kg/cm².

- Segun el sistema constructivo empleado se pueden considerar dos formas de calcular los esfuerzos permisibles: uno considerando que los muros son todos de mamposteria de piedra y el otro considerandolo como un muro de concreto simple.

Para el primer caso los esfuerzos permisibles a considerar serian los siguientes:

$$f'_m = 2/3(28 + Xf'_a) \quad (\text{ec. del R.N.C. 1975})$$

donde $X=0.20$ (considera influencia del mortero).

$f'_a=1000$ Kg/cm² (resistencia a la compresión de la unidad de albañileria)

$$f'_m = 152 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo Cortante Permissible:

$$V_m = 1.2 + .18fd \quad (\text{del actual R.N.C.})$$

$V_m = 2.27$ Kg/cm² en muro mas desfavorable.

Tracción por Flexión:

$$f_t = 1.33 \text{ Kg/cm}^2$$

Para el caso de considerar al muro de concreto ciclopeo se obtienen los siguientes valores:

$$f'_c = 100 \text{ Kg/cm}^2 \quad (\text{como referencia})$$

Esfuerzo Cortante Permissible:

$$V_c = 0.35 * (f'_c)^{\frac{1}{2}}$$

$$V_c = 3.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Esfuerzo de Tracción por Flexión:

$$f_t = 0.85 * (f'_c)^{\frac{1}{2}}$$

$$f_t = 8.5 \text{ Kg/cm}^2$$

Según los esfuerzos máximos calculados vemos que estos son mucho mayores que los calculados si el muro fuese de mampostería de piedra y que son cercanos a los valores obtenidos si el muro fuese de concreto ciclopeo.

- Con respecto a la segunda hipótesis observamos que la fuerza sísmica casi no influye en la bóveda e inclusive en caso de aumentar cuatro veces la fuerza sísmica los esfuerzos de tracción no son mayores que 1 Kg/cm². Los mayores esfuerzos se producen en la base de los pilares esto debido a que la diferencia de rigideces y módulos de elasticidad forma prácticamente una rótula en la unión de los dos elementos principales (arco y bóveda).

- La sobrecarga de la bóveda produce grandes esfuerzos en aquellas zonas donde generalmente ocurren las grietas (riñones y clave).

CAPITULO III

TECNICAS DE RESTAURACION:

En este capítulo se pretende mostrar algunas técnicas de restauración empleadas tanto en el país como en el extranjero, cuya eficacia ya ha sido verificada tanto experimentalmente como en la práctica. No se pretende dar un recetario de soluciones sino algunas pautas que sirvan para poder afrontar una restauración, ya que cada monumento es único y lo que puede funcionar en un caso puede ser perjudicial en otro.

3.1 PRIMERAS PRECAUCIONES:

Quando una construcción antigua se encuentra deteriorado o en peligro de colapsar las primeras labores que

se realizan son los apuntalamientos y la toma de datos para realizar el estudio de la restauración.

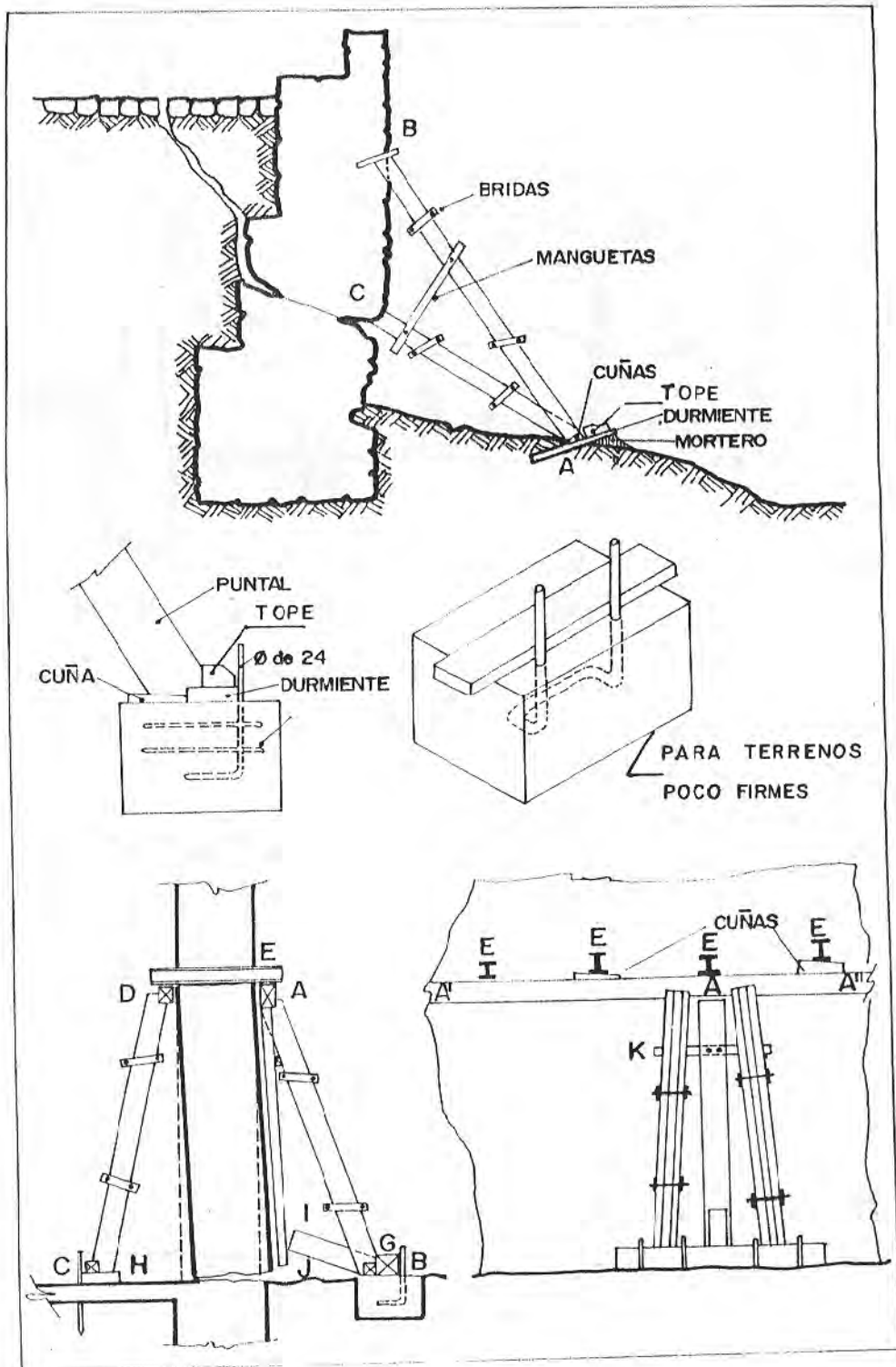
3.1.1 APUNTALAMIENTOS Y CIMBRAS:

Apuntalamiento es la operación necesaria para sostener un edificio o parte de él, de manera tal que se puedan realizar las reparaciones o sustituciones sin riesgo alguno. Se debe tener en cuenta al estudiar un apuntalamiento que las obras a realizar son en un monumento histórico y/o artístico, y que han de ocasionar el menor daño posible, aunque estas se encuentren muy deterioradas.

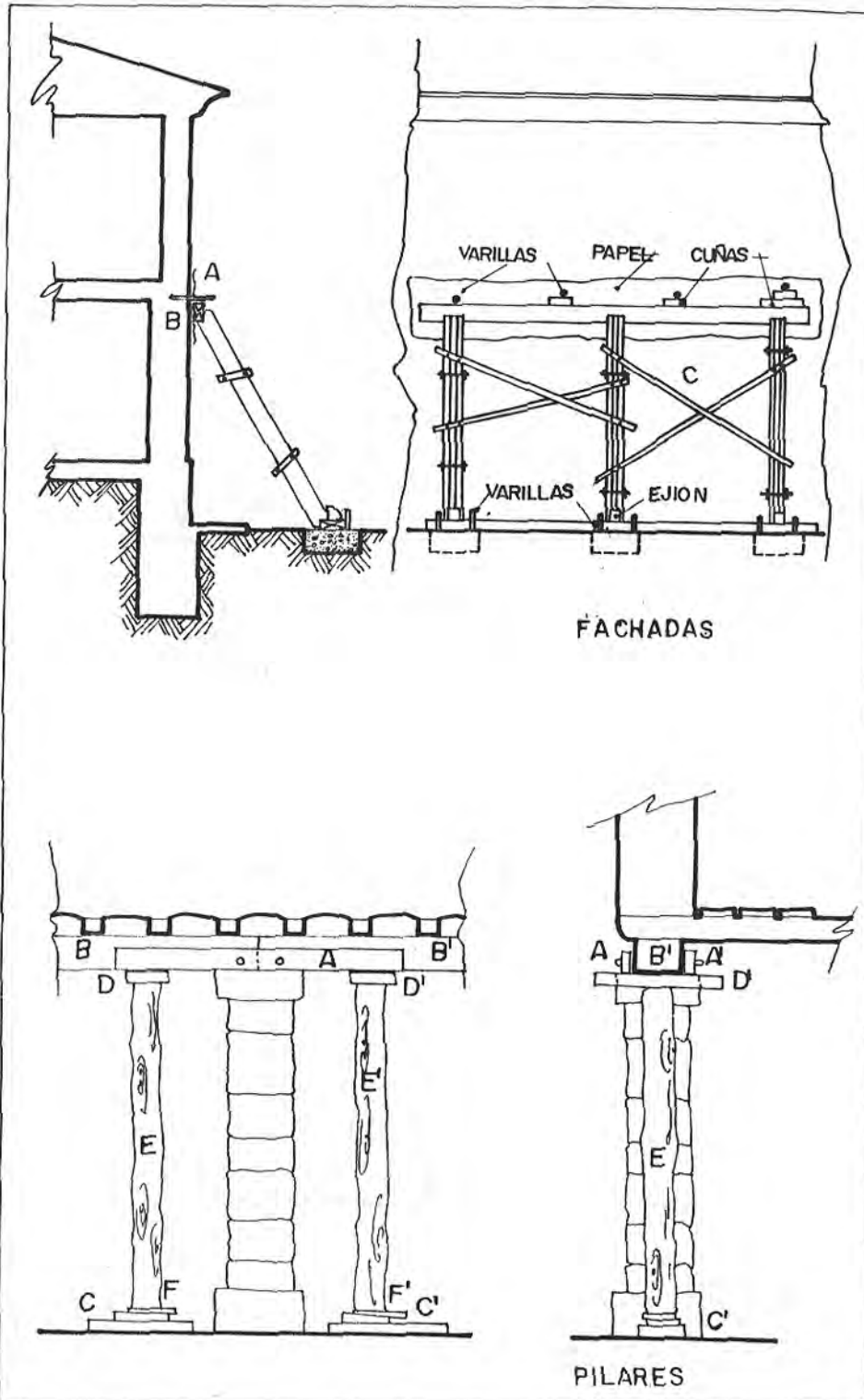
Los apuntalamientos se realizan en distintos momentos en el curso de una obra de restauración: en las demoliciones para dar seguridad a los obreros; para afianzar fábricas o construcciones hasta su consolidación; en la reparación de arcos, bóvedas, suspendiendo provisionalmente sus empujes; en un recalce de cimientos y en la sustitución de maderos o refuerzos de pisos.

Los materiales que se pueden emplear en un apuntalamiento son la madera, para apuntalamientos rápidos o pequeños; el acero en arcos o bóvedas muy altas; y las fábricas de ladrillo para dar mayor estabilidad en arcos, pero siempre teniendo

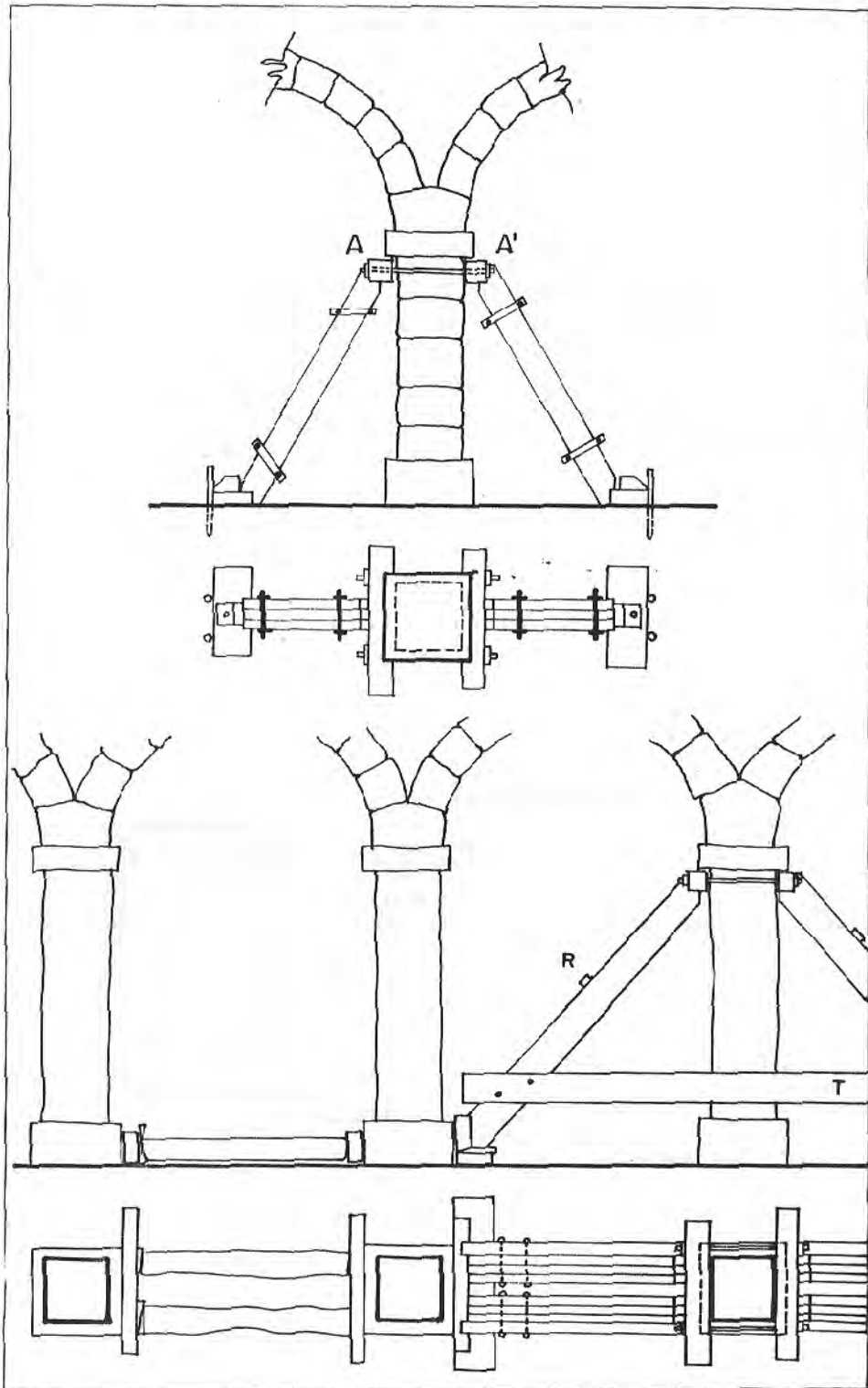
APUNTALAMIENTOS



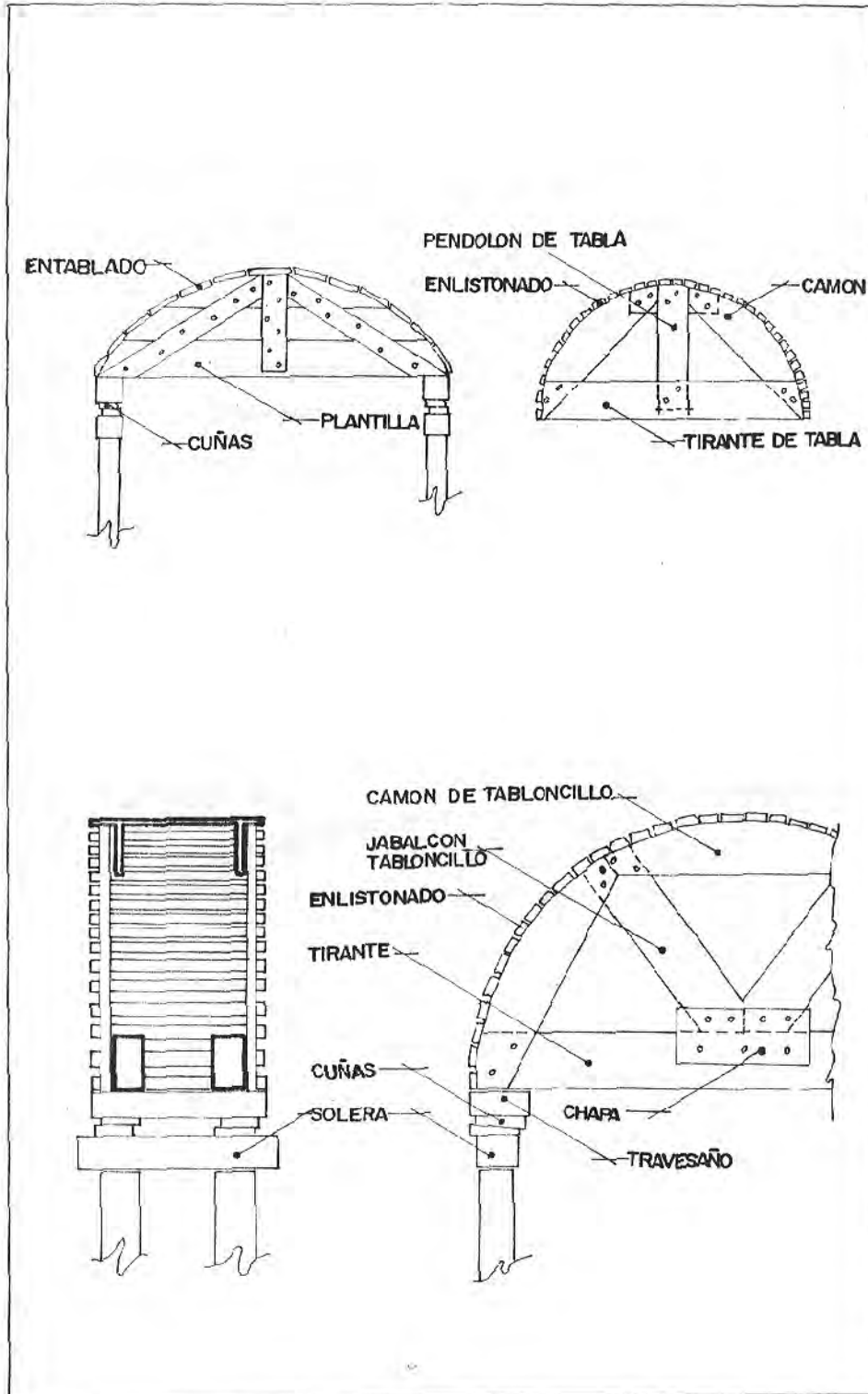
APUNTALAMIENTOS



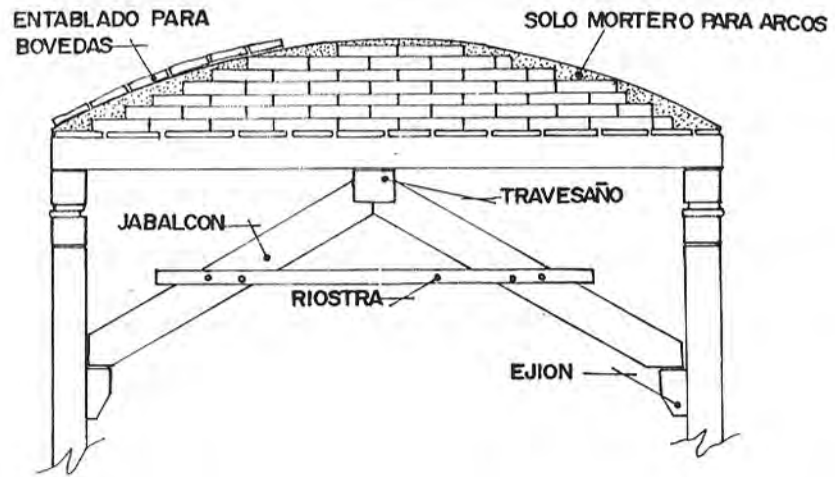
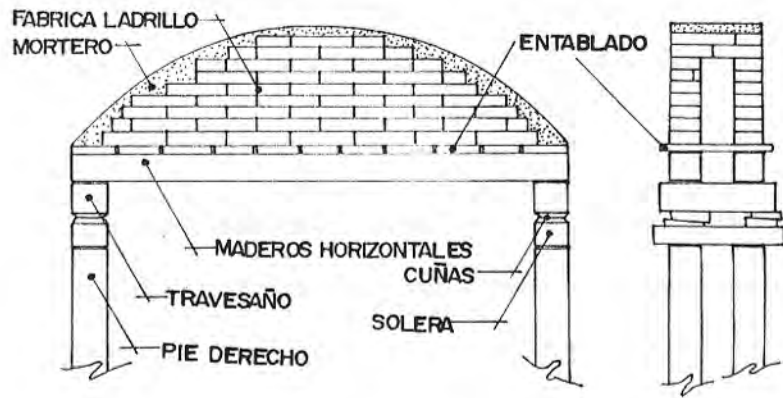
APUNTALAMIENTO DE PILARES



CIMBRAS



CIMBRAS



en cuenta que su uso es provisional.

Las cimbras son armaduras de madera o fierro, de uso provisional, para sostener elementos que han de formar los arcos o bóvedas durante su construcción. Su forma y complicación está en función de las luces a cubrir y del peso de los elementos a soportar.

En las sgtes. fig. se muestran varios tipos de apuntalamientos y de cimbras; es importante destacar que los apoyos deben ser en terreno firme o en todo caso sobre pequeños cimientos y que los puntales deben presionar a los muros, para lo cual se debe hacer uso de cuñas

3.1.2 TOMA DE DATOS:

- Levantamiento de Planos; Para poder realizar bien una restauración, es preciso que el proyecto lo compongan planos exactamente tomados del estado actual de los restos del edificio. La toma de datos debe ser muy completa, con la máxima cantidad de detalles, desestimando todos los planos que nos puedan facilitar; ya que pueden estar bien delineados pero basandose en un croquis incompleto o al acotado.

Los croquis que se realizan deben ser de escala

tal que pueda recibir las acotaciones con números claros en los distintos elementos, triangulando con diagonales por ser muy común, en las construcciones antiguas, no respetar las escuadras.

- Registro Fotográfico; el complemento de todo levantamiento de planos es una buena información fotográfica. Es necesario tomar fotografías de todos y cada uno de los detalles en las fábricas. La utilidad de las fotos es variada: se pueden representar en los planos todos los detalles que no pudieron ser recogidos en el croquis o que se tomaron esquemáticamente; realizar el proyecto de restauración; como archivo del estado en que se encuentra la obra antes de la restauración.

- Numeración; Cuando una fábrica de sillería (muros, arcos, plentería de bóvedas, cornizas, etc.) o de madera en otros casos, se encuentra en mal estado de conservación y no es posible su consolidación se debe hacer uso de la anastilosis, es decir desarmar y volver a armar la fábrica empleando los mismos elementos en la misma posición. Para lograr esto es necesario la numeración o codificación de cada uno de los elementos de la fábrica y sus dibujo a escala adecuada para que pueda servir como guía en el momento del montaje.

La numeración se realiza por lo general cuadriculando la fábrica cada metro en caso de mampuesto grandes o de menor dimensión en mampuestos pequeños. La codificación o numeración se marca en la cara vista de cada elemento con pintura al temple a fin de que estas se pierdan sólo o lavandolas con agua. En caso necesario se debe tomar fotografías próximas a cada una de las superficies y teniendo en cuenta que no deben emplearse lentes de gran angular que desproporcionen las medidas, que pueden dar lugar a confuciones o errores.

-Calas; para realizar las calas en los muros, cuando se quiere averiguar las características de las grietas y fisuras, se deben realizar con sumo cuidado ya que nunca se sabe cuando se va a encontrar una pintura mural. Para estos casos se realizan en forma diagonal y de extremo a extremo de la pared sacando capa por capa de pintura, una vez que estamos seguros de que no existe ninguna pintura mural se pueden realizar las calas que se consideren necesarias.

3.1.3 PLANTILLAS:

El uso de plantillas de madera son necesarios para tomar todas las curvas de los arcos, bóvedas, puertas, ventanales, etc.

Las plantillas se forman con una serie de tablas unidas entre sí tal como se muestra en la fig. para que en ellas se pueda trazar la curva del intrados del arco; posteriormente se marca en ella una serie de puntos de la curva, tales como A B C D, etc, para medir las distancias entre ellas y poder determinar una serie de triángulos ABCA, ACDA, ABDA, BCDA, etc., que nos garanticen que una vez desmontadas las plantillas y recortadas podamos armarlas nuevamente con la curva correcta. Todo debe ser dibujado en un croquis indicando la posición exacta de los arranques.

La finalidad de las plantillas es la grabar en forma permanente cada una de las curvas, como precaución a una posible desgracia; también son empleadas para construir las cimbras de las bóvedas y arcos.

3.2 TECNICAS DE RESTAURACION EN CONSTRUCCIONES PRE-HISPANAS

En esta parte se tratará de las técnicas de restauración en las construcciones tanto coloniales como republicanas afectados por movimientos sísmicos.

3.2.1 CONSTRUCCIONES DE ADOBE:

Por lo general las labores se limitan a la preservación y a la erradicación en lo posible de las causas del deterioro. Así tenemos que para un muro deteriorado podemos realizar las siguientes acciones:

- i .- En caso de un descubrimiento arqueológico nuevo producto de excavaciones y de no contar con recursos para su preservación y mantenimiento, es aconsejable enterrarlo nuevamente previo registro planimétrico.
- ii .- Total protección mediante una cubierta y un drenaje adecuado. Esta solución es imposible de aplicar en para zonas muy extensas
- iii.- Protección parcial: Se realiza con la costura de los muros de adobe (relleno de adobe); un sistema adecuado de drenaje; colocación de un capping (para proteger la cabecera de los muros) y un tratamiento de las superficies verticales con silicato de etilo para impermeabilizar.

El capping, por lo general suele ser una mezcla de suelo-cemento por ser económico, impermeable y lo mas parecido al adobe, tanto en color como en dilatación. Tiene el inconveniente

de que se fisura muy rápidamente. La proporción que suele emplearse es:

Suelo: 8 partes

Arena: 1 parte

Cemento: 1 parte

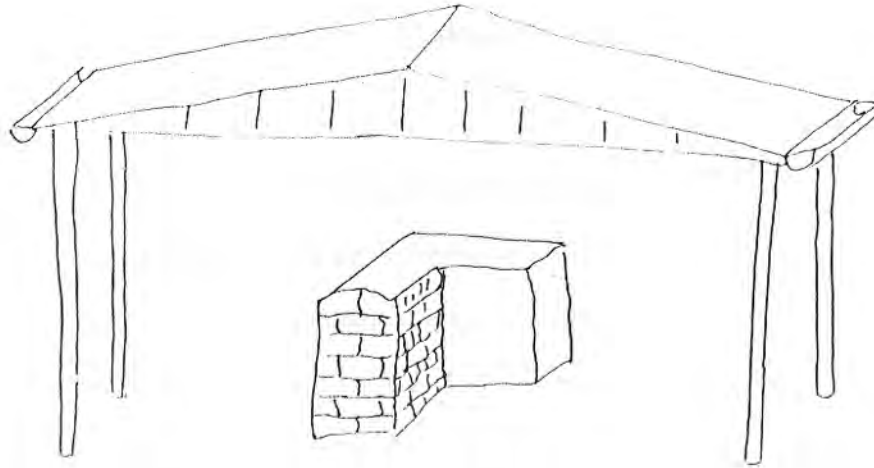
paja y agua

El proceso de aplicación del capping es el sgte: Se limpia la superficie, dejando la superficie ligeramente irregular y respetando la curvatura de la cabecera del muro, sobretodo si el muro es de gran espesor. Posteriormente se coloca la mezcla comprimiendola bien. Esta cubierta se aplica en dos capas:

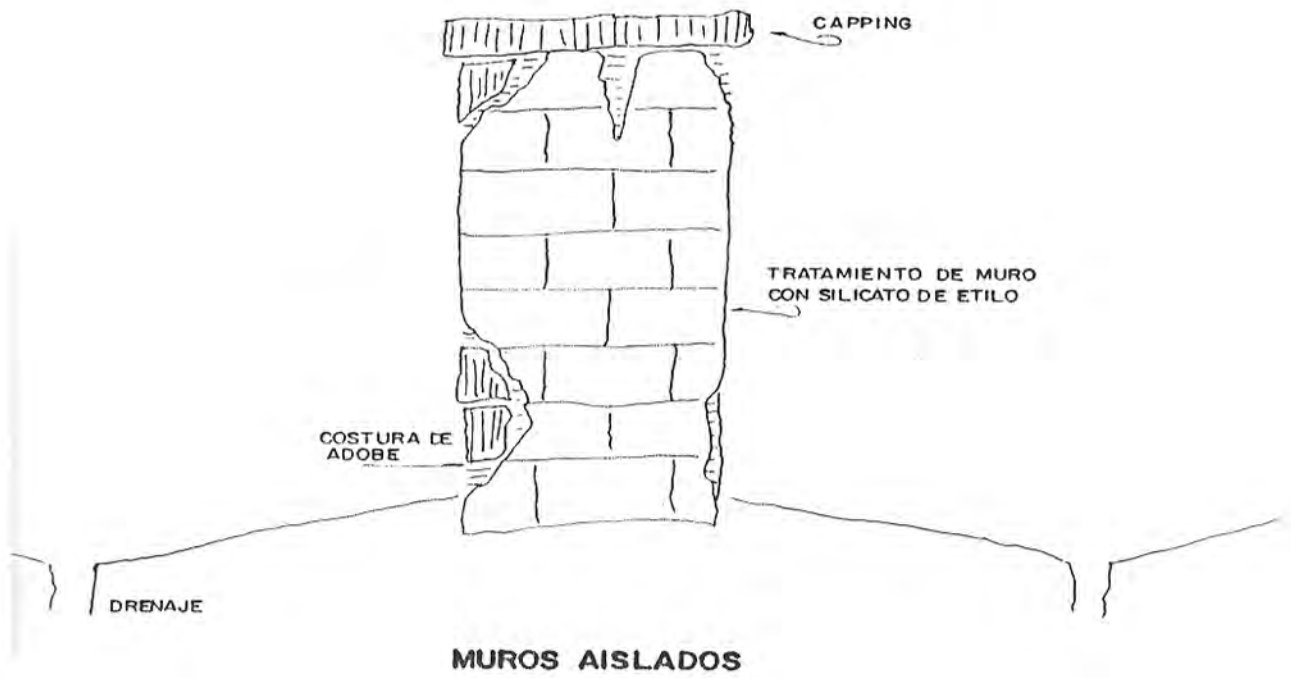
1ra. Capa: de 2 cm. aprox.; se humedece la cabecera del muro y se aplica la mezcla. Se mantiene húmeda la mezcla durante 3 o 4 días para disminuir las fisuras que se producen por la contracción del material al secar.

2da. Capa: de 1.5cm. de espesor, con bastante contenido de agua. El acabado final se debe hacer con mucho cuidado: no debe ser muy lisa, con una inclinación mínima o curva para evitar que el agua se empoce en la superficie.

Despues de la aplicación del capping se debe



PROTECCION TOTAL EN CONSTRUCCIONES PEQUEÑAS



PROTECCION DE MUROS DE ADOBE

realizar un mantenimiento constante para detectar posibles fisuras y resanarlas en caso de ser necesario.

3.2.2 CONSTRUCCIONES DE PIEDRA:

El principal problema en la restauración de este tipo de construcciones es su ubicación, generalmente alejados de los centros urbanos y sin mantenimiento. Al igual que en las construcciones de adobe las acciones se limitan a la conservación y erradicación de las causas que afectan a la construcción.

En caso de que los muros se encuentren con problemas estructurales y con riesgo de colapsar, lo recomendable es el empleo de la anastilosis, reemplazando el mortero y, de ser necesario, las piedras que se encuentren en mal estado. Este procedimiento sólo debe realizarse en casos extremos y en común acuerdo entre los integrantes del proyecto.

Cuando no existe el peligro de colapso se procede a consolidar los muros, ya sea inyectando mortero o con el empleo de consolidantes químicos como el Neocryl o el Araldit, teniendo presente la composición de la piedra y del consolidante para que estos no reaccionen químicamente.

Para eliminar árboles cuyas raíces han crecido dentro de los muros se procede a su tala con sumo cuidado para que no causen daño a la estructura; para eliminar las raíces se hace uso de infiltraciones de ácido sulfúrico que permite su fácil extracción.

No se debe realizar una tala indiscriminada de la zona monumental, así afecten aparentemente a las construcciones, se debe realizar una evaluación completa para determinar si realmente es conveniente una tala integral o es preferible hacerlo parcialmente. La vegetación generalmente impide la erosión eólica y el impacto directo de la lluvia sobre el suelo y los muros; por otro lado la eliminación total de la vegetación puede causar problemas de otra índole ya que puede cambiar el microclima de la zona o desestabilizar taludes.

Otra acción muy necesaria, tanto en construcciones de adobe como en las construcciones de piedra es la determinación de un área intangible dentro de la zona monumental y otra área de uso reglamentado con la finalidad de darle protección.

3.3 TECNICAS DE RESTAURACION EN CONSTRUCCIONES COLONIALES Y REPUBLICANOS

Este acápite se refiere a las técnicas de restauración y reforzamiento aplicadas en las construcciones coloniales o republicanos afectadas por movimientos sísmicos o deterioros severos.

Uno de los principales problemas es que, cuando se restaura o se reconstruye, se repiten los mismos errores que el sismo señala. Es decir se reparan grietas que se volveran a abrir, se levantan muros que se volveran a caer, etc. La restauración no solamente debe servir para devolver al monumento su forma original, sino que tambien debe prepararlo para resistir futuros sismos.

3.3.1 CONSTRUCCIONES DE ADOBE

Tal como se vió en el capítulo anterior las construcciones de adobe se ven muy afectadas por los movimientos sísmicos.

Para realizar el reforzamiento de una construcción de adobe se debe tener en cuenta que es necesario mejorar las siguientes características del comportamiento de la construcciones de adobe:

- Rigidización de techos; necesario para que las fuerzas de inercia puedan transmitirse a los elementos que puedan resistirlas por medio de esfuerzos en su plano (muros paralelos a la acción del sismo).
- Unión de los muros entre sí con el techo. La unión de los muros en las esquinas por el simple trabazón es insuficiente, y la de éstos con el techo por medio del empotramiento directo de las vigas con el adobe, son poco eficientes.
- Incremento de la resistencia en flexión de los muros. Esto ocurre por la excesiva longitud de los muros, y por tal motivo es necesario la reducción de las longitudes libres de los muros y sus alturas.
- Proporcionar ductilidad. La falla de las construcciones de adobe son generalmente de tipo frágil, por tal motivo es necesario mejorar este comportamiento mediante la inclusión de elementos de concreto armado que confinen a los muros en todo su perímetro, los cuales deben estar anclados adecuadamente.

Conocidos las causas de las fallas y el comportamiento de las construcciones, y haciendo la salve-

dad de que las principales limitaciones nos la impone el hecho de que se trata de un monumento, algunas alternativas de reforzamiento son las siguientes:

Inclusión de elementos de concreto armado ya sea por intermedio de una viga perimetral como por la inclusión de columnas en las esquinas y aberturas de los muros para confinarlos. La inclusión de estos elementos de concreto armado mejoran el comportamiento de los muros de adobe, aumentando su resistencia a la flexión y al cortante. Sin embargo las dimensiones de los muros hacen que esta solución sea un poco costosa y complicada, pero los resultados obtenidos en la práctica han sido muy buenos tal como se verá posteriormente en los ejemplos.

- Otra alternativa en muros excesivamente largos es la inclusión de elementos que lo arriostren, ya sea por intermedio de tabiques intermedios o con contrafuertes.
- Un procedimiento para mejorar la traba de los muros, dar una mayor rigidez y mejorar su protección de la intemperie consiste en colocar un recubrimiento de mortero de cemento sobre una malla de acero electrosoldada (malla de gallinero) fija

EJEMPLO DE INTERVENCIONES

EN CONSTRUCCIONES DE ADOBE

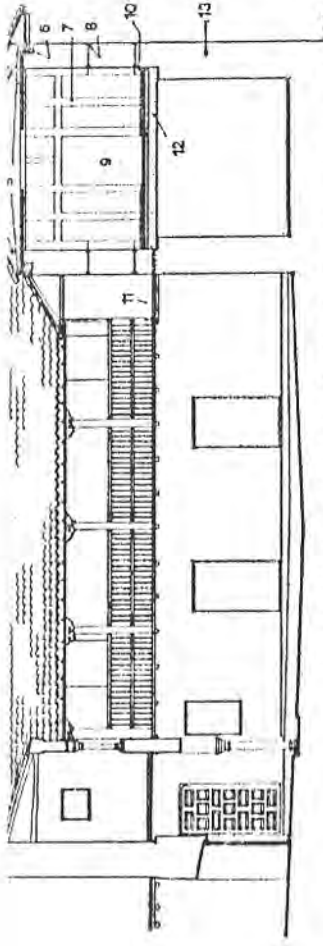


Fig. 2. Casa de Clorinda Matto de Turner — Banco Central Hipotecario.

Estructura de madera y concreto para arriostramiento de muros.

1. Sobretecho nuevo.
2. Hostial pintado.
3. Techo original pintado.
4. Platina metálica de 1/4 x 3" amarrando el tabique a la viga.
5. Listón de madera para sujetar el techo.
6. Cama de yeso de transición.
7. Estructura del diafragma con piezas de madera.
8. Llave de madera con pasador metálico.
9. Puerta.
10. Viga de madera.
11. Galería de madera.
12. Viga de concreto apoyada sobre muro de adobe.
13. Muro de adobe.

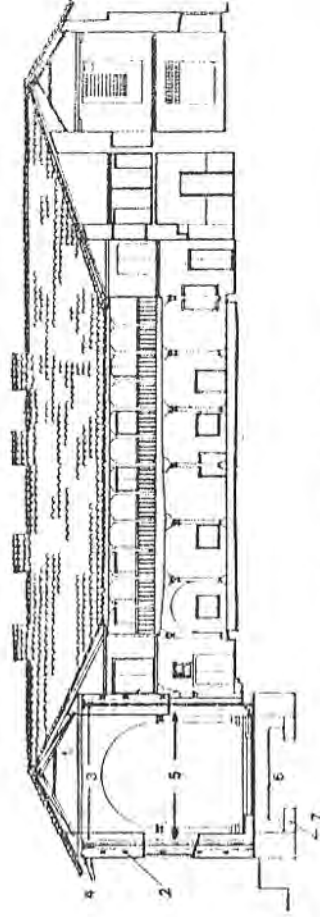


Fig. 3. Colegio de San Bernardo.

Estructura especial anti-sísmica utilizada en la iglesia.

1. Tirante de 7" x 7".
2. Llave de madera.
3. Vigas de arriostre.
4. Llaves de madera.
5. Proyección columna.
6. Viga de cimentación.
7. Zapata.

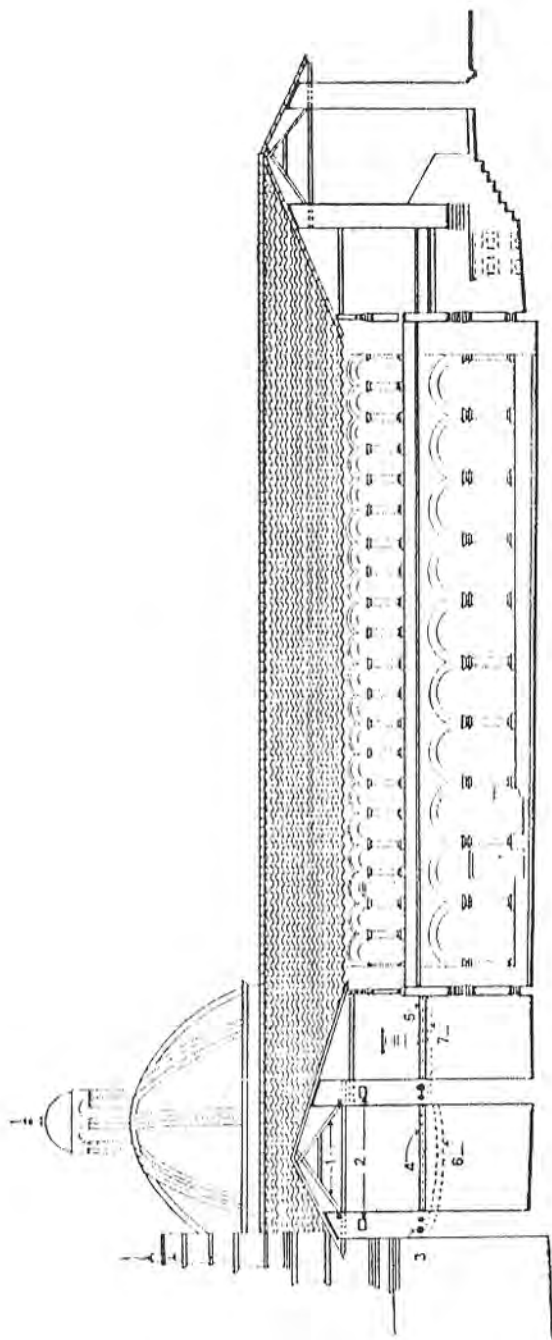


Fig. 4. Consolidación estructural del antiguo hospital de Betlemitas de la Almudena.
 1. Par y nudillo; 2. Vigas de arriostra-
 miento; 3. Entrepiso nuevo; 4. Entrepiso original; 5. Entrepiso nuevo;
 6. Entrepiso original; 7. Artesonado original.

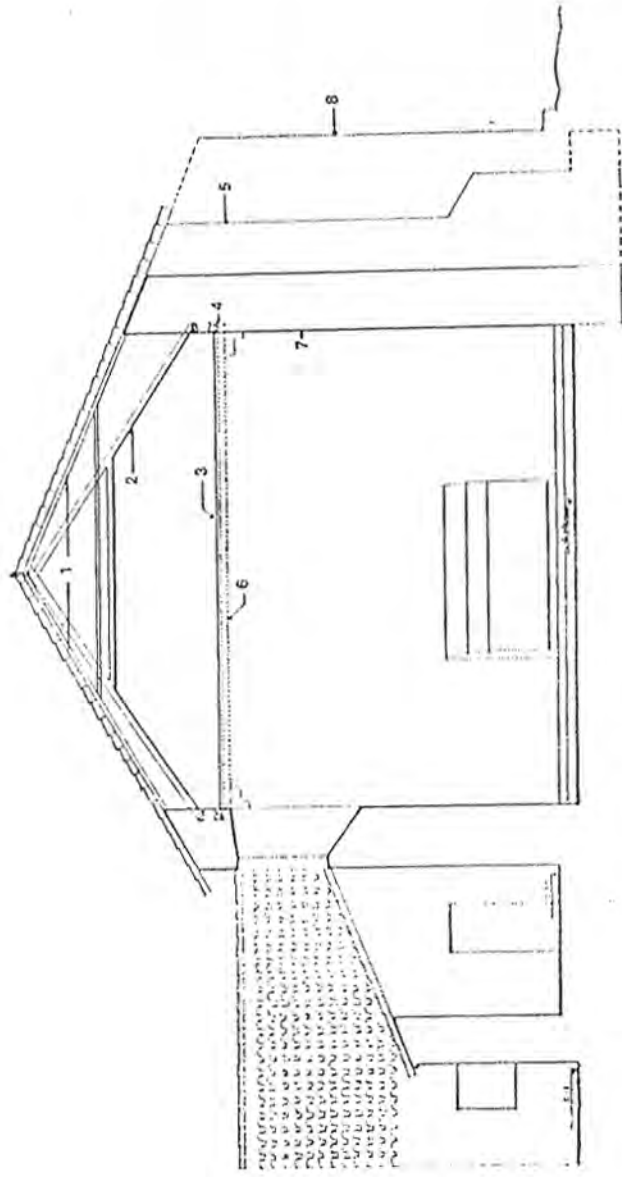


Fig. 5. Consolidación estructural de la Iglesia de Canincupca. Solución considerando fuerzas laterales por sismo y esfuerzo cortante. 1. Sobretecho agregado en la restauración. 2. Pares y arneruelos con pintura mural. 3. 2 tensores de hierro de 3/4". 4. Vigas arrocabes. 5. Contrafuerte, repuesto en base a evidencias. 6. Tirante de madera polícroma. 7. Pintura mural. 8. Cara exterior del muro de refuerzo (solución antigua sustituida).

da cuidadosamente al muro. Este debe realizarse especialmente en los encuentros de los muros. El inconveniente de este método es que debemos eliminar por completo la presencia de humedad en el subsuelo para que no afecte al muro tal como se indicó en el primer capítulo.

- Para reducir la altura excesiva de los muros se puede hacer uso de la quincha por medio de dos tapas, uno hacia el lado exterior y el otro hacia el lado interior para darle el grosor del muro.
- Se puede lograr una rigidez en el techo, en casos necesarios, tal como se verá mas adelante; sin embargo se debe realizar con sumo cuidado ya que el comportamiento de la construcción varía totalmente.

3.3.2 CONSTRUCCIONES DE PIEDRA.

Las técnicas de restauración de este tipo de construcciones se refieren por lo general a las iglesias. Por la dificultad que existe en el análisis de este tipo de construcciones es difícil determinar las causas que originan las fallas, por tal motivo el modelo estructural, el análisis y los resultados que se obtienen deben concordar con los daños y fallas de la construcción, de no ser

así se debe volver a plantear el modelo hasta que los resultados del análisis reflejen los problemas de la obra. Las labores de restauración que se realizan en este tipo de obra deben estar encaminados a la consolidación de las estructuras y en casos extremos, cuando el peligro de colapso es inminente, se deben realizar reforzamientos estructurales.

Al plantear los reforzamientos estructurales se debe tener en cuenta que vamos a modificar el comportamiento estructural, y lo que aparentemente puede ser beneficioso para algunos elementos puede ser muy perjudicial para otros.

Si tomamos como ejemplo la iglesia de la Compañía de Jesús, donde se observa que uno de los principales problemas son los daños que ocurren en las bóvedas; se puede pensar que una solución para mejorar el comportamiento fragil, característicos de este tipo de construcciones, sería la de agregar ductilidad y aumentar su resistencia con la inclusión de elementos de concreto armado. Sin embargo realizar estos cambios en estructuras que han resistido varios sismos a lo largo de su existencia con daños moderados en algunos casos o severos en otros, producto generalmente de inter-

venciones defectuosas o incompletas, pueden ocasionar el colapso. A tal conclusión se llega después del análisis estructural realizado en el capítulo anterior donde vemos que la mayoría de las bóvedas se ven más afectadas en caso de sismo por el exceso de sobrecarga (que se ven incrementadas en un movimiento sísmico), que por el efecto de las fuerzas laterales; esto debido, tal como se explicó en el capítulo anterior, a la diferencia de materiales y de secciones entre la bóveda y el elemento de soporte (pilares, pilastras o muros). Al realizarse un análisis considerando materiales y secciones similares, para tratar simular el efecto que tendría la inclusión de elementos de concreto, se obtuvieron mayores esfuerzos de tracción en los arcos y bóvedas, que evidentemente son más perjudiciales en este tipo de construcciones.

Las labores de consolidación que se realizan con mayor frecuencia en una restauración son la calzadura de cimientos, la consolidación de muros, y el refuerzo de arcos, bóvedas y torres; por tal motivo se presentan a continuación una serie de alternativas y procedimientos constructivos para cada caso.

CALZADURA DE CIMIENTOS:

- En Muros y Contrafuertes: Cuando existe una falla en los cimientos ya sea por enterramientos, criptas o características del suelo, es necesario realizar una calzadura de los cimientos. Un procedimiento empleado frecuentemente es el siguiente:

Se marca en planta líneas verticales con separación máxima de 1.50 mt. y de un ancho similar al del nuevo cimiento, luego se numera el orden de excavación y se procede a su ejecución; es así que primero se excava en el número 1 y luego se procede a su llenado con concreto, pudiendo dejarse varillas de fierro para obtener una continuidad en el cimiento, luego se procede de manera similar con el número 2. (Ver fig. 1).

- Calzadura de Pilares: Para realizar la calzadura de los pilares se debe tener en cuenta que debemos sujetar el peso que recibe el pilar y su peso propio; si el peso es pequeño se se puede realizar según la fig. 2 . En caso de pesos mayores se puede aplicar el de la fig. 3 ; para lo cual una vez suspendido el pilar se excavará una mitad del nuevo cimiento, antes de llenar esta mitad se colocará la malla de fierro doblada y unas varillas de anclaje tal como se muestra en la fig. Una

CALZADURA DE PILARES

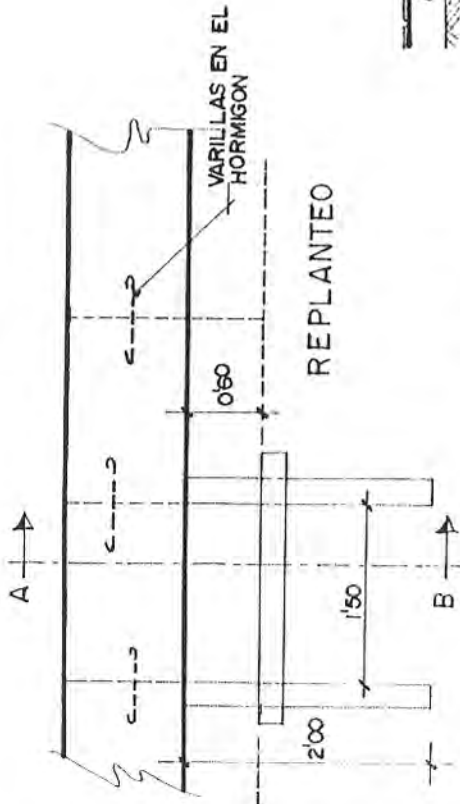
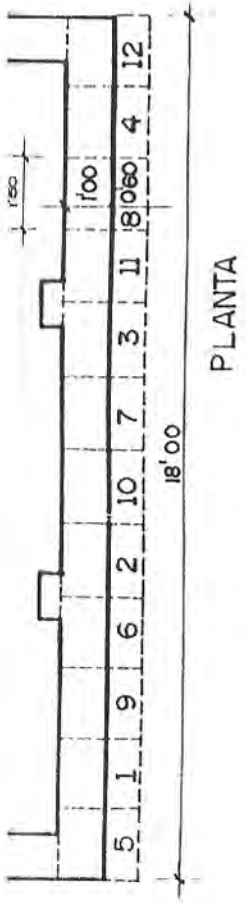


FIGURA 2

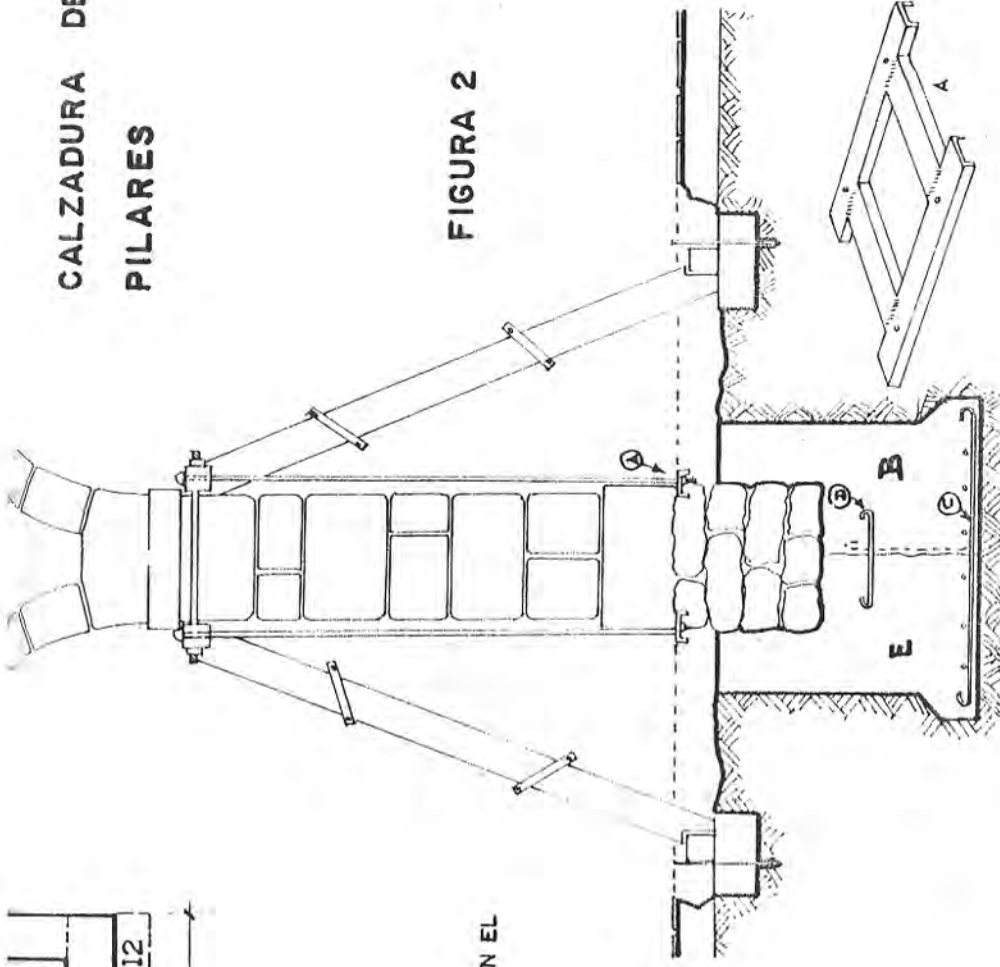
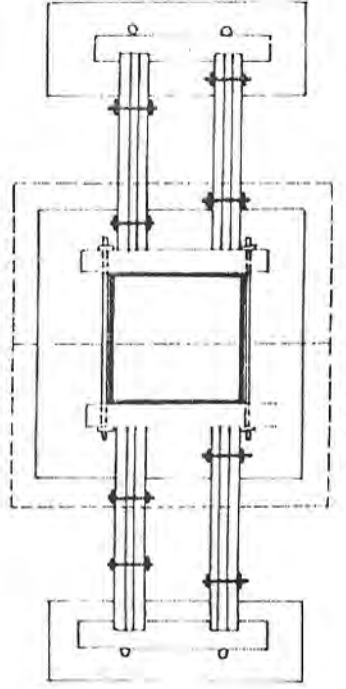
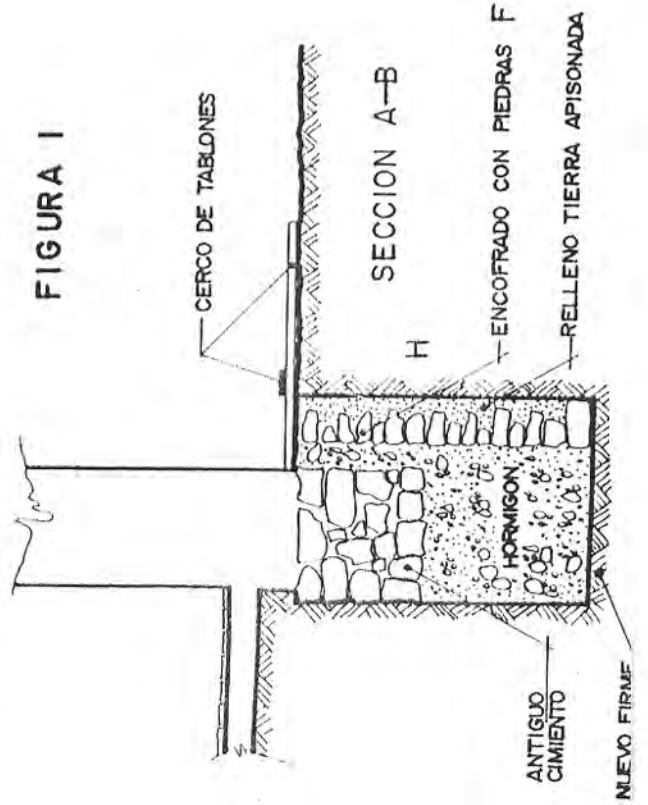


FIGURA 1



CALZADURA DE PILARES

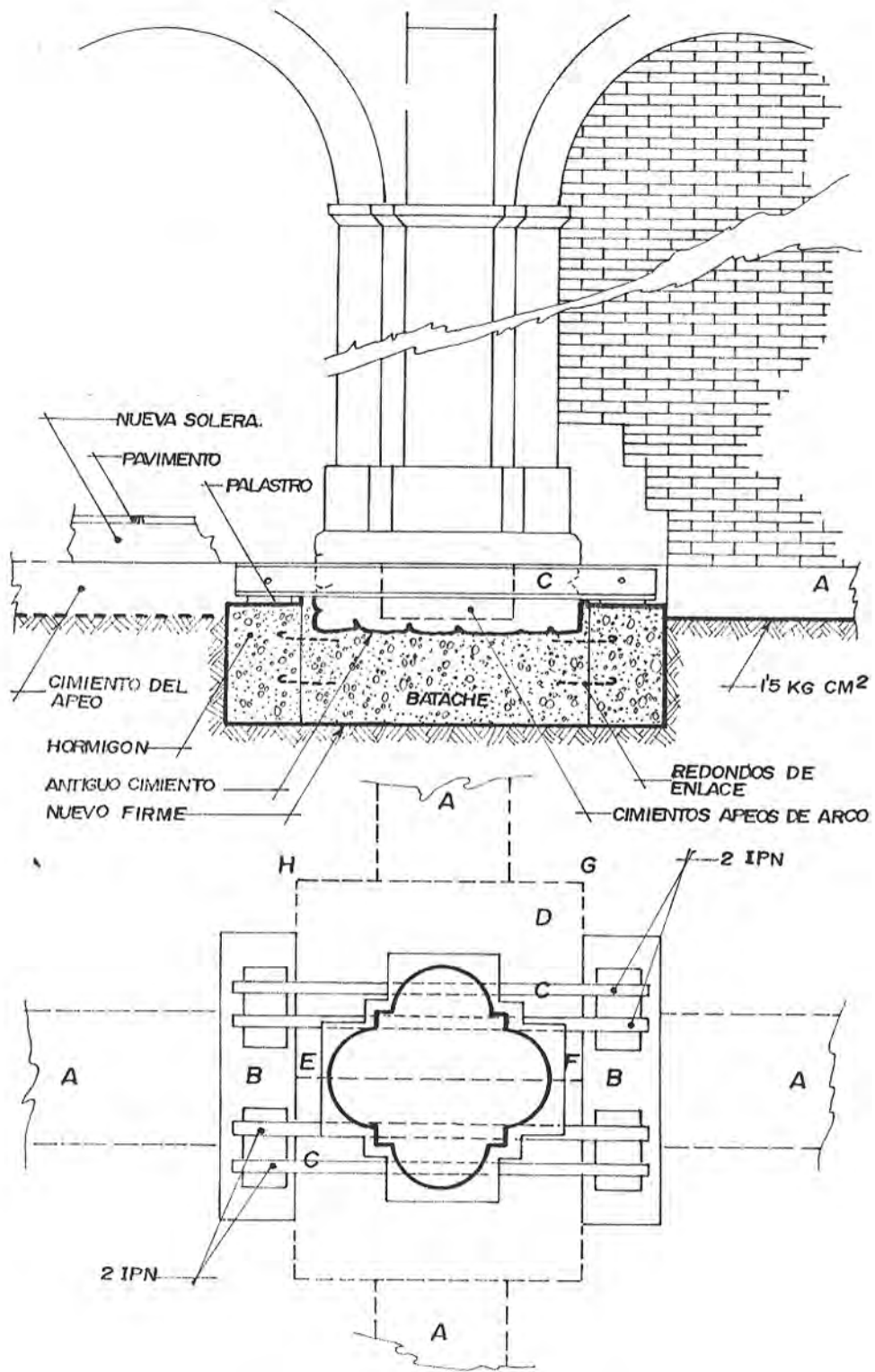


FIGURA 3

vez que el concreto ha fraguado se procede a la excavación de la segunda parte, para luego enderezar la parilla y vaciar el concreto.

DESCOMPOSICION DE MORTEROS Y MUROS:

Nuevos Contrafuertes: En determinadas ocasiones se debe tomar la determinación de construir contrafuertes exteriores; de ser ese el caso se puede emplear la solución que se muestra en la fig. 4.

Concreto Armado interior: En muchos casos la calzadura de los cimientos y la consolidación de los muros no es suficiente para garantizar un buen funcionamiento e caso de sismo; por tal motivo se hace necesario la inclusión de elementos de concreto armado. Este tipo de solución ha sido muy empleada en las torres con resultados diversos. El procedimiento empleado es la de construir un sistema aporticado en el interior de los muros de las torres y cada cierta altura una losa para intentar cambiar el tipo de comportamiento de muro en voladizo. También suele emplearse elementos de concreto armado en los pilares, en cuyo caso se procede a la colocación de los elementos de concreto según se muestra en la fig.5 .

Mampostería sin Trabas: Este caso de muros o

mampostería de mala calidad se presenta no solo por mala calidad de mano de obra, sino por la pequeña dimensión o fragilidad de los mampuestos, que obligaba al empleo de mayores espesores del mortero y confiar en la bondad de éstos. En otros casos el sistema constructivo empleado en la consistía en el empleo de dos muros de piedra como enchape o encofrado y un relleno de cal y canto. Para consolidar este tipo de muros se debe realizar en primer lugar un apuntalamiento, luego se introduce unas cuantas varillas por las juntas de los mampuestos, y finalmente se introduce mortero fluido tal como se muestra en la fig. 6.

REFUERZO DE ARCOS Y BOVEDAS:

La primera medida que se realiza cuando un arco o una bóveda se encuentra en mal estado es su consolidación, para ello se debe realizar previamente un apuntalamiento adecuado y proceder a eliminar o disminuir la sobrecarga que pueda existir, luego se restituye el mortero y se cambia los mampuestos que se encuentren en mal estado. Es muy común en otros países (especialmente México y España) el empleo de una o dos capas de concreto armado ligado a las bóvedas por medio de varillas para darle una mayor rigidez y resistencia, considero que esta posibilidad debe ser analizada cuidadosa-

REFUERZO DE CONTRAFUERTES

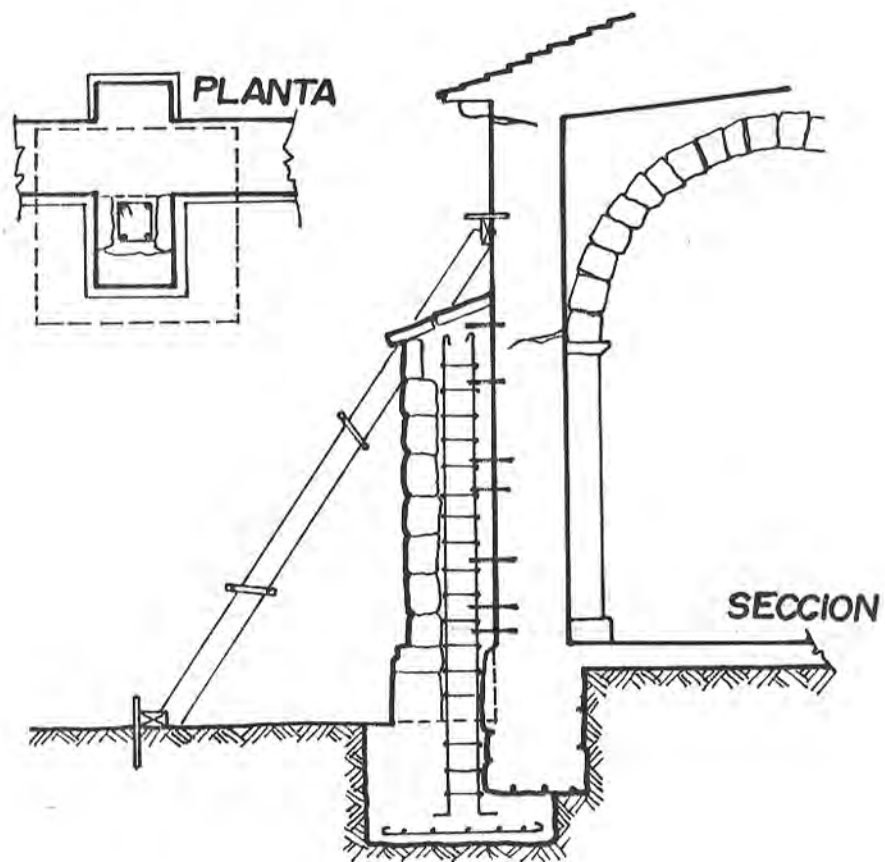


FIGURA 4

CONCRETO ARMADO

EN PILARES

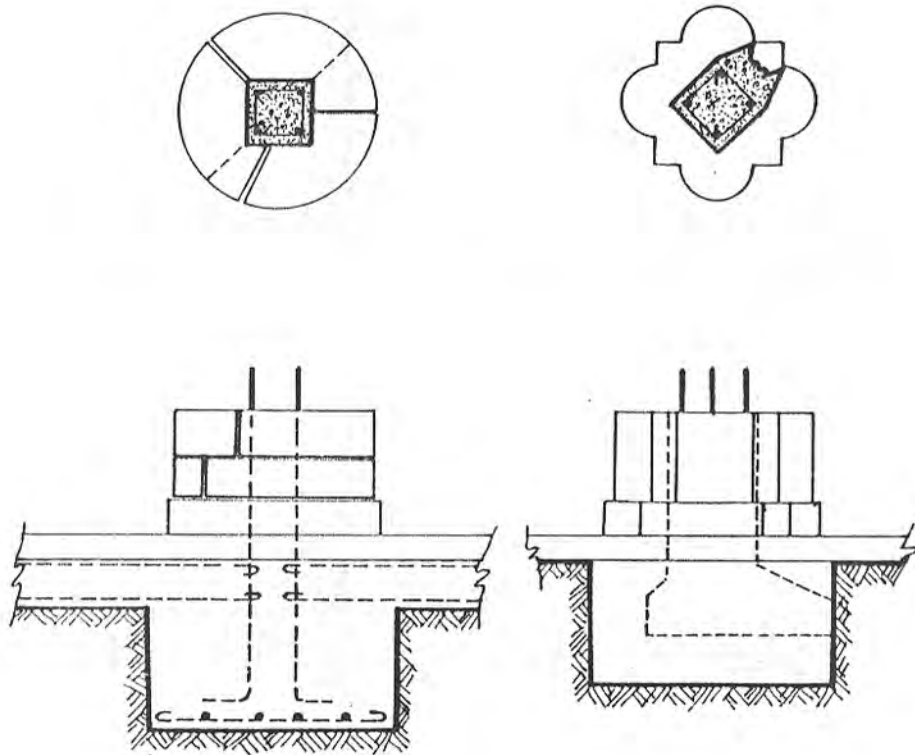
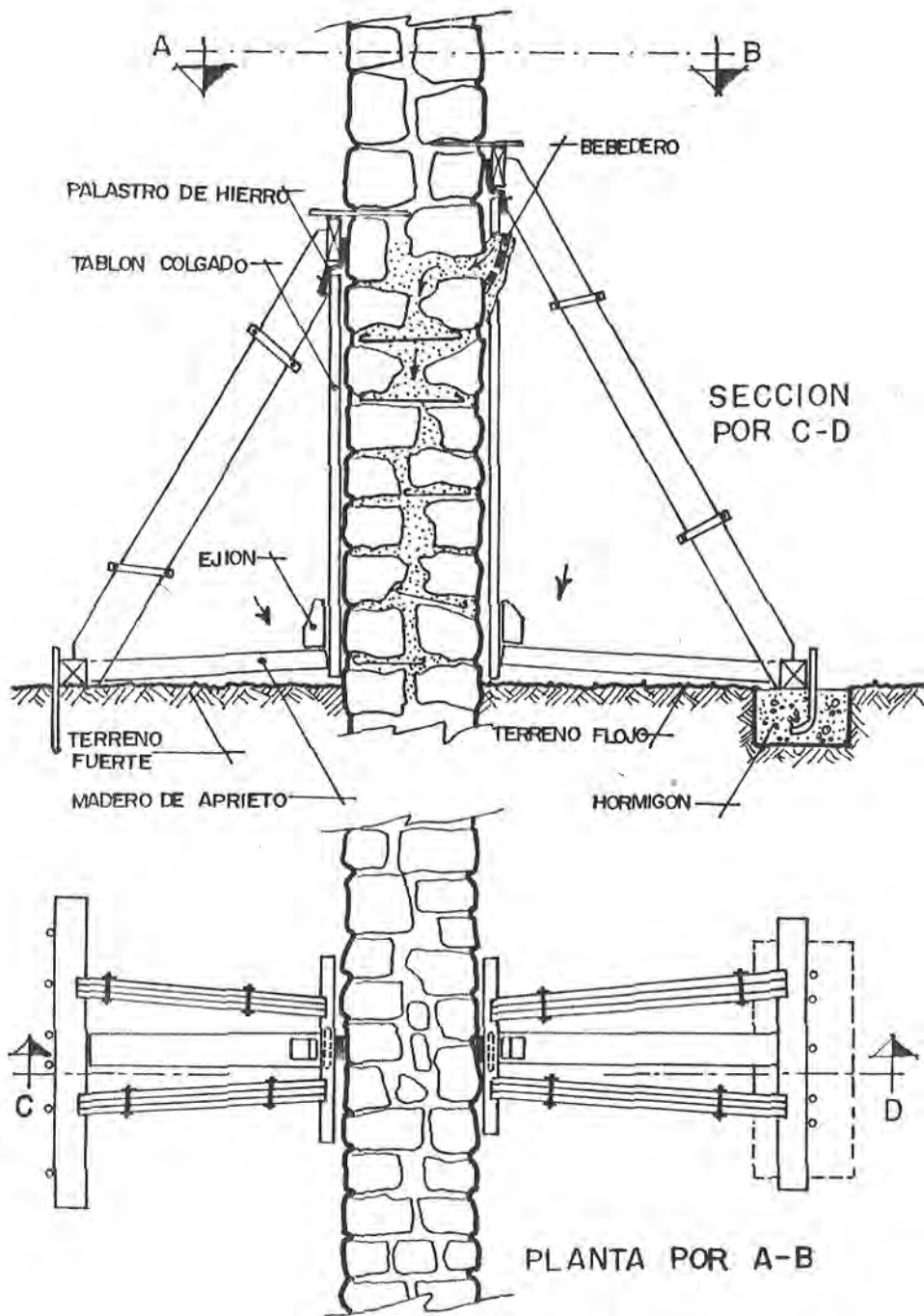
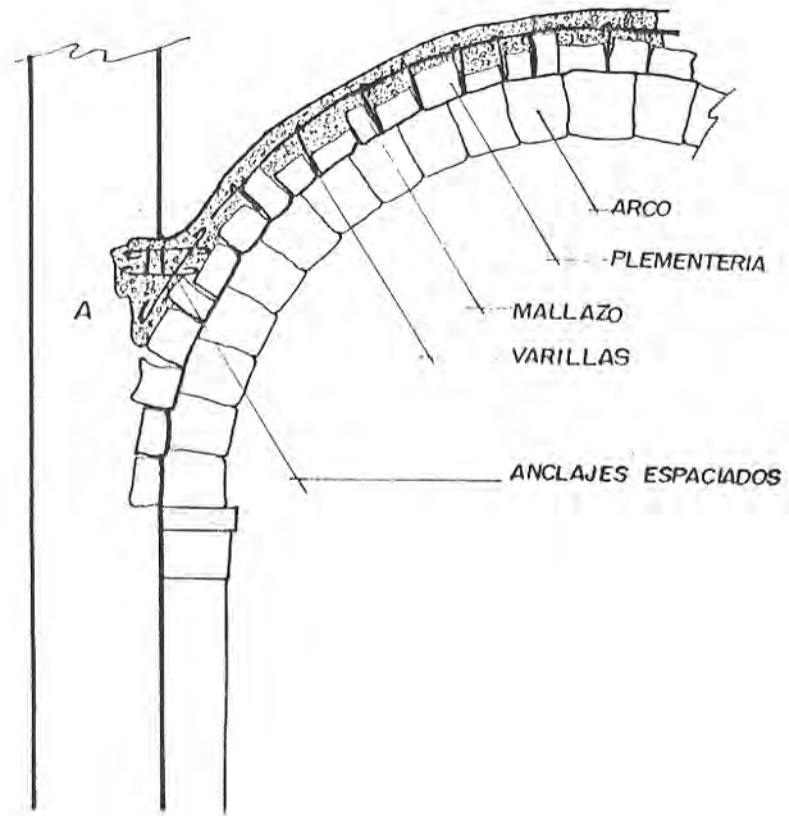


FIGURA 5



REFUERZO EN MUROS DE PIEDRA

FIG 6



REFUERZO DE BOVEDAS

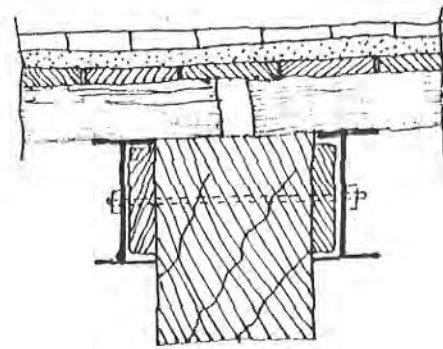
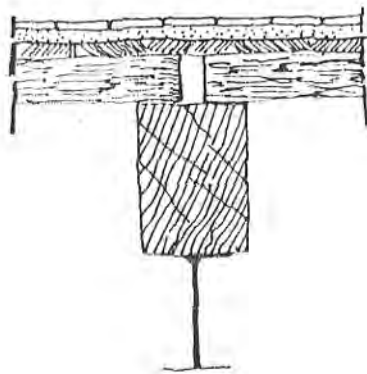
mente por los motivos anteriormente mencionados; sin embargo se puede emplear parte de estas propuestas que consistiría en reforzar únicamente las bóvedas sin ligarlas a los pilares o muros, de este modo aumentamos su resistencia sin variar el comportamiento estructural.

3.3.3 CONSTRUCCIONES DE MADERA.

Las construcciones de madera se ven afectados generalmente por la presencia de hongos, xilófagos y de la humedad, que los hace perder resistencia y colapsar en algunos casos. Otro problema que se presenta en las construcciones antiguas es el uso de secciones inadecuadas en los elementos principales, que por lo general son de sección cuadrada.

Para el refuerzo de elementos principales, y en caso de que no se permita sustituir los elementos, se puede hacer uso de las secciones compuestas acero-madera tal como se muestra en las fig 7 y 8. Si la madera se encuentra en un proceso de deterioro muy severo no se considera el aporte de ésta en el análisis.

Para resolver el problema de los entrepisos, sobretodo si existe un artesonado o un cambio de uso del piso superior (sala de exposición o museo

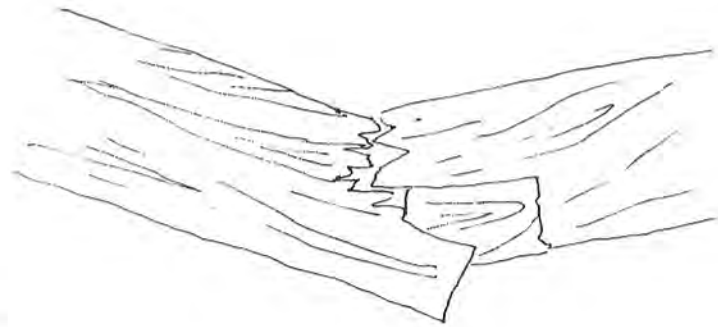
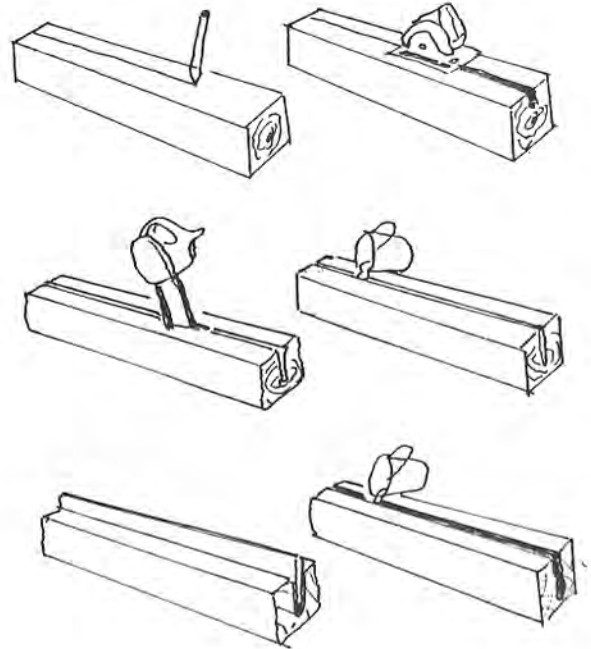


REFORZAMIENTO DE SECCIONES

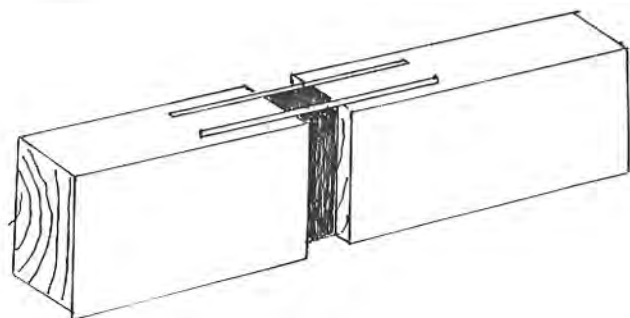
DE MADERA (FIG 7)

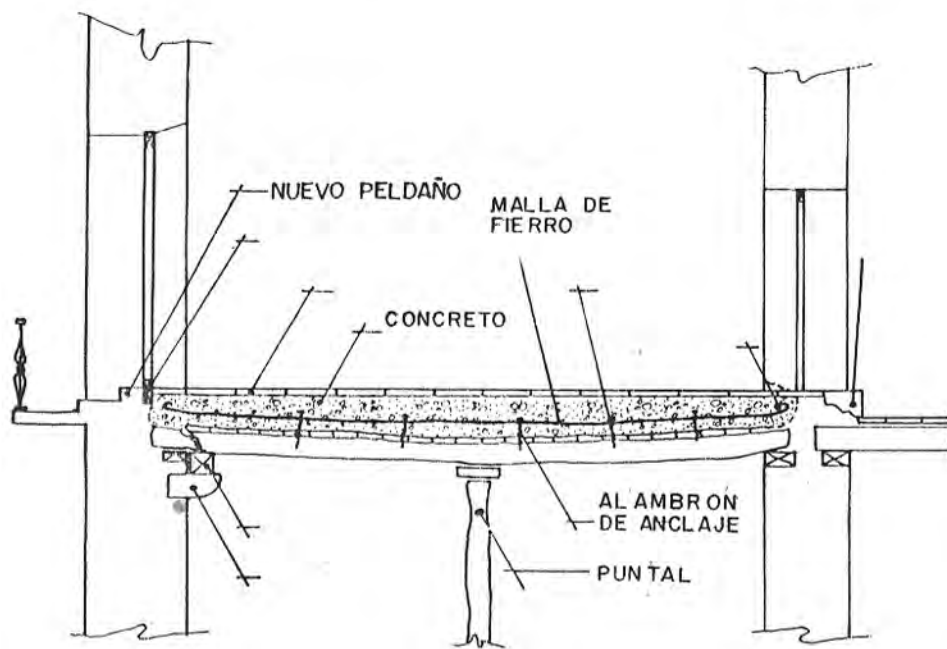
REFUERZOS EN ELEMENTOS DE MADERA (FIG 8)

PROCEDIMIENTO PARA MEJORAR LA RESISTENCIA
DE LAS VIGAS DE MADERA INCLUSION DE PLA-
TINA DE ACERO DENTRO DE LA MADERA



REFUERZO EN SECCIONES CON
FALLAS POR FLEXION CON PLA-
TINA DE FIERRO





**REFUERZO EN PISOS
DE MADERA**

por ejemplo); o se quiere rigidizar el techo se le refuerza con una losa de concreto armado que soporte la sobrecarga. Este tipo de solución empleada puede combinarse con el del refuerzo de las vigas y analizarse como una sección compuesta de acero-concreto.

3.3.4 PROBLEMAS DE HUMEDAD.

Las manifestaciones de humedad afectan tremendamente a las construcciones tal como se vió en el primer capítulo; para solucionar en parte este problema, ya que los métodos expuestos no erradicar por completo la humedad, se pueden aplicar las siguientes técnicas:

Colocación de Drenajes: Estos drenajes no deben ser colocados a nivel de los cimientos, para no afectar a la construcción, sino a uno o dos metros del muro, protegiendo este espacio con una acera impermeable que verterá sus aguas en el vertical del drenaje. Este procedimiento se puede realizar si el agua que se recoge con este sistema puede verterse sobre el terreno o desembarcar en una alcantarilla. De no ser así, el drenaje no tendría ninguna razón de ser, e incluso resultaría muy perjudicial ya que sería la causa de que el terreno se inundara de agua.

Colocación de Placa Impermeable en el Muro: En

algunos casos, cuando existen paredes homogéneas, poco gruesas y en zonas no sísmicas cabe la posibilidad de aserrar la base del muro en bandas alternas e introducir en ellas placas impermeables bituminosas, planchas de plomo o plástico, o mejor aún, mortero impermeable. Este trabajo, que resuelve radicalmente el problema de la humedad, se efectúa pocas veces por ser muy costosa y se requiere de un trabajo muy especializado.

Inyección o Impregnación con Productos Impermeabilizantes: En la base del muro, por la parte exterior y algunas veces por la parte interior se realizan una serie de orificios por la que se impregnan una solución impermeabilizante. Uno de estos procedimientos es el denominado de fluatación consiste en la impregnación de algunos derivados del ácido sulfúrico, de las soluciones acuosas de silicofluorico de magnesio, o de los fluorosilicatos de magnesio, zinc o aluminio en los muros de piedra. Estos productos reaccionan con el carbonato de calcio de la piedra formando cristalizaciones poco o nada solubles en la entrada de los poros. La cristalización puede ser expansiva, obturando parcialmente y consolidando de paso al paramento, siendo por otro lado mas resistente al ataque de ácidos débiles.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Todas las construcciones con el paso del tiempo sufren algun grado de deterioro, ya sea por efecto de la naturaleza o del hombre, de nosotros depende evitar que el testimonio legado por nuestros antepasados se pierda.

En una restauración debemos tratar de erradicar en lo posible la causa que origina el deterioro, no repitiendo los mismos errores que la causa nos lo señala constantemente. Así, si el problema es de humedad, nada logramos con revestir nuevamente un muro si no reparamos la tubería de agua o desague que genera la humedad; tampoco solucionamos nada con reparar grietas

o levantar muros que en un nuevo sismo volveran a ser afectadas.

El objetivo de la restauración no sólo es devolver al monumento su forma original, sino que tambien debemos prepararlo para que pueda afrontar a las causas que originaron su deterioro.

Despues de un movimiento sísmico, una vez pasada la crisis inicial, se debe proteger lo que quede de los monumentos. No debe pensarse en el proyecto de restauración o de reparación total, que puede realizarse posteriormente, sino abocarse a labores de emergencia para prevenir mayor destrucción: apuntalamientos; clausura de puertas, ventanas y arquerias; inyección de mortero en las fisuras; reposición de coberturas; recubrimiento y ubicación en lugares seguros de los elementos artísticos; clausura de áreas al paso peatonal y, especialmente, a los tractores niveladores.

Los códigos o reglamentos de construcciones antisísmicas no son aplicables a los monumentos históricos.

El modelo estructural de monumentos constituidos por construcciones masivas debe considerar el estudio de partes bien definidas y no un modelo complejo que abarque la totalidad de la obra, ya que la interacción entre las partes puede ser debil y nos puede inducir a

errores.

Concluido los analisis y obtenido los esfuerzos actuantes debemos compararlos con los daños causados. Si la conclusión alcanzada de esta evaluación es consistente con los daños observados, la evaluación y el analisis son correctos, si no, se debe realizar un nuevo analisis y adicional investigación, hasta alcanzar un razonable acuerdo entre causa y efecto.

El analisis realizado de las bóvedas de la iglesia de la Compañía nos da una pauta acerca del comportamiento estructural de este tipo de construcciones, siendo necesario analizar mayor cantidad de monumentos de este tipo para explorar diferentes criterios de analisis y lograr una mejor comprensión del comportamiento de las estructuras durante un movimiento sísmico.

Todos los monumentos históricos son estructuras del tipo frágil, por lo que muchas simplificaciones y reglas escritas para estructuras dúctiles no pueden ser aplicadas. En estructuras dúctiles, la carga máxima que una línea paralela de elementos de resistencia puede soportar es, por lo general, igual a la suma de la resistencia última de los mismos. En elementos de comportamiento frágil, la capacidad máxima de carga de un sistema de elementos es usualmente menor que la suma de todos los elementos debido a la sobrecarga que

se produce por la falla de alguno de sus elementos de manera repentina. Es muy difícil que todos los elementos alcancen su estado final al mismo tiempo.

Cualquier cambio de rigidez de los miembros, como resultado de un reforzamiento, puede hacer variar desde la distribución de cargas laterales, hasta el comportamiento y la validez del modelo estructural empleado.

El refuerzo de una edificación con componentes frágiles es óptimo si los edificios ceden por fallas simultáneas de los componentes frágiles bajo condiciones críticas de carga, pero permanecen elásticos bajo condiciones menores de carga.

Las construcciones de adobe fallan por flexión en su plano cuando los muros son largos o muy altos y por cortante si su longitud es corta o presentan demasiadas aberturas.

Los daños mas graves en las construcciones de piedra se producen por falta de arriostramiento de algunos de sus elementos como son las torres, pináculos, bolas, templetes y planos de arquerías.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- LOPEZ COLLADO, Gabriel "Ruinas en Construcciones Antiguas"
- 2.- "LEÑO nel RESTAURO e RESTAURO deL LEÑO" Congreso de restauración de madera. Firenze - Italia.
- 3.- D.F. COATES " Fundamentos de Mecánica de Rocas"
- 4.- CALDERON CABRERA, José L. "Reestructuración y Consolidación de Monumentos" Tesis de Maestría de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- 5.- AGURTO CALVO, Santiago "Construcción, Arquitectura y Planeamiento Inca"
- 6.- AGURTO CALVO, Santiago "Lima Prehispánica"
- 7.- "MEMORIAS DEL PRIMER SIMPOSIUM NACIONAL DE PREVENCIÓN Y MITIGACION DE DESASTRES NATURALES"
- 8.- COOK, John P. "Construcciones Compuestas"
- 9.- THOMSON, William "Teoría de Vibraciones"
- 10.- REGLAMENTO NACIONAL DE CONSTRUCCIONES
- 11.- ESTELA BENAVIDES, Bertha "Copias de Clase del Curso de Maestría de Restauración y Conservación de Monumentos Históricos y Artísticos" Universidad Federico Villareal
- 12.- CARILLO, Américo "Informe Plan de Emergencia Sismo 1986" Sector Patrimonio Monumental del Cuzco.
- 13.- "La Protección de Monumentos Históricos en Areas Sísmicas" Seminario Internacional. La Antigua-Guatemala.
- 14.- ACEVEDO, Paulo "Cuzco, Ciudad Histórica Continuidad y Cambio"
- 15.- NARVAEZ V. Alfredo "Proyecto Puesta en Valor de la Fortaleza de Kuelap" I.N.C. Amazonas.