

## 6.4 Fichas de las muestras seleccionadas

## 5.4 FICHAS DE LAS MUESTRAS SELECCIONADAS

### CASOS DE ESTUDIO del grupo 1 - IRÁN

- Iglesia de Belén (s.XVII) - Isfahan
- Mezquita Al-Hakim (s.XVII) - Isfahan
- Mezquita del Imam (s.XVII) - Isfahan
- Mezquita Goharshad (s.XIV) - Mashad
- Mezquita Menar Jonban (s.XIV) - Isfahan
- Mausoleo de Soltaniyeh (s.XIV) - Zanjan

### CASOS DE ESTUDIO del grupo 2 - PERÚ

- Catedral de Lima (s.XVI) - Lima
- Catedral de Cusco (s.XVI) - Cusco
- Catedral de Arequipa (s.XVI) - Arequipa
- Basílica de San Francisco de Lima (s.XVI) - Lima
- Iglesia de la Compañía de Jesús (s.XVI) - Arequipa
- Iglesia de la Merced (s.XVI) - Lima

**CASOS DE ESTUDIO del grupo 3 - BENGALA**

- Mezquita de Shatgumbad (s.XV) - Bagerhat
- Mezquita de Choto Sona (s.XV) - Gaur
- Mezquita de las nueve cúpulas (s.XV) - Bagerhat
- Tumba de Bibi Pari (s.XVII) - Dhaka
- Mezquita de Kusumba (s.XVI) - Naogaon
- Mezquita de Baba Adam (s.XV) - Rampal

Ficha nº

**01**

Nombre del edificio:

**Iglesia de Belén**

Fecha de construcción:

**S.XVII**

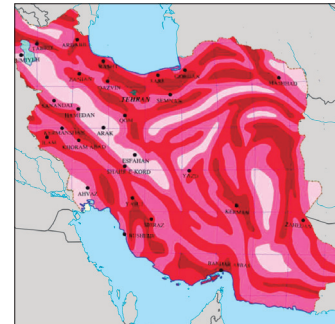
Zona geográfica:

**Isfahan (Irán)**

Terremotos más importantes:

**853 / 958 / 1344 / 1459 / 1591 / 1755**

Ubicación



Sismicidad

**Sistemas sismorresistentes**

Configuración general de la construcción

**A01-d / A02-a / A07-b / A14-a / A18-a / A19-b  
A20-a / A23-c**

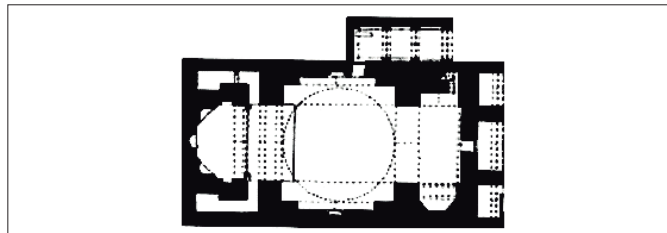
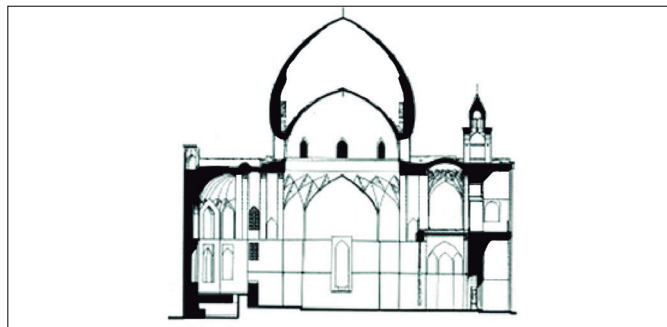
Estructura muraria

**B03-a / B06-a / B11-d / B17-c / B19-c / B21-h  
B22-f**

Columnas y otros elementos verticales

**C03-a / C11-a / C14-c / C16-d / C18-c / C21-h  
C22-c**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D07-d / D08-a / D09-a / D14-d / D16-d / D17-b  
D19-f / D20-d /**

Planta y sección (Elaboración propia)



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

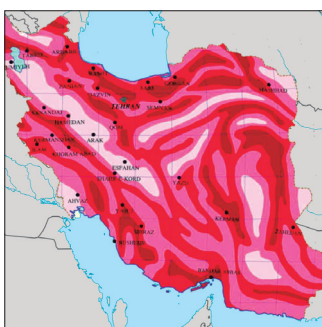


Ficha nº

**02**



Ubicación



Sismicidad

Nombre del edificio:

**Mezquita Al-Hakim**

Fecha de construcción:

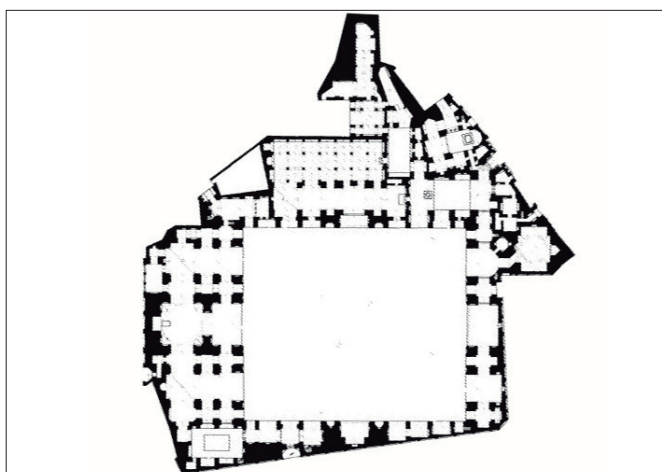
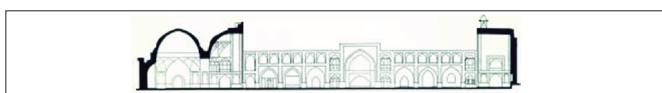
**S.XVII**

Zona geográfica:

**Isfahan (Irán)**

Terremotos más importantes:

**853 / 958 / 1344 / 1459 / 1591 / 1755**



Planta y sección (Elaboración propia)

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-a / A02-a / A03-a / A05-a / A07-d / A10-d / A14-c / A16-d / A17-b / A18-a / A20-a / A23-d**

Estructura muraria

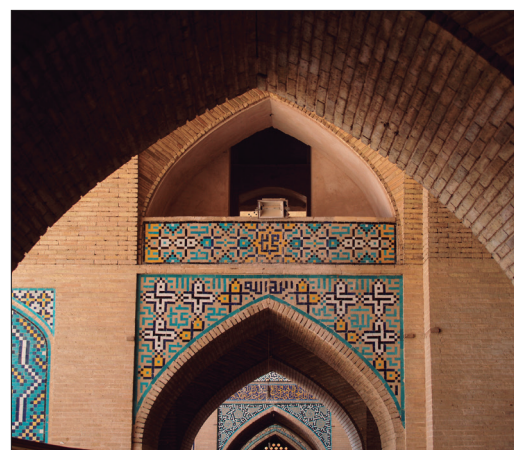
**B06-a / B09-d / B11-f / B12-e / B14-g / B21-g**

Columnas y otros elementos verticales

**C11-a / C21-g**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D03-a / D07-f / D11-f / D12-a / D19-f**



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

# Ficha nº 03

Nombre del edificio:

**Mezquita de Imam**

Fecha de construcción:

**S.XVII**

Zona geográfica:

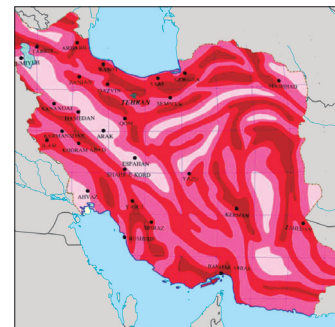
**Isfahan (Irán)**

Terremotos más importantes:

**853 / 958 / 1344 / 1459 / 1591 / 1755**



Ubicación



Sismicidad

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-b / A03-b / A05-a / A06-b / A07-a / A14-a  
A17-b / A18-c / A19-b / A20-a / A22-b / A23-b**

Estructura muraria

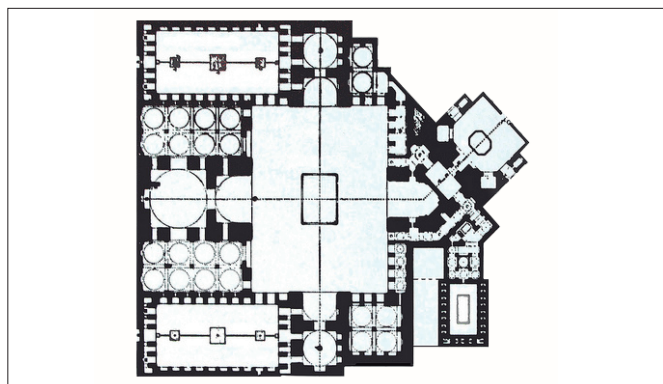
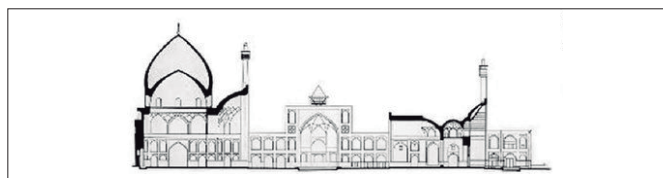
**B03-a / B05-a / B06-a / B10-b / B11-c / B12-e  
B15-e**

Columnas y otros elementos verticales

**C03-a / C04-c / C05-c / C10-e / C11-d / C12-d**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D03-c / D07-c / D08-a / D11-f / D14-d / D16-f  
D17-a / D20-e**



Planta y sección (Elaboración propia)

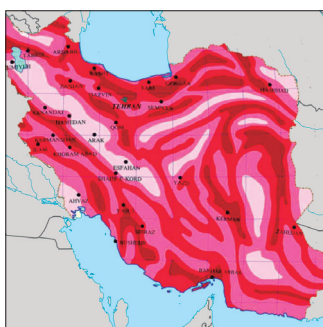


Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)





Ubicación



Sismicidad

Nombre del edificio:

**Mezquita de Goharshad**

Fecha de construcción:

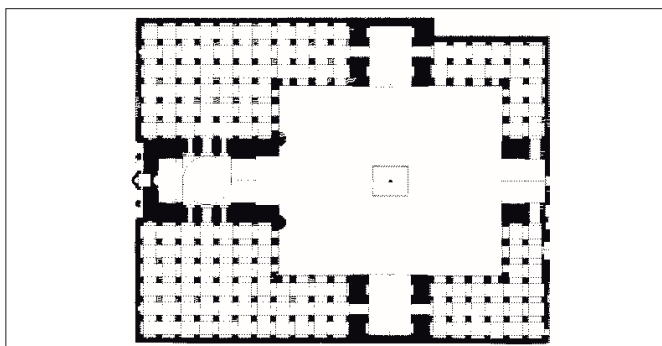
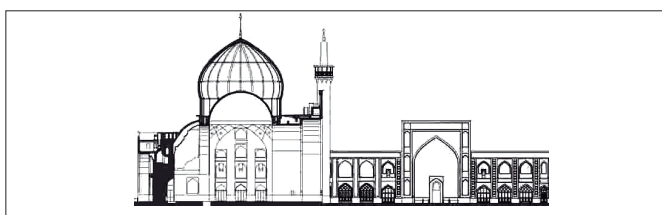
**S.XIV**

Zona geográfica:

**Mashad (Irán)**

Terremotos más importantes:

**1052 / 1209 / 1270 / 1493 / 1498 / 1673**



Planta y sección (Elaboración propia)

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-d / A03-b / A05-a / A06-b / A07-a / A09-d  
A10-b / A14-a / A16-c / A17-a / A18-c / A19-b  
A20-a / A22-b / A23-b**

Estructura muraria

**B03-a / B05-a / B06-a / B10-b / B11-c / B12-e  
B15-e / B19-c**

Columnas y otros elementos verticales

**C03-a / C05-c / C06-b / C10-e / C11-d / C18-a**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D03-c / D07-c / D08-a / D11-f / D12-a / D14-d  
D16-d**



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

# Ficha nº 05

Nombre del edificio:

**Mezquita Menar Jonban**

Fecha de construcción:

**S.XIV**

Zona geográfica:

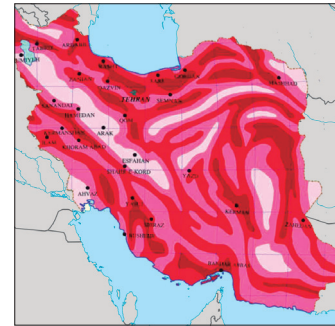
**Isfahan (Irán)**

Terremotos más importantes:

**853 / 958 / 1344 / 1459 / 1591 / 1755**



Ubicación



Sismicidad

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-d / A06-c / A07-a / A08-b / A12-b / A14-b  
A16-a / A18-b / A19-b / A20-a / A23-c**

Estructura muraria

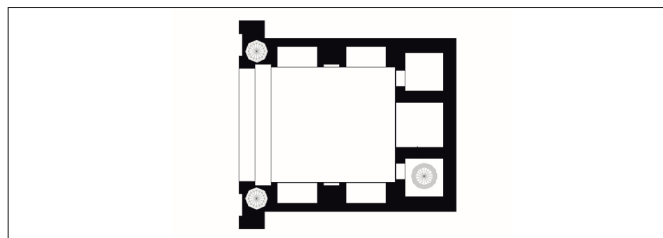
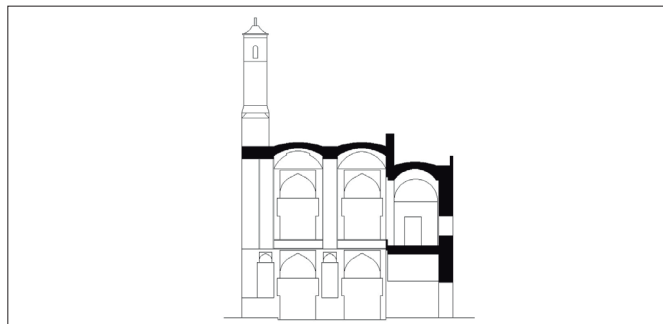
**B06-a / B11-d / B19-c**

Columnas y otros elementos verticales

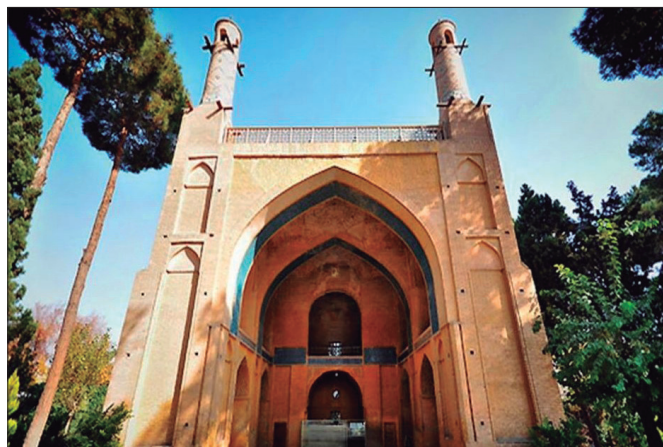
**C02-d / C08-b / C11-d / C12-a / C19-a / C22-c**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D07-d / D10-c / D11-f**



Planta y sección (Elaboración propia)



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

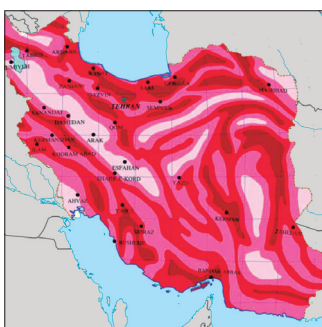


Ficha nº

06



Ubicación



Sismicidad

Nombre del edificio:

**Mausoleo de Soltaniyeh**

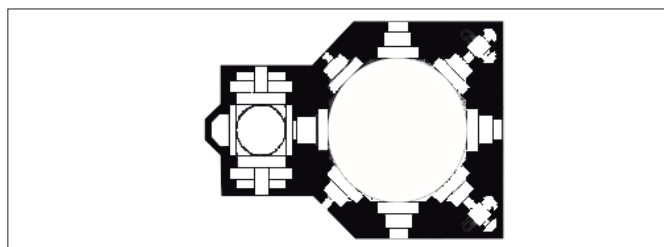
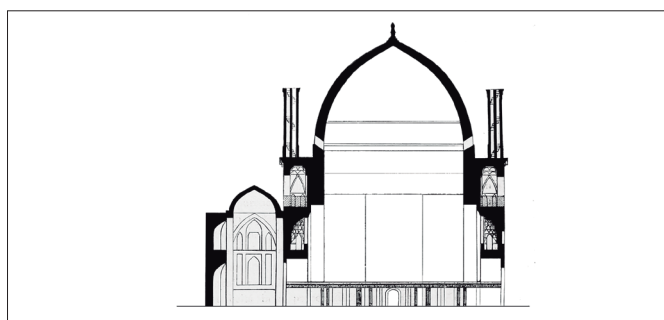
Fecha de construcción:

**S.XIV**

Zona geográfica:

**Zanjan (Irán)**

Terremotos más importantes:

**893 / 1042 / 1304 / 1641 / 1667 / 1679**

Planta y sección (Elaboración propia)

**Sistemas sismorresistentes**

Configuración general de la construcción

**A01-d / A08-a / A09-c / A12-b / A13-a / A14-a  
A15-e / A18-c / A19-b / A20-a / A23-b**

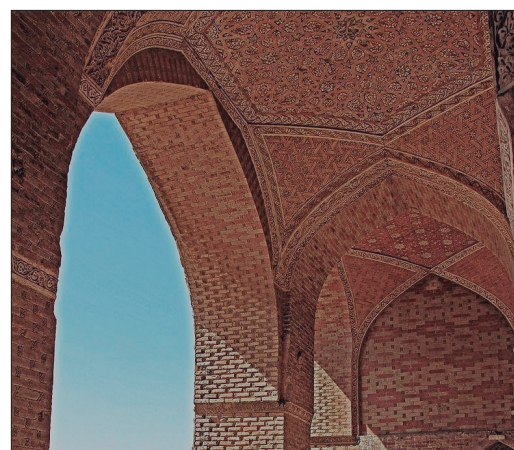
Estructura muraria

**B03-a / B05-a / B06-a / B10-c / B11-c**

Columnas y otros elementos verticales

**C11-a / C19-a**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D07-c / D08-c / D10-b / D12-a / D14-f**

Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

# Ficha nº 07

Nombre del edificio:

**Catedral de Lima**

Fecha de construcción:

**S.XVI**

Zona geográfica:

**Lima (Perú)**

Terremotos más importantes:

**1555 / 1586 / 1609 / 1630 / 1655 / 1678**



Ubicación



Sismicidad

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-d / A06-d / A07-a / A14-d / A16-c / A17-a  
A18-a / A19-a / A23-b**

Estructura muraria

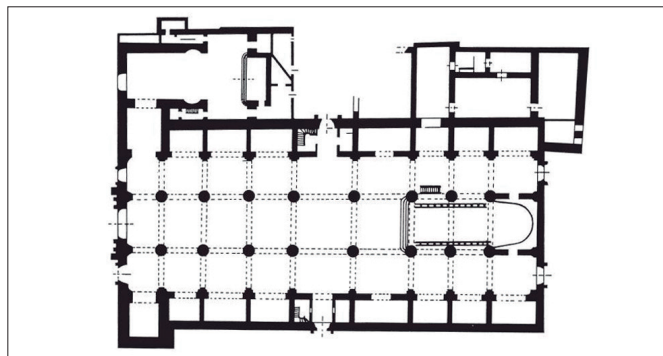
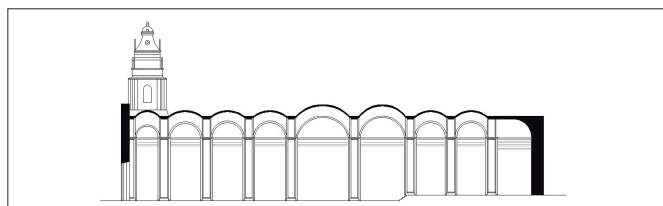
**B03-a / B05-a / B06-a / B10-b / B11-c / B19-c**

Columnas y otros elementos verticales

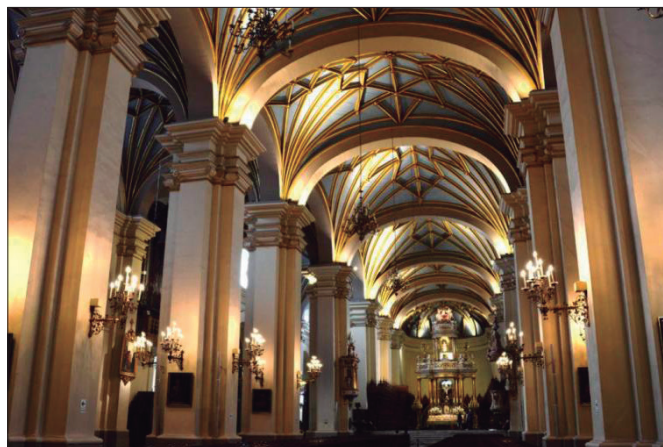
**C03-a / C10-e / C11-a**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D01-f / D03-c / D07-c / D10-b**



Planta y sección (Elaboración propia)



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)



Ficha nº

08



Ubicación



Sismicidad

Nombre del edificio:

**Catedral de Cuzco**

Fecha de construcción:

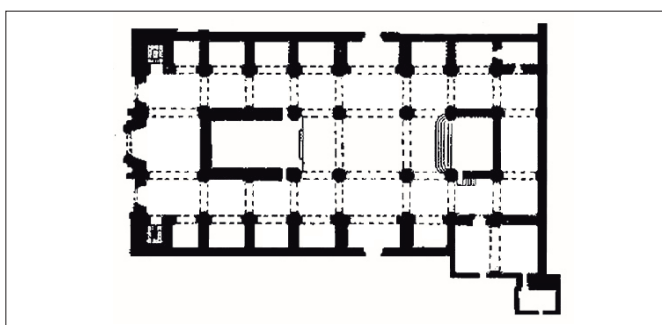
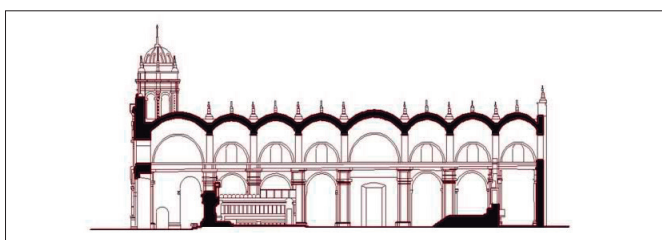
**S.XVI**

Zona geográfica:

**Cuzco (Perú)**

Terremotos más importantes:

**1650 / 1687**



Planta y sección (Elaboración propia)

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-b / A02-a / A04-c / A06-d / A07-a / A10-b  
A12-b / A14-d / A16-c / A17-a / A18-a / A19-a  
A23-b**

Estructura muraria

**B03-a / B05-a / B06-a / B11-c / B14-d / B19-c**

Columnas y otros elementos verticales

**C03-c / C05-c / C06-e / C11-a**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D01-f / D07-c / D10-b**



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

# Ficha nº 09

Nombre del edificio:

**Catedral de Arequipa**

Fecha de construcción:

**S.XVI**

Zona geográfica:

**Arequipa (Perú)**

Terremotos más importantes:

**1582 / 1583 / 1600 / 1666 / 1668 / 1687**



Ubicación



Sismicidad

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-d / A07-a / A13-a / A17-a / A18-c / A20-b**

Estructura muraria

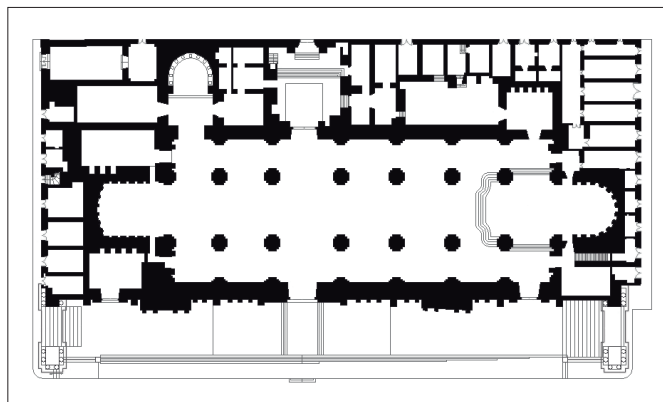
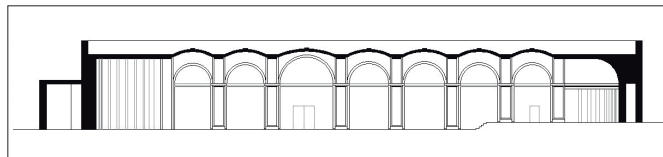
**B09-b / B14-d / B19-c / B22-a / B23-a**

Columnas y otros elementos verticales

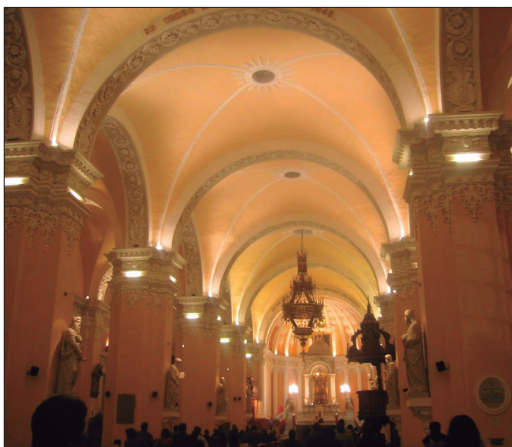
**C05-c / C09-a / C12-c / C13-c / C23-a**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D03-c / D05-b / D07-a / D21-a**



Planta y sección (Elaboración propia)



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)



Ficha nº

**10**

Ubicación



Sismicidad

Nombre del edificio:

**Basílica de San Francisco de Lima**

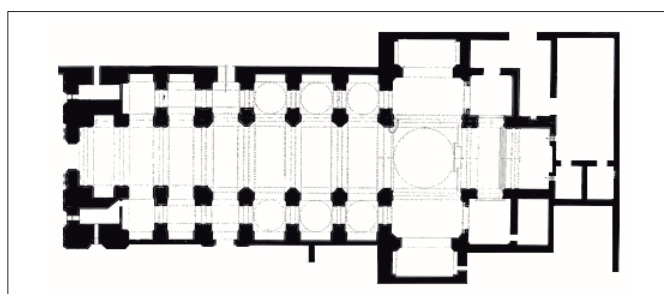
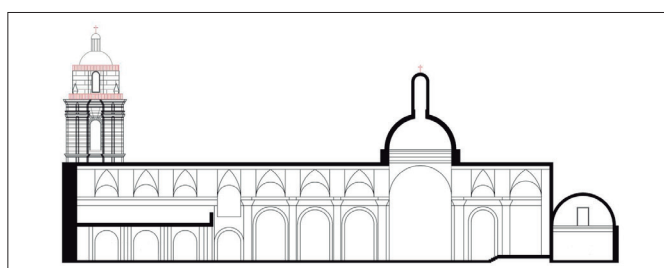
Fecha de construcción:

**S.XVI**

Zona geográfica:

**Lima (Perú)**

Terremotos más importantes:

**1555 / 1586 / 1609 / 1630 / 1655 / 1678**

Planta y sección (Elaboración propia)

**Sistemas sismorresistentes**

Configuración general de la construcción

**A01-c / A02-a / A06-d / A07-a / A09-d / A11-b  
A12-b / A14-d / A16-c / A18-a / A19-a / A21-e  
A23-c**

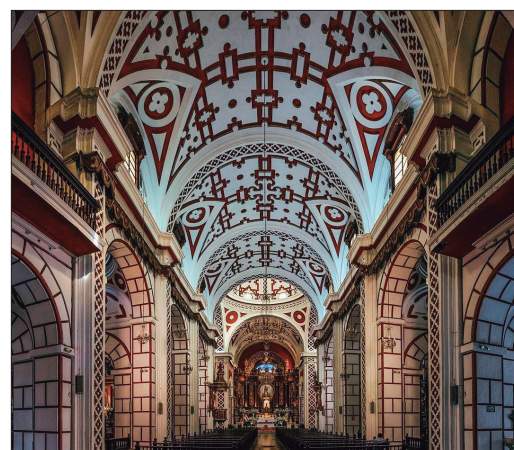
Estructura muraria

**B03-a / B05-a / B06-a / B10-b / B11-d / B14-d  
B15-c / B19-c**

Columnas y otros elementos verticales

**C03-a / C11-a / C13-c / C14-b**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D01-f / D03-b / D07-d**

Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

# Ficha nº 11

Ficha nº

Nombre del edificio:

**Iglesia de la Compañía de Jesús**

Fecha de construcción:

**S.XVI**

Zona geográfica:

**Arequipa (Perú)**

Terremotos más importantes:

**1582 / 1583 / 1600 / 1666 / 1668 / 1687**



Ubicación



Sismicidad

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-d / A05-a / A09-a / A10-b / A11-b / A14-d  
A16-c / A18-a / A20-b / A21-e / A23-c**

Estructura muraria

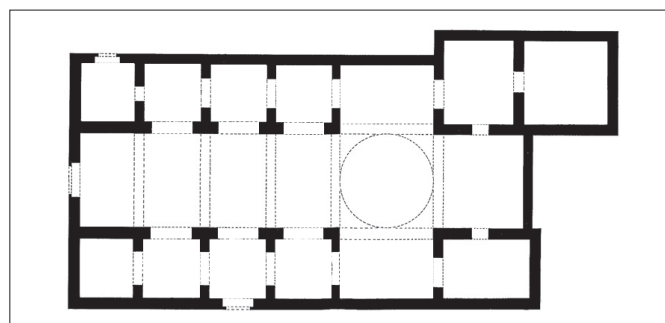
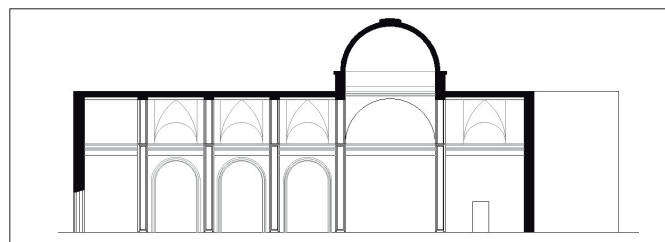
**B03-a / B05-a / B06-a / B09-b / B11-d / B15-c  
B19-c / B22-a / B23-a**

Columnas y otros elementos verticales

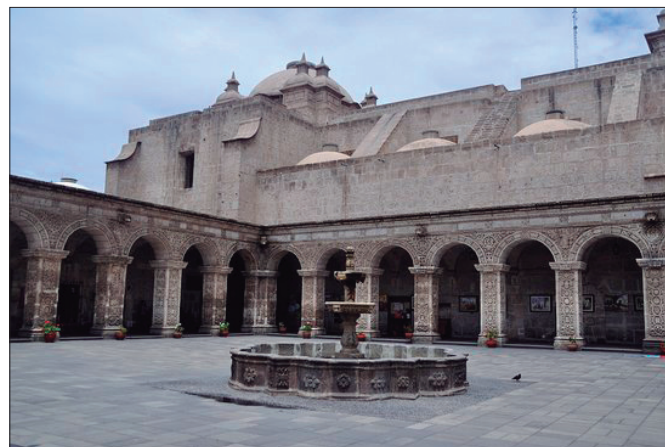
**C03-a / C05-c / C06-e / C09-a / C11-a / C14-b  
C23-a**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D03-b / D05-b / D07-d / D21-a**



Planta y sección (Elaboración propia)



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

Ficha nº

**12**

Ubicación



Sismicidad

Nombre del edificio:

**Iglesia de la Merced**

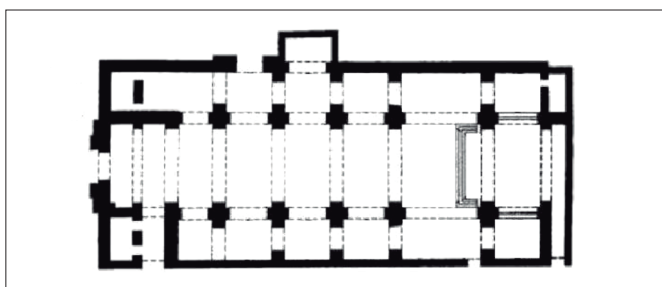
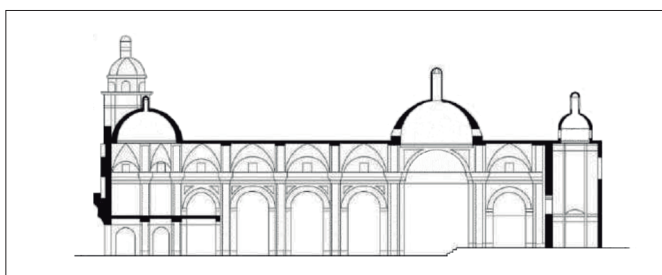
Fecha de construcción:

**S.XVI**

Zona geográfica:

**Lima (Perú)**

Terremotos más importantes:

**1555 / 1586 / 1609 / 1630 / 1655 / 1678**

Planta y sección (Elaboración propia)

**Sistemas sismorresistentes**

Configuración general de la construcción

**A01-c / A02-a / A06-d / A09-a / A10-b / A14-d  
A16-c / A18-a / A23-c**

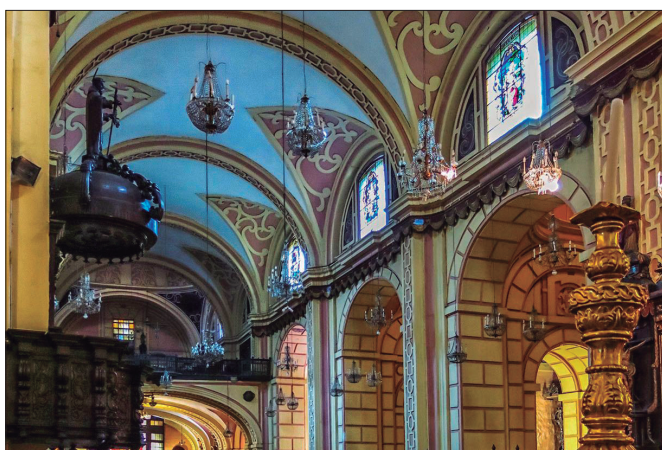
Estructura muraria

**B06-a / B11-d / B19-c**

Columnas y otros elementos verticales

**C06-e / C11-a**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D03-b / D07-d**

Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)



Ficha nº

13

Nombre del edificio:

**Mezquita de Shatgumbad**

Fecha de construcción:

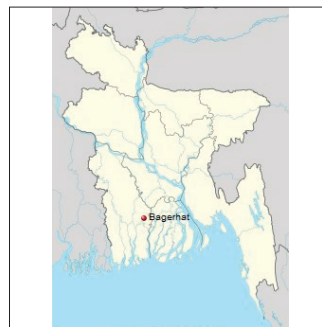
**S.XV**

Zona geográfica:

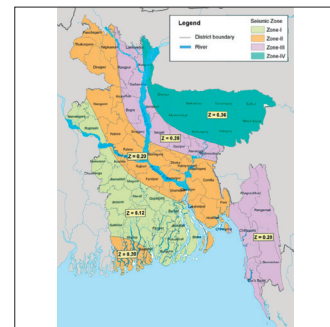
**Bagerhat (Bangladesh)**

Terremotos más importantes:

**1440-1470 / 1664 / 1676 / 1737 / 1762**



Ubicación



Sismicidad

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-d / A04-d / A07-a / A08-b / A09-c / A10-c  
A11-a / A12-a / A14-a / A16-c / A17-a / A19-a  
A20-b / A21-e / A23-a**

Estructura muraria

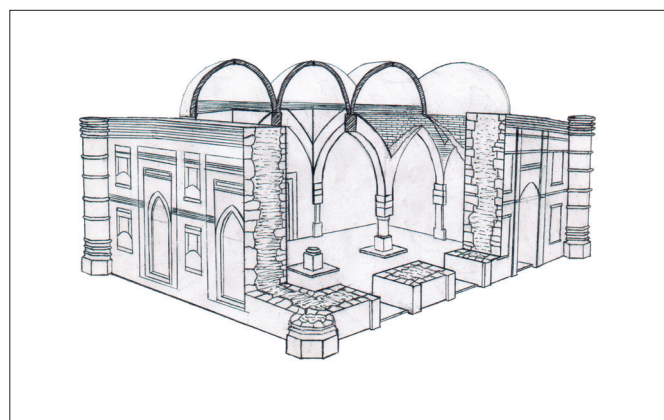
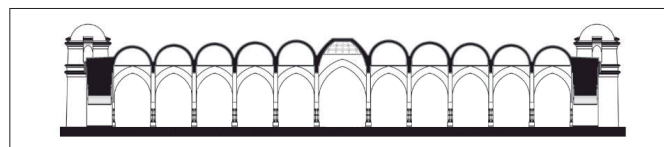
**B06-a / B11-a / B12-f / B14-d / B15-a**

Columnas y otros elementos verticales

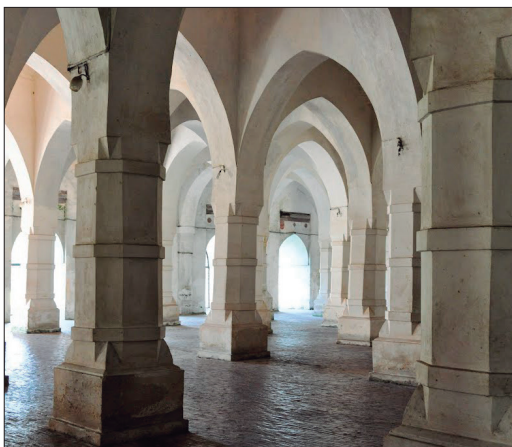
**C03-a / C05-a / C06-c / C11-f / C18-c / C19-a**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D02-a / D03-c / D04-c / D07-c / D11-e / D12-a**



Planta y sección (Elaboración propia)



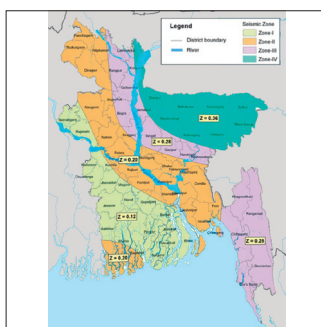
Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

Ficha nº

14



Ubicación



Sismicidad

Nombre del edificio:

**Mezquita de Choto Sona**

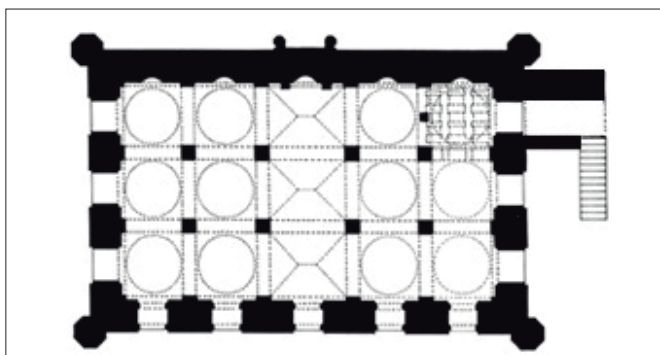
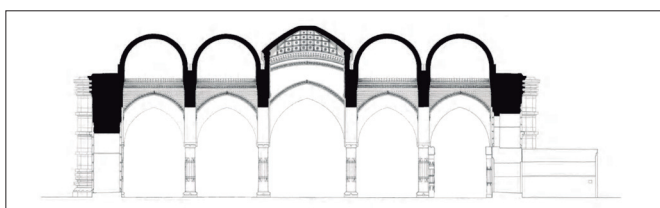
Fecha de construcción:

**S.XV**

Zona geográfica:

**Gaur (Bangladesh)**

Terremotos más importantes:

**1440-1470 / 1664 / 1676 / 1764 / 1765**

Planta y sección (Elaboración propia)

**Sistemas sismorresistentes**

Configuración general de la construcción

**A01-d / A04-d / A07-a / A08-b / A09-c / A10-a  
A11-a / A12-a / A14-a / A16-c / A17-a / A19-a  
A20-b / A21-e / A23-a**

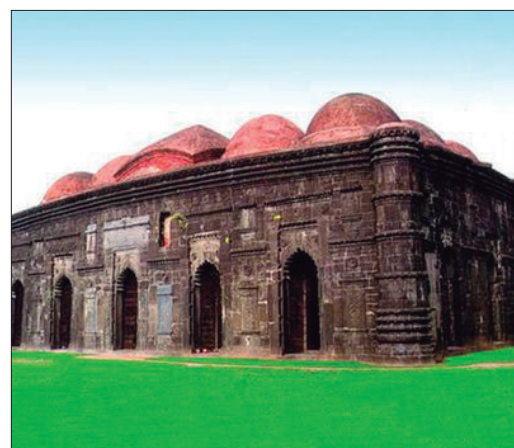
Estructura muraria

**B03-a / B05-a / B06-a / B11-a / B12-f / B14-d  
B15-a / B17-d**

Columnas y otros elementos verticales

**C03-a / C05-a / C06-b / C11-f / C16-e / C18-b**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D02-a / D03-c / D04-c / D06-d / D07-c / D11-a  
D12-a / D17-g**

Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)



Ficha nº

15

Nombre del edificio:

**Mezquita de las nueve cúpulas**

Fecha de construcción:

**S.XV**

Zona geográfica:

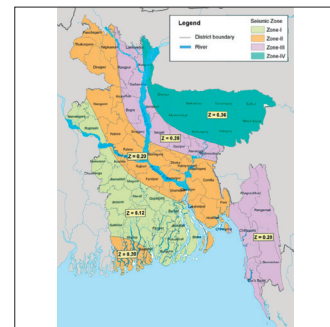
**Bagerhat (Bangladesh)**

Terremotos más importantes:

**1440-1470 / 1664 / 1676 / 1737 / 1762**



Ubicación



Sismicidad

## Sistemas sismorresistentes

Configuración general de la construcción

**A01-d / A04-d / A07-a / A08-b / A09-c / A10-a  
A11-a / A12-a / A14-a / A16-a / A17-a / A19-a  
A20-a / A21-e / A23-a**

Estructura muraria

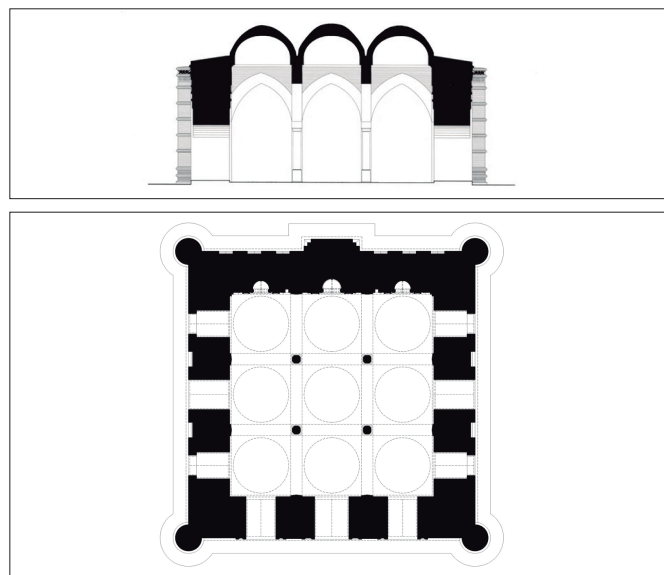
**B06-a / B11-a / B12-f / B14-d / B15-a / B17-d**

Columnas y otros elementos verticales

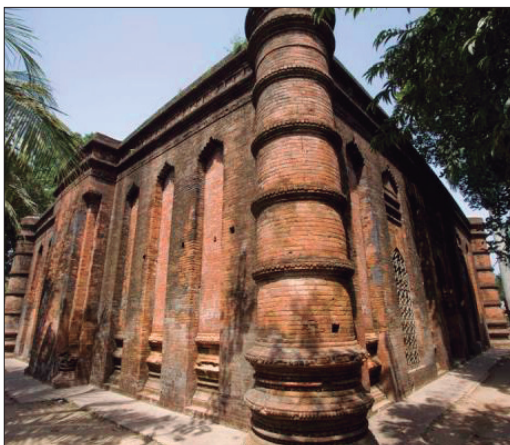
**C03-a / C04-d / C05-a / C06-b / C11-f / C16-e  
C18-c**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D03-c / D04-c / D07-c / D11-a / D12-e / D17-g**



Planta y sección (Elaboración propia)



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

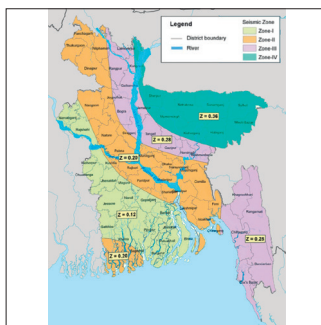


Ficha nº

16



Ubicación



Sismicidad

Nombre del edificio:

**Tumba de Bibi Pari**

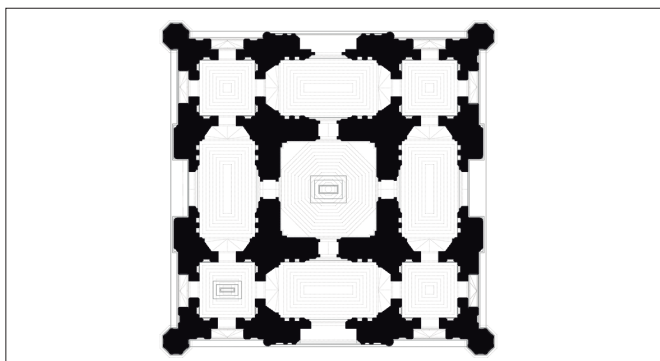
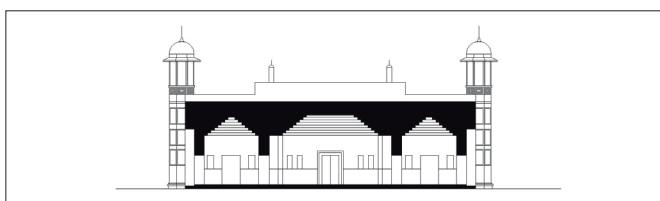
Fecha de construcción:

**S.XVII**

Zona geográfica:

**Dhaka (Bangladesh)**

Terremotos más importantes:

**1440-1470 / 1664 / 1676 / 1762 / 1764**

Planta y sección (Elaboración propia)

**Sistemas sismorresistentes**

Configuración general de la construcción

**A01-d / A06-c / A07-a / A08-b / A10-a / A11-a / A12-a / A14-a / A15-d / A16-c / A18-c / A19-a / A21-e / A23-a**

Estructura muraria

**B03-a / B05-a / B06-a / B10-b / B11-a / B14-d / B15-a / B19-c**

Columnas y otros elementos verticales

**C03-a / C05-a / C06-c / C10-e / C11-f**

Cubiertas y otros elementos horizontales

**D03-c / D07-c**

Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

Ficha nº

**17**

Nombre del edificio:

**Mezquita de Kusumba**

Fecha de construcción:

**S.XVI**

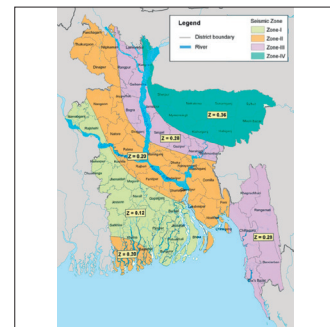
Zona geográfica:

**Naogaon (Bangladesh)**

Terremotos más importantes:

**1440-1470 / 1664 / 1676 / 1764 / 1765**

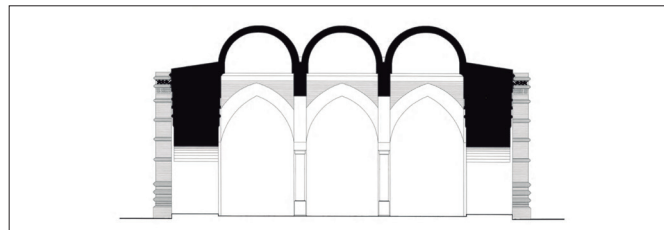
Ubicación



Sismicidad

**Sistemas sismorresistentes**

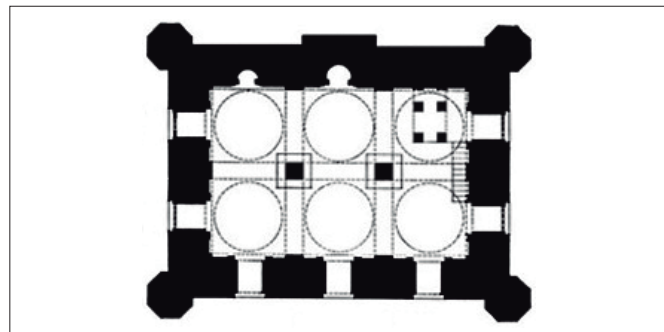
Configuración general de la construcción

**A01-d / A04-d / A07-a / A08-b / A09-c / A10-a  
 A11-a / A12-a / A14-a / A16-a / A17-a / A19-a  
 A20-b / A21-e / A23-a**


Estructura muraria

**B06-a / B10-c / B11-a / B12-f / B14-e / B15-a / B17-d**

Columnas y otros elementos verticales

**C03-c / C05-a / C06-b / C10-d / C11-f / C16-e  
 C18-b**


Cubiertas y otros elementos horizontales

**D02-a / D03-c / D04-c / D06-d / D07-c / D11-a  
 D12-e / D17-g**

Planta y sección (Elaboración propia)



Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

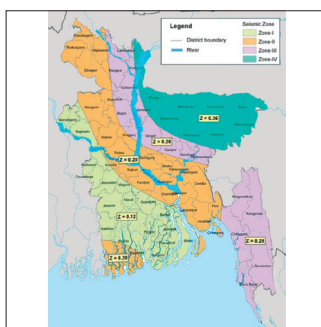


Ficha nº

18



Ubicación



Sismicidad

Nombre del edificio:

**Mezquita de Baba Adam**

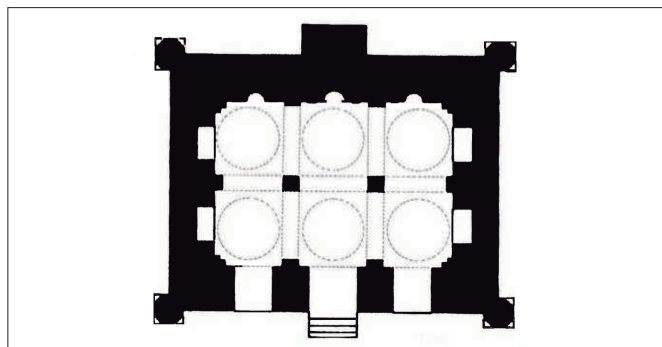
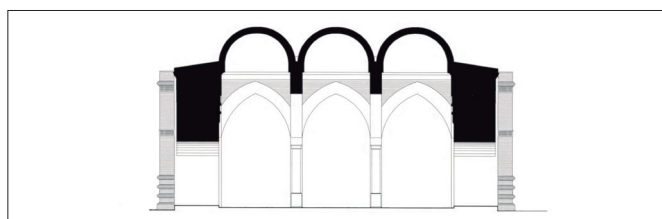
Fecha de construcción:

**S.XV**

Zona geográfica:

**Rampal (Bangladesh)**

Terremotos más importantes:

**1440-1470 / 1664 / 1676 / 1737 / 1762**

Planta y sección (Elaboración propia)

**Sistemas sismorresistentes**

Configuración general de la construcción

**A01-d / A04-d / A07-a / A08-b / A09-c / A10-a  
A11-a / A12-a / A14-a / A16-a / A17-a / A19-a / A20-a  
A21-e / A22-b / A23-a**

Estructura muraria

**B03-a / B06-a / B11-a / B12-f / B14-d / B15-a / B17-d**

Columnas y otros elementos verticales

**C03-a / C04-c / C05-a / C06-b / C11-f / C16-e  
C18-b**

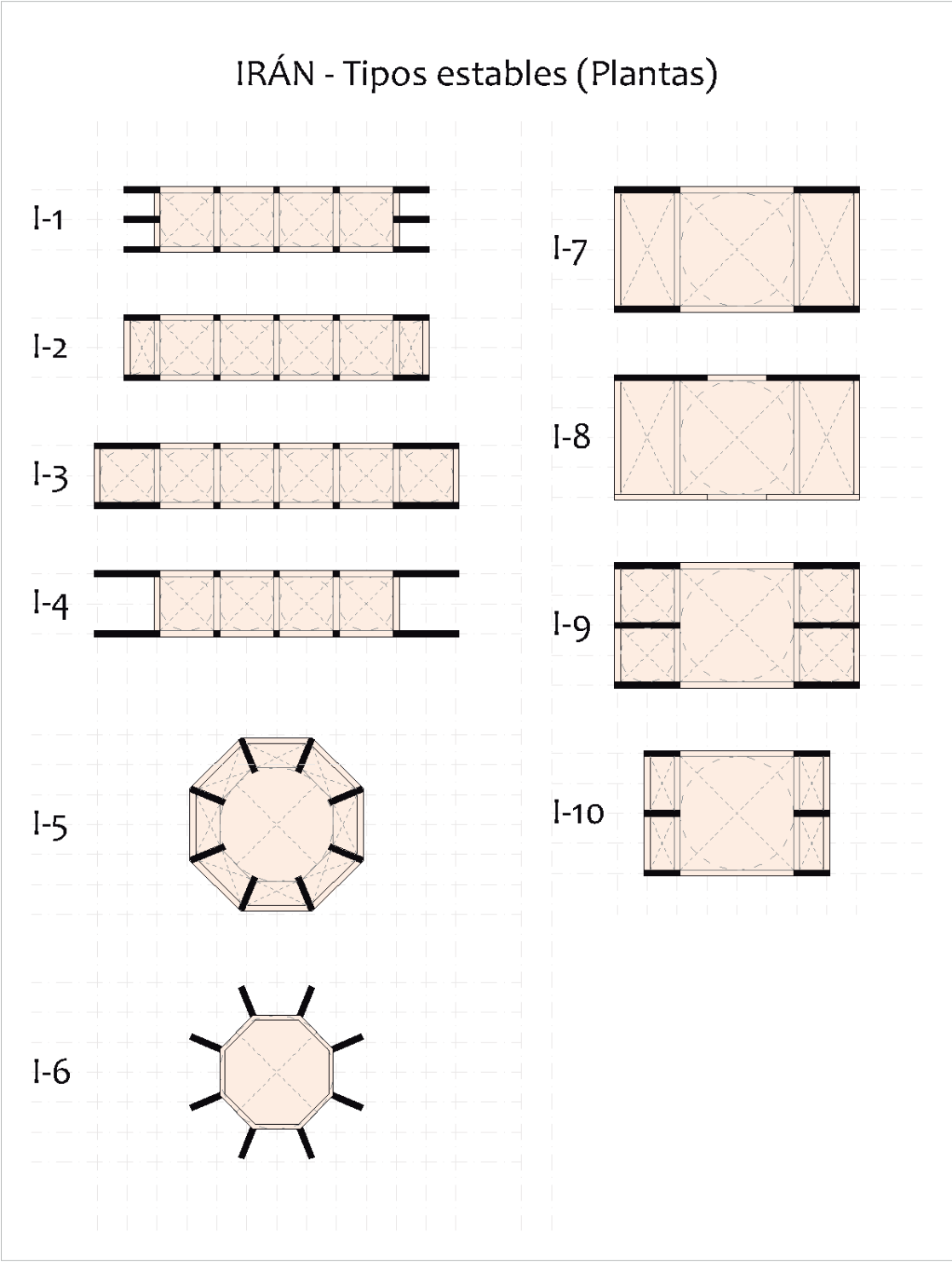
Cubiertas y otros elementos horizontales

**D03-c / D04-c / D07-c / D11-a / D12-e / D17-g**

Imágenes (Figs. de esta página ya referenciadas en texto ppal.)

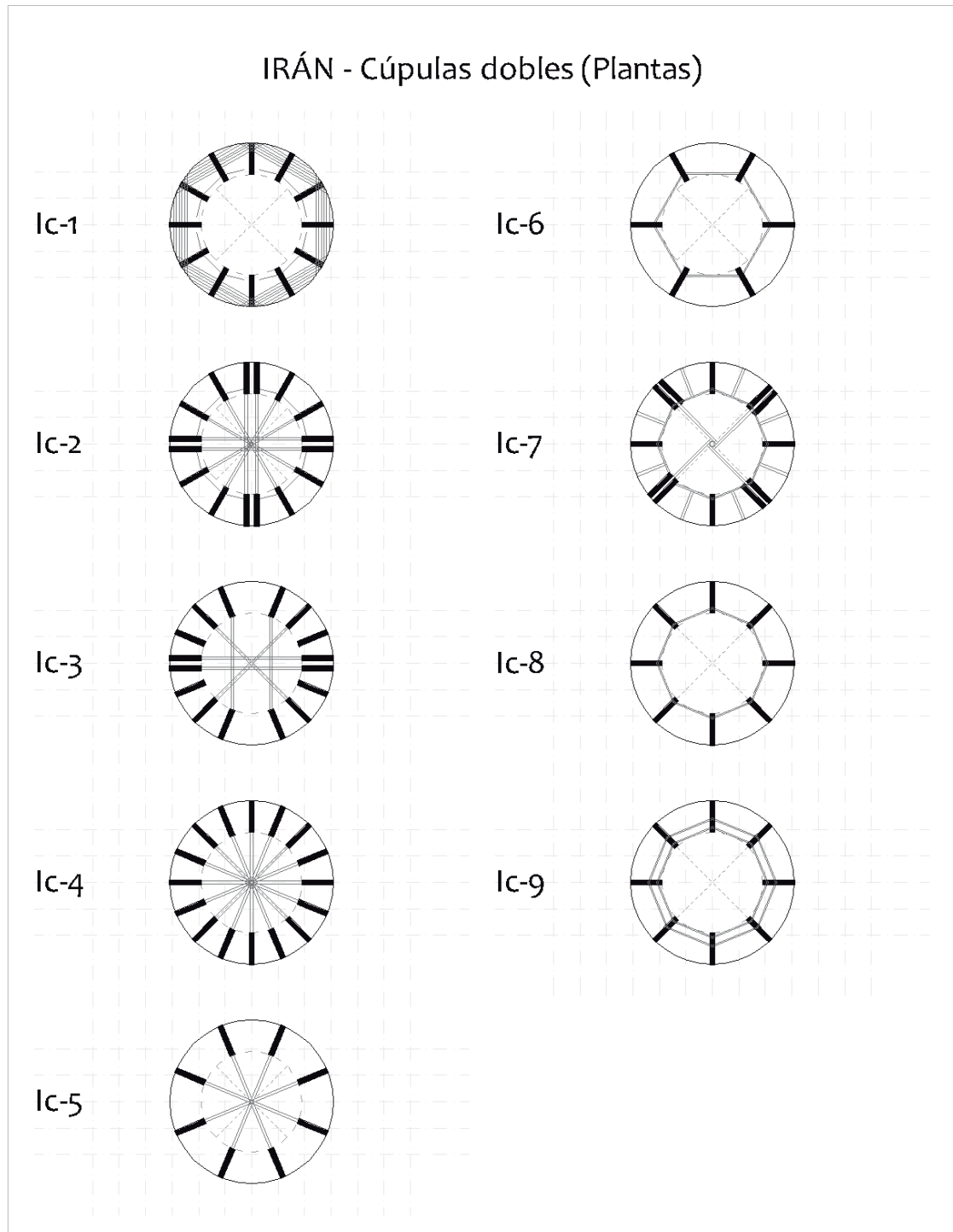


IRÁN - TIPOS ESTABLES (PLANTAS)



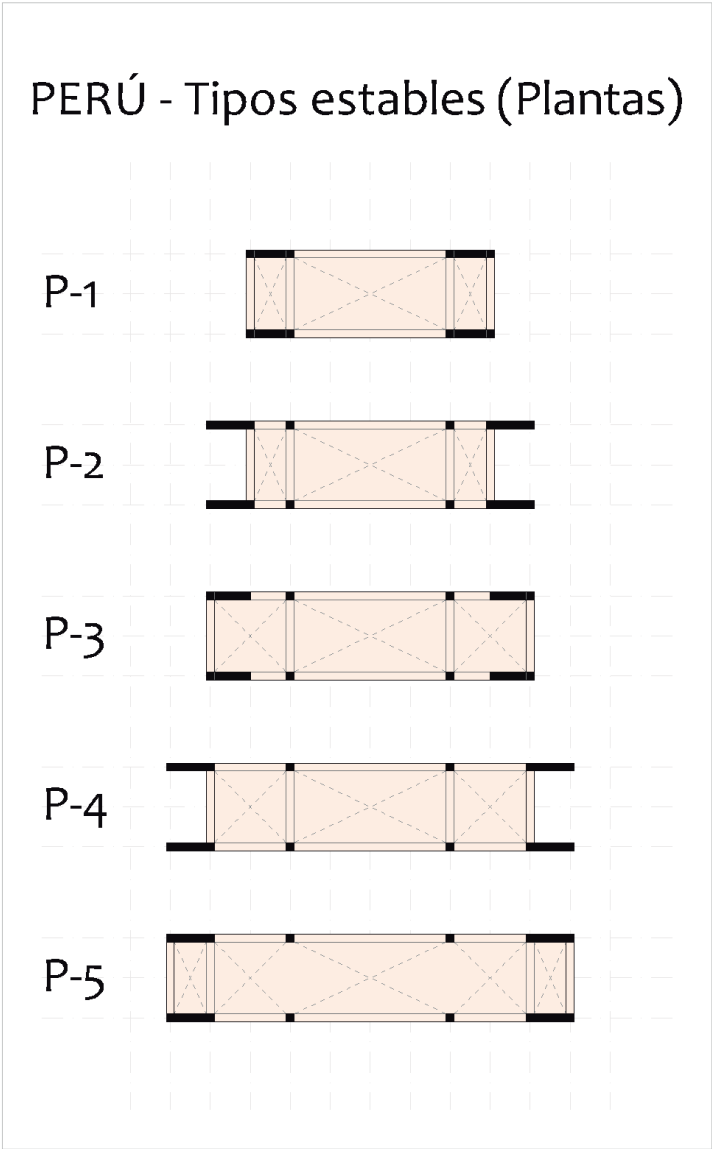
Elaboración propia

IRÁN - CÚPULAS DOBLES (PLANTAS)



Elaboración propia

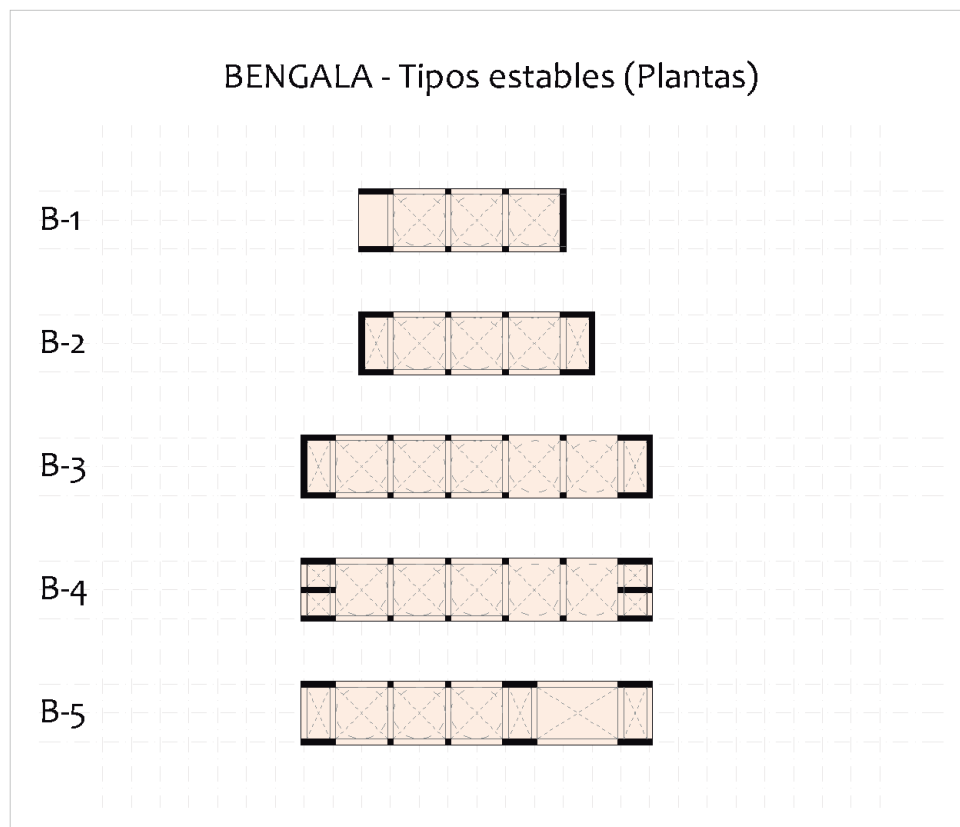
PERÚ - TIPOS ESTABLES (PLANTAS)



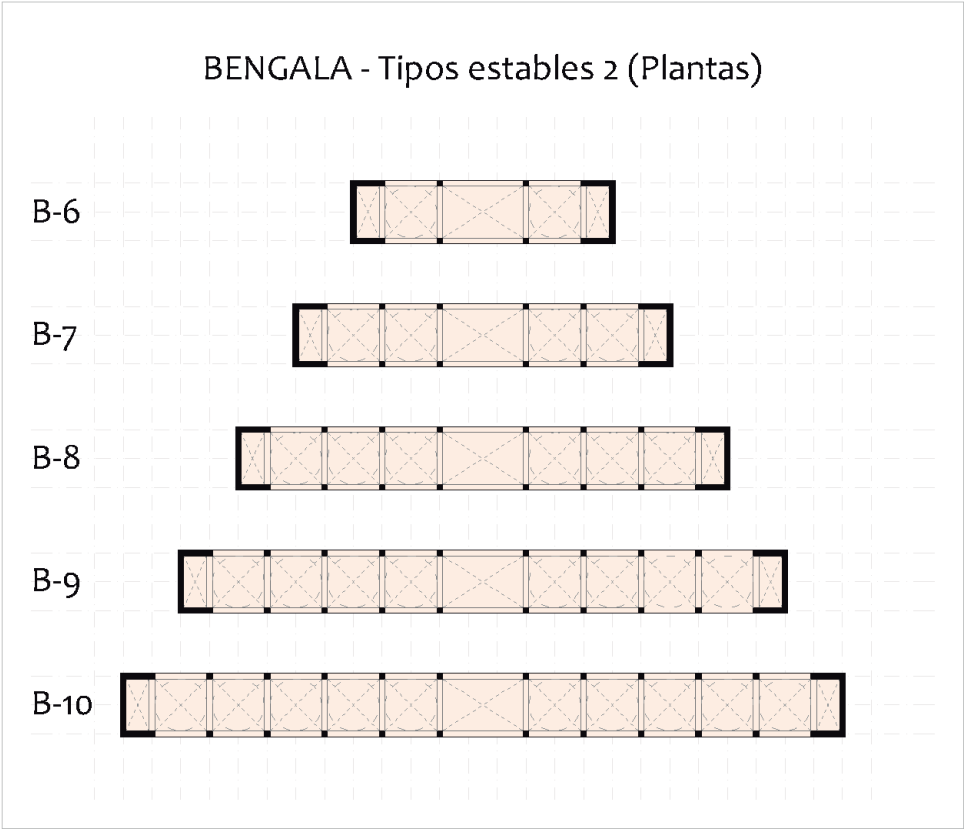
Elaboración propia



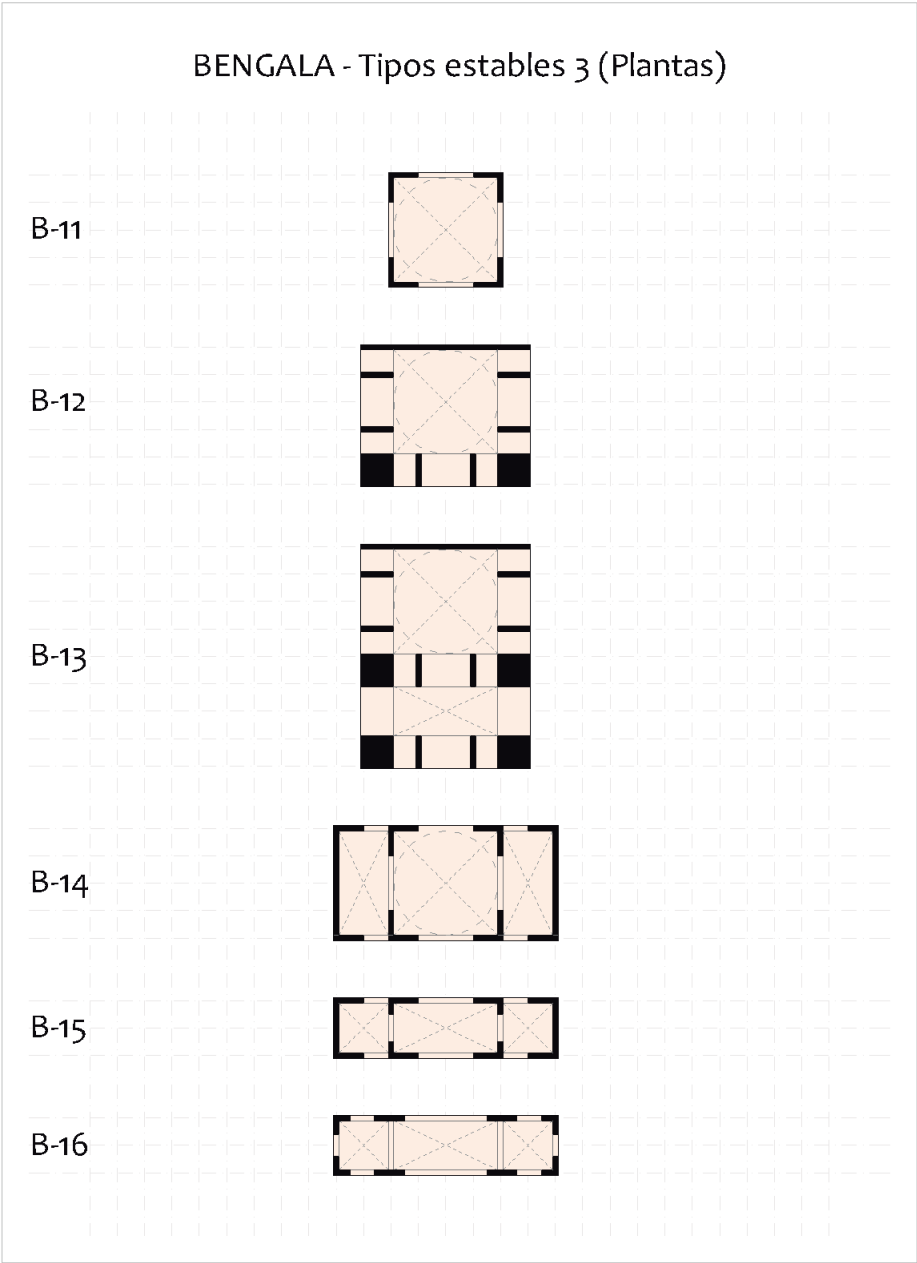
## BENGALA - TIPOS ESTABLES (PLANTAS)



Elaboración propia



Elaboración propia



Elaboración propia



| GRUPOS                                            | TIPOS                     | SUBTIPOS                                                        | Nº variantes<br>identificadas en<br>cada subtipo                          | IRÁN    |         |         |         |         | PERÚ    |         |         |         |         | BENGALA |         |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                                   |                           |                                                                 |                                                                           | Caso 01 | Caso 02 | Caso 03 | Caso 04 | Caso 05 | Caso 06 | Caso 07 | Caso 08 | Caso 09 | Caso 10 | Caso 11 | Caso 12 | Caso 13 | Caso 14 | Caso 15 | Caso 16 | Caso 17 | Caso 18 |
| A- Configuración<br>general de la<br>construcción | Urbano<br>(entorno)       | 01                                                              | Compacidad urbana                                                         | A01-d   | A01-a   | A01-b   | A01-d   | A01-d   | A01-d   | A01-d   | A01-b   | A01-d   | A01-c   | A01-d   | A01-c   | A01-d   | A01-d   | A01-d   | A01-d   | A01-d   |         |
|                                                   |                           | 02                                                              | Anexión externa de edificios adyacentes                                   | A02-a   | A02-a   | -       | -       | -       | -       | -       | A02-a   | -       | A02-a   | -       | A02-a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                                   |                           | 03                                                              | Fragmentación en volumetrías independientes                               | -       | A03-a   | A03-b   | A03-b   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                                   |                           | 04                                                              | Adaptación topográfica, urbana y climática                                | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | A04-c   | -       | -       | -       | -       | -       | A04-d   | A04-d   | -       | A04-d   | A04-d   |
|                                                   |                           | 05                                                              | Agrupación y atado de edificios                                           | -       | A05-a   | A05-a   | A05-a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | A05-a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                                   | Volumétrico<br>(exterior) | 06                                                              | Ortogonalidad exterior                                                    | -       | -       | A06-b   | A06-b   | A06-c   | -       | A06-d   | A06-d   | -       | A06-d   | -       | A06-d   | -       | -       | -       | A06-c   | -       | -       |
|                                                   |                           | 07                                                              | Simetría exterior                                                         | A07-b   | A07-d   | A07-a   | A07-a   | A07-a   | -       | A07-a   | A07-a   | A07-a   | -       | -       | -       | -       | A07-a   | A07-a   | A07-a   | A07-a   | A07-a   |
|                                                   |                           | 08                                                              | Compacidad volumétrica                                                    | -       | -       | -       | -       | A08-b   | A08-a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | A08-b   | A08-b   | A08-b   | A08-b   | A08-b   |
|                                                   |                           | 09                                                              | Reducción de altura del centro de gravedad                                | -       | -       | -       | A09-d   | -       | A09-c   | -       | -       | -       | A09-d   | A09-a   | A09-a   | -       | A09-c   | A09-c   | A09-c   | A09-c   | A09-c   |
|                                                   |                           | 10                                                              | Reducción de elementos prominentes y ornamentales                         | -       | A10-d   | -       | A10-b   | -       | -       | -       | A10-b   | -       | -       | A10-b   | A10-b   | A10-b   | A10-c   | A10-a   | A10-a   | A10-a   | A10-a   |
|                                                   |                           | 11                                                              | Contrafuerzas exteriores                                                  | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | A11-b   | A11-b   | -       | A11-a   | A11-a   | A11-a   | A11-a   | A11-a   |
|                                                   |                           | 12                                                              | Contrapesos superiores                                                    | -       | -       | -       | -       | A12-b   | A12-b   | -       | A12-b   | -       | A12-b   | -       | -       | -       | A12-a   | A12-a   | A12-a   | A12-a   | A12-a   |
|                                                   |                           | 13                                                              | Arcos de descarga                                                         | -       | -       | -       | -       | -       | A13-a   | -       | -       | A13-a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                                   | Espacial<br>(interior)    | 14                                                              | Simetría interior                                                         | A14-a   | A14-c   | A14-a   | A14-a   | A14-b   | A14-a   | A14-d   | A14-d   | -       | A14-d   | A14-d   | A14-d   | -       | A14-a   | A14-a   | A14-a   | A14-a   | A14-a   |
|                                                   |                           | 15                                                              | Centralización de la planta                                               | -       | -       | -       | -       | -       | A15-e   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | A15-d   | -       | -       | -       |
|                                                   |                           | 16                                                              | Modulación interior                                                       | -       | A16-d   | -       | A16-c   | A16-a   | -       | A16-c   | A16-c   | -       | A16-c   | A16-c   | A16-c   | -       | A16-c   | A16-c   | A16-c   | A16-a   | A16-a   |
|                                                   |                           | 17                                                              | Disposición de naves a misma altura                                       | -       | A17-b   | A17-b   | A17-a   | -       | -       | A17-a   | A17-a   | A17-a   | -       | -       | -       | -       | A17-a   | A17-a   | A17-a   | A17-a   | A17-a   |
|                                                   |                           | 18                                                              | Integración de contrafuertes interiores dentro de la volumetría principal | A18-a   | A18-a   | A18-c   | A18-c   | A18-b   | A18-c   | A18-c   | A18-a   | A18-a   | A18-c   | A18-a   | A18-a   | A18-a   | A18-a   | A18-a   | A18-c   | -       | -       |
| Constructivo<br>(general)                         | 19                        | Apertura e integración de huecos, nichos y hornacinas laterales | A19-b                                                                     | -       | A19-b   | A19-b   | A19-b   | A19-b   | A19-a   | A19-a   | -       | A19-a   | -       | -       | -       | A19-a   | A19-a   | A19-a   | A19-a   | A19-a   |         |
|                                                   | 20                        | Continuidad material en los distintos planos                    | A20-a                                                                     | A20-a   | A20-a   | A20-a   | A20-a   | A20-a   | -       | -       | A20-b   | -       | A20-b   | -       | A20-b   | A20-b   | A20-b   | A20-a   | -       | A20-b   | A20-a   |
|                                                   | 21                        | Inclinación de elementos constructivos                          | -                                                                         | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | A21-e   | A21-e   | -       | A21-e   | A21-e   | A21-e   | A21-e   | A21-e   | A21-e   |
|                                                   | 22                        | Reducción del número y la dimensión de huecos                   | -                                                                         | -       | A22-b   | A22-b   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                                   | 23                        | Supresión de elementos no portantes y simplificación ornamental | A23-c                                                                     | A23-d   | A23-b   | A23-b   | A23-c   | A23-b   | A23-b   | A23-b   | A23-b   | -       | A23-c   | A23-c   | A23-c   | A23-a   | A23-a   | A23-a   | A23-a   | A23-a   | A23-a   |

Elaboración propia

| GRUPOS                 | TIPOS                                                                    | SUBTIPOS                                                                  | Nº variantes<br>identificadas en<br>cada subtipo            | IRÁN    |         |         |         |         | PERÚ    |         |         |         |         | BENGALA |         |         |         |         |         |         |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                        |                                                                          |                                                                           |                                                             | Caso 01 | Caso 02 | Caso 03 | Caso 04 | Caso 05 | Caso 06 | Caso 07 | Caso 08 | Caso 09 | Caso 10 | Caso 11 | Caso 12 | Caso 13 | Caso 14 | Caso 15 | Caso 16 | Caso 17 |
| B - Estructura muraria | 01<br>Aislamiento<br>sísmico                                             | 01 Disposición de distintas capas de cimentación bajo los muros           | 9 (a-i)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 02 Sistemas de rodamiento y deslizamiento                                 | 6 (a-f)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 03 Arranque de muros mediante zócalos de mayor resistencia                | 5 (a-e)                                                     | B03-a   | -       | B03-a   | B03-a   | -       | B03-a   | B03-a   | -       | B03-a   | B03-a   | -       | -       | B03-a   | -       | B03-a   | -       | B03-a   |
|                        |                                                                          | 04 Plataformas y basamentos inclinados o en forma de talud                | 6 (a-f)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 05 Utilización de hiladas y piezas de gran tamaño y resistencia           | 8 (a-h)                                                     | -       | -       | B05-a   | B05-a   | -       | B05-a   | B05-a   | -       | B05-a   | B05-a   | -       | -       | B05-a   | -       | B05-a   | -       | -       |
|                        | 02<br>Aligeramiento                                                      | 06 Supresión de paños y otros elementos no portantes                      | 4 (a-d)                                                     | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   | -       | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   | B06-a   |
|                        |                                                                          | 07 Rellenos aligerantes dentro del entramado murario                      | 4 (a-d)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 08 Reemplazo del mortero por conectores puntuales de mayor ligereza       | 5 (a-e)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 09 Utilización de sillares o ladrillos de composición material más ligera | 4 (a-d)                                                     | -       | B09-d   | -       | -       | -       | -       | -       | B09-b   | -       | B09-b   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 10 Distribución gradual de los materiales según su peso                   | 5 (a-e)                                                     | -       | -       | B10-b   | B10-b   | -       | B10-c   | B10-b   | -       | B10-b   | -       | -       | B10-b   | B10-c   | -       | B10-b   | B10-c   | -       |
|                        |                                                                          | 11 Reducción de decoración no estructural                                 | 6 (a-f)                                                     | B11-d   | B11-f   | B11-c   | B11-c   | B11-d   | B11-c   | B11-c   | B11-c   | B11-c   | B11-d   | B11-d   | B11-a   | B11-a   | B11-a   | B11-a   | B11-a   | B11-a   |
|                        | 03<br>Atado y unión<br>de elementos                                      | 12 Entramados de enjutas                                                  | 6 (a-f)                                                     | -       | B12-e   | B12-e   | B12-e   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | B12-f   | B12-f   | -       | B12-f   | B12-f   | -       |
|                        |                                                                          | 13 Refuerzos y armados integrados dentro del entramado murario            | 8 (a-h)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 14 Refuerzos de esquinas y huecos a través de sus propias fábricas        | 7 (a-g)                                                     | -       | B14-g   | -       | -       | -       | -       | -       | B14-d   | B14-d   | -       | -       | B14-d   | B14-d   | B14-d   | B14-d   | B14-e   | B14-d   |
|                        |                                                                          | 15 Refuerzos exteriores, contrafuertes y arcos de descarga                | 11 (a-h)                                                    | -       | -       | B15-e   | B15-e   | -       | -       | -       | -       | B15-c   | B15-c   | -       | B15-a   | B15-a   | B15-a   | B15-a   | B15-a   | B15-a   |
|                        |                                                                          | 16 Conectores entre sillares y ladrillos                                  | 6 (a-f)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 17 Incorporación de tirantes y codales                                    | 4 (a-d)                                                     | B17-c   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | B17-d   | B17-d   | -       | B17-d   |
|                        |                                                                          | 18 Traba y maclado de las fábricas                                        | 7 (a-g)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 19 Arriostramiento de los muros y sus arranques y cimentaciones           | 6 (a-f)                                                     | B19-c   | -       | -       | B19-c   | B19-c   | -       | B19-c   | B19-c   | B19-c   | B19-c   | B19-c   | B19-c   | B19-c   | -       | -       | B19-c   | -       |
|                        |                                                                          | 20 Tratamiento singular de las juntas                                     | 9 (a-i)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        |                                                                          | 04<br>Elasticidad y<br>ductilidad                                         | 21 Incorporación de elementos puntuales de mayor ductilidad | 8 (a-h) | B21-h   | B21-g   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        | 22 Integración de elementos lineales de mayor ductilidad                 |                                                                           | 6 (a-f)                                                     | B22-f   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | B22-a   | -       | B22-a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                        | 23 Composición material de mayor ductilidad del propio ladrillo o sillar |                                                                           | 7 (a-g)                                                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | B23-a   | -       | B23-a   | -       | B23-a   | -       | -       | -       | -       |

| GRUPOS                                   | TIPOS                            | SUBTIPOS | Nº variantes por cada subtipo (código alfabético)                           | IRÁN    |         |         |         |         |         | PERÚ    |         |         |         |         |         | BENGALA |         |         |         |         |         |
|------------------------------------------|----------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                                          |                                  |          |                                                                             | Caso 01 | Caso 02 | Caso 03 | Caso 04 | Caso 05 | Caso 06 | Caso 07 | Caso 08 | Caso 09 | Caso 10 | Caso 11 | Caso 12 | Caso 13 | Caso 14 | Caso 15 | Caso 16 | Caso 17 | Caso 18 |
| C- Columnas y otros elementos verticales | 01<br>Aislamiento sísmico        | 01       | Disposición de distintas capas de cimentación bajo los elementos verticales | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 02       | Sistemas de rodamiento y deslizamiento                                      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 03       | Arranque de elementos verticales mediante materiales de mayor resistencia   | C03-a   | -       | C03-a   | C03-a   | -       | -       | C03-a   | C03-c   | -       | -       | C03-a   | -       | C03-a   | C03-a   | C03-a   | C03-a   | C03-c   | C03-a   |
|                                          |                                  | 04       | Basamentos inclinados y grandes plataformas de arranque                     | -       | -       | C04-c   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | C04-c   |
|                                          |                                  | 05       | Utilización de piezas de gran tamaño y resistencia                          | -       | -       | C05-c   | C05-c   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | C05-c   | -       | C05-a   | C05-a   | C05-a   | C05-a   | C05-a   | C05-a   |
|                                          | 02<br>Aligeramiento              | 06       | Reducción de esbeltez y altura del centro de gravedad                       | -       | -       | -       | C06-b   | -       | -       | -       | C06-e   | -       | -       | -       | C06-e   | C06-c   | C06-b   | C06-b   | C06-c   | C06-b   | C06-b   |
|                                          |                                  | 07       | Rellenos aligerantes dentro del núcleo de los elementos verticales          | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 08       | Reemplazo del mortero por conectores puntuales de mayor ligereza            | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 09       | Utilización de sillares o ladrillos de composición material más ligera      | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 10       | Distribución gradual de los materiales según su peso                        | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 11       | Reducción de decoración no estructural                                      | C11-a   | C11-a   | C11-d   | C11-d   | C11-d   | C11-a   | C11-a   | C11-a   | -       | C11-a   | C11-a   | C11-a   | C11-f   | C11-f   | C11-f   | C11-f   | C11-f   | C11-f   |
|                                          | 03<br>Atado y unión de elementos | 12       | Refuerzos integrados en columnas y otros elementos verticales               | -       | -       | C12-d   | -       | C12-a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 13       | Refuerzos de esquinas y huecos a través de sus propias fábricas             | C14-c   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | C13-c   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 14       | Refuerzos exteriores, contrafuertes y arcos de descarga                     | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 15       | Conectores entre sillares y ladrillos                                       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 16       | Incorporación de tirantes                                                   | C16-d   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | C16-e   | C16-e   | C16-e   | C16-e   | C16-e   | C16-e   |
|                                          |                                  | 17       | Traba y maclado de las fábricas                                             | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          | 04<br>Elasticidad y ductilidad   | 18       | Arriostamiento de los elementos verticales y sus arranques y cimentaciones  | C18-c   | -       | -       | C18-c   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | C18-c   | C18-b   | C18-c   | -       | C18-b   | C18-b   |
|                                          |                                  | 19       | Núcleo central rigidizador dentro de los elementos verticales               | -       | -       | -       | -       | C19-a   | C19-a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | C19-a   | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 20       | Tratamiento singular de las juntas                                          | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 21       | Incorporación de elementos puntuales de mayor ductilidad                    | C21-h   | C21-g   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 22       | Integración de elementos lineales de mayor ductilidad                       | C22-c   | -       | -       | -       | C22-c   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |
|                                          |                                  | 23       | Composición material de mayor ductilidad del propio ladrillo o sillar       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | C23-a   | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       | -       |

| GRUPOS                                                   |    | TIPOS               |                            | SUBTIPOS                                                              |                                                                        | Nº variantes identificadas en cada subtipo | IRÁN  |       |       |       |       | PERÚ  |       |       |       |       | BENGALA |       |       |       |       |       |       |       |   |
|----------------------------------------------------------|----|---------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|
| D - Cubiertas (bóvedas, cúpulas y otros elem. cubrición) | 01 | Aislamiento sísmico | 01                         | Sistemas de deslizamiento en su encuentro con la estructura muraria   | 6 (a-f)                                                                | -                                          | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     |       |       |       |   |
|                                                          |    |                     | 02                         | Arranque de cubiertas mediante materiales de mayor resistencia        | 5 (a-e)                                                                | -                                          | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     |       |   |
|                                                          |    | 02                  | Aligeramiento              | 03                                                                    | Reducción de esbeltez y altura del centro de gravedad                  | 4 (a-d)                                    | -     | D03-a | D03-c | D03-c | -     | D03-c | -     | D03-c | D03-b | D03-b | D03-c   | D03-c | D03-c | D03-c | D03-c | D03-c | D03-c |       |   |
|                                                          |    |                     |                            | 04                                                                    | Rellenos aligerantes dentro de las cubiertas                           | 4 (a-d)                                    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |   |
|                                                          |    |                     |                            | 05                                                                    | Utilización de sillares o ladrillos de composición material más ligera | 4 (a-d)                                    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | D05-b | -     | D05-b | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |   |
|                                                          |    |                     |                            | 06                                                                    | Distribución gradual de los materiales según su peso                   | 4 (a-d)                                    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |   |
|                                                          |    |                     |                            | 07                                                                    | Reducción de decoración no estructural                                 | 6 (a-f)                                    | D07-d | D07-f | D07-c | D07-c | D07-d | D07-c | D07-c | D07-a | D07-d | D07-d | D07-c   | D07-c | D07-c | D07-c | D07-c | D07-c | D07-c | D07-c |   |
|                                                          |    |                     |                            | 08                                                                    | Vaciado interior y disminución de los espesores de cubrición           | 7 (a-g)                                    | D08-a | -     | D08-a | D08-a | -     | D08-c | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | - |
|                                                          |    | 03                  | Atado y unión de elementos | 09                                                                    | Refuerzos y armados integrados en las propias cubiertas                | 8 (a-h)                                    | D09-a | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |   |
|                                                          |    |                     |                            | 10                                                                    | Arriostramiento interno mediante arcos, costillas y nervios            | 8 (a-h)                                    | -     | -     | -     | D10-c | D10-b | D10-b | D10-b | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | - |
|                                                          |    |                     |                            | 11                                                                    | Arriostramiento de las bóvedas y cúpulas y sus arranques               | 6 (a-f)                                    | -     | D11-f | D11-f | D11-f | D11-f | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | D11-e | D11-a | D11-a | -     | D11-a | D11-a |   |
|                                                          |    |                     |                            | 12                                                                    | Traba y maclado de las fábricas                                        | 6 (a-f)                                    | -     | D12-a | -     | D12-a | -     | D12-a | -     | -     | -     | -     | -       | -     | D12-a | D12-a | D12-e | -     | D12-e | D12-e |   |
|                                                          |    |                     |                            | 13                                                                    | Conectores entre sillares y ladrillos                                  | 6 (a-f)                                    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | - |
|                                                          |    |                     |                            | 14                                                                    | Disposición de capas dobles o triples de cubrición                     | 7 (a-g)                                    | D14-d | -     | D14-d | D14-d | -     | D14-f | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | - |
|                                                          |    | 04                  | Elasticidad y ductilidad   | 15                                                                    | Núcleo central rigidizador entre las distintas capas de cubrición      | 6 (a-f)                                    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |   |
|                                                          |    |                     |                            | 16                                                                    | Conectores de refuerzo y arriostramiento entre distintas capas         | 8 (a-h)                                    | D16-d | -     | D16-f | D16-d | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | - |
|                                                          |    |                     |                            | 17                                                                    | Incorporación de triantes                                              | 10 (a-i)                                   | D17-b | -     | D17-a | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | D17-g | D17-g | -     | D17-g | D17-g | - |
|                                                          |    | 04                  |                            | 18                                                                    | Tratamiento singular de las juntas                                     | 9 (a-i)                                    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |   |
|                                                          | 19 |                     |                            | Incorporación de elementos puntuales de mayor ductilidad              | 6 (a-f)                                                                | D19-f                                      | D19-f | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |   |
|                                                          | 20 |                     |                            | Integración de elementos lineales de mayor ductilidad                 | 5 (a-e)                                                                | D20-d                                      | -     | D20-e | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |   |
|                                                          | 21 |                     |                            | Composición material de mayor ductilidad del propio ladrillo o sillar | 6 (a-f)                                                                | -                                          | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | D21-a | -     | D21-a | -       | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | - |





## 6.5 Actualidad y vigencia de los sistemas y principios antisísmicos

## 5.5 ACTUALIDAD Y VIGENCIA DE LOS SISTEMAS Y PRINCIPIOS ANTISÍSMICOS

### 5.5.1 SISMOS CONTEMPORÁNEOS Y CONCIENCIA SÍSMICA

Durante los últimos siglos, los terremotos se han revelado como uno de los fenómenos destructivos más devastadores, tanto en términos de vidas humanas como de daños ocasionados sobre el patrimonio histórico mundial situado en zonas de gran riesgo sísmico. Es el caso de terremotos contemporáneos como los acaecidos en Ecuador en 1906, en el Tíbet en 1950, en Chile en 1960 y 2010, en Sumatra en 2004, en Indonesia en 2005, o recientemente, en Japón en 2011 y en Nepal en 2015.

Muchas de estas catástrofes provocaron miles de muertes y cuantiosos daños materiales, entre los que se incluyeron desastres patrimoniales que han producido graves pérdidas culturales en aquellas regiones más expuestas a los terremotos.

En el caso de las tres áreas principales de estudio referidas en esta investigación, se aprecia una actividad sísmica de gran relevancia y recurrencia en las últimas décadas (Fig.A.50), con multitud de terremotos de magnitud superior a 6, y un balance de daños y muertes de varios miles de fallecidos y gran cantidad de colapsos de edificios residenciales y patrimoniales, a pesar de los grandes avances producidos en los últimos años en lo que respecta al desarrollo de la sismología.

| SISMOS CONTEMPORÁNEOS EN IRÁN, PERÚ Y BENGALA |                      |            |          |      |                 |
|-----------------------------------------------|----------------------|------------|----------|------|-----------------|
|                                               | ZONA                 | FECHA      | MAGNITUD | MMI  | MUERTES         |
| <b>IRÁN</b>                                   | Lorestan             | 1909-01-23 | 7,3      | IX   | 6.000 - 8.000   |
|                                               | Khorasan-e Razavi    | 1929-05-01 | 7,2      | IX   | 3.257 - 3.800   |
|                                               | West Azerbaijan      | 1930-05-06 | 7,1      | IX   | 1.360 - 3.000   |
|                                               | South Khorasan       | 1947-08-05 | 7,3      | -    | 500             |
|                                               | Qazvin               | 1962-09-01 | 7,1      | IX   | 12.225          |
|                                               | South Khorasan       | 1968-08-31 | 7,4      | X    | 15.000          |
|                                               | South Khorasan       | 1978-09-16 | 7,4      | IX   | 15.000 - 25.000 |
|                                               | Gilan                | 1990-06-20 | 7,4      | X    | 35 - 50         |
|                                               | South Khorasan       | 1997-05-10 | 7,3      | X    | 1.567           |
|                                               | Kerman               | 2003-12-22 | 6,6      | IX   | 26.271 - 43.200 |
|                                               | Sistan y Baluchestan | 2013-04-13 | 7,7      | VII  | 35              |
|                                               | Kermanshah           | 2017-11-12 | 7,3      | VIII | 630             |
| <b>PERÚ</b>                                   | Caravelí             | 1913-08-06 | 7,7      | X    | -               |
|                                               | Lima y Callao        | 1940-05-24 | 8,2      | VIII | 1.000           |
|                                               | Nasca                | 1942-08-24 | 8,4      | IX   | 33              |
|                                               | Centro del Perú      | 1947-11-01 | 7,7      | -    | 2.233           |
|                                               | Norte del Perú       | 1953-12-12 | 7,8      | -    | 48              |
|                                               | Lima y Callao        | 1966-10-17 | 8,2      | -    | 220             |
|                                               | Norte del Perú       | 1970-05-31 | 7,9      | -    | 100.000         |
|                                               | Lima e Ica           | 1974-10-03 | 8,1      | -    | 252             |
|                                               | Sur del Perú         | 2001-06-23 | 8,4      | -    | 240             |
|                                               | Pisco e Ica          | 2007-08-15 | 8,0      | -    | 595             |
|                                               | Sur del Perú         | 2014-04-01 | 8,2      | -    | -               |
|                                               | Noreste Perú         | 2019-05-26 | 8,0      | -    | 2               |
| <b>BENGALA</b>                                | Kishorganj (BA)      | 1918-07-08 | 7,6      | -    | 9               |
|                                               | Mymensingh (BA)      | 1923-09-09 | 7,1      | -    | 50              |
|                                               | Assam (IN)           | 1930-07-02 | 7,1      | -    | 1               |
|                                               | Bangladesh           | 1930-09-02 | 7,1      | -    | -               |
|                                               | Norte de Bangladesh  | 1932-03-24 | 7,4      | -    | -               |
|                                               | Bangladesh           | 1932-03-27 | 7,4      | -    | -               |
|                                               | Bangladesh           | 1933-03-06 | 7,6      | -    | -               |
|                                               | Pabna (BA)           | 1935-03-21 | 6,3      | -    | -               |
|                                               | Sylhet (BA)          | 1997-05-08 | 6,0      | -    | -               |
|                                               | Mizoram (IN)         | 1997-11-21 | 6,1      | -    | 23              |
|                                               | Borkal (BA)          | 2003-07-26 | 5,7      | -    | 3               |
|                                               | Manipur (IN)         | 2016-01-03 | 6,7      | -    | -               |

Fig. A.50 Sismos contemporáneos (Autor)

Si comparamos estos datos con la sismicidad registrada en España (Fig.A.51), con una presencia de terremotos mucho menor, pero con una exposición de cierta recurrencia en toda la zona del arco mediterráneo, se puede observar una disminución de las muertes registradas en ellos como consecuencia de una intensidad considerablemente menor y una periodicidad más amplia.

Sin embargo, los daños experimentados en las edificaciones y el patrimonio histórico han llegado a ser considerables a pesar de la baja intensidad de los terremotos más habituales acaecidos en España, con valores en la escala de Mercalli por encima de VII en muchos casos, lo cual da una idea del alcance de los daños y los efectos provocados por estos episodios sísmicos de impacto medio o bajo, tal y como sucedió con el reciente terremoto de Lorca, en Murcia, en el año 2011. Con una intensidad de 5,1 Mw (magnitud de momento), relativamente baja si la comparamos con otras regiones del planeta donde se alcanzan efectos destructivos similares con magnitudes mucho mayores, este seísmo desencadenó una serie de daños de consideración en las edificaciones de toda la zona, con derrumbes, agrietamientos, caídas de cornisas y también una serie de daños de gran gravedad sobre edificios de interés histórico y cultural localizados en esta región del sureste de España.

| SISMOS CONTEMPORÁNEOS CON AFECTACIÓN EN ESPAÑA |            |          |        |         |
|------------------------------------------------|------------|----------|--------|---------|
| ZONA                                           | FECHA      | MAGNITUD | MMI    | MUERTES |
| Dúrcal, Granada                                | 1922-07-27 | -        | VII    | -       |
| Dúrcal, Granada                                | 1954-03-29 | 7,8      | V      | -       |
| La Zubia, Granada                              | 1955-06-04 | 5,1      | VII    | -       |
| Albolote, Granada                              | 1956-04-19 | 5,1      | VIII   | 11      |
| Galera, Granada                                | 1964-06-09 | 4,8      | VII    | -       |
| Cabo de San Vicente                            | 1969-02-28 | 7,8      | VII    | 7       |
| Partaloa, Almería                              | 1972-03-17 | -        | -      | -       |
| Granada                                        | 1979-07-31 | 5,5      | -      | -       |
| Tenerife                                       | 1989-05-09 | 5,3      | III    | 0       |
| Berja, Almería                                 | 1993-12-23 | 5,0      | VI-VII | 0       |
| Lugo                                           | 1997-05-22 | 5,3      | VI     | -       |
| La puebla de Mula, Murcia                      | 1999-02-02 | 5,2      | VI     | 0       |
| Bourmedas, Argelia                             | 2003-05-21 | 6,6      | IX-X   | 0       |
| Alhucemas, Marruecos                           | 2004-02-24 | 6,3      | IX-X   | 0       |
| La Paca, Murcia                                | 2005-01-29 | 4,6      | VII    | 0       |
| Isla Cristina, Huelva                          | 2009-12-17 | 6,3      | -      | 0       |
| Albuñuelas, Granada                            | 2010-04-11 | 6,3      | -      | 0       |
| Lorca, Murcia                                  | 2011-05-11 | 5,1      | VII    | 9       |
| Mar de Alborán                                 | 2016-01-25 | 6,3      | VI     | 1       |

Fig. A.51 Sismos España (Autor)

En el transcurso de un seísmo, la fortaleza de un edificio para soportar las potentes sacudidas de un sismo depende no sólo de la calidad constructiva y la implementación de distintas medidas sismorresistentes, sino también de las diferentes reparaciones e intervenciones realizadas con posterioridad en las tareas de restauración de las edificaciones afectadas por estos daños.

A este respecto, la conciencia sísmica y esta transmisión de conocimiento de generación en generación adquieren una gran relevancia de cara a facilitar, promover y desarrollar una correcta prevención y mantenimiento de las construcciones más vulnerables, situadas en territorios en los que la realidad que imponen los terremotos ha estado y siempre estará presente. Desde el punto de vista del patrimonio histórico de fábrica esta conciencia sísmica podría resumirse en dos puntos principales:



- Identificación y el conocimiento de las distintas técnicas tradicionales con comportamiento sismorresistente.
- Aplicación de los principios extraídos de este conocimiento para llevar a la práctica estos fundamentos sismorresistentes al proceso de edificación y conservación del patrimonio.

En este sentido, es común observar con los sucesivos terremotos cómo la mayoría de daños causados sobre el patrimonio histórico han venido provocados no sólo por el insuficiente conocimiento sismorresistente de los sistemas constructivos existentes, sino también debido al escaso reflejo de los mismos en la normativa antisísmica, centrada más en cuestiones y construcciones "contemporáneas" que en intentar respetar, reparar y potenciar estos sistemas.

Señalados en muchas ocasiones como soluciones obsoletas, costosas o incluso ineficaces, las técnicas tradicionales desarrolladas para hacer frente a los terremotos se han ido perdiendo u olvidando con el paso de los siglos, a pesar de albergar un conocimiento sismorresistente de gran valor que ha ido asimilando distintas características y singularidades locales en ellos.

Con el paso de los siglos, la adaptación de cada una de las soluciones identificadas en esta investigación respondió a las condiciones propias de cada región, evolucionando con el paso de los siglos y mejorando a base de prueba y error.

El comportamiento estructural actual de cada una de estas medidas recoge por tanto toda esa conciencia sismorresistente frente a la amenaza global y recurrente que suponen los terremotos, pero desde una óptica a nivel local que alberga además una sabiduría en forma de adaptaciones que parten de criterios y cuestiones autóctonas de gran valor. Este hecho queda especialmente patente en el caso de las fábricas de adobe, cuya propia naturaleza demanda cierto mantenimiento y conservación desde su puesta en obra y puede llegar a desencadenar en cambios y adaptaciones constantes con el paso de las décadas. Este proceso evolutivo necesariamente debió servir para recoger en algunos casos la experiencia vivida en alguno de los episodios sísmicos que podían afectar a las estructuras localizadas en las regiones con mayor actividad telúrica.

Análogamente, aunque de manera contrapuesta, esta necesaria adaptación periódica sufrió también los perjuicios derivados de una interrupción en estas tareas durante años, décadas o incluso siglos, interrumpiendo esta conciencia sísmica en algunos de los edificios que podían llegar a acumular mayor cantidad de daños derivados de los temblores sísmicos.

Como consecuencia del olvido y abandono de estas técnicas vernáculas, muchas de las regulaciones y normas sismorresistentes actuales minusvaloran en cierto modo estos sistemas tradicionales, sin ni siquiera abordarlos o suplirlos de una manera efectiva en las normativas más recientes, orientadas mayoritariamente a dar respuesta a esta realidad imperante desde el punto de vista de las nuevas construcciones desarrolladas en las zonas de gran sismicidad.



Fig. A.52 Mezquita de Golcuk, Turquía (The New York Times)

Sin embargo, la obstinación destructiva de este tipo de fenómenos naturales acaba imponiéndose en la mayoría de los casos a las condiciones constructiva de todas aquellas estructuras sin un desempeño sismorresistente realmente efectivo. Para ilustrar esta triste realidad, la mezquita de Golcuk (Turquía) podría suponer un buen ejemplo, erigiéndose como el paradigma entre la cultura sísmica antigua y la actual. Resistiendo al paisaje desolador que ocasionó el terremoto de 1999 en esta ciudad al este de Estambul, con más de 6.000 fallecidos, esta mezquita de Golcuk se mantuvo en pie gracias al efectivo comportamiento sismorresistente de su esqueleto estructural, en contraste con el entorno más próximo a su alrededor, donde el colapso de edificios fue prácticamente generalizado (Fig.A.52).

Una vez transcurrido el terremoto, y después de identificar y contrastar los casos de éxito en comparación con el estado de ruina generalizado de las construcciones afectadas por las mismas sacudidas, no deja de ser sorprendente reconocer el sobresaliente rendimiento estructural de esta mezquita en comparación con las construcciones más recientes que la rodeaban. Las características estructurales de esta construcción presentan un comportamiento sismorresistente manifiestamente efectivo gracias a la utilización de geometrías compactas y rectangulares en todo el conjunto, así como una retícula ortogonal interior, revelada a partir de la disposición de cúpulas circulares exteriores, que proporciona un comportamiento estructural en forma de caja arriostrada para todo el conjunto, gracias a la definición de los módulos interiores que permiten cierto desplazamiento sin llegar al colapso.

Este tipo de circunstancias deberían ser motivo de reflexión para hacer despertar y recuperar la antigua y excelente conciencia sísmica que se esconde en cada edificio histórico de fábrica, cuya estabilidad hasta nuestros días supone la mejor de las garantías a la hora de tomar ejemplo del patrimonio que se conserva en las zonas de mayor actividad tectónica.

En lo que se refiere a la exposición sísmica de las construcciones más vulnerables, es importante destacar la relevancia de recuperar esta conciencia sísmica en los grandes núcleos de población, donde los efectos destructivos vinculados a la

acción de un terremoto puede llegar a provocar daños mucho más devastadores que en áreas rurales de menor densidad poblacional (Fig.A.53).

En el año 1950, el mundo albergaba siete ciudades con poblaciones superiores a cinco millones de personas. Hoy en día, la cantidad de núcleos urbanos que rebasan esa población supera la cifra de cincuenta grandes urbes, mientras que la naturaleza inexorable y la condición cambiante e impredecible que suponen los terremotos no deja de variar<sup>1</sup>.

En este sentido, y tal y como señalan algunos autores (Bertero 1992)<sup>2</sup>, uno de los factores que influyen en el agravamiento de los efectos destructivos de cualquier episodio sísmico está muy ligado al grado de preparación de la sociedad contra el sismo, aspecto en el que se incluye también el nivel de conciencia sísmica adquirido por la población en lo que respecta a la edificación y a la protección de su patrimonio histórico más importante.

Por todo ello, resulta urgente mantener viva la memoria sísmica presente en la arquitectura vernácula y tradicional desarrollada en las distintas regiones con gran exposición a los terremotos, no sólo conservando los sistemas sismorresistentes presentes en la arquitectura histórica de fábrica, sino también implementando los principios en los que se basan estas soluciones en el resto de construcciones ubicadas en zona de alta peligrosidad sísmica.<sup>3</sup>

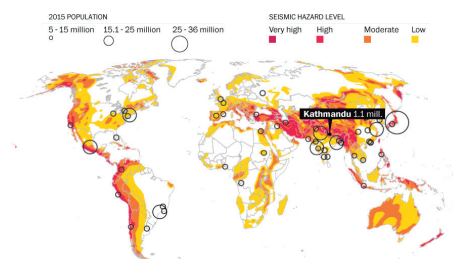


Fig.A.53 Grandes urbes en zonas sísmicas (The Washington Post)

1.- Los efectos devastadores de los terremotos, impredecibles a día de hoy, así como las causas que los originan, se encuentran hoy más que nunca en una situación de inestabilidad y en pleno proceso de transformación. Recientemente, científicos de todo el mundo, como el profesor C. Waters, E. Zalasiewicz y J. Zalasiewicz, han reconocido la entrada en una nueva época geológica, el Antropoceno, retrasando su inicio del 1800 al 1950. En su estudio se cita como causa más probable el uso masivo de materiales como el aluminio, el hormigón, los plásticos y el impacto de las pruebas nucleares en todo el planeta, según investigaciones publicadas en la revista Science. De igual forma, merece la pena destacar la sismicidad inducida por el ser humano a través de inyecciones de gas en el mar, agravando el riesgo de posibles deslizamientos en fallas que permanecían inertes.

2.- Bertero, Vitelmo V., Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, and Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España). 1992. Lecciones aprendidas de terremotos catastróficos recientes y otras investigaciones: Lessons learned from recent catastrophic earthquakes and associated research. Vol. 410-411. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

3.- U.S. Geological Survey, Global Seismic Hazard Assessment Program, Natural Earth and news reports. Population data from OCHA (2006).





### 5.5.2 NORMATIVA SISMORRESISTENTE

La existencia de distintas realidades y vulnerabilidades frente a la acción del sismo queda patente en la elaboración de códigos sismorresistentes en aquellos lugares donde se ha sufrido en mayor o menor medida el efecto de los terremotos. Como tal, estos reglamentos o códigos abordan las normas necesarias para establecen unos estándares de seguridad y calidad en cualquiera de las estructuras planteadas en dichas regiones, evolucionando con el tiempo desde el punto de vista de la zonificación (Fig.A.54), los materiales o las nuevas técnicas constructivas empleadas.



Fig.A.54 Mapa de normativa sismorresistente (NCSE)

A este respecto la diversidad de este tipo de normas es variada, atendiendo tanto a la zona y las características del terreno como al tipo de construcción empleada en cada región, entre otros aspectos. Cuestiones como la relación y separación que debería plantearse entre edificios o la capacidad resistente de los materiales de la construcción son algunos de los temas abordados por la normativa sismorresistente de muchos de estos países, centrando el enfoque de dichos códigos generalmente en la construcción de nueva planta o aquellas edificaciones planteadas en los últimos siglos.

Las distintas calidades de las soluciones constructivas desarrolladas en cada caso, sumado a la constante adaptación de estas normas ha provocado que en algunos casos un edificio planteado hace décadas según un determinado código sismorresistente no cumpla los actuales estándares establecidos. De ahí la necesidad de una constante revisión que asimile de manera periódica cada uno de los cambios y avances en lo que respecta a la identificación, implementación y conservación de los parámetros y soluciones sismorresistentes desarrolladas en cada región o país. Pero no sólo desde el ámbito de las nuevas construcciones, ya que en muchas ocasiones la elaboración y revisión de esta regulación sismorresistente suele dejar fuera a aquellas construcciones de carácter histórico que perduran en el tiempo a pesar de la nula consideración de estos edificios patrimoniales dentro de muchas de las normativas desarrolladas por algunos países.

La escasa recurrencia de este fenómeno sísmico no debería

ser motivo para desdeñar la incorporación de este punto de vista sismorresistente en lo que respecta al patrimonio histórico de las regiones con una sismicidad moderada, ya que la capacidad destructiva que pueden llegar a generar estos episodios constituye una grave amenaza para gran parte de las construcciones de fábrica situadas en estas zonas, pero también para los usuarios y construcciones aledañas a estos vestigios culturales tan vulnerables.

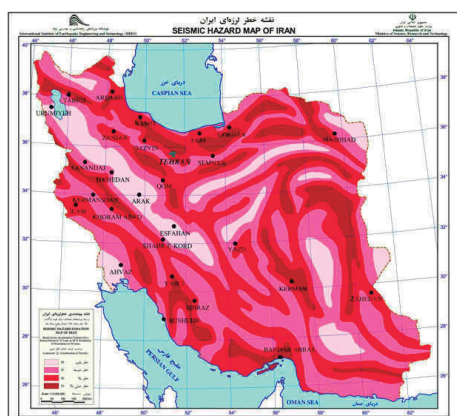


Fig. A.55 Mapa de riesgo sísmico de Irán (IIIES)

Iniciando un recorrido por las regiones y países abarcados en esta investigación, uno de los casos donde se desarrollaron hace décadas las primeras normas sismorresistentes es Irán. Las primeras regulaciones desarrolladas en este país surgen precisamente, y al igual que en otros casos, tras la manifestación de uno de los terremotos más destructivos que en pleno siglo XX ocasionaron la muerte de 12.000 personas y numerosos daños materiales, el día 1 de septiembre de 1963. Estos primeros estándares se incluyeron en el "Código de seguridad sísmica para la construcción", desarrollado y publicado por el entonces "Ministerio de Vivienda y Recuperación", en 1967, incluyendo una serie de directrices para los procedimientos de cálculo de carga sísmica incluidos en el denominado como "Standard nº 519, cargas mínimas para edificios", orientado para las nuevas estructuras edificatorias (BHRC 2005)<sup>4</sup>. A partir de aquí, este código sismorresistente ha ido revisándose e incorporando nuevos criterios y sugerencias extraídas de lecciones asimiladas de otros grandes terremotos y otras normas internacionales<sup>5</sup> (Imashi y Massumi 2011)<sup>6</sup>, como el código sísmico americano

4.- BHRC (Building and Housing Research Centre of Iran). 2005. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings, Standard No. 2800-05, 3rd edition, "Building and Housing Research Center" y "Permanent Committee for Revising the Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Building", Tehran, Iran.

5.- Los reglamentos disponibles en este Código fueron traducciones de algunos capítulos de los reglamentos básicos de construcción, emitidos por el "BOCA" de EE.UU., y también de ciertas regulaciones del "Código de construcción nacional de Canadá" (NBC), de 1970, la Ley de normas de construcción (BSL) de Japón, de 1960. La revisión de la segunda edición se inició en 2000 y condujo a la tercera edición, aprobada, anunciada e impartida oficialmente y para el diseño, control e inspección de edificios en 2005 (Imashi y Massumi 2011).

6.- Imashi, N. y Massumi, A. 2011. A Comparative Study of the Seismic Provisions of Iranian Seismic Code (Standard No. 2800) and International Building Code 2003. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing). 12. 579-596.

(UBC, IBC y NEHRP)<sup>7</sup> y europeo (Eurocódigo-8), dando como resultado el actual "código iraní para el diseño sísmico resistente de edificios" (Imashi y Massumi 2011)<sup>8</sup>, identificado como Standard n° 2800 (IS 2800-05), publicado por el Centro de Investigación de Edificios y Viviendas (BHRC) a principios de 1988 y en el que se recogen los requisitos de diseño sísmico en Irán (Amoly et al 2011)<sup>9</sup>.

Reeditado en 1999 y 2005, el código iraní para el diseño sismorresistente de edificios refleja, al igual que otros códigos regionales, las condiciones geológicas y del suelo locales (Fig.A.55 y Fig.A.56), por lo que su extrapolación a otras áreas puede llegar a resultados erróneos. Una de esas áreas con una realidad geológica distinta se encuentra en la región andina delimitada por el actual Perú, cuyos códigos sismorresistentes, al igual que sucede con la norma iraní, son relativamente actuales.

Durante toda la primera mitad del siglo XX, la ausencia de una norma sismorresistente ajustada a la realidad peruana obligó a tomar como referencia normas y estándares europeos y de Estados Unidos, no siendo hasta el 1970 cuando se desarrolló el primer código peruano con consideraciones sismorresistentes que contextualizaron este problema teniendo en cuenta las condiciones geológicas propias de este país sudamericano (Fig.A.57).

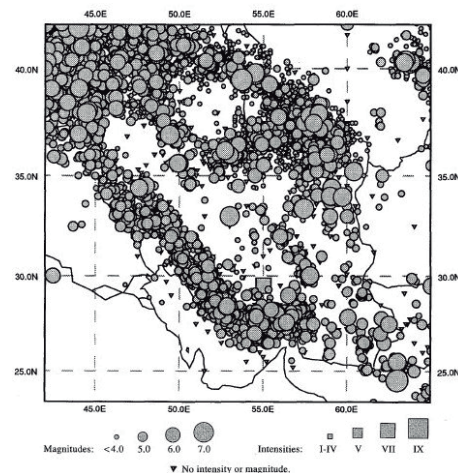


Fig. A.56 Sismicidad de Irán (Berberian)

7.- Antes de 2000, tres códigos regionales prevalecían en EE.UU.: el "Uniform Building Code" (UBC) en el oeste, el Código BOCA en el norte y el Código Estándar de Construcción (SBC) en el sur. En 1994 se estableció el Consejo Internacional de Códigos para desarrollar un código completo único que no está sujeto a limitaciones regionales, formulando el "International Building Code" (IBC 2000), que evolucionaría hacia el IBC 2003, que fue desarrollada en base a las instrucciones de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) en el marco del Programa Nacional de Reducción de Riesgos de Terremotos (NEHRP), recomendando ciertas precauciones para mejorar las regulaciones sísmicas en nuevos edificios (Imashi y Massumi 2011).

8.- Imashi, N. y Massumi, A. 2011. A Comparative Study of the Seismic Provisions of Iranian Seismic Code (Standard No. 2800) and International Building Code 2003. Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing). 12. 579-596.

9.- Amoly, R.S., Khosrojerdi, D., Shafiee, A. y Kamalian, M. 2011. Evaluation of design spectra in iranian seismic code. Conference: 6th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering.

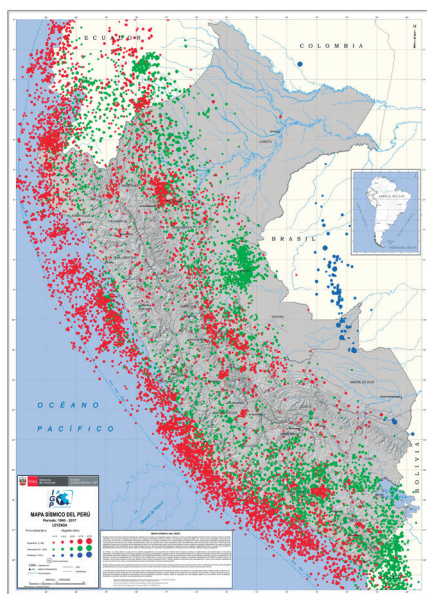


Fig. A.57 Mapa Sismico 1960-2017 (IGP)

Tal y como sucedió también en el caso de Irán, la creación de esta norma estuvo íntimamente ligada a uno de los terremotos más catastróficos sufridos en esta región andina durante todo el siglo XX, en concreto el 31 de mayo del año 1970. Con una intensidad de 8,1 Mw (magnitud de momento) y un epicentro ubicado en las proximidades de la costa central peruana, este terremoto provocó más de 50.000 víctimas mortales y una cantidad de daños que desencadenó una iniciativa impulsada por universidades e instituciones académicas con el fin de mejorar el comportamiento sismorresistente de los edificios peruanos, especialmente aquellos construido con fábricas, ya fuese mediante piedras, ladrillos cerámicos o adobes. Fruto de estos esfuerzos fueron surgiendo una serie de recomendaciones orientadas a mitigar los daños ocasionados por este fenómeno natural sobre las construcciones de nueva planta, incluidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú a través de distintas normas de construcción<sup>10</sup> (MTC 1985)<sup>11</sup> (Cancino 2009)<sup>12</sup>.

A partir de las primeras aproximaciones a la cuestión sísmica se tuvo en cuenta la sismicidad de la región, las técnicas constructivas empleadas y también, la situación económica del país, estableciendo así un balance entre seguridad y viabilidad económica que permitiese desarrollar de manera efectiva las medidas y recomendaciones establecidas.

Como consecuencia, en 1970 se publica el Reglamento Nacional de Construcciones, incluyendo un capítulo sobre las exigencias orientadas a la seguridad contra el efecto destructivo de los

10.- Una de estas normas es la Norma Técnica de Edificación NTE E.080 Adobe (MTC 1985), la cual ha sido tomada de ejemplo por otros países con culturas constructivas basadas en el uso de este material, ya sea mediante fábricas de adobe o tapial. La actual versión de la Norma Técnica de Edificación NTE E.080, dedicada a la construcción con Adobe, fue revisada en el año 2000, bajo la supervisión del SENCICO (Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción) y engloba una serie de requisitos generales y las definiciones de los distintos elementos constructivos y estructurales, así como todas aquellas consideraciones de ámbito sísmico y de cálculo para un correcto diseño sismorresistente (Cancino 2009).

11.- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú). 1985. Norma Técnica de Edificación NTE E. 080 Adobe. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

12.- Cancino, Claudia. 2009. Estudio de daños a edificaciones históricas de tierra después del terremoto del 15 de agosto del 2007 en Pisco, Perú. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.



sismos, así como un mapa de zonificación sísmica, con tres regiones diferenciadas en función del riesgo existente en cada una de ellas. Este reglamento introdujo conceptos interesantes desde el punto de vista sísmico, como la ductilidad de los distintos elementos constructivos o la naturaleza del terreno, entre otros.

Más adelante, en 1977, se aprueba la inclusión de la norma básica de diseño sismorresistente al Reglamento Nacional de Construcciones, reemplazando a la anterior y redefiniendo de nuevo las tres zonas sísmicas principales.

En 1997, tras el terremoto de Nazca de 1996 que afectó a algunos edificios recientes basados en la anterior norma, se aprobaron nuevos estándares dirigidos principalmente al control de las deformaciones laterales y se adaptaron las antiguas zonas identificadas en todo Perú. El terremoto de Atico de 2001, en Arequipa, Moquegua y Tacna, provocó nuevamente algunos ajustes en esta norma sismorresistente, y ayudó a corroborar las anteriores correcciones implementadas en el 1997, demostrando así el permanente carácter de ensayo y error en lo que respecta al desempeño estructural ante situaciones de sismo, tal y como fueron también experimentando las culturas históricas de esta y otras regiones del mundo.

Dos años más tarde, en 2003, se revisaron una vez más algunos parámetros de la norma, si bien el desarrollo general de ésta sigue conservando en algunos aspectos las directrices y orientaciones de la norma de 1997.

Ya en el año 2009, se publicó una nueva norma de diseño para el caso del hormigón armado, conservando así el carácter "vivo" que ha ido experimentando la normativa sismorresistente en Perú prácticamente hasta la actualidad, a través de modificaciones puntuales como las de 2019 que sin duda seguirán recogiendo en el futuro mediante nuevas normas y estándares que adapten esta realidad sísmica cambiante a las normas de construcción de cada zona (Fig.A.58).

Otra de estas regiones es la recogida en esta investigación correspondiente a la zona de Bengala, que incluye parte del territorio de la actual India y Bangladesh. En el caso del código

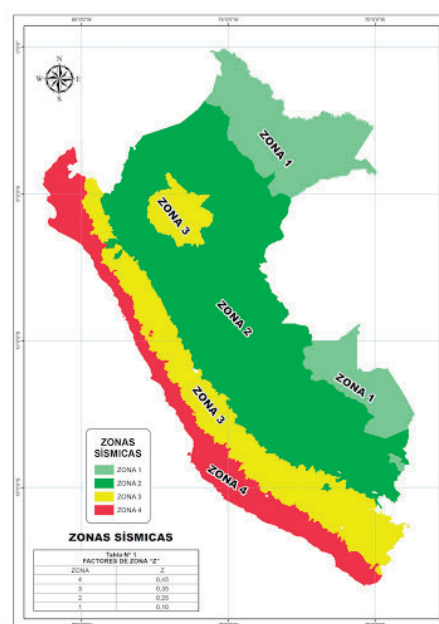


Fig.A.58 Mapa de zonificación sísmica (RNE Perú)

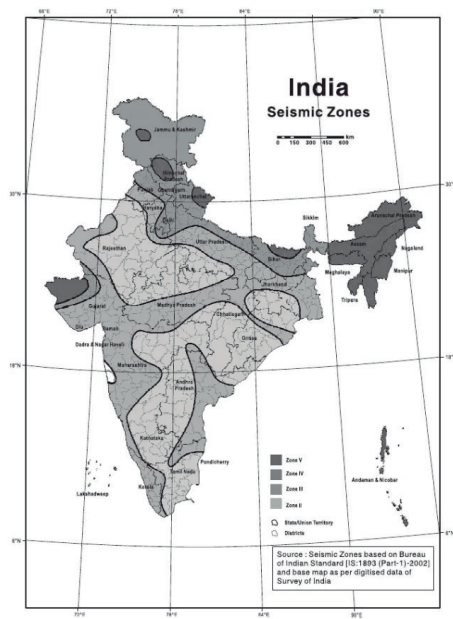


Fig.A.59 Mapa de riesgo sísmico de India (IS1893)

indio, la primera de las normas orientadas a la cuestión sísmica se planteó a través de la norma IS 1893, publicada en 1962. A partir de aquí las actualizaciones de este reglamento ha ido evolucionando y revisándose con el paso del tiempo, modificando e incluyendo nuevas normas dirigidas a la evaluación, diseño, reparación y fortalecimiento de las estructuras como las introducidas en los años 1966, 1970, 1975, 1984 o 1993, entre otros, así como distintas zonificaciones establecidas en función de la peligrosidad de cada región (Fig.A.59).

Posteriormente, en 2002, se decidió dividir este código en varias partes diferenciadas, con un apartado específico y dedicado a la función sismorresistente de los edificios. Esta actualización se hizo necesaria después de los 18 años transcurridos desde la última revisión, incluyendo en ella algunos de los importantes desarrollos vinculados al diseño de estructuras sismorresistentes. Este largo periodo de revisión contrasta con la antigüedad de su primer código orientado a la acción sísmica, pero también con la periodicidad con la que otras regiones ubicadas también en zonas de alto riesgo sísmico revisan sus normas y estándares frente a la acción de los terremotos.

No obstante, el planteamiento sismorresistente que abarca el código indio de las distintas estructuras de nueva planta se podría considerar bastante amplio desde el punto de vista de su variedad constructiva, incluyendo desde la construcción con barro y adobe al uso de mampostería y técnicas constructivas más modernas. Sin embargo, y a pesar de su revisión después de 2002<sup>13</sup>, se hace urgente incluir en éste código todas aquellas consideraciones relacionadas con las edificaciones pertenecientes al amplio patrimonio histórico de esta región, incorporando todos aquellos sistemas con un comportamiento sismorresistente presentes en la construcción histórica planteada con fábricas de adobe, ladrillo y piedra, y cuyo estado de conservación sigue siendo uno de los puntos más vulnerables dada su alta exposición a los terremotos en esta zona.

13.- Una de estas primeras renovaciones posteriores se estableció en el año 2005, a través del NBC 2005, también conocido como el Código Nacional de la Construcción de India, y cuya revisión periódica sigue siendo objeto de análisis y verificación constante.

En el caso de Bangladesh, situado por completo en la región histórica de Bengala, la situación de su realidad sísmica se agrava con respecto a su vecina India, principalmente como consecuencia de un subdesarrollo más acusado que dificulta la implementación de sus normas sismorresistentes en una población de gran densidad. Algunas de estas directrices se recogieron en el Código Nacional de Construcción de Bangladesh (BNBC), implantado por primera vez en 1993 para fijar los estándares ligados al diseño sismorresistente de las estructuras de nueva planta construidas en esta zona de gran sismicidad (HBRI 1993)<sup>14</sup>.

Más adelante, se llevaron a cabo distintas actualizaciones de las normas técnicas que regulan los estándares de construcción de edificios de nueva planta desde el punto de vista sísmico, a través de distintas revisiones del BNBC 1993 de Bangladesh, como las efectuadas en 2006, 2010, 2012, 2015 o 2017, incorporando en ellas nuevos parámetros y zonificaciones para el caso de Bangladesh (Fig.A.60), tomando como referencia distintas actualizaciones internacionales y algunos de los eventos sísmicos más recientes (HBRI 2017)<sup>15</sup>.

No obstante, la existencia de este código desarrollado en Bangladesh y de sus periódicas actualizaciones no garantiza la correcta implantación de los estándares que plantea, en gran parte debido a las actuales condiciones constructivas que se desarrollan en el país, con una población gravemente expuesta a la carestía y a unas condiciones de habitabilidad que en algunos casos distan mucho de los estándares mínimos establecidos. Como consecuencia de esta realidad, la escasa conciencia sísmica presente en la población de Bangladesh, se traduce también en una dificultad añadida a la hora de incluir cuestiones relacionadas con el patrimonio y las construcciones históricas existentes en las normas sismorresistentes, muy orientadas a las nuevas edificaciones, y que a pesar de ello no consiguen una



Fig.A.60 Mapa de riesgo sísmico de Bangladesh (BNBC)

14.- HBRI (Housing and Building Research Institute). 1993. Bangladesh national building code, 1993 (BNBC 1993). Housing and Building Research Institute y Bangladesh Standards and Testing Institution, Dhaka, Bangladesh.

15.- HBRI (Housing and Building Research Institute). 2017. Bangladesh national building code, 2017 (BNBC 2017). Housing and Building Research Institute y Bangladesh Standards and Testing Institution, Dhaka, Bangladesh.

implantación generalizada en todo el país.

Pese a la dificultad o imposibilidad de aplicar retroactivamente muchas de estas normas sismorresistentes sobre el patrimonio de fábrica, resulta urgente, y también muy recomendable, incluir el enfoque de estas construcciones históricas que aún se conservan hoy en día, así como conocer los principios constructivos que les permiten seguir en pie a pesar de la alta sismicidad de muchas de las zonas donde se erigieron. A partir de aquí, la capacidad de soportar sismos importantes y la hipotética intervención y recuperación tras los efectos de los mismos debería depender de las posibles intervenciones admitidas en cada caso, identificando las posibilidades de refuerzo y consolidación de estas estructuras y sus sistemas sismorresistentes, evitando un agravamiento de los daños que puede llegar a provocar, en última instancia, el colapso y pérdida de un patrimonio cultural de valor incalculable.



### 5.5.3 INFLUENCIA DE LA RESTAURACIÓN SOBRE EL PATRIMONIO UBICADO EN ZONA SÍSMICA

Ante la ausencia prácticamente generalizada de cuestiones relacionadas con el patrimonio histórico en las normas y reglamentos sismorresistentes de todo el mundo, las intervenciones llevadas a cabo sobre la arquitectura histórica de fábrica han tratado de abordar las restauraciones y conservaciones de dicho patrimonio a través de un enfoque interdisciplinar basado en múltiples puntos de vista relacionados con el conocimiento histórico del arte y las ciencias vinculadas a los materiales y las técnicas de construcción de cada zona.

En este sentido, la existencia de instituciones internacionales que coordinen y aúnen este conocimiento constructivo se ha revelado como uno de los factores clave para avanzar en el mantenimiento y conservación del patrimonio histórico de todo el mundo, gracias a multitud de organizaciones, consejos internacionales, universidades, centros y distintos institutos de investigación que velan por la adecuada situación de los elementos patrimoniales más importantes.

Instituciones como el "International council on monuments and sites" (ICOMOS), el "International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property" (ICCROM), el "Getty Conservation Institute" (GCI) o la propia UNESCO, desempeñan un rol de gran relevancia de cara a fomentar la correcta preservación del patrimonio cultural de todo el mundo. La influencia generada internacionalmente por estas organizaciones repercute de manera transversal en distintas cuestiones vinculadas a esta conservación, como la sensibilización, promoción, información e investigación de todos aquellos factores que pueden influir en el comportamiento estructural de las edificaciones más vulnerables.

No obstante, se hace necesaria una profundización en aspectos ligados al punto de vista sísmico que ayuden a contextualizar las condiciones estables de cada una de las edificaciones situadas en zonas de gran actividad telúrica.

Dado el retraso que se puede llegar a experimentar en algunos casos a la hora de intervenir en edificaciones afectadas por terremotos severos, es vital incidir en la concienciación y en una prevención anticipada, identificando los sistemas y principios sismorresistentes de las distintas construcciones, posibilitando así un refuerzo adecuado para toda la estructura antes de la aparición de estos fenómenos destructivos.

A este respecto se ha podido observar con distintos terremotos históricos cómo muchos de los daños causados sobre el patrimonio se han visto agravados no sólo por un insuficiente conocimiento y conciencia sísmica de los sistemas constructivos existentes, sino también por el escaso reflejo de los mismos en la normativa y recomendaciones establecidas a la hora de intervenir sobre ellos, ignorando o subestimando en muchos casos estos sistemas históricos y tradicionales.

Es por ello que resulta urgente potenciar y difundir esta memoria sísmica presente en gran parte de la arquitectura histórica de fábrica de manera inherente desde su concepción, no sólo conservando los posibles sistemas sismorresistentes que pudiera presentar cada construcción, sino también promoviendo la

implantación y mantenimiento de los principios antisísmicos en los que se fundamentan estas edificaciones ubicadas en zonas de alta peligrosidad.

A modo de ejemplo, se presentan a continuación algunos casos de intervenciones desafortunadas sobre distintas construcciones de gran valor histórico situadas en zonas de gran sismicidad, llegando a provocar un agravamiento de los daños producidos por algunos de los eventos sísmicos más importantes sufridos en esas regiones.

Como consecuencia, la influencia que pueden generar las distintas medidas adoptadas sobre estas estructuras antiguas puede llegar a ocasionar un empeoramiento generalizado en todo el esqueleto estructural, igualando o incluso superando los efectos negativos que conlleva la ausencia o escasez de un adecuado mantenimiento llevado a cabo de manera periódica en estas construcciones. Tanto es así, que este tipo de circunstancias puede llegar a provocar graves situaciones de vulnerabilidad ante la acción destructiva de cualquier terremoto, circunstancia originalmente inexistente en la concepción primigenia del edificio, y que sin embargo puede llegar a acelerar en algunos casos el proceso de deterioro de todo el esqueleto estructural después del desastre, tal y como se menciona a continuación en los siguientes ejemplos seleccionados.

### 5.5.3.1 Restauración y Conservación del Patrimonio. Caso de análisis 1: San Francisco de Asís

Uno de los ejemplos donde desafortunadamente encontramos una las intervenciones desafortunadas realizadas sobre edificios históricos de fábrica lo encontramos en la Basílica de San Francisco de Asís (Fig.A.61), situada en la región de Umbría (en el centro de Italia), donde se encuentra la ciudad de Asís que vio nacer y morir a San Francisco. En su memoria se erigió esta basílica, compuesta por dos iglesias conocidas como la Iglesia Superior y la Iglesia Inferior, y una cripta, donde se encuentran los restos del santo.



Fig. A.61 Basílica de S.Francisco de Asís (G.Croci)

El inicio de su construcción se remonta al 1228, coincidiendo con el año de canonización de S. Francisco, sólo dos años después de su muerte, y su arquitectura es una síntesis de los estilos románico y gótico. De planta cruciforme, la estructura principal se encuentra rematada por bóvedas de crucería en la nave principal (Fig.A.62) y bóvedas de cañón sobre los brazos del crucero, y en los laterales presenta una serie de capillas laterales añadidas entre 1350 y 1400.

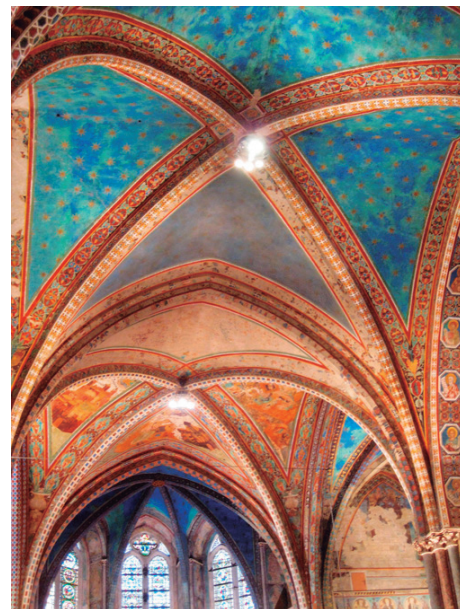


Fig. A.62 Interior S.Francisco de Asís (Anne Robichaud)

Desde entonces, las modificaciones y añadidos llevados a cabo en el conjunto arquitectónico de la Basílica fueron mayoritariamente intervenciones de carácter puntual, destinadas sobre todo a la recepción de los numerosos peregrinos que durante siglos se han ido acercando a este santuario de gran importancia para la religión cristiana.

Después de más de siete siglos desde su construcción, el 26 de septiembre de 1997 un fuerte sismo con su correspondiente réplica hizo temblar la basílica ubicada en esta población de la Umbría italiana. Ambos temblores se produjeron en una rápida sucesión que registraron intensidades de 5,6 y 6,1 grados respectivamente según la escala Richter, y grado VIII en la escala Mercalli. Ambas sacudidas provocaron una devastación generalizada en toda la región, con multitud de edificios antiguos destruidos o severamente dañados.

En lo que respecta a la Basílica, los daños que ambos sismos provocaron en el edificio fueron notables, causando profundas

grietas y el derrumbe de la bóveda principal en dos puntos, así como varios daños en el tímpano del transepto (Fig.A.63).



Fig. A.63 Colapso bóveda S.Francisco de Asís (Umbria Journal)

Este hecho podría considerarse un accidente fortuito más, de no ser porque una de las causas que agravaron sus efectos tuvo mucho que ver con una de las intervenciones llevadas a cabo a mediados del siglo XX, y cuyo impacto sobre el esqueleto estructural principal de la Basílica desempeñó un papel ciertamente cuestionable a la hora de fortalecer y unificar el conjunto edificado ante situaciones de sismo (Fig.A.64).

En este caso, la intervención de mediados de siglo consistió en la sustitución de los elementos de madera situados sobre las bóvedas por un sistema con vigas de hormigón armado y forjado cerámico que configuraba una segunda capa mucho más rígida que la planteada originalmente (Fig.A.65), compuesta de una cubrición ligera de madera situada sobre las bóvedas de las naves.



Fig. A.64 Bóveda de San Francisco de Asís (Sebasgs)

Esta circunstancia se vio acentuada además por el previsible deterioro de los morteros y la acumulación de rellenos poco cohesionados sobre las bóvedas, acentuando así las presiones sobre las bóvedas e impidiendo en última instancia la recuperación de las deformaciones elásticas durante la secuencia de transmisión de las fuerzas horizontales provocadas por el terremoto.

Desgraciadamente, la incorporación de un sistema constructivo como el utilizado sobre las bóvedas de esta basílica, distaba mucho de las soluciones estructurales introducidas originalmente en esta construcción, con una estructura de mayor ductilidad y ligereza, y con un comportamiento estable radicalmente distinto al planteado en esta intervención introducida a mediados del siglo XX.



Fig. A.65 Cubierta Basílica de S.Francisco de Asís (G.Croci)

El eficaz mecanismo de respuesta ante seísmos que había presentado esta cubierta durante casi ocho siglos, poco pudo hacer ante la solución estructural añadida en la cubierta en una de las intervenciones realizadas años antes, y cuya configuración contemporánea reveló una grave incompatibilidad material y estructural de este sistema de rigidización que incluyó el uso de



hormigón armado sobre el esqueleto estructural original.

Ya desde principios del siglo XX, el hormigón armado se fue consolidando como uno de los materiales más empleados en la restauración de edificios históricos. Primero en Italia y Francia, y ya a partir de los años cincuenta, extendiéndose por toda Europa como sustitución de los materiales tradicionales, y que habitualmente habían sido considerados en las restauraciones históricas previas como uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta como punto de partida en dichas intervenciones.<sup>16</sup>

Esto fue posible principalmente gracias a las características que presentaba este material y que lo convertían en óptimo desde el punto de vista de la plasticidad, durabilidad y resistencia, lo cual propició la consiguiente postergación de materiales tradicionales como la piedra, la madera, el ladrillo o los morteros de cal<sup>17</sup>, a pesar de presentar un peor comportamiento en lo que respecta a su ductilidad y flexibilidad.

Ante esta corriente, la actitud generalizada, y que haría también acto de presencia en cierto modo en la Basílica de San Francisco de Asís, fue la de desconfiar de unos sistemas constructivos tradicionales y unos materiales que en gran medida son los responsables de la estabilidad del patrimonio que aún disfrutamos hoy en día.

De esta forma, el hormigón hizo también acto de presencia para intentar fortalecer estructuralmente la bóveda de la Basílica, si bien el único efecto que consiguió fue el de agudizar los efectos destructivos del terremoto devastador de 1997. Esta intervención rigidizó en exceso el comportamiento del edificio frente a sismos (Fig.A.66), encorsetando estructuralmente una cubierta que hasta entonces no había tenido problemas para moverse elásticamente, adaptándose y mitigando así las potentes sacudidas de los movimientos telúricos que sin duda ha experimentado desde su construcción, dada la enorme sismicidad histórica de esta región italiana. Las consecuencias



Fig.A.66 Bóvedas Basílica de S.Francisco de Asís (G.Croci)

16.- Esponda Cascajares, M., 2004: Evolución de los criterios de intervención con hormigón armado en la restauración de edificios históricos en España, México e Italia. Universitat Politècnica de Catalunya.

17.- Garate Rojas, I., 1994: Artes de la cal. Ministerio de Cultura. Instituto Español de Arquitectura. 2ª edición, p. 298.



fueron el agravamiento de las fuerzas horizontales que aparecieron durante el sismo, lo que provocó el golpeo de las piedras entre sí, aumentando progresivamente a cada sacudida y produciendo en última instancia el colapso de la bóveda original.

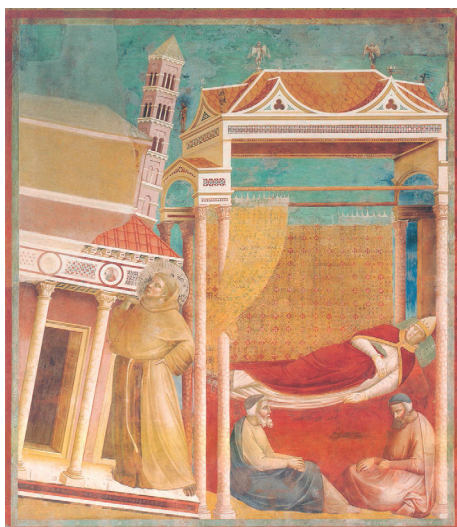


Fig.A.67 El sueño de Inocencio III - 1300 (Giotto)

Resulta reveladora la escena después del terremoto, con la bóveda original derruida, bajo la erigida con posterioridad (de hormigón), y la cual sin embargo se mantuvo en pie tras las sacudidas de 1997. El comportamiento ante este tipo de desastre sólo evidencia por tanto la diferencia entre dos sistemas, incompatibles en terreno sísmico en este tipo de edificaciones que se ven favorecidas por cierta flexibilidad en los elementos de cubrición. Revisar este caso nos sirve de este modo para poner en valor la idoneidad de ajustarse a un sistema constructivo que ha sido eficaz frente al sismo desde su construcción, dando muestras de debilidad únicamente cuando se han obviado estas características y principios sismorresistentes.

Por desgracia, la destrucción no se limitó exclusivamente al plano arquitectónico y de vidas humanas, sino que además destruyó parte de los frescos pintados por Giotto en el interior de la basílica, algunos de ellos restaurados posteriormente. Los frescos, que tratan sobre la vida de San Francisco de Asís, se redujeron en miles de pequeños fragmentos con el ábside, si bien ha sido posible su restauración gracias a la minuciosa tarea posterior. Entre todos los frescos resulta sorprendente encontrarse con la obra conocida como “El sueño de Inocencio III” (Fig.A.67), del año 1300, en el cual se representa al Papa Inocencio siendo testigo de una visión celestial que tuvo mucho que ver con la constitución de la Orden Franciscana, en el 1210<sup>18</sup>.

En la visión, el Papa Inocencio III aseguraba haber visto en sueños a Francisco de Asís sosteniendo la basílica de Letrán (la catedral de Roma), que estaba a punto de derrumbarse frente a él. Este sueño, immortalizado por Giotto en el siglo XIV, acabaría

18.- En 1209, Francisco de Asís solicitó permiso al Papa Inocencio III para fundar su nueva Orden religiosa, el cual accedió en un primer momento a admitir al grupo de manera informal hasta que Dios aumentara en gracia y número al grupo de San Francisco, momento en el cual podrían volver de nuevo a solicitar una admisión oficial. Finalmente, y tras el sueño de Inocencio en el que Francisco III aparecía sosteniendo la basílica lateranense, el Papa decidió admitir al grupo de Francisco, constituyéndose definitivamente el 16 de abril de 1210 como Orden Franciscana.

por convertirse en una verdadera profecía de lo que ocurriría siglos más tarde en esta Basílica de Asís.

Desafortunadamente, el colapso de la basílica lateranense en el sueño de Inocencio III podría considerarse como una triste premonición del daño que ocasionaría siglos más tarde el empleo imprudente del hormigón armado como material de restauración. No sólo en la basílica de San Francisco de Asís, sino también en todas aquellas construcciones ubicadas en zonas de gran riesgo sísmico que desaconsejan su uso, debido a la incompatibilidad y rigidización excesiva que genera esta solución constructiva sobre ciertas estructuras históricas.

Ya en el año 2000, la Basílica fue declarada Patrimonio Mundial de la UNESCO, tres años después de sufrir uno de los terremotos que azotaron la región de Umbría en septiembre de 1997. Esta circunstancia sin duda influyó a la hora de buscar y propiciar una protección adicional como la que concede esta declaración de la UNESCO, sirviendo como aliciente para evitar errores pasados y llevar a cabo intervenciones más respetuosas con los sistemas constructivos planteados en edificios históricos como la Basílica de San Francisco, ubicado además en una de las regiones de mayor sismicidad de toda Europa.

### 5.5.3.2 Restauración y Conservación del Patrimonio. Caso de análisis 2: Ciudadela de Bam



Fig. A.68 Bam antes del terremoto (Manafpour)



Fig. A.69 Bam después del terremoto (Manafpour)

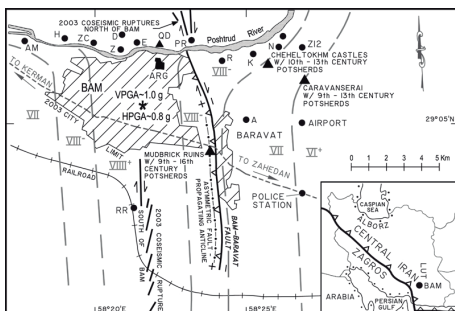


Fig. A.70 Terremoto de Bam de 2003 (M.Mehryar)



Fig. A.71 Arg-e-Bam (Tehran24)

En contraposición con el caso anterior, donde la rigidización excesiva tuvo mucho que ver con el agravamiento de los daños registrados en la Basílica de San Francisco de Asís, la ciudadela de Bam, en Irán, experimentó los efectos destructivos de las fuerzas sísmicas como consecuencia de una escasa e ineficaz labor de conservación y mantenimiento durante todo el siglo XX.

La ciudadela de Bam, también conocida como Arg-e-Bam, está considerada como una de las más grandes y antiguas construcciones erigidas con fábricas de adobe de todo el mundo, con unos 2000 años de antigüedad y una extensión que abarca un área de aproximadamente 180.000 metros cuadrados (Fig.A.68).

Situada en la provincia de Kerman, las características geológicas y sismológicas ya mencionadas para el caso de Irán desencadenaron que el 26 de diciembre de 2003 un gran terremoto sacudiese la ciudadela de Bam (Fig.A.69), con una intensidad de 6,6 Mw de magnitud en la escala Richter y IX en la escala de Mercalli, y un epicentro situado a 10 km al sureste de la ciudad de homónima de Bam (Fig.A.70), de unos 150.000 habitantes. La magnitud establecida dentro de la escala Mercalli da una idea de la gravedad de los daños registrados y la vulnerabilidad que presentaban muchas de las construcciones en el momento del sismo, principalmente ligadas a una falta de conservación y mantenimiento de las construcciones más antiguas. La destrucción fue generalizada en todas las construcciones de la ciudad (Fig.A.71), afectando al 95% de los edificios y a unos 50 qanats de la zona (Zahrai y Heidarzadeh 2004)<sup>19</sup>. Los daños ocasionados en toda la región ascendieron a más 25.000 muertos, 30.000 heridos y 75.000 personas sin hogar (Manafpour 2008)<sup>20</sup>.

19.- Zahrai, Seyed Mehdi & Heidarzadeh, Mohammad. 2004. Seismic performance of existing buildings during the 2003 Bam Earthquake. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada. August 1-6, 2004. Paper No. 1715.

20.- Manafpour, A.R. 2008. Bam earthquake, Iran: Lessons on the seismic behaviour of building structures. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17, 2008, Beijing, China.

En lo que respecta a las construcciones situadas en la ciudad moderna, la mala conexión entre elementos horizontales y verticales, así como el estado de conservación de los muros de adobe, fueron algunas de las causas principales del colapso tan generalizado que provocó este terremoto, causando el derrumbe de dichas estructuras al agrietarse la unión entre planos. Al mal comportamiento frente a vibraciones horizontales, sin refuerzos adicionales, se sumó el agravamiento de los efectos destructivos como consecuencia de las malas prácticas llevadas a cabo en el sector privado, donde a pesar de la existencia de legislación y regulación sismorresistente, es habitual encontrarse con una ausencia generalizada de controles en los procesos constructivos así como incorporar de mano de obra no cualificada en los distintos trabajos de construcción y reparación (Motamed 2004)<sup>21</sup>.

A este hecho hay que sumar el comportamiento negativo que experimentaron algunas de las construcciones más antiguas que habían sido ampliadas o mutiladas, sobre todo en lo que respecta al cambio de configuración de los elementos de cubrición, rellenando por ejemplo los techos abovedados y los badgirs u otros espacios intermedios de ventilación con distintos tipos de elementos aislantes, o simplemente con el objetivo de generar un acabado plano sobre estas cubiertas abovedadas con el fin de poder plantear plantas superiores sobre ellas (Motamed 2004). De esta forma se introdujeron cargas de techo no consideradas originalmente, agravando así las fuerzas y daños provocados por los efectos de un terremoto. En cambio, los edificios recientes construidos al estilo tradicional presentaron un mejor comportamiento sismorresistente durante el transcurso de este episodio sísmico, presentando únicamente pequeñas grietas u otros daños menores en su estructura (Manafpour 2008)<sup>22</sup>.

La severidad de este devastador seísmo tuvo también un gran reflejo en la ciudadela histórica de Bam, reduciendo a escombros algunas de las estructuras más emblemáticas de este complejo patrimonial construido en adobe, a pesar de las reparaciones

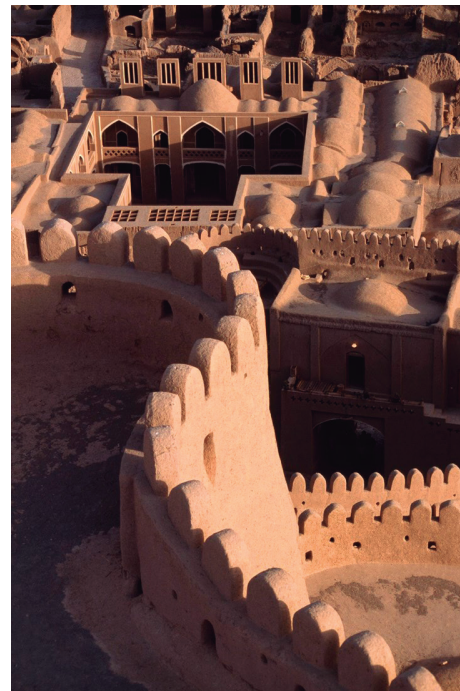


Fig. A.72 Murallas de Bam (National Geographic)

21.- Motamed, Jubin. 2004. The Bam earthquake of 26 December 2003, Iran. EEFIT Website Institution of Structural Engineer.

22.- Manafpour, A.R. 2008. Bam earthquake, Iran: Lessons on the seismic behaviour of building structures. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17, 2008, Beijing, China.



puntuales llevadas a cabo a partir de 1973 sobre determinadas estructuras (Fig.A.72). No obstante, la situación de degradación de muchas de estas construcciones tiene mucho que ver con el abandono de la ciudadela desde que se marcharon los últimos habitantes hace ya varias décadas, enfocando así las distintas reparaciones a aspectos estéticos y superficiales ligados a las visitas turísticas, pero descuidando la integridad interna de muros y otros elementos portantes de gran relevancia desde el punto de vista estructural (Langenbach 2005)<sup>23</sup>.

En este sentido, merece la pena mencionar el papel desempeñado por los refuerzos longitudinales de madera integrados horizontalmente dentro de los entramados murarios principales, permitiendo cierto movimiento en las juntas para evitar un agrietamiento excesivo en la propagación de energía sísmica.



Fig. A.73 Efecto de termitas en Casa de Hielo (Mokhtari, E.)

Este tipo de subestructuras internas supusieron un factor clave en el colapso de los edificios durante el terremoto de 2003, ya que provocaron un importante debilitamiento de los muros a causa de la presencia de termitas y el deterioro generalizado de estos elementos de madera (Fig.A.73), causando considerables huecos y desajustes en la configuración interior de los muros (Motamed 2004)<sup>24</sup>.



Fig. A.74 Casa de Hielo (Auroville)

Otro de los aspectos importantes en el agravamiento de los desplazamientos horizontales producidos por el terremoto tiene que ver con la sequedad y pérdida de cohesión interna de los muros de adobe, sobre los cuales se erigieron en algunos casos construcciones adicionales que dieron por buenas estas estructuras, a pesar de su deteriorada integridad estructural (Langenbach 2005).

Uno de los ejemplos que permiten ilustrar este tipo de situaciones lo encontramos en la Casa de Hielo situada en la Ciudadela de Bam, y que fue seriamente dañada en el episodio sísmico que tuvo lugar en esta ciudad (Fig.A.74). La restauración llevada

23.- Langenbach, Randolph & EERI, M. 2005. Performance of the Earthen Arg-e-Bam (Bam Citadel) during the 2003 Bam, Iran, Earthquake. Earthquake Spectra - EARTHQ SPECTRA. 21.10.1193/1.2113167.

24.- Motamed, Jubin. 2004. The Bam earthquake of 26 December 2003, Iran. EEFIT Website Institution of Structural Engineer.

a cabo entre 1974 y 2003, en la que se construyó una cúpula escalonada sobre los muros existentes, creó una carga adicional en la cubierta, agravando los efectos del sismo y provocando en última instancia el colapso parcial de la misma durante el terremoto, con sus correspondientes daños en los muros interiores y agrietando todo el exterior del edificio (Fig.A.75 y Fig.A.76).

Esta degradación interna de los elementos estructurales debería suponer un motivo de preocupación de otras construcciones monumentales iraníes planteadas con este mismo sistema constructivo, evitando que se puedan llegar a producir desplazamientos de las capas internas por una causa similar. A este respecto es vital verificar el estado de las estructuras internas, renovándose si fuese necesario para evitar su erosión interior y no sólo centrarse en el aspecto exterior, que puede llegar a ocultar graves problemas estructurales en el caso de las construcciones realizadas con fábricas de adobe. Este deterioro puede llegar a generarse no sólo por la acción de las termitas, sino también por otros factores comunes a otros materiales de construcción, tal y como sucede con los cambios de humedad, la filtración de agua por la parte superior y los laterales, los asentamientos diferenciales de los entramados murarios, la variación de su compactación gradual o los posibles cambios químicos en su composición material (Langenbach 2005)<sup>25</sup>.

A pesar de todo, fueron varias las estructuras que resistieron a las violentas sacudidas del seísmo, tanto de la ciudad histórica como del núcleo urbano habitado a día de hoy (Fig.A.77).

En este sentido, merece la pena destacar el desempeño estructural de las construcciones situadas en las zonas más antiguas y en un mejor estado de conservación, las cuales se vieron menos afectadas que otras construcciones más recientes, incluso sin demasiado mantenimiento.

Este tipo de construcciones de fábricas de adobe deberían servir como modelos sismorresistentes para otros complejos



Fig.A.75 Casa de Hielo, terremoto 2003 (Motamed, J.)



Fig.A.76 Interior Casa de Hielo de Bam (Motamed, J.)



Fig.A.77 Interior de la ciudadela de Bam (Autor)

25.- Langenbach, Randolph & EERI, M. 2005. Performance of the Earthen Arg-e-Bam (Bam Citadel) during the 2003 Bam, Iran, Earthquake. Earthquake Spectra - EARTHQ SPECTRA. 21.10.1193/1.2113167.

arquitectónicos hechos con este mismo material, erigiéndose como verdaderos casos de éxito ante situaciones de sismo, al contrario que muchas de las edificaciones y soluciones contemporáneas que acabaron colapsando a pesar de la supuesta fortaleza de algunas de las soluciones que emplearon, tal y como sucedió con muchas estructuras de acero y hormigón armado (Langenbach 2005)<sup>26</sup>.

Afortunadamente, muchas de estas técnicas tradicionales fueron implementadas de nuevo en la reconstrucción post-sísmica coordinada por la UNESCO desde 2008, recurriendo a soluciones propias de la arquitectura vernácula de adobe y materiales compatibles con la construcción en tierra, siguiendo los principios y pautas de restauración más apropiados para este tipo de arquitecturas ubicadas en zonas de alta sismicidad.



Fig. A.78 Khest (National Geographic)

Algunos de estos sistemas constructivos que se pueden observar en las intervenciones que se están planteando en la actualidad en la ciudadela de Bam, bajo la coordinación de la UNESCO, recuperan por ejemplo la tradición constructiva de los muros de Chineh (capas de barro) o de khesht (ladrillos de barro secado al sol), llevando a cabo todo el proceso de fabricación y puesta en obra de la manera más respetuosa posible con las estructuras preexistentes, y siempre bajo el conocimiento y la experiencia sísmica que aportaron los daños del terremoto del año 2003 (Fig.A.78).

Como elemento de cubrición principal se están recuperando las estructuras abovedadas y/o con cúpulas en su concepción constructiva original, conservando íntegramente las características de las cámaras de ventilación tradicionales, y cuya mutilación y relleno influyó muy negativamente agravando el comportamiento general de muchas de estas construcciones históricas.

Alternativamente a estos sistemas, en estas intervenciones se ha ensayado la integración de sistemas sismorresistentes de refuerzo en todo tipo de muros y elementos de cubrición, siempre

---

26.- Langenbach, Randolph & EERI, M. 2005. Performance of the Earthen Arg-e-Bam (Bam Citadel) during the 2003 Bam, Iran, Earthquake. Earthquake Spectra - EARTHQ SPECTRA. 21.10.1193/1.2113167.



desde la lógica que debería imponer la compatibilidad material y constructiva de los distintos materiales que intervienen en cada sistema.

Otra de las medidas implementadas es la utilización de distintos tipos de armados y mallas de refuerzo (Fig.A.79), tanto en muros, columnas y otros elementos verticales, como en bóvedas, cúpulas y otras estructuras de cubrición, combinando en ambos casos la introducción de un sistema de atado mediante cuerdas integradas en la propia estructura (Fig.A.80 y Fig.A.81), consiguiendo así un funcionamiento estructural unitario frente a sismo y evitando el desplazamiento excesivo de las fábricas que componen estas construcciones.

Este tipo de estrategias sismorresistentes constituyen un ejemplo más de algunas de las soluciones compatibles con este tipo de arquitecturas históricas (Fig.A.82), las cuales nos recuerdan que el ingenio del ser humano para afrontar estos episodios sísmicos ha estado y estará siempre presente en aquellas zonas donde la tierra ha puesto a prueba a estas estructuras de fábrica.

Aunque en algunos casos se haya puesto de manifiesto la excepcionalidad del sismo que tuvo lugar en Bam en el año 2003 (Fig.A.83), lo cierto es que su estabilidad durante sus más de 2.000 años de antigüedad, y la sismicidad recurrente que presenta esta región iraní, hace descartar por completo esta afirmación una vez que la ponemos en contexto en una zona en la que no ha sido ni será la primera vez que sismos de esta magnitud hagan acto de presencia para poner a prueba las construcciones erigidas en ella.



Fig.A.79 Malla de refuerzo, Bam (Autor)



Fig.A.80 Sistema de atado con cuerdas (Autor)

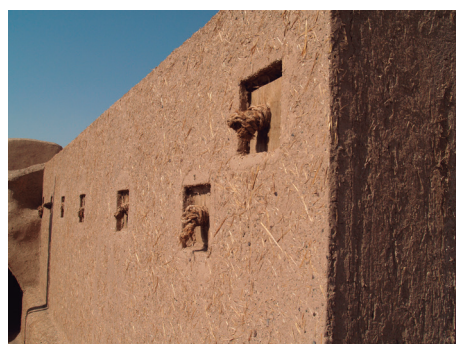


Fig.A.81 Arriostramiento estructural con cuerdas (Autor)



Fig.A.82 Atado de bóveda con cuerdas (Autor)





Fig. A.83 Ciudadela de Bam (L.G.Trotteur)

#### 5.5.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS CAUSAS Y EFECTOS DE LOS DAÑOS MÁS FRECUENTES

La alta exposición de determinadas construcciones a una intensa actividad telúrica en diversas zonas del planeta constituye una de las amenazas que pueden llegar a ser más devastadoras para el patrimonio de fábrica ubicado en estas regiones.

Antes de intervenir sobre estas construcciones es fundamental profundizar en las razones constructivas de cada uno de los elementos planteados en dichas estructuras, realizando un estudio lo más transversal posible que profundice no solo en los aspectos estructurales, históricos o materiales más generales, sino también incluyendo conceptos y parámetros ligados a otras disciplinas, como la geología, la sismología o incluso la sociología. A través de este análisis previo se pueden llegar a determinar las posibles causas y decisiones constructivas que influyeron en los distintos daños experimentados en el transcurso de un terremoto.

Tras esta primera identificación de los daños ocasionados sobre el conjunto edificado, disponga o no de función estructural, es factible determinar las consecuencias y efectos negativos más probables que pueden llegar a desarrollarse tanto en los propios elementos dañados como en otras zonas de la construcción afectada, llegando a amenazar en última instancia con el colapso parcial o total del esqueleto estructural principal.

Si bien cada una de estas construcciones pueden llegar a presentar distintas casuísticas ligadas por ejemplo al contexto histórico, material, geológico o ambiental, la viabilidad de los análisis necesarios va íntimamente ligado a otros aspectos y requerimientos comunes no menos importantes, como son el plano económico y presupuestario, sin los cuales las dificultades de intervenir satisfactoriamente sobre este patrimonio puede acabar mermando la calidad y exhaustividad de estos análisis previos tan necesarios en el caso del patrimonio situado en zona de gran sismicidad.

En lo que respecta al plano de las restauraciones e intervenciones sobre estas construcciones históricas de gran vulnerabilidad sísmica, algunas de las soluciones que deberían llevar a cabo este tipo de análisis integrales previos son todas aquellas planteadas a base de sistemas que incluyan el uso del hormigón armado como material de refuerzo y atado, cuya utilización puede llegar a provocar un grave perjuicio al comportamiento sismorresistente de muchas estructuras de fábrica. Ya en la década de los ochenta se empezó a percibir el rápido proceso de deterioro que experimentaban las obras restauradas con hormigón armado, lo que hizo emerger movimientos críticos con la manera de intervenir en el patrimonio histórico.

A partir de entonces la tendencia predominante hasta ese momento se vio interrumpida y sustituida por un mayor afán de recuperar las técnicas tradicionales utilizadas en las construcciones antiguas, analizando el comportamiento estructural de los edificios históricos y la influencia de las posibles adaptaciones vernáculas implementadas sobre cada una de las decisiones constructivas.

Existen además otros parámetros que influyen en el agravamiento de los efectos de un episodio sísmico (Bertero 1992)<sup>27</sup>, los cuales pueden verse intensificados como consecuencia de una inadecuada intervención y restauración sobre estas construcciones históricas. Entre las causas principales de los daños más frecuentes se pueden identificar los siguientes aspectos causales y agravantes:

#### RELACIONADOS CON EL CONTEXTO GEOGRÁFICO Y TECTÓNICO

- **Severidad del terremoto**

Una de las causas principales que influyen de manera más directa en la aparición de distintos daños es el grado e intensidad del propio seísmo, cuyos desplazamientos relativos asociados y las cargas de inercia que resultan de las aceleraciones del suelo desempeñan uno de los factores principales a la hora de soportar en mayor o menor medida los efectos de los terremotos.

- **Distancia y profundidad entre el sitio donde se origina el sismo y la zona afectada**

El tipo de terremoto y los daños generados depende en gran medida de la situación del foco o hipocentro, lugar donde se inicia la ruptura de rocas que origina un sismo y cuya profundidad puede variar desde unos cuantos metros hasta 700 km, dando lugar a terremotos profundos (700-300km), intermedios (300-30 km) o superficiales (<30km), a cuya categoría pertenecen el 90% de los terremotos españoles. De igual forma, la distancia entre la zona afectada y el epicentro (proyección vertical del hipocentro sobre la superficie terrestre) es una de las causas de agravamiento más relevantes, considerándose como terremoto local a aquellos que ocurren a distancias menores a 1000km.

#### RELACIONADOS CON EL CONTEXTO POBLACIONAL

- **Tamaño, densidad y desarrollo económico de las poblaciones existentes en la zona afectada**

La distribución de las construcciones dentro de las tramas urbanas constituyen una de las causas de ámbito urbano más importantes, donde se pueden llegar a observar construcciones anexionadas de manera incorrecta entre sí, o incluso una superposición de elementos que da lugar a modelos orgánicos pero con una continuidad estructural entre elementos muy escasa o directamente nula, ligados en muchas ocasiones a un bajo desarrollo económico que se puede llegar a traducir en una ineficaz o inexistente normativa urbanística.

- **Amnesia sísmica**

La conciencia sísmica supone un factor agravante sobre los daños registrados en un terremoto en la medida en que influye directamente en el grado de preparación frente al mismo, materializándose indirectamente sobre aspectos que tienen que ver con la mitigación, conservación y mantenimiento de las estructuras históricas planteadas con fábricas de piedra, ladrillo o adobes.

---

27.- Bertero, Vitelmo V., Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, and Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España). 1992. Lecciones aprendidas de terremotos catastróficos recientes y otras investigaciones: Lessons learned from recent catastrophic earthquakes and associated research. Vol. 410-411. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.

**RELACIONADOS CON INTERVENCIONES PREVIAS**

- **Incompatibilidad material**

La utilización de soluciones materiales de distinta naturaleza puede comportar graves perjuicios a la estructura general de toda la construcción, como consecuencia de posibles dilataciones diferenciales y otras características resistentes que puede acelerar el proceso de deterioro de ciertos elementos, perjudicando a su vez a aquellos otros materiales con una mayor capacidad resistente ante seísmos.

- **Mutilación de los sistemas sismorresistentes existentes**

Tal y como ya se ha mencionado, la sustitución, modificación o eliminación de muchos de los sistemas sismorresistentes presentes en la arquitectura histórica de fábrica pueden llegar a suponer un enorme daño potencial elementos parciales o globales de todo el esqueleto estructural, corrompiendo una de las características resistentes de mayor efectividad frente al sismo, y avalada por siglos de estabilidad en contextos de gran exposición sísmica.

- **Desconexión estructural entre elementos**

Una de las causas concretas que influyen más negativamente en el desempeño estructural de las construcciones antiguas ante situaciones de terremoto es la desconexión estructural entre elemento, aspecto suele ser objeto de fortalecimiento de muchos de los sistemas identificados, y cuya correcta conexión es una de las garantías de estabilidad de las estructuras más vulnerables, ya sea mediante mecanismos de atado o de flexibilización

- **Aumento de la rigidización**

Por su parte, la disposición de sistemas de refuerzo excesivos puede llegar a provocar precisamente el efecto radicalmente opuesto, tal y como ocurrió en el caso de la Basílica de San Francisco de Asís, donde una rigidez excesiva que encorsete la estructural principal puede agudizar los daños registrados en el transcurso de un terremoto, provocando en última instancia el colapso total o parcial de la construcción.

- **Reducción de la ductilidad**

Por contra, una disminución de la flexibilidad estructural puede llegar a desencadenar efectos igualmente dañinos a la hora de absorber la energía sísmica producida en un terremoto, y que, en el caso de algunos elementos, como los de cubrición, suelen agradecer situaciones de cierta ductilidad, adaptando y acompasando las pesadas construcciones de fábrica a los temblores y sacudidas que amenazan estas estructuras históricas de mayores dimensiones.

- **Modificación de la geometría estructural del edificio**

De igual forma, la supresión, adición o transformación de la geometría general de determinados elementos de estas construcciones históricas puede llegar a perjudicar el comportamiento sismorresistente de estas estructuras, ya sea por debilitamiento de ciertas zonas o la disposición de pesos adicionales que alteren el eficaz planteamiento sismorresistente ejercido durante siglos.



**RELACIONADOS CON LA AUSENCIA DE MANTENIMIENTO**

- **Debilitamiento material, ya sea por la acción de xilófagos u otros factores**

La estabilidad estructural de las edificaciones históricas ubicadas en zonas de gran riesgo sísmico depende en gran medida de la correcta conservación de los materiales que conforman las estructuras portantes erigidas en fábrica. A este respecto merece la pena prestar especial atención al posible deterioro que pueden llegar a experimentar algunos de los elementos interiores, ya sea a través de la acción de xilófagos u otros factores que debiliten los refuerzos u otros sistemas de fortalecimiento interno.

- **Deterioro constructivo de los sistemas sismorresistentes existentes**

Una de las causas vinculadas a la aparición de daños relacionados con la acción de los terremotos va ligada precisamente a los sistemas sismorresistentes objeto de la presente investigación, donde su olvido o integración dentro de otros sistemas, sean o no portantes, han acabado por relegando y abandonando algunas de las medidas ya mencionadas en este texto, con una contribución sismorresistente de gran valor para el conjunto de la estructura.

- **Daños y defectos previos ocasionados por otros sismos**

La ausencia de mantenimiento puede llegar a generar situaciones francamente desfavorables a la hora de afrontar episodios sísmicos futuros en zonas con gran actividad telúrica, y cuya acumulación de daños durante distintos terremotos puede dar lugar a deterioros de gran gravedad que podrían evitarse con una periódica y efectiva revisión y conservación orientada a la reparación de grietas, colapsos parciales u otros daños producidos por los desplazamientos horizontales o verticales generados por los sismos.

En lo que respecta a la severidad del terremoto, el alcance de los daños registrados en el transcurso de un terremoto suele ir ligado al grado de intensidad de los mismos, el cual puede categorizarse de la siguiente manera en función del nivel alcanzado en la escala Richter y Mercalli:

- **Nivel de intensidad muy leve:**

Grados I - III en la Escala Mercalli

Grados 0 - 3,9 en la Escala Richter

- **Nivel de intensidad moderado:**

Grados IV - V en la Escala Mercalli

Grados 4,0 - 4,9 en la Escala Richter

- **Nivel de intensidad medio:**

Grados VI - VII en la Escala Mercalli

Grados 5,0 - 5,9 en la Escala Richter

- **Nivel de intensidad alto:**  
Grados VIII - X en la Escala Mercalli  
Grados 6,0 - 7,9 en la Escala Richter
- **Nivel de intensidad muy alto:**  
Grados XI - XII en la Escala Mercalli  
Grados 8,0 - 8,9 en la Escala Richter

La manifestación de cada uno de estos niveles puede dar lugar a una serie de daños característicos que pueden agruparse en función de los niveles anteriores. De manera general, y en base a estos niveles de intensidad y de daños, podrían identificarse los siguientes daños estructurales más habituales para cada uno de ellos, ya sea sobre obra nueva o construcciones históricas:

- **Daños estructurales ligados a niveles de intensidad muy leve:**  
Sin daños estructurales importantes
- **Daños estructurales ligados a niveles de intensidad moderado:**  
Daños leves en la estructura: aparición de grietas finas en muros puntuales y caída de algunas fábricas ubicadas en las zonas superiores.
- **Daños estructurales ligados a niveles de intensidad medio:**  
Daños leves en la estructura: aparición de grietas y pequeñas cavidades en los muros y caída de fábricas.

Daños moderados en la estructura: aparición de grietas de gran tamaño en los muros, fisuras diagonales en huecos y ventanas, caída de fábricas de gran tamaño en petos y cornisas y movimiento leve de cimentaciones.

Daños graves en la estructura: colapso de revestimientos y piezas de gran tamaño, desplazamiento de fábricas que conforman la estructura, así como tejas y ornamentaciones no portantes.

- **Daños estructurales ligados a niveles de intensidad alto:**  
Daños graves en la estructura: colapso de revestimientos, remates, fábricas de gran tamaño y otros elementos verticales de gran esbeltez, deformación de muros, fallos en las conexiones estructurales, y desplazamiento de las fábricas que conforman la estructura, así como tejas y ornamentaciones no portantes.

Daños muy graves en la estructura: torsión y deformación de estructuras verticales, destrucción de los elementos constructivos de composición material más débil, colapso de paredes y techos, movimiento, debilitamiento o rotura parcial de los elementos de conexión estructural y asentamiento diferencial o rotura de las cimentaciones.

Daños extremadamente graves en la estructura: colapso y destrucción de gran parte de las estructuras de fábrica, así como posibles daños graves en otros materiales de refuerzo, como aceros y hormigones, asentamiento diferencial generalizado en la cimentación y rotura generalizada de los elementos de conexión estructural.

- **Daños estructurales ligados a niveles de intensidad muy alto:**

Daños extremadamente graves en la estructura: colapso y destrucción de gran parte de las estructuras de fábrica, incluso aquellas reforzadas con otros materiales de mayor resistencia, como aceros y hormigones. Posible destrucción total de determinadas construcciones.

Daños extremadamente destructivos y catastróficos en las estructuras: destrucción prácticamente generalizada, daños y colapsos en toda la construcción, tanto en las estructuras principales como en las cimentaciones de éstas, con roturas importantes en el propio terreno.

Para categorizar todos estos daños descritos, de cara a una posible intervención sobre ellos una vez transcurrido el seísmo, se puede adoptar por ejemplo el código de colores implementado después del terremoto de Montenegro de 1979, de 6,9 Mw de magnitud y una intensidad máxima de X en la escala de Mercalli. Este código, reconocido internacionalmente como sistema de información, fue pensado principalmente para su uso en operaciones de rescate, aunque la categorización de daños que propone permite una perfecta extrapolación a la hora de identificar el tipo de daños registrados sobre estructuras históricas afectadas por este tipo de fenómenos sísmicos:

- **Verde: Edificio utilizable, riesgo bajo.**

Grado 1: daños leves y/o superficiales; aparentemente intacto.

Grado 2: daños leves y/o superficiales; no estructurales.

Grado 3: daños leves y/o superficiales en la estructura.

- **Amarillo: Edificio temporalmente fuera de servicio, riesgo medio.**

Grado 1: daños estructurales moderados, en bóvedas, cúpulas y otros elementos de cubrición.

Grado 2: daños estructurales moderados, en muros, columnas y otros elementos verticales.

- **Rojo: Edificio inutilizable, riesgo alto.**

Grado 1: daños estructurales graves, con posibles situaciones de derrumbes, pero reparables.

Grado 2: daños estructurales muy graves, con colapsos parciales de cubiertas y forjados.

Grado 3: daños estructurales extremadamente graves, con colapsos generalizados que requieren la reconstrucción de muros y/o cubiertas, entre otros.

### 5.5.5 MITIGACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA: RECOMENDACIONES

Para evitar muchos de estos daños sobras las construcciones históricas de fábrica afectadas por la acción de los sismos, es vital llevar a cabo una inspección general de los elementos más vulnerables en cuanto las circunstancias lo permitan, asegurando las situaciones de mayor peligrosidad tanto para los propios elementos que conforman el esqueleto portante principal como para las estructuras adyacentes que puedan verse perjudicadas por colapsos parciales en otras zonas del edificio.

Para lograrlo, las intervenciones de restauración y conservación de los sistemas y materiales originales empleados en este tipo de Patrimonio no deberían por tanto estar exentos de un adecuado y periódico mantenimiento de cara a evitar un agravamiento de los efectos sísmicos.

Con el fin de establecer cada una de estas actuaciones de conservación del patrimonio histórico de fábrica y mitigar así el riesgo sísmico de estas construcciones, se pueden diferenciar los siguientes factores cualitativos que ayudan a establecer un análisis priorizado de las distintas intervenciones a implementar sobre este tipo de edificaciones:

- Vulnerabilidad y riesgo sísmico al que se expone la construcción histórica objeto del análisis, en función de los niveles de intensidad planteados en el apartado anterior.
- Valor social, cultural y funcional del edificio, incluyendo aspectos arquitectónicos, simbólicos, identitarios, religiosos, arqueológicos, paisajísticos, urbanísticos, artísticos, científicos o económicos, entre otros.
- Valor constructivo de los sistemas estructurales empleados, así como de los materiales y la configuración interna de los elementos que conforman la estructura principal.
- Reparaciones y restauraciones previas no orientadas a la protección sísmica.
- Intervenciones previas orientadas a la preservación y fortalecimiento de la estructura desde un punto de vista sísmico.
- Existencia de defectos previos visibles a simple vista.
- Naturaleza de las causas del deterioro, ya sean naturales o vinculadas al hombre, y la velocidad de dicho deterioro, de cara a determinar la posible evolución de dichos daños.
- Comportamiento histórico ante terremotos y sismorresistencia de cada uno de sus elementos.



Todos estos parámetros deberían considerarse antes de llevar a cabo cualquiera de las distintas actuaciones de restauración y consolidación propuestas sobre el patrimonio histórico localizado en zonas de gran riesgo sísmico, fomentando así una conservación lo más adecuada posible desde cada uno de los valores incluidos en las diferentes edificaciones históricas de cada región.

A partir de aquí, se pueden establecer una serie de recomendaciones de ámbito general dirigidas al planteamiento de una correcta intervención sobre las construcciones existentes:

#### RECOMENDACIONES GENERALES:

- Microzonificar la vulnerabilidad sísmica para el patrimonio situado en las zonas de mayor peligrosidad.
- Analizar la historia constructiva de la edificación e identificar los posibles sistemas sismorresistentes presentes en el esqueleto estructural, así como una contextualización generalizada sobre las condiciones del entorno.
- Analizar e implementar en la medida de lo posible las soluciones o principios tradicionales desde el punto de vista de su configuración constructiva y material, principalmente aquellos con un desarrollo vernáculo que pueda responder a criterios locales de una región específica.
- Utilizar materiales compatibles desde un punto de vista de su resistencia, composición, rigidez, elasticidad y deformación, entre otros aspectos, respetando la integridad y el carácter de la estructura original.
- Plantear diversas opciones de intervención, lo menos invasivas posible, y evaluar la idoneidad de cada una de ellas, identificando cuáles de ellas influyen en un incremento de resistencia, rigidez o ductilidad de los distintos elementos, sin que ello comprometa la respuesta estructural de cada una de las partes o de todo el conjunto arquitectónico en situaciones de sismo.
- Asegurar una correcta conexión entre distintos elementos, ya sean del mismo tipo estructural o, sobre todo, en aquellos puntos de encuentro entre diferentes sistemas portantes, como sucede entre muros y bóvedas.
- Garantizar un comportamiento unitario que permita cierto movimiento en la estructura principal, basado en el principio de pilar fuerte - columna débil, con elementos de cubrición lo suficientemente flexibles para adaptarse a estos desplazamientos horizontales a la vez que puedan soportar las posibles deformaciones y tensiones provocadas por el movimiento de los elementos portantes verticales, absorbiendo las vibraciones verticales sin llegar a colapsar.
- Determinación de los posibles efectos adversos que podrían introducirse con cada una de las intervenciones planteadas, principalmente desde un punto de vista estructural.

- En general, dar preferencia a aquellas intervenciones que puedan dividirse en etapas, de tal forma que pueda hacerse un seguimiento paulatino y gradual en cada una de las intervenciones parciales.
- Facilitar la reversibilidad de las intervenciones planteadas o la incorporación de futuras medidas correctoras sobre las distintas soluciones introducidas.
- Favorecer una adecuada labor de mantenimiento sobre cada una de las medidas adoptadas en las intervenciones realizadas.
- Involucrar a diferentes perfiles profesionales en la totalidad del proceso de intervención, como arquitectos, ingenieros, geólogos, arqueólogos, historiadores, etc.; y asegurar una adecuada capacitación específica de los mismos, vinculada a la intervención sobre construcciones históricas ubicadas en zonas de gran sismicidad.
- Plantear un estudio periódico de inspección y mantenimiento de las intervenciones realizadas sobre el patrimonio de regiones sísmicas.
- Profundizar en el estudio de la arquitectura histórica de fábrica, su comportamiento sismorresistente y las técnicas empleadas por los constructores de la antigüedad para favorecer una adecuada respuesta ante situaciones de sismo, así como el proceso de deterioro de los distintos materiales que lo conforman.

Por último, y como recopilación de algunas de las medidas de intervención más eficaces para cada una de las situaciones generales más habituales que pueden experimentar las estructuras de fábricas más expuestas a terremotos, se exponen a continuación una serie de recomendaciones específicas en función del grado de intensidad registrado en dichos episodios sísmicos:

#### RECOMENDACIONES LIGADAS A LA CONSERVACIÓN Y EL MANTENIMIENTO:

- **Nivel de intensidad muy leve:**

En estos casos, es recomendable llevar a cabo pequeñas actuaciones de mantenimiento orientadas a la conservación de los elementos superficiales que puedan afectar al deterioro general y al desempeño sismorresistente de la estructura durante el transcurso de un terremoto.

Algunas de las medidas que se pueden implementar en este sentido deberían ir orientadas a mantener las propiedades materiales de las fábricas y morteros empleados, ya sea a través de la eliminación de pequeños microorganismos que se pudieran reproducir en los muros, o la limpieza de las propias fábricas y el mortero utilizado entre ellas.

- **Nivel de intensidad moderado:**

Para terremotos de intensidades entre 4,0 - 4,9 en la Escala Richter, o IV - V en la Escala Mercalli, es aconsejable dirigir los esfuerzos de conservación en la preservación del estado de estabilidad del edificio, principalmente a través del relleno de las juntas de mortero con materiales compatibles y la corrección de la posible aparición de humedades en las estructuras portantes, así como la reparación de posibles grietas que pudieran aparecer puntualmente en los distintos paramentos.

En lo que respecta a las propias fábricas, es importante llevar a cabo una identificación de las piezas que se hayan podido desplazar, reemplazándolas adecuadamente e incluso procediendo al apuntalamiento o anclaje de elementos puntuales que pudieran afectar a la estructura principal, sean o no elementos portantes.

- **Nivel de intensidad medio:**

Después de terremotos de intensidad media, es aconsejable llevar a cabo labores de reparación de las grietas y fisuras que puedan haberse reproducido en los elementos portantes, incorporando tirantes puntuales y otros elementos de atado si fuera necesario, y consolidando las fábricas que se hubieran podido ver afectadas por los desplazamientos ocasionados por las sacudidas del sismo.

De cara a fortalecer algunos de los elementos más vulnerables tras este tipo de sismos, puede llevarse a cabo un recrecido de ciertos elementos, como muros y columnas, siempre con sistemas compatibles con los planteados en la estructura original y atendiendo sobre todo al refuerzo de juntas, huecos, esquinas y elementos de cimentación que pudieran comprometer la estabilidad de los entramados murarios principales.

- **Nivel de intensidad alto:**

Para niveles de intensidad más elevados, las intervenciones planteadas deberán orientarse a medidas de emergencia que respondan a la urgencia y el riesgo de colapso de determinados elementos. A este respecto puede ser pertinente la incorporación de contrafuertes y tirantes de atado temporales entre muros, columnas y otros elementos verticales, asegurando un arriostramiento provisional de la estructura principal antes de llevar a cabo intervenciones de mayor calado sobre los elementos afectados.

En lo que se refiere a la disposición de estos elementos de refuerzo es importante llevar a cabo una distribución simétrica de los mismos, integrando distintos sistemas de amortiguación y aislamiento sísmico en los puntos de encuentro más vulnerables, así como en aquellas juntas más relevantes desde un punto de vista estructural.

Con el fin de intentar contener el agravamiento de los posibles asientos diferenciales de determinadas zonas del edificio, es importante incorporar distintos tipos de mallas de refuerzo para asegurar la unión superficial de las estructuras más afectadas, dando continuidad al esqueleto estructural desde los elementos de cubrición hasta las cimentaciones. En estas últimas, es importante fortalecer y

arriostrar el sistema sobre el que se asienta toda la construcción siempre que sea posible, asegurando una adecuada conexión de todo el sistema de cimentaciones.

Por último, y tras las necesarias medidas de emergencia tras este tipo de terremotos, pueden plantearse intervenciones de restauración más profundas, como devolver la estabilidad estructural original a determinados elementos portantes, como columnas y otros soportes verticales, revirtiendo las posibles inclinaciones registradas en ellos a su posición vertical original.

- **Nivel de intensidad muy alto:**

Para los niveles de mayor intensidad que se han registrado hasta la fecha en las zonas de mayor actividad telúrica, puede que haya muy pocas opciones alternativas a la propia reconstrucción de las estructuras afectadas.

Debido a las violentas sacudidas que se llegan a registrar en este tipo de terremotos, con intensidades por encima de 8 grados en la escala Richter y XI en la escala Mercalli, los daños registrados suelen ir asociados a colapsos prácticamente generalizados de las estructuras de fábrica, con deterioros de gran gravedad que impiden llevar a cabo intervenciones de restauración sobre elementos parciales.

En los casos de destrucción total o parcial de muchas de las construcciones afectadas por estos seísmos, el grado de intervención sobre estas edificaciones debería implicar un análisis y evaluación mucho más profundo a todos los niveles ya mencionados al principio de este apartado, ya que en muchas ocasiones una intervención demasiado integral e invasiva puede acabar acarreado la ruina de los pocos vestigios conservados tras un terremoto de magnitudes tan catastróficas como estas.







## 6.6 Glosario de términos sísmicos

## 5.6 GLOSARIO DE TÉRMINOS SÍSMICOS

**Acción sísmica:** Esfuerzo mecánico aplicado a las construcciones como consecuencia de un terremoto. (PESICAN)

**Aceleración sísmica:** Aceleración del movimiento del terreno producido por las ondas sísmicas generadas por un terremoto. (PESICAN)

**Acelerógrafo:** Instrumento para registrar la aceleración del terreno en función del tiempo. Aparato que tiene como función registrar en una gráfica el movimiento del terreno (aceleración), durante un temblor. (PESICAN)

**Agencia:** Existen varias agencias sismológicas operando actualmente en la Red Mundial, teniendo cada una de ellas una clave con la cual es identificada. Algunas de ellas son: **GUC:** Geophysics, University of Chile (CHILE). **NEIC:** National Earthquake Information Center (USA). **HRV:** Harvard Seismology (USA).

**Aislamiento sísmico:** Sistema usado para limitar la transferencia de fuertes movimientos de tierra a las estructuras. (PESICAN)

**Amplificación:** Fenómeno por el que se incrementan los efectos de un terremoto en una determinada localización debido a una focalización de las ondas sísmicas. Ésta puede ser debida a la topografía terrestre, a la topografía del basamento o a la estructura de los sedimentos. (PESICAN)

**Batimetría:** Estudio de las profundidades oceánicas mediante el trazado de mapas de isóbatas (puntos de igual profundidad). (CSN)

**Batisismo:** Sismo cuyo hipocentro se encuentra a grandes profundidades, hasta 700 Km fuera ya de los límites supuestos para la corteza. (PESICAN)

**Brecha sísmica:** Zona en la que no ha ocurrido un sismo fuerte durante varios años a pesar de que si se hayan registrado en el pasado. (PESICAN)

**Buzonamiento:** Ángulo de máxima inclinación que forma el plano de falla con la horizontal. (PESICAN)

**Centroide:** El centroide es el lugar (x,y,z) donde se coloca la mejor fuente puntual para un terremoto. Matemáticamente es el promedio ponderado del momento sísmico en el plano de falla. (CSN)

**Ciclo sísmico:** Define el periodo de tiempo entre la ocurrencia de terremotos sucesivos en una fuente sismogénica (falla) y los procesos físicos que generan estos terremotos. (PESICAN)

**Colapso:** Ruina completa y brusca de una construcción. (PESICAN)

**Constante sísmica:** En los códigos de construcción se debe tomar en cuenta el comportamiento de amenaza sísmica. A estos valores de aceleración (en unidades de gravedad) que una construcción debe soportar se denomina constante sísmica. (PESICAN)

**Construcción sismorresistente:** Es el tipo de edificio que a través de su diseño y construcción se ajusta a parámetros establecidos por un reglamento o norma que busca desarrollar estructuras con razonable seguridad para la vida. (PESICAN)

**Coordenadas hipocentrales:** Son las coordenadas del foco sísmico. Están formadas por las coordenadas epicentrales y la profundidad focal. (PESICAN)

**Daños estructurales:** El daño severo o colapso de muchas estructuras durante terremotos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un solo elemento o serie de elementos con ductilidad o resistencia insuficiente. (PESICAN)

**Deslizamiento:** Es un movimiento abrupto de tierra y rocas en una pendiente en repuesta a la fuerza de gravedad. Los deslizamientos pueden ser ocasionados por un terremoto u otro fenómeno natural. Los deslizamientos bajo el mar pueden causar Tsunamis. (PESICAN)

**Distancia epicentral:** Distancia entre un observador o una estación sismológica y el epicentro de un sismo, medida sobre la superficie de la Tierra. (CSN)

**Distancia hipocentral** (de profundidad de foco): La del epicentro al foco o hipocentro, evaluada en kilómetros. (PESICAN)

**Ductilidad:** Capacidad que tiene el material de seguir deformándose más allá de su límite elástico sin romperse (zona de deformación plástica). (CSN)

**Elementos en riesgo:** Son aquellos que pueden ser afectados por un terremoto: población, viviendas, infraestructuras, etc. (PESICAN)

**Enjambres (swarms):** En algunas regiones se producen una serie de temblores que no están asociados con ningún terremoto mayor. A estas series se les llama "enjambres sísmicos". Estos son comunes en las regiones volcánicas, pero también suceden en otras regiones no asociadas a la actividad volcánica. (CSN)

**Epicentro:** Proyección vertical del foco o hipocentro sobre la superficie terrestre. (CSN)

**Escala:** Relación entre cualquier magnitud (distancia o superficie) medida en el plano y la homóloga en terreno, dicha relación es variable de un plano a otro, pero constante, cualquiera sea la dirección que se tome en un mismo plano. (CSN)

**Escala de Richter:** Corresponde a la escala de magnitud de un sismo. Es una escala abierta por ambos lados, sin embargo, el terremoto más grande registrado hasta el momento alcanzó una magnitud de 9.5 correspondiendo a una ruptura del orden de 1000 km de longitud, 200 km de ancho con un desplazamiento promedio de 20 m. En el otro extremo de la escala, magnitudes negativas se logran en laboratorios con rupturas milimétricas. (CSN)

**Escala de Mercalli Modificada:** Es una escala de doce grados que mide la intensidad registrada en un lugar específico. Para

un mismo temblor habitualmente se reportan varias intensidades que en general decrecen a medida que la distancia epicentral aumenta. (CSN)

**Esfuerzo:** Valor que mide la fuerza por unidad de área sobre una superficie. (CSN)

**Estación sísmica:** Una posición de tierra en la que se encuentra un instrumento geofísico para una observación. (U-Milwaukee)

**Falla:** Es la superficie de contacto entre dos bloques que se desplazan en forma diferencial uno con respecto al otro. Se pueden extender espacialmente por varios cientos de km. (CSN)

**Falla activa:** Una falla que se considera probable que someterse a movimiento de renovación dentro de un periodo de preocupación para los seres humanos. Las fallas son comúnmente consideradas como activo si se han movido de una o más veces en los últimos años 10,000, pero también pueden ser considerados activos al evaluar el riesgo para algunas aplicaciones, incluso si el movimiento se ha producido en los últimos años 500,000. (USGS)

**Fase post-sísmica:** Periodo del ciclo sísmico después de ocurrido el terremoto, debido a la respuesta visco-elástica de la parte inferior de la litosfera. (PESICAN)

**Foco o hipocentro:** Lugar dentro de la tierra donde se inicia la ruptura de rocas que origina un sismo. La profundidad donde es frecuente localizar los focos sísmicos varía de unos cuantos metros hasta 700 kilómetros. (PESICAN)

**Foreshock:** Movimiento precursor. Un temblor pequeño que normalmente precede a un terremoto más grande desde segundos hasta semanas antes y que se origina en o cerca de la zona de ruptura del terremoto más grande. (PESICAN)

**Gran terremoto:** Se le llama así, al terremoto cuya magnitud es de 8 o más grados en la escala de Richter. (PESICAN)

**Hora o tiempo origen:** Corresponde al momento en que se produce la relajación súbita de los esfuerzos, es decir, el momento en que se inicia la ruptura en el foco. Esta puede ser referida a la hora local u hora estandarizada universal (UTC).

**Intensidad de un sismo:** Es una medida de los efectos producidos por un sismo en personas, animales, estructuras y terreno en un lugar particular. Existen varias escalas de intensidad, como la Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (Wood y Neumann, 1931). En esta escala, los valores de intensidad se denotan con números romanos que clasifica los efectos sísmicos con doce niveles ascendentes en severidad. La intensidad no sólo depende de la fuerza del sismo (magnitud) sino que también de la distancia epicentral, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones del lugar. (CSN)

**Isosistas:** Líneas que unen puntos de igual intensidad sísmica. (CSN)

**Junta total:** Es aquella junta que separa estructuralmente la edificación. Cada parte es una estructura independiente de la otra. (CSN)

**Ley de Gutenberg Richter:** Es una relación empírica que permite relacionar el número de eventos y su frecuencia en una región determinada durante un periodo de tiempo medible. Es conocida como una ley de potencia por lo que se cumple a la micro-escala y a la escala global. (CSN)

**Ley de Omori:** La ley de Omori establece que el número de réplicas decae exponencialmente en una región determinada. Depende de las características del terremoto y de la región. (CSN)

**Magnitud de un sismo:** Es una medida que tiene relación con la cantidad de energía liberada en forma de ondas. Se puede considerar como un tamaño relativo de un temblor y se determina tomando el logaritmo (base 10) de la amplitud máxima de movimiento de algún tipo de onda (P, Superficial) a la cual se le aplica una corrección por distancia epicentral y profundidad focal. En oposición a la intensidad, un sismo posee solamente una medida de magnitud y varias observaciones de intensidad. (CSN)

**Mecanismo focal:** El mecanismo focal indica la geometría del plano de falla asociado a un terremoto (rumbo, manto, o ángulo de inclinación, y deslizamiento), la dirección de los ejes principales de esfuerzo en el foco y el patrón de radiación de las ondas P y S. Es representado gráficamente en una esfera focal, donde se indican las compresiones y dilataciones producidas por un terremoto, constituyéndose así en una herramienta poderosa para la interpretación de los esfuerzos que originan la dislocación (o falla). Diferentes tipos de falla producen cambios importantes de elevación en comparación con otros, de modo que el conocer el mecanismo focal (así como el tamaño y profundidad del evento) permite estimar las amplitudes de los tsunamis generados, si éstos deforman el fondo oceánico. (CSN)

**Microseísmo:** Microterremoto que solo se puede detectar con sismógrafos muy sensibles. (PESICAN)

**Microzonificación sísmica:** La división de una ciudad en áreas de diferentes niveles de peligrosidad sísmica según características locales como geología superficial y la topografía. (PESICAN)

**Momento sísmico:** El momento sísmico M representa el trabajo realizado por una doble pareja de fuerzas, de modo que su resultante sea cero. A partir de esta representación se generan dos planos: el plano de falla y un plano auxiliar. El momento sísmico se describe mediante un tensor de orden 2. (CSN)

**Ondas sísmicas:** Ondas provocadas por un terremoto. Tienen una frecuencia muy baja, de 0,3 a 0,05 Hz. Hay tres tipos de ellas: P, S y L. (PESICAN)

**Oscilaciones libres de la Tierra:** Después de un gran terremoto la tierra comienza a vibrar, como un todo. Estas oscilaciones no son aleatorias si no que solo algunas formas de oscilar son posibles y con cada movimiento solo ciertas frecuencias son admisibles. Se reconocen dos tipos de movimiento: esferoidales (S) y toroidales (T). (CSN)

**Patrón de radiación:** El patrón de radiación (P y S) indica el movimiento de las partículas en torno a la falla que, al activarse, produce ondas P y S. Esta representación se encuentra íntimamente ligada al mecanismo de foco. (CSN)

**Periodo de retorno:** Define el lapso de tiempo promedio entre las ocurrencias de terremotos con un determinado rango de

magnitud; es igual a la recíproca de la frecuencia de ocurrencia. (PESICAN)

**Placa:** Parte de la superficie terrestre que se comporta como una unidad rígida simple. Las placas tienen de 100 a 150 Km de espesor. Están formadas por la corteza continental o corteza oceánica o por ambas, encima del manto superior. Las placas se mueven con relación al eje de la Tierra y de unas a otras. Existen 7 grandes placas (africana, euroasiática, indo-australiana, pacífica, norteamericana, sudamericana y antártica) y varias más pequeñas. (PESICAN)

**Plano de falla:** El plano de falla describe las direcciones de deslizamiento de un bloque con respecto a otro al activarse una falla. El plano de falla queda descrito totalmente por tres ángulos: manto o ángulo de inclinación de la falla, rumbo y ángulo de deslizamiento (dip, strike y slip). (CSN)

**Premonitores o precursoros:** Sismos previos a un evento sísmico importante. Sin embargo, éstos no suceden con la suficiente regularidad como para ser utilizados a modo de predecir terremotos de mayor magnitud. (CSN)

**Rata de actividad sísmica:** Número medio por unidad de tiempo de terremotos con características específicas (por ejemplo, magnitud 6), originados en una falla o área seleccionada. (PESICAN)

**Regionalización sísmica:** Zonificación terrestre de una región determinada caracterizada por la ocurrencia de sismos, diferenciándose una zona de otra por su mayor o menor intensidad. (PESICAN)

**Réplicas o aftershock:** Sismos que ocurren después de un evento sísmico importante. Algunas series de réplicas duran largo tiempo, incluso superan el lapso de un año. La zona que cubre los epicentros de las réplicas se llama "área de réplicas" y sus dimensiones, principalmente de las réplicas tempranas (uno a tres días de ocurrido el evento), son una indicación del tamaño de la falla asociada con el terremoto principal. (CSN)

**Riesgo sísmico:** La pérdida de expectativa de vida (o probable), lesión o daño a las casas que va a suceder, dada la probabilidad de que alguna amenaza sísmica se produce. El riesgo sísmico y riesgo sísmico en ocasiones se utilizan indistintamente. (USGS)

**Seísmo o sismo:** Corresponde al proceso de generación de ondas y su posterior propagación por el interior de la Tierra. Al llegar a la superficie de la Tierra, estas ondas se dejan sentir tanto por la población como por estructuras, y dependiendo de la amplitud del movimiento (desplazamiento, velocidad y aceleración del suelo) y de su duración, el sismo producirá mayor o menor intensidad. (CSN)

**Sismógrafo:** Instrumento que registra los movimientos vibratorios de la superficie de la Tierra en función del tiempo y que son causados por ondas sísmicas (terremotos). (PESICAN)

**Sismograma:** Registro de un movimiento sísmico. Consta de varias fases, cuyo estudio permite calcular la distancia del hipo y epicentro, hora del acontecimiento y su duración. (PESICAN)

**Sismorresistente:** Estructura capaz de soportar un sismo sin sufrir daños considerables. (CSN)

**Sismo tectónico (tipo A):** Fenómeno geológico que se produce cuando hay deslizamiento de bloques de rocas en zonas de fractura. (PESICAN)

**Sistemas de Información Geográficos (SIG):** Análisis que combinan base de datos relacionales con interpretación espacial y resultados generalmente en forma de mapas. Una definición más elaborada es la de programas de computador u ordenador para capturar, almacenar, comprobar, integrar, analizar y suministrar datos terrestres geo-referenciados. (PESICAN)

**Solicitaciones:** Son las fuerzas u otras acciones que afectan la estructura debido al peso propio de la misma, de los elementos no estructurales, de sus ocupantes y sus posesiones, de efectos ambientales tales como el viento o el sismo, de los asentamientos diferenciales y de los cambios dimensionales causados por variaciones en la temperatura o efectos reológicos de los materiales. En general corresponden a todo lo que pueda afectar la estructura. (PESICAN)

**Subducción:** Fenómeno que se produce entre dos placas tectónicas, cuando al encontrarse, una de ellas se desliza por debajo de la otra, produciendo esfuerzos en las rocas de ambas, con la subsecuente ruptura y descarga súbita de energía en forma de sismo. (PESICAN)

**Tectónica de placas:** Teoría del movimiento e interacción de placas. Un intento de explicar terremotos, volcanes y formación de montañas como consecuencia de grandes movimientos de la superficie de la tierra. (PESICAN)

**Temblor:** Sacudida de tierra asociada con sismo o explosión. En un lugar dado, el movimiento sísmico con intensidad entre los grados III, IV y V de la escala de Mercalli Modificada. (PESICAN)

**Terremoto:** Ruptura repentina de las capas superiores de la Tierra, que algunas veces se extiende a la superficie de esta y produce vibración del suelo, que de ser lo suficientemente fuerte causará el colapso de edificios y la destrucción de vidas y propiedades. La magnitud de los terremotos se mide mediante la escala de Richter y la intensidad mediante la de Mercalli. (PESICAN)

**Terremoto grande:** Es un terremoto que llega a tener una magnitud de 7 a 7.99 en la escala de Richter. (PESICAN)

**Terremoto intermedio:** Es aquel cuyo hipocentro se encuentra situado a una profundidad superior a los 30 Km e inferior a los 300 Km. (PESICAN)

**Terremoto local:** Define a los terremotos que ocurren a distancias menores a 1000 km. (PESICAN)

**Terremoto profundo:** Es aquel cuyo hipocentro se encuentra situado a una profundidad comprendida entre los 300 y los 700 Km. (Nunca se ha producido un terremoto a profundidades superiores a los 700 Km). (PESICAN)

**Terremoto superficial:** Es un terremoto cuyo hipocentro se encuentra situado a una profundidad inferior a los 30 Km. La zona de epicentro es muy reducida. (El 90% de los terremotos españoles pertenecen a esta categoría). (PESICAN)

**Terremoto volcánico:** Dícese del terremoto asociado con un movimiento de magma. (PESICAN)



**Tremor:** Inicio del temblor. (PESICAN)

**Tsunamis:** Los terremotos muy grandes, cuyas zonas de ruptura están bajo el mar o en las cercanías de la costa, producen cambios de elevación en la superficie de la Tierra y en el fondo oceánico. Estos cambios topográficos generan perturbaciones en el nivel del mar que se propagan a partir de la región ubicada sobre la zona de ruptura y que pueden alcanzar alturas de varias decenas de metros sobre el nivel normal del mar. Estas perturbaciones se denominan “tsunamis”, término derivado del japonés que significa literalmente ola de bahía. (CSN)

**UTC:** Tiempo universal coordinado. Es la escala del tiempo basado en el segundo atómico corregido en forma continua para guardar una aproximación casi exacta con la rotación terrestre. Es el sistema más común de la medida del tiempo. También se denomina GMT. (PESICAN)

**Velocidad:** En referencia a las sacudidas del terremoto, la velocidad es la velocidad de variación de los desplazamientos de tierra de un punto de referencia durante el paso de las ondas sísmicas del terremoto comúnmente expresado en centímetros por segundo. (USGS)

**Vulnerabilidad sísmica:** Parámetro que nos indica lo propensa que es una construcción a sufrir daños por efecto de un sismo. Se mide por el daño que puede causar un sismo a una construcción. La vulnerabilidad está en función del tipo de construcción y del estado de degradación de la edificación. (CSN)

**Zona asísmica:** Región relativamente exenta de sismos. (PESICAN)

**Zona de divergencia:** También llamado margen constructivo; región donde dos placas se apartan una de la otra, por ejemplo, la cresta central del Atlántico. El nuevo material litosférico se forma en estas regiones. (PESICAN)



## 6.7 Glosario de términos constructivos, por culturas

## 5.7 GLOSARIO DE TÉRMINOS CONSTRUCTIVOS, POR CULTURAS

### ARQUITECTURA GÓTICA

**Aberuador:** canal estrecho, de 1-2 cm, tallado en las caras de los bloques de piedra y relleno de mortero de unión oculto.

**Aljiba:** dovela de nervadura de bóveda. Sillar perteneciente a la plementería de una bóveda.

**Baquetón:** Columna pequeña, delgada y larga, típica de la arquitectura gótica.

**Codal:** arco o cualquier otro elemento colocado horizontalmente entre las jambas de un vano o entre paredes o columnas adyacentes, para evitar que se muevan o se desplomen.

**Enjarrar o enjarrado:** rellenar con material cerámico de desecho (loza quebrada) los senos de las bóvedas para construir sobre ellas terrazas planas. El conjunto de un relleno se denomina enjarrado.

**Enjuta:** muros sobre el trasdós de las bóvedas o cúpulas que montan sobre ellas y estriban sus empujes.

**Enjarje:** pieza de arranque de los arcos o bóvedas.

**Enlechado:** relleno de las llagas mediante una mezcla fluida sin áridos gruesos.

**Fábrica:** asociación de varios materiales como el ladrillo o la piedra. Antiguamente también servía para designar a un edificio completo, especialmente en el caso de las catedrales.

**Formería:** arco que forma la parte estructural de una ventana.

**Hastial:** parte superior de un muro con forma apuntada.

**Hilada:** parte de un muro constituido por una sucesión de sillares con lechos a la misma cota.

**Lecho:** cara inferior de un sillar que sirve de asiento sobre la hilada precedente.

**Llagas:** espacio entre caras de sillares contiguos.

**Loza quebrada:** material cerámico de desecho utilizado para rellenar de manera ligera los senos de las bóvedas para construir sobre ellas terrazas planas.

**Ollería:** material cerámico en general, y en el caso de la "obra nueva", los fallos del horno, vidriados o pendientes de vidriar, que se compraban masivamente para enjarrar.

**Perpiaño:** sillar o piedra que atraviesa o alcanza todo un muro o pared de un lado a otro.

**Piedra postrera:** pieza que forma la clave polar (dovela central más alta de la bóveda), y que permite que el conjunto funcione como una estructura autosuficiente una vez colocada.

**Pilar compuesto o fasciculado:** elemento columnario exento, empleado principalmente en el románico y el gótico, de base polilobulada y formado por un haz de baquetones (en forma de moldura o relieve), generalmente adosados al núcleo central.

**Plementería:** cada uno de los espacios rellenos de piedras o de dovelas que forman las aristas o nervios de una bóveda o cúpula.

**Quebradura:** grieta en una fábrica, producida por la rotura de sillares como consecuencia de sobrepresiones, empujes excesivos, asientos diferenciales u otros.

**Remoledura:** deterioro físico de una fábrica por rotura y arenización de los cantos de los sillares.

**Ripiado:** relleno estructural de elementos de piedra, empleado en muros y pilares.

**Sillar:** piedra labrada con forma de paralelepípedo.

**Tirante:** elemento estructural que puede ser de madera o metálico, utilizado para impedir la separación de los muros o columnas de un espacio cubierto.

## ARQUITECTURA ISLÁMICA

**Badgir:** torres de ventilación.

**Caranvansar:** edificación surgida a lo largo de los principales caminos donde las caravanas que hacían largos viajes de muchas jornadas —de comercio, peregrinaje o militares— podían pernoctar, descansar y reponerse los viajeros y animales.

**Chineh:** capas de barro comprimidas, similares al tapial occidental.

**Kaahegel:** arcilla mezclada con agua y heno que se endurece a medida que se seca y que se utiliza para revestir las paredes y los techos en forma de cúpula.

**Kalaaf:** palabra persa para designar una estructura de madera u otro material, integrada en la estructura de mampostería para homogeneizar las fuerzas sobre la estructura principal. Elemento continuo en una única fila del perímetro exterior o repitiéndose en distintos niveles si varios materiales.

**Karbandi:** expresión iraní que se refiere a todas las decoraciones arquitectónicas tridimensionales de los techos, tales como Muqarnas, Rasmi Bandi o Kase Sazi.

**Kase Sazi:** arquitectónica tridimensional presente en los techos de la arquitectura iraní.

**Khashkhashis:** sistema de refuerzos verticales ubicados entre dos cúpulas, dispuestos normalmente radialmente en el arranque de la cara interior de la cúpula superior. En ocasiones estos muretes vienen asimismo reforzados por un sistema rigidizador con elementos de madera que ata cada uno de estos khashkhashis.

**Khesht:** ladrillo de barro secado al sol.

**Kucheh:** callejuelas estrechas que normalmente incluyen los contrafuertes.

**Madrassa:** escuela teológica.

**Maj-moo'ah:** complejo o grupo de edificios públicos formados por construcciones como mezquitas, escuelas, librerías, baños públicos, bazares, etc.

**Mils:** palabra persa para designar una categoría de estructuras altas como minaretes que se utilizan como puntos de referencia dentro de las ciudades o en las carreteras.

**Muqarnas:** palabra persa para designar una decoración similar a los mocárabes de la arquitectura islámica.

**Qanats:** construcción histórica utilizada para la conducción subterránea de agua hacia los núcleos urbanos.

**Rasmi Bandi:** decoración arquitectónica tridimensional presente en los techos de la arquitectura iraní.

**Saruj:** mortero impermeable de fraguado lento, probablemente inventado por los persas, se aplicó a los tanques de agua y cisternas. Estaba compuesto por 10 partes de cal apagada, 7 partes de ceniza volcánica (o 2 partes de paja de arroz, que contiene sílice), 1 parte de arcilla, 1 parte de arena y una cantidad adecuada de caña (para evitar que se agriete).

**Shabestan:** espacio subterráneo que generalmente se puede encontrar en la arquitectura tradicional de mezquitas, casas y escuelas.

**Shahang:** columna vertical que se solía introducir en el espacio libre que generaban las dos cáscaras de las cúpulas dobles, con el fin de servir de guía durante la obra y asegurar la conexión entre los tirantes de madera incrustados en los khashkhashis.

**Shahang-Hanjar:** técnica de construcción persa que combina la yuxtaposición de mampostería y elementos de madera.

**Sorkee (o surkhi):** mezcla de 1 parte de cal apagada (hidróxido de calcio) y 3 partes de polvo de ladrillo y agua. Se utilizó como revestimiento de superficies en Susa (521 a.C.) y Persépolis.

**Yakhdaan:** depósitos de hielo.

**Yazdi-Bandi:** decoración de tipo no-estructural, versión del KarBandi.



## ARQUITECTURA PRECOLOMBINA

**Acllahuasi:** edificios residenciales para las mujeres especializadas en actividades productivas como la textilería (acllas).

**Amarukancha:** casas de Wayna Qhapaq en el Cusco, ubicadas donde hoy está la iglesia de la Compañía.

**Bahareque:** material utilizado en la construcción de viviendas compuesto de cañas o palos entretreídos y unidos con una mezcla de tierra húmeda y paja.

**Cassana:** casas reales de Pachakuti que daban sobre la plaza de Haucaypata, en Cusco.

**Ceque:** líneas imaginarias que surgían desde Cusco.

**Ch'ampa:** pedazos de tierra cortados directamente en el suelo, y colocados uno encima de otro para construir muros.

**Chullpa:** construcción funeraria de planta cuadrangular o circular, con el interior rematado por una falsa bóveda.

**Corikancha:** templo del Sol, ubicado en Cusco. Fue la construcción religiosa más importante de la ciudad.

**Cuyusmanco:** casas reales al norte de la plaza de Cusco, vinculadas al Inka Wiraqocha.

**Ichu:** Paja

**Inkawasi:** nombre genérico para designar la casa del Inka

**Kancha:** unidad urbanística básica durante el periodo incaico, con forma rectangular. Normalmente engloba tres o más esculturas rectangulares dispuestas de manera simétrica en torno a un patio central. Su función podía variar, desde kanchas destinados para uso residencial como para palacios y templos.

**Kallanka:** recinto rectangular, de gran tamaño y alargado, asociados a centros administrativos y religiosos de gran importancia, que servían como hospedaje de altos funcionarios del imperio incaico. Podían presentar varias puertas, ventanas y nichos e iban cubiertos con techos a dos aguas.

**Llancac Alpa:** barro rojizo con base de pirita, empleada en determinadas construcciones incas para unir los bloques de piedra.

**Llanqui:** capa fina de arcilla utilizada como aglutinante en algunos muros interiores y secundarios.

**Masma:** construcción de una sola pieza que presenta un lado abierto, normalmente uno de los más largos.

**Morillos:** travesaños de madera incrustados en las fábricas pétreas, similar a los empleados para la cubrición de las cabañas vegetales.

**Mortero teotihuacano:** mezcla de piedra volcánica molida y barro.

**Mortero elástico:** mezcla a base de cal o barro con paja.

**Pirka:** muro de construcción rústica y baja altura, realizado en piedra sin labrar y sin mortero.

**Phutu:** nicho.

**Pukara:** fortaleza.

**Pukullo:** bóveda donde se depositaban las momias de los Sapa-Incas u otros personajes importantes.

**Qhapaq-nan:** camino real que unía Cusco con Quito.

**Qollqa:** construcción para el depósito de distintos bienes y productos.

**Quincha:** tejido o trama de junco con que se afianza un techo o una pared de paja, totora o caña.

**Shicras:** sistema de cimentación a base de bolsas hechas con fibras vegetales formando mallas, y rellenas de bloques de piedra.

**Sucanka:** pequeñas torres que se utilizaban como reloj de sol.

**Sunturwasi:** construcciones de planta circular.

**Tambo, o tampu:** construcción situada en los caminos principales del imperio incaico, con uno o varios ambientes, destinados al descanso de los viajeros. Normalmente estos tambos estaban separados por una jornada de distancia a pie.

**Tawantinsuyu:** imperio de los Incas, englobaba a los cuatro suyus.

**Ushnu:** construcción piramidal hecha con fábricas pétreas, utilizada por el Inca para presidir las ceremonias más importantes. Normalmente disponía de cinco plataformas y una escalinata que daba acceso al nivel superior y su construcción iba ligada a los centros administrativos del imperio incaico.

**Waka:** elemento considerado sagrado por la cultura inca. Podía ser desde una montaña a una piedra o un río.

**Wasi:** casa inca.

## ARQUITECTURA BENGALÍ

**At-chala:** templo con doble char-chala.

**Badshah-ka-takht:** trono o galería del gobernante.

**Bangla:** cabaña bengalí.

**Chaitya:** ventana o arco en forma de herradura.

**Chajja:** alero que sobresale sobre soportes.

**Char-chala (chau-chala):** techo bengalí con crestas curvas cruzadas y aleros curvos, en planta cuadrada o rectangular.

**Chattri:** terraza abierta en la azotea.

**Chilla-khana:** sala de meditación.

**Colonette:** esbelta columna ornamental.

**Dargah:** complejo de tumbas.

**Darwaza:** puerta de entrada que puede ir exenta o adosada en grandes murallas de las ciudades.

**Deul:** templo-santuario con forma de torre.

**Do-chala / ek - bangla:** techo bengalí con una sola cresta curva, aleros laterales curvos y extremos a dos aguas, generalmente en un plano rectangular.

**Garbha-griha:** templo-santuario.

**Guldasta:** minarete ornamental delgado, a menudo flanqueando un portal a ambos lados.

**Imambara:** estructura religiosa utilizada para el festival de Muharram.

**Jali:** pantalla perforada, a menudo de piedra.

**Jor-bangla:** cabaña de doble do-chala.

**Kanjuras:** almenas, generalmente como parapeto o friso ornamental.

**Katra:** almacén o mercado.

**Madrassa:** escuela teológica.

**Mandapa:** salón del templo con columnas.

**Medina:** parte de un imambara.

**Pancha-ratna:** templo de cinco pináculos.

**Pistaq:** portal de entrada monumental.

**Ratha:** carro, o templo monolítico en Mahabalipuram.

**Ratna:** torre en miniatura de un templo bengalí.

**Rekha:** templo-santuario con forma de torre.

**Riwaq:** columnata ubicada alrededor del patio de la mezquita.

**Sahn:** patio de la mezquita.

**Serai:** edificio destinado al alojamiento de viajeros y animales, y al almacenamiento en general.

**Shikhara:** torre curva de un templo.

**Stupa:** estructura budista hemisférica y normalmente completamente sólida y masiva en su interior.

**Tahkhana:** subestructura.

**Takht:** plataforma elevada y protegida dentro de una mezquita, ya sea para las damas de la corte, el gobernante o su séquito.

**Terracota:** ladrillo cocido, a menudo utilizado como ornamentación o elemento de cubrición exterior.

**Vihāra:** monasterio budista. También se refiere al refugio temporal para monjes e incluso a un centro destinado al placer.



## 6.8 Bibliografía

## 5.8 BIBLIOGRAFÍA

Existe gran cantidad de literatura relacionada con la arquitectura histórica de fábrica, y también sobre el sismo. La siguiente bibliografía se centra principalmente en literatura que aborda las construcciones de fábrica en áreas sísmicas, comportamiento sísmico, análisis estructural, y otras temáticas relacionadas con el tema en el que se centra esta tesis doctoral.

La bibliografía incluye además artículos relacionados con la intervención en este tipo de patrimonio ubicado en regiones de alta vulnerabilidad, el análisis estructural de diversas construcciones puntuales, así como actas de congresos internacionales que tratan sobre la conservación del patrimonio construido con fábricas de distinto tipo, la intervención en edificios históricos y la historia de la construcción.

La bibliografía recoge principalmente textos en inglés y español, publicados tanto en formato electrónico como impreso.

Agurto Calvo, Santiago. 1987. Estudios acerca de la construcción, arquitectura y planeamiento incas. Lima: Cámara Peruana de la Construcción.

Ahmed b. Jalāl al-Din Fasih-Khvāfi. 2007/1386. Mojmal-e fasihi, 3 vols., Tehran.

Ahmed, Sumaiya. 2016. Mosque Architecture Or Architecture of Mosque: A New Notions of Bengal During the Muslim Rule. *Journal of Islamic Architecture*, 4.

Alam, Edris, Dale Dominey-Howes, Catherine Chagué-Goff, y James Goff. 2012. "Tsunamis of the Northeast Indian Ocean with a Particular Focus on the Bay of Bengal Region—A Synthesis and Review." *Earth-Science Reviews* 114 (1–2): 175–93.

Alam, Edris, y Dale Dominey-Howes. 2016. A Catalogue of Earthquakes between 810BC and 2012 for the Bay of Bengal. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards* 81 (3): 2031.

Ambrose, James E. 1999. Design for earthquakes. United States.

Ambrose, James E., and Dimitry Vergun. 1999. Diseño simplificado de edificios para cargas de viento y sismo. 2ª ed. Mexico [etc.]: Limusa.

Amerlinck, María Concepción. 1986. Relación histórica de movimientos sísmicos en la ciudad de México (1300-1900). México, D.F: Desarrollo Social Socicultur.

Amjad Mohammani, A., Nejad Ebrahimi, A., Shahbazi, Y. 2019. Geometric design of a masonry lattice space dome titled KARBANDI in Persian architecture. *International Journal of Space Structures*, vol 34, (1-2) 22-39



- Amoly, R.S., Khosrojerdi, D., Shafiee, A. y Kamalian, M. 2011. Evaluation of design spectra in iranian seismic code. Conference: 6th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering.
- Andrews, Francis Baugh,d.1936. 1993. The mediaeval builder and his methods. United States.
- Angles Vargas, Víctor. 1990. Sacsayhuaman, portento arquitectónico. Lima, Perú: Industrial gráfica.
- . 1983. Historia del Cusco, book II. Lima, Perú: Industrial gráfica.
- Arce García, I. S. 1996. Elementos y sistemas constructivos antisísmicos en la antigüedad: Aplicación a la restauración de estructuras históricas. Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción (pp. 39-48). Ministerio de Fomento: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX.
- Arnold, Christopher, 1925. 1982. Building configuration and seismic design. United States.
- Ashkan, M., Ahmad, Y. y Arbi, E. 2012. Pointed Dome Architecture in the Middle East and Central Asia: Evolution, Definitions of Morphology and Tipologies. International Journal of Architectural Heritage, 6:1, 46-61.
- Augusti, Giuliano, Marcello Ciampoli, and Stefano Zanobi. 2002. Bounds to the probability of collapse of monumental buildings. Structural Safety 24 (2): 89-105.
- Augenti, N., Parisi, F. 2013. Assessment of unreinforced masonry cross sections under eccentric compression accounting for strain softening. Construction and Building Materials, 41: 654-664, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.039>.
- Bango Torviso, Isidro G. 1992. El románico en España. Madrid: Espasa-Calpe.
- Barbat, Alex H. 1998. El riesgo sísmico en el diseño de edificios. Vol. 3. Madrid: Calidad Siderúrgica.
- Barbat, Alex H., J. Miquel Canet, and Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (Barcelona). 1994. Estructuras sometidas a acciones sísmicas. 2nd ed. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Bassegoda Musté, Buenaventura. 1974. Algunos ensayos sobre técnica edificatoria. Barcelona: Universidad Politécnica de Barcelona.
- . 1970. Atlas de técnica edificatoria. Barcelona: Jover.
- Bazán Zurita, Enrique, y Roberto Meli Piralla. 1999. Diseño sísmico de edificios. México: Editorial Limusa.
- Beltran, Miriam. 1970. Cuzco: window on Peru. New York: Knopf.

- Bérchez, Joaquín. 1997. El arte de la Edad Moderna en Iberoamérica. La Edad Moderna, col. Historia del Arte, 3, Madrid: Alianza Editorial.
- Bernales Ballesteros, Jorge. 1987. Siglos XVI a XVIII, col. Historia del Arte Hispanoamericano, 2, Madrid: Editorial Alhambra.
- Bertero, Vitelmo V., Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, and Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España). 1992. Lecciones aprendidas de terremotos catastróficos recientes y otras investigaciones: Lessons learned from recent catastrophic earthquakes and associated research. Vol. 410-411. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
- BHRC (Building and Housing Research Centre of Iran). 2005. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings, Standard No. 2800-05, 3rd edition, "Building and Housing Research Center" y "Permanent Committee for Revising the Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Building", Tehran, Iran.
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C. 2011. Construcción sismorresistente en tierra: La gran experiencia contemporánea de la pontificia universidad católica del Perú. Informes de la Construcción, 63(523), 41-50. doi:10.3989/ic.10.017
- Borri, A., De Maria, A. 2009. Eurocode 8 and Italian Code. A Comparison about Safety Levels and Classification of Interventions on Masonry Existing Buildings. In: Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop (pp. 237-246). Napoli: Doppiavoce.
- Bosiljkov, Vlatko, Mojmir Uranjek, Roko Žarnić, and Violeta Bokan-Bosiljkov. 2010. An integrated diagnostic approach for the assessment of historic masonry structures. Journal of Cultural Heritage 11 (3): 239-49.
- Brown, Percy. 1942. Indian Architecture (Islamic Period). Bombay: D.B. Taraporevala sons & Co. pvt. Ltd.
- Bureau of Indian Standards. 2002. Indian standard criteria for earthquake resistant design of structures, IS 1893: Part 1, General Provisions and Buildings (Fifth Revision), Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.
- Campana Delgado, C. 2006. Chan Chan del Chimo. Lima, Perú: ORUS.
- Cancino, Claudia. 2009. Estudio de daños a edificaciones históricas de tierra después del terremoto del 15 de agosto del 2007 en Pisco, Perú. Los Ángeles: The Getty Conservation Institute.
- Capitel, Antón. 1988. Metamorfosis de monumentos y teorías de la restauración. Vol. 75. Madrid: Alianza Editorial.

- Casas Gómez, Antonio de las, Santiago Huerta Fernández, Enrique Rabasa Díaz, and Instituto Juan de Herrera. 1996. *Actas del primer congreso nacional de historia de la construcción: Madrid, 19-21 de septiembre de 1996*.
- Cassinello Plaza, Pepa. 2008. *Mechanics and construction of medieval columns. System against earthquakes of the Spanish Gothic Cathedrals*. En *PPUR presses politechniques (Ed.) La colonne. Nouvelle Histoire de la Construction*. Lausanne: École Polytechnique Fédérale de Lausanne. EPFL LTH3.
- . 2006. Influencia del espesor de la junta de mortero en la deformabilidad de las fábricas pétreas medievales. *Materiales De Construcción*, 56(284), 69-80. doi:10.3989/mc.2006.v56.i284.19
- . 2005. Influencia de los terremotos históricos en la construcción de las catedrales góticas españolas. *Annali Di Architettura: Rivista Del Centro Internazionale Di Studi Di Architettura "Andrea Palladio"*(17): 9-20.
- . 2005. Racionalidad sísmica en la arquitectura ojival: Tipos estructurales y constructivos. In. Vol. 1, 249-258. Instituto Juan de Herrera.
- . 2004. *Trazado y estabilidad de la arquitectura gótica*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid. Cuadernos INTEMAC nº 53 (p.p 1 a 46).
- CEN. 2004. ENV 1998-1 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- CEN. 2005. ENV 1998-3 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance, Part 3: Assessment and retrofitting of buildings. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- Ceram, C. W., Luis Pericot, and Manuel Tamayo. 1998. *Dioses, tumbas y sabios*. 1ª ed. Barcelona: Destino.
- Chidiac, Samir E., and Simon Foo. 2000. *Guidelines for the seismic assessment of stone-masonry structures*. Public Works & Government Services Canada. doi:10.13140/2.1.3359.4409
- Chidiac, Samir E. 1993. *Seismic adequacy of old stone masonry buildings*. IABSE Reports: Rapports AIPC: IVBH Reports: 321-8.
- Choisy, Auguste. 1999. *El arte de construir en roma*.
- Choisy, Auguste, Santiago Huerta Fernández, and Francisco Javier Girón Sierra. 1997. *El arte de construir en bizancio*. Madrid: CEHOPU.
- Chowdury, S., Saha, K, Arefin, M.S., y Haque, M. 2019. Investigating the architectural origin of the Gayebi mosque in osmanpur, Sylhet, Bangladesh. *Journal of Islamic Architecture*, 5(4), 243-254.

- Cieza de León, Pedro de, y Franklin Pease G. Y. 2005. *Crónica del Perú: el señorío de los Incas*. Caracas: Fundación Biblioteca Ayacucho.
- Coburn, Andrew, and Robin Spence. 1992. *Earthquake protection*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Correia, Mariana, Paulo B. Lourenço, and Humberto Varum. 2015. *Seismic retrofitting: Learning from vernacular architecture*. Boca Raton: CRC Press.
- Creswell, K. A. C., and Marguerite Gautier-van Berchem. 1969. *Early muslim architecture*. 2nd ed. Oxford: at the Clarendon press.
- Dipasquale, L., Omar, D., & Mecca, S. 2014. Earthquake resistant systems. En M. Correia, L. Dipasquale & S. Mecca (Eds.): *VERSUS: Heritage for tomorrow, vernacular knowledge for sustainable architecture*. Florencia, Italia: Firenze University Press.
- Dani, A. H. 1961. *Muslim architecture in Bengal*. Dacca: Asiatic Society of Pakistan.
- Domoñi, Clelia Mirna. 2011. "Iberoamericano Colonial." *Cuadernos Del Centro de Estudios En Diseño y Comunicación*. Ensayos, no. 37 (September): 107–22.
- Doyle, Hugh. 1995. *Seismology*. Chichester: John Wiley & sons.
- Dutz, Werner F. & Matheson, Sylvia A. 1998. *Parsa (Persepolis) Archaeological sites in Fars (I)*. Yavassoli Publications, Tehran, 144pp.
- Eaton, Richard Maxwell. 1993. *The rise of Islam and the Bengal frontier, 1204-1760*. Berkeley: University of California Press.
- EFE: 25/8/2008. El Partenón servirá como modelo de edificación contra terremotos.
- Escrig Pallares, Félix, Juan B. Pérez Valcárcel, and Universidad de Sevilla. 2004. *La modernidad del gótico: Cinco puntos de vista sobre la arquitectura medieval*. Vol. 4. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Español, Francesca. 2002. *El gótico catalán*. Barcelona: Angle.
- Esponda Cascajares, M., 2004: *Evolución de los criterios de intervención con hormigón armado en la restauración de edificios históricos en España, México e Italia*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ettinghausen, R., Grabar, O. y Jenkins-Madina, M. J. 2001. *Islamic Art and Architecture*, Yale University Press, Singapore.
- Falahat, S. 2014. *Re-imaging the City — A New Conceptualisation of the Urban Logic of the 'Islamic City'*, Springer Vieweg, New York.
- Farshad, M. 1977. On the shape of momentless tensionless masonry domes, *Building and Environment* 12: 81–85.

- Fathi, A., Sadeghi, A., Emami Azadi, M. R. y Hoveidaie, N. 2019. Assessing Seismic Behavior of a Masonry Historic Building considering Soil-Foundation-Structure Interaction (Case Study of Arge-Tabriz), *International Journal of Architectural Heritage*, doi: 10.1080/15583058.2019.1568615
- Feilden, Bernard M. 2003, *Conservation of Historic Buildings*, Architectural Press, London.
- . 1987. *Between two earthquakes: Cultural property in seismic zones*. Italy: ICCROM
- Feizolahbeigi, A., Lourenço, P. B., Golabchi, M., Ortega, J., & Rezazadeh, M. 2021. Discussion of the role of geometry, proportion and construction techniques in the seismic behavior of 16th to 18th century bulbous discontinuous double shell domes in central Iran. *Journal of Building Engineering*, 33, 101575. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101575>
- Fergusson, James. 1899. *History of Indian and Eastern architecture*. New York: Dodd, Mead & Co.
- Ferrigni, F. y Cardona, O. 2005. *Ancient buildings and earthquakes: Reducing the vulnerability of historical built-up environment*. Bari: Edipuglia.
- Fitchen, John. 1981. *The construction of gothic cathedrals: A study of medieval vault erection*. Chicago: University of Chicago Press.
- Font Arellano, J. 2017. Algunas fuentes escritas sobre la construcción precolombina. En *Actas del décimo congreso nacional y segundo congreso internacional hispanoamericano de historia de la construcción*. Donostia - San Sebastián, 3 - 7 octubre 2017. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Galadini, F., Hinzen, K., y Stiros, S. C. 2006. Archaeoseismology: Methodological issues and procedure. *Journal of Seismology*, 10(4), 395-414. doi:10.1007/s10950-006-9027-x
- Galbis Rodríguez, José, and Instituto Geográfico, Catastral y de Estadística (España). 1932. *Catálogo sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5° E. y 20° W. de greenwich y los paralelos 45° y 25° N*. Madrid: Imprenta de Ramona Velasco.
- Galdieri, E. 1998. *Tecnología y fantasía en las construcciones de tierra*. Encuentros Internacionales de Navapalos. Ministerio de Fomento, Madrid.
- Ganse, Robert A., John B. Nelson, and World Data Center A for Solid Earth Geophysics. 1981. *Catalog of significant earthquakes: 2000 B.C. - 1979 including quantitative casualties and damage*.
- Garate Rojas, I., 1994: *Artes de la cal*. Ministerio de Cultura. Instituto Español de Arquitectura. 2ª edición, p. 298.
- García Acosta, Virginia. 1996. *Los sismos en la historia de México*. Mexico.



- Gasparini, Graziano y Luise Margolies. 1980. *Inca architecture*. United States, Bloomington: Indiana University Press.
- Gavarini, Carlo. 2001. Seismic risk in historical centers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 21 (5): 459-66.
- Gendrop, P., & Heyden, D. 1989. *Arquitectura precolombina*. Madrid: Madrid Aguilar Asuri.
- . 1975. En Nervi P. L. (Ed.), *Arquitectura mesoamericana*. Madrid: Madrid Aguilar.
- Gentil Govantes, Pilar. 1989. *El riesgo sísmico de Sevilla*. Vol. 11. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Ghorbani, Rahim. 2014. *Context-sensitive seismic strengthening and repair of substandard confined masonry*. ProQuest Dissertations Publishing.
- Gilabert Sansalvador, L. 2017. La cabaña como arquetipo de la arquitectura maya. En *Actas del décimo congreso nacional y segundo congreso internacional hispanoamericano de historia de la construcción*. Donostia - San Sebastián, 3 - 7 octubre 2017. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Giuffrè, Antonino. 1988. *Monumenti e terremoti*.
- Guerrero Baca, L. F. 2018. Identificación y valoración del patrimonio precolombino construido con tierra modelada. *Anales Del IAA*, 48(1), 125-141. Recuperado de: <http://www.iaa.fadu.uba.ar/ojs/index.php/anales/article/view/268/456>
- Harle, J. C. 1986. *The art and architecture of the Indian subcontinent*. Harmondsworth, Middlesex, England: Penguin Books.
- Harvey, William. 1925. *The preservation of st Paul's cathedral and other famous buildings: A text book on the new science of conservation, including an analysis of movements in historical structures prior to their fall*. London: Architectural Press.
- Hasan, P. 2007. *Sultans and mosques: The early Muslim architecture of Bangladesh*. London: I.B.Tauris & Co.
- . 1999. Mosque design and changing ruling class identities in Bengal. *Proceedings of Symposium on Mosque Architecture*, Vol. 2B, pp 131-146, College of Architecture & Planning, King Saud University (1419H-1999)
- . 1989. Sultanate mosques and continuity in Bengal Architecture. *Muqarnas* 6 (January): 58-74.
- Hasan, S. M. 1983. *Glimpses of Muslim Art and Architecture*. Dhaka: Islamic Foundation of Bangladesh.
- . 1980. *Muslim monuments of Bangladesh*. 2nd edition. Dhaka: Islamic Foundation of Bangladesh.

- . 1971. Mosque architecture of pre-Mughal Bengal. Dhaka: The academy for Pakistan affairs.
- Hearn, M.F. 1999. The architectural theory of Violet le Duc. Readings and Commentary. MIT Press 1999
- Herdeg, K. 1990. Formal Structure in Islamic Architecture of Iran and Turkistan. New York: Rizzoli, 1990.
- HBRI (Housing and Building Research Institute). 2017. Bangladesh national building code, 2017 (BNBC 2017). Housing and Building Research Institute y Bangladesh Standards and Testing Institution, Dhaka, Bangladesh.
- . 1993. Bangladesh national building code, 1993 (BNBC 1993). Housing and Building Research Institute y Bangladesh Standards and Testing Institution, Dhaka, Bangladesh.
- Hejazi, M., Mohammad Moayedian, S. y Daei, M. 2015. Structural Analysis of Persian Historical Brick Masonry Minarets. Journal of Performance of Constructed Facilities. Vol. 30, Issue 2. doi: 10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000746.
- Hejazi, M. 2003. Seismic vulnerability of Iranian historical domes. 72. 157-165.
- Hejazi, B & Hejazi, M. 2014. Persian wind towers: architecture, cooling performance and seismic behaviour. International journal of design & nature and ecodynamics, vol. 9, no. 1, pp. 56-70. ISSN 1755-7437. DOI 10.2495/DNE-V9-N1-56-70.
- Hejazi, M. y Mehdizadeh Saradj, F. 2014. Persian architectural heritage. Architecture, Structure and Conservation. Southampton: WIT Press.
- Hewett, Edgar Lee. 1968. Ancient Andean Life. New York: Biblo & Tannen Publishers.
- Heyden, Doris. 1975. Pre-columbian architecture of mesoamerica. United States.
- Heyman, Jacques. 1999. El esqueleto de piedra: Mecánica de la arquitectura de fábrica. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- . 1996. Arches, vaults and buttresses: Masonry structures and their engineering. Hampshire: Variorum.
- . 1995. Teoría, historia y restauración de estructuras de fábrica. Reverte.
- Hosseinzadeh, N. 2012. On the Vibration Mechanism of Historical Menar-Jonban Monument in Iran.
- Huerta Fernández, Santiago, and Instituto Juan de Herrera. 2004. Arcos, bóvedas y cúpulas: Geometría y equilibrio en el cálculo tradicional de estructuras de fábrica. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

- Hugo Giuliani, Profesor de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura e Investigador del Instituto de Investigaciones Antisísmicas «Ing.Aldo Bruschi» Universidad Nacional de San Juan, Adriana Citrinovitz, Universidad Nacional de San Juan, Silvia Aladro, Universidad Nacional de San Juan, Hemilce Benavidez, and Universidad Nacional de San Juan. 1987. *Arquitectura sismo-resistente. Un nuevo enfoque para la solución integral del problema sísmico | seismo-resistant architecture.*
- Hurtado Valdez, P. 2010. Los sismos y la restauración del patrimonio en tierra en Perú. En *Arquitectura construida en tierra, tradición e innovación. Congresos de arquitectura de tierra en cuenca de campos 2004/2009* [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid.
- Ibarra, Macarena, Marco Barrientos Monsalve, and Fernando Pérez Oyarzun. 2011. Los sismos y su disciplina: La construcción de una catedral. *Arq* (77): 16-21.
- Imashi, N. y Massumi, A. 2011. A Comparative Study of the Seismic Provisions of Iranian Seismic Code (Standard No. 2800) and International Building Code 2003. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*. 12. 579-596.
- Kasangian, Harutiun. 1984. Caratteri antisismici delle costruzioni tipo hripsimé.
- Kazimee, B. A. y Rahmani, A. B. 2003. *Place, Meaning, and Form in the Architecture and Urban Structure of Eastern Islamic Cities*, Edwin Mellen Press, Lewiston, New York.
- Keefe, Laurence. 2005. *Earth building: Methods and materials, repair and conservation*. London [etc.]: Taylor & Francis.
- Kennedy, H. 2007. *Las grandes conquistas árabes*. Crítica, Barcelona, 2007
- Kerisel, Jean. 1987. *Down to earth: Foundations past and present: The invisible art of the builder*. Rotterdam: A.A.Balkema.
- Khondker, Shirajom. 2019. Study of the Distinguishing Features of Mughal Mosque in Dhaka: A Case of Sat Gambuj Mosque. *Creative Space*. 6. 85-100.
- Kirikov, B. A. 1992. *History of earthquake resistant construction: Some pieces of writing on the history of earthquake resistant construction from ancient to our days*. Madrid: Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
- Kuroiwa, Julio. 2002. *Reducción de desastres: Viviendo en armonía con la naturaleza*. 1ª ed. Lima: J. Kuroiwa.
- Lacarra Duca, María Carmen. 2004. *Arquitectura religiosa del siglo XVI en España y Ultramar*. Zaragoza: Institución "Fernando el Católico", Excma. Diputación de Zaragoza.

- Langenbach, Randolph & EERI, M. 2005. Performance of the Earthen Arg-e-Bam (Bam Citadel) during the 2003 Bam, Iran, Earthquake. *Earthquake Spectra - EARTHQ SPECTRA*. 21. 10.1193/1.2113167.
- Lumbreras, L. G., 1977. Excavaciones en el templo antiguo de Chavín (sector R); informe de la sexta campaña. *Ñawpa Pacha: Journal of Andean Archaeology*, 15: 1-38.
- Maldonado Ramos, Luis, David Rivera Gámez, and Fernando Vela Cossío. 2005. Los estudios preliminares en la restauración del patrimonio arquitectónico. Madrid: Mairera.
- Manafpour, A.R. 2008. Bam earthquake, Iran: Lessons on the seismic behaviour of building structures. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17, 2008, Beijing, China.
- Mar, Ricardo, y Beltrán-Caballero, J. Alejandro. 2015. El conjunto arqueológico de Saqsaywaman (Cusco): Una aproximación a su arquitectura. *Revista Española De Antropología Americana*, 44(1), *Revista española de antropología americana*, 2015-02-13, Vol.44 (1).
- Mark, Robert. 1990. *Light, wind and structure: The mistery of the master builders*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Martínez Mendoza, R. 2015. Análisis comparativo de las normas de diseño sismo-resistente en los países latinoamericanos colindantes al cinturón de fuego. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga.
- Mas Guindal, Antonio J. 1996. Criterios de intervención y recomendaciones de diseño a sismo en las estructuras de patrimonio histórico (Criteria for intervention and recommendations on seismic design in structures of the historical heritage). *Informes de la Construcción*, 48(443): 5-14, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.1996.v48.i443.1002>.
- . 2005. La concepción estructural de la fábrica en la arquitectura. *Informes de la Construcción* 56 (496): 3-12.
- McCutchion, David. 1972. *Late mediaeval temples of Bengal: origins and classification*. Calcutta: Asiatic Society.
- Mele, E., De Luca, A., Giordano, A. 2003. Modelling and analysis of a basilica under earthquake loading. *Journal of Cultural Heritage*, 4(4): 355-367, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2003.03.002>.
- Meli Piralla, Roberto. 2000. *Diseño estructural*. 2ª ed. México: Limusa.

- Mendonça, Joachim Joseph Moreira de, and Antonio Vicente da Silva. 1758. *Historia universal dos terremotos, que tem havido no mundo, de que ha noticia, desde a sua criação até o seculo presente. com huma narraçam individual do terremoto do primeiro de novembro de 1755, ... em lisboa ... algarves ... e mais partes da europa, africa, e américa ... e huma dissertação phisica sobre as causas generaes dos terremotos*. Lisboa: na Offic. de Antonio Vicente da Silva.
- Michell, George. 1984. *The islamic heritage of Bengal*.
- . 1978. *Architecture of the Islamic World — Its History and Social Meaning*, Thames and Hudson Ltd, London.
- Mira, Eduardo, Arturo Zaragozá, and Comunidad Valenciana Consejería de Cultura y Educación. 2003. *Una arquitectura gótica mediterránea: Exposición*. Valencia: Conselleria de Cultura i Educació.
- Monjo Carrió, Juan. 2010. *La accesibilidad al patrimonio histórico*. Accessibility in the built heritage.
- . 2010. *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Nueva adaptada al Código técnico de la edificación. Madrid: Munilla-Lería.
- . 2003. *Tratado de construcción: Fachadas y cubiertas*. Madrid: Munilla-Lería.
- . 2001. *Tratado de construcción: Sistemas*. Madrid: Munilla-Lería.
- Montandon, Frédéric. 1953. *Les tremblements de terre destructeurs en europe, catalogue par territoires séismiques de l'an 1000 à 1940*. Switzerland.
- Moreno-González, R., Bairán, J.M. 2011. Seismic performance analysis of the masonry buildings, typical of the Eixample District of Barcelona. *Informes de la Construcción*, 63(524): 21-32, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.10.045>.
- Moropoulou, A., A. S. Cakmak, G. Biscontin, A. Bakolas, and E. Zendri. 2002. Advanced byzantine cement based composites resisting earthquake stresses: The crushed brick/lime mortars of justinian's hagia sophia. *Construction and Building Materials* 16 (8): 543-52.
- Motamed, Jubin. 2004. *The Bam earthquake of 26 December 2003, Iran*. EEFIT Website Institution of Structural Engineer.
- Mowla, A. y Naqi, M.A. 1993. *An appraisal of Khan-Jahan style in architecture*. Khulna University Sutides, volume 1.
- MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones de Perú). 1985. *Norma Técnica de Edificación NTE E. 080 Adobe*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Munuera, José María. 1965. *La actividad sísmica en la región de la península ibérica hasta fines de 1960*.



- Naderzadeh, A. 2009. Application of seismic base isolation technology in Iran.
- Naqi M.A., Rahaman, H., y Hossain, Sk Maruf. 2004. A Study on the Structural Components of Buildings of Khan-e-Jahan Style, Bagerhat. Research funded by Khulna University Research Cell, Khulna University.
- Navascués Palacio, Pedro. 2000. Las catedrales del nuevo mundo. Madrid: Ediciones El Viso.
- Navascués Palacio, Pedro, Ricardo Córdoba de la Llave, Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (Madrid), and Fundación Juanelo Turriano. 2008. *Ars mechanicae: Ingeniería medieval en España: Exposición*. Madrid: CEHOPU.
- Nazari, S. 2017. Typology and geometrical and Structural Analysis of Yazdi-Bandi in Iranian Architecture. *Honar-Ha-Ye-Ziba: Memory of Shahrsazi*, 22(1), 53-64.
- Noval Melian A., Ortega Andrade F. 1995. Calculando el pasado. La Bóveda del Palacio de Ctesifonte. *Revista de Edificación RE*. N° 20, junio 1995
- Ocaña, D. 1987. A través de la América del sur [1600]. *Historia* 16, Madrid.
- Olarte, J., Ricardo Proaño, Hugo Scaletti, Miguel Torres Matos y Carlos Zavala. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la catedral del Cusco.
- Ortega Andrade, Francisco. 1999. La obra de fábrica y su patología.
- . 1998. *Historia de la construcción*. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas.
- Palacios Gonzalo, José Carlos. 2009. La cantería medieval: La construcción de la bóveda gótica española. Madrid: Munilla-Lería.
- Parisi, F., Augenti, N. 2012. Seismic capacity of irregular unreinforced masonry walls with openings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 42(1):101-121, doi: <http://dx.doi.org/10.1002/eqe.2195>.
- Paternosto, César, 1931. 1996. *The stone and the thread: Andean roots of abstract art*. United States.
- Penna, A. 2015. Seismic assessment of existing and strengthened stone-masonry buildings: Critical issues and possible strategies. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(4), 1051-1071. doi:10.1007/s10518-014-9659-0
- Peña, Yolanda Hernández, and German Vargas Cuervo. 2015. Hacia la construcción de conocimiento emergente para la gestión local del riesgo. *Cuadernos de Geografía* 24 (2): 15.
- Pinto, P.E. 2005. The Eurocode 8-Part 3: the new European Code for the seismic assessment of existing structures. *Asian J. Civil Eng. (Building and Housing)*, 6(5): 447-456.

- Poirier, J. P., and M. A. Taher. 1980. Historical seismicity in the near and middle east, north Africa, and Spain from arabic documents (VIIth-XVIIIth century). *Bulletin of the Seismological Society of America* 70 (6): 2185.
- Protzen, Jean-Pierre, y Robert Batson. 1993. *Inca architecture and construction at Ollantaytambo*. New York: Oxford University Press.
- Rabasa Díaz, Enrique. 2000. *Forma y construcción en piedra: De la cantería medieval a la estereotomía del siglo XIX*. Vol. 1. Madrid: Akal.
- Rahaman, Hafizur y Darain, Kh Mahfuz ud. 2007. A Description of Buildings in Khalifatabad City, Bagerhat. *Protibesh, Journal of the Department of Architecture, BUET*. 11. 17-22.
- Ramírez, Pedro Rueda, and Manuel Fernández Chaves. 2008. El terremoto como noticia: Relaciones de sucesos y otros textos del temblor de 1680(1) / The earthquake as news. News pamphlets and other texts of tremor of 1680. *Estudios Sobre El Mensaje Periodístico* 14: 581.
- Ramírez Sánchez, Enrique. 2018. Sistemas constructivos antisísmicos en el patrimonio histórico de fábrica ubicado en Iberoamérica: analogías y taxonomía. *Actas del Primer Coloquio Colombiano de Historia de la Construcción*. Bogotá, 11 - 12 octubre 2018. Colombia: Bogotá.
- . 2017. Sistemas antisismo en la arquitectura histórica de fábrica. *Actas del Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*. Donostia - San Sebastián, 3 - 7 octubre 2017. Madrid: Instituto Juan de Herrera.
- Ramos, A. y León, J. 2013. Clasificación morfológica de los rellenos en el trasdós de bóvedas de fábrica. *Informes de la Construcción*, 65 (532): 471-480. doi: 10.3989/ic.12.062
- Rashid, M.M. 2008. Defining the Central Structure Of Sompur Mahavihara. *The International Journal of Bengal Art*, Vol. 11, International Centre for Bengal Arts, Dhaka, pp. 212-25.
- Rodríguez, G. 2015. Guerrero R., Pease M. E., eds. *Culturas antiguas del Perú: Caral. Hacia la primera civilización de América*. Lima: Editorial Septiembre S.A.C.
- Sabbadini, Franco, and Giorgio Croci. 2001. *El comportamiento estructural de las catedrales góticas*.
- Saraswati, S.K. 1976. *Architecture of Bengal*. Calcutta: Bharadwaj & Co.
- Saremi Naeeni, D., Hasangholinejad Yasoori, K. 2016. Studying the Effect of Continent on Three Important Mosque of Timurid Period (Blue Mosque of Tabriz, Goharshadjame Mosque, Jame Mosque of Yazd). *Modern Applied Science* vol 10, nº 2. Canadian Center of Science and Education.

- Scaletti, A., y Mazzanti, C. 2018. Cusco, 1650: Terremoto, renovation and tradition in the heart of the Andes. XIVth Conference Urban renewal and resilience / Rénovation et résilience urbaine, European Association for Urban History, Roma, 29 August - 1 September.
- Shady, R., Cáceda, D., Crispín, A., Machacuay, M., Novoa, P., & Quispe, E. 2009. Caral. La civilización más antigua de las Américas: 15 años develando su historia (1ª edición ed.). Lima: Zona Arqueológica Caral-Supe / Ministerio de Cultura del Perú.
- Siegesmund, Siegfried, and Rolf Snethlage. 2014. Stone in architecture: Properties, durability. 5; Fifth; 5th ed. Dordrecht: Springer Berlin Heidelberg.
- Silgado Ferro, E. 1985. Terremotos destructivos en américa del sur: 1530-1894. Programa para la mitigación de los efectos de los terremotos en la región andina (proyecto SISRA). Lima, Perú: Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS).
- Sobrino González, Miguel. 2009. Catedrales: Las biografías desconocidas de los grandes templos de España. 1ª ed. Madrid: La Esfera de los Libros.
- . 2005. Barcelona. Las razones de una catedral singular. Goya: Revista de arte, ISSN 0017-2715, N° 307-308, 2005, págs. 197-214.
- Stiros, S. C. 1995. Archaeological evidence of antiseismic constructions in antiquity. *Annals of Geophysics*, 38(5) doi:10.4401/ag-4056
- Syngellakis, S. 2013. Heritage masonry: Materials and structures. SOUTHAMPTON: WIT Press.
- Tanizaki, Junichiro. 1994. El elogio de la sombra. 1ª, 18ª reimp. ed. Vol. 1. Madrid: Siruela.
- Torroja, E. 1957. Razón y Ser de los tipos estructurales. Edición: Instituto de la Construcción y del Cemento. Madrid
- Tributsch, Helmut. 2017. On the reddish, glittery mud the Inca used for perfecting their stone masonry. *SDRP Journal of Earth Sciences & Environmental Studies* 3(1).
- Trump, David H. 2002. Malta, prehistory and temples. Malta.
- Valibeig, N., Rahravi Poodeh, S. & Rahimi Ariaei, A. 2017. Structural and Geometric Analysis of Discontinuous Double-Shell Persian Domes in Isfahan and Nain Dome-Building Schools, *International Journal of Architectural Heritage*, 11:8, 1101-1120. doi: 10.1080/15583058.2017.1325540
- Vargas, J., Iwaki, C., & Rubiños, A. 2011. Evaluación estructural del edificio piramidal la galería. Proyecto Especial Arqueológico Caral-Supe. Fondo del Embajador EEUU.
- Vargas Neumann, J. 2016. Patrimonio precolombino en Perú. Lisboa: ATAL, Argumentum.
- Vega, Garcilaso de la, y Andrés Soria Olmedo. 2015. Comentarios reales: sobre el Imperio de los Incas del antiguo Perú.

- Viollet-Le-Duc, Eugène Emmanuel, Enrique Rabasa Díaz, and Santiago Huerta Fernández. 1996. La construcción medieval: El artículo "construcción" del dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI au XVI siècle. Madrid: CEHOPU.
- Vita-Finzi, C. 1983. N. N. Ambraseys y C. P. Melville: A history of persian earthquakes (book review). Londres: University of London, School of Oriental and African Studies.
- Von Simson, Otto. 1995. La catedral gótica. Madrid: Alianza Forma.
- Williams León, Carlos. 1981. Arquitectura y urbanismo en el antiguo Perú. Historia del Perú 8. Lima: Editorial Juan Mejia Baca.
- Wright, Kenneth. 2013. Inca Foundations, Site Preparation, and Drainage at Machu Picchu. Practice Periodical on Structural Design and Construction. 18. 131-142. 10.1061 / (ASCE) SC.1943-5576.0000146.
- Zahrai, Seyed Mehdi & Heidarzadeh, Mohammad. 2004. Seismic performance of existing buildings during the 2003 Bam Earthquake. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada. August 1-6, 2004. Paper No. 1715.
- Zink, David D. 1979. The ancient stones speak. A journey to the world's most mysterious megalithic sites.
- Zoka, Y.1990. The Earthquakes of Tabriz, Ketabsara Publication, Tehran.







## 6.9 Agradecimientos

## 5.9 AGRADECIMIENTOS

Esta tesis doctoral no hubiera sido posible sin la generosidad de muchas personas que han contribuido de una u otra forma a la consecución de los objetivos marcados para el correcto desarrollo de esta investigación, ya sea a través de su conocimiento, experiencia o apoyo incondicional.

En primer lugar, quiero enviar mis palabras de agradecimiento a cientos de kilómetros de distancia, a Amir, Mohsen, Jalal, Arash, Arezu, Junior y Amadeo, por compartir reflexiones y conocimientos sobre la arquitectura histórica de Irán, Perú y Bengala, y con quien he tenido la suerte de descubrir tres regiones del planeta de un valor incalculable, tanto por el extenso y maravilloso patrimonio que albergan, como por la amabilidad y hospitalidad de los pueblos que las habitan. Gracias por abrirme vuestras puertas y compartir conmigo la sabiduría de vuestras culturas, de la que tanto nos queda por aprender.

También quiero acordarme de mi profesor de cantería, Miguel. Gracias por transmitirme todo tu entusiasmo y contagiarme tu pasión por la arquitectura y la construcción histórica, enseñándome a "leer" en la piedra y darle voz a punta de cincel. Gracias por enseñarme a amar lo que hago y vivir intensamente cada lección, con una dedicación y devoción digna del mejor maestro.

Me gustaría agradecer también de una manera especial a mis dos directores de tesis, Juan y Pepa, mis mentores en todo lo referido a la arquitectura y la construcción histórica durante todo este recorrido juntos:

Gracias Juan. Por acompañarme en este camino y guiarme sabiamente con tu experiencia y criterio, aportando siempre una crítica positiva que me ha servido para avanzar en todo este proceso.

Gracias Pepa. Por animarme a emprender este trayecto y despertar en mí una inquietud por un tema apasionante, transmitiéndome tu ilusión y una emoción desbordante por conocer los misterios que alberga el patrimonio construido más allá de nuestras fronteras. Tu pasión y confianza constante me han llenado de energía para emprender este reto.

Para finalizar, quiero recordar a todas aquellas personas que posibilitaron esta travesía y la dotaron de un sentido que trasciende el ámbito académico.

Gracias a mi familia y amigos, por su cariño y atención durante todo este tiempo.

A mis hermanos, Raúl y Nacho, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi madre, la luz infinita que alumbra cada uno de mis días con su amor inquebrantable, y cuyo resplandor incesante me anima a seguir mirando siempre hacia adelante. Gracias por ser una pieza fundamental para alcanzar todo lo que he conseguido en mi vida, acercándome horizontes que parecían intangibles, y recordando y demostrándome diariamente que nada es imposible.

También quiero recordar, tal y como hago cada día, a mi padre, quien me enseñó el valor del esfuerzo y la constancia a la hora de perseguir cualquier reto que me propusiera. Tu inquietud por la historia, el patrimonio y la cultura me acompañarán siempre. Tu tenacidad, integridad e inteligencia son el mejor espejo al que cualquier persona puede asomarse. Gracias por colmar de cariño y alegría cada instante de mi vida.

Por último, gracias a la persona que más ha sufrido y disfrutado conmigo durante todo este camino. Mi consejera en los momentos decisivos, mi compañera en este viaje vital. Sin ti nada de esto hubiera sido posible. Gracias Laura.

GRACIAS.





*"Es la memoria de lo que fuimos la que nos hace comprender quiénes somos y quiénes queremos ser. Aprender de nuestros logros y de nuestros errores, para perseverar en los unos y no volver a caer en los otros"*

G. Corral