



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

**CONSTRUCCIONES DE ADOBE**  
**BASES PARA UN CODIGO**  
**SISMO RESISTENTE**

ING. JULIO VARGAS NEUMANN \*

\* , DIRECTOR DE INVESTIGACION  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

Lima, Diciembre de 1980



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA**

**CONSTRUCCIONES DE ADOBE**  
**BASES PARA UN CODIGO**  
**SISMO RESISTENTE**

**ING. JULIO VARGAS NEUMANN\***

**\* DIRECTOR DE INVESTIGACION  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA**

**Lima, Diciembre de 1980**

# CONSTRUCCIONES DE ADOBE

## BASES PARA UN CODIGO SISMO RESISTENTE

### 1. ANTECEDENTES

*Muchos países se han cuestionado acerca de la conveniencia de reglamentar la construcción de adobe. El Perú, de acuerdo a su realidad, optó por la implementación de un código antisísmico que posee un capítulo para dichas construcciones (1).*

*En abril de 1977 se aprobó el Reglamento Nacional de Construcciones con esta singularidad, sin embargo, no alcanzó a recoger los resultados de las investigaciones que antes de esa fecha se realizaron y continúan aún realizándose (2, 3, 4, 5 y 6).*

### 2. ALCANCE

*Las disposiciones de este proyecto, pueden aplicarse al diseño y construcción de muros constituídos por adobe y tapial, así como servir de referencia para mampostería de piezas de ladrillo, piedra artificial o natural, suelo-cemento, etc., asentadas con mortero de barro.*

*Se contempla construcciones de adobe con y sin refuerzo, diferenciando los materiales utilizados según se trate de obras rurales o urbanas. Esto incluye la utilización de morteros enriquecidos.*

### 3. MATERIALES

#### 3.1. UNIDADES

##### 3.1.1. TIPOS DE UNIDADES

*Las unidades usadas en elementos estructurales de mampostería no tendrán restricción alguna en sus dimensiones, pero se recomienda que éstas sean paralelepípedos de proporciones enmarcadas entre 1:1:3 y 1:4:8 para el caso del adobe y tapial.*

*Las unidades serán macizas y se utilizarán sólo después de un mes de secado.*

*En cuanto a la composición de la mezcla para fabricar las unidades, se recomienda los siguientes lineamientos:*

- Los compo.entes mínimos serán agua, arcilla, limo y arena. Se considerará como partículas de arcilla las menores de 0.002 mm., de limo las comprendidas entre 0.002 y 0.02 mm. y de arena las comprendidas entre 0.2 y 2 mm.
- Podrá tolerarse un pequeño porcentaje (hasta 5<sup>o</sup>/o en peso) de partículas de grava.
- El contenido de arcilla deberá estar comprendido entre 10 y 20<sup>o</sup>/o para asegurar la plasticidad sin tener problemas de fisuras por el secado.
- La cantidad de limo debe ser semejante a la de la arcilla, pero ambas no debieran sobrepasar el 30<sup>o</sup>/o. El saldo deberá ser arena con o sin ingredientes adicionales, tales como paja, gravilla, estiércol, etc.
- Debe utilizarse la menor cantidad de agua que permita una adecuada trabajabilidad.
- Se recomienda el uso de paja siempre que no exceda de 1.0<sup>o</sup>/o en peso.
- Es recomendable utilizar adicionalmente aglomerantes como el yeso o cemento mezclados con barro, en proporciones de alrededor de 1:4 y 1:20 respectivamente, para incrementar la calidad de las unidades.
- Es recomendable utilizar emulsiones asfálticas (adobe estabilizado con 1.5 a 2.0<sup>o</sup>/o de asfalto RC-250), para preservar la construcción frente a la humedad, erosión, etc. (7).

### 3.1.2. RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la compresión se determinará ensayando cubos labrados cuya arista sea la menor dimensión de la unidad de adobe, o cubos de alrededor de 10 cms. de arista, para el caso del tapial. Se empleará un valor de la resistencia ( $R_o$ ), calculada en base al área de la sección transversal. Este valor será el sobrepasado por el 90<sup>o</sup>/o de las piezas ensayadas.

A efectos de diseño se considerará un coeficiente de seguridad de 2.5 ( $R_o^* = 0.4 R_o$ ).

*Se podrá homologar resultados de probetas prismáticas de esbeltez  $\lambda = \text{mayor/menor dimensión}$ , utilizando la expresión  $R_\lambda = R_0 / \sqrt{\lambda}$  (para  $\lambda \leq 6$ ). No se considerará significativa la variación del tamaño de la arista de la probeta cúbica. El valor de  $R_0$  corresponde a  $\lambda = 1$ .*

*De no contarse con resultados experimentales, podrá considerarse el valor consignado en la tabla 1 (\*).*

*El valor de  $R_0^*$  ha sido calculado como  $0.4 R_0$ .*

## 3.2. MORTEROS DE JUNTA

*Los morteros podrán clasificarse en dos grupos:*

*a) Tipo I (en base a arena y aglomerantes).*

*b) Tipo II (en base a tierra con o sin aglomerantes).*

### 3.2.1. MORTEROS TIPO I.

- Su resistencia a compresión (ASTM C109), no será menor de  $25 \text{ Kg/cm}^2$ .*
- Si se trata de morteros de cemento arena, la relación volumétrica estará comprendida entre 1:3 y 1:12. Debe utilizarse arena gruesa.*
- Si se trata de morteros de cemento/cal o yeso/arena, la relación volumétrica entre aglomerante y agregado inerte estará comprendida entre 1:2.5 y 1:8.*
- Deberá emplearse la mínima cantidad de agua que permita juntas plenas en la albañilería.*

*La calidad del mortero está asociada a la adherencia con las unidades. El uso de la resistencia a compresión como indicador, obedece sólo a razones prácticas (8).*

*Los límites señalados han sido fijados en relación con dicha adherencia, dado el comportamiento durante los ensayos efectuados.*

*(\*) Datos obtenidos con adobe corriente, en la Pontificia Universidad Católica del Perú.*

### 3.2.2. MORTEROS TIPO II

- *Serán utilizados únicamente en viviendas rurales o construcciones provisionales.*
  - *Se considerará dentro de esta categoría a los morteros con resistencias a compresión menores que 25 Kg/cm<sup>2</sup>.*
  - *La composición del mortero debe cumplir los mismos lineamientos que las unidades.*
  - *Deberá emplearse la menor cantidad de agua que sea necesaria para una mezcla trabajable.*
- Se considera que las juntas de la albañilería constituyen las zonas críticas, en consecuencia ellas deberán recibir el mayor cuidado.*

### 3.3. REFUERZOS

*Dada la fragilidad de las construcciones de adobe, es indispensable la utilización de refuerzos tendientes a proporcionarles ductilidad, monolitismo y eventualmente resistencia.*

*Se sugiere la utilización de los siguientes materiales y funciones:*

#### 3.3.1. OBRAS RURALES.— (MORTERO TIPO II)

**Caña:** *De tipo carrizo, en tiras planas cada cierto número de juntas (de 2 a 4), cocidas en los encuentros y en todos los muros. Se reforzará la junta que coincida con el nivel superior o inferior de cada vano, tratándose de que estos niveles coincidan de un vano a otro.*

*Adicionalmente, es posible colocar cañas verticales atadas a las horizontales y colocadas en un plano central entre unidades de adobe y rodeadas de mortero. Esta disposición proporciona gran ductilidad a la construcción.*

*La caña deberá ser tratada para efectos de conservación.*

**Madera:** *En dinteles de vanos y en vigas*

*collar sobre los muros. En ambos dicho refuerzo se sujetará con alambre al cimiento de los muros. El dintel puede sujetarse a la viga collar.*

**Alambre:** *Vertical o en cruz de San Andrés, para fijar la viga collar o los dinteles a la cimentación. Proporciona ductilidad al conjunto. Se recomienda tensar el alambre al colocarlo.*

### **3.3.2. OBRAS URBANAS.— (MORTERO TIPO I)**

**Acero:** *Varillas corrugadas de construcción, formando elementos verticales u horizontales de concreto armado. Evitar contacto con morteros que contengan yeso.*

*Mallas de acero embutidas en enlucidos de mortero, uniendo viga collar con cimentación.*

## **3.4. MAMPOSTERIA**

### **3.4.1. ESPESOR DE JUNTAS**

*El espesor de las juntas será de 2 cms. para morteros tipo II, y de 1.5 cms. para morteros tipo I, con una tolerancia del 50%.*

### **3.4.2. RESISTENCIA A COMPRESION**

*La resistencia a compresión de la mampostería,  $R_m^*$ , podrá determinarse experimentalmente o por los valores referenciales de la tabla 2.*

*a) Ensayo de pilas, con materiales a usar en obra.*

*De preferencia las pilas estarán compuestas por el número de ladrillos necesario para obtener un coeficiente de esbeltez de 4. Sin embargo, podrá usarse pilas desde 4 unidades, en vista de que ha quedado demostrado que para el adobe, luego de 3 juntas, la variación de resultados es mínima y prácticamente independiente del coeficiente de esbeltez. Se tendrá especial cuidado en mantener la verticalidad del espécimen. El tiempo de secado del mortero de las pilas será de alrededor de un mes. La resistencia de las pilas aumenta*

significativamente con el tiempo de secado ( $\pm 50\%$  en el primer año).

La resistencia nominal  $R_m^*$  se considerará como el 40% del valor sobrepasado por el 90% de las pilas ensayadas.  $R_m^* = 0.4 R_m$ . El número mínimo de pilas a ensayar será de 6.

En ningún caso se considerará  $R_m^* > R_o^*$ .

- b) Si no se realiza ensayos de pilas de adobe, se podrá utilizar los valores referenciales de la tabla 2.

### 3.4.3. RESISTENCIA A CORTE

La resistencia a corte de la mampostería,  $C_m^*$  podrá determinarse experimentalmente o por los valores referenciales de la tabla 2.

- a) Ensayo de corte, con materiales a usar en obra.

Los especímenes serán muretes de relación largo altura de alrededor de 1.7, cargados lateralmente a 2/3 de su altura, con o sin carga de compresión simultánea. El producto del largo por la altura será de alrededor de  $1 \text{ m}^2$ .

El tiempo del secado de las probetas será de aproximadamente un mes.

La resistencia nominal,  $C_m^*$ , se considerará como el 40% de la resistencia del murete,  $C_m$ , considerada ésta como el valor sobrepasado por el 90% de los ensayos  $C_m^* = 0.4 C_m$ .

El número mínimo de probetas a ensayar será de 12, utilizando tres niveles distintos de esfuerzo de compresión simultánea (4 probetas por nivel).

La resistencia a corte,  $C_m$ , se calculará siempre como una función lineal del esfuerzo de compresión actuante.

$$C_m = a + b \gamma_m$$

Resultados experimentales demuestran que este valor debe ser afectado de un factor de escala (para considerar muros a escala natural)  $\alpha = 2$ , de modo que los valores de  $a$  y  $b$  deberán ser multiplicados por este factor  $\alpha$ , antes de calcular  $C_m$ .

*En el cálculo de  $\gamma_m$  se considerará solamente el 70% de las fuerzas gravitacionales, debido a la eventual actuación simultánea de fuerzas de inercia asociadas a aceleraciones verticales propias a un sismo.*

*Adicionalmente sólo se considerará el peso propio de medio muro para fijar una altura promedio del área crítica.*

*b) Si no se realiza ensayos de corte, se podrá utilizar los valores referenciales de la tabla 2.*

#### **3.4.4. RESISTENCIA A TRACCION**

*Para fines de diseño se considerará nula la resistencia a tracción de la mampostería. (Esfuerzos perpendiculares a las juntas).*

#### **3.4.5. MODULO DE ELASTICIDAD**

*El módulo de elasticidad de la mampostería podrá evaluarse experimentalmente, o en su defecto considerar:*

*Mortero Tipo I :  $E = 5000 \text{ Kg/cm}^2$  ó  $1000 R_m^*$*

*Mortero Tipo II :  $E = 1700 \text{ Kg/cm}^2$  o  $680 R_m^*$*

*El módulo de elasticidad se incrementa con el tiempo de secado de la probeta.*

*Para cargas de corta duración se utilizará un valor de  $E$  incrementado en un 50%.*

#### **3.4.6. MODULO DE RIGIDEZ**

*Se considerará como  $G = 0.4E$*

### **4. GUIAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION**

*La determinación de los esfuerzos actuantes en los diferentes elementos, en general se harán a través de un análisis elástico, teniendo en cuenta que la mampostería no resiste tracciones normales a las juntas.*

*Dada la compleja distribución de esfuerzos en las paredes con o sin vanos, ensambladas ortogonalmente, se descarta la posibilidad de un análisis elástico muy prolijo para fines prácticos.*

*Por otro lado, el comportamiento elástico del material, sólo se cumple a un nivel muy bajo de esfuerzos, produciéndose tempranamente redistribuciones impredecibles de esfuerzos, ya sea en las uniones de elementos como alrededor de los vanos.*

#### **4.1. SISTEMA ESTRUCTURAL**

*Las casas de adobe deben ser compactas, con una gran densidad de muros, de ser posible todos colaborantes (portando el peso del techo), de habitaciones cuya planta tienda a ser cuadrada, con vanos muy pequeños y centrados al medio de las paredes. La distribución arquitectónica debe obedecer a este esquema.*

#### **4.2. DISTRIBUCION DE FUERZAS**

*Usualmente los techos de este tipo de viviendas son de madera o caña. Con estos materiales resulta costoso y difícil lograr diafragmas rígidos como para conseguir un comportamiento conjunto de los muros frente a acciones sísmicas. Por tanto, para este tipo de efectos se considerará que las paredes paralelas a la acción sísmica en estudio, resisten el corte y las transversales resisten por flexión las fuerzas perpendiculares a su plano.*

*La distribución de las fuerzas de corte se hará por zonas de influencia sobre cada muro longitudinal, considerando la propia masa y las fracciones pertinentes de la masa de muros transversales y la del techo.*

*En el caso de contar con techos rígidos en su plano, se distribuirá las fuerzas sísmicas según la rigidez relativa de los diferentes muros.*

*Los techos deberán ser lo más ligeros posibles.*

*El efecto de las cargas gravitacionales se distribuirá por áreas de influencia sobre cada muro, según el esquema estructural del techo.*

### 4.3. ANALISIS DINAMICO

*Se considera que el nivel de aproximación adecuado se logra con un análisis cuasi-estático, utilizando las indicaciones del Reglamento Nacional de Construcciones.*

*A efectos de utilización del espectro, el período fundamental ( $T$ ), se puede calcular considerando a la vivienda como un ensamble de dos subsistemas: el de los muros transversales (que es dominante) y el de los muros longitudinales, de tal forma que:*

$$T = (T_e^2 + T_s^2)^{1/2}$$

*Los períodos  $T_e$  y  $T_s$  de los muros longitudinales, y transversales se pueden obtener utilizando el método de la deflexión estática.*

*La rápida degradación del material originará una flexibilización del sistema, que disminuirá el valor de las fuerzas de inercia inicialmente supuestas.*

*El factor de reducción por ductilidad  $R_d$ , que el Reglamento Nacional indica, será de 1.5 a 2.5 según se haya considerado refuerzos de cañas horizontales cocidas, alambre vertical o diagonal o malla de caña, respectivamente.*

### 4.4. DISEÑO DE MUROS LONGITUDINALES

*La aplicación de la resistencia  $C_m^*$  se efectuará sobre el área transversal crítica de cada muro (descontando vanos si fuera el caso). Se podrá incluir el área de una fracción de los muros transversales (sólo si los hay en los dos extremos), igual al 25% de la longitud del menor de ellos, pero nunca mayor de cinco veces el espesor del muro longitudinal.*

### 4.5. DISEÑO DE MUROS TRANSVERSALES

*Se recomienda utilizar el método de líneas de rotura, basado en la actuación permanente de un momento flector resistente (gravitacional) a través de las fisuras del muro o bien utilizando las expresio-*

nes ajustadas empíricamente a partir de dicha teoría.

El estudio de estos muros define la separación de los muros de arriostre transversales, cuya longitud no deberá ser menor que:

$$l_0 = \frac{c h l}{2}$$

donde:  $l_0$  = longitud del muro de arriostre

$c$  = coeficiente sísmico empleado

$h$  = altura de los muros

$l$  = longitud del muro principal

El espesor del muro de arriostre será igual o mayor que el del muro principal.

Para efectos de predimensionamiento podrá considerarse que la distancia máxima entre arriostre será:

$$d = 2.5 \frac{b}{c h}$$

donde  $b$  es el espesor del muro principal.

$$d \leq \frac{4}{3} h$$

#### 4.6. SUELO DE CIMENTACION

Para minimizar los efectos sísmicos, las construcciones de adobe sólo podrán cimentarse sobre suelos firmes ( $\sigma$  admisible  $\geq 3 \text{ Kg/cm}^2$ ).

## NOTACION

- $\gamma$  = Coeficiente de seguridad para esfuerzos admisibles.
- $R_o$  = Valor nominal de la resistencia a compresión en probetas cúbicas, sobrepasado por el 90% de los especímenes.
- $R_o^*$  = Valor de la resistencia minorada ( $\gamma = 2.5$ ) a compresión, para uso en diseño por esfuerzos admisibles.
- $\lambda$  = Coeficiente de esbeltez de la probeta, cociente entre mayor y menor dimensión de la misma ( $\lambda = 1$ ).
- $R$  = Valor de la resistencia a compresión en probetas de esbeltez  $\lambda$ .
- $T_f^*$  = Valor de la resistencia minorada de tracción por flexión de unidades ( $\gamma = 2.5$ ).
- $T^*$  = Valor de la resistencia minorada de tracción (ensayo brasilero) en probetas cilíndricas de 15 x 30 cms. ( $\gamma = 2.5$ ).
- $R_m$  = Valor de la resistencia a compresión de pilas de mampostería con esbeltez 1:4, (mínimo 4 adobes), sobrepasado por el 90% de las probetas ensayadas.
- $R_m^*$  = Valor de la resistencia minorada ( $\gamma = 2.5$ ) a compresión de la mampostería, para uso en diseño por esfuerzos admisibles.
- $C_m$  = Valor de la resistencia a corte de muretes de mampostería, sobrepasado por el 90% de las probetas ensayadas.
- $C_m^*$  = Valor de la resistencia minorada ( $\gamma = 2.5$ ) a corte de la mampostería, para uso en diseño por esfuerzos admisibles.
- $\sigma_m$  = Esfuerzo de compresión actuante en la mampostería. ( $\sigma_m < R_m^*$ ) ( $\text{Kg/cm}^2$ )
- $E$  = Módulo de elasticidad ( $\text{Kg/cm}^2$ )
- $G$  = Módulo de rigidez ( $\text{Kg/cm}^2$ )

**TABLA No. 1**

**RESISTENCIAS ADMISIBLES DE UNIDADES**

*Valores referenciales de resultados de ensayos de adobe.*

Compresión (cubos)	$R_o^* = 0.4 R_o = 4.5 \text{ Kg/cm}^2$
Tracción por flexión (Unidades)	$T_o^* = 1.3 \text{ Kg/cm}^2$
Tracción (Ensayo brasilero)	$T^* = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$

*Estos valores podrán incrementarse en un 20<sup>o</sup>%, si la mezcla contiene cemento o yeso en proporción volumétrica igual o mayor al 25<sup>o</sup>% respecto al resto de los componentes secos.*

**TABLA No. 2**

**RESISTENCIAS ADMISIBLES DE MAMPOSTERIA**

*Valores referenciales de resultados de ensayos de pilas de adobe:*

**COMPRESION:**

Mortero Tipo I :  $R_m^* = R_o^*$

Mortero Tipo II:  $R_m^* = 0.5 R_o^*$

**CORTE:**

Mortero Tipo I :  $C_m^* = 0.08 + 0.48 m \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$

Mortero Tipo II:  $C_m^* = 0.04 + 0.24 m \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$

## REFERENCIAS

1. *Reglamento Nacional de Construcciones. Normas de Diseño Sismo Resistente.*
2. *M. Corazao y M. Blondet "Estudio Experimental del Comportamiento Estructural de las Construcciones de Adobe frente a sollicitaciones sísmicas". Lima 1973.*
3. *J. Vargas Neumann "Análisis de Muros Verticales de Adobe". Lima 1978.*
4. *J. Vargas Neumann "Vivienda Rural en Adobe". Lima 1978.*
5. *J. Vargas Neumann "Albañilería de Adobe con Variaciones de Mortero". Lima 1979.*
6. *J. Vargas Neumann "Consideraciones sobre Tópicos Diversos de Códigos Sismo Resistentes". Lima 1979.*
7. *COBE. Adobe Estabilizado. OIN. Ministerio de Vivienda 1977.*
8. *Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. Normas Técnicas. México. UNAM. 1978.*

## RECONOCIMIENTO

*El autor agradece la participación de todas la personas que realizaron los diferentes programas de investigación, gracias a las cuales ha sido posible concluir este trabajo.*