

## DISEÑO DIRECTO DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA

*Prof. Richard E. Klingner*  
*Universidad de Texas en Austin*  
*klingner@mail.utexas.edu*

Conferencia Invitada  
Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural  
México DF, MÉXICO  
13 de Marzo 2007

Ferguson Structural Engineering Laboratory - The University of Texas at Austin

1


## OBJETIVOS

- *bosquejo de la normativa EEUU para el diseño de la mampostería*
- *papel del diseño simplificado en aquella normativa*
- *desarrollo del diseño directo como una implementación tipo receta del diseño simplificado*
- *diseño preliminar ( dibujo , especificaciones y cálculo estructural ) de una edificación de mampostería en menos de 15 minutos*

2

## Lema fundamental ( 1 )


- *Los edificios de mampostería deben ser puramente estructuras tipo muro*
- *No son pórticos con toquécitos posteriores de mampostería*
- *Si bien pueden llevar refuerzo en dalas y castillos , estos elementos no funcionan como vigas y columnas , sino como tensores*



3

## Lema fundamental ( 2 )

- *Los elementos de mampostería son mucho más rígidos que los elementos de concreto que les rodean , y por lo tanto deben tomar el papel predominante en el diseño estructural*



4

## Materiales típicos . . .

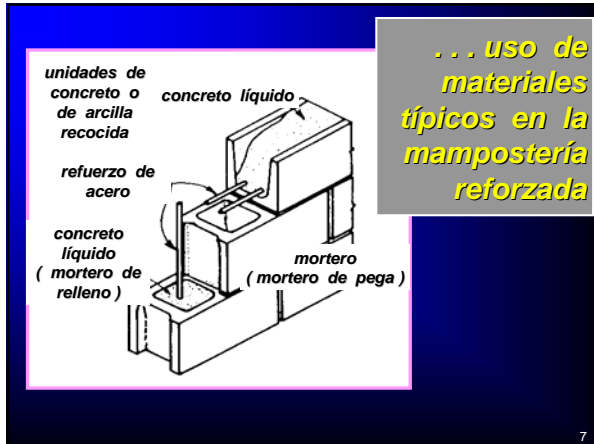
- *Mampostería reforzada estructural*
  - *unidades huecas , de concreto o arcilla recocida*
  - *refuerzo vertical en celdas llenas de concreto líquido*
  - *refuerzo horizontal en hiladas llenas de concreto líquido*
- *Mampostería confinada*
  - *unidades sólidas , de concreto o arcilla recocida*
  - *refuerzo vertical en castillos*
  - *refuerzo horizontal en soleras ( dalas )*

5

## . . . Materiales típicos

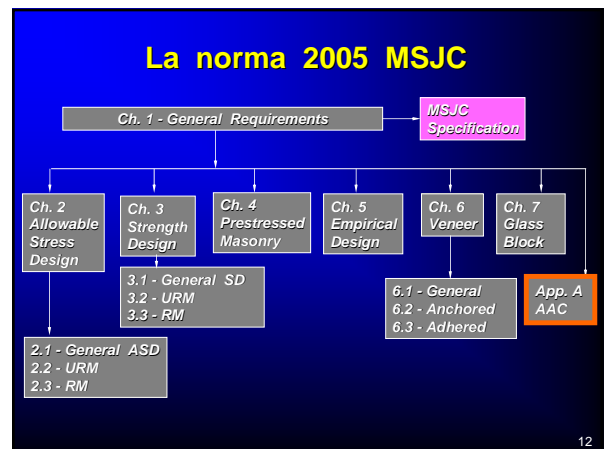
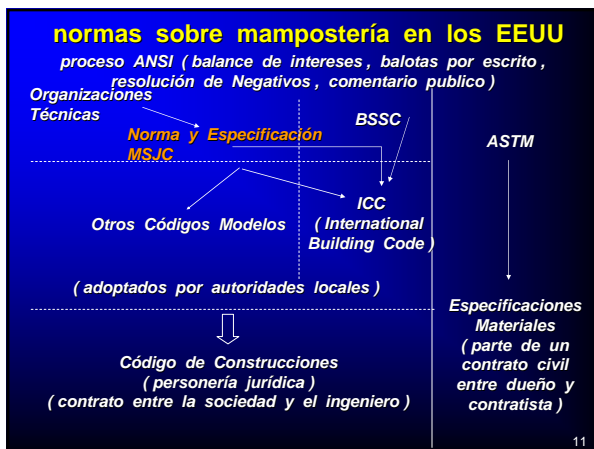
- *Unidades*
  - *concreto ( ASTM C 90 o equivalente mexicano )*
  - *arcilla recocida ( ASTM C 62 o C 216 o e m )*
- *Mortero*
  - *cemento , cal hidratada , arena y agua*
  - *ASTM C 270 o e m*
  - *el caso omiso es por proporción*
- *Concreto Líquido*
  - *cemento , arena , gravilla y agua ( revenimiento de 27 cm )*
  - *ASTM C 476 o e m*
  - *el caso omiso es por proporción*

6



- ### Base normativa necesaria
- Normas de diseño
  - Especificaciones sobre materiales
    - unidades, mortero, concreto líquido, accesorios (refuerzo, conectores)
  - Especificaciones sobre ensayos esenciales
    - muretes
  - Aseguramiento de calidad en la obra
    - materiales
    - mano de obra

- ### proceso normativo en los EEUU de América
- no hay norma nacional
  - el proceso normativo es complejo
    - organizaciones técnicas
    - códigos modelos
    - personería jurídica al adoptarse por jurisdicciones locales gubernamentales



### vinculación entre Norma y Especificación MSJC ...

- **Norma**
  - Provisiones de diseño en los Capítulos 2 a 7
  - Las Secciones 1.2.4 y 1.15 requieren un programa de aseguramiento de calidad de acuerdo con la Especificación
  - La Sección 1.4 invoca la Especificación
- **Especificación**
  - verificar cumplimiento con el  $f_m'$  especificado
  - cumplir con el programa de aseguramiento de calidad
  - cumplir con los productos y mano de obra especificados

13



### Retos al uso eficaz de la Norma MSJC ...


- **compleja**
  - ¿ esfuerzos permisibles ?
  - ¿ diseño por resistencia ?
  - ¿ diseño empírico ?
- ¿ las mil y una decisiones ?
- ¿ costo de diseño por metro cuadrado ?
- ¿ semejanza con el diseño del concreto ?
  - arma de dos filas -- igual de complejo, y orientado hacia los pórticos



15

### “ ¡ Exijo una explicación ! ”

- Las estructuras de mampostería han durado por milenios, a prueba de normas, ingenieros y arquitectos
- El actual “diseño empírico” no es la solución ( ver a continuación )
- Debe haber un modo más simple de diseñar las estructuras básicas de mampostería



16

### El “diseño empírico” no es la solución

- **bosquejo del diseño empírico MSJC**
  - control de razones altura / espesor
  - control de aspectos en planta de diafragmas
  - control de distribución en planta de muros cortantes
  - cálculo de esfuerzos axiales sobre área bruta
- **debilidad del diseño empírico MSJC**
  - en fin de cuentas, no tiene que acatar a la mecánica ; puede tener factores de seguridad muy bajos en elementos sin mucha carga axial

17

### ¿ La Solución ? El Diseño Simplificado

- **racional y seguro**
  - cabe dentro del diseño por resistencia
  - satisface al teorema del “límite inferior”
- **comprende cuatro fases esenciales**
  - configuración de la estructura
  - especificación de materiales
  - dibujo de elementos y detalles
  - comprobación de seguridad

18

### ¿ Qué rayos es el teorema del “límite inferior ?”

- *Cualquier diseño es seguro si*
  - *propvee un sendero para la transmisión de fuerzas de su punto de aplicación , a la cimentación*
  - *propvee suficiente resistencia a lo largo de ese sendero*

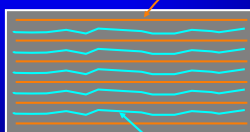
19

### un ejemplo del teorema del “límite inferior” ...

- *una losa de concreto puede diseñarse con todo el refuerzo en una sola dirección , no obstante su aspecto en planta*
- *puede sufrir fisuración impresionante , pero no se va a caer*

20

### ... un ejemplo del teorema del “límite inferior”



*losa con todo el refuerzo en la dirección larga*

*fisuración*

*Si el refuerzo es suficiente para resistir el momento total estático , la losa no se va a caer*

21

### ELEMENTOS ESENCIALES DEL DISEÑO SIMPLIFICADO

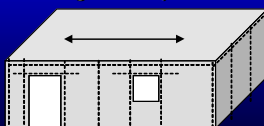
- *Punto de partida*
- *Diseño de franjas verticales en muros perpendiculares a las cargas laterales*
- *Diseño de muros paralelos a las cargas laterales*
- *Diseño de dinteles*
- *Análisis simplificado por cargas laterales*
- *Detalles*

22

### Punto de partida para el diseño simplificado

**NO HAY VIGAS NI COLUMNAS**

*(ejemplo de dirección de cargamento)*

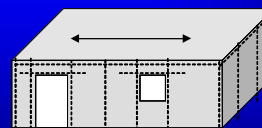


*refuerzo vertical de varillas 12 mm en esquinas , bordes de aberturas , e intervalos de 1.5 - 2 m*

*refuerzo horizontal de 2 varillas 12 mm en solera y dinteles ( 15 mm con luces mayores que 2 m )*

23

### Función esencial de muros en resistir fuerzas de gravedad



*muros portantes resisten cargas axiales ( céntricas y excéntricas ) como franjas verticales*

*muros no portantes resisten carga axial céntrica como franjas verticales*

24

### Función esencial de muros en resistir fuerzas laterales

muros paralelos a las fuerzas laterales actúan como muros cortantes

soleras transfieren reacciones de los muros a los diafragmas, y sirven de cuerdas para los diafragmas

franjas verticales de los muros perpendiculares a las fuerzas laterales resisten combinaciones de carga axial y momentos fuera del plano, y transfieren sus reacciones a diafragmas horizontales

25

### Efecto de aberturas ...

Ancho Contribuyente a la Franja A      Ancho Contribuyente a la Franja B      Ancho Contribuyente a la Franja C

Franja A      Franja B      Franja C

Ancho A      Ancho B      Ancho C

26

### ... Efecto de aberturas

Las aberturas aumentan las acciones por la razón del ancho contribuyente, entre el ancho real, de cada franja

$$\text{Acciones en Franja B} = \text{Acciones Normales} \left( \frac{\text{Ancho Contribuyente B}}{\text{Ancho B}} \right)$$

27

### Diseño de franjas en muros perpendiculares ...

momentos y fuerzas axiales debidos a combinaciones de cargas por gravedad y laterales

$M = P e$

$M = P e / 2$

$M_{viento}$

28

### ... Diseño de franjas en muros perpendiculares

diagrama de interacción momento - carga axial (con ayuda de hoja de cálculo)

$\Phi P_n$

$M_u, P_u$

$\Phi M_n$

29

### Diseño de muros paralelos ...

momentos, fuerzas axiales y cortes debidos a combinaciones de cargas por gravedad y laterales

$P$

$V$

$h$

30

### ... Diseño de muros paralelos

se logra suficiente resistencia lateral mediante densidad de muros

diagrama de interacción momento - carga axial ( con ayuda de hoja de cálculo )

31

### ... Diseño de muros paralelos

resistencia cortante

$$V_n = V_m + V_s$$

$$V_m = (0.265) \left[ 4.0 - 1.75 \left( \frac{M}{Vd_v} \right) \right] A_n \sqrt{f'_m} + 0.25P$$

32

### Diseño de dinteles ...

( ejemplo de dirección de cargamento )

momentos y cortantes debido a cargas por gravedad

$$M_u = \frac{w \ell^2}{8}$$

$$V_u = \frac{w \ell}{2}$$

33

### ... Diseño de dinteles

diseño por corte

proveer suficiente peralte para no necesitar refuerzo cortante

diseño por flexión

$$A_s \approx \frac{M}{f_y \times 0.9 d}$$

34

### Distribución de cortes entre muros cortantes ...

■ planteamiento clásico

- caracterizar el diafragma como rígido o flexible
- hacer el análisis apropiado al caso

35

### Análisis clásico del diafragma flexible ...

- distribuir cortes según áreas tributarias del diafragma, no obstante la rigidez de los muros

36

### ... Análisis clásico del diafragma flexible

$$V_{izquierda} = \frac{1}{2} V_{total}$$

$$V_{derecha} = \frac{1}{2} V_{total}$$

37

### ... Detalles

- Conexiones diafragma - muros
- Diseño de dinteles fuera del plano entre conexiones diafragma - muros
- Conexiones solera - muros
- Conexiones muros - cimentación

38

### EXTENSIÓN DEL DISEÑO SIMPLIFICADO AL DISEÑO DIRECTO

- Limitaciones
- Aplicación directa del diseño simplificado
  - detalles y patrones de refuerzo estándar
  - proceso fijo de diseño
  - coeficientes de diseño en formato tabular
- Ejemplo práctico

39

### RECONOCIMIENTO

- Grupo de Trabajo sobre Diseño Directo, The Masonry Society (TMS)
  - Benchmark Harris, Jefe
  - Edwin Huston
  - Richard Klingner
  - Jason Thompson

40

### LIMITACIONES DEL DISEÑO DIRECTO

- edificaciones de un solo piso
- techo no más de 20 m sobre cota del terreno
- bloques de 20 cm (puede cambiarse)
- resistencia especificada fija (1500 psi)
- refuerzo de #5 (16 mm)
- diafragmas flexibles

41

### DETALLES Y PATRONES DE REFUERZO ESTÁNDAR ...

42

### ... DETALLES Y PATRONES DE REFUERZO ESTÁNDAR

- T: Tope ( de parapeto )
- C: Cuerda ( de diafragma )
- B: Base ( del dintel , igual arriba )
- O: Out - of - plane ( fuera de plano )
- V: Vertical ( momento fuera de plano )
- H: Horizontal ( momento fuera de plano )
- J: Jamba ( contra levantamiento )
- E: "Edge" ( borde )

43

### PROCESO FIJO DE DISEÑO ...

1. Obtener valores básicos de la norma vigente
2. Verificar que la ubicación topográfica de la edificación es típica
3. Determinar la Categoría de Diseño Sísmico
4. Verificar que la edificación cumpla con las Limitaciones
5. Determinar rango permitido de Sistemas Resistentes a Fuerzas Laterales

44

### ... PROCESO FIJO DE DISEÑO

6. Determinar las cantidades de Refuerzo V y H para resistir fuerzas laterales fuera de plano y en el plano , y el número de hiladas con Refuerzo C
7. Aplicar reglas especiales para muros entre dos diafragmas
8. Detallar Refuerzo J y E bajo dinteles y alféizares
9. Detallar Refuerzo V , E y B en dinteles y alféizares

45

### ... PROCESO FIJO DE DISEÑO

10. Incluir la información requerida a los planos
11. Citar las Especificaciones del documento 2005 MSJC

46

### ... COEFICIENTES DE DISEÑO EN FORMATO TABULAR

Ejemplo  
 refuerzo vertical  
 máxima luz vertical por carga fuera de plano

Vertical #5 at 48"oc		es
exterior	interior	
30	30	
30	30	
30	20	
30	30	
30	28.67	
28.67	20	
20	20	

47

### EJEMPLO PRÁCTICO

- centro comercial en Austin , Texas
- cuadrada en planta , 60 metros ( 200 pies ) en cada lado
- cota de diafragma en 6 metros ( 20 pies )

48

### EJEMPLO DE DISEÑO ...

- Obtener valores básicos de la norma vigente (2006 International Building Code)
  - de la Figura 1608.2, la carga por nieve,  $p_g = 5 \text{ psf}$
  - de la Figura 1609, la velocidad básica del viento,  $V = 90 \text{ mph}$
  - de la Figura 1613.5(1), la aceleración sísmica de período corto,  $S_s = 0.1 \text{ g}$
  - de la Figura 1613.5(2), la aceleración sísmica de un segundo,  $S_1 = 0.03 \text{ g}$
  - de la Sección 1609.4.3, la categoría de exposición al viento no es "D"

49

### ... EJEMPLO DE DISEÑO

- La ubicación topográfica de la edificación es típica (no encima de una colina)
- De la Tabla A del método, la Categoría de Diseño Sísmico es "A"
- La edificación cumple con las Limitaciones previamente notadas
- De la Tabla F del método, se puede usar cualquier nivel de refuerzo prescriptivo por sismo

50

### ... EJEMPLO DE DISEÑO

- Determinar las cantidades de Refuerzo V y H para resistir fuerzas laterales fuera de plano y en el plano, y el número de hiladas con Refuerzo C
  - el techo de la edificación se considera como un solo diafragma, con correspondiente área frontal de 200 pies por 20 pies = 4000 pies<sup>2</sup>
  - de la Tabla B del método y de la velocidad V, el coeficiente de respuesta al viento,  $C_w = 16 \text{ psf}$
  - el área frontal, multiplicada por  $C_w$ , da un corte basal por viento de  $V_{viento} = 64 \text{ kips}$

51

### ... EJEMPLO DE DISEÑO

- Determinar las cantidades de Refuerzo V y H para resistir fuerzas laterales fuera de plano y en el plano, y el número de hiladas con Refuerzo C
  - el peso sísmico del techo y muros  $W = 2080 \text{ kips}$
  - de la Tabla C del método, usando muros sin refuerzo prescriptivo, el coeficiente de respuesta al sismo,  $C_s = 0.125$
  - el peso sísmico, multiplicado por  $C_s$ , da un corte basal por sismo de  $V_{sismo} = 260 \text{ kips}$

52

### ... EJEMPLO DE DISEÑO

- Determinar las cantidades de Refuerzo V y H para resistir fuerzas laterales fuera de plano y en el plano, y el número de hiladas con Refuerzo C
  - la luz de viguetas es de 10 m (30 pies), y la cota del diafragma es 6 m (20 pies)
  - de la Tabla D del método, con los valores anteriores, por viento fuera del plano, hay que usar varillas V de #5 en 48 pulgadas
  - de la Tabla E del método, con los valores anteriores, por sismo fuera del plano, las varillas V de #5 en 48 pulgadas sobran. Usar #5 en 48 pulgadas.

53

### ... EJEMPLO DE DISEÑO

- Determinar el largo total requerido de resistencia en cada línea
  - por la velocidad de viento y la luz de las viguetas, la tabla aplicable de coeficientes es la B.2
  - un largo de segmento es  $L_{seg} = 20 \text{ pies (6 m)}$
  - usando varillas verticales de #5 en 48 pulgadas, los coeficientes de resistencia son  $k_1$  (corte) = 168 y  $k_2$  (flexión) = 14800
  - el largo total requerido de resistencia en cada línea es 130 pies. Está bien. Seguir con #5 en 48 pulgadas, con concreto líquido cada 48 pulgadas.

54

### ... EJEMPLO DE DISEÑO

8. suponiendo una apertura de 12 pies (4 m), se colocan una varilla #5 en cada borde de la apertura (Varillas E), y 2 varillas adicionales #5 en cada lado de la apertura (Varillas J).
9. seguir con varillas #5 en 48 pulgadas verticalmente en el dintel
10. para flexión en el dintel, de la Tabla I del método, se necesitan 5 hiladas de Refuerzo B, cada una con 2 varillas #5.

55

### ... EJEMPLO DE DISEÑO

11. proporcionar la información requerida por el código modelo en los planos

- Tiempo total de diseño
  - primera vez : unos 30 minutos
  - segunda vez : unos 15 minutos

56

### Repaso del diseño simplificado

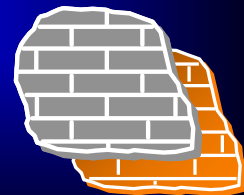
- estructura tipo caja, sin vigas y columnas
- elementos sencillos (muros fuera de plano, en el plano, dinteles, y diafragmas)
- extensión al diseño directo
- ejemplo práctico de diseño directo preliminar en menos de 15 minutos



57



Gracias por su atención



58