

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

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

3

... uso de materiales típicos en la mampostería reforzada

Diagram labels: unidades de concreto o de arcilla recocida, concreto líquido, refuerzo de acero, concreto líquido (mortero de relleno), mortero (mortero de pega)

4

... uso de materiales típicos en la mampostería confinada

mampostería de arcilla con elementos confinantes de concreto

5

La norma 2005 MSJC

```

    graph TD
        MSJC[MSJC Specification] --> Ch1[Ch. 1 - General Requirements]
        MSJC --> Ch2[Ch. 2 Allowable Stress Design]
        MSJC --> Ch3[Ch. 3 Strength Design]
        MSJC --> Ch4[Ch. 4 Prestressed Masonry]
        MSJC --> Ch5[Ch. 5 Empirical Design]
        MSJC --> Ch6[Ch. 6 Veneer]
        MSJC --> Ch7[Ch. 7 Glass Block]
        MSJC --> AppA[App. A AAC]
        
        Ch2 --> C2_1[2.1 - General ASD]
        Ch2 --> C2_2[2.2 - URM]
        Ch2 --> C2_3[2.3 - RM]
        
        Ch3 --> C3_1[3.1 - General SD]
        Ch3 --> C3_2[3.2 - URM]
        Ch3 --> C3_3[3.3 - RM]
        
        Ch6 --> C6_1[6.1 - General]
        Ch6 --> C6_2[6.2 - Anchored]
        Ch6 --> C6_3[6.3 - Adhered]
    
```

6

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

7



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



9

“ ¡ 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



10

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

11

¿ 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

12

¿ 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*

13

ELEMENTOS ESENCIALES DEL DISEÑO SIMPLIFICADO

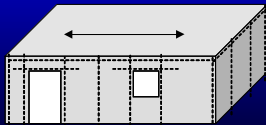
- *Punto de partida*
- *Diseño de franjas verticales en muros perpendiculares a las cargas laterales*
- *Diseño de muros paralelos a las cargas laterales*
- *Diseño de dinteles*
- *Análisis simplificado por cargas laterales*
- *Detalles*

14

Punto de partida para el diseño simplificado

NO HAY VIGAS NI COLUMNAS

(ejemplo de dirección de cargamento)

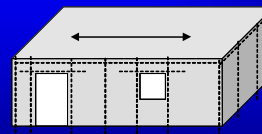


refuerzo vertical de varillas 12 mm en esquinas, bordes de aberturas, e intervalos de 1.5 - 2 m

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

15

Función esencial de muros en resistir fuerzas de gravedad

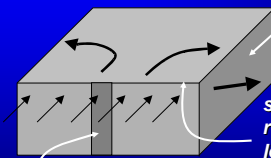


muros portantes resisten cargas axiales (céntricas y excéntricas) como franjas verticales

muros no portantes resisten carga axial céntrica como franjas verticales

16

Función esencial de muros en resistir fuerzas laterales



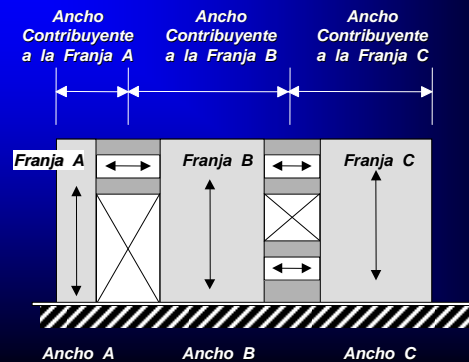
muros paralelos a las fuerzas laterales actúan como muros cortantes

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

17

Efecto de aberturas . . .



18

... Efecto de aberturas

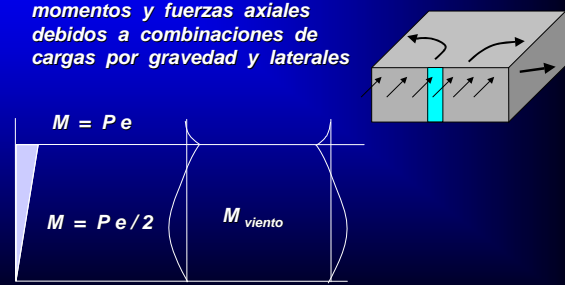
Las aberturas aumentan las acciones por la razón del ancho contribuyente, entre el ancho real, de cada franja

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

19

Diseño de franjas en muros perpendiculares ...

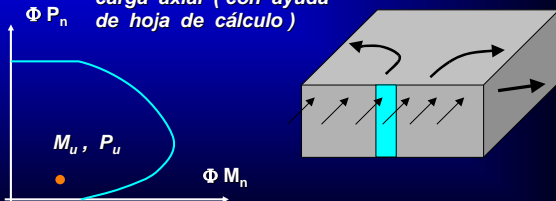
momentos y fuerzas axiales debidos a combinaciones de cargas por gravedad y laterales



20

... Diseño de franjas en muros perpendiculares

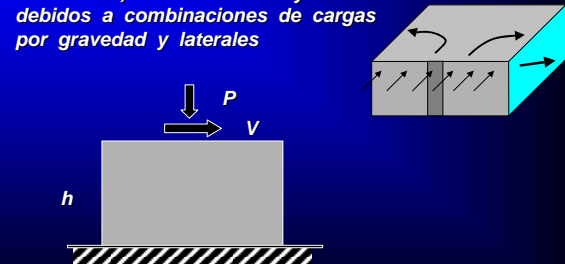
diagrama de interacción momento - carga axial (con ayuda de hoja de cálculo)



21

Diseño de muros paralelos ...

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

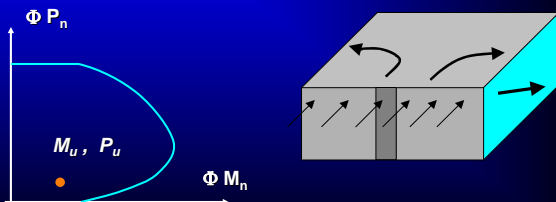


22

... Diseño de muros paralelos

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

se logra suficiente resistencia lateral mediante densidad de muros



23

... Diseño de muros paralelos

resistencia cortante

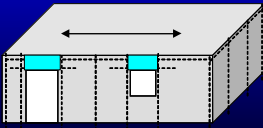
$$V_n = V_m + V_s$$

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

24

Diseño de dinteles ...

(ejemplo de dirección de cargamento)



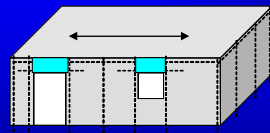
momentos y cortantes debido a cargas por gravedad

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

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

25

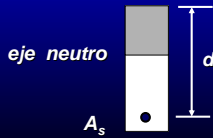
... Diseño de dinteles



diseño por corte

proveer suficiente peralte para no necesitar refuerzo cortante

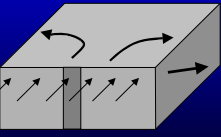
diseño por flexión



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

26

Distribución de cortes entre muros cortantes ...



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

27

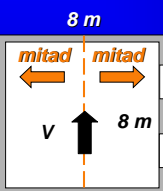
Análisis clásico del diafragma flexible ...

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



28

... Análisis clásico del diafragma flexible



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

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

29

... Detalles

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

30

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*

31

RECONOCIMIENTO

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

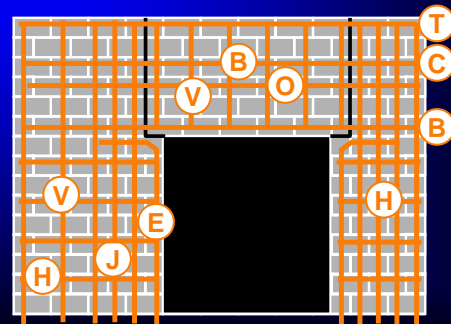
32

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*

33

DETALLES Y PATRONES DE REFUERZO ESTÁNDAR ...



34

... 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)*

35

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*

36

... 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 hileras 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

37

... PROCESO FIJO DE DISEÑO

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

38

... COEFICIENTES DE DISEÑO EN FORMATO TABULAR

Ejemplo
 refuerzo vertical
 máxima luz vertical por carga fuera de plano

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

39

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)

40

EJEMPLO DE DISEÑO ...

1. 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, $S_s = 0.1 g$
 - de la Figura 1613.5(2), la aceleración sísmica de un segundo, $S_1 = 0.03 g$
 - de la Sección 1609.4.3, la categoría de exposición al viento no es "D"

41

... EJEMPLO DE DISEÑO

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

42

... EJEMPLO 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

- el techo de la edificación se considera como un solo diafragma, con correspondiente área frontal de 200 pies por 20 pies = 4000 pies²
- 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 $V_{\text{viento}} = 64 \text{ kips}$

43

... EJEMPLO 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

- 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 $V_{\text{sismo}} = 260 \text{ kips}$

44

... EJEMPLO 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

- 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.

45

... EJEMPLO DE DISEÑO

7. 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 $L_{\text{seg}} = 20 \text{ pies (6 m)}$
- 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.

46

... 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.

47

... 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

48

Repaso del diseño simplificado

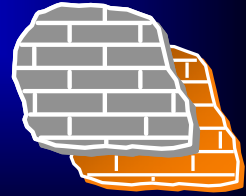
- estructura tipo caja , sin vigas y columnas
- elementos sencillos (muros fuera de plano , en el plano , dinteles , y diafragmas)
- extensión al diseño directo
- ejemplo práctico de diseño directo preliminar en menos de 15 minutos



49



Gracias por su atención



50