



Curso de Diseño de Estructuras Sismorresistentes

Octava Parte

Algunas Recomendaciones para Mejorar el Diseño Sismorresistente en Ecuador

PROF. EDUARDO MIRANDA

DEPARTMENT OF CIVIL & ENVIRONMENTAL ENGINEERING
STANFORD UNIVERSITY

OBJETIVOS DE ESTA PARTE DEL CURSO



1. Hacer unos breves comentarios sobre algunos de los daños observados en el sismo del 16 de Abril de 2016;
2. Hacer unas breves recomendaciones para mejorar el diseño sismorresistente en Ecuador;

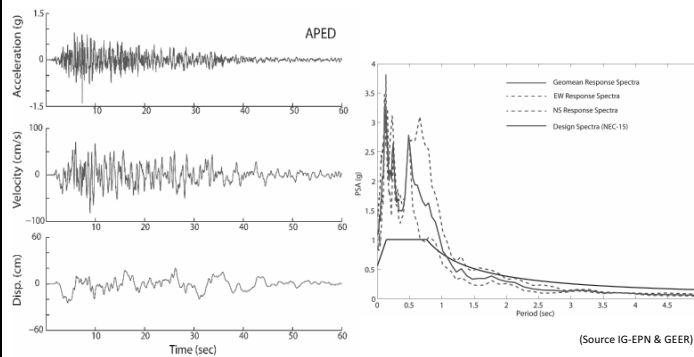
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Movimiento de Terreno en Pedernales



Estación APED



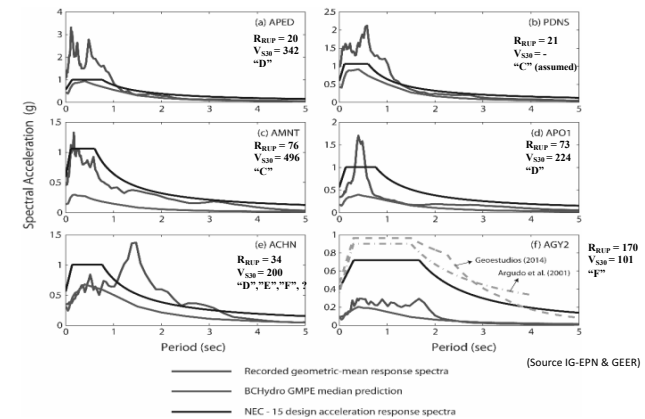
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Espectros de Diseño en Comparación con Espectros de Respuesta



Comparación con la NEC-2015



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Espectros de Diseño en Comparación con Espectros de Respuesta



Como se mostró en la diapositiva anterior, las ordenadas espectrales calculadas a partir de movimientos de terreno registrados en varias ciudades excedieron en muchos casos las ordenadas de los espectros de diseño de la NEC-2015.

Si bien teóricamente la probabilidad de que esto ocurra es muy baja (por ejemplo tan sólo de 5% ó 10% en 50 años), como se mostrará en las siguientes diapositivas, esto lo observamos, preocupadamente, con mucha frecuencia.

Esto no es más que un reflejo, debemos ser humildes y reconocerlo, de las deficiencias en los métodos que usamos para estimar las ordenadas espectrales.

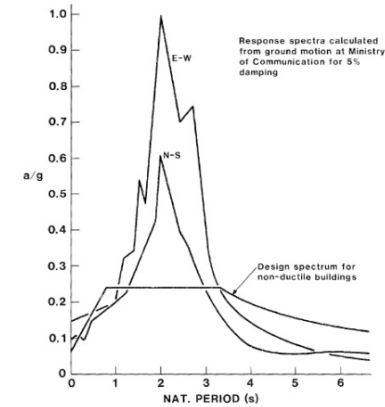
En particular, existen dos situaciones en que esto ocurre con mayor frecuencia y en muchos casos, de forma casi sistemática:

1. En sitios sobre la zona de ruptura y en campo cercano;
2. En sitios de suelo muy blando ($V_s < 250$ m/s)

Espectros de Diseño en Comparación con Espectros de Respuesta



1985 M8.1 Michoacán, Mexico Earthquake



Espectros de Diseño en Comparación con Espectros de Respuesta



Compilation from various earthquakes

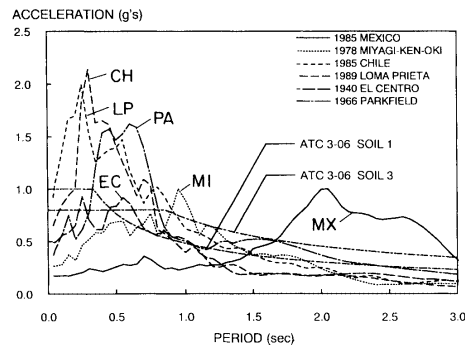


Fig. 8. Comparison of linear elastic response spectra with 5% damping for selected earthquakes. (Compiled by E. Miranda.)

Espectros de Diseño en Comparación con Espectros de Respuesta



Compilation from various earthquakes – soft soils

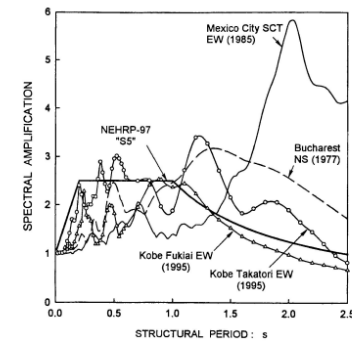
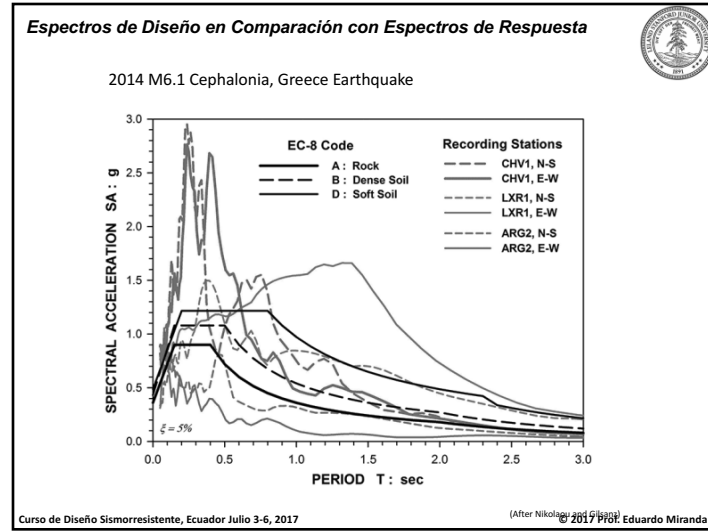
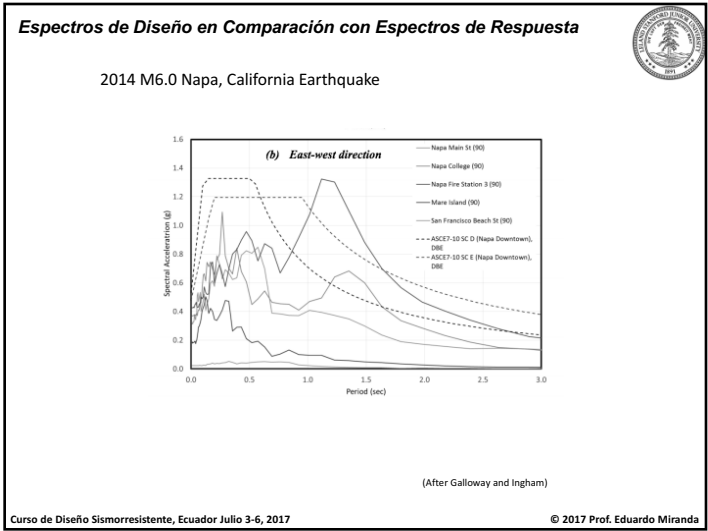
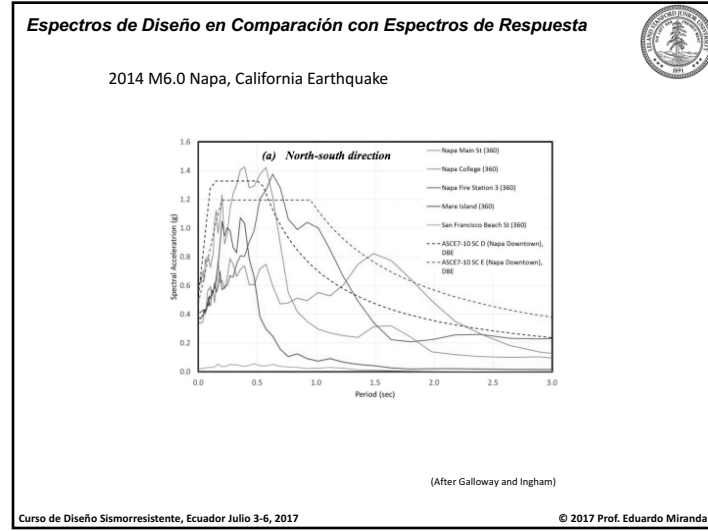
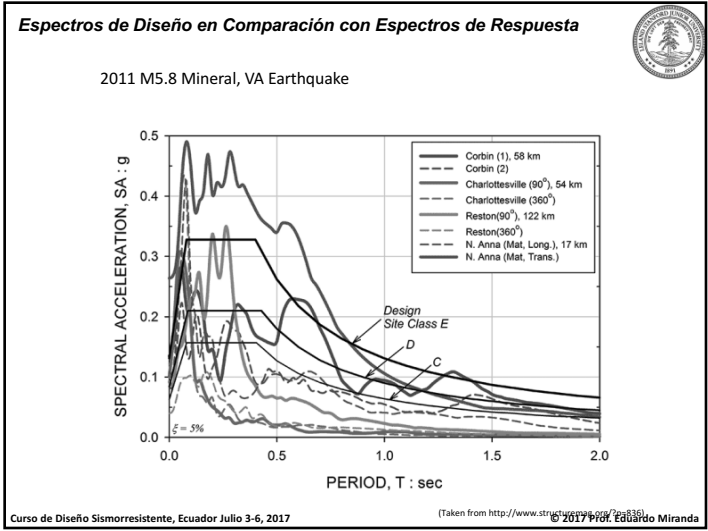
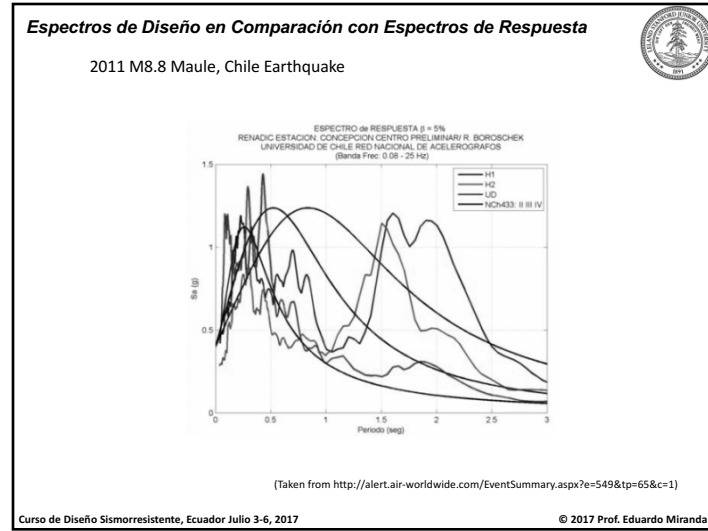
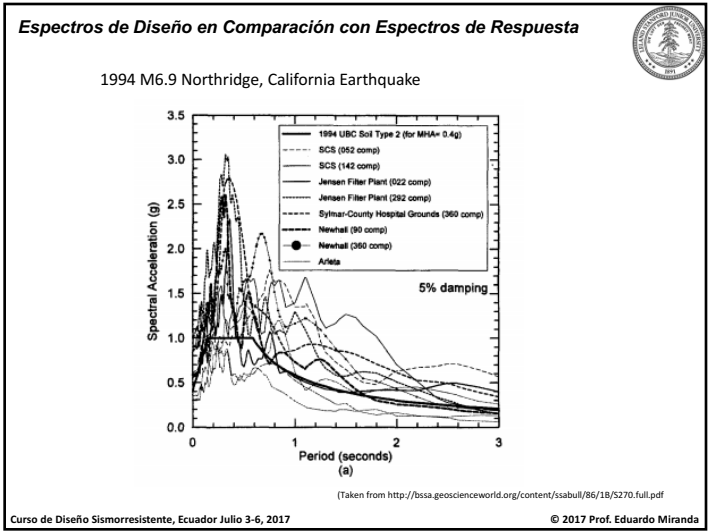
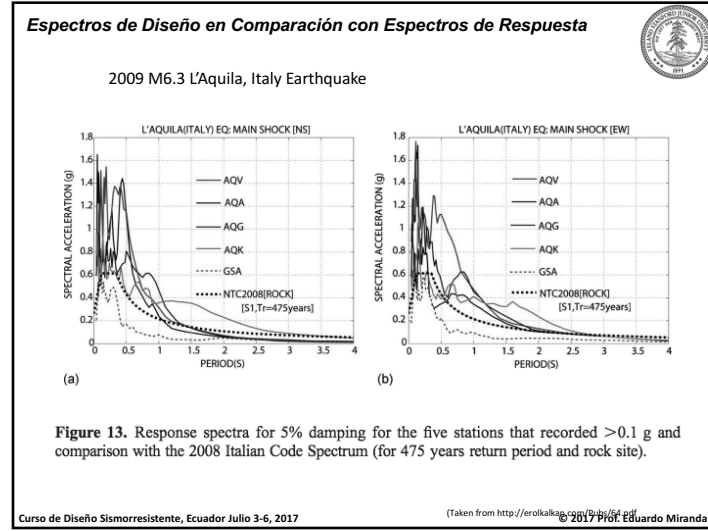
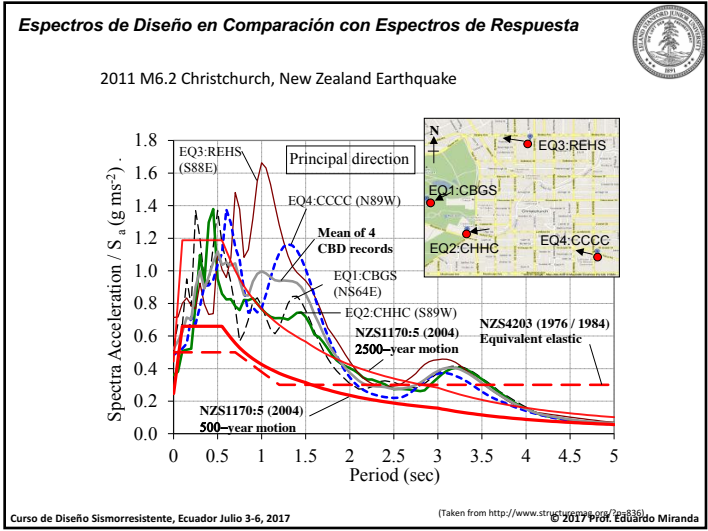


Fig. 3. Comparison of a typical seismic code design spectrum to actual spectra from catastrophic earthquakes with strong long-period components; $\beta = 5\%$.





Pisos suaves/débiles



Google Maps

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Pisos suaves/débiles



Photo by E. Miranda

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Pisos suaves/débiles



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Pisos suaves/débiles



Las dos deficiencias principales que dan lugar a este tipo de falla son las siguientes:

1. Presencia de muros "no estructurales" de mampostería en unos niveles y falta de ellos o en menor cantidad en un entrepiso (con frecuencia en la planta baja);
2. Sistemas estructurales de viga o sistema de piso fuerte y columna débil en lugar de una columna fuerte trabe/viga débil.

Pisos suaves/débiles



Esto no es sólo un problema en Ecuador, es un problema que hemos observado desde hace muchos años en prácticamente cualquier sismo fuerte en cualquier parte del mundo, aun en países desarrollados supuestamente muy preparados en diseño sismorresistente.

Las siguientes diapositivas ilustran algunos de estos casos

Feb 9, 1971 San Fernando, California earthquake



EUA
1971 San Fernando

Photo by Prof. Vitelmo Bertero
Courtesy National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, Berkeley

10/17/89 Loma Prieta, California earthquake



EUA
1989 Loma Prieta

(Photograph by EERI)

10/17/89 Loma Prieta, California earthquake




Photo Courtesy of the National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, Berkeley

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda

10/17/89 Loma Prieta, California earthquake




Photo Courtesy of the National Information Service for Earthquake Engineering, University of California, Berkeley

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda

Aug 17, 1999 Izmit, Turkey earthquake

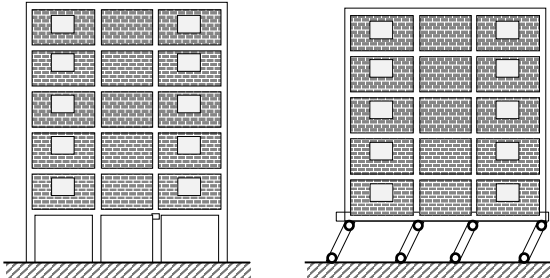
Turquia
1999 Duzce



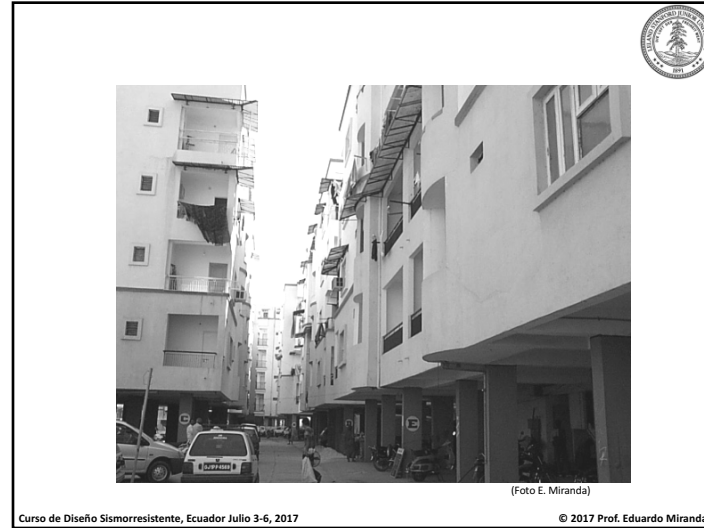
Fotografía cortesía del Dr. Oscar López Batiz

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda

Descripción conceptual del problema



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda



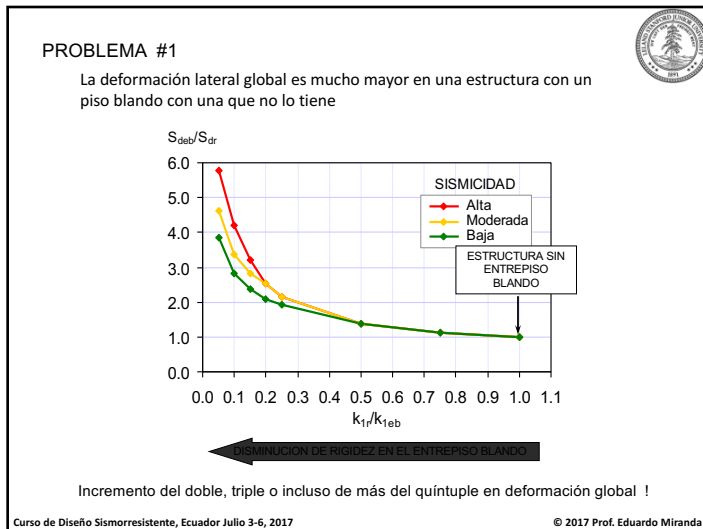
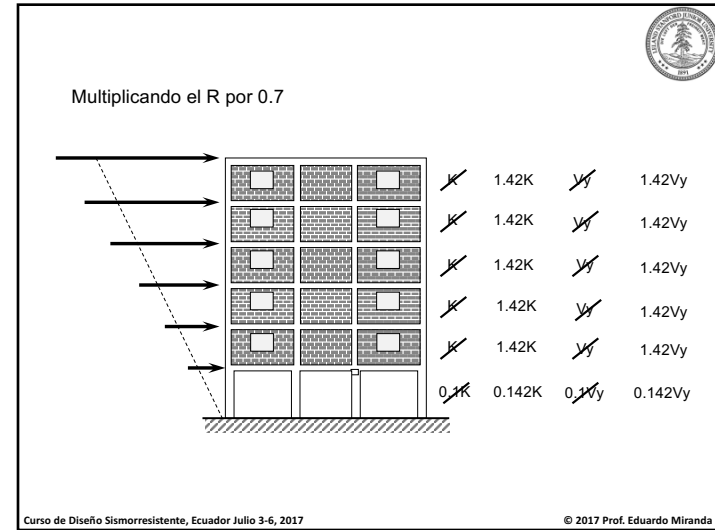
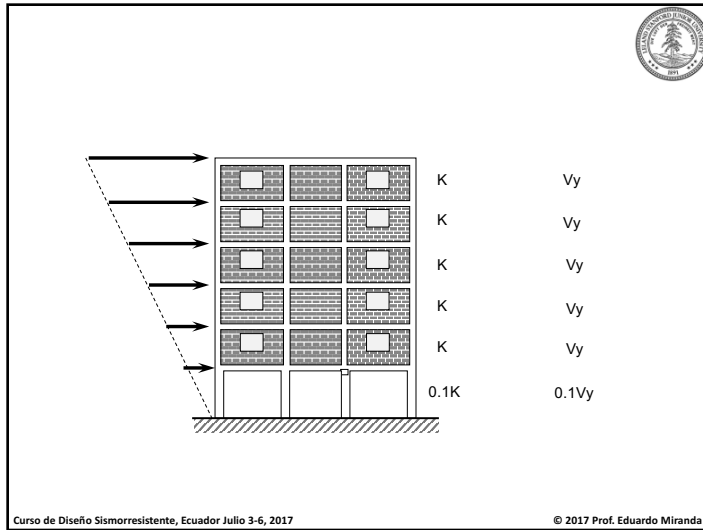
Reglamentos

Al referirse a este problema, los reglamentos de construcción suelen describirlo como una “**condición de irregularidad**”.

Suelen agruparlo con otras “condiciones de irregularidad” cuya influencia en el comportamiento sísmico es mucho menor (e.g., relación largo a ancho de la planta mayor que 2.5, relación de esbeltez mayor que 2.5, entrantes o salientes en la planta del edificio, irregularidad en la distribución de masas, etc.).

Las recomendaciones suelen limitarse a aplicar **factores “de castigo”** a las fuerzas laterales de diseño (e.g., multiplicar el factor de reducción R por 0.9 o 0.8).

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda



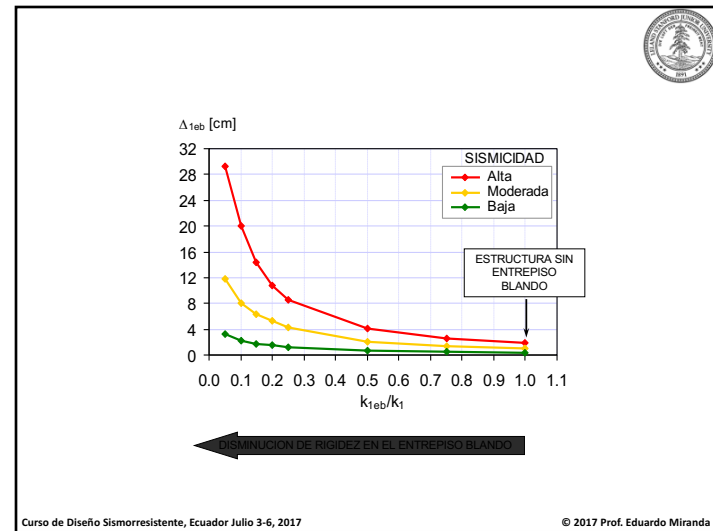
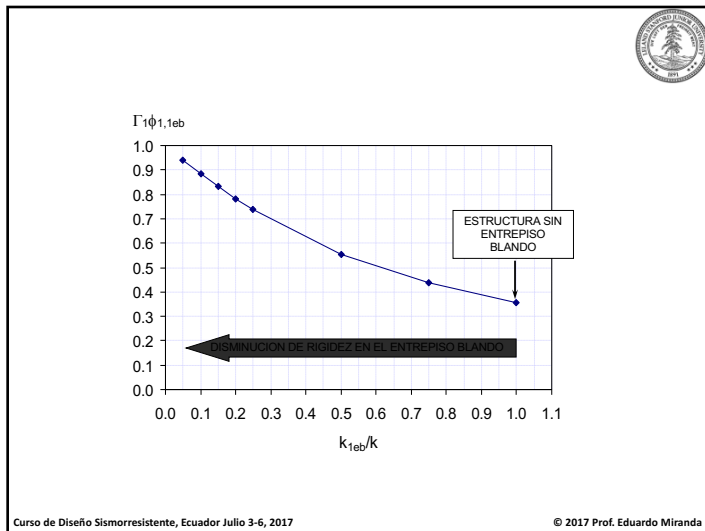
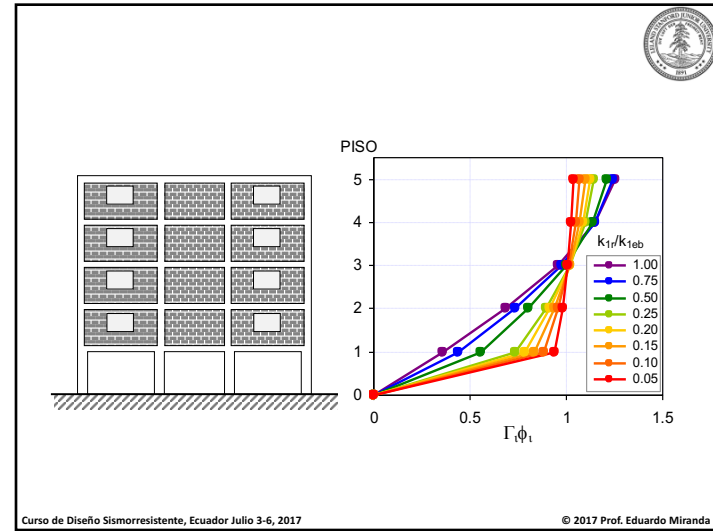
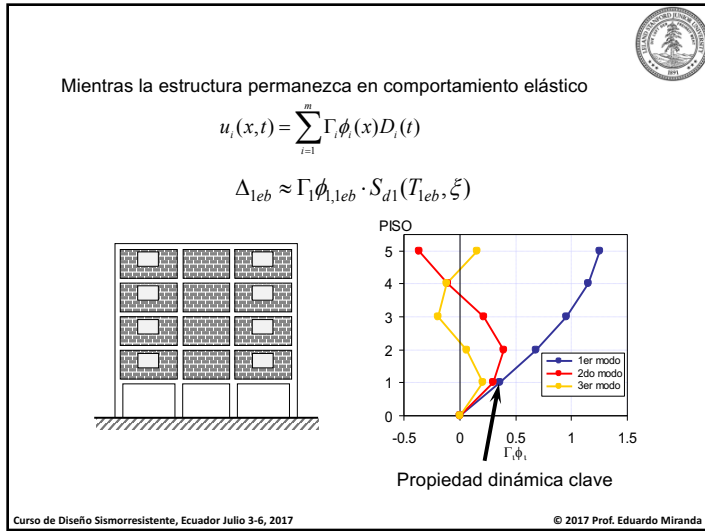
PROBLEMA #2

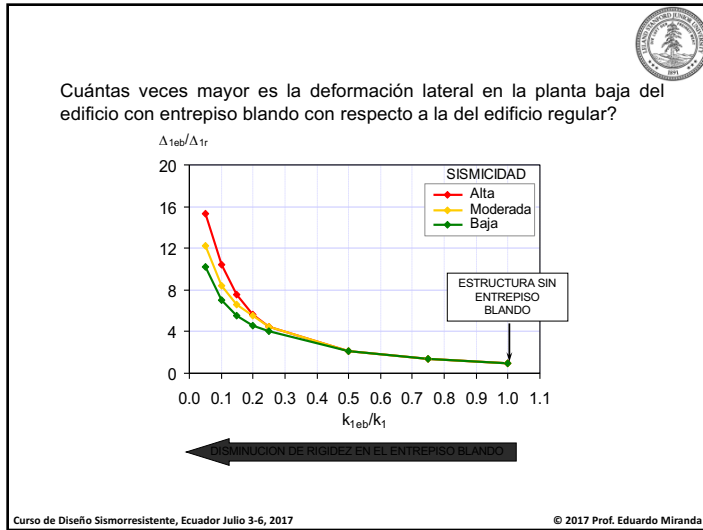
La demanda de desplazamiento lateral no se distribuye en forma uniforme en el edificio sino se concentra en el entrepiso blando.

Pero de cuánto es dicha concentración?

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda





Ahora díganme...

Es este un problema de multiplicar R por 0.7?

O multiplicar las fuerzas laterales por 1.4?

Ciertamente NO!

Pero un momento... aun hay más...

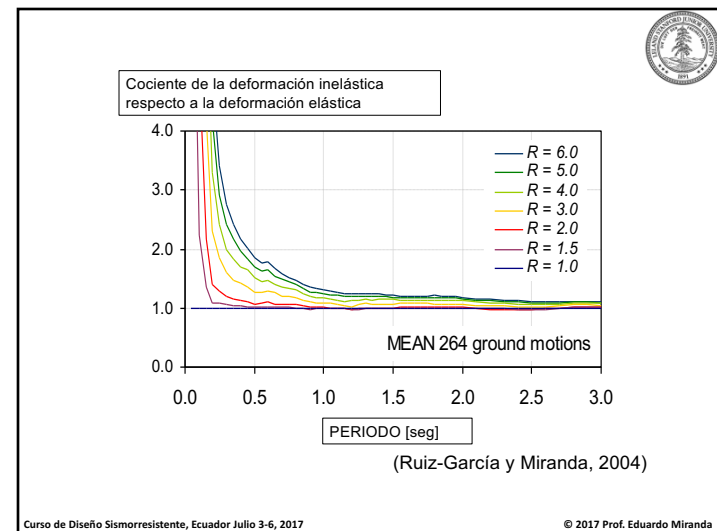
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda

PROBLEMA #3

El comportamiento inelástico en la estructura incrementa aun más la demanda global en estructuras de periodo corto

Pero de cuánto es dicho aumento?

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda





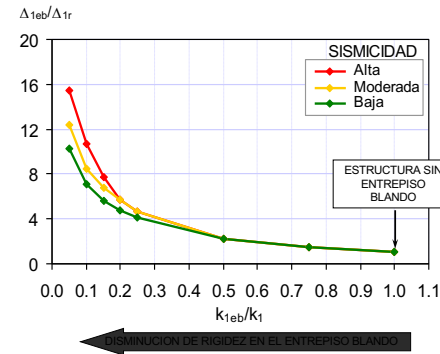
El comportamiento inelástico incrementa las demandas de deformación lateral global en estructuras de periodo corto (menor a 1s).

El incremento depende básicamente de:

- El periodo de vibración (entre más corto es el periodo mayor es el incremento)
- La resistencia lateral de la estructura (entre más débil mayor es el incremento)
- El tipo de terreno (entre más blando mayor es el incremento)



Incremento de la deformación lateral en entrepiso blando suponiendo un $Q=2$



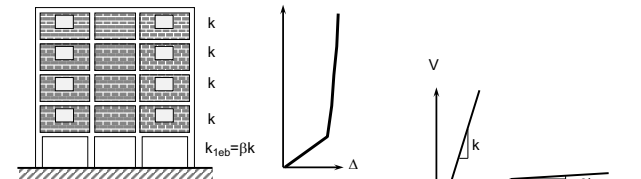
PROBLEMA #4

El comportamiento inelástico en la estructura hace que las deformaciones de entrepiso se concentren aun más de lo que indica un análisis elástico.

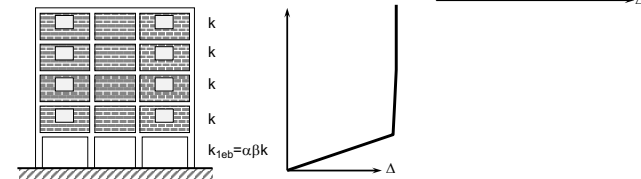
Pero de cuánto es dicha concentración adicional?



Análisis elástico



Análisis inelástico





PROBLEMA #5

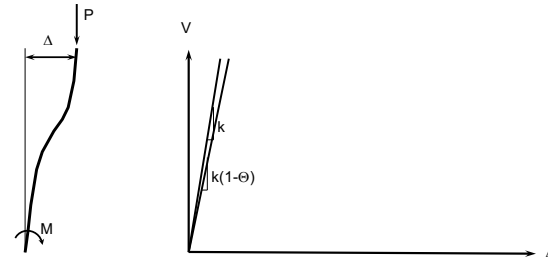
Deformaciones laterales grandes actuando junto con la carga axial pueden provocar no linealidades geométricas además de las no linealidades de material. La combinación puede provocar la inestabilidad dinámica de la estructura.

Por lo tanto el problema es mas grave en la medida en la que el piso débil esta mas cerca de la base del edificio.

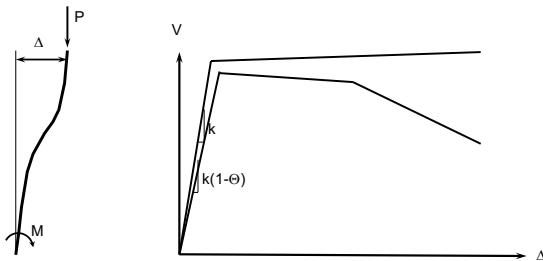
Pero cómo se puede evaluar este problema?



No linealidad geométrica en una estructura con comportamiento mecánico elástico lineal



No linealidad geométrica en una estructura con comportamiento mecánico inelástico



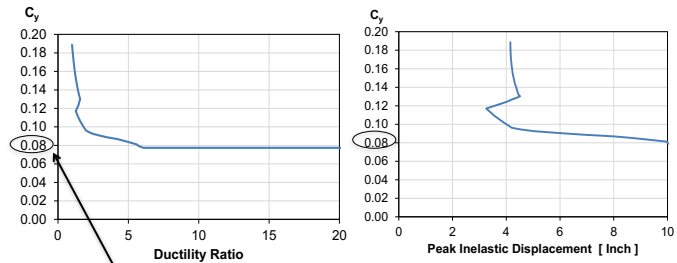
La estructura puede sufrir una inestabilidad dinámica



RESPUESTA NO LINEAL

Movimiento del terreno: NS Comp El Centro, CA Mayo 18th, 1940

S1GDL: No lineal Bilineal, $T=1.5s$, $\zeta=5\%$, $\alpha=-0.15$



Coficiente sísmico mínimo para evitar el colapso bajo este registro



El problema es complejo pues ***aun si inicialmente no existe*** un entrepiso blando, éste puede formarse debido al daño sísmico en muros de mampostería en uno de los entrepisos (suele ser en la planta baja)



(Foto E. Miranda)



(Foto E. Miranda)



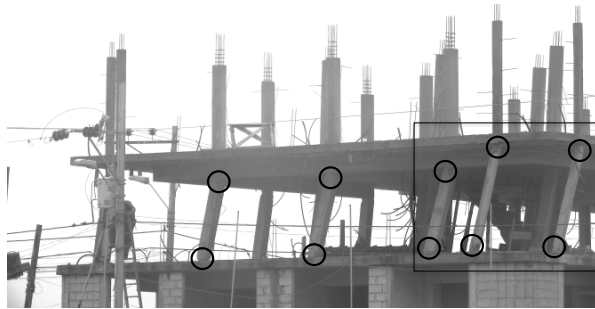
CÓMO EVITAR O ELIMINAR ESTE PROBLEMA

En la mayoría de los casos es posible evitar este grave problema en forma relativamente sencilla por medio de la incorporación de muros estructurales de hormigón en forma continua EN TODOS LOS PISOS.

Aun usando cuatro muros relativamente pequeños en cada dirección (mismos que pueden colocarse por ejemplo en los cubos de escaleras y/o cubos de elevadores/ascensores) es posible evitar esta deficiencia que quizá es la más grave que puede tener una estructura.

Otra alternativa pero no tan buena como la anterior, es evitar el uso de muros de relleno de mampostería y reemplazarlos por muros de yeso tanto para muros exteriores como interiores. Si bien los muros de yeso tienden a dañarse fácilmente, son relativamente débiles y no producen colapsos de piso blando en estructuras de acero o hormigón.

Mecanismos de Colapso de Piso Débil



Luis Celerino

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

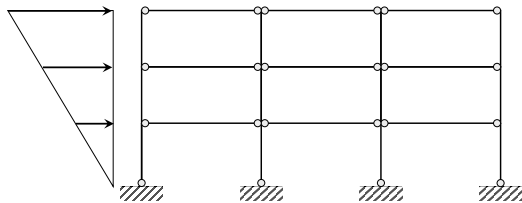


Photo by E. Miranda

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

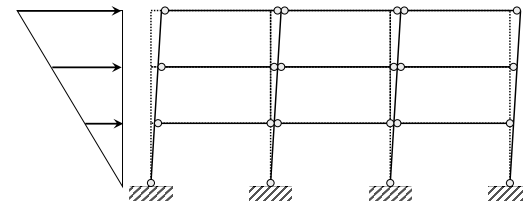
UN BUEN MECANISMO



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

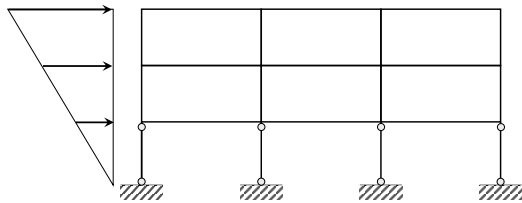
UN BUEN MECANISMO DE COLAPSO



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

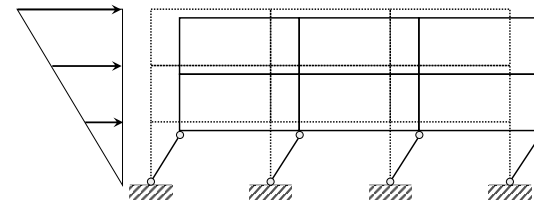
MAL MECANISMO



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

MAL MECANISMO



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

MECANISMO DE PISO DÉBIL



Sin embargo, aunque el mecanismo de piso débil se presenta con mayor frecuencia en la planta baja de un edificio, este tipo de mecanismo indeseable también puede ocurrir (y ocurre) en pisos superiores.

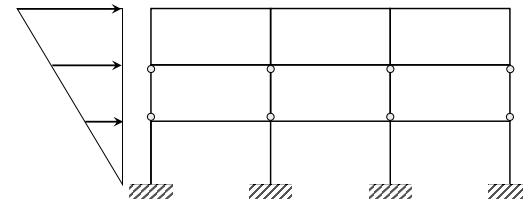
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

MECANISMO DE PISO DÉBIL



Mecanismo de piso débil en un piso en la altura media del edificio



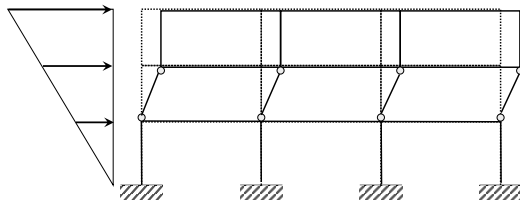
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

MECANISMO DE PISO DÉBIL



Mecanismo de piso débil en un piso en la altura media del edificio



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

MECANISMO DE PISO DÉBIL



Mecanismo de piso débil en un piso en la altura media del edificio

9/21/99 Chi-Chi Taiwan earthquake



(Photography by M. Bureau, MCEER)

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

MECANISMO DE PISO DÉBIL



Mecanismo de piso débil en un piso en la altura media del edificio

1/14/94 Northridge, California earthquake



(Photography by EERI)

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

RAZONES POR LAS QUE DEBEMOS TRATAR DE EVITAR ARTICULACIONES PLÁSTICAS EN LAS COLUMNAS



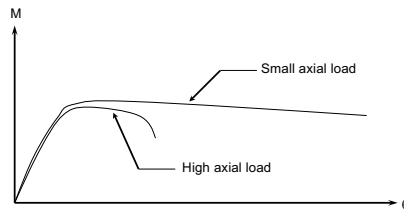
1. La capacidad de rotación de las columnas por lo general es menor a la capacidad de rotación de las vigas debido a la carga axial;
2. La formación de articulaciones plásticas en las columnas puede dar lugar a mecanismos de piso débil en que las demandas de rotación pueden ser muy grandes;
3. La falla de una columna, en particular, la pérdida de la capacidad de soportar carga vertical puede producir la inestabilidad (colapso) de la estructura;
4. Los efectos P-delta son mucho más importantes en mecanismos de piso débil;
5. En un mecanismo de piso débil el trabajo interno se tiene que hacer en un mucho menor número de articulaciones plásticas;
6. Es mucho más sencillo y económico el reparar y en particular reemplazar una viga que hacerlo en una columna.

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

DIFERENCIA EN LA CAPACIDAD DE ROTACIÓN

La carga axial reduce en forma importante la capacidad de rotación de columnas tanto de concreto como de acero

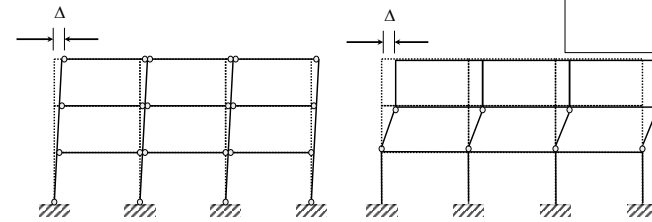


Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

DIFERENCIA EN DEMANDAS DE ROTACIÓN EN ARTICULACIONES PLÁSTICAS

Las demandas de rotación pueden ser mucho mayores en mecanismo de piso débil que en los mecanismo ideales.



Las demandas de rotación son 10

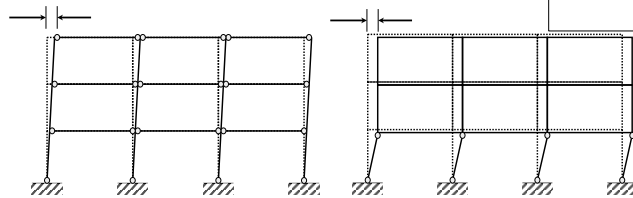
Las demandas de rotación son 30

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

DIFERENCIA EN DEMANDAS DE ROTACIÓN EN ARTICULACIONES PLÁSTICAS

Las demandas de rotación pueden ser mucho mayores en mecanismo de piso débil que en los mecanismo ideales.



Las demandas de rotación son 10

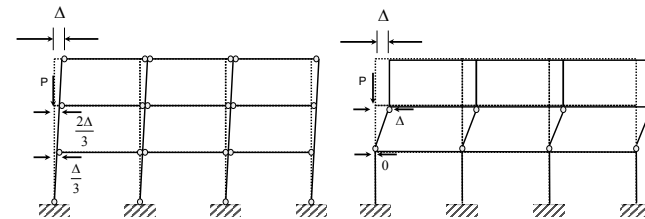
Las demandas de rotación son 30

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

DIFERENCIA EN LOS EFECTOS P-Δ

Los efectos P-delta son mucho mayores en mecanismos de piso débil.



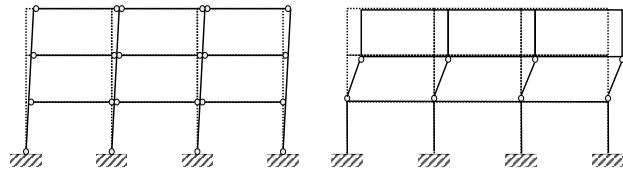
El momento adicional debido al efecto P-delta en el segundo nivel es $\frac{P\Delta}{3}$

El momento adicional debido al efecto P-delta en el segundo nivel es $P\Delta$

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

EL NÚMERO DE ARTICULACIONES PLÁSTICAS ES MUY DIFERENTE



22 ARTICULACIONES PLÁSTICAS

8 ARTICULACIONES PLÁSTICAS

CÓMO EVITAR LOS MECANISMOS DE PISO DÉBIL ?



Los mecanismos de piso débil pueden evitarse utilizando un diseño de COLUMNA FUERTE TRABE DÉBIL en que la posibilidad de que se presente primero la fluencia en la columna es evitado o al menos dicha posibilidad es minimizada.

$$\sum M_{columnas} > \sum M_{vigas}$$

CÓMO EVITAR LOS MECANISMOS DE PISO DÉBIL ?



Es importante hacer notar que las ecuaciones que se incluyen en los reglamentos no necesariamente evitan la formación de articulaciones plásticas (fluencia) en las columnas. Por ejemplo, el AISC recomienda

9.6. Column-Beam Moment Ratio

The following relationship shall be satisfied at beam-to-column connections:

$$\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{pb}} > 1.0 \quad (9-3)$$

Seismic Provisions for
Structural Steel Buildings
Including Supplement No. 1



CÓMO EVITAR LOS MECANISMOS DE PISO DÉBIL ?



De igual manera el ACI 318 recomienda que

$$\sum_{conexión} M_{columnas} \geq \frac{6}{5} \sum_{conexión} M_{vigas}$$

CÓMO EVITAR LOS MECANISMOS DE PISO DÉBIL ?



Sin embargo por muchas razones (contribución de la losa, endurecimiento por deformación, disminución de la capacidad a flexión de las columnas debida a carga axial mayor a la prevista en el análisis, puntos de inflexión lejos de los puntos medios, efectos biaxiales, pandeo torsional lateral en la columna, etc.) estas ecuaciones del AISC o del ACI **no son suficiente para evitar la formación de articulaciones plásticas en las columnas así como los mecanismos de piso débil**. La razón principal es que los sistemas de piso suelen ser mucho más resistentes de lo que los reglamentos reconocen o lo que nosotros pensamos.

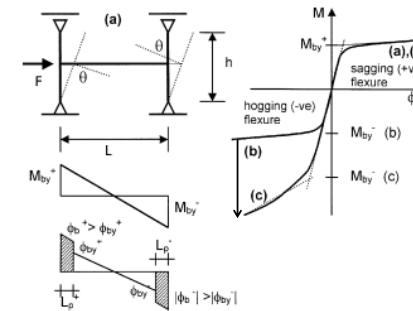


Fig. 2—Lateral response of simple one-story, one-bay portal frame: (a) simultaneous plastic hinge formation; (b) symmetric moment curvature diagram, neglecting slab participation in hogging flexure; and (c) moment curvature including slab. (After Pantazopoulou and French 2001)

STRONG-COLUMN WEAK GIRDER IN ACI 318-02



The extent of the contribution of the slab to the flexural resistance of the floor system is a function of the level of lateral drift in the structure. The larger the lateral drift the larger the slab contribution (i.e., the larger the effective width b_{eff})

It has been shown that the strain thus calculated attenuates in the transverse direction with increasing distance from the beam (U.S.-Japan Research 1988; French and Borojerdi 1989; Bas 1990; Qi and Pantazopoulou 1991). Thus, whereas the main beam top reinforcement may be in the yield plateau, or even in the strain hardening region, longitudinal slab bars farther away from the beam longitudinal axis may be well below the yield point, and thus in the elastic stress-strain range.

Upon integration of the resulting tension stresses in the longitudinal slab reinforcement over the entire width of slab available, the magnitude of additional tensile force, which represents the contribution of the slab in the tension zone of the beam, is defined. Instead of an explicit calculation of this type, the preferred practical alternative is to define the equivalent effective width of slab b_{eff} over which the entire longitudinal reinforcement is considered fully effective, with a constant strain magnitude regardless of transverse distance from the beam web.

(After Pantazopoulou and French 2001)

The values for b_{eff} given by the ACI 318-99 and proposed ACI 352R (ACI-ASCE Committee 352 2000) amendments are obtained by correlation with experimental results from connection subassembly tests and correspond to a 2% lateral drift of the connection (French and Moehle 1991).

From the previous discussion, it is evident that **this value may be insufficient to quantify the flexural resistance of beams in negative bending at larger drifts**. Tests on isolated slab-beam column assemblies indicate that at larger drifts, reinforcement across the entire width of slab may become fully effective as tension reinforcement for the beam (Shahrooz and Moehle 1987; French and Borojerdi 1989; Bas 1990; Qi and Pantazopoulou 1991).

It follows that from a pure capacity-design framework, where the competition of column and beam flexural strengths is the driving consideration of the weak-girder/strong-column objective, values used in establishing the sum of moment in the beams should be the actual flexural strength of the supporting beam. This corresponds to a two- or three-fold increase in b_{eff} from the recommended value. Furthermore, an additional factor such as the 1.2 value would be necessary to quantify the probable increase in strength resulting from unaccounted-for material overstrengths, either from manufacturing or from the fast loading rates during seismic action

(After Pantazopoulou and French 2001)

CÓMO EVITAR LOS MECANISMOS DE PISO DÉBIL ?



Es importante hacer notar que las ecuaciones que se incluyen en los reglamentos no necesariamente evitan la formación de articulaciones plásticas (fluencia) en las columnas.

De ahí que les recomiendo que en lugar de las ecuaciones anteriormente mostradas utilicen lo siguiente

$$\sum_{\text{conexión}} M_{\text{columnas}} \geq 1.6 \sum_{\text{conexión}} M_{\text{vigas}}$$

Si hacen una evaluación correcta de la resistencia del sistema de piso, tomando en cuenta todas las fuentes de sobrerresistencia, entonces pueden utilizar la siguiente ecuación:

$$\sum_{\text{conexión}} M_{\text{columnas}} \geq 1.2 \sum_{\text{conexión}} M_{\text{vigas}}$$

CÓMO EVITAR LOS MECANISMOS DE PISO DÉBIL ?



Algunas investigaciones recientes han mostrado que para evitar la formación de articulaciones plásticas en las columnas el factor de 1.6 tendría que ser aun mucho más grande. Por ejemplo, investigaciones desarrolladas en Stanford por los profesores Krawinkler y Deierlein han mostrado que aun si este factor fuera tan grande como 2 en algunos casos aun con 3.0 no se evita la formación de articulaciones plásticas en columnas.

Un enfoque alternativo es llevar a cabo una filosofía de columna fuerte trabe débil pero no a nivel de cada conexión sino hacerlo para cada piso y cada nivel utilizando la siguiente ecuación:

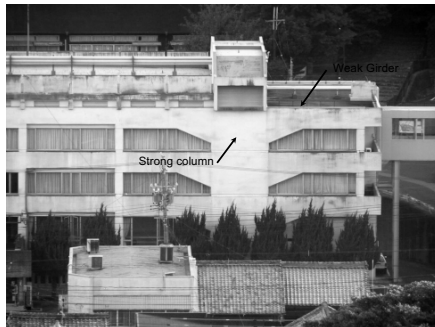
$$\sum_{\text{entrepiso}} M_{\text{columnas}} \geq 1.5 \sum_{\text{entrepiso}} M_{\text{vigas}}^*$$

En que M_{vigas}^* es la capacidad a flexión de las vigas pero sin considerar factores de reducción de resistencia y tomando en cuenta todas las fuentes posible de sobre-resistencia.

CÓMO EVITAR LOS MECANISMOS DE PISO DÉBIL ?



Si no se puede lograr que la suma de las resistencias de las columnas del entrepiso sean mayores a las del sistema de piso de acuerdo a las ecuaciones anteriores, otra solución es colocar al menos dos muros de hormigón en cada dirección.



(Photography by E. Miranda)

Fallas por corte en columnas de hormigón



Photo by Dr. Pedro Rojas

FALLAS POR CORTANTE EN COLUMNAS



Nuevamente, este no es un problema nuevo ni exclusivo del Ecuador, tristemente lo hemos observado en muchos sismos previos aun en países desarrollados supuestamente mejor preparados para eventos sísmicos.

Una falla por corte en una columna, ES SUMAMENTE GRAVE, pues no sólo se pierde casi en forma automática la resistencia a corte de la columna (ya prácticamente no puede volver a tomar fuerzas cortantes después de haber fallado) sino que además puede perder su capacidad de resistencia a cargas verticales y producir un colapso parcial o total en la estructura.

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

DEMANDAS DE CORTE EN COLUMNAS



1/14/95 Hyogo-ken-Nambu, Japan earthquake



(Photography by EERI)

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

DEMANDAS DE CORTE EN COLUMNAS



1/17/94 Northridge, California earthquake



(Photography by EERI)

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

DEMANDAS DE CORTANTE



NUNCA deben utilizar los resultados de un análisis lineal para diseñar por corte una columna de concreto.

Deben DE IGNORAR POR COMPLETO las demandas de cortante calculadas con un análisis elástico lineal.

Es más ni imprimen o ni siquiera vean dichas demandas de corte.

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

ESTIMACIÓN DE DEMANDAS DE CORTE EN COLUMNAS

Uno puede evitar, con un algo grado de certidumbre, una falla de corte si se determina la demanda en función de la capacidad de flexocompresión en los extremos de la columna.

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{h}$$

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda

ESTIMACIÓN DE DEMANDAS DE CORTE EN COLUMNAS

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda

ESTIMACIÓN DE DEMANDAS DE CORTE EN COLUMNAS

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda

CÓMO ESTIMAR DEMANDAS DE CORTANTE EN COLUMNAS

Importancia de la sobre-resistencia en la estimación de demandas de corte en columnas

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda

DEMANDAS DE CORTANTE



Importancia de la sobre-resistencia en la estimación de demandas de corte en columnas

Muchos ingenieros desprecian la sobre-resistencia en elementos estructurales y en la estructura porque "es conservador".

Esto es UN GRAVE ERROR. Como se ilustró anteriormente, despreciar la sobre-resistencia produce una subestimación en la demanda de corte.

En la ingeniería sismo-resistente despreciar la sobre-resistencia puede conducir a fallas muy graves, fallas muy costosas tanto en términos monetarios pero aun más importante puede traducirse en la pérdida de vidas humanas.

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

FALLAS DE COLUMN CORTA



Photo by E. Miranda

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda



Photo by E. Miranda

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda



Photo by E. Miranda

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

FALLAS DE COLUMNA CORTA



Una forma de evitar la falla es separando los muros de altura parcial de las columnas por lo menos 25 mm a cada lado de la columna.

Sin embargo, por varias razones, esto no se logra en todos los casos (por ejemplo el material flexible absorbe lechada del hormigón y se vuelve rígido o el material elastómero se rigidiza con el tiempo debido a rayos UV), produce ligeros "agrietamientos" que espantan a los ocupantes que confunden dichos agrietamientos con daños estructurales, y en otros casos se pueden producir fallas de volteo fuera del plano.

En muchos casos, si no se puede evitar el uso de muros de altura parcial de mampostería, es colocar muros de hormigón que disminuyan las deformaciones laterales en la estructura. Pero si se utiliza esta situación, los muros deben ser lo suficientemente rígidos para que en su conjunto controlen las demandas de deformación de entrepiso por debajo de 0.002 (0.2%)

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

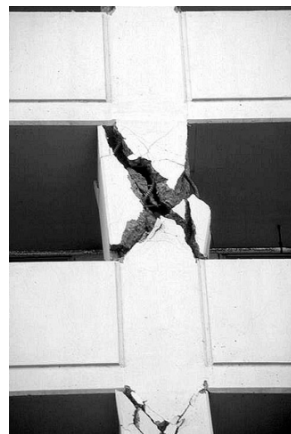
COLUMNA CORTA



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

COLUMNA CORTA



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda


COLUMNA CORTA



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

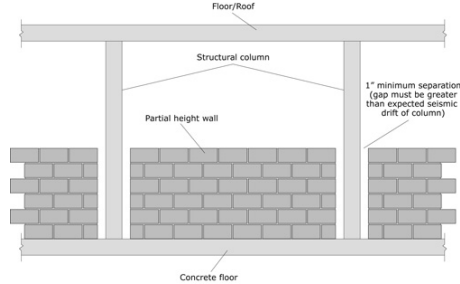
COLUMNA CORTA



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

COLUMNA CORTA




Note: If wall is not designed to cantilever from the base, either remove and replace with properly designed wall, or light partition. Alternatively, reinforce in place.

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

COLUMNA CORTA



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

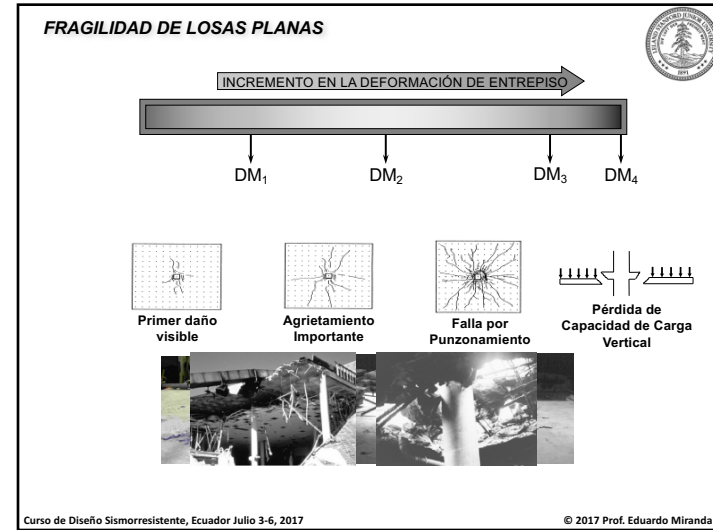
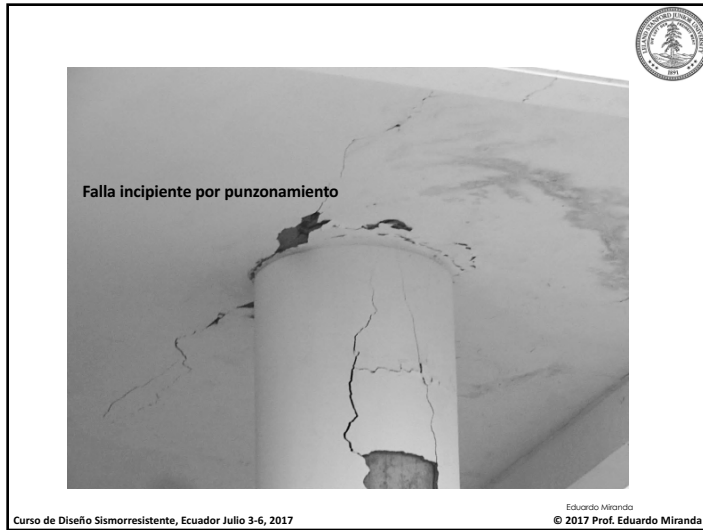
EL USO DE LOSAS PLANAS

Bahia de Caráquez



Eduardo Miranda
© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017



LOSAS PLANAS

Me sorprendió mucho ver muchos edificios estructurados a base de losas planas, por ejemplo en Bahía de Caraquez, pero también en varias otras ciudades.

En 1985, este sistema estructural tuvo un pésimo comportamiento y produjo el colapso de muchas decenas de edificios provocando la muerte de miles de personas en la ciudad de México.

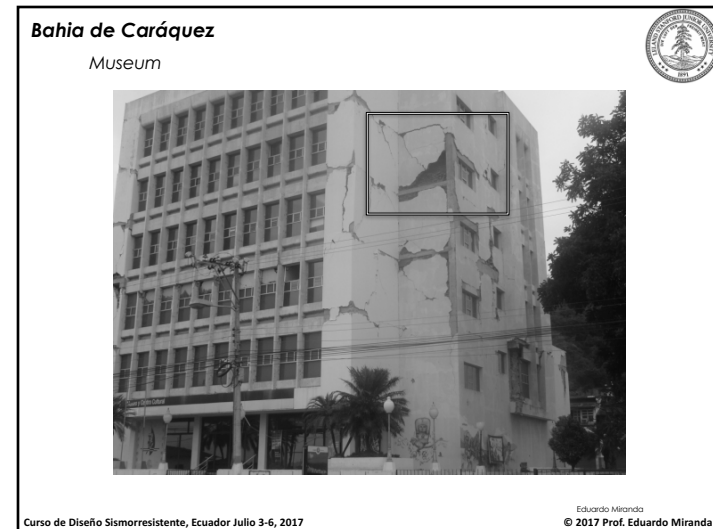
Este sistema tiene muchos inconvenientes importantes entre los más importantes:

1. Es extremadamente flexible, lo que conduce a deformaciones laterales muy grandes y por lo tanto a un enorme daño tanto estructural como no estructural;
2. La conexión losa columna tiende a fallar por punzonamiento lo que conduce no sólo a la pérdida de capacidad a flexocompresión de la conexión, sino también de corte y por lo tanto a una pérdida de capacidad de carga vertical y puede producirse un colapso parcial o total del edificio;

No debe jamás utilizarse este sistema estructural como el sistema resistente a cargas laterales en zonas sísmica. Si un edificio tiene este sistema estructural entonces debe usarse en combinación con muchos de hormigón

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda



Bahía de Caráquez

Museum



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

Eduardo Miranda
© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Bahía de Caráquez



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

Eduardo Miranda
© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Manta

IESS Hospital



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

Photo by E. Miranda
© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Manta

IESS Hospital

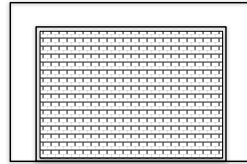
Pediatrics



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

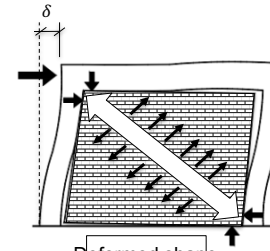
Photo by E. Miranda
© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Infill wall behavior



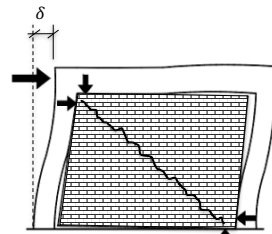
Undeformed shape

Infill wall behavior



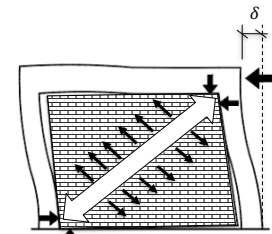
Deformed shape

Infill wall behavior



Deformed shape

Infill wall behavior



Deformed shape

Infill wall behavior

Deformed shape

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Infill wall behavior

Deformed shape

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Pedernales

Out-of-plane failure

Luis Cefelino

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Pedernales

Out-of-plane failure

Luis Cefelino

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Manta

IESS Hospital



Photo by E. Miranda

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda



Estimación Probabilística del Daño

Nuevas funciones de fragilidad de muros no estructurales de mampostería

- 32 años de pruebas experimentales
- 33 diferentes estudios experimentales
- 152 especímenes

(After Chiozzi and Miranda, 2017)

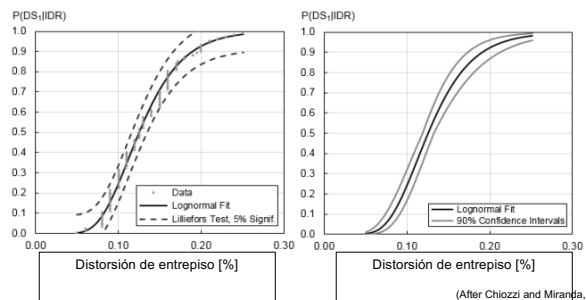
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda



Estimación Probabilística del Daño

Probabilidad de agrietamiento de muros no estructurales de mampostería en función del nivel de distorsión de entrepiso



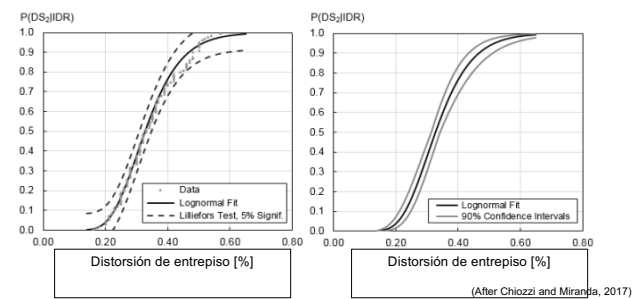
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda



Estimación Probabilística del Daño

Probabilidad de agrietamiento de muros no estructurales de mampostería en función del nivel de distorsión de entrepiso



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

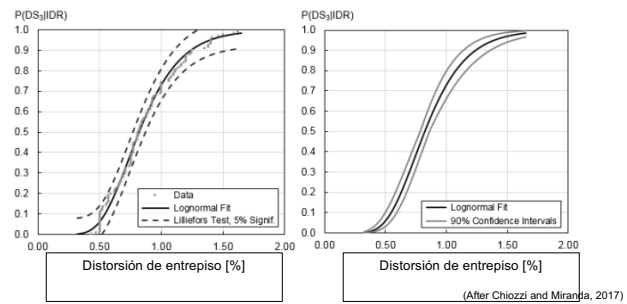
© 2017 Prof. Eduardo Miranda



Estimación Probabilística del Daño



Probabilidad de agrietamiento de muros no estructurales de mampostería en función del nivel de distorsión de entrepiso



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

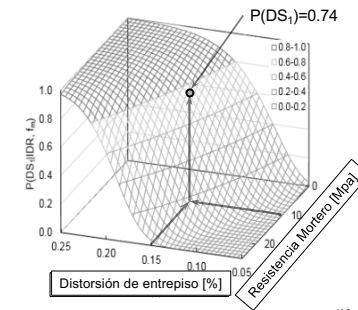
© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Estimación Probabilística del Daño



Ejemplo de superficies de fragilidad

Probabilidad de agrietamiento de muros no estructurales de mampostería en función del nivel de distorsión de entrepiso y resistencia a la compresión del mortero



Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

MUROS DE RELLENO (INFILLS) DE MAMPOSTERÍA



Los muros de relleno de mampostería son muy comunes no sólo en Ecuador, sino en toda Latinoamérica, países de la zona del mediterráneo (e.g., Grecia, Italia, España, Algeria, etc.) pero tienen enormes inconvenientes cuando se emplean en zonas de mediana y alta sismicidad pues tienen enormes inconvenientes como son:

1. Comienzan a dañarse bajo deformaciones de entrepiso muy bajas, que pueden ser tan bajas como 3mm o 5mm, eso es deformaciones de entrepiso de 0.001 (0.1%) o 0.002 (0.2%) que son por lo menos CINCO VECES MENORES que las permitidas por la NEC-2015 para estructuras de mampostería (1%);
2. Su falla es muy frágil;
3. Su falla puede llevar a fallas parciales o totales del tablero fuera del plano pudiendo producir heridas graves o la muerte de personas;
4. Su falla con frecuencia conduce a fallas de columna corta aun si el muro cubría la altura total del entrepiso y provocando la pérdida de capacidad de carga por lo tanto el colapso parcial o total de la estructura;

Su uso debe ser completamente abandonado en zonas sísmicas de moderada y alta sismicidad. Por ejemplo, se pueden reemplazar por muros de yeso, que pueden colocarse para tener aislamiento térmico, acústico adecuado y de rápida colocación.

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Resumen



1. El problema de los pisos blandos / débiles es una de las deficiencias más graves (probablemente la más grave) para una estructura en zonas sísmicas.
2. El problema ha sido bien identificado desde hace muchos años.
3. A pesar de importantes avances en Ingeniería Sísmica este problema sigue presentándose con una frecuencia alarmante.
4. Los reglamentos de diseño, por lo general, no tienen un tratamiento adecuado de este grave problema. De hecho pueden crear un falso sentido de seguridad.

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Resumen



5. La estimación de la respuesta de estructuras con este problema es sumamente compleja. Una estimación adecuada requiere de análisis no lineales paso a paso con modelos avanzados de comportamiento mecánico y tomando en cuenta también no-linealidades geométricas con una formulación co-rotacional. Análisis estáticos o dinámicos lineales son completamente inadecuados en la mayoría de los casos para este problema y nuevamente pueden crear un falso sentido de seguridad.
6. En la mayoría de los casos este problema puede evitarse o al menos es posible disminuir significativamente sus efectos por medio de la incorporación de muros estructurales o bien de contravientos.
7. Los sistemas de piso son por lo general mucho mas resistentes de lo que creemos, por lo que las articulaciones plásticas pueden formarse en la columnas en lugar de en las trabes y podría producirse un mecanismo de piso blando.

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Resumen



8. Debe abandonarse el uso de sistemas estructurales flexibles lateralmente, como los pórticos/marcos, ya sean éstos de hormigón o acero, y desde luego evitar por completo el uso de losas planas cuando no hay muros de hormigón.
9. Los sistemas estructurales rígidos son preferibles a los flexibles pues en ellos se producirán menores deformaciones laterales y por lo tanto menos daño.
10. Los muros de hormigón representan un sistema estructural muy bueno que además de ser muy rígido ayuda a evitar la formación de pisos débiles/blandos, a evitar fallas de columna corta, disminuir la probabilidad de experimentar fallas de corte en columnas, etc.
11. Debe de abandonarse el uso de muros de relleno de mampostería en zonas sísmicas de moderada y alta sismicidad.

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda



PROF. EDUARDO MIRANDA

© Todos los derechos reservados