



Curso de Diseño de Estructuras Sismorresistentes

Cuarta Parte

Diseño de Sistemas de un Grado de Libertad Basado en Desplazamientos

PROF. EDUARDO MIRANDA

DEPARTMENT OF CIVIL & ENVIRONMENTAL ENGINEERING
STANFORD UNIVERSITY

OBJETIVOS DE ESTA PARTE DEL CURSO



1. Introducir los conceptos principales del diseño sismorresistente basado en desplazamientos.
2. Resumir el método de estimación de desplazamientos laterales en reglamentos de diseño;
3. Presentar brevemente el Método Directo de Diseño Basado en Desplazamientos del Prof. Priestley (Direct Displacement Based Design, DDBD);
4. Cocientes de deformación inelástica a elástica;
5. Método de diseño basado en desplazamiento desarrollado por su servidor con sus estudiantes de doctorado;.

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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Conceptos básicos



Pasos en el diseño por cargas gravitacionales

1. Estimación de cargas
2. Análisis Estructural
3. Diseño de Elementos
4. Revisión de condiciones de servicio (e.g., deformaciones máximas)

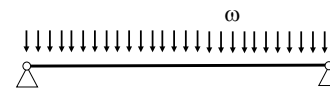
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

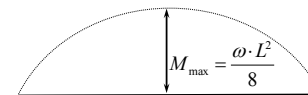
Conceptos básicos



Pasos en el diseño por cargas gravitacionales



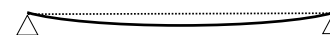
1. Estimación de cargas



2. Análisis Estructural



3. Diseño de Elementos



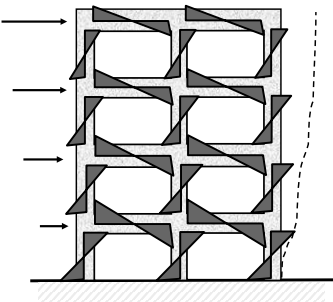
4. Revisión de condiciones de servicio (e.g., deformaciones máximas)

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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Conceptos básicos

Pasos en el diseño sísmico con cargas estáticas equivalentes



1. Estimación de cargas
2. Análisis Estructural
3. Diseño de Elementos
4. Revisión de condiciones de servicio (e.g., deformaciones máximas)

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

Conceptos básicos

Ecuación fundamental del diseño sísmico

Capacidades > Demandas

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

Conceptos básicos

Pero por lo general usamos esta ecuación con fuerzas/resistencias. Por ejemplo:

Momento Resistente > Momento Actuante

Fuerza Resistente > Fuerza Actuante

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

Conceptos básicos

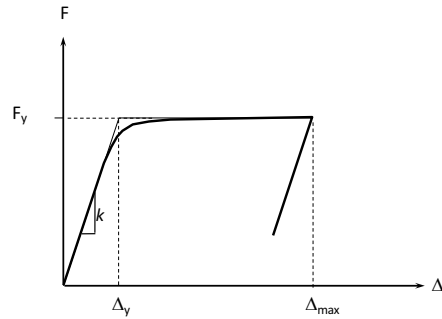


Que tipo de acción es la que provoca este daño ?

Fuerzas o Desplazamientos ?

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

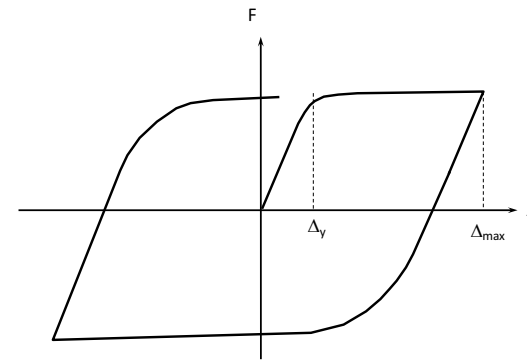
Conceptos básicos



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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

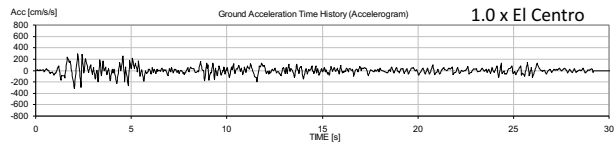
Conceptos básicos



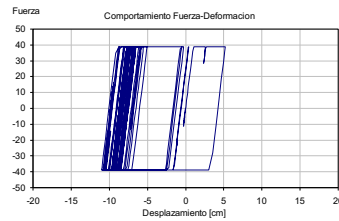
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Conceptos básicos



$F_y \approx 0.1W$



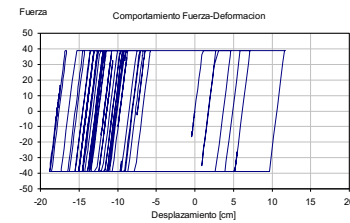
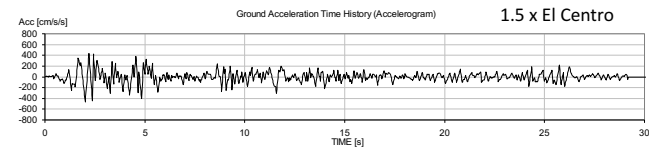
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Conceptos básicos



Ahora incrementemos la intensidad del sismo en un 50%



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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Conceptos básicos

1.0 x El Centro

1.5 x El Centro

En cuál estructura esperaríamos mayor daño?

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

Conceptos básicos

En cuál estructura esperaríamos mayor daño?

(Photos courtesy of UCSD)

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

Ya discutimos como estimar demandas de resistencia lateral, pero...

Qué causa realmente el daño ?
Fuerzas o Deformaciones ?

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

Conceptos básicos

Dos observaciones muy importantes:

- Una vez que la estructura fluye, **las fuerzas laterales ya no dependen de la intensidad del movimiento de terreno**. El nivel de fuerzas depende de qué tan resistente sea la estructura.
- Una vez que la estructura fluye, **el nivel de daño no depende de las fuerzas que actúan en el elemento o en la estructura**, sino de las deformaciones provocadas por los desplazamientos laterales.

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

Conceptos básicos



Por lo tanto la ecuación más importante en diseño sísmico así como en la evaluación sísmica de estructuras es

Capacidades de Deformación > Demandas de Deformación

Capacidades de Desplazamiento Lateral > Demandas de Desplazamiento Lateral

PROCEDIMIENTO USADO EN LOS REGLAMENTOS PARA EL CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS



Diseño basado en fuerzas

Procedimiento de fuerzas equivalentes

$$V = C_s W$$

Procedimiento de análisis dinámico

$$V_m = C_{sm} \bar{W}_m$$

En que

$$C_s = \frac{S_a}{(R/I_E)}$$

NOTA: En el procedimiento estático equivalente la rama ascendente del espectro de diseño suele despreciarse.

PROCEDIMIENTO USADO EN LOS REGLAMENTOS PARA EL CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS



ASCE 7-05

12.8 EQUIVALENT LATERAL FORCE PROCEDURE

12.8.1 Seismic Base Shear. The seismic base shear, V , in a given direction shall be determined in accordance with the following equation:

$$V = C_s W \quad (12.8-1)$$

where

C_s = the seismic response coefficient determined in accordance with Section 12.8.1.1

W = the effective seismic weight per Section 12.7.2.

PROCEDIMIENTO USADO EN LOS REGLAMENTOS PARA EL CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS



ASCE 7-05

12.8.1.1 Calculation of Seismic Response Coefficient. The seismic response coefficient, C_s , shall be determined in accordance with Eq. 12.8-2.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (12.8-2)$$

where

S_{DS} = the design spectral response acceleration parameter in the short period range as determined from Section 11.4.4

R = the response modification factor in Table 12.2-1

I = the occupancy importance factor determined in accordance with Section 11.5.1

PROCEDIMIENTO USADO EN LOS REGLAMENTOS PARA EL CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS



ASCE 7-05

where I and R are as defined in Section 12.8.1.1 and

S_{D1} = the design spectral response acceleration parameter at a period of 1.0 s, as determined from Section 11.4.4

T = the fundamental period of the structure (s) determined in Section 12.8.2

T_L = long-period transition period (s) determined in Section 11.4.5

S_1 = the mapped maximum considered earthquake spectral response acceleration parameter determined in accordance with Section 11.4.1

PROCEDIMIENTO USADO EN LOS REGLAMENTOS PARA EL CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS



ASCE 7-05

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I} \quad (12.8-15)$$

where

C_d = the deflection amplification factor in Table 12.2-1

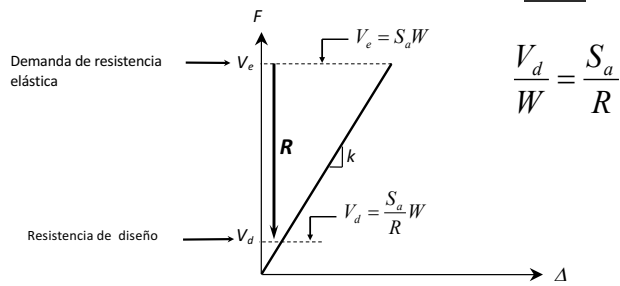
δ_{xe} = the deflections determined by an elastic analysis

I = the importance factor determined in accordance with Section 11.5.1

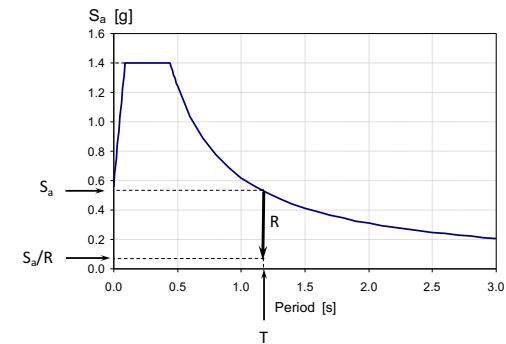
Estimación de demandas de desplazamiento lateral

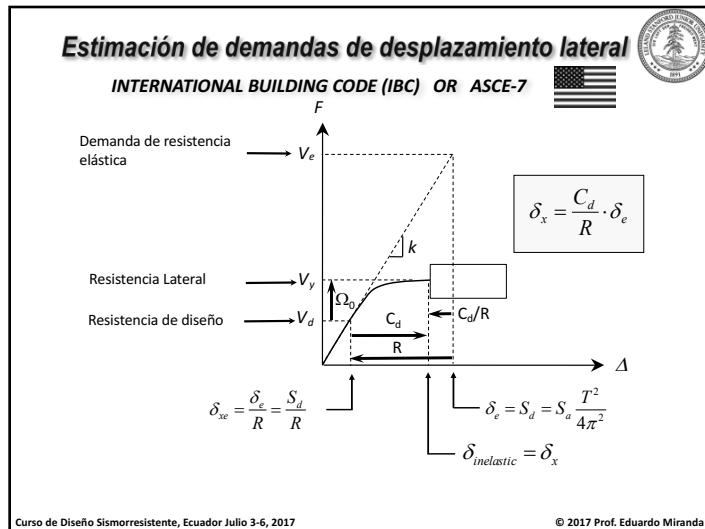
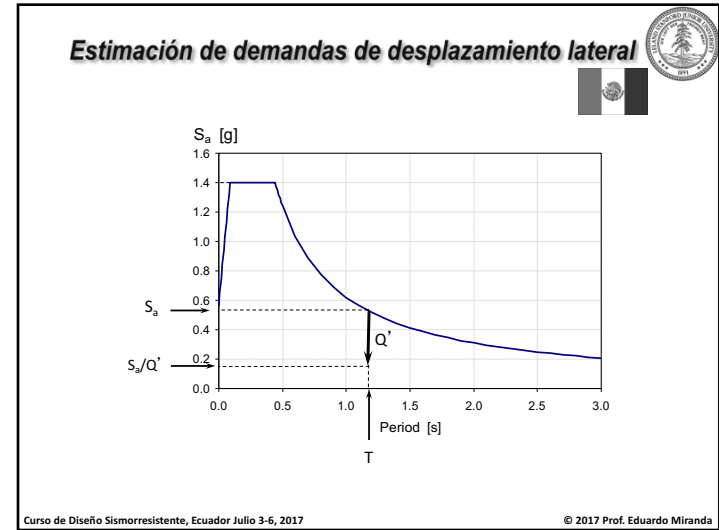
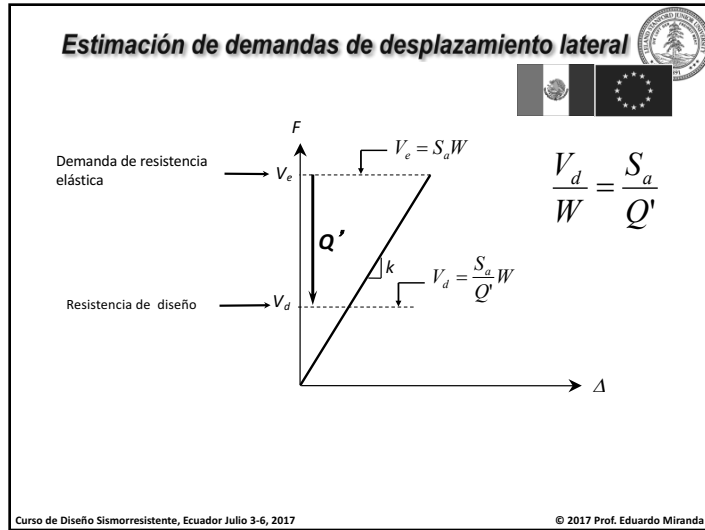


INTERNATIONAL BUILDING CODE (IBC) OR ASCE-7



Estimación de demandas de desplazamiento lateral





Estimación de demandas de desplazamiento lateral

INTERNATIONAL BUILDING CODE (IBC) OR ASCE-7

TABLE 12.2-1 DESIGN COEFFICIENTS AND FACTORS FOR SEISMIC FORCE-RESISTING SYSTEMS (continued)

| Seismic Force-Resisting System | ASCE 7 Section where Detailing Requirements are Specified | Response Modification Coefficient, R ^a | System Overstrength Factor, Ω _f ^b | Deflection Amplification Factor, c _d ^c | Structural System Limitations and Building Height (ft) Limit ^d | | | | |
|--|---|---|---|--|---|----|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | | | | B | C | I | II | III |
| 22. Prestressed masonry shear walls | 14.4 | 1 1/2 | 2 1/2 | 1 1/2 | NL | NP | NP | NP | NP |
| 23. Light-framed walls sheathed with wood structural panels rated for shear resistance or steel sheets | 14.1, 14.1.4.2 and 14.5 | 7 | 2 1/2 | 4 1/2 | NL | NL | 65 | 65 | 65 |
| 24. Light-framed walls with shear panels of all other materials | 14.1, 14.1.4.2 and 14.5 | 2 1/2 | 2 1/2 | 2 1/2 | NL | NL | 35 | NP | NP |
| 25. Buckling-restrained braced frames, non-moment-resisting beam-column connections | 14.1 | 7 | 2 | 5 1/2 | NL | NL | 160 | 160 | 100 |
| 26. Buckling-restrained braced frames, moment-resisting beam-column connections | 14.1 | 8 | 2 1/2 | 5 | NL | NL | 160 | 160 | 100 |
| 27. Special steel plate shear wall | 14.1 | 7 | 2 | 6 | NL | NL | 160 | 160 | 100 |
| C. MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEMS | | | | | | | | | |
| 1. Special steel moment frames | 14.1 and 12.2.5.5 | 8 | 3 | | | | | | |
| 2. Special steel truss moment frames | 14.1 | 7 | 3 | | | | | | |
| 3. Intermediate steel moment frames | 12.2.5.6, 12.2.5.7, 12.2.5.8, 12.2.5.9, and 14.1 | 4.5 | 3 | | | | | | |
| 4. Ordinary steel moment frames | 12.2.5.6, 12.2.5.7, 12.2.5.8, and 14.1 | 3.5 | 3 | 3 | NL | NL | NP ^e | NP ^e | NP ^e |
| 5. Special reinforced concrete moment frames | 12.2.5.5 and 14.2 | 8 | 3 | 5 1/2 | NL | NL | NL | NL | NL |
| 6. Intermediate reinforced concrete moment frames | 14.2 | 5 | 3 | 4 1/2 | NL | NL | NP | NP | NP |

$\Delta_i = \frac{5}{8} = 0.62$
 Δ_e

O sea en el IBC o bien en el ASCE 7, los desplazamientos inelásticos son MENORES a los desplazamientos en estructuras de comportamiento elástico, lo cual es INCORRECTO.

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Estimación de demandas de desplazamiento lateral

NEC - 2015



6.3.9. Control de la deriva de piso (derivas inelásticas máximas de piso Δ_M)

Se hará un control de deformaciones, a través del cálculo de las derivas inelásticas máximas de piso.

El diseñador deberá comprobar que la estructura presentará deformaciones inelásticas controlables, mejorando substancialmente el diseño conceptual.

Los valores máximos se han establecido considerando que el calculista utilizará secciones agrietadas (véase la sección 6.1.8 sobre agrietamiento e inercia I_g).

Para la revisión de las derivas de piso se utilizará el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos Δ_M de la estructura, causada por el sismo de diseño.

Las derivas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas por el método DBF sean estáticas o dinámicas, para cada dirección de aplicación de las fuerzas laterales, se calcularán, para cada piso, realizando un análisis elástico de la estructura sometida a las fuerzas laterales calculadas.

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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Estimación de demandas de desplazamiento lateral

NEC - 2014



Límites de la deriva: la deriva máxima inelástica Δ_M de cada piso debe calcularse mediante:

$$\Delta_M = 0.75\Delta_E$$

Dónde:

Δ_M Deriva máxima inelástica

Δ_E Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

NOTA IMPORTANTE: Esta ecuación en la NEC-2015 contenía un error y no debe usarse pues subestima en forma importante las demandas de desplazamiento lateral. Desafortunadamente, sigue estando disponible en internet.

Regla: Δ_M no puede superar los valores establecidos en la **Tabla 14**, los cuales deben satisfacerse en todas las columnas del edificio.

Se verificará que:

$$\Delta_M < \Delta_M \text{ máxima}$$

Dónde:

Δ_M Máxima se determina conforme a la sección 5.1

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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

Estimación de demandas de desplazamiento lateral

NEC - 2015



Límites de la deriva: la deriva máxima inelástica Δ_M de cada piso debe calcularse mediante:

$$\Delta_M = 0.75R\Delta_E$$

Dónde:

Δ_M Deriva máxima inelástica

Δ_E Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R Factor de reducción de resistencia (véase la sección 6.3.4)

NOTA IMPORTANTE: Aunque mucho mejor que la ecuación en la versión 2014, esta ecuación sigue SUBESTIMANDO las deformaciones laterales.

Regla: Δ_M no puede superar los valores establecidos en la **Tabla 7**, los cuales deben satisfacerse en todas las columnas del edificio.

Se verificará que:

$$\Delta_M < \Delta_M \text{ máxima}$$

Dónde:

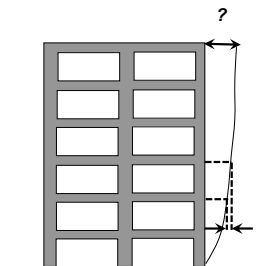
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

DISEÑO BASADO EN DESPLAZAMIENTOS



La idea principal es la estimación de la deformación lateral de la estructura y diseñar la estructura para que pueda soportar dicha demandas de deformación lateral, o bien modificar la rigidez y resistencia lateral para disminuir la demanda de deformación lateral.



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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

DISEÑO BASADO EN DESPLAZAMIENTOS



Existen dos tipos de métodos simplificados de diseño basados en desplazamiento.

1. Métodos basados en linealización equivalente;
2. Métodos basados en coeficientes de modificación:

Hago hincapié en que ambos son métodos aproximados y que ambos tienen sus limitaciones porque ambos métodos se basan en:

- a. La estimación de deformaciones en sistemas de varios grados de libertad a partir de sistemas de un grado de libertad "equivalentes";
- b. Estimación de deformaciones no lineales a partir de deformaciones lineales;

MÉTODO DE PRIESTLEY



El método del Prof. Nigel Priestley fué desarrollado entre 1994 y 1996 junto con M. Kowalsky, M. Calvi y G. Kingley.

Muchos años antes (en los 70s y 80s), dos profesores, uno en Japón el Prof. Muto y otro en los Estados Unidos, el Prof. Mete Sozen en la UIUC publicaron varios trabajos que planteaban que las deformaciones laterales eran mucho más importantes que las fuerzas laterales y que en sistemas no lineales las segundas ERAN EL RESULTADO, de las primeras y que por lo tanto sería mucho más racional y por lo tanto mejor tener procedimientos de diseño que dieran mayor importancia a las deformaciones laterales.

En las siguientes páginas, reproduzco los títulos y resúmenes más importantes que dieron lugar al método de Diseño Basado en Desplazamientos del Prof. Priestley (QEPD) que por sus iniciales en inglés también se le conoce como DDBD. El método basado en desplazamientos de la NEC-2015 está basado en este método.

MÉTODO DE PRIESTLEY



DISPLACEMENT-BASED SEISMIC ASSESSMENT OF EXISTING REINFORCED CONCRETE BUILDINGS

M J N Priestley¹

This paper was presented as one of the keynote addresses at the Pacific Conference on Earthquake Engineering, PCEE 95, Melbourne, November 1995.

SUMMARY

Seismic assessment of existing reinforced concrete frame and shear wall buildings is discussed. Building on an earlier preliminary assessment procedure incorporating aspects of capacity design into a systems approach for assessment, suggestions are made towards a displacement-based, rather than force-based approach to determining available capacity. Based on results from recent experimental programs, procedures are proposed for assessing member strength including column and beam-column joint shear strength, that result in less conservative estimates of performance than would result from application of existing code rules.

BULLETIN OF THE NEW ZEALAND NATIONAL SOCIETY FOR EARTHQUAKE ENGINEERING, Vol. 29, No. 4, December 1996

MÉTODO DE PRIESTLEY



EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS, VOL. 24, 1247-1266 (1995)

DISPLACEMENT-BASED SEISMIC DESIGN OF MULTI-DEGREE-OF-FREEDOM BRIDGE STRUCTURES

G. M. CALVI*

Dipartimento di Meccanica Strutturale, Università degli Studi di Pavia, Via Abbiategrasso 211, 27100 Pavia, Italia

AND

G. R. KINGSLEY†


Atkinson-Noland and Associates, 2619 Spruce St., Boulder CO 80302, U.S.A.

SUMMARY

The concept of displacement-based design is attractive for seismic design, primarily because it places the focus of design directly on displacement demand, and hence damage, rather than on force-reduction or behaviour factors. A procedure is presented which extends the simple concept of displacement-based design to complex multi-degree-of-freedom (MDOF) bridge structures. The procedure is based on the assumption of a displaced shape for the structure, and the subsequent reduction of the system to an equivalent single-degree-of-freedom (SDOF) system. The process is shown to work well for the design of a symmetrical bridge, while suffering some shortcomings when applied to a highly irregular bridge. The topic of design-oriented displacement response spectra is also briefly addressed.

MÉTODO DE PRIESTLEY

Journal of Earthquake Engineering Vol. 1, No. 1 (1997) 157-192
© Imperial College Press



**DISPLACEMENT-BASED SEISMIC ASSESSMENT OF
REINFORCED CONCRETE BUILDINGS**

M. J. N. PRIESTLEY
University of California, San Diego, La Jolla, California 92093-0085, USA



Received 14 July 1996
Revised 30 July 1996

Seismic assessment of existing reinforced concrete frame and shear wall buildings is discussed. Building on an earlier preliminary assessment procedure incorporating aspects of capacity design into a systems approach for assessment, suggestions are made towards a displacement-based, rather than forced-based, approach to determining available seismic capacity. Based on results from recent experimental programs, procedures are proposed for assessing member strength including column and beam-column joint shear-strength, that result in less conservative estimates of performance than would result from application of existing code rules.

Keywords: assessment, displacement, frames, walls, shear-strength

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

MÉTODO DE PRIESTLEY

2831

PERFORMANCE BASED SEISMIC DESIGN

M J N PRIESTLEY¹


SUMMARY

One of the major developments in seismic design over the past 10 years has been increased emphasis on limit states design, now generally termed Performance Based Engineering. Three techniques – the capacity spectrum approach, the NZ method and direct displacement-based design have now matured to the stage where seismic assessment of existing structures, or design of new structures can be carried out to ensure that particular deformation-based criteria are met.

The paper will outline and compare the three methods, and discuss them in the context of traditional force-based seismic design and earlier design approaches which contained some elements of performance based design. Factors defining different performance states will be discussed, including the need, not yet achieved, to include residual displacement as a key performance limit. Some emphasis will be placed on soil-related problems, and the incorporation of soil/structure interaction into performance-based design. It will be shown that this is relatively straightforward and results in consistent design solutions not readily available with force-based designs using force-reduction factors.

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

MÉTODO DE PRIESTLEY



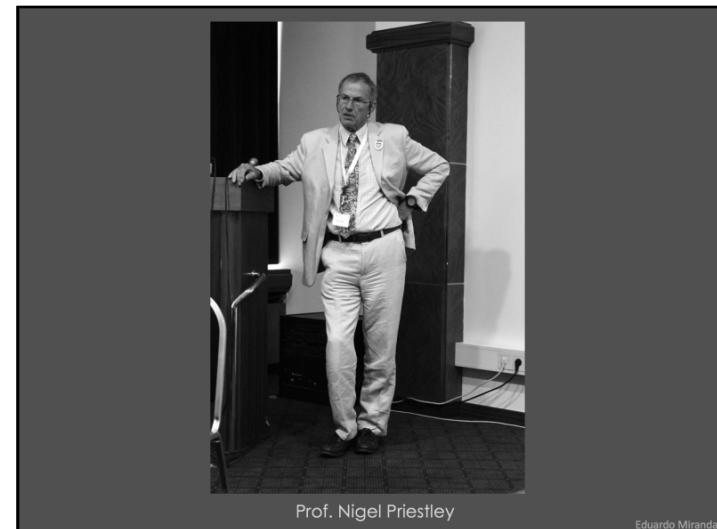
M.J.N. PRIESTLEY
G.M. CALVI
M.J. KOWALSKY

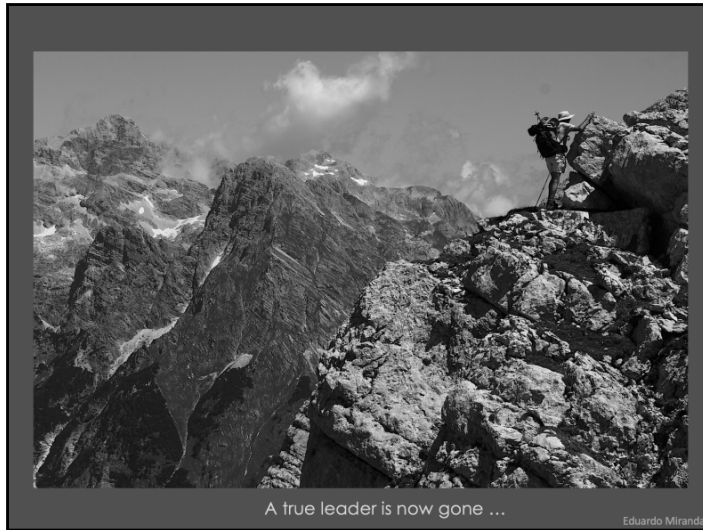
Displacement-Based
Seismic Design of Structures



ISIS Press
Worldwide Distributors of Books, Journals & Papers

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





MÉTODO DE PRIESTLEY



El método de Priestley fué desarrollado en 1996 y se basa en el principio de linealización equivalente, que aunque en su artículo original de DDBD hace referencia al método de la estructura substituta de Shibata y Sozen, en realidad el método de linealización equivalente fue propuesto originalmente por el Prof. Lydik Jacobsen en la Universidad de Stanford en 1932, primero para reemplazar diferentes tipos de amortiguamiento por uno viscoso lineal equivalente y luego en los 60s para aproximar la respuesta de estructuras con comportamiento no lineal por una estructura "equivalente" con un periodo más largo al de la estructura original y un amortiguamiento mayor.

$$\Delta_i \approx S_d(T_{eff}, \xi_{eff})$$

MÉTODO DE PRIESTLEY

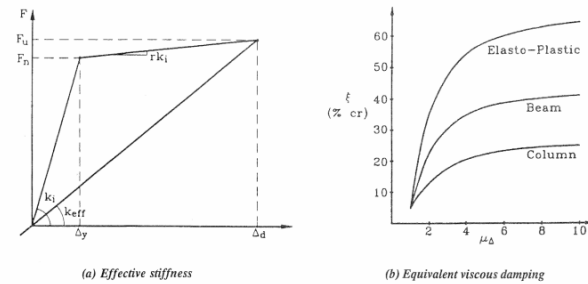
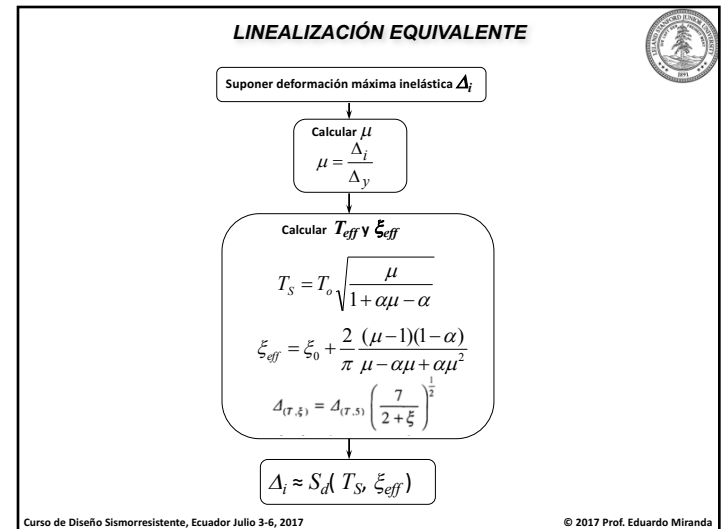
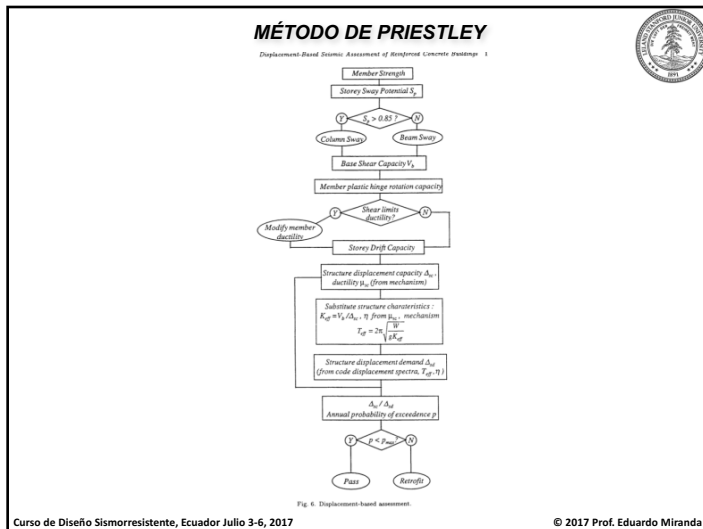
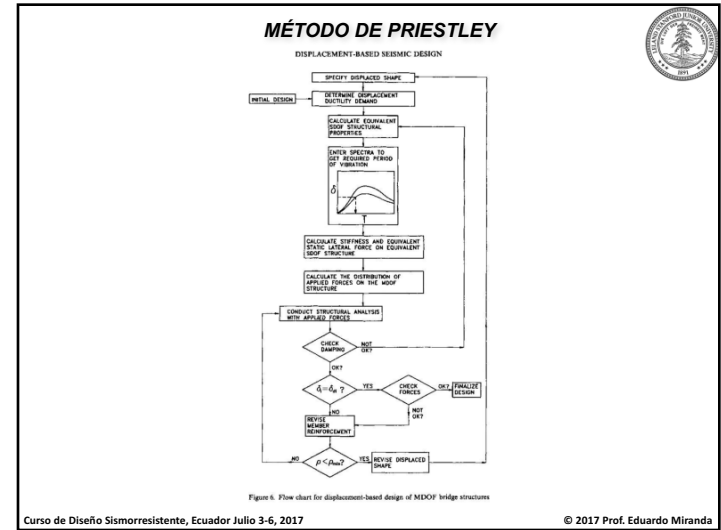
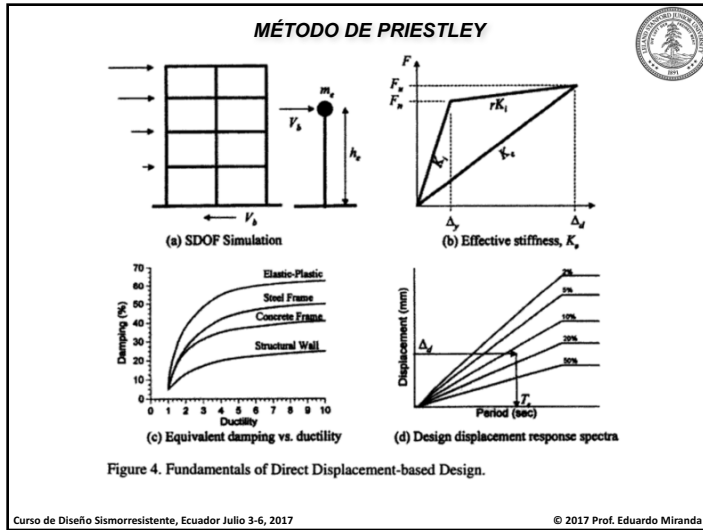
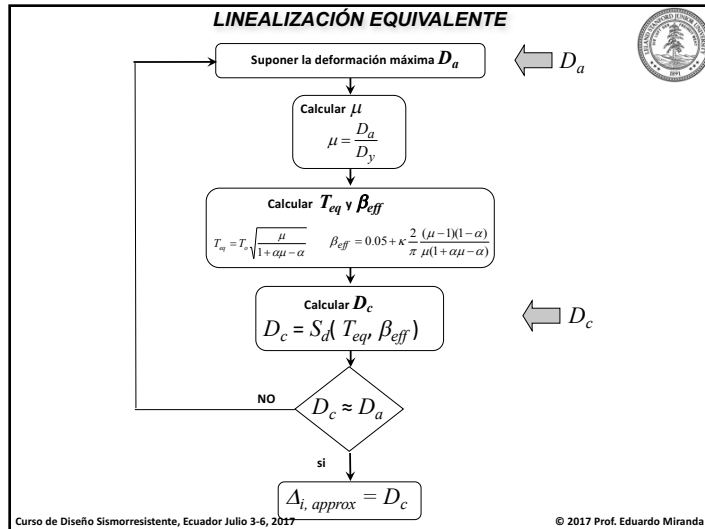


FIGURE. 2 Elements of Displacement-Based Assessment





COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO DE PRIESTLEY

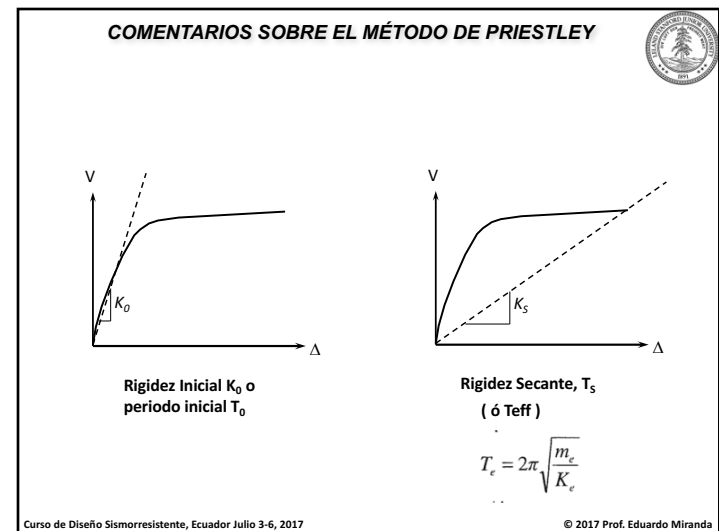
Si bien el método basado por desplazamiento tiene muchas ventajas respecto a un método basado en fuerzas, sobretodo porque pone énfasis en el parámetros de demanda que verdaderamente está correlacionado con el daño y posible colapso de una estructura, en lo personal considero que el método de Priestley tiene algunos inconvenientes que describo a continuación.

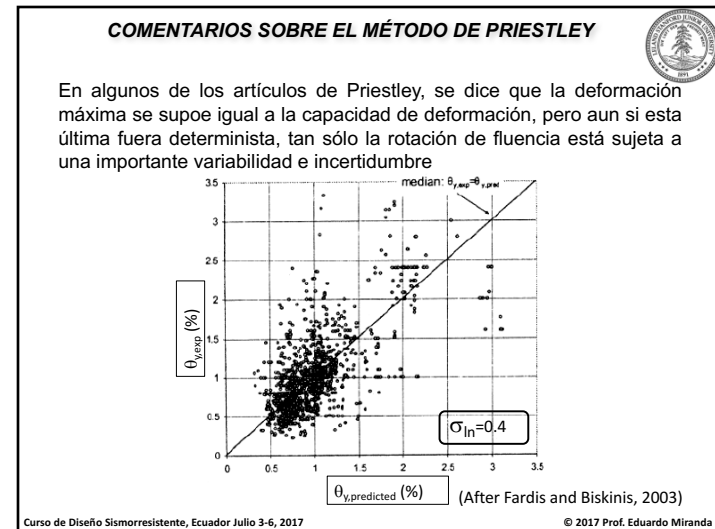
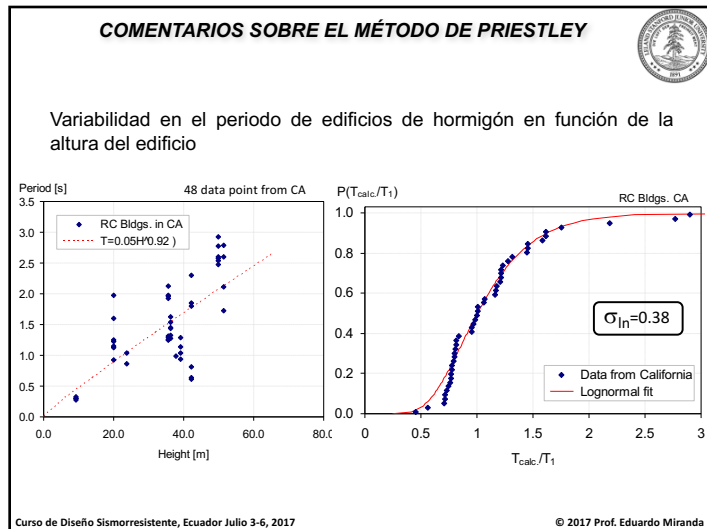
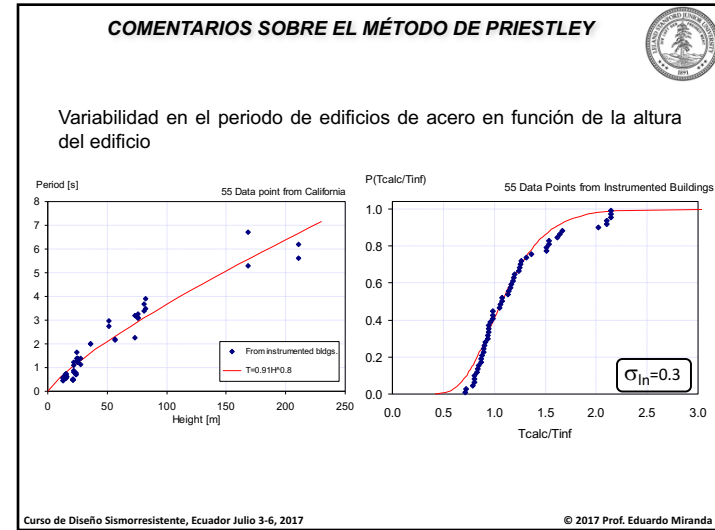
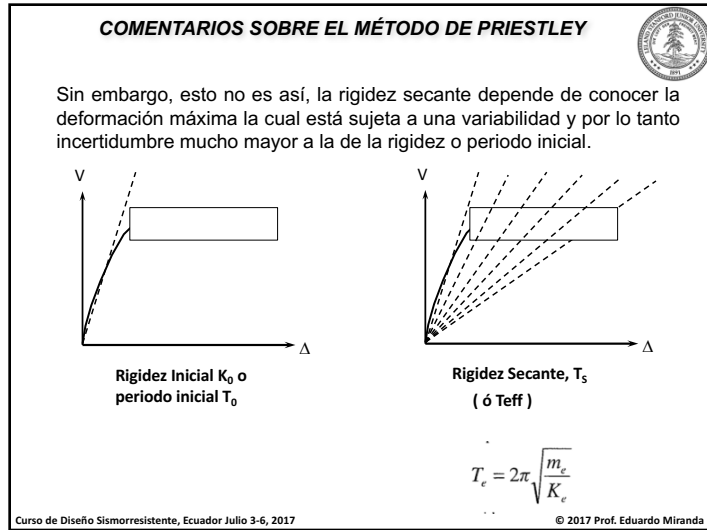
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda

COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO DE PRIESTLEY

- Como la deformación máxima no se conoce de antemano, y la demanda de ductilidad depende de la deformación máxima (no es mas que la deformación máxima normalizada por la deformación de fluencia), entonces no se pueden calcular de antemano ni la rigidez secante y por lo tanto el periodo efectivo o "equivalente" ni tampoco el amortiguamiento efectivo. El método requiere de iteraciones.
- El método puede no converger y aun si converge, no necesariamente converge al desplazamiento inelástico correcto ni tampoco necesariamente a una mejor estimación del desplazamiento inelástico. Aun más, al ser un método iterativo, cuando este converge, da LA FALSA IMPRESIÓN de haber convergido al desplazamiento correcto.
- Requiere de tres relaciones aproximadas:
 - Para estimar T_{eff} en función de T_0 y μ ;
 - Para estimar ξ_{eff} en función de ξ_0 y μ ;
 - Para estimar $S_d(T_{eff}, \xi_{eff})$ en función de $S_d(T_{eff}, \xi=5\%)$;

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





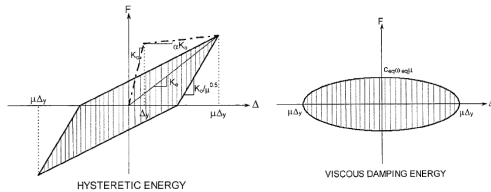
COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO DE PRIESTLEY



El concepto de amortiguamiento equivalente ES UNA FALACIA



Jacobsen, 1930



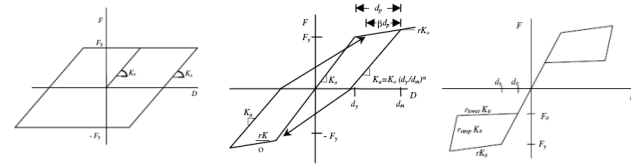
$$\xi_{\text{hyst}} = \frac{1}{2\pi} \frac{E_H}{F_0 M_0}$$

Si esto fuera cierto, estructuras que tengan una mayor disipación por comportamiento histerético, esto es sistemas con ciclos histerético "más gordos" tendrían un mayor amortiguamiento equivalente y por lo tanto experimentarían desplazamientos laterales mucho menores a los de una estructura con ciclos histeréticos "más flacos"

COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO DE PRIESTLEY



El mismo Priestley en su famoso artículo de "Mitos y falacias en la Ingeniería Sísmica" escribió sobre el mito de la energía en que muchas veces se recomendaba disipar la mayor cantidad de energía y escribió:



"...it can be seen that the maximum displacement of the three different systems is similar"

"...puede verse que en realidad estos tres sistemas experimentan deformaciones laterales muy semejantes"

COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO DE PRIESTLEY



Muchos otros investigadores ya habían hecho notar esta importante observación. Algunos de ellos:

Clough and Johnston, 1966

Iwan and Gates, 1979

Otani, 1981

Powell and Row, 1976

Iwan, 1980

Mahin and Bertero, 1981

Nassar and Krawinkler, 1991

Shi and Foutch, 1997, 1998

Gupta and Krawinkler, 1998, 1999

COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO DE PRIESTLEY



Tres ejemplos:

Clough and Johnston, 1966

"earthquake ductility requirements in the degrading stiffness systems are not materially different from those observed in ordinary elastoplastic structures, except for structures having a period of vibration less than 1/2 second"

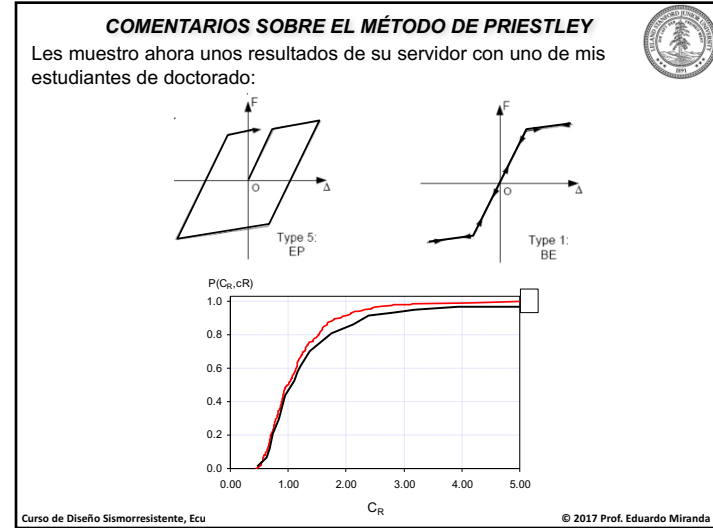
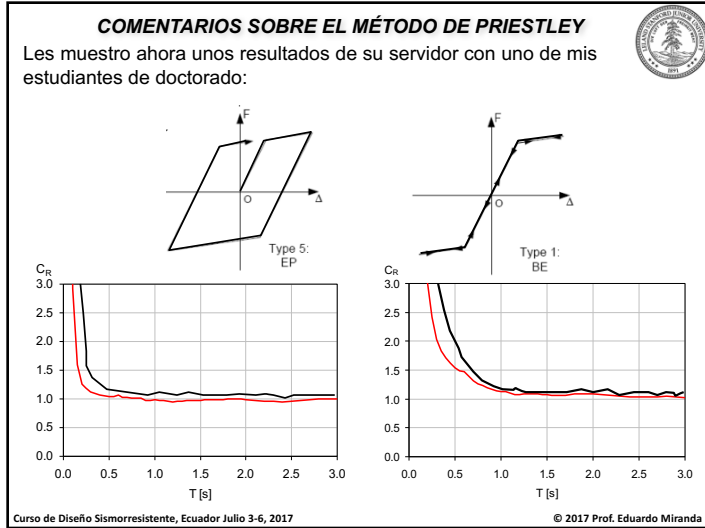
"the ductility required in the members of reinforced concrete frame buildings will be about the same as is required in equivalent steel frame buildings"

Iwan and Gates, 1979

"despite the quite different load deformation characteristic the overall effect for a given ductility is nearly the same. This is a rather surprising result which may be useful in design, for it implies that it may not be necessary to know the precise details of the load-deflection behavior of a structure in order to make a reasonably accurate estimate of its response"

Otani, 1981

"maximum response amplitudes are no sensitive to details in hysteretic rules of these models"



COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO DE PRIESTLEY

Bilinear elasto-plastic system, Rosenblueth and Herrera [1964]:

$$\xi_{eq} = \xi_0 + \frac{2}{\pi} \left[\frac{(1-r)(\mu-1)}{\mu-r\mu+r\mu^2} \right]$$

Takeda model, Gulkan Sozen [1974]:

$$\xi_{eq} = \xi_0 + 0.2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\beta}} \right)$$

Elastic and Coulomb slip elements, Iwan [1980]:

$$\xi_{eq} = \xi_0 + 0.0587(\mu-1)^{0.371}$$

Takeda model $\alpha = 0.5$ and $\beta = 0$, Kowalsky [1994]:

$$\xi_{eq} = \xi_0 + \frac{1}{\pi} \left(1 - \frac{1-r}{\sqrt{\beta}} - r\sqrt{\beta} \right)$$

Steel members, Priestley [2003]:

$$\xi_{eq} = 5 + \frac{120}{\pi} (\mu-1)$$

Concrete frames, Priestley [2003]:

$$\xi_{eq} = 5 + \frac{120}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\beta}} \right)$$

Concrete columns, and walls, Priestley [2003]:

$$\xi_{eq} = 5 + \frac{90}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\beta}} \right)$$

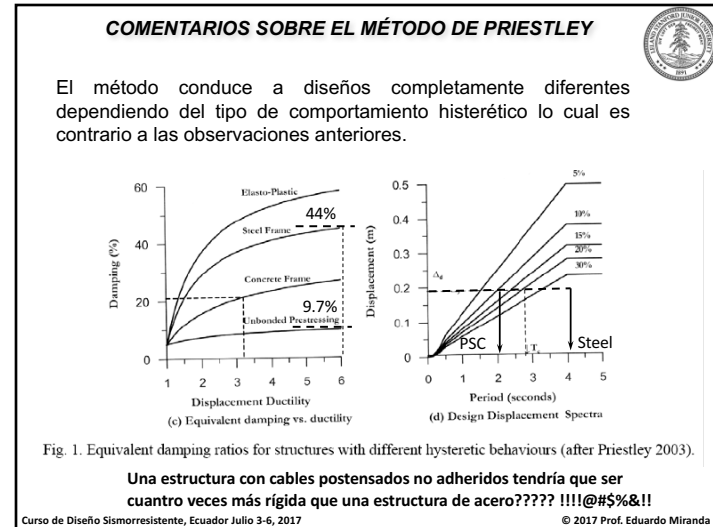
Precast walls or frames, with unbonded prestressing, Priestley [2003]:

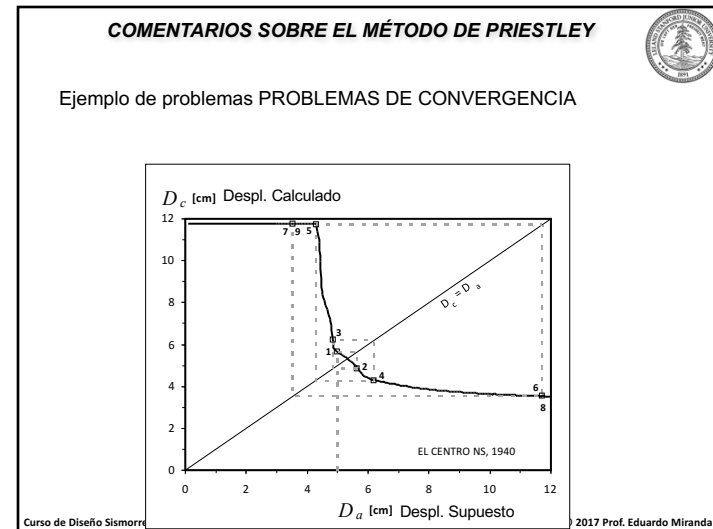
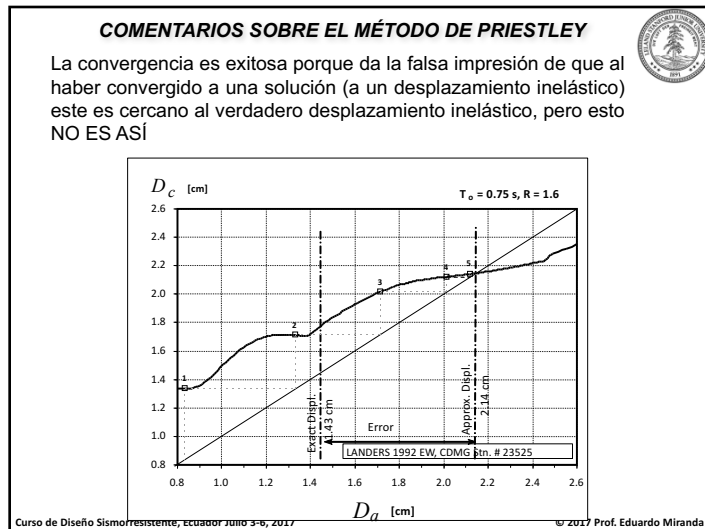
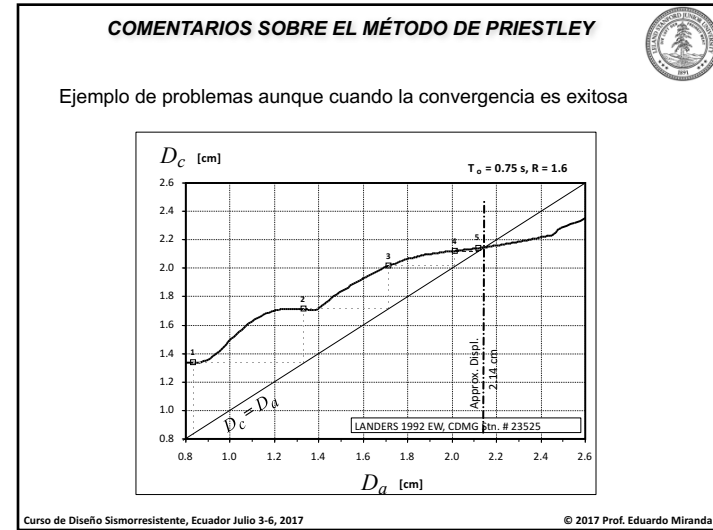
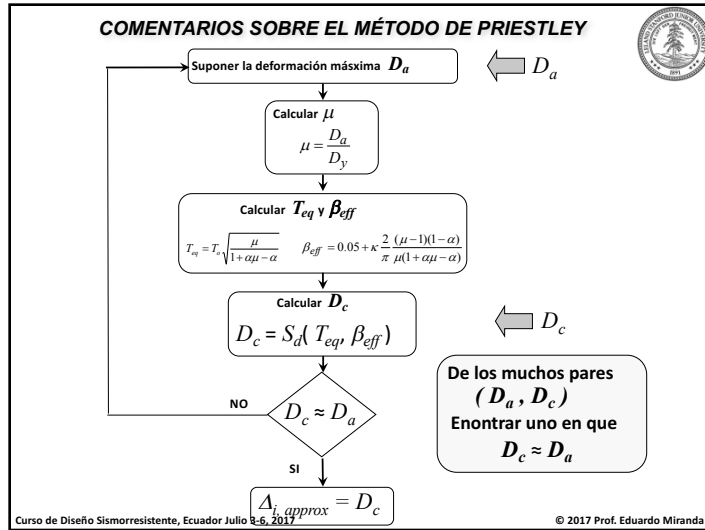
$$\xi_{eq} = 5 + \frac{25}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{\beta}} \right)$$

(Todas las expresiones son independientes del periodo de vibración!

After Blandon and Priestley, 2005

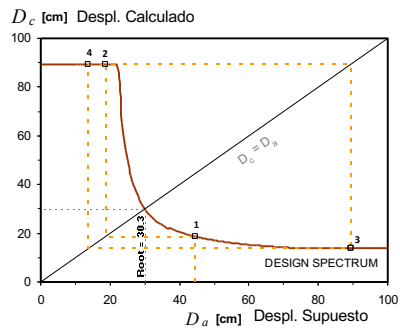
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda





COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO DE PRIESTLEY

Los PROBLEMAS DE CONVERGENCIA se presentan ya sea con espectro de registros o bien con espectros de diseño

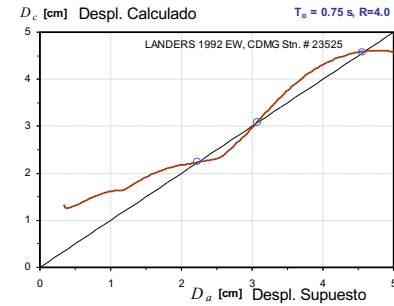


Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

COMENTARIOS SOBRE EL MÉTODO DE PRIESTLEY

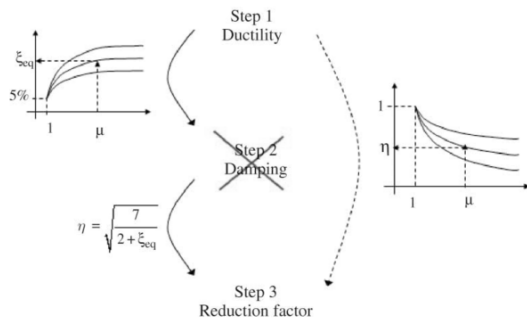
Ejemplo de múltiples soluciones y uno no puede saber cual de las diferentes respuestas es la más cercana a la correcta



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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

POSIBLES MEJORAS AL MÉTODO DE PRIESTLEY



(Pennucci et al, 2011)

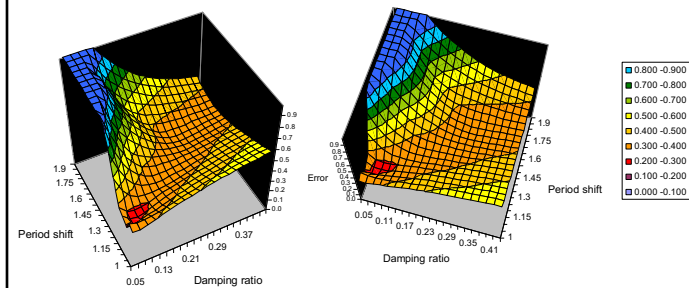
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

POSIBLES MEJORAS AL MÉTODO DE PRIESTLEY

Iwan: $\frac{T_{eq}}{T_0} = 1 + 0.121(\mu - 1)^{0.939}$ ← Rigidez equivalente menor a la rigidez secante

$$\xi_{eq} = \xi_0 + 0.0587(\mu - 1)^{0.371}$$



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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

POSIBLES MEJORAS AL MÉTODO DE PRIESTLEY

Noniterative Equivalent Linear Method for Evaluation of Existing Structures

Yu-Yuan Lin¹ and Eduardo Miranda, M.ASCE²

Abstract: The equivalent linear system is one of the approximate methods for estimating the maximum inelastic displacement response of structures in performance-based seismic design and evaluation. Traditionally, the equivalent period and damping of such a system are defined by the ductility ratio (μ =maximum displacement/yield displacement). However, for existing structures, the strength ratio (R =elastic lateral strength/yield lateral strength) is generally known rather than the ductility ratio. If the ductility ratio is used for defining the equivalent period and damping, the maximum inelastic displacement demand of existing structures has to be determined through an iterative procedure until the computed displacement is within an allowable tolerance to the assumed displacement. In addition, it was reported that the existing equivalent linear system may overestimate the maximum inelastic deformation of short-period structures because it is independent of periods of vibration (T). To avoid iteration and improve accuracy, this paper presents results of a comprehensive statistical investigation on the equivalent linearization in which both the equivalent period and damping are defined by strength ratios and periods of vibration. The accuracy of the developed equivalent linear system is also discussed based on a set of 72 recorded earthquake ground motions. In addition to the advantage of noniteration, the recommended equivalent linear system gives good predictions of the mean maximum inelastic displacement of structures for systems with all period ranges.

DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2008)134:11(1685)

CE Database subject headings: Rehabilitation; Displacement; Seismic effect; Predictions.

JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING © ASCE / NOVEMBER 2008 / 1685

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

POSIBLES MEJORAS AL MÉTODO DE PRIESTLEY

Método de Lin y Miranda

Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador J © 2017 Prof. Eduardo Miranda

POSIBLES MEJORAS AL MÉTODO DE PRIESTLEY

Método de Lin y Miranda

$$\varepsilon(T_{eq}/T_s, \xi_{eq}^*) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left[\frac{\Delta_{eq}(T_0(T_{eq}/T_s), \xi_{eq}^*)_k}{\Delta_n(T_0, \xi_0)_k} - 1 \right]^2}$$

Puede usarse la rigidez secante, pero puede demostrarse que conduce a errores más grandes

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

POSIBLES MEJORAS AL MÉTODO DE PRIESTLEY

Método de Priestley

```

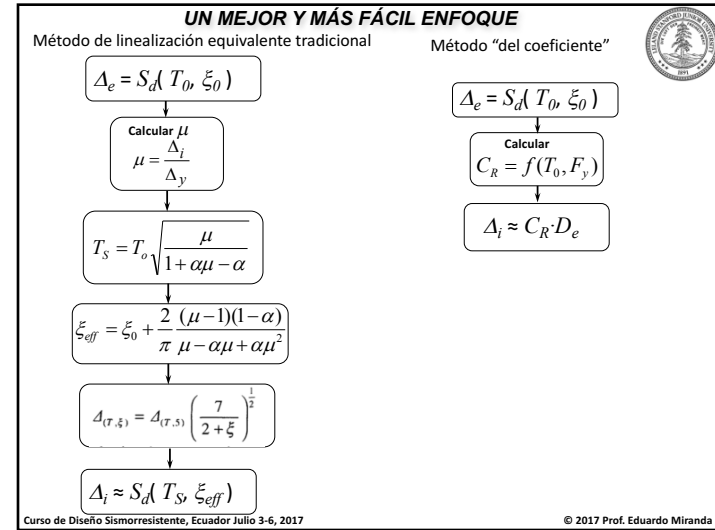
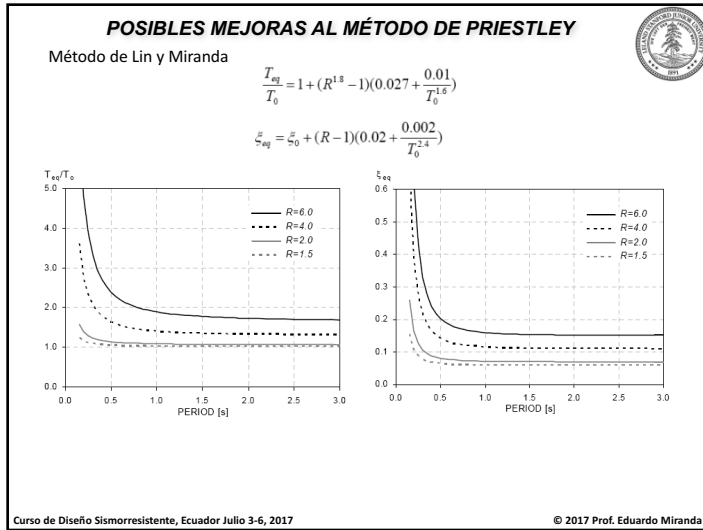
graph TD
    A[Susoner la deformación máxima Da] --> B[Calcular μ = Da/Dy]
    B --> C[Calcular Teq y Beff]
    C --> D[Calcular Dc = Sa(Teq, Beff)]
    D --> E{Dc ≈ Da}
    E -- NO --> A
    E -- SI --> F[Δi, approx = Dc]
        
```

Método de Lin y Miranda

```

graph TD
    G[Calcular R = Fe/Fy] --> H[Calcular Teq y Beff]
    H --> I[Calcular Dc = Sa(Teq, Beff)]
    I --> J[Δi, approx = Dc]
        
```

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



DISEÑO BASADO EN DESPLAZAMIENTOS

Objetivo principal:

$$\Delta_i \leq \Delta_{max_i}$$

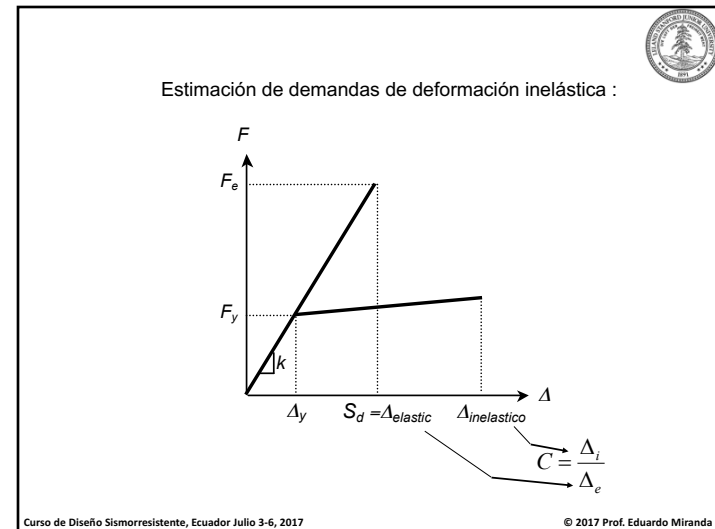
Procedimiento básico :

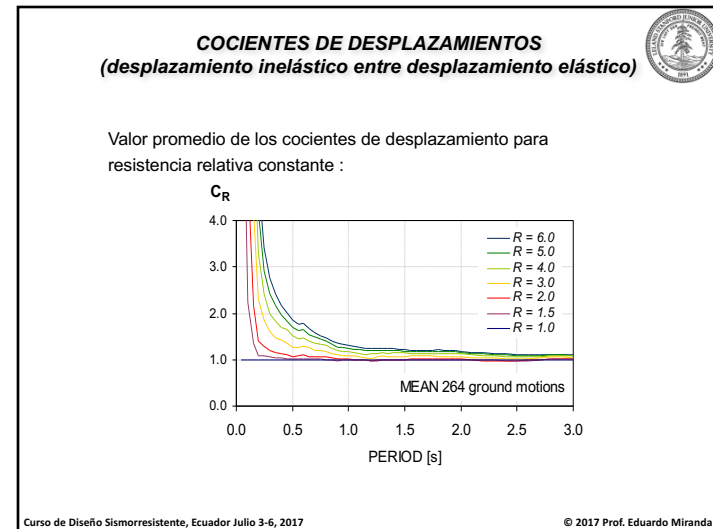
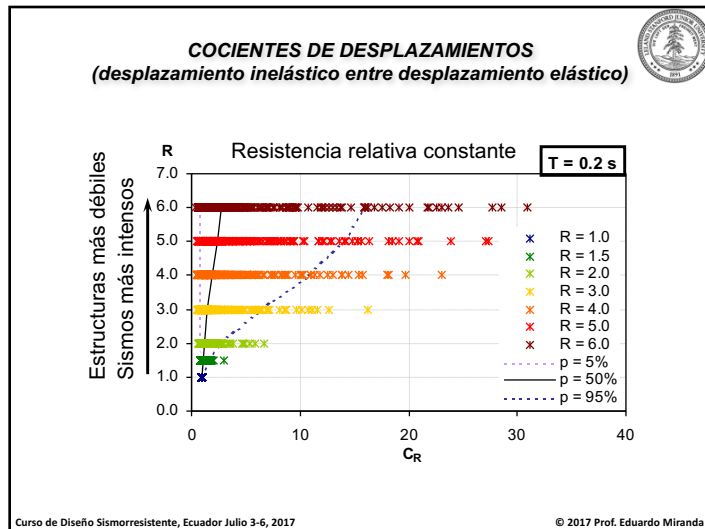
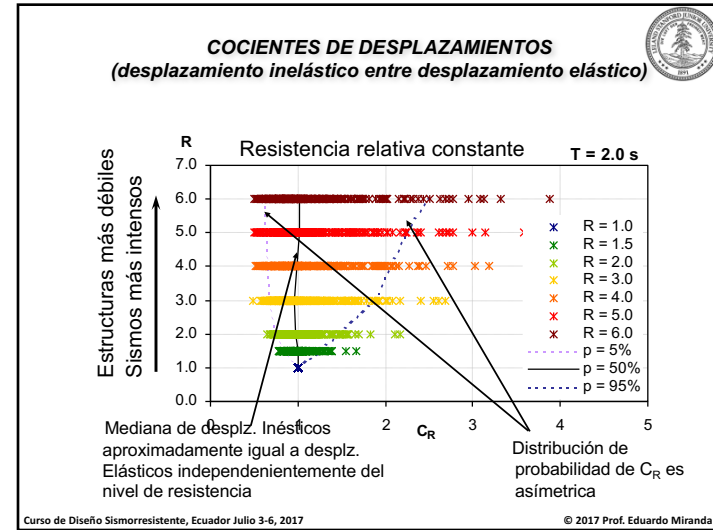
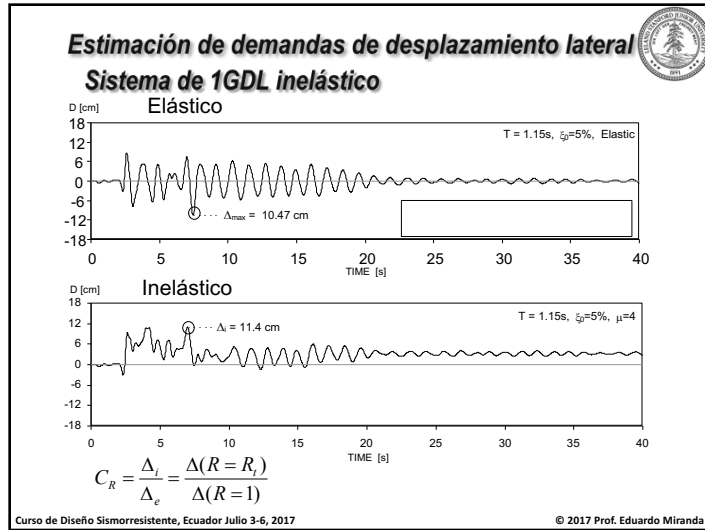
$$\Delta_i = C \cdot \Delta_e = C \cdot S_d \quad ?$$

Necesitamos conocer :

$$C = \frac{\Delta_i}{\Delta_e}$$

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

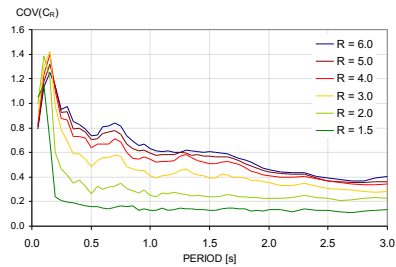




COCIENTES DE DESPLAZAMIENTOS
(desplazamiento inelástico entre desplazamiento elástico)



Dispersión de los cientes de desplazamientos para resistencia relativa constante :



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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

COCIENTES DE DESPLAZAMIENTOS
(desplazamiento inelástico entre desplazamiento elástico)



Estimación del valor promedio de C_R (Ruiz-Garcia y Miranda 2003)

$$C_R = 1 + \left[\frac{1}{a(T/T_s)^b} - \frac{1}{c} \right] (R - 1)$$

| Site class | a | b | c | T_s [s] |
|------------|----|------|----|-----------|
| B | 42 | 1.60 | 45 | 0.75 |
| C | 48 | 1.80 | 50 | 0.85 |
| D | 57 | 1.85 | 60 | 1.05 |

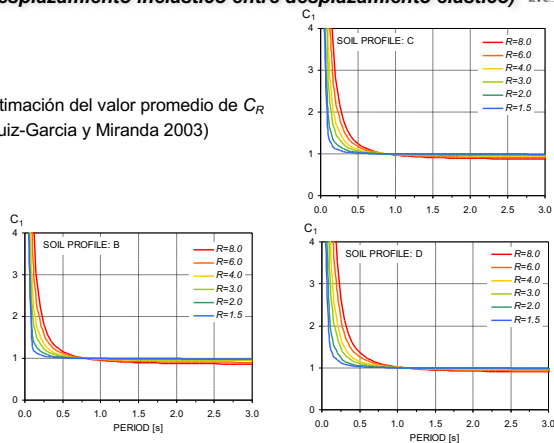
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

COCIENTES DE DESPLAZAMIENTOS
(desplazamiento inelástico entre desplazamiento elástico)



Estimación del valor promedio de C_R
(Ruiz-Garcia y Miranda 2003)



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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

COCIENTES DE DESPLAZAMIENTOS
(desplazamiento inelástico entre desplazamiento elástico)



Aproximación de $C_R - C_1$ en FEMA 440 (Proyecto ATC-55)

5.2.1 Simplified Expression

For most structures the following simplified expression may be used for the coefficient C_1 :

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{aT_e^2} \quad (5-1)$$

where T_e is the effective fundamental period of the SDOF model of the structure in seconds and R is the strength ratio computed with Equation 3-16 of the FEMA 356 document. The constant a is equal to 130, 90, and 60 for site classes B, C, and D, respectively. For periods less than 0.2 s, the value of the coefficient C_1 for 0.2 s may be used. For periods greater than 1.0 s, C_1 may be assumed to be 1.0.

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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

COCIENTES DE DESPLAZAMIENTOS (desplazamiento inelástico entre desplazamiento elástico)

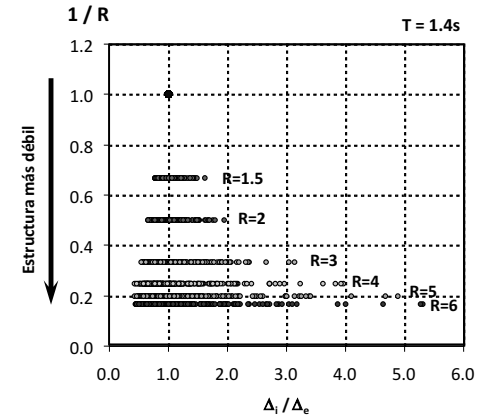
Aproximación de $C_R - C_1$ en FEMA 440 (Proyecto ATC-55)

$$C_1 = 1 + \left[\frac{1}{aT^2} \right] (R-1)$$

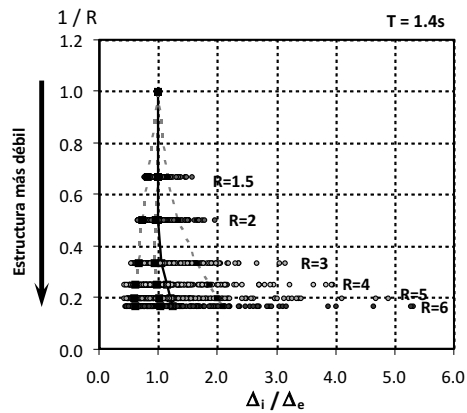
En que

- $a = 130$ para sitios tipo B
- $a = 90$ para sitios tipo C
- $a = 60$ para sitios tipo D

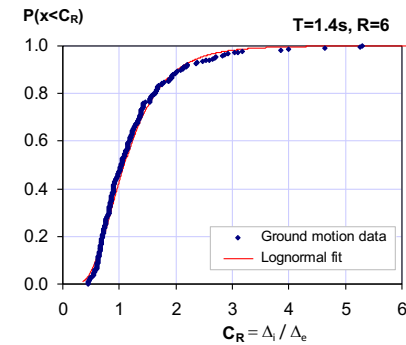
Estimación de demandas de desplazamiento lateral



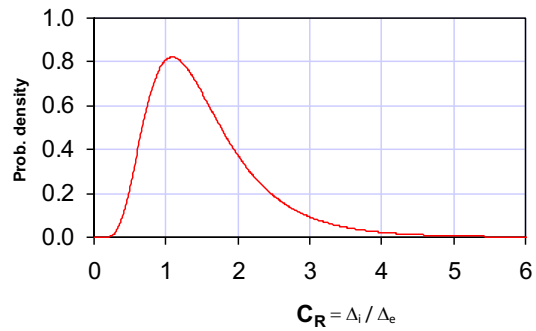
Estimación de demandas de desplazamiento lateral



Estimación de demandas de desplazamiento lateral



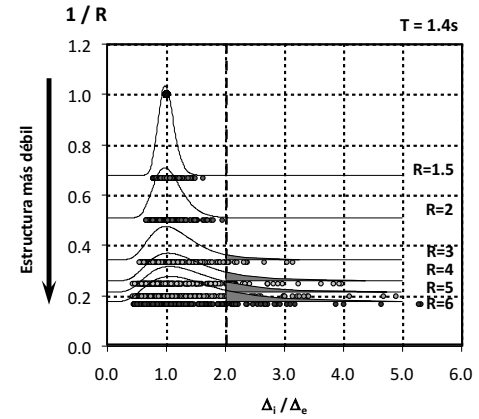
Estimación de demandas de desplazamiento lateral



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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

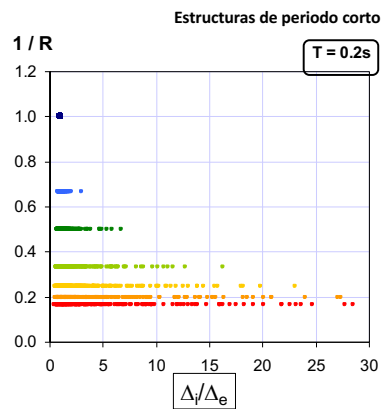
Estimación de demandas de desplazamiento lateral



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

© 2017 Prof. Eduardo Miranda

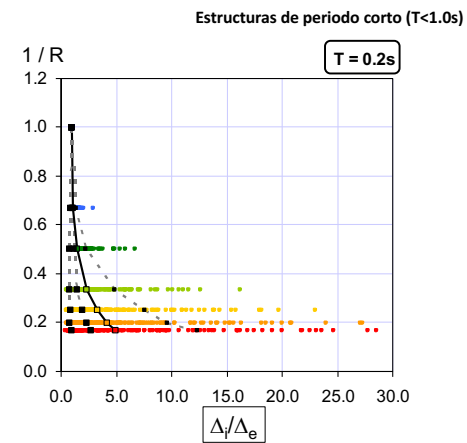
Estimación de demandas de desplazamiento lateral



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

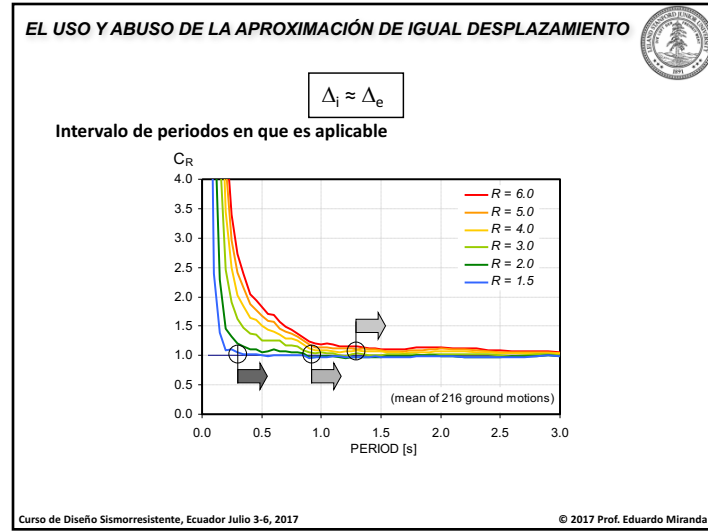
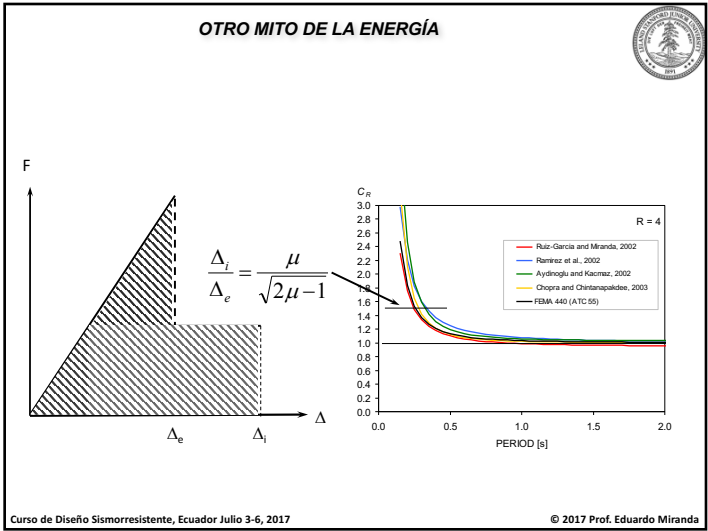
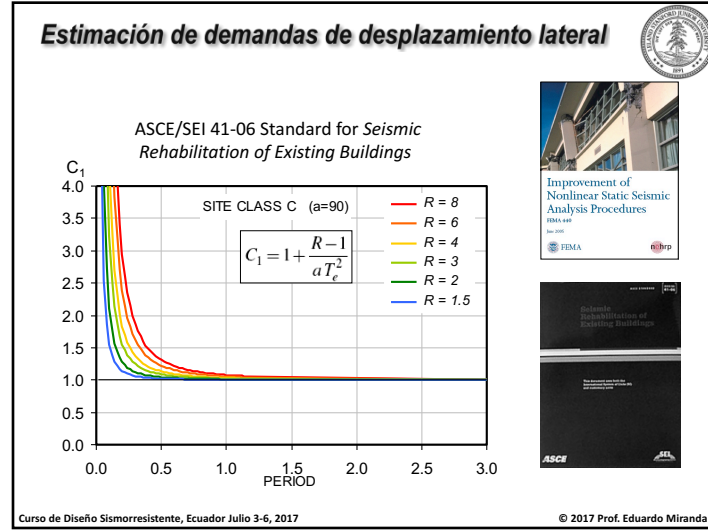
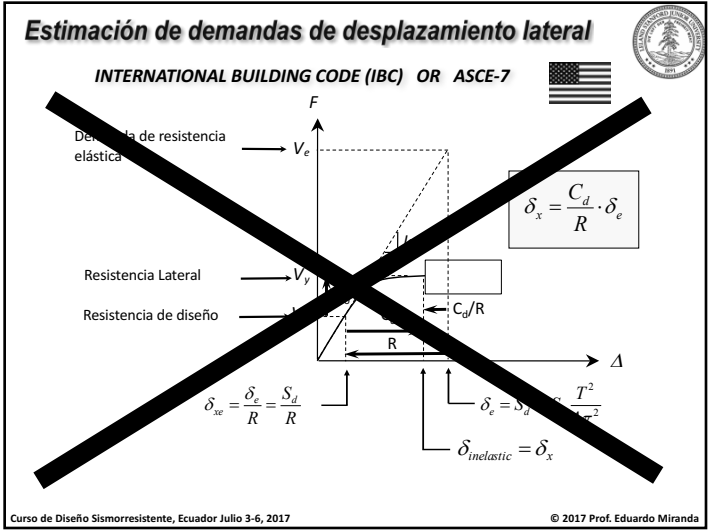
© 2017 Prof. Eduardo Miranda

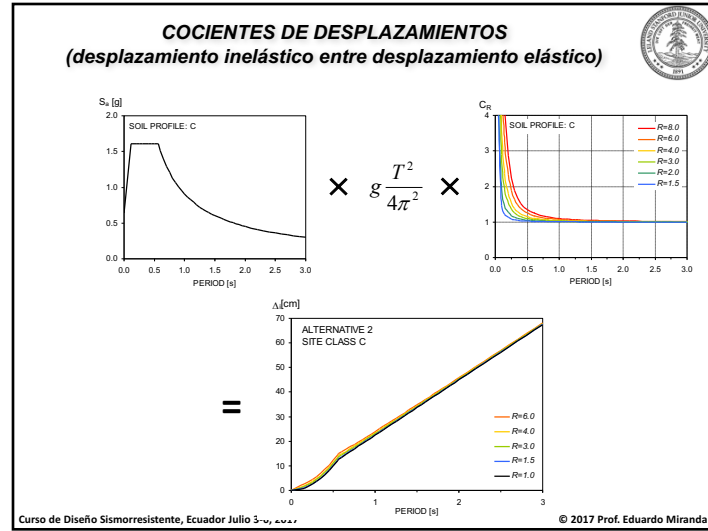
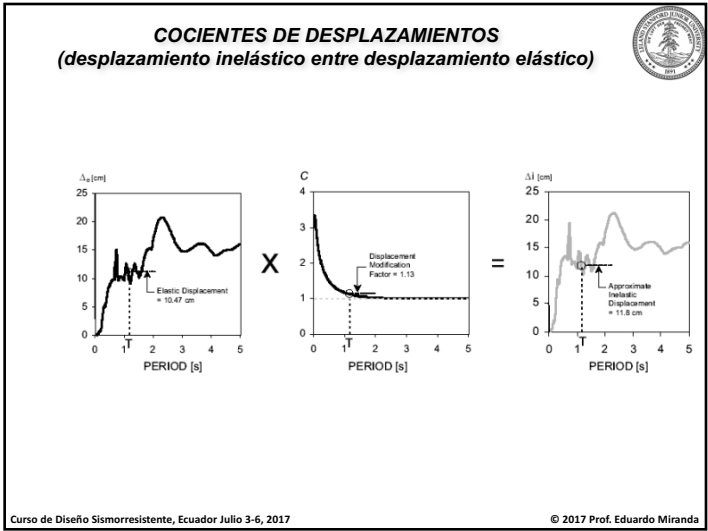
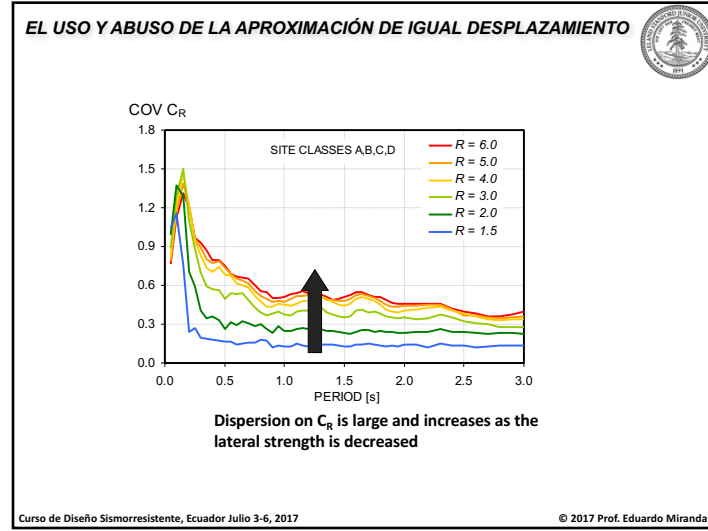
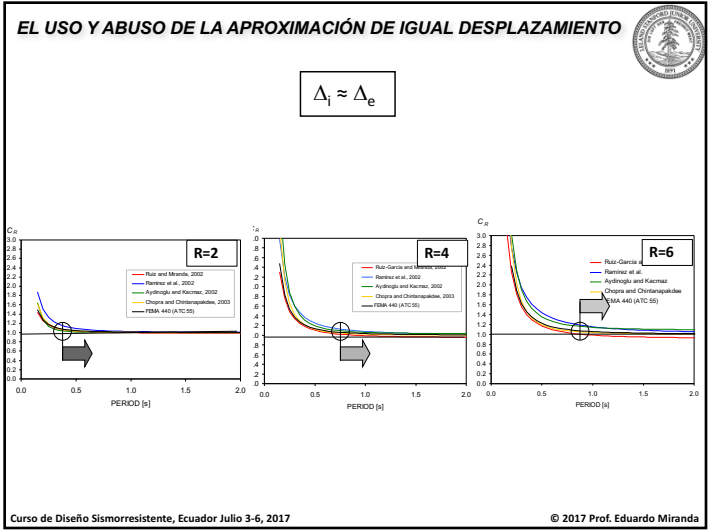
Estimación de demandas de desplazamiento lateral

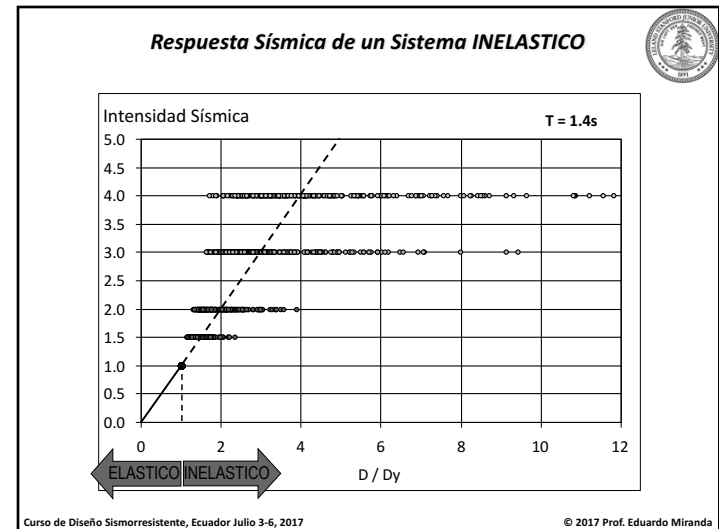
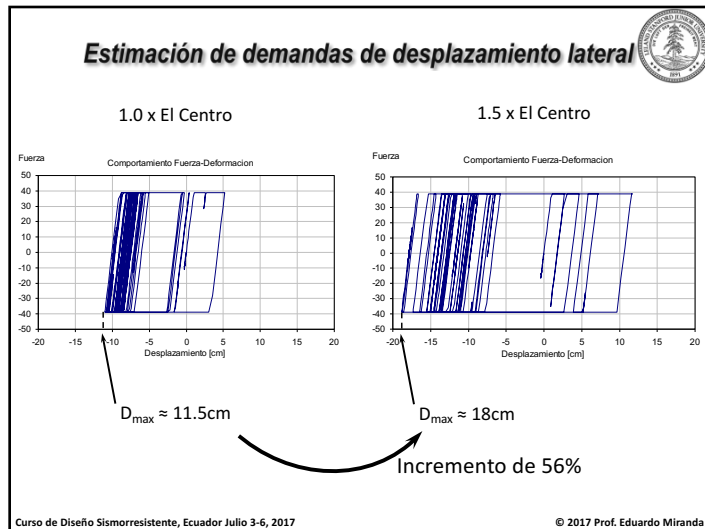
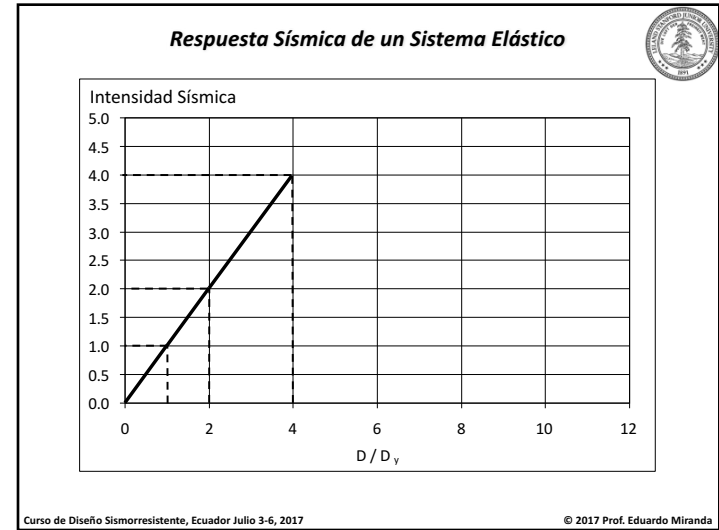
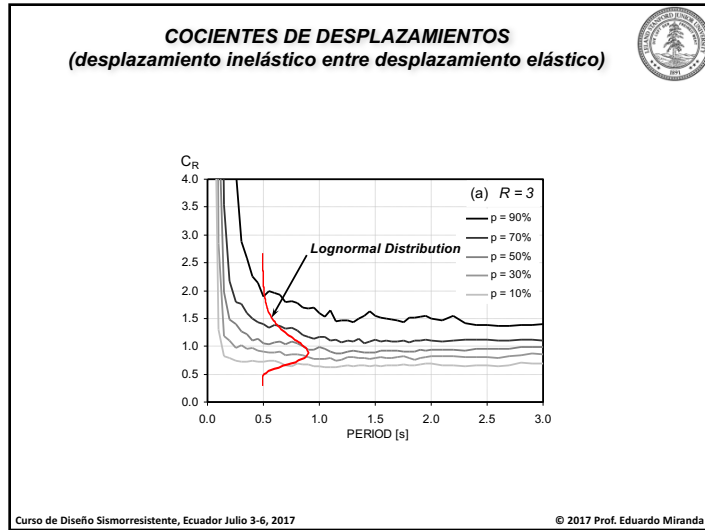


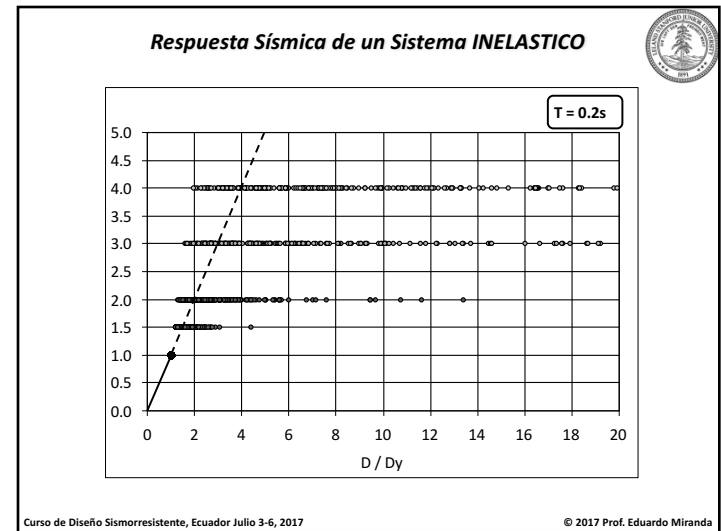
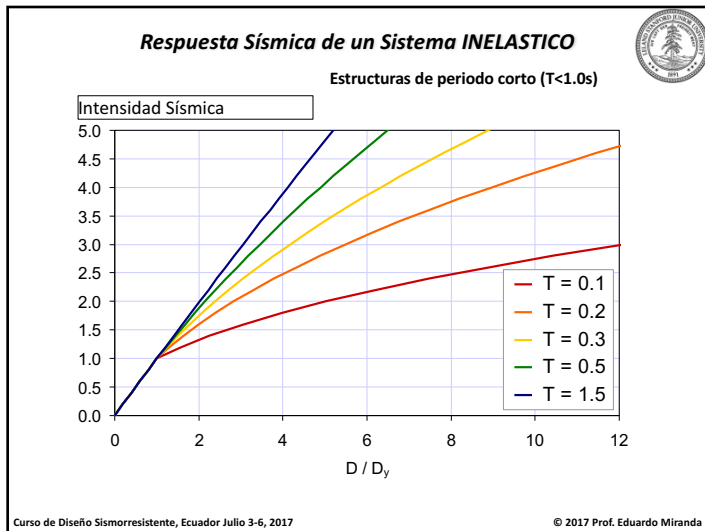
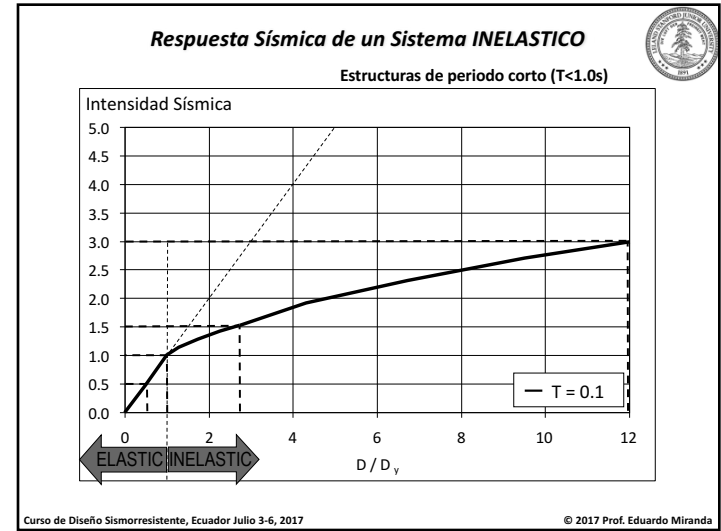
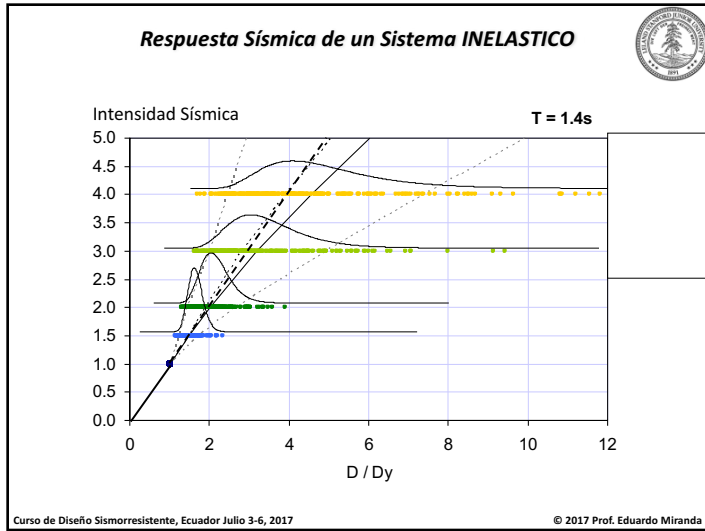
Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017

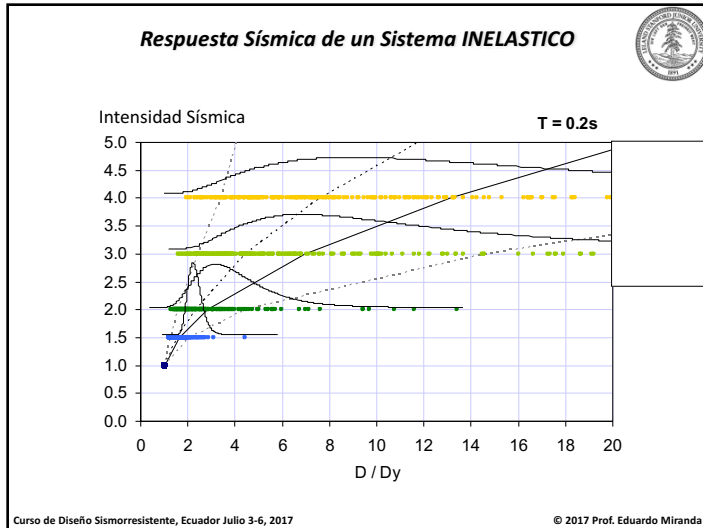
© 2017 Prof. Eduardo Miranda











CÓMO MEJORAR LA ESTIMACIÓN DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN LA NEC_2015

Para $T_1 > 1s$

$$\Delta_M = R \Delta_E$$

(o sea eliminar el factor actual de 0.75, lo que equivale a usar la "regla" o aproximación de igual desplazamientos)


Para $T_1 < 1s$

$$\Delta_M = C_1 R \Delta_E$$

(o sea reemplazar el factor actual de 0.75 por el factor C_R de su servidor o bien por el factor C_1 en FEMA 440 o en ASCE 41)

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

- ### RESUMEN
1. El diseño basado en fuerzas es una extensión lógica del diseño bajo cargas gravitacionales, pero pone énfasis en fuerzas y resistencia y no en desplazamientos y deformaciones laterales que es lo que en realidad produce el daño estructural y mucho del daño no estructural.
 2. El diseño basado en desplazamientos es un diseño más racional y por lo tanto mejor al basado en fuerzas.
 3. El método de Priestley es un buen método, pero tiene algunos problemas y se presentaron algunos métodos que son más directos y presentan algunas ventajas (por ejemplo no requieren de iteración).
 4. El método "del coeficiente", esto es un método basado en cocientes de deformaciones inelásticas a elásticas es un método más directo y no requiere ninguna iteración.
 5. Se representó cómo mejorar la estimación de desplazamientos usando pequeñas modificaciones a la NEC-2015.
- Curso de Diseño Sismorresistente, Ecuador Julio 3-6, 2017 © 2017 Prof. Eduardo Miranda



PROF. EDUARDO MIRANDA
© Todos los derechos reservados