



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

160
2 ERM

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-195

Señor DANIEL RESENDIZ CARRILLO,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Dr. Luis Esteva Maraboto, para que lo desarrolle como TESIS para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"INFLUENCIA DEL VALOR DE LA VIDA HUMANA EN EL DISEÑO OPTIMO DE ESTRUCTURAS SUJETAS A SISMO"

1. Introducción.
2. Valor de la vida humana.
3. Idealización de las solicitaciones.
4. Idealización del comportamiento estructural.
5. Respuesta estructural.
6. Influencia del criterio de diseño sobre el costo inicial.
7. Diseño óptimo
8. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 31 de julio de 1985
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ.

OARCH/RCCH/sho.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

1. INTRODUCCION	1
2. VALOR DE LA VIDA HUMANA	4
3. IDEALIZACION DE LAS SOLICITACIONES	10
4. IDEALIZACION DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	15
5. RESPUESTA ESTRUCTURAL	18
6. INFLUENCIA DEL CRITERIO DE DISEÑO SOBRE EL COSTO INICIAL	30
7. DISEÑO OPTIMO	33
8. CONCLUSIONES	39
REFERENCIAS	

1. INTRODUCCION

Toda obra de ingeniería civil está destinada a satisfacer necesidades de la sociedad. Como caso particular, las edificaciones se distinguen porque suelen estar en contacto directo con las personas a las que sirven. De ahí que la falla de una obra de este tipo implique una alta probabilidad de pérdidas de vidas humanas, además de daños materiales, desprestigio de la profesión y de los directamente responsables, así como la pérdida de confianza de la sociedad en otras obras similares existentes y por construirse. Resulta evidente la necesidad de contar con una manera objetiva y explícita de introducir el valor de la vida humana en la determinación de factores de seguridad y niveles de confiabilidad, así como en la elaboración de reglamentos de construcción. Se intenta en este trabajo hacer una contribución en este sentido al determinar el valor óptimo de las intensidades sísmicas para las cuales debe diseñarse una estructura sencilla. Esto y otros parámetros de diseño se han venido

obteniendo hasta ahora en una forma parcialmente intuitiva después de muchos años de éxitos y fracasos. En este estudio se aplica la teoría probabilística de la seguridad estructural en conjunción con criterios de optimización. La importancia de este enfoque reside en que buena parte de los trabajos anteriores han pasado por alto todo análisis de la influencia que en los resultados finales tienen las funciones masa de probabilidad de los parámetros estructurales así como sus medidas de dispersión. Por tanto, se carece de sensibilidad sobre la importancia de la incertidumbre.

El enfoque que aquí se usó implica trabajar explícitamente con las aleatoriedades asociadas al modelado del peligro sísmico, las propiedades estructurales, las excitaciones sísmicas y las funciones de utilidad que permitan optimar resultados.

Se entra en materia con la presentación, en el capítulo segundo, de la teoría sobre el valor de la vida humana.

En el capítulo tres se describe la forma en que se idealizaron, para su incorporación al trabajo, las sollicitaciones que actúan sobre la estructura. La forma en que ésta se comporta ante ellas se analiza en el capítulo cuatro, donde además se incluye una descripción de la forma en que se diseñó la estructura.

En el quinto capítulo se estudia la respuesta de la estructura ante la acción sísmica, y se obtiene la intensidad que la hace fallar, en términos de la velocidad de desplazamiento del terreno durante un temblor.

La forma en que varía el costo inicial de construcción según el criterio de diseño (intensidad escogida para diseñar) se muestra en el capítulo sexto.

En el capítulo siete se parte de la información sobre costos de vidas humanas y pérdidas materiales, y de la correspondiente probabilidad de falla, para obtener la curva de variación de los costos totales con la intensidad de diseño, para determinar la intensidad de diseño óptima.

Finalmente, los resultados y conclusiones obtenidos se discuten en el octavo capítulo.

2. VALOR DE LA VIDA HUMANA

Siempre que se discuta este tema habrá polémica. Para los fines de este trabajo se recurrió al enfoque presentado en la ref. 1. El propósito de esa obra fue responder a una serie de preguntas entre las cuales existen dos que tienen importancia para los fines que aquí se persiguen:

- 1) Cuánto invertir en medidas que reduzcan la probabilidad de que nuestra casa colapse
- 2) Qué márgenes o factores de seguridad debe estipular la agencia correspondiente de un gobierno en sus reglamentos de construcción.

En ambas el valor de la vida humana tiene importancia preponderante. Por este concepto no se pretende responder a la pregunta "¿cuánto quieres por tu vida?". La respuesta bien podría ser que la vida vale más que todo

bien material y que no está en venta. Sin embargo, cada vez que una persona acepta un sobresueldo por desempeñar un trabajo peligroso, sin importar qué tan pequeño sea el peligro; cada vez que se decide qué tan segura debe ser una obra civil, se está asignando, aunque sea implícitamente, un valor a la vida de los seres humanos, a la propia o a la ajena. Desde cualquier punto de vista, más vale que esta asignación se haga de manera consciente, racional y adecuada para llegar a la opción óptima según la teoría de decisiones.

En este trabajo, para llegar a un valor de la vida se considerarán dos aspectos: el valor individual de la vida (vida propia) y el valor social de la misma (lo que vale una vida para la sociedad).

Por lo que se refiere al primer aspecto, siempre apegándose a la ref. 1, considérese el caso de una persona que asume racionalmente el riesgo de perder la vida a corto plazo en un sólo evento a cambio de una compensación determinada. Se puede definir el valor de la vida de esa persona como el cociente entre la compensación y la probabilidad de morir en el evento mencionado. Cuando alguien acepta una transacción así está expresando indiferencia entre su situación actual y el desempeño de una actividad acordada en la transacción. O lo que es lo mismo, las utilidades esperadas en ambas circunstancias deben ser iguales entre sí. La primera es la esperanza del valor presente de su utilidad en la situación actual. Si P es la probabilidad de fallecer en el curso de la transacción, la utilidad correspondiente a la segunda es $1-P$ veces la que tendría si sobrevive, con una fortuna igual a la actual más la compensación, más P

veces la utilidad en caso de morir teniendo esa misma fortuna incrementada.

La utilidad de la situación actual se compone de los siguientes factores:

- a) Utilidad proveniente de factores económicos
- b) Utilidad como felicidad causada por factores no económicos (la dicha de estar vivo, de amar; de los factores religiosos, de contemplar un bello paisaje, de disfrutar una obra de arte, etc)
- c) Desutilidad causada por angustia ante la perspectiva de morir y del proceso mismo de fallecer (impacto personal por la muerte).

Se supuso que los componentes de la utilidad son aditivos.

Los mismos factores intervienen en el caso de que la persona sobreviva a la transacción. Sólo los conceptos económicos se alterarán por el aumento en su fortuna resultado de la compensación.

El valor de la vida que se infiere de la situación de una persona que está dispuesta a pagar a cambio de reducir la probabilidad de morir es prácticamente igual.

Desde el punto de vista de la sociedad (valor social de la vida) se puede decir que lo que la sociedad paga por mantener una persona viva es lo que su vida vale para aquella (enfoque del capital humano). De acuerdo con

este criterio el valor de la vida de una persona iguala la esperanza del valor presente de sus ingresos, incluyendo su consumo cuando niño y la pensión que disfruta cuando viejo, enfermo o desempleado.

En la ref. 1 se parte de este imperfecto concepto para llegar a un enfoque más apropiado que también incluye las siguientes pérdidas y ganancias en la utilidad sufridas por la sociedad cuando uno de sus miembros muere:

- a) Esperanza del valor presente de la felicidad que la persona habría disfrutado en caso de seguir viviendo (incluye valores económicos y no económicos)
- b) Impacto total en el momento de fallecer
- c) Esperanza del valor presente del inciso b) en caso de que la persona muriera por otra causa algún tiempo después
- d) Esperanza del valor presente para la sociedad de la producción perdida
- e) Desutilidad causada por gastos funerarios y por el tiempo dedicado a condolencias y servicios fúnebres por parientes, amigos y conocidos.

A partir de estas fases se proponen en la ref. 1 una serie de valores de la vida para la sociedad de acuerdo con la edad del individuo en cuestión y del estrato a que pertenece. La estratificación se hizo tomando en cuenta el nivel de instrucción y educación de la persona.

Para hacer énfasis en el valor de la vida humana, en este trabajo se propusieron tres niveles de ocupación diferentes para la estructura que se estudiaría y que aparece en la fig 1. Tomando en cuenta sus dimensiones se consideró que en primera instancia se encontrara vacía, que sirviera para una oficina y finalmente que se usara para albergar un salón de clases. Para calcular la media del número de personas dentro de la estructura en el momento de colapso se procedió así: teniendo en cuenta las dimensiones medias de un escritorio y de una banca escolar individual con paleta se hizo una distribución de los muebles y se encontró que resultaba factible acomodar 9 escritorios secretariales (oficina) y 50 bancas más un escritorio para el profesor en el caso del aula. Las secretarias tendrían edades fluctuando entre los 20 y 40 años, su nivel de educación sería de secundaria completa y educación técnica. Los estudiantes serían de preparatoria (entre 15 y 20 años) y el profesor tendría 40 años. El total de personas dentro de la oficina sería de 10 (las 9 secretarias más algún otro empleado) y de 51 (50 estudiantes y un profesor) en el caso del aula.

De la Tabla 4.6 en la ref. 1 se sacaron los valores correspondientes para la vida de un ser humano y se multiplicó por el total de seres. Este nuevo total fue afectado por un factor que incorpora el tiempo medio de ocupación del local. Para la oficina el factor fue $\frac{1}{3}$ (se trabajan ocho horas al día) y $\frac{1}{4}$ para el aula (se estudian seis horas al día).

Suponiendo que nuestra estructura puede estar tan solo en un estado de daños nulos o de colapso total, y que de presentarse éste último todos

los ocupantes fallecieran, las pérdidas en cuanto a vidas humanas serían las presentadas en la Tabla 1. Estos resultados están expresados en pesos de la fecha en que se escribió la ref. 1 (abril de 1984). Para ajustarlos a pesos de 1985 habría que considerar la inflación en ese periodo e incrementar los valores. Esta hipótesis no es del todo cierta ya que de abril del 84 a la fecha las condiciones de vida se han vuelto más difíciles, y al ser más difícil, la vida vale menos. Sin embargo, para los fines de este trabajo basta con ajustar por inflación (tasa de inflación igual al 70%).

3. IDEALIZACION DE LAS SOLICITACIONES

Para la realización de este trabajo se supuso una estructura que desde el punto de vista geométrico es simétrica (fig 1). Con el fin de simplificar el análisis y diseño se consideró que en la dirección perpendicular al movimiento provocado por el sismo existen elementos muy rígidos que impiden que se presenten efectos de torsión.

Las solicitaciones que actúan sobre la estructura son de tres tipos:

- 1) Permanentes - carga muerta (CM)
- 2) Variables - carga viva (CV)
- 3) Accidentales - sismo (CA)

La carga muerta está determinada por los elementos que aparecen en la fig 2. Para su cuantificación se utilizaron los valores y criterios propuestos en la ref. 3.

La carga viva, constituida por fuerzas gravitacionales no permanentes, se obtuvo de los valores propuestos en la misma ref. 3 para el caso de azoteas con pendiente menor del 5%; se utilizaron tanto su intensidad media (combinada con la CM) como su intensidad instantánea (combinada con CA).

La carga accidental que se tomó en cuenta es sólo la sísmica. Considerando que para los fines de este trabajo es importante que dicha acción sea significativa se decidió analizar y diseñar la estructura con espectros de diseño correspondientes a Acapulco (lugar de alta sismicidad) en terreno firme. Según la ref. 2 esta ciudad queda ubicada en la zona D y la estructura asentada en suelo tipo I.

Con la intención de cuantificar posteriormente el incremento en el costo del refuerzo lateral de la estructura al aumentar la intensidad de la acción sísmica, se trabajó con cuatro valores diferentes de dicha sollicitación. Su intensidad y variación se describirá en el siguiente capítulo. Basta por lo pronto con indicar que la fuerza provocada por el sismo se idealiza como una concentración que actúa en el cabezal tal como se muestra en la fig 3.

Como se verá en el capítulo 5 fue necesario idealizar la acción conjunta de las cargas viva y muerta como tres concentraciones sobre cada uno de los marcos en la manera ilustrada en la fig 4. Cada una de las concentraciones P_1 , P_2 y P_3 corresponde a los efectos de la combinación CV+CM en áreas tributarias triangulares como las de la figura llevadas a los

marcos. Por su participación en la posterior determinación de la resistencia de la estructura, la concentración P_2 , resultado de la aportación de tres áreas tributarias triangulares, es importante.

Las concentraciones no son independientes entre sí. La correlación entre ellas es función decreciente de la distancia que las separa. Se consideró que, por ser las más distantes entre sí, P_1 y P_3 son independientes; de ahí que su coeficiente de correlación sea nulo ($\rho_{13} = 0$).

Para calcular la correlación entre las concentraciones del centro y de los extremos en cada uno de los marcos, y entre las de un marco y el otro, se procedió en forma indirecta: primero se obtuvieron los valores medios (\bar{P}) y los coeficientes de variación (V_i) de cada una de las concentraciones tomando en cuenta tanto la CV como la CM. En la ref. 5 aparecen expresiones de Mitchel y de Meli, basadas en estudios estadísticos, para calcular las medias y coeficientes de variación de las CV y CM en función del área tributaria. La carga viva uniformemente repartida por unidad de área se calculó con las expresiones que aparecen en la fig 5 de la ref. 4. El coeficiente de variación de la carga viva (V_{CV}) se calculó con una expresión tomada del mismo lugar. Meli propone expresiones y valores para determinar estos mismos parámetros en el caso de la CM. A partir de estos datos se puede determinar la relación entre la carga vertical total (CV+CM) de diseño y su valor medio con la expresión siguiente:

$$\frac{S_d}{\bar{S}_d} = 1 + 2 r V_{CM} + 2(1-r)V_{CM} \quad (1)$$

donde:

$$S_d = \text{carga total de diseño}$$

$$\bar{S}_d = \text{valor medio de } S_d$$

$$r = \frac{\overline{CM}}{\overline{CV} + \overline{CM}}$$

$$V_{CM} = \text{coeficiente de variación de la CM}$$

$$V_{CV} = \text{coeficiente de variación de la CV}$$

Sustituyendo valores ya conocidos en (1) se obtiene el valor medio de la carga total por unidad de área que, multiplicando por el área tributaria de cada una de las concentraciones, arroja su valor medio. Con todos estos datos se puede proceder a calcular el coeficiente de correlación entre una concentración cualquiera y otra en función de las variancias y a través de la expresión para calcular la variancia de una suma de n concentraciones:

$$\text{var } P_A = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{\text{var } P_i \text{ var } P_j} \rho_{ij} \quad (2)$$

donde:

$$P_A = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

$$\text{var } P_i = (\bar{P}_i V_{P_i})^2$$

En la ec. 2 la única incógnita es ρ_{ij} ya que las variancias se obtienen a través de las medias y coeficientes de variación, obtenidos ellos, a su vez, con el procedimiento ya descrito.

4. IDEALIZACION DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

La parte fundamental de la resistencia de la estructura a las solicitaciones es debida a los marcos que la componen. El esquema de uno de ellos aparece en la fig 5. Se limitará el análisis sísmico a una dirección dada, por ello los dos marcos paralelos a la componente sísmica son los que resisten todo.

Respecto a las cargas verticales (CV+CM), éstas se transportaron a los marcos en forma de una carga uniformemente repartida (w) y una concentrada (P), correspondiente ésta última a la descarga de las vigas secundarias sobre las principales.

Como resultado de las consideraciones hechas en el párrafo anterior se obtiene un sistema de cargas como el de la misma fig 5. El análisis para obtener los elementos mecánicos se efectuó aplicando el método de Cross. Los resultados aparecen en la Tabla 2.

La incorporación de la carga accidental a la combinación CV+CM genera un sistema de cargas como el de la fig 5. La magnitud de la fuerza F es función del nivel de intensidad de la acción sísmica. Dado que uno de los objetivos del presente trabajo es encontrar el nivel de diseño óptimo, se analizó la estructura sometida a cuatro intensidades diferentes. Con el fin de variar el nivel de intensidad del sismo de diseño se escogió el valor de c (coeficiente sísmico igual al cociente de la fuerza horizontal en la base de la construcción entre el peso total de la misma) propuesto en la ref. 2 como valor central de una serie de valores que fluctúan entre 0.40 y 0.55 con incrementos de 0.05. Estos valores admiten una reducción por ductilidad. El factor de reducción por este concepto que se usó fue $Q = 4$.

La estructura estudiada puede representarse como un sistema de un grado de libertad (fig 6) y el valor de la fuerza F se calculó aplicando análisis estático (ref. 2). Como se ha despreciado la torsión, la fuerza resultante del análisis sísmico, F, se repartió uniformemente entre los dos marcos que proporcionan la resistencia lateral.

Una vez conocidas las fuerzas laterales se hizo, por el método de Cross, un análisis para obtener los elementos mecánicos correspondientes a cada uno de los valores de c (Tabla 3).

A partir de los resultados arrojados por esta serie de análisis se trazaron los diagramas de elementos mecánicos y las envolventes de diseño. En el centro del claro de las vigas siempre dominó la combinación CV+CM; en

la zona de los apoyos la combinación que arrojó resultados más desfavorables invariablemente fue la de CV+CM+CA. Los factores de carga usados son los que se indican en la ref. 2.

Contando ya con las envolventes de diseño y apegándose a las indicaciones de la ref. 4 se obtuvieron:

- cuantías de acero en tensión en las vigas (Tabla 4)
- cuantías de acero en las columnas (Tabla 4)

Con respecto a las columnas, la combinación CV+CM arrojó resultados más desfavorables que la combinación CV+CM+CA.

Continuando con el diseño y siempre apegándose a la ref. 4 también se calcularon los estribos en vigas y columnas.

Este conjunto de resultados se usará posteriormente en el capítulo que concierne a la influencia del criterio de diseño sobre el costo inicial.

5. RESPUESTA ESTRUCTURAL

Bajo la acción conjunta de las fuerzas sísmicas y verticales, considerando las relaciones entre ellas y entre las resistencias de trabes y columnas, se pueden presentar varios mecanismos de falla (fig 7). El más probable ante sismos intensos es, tomando en cuenta los dos marcos, el de la fig 6.

Si denominamos R a la resistencia y S a la acción puede establecerse que, en el momento de la falla, $S = R$. Aplicando el concepto de trabajo virtual, se igualan trabajo interno y externo para despejar R:

$$R = \frac{1}{h} [M_1 + 2M_2 + 2M_3 + M_4 + M_5 + 2M_6 + 2M_7 + M_8 - \frac{W_1L}{2} - \frac{W_2L}{2}] \quad (3)$$

donde:

M_i = momento resistente en la sección i según la fig 8

W_j = carga concentrada en el punto j según la misma figura

Los momentos probabilísticos de una función lineal de varias variables aleatorias pueden expresarse en términos de los momentos conocidos de las variables que la integran. De esta manera, la expresión para la resistencia media de R es (ref. 6):

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n a_i \bar{x}_i \quad (4)$$

donde:

a_i = coeficientes constantes de las variables x_i

\bar{x}_i = media de cada una de las variables que determinan la resistencia (8 momentos M_i y 2 concentraciones W_j , .*. $n=10$)

La relación entre una resistencia cualquiera y su valor medio será entonces:

$$\frac{R}{\bar{R}} = \frac{1}{\hat{r}} (\theta_1 m_1 + 2\theta_2 m_2 + 2\theta_3 m_3 + \theta_4 m_4 + \theta_5 m_5 + 2\theta_6 m_6 + 2\theta_7 m_7 + \theta_8 m_8 - \frac{W_1}{2} - \frac{W_2}{2}) \quad (5)$$

donde:

$$\theta_i = \frac{\bar{M}_i}{(\bar{W}_1 + \bar{W}_2)L}$$

$$m_i = \frac{M_i}{\bar{M}_i}$$

$$\hat{r} = \frac{\bar{R} h}{(\bar{W}_1 + \bar{W}_2)L}$$

$$w_i = \frac{W_i}{\bar{W}_1 + \bar{W}_2}$$

Para aplicar la ec. 4 es necesario conocer el valor medio tanto de los momentos como de las concentraciones. En la ref. 5 Meli calculó la relación:

$$\frac{\bar{M}_i}{M_2^*} = 1.34 \quad (6)$$

donde:

\bar{M}_i = valor medio del momento resistente de la sección i

M_2^* = valor del momento resistente nominal o de diseño de la sección i

Estas relaciones fueron obtenidas para elementos sujetos a flexión pura (vigas). Los fines de este trabajo no se afectan si como hipótesis simplificatoria se hace extensiva esta relación a elementos sujetos a flexocompresión (columnas). La misma hipótesis se hará en lo que respecta al valor del coeficiente de variación de los momentos resistentes en cada sección (V_{MR}). Meli comenta que no se cometen errores significativos si se toma $V_{MR} = 0.12$; así se hará aquí.

Para poder calcular \bar{R} primero se usan fórmulas de la ref. 4 para obtener los momentos resistentes nominales (M_R^*) de las secciones críticas. Usando las relaciones de Meli se obtienen sus valores medios (\bar{M}_i), mismos que al ser sustituidos en (4) arrojan los resultados que se muestran en la Tabla 5.

La variancia de la resistencia (var R) se calcula con la expresi3n de la ref. 6 para funciones lineales de n variables aleatorias dependientes entre s3:

$$\text{var } R = \sum_{i=1}^n a_i^2 \text{ var } X_i + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n a_i a_j \text{ cov}[X_i, X_j] \quad (7)$$

ya que:

$$\text{var } X_i = \bar{X}_i^2 V_{X_i} \quad \text{cov } [X_i, X_j] = \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j$$

donde:

V_{X_i} = coeficiente de variaci3n de x_i

σ_i = desviaci3n est3ndar de x_i

La ec. 7 queda en t3rminos de valores que podemos conocer:

$$\text{var } R = \sum_{i=1}^n a_i^2 \bar{X}_i^2 V_{X_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n a_i a_j \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j \quad (8)$$

donde:

a_i, a_j : coeficientes de las variables x_i (correspondientes a la ec. 8).

La correlaci3n entre los momentos se calcula con la expresi3n que Esteva propone en la ref. 7:

$$\rho_{ij} = \delta_{ij} + 0.25(1-\delta_{ij}) \quad (9)$$

donde:

$\rho_{ij} =$ delta de Kronecker

Los valores de \bar{X}_i y V_{xi} provienen de los estudios de Meli (ref. 5) para el caso de los momentos, y de lo explicado en el capítulo 3 para cuando de las concentraciones se trata.

Conocidos los resultados de las ecs. 4 y 8 el coeficiente de variación de la resistencia se obtiene así:

$$V_{R_i} = \frac{\sigma_{R_i}}{\bar{R}_i}$$

donde:

$$\sigma_{R_i} = \sqrt{\text{var } R_i}$$

Los valores de V_{R_i} para cada uno de los diferentes niveles de diseño aparecen en la Tabla 6.

Con el fin de obtener una estimación de la distribución probabilística de la respuesta de la estructura en estudio a las excitaciones de un temblor, se siguió la secuencia propuesta por Esteva en la ref. 7. A grandes rasgos el procedimiento consiste en lo siguiente:

A partir de un espectro del temblor de El Centro de 1940 que muestra en una gráfica logarítmica los valores máximos de la aceleración (a), veloci-

cidad (v) y desplazamiento (d) del terreno, se obtuvo una expresión que permite calcular las ordenadas de la pseudovelocidad espectral media (\bar{S}_v) dados a , v y d :

$$\frac{\bar{S}_v}{\sqrt{ad}} = \frac{x}{[(1-x^m + ex^{m/2})^{2n} + D(x)]^{1/mn}} \quad (10)$$

donde:

$$x = \omega/\omega_0$$

ω = frecuencia natural

$$\omega_0 = \sqrt{a/d}$$

$$e = 0.15$$

$$m = 0.5$$

$$n = 2$$

$$D = \alpha_1 X^{0.7} + \alpha_2 X^2$$

α_1, α_2 : funciones del porcentaje de amortiguamiento crítico

Utilizando información del temblor de El Centro se calculó una expresión para el espectro de desplazamientos elastoplásticos:

$$D = \bar{S}_d \frac{Q+8TQ}{1+8TQ} \xi D_e \quad (11)$$

donde:

\bar{S}_d = espectro de desplazamientos lineares medios

Q = factor de ductilidad

T = periodo natural = $2\pi/\omega$

ξD_e = factor de incertidumbre

Cuando se trabaja con un sistema elastoplástico como el que aquí se usa puede obtenerse la condición de falla del mismo al igualar su capacidad de deformación con la respuesta:

$$v G(X) \frac{\sqrt{ad}}{v} \cdot \frac{1}{\omega} \frac{Q+8TQ}{1+8TQ} \xi D_e = \frac{QR}{K} \quad (12)$$

donde:

K = rigidez lateral

R = resistencia lateral

A partir de la expresión (12) puede obtenerse la intensidad del temblor que hace fallar al sistema y la probabilidad de que se presente esa falla. Este último valor es, simplemente, la probabilidad de que el primer miembro de (12) (respuesta) sea mayor que el segundo (resistencia). Para obtener la intensidad de falla (en términos de la velocidad máxima del terreno) despejamos v de (12) y hacemos $v = Y$:

$$Y = \frac{Q R \omega}{K \xi D_e \gamma G(X)} \cdot \frac{1+8TQ}{Q+8TQ} \quad (13)$$

en donde: $\gamma = \frac{\sqrt{ad}}{v}$ (se obtiene del espectro del temblor de El Centro, 1940). Como $X = \omega/\omega_0$, siendo ω_0 dato del temblor; $\omega = \sqrt{kg/w}$, siendo $g = 9.81 \text{ m/seg}^2$, $w = \text{peso}$ y $T = \frac{2\pi}{\omega}$, tenemos que la expresión para la intensidad de falla está en función de 5 variables:

$$\begin{aligned} X_1 &= K \\ X_2 &= W \\ X_3 &= Q \\ X_4 &= \xi D_e \\ X_5 &= R \end{aligned}$$

Si en la expresión (13) reemplazamos los valores de las cinco variables por su valor nominal (K^* , W^* , Q^* , $\xi D_e=1$ y R^*) el resultado es el valor nominal de diseño de la intensidad de falla, Y^* .

La relación entre una intensidad de falla aleatoria y su valor nominal está dado por la expresión siguiente (obtenida a partir de la ec. (13):

$$\frac{Y}{Y^*} = \frac{1}{\xi D_e} \frac{R}{R^*} \frac{K^*}{K} \frac{G^*}{G} \frac{\sqrt{W^*}}{\sqrt{W}} \frac{\sqrt{K}}{\sqrt{K^*}} \frac{(\sqrt{K^*} + \beta \sqrt{W^*} Q^* \frac{\sqrt{K^*}}{\sqrt{K}} \frac{\sqrt{W}}{\sqrt{W^*}} \frac{Q}{Q^*})}{(\sqrt{K^*} + \beta \sqrt{W^*} Q^*)} \frac{(\sqrt{K^*} + \beta \sqrt{W^*})}{(\sqrt{K^*} + \beta \sqrt{W^*} \frac{\sqrt{W}}{\sqrt{W^*}} \frac{\sqrt{K^*}}{\sqrt{K}})}$$

(14)

donde:

$$\beta = 16 \pi/g$$

g = aceleración de la gravedad

Con el fin de calcular a partir de la expresión (13) el valor medio de la intensidad de falla \bar{Y} , en los párrafos siguientes se aplicará un método aproximado de E. Rosenblueth (ref. 8). Según esto si interesa calcular los primeros momentos de la función de densidad de probabilidades de

$Y = Y(X_1, \dots, X_n)$, función de las variables aleatorias X_i , $i=1, \dots, n$ dados los primeros momentos de la densidad de probabilidades de las X_i , el método sustituye la densidad conjunta de las X_i por concentraciones colocadas en los 2^n vértices de un prisma de n dimensiones. En su versión original el método hace uso de los terceros momentos, aquí se trabajó con los dos primeros solamente.

Como en la expresión (13) $n=5$, tendremos 32 puntos. Por otra parte, la variable $X_5 = R$ tiene 4 valores diferentes, uno para cada valor de c , motivo por el cual es necesario repetir en 4 ocasiones la valuación de Y para 32 puntos.

La localización de los puntos en un espacio n -dimensional está dada por las permutaciones de los diez valores siguientes:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{X}_1 \pm \sigma_1 \\ \bar{X}_2 \pm \sigma_2 \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ \cdot \quad \cdot \quad \cdot \\ X_n \pm \sigma_n \end{array} \right\} n = 5 \quad (15)$$

En la ref. 7 Esteva propone valores para las relaciones entre los valores nominales y medios de las 5 variables; en el caso del presente trabajo se pueden obtener relaciones equivalentes para los casos del peso y de la resistencia. No existiendo información suficiente para poder llegar a un valor de Q^*/\bar{Q} se adoptará la proposición de Esteva, $\frac{Q^*}{\bar{Q}} = 0.55$; se procederá.

cada uno de los 4 niveles de diseño.

Para evaluar se tuvo en cuenta que según la información del temblor de El Centro de 1940:

$$\omega_0 = \sqrt{a/d} = \sqrt{350/25} = 3.7 \text{ seg}^{-1}$$

$$\gamma = \frac{\sqrt{ad}}{v} = 2.68$$

Para obtener los coeficientes α_1 y α_2 que aparecen en $D(X)$ se interpoló gráficamente a partir de los valores mostrados en la Tabla 8, mismos que se obtuvieron ajustando curvas a los espectros de El Centro (ref. 9).

Para obtener el valor de \bar{Y} , según la teoría de Rosenblueth, es necesario multiplicar por su masa de probabilidad cada uno de los valores de Y obtenidos del grupo (15) y hacer la sumatoria correspondiente. Para realizar este proyecto se consideró que las cinco X_i eran independientes; por lo tanto, la masa de probabilidad es igual para todos los puntos y vale $1/2^n = 1/32$. Los valores finales de \bar{Y} para cada uno de los diseños aparecen en la Tabla 9.

Si en la ec. (13) se hace $Q=Q^*$, $K=K^*$, $R=R^*$, $W=W^*$ y $\varepsilon D_e=1$ resulta Y^* . Los valores de R^* se obtienen sustituyendo en la ec. (3) los valores nominales de los momentos y de las concentraciones (refs. 5 y 4). Los resultados de R^* y Y^* aparecen en la Tabla 10, mismo lugar en donde se presentan los valores de la relación \bar{Y}/Y^* obtenidos al dividir los datos de la Tabla 9 entre los de la misma 10.

igual para el caso de $\bar{\xi}_{D_e} = 1$, $V_{\xi_{D_e}} = 0.25$, $\frac{K^*}{K} = 0.74$ y $V_K = 0.15$. Los valores de \bar{R} y de V_R ya se calcularon. El valor medio de W se obtuvo sumando las medias de las concentraciones y su coeficiente de variación se calculó obteniendo primero la variancia, se le sacó raíz cuadrada y después se dividió entre \bar{W} . La variancia de W se obtuvo aplicando las expresiones de la ref. 6.

Teniendo en cuenta que: $V_{x_i} = \frac{\sigma_{x_i}}{\bar{x}_i}$, $\sigma_i = \bar{x}_i V_{x_i}$

y sabiendo que podemos calcular los valores nominales a partir de los resultados de diseño, el cálculo de los elementos necesarios para determinar los diez valores (15) es inmediato.

La rigidez nominal se calculó con las fórmulas de Wilbur (ref. 8) y se revisó aplicando la definición de rigidez con el método de Cross. El peso nominal se obtuvo multiplicando los valores de $CV+CM$ del capítulo 3 por las áreas tributarias respectivas. El valor de Q^* es el que se usó para diseñar.

Una vez obtenidas las medias que faltaban (\bar{K} y \bar{Q}), despejadas de las relaciones propuestas por Esteva, y las desviaciones estándar de las cinco variables, a partir de su coeficiente de variación ($\sigma_{x_i} = \bar{x}_i V_{x_i}$), se contó con los 10 valores (15). Este grupo de resultados aparece en la Tabla 7.

Con un programa para HP 41 CV se valió la ecuación (13) 32 veces para

A partir de la información con la que se cuenta, y aplicando la teoría de Rosenblueth, es factible calcular los valores de C_Y aplicando la definición de variancia:

$$\text{var } Y = E [(Y - \bar{Y})^2] \quad (16)$$

Los valores de Y corresponden a los que se calcularon con el programa. Bastará con multiplicar cada diferencia al cuadrado por su probabilidad y hacer la sumatoria de estos productos para obtener la variancia. A partir de ella se calcularon los C_Y (Tabla 11) aplicando raíz cuadrada y dividiendo entre \bar{Y} (Tabla 9).

6. INFLUENCIA DEL CRITERIO DE DISEÑO EN EL COSTO INICIAL

A partir de los diferentes diseños que se llevaron a cabo y que se describen en el capítulo 4 se puede estudiar la variación del costo inicial que resulta de los costos del material requerido para que la estructura sea capaz de resistir acciones de diversas intensidades. En este trabajo, tal como se mencionó en el capítulo 3, los cambios en el criterio de diseño consistieron en variar el valor del coeficiente sísmico c . El intervalo de valores adoptado para estudiar la variación de costos con las intensidades de diseño se eligió de manera que tuviera como valor central el propuesto en la ref. 2.

Se efectuó, a partir de los diseños, una cuantificación del acero requerido para que los elementos resistentes de la estructura (marcos) soporten las probables solicitaciones asociadas a los diferentes niveles de intensidad sísmica. Aquellos componentes de la estructura que no intervienen

en la resistencia a la acción de los temblores no fueron diseñados. Su costo puede considerarse constante para todos los valores de c . Se pidió a la empresa DIRAC que hiciera una estimación del costo de los elementos del primer grupo en función del acero que requieren. La resistencia, calidad y cantidad de concreto colado, cimbrado, curado e impermeabilización se mantiene constante para todos los niveles de diseño.

Con la participación de todos los elementos descritos en el párrafo anterior se obtuvieron los costos iniciales totales con la fórmula siguiente:

$$C_R = C_0 + C_1 V_c + C_2 W_4 \quad (17)$$

donde:

C_T = costo inicial total

C_0 = (costo de cimbrar+descimbrar+colar+curar+impermeabilizar)x unidad de trabajo

C_1 = costo del concreto

C_2 = costo del suministro, habilitado y armado del acero de refuerzo

V_c = volumen de concreto

W_4 = peso del acero

Sustituyendo en (17) se llegó a los costos para cada valor de c que aparecen en la Tabla 12. En estas cifras resalta la poca diferencia en el costo entre un nivel de diseño y otro. Esto se puede atribuir a dos causas:

- 1) La resistencia del concreto siempre fue de 200 kg/cm^2 ; no varió al aumentar el valor de c

- 2) Todos los incrementos al pasar de un nivel a otro fueron en el acero, el que varió sólo en las vigas principales, ya que en las columnas de los marcos siempre dominaron las cargas verticales ($c = 0$, ver capítulo 4).

7. DISEÑO OPTIMO

Antes de discutir los criterios de diseño óptimo se recordará que el ingeniero estructural, en unión con otros profesionales, con el cliente, con el contratista y con los abastecedores tiene por obligación profesional el producir decisiones óptimas. Este proceso de optimación es complejo ya que las decisiones tienen que ser óptimas para muchos participantes con muy diversos intereses; deben también ser óptimas según los procesos de toma y ejecución de las decisiones y deben ser óptimas según el criterio de la sociedad a la que se sirve y dentro de la cual se vive.

Para los fines de este trabajo se usará un criterio de optimación sencillo. Se buscará que el costo U , expresado de la manera siguiente, sea mínimo:

$$U = C(Y^*) + \frac{V_F}{\gamma_1} A_c \quad (18)$$

donde:

U = valor esperado del costo total

$C(Y^*)$ = costo inicial de la estructura en función de c

ν_F = tasa de falla, igual a la tasa de ocurrencia de temblores que tengan intensidades mayores que la intensidad nominal de diseño

γ_1 = tasa de descuento aplicable (un numero tal que dado un costo o beneficio U_1 sufrido o percibido en el instante t sea equivalente a la utilidad $U=U_1 \exp(-\gamma_1 t)$ en el instante $t=0$)

Ac = valor esperado de las pérdidas en caso de colapso (incluye pérdidas en vidas humanas, en aspectos materiales y en gastos de rehabilitación del sitio de construcción)

Le ecuación anterior, que se propone en la referencia 7, resulta tan solo una aproximación. No se incluyen los daños parciales ya que se supone que el sistema sólo puede permanecer en estado de daño nulo o de colapso total.

La ec. 18 supone que podemos idealizar la ocurrencia esporádica de temblores como un proceso de Poisson.

El término $C(Y^*)$ proviene del capítulo sexto y es función del valor del coeficiente sísmico c .

La relación entre la tasa esperada de falla y la tasa de ocurrencia de temblores con intensidades mayores que la de diseño está determinada por la ecuación siguiente (ref. 4):

$$\frac{v_F}{v^*} = \left(\frac{Y^*}{\bar{Y}}\right)^r \left(1 + v_Y^2 \frac{r(r-1)}{2}\right) \quad (19)$$

donde:

Y^* = valor nominal de la intensidad de diseño

\bar{Y} = valor medio de Y

v_Y = coeficiente de variación de Y

r = parámetro constante que depende del lugar

Todos los valores del segundo miembro de 19 son conocidos. Los de la relación v_F/v^* para cada nivel de diseño aparecen en la Tabla 13. Si se llama z a estos valores, se tiene que:

$$v_F = z v^* \quad (20)$$

El valor de A_c , que incluye el costo de la estructura, las pérdidas en vidas y los gastos de rehabilitación del lugar de construcción (estimados como un porcentaje fijo del costo de construcción), se calcula sumando estos elementos ya conocidos.

Para aplicar la ec. 18 falta determinar γ_1 . Se utilizaron 4 valores diferentes: $\gamma_1 = 0.02, 0.05, 0.10$ y 0.15 . Cada uno de ellos representa

diferentes condiciones de la economía local.

Se cuenta ya con toda la información para aplicar la ec. 18, salvo que según 20 v_F es función de v^* . En términos generales se puede decir que:

$$v = K Y^{-r} \quad (21)$$

donde Y es una intensidad cualquiera, r y K son parámetros constantes que dependen del lugar y su sismicidad y v es la tasa de excedencia de esa intensidad cualquiera.

Aplicando la ec. 21 para la intensidad de falla correspondiente a $c=0(Y_0)$:

$$v_0 = K Y_0^{-r} \quad (22)$$

Despejando K DE (21) y (22) para igualar, se llega que:

$$v = v_0 (Y/Y_0)^r \quad (23)$$

Si en la ec. 23 $v=Y^*$ se obtiene v^* . Se fijaron dos valores de v_0 iguales a 0.1 y 1.0. Los valores de v^* obtenidos para cada valor de c se muestran en la Tabla 14.

Aplicando los métodos del capítulo 5 se calcularon los valores de R_0^* , \bar{R}_0 , V_{R_0} , Y_0 , \bar{Y}_0 y V_{Y_0} y se obtuvieron los resultados de la Tabla 15.

Los valores de U se graficaron contra la relación adimensional Y^*/Y_0 . Se usó esta relación a fin de no pasar por alto que una estructura tiene cierta resistencia lateral por el sólo hecho de haber sido diseñada para resistir cargas verticales (ref. 7). Esta condición resulta notoria por el dominio de la combinación $CV+CM$ en el caso que se estudia en este trabajo. El valor de la relación Y^*/Y_0 correspondiente a cada valor de c aparece en la Tabla 16.

A partir de la gráfica de U contra Y^*/Y_0 se puede localizar el valor mínimo de aquella. Dicho valor quedó fuera del intervalo de c escogido a priori para todos los casos.

Con el fin de llegar a localizar los óptimos se hicieron dos diseños adicionales, con $C=1.0$ y $C=1.3$ ($Y^*/Y_0=1.4418$ y 1.6405 respectivamente). Se calculó el correspondiente costo inicial (C_T) para volver a obtener U con la ec. 18.

Dado que los valores de Y_0 obtenidos son muy altos, trabajar con un valor de $v_0=1$ implicaría estar diseñando en una zona de sismicidad exageradamente alta. De ahí que los resultados mostrados en las Tablas 18, 19 y 20 se calculen para $v_0=0.005$ y $v_0=0.1$. Se decidió también realizar estos últimos diseños sólo para los valores extremos de γ (0.02 y 0.15). Las flechas en las tablas señalan el lugar donde queda localizado el mínimo valor U . Existen varios casos en los que el óptimo queda fuera del intervalo estudiado.

Para determinar el valor de c correspondiente a la relación Y^*/Y_0 óptima se trazó una gráfica que relaciona ambos valores, se localizaron los puntos conocidos y se les ajustó una curva. A ésta última gráfica se entró con el valor de Y^*/Y_0 interpolado de gráficas trazadas a partir de la información contenida en las Tablas 18 a 20. En la Tabla 21 aparecen los valores óptimos del coeficiente sísmico (C_0). Los casos para los cuales el intervalo inicial junto con la extrapolación no fue suficiente para comprender el nivel de diseño óptimo son la mayoría; se indican sólo los valores dentro de los cuales están comprendidos. Hubo un caso (estructura vacía, $v_0 = 0.005$) en el que el óptimo queda por abajo del grupo de valores escogidos para trabajar.

8. CONCLUSIONES

- La resistencia lateral de una estructura de un piso es poco sensible a los incrementos del coeficiente sísmico c . Los valores de Y^*/Y_0 demuestran que para una variación del coeficiente que va de 0 a 0.55 el incremento de la resistencia lateral es sólo del 11%
- Los coeficientes de diseño sísmico resultantes (óptimos) son los que aparecen en la Tabla 21
- Para estructuras de un piso cuesta poco, y conduce al óptimo, diseñar para altos valores de c
- Todos los resultados obtenidos son varias órdenes de magnitud mayores que los propuestos por el reglamento
- La influencia del valor de la vida humana puede apreciarse estudiando los casos comparables. Para $v_0 = 0.005$ y $\gamma = 0.02$ pasar de la estructura

vacía a oficina implica un incremento de más del 260%, de oficina a aula el incremento es mayor del 24%. Con la misma sismicidad pero con $\gamma=0.15$ los incrementos son, para el primer caso, mayor del 47%, e igual al 31% para el segundo. Para una sismicidad mayor ($v_0=0.1$) y $\gamma=0.02$ el valor de C_0 aumenta en más de 15% al pasar de la estructura vacía a oficina. Para la misma sismicidad y $\gamma=0.15$ el mismo incremento es mayor del 232%.

- Es notable el efecto de la tasa de descuento. Obviamente, entre mayor sea, más bajo es el coeficiente óptimo de diseño sísmico.

Las observaciones anteriores conducen a concluir que para estructuras de un piso lo mejor es diseñar para coeficientes altos (principalmente cuando hay vidas humanas de por medio). Este resultado no puede extrapolarse a edificaciones más altas. Se requiere un estudio similar para este caso. Los reglamentos vigentes sugieren valores que, para casos como el de este trabajo, conducen a resultados lejanos a los óptimos.

RECONOCIMIENTOS

Agradezco, dejando a un lado todo formalismo, el apoyo, orientación y ayuda que recibí de numerosas personas:

A Emilio Rosenblueth por haberme introducido al tema y sugerido el problema a resolver.

A Luis Esteva por haber dirigido mi trabajo dedicándome tiempo extraordinario sábados y domingos.

A Santiago Loera, por la paciencia y meticulosidad con que me introdujo, sin límite de tiempo, en el diseño de estructuras de concreto.

A Carmen Quezada por su cuidadosa mecanografía bajo presión y a Mario Montes de Oca por el fotocopiado en condiciones similares.

A Roberto Acosto Cienfuegos por su incondicional apoyo para superar obstáculos logísticos.

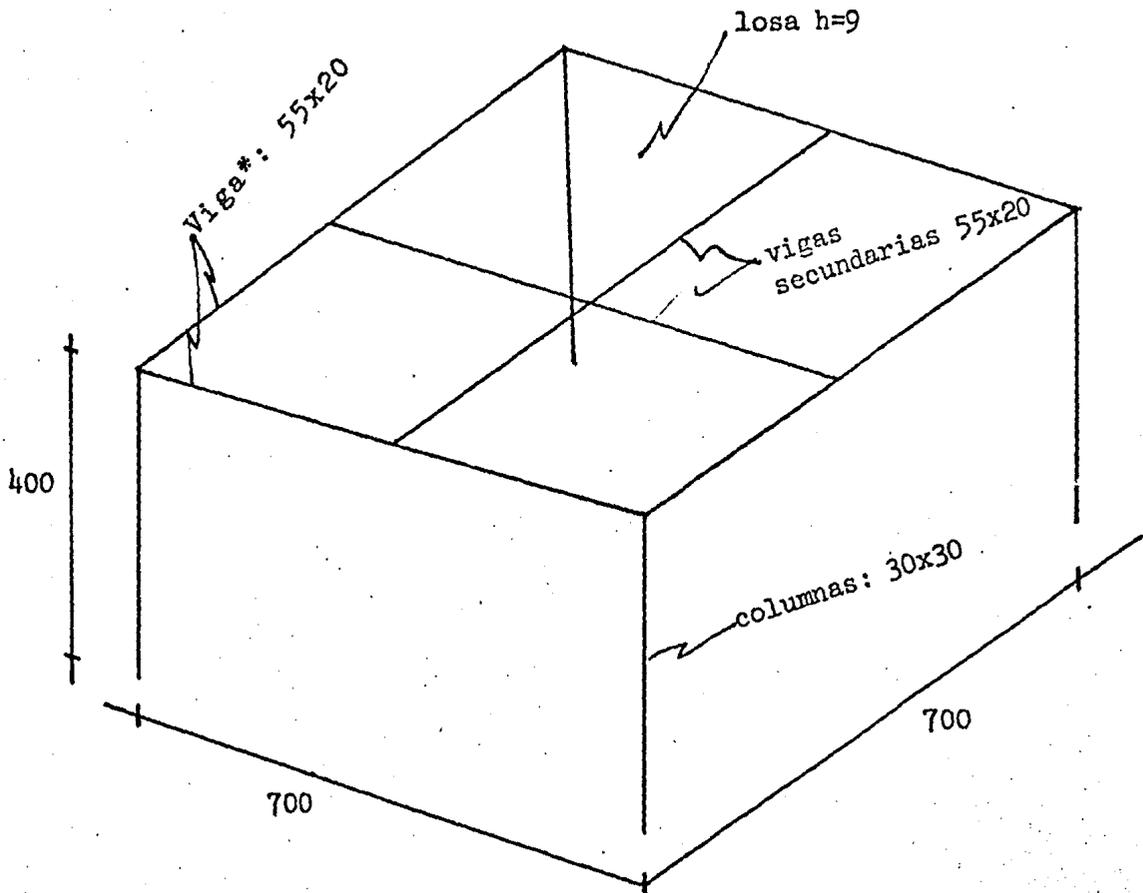
A todos aquellos que, mientras terminaba la tesis, me allanaron trámites, especialmente a José Miguel Martínez Alcaraz, Ramón Cervantes y Jorge Lara.

REFERENCIAS

1. Valor de la Vida Humana
Emilio Rosenblueth, Jorge I. Bustamante y Javier Morales
Centro de Investigación Prospectiva Fundación Javier Barros Sierra, A.C.
México, 1984
2. Manual de Diseño por Sismo
SOP
3. Requisitos de Seguridad y Servicio para las Estructuras
Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 400
México, 1977
4. Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto
Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 401
México, 1977
5. Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto
Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 401
México, 1977
5. Bases para los Criterios de Diseño Estructural del Proyecto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal
Roberto Meli
Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 375
México, 1976

6. Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers
J.R. Benjamin y C.A. Cornell
Mc Graw-Hill
New York, 1970
7. Damage and Risk Considerations for Selecting Seismic Design Requirements
Luis Esteva
8. Manual de Diseño Sísmico de Edificios
E. Bazán y R. Meli
Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. D-18
México, 1983
9. Fundamentals of Earthquake Engineering
Newmark y Rosenblueth
Prentice-Hall
New Jersey, 1971

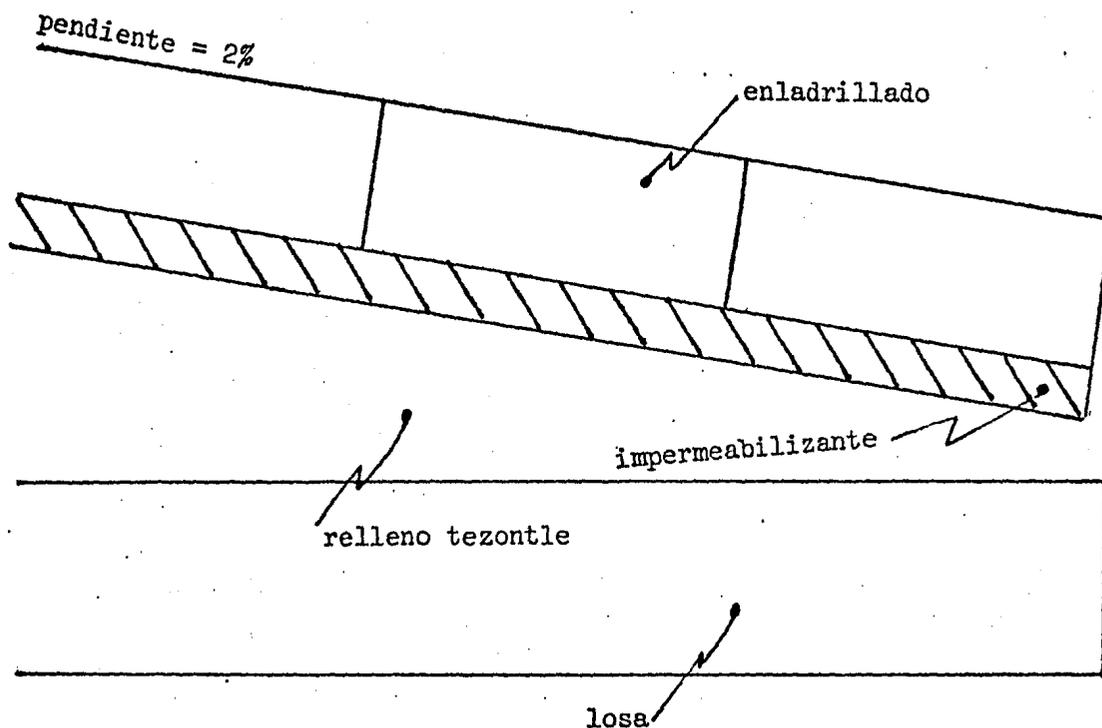
Figura 1



dimensiones en cm

*estas vigas soportan un pretil

Figura 2



pp. losa	$0.09 \times 2400 =$	216 kg/m^2
c. adicional		20 "
tezontle	$0.10 \times 1500 =$	150 "
firme mortero	$0.03 \times 2000 =$	60 "
c. adicional		20 "
impermeabilizante		6 "
mortero	$0.02 \times 2000 =$	40 "
ladrillo	$0.03 \times 1500 =$	45 "
plafón		50 "
		CM = 607 kg/m^2

pretil: $= 0.15 \times 0.30 \times 1500 = 67.5 \text{ kg/m}$

$W_{TOT} \text{ pretil} = 67.5 \times 28 = 1890 \text{ kg}$

Figura 3

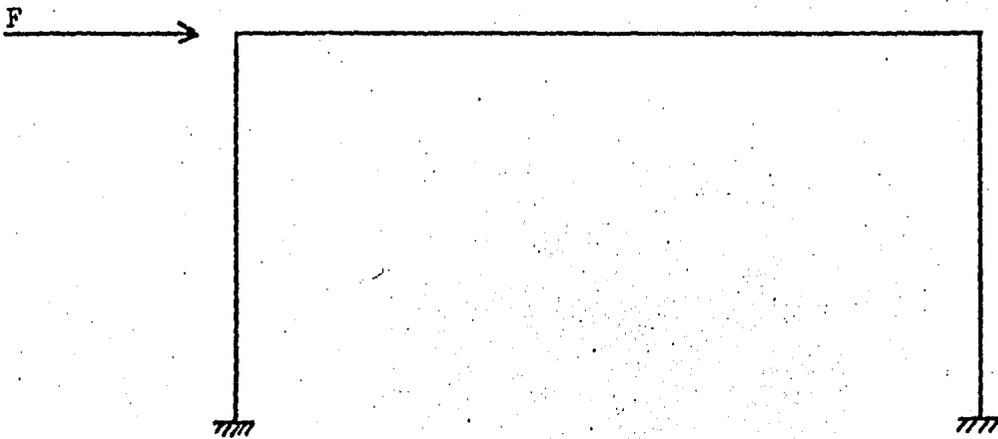


Figura 4

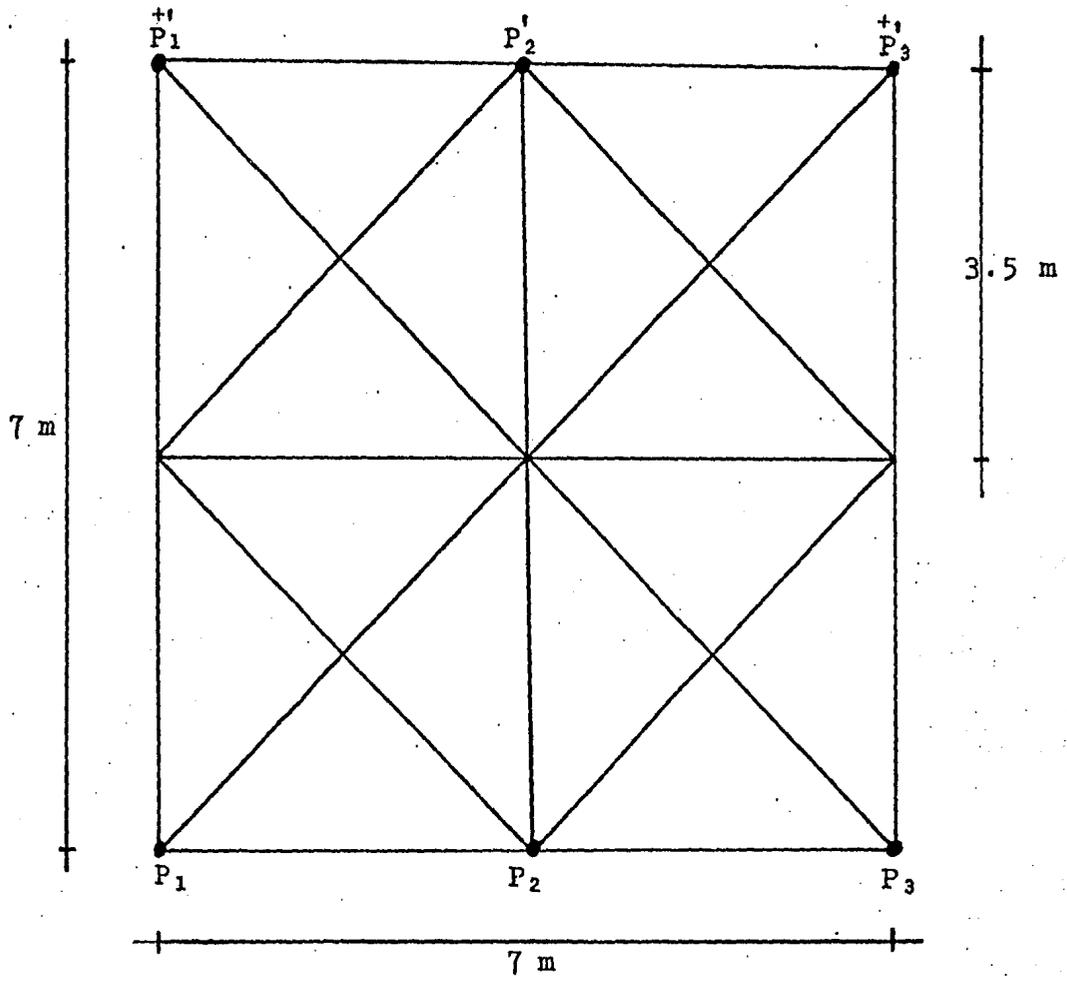


Figura 5

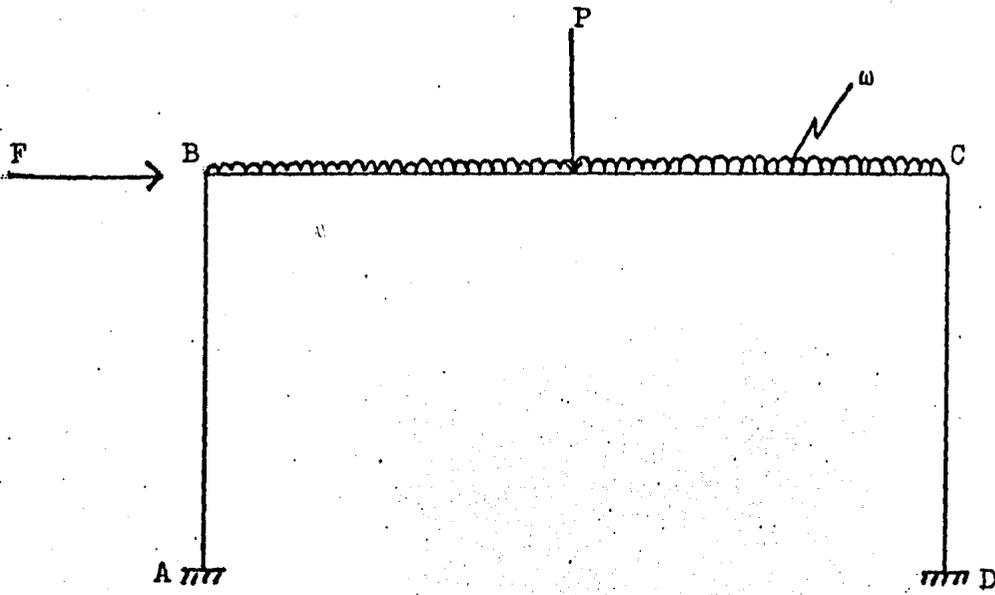


Figura 6

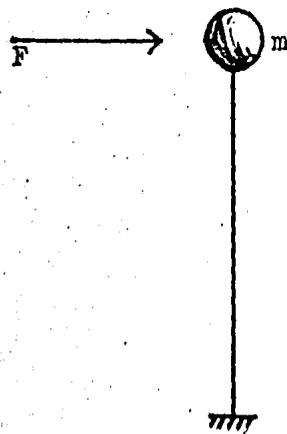


Figura 7

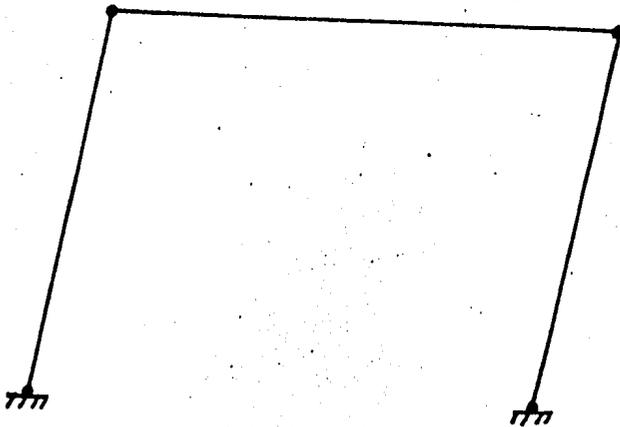
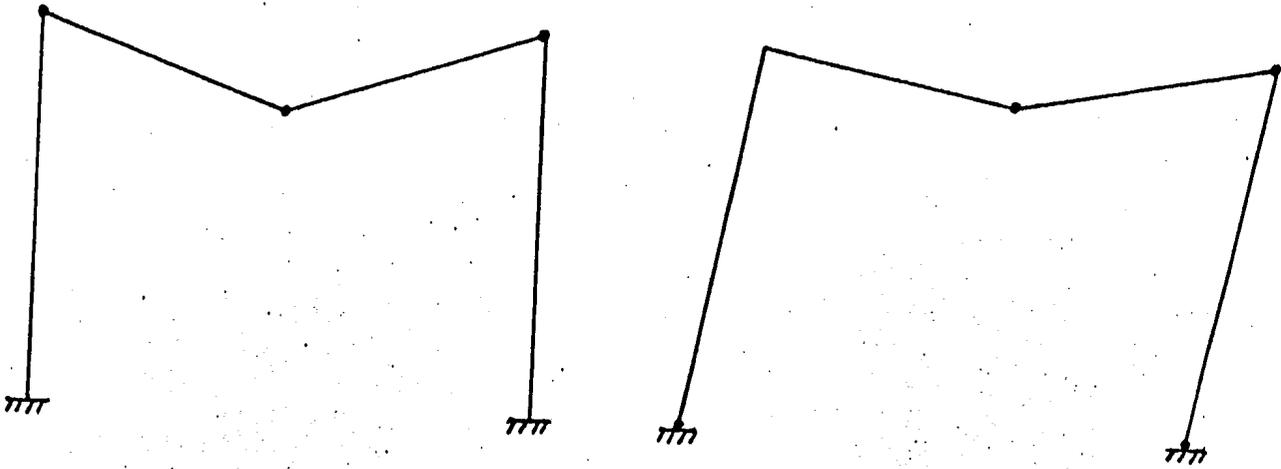
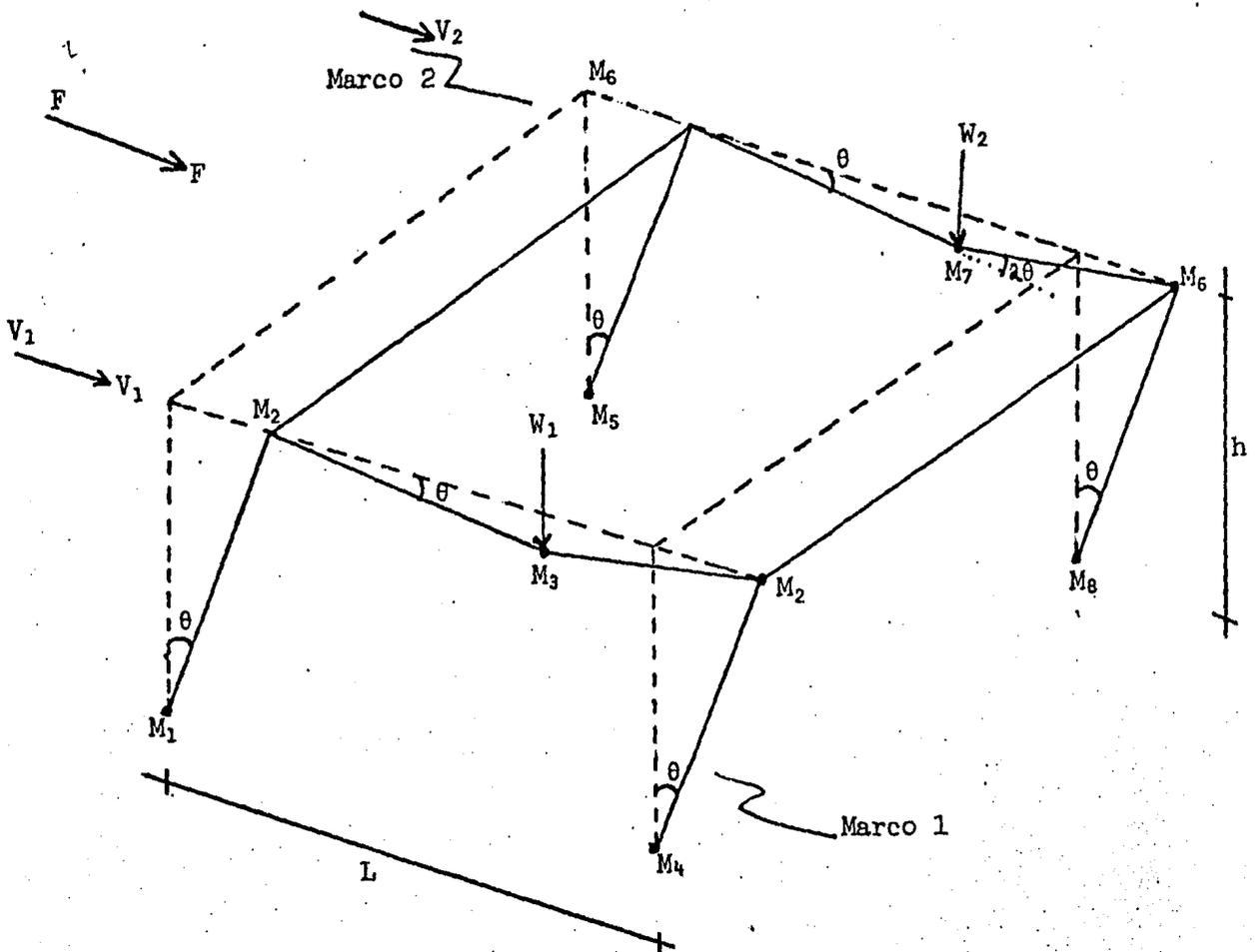


Figura 8



R = resistencia

S = acción

S = $F = V_1 + V_2$

TABLA 1

<u>USO DEL LOCAL</u>	<u>NUMERO DE PERSONAS</u>	<u>VALOR PROMEDIO DE* LA VIDA DE UNA PERSONA</u>	<u>PERDIDAS HUMANAS EN CASO DE COLAPSO</u>
Vacío	0	- - -	0
Oficina	10	3,167	31.67
Escuela	51	3,100	161.52

* Millones de pesos (valor real) a precios constantes de abril de 1984. En la aplicación que se hace más adelante, estos valores se traducen a pesos de 1985.

TABLA 2

<u>NUDO</u>	<u>MOMENTO*</u>
A	-3129
B	<u>+6259</u>
C	<u>+6259</u>
D	3129

* En Kg.m.
Barra sobre nudo

TABLA 3

MOMENTO POR CA

<u>NUDO**</u>	<u>C=0.40</u>	<u>C=0.45</u>	<u>C=0.50</u>	<u>C=0.55</u>
A	2364	2660	2956	3251
B	<u>+</u> 2070	<u>+</u> 2329	<u>+</u> 2586	<u>+</u> 2847
C	<u>+</u> 2070	<u>+</u> 2329	<u>+</u> 2586	<u>+</u> 2847
C	2364	2660	2956	3251

** Según el diagrama:

* En Kg.m.

TABLA 4

p=cuantía de acero

<u>VIGAS</u>	<u>LUGAR</u>	<u>C=0</u>	<u>C=0.40</u>	<u>C=0.45</u>	<u>C=0.50</u>	<u>C=0.55</u>
	Centro del claro	0.0086	0.0086	0.0086	0.0086	0.0086
	Extremos	0.0039	0.0043	0.0046	0.0048	0.0050
<u>COLUMNAS</u>	A todo lo largo	0.0402	0.0402	0.0402	0.0402	0.0402

TABLA 5

$C=0,$	$\bar{R} = 38.9 \text{ ton}$
$C=0.40,$	$\bar{R} = 39.9 \text{ ton}$
$C=0.45,$	$\bar{R} = 40.7 \text{ ton}$
$C=0.50,$	$\bar{R} = 41.0 \text{ ton}$
$C=0.55,$	$\bar{R} = 41.6 \text{ ton}$

TABLA 6

$C=0,$	$V_R = 0.0900$
$C=0.40,$	$V_R = 0.0901$
$C=0.45,$	$V_R = 0.0944$
$C=0.50,$	$V_R = 0.0911$
$C=0.55,$	$V_R = 0.0940$

TABLA 7

\bar{K} = 404 ton/m	K^* = 299 ton/m	σ_K = 60.6 ton/m
\bar{Q} = 7.27	Q^* = 4	σ_Q = 2.18
\bar{W} = 30.9 ton	W^* = 34.6 ton	σ_W = 4.9 ton
$\bar{\xi}_{De}$ = 1	ξ_{De}^* = 1	$\sigma_{\xi_{De}}$ = 0.25
\bar{R} → Tabla 5	R^* → Tabla 10	σ_R → Tabla 17

TABLA 8

$\xi = \frac{C}{C_r}$	$\log \alpha_1$	$\log \alpha_2$
0.00	-0.220	-1.35
0.02	-0.022	-0.76
0.10	0.120	-0.62
0.20	0.240	-0.46

TABLA 9

$\bar{Y} = 4.0994$ m/seg, corresponde a $C = 0.40$

$\bar{Y} = 4.1895$ " " " $C = 0.45$

$\bar{Y} = 4.2148$ " " " $C = 0.50$

$\bar{Y} = 4.2773$ " " " $C = 0.55$

TABLA 10

$C = 0.40$

$R^* = 27.5$ ton

$Y^* = 1.513$

$C = 0.45$

$R^* = 28.2$ ton

$Y^* = 1.5484$

$C = 0.50$

$R^* = 28.4$ ton

$Y^* = 1.5589$

$C = 0.55$

$R^* = 28.8$ ton

$Y^* = 1.5876$

$C = 0.40; \frac{\bar{Y}}{Y^*} = 2.7095$

$C = 0.45; \frac{\bar{Y}}{Y^*} = 2.7050$

$C = 0.50; \frac{\bar{Y}}{Y^*} = 2.7037$

$C = 0.55; \frac{\bar{Y}}{Y^*} = 2.6942$

TABLA 11

$V_Y = 0.4286$	corresponde a	$C = 0.40$
$V_Y = 0.4290$	" "	$C = 0.45$
$V_Y = 0.4285$	" "	$C = 0.50$
$V_Y = 0.4380$	" "	$C = 0.55$
$V_Y = 0.4371$	" "	$C = 0.00$

TABLA 12

$C = 0$	$C_T = 833\ 438$
$C = 0.40$	$C_T = 886\ 164$
$C = 0.45$	$C_T = 886\ 709$
$C = 0.50$	$C_T = 887\ 254$
$C = 0.55$	$C_T = 887\ 617$

Nota: Estas cifras están expresadas en pesos (valor real) a precios de agosto de 1985.

TABLA 13

$C = 0$	$\frac{VF}{v^*} = 0.1067$
$C = 0.40$	$\frac{VF}{v^*} = 0.1136$
$C = 0.45$	$\frac{VF}{v^*} = 0.1140$
$C = 0.50$	$\frac{VF}{v^*} = 0.1139$
$C = 0.55$	$\frac{VF}{v^*} = 0.1167$

TABLA 14

\underline{C}	$\underline{v_0}$	$\underline{v^*}$
0	0.1	0.1
	1.0	1.0
0.40	0.1	0.08663
	1.0	0.86630
0.45	0.1	0.08177
	1.0	0.81770
0.50	0.1	0.0804
	1.0	0.8040
0.55	0.1	0.07681
	1.0	0.7681

TABLA 15

$$R_{O}^{*} = 26.9 \text{ ton} \quad Y_{O} = 1.43 \text{ m/seg}$$

$$\bar{R}_{O} = 38.9 \text{ ton} \quad \bar{Y} = 3.98 \text{ m/seg}$$

$$V_{R_{O}} = 0.09 \quad V_{Y_{O}} = 0.44$$

$$\frac{\bar{Y}_{O}}{Y_{O}} = 2.79$$

TABLA 16

$$C = 0 \quad Y^{*}/Y_{O} = 1$$

$$C = 0.40 \quad Y^{*}/Y_{O} = 1.059$$

$$C = 0.45 \quad Y^{*}/Y_{O} = 1.084$$

$$C = 0.50 \quad Y^{*}/Y_{O} = 1.091$$

$$C = 0.55 \quad Y^{*}/Y_{O} = 1.111$$

TABLA 17

C = 0.40;	$\sigma_R = 3.59$ ton
C = 0.45;	$\sigma_R = 3.84$ ton
C = 0.50;	$\sigma_R = 3.73$ ton
C = 0.55;	$\sigma_R = 3.91$ ton

Tabla 18

ESTRUCTURA VACIA

U

Y^*/Y_0		$v_0 = 0.005$		$v_0 = 0.1$	
		$\gamma = 0.02$	$\gamma = 0.15$	$\gamma = 0.02$	$\gamma = 0.015$
C=0	1.0	909,360	886,894	1,397,432	951,970
C=0.4	1.05910	910,138 ⁺	889,360 ⁺	1,361,573	949,552
C=0.45	1.08386	909,447	889,740	1,337,281	946,785
C=0.50	1.09121	909,598	890,233	1,330,138	946,305
C=0.55	1.11130	909,694	890,534	1,321,291	945,440 ⁺
C=1.0	1.4418	950,918	938,744	1,218,223 ⁺	974,385
C=1.3	1.6405	994,151	983,343	1,229,471 ⁺	1,014,719

Tabla 19

OFICINA

U

$v_o=0.005$

$v_o=0.1$

Y^*/Y_o	$v_o=0.005$		$v_o=0.1$	
	$\gamma=0.02$	$\gamma=0.15$	$\gamma=0.02$	$\gamma=0.15$
1.0	1,190,959	924,441	7,029,414	1,702,901
1.05910	1,170,019	924,011	6,357,756	1,615,709
1.08386	1,155,788	922,586	6,257,627	1,602,831
1.09121	1,151,510	922,488	6,163,804	1,590,794
1.11130	1,146,255	922,102	6,052,644	1,576,288
1.4418	1,094,941	957,947 ⁺	4,074,709	1,355,249
1.6405	1,116,180 ⁺	999,613	3,651,900	1,337,709

Tabla 20

AULA

U

$v_o=0.005$

$v_o=0.1$

Y^*/Y_o	$v_o=0.005$		$v_o=0.1$	
	$\gamma=0.02$	$\gamma=0.15$	$\gamma=0.02$	$\gamma=0.15$
1.0	1,986,496	1,030,513	22,940,162	3,824,335
1.05910	1,903,259	1,021,776	21,230,891	3,598,794
1.08386	1,850,826	1,015,258	20,157,954	3,456,208
1.09121	1,834,053	1,073,494	19,819,252	3,411,520
1.11130	1,814,265	1,011,170	19,414,055	3,358,476
1.4418	1,501,297	1,012,128 ⁺	12,242,322	2,444,264
1.6405	1,460,483	1,045,520	10,495,434	1,250,180

Tabla 21

Tipo de ocupación de la estructura	COEFICIENTE DE DISEÑO OPTIMO, C_o			
	$v_o=0.005$		$v_o=0.1$	
	$\gamma=0.02$	$\gamma=0.15$	$\gamma=0.02$	$\gamma=0.15$
Vacía	$0 \leq C_o \leq 0.4$	$0 \leq C_o \leq 0.4$	1.3	
Oficina	1.05	0.59	>1.3	>1.3
Aula	>1.3	0.77	>1.3	>1.3