



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

TEMA:

**“APLICACIÓN DEL FACTOR DE REDUCCIÓN POR
DUCTILIDAD DE ESTRUCTURAS CON COMPORTAMIENTO
NO LINEAL A PÓRTICOS PLANOS DE HORMIGÓN ARMADO
CON DIFERENTES PERÍODOS.”**

AUTOR:

JOSÉ DAVID SAUD AGUIRRE

DIRECTOR:

ING. XAVIER CASAL

GUAYAQUIL - ECUADOR

2011

TRABAJO DE GRADO

TEMA:

**“APLICACIÓN DEL FACTOR DE REDUCCIÓN POR
DUCTILIDAD DE ESTRUCTURAS CON COMPORTAMIENTO
NO LINEAL A PÓRTICOS PLANOS DE HORMIGÓN ARMADO
CON DIFERENTES PERÍODOS.”**

Presentado a la Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería
Civil de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

AUTOR:

JOSÉ DAVID SAUD AGUIRRE

Para dar cumplimiento con uno de los requisitos para optar
por el título de:

INGENIERO CIVIL

Tribunal de sustentación:

**ING. XAVIER CASAL, M.Sc.
DIRECTOR DE TRABAJO**

**ING. LILIA VALAREZO, M.Sc.
PROFESORA INVITADA**

**ING. WALTER MERA, PhD
DECANO DE LA FACULTAD**

**ING. LILIA VALAREZO, M.Sc.
DIRECTORA DE LA CARRERA**

DEDICATORIA:

A Dios, a mi familia y a mis amigos, pilares fundamentales en mi vida.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a todos mis compañeros, y a los grandes amigos que tuve el privilegio de conocer, también a todos los profesores que fueron formándome en mi carrera, y quiero agradecer de manera muy especial al Ing. Xavier Casal, esencial en el proceso de elaboración del trabajo de grado, y a la empresa NYLIC por el apoyo incondicional brindado a lo largo de mis estudios.



**“APLICACIÓN DEL FACTOR DE REDUCCIÓN POR DUCTILIDAD DE ESTRUCTURAS CON
COMPORTAMIENTO NO LINEAL A PÓRTICOS PLANOS DE HORMIGÓN ARMADO CON
DIFERENTES PERÍODOS.”**

INDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- Antecedentes	2
1.2.- Objetivos	3

CAPÍTULO II

RESPUESTA DE ESTRUCTURAS SUJETAS A FUERZAS SÍSMICAS

2.1.- Respuesta Elástica de Estructuras sujetas a Fuerzas Sísmicas.....	5
2.1.1.- Ecuación de Movimiento:	5
2.1.2.- Historia de Respuesta:	6
2.1.3.- Concepto de Espectro de Respuesta:	7
2.1.4.- Espectro de respuesta de Desplazamiento, Pseudo-Velocidad y Pseudo-Aceleración. 8	
2.1.4.1.- Espectro de respuesta de desplazamiento:	8
2.1.4.2.- Espectro de Respuesta de Pseudo- Velocidad:	8
2.1.4.3.- Espectro de Respuesta de Pseudo- Aceleración:	8
2.1.4.4.- Espectro combinado de Desplazamiento, Pseudo-Velocidad y Pseudo- Aceleración.....	8
2.1.5.- Características de los espectros de respuesta:	10
2.1.6.- Espectro Elástico de Diseño:	12
2.1.7.- Pasos para la Construcción del Espectro Elástico de Diseño:	13



2.2.- Respuesta Inelástica de estructuras sujetas a fuerzas sísmicas	14
2.2.1.- Relación Fuerza-Deformación.....	14
2.2.1.1.- Idealización Elastoplástica.	14
2.2.1.2.- Sistemas Lineales correspondientes:	16
2.2.2.- Normalización de la fuerza de cedencia, factor de reducción de fuerza de cedencia y factores de ductilidad.....	16
2.2.3.- Ecuación de movimiento, y parámetros que predominan:	17
2.2.4.- Efectos de la cedencia:.....	19
2.2.4.1.- Historia de respuesta:	19
2.2.5.- Espectro de respuesta para la deformación por cedencia y fuerza de cedencia:	21
2.2.5.1.- Definiciones:.....	21
2.2.5.2.- Fuerza de cedencia para una ductilidad específica	22
2.2.5.3.- Construcción de un espectro de respuesta de ductilidad constante:	23
2.2.6.- Fuerza de cedencia y deformación del espectro de respuesta:	25
2.2.7.- Relación Fuerza de cedencia-ductilidad.....	25
2.2.8.- Efectos relativos de la cedencia y el amortiguamiento	26
2.2.9.- Energía Disipada.....	28
2.2.10.- Espectro Inelástico de diseño	31
2.2.11.- Construcción del espectro de diseño de ductilidad constante:.....	33

CAPÍTULO III

DISEÑO DE PÓRTICOS SISMO-RESISTENTES POR CAPACIDAD

3.1.-Ductilidad de elementos de concreto reforzado sometidos a flexión.....	35
3.2.- Curvas Esfuerzo-Deformación.....	36
3.2.1.- Curva Esfuerzo Deformación para Concreto confinado:	36
3.2.2.- Curva Esfuerzo Deformación para el Acero de refuerzo:	38
3.3.- Rigidez de miembros de concreto reforzado.....	39
3.4.-Relación momento-curvatura para secciones de concreto reforzado.	42
3.5.- Cálculo del diagrama momento-curvatura ($m-\varphi$) para secciones de concreto reforzado.43	
3.5.1.- Rigidez no fisurada (E_{ig}).....	43



3.5.2.- Punto de agrietamiento (M_{cr} y φ_{cr}).....	44
3.5.3.- Punto de fluencia (M_y y φ_y)	44
3.5.4.- Resistencia última (M_u y φ_u)	45
3.6.- Influencia de diferentes parámetros en el comportamiento.	47
3.6.1.- Dimensiones de la sección y propiedades de los materiales:.....	47
3.6.2.- Influencia de la cuantía:	47
3.6.3.- Influencia en la carga axial en la relación ($M-\varphi$).	47
3.6.4.- Efecto del refuerzo transversal de confinamiento en el comportamiento de vigas: ..	49

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL O PUSHOVER.

4.1.- Características Generales:.....	51
4.1.1.- Geometría de los Pórticos:.....	51
4.1.2.- Propiedades de los Elementos:.....	51
4.1.3.- Cargas de Diseño:.....	51
4.1.4.- Espectros de diseño:	52
4.1.4.1.- Espectro Elástico de diseño:	52
4.1.4.2.- Espectro de diseño reducido:	52
4.2.- Características Generales del análisis en el programa "SAP 2000 V14.1 ADVANCED":.....	52
4.2.1.- Cargas actuantes (Load Patterns):	52
4.2.2.- Espectro de Diseño:	52
4.2.3.- Casos de cargas (Load Cases):.....	53
4.2.4.- Combinación de cargas (Load Combination):	53
4.2.5.- Fuente de masa (mass source):	53
4.2.6.- Criterios de Diseño:.....	53
4.2.7.- Metodología de diseño:	54
4.2.8- Criterio de Análisis Estático no lineal o Pushover:.....	55
4.3.- Resultados de análisis:	56



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

5.1- Resumen de Resultados:.....	145
5.1.1.-Pórticos de 1 Vano	146
5.1.2.- Pórticos de 2 Vanos.....	148
5.1.3.- Pórticos de 3 Vanos.....	150
5.1.4.- Pórticos de 4 Vanos:.....	152
5.2.- Gráficas totales:	154
5.3.- Conclusiones Generales:	156
5.4.- Conclusiones Finales:	157
BIBLIOGRAFÍA:	159



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- Antecedentes

En el campo de diseño sísmico de sistemas estructurales de pórticos (columnas – vigas), las diferentes normas de diseño sismorresistente permiten que la estructura se comporte dentro del rango plástico, pero resulta complicado realizar el análisis no lineal, es por esto que en el proceso de cálculo, se permite la aplicación del análisis elástico, con fuerzas sísmicas reducidas mediante factores de reducción de respuesta conocidos como factores R, que simplifican el proceso de diseño estructural. Estos factores consideran que las estructuras se comportan inelásticamente cuando son sometidas bajo acciones sísmicas.

El uso de factores de reducción de respuesta nace de la necesidad de aplicar un método basado en espectros de diseño en el proceso de análisis sísmico de estructuras. De esta manera, las fuerzas aplicadas en el análisis se calculan mediante espectros elásticos de diseño, con ordenadas reducidas mediante factores que dependen del periodo estructural y de su capacidad de disipar energía, traducida en un factor de ductilidad (μ) asociado a tipologías estructurales y a niveles de diseño capaces de garantizar disipación.



Inicialmente Veletsos y Newmark (1960), propusieron valores para factores de reducción dependientes del periodo estructural. Estos valores obedecen a los criterios derivados de la comparación de los espectros elásticos e inelásticos de respuesta, los cuales mostraban iguales fuerzas en rangos de frecuencias altas, igual energía absorbida para el rango de frecuencias intermedias e iguales desplazamientos para frecuencias bajas.

$$R = 1 \quad \text{Para } T_n=0$$

$$R = \mu \quad \text{Para el rango de periodos cortos.}$$

$$R = \sqrt{2\mu - 1} \quad \text{Para el rango de los periodos moderados.}$$

$$R = \mu \quad \text{Para el rango de los periodos intermedios y largos.}$$

Donde:

R = Factor de reducción de respuesta.

μ = Factor de ductilidad.

T_n = Periodo de la estructura.

Esta forma de diseño espectral se ha mantenido a lo largo de los últimos años, debido al buen desempeño mostrado por las estructuras así diseñadas, durante los fuertes eventos sísmicos recientes, sobre todo en su eficiencia manifestada en la preservación de vidas.

Sin embargo, recientes estudios han demostrado que la dependencia exclusiva de los factores de reducción R , es poco segura en el rango de periodos bajos y excesivamente conservadora para periodos intermedios y largos, Ordaz y Pérez-Rocha.

1.2.- Objetivos

- Revisar el concepto del factor de reducción y su desarrollo a través de los años.
- Determinar el factor de reducción “ R ” para diferentes estructuras reticulares planas.
- Comparación de los resultados obtenidos con los propuestos en los códigos.
- Observar el comportamiento de dicho factor para estructuras de diferentes dimensiones y características.
- Establecer potenciales problemas de condiciones de servicio debido a la aplicación altos valores del factor de reducción “ R ”.



CAPÍTULO II

RESPUESTA DE ESTRUCTURAS
SUJETAS A FUERZAS SÍSMICAS.



CAPÍTULO II

RESPUESTA DE ESTRUCTURAS SUJETAS A FUERZAS SÍSMICAS.

2.1.- Respuesta Elástica de Estructuras sujetas a Fuerzas Sísmicas.

2.1.1.- Ecuación de Movimiento:

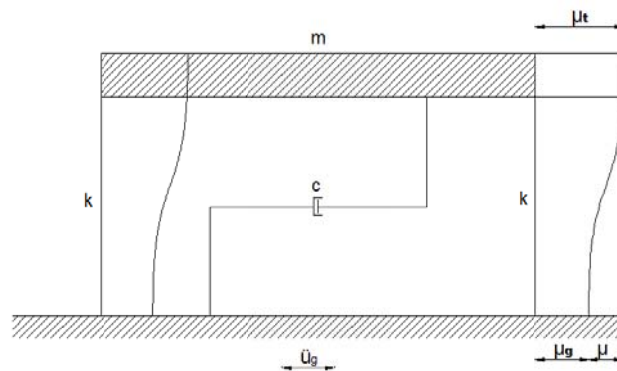


Figura 2.1.1.- Sistema de un grado de libertad.



La ecuación que gobierna el movimiento de un sistema de un grado de libertad, sometido a la aceleración del suelo es,

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g \quad (2.1.1)$$

Donde,

m = masa de la estructura.

k = rigidez total de la estructura.

c = coeficiente de amortiguamiento.

u = desplazamiento de la masa relativo a un punto fijo.

\dot{u} = velocidad de la estructura.

\ddot{u} = aceleración de la estructura.

\ddot{u}_g = aceleración del suelo.

Por otro lado tenemos que,

$c = 2\xi m\omega_n$; donde ξ es el porcentaje de amortiguamiento

$\omega_n^2 = \frac{k}{m}$; donde ω_n = frecuencia natural

Por lo tanto, reemplazando y dividiendo la ecuación para la masa, obtenemos la Ecuación de movimiento general:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + \omega_n^2u = -\ddot{u}_g \quad (2.1.2)$$

El desplazamiento del sistema depende solo de la frecuencia natural y del porcentaje de amortiguamiento.

La aceleración del suelo durante los eventos sísmicos varía muy irregularmente, debido a esto se buscan soluciones analíticas a la ecuación de movimiento, realizando métodos numéricos para determinar la respuesta estructural.

2.1.2.- Historia de Respuesta:

Para un determinado registro sísmico de aceleraciones, se puede observar como variando el periodo natural y manteniendo el porcentaje de amortiguamiento, se observa que a mayor periodo habrá mayor desplazamiento. De igual manera manteniendo el periodo y variando el porcentaje de amortiguamiento, se observa que al aumentar el porcentaje de amortiguamiento, disminuye el desplazamiento.



Una vez obtenido el análisis dinámico de la estructura y obtenido el desplazamiento de la historia de respuesta, se pueden determinar las fuerzas internas mediante análisis estático. Uno de los métodos para su determinación es el que se basa en el concepto de la fuerza estática equivalente f_s .

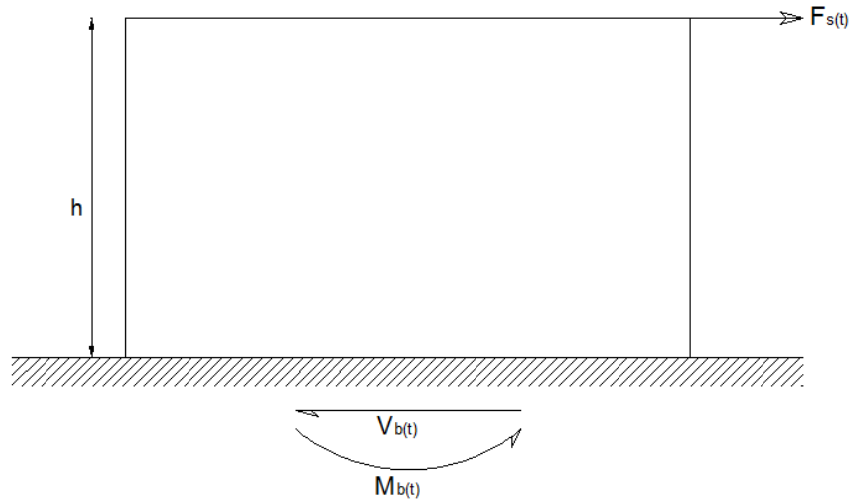


Figura 2.1.2.- Fuerza Estática Equivalente.

$f_s(t) = ku(t)$, donde f_s es la fuerza estática equivalente

$$f_s(t) = m\omega_n^2 u(t) = mA(t)$$

$A(t) = \omega_n^2 u(t)$, donde $A(t)$ es la pseudo-aceleración.

Así mismo

$$V_b(t) = f_s(t), \quad \text{donde } V_b(t) \text{ es el cortante Basal.}$$

$$M_b(t) = hf_s(t), \quad \text{donde } M_b(t) \text{ es el momento de vuelco.}$$

2.1.3.- Concepto de Espectro de Respuesta:

El espectro de respuesta nos da un promedio conservador para resumir las respuestas pico de todos los posibles sistemas de un grado de libertad, ubicados sobre un particular tipo de suelo y todo en función de parámetros como la frecuencia natural, el periodo natural o el porcentaje de amortiguamiento.



2.1.4.- Espectro de respuesta de Desplazamiento, Pseudo-Velocidad y Pseudo-Aceleración.

2.1.4.1.- Espectro de respuesta de desplazamiento:

De acuerdo al evento sísmico o registro aceleración vs tiempo, se establecen sistemas de un grado de libertad donde se varían sus periodos y donde el porcentaje de amortiguamiento es constante. El espectro de respuesta nos dará el máximo valor "D" para cada sistema de un grado de libertad y este se lo grafica con respecto al periodo de dicho sistema.

2.1.4.2.- Espectro de Respuesta de Pseudo- Velocidad:

Se considera una cantidad de Velocidad para un sistema de un grado de libertad para una deformación dada.

$$V = \omega_n D = \frac{2\pi}{T_n} D \quad (2.1.4.2)$$

Se utiliza el prefijo pseudo- velocidad porque V no es igual a la velocidad pico \dot{u}_o .

2.1.4.3.- Espectro de Respuesta de Pseudo- Aceleración:

Se considera una cantidad Aceleración para un sistema de un grado de libertad, para una deformación dada.

$$A = \omega_n^2 D = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 D \quad (2.1.4.3)$$

Ambos espectros de respuesta pseudo-velocidad o pseudo aceleración se los grafica vs el periodo de dicha estructura.

2.1.4.4.- Espectro combinado de Desplazamiento, Pseudo-Velocidad y Pseudo-Aceleración.

Cada espectro de respuesta contiene la misma información ya que están relacionados entre sí.

$$\frac{A}{\omega_n} = V = \omega_n D \quad (2.1.4.3)$$

El espectro de desplazamiento nos da el máximo desplazamiento del sistema, mientras que el espectro de pseudo-velocidad, se relaciona directamente con el máximo desplazamiento por energía almacenada en el sistema durante el sismo; y el espectro de pseudo-aceleración se relaciona directamente al máximo valor de la fuerza estática equivalente y cortante basal.

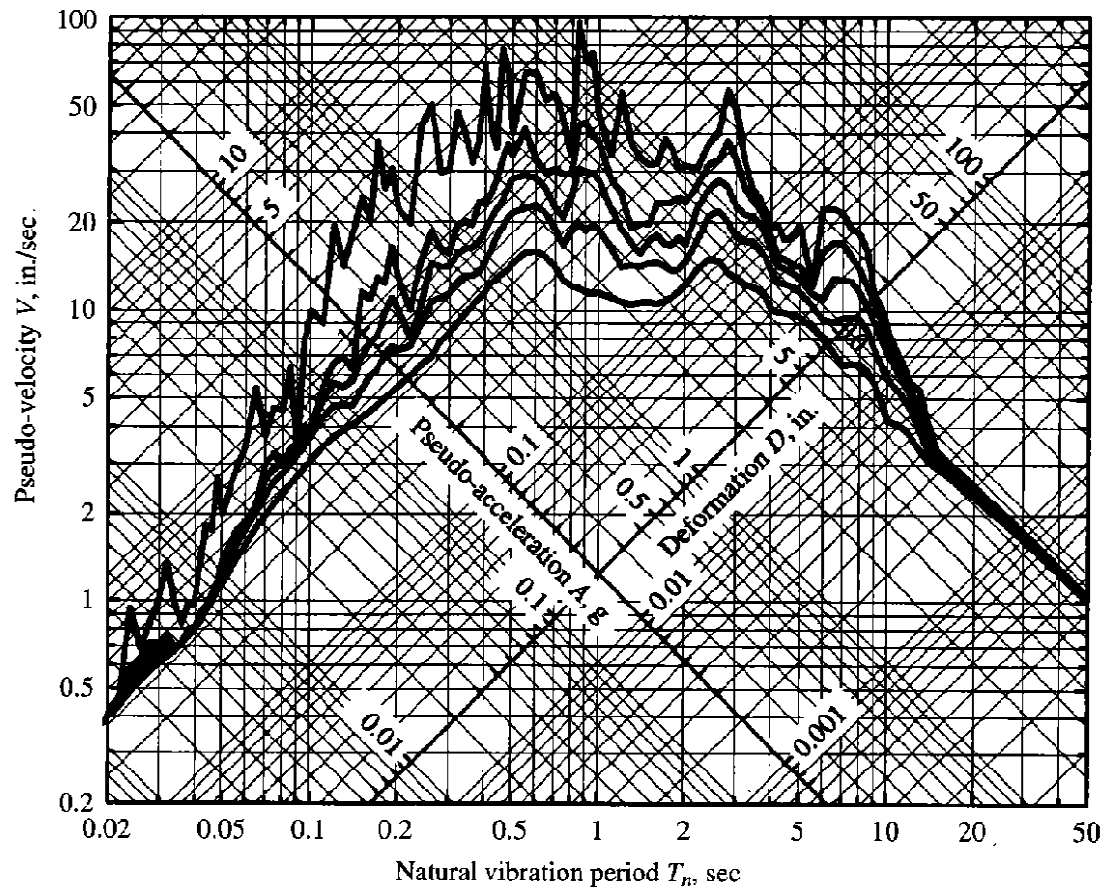


Figura 2.1.4.4.- Espectro de respuesta combinado D-V-A para el sismo de "El centro" con $\xi = 0, 2, 5, 10$ y 20% .
(Ref. - 1).



2.1.5.- Características de los espectros de respuesta:

De acuerdo con estudios de espectros de respuesta combinados, se puede dividir el espectro en diferentes rangos T_a, T_b, T_c, T_d, T_e y T_f como se muestra en la figura 2.1.5, para estudiar sus propiedades.

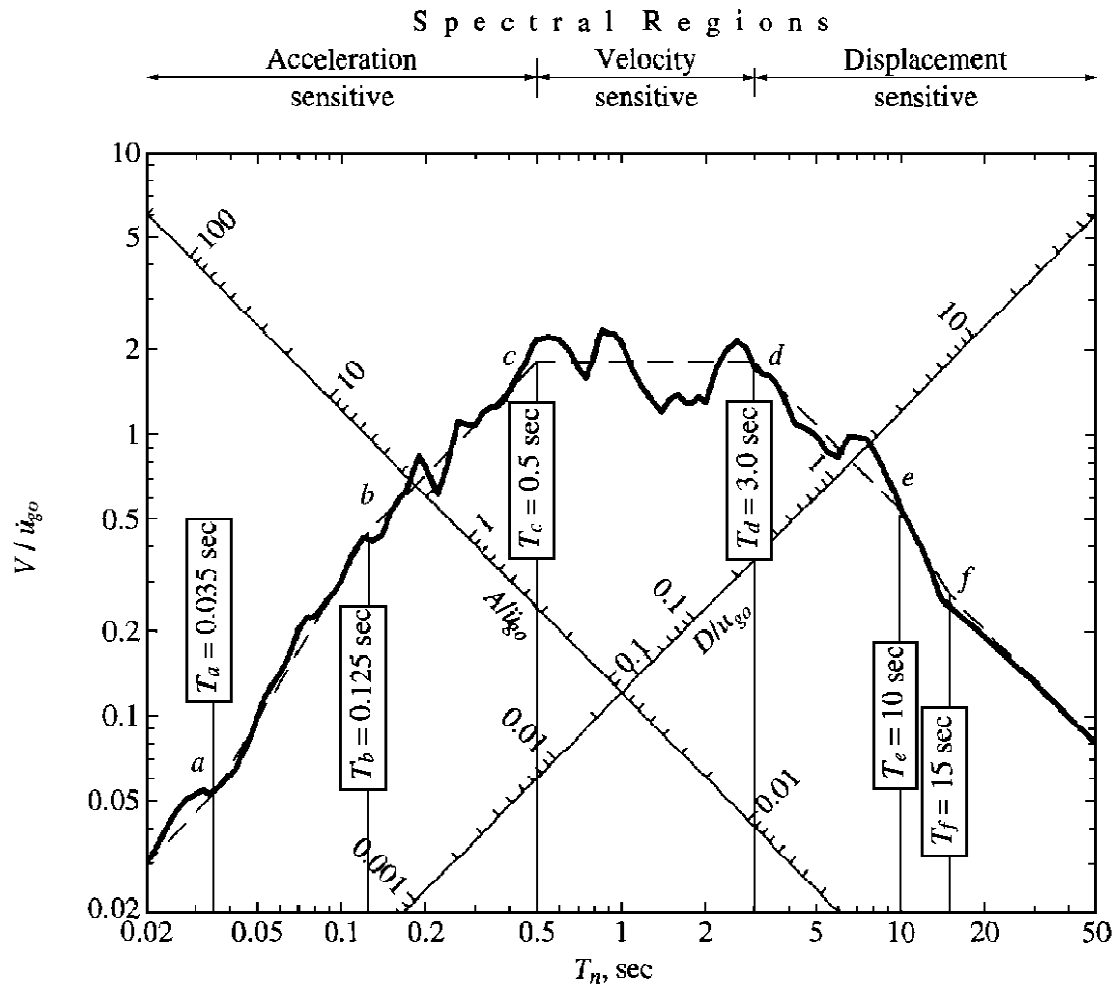


Figura 2.1.5.- Espectro de respuesta para el sismo de "El Centro", para $\xi = 5\%$.
(Ref. - 1).

Se puede observar que,

Para $T_n < T_a$ la pseudo-aceleración de la estructura se asemeja a la aceleración del suelo, hay poco desplazamiento debido a la gran rigidez de la estructura.

Para $T_n > T_f$ los desplazamientos de la estructura se asemejan a los del suelo, por lo que la pseudo-aceleración es muy pequeña debido a la poca rigidez de la estructura.



Basados en estas observaciones el espectro se divide en rangos de periodos:

- Rango de periodos largos, donde $T_n > T_d$, se la llama la región de sensible desplazamientos, porque la respuesta estructural va de la mano con los desplazamientos del suelo.
- Rango de periodos cortos, donde $T_n < T_c$, se la llama la región de sensible aceleración, porque la respuesta estructural se puede asemejar a la aceleración del suelo.
- Rango de periodos intermedios, $T_c < T_n < T_d$, se la llama la región de sensible velocidad, porque la respuesta estructural se puede relacionar mejor con la velocidad del suelo.

Para un suelo en particular, T_a, T_b, T_e y T_f en el espectro idealizado, son independientes del amortiguamiento, pero T_c y T_d varían de acuerdo al amortiguamiento. Estos valores y factores de amplificación de los tramos b-c, c-d, y d-e no son únicos en el sentido que varían de un tipo de sismo con otro.

Por otra parte enfocándose en el amortiguamiento vemos que,

Para $T_n = 0$, ξ no se afecta ya que la estructura se mueve rígidamente

Para $T_n = \infty$, ξ no se afecta ya que la masa estructural se queda en el sitio mientras el suelo se mueve.

Pero entre los 3 rangos de periodos, el amortiguamiento varia más en la región de sensible velocidad.



2.1.6.- Espectro Elástico de Diseño:

El espectro de diseño debe satisfacer ciertos requisitos tales como, tener registros sísmicos representativos del sitio, de lo contrario debe basarse en registros sísmicos de otros lugares que tengan condiciones semejantes. Los factores que intervienen en la selección de registros semejantes son: magnitud de sismo, mecanismos de falla, distancia de la falla al sitio, la geología del camino que atraviesa la onda sísmica de la fuente hasta el sitio y las condiciones del suelo existente.

En vista a esto Newark y Hall llegaron a un método práctico para la construcción del Espectro Elástico de Diseño, basado en análisis probabilísticos, producto del estudio de espectros de respuesta de varios sismos, como se muestra a continuación.

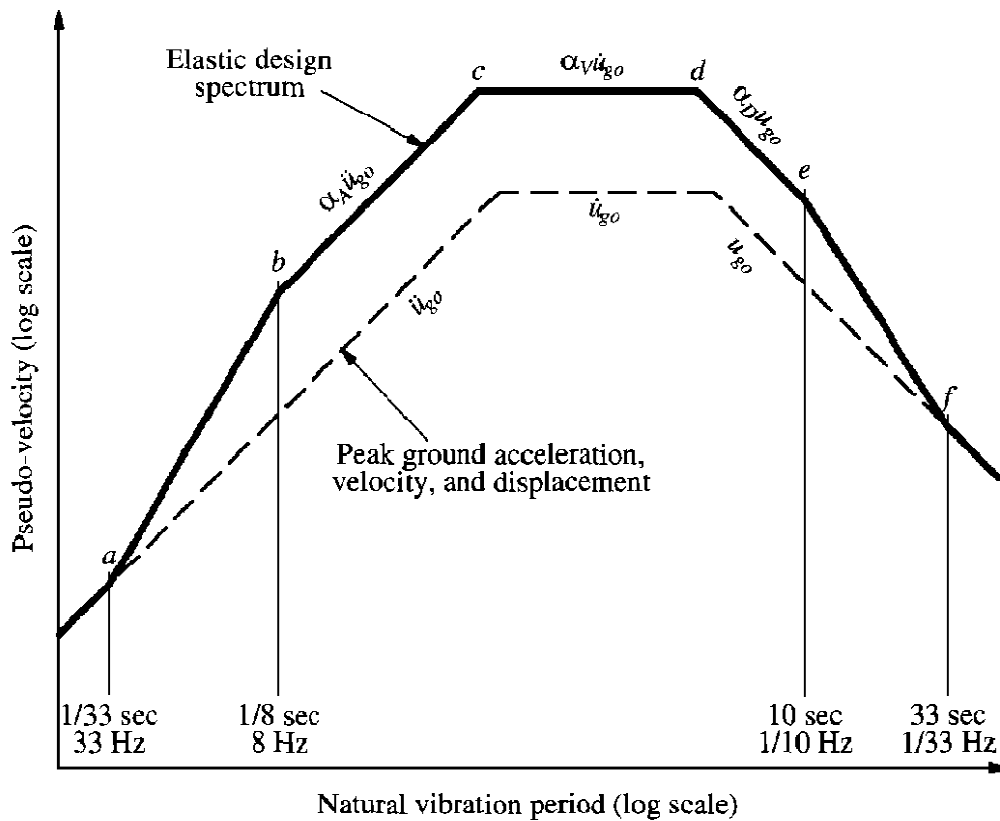


Figura 2.1.6.- Construcción del Espectro de diseño elástico.
(Ref.-1).



Damping, ζ (%)	Median (50 percentile)			One Sigma (84.1 percentile)		
	α_A	α_V	α_D	α_A	α_V	α_D
1	3.21	2.31	1.82	4.38	3.38	2.73
2	2.74	2.03	1.63	3.66	2.92	2.42
5	2.12	1.65	1.59	2.71	2.30	2.01
10	1.64	1.37	1.20	1.99	1.84	1.69
20	1.17	1.08	1.01	1.26	1.37	1.38

Tabla 2.1.6.1. Factores de Amplificación: Espectro Elástico de Diseño. (Ref.-1)

	Median (50 percentile)	One Sigma (84.1 percentile)
α_A	$3.21 - 0.68 \ln \zeta$	$4.38 - 1.04 \ln \zeta$
α_V	$2.31 - 0.41 \ln \zeta$	$3.38 - 0.67 \ln \zeta$
α_D	$1.82 - 0.27 \ln \zeta$	$2.73 - 0.45 \ln \zeta$

Tabla 2.1.6.2.- Factores de Amplificación: Espectro Elástico de Diseño para cualquier ζ . (Ref.-1)

2.1.7.- Pasos para la Construcción del Espectro Elástico de Diseño:

- 1.- Graficar los máximos valores de la aceleración del suelo, velocidad y desplazamiento para dicho sismo.
- 2.- De las tablas 2.1.6.1 o 2.1.6.2 se pueden obtener los valores α_A , α_V y α_D para el ζ seleccionado.
- 3.- Multiplicar $\ddot{u}_{go} \times \alpha_A$ y obtener la línea b-c que representa un valor constante de la pseudo-aceleración.
- 4.- Multiplicar $\dot{u}_{go} \times \alpha_V$ y obtener la línea c-d que representa un valor constante de la pseudo-aceleración.
- 5.- Multiplicar $u_{go} \times \alpha_D$ y obtener la línea d-e que representa un valor constante del desplazamiento.
- 6.- Se dibuja una línea $A = \ddot{u}_{go}$ para $T_n < T_a$ y otra línea $D = u_{go}$ para $T_n > T_f$.
- 7.- La transición a-b, e-f completan el espectro.



2.2.- Respuesta Inelástica de estructuras sujetas a fuerzas sísmicas

El cortante basal máximo de un sistema linealmente elástico sujeto a un sismo es $V_b = (A/g)w$, donde w es el peso de la estructura y A es la pseudo-aceleración del espectro de diseño correspondiendo con su periodo natural T_n . Esto es claro en la figura 2.2 donde se aprecia el coeficiente del cortante basal (A/g) , en el que ciertos códigos lo disminuyen por factores de reducción y como resultado se tiene que la estructura se deforma más allá del rango elástico y si no se tiene cuidado con ese factor de reducción la estructura puede sufrir daños permanentes o colapsar.

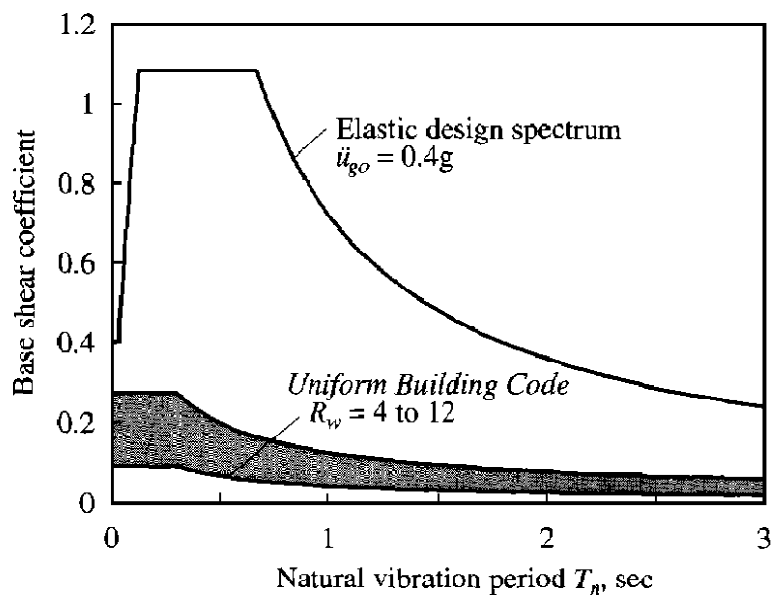


Figura 2.2.- Comparación del coeficiente de cortante basal entre el espectro elástico de diseño y el UBC. (Ref.-1).

2.2.1.- Relación Fuerza-Deformación.

2.2.1.1.- Idealización Elastoplástica.

Al considerar la relación fuerza-deformación de una estructura durante la carga inicial como se muestra en la Figura 2.2.1.1, es conveniente idealizar esta curva por una relación fuerza-deformación elástica perfectamente plástica o elastoplástica, porque esta aproximación permite el desarrollo de espectros de respuesta más similares a sistemas linealmente elásticos, de esta manera las áreas bajo las dos curvas serán las mismas en el máximo desplazamiento u_m . En la carga inicial este sistema idealizado es linealmente elástico con rigidez k siempre y cuando la fuerza no exceda de f_y . La cedencia comienza cuando la fuerza alcanza f_y , la fuerza de cedencia. La deformación a la cual empieza la cedencia es u_y , la deformación por cedencia.

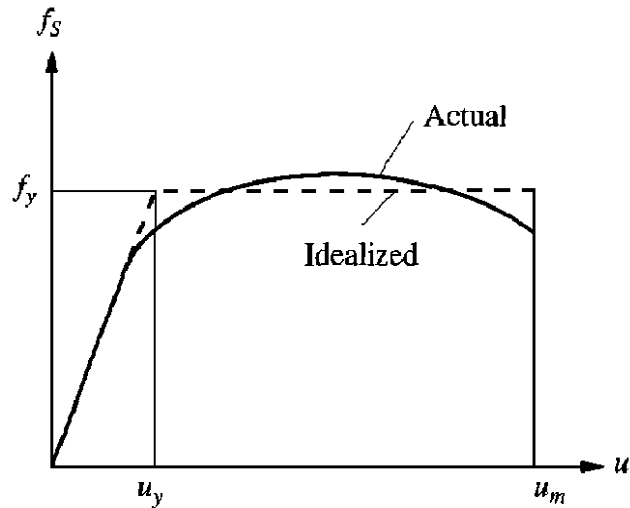


Figura 2.2.1.1.- Curva fuerza-deformación, durante la carga inicial, nótese la curva actual y la idealizada. (Ref.-1).

La Figura 2.2.1.2 muestra un ciclo típico de carga, descarga y recarga para un sistema elastoplástico; La fuerza de cedencia es la misma en las dos direcciones de deformación. La descarga a partir de un punto de máxima deformación, se da de forma paralela a la rama elástica inicial, al igual que la recarga. El ciclo de relación fuerza-deformación no es un valor singular si el sistema es descargado o cargado; para una deformación u en un tiempo t , la fuerza resistente f_s depende de la historia sísmica del sistema, y si la deformación se va incrementando (velocidad $\dot{u} > 0$) o disminuyendo (velocidad $\dot{u} < 0$).

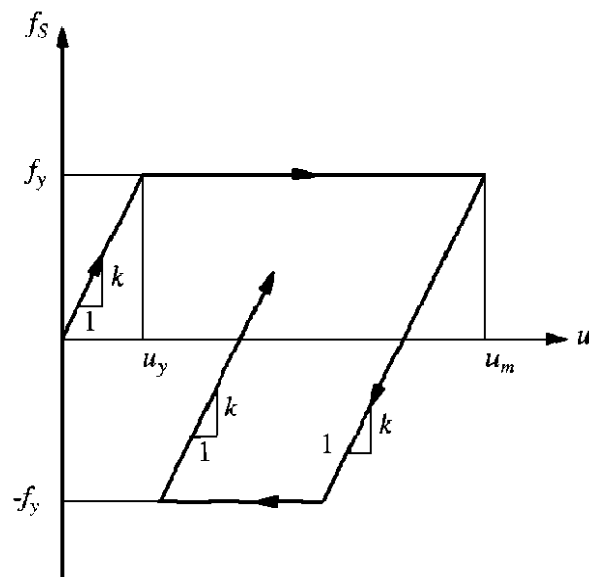


Figura 2.2.1.2.- Relación fuerza-deformación elastoplástico. (Ref.-1).

2.2.1.2.- Sistemas Lineales correspondientes:

Es de interés evaluar la máxima deformación de un sistema elastoplástico debido a un sismo y comparar esta deformación con la máxima deformación causada por la misma excitación en el sistema lineal correspondiente. Este sistema elástico está definido para que tenga la misma rigidez del sistema elastoplástico durante su carga inicial, ver Figura 2.2.1.3. Ambos tienen la misma masa y amortiguamiento, por lo tanto el periodo natural del sistema lineal correspondiente será igual al del sistema elastoplástico bajo pequeñas oscilaciones ($u < u_y$). Para amplitudes de movimiento más largas el periodo natural no se la define para sistemas inelásticos.

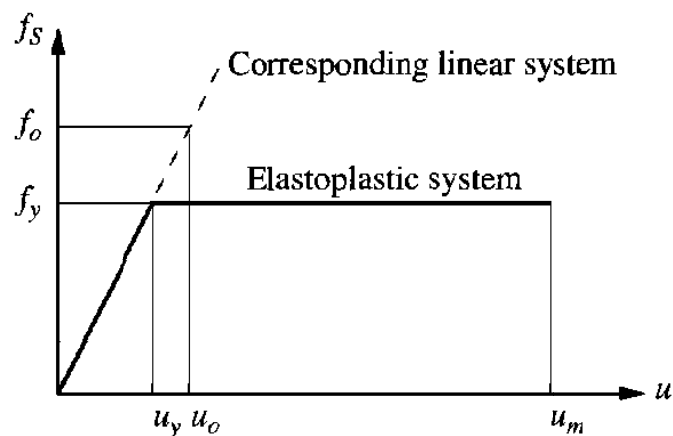


Figura 2.2.1.3.- Sistema elastoplástico, y su sistema lineal correspondiente. (Ref.-1).

2.2.2.- Normalización de la fuerza de cedencia, factor de reducción de fuerza de cedencia y factores de ductilidad.

La fuerza de cedencia normalizada \bar{f}_y de un sistema elastoplástico se lo definió como:

$$\bar{f}_y = \frac{f_y}{f_o} = \frac{u_y}{u_o} \quad (2.2.2.1)$$

Donde f_o y u_o son los máximos valores de fuerza resistente y deformación en el sistema lineal correspondiente debido al sismo. Se puede interpretar a f_o como la mínima fuerza requerida para que la estructura permanezca linealmente elástica durante el sismo.

Alternativamente f_y se la puede relacionar con f_o debido a un factor de reducción de fuerza de cedencia, R :

$$R = \frac{f_o}{f_y} = \frac{u_o}{u_y} \quad (2.2.2.2)$$



Donde R es 1 para sistemas linealmente elásticos, y mayor a 1 para sistemas que se deforman en el rango inelástico.

La máxima deformación del sistema elastoplástico debido al sismo se lo denomina u_m , y por esto también se normaliza u_m relativo a la deformación por cedencia del sistema.

$$\mu = \frac{u_m}{u_y} \quad (2.2.2.3)$$

Este factor se denomina ductilidad. Para sistemas que se deforman en el rango inelástico por definición, $u_m > u_y$ y la ductilidad > 1 .

El sistema lineal correspondiente se lo puede interpretar como un sistema elastoplástico con $f_y = f_o$ implicando que el factor de ductilidad es 1. Después, se relaciona la máxima deformación u_m y u_o del sistema elastoplástico y del sistema lineal correspondiente, su razón se expresa así:

$$\frac{u_m}{u_o} = \mu \bar{f}_y = \frac{\mu}{R} \quad (2.2.2.4)$$

2.2.3.- Ecuación de movimiento, y parámetros que predominan:

La ecuación que gobierna en sistemas inelásticos es:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u, \dot{u}) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (2.2.3.1)$$

Donde la fuerza resistente $f_s(u, \dot{u})$ para un sistema elastoplástico se lo muestra en la Figura 2.2.1.2. La ec. (2.2.3.1) se la resuelve numéricamente para determinar $u(t)$.

Para una determinada $\ddot{u}_g(t)$, $u(t)$ depende de tres sistemas de parámetros: ω_n , ξ y u_y en adición a la forma de relación fuerza-deformación. Aquí la forma elastoplástica ha sido seleccionada, para demostrar esto la ec (2.2.3.1) es dividida para la masa:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + \omega_n^2 u_y \bar{f}_s(u, \dot{u}) = -\ddot{u}_g(t) \quad (2.2.3.2)$$

Donde,

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \xi = \frac{c}{2m\omega_n} \quad \bar{f}_s(u, \dot{u}) = \frac{f_s(u, \dot{u})}{f_y} \quad (2.2.3.3)$$



La cantidad ω_n es la frecuencia natural del sistema inelástico vibrando durante el rango elástico ($u < u_y$). También es la frecuencia natural del sistema lineal correspondiente. Nos referimos a ω_n y T_n como la pequeña oscilación de frecuencia y periodo respectivamente, del sistema inelástico. Similarmente ξ , es el porcentaje de amortiguación del sistema basado en el amortiguamiento crítico del sistema inelástico vibrando dentro del rango lineal. Es también el porcentaje de amortiguación del sistema lineal correspondiente. La función $\bar{f}_s(u, \dot{u})$ describe la relación fuerza-deformación en formas parcialmente adimensionales como se muestra en Figura 2.2.3.1a.

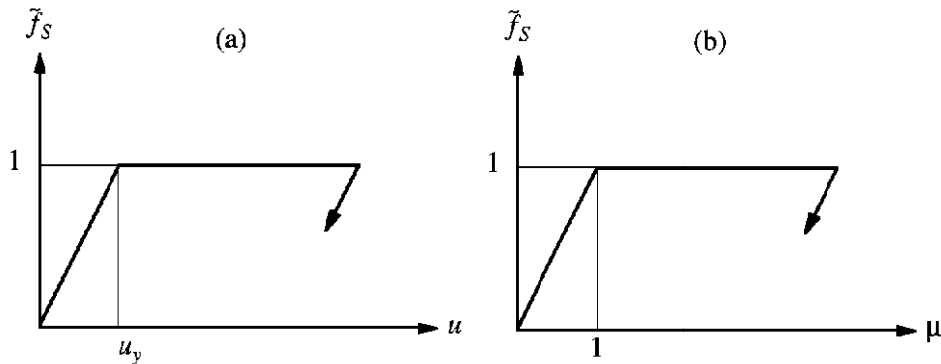


Fig. 2.2.3.1.- Relación fuerza-deformación de forma normalizada.

Para una $\ddot{u}_g(t)$, el factor de ductilidad μ , depende de los 3 sistemas de parámetros; ω_n , ξ y \bar{f}_y ; donde \bar{f}_y es la fuerza de cedencia normalizada del sistema elastoplástico. La ec. (2.2.3.2) se deja en función de $\mu \equiv \frac{u(t)}{u_y}$. Substituyendo $u(t) = u_y \mu(t)$, $\dot{u}(t) = u_y \dot{\mu}(t)$ y $\ddot{u}(t) = u_y \ddot{\mu}(t)$ en la ec. (2.2.3.1), dividiendo para u_y obtenemos:

$$\ddot{\mu} + 2\xi\omega_n\dot{\mu} + \omega_n^2\bar{f}_s(\mu, \dot{\mu}) = -\omega_{ng}^2 \frac{\ddot{u}_g(t)}{a_y} \quad (2.3.4)$$

Donde $a_y = f_y/m$, se la puede interpretar como la aceleración de la masa necesaria para producir la fuerza de cedencia f_y , y $\bar{f}_s(\mu, \dot{\mu})$ es la relación fuerza-deformación en forma adimensional, figura 2.2.3.1b. La razón de aceleración $\ddot{u}_g(t)/a_y$ es la razón entre la aceleración del suelo y la medida de la fuerza de cedencia de la estructura. La ec. (2.2.3.4) indica que duplicando la aceleración del suelo $\ddot{u}_g(t)$ producirá la misma respuesta $\mu(t)$ como si la fuerza de cedencia fuese la mitad.

De la ec. (2.2.3.4) que para un determinado $\ddot{u}_g(t)$ y forma para $\bar{f}_s(\mu, \dot{\mu})$ casi elastoplástica, $\mu(t)$ depende de ω_n , ξ y \bar{f}_y y a_y . En cambio a_y depende de ω_n , ξ y \bar{f}_y ; esto se puede ver cuando se substituye la ec. (2.2.2.1) en la definición de $a_y = f_y/m$ para obtener $a_y = \omega_n^2 u_o \bar{f}_y$, y denotando que la máxima deformación u_o del sistema lineal correspondiente depende de ω_n , ξ y \bar{f}_y .



2.2.4.- Efectos de la cedencia:

Para entender como la respuesta de sistemas de un grado de libertad se ven afectados por la acción inelástica o cedencia, se compara la respuesta de un sistema elastoplástico con el sistema lineal correspondiente. La excitación proviene del sismo de “El Centro”.

2.2.4.1.- Historia de respuesta:

La figura 2.2.4.1 muestra la respuesta de un sistema linealmente elástico tomado del libro de “Dynamics of Structures” de Anil K. Chopra, con peso w , periodo natural $T_n=0.5$ seg, y sin amortiguamiento. La variación del tiempo de la deformación muestra que el sistema oscila alrededor de su posición de equilibrio indeformada, con una deformación máxima de $u_o=3.34$ in. También se muestra la variación del tiempo de la fuerza elástica resistente f_s ; el máximo valor de esta fuerza f_o esta dado por $f_o/w=1.37$. Esta es la mínima fuerza requerida para que la estructura permanezca elástica.

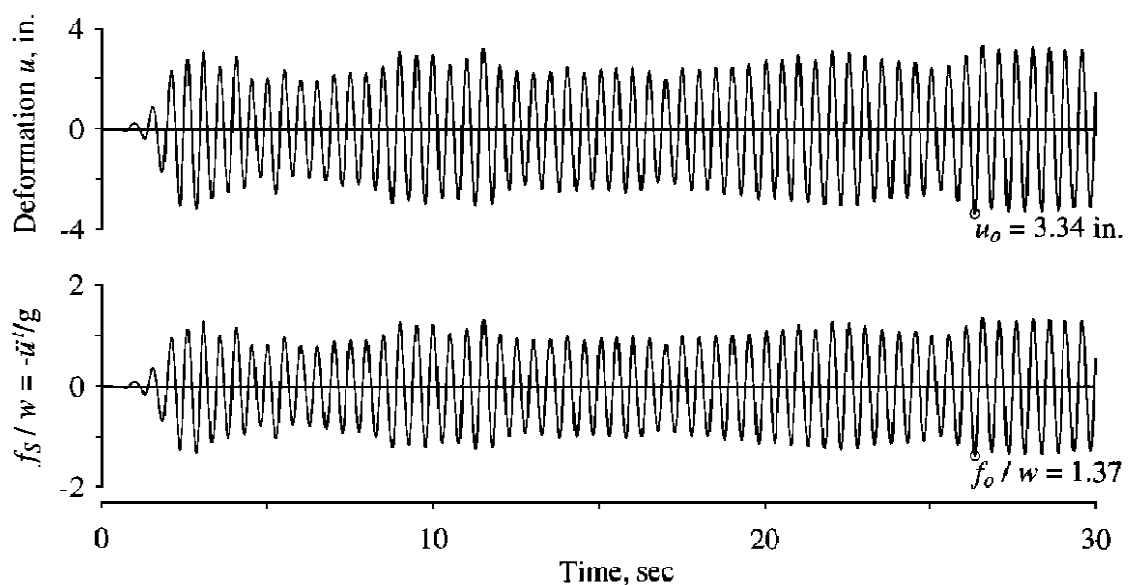


Fig. 2.2.4.1.- Respuesta de un sistema lineal con $T_n = 0.5$ seg, sin amortiguamiento, para el sismo “El Centro”. (Ref.- 1).

La figura 2.2.4.2 muestra la respuesta de un sistema elastoplástico con la misma masa y rigidez inicial que la del sistema linealmente elástico, con un factor de reducción $R = 8$. La fuerza de cedencia de este sistema es $f_y = f_o/8$, donde $f_o = 1.37w$, por lo tanto $f_y = (1.37w)/8 = 0.171w$. Para ver más detalles se puede apreciar que en la figura 2.2.4.2 se detallan 10 segundos y el grafico se divide en 4 partes: (a) muestra la deformación $u(t)$; (b) muestra la fuerza resistente $f_s(t)$ y aceleración $\ddot{u}^t(t)$; (c) identifica los intervalos de tiempo en el cual el sistema entra en cedencia; (d) muestra la relación fuerza-deformación para un ciclo.

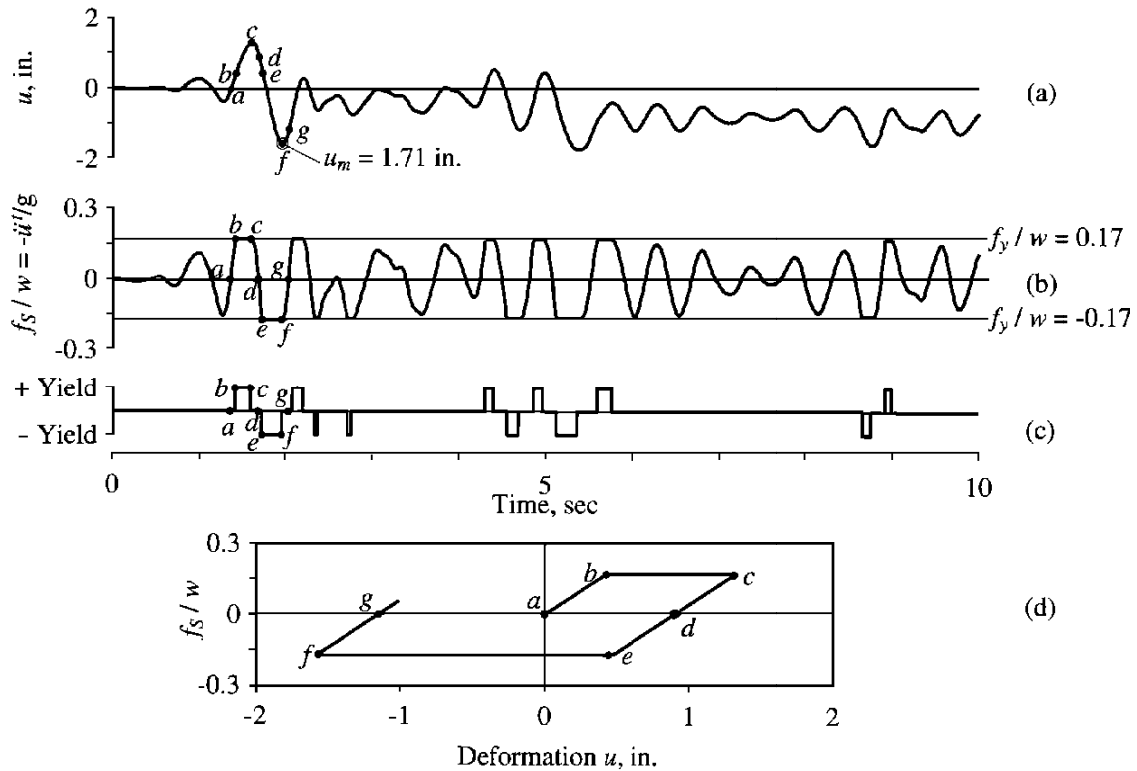


Figura 2.2.4.2.- Respuesta de un sistema elastoplástico con $T_n = 0.5$ seg, sin amortiguamiento y $R= 8$ para el sismo “El Centro”: (a) deformación; (b) Fuerza resistente y aceleración; (c) intervalos de tiempo en cedencia; (d) relación fuerza deformación. (Ref.-1).

Al principio, en el punto b , la deformación es pequeña, $f_s < f_y$, y el sistema vibra dentro del rango linealmente elástico. Ahora seguimos en detalle un ciclo de vibración comenzando en el punto a cuando u y f_s son cero. En este punto el sistema es linealmente elástico y permanece así hasta el punto b . Cuando la deformación alcanza la deformación de cedencia por primera vez, identificada como b , comienza la cedencia. De b hasta c el sistema está en cedencia (fig. c), la fuerza es constante en f_y (fig. b), y el sistema está en la rama plástica $b-c$ de la relación fuerza-deformación (fig. d). En c de máxima deformación local, la velocidad es cero, y la deformación comienza a revertirse (fig. a); el sistema comienza a descargarse elásticamente a lo largo de $c-d$ (fig. d) y no está en cedencia durante este tiempo (fig. c). La descarga continua hasta el punto d (fig. d), cuando la fuerza resistente alcanza cero. Luego el sistema comienza a carga en la dirección opuesta y esto continua hasta que f_s alcanza $-f_y$ en el punto e (figs. b y d). Ahora la cedencia comienza en dirección opuesta y continua hasta el punto f (fig. c); $f_s = -f_y$ durante este tiempo (fig. b) y el sistema se mueve a lo largo de la rama plástica $e-f$ (fig. d). En f de mínima deformación local, la velocidad es cero y la deformación comienza a revertirse (fig. a); el sistema comienza a recarga elásticamente a lo largo de $f-g$ (fig. d) y no está en cedencia durante este tiempo (fig. c). La recarga lleva a la fuerza resistente en el sistema a cero en g , y continua a lo largo de la rama elástica hasta que la fuerza resistente alcanza $+f_y$.



La variación del tiempo de la deformación del sistema en cedencia, difiere de la del sistema elástico. A diferencia del sistema elástico (fig. 2.2.4.1), el sistema inelástico luego que entró en cedencia no oscila alrededor de su posición de equilibrio inicial. La cedencia causa que el sistema tenga una deriva de su posición de equilibrio inicial, y el sistema oscila alrededor de una nueva posición hasta que tenga una nueva deriva por otro ciclo de cedencia. Por lo tanto luego que el sismo haya pasado, por lo general el sistema estará en una posición diferente a la de su posición de equilibrio inicial.

Por otra parte también se comparó como la respuesta de un sistema elastoplástico se ve afectado por la fuerza de cedencia. Por lo tanto variando estos valores se encontró que al disminuir los valores de \bar{f}_y , indicando menor fuerza de cedencia f_y , entraban en cedencia mas frecuentemente y para intervalos más largos.

2.2.5.- Espectro de respuesta para la deformación por cedencia y fuerza de cedencia:

Para propósitos de diseño es de interés determinar la fuerza de cedencia f_y o deformación por cedencia u_y del sistema necesario para limitar la demanda de ductilidad por el sismo a un valor específico. En 1960, Newark y Veletsos desarrollaron un espectro de respuesta para sistemas inelásticos, que se muestra a continuación.

2.2.5.1.- Definiciones:

El espectro de respuesta se lo grafica para las cantidades,

$$D_y = u_y \quad V_y = \omega_n u_y \quad A_y = \omega_n^2 u_y \quad (2.2.5.1)$$

Donde D_y es la deformación de cedencia, u_y del sistema elastoplástico, no la máxima deformación u_m . Un grafico D_y vs T_n para valores dados del factor de ductilidad μ se denomina espectro de respuesta de deformación por cedencia y los demás siguen siendo espectros de respuesta de pseudo-velocidad y pseudo-aceleración.

Estas definiciones de D_y , V_y y A_y para sistemas elastoplásticos son consistentes con las definiciones D, V y A para sistemas lineales. Por lo tanto se puede representar en gráficos logarítmicos por las mismas relaciones antes vistas,

$$\frac{A_y}{\omega_n} = V_y = \omega_n D_y \quad \text{O} \quad \frac{T_n}{2\pi} A_y = V_y = \frac{2\pi}{T_n} D_y \quad (2.2.5.2)$$

La fuerza de cedencia de un sistema elastoplástico es

$$f_y = k u_y = m \omega_n^2 u_y = m A_y = \frac{A_y}{g} w \quad (2.2.5.3)$$



2.2.5.2.- Fuerza de cedencia para una ductilidad específica

Un proceso interpolativo es necesario para obtener la fuerza de cedencia de un sistema elastoplástico para un determinado factor de ductilidad, ya que la respuesta de un sistema con una fuerza de cedencia escogida arbitrariamente rara vez corresponde con el valor de ductilidad deseado.

De los resultados vistos por el sismo “El Centro”, con $\xi = 5\%$, se llegó a la gráfica de R en función de μ para un T_n . La línea sólida en fig. 2.2.5.1 muestra la gráfica para varios valores de T_n . Para cada R hay 2 valores de ductilidad graficados: u_m^+/u_y , donde u_m^+ es la máxima deformación en la dirección positiva, y u_m^-/u_y , donde u_m^- es la mayor deformación en la dirección negativa en valor absoluto. La línea sólida representa μ , la mayor de los dos valores de factor de ductilidad.

El factor de ductilidad no siempre se incrementa monotónicamente al aumentar el factor de reducción R . Particularmente más de una fuerza de cedencia es posible para una ductilidad dada. Este fenómeno ocurre cuando las curvas u_m^+/u_y y u_m^-/u_y se interceptan (puntos a y b figura 2.2.5.1). Este punto también corresponde a un mínimo local del factor de ductilidad, que nos da un valor R para un valor un poco mayor a μ . Para cada valor de μ , es relevante en el diseño el mayor valor de \bar{f}_y o el mayor valor de fuerza de cedencia.

La fuerza de cedencia de un sistema elastoplástico, para un factor de ductilidad μ , específico, puede ser obtenido usando el valor de R correspondiente y la ec. (2.2.2.2) Para asegurar la precisión en este valor R se lo obtiene por un proceso iterativo, no de un gráfico como la fig. 2.2.5.1. De la información disponible (R, μ) se interpola, asumiendo una relación lineal entre $\log(1/R)$ y $\log(\mu)$ llevándonos a R y correspondiendo con el μ especificado. La historia de respuesta del sistema con este R se la calcula para determinar el factor de ductilidad. Luego se iterar hasta conseguir que R satisfaga μ .

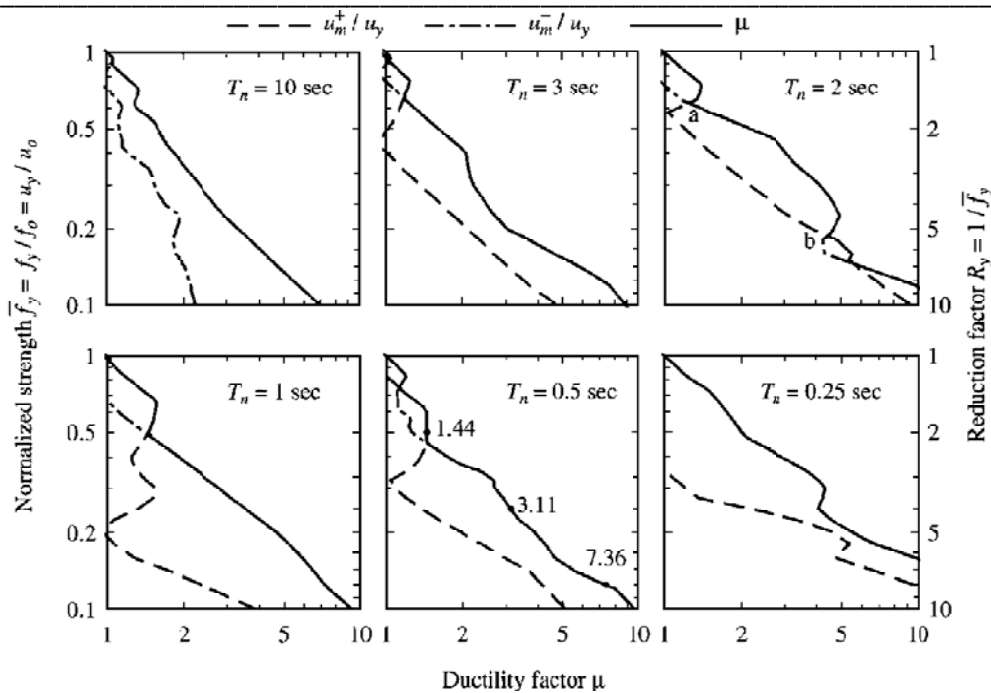


Fig. 2.2.5.1.- Relación la fuerza normalizada (o factor de reducción) y el factor de ductilidad debido al sismo de “El Centro” con $\xi = 5\%$. (Ref.-1).

2.2.5.3.- Construcción de un espectro de respuesta de ductilidad constante:

- 1.- Definir el sismo numéricamente.
- 2.- Seleccione un porcentaje de amortiguamiento ξ para el espectro.
- 3.- Seleccione un valor para T_n .
- 4.- Determine el valor $u(t)$ del sistema lineal con T_n y ξ iguales a los seleccionados. De $u(t)$ determine la máxima deformación u_o y la máxima fuerza $f_o = ku_o$.
- 5.- Determine la respuesta $u(t)$ de un sistema elastoplástico con el mismo T_n , ξ y fuerza de cedencia $f_y = f_o/R$ para un $f_y < 1$. De $u(t)$ determine la máxima deformación u_m y el factor de ductilidad asociado de la ecu 2.2.4. Repetir el mismo análisis para algunos valores de R para obtener más puntos, cubriendo el rango de ductilidad de interés.
- 6.- a) Para un μ escogido determine R de los resultados anteriores y se itera hasta satisfacer μ y R . Si hay más de un valor de R para μ , se escoge el mayor.
b) Determine las ordenadas espectrales correspondiendo al valor de R , determinado en el paso 6a). Ecu 2.2.1 nos da u_y donde se puede obtener D_y , V_y y A_y de ecu 2.5.1. Esta información nos da un punto de los gráficos de respuesta espectral.
- 7.- Repetir los pasos 3 a 6 para un rango de T_n resultante en el espectro valido para μ escogido en paso 6a).



8.- Repetir los pasos 3 a 7 para varios μ .

Con estos pasos se construyeron los espectros de respuesta para sistemas elastoplásticos de las figuras 2.2.5.2 y 2.2.5.3.

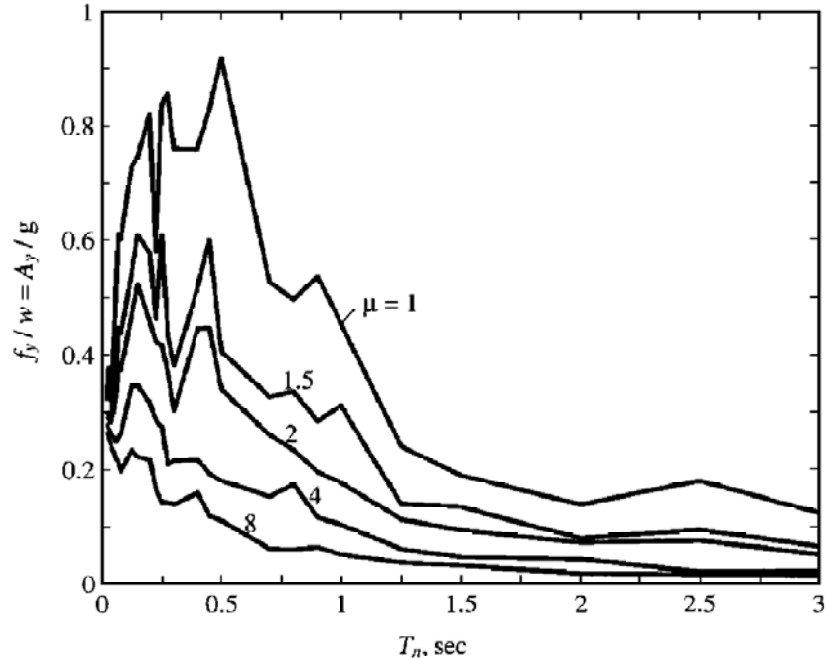


Fig. 2.2.5.2.- Espectro de respuesta de ductilidad-constante para sistemas elastoplásticos y el sismo de "El Centro": $\mu = 1, 1.5, 2, 4, \text{ y } 8$; $\xi = 5\%$. (Ref.-1).

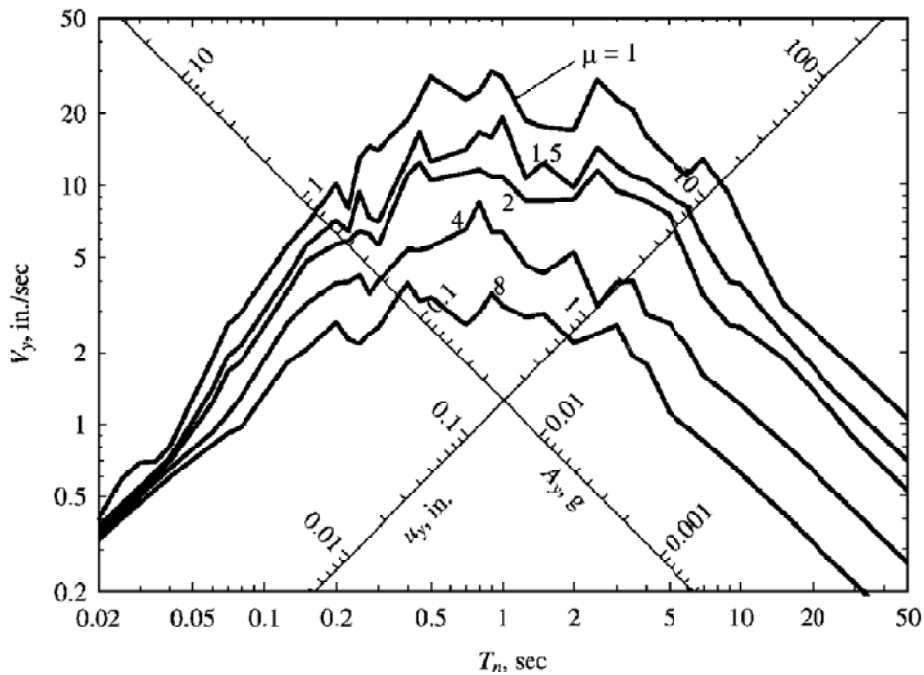


Fig. 2.2.5.3.- Espectro de respuesta de ductilidad-constante para sistemas elastoplásticos y el sismo de "El Centro": $\mu = 1, 1.5, 2, 4, \text{ y } 8$; $\xi = 5\%$. (Ref.-1).



2.2.6.- Fuerza de cedencia y deformación del espectro de respuesta:

Dado un sismo, y de propiedades T_n , ξ , de un sistema de un grado de libertad. Se desea determinar la fuerza de cedencia para el sistema consistente con el factor de ductilidad μ . Correspondiendo a T_n , ξ y μ el valor A_y/g se lo puede leer del espectro de respuesta para sistemas elastoplásticos y sustituyendo en la ec. (2.2.5.3) para obtener la fuerza de cedencia f_y deseada. Una ecuación para la máxima deformación se puede expresar en términos de A_y como sigue:

$$u_m = \mu u_y \quad (2.2.6.1)$$

$$u_y = \frac{f_y}{k} = \left(\frac{T_n}{2\pi}\right)^2 A_y \quad (2.2.6.2)$$

Sustituyendo las ecuaciones 2.6.1 y 2.6.2 obtenemos,

$$u_m = \mu \left(\frac{T_n}{2\pi}\right)^2 A_y \quad (2.2.6.3)$$

2.2.7.- Relación Fuerza de cedencia-ductilidad.

La fuerza de cedencia requerida f_y de un sistema de un grado de libertad permite sobrentender que la deformación inelástica es menor que la mínima fuerza necesaria para que la estructura permanezca elástica. La figura 2.2.5.2 muestra que la fuerza de cedencia requerida se reduce mientras aumenta μ . Incluso una pequeña cantidad de deformación inelástica correspondiente a un $\mu = 1.5$, produce una reducción significativa en la fuerza requerida.

Para estudiar estas reducciones cuantitativamente la figura 2.2.7.1 muestra la fuerza de cedencia normalizada \bar{f}_y y el factor de reducción por cedencia R de sistemas elastoplásticos en función de T_n para 4 valores de μ , a esto también se suman los periodos T_a, T_b, T_c, T_d, T_e y T_f que definen las diferentes regiones espectrales.

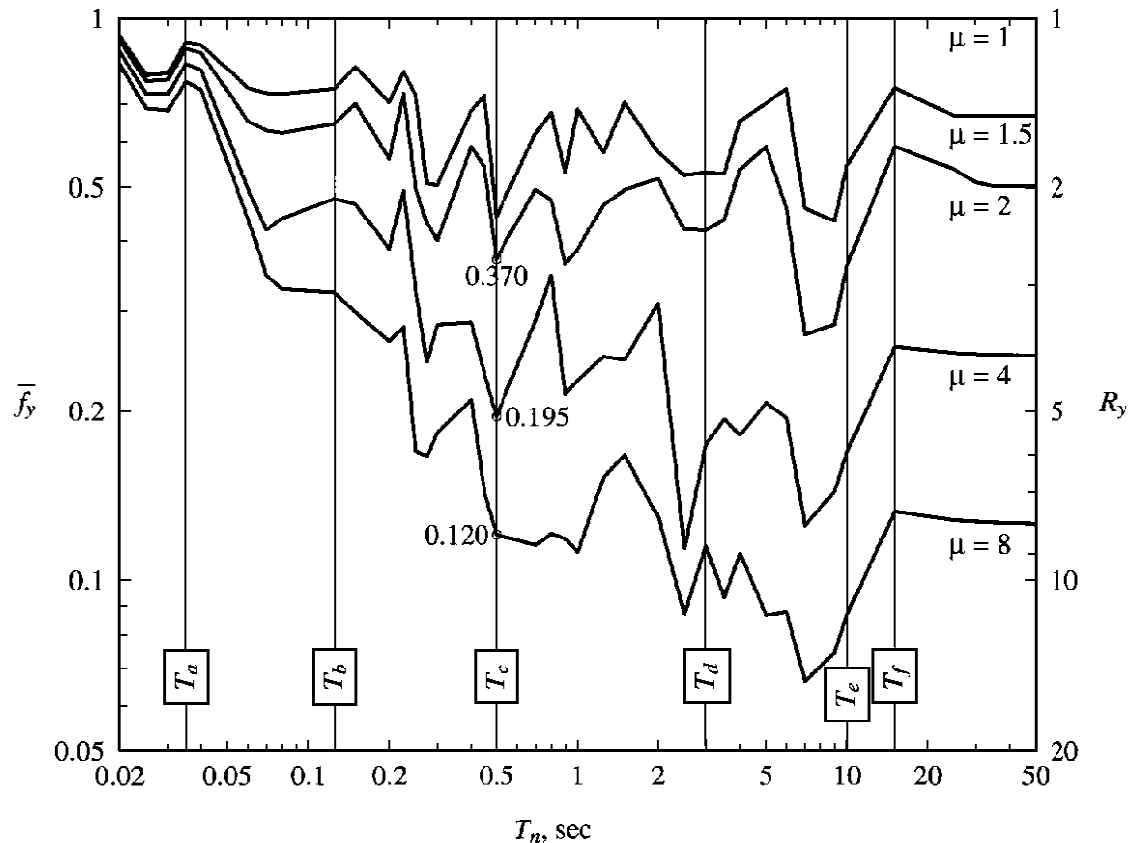


Fig. 2.2.7.1.- Factor de reducción R de sistemas elastoplásticos en función del periodo natural T_n para $\mu = 1, 1.5, 2, 4$ y 8 ; $\xi = 5\%$. Sismo "El Centro". (Ref.-1).

La implicación práctica de estos resultados es que las estructuras pueden ser diseñadas sismo-resistentes al hacerlas fuertes, haciéndolas dúctiles o diseñándolas económicamente combinando ambas propiedades. Para ciertos tipos de materiales y miembros estructurales, la ductilidad se dificulta en alcanzarse, y económicamente dicta el diseño para fuerzas laterales mayores; para otros, proveer de ductilidad es más fácil darle resistencia lateral. Si la combinación de resistencia y ductilidad dadas es inadecuada, la estructura puede estar dañada en tal medida que las reparaciones sean muy costosas o inclusive la estructura podría colapsar.

2.2.8.- Efectos relativos de la cedencia y el amortiguamiento

La fig. 2.2.8.1 muestra el espectro de respuesta de sistemas linealmente elásticos para 3 valores de amortiguamiento $\xi = 2, 5$ y 10% con factores de ductilidad de 4 y 8.

De los resultados obtenemos que:

Los efectos de cedencia y amortiguamiento son similares en el sentido que ambos reducen la pseudo-aceleración A_y , por lo tanto el máximo valor de fuerza lateral de diseño.

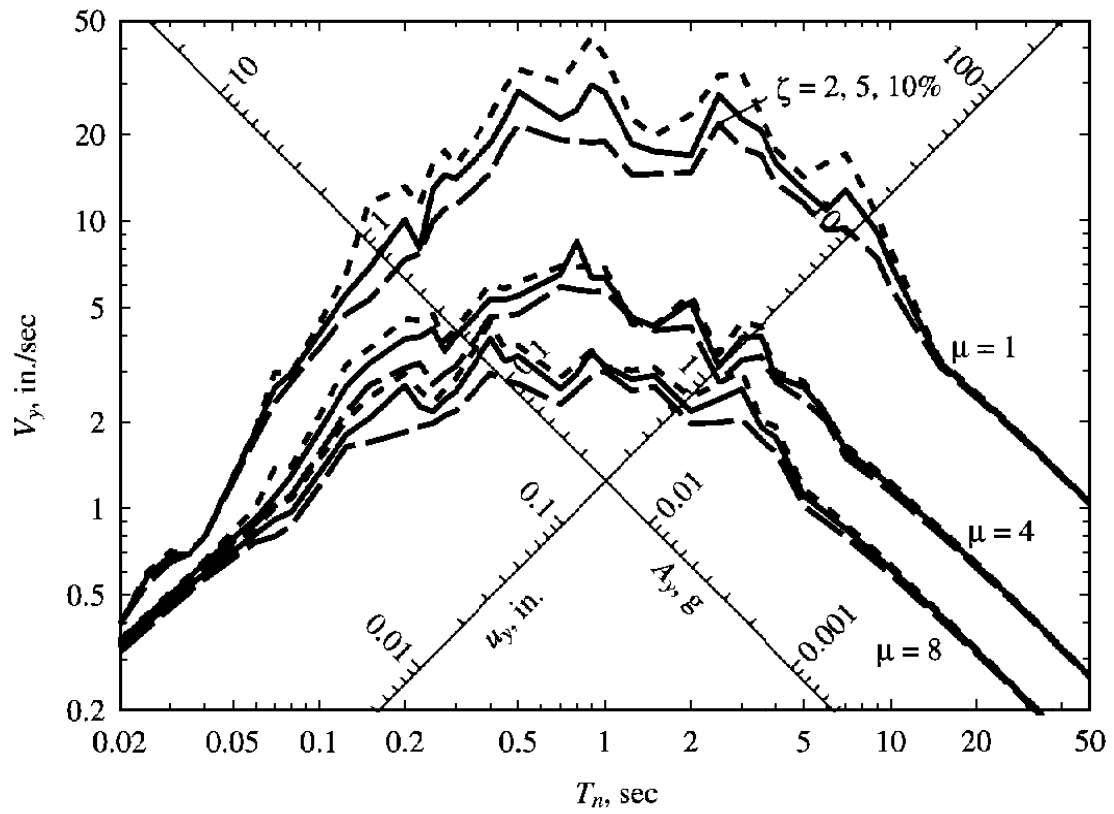


Fig. 2.2.8.1.-Espectro de Respuesta de sistemas elastoplásticos con $\mu = 1, 4$ y 8 ; $\xi = 2, 5$ y 10% . Sismo "El Centro". (Ref.-1).



La eficiencia relativa de la cedencia y del amortiguamiento es diferente en las diferentes regiones espectrales:

- 1) El amortiguamiento no influye casi nada en la respuesta de sistemas con $T_n > T_f$ en la región de sensible-desplazamiento del espectro. Sin embargo los efectos de cedencia en la fuerza de diseño son muy importantes, pero en la deformación pico u_m es insignificante.
- 2) El amortiguamiento no influye casi nada en la respuesta de sistemas con $T_n < T_a$ en la región de sensible aceleración del espectro, sin embargo los efectos de cedencia en la máxima deformación y en la demanda de ductilidad son importantes, pero en el diseño de fuerzas es pequeño. En el límite cuando T_n tiende a cero, la pseudo-aceleración A o A_y se acerca más a la máxima aceleración del suelo, implicando que este parámetro de respuesta no se ve afectado por el amortiguamiento y la cedencia.
- 3) El amortiguamiento es más efectivo en reducir la respuesta del sistema con T_n en la región de sensible-velocidad del espectro, donde la cedencia es mucho más efectivo.

La efectividad del amortiguamiento en reducir la respuesta es menor para sistemas inelásticos y se reduce a medida que aumenta la deformación inelástica.

2.2.9.- Energía Disipada

La energía impartida en un sistema inelástico por un sismo, es disipado por el amortiguamiento y la cedencia. Los varios tipos de energía pueden ser definidos, integrando la ecuación de movimiento de un sistema inelástico.

$$\int_0^u m\ddot{u}(t)du + \int_0^u c\dot{u}(t)du + \int_0^u f_s(u, \dot{u})du = - \int_0^u m\ddot{u}_g(t)du \quad (2.2.9.1)$$

La parte derecha de la ecuación es la energía de entrada de la estructura desde que la excitación del sismo comienza.

$$E_I(t) = - \int_0^u m\ddot{u}_g(t)du \quad (2.2.9.2)$$

Esto es claro ya que la estructura al moverse a través de un incremento de desplazamiento du , la energía proporcionada a la estructura por la fuerza efectiva $P_{eff}(t) = -m\ddot{u}_g(t)du$ es

$$dE_I = -m\ddot{u}_g(t)du$$



El primer término de la parte izquierda de la ec (2.2.9.1) es la energía cinética de la masa, asociada con el movimiento de esta relativa al suelo.

$$E_K(t) = \int_0^u m\ddot{u}(t)du = \int_0^{\dot{u}} m\dot{u}(t)d\dot{u} = \frac{m\dot{u}^2}{2} \quad (2.2.9.3)$$

El segundo término de la parte izquierda de la ec (2.2.9.1), es la energía disipada por el amortiguamiento.

$$E_D(t) = \int_0^u f_D(t)du = \int_0^{\dot{u}} c\dot{u}(t)d\dot{u} \quad (2.2.9.4)$$

El tercer término de la parte izquierda de la ec (2.2.9.1) es la suma de energía disipada por cedencia y la energía de deformación recuperable del sistema:

$$E_S(t) = \frac{[f_s(t)]^2}{2k} \quad (2.2.9.5)$$

Donde k es la rigidez inicial del sistema inelástico. Por lo tanto la energía disipada por cedencia es:

$$E_Y(t) = \int_0^u f_s(u, \dot{u})du - E_S(t) \quad (2.2.9.6)$$

Por lo tanto,

$$E_I(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_Y(t) \quad (2.2.9.7)$$

Concurrente con el análisis de un sistema de respuesta del sismo, estas cantidades de energía pueden ser escritas convenientemente al describir las integrales con respecto al tiempo.

$$E_D(t) = \int_0^t c[\dot{u}(t)]^2 dt \quad (2.2.9.8)$$

$$E_Y(t) = \int_0^t \dot{u}f_s(u, \dot{u})dt - E_S(t)$$

La energía cinética E_K y la energía de deformación E_S pueden ser calculadas de la ecuación (2.2.9.3) y (2.2.9.5) para cualquier tiempo t.

El siguiente análisis de energía es para una estructura cuya masa actúa por una fuerza $P_{eff}(t) = -m\ddot{u}_g(t)$, no para una estructura cuya base se la excita por una aceleración $\ddot{u}_g(t)$. Por lo tanto en términos de la energía de entrada en ec (2.2.9.1), representa la energía proporcionada por $P_{eff}(t)$, no por $m\ddot{u}_g(t)$, y el término de energía inelástica en ec (2.2.9.1) representa la energía de movimiento relativo a la base. La energía disipada en el amortiguamiento depende solo del movimiento relativo.



La figura 2.2.9.1 muestra la variación de la cantidad de energía con el tiempo tomado del libro de “Dynamics of Structures” de Anil K. Chopra, para 2 sistemas de un grado de libertad sujetos al sismo de “El Centro”. Los resultados presentados son para un sistema linealmente elástico con periodo natural $T_n = 0.5$, y para el sistema elastoplástico con las mismas propiedades en el rango elástico y fuerza de cedencia normalizada $R = 4$.

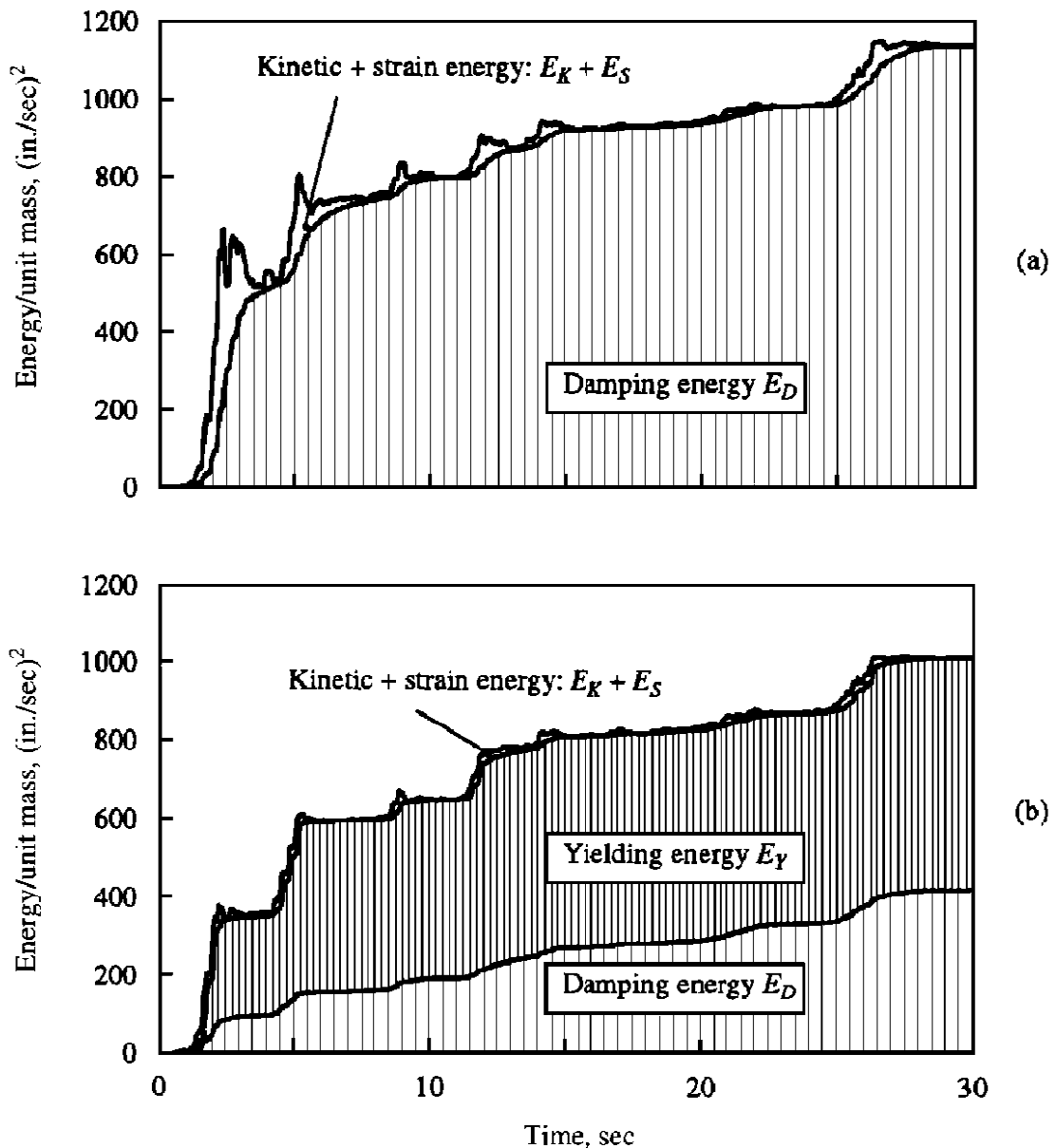


Fig. 2.2.9.1.- Variación del tiempo de la energía disipada por amortiguamiento viscoso y cedencia, y de la energía de deformación mas la energía cinética; (a) sistema lineal, $T_n = 0.5$ seg, $\xi = 5\%$; (b) sistema elastoplástico, $T_n = 0.5$ seg, $\xi = 5\%$, $R = 4$. (Ref.-1):



Los resultados de la figura 2.2.9.1 muestran que eventualmente la estructura disipa su energía proporcionada por medio del amortiguamiento y la cedencia; Esto se lo indica con el hecho de que la energía cinética y la energía de deformación recuperable disminuyen cerca del final del sismo. El amortiguamiento disipa menos energía que el sistema inelástico implicando velocidades menores relativas al sistema elástico. Cabe recalcar que la energía de entrada del sistema lineal e inelástico es diferente.

La energía de cedencia mostrada en la figura 2.2.9.1 también indica una demanda impuesta a la estructura. Si esta energía puede ser disipada a través de la cedencia de la estructura, debe ser diseñada solo para $R = 4$. La cedencia cíclica que disipa la energía causa daños a la estructura y la deja en condiciones de deformaciones permanentes al final del sismo.

2.2.10.- Espectro Inelástico de diseño

El mismo procedimiento para construir un espectro de respuesta básico que consolide el promedio de efectos de varios registros sísmicos se lo puede aplicar para el diseño del espectro inelástico. El espectro de sistemas elastoplásticos tiene la misma apariencia que el espectro de sistemas elásticos, pero las curvas desplazadas hacia abajo por una cierta cantidad que se relaciona con el factor de ductilidad.

Las reducciones espectrales se las hacen de acuerdo a la región que pertenece y se lo aprecia en la fig. 2.2.10.1

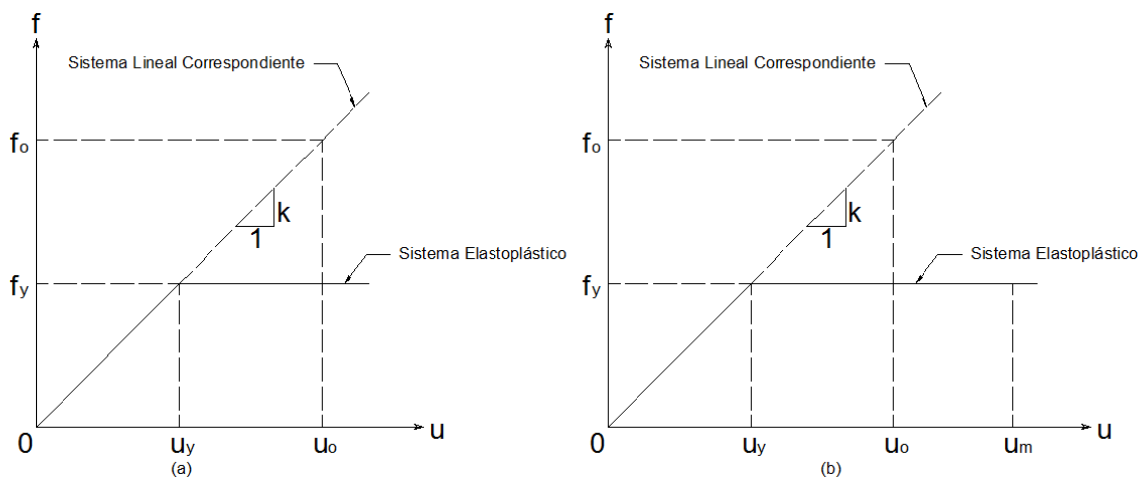


Fig. 2.2.10.1.- Curvas fuerza-deformación para sistemas elásticos e inelásticos. (a) Región de desplazamiento y Velocidad. (b) Región de aceleración.

Región de desplazamiento y velocidad, de la fig. 2.10.1a obtenemos que

$$\mu = \frac{u_o}{u_y} = \frac{f_o}{f_y} \quad (2.2.10.1)$$



Sin embargo para la región de la aceleración, este factor se lo obtiene estableciendo una igualdad de energías entre los sistemas elástico e inelástico. En referencia a la figura 2.2.10.1b esta igualdad se establece igualando las áreas bajo la curva elástica e inelástica.

$$\frac{f_o u_o}{2} = \frac{f_y u_y}{2} + f_y (u_m - u_y)$$

Reemplazando $u_o = f_o/k$, $u_y = f_y/k$ y $u_m = \mu u_y$, obtenemos,

$$\frac{f_o^2}{2k} = \frac{f_y^2}{2k} (2\mu - 1)$$

Despejando obtenemos,

$$R = \frac{f_o}{f_y} = \sqrt{2\mu - 1} \quad (2.2.10.2)$$

Por lo tanto de la figura 2.2.10.2 se puede observar los rangos de afectación para los valores de T_a, T_b, T_c, T_d, T_e y T_f cuando se afecta cada uno.

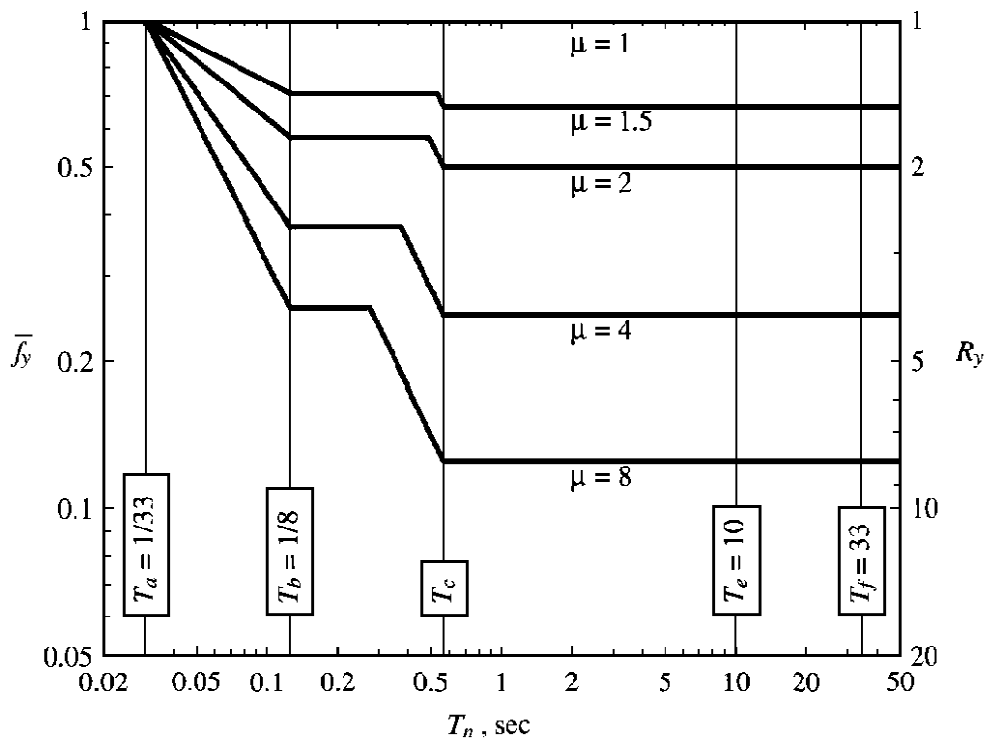


Figura 2.2.10.2.- Valores de diseño para la fuerza de cedencia normalizada. (Ref.-1).

$$R = \begin{cases} 1 & T_n < T_a \\ \sqrt{2\mu - 1} & T_b < T_n < T_c \\ \mu & T_n > T_c \end{cases} \quad (2.10.3)$$



2.2.11.- Construcción del espectro de diseño de ductilidad constante:

- 1) Dividir la ordenada constante A del segmento b-c para $R = \sqrt{2\mu - 1}$, para localizar el segmento b'-c'.
- 2) Dividir la ordenada constante V del segmento c-d para $R = \mu$ para localizar el segmento c'-d'.
- 3) Dividir la ordenada constante D del segmento d-e para $R = \mu$ para localizar d'-e'.
- 4) Dividir la ordenada en f para $R = \mu$ para localizar f'. Unir puntos f' y e'. Dibujar $D_y = u_{go}/\mu$ para $T_n > 33$ seg.
- 5) Tomar la ordenada a' del espectro inelástico con $T_n = 1/33$ seg. Al igual que el punto "a" del espectro elástico. Esto es equivalente a $R = 1$. Unir puntos a' y b'.
- 6) Dibujar $A_y = \ddot{u}_{go}$ para $T_n < 1/33$ seg.

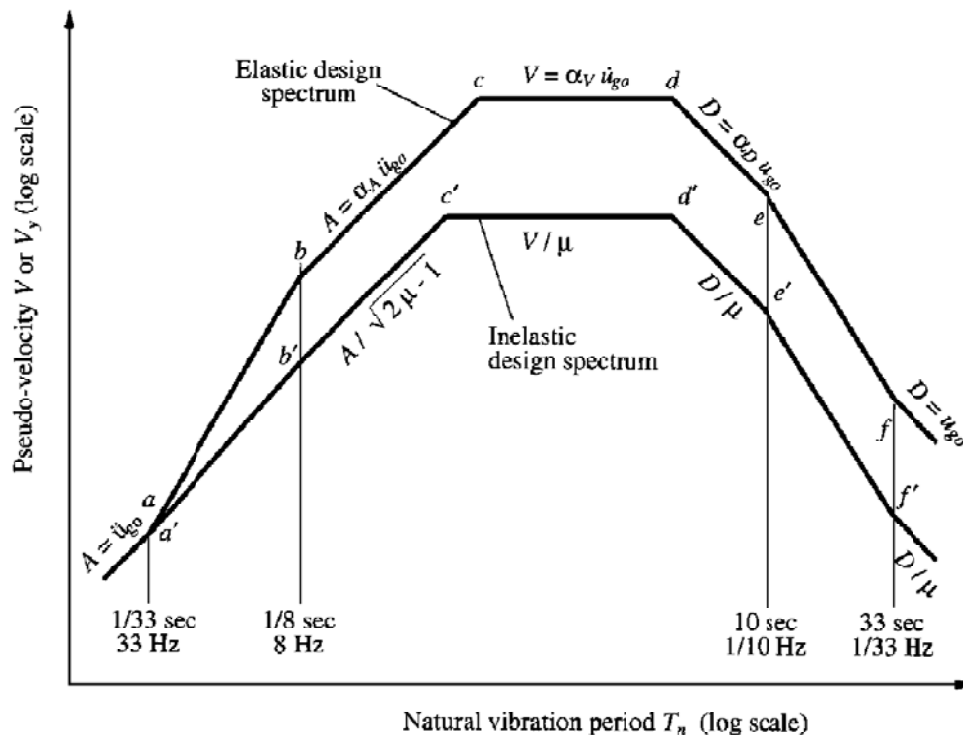


Fig. 2.2.11.- Construcción del espectro inelástico de diseño. (Ref.-1).



CAPÍTULO III:

DISEÑO DE PÓRTICOS SISMO- RESISTENTES POR CAPACIDAD.



CAPÍTULO III

DISEÑO DE PÓRTICOS SISMO-RESISTENTES POR CAPACIDAD.

3.1.-Ductilidad de elementos de concreto reforzado sometidos a flexión.

En la figura 3.1.1 y 3.1.2, se aprecia la curva carga uniforme-deformación de una viga simplemente apoyada con una carga repartida en aumento.

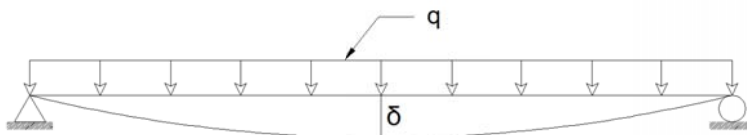


Figura 3.1.1.- Viga cargada uniformemente.

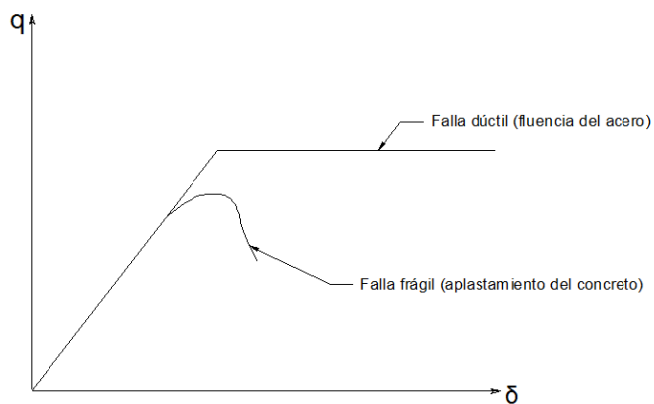


Figura 3.1.2.- Curva carga uniforme-deformación.



3.1.1.- En el diseño de pórticos sismo-resistente, cuando los elementos llegan a su carga última deben tener la capacidad para deformarse largamente para advertir la falla y por lo tanto salvar vidas. Por esto se desea una falla dúctil, más no frágil.

3.1.2.- Cuando la estructura entra a rango inelástico se produce una distribución de las fuerzas axiales, cortantes y momentos de los elementos estructurales. Esta distribución depende de la ductilidad de los elementos en sus secciones críticas y la estructura seguirá siendo capaz de resistir nuevas cargas hasta que se genere el mecanismo.

3.1.3.- En regiones de sismos severos, el diseño estructural se basa en la ductilidad de la estructura. El sismo es una energía que le ingresa a una estructura y por lo tanto esta debe ser capaz de absorberla y disiparla mediante los desplazamientos inelásticos en las rotulas plásticas.

3.2.- Curvas Esfuerzo-Deformación.

Para introducirnos a la obtención de la ductilidad de un elemento de concreto reforzado es necesario establecer las propiedades de las curvas esfuerzo-deformación del concreto y del acero de refuerzo.

3.2.1.- Curva Esfuerzo Deformación para Concreto confinado:

En 1988 Mander analizó los resultados de pruebas bajo cargas concéntricas en columnas de concreto reforzado confinado ya sea con espirales o con estribos rectangulares.

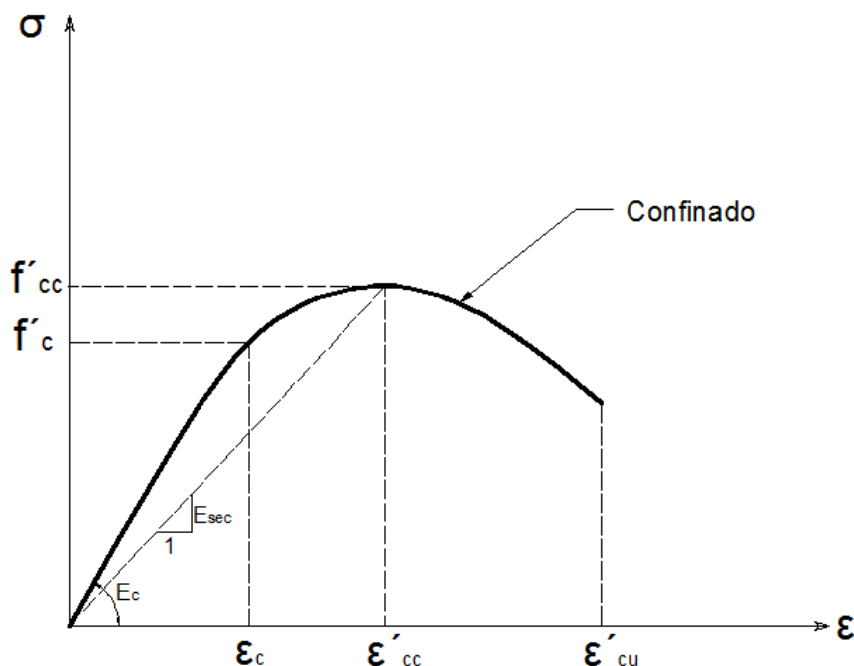


Figura 3.2.1.- Curva esfuerzo-deformación unitario del concreto confinado.



Donde,

$$\varepsilon'_{cc} = \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \varepsilon'_{co}; \quad \text{donde } \varepsilon'_{co} = 0.002 \quad (3.2.1.1)$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\rho_s f_y \varepsilon_{su}}{f'_{cc}}; \quad \text{deformacion ultima del concreto} \quad (3.2.1.2)$$

$$f'_{cc} = f'_c \left(2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_l}{f'_c}} - 2 \frac{f'_l}{f'_c} - 1.254 \right); \quad (3.2.1.3)$$

$$f'_l = \frac{1}{2} k_e \rho_s f_{yh}; \quad \text{presion de confinamiento} \quad (3.2.1.4)$$

Nótese que si $f'_l = 0$; $f'_{cc} = f'_c$

Para Columnas Rectangulares:

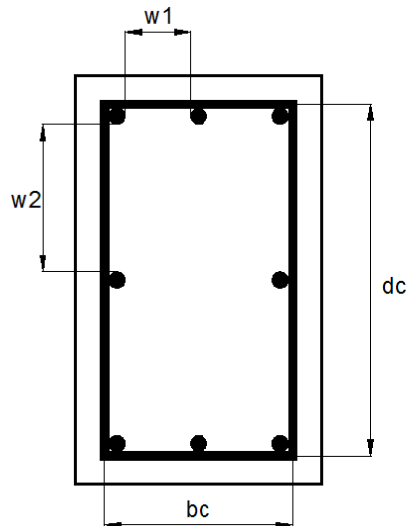


Figura 3.2.2.- Sección de columna rectangular.

$$k_e = 1 - \frac{N_{bar} \omega'^2}{6 b_c d_c} \left[\frac{\left(1 - 0.5 \frac{s}{b_c} \right) \left(1 - 0.5 \frac{s}{d_c} \right)}{1 - \rho_{cc}} \right] \quad (3.2.1.5)$$

N_{bar} = Numero de barras longitudinales

$$\rho_{cc} = \frac{A_s}{b_c d_c} \quad (3.2.1.6)$$

$$\rho_s = \frac{A_{sh}(b_c + d_c)}{b_c d_c s} \quad (3.2.1.7)$$

$\omega' = \frac{\sum \omega}{N_{\omega}}$; distancia libre promedio entre barras



3.2.2.- Curva Esfuerzo Deformación para el Acero de refuerzo:

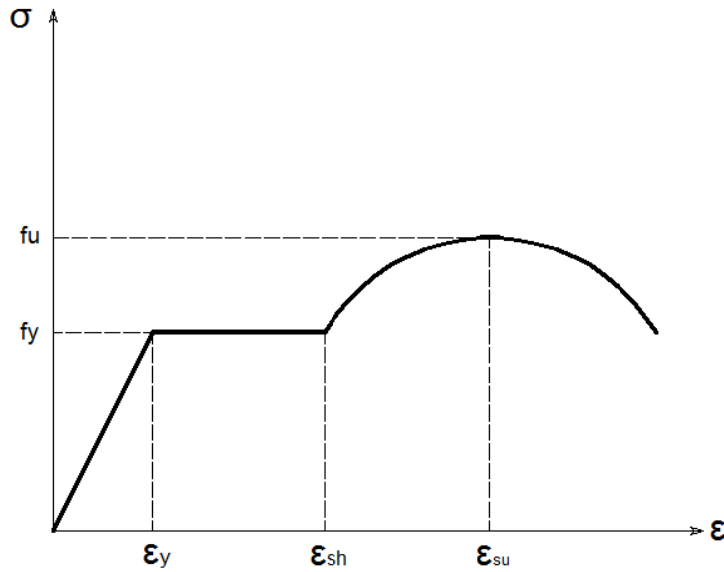


Figura 3.2.2.- Curva esfuerzo-deformación unitario del acero de refuerzo.

$$\varepsilon_s \leq \varepsilon_y \rightarrow f_s = \varepsilon_s E_s \quad (3.2.2.1)$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_s > \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y \quad (3.2.2.2)$$

$$\varepsilon_{su} \geq \varepsilon_s > \varepsilon_{sh} \rightarrow f_s = f_y \left[\frac{m(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2}{60(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh}) + 2} + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_{sh})(60 - m)}{2(30r + 1)^2} \right] \quad (3.2.2.3)$$

$$m = \left(\frac{f_{su}}{f_y} (30r + 1) - 60r + 1 \right) \frac{1}{15r^2} \quad (3.2.2.4)$$

$$r = \varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh} \quad (3.2.2.5)$$

$$\tan \varphi = \frac{\varepsilon_c}{c} dx \quad (3.2.2.6)$$



3.3.- Rigidez de miembros de concreto reforzado

Con el fin de entender los problemas asociados con la rigidez a flexión de los elementos de concreto reforzado y la influencia en su comportamiento, tal como se ven a través del proceso de análisis, es conveniente repasar el proceso matemático que se utiliza para determinar la forma de la línea elástica o curva de deflexiones de una barra prismática de un material elástico, sometida a fuerzas transversales.

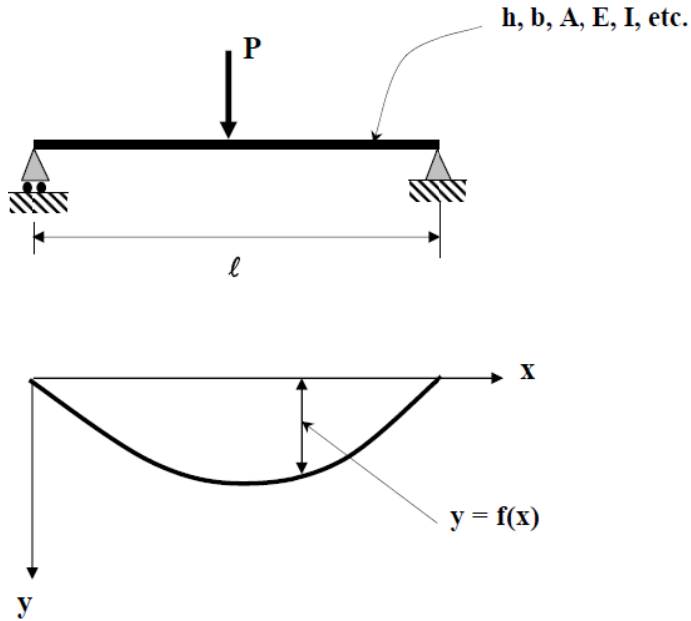


Figura 3.3.1.- Curva de deformación de la barra sometida a una fuerza P.

Para visualizar el fenómeno, tomamos una sección de la barra de longitud Δx , y le adherimos dos patinas rígidas a ambos lados de la sección. Ahora rotamos las dos patinas aplicando un momento alrededor de la media altura de la sección.

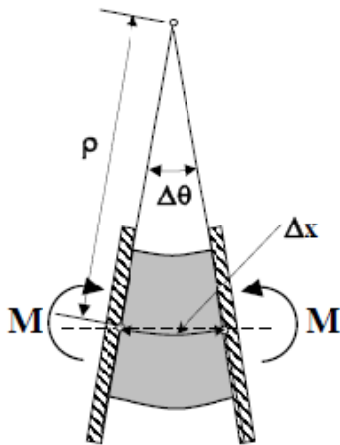


Figura 3.3.2.- Análisis de la sección de barra.



Al utilizar estas platinas rígidas, intrínsecamente estamos diciendo que los planos laterales de la sección permanecen planos aún después de aplicar el momento M .

Siempre y cuando mantengamos el ángulo $\Delta\theta$ pequeño, podemos obtener la distancia al centro de giro como $\rho = \Delta x \Delta\theta$.

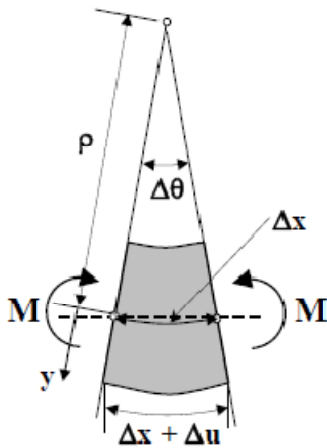


Figura 3.3.3.- Distancia al centro de giro de la sección de barra.

Entonces, para cualquier fibra localizada a una distancia “ y ” de la media altura de la sección, la longitud de la sección de barra es:

$$\Delta x + \Delta u = \Delta\theta(\rho + y) \quad (3.3.1)$$

Y las fibras localizadas a esta distancia y se estirarían una distancia igual a:

$$\Delta u = \Delta\theta y \quad (3.3.2)$$

Utilizando la definición de deformación unitaria:

$$\varepsilon = \frac{\Delta u}{\Delta x} = y \frac{\Delta\theta}{\Delta x} \quad (3.3.3)$$

En el límite, en la medida que Δx tienda a cero:

$$\varepsilon = \frac{du}{dx} = y \frac{d\theta}{dx} = y\varphi = \frac{1}{\rho} \quad (3.3.4)$$

En la ecuación anterior, φ , es la curvatura de la sección causada por el momento M . Si el material de la barra es linealmente elástico, el esfuerzo, σ , en cualquier fibra dentro de la sección se puede obtener por medio de la ley de Hooke usando el módulo de Young E :

$$\sigma = E\varepsilon = Ey\varphi \quad (3.3.5)$$



El momento, M , en la sección se puede obtener por medio de:

$$M = \int_A \sigma y dy = \int_A E y^2 \varphi dy = \varphi E \int_A y^2 dy = \varphi EI \quad (3.3.6)$$

Por lo tanto,

$$\varphi = \frac{M}{EI} \quad (3.3.7)$$

Nótese que la curvatura φ es directamente proporcional al momento aplicado, M , e inversamente proporcional a la rigidez del elemento, EI .

Existen dos limitaciones importantes en este proceso:

1. La relación momento-curvatura ($M-\varphi$) supone que el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria. Por lo tanto la ecuación es válida para elementos que no responden más allá del límite elástico del material. En la mayoría de las circunstancias, esto no es válido en elementos de concreto reforzado.

2. La ecuación que describe la curvatura, es en realidad:

$$\frac{M}{EI} = \varphi = \frac{1}{\rho} = \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}} \quad (3.3.8)$$

Bajo la premisa, indicada anteriormente, que la pendiente de la línea elástica es pequeña, el término $(dy/dx)^2$ es muy pequeño y se puede despreciar, correspondiendo a un efecto de segundo orden. Esto se conoce como la limitación de las deformaciones pequeñas. La última ecuación se simplifica, entonces, a:

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (3.3.9)$$

Esto significa que la condición de equilibrio se evalúa en la posición original de la estructura, antes de que se apliquen las cargas.



diagrama $M-\varphi$. La falla ocurre cuando el concreto se aplasta, o cuando se llega a la deformación máxima del acero, lo que ocurra primero.

La forma de la relación momento-curvatura está influenciada por parámetros tales como la cuantía (ρ), el refuerzo en exceso ($\rho > \rho_{bal}$), el refuerzo a compresión (ρ'), la cantidad de refuerzo transversal de confinamiento, la presencia de carga axial, el refuerzo mínimo (ρ_{min}), y otros factores.

3.5.- Cálculo del diagrama momento-curvatura ($m-\varphi$) para secciones de concreto reforzado.

3.5.1.- Rigidez no fisurada (E_{lg})

El área de refuerzo se transforma en un área equivalente de concreto multiplicando por $(n-1)$, donde $n = E_s/E_c$.

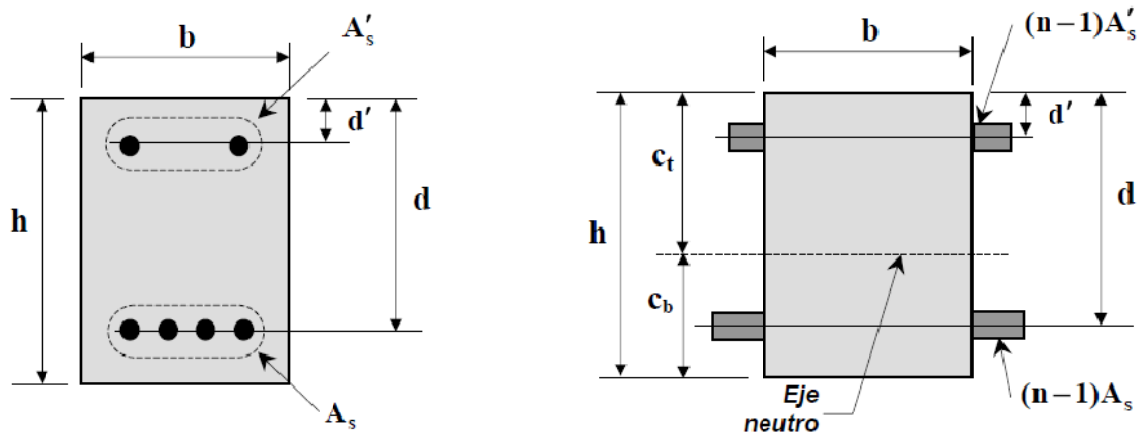


Figura 3.5.1.- Sección de viga de rigidez no fisurada.

$$c_t = \frac{bh\left(\frac{h}{2}\right) + (n-1)A_s d + (n-1)A'_s d'}{bh + (n-1)A_s + (n-1)A'_s} \quad (3.5.1.1)$$

$$I_g = \frac{bh^3}{12} + bh\left(\frac{h}{2} - c_t\right)^2 + (n-1)\left[A_s(d - c_t)^2 + A'_s(c_t - d')^2\right] \quad (3.5.1.2)$$

$$c_b = h - c_t \quad (3.5.1.3)$$



3.5.2.- Punto de agrietamiento (M_{cr} y ϕ_{cr})

El momento flector que causa que la fibra extrema en tracción llegue a la resistencia a la tracción se obtiene usando la sección transformada.

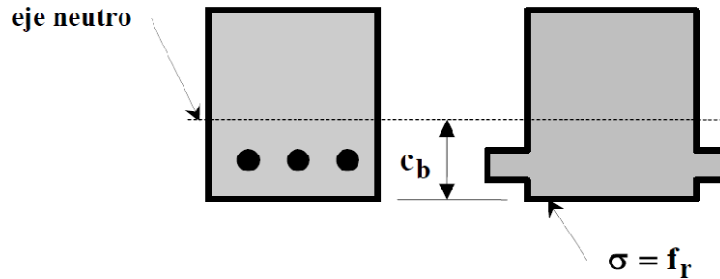


Figura 3.5.2.- Sección transformada, punto de agrietamiento.

Por lo tanto,

$$\sigma = \frac{M_{cr}c_b}{I} = f_r \quad (3.5.2.1)$$

$$\phi_{cr} = \frac{\epsilon_r}{c_b} = \frac{f_r}{E_c c_b} \quad (3.5.2.2)$$

3.5.3.- Punto de fluencia (M_y y ϕ_y)

En este punto $\epsilon_s = \epsilon_y$

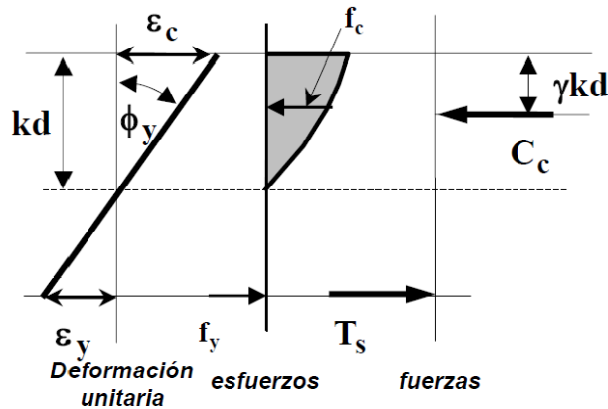


Figura 3.5.3.- Diagramas de Deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas en el punto de fluencia.

De equilibrio:

$$T_s = C_c \quad (3.5.3.1)$$

$$A_s f_y = \alpha f'_c b k d \quad (3.5.3.2)$$



De compatibilidad de deformaciones:

$$\frac{\varepsilon_c + \varepsilon_y}{d} = \frac{\varepsilon_c}{kd} \rightarrow k = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \quad (3.5.3.3)$$

Substituyendo:

$$A_s f_y = \alpha f'_c b d \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_y} \quad (3.5.3.4)$$

Pero α es función de ε_c , por lo tanto, debe utilizarse un procedimiento iterativo consistente en variar el valor de ε_c , obteniendo el valor correspondiente de α , hasta que se cumpla el equilibrio. Usando el valor de ε_c que cumple equilibrio, se obtiene γ .

El momento de fluencia puede calcularse como:

$$M_y = A_s f_y d (1 - k\gamma) \quad (3.5.3.5)$$

La curvatura en fluencia se obtiene de:

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_c}{kd} \quad (3.5.3.6)$$

3.5.4.- Resistencia última (M_u y φ_u)

En este punto $\varepsilon_s = \varepsilon_{cu}$

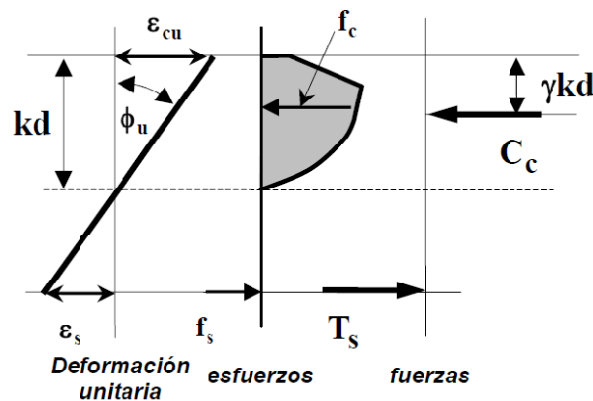


Figura 3.5.4.- Diagramas de Deformación unitaria, esfuerzos y fuerzas en el punto de resistencia última.

De equilibrio:

$$T_s = C_c \quad (3.5.3.1)$$

$$A_s f_s = \alpha f'_c b k d \quad (3.5.4.1)$$



Si se desprecia el endurecimiento por deformación, f_s debe ser f_y , si se tiene en cuenta debe ser el esfuerzo correspondiente a ε_s . De compatibilidad de deformaciones:

$$\frac{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s}{d} = \frac{\varepsilon_{cu}}{kd} \rightarrow k = \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s} \quad (3.5.4.2)$$

Substituyendo:

$$A_s f_s = \alpha f'_c b d \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_s} \quad (3.5.4.3)$$

En este caso ε_{cu} es conocido, por lo tanto α y γ también se conocen. Si se desprecia el endurecimiento por deformación ε_s puede obtenerse usando $f_s = f_y$. Otros casos deben resolverse iterativamente para ε_s hasta que se obtiene equilibrio. Momento y curvatura últimos se obtienen de:

$$M_u = A_s f_s d (1 - k\gamma) \quad (3.5.4.4)$$

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{kd} \quad (3.5.4.5)$$



3.6.- Influencia de diferentes parámetros en el comportamiento.

3.6.1.- Dimensiones de la sección y propiedades de los materiales:

La relación que existe entre las dimensiones de la sección y las propiedades de los materiales influye en la ductilidad del elemento, tal que, para una viga dada de características b , d , f_y , f'_c y A_s , se obtiene una ductilidad μ ; en el momento que se disminuye cualquier característica, la ductilidad se verá afectada de la siguiente manera aproximadamente:

Caso	Ductilidad
Original	μ
$b/2$	$\mu_b < \mu$
$d/2$	$\mu_d < \mu$
$F'_c/2$	$\mu_c < \mu$
$F_y/2$	$\mu_y > \mu$
$A_s/2$	$\mu_s > \mu$

Tabla 3.6.1.- Influencia entre las dimensiones de la sección, propiedades de los materiales y su ductilidad.

3.6.2.- Influencia de la cuantía:

La ductilidad de la curvatura aumenta en la medida que la cuantía de acero longitudinal disminuye. Demasiado acero de refuerzo longitudinal en tensión causa aplastamiento y descascaramiento del concreto en compresión antes de que el acero de tensión fluya.

3.6.3.- Influencia en la carga axial en la relación ($M-\phi$).

La carga axial tiene una influencia importante en la curvatura. Suponga que tenemos la siguiente sección de columna:

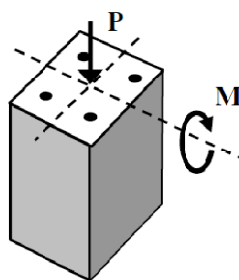


Figura 3.6.3.1.- Columna sometida a carga axial y de flexo-compresión.

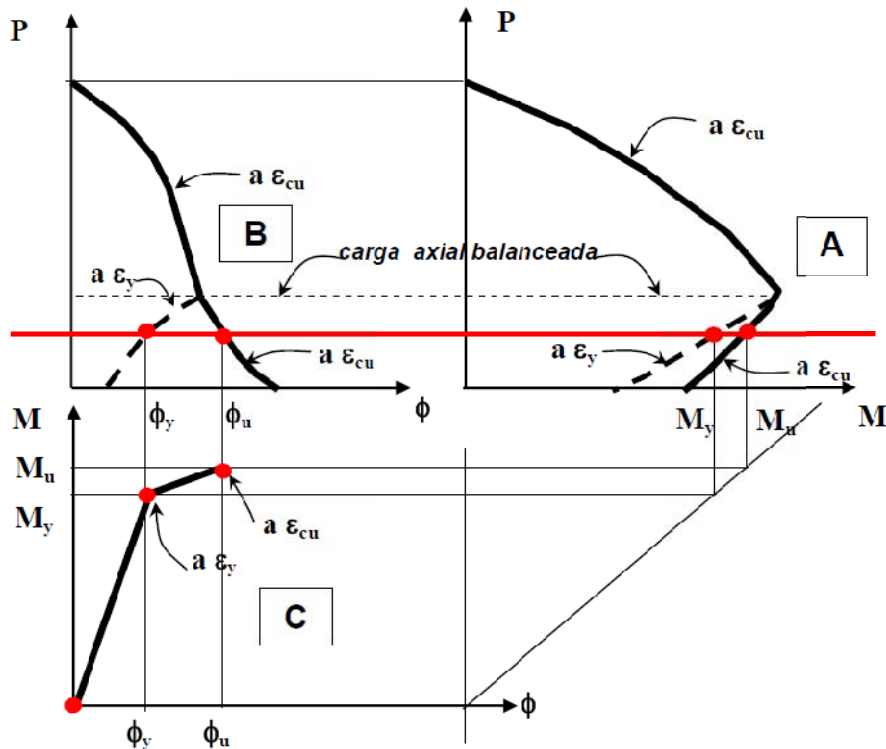


Figura 3.6.3.2.- Curvas: A - Interacción (P-M), B - Carga-Curvatura (P- ϕ), C - Momento-Curvatura (M- ϕ).

En "A" tenemos un diagrama de interacción P vs. M. La línea continua corresponde al diagrama cuando se llega a la máxima deformación unitaria ϵ_{cu} . La línea punteada corresponde a los valores de P y M cuando el refuerzo de tensión fluye. Esto solo ocurre cuando la carga axial es menor que la carga balanceada. B muestra las curvaturas correspondientes a estos puntos del diagrama de interacción. Seleccionando un nivel de carga axial, es posible dibujar el diagrama momento curvatura mostrado en C. Si la carga axial está por encima del punto balanceado, el diagrama momento-curvatura llega a ϵ_{cu} antes de llegar a fluencia. Por lo tanto, las secciones con carga axial mayor que la balanceada no tienen ductilidad.



3.6.4.- Efecto del refuerzo transversal de confinamiento en el comportamiento de vigas:

Si la zona de compresión del elemento está confinada por refuerzo transversal espaciado muy cerca tal como estribos cerrados de confinamiento o espirales, la ductilidad del concreto mejora notablemente.

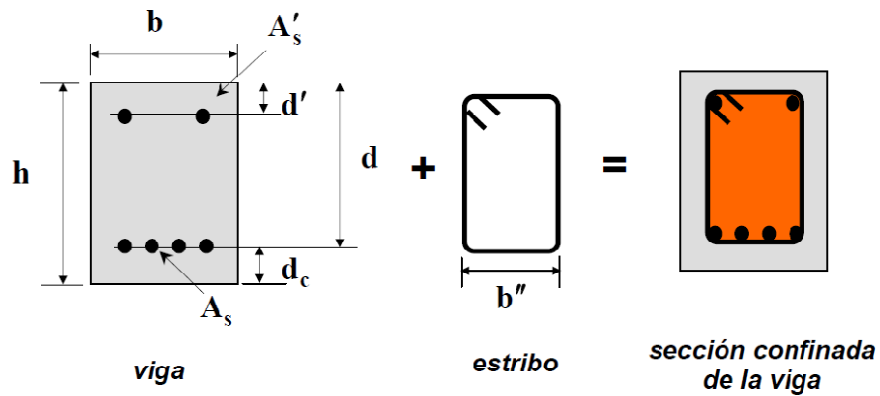


Figura 3.6.4.- Sección Confinada de la viga.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL O PUSHOVER



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL O PUSHOVER

4.1.- Características Generales:

4.1.1.- Geometría de los Pórticos:

H = 3m; altura entre pisos

L = 6m; luz entre vanos

4.1.2.- Propiedades de los Elementos:

$F'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$; resistencia del concreto

$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$; resistencia del acero de refuerzo

4.1.3.- Cargas de Diseño:

$q_d = 5 \text{ Ton/ml}$; carga muerta por metro lineal

$q_l = 2 \text{ Ton/ml}$; carga viva por metro lineal



4.1.4.- Espectros de diseño:

4.1.4.1.- Espectro Elástico de diseño:

Se procederá a escoger el espectro elástico de diseño del Código Ecuatoriano de la Construcción, CEC, para un suelo tipo S4 de la ciudad de Guayaquil y una aceleración en roca de 0.30 de g.

4.1.4.2.- Espectro de diseño reducido:

Se tomará el espectro elástico de diseño y se lo dividirá para el factor R de acuerdo al periodo en el que se encuentre que según Newmark & Hall es de la siguiente manera:

$$R = \begin{cases} 1 & T_n < T_a \\ \sqrt{2\mu - 1} & T_b < T_n < T_c \\ \mu & T_n > T_c \end{cases}$$

Donde $\mu = R_0$; factor de reducción asumido

$$T_a = 1/33 \text{ seg}$$

$$T_b = 1/8 \text{ seg}$$

$$T_c = 1/2 \text{ seg}$$

R = factor de reducción final

4.2.- Características Generales del análisis en el programa "SAP 2000 V14.1 ADVANCED":

4.2.1.- Cargas actuantes (Load Patterns):

Se utilizarán dos tipos de cargas:

D: carga muerta, vigas columnas y cargas adicionales, considerando el peso propio de los elementos.

L: carga viva, cargas adicionales.

4.2.2.- Espectro de Diseño:

E: Fuerza lateral producida por el espectro de diseño reducido.



4.2.3.- Casos de cargas (Load Cases):

Muerta	-	Estático lineal
Viva	-	Estático lineal
Modal	-	Modal
Espectral	-	Espectro de diseño en el sentido "X" $a_c = 9.81 \text{ m/seg}^2$

4.2.4.- Combinación de cargas (Load Combination):

$$U1 = 1.4D$$

$$U2 = 1.2D + 1.6L$$

$$U3 = 1.2D + 1L + 1E$$

$$U4 = 0.9D + 1E$$

Envolvente – Escoge el máximo valor de todas las combinaciones para fuerzas axiales, momentos y cortantes.

4.2.5.- Fuente de masa (mass source):

Se considerará la masa del peso propio de la estructura más la carga muerta "qd".

4.2.6.- Criterios de Diseño:

El programa SAP 2000 V14.1 ADVANCED ofrece la herramienta de diseño de pórticos, rigiéndose mediante los códigos ACI 318-05/IBC-2003, brindándonos el área de acero longitudinal requerido en la sección, mediante envolventes de fuerzas cortantes, momentos flectores y cargas axiales, de las combinaciones de cargas enunciadas en (4.2.3).



4.2.7.- Metodología de diseño:

- 1.- Se parte del Espectro Elástico de Diseño descrito en (4.1.4.1).
- 2.- Se asume un factor de Reducción "Ro" y se aplica la reducción descrita en (4.1.4.2).
- 3.- Se inserta el Espectro Elástico reducido en el programa SAP 2000, y luego de haber cumplido con todos los requisitos descritos en los numerales (4.2.1 a 4.2.5) se procede al dimensionamiento del pórtico.
- 4.- Una vez hecho el dimensionamiento se procede a realizar el análisis y se van optimizando las secciones de acuerdo a los resultados obtenidos.
- 5.- Con las secciones definitivas se procede a realizar el diseño de los elementos proporcionado por el programa (4.2.6).
- 6.- Obtenido el área de acero longitudinal requerido se procede a diseñar distribuyéndolo en "n" numero de varillas de diámetro " ϕ ".
- 7.- En el caso de ser vigas se procederá a diseñar el estribo en función del momento resistente real en los nodos superiores e inferiores de cada viga; en las vigas se tomará en cuenta que el concreto aporta con resistencia al cortante y la diferencia la asume el acero transversal.
- 8.- En el caso de las columnas se utilizará la envolvente de cortante para el cortante último y no se considerará que el concreto aporte con resistencia, sino que el acero transversal resistirá todo el cortante.



4.2.8- Criterio de Análisis Estático no lineal o Pushover:

El programa SAP 2000 V14.1 ADVANCED ofrece la herramienta de análisis Pushover, cuyo proceso se lo describe a continuación:

- 1.- Una vez obtenido el diseño final de todos los elementos, se procede a crear cada una de las secciones con la herramienta de “section designer” del programa, con su respectivo acero longitudinal y transversal. Esta herramienta también nos permite ver la curva momento-curvatura del elemento.
- 2.- Luego de crear todas las secciones se procede a definir la rotulas plásticas que se van a generar en cada elemento. El programa utiliza los criterios de las tablas del FEMA -356; Tabla 6-8 para columnas de concreto y tabla 6-7 para vigas de concreto.
- 3.- Definidas las rotulas se procede a realizar un ajuste en los casos de carga del numeral (4.2.3) donde se realiza un cambio en el caso de carga “Muerta” de “estático lineal” a “estático no lineal”.
- 4.- Una vez cambiado el caso de carga “Muerta” se crea un nuevo caso de carga denominado “Pushover” que es así mismo denominado “estático no lineal”, pero que toma acción a partir del final del caso de carga estático no lineal “Muerta” con una aceleración unitaria en el sentido “x”.
- 5.- Luego se corre el programa y de los resultados obtenemos una curva “cortante basal vs deformación” de la estructura, la cual nos dará el valor del factor de reducción “Ro” dividiendo el desplazamiento máximo para el desplazamiento donde la estructura se considera que entra en cedencia.
- 6.- Al final el valor del factor de reducción “R” dependerá del periodo de la estructura como se describió en el numeral (4.1.4.2)



4.3.- Resultados de análisis:

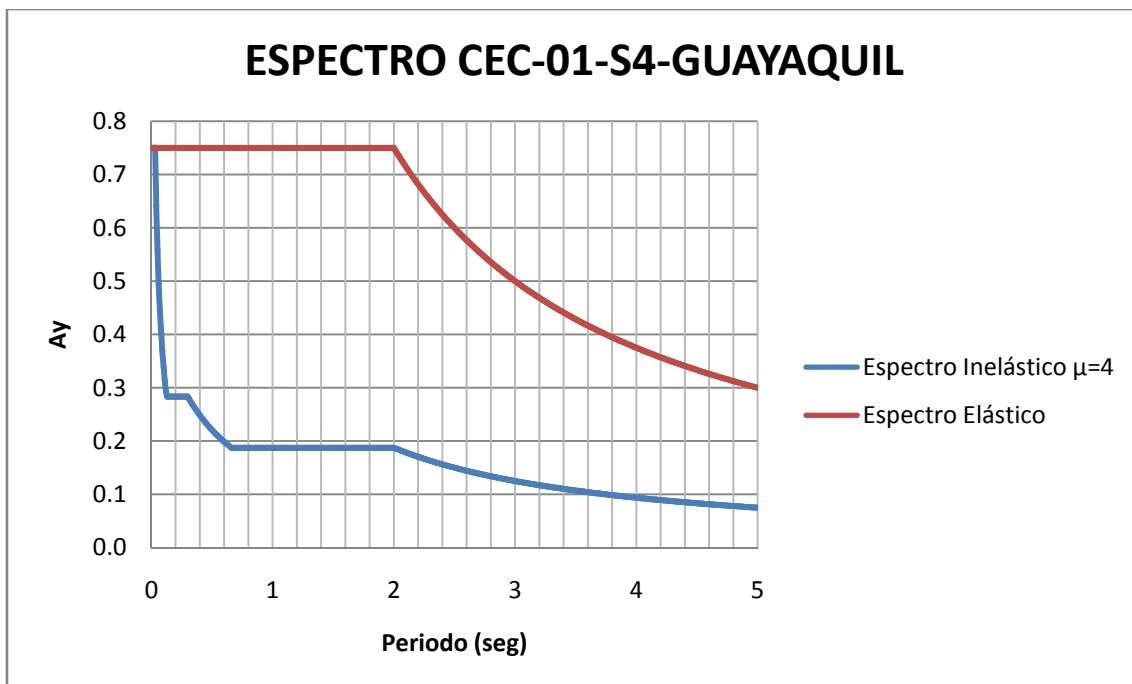
A continuación se dan los resultados de interés de los análisis efectuados.

Pórtico # 1:

1 Piso, 1 Vano:

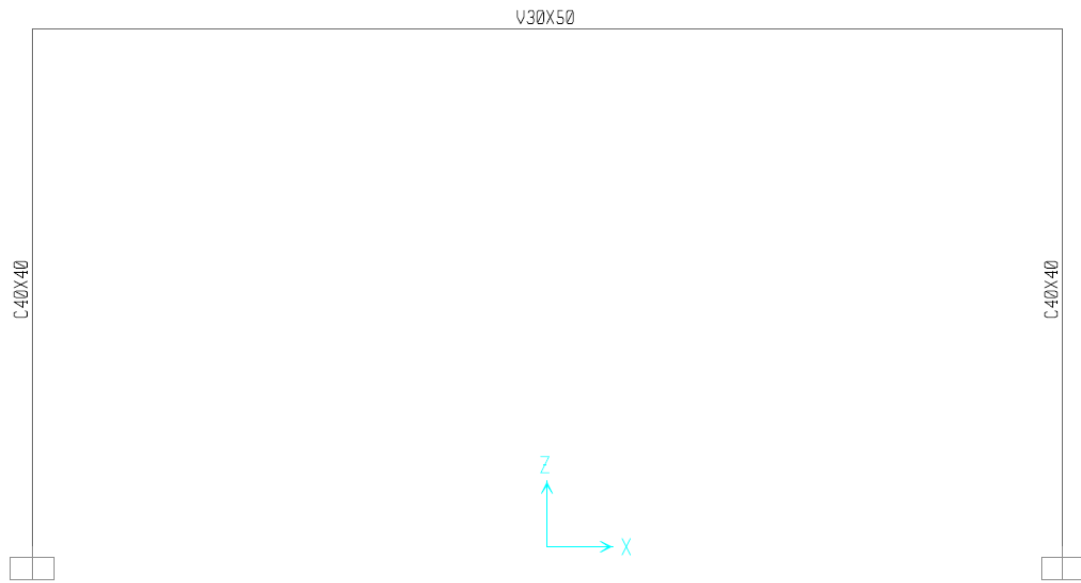
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

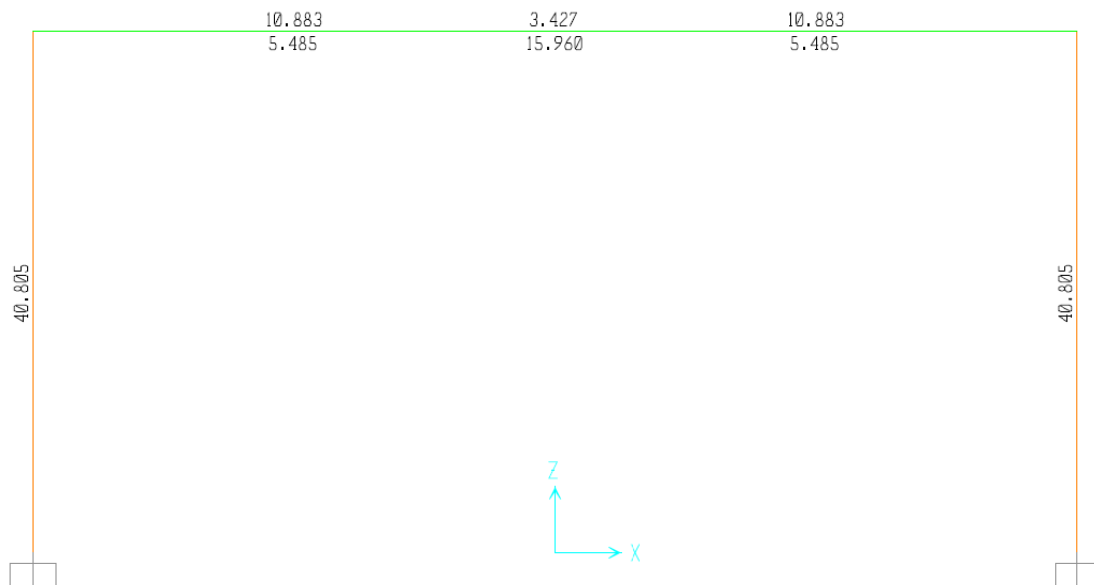




Dimensiones (cm):



Diseño (cm²):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1
			PISO
			1
DATOS	b	cm	40
	h	cm	40
	rec	cm	5
	d	cm	35
	φ	-	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	40.81
	# varillas	u	12
	φ req	mm	20.81
	φ elegido	mm	22
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	12.41
	Vr = Vu/φ	Ton	16.55
	Vr = Vs + Vc		
	Vc	Ton	0
	Vs	Ton	16.55
	Av/S	cm ² /cm	0.056
	S	cm	10
	Av	cm ²	0.563
	φ req	mm	8.47
	φ elegido	mm	10
	Av real	cm ²	0.79
RESUMEN	# Varillas	u	12
	φ	mm	22
	Est φ	mm	10
	cada	cm	10



DISEÑO DE VIGAS

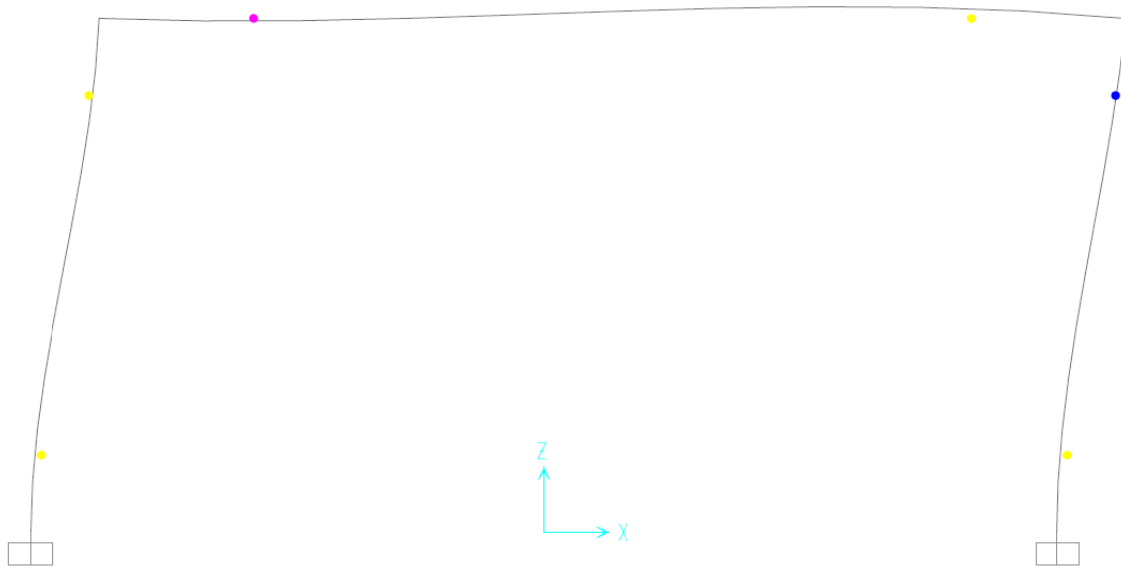
Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

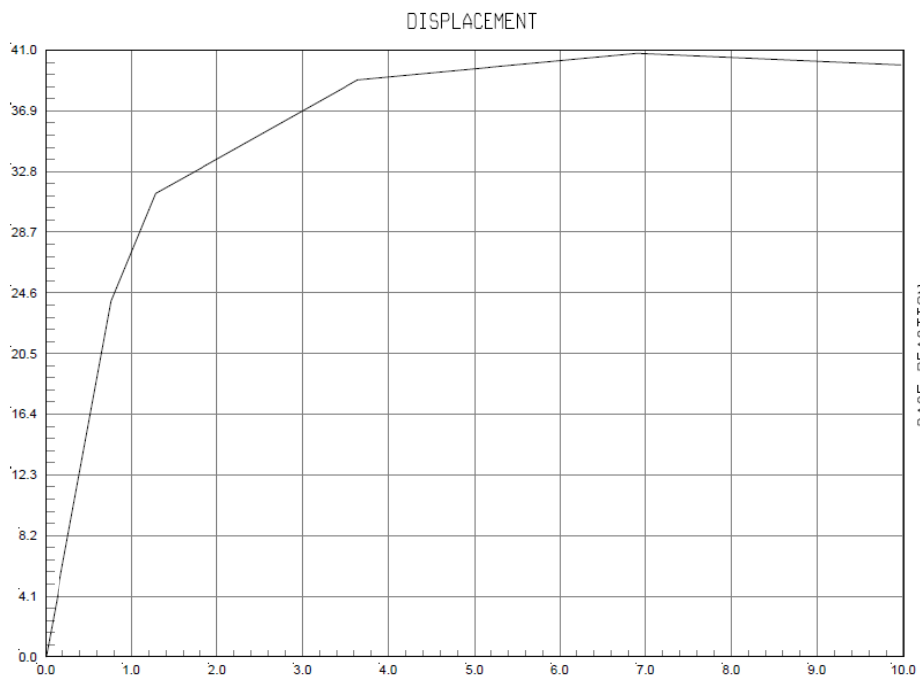
		EJE A	
		PISO	
		1	
DATOS	b	cm	30
	h	cm	50
	rec	cm	5
	d	cm	45
	ϕ	-	0.9
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior 10.88 Inferior 15.96
	# varillas	u	4.00 4.00
	ϕ req	mm	18.61 22.54
	ϕ elegido	mm	20.00 24.00
	As real	cm ²	12.57 18.10
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.40
	L	m	6.00
	L neta	m	5.60
	qd	Ton/ml	5.00
	ql	Ton/ml	2.00
	ϕ	-	0.75
	As real	cm ²	Superior 12.57 Inferior 18.10
	ω	-	0.140 0.201
	Mr	Ton-m	21.79 30.14
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	30.51 42.20
	Vm	Ton	12.98
	Vg	Ton	19.6
	Vu	Ton	32.58
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	43.45
	Vr = Vs + Vc		
	Vc	Ton	11.97
	Vs	Ton	31.47
	Av/S	cm ² /cm	0.0833
	S	cm	10
	Av	cm ²	0.833
	ϕ req	mm	10.30
	ϕ elegido	mm	12
	Av real	cm ²	1.13
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior 4 Inferior 4
	ϕ Long	mm	20 24
	Est ϕ	mm	12
	Cada	cm	10



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{11.145}{1.2734} = 8.752$$

$$T = 0.2229 \text{ seg}; T < 0.5$$

$$R = \sqrt{2 \cdot \mu - 1} = 4.06$$

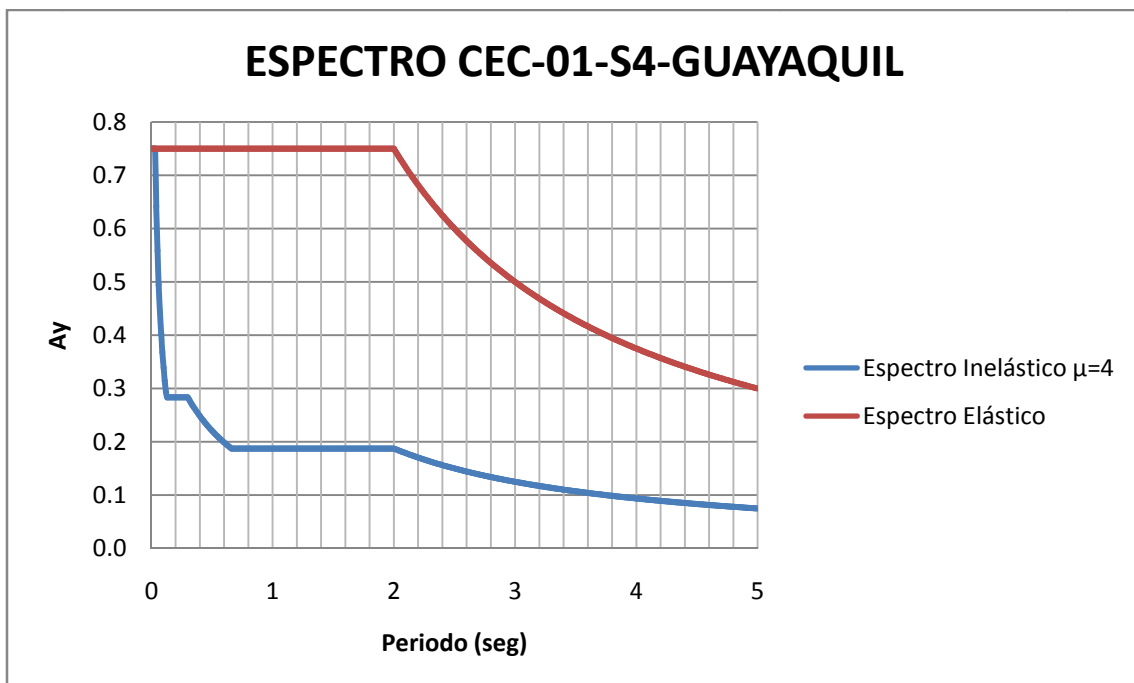


Pórtico # 2:

2 Pisos, 1 Vanos:

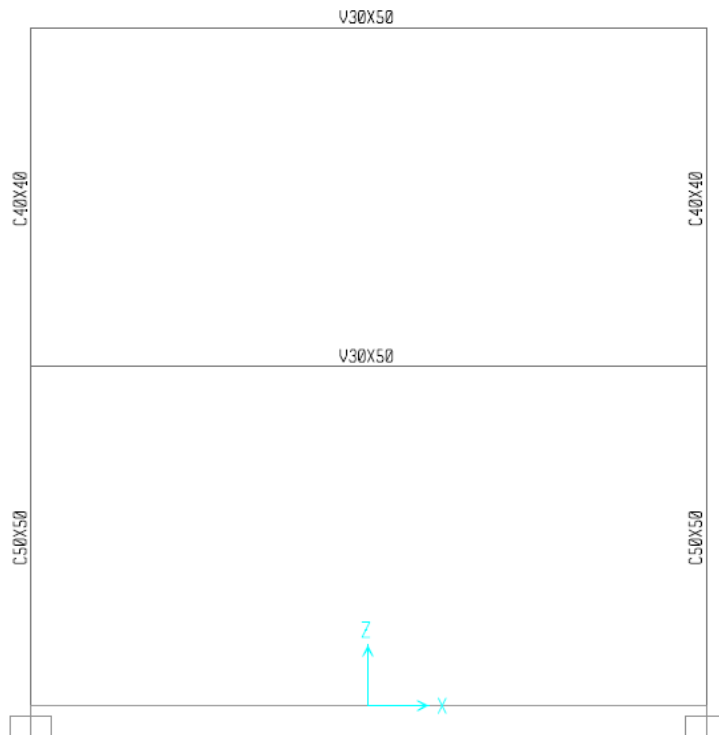
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

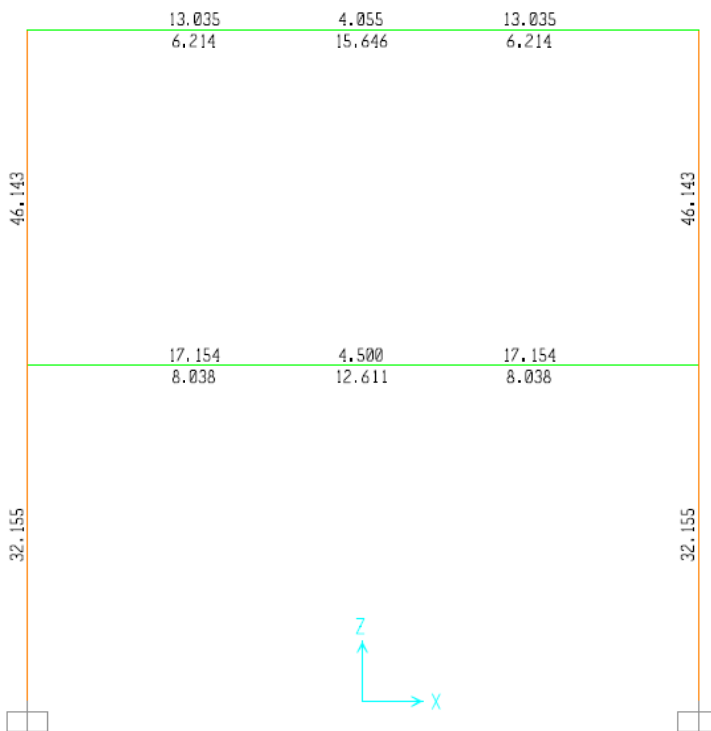




Dimensiones (cm):



Diseño de Acero (cm²):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1	
			PISOS	
			1	2
DATOS	b	cm	50	40
	h	cm	50	40
	rec	cm	5	5
	d	cm	45	35
	φ	-	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	32.16	46.14
	# varillas	u	12.00	16.00
	φ req	mm	18.47	19.16
	φ elegido	mm	20.00	20.00
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	11.60	14.65
	Vr = Vu/φ	Ton	15.47	19.53
	Vr = Vs + Vc			
	Vc	Ton	0	0
	Vs	Ton	15.47	19.53
	Av/S	cm ² /cm	0.041	0.066
	S	cm	10	10
	Av	cm ²	0.409	0.664
	φ req	mm	7.22	9.20
	φ elegido	mm	8	10
Av real	cm ²	0.50	0.79	
RESUMEN	# Varillas	u	12	16
	φ	mm	20	20
	Est φ	mm	8	10
	cada	cm	10	10



DISEÑO DE VIGAS

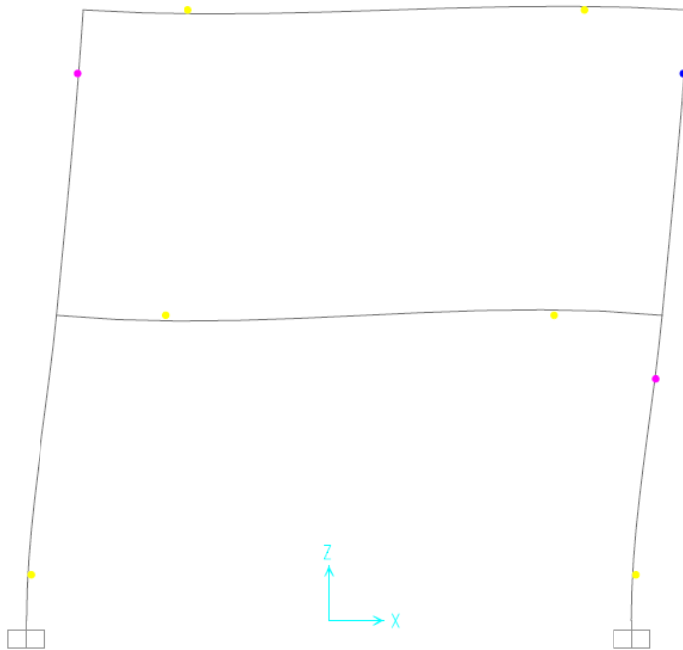
Propiedades

$f'c =$ 280 kg/cm²
 $f_y =$ 4200 kg/cm²

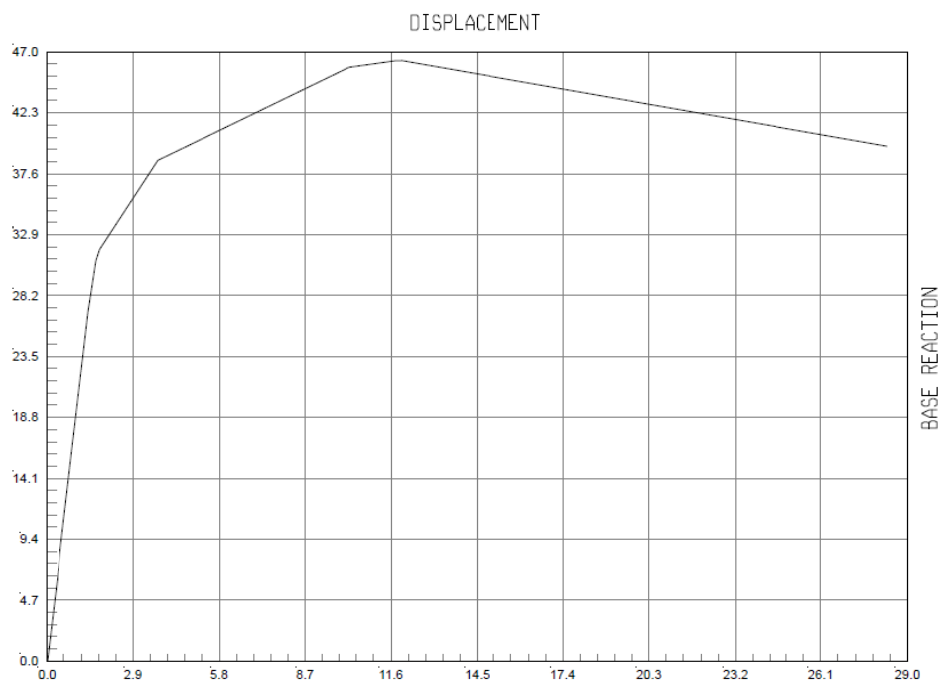
			EJE A			
			PISOS			
			1		2	
DATOS	b	cm	30		30	
	h	cm	50		50	
	rec	cm	5		5	
	d	cm	45		45	
	ϕ	-	0.9		0.9	
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			17.15	12.50	13.04	15.65
	# varillas	u	4.00	4.00	4.00	4.00
	ϕ req	mm	23.36	19.95	20.37	22.32
	ϕ elegido	mm	24.00	20.00	22.00	24.00
	As real	cm ²	18.10	12.57	15.21	18.10
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.50		0.40	
	L	m	6.00		6.00	
	L neta	m	5.50		5.60	
	qd	Ton/ml	5.00		5.00	
	ql	Ton/ml	2.00		2.00	
	ϕ	-	0.75		0.75	
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			18.10	12.57	15.21	18.10
	ω	-	0.201	0.140	0.169	0.201
	Mr	Ton-m	30.14	21.79	25.87	30.14
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	42.20	30.51	36.22	42.20
	Vm	Ton	13.22		14.00	
	Vg	Ton	19.25		19.6	
	Vu	Ton	32.47		33.60	
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	43.29		44.81	
	Vr = Vs + Vc					
	Vc	Ton	11.97		11.97	
	Vs	Ton	31.32		32.83	
	Av/S	cm ² /cm	0.0829		0.0869	
	S	cm	10		10	
	Av	cm ²	0.829		0.869	
	ϕ req	mm	10.27		10.52	
ϕ elegido	mm	12		12		
Av real	cm ²	1.13		1.13		
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			4	4	4	4
	ϕ Long	mm	24	20	22	24
	Est ϕ	mm	12		12	
Cada	cm	10		10		



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{28.315}{1.6448} = 17.2149$$

$$T = 0.37174 \text{ seg}; T < 0.5$$

$$R = \sqrt{2 \cdot \mu - 1} = 5.78$$

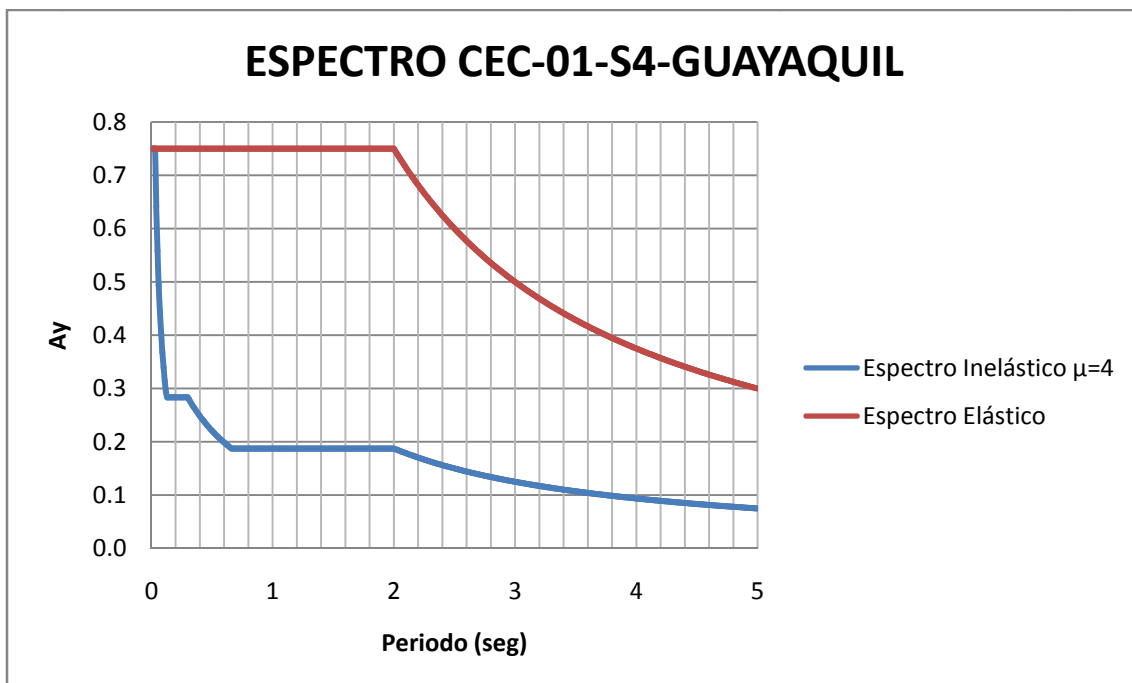


Pórtico # 3:

3 Pisos, 1 Vano

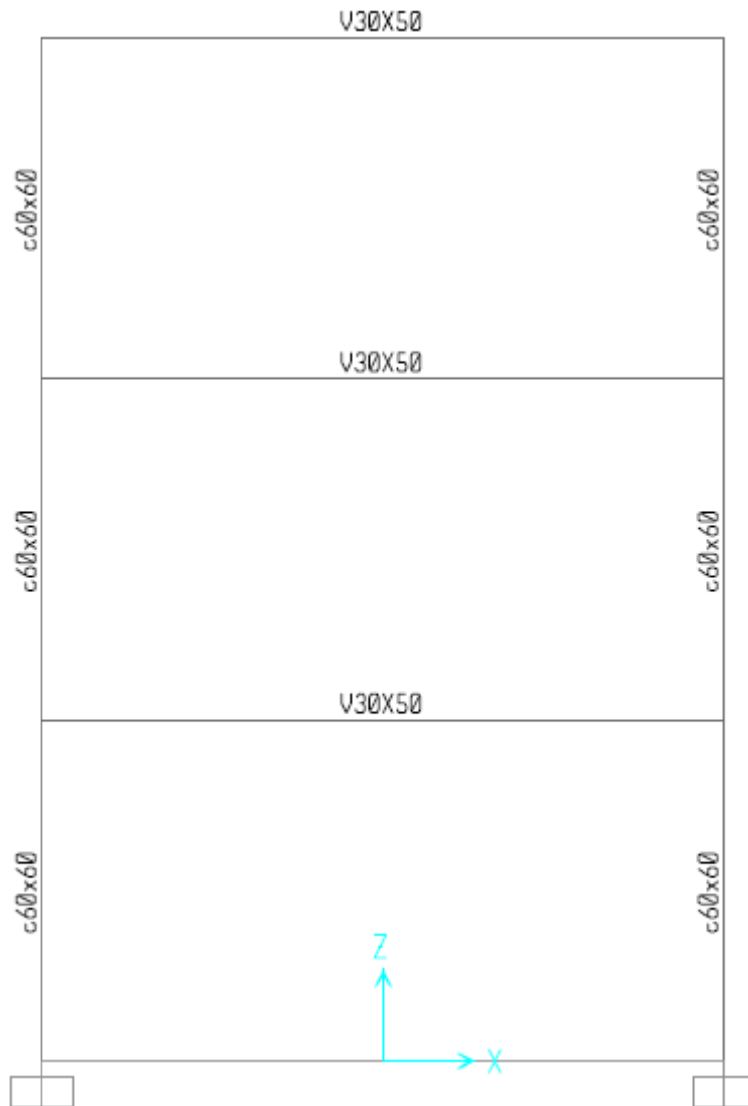
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4



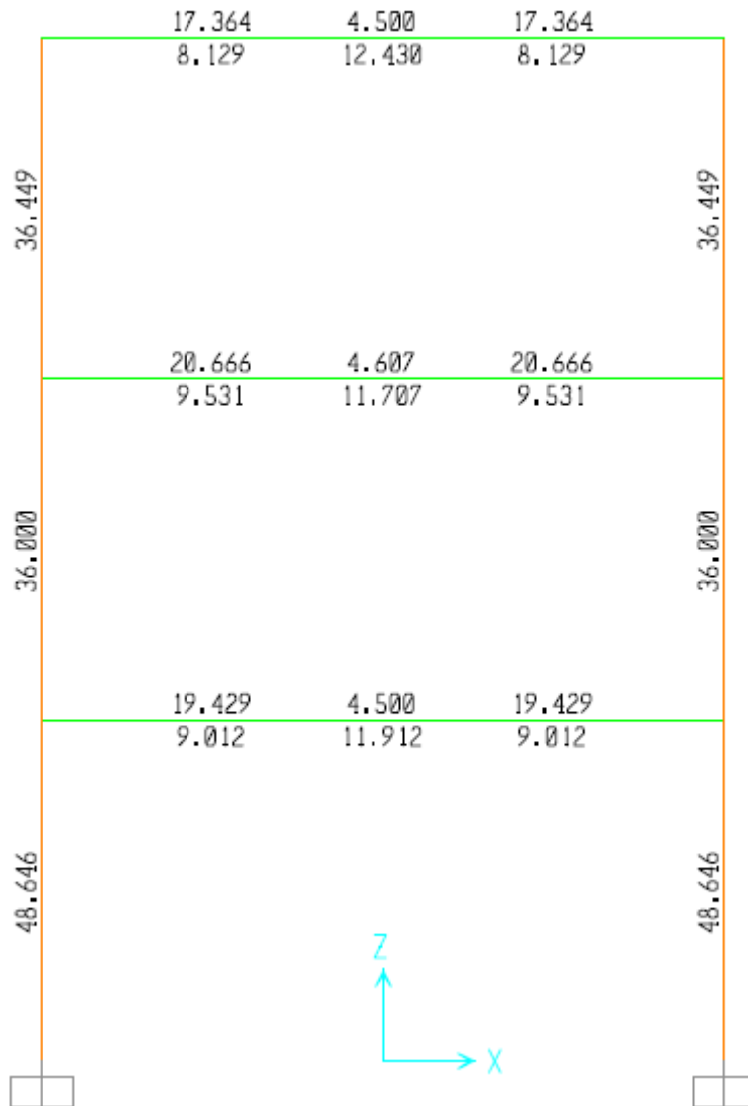


Dimensiones (cm):





Diseño (cm²):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 2		
			PISOS		
			1	2	3
DATOS	b	cm	60	60	60
	h	cm	60	60	60
	rec	cm	5	5	5
	d	cm	55	55	55
	φ	-	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	48.65	36.00	36.45
	# varillas	u	16	12	12
	φ req	mm	19.68	19.54	19.67
	φ elegido	mm	20	20	20
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	15.19	16.42	17.57
	Vr = Vu/φ	Ton	20.25	21.89	23.43
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0
	Vc	Ton	20.25	21.89	23.43
	Vs	Ton	0.044	0.047	0.051
	Av/S	cm ² /cm	10	10	9
	S	cm	0.438	0.474	0.456
	Av	cm ²	7.47	7.77	7.62
	φ req	mm	8	8	8
	φ elegido	mm	0.50	0.50	0.50
RESUMEN	# Varillas	u	16	12	12
	φ	mm	20	20	20
	Est φ	mm	8	8	8
	cada	cm	10	10	9



DISEÑO DE VIGAS

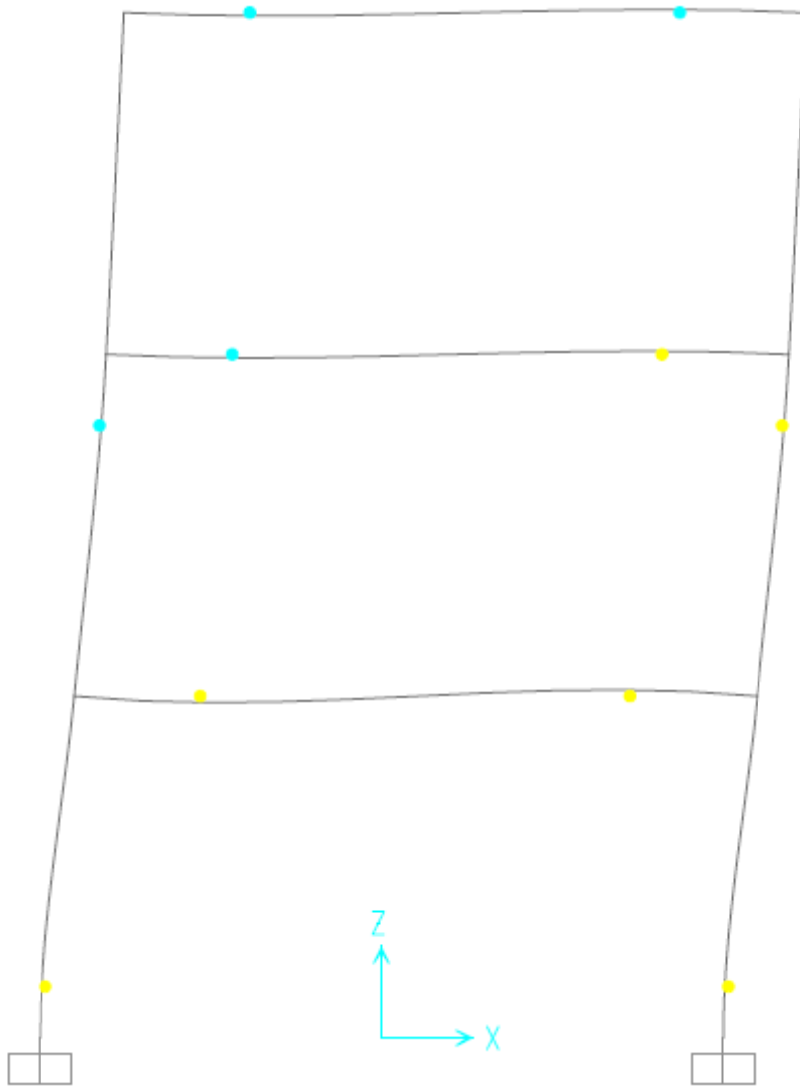
Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

			EJE 1-2					
			PISOS					
			1	2	3			
DATOS	b	cm	30	30	30			
	h	cm	50	50	50			
	rec	cm	5	5	5			
	d	cm	45	45	45			
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9			
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.43	11.91	20.67	11.71	17.36	12.43
	# varillas	u	4.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00
	ϕ req	mm	24.87	19.47	20.94	19.31	19.19	19.89
	ϕ elegido	mm	25.00	20.00	22.00	20.00	20.00	20.00
As real	cm ²	19.63	12.57	22.81	12.57	18.85	12.57	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.60	0.60	0.60			
	L	m	6.00	6.00	6.00			
	L neta	m	5.40	5.40	5.40			
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00			
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00			
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75			
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.63	12.57	22.81	12.57	18.85	12.57
	ω	-	0.218	0.140	0.253	0.140	0.209	0.140
	Mr	Ton-m	32.33	21.79	36.66	21.79	31.22	21.79
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	45.27	30.51	51.33	30.51	43.71	30.51
	Vm	Ton	14.03	15.16	13.75			
	Vg	Ton	18.9	18.9	18.9			
	Vu	Ton	32.93	34.06	32.65			
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	43.91	45.41	43.53			
	Vr = Vs + Vc							
	Vc	Ton	11.97	11.97	11.97			
	Vs	Ton	31.94	33.43	31.55			
	Av/S	cm ² /cm	0.0845	0.0885	0.0835			
	S	cm	14	14	14			
Av	cm ²	1.183	1.238	1.169				
ϕ req	mm	12.27	12.56	12.20				
ϕ elegido	mm	12	12	12				
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13				
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			4	4	6	4	6	4
	ϕ Long	mm	25	20	22	20	20	20
	Est ϕ	mm	12	12	12			
Cada	cm	14	14	14				

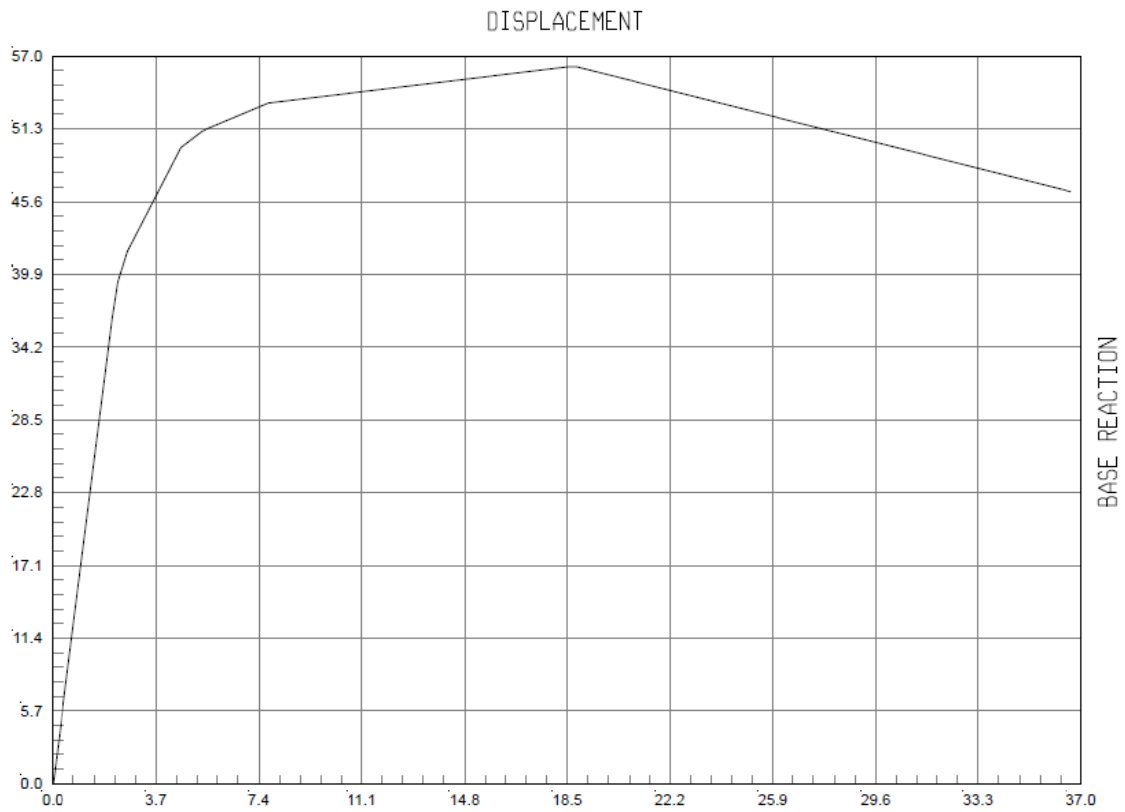


Análisis Pushover:





Curva Pushover "Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)"



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{36.6212}{2.3237} = 15.76$$

$$T = 0.49565 \text{ seg}; T < 0.5$$

$$R = \sqrt{2 \cdot \mu - 1} = 5.52$$

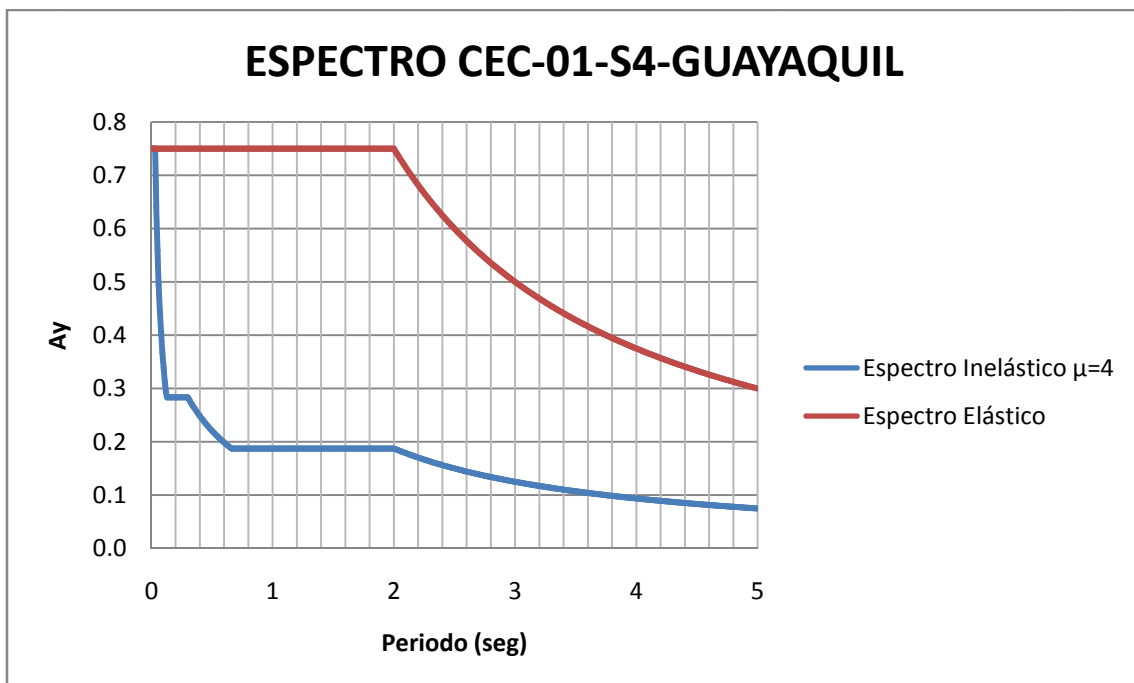


Pórtico # 4:

4 Pisos, 1 Vano

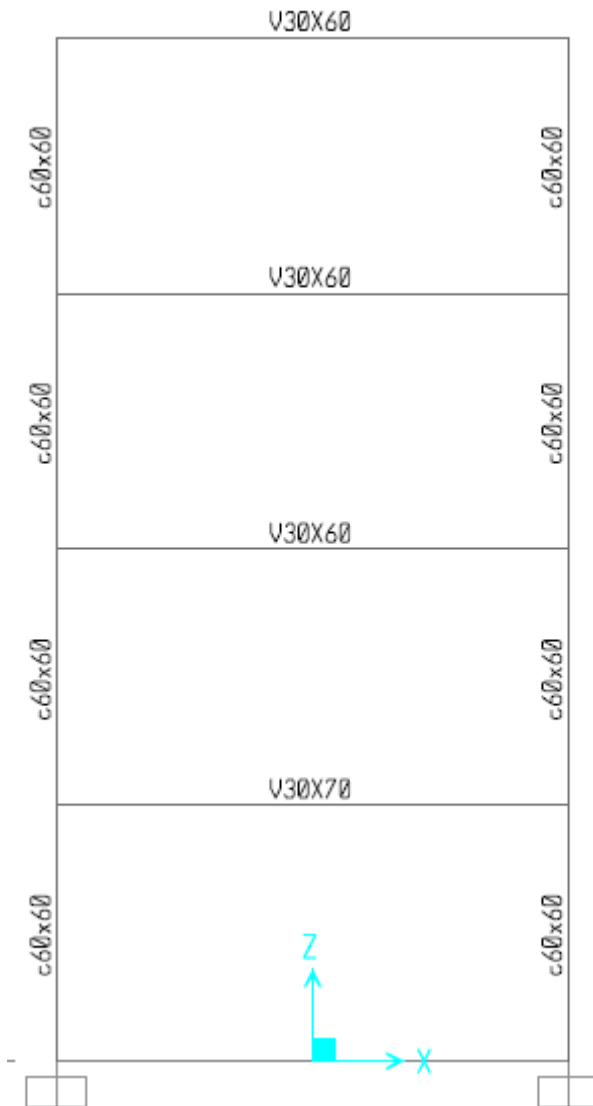
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4



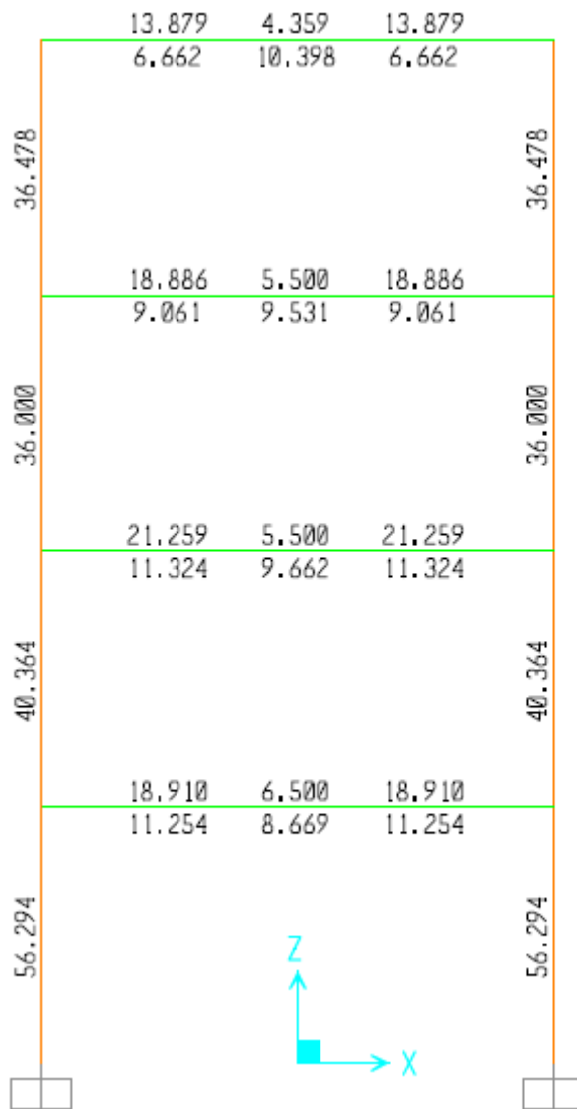


Dimensiones (cm):





Diseño (cm²):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 2			
			PISOS			
			1	2	3	4
DATOS	b	cm	60	60	60	60
	h	cm	60	60	60	60
	rec	cm	5	5	5	5
	d	cm	55	55	55	55
	φ	-	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	56.30	40.40	36.00	36.50
	# varillas	u	12	16	12	12
	φ req	mm	24.44	17.93	19.54	19.68
	φ elegido	mm	25	18	20	20
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	18.41	20.81	16.98	17.59
	Vr = Vu/φ	Ton	24.55	27.75	22.64	23.45
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0
	Vc	Ton	24.55	27.75	22.64	23.45
	Vs	Ton	0.053	0.060	0.049	0.051
	Av/S	cm ² /cm	9	8	10	10
	S	cm	0.478	0.480	0.490	0.508
	Av	cm ²	7.80	7.82	7.90	8.04
	φ req	mm	8	8	8	8
	φ elegido	mm	8	8	8	8
RESUMEN	Av real	cm ²	0.50	0.50	0.50	0.50
	# Varillas	u	12	16	12	12
	φ	mm	25	18	20	20
	Est φ	mm	8	8	8	8
	cada	cm	9	8	10	10



SEÑO DE VIGAS

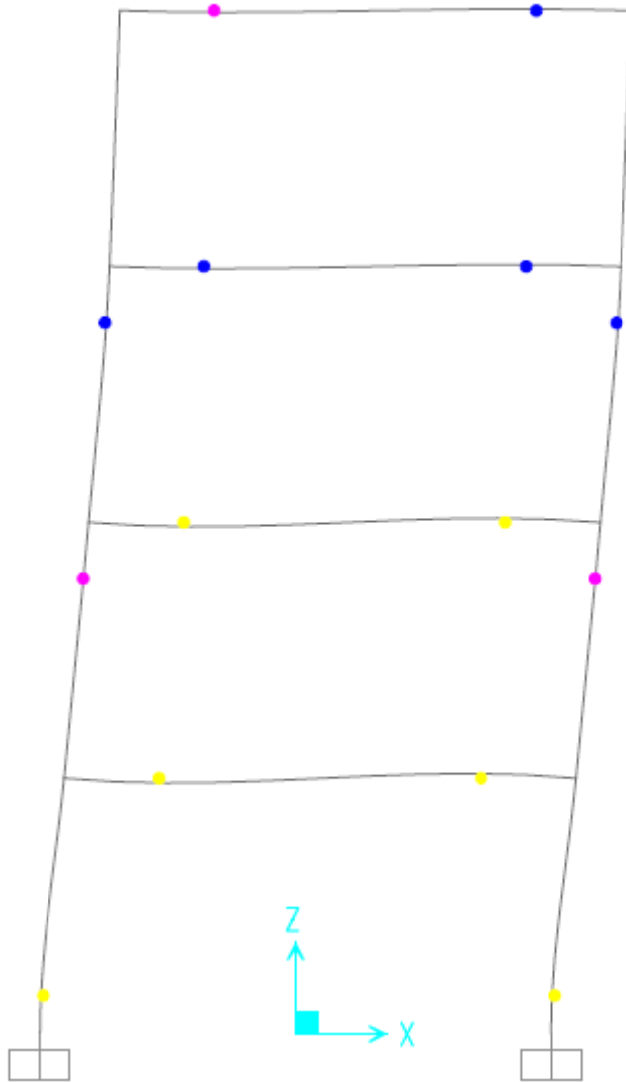
Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

			EJE 1-2							
			PISOS							
			1	2	3	4				
DATOS	b	cm	30	30	30	30				
	h	cm	60	60	60	60				
	rec	cm	5	5	5	5				
	d	cm	55	55	55	55				
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9	0.9				
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior 18.91	Inferior 11.25	Superior 21.26	Inferior 11.32	Superior 18.90	Inferior 9.53	Superior 13.88	Inferior 10.40
	# varillas	u	5.00	3.00	6.00	3.00	5.00	4.00	3.00	4.00
	ϕ req	mm	21.94	21.85	21.24	21.92	21.94	17.42	24.27	18.19
	ϕ elegido	mm	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	18.00	25.00	18.00
	As real	cm ²	19.01	11.40	22.81	11.40	19.01	10.18	14.73	10.18
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.60	0.60	0.60	0.60				
	L	m	6.00	6.00	6.00	6.00				
	L neta	m	5.40	5.40	5.40	5.40				
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00	5.00				
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00	2.00				
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75	0.75				
	As real	cm ²	Superior 19.01	Inferior 11.40	Superior 22.81	Inferior 11.40	Superior 19.01	Inferior 10.18	Superior 14.73	Inferior 10.18
	ω	-	0.173	0.104	0.207	0.104	0.173	0.093	0.134	0.093
	Mr	Ton-m	39.43	24.73	46.24	24.73	39.43	22.23	31.33	22.23
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	55.20	34.62	64.74	34.62	55.20	31.12	43.86	31.12
	Vm	Ton	16.63	18.40	15.99	13.89				
	Vg	Ton	18.9	18.9	18.9	18.9				
	Vu	Ton	35.53	37.30	34.89	32.79				
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	47.38	49.73	46.51	43.71				
	Vr = Vs + Vc									
	Vc	Ton	14.63	14.63	14.63	14.63				
	Vs	Ton	32.75	35.10	31.88	29.08				
	Av/S	cm ² /cm	0.0709	0.0760	0.0690	0.0629				
	S	cm	15	15	7	7				
	Av	cm ²	1.063	1.140	0.483	0.441				
ϕ req	mm	11.63	12.05	7.84	7.49					
ϕ elegido	mm	12	12	8	8					
Av real	cm ²	1.13	1.13	0.50	0.50					
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior 5	Inferior 3	Superior 6	Inferior 3	Superior 5	Inferior 4	Superior 3	Inferior 4
	ϕ Long	mm	22	22	22	22	22	18	25	18
	Est ϕ	mm	12	12	8	8				
	Cada	cm	15	15	7	7				

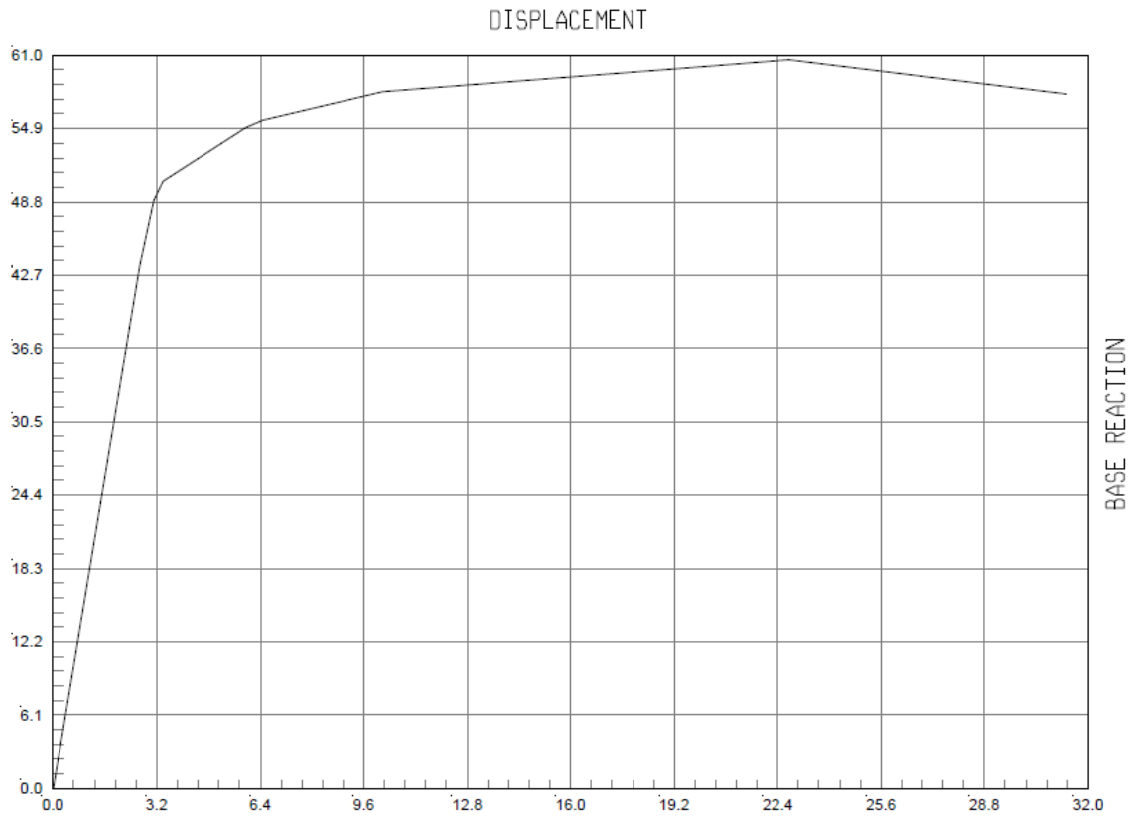


Análisis Pushover:





Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{31.322}{3.3843} = 9.26$$

$$T = 0.594 \text{ seg}; T > 0.5$$

$$R = \mu = 9.26$$

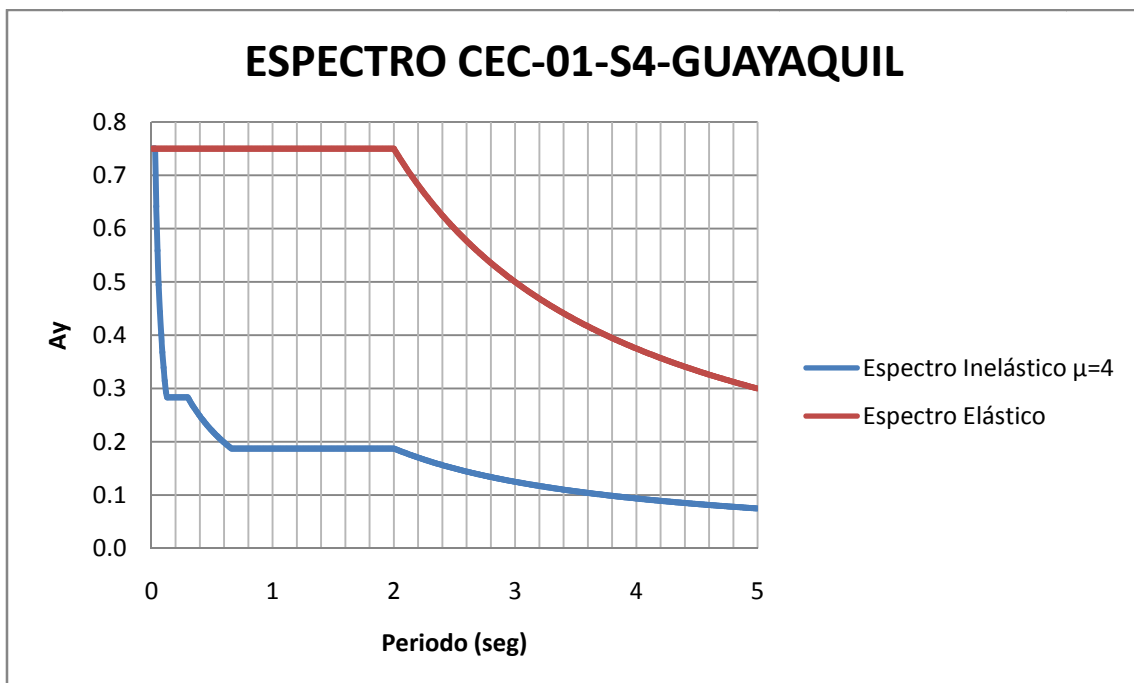


Pórtico # 5:

1 Piso, 2 Vanos

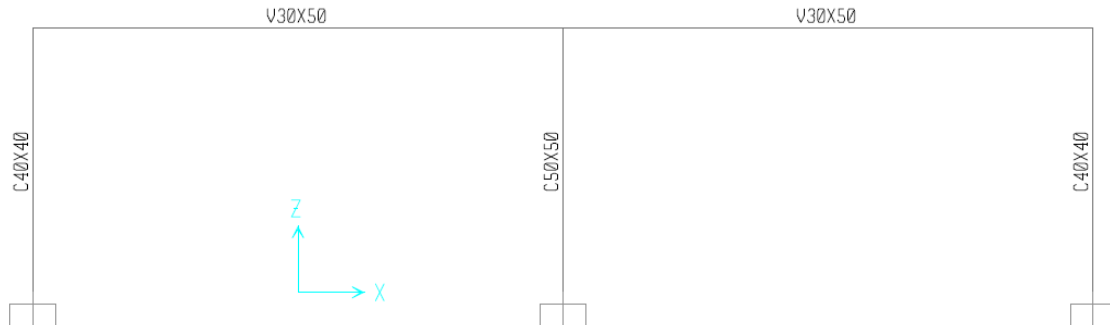
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

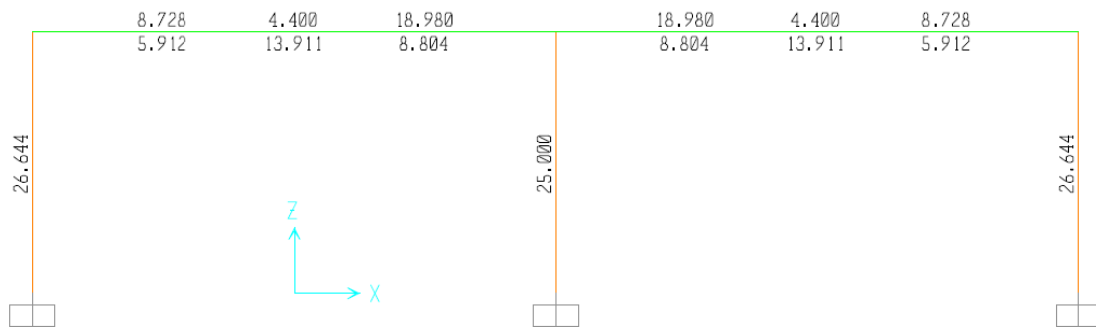




Dimensiones (cm):



Diseño (cm2):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 3	EJE 2
			PISOS	PISOS
			1	1
DATOS	b	cm	40	40
	h	cm	40	40
	rec	cm	5	5
	d	cm	35	35
	φ	-	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	26.64	26.64
	# varillas	u	12	12
	φ req	mm	16.81	16.81
	φ elegido	mm	18	18
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	7.16	7.16
	Vr = Vu/φ	Ton	9.55	9.55
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0
	Vc	Ton	9.55	9.55
	Vs	Ton	0.032	0.032
	Av/S	cm ² /cm	10	10
	S	cm	0.325	0.325
	Av	cm ²	6.43	6.43
	φ req	mm	8	8
	φ elegido	mm	0.50	0.50
Av real	cm ²			
RESUMEN	# Varillas	u	12	12
	φ	mm	18	18
	Est φ	mm	8	8
	cada	cm	10	10



DISEÑO DE VIGAS

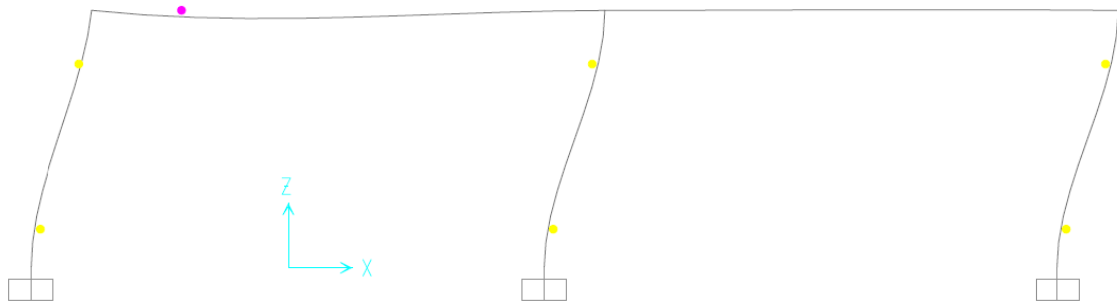
Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

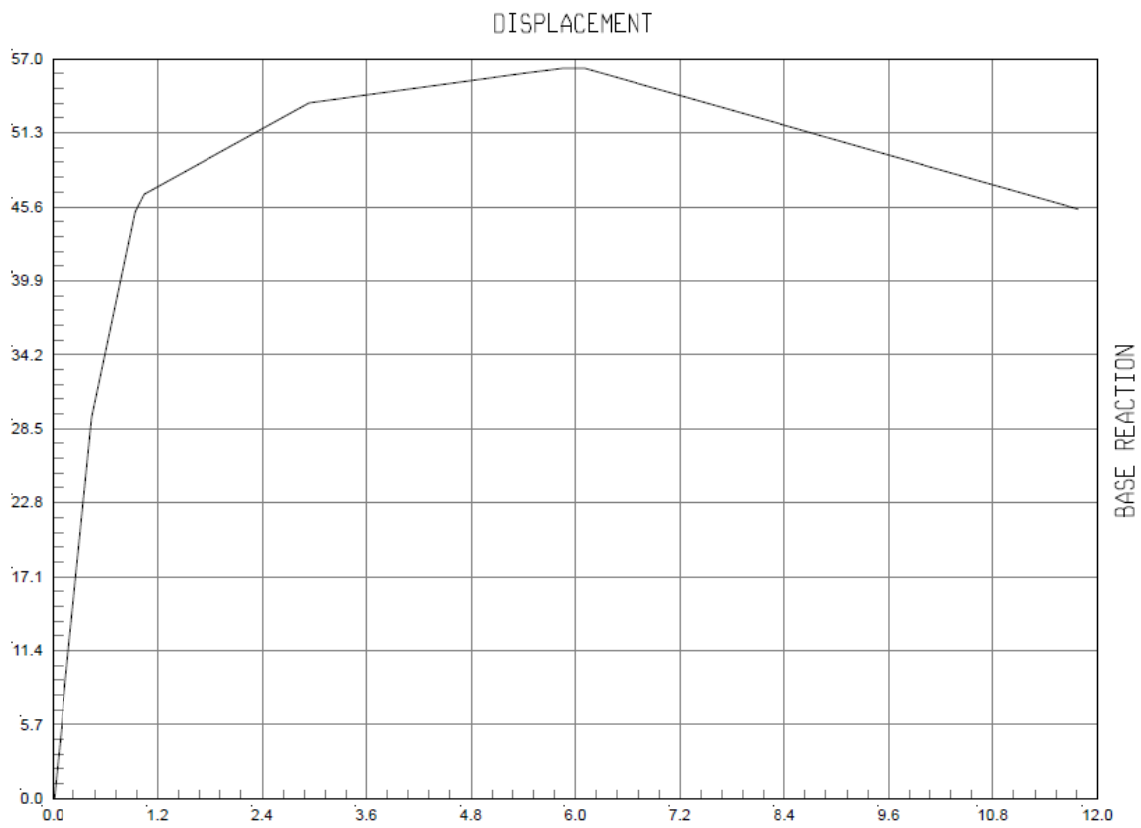
			EJE 1-2 = EJE 2-3		
			PISOS		
			1		
DATOS	b	cm	30		
	h	cm	50		
	rec	cm	5		
	d	cm	45		
	ϕ	-	0.9		
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	
			20.09	14.00	
	# varillas	u	6.00	4.00	
	ϕ req	mm	20.65	21.11	
	ϕ elegido	mm	22.00	22.00	
	As real	cm ²	22.81	15.21	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.40		
	L	m	6.00		
	L neta	m	5.60		
	qd	Ton/ml	5.00		
	ql	Ton/ml	2.00		
	ϕ	-	0.75		
		As real	cm ²	Superior	Inferior
				22.81	15.21
		ω	-	0.253	0.169
		Mr	Ton-m	36.66	25.87
		Mo = 1.4Mr	Ton-m	51.33	36.22
		Vm	Ton	15.63	
		Vg	Ton	19.6	
		Vu	Ton	35.23	
		Vr = Vu/ ϕ	Ton	46.98	
		Vr = Vs + Vc	Ton	46.98	
		Vc	Ton	11.97	
		Vs	Ton	35.01	
		Av/S	cm ² /cm	0.0926	
		S	cm	8	
		Av	cm ²	0.741	
		ϕ req	mm	9.71	
		ϕ elegido	mm	10	
	Av real	cm ²	0.79		
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	
			6	4	
	ϕ Long	mm	22	22	
	Est ϕ	mm	10		
	Cada	cm	8		



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{11.7788}{0.9347} = 12.60$$

$$T = 0.21508 \text{ seg}; T < 0.5$$

$$R = \sqrt{2 \cdot \mu - 1} = 4.92$$

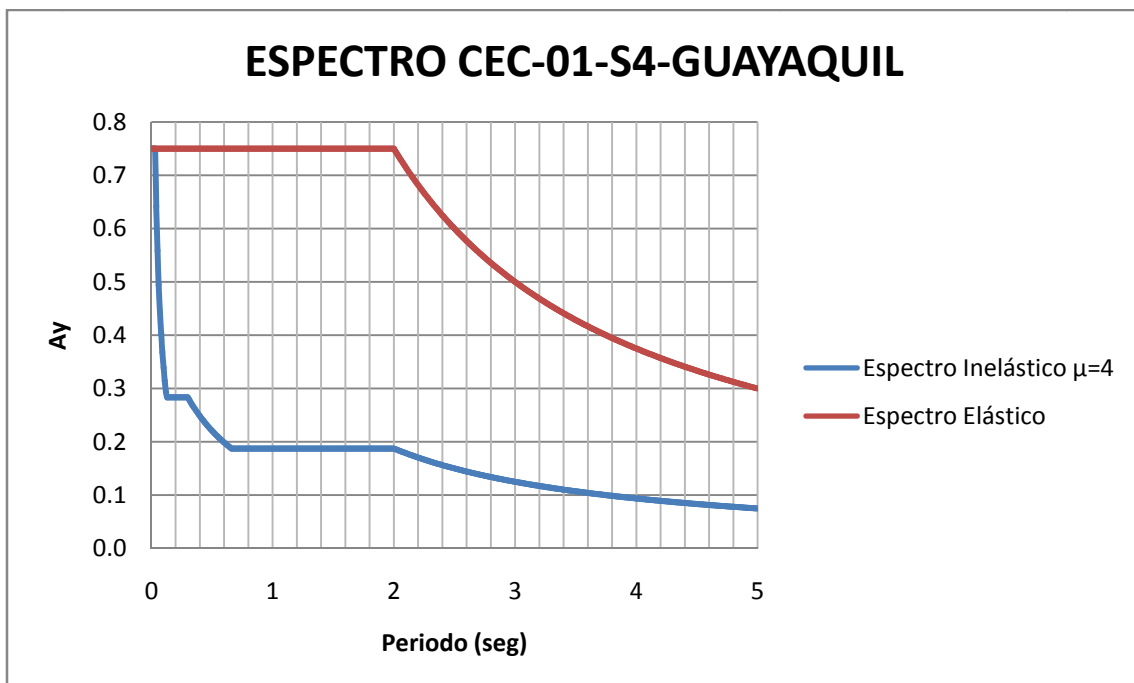


Pórtico # 6:

2 Pisos, 2 Vanos

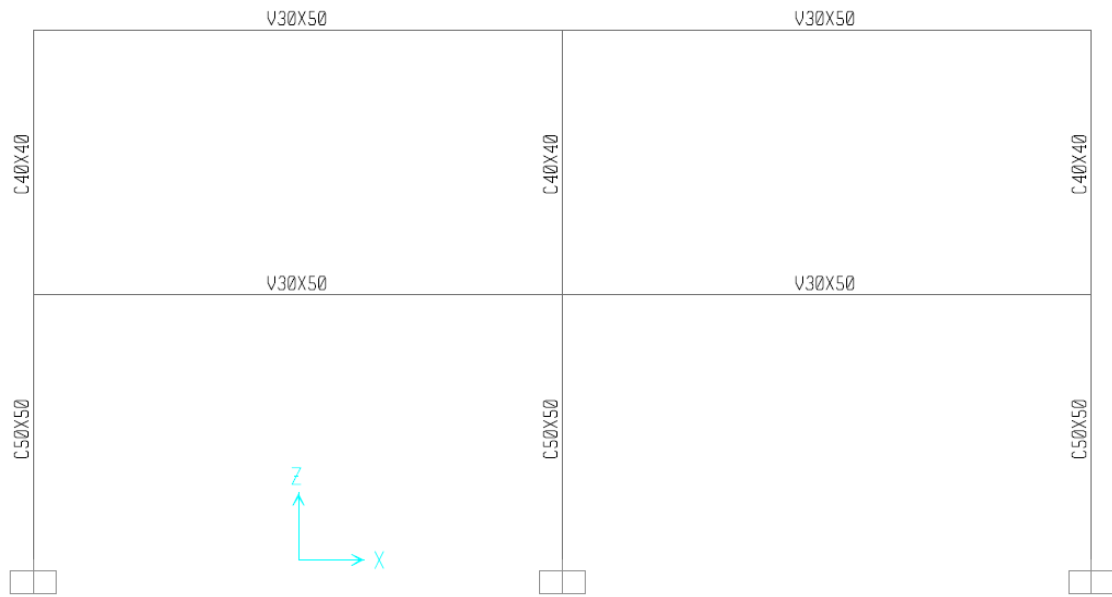
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

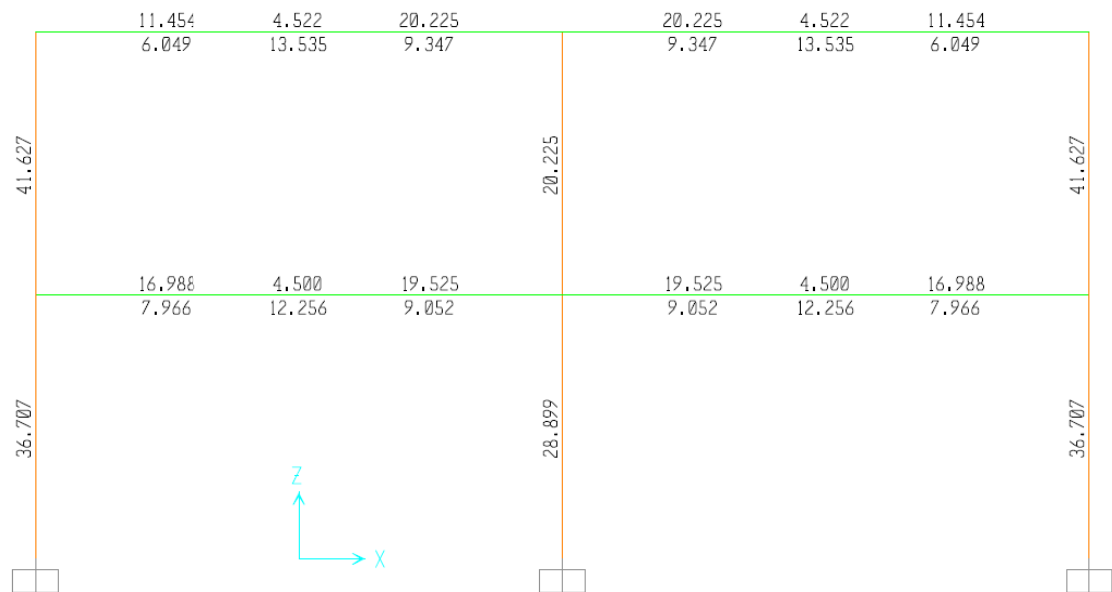




Dimensiones (cm):



Diseño (cm²):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 3		EJE 2	
			PISOS		PISOS	
			1	2	1	2
DATOS	b	cm	50	40	50	40
	h	cm	50	40	50	40
	rec	cm	5	5	5	5
	d	cm	45	35	45	35
	φ	-	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	36.71	41.63	28.90	20.23
	# varillas	u	12	16	12	8
	φ req	mm	19.74	18.20	17.51	17.94
	φ elegido	mm	20	18	18	18
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	12.75	13.40	9.49	7.44
	Vr = Vu/φ	Ton	17.00	17.87	12.65	9.92
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0
	Vc	Ton	17.00	17.87	12.65	9.92
	Vs	Ton	0.045	0.061	0.033	0.034
	Av/S	cm ² /cm	10	10	10	10
	S	cm	0.450	0.608	0.335	0.337
	Av	cm ²	7.57	8.80	6.53	6.55
	φ req	mm	8	10	8	8
	φ elegido	mm	0.50	0.79	0.50	0.50
Av real	cm ²					
RESUMEN	# Varillas	u	12	16	12	8
	φ	mm	20	18	18	18
	Est φ	mm	8	10	8	8
	cada	cm	10	10	10	10



DISEÑO DE VIGAS

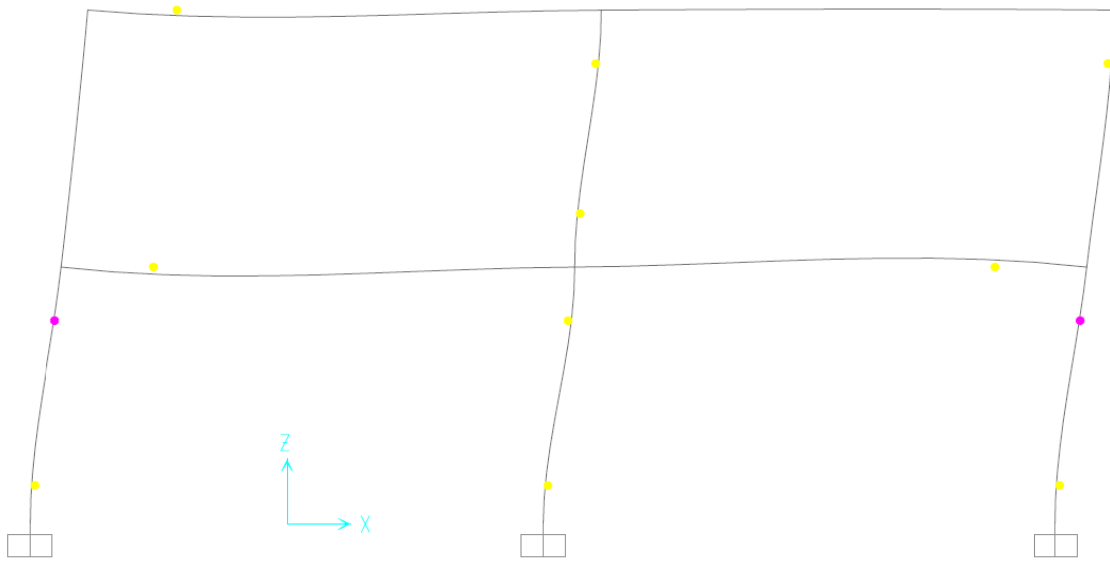
Propiedades

$f'c =$ 280 kg/cm²
 $f_y =$ 4200 kg/cm²

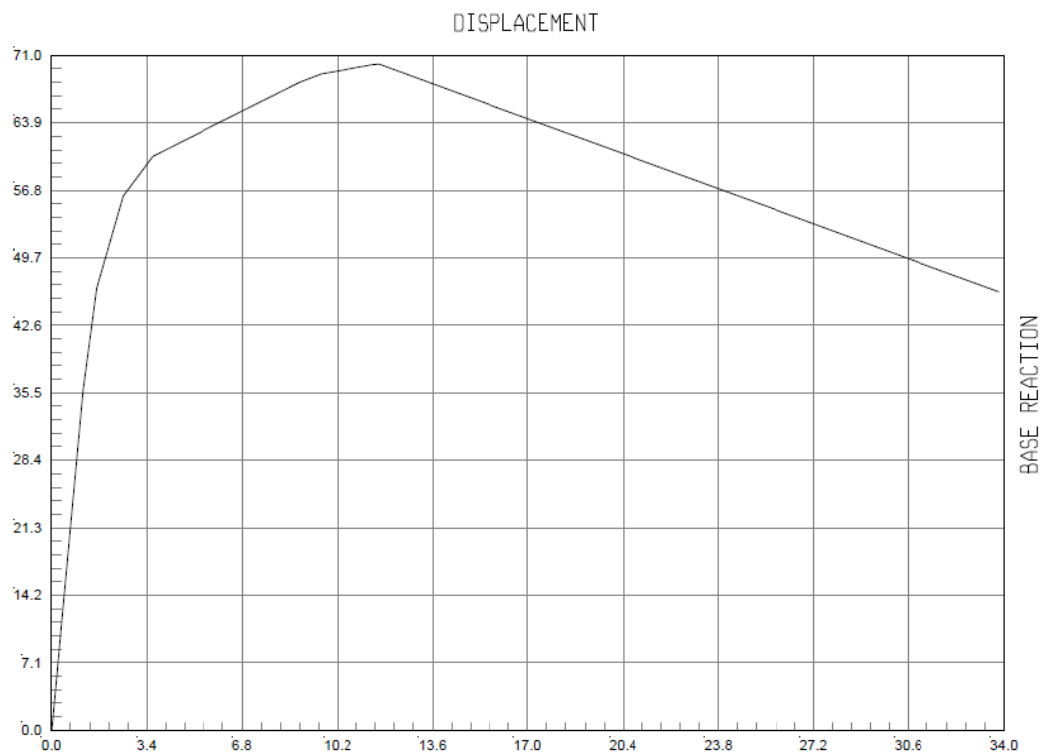
			EJE 1-2 = EJE 2-3				
			PISOS				
			1		2		
DATOS	b	cm	30		30		
	h	cm	50		50		
	rec	cm	5		5		
	d	cm	45		45		
	ϕ	-	0.9		0.9		
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
			19.53	12.26	20.23	13.54	
	# varillas	u	5.00	4.00	6.00	4.00	
	ϕ req	mm	22.30	19.75	20.72	20.76	
	ϕ elegido	mm	24.00	20.00	22.00	22.00	
	As real	cm ²	22.62	12.57	22.81	15.21	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.50		0.40		
	L	m	6.00		6.00		
	L neta	m	5.50		5.60		
	qd	Ton/ml	5.00		5.00		
	ql	Ton/ml	2.00		2.00		
	ϕ	-	0.75		0.75		
		As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior
				22.62	12.57	22.81	15.21
		ω	-	0.251	0.140	0.253	0.169
		Mr	Ton-m	36.41	21.79	36.66	25.87
		Mo = 1.4Mr	Ton-m	50.98	30.51	51.33	36.22
		Vm	Ton	14.82		15.63	
		Vg	Ton	19.25		19.6	
		Vu	Ton	34.07		35.23	
		Vr = Vu/ ϕ	Ton	45.42		46.98	
		Vr = Vs + Vc	Ton	45.42		46.98	
		Vc	Ton	11.97		11.97	
		Vs	Ton	33.45		35.01	
		Av/S	cm ² /cm	0.0885		0.0926	
		S	cm	10		10	
		Av	cm ²	0.885		0.926	
		ϕ req	mm	10.61		10.86	
		ϕ elegido	mm	12		12	
	Av real	cm ²	1.13		1.13		
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
			5	4	6	4	
	ϕ Long	mm	24	20	22	22	
	Est ϕ	mm	12		12		
	Cada	cm	10		10		



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{20.2143}{1.5907} = 12.708$$

$$T = 0.40344 \text{ seg}; T < 0.5$$

$$R = \sqrt{2 \cdot \mu - 1} = 4.94$$

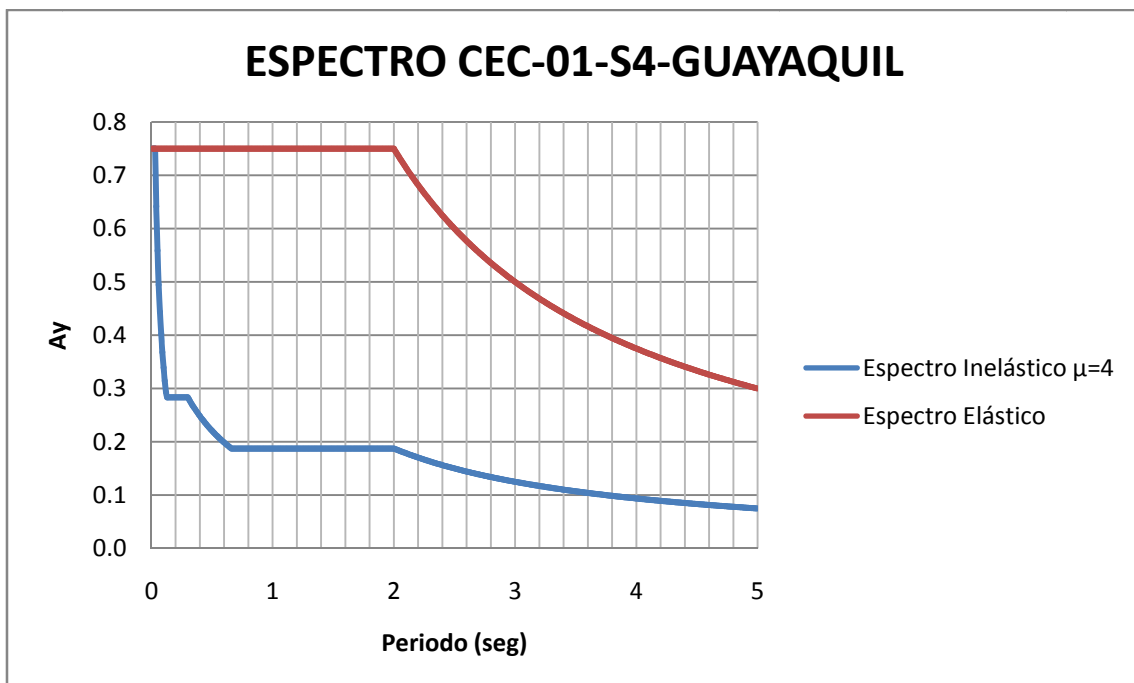


Pórtico # 7:

3 Pisos, 2 Vanos

Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

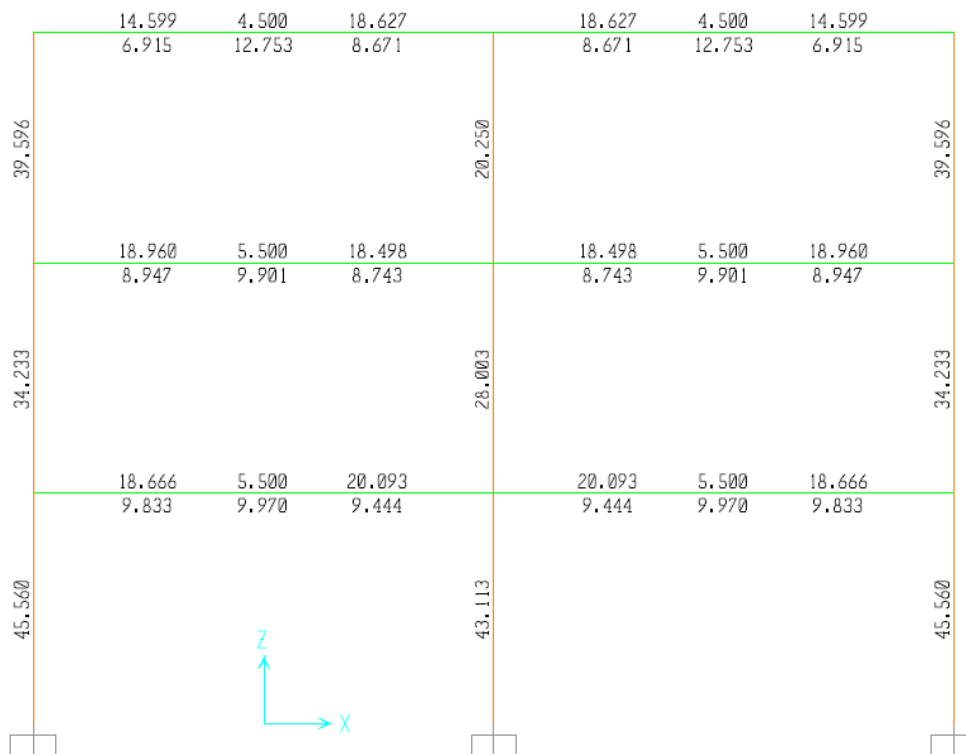




Dimensiones (cm):



Diseño (cm2):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 3			EJE 2		
			PISOS			PISOS		
			1	2	3	1	2	3
DATOS	b	cm	50	50	50	50	45	45
	h	cm	50	50	50	50	45	45
	rec	cm	5	5	5	5	5	5
	d	cm	45	45	45	45	40	40
	φ	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	45.56	34.23	39.60	43.11	28.00	20.25
	# varillas	u	12	12	16	12	12	8
	φ req	mm	21.99	19.06	17.75	21.39	17.24	17.95
	φ elegido	mm	22	20	18	22	18	18
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	15.40	16.70	15.96	15.58	12.84	9.16
	Vr = Vu/φ	Ton	20.53	22.27	21.28	20.77	17.12	12.21
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0	0	0
	Vc	Ton	20.53	22.27	21.28	20.77	17.12	12.21
	Vs	Ton	0.054	0.059	0.056	0.055	0.051	0.036
	Av/S	cm ² /cm	9	8	8	9	9	10
	S	cm	0.489	0.471	0.450	0.495	0.459	0.363
	Av	cm ²	7.89	7.75	7.57	7.94	7.64	6.80
	φ req	mm	8	8	8	8	8	8
φ elegido	mm	8	8	8	8	8	8	
Av real	cm ²	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
RESUMEN	# Varillas	u	12	12	16	12	12	8
	φ	mm	22	20	18	22	18	18
	Est φ	mm	8	8	8	8	8	8
	cada	cm	9	8	8	9	9	10



DISEÑO DE VIGAS

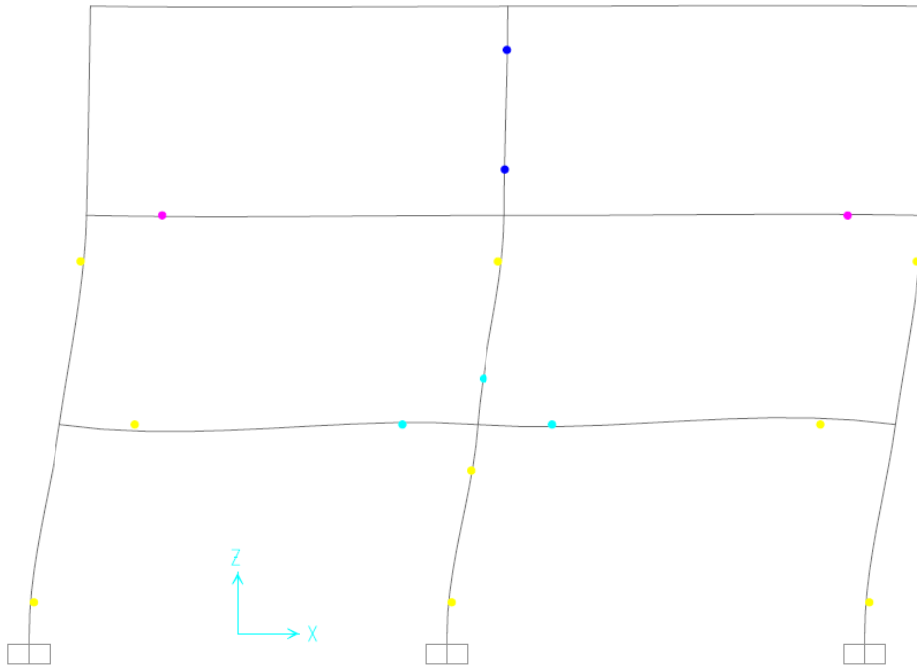
Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

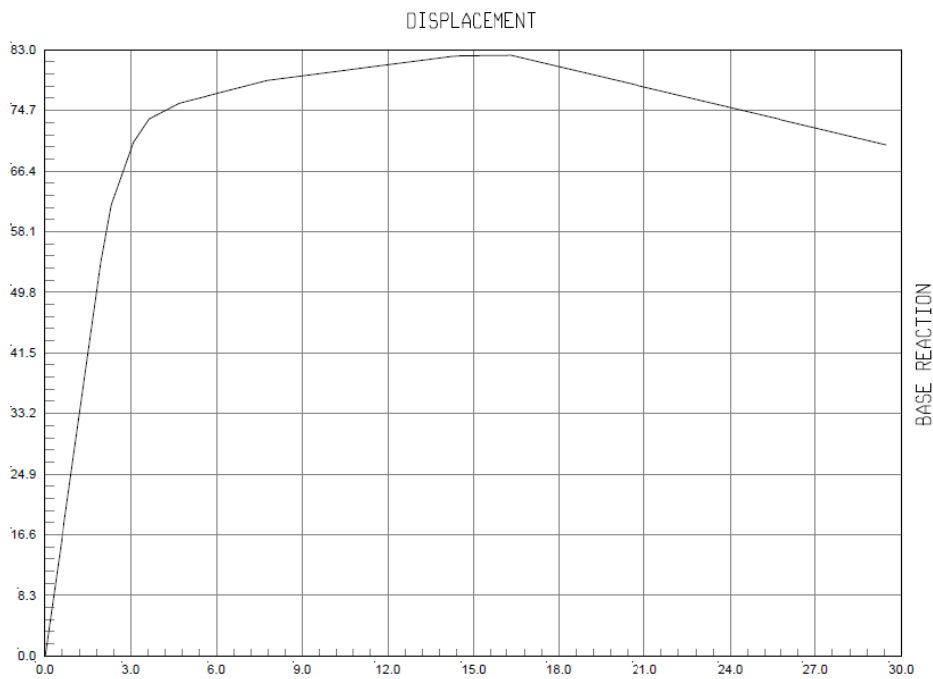
			EJE A					
			PISOS					
			1	2	3			
DATOS	b	cm	30	30	30			
	h	cm	60	60	50			
	rec	cm	5	5	5			
	d	cm	55	55	45			
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9			
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			20.09	9.97	18.96	9.90	18.63	8.67
	# varillas	u	6.00	4.00	5.00	4.00	5.00	3.00
	ϕ req	mm	20.65	17.81	21.97	17.75	21.78	19.18
	ϕ elegido	mm	22.00	18.00	22.00	18.00	22.00	20.00
As real	cm ²	22.81	10.18	19.01	10.18	19.01	9.42	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.50	0.48	0.48			
	L	m	6.00	6.00	6.00			
	L neta	m	5.50	5.53	5.53			
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00			
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00			
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75			
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			22.81	10.18	19.01	10.18	19.01	9.42
	ω	-	0.207	0.093	0.173	0.093	0.211	0.105
	Mr	Ton-m	46.24	22.23	39.43	22.23	31.45	16.71
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	64.74	31.12	55.20	31.12	44.03	23.40
	Vm	Ton	17.43	15.62	12.20			
	Vg	Ton	19.25	19.3375	19.3375			
	Vu	Ton	36.68	34.96	31.54			
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	48.91	46.62	42.05			
	Vr = Vs + Vc							
	Vc	Ton	14.63	14.63	11.97			
	Vs	Ton	34.27	31.98	30.08			
	Av/S	cm ² /cm	0.0742	0.0692	0.0796			
	S	cm	15	16	14			
	Av	cm ²	1.113	1.108	1.114			
	ϕ req	mm	11.90	11.88	11.91			
	ϕ elegido	mm	12	12	12			
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13				
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			6	4	5	4	5	3
	ϕ Long	mm	22	18	22	18	22	20
	Est ϕ	mm	12	12	12			
Cada	cm	15	16	14				



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{26.814}{2.2933} = 11.69$$

$$T = 0.5282 \text{ seg}; T > 0.5$$

$$R = \mu = 11.69$$

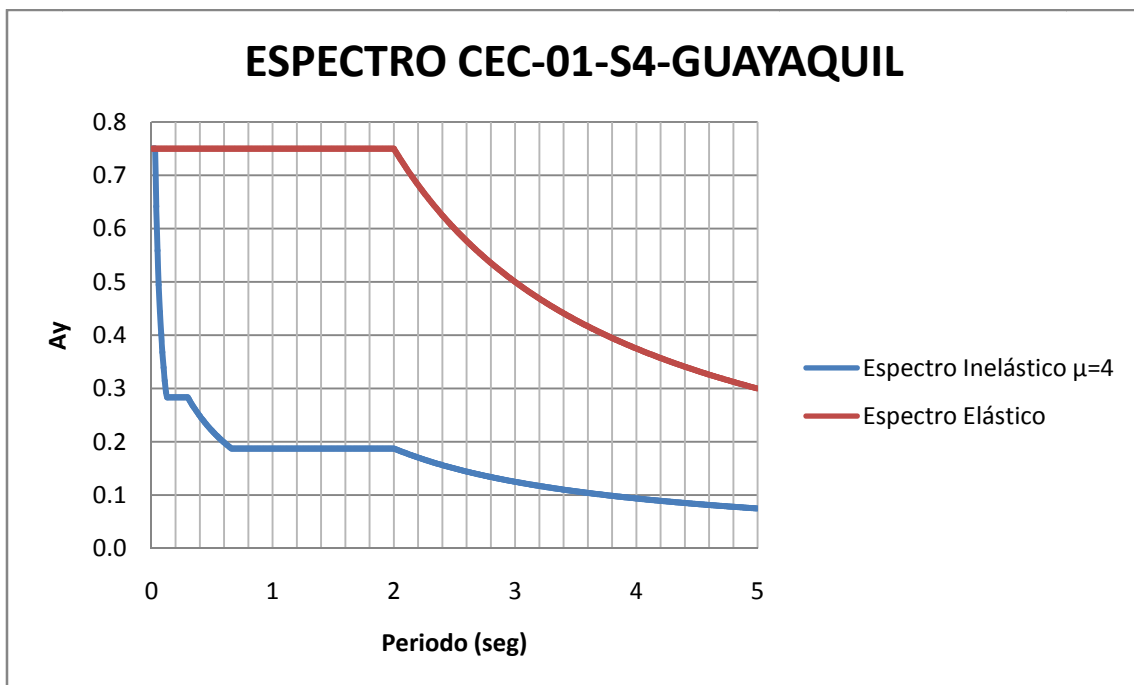


Pórtico # 8:

4 Pisos, 2 Vanos

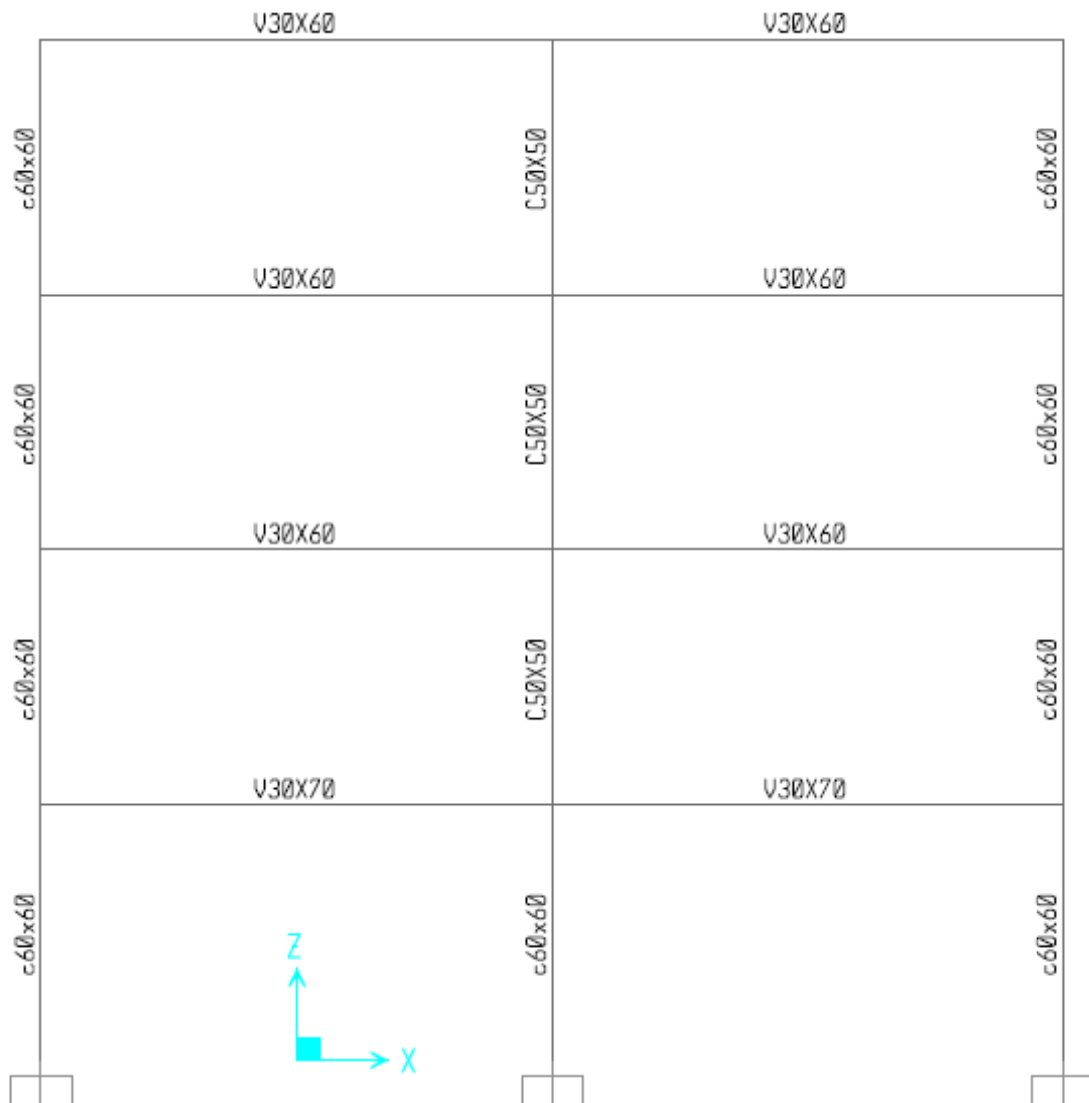
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4



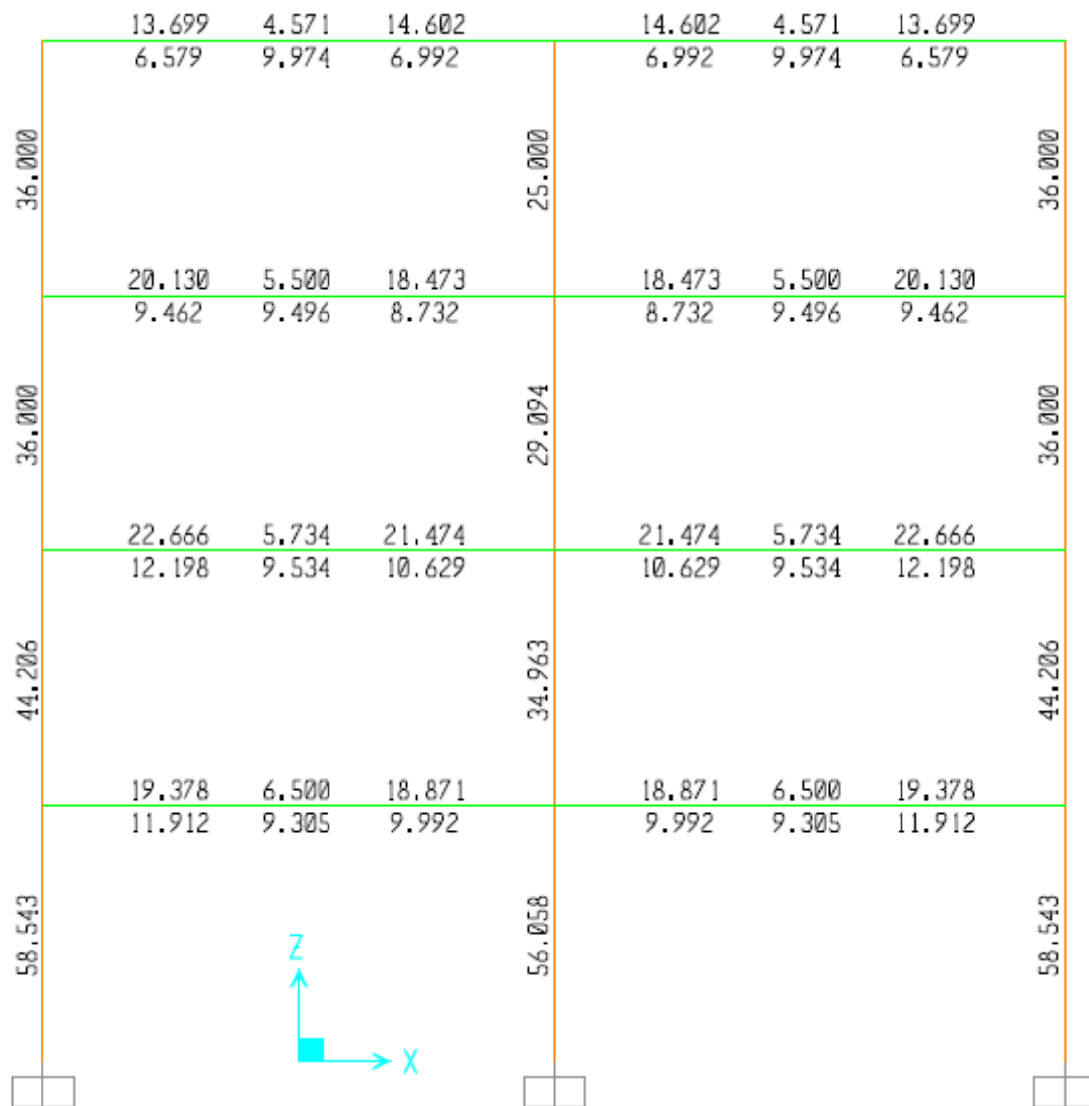


Dimensiones (cm):





Diseño (cm²):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 3				EJE 2			
			PISOS				PISOS			
			1	2	3	4	1	2	3	4
DATOS	b	cm	60	60	60	60	60	50	50	50
	h	cm	60	60	60	60	60	50	50	50
	rec	cm	5	5	5	5	5	5	5	5
	d	cm	55	55	55	55	55	45	45	45
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	58.54	44.21	36.00	36.00	56.06	34.96	29.09	25.00
	# varillas	u	12	12	12	12	12	12	12	8
	ϕ req	mm	24.92	21.66	19.54	19.54	24.39	19.26	17.57	19.95
	ϕ elegido	mm	25	22	20	20	25	20	18	20
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	18.56	22.31	18.57	16.88	22.89	17.76	15.09	10.90
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	24.75	29.75	24.76	22.51	30.52	23.68	20.12	14.53
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vc	Ton	24.75	29.75	24.76	22.51	30.52	23.68	20.12	14.53
	Vs	Ton	0.054	0.064	0.054	0.049	0.066	0.063	0.053	0.038
	Av/S	cm ² /cm	9	7	9	10	7	8	9	13
	S	cm	0.482	0.451	0.482	0.487	0.462	0.501	0.479	0.500
	Av	cm ²	7.83	7.58	7.84	7.88	7.67	7.99	7.81	7.98
	ϕ req	mm	8	8	8	8	8	8	8	8
	ϕ elegido	mm	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
RESUMEN	# Varillas	u	12	12	12	12	12	12	12	8
	ϕ	mm	25	22	20	20	25	20	18	20
	Est ϕ	mm	8	8	8	8	8	8	8	8
	cada	cm	9	7	9	10	7	8	9	13



DISEÑO DE VIGAS

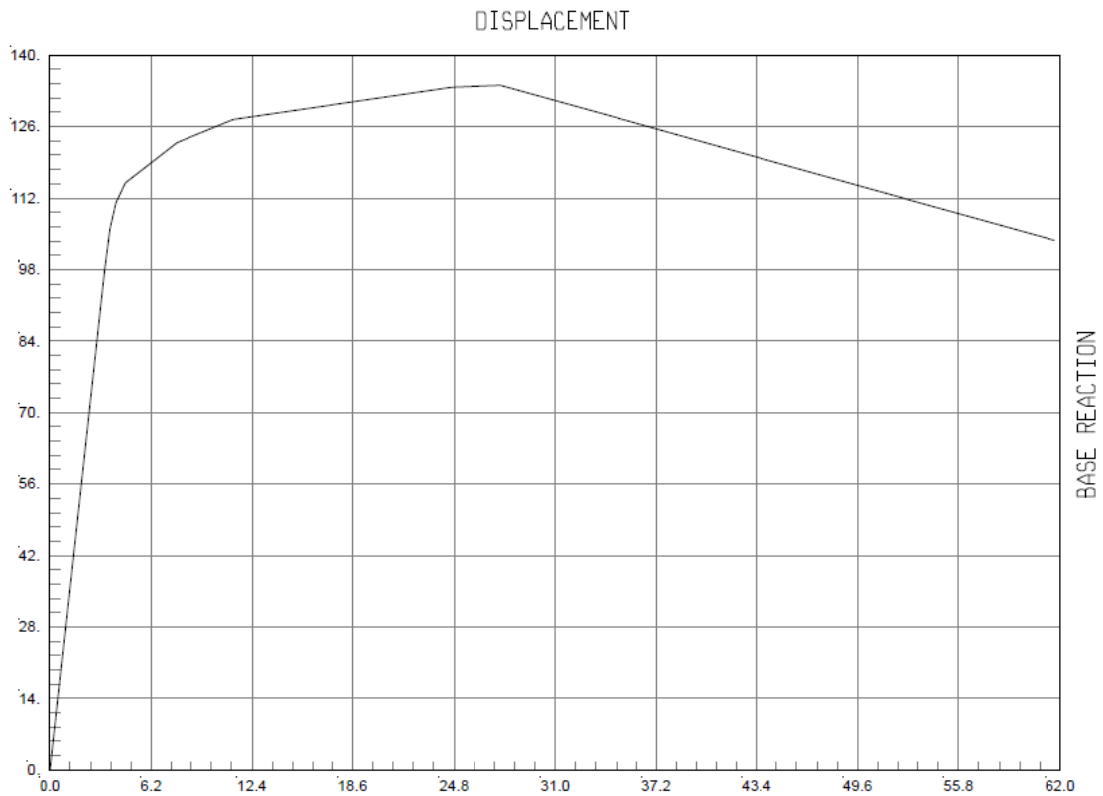
Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

			EJE 1-2 = EJE 2-3							
			PISOS							
			1	2	3	4				
DATOS	b	cm	30	30	30	30				
	h	cm	70	60	60	60				
	rec	cm	5	5	5	5				
	d	cm	65	55	55	55				
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9	0.9				
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.38	11.91	22.67	12.20	20.13	9.50	14.60	9.97
	# varillas	u	4.00	4.00	6.00	4.00	6.00	4.00	3.00	4.00
	ϕ req	mm	24.84	19.47	21.93	19.71	20.67	17.39	24.89	17.81
	ϕ elegido	mm	25.00	20.00	22.00	20.00	22.00	18.00	25.00	18.00
	As real	cm ²	19.63	12.57	22.81	12.57	22.81	10.18	14.73	10.18
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.60	0.55	0.55	0.55				
	L	m	6.00	6.00	6.00	6.00				
	L neta	m	5.40	5.45	5.45	5.45				
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00	5.00				
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00	2.00				
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75	0.75				
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.63	12.57	22.81	12.57	22.81	10.18	14.73	10.18
	ω	-	0.151	0.097	0.207	0.114	0.207	0.093	0.134	0.093
	Mr	Ton-m	48.83	32.35	46.24	27.07	46.24	22.23	31.33	22.23
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	68.36	45.29	64.74	37.90	64.74	31.12	43.86	31.12
	Vm	Ton	21.05	18.83	17.59	13.76				
	Vg	Ton	18.9	19.075	19.075	19.075				
	Vu	Ton	39.95	37.91	36.66	32.83				
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	53.26	50.54	48.88	43.78				
	Vr = Vs + Vc									
	Vc	Ton	17.29	14.63	14.63	14.63				
	Vs	Ton	35.97	35.91	34.25	29.14				
	Av/S	cm ² /cm	0.0659	0.0777	0.0741	0.0631				
	S	cm	7	14	15	8				
	Av	cm ²	0.461	1.088	1.112	0.505				
	ϕ req	mm	7.66	11.77	11.90	8.02				
ϕ elegido	mm	8	12	12	8					
Av real	cm ²	0.50	1.13	1.13	0.50					
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			4	4	6	4	6	4	3	4
	ϕ Long	mm	25	20	22	20	22	18	25	18
	Est ϕ	mm	8	12	12	8				
Cada	cm	7	14	15	8					



Curva Pushover "Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)"



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{61.615}{4.03} = 15.30$$

$$T = 0.606 \text{ seg}; T > 0.5$$

$$R = \mu = 15.30$$

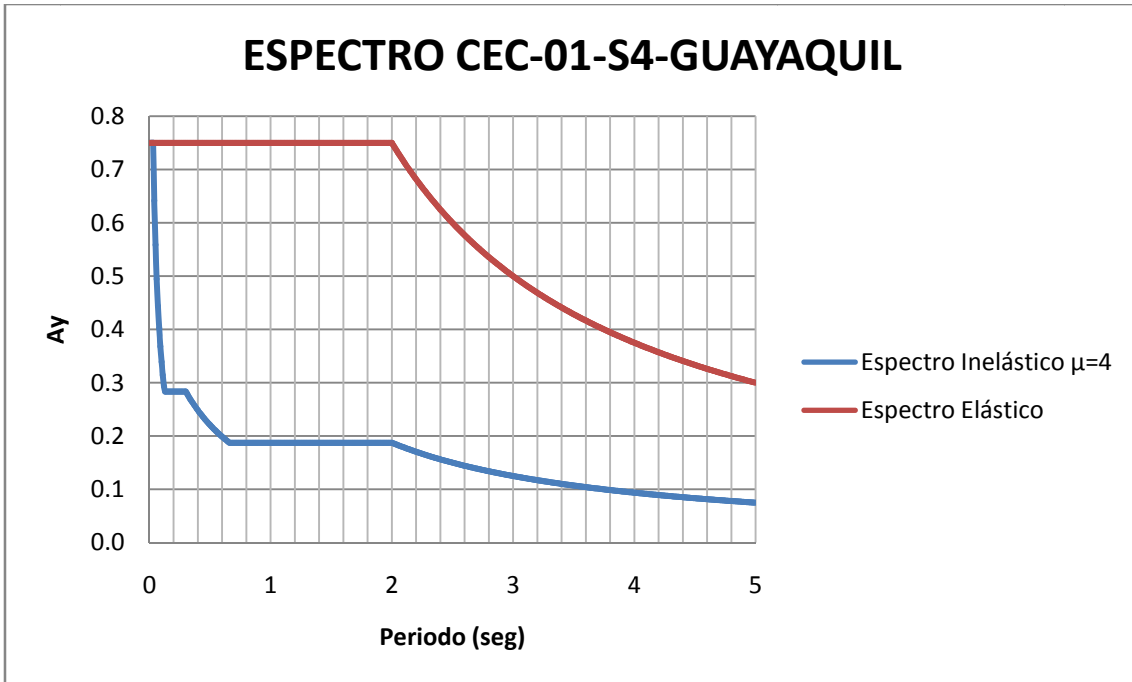


Pórtico # 9:

1 Piso, 3 Vanos

Espectro de Diseño

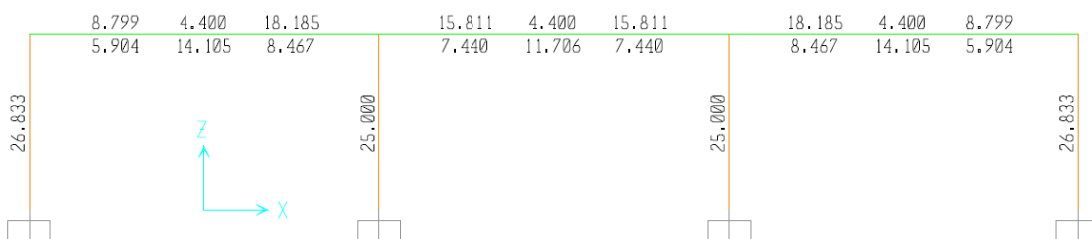
Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4



Dimensiones (cm):



Diseño (cm²):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 4	EJE 2 = EJE 3
			PISOS	PISOS
			1	1
DATOS	b	cm	40	50
	h	cm	40	50
	rec	cm	5	5
	d	cm	35	45
	φ	-	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	26.83	25.00
	# varillas	u	12	12
	φ req	mm	16.87	16.29
	φ elegido	mm	18	18
	DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	4.53
Vr = Vu/φ		Ton	6.04	9.40
Vr = Vs + Vc		Ton	0	0
Vc		Ton	6.04	9.40
Vs		Ton	0.021	0.025
Av/S		cm ² /cm	10	10
S		cm	0.205	0.249
Av		cm ²	5.11	5.63
φ req		mm	8	8
φ elegido		mm	0.50	0.50
RESUMEN	# Varillas	u	12	12
	φ	mm	18	18
	Est φ	mm	8	8
	cada	cm	10	10



DISEÑO DE VIGAS

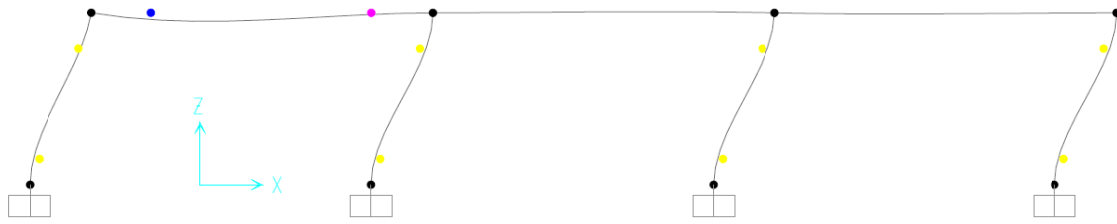
Propiedades

$f'c =$ 280 kg/cm²
 $f_y =$ 4200 kg/cm²

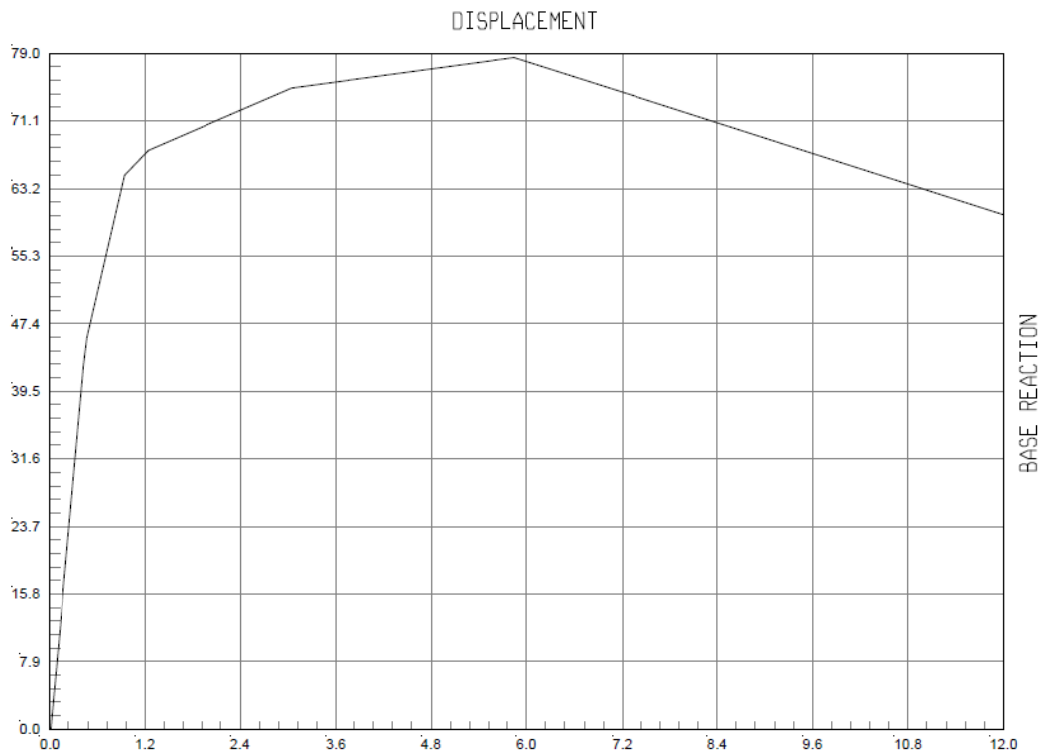
			EJE 1-2 = EJE 3-4		EJE 2-3	
			PISOS		PISOS	
			1		1	
DATOS	b	cm	30		30	
	h	cm	50		50	
	rec	cm	5		5	
	d	cm	45		45	
	ϕ	-	0.9		0.9	
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			18.19	14.10	15.80	11.70
	# varillas	u	4.00	4.00	4.00	4.00
	ϕ req	mm	24.06	21.19	22.43	19.30
	ϕ elegido	mm	24.00	22.00	24.00	20.00
	As real	cm ²	18.10	15.21	18.10	12.57
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.55		0.50	
	L	m	6.00		6.00	
	L neta	m	5.45		5.50	
	qd	Ton/ml	5.00		5.00	
	ql	Ton/ml	2.00		2.00	
	ϕ	-	0.75		0.75	
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			18.10	15.21	18.10	12.57
	ω	-	0.201	0.169	0.201	0.140
	Mr	Ton-m	30.14	25.87	30.14	21.79
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	42.20	36.22	42.20	30.51
	Vm	Ton	14.39		13.22	
	Vg	Ton	19.075		19.25	
	Vu	Ton	33.46		32.47	
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	44.62		43.29	
	Vr = Vs + Vc					
	Vc	Ton	11.97		11.97	
	Vs	Ton	32.65		31.32	
	Av/S	cm ² /cm	0.0864		0.0829	
	S	cm	12		12	
	Av	cm ²	1.036		0.994	
ϕ req	mm	11.49		11.25		
ϕ elegido	mm	12		12		
Av real	cm ²	1.13		1.13		
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			4	4	4	4
	ϕ Long	mm	24	22	24	20
	Est ϕ	mm	12		12	
Cada	cm	12		12		



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{11.9905}{0.9299} = 12.89$$

$$T = 0.21259 \text{ seg}; T < 0.5$$

$$R = \sqrt{2 \cdot \mu - 1} = 4.98$$

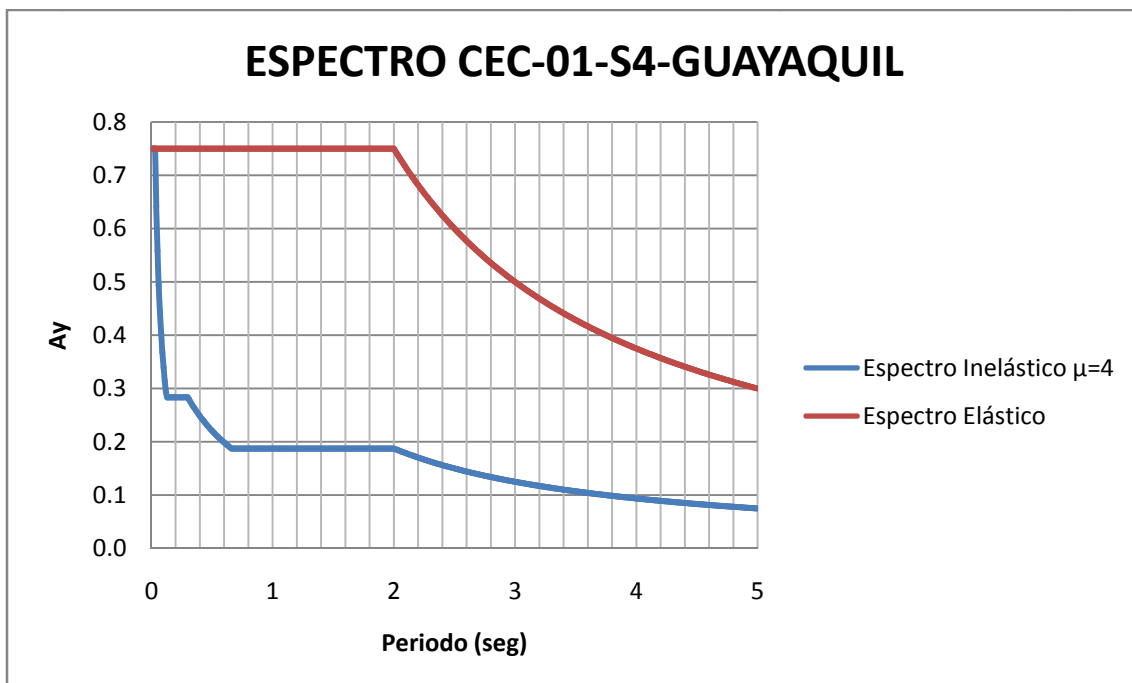


Pórtico # 10:

2 Pisos, 3 Vanos

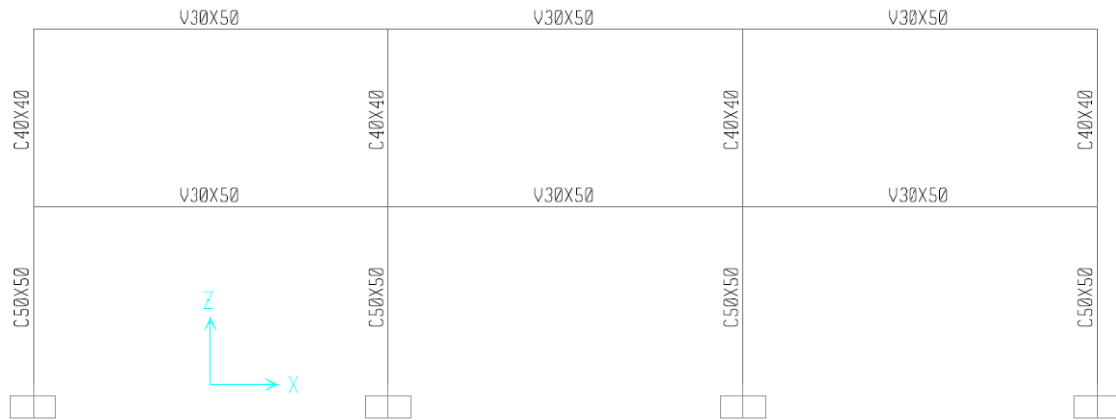
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

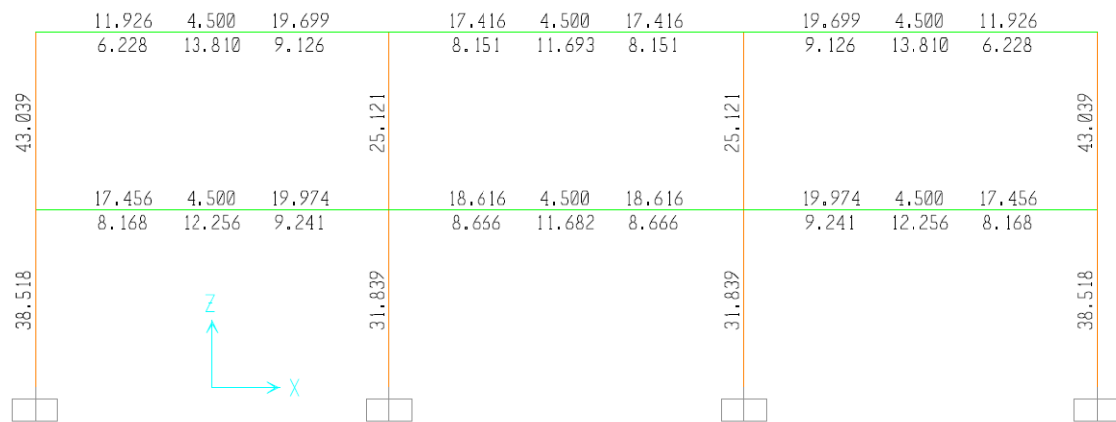




Dimensiones (cm):



Diseño (cm²):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 4		EJE 2 = EJE3	
			PISOS		PISOS	
			1	2	1	2
DATOS	b	cm	50	40	50	40
	h	cm	50	40	50	40
	rec	cm	5	5	5	5
	d	cm	45	35	45	35
	φ	-	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	38.52	42.04	31.84	25.12
	# varillas	u	16	12	16	8
	φ req	mm	17.51	21.12	15.92	19.99
	φ elegido	mm	18	22	16	20
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	13.28	13.76	10.05	8.77
	Vr = Vu/φ	Ton	17.71	18.35	13.40	11.69
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0
	Vc	Ton	0	0	0	0
	Vs	Ton	17.71	18.35	13.40	11.69
	Av/S	cm ² /cm	0.047	0.062	0.035	0.040
	S	cm	10	8	14	12
	Av	cm ²	0.468	0.499	0.496	0.477
	φ req	mm	7.72	7.97	7.95	7.80
	φ elegido	mm	8	8	8	8
	Av real	cm ²	0.50	0.50	0.50	0.50
RESUMEN	# Varillas	u	16	12	16	8
	φ	mm	18	22	16	20
	Est φ	mm	8	8	8	8
	cada	cm	10	8	14	12



DISEÑO DE VIGAS

Propiedades

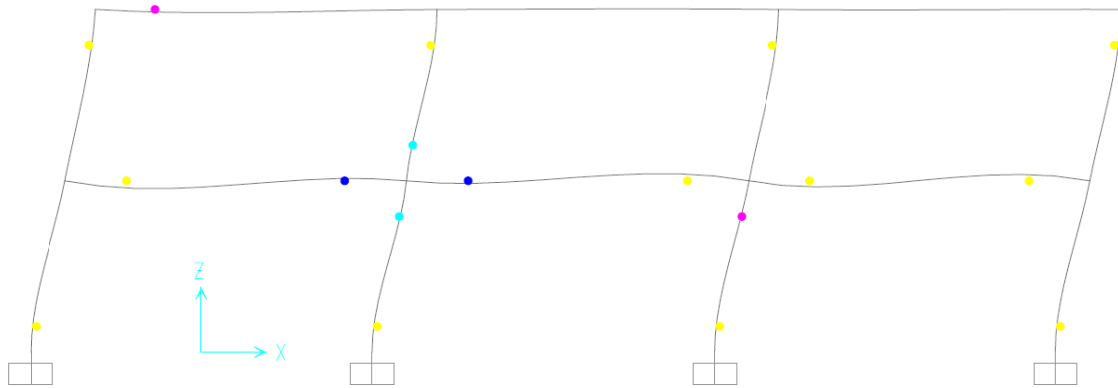
$f'c = 280$ kg/cm²

$f_y = 4200$ kg/cm²

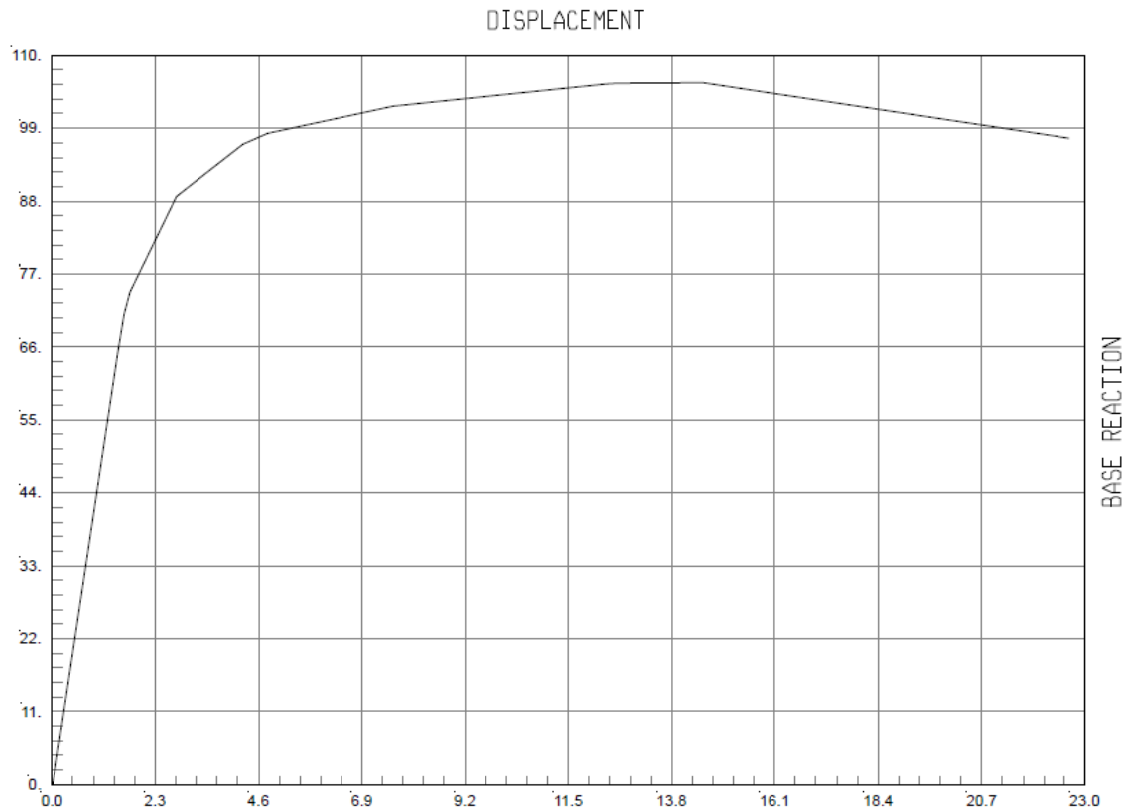
			EJE 1-2 = EJE 3-4				EJE 2-3			
			PISOS				PISOS			
			1	2	1	2	1	2	1	2
DATOS	b	cm	30	30	30	30	30	30	30	30
	h	cm	50	50	50	50	50	50	50	50
	rec	cm	5	5	5	5	5	5	5	5
	d	cm	45	45	45	45	45	45	45	45
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.97	12.26	19.70	13.81	17.42	11.69	18.62	11.48
	# varillas	u	6.00	4.00	6.00	6.00	5.00	4.00	4.00	4.00
	ϕ req	mm	20.59	19.75	20.45	17.12	21.06	19.29	24.35	19.12
	ϕ elegido	mm	22.00	20.00	22.00	18.00	22.00	20.00	25.00	20.00
As real	cm ²	22.81	12.57	22.81	15.27	19.01	12.57	19.63	12.57	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.50	0.40	0.50	0.40	0.50	0.40	0.50	0.40
	L	m	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
	L neta	m	5.50	5.60	5.50	5.60	5.50	5.60	5.50	5.60
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			22.81	12.57	22.81	15.27	19.01	12.57	19.63	12.57
	ω	-	0.253	0.140	0.253	0.170	0.211	0.140	0.218	0.140
	Mr	Ton-m	36.66	21.79	36.66	25.97	31.45	21.79	32.33	21.79
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	51.33	30.51	51.33	36.36	44.03	30.51	45.27	30.51
	Vm	Ton	14.88	15.66	13.55	13.53	13.55	13.53	13.55	13.53
	Vg	Ton	19.25	19.6	19.25	19.6	19.25	19.6	19.25	19.6
	Vu	Ton	34.13	35.26	32.80	33.13	32.80	33.13	32.80	33.13
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	45.51	47.01	43.74	44.18	43.74	44.18	43.74	44.18
	Vr = Vs + Vc									
	Vc	Ton	11.97	11.97	11.97	11.97	11.97	11.97	11.97	11.97
	Vs	Ton	33.53	35.04	31.76	32.20	31.76	32.20	31.76	32.20
	Av/S	cm ² /cm	0.0887	0.0927	0.0840	0.0852	0.0840	0.0852	0.0840	0.0852
	S	cm	10	10	10	10	10	10	10	10
Av	cm ²	0.887	0.927	0.840	0.852	0.840	0.852	0.840	0.852	
ϕ req	mm	10.63	10.86	10.34	10.41	10.34	10.41	10.34	10.41	
ϕ elegido	mm	12	12	12	12	12	12	12	12	
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			6	4	6	6	5	4	4	4
	ϕ Long	mm	22	20	22	18	22	20	25	20
	Est ϕ	mm	12	12	12	12	12	12	12	12
Cada	cm	10	10	10	10	10	10	10	10	



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{21.8861}{1.7104} = 12.708$$

$$T = 0.41513 \text{ seg}; T < 0.5$$

$$R = \sqrt{2 \cdot \mu - 1} = 4.96$$

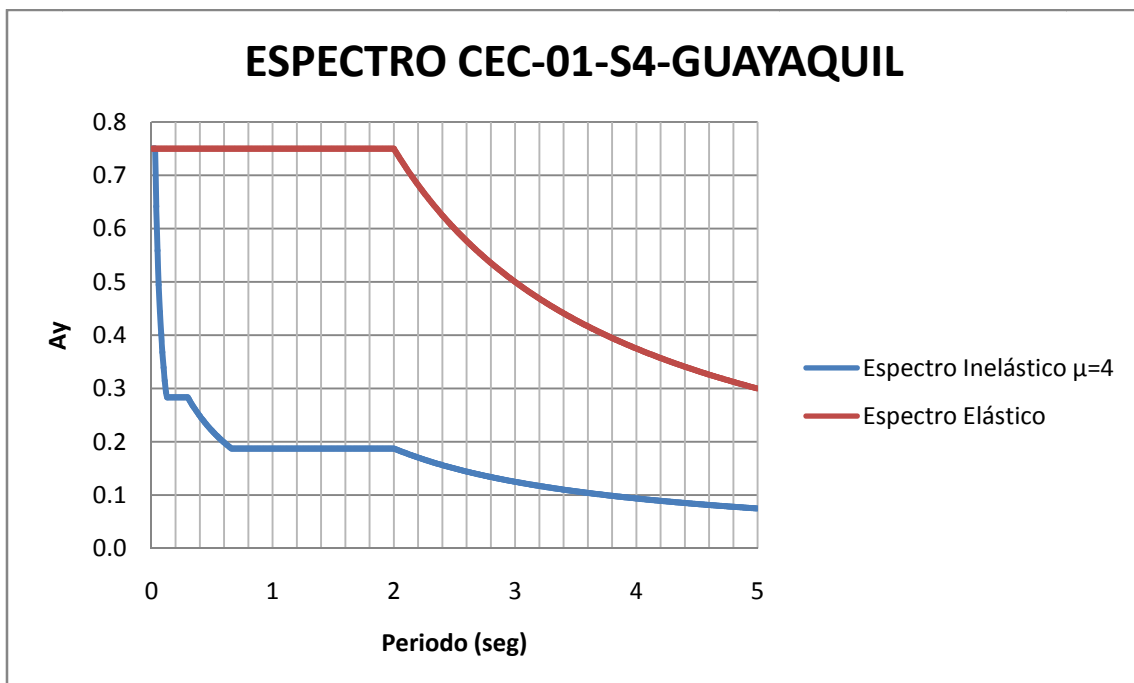


Pórtico # 11:

3 Pisos, 3 Vanos

Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

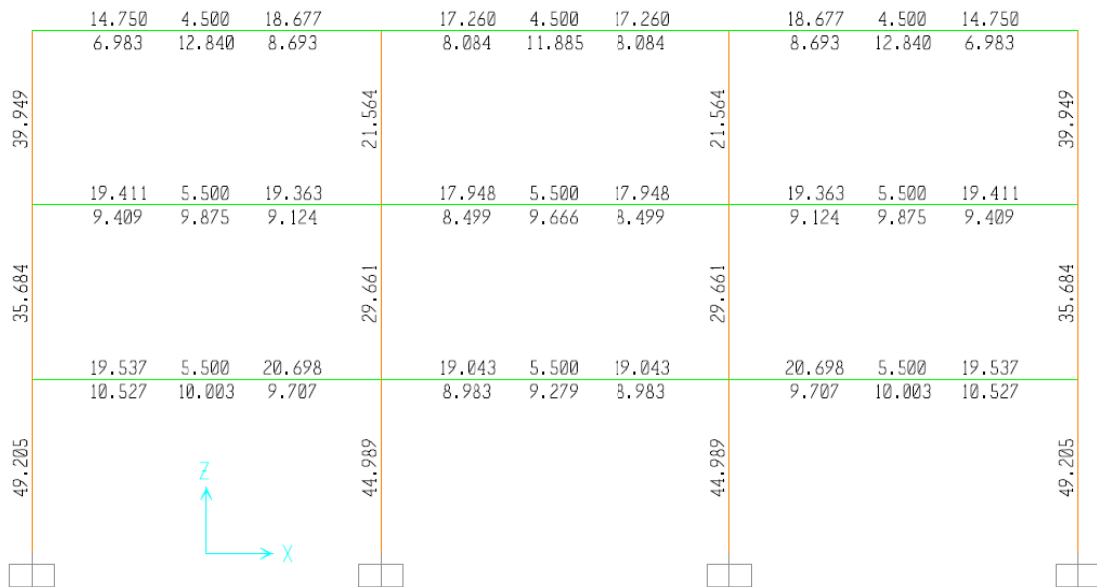




Dimensiones (cm):



Diseño (cm2):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1			EJE 2		
			PISOS			PISOS		
			1	2	3	1	2	3
DATOS	b	cm	50	50	50	50	45	45
	h	cm	50	50	50	50	45	45
	rec	cm	5	5	5	5	5	5
	d	cm	45	45	45	45	40	40
	φ	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	49.20	35.70	40.00	45.00	29.70	21.60
	# varillas	u	16	12	16	12	12	12
	φ req	mm	19.79	19.46	17.84	21.85	17.75	15.14
	φ elegido	mm	20	20	18	22	18	16
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	16.11	17.48	15.91	16.34	13.24	9.56
	Vr = Vu/φ	Ton	21.48	23.31	21.21	21.79	17.65	12.75
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0	0	0
	Vc	Ton	21.48	23.31	21.21	21.79	17.65	12.75
	Vs	Ton	0.057	0.062	0.056	0.058	0.053	0.038
	Av/S	cm ² /cm	8	8	8	8	9	10
	S	cm	0.455	0.493	0.449	0.461	0.473	0.379
	Av	cm ²	7.61	7.92	7.56	7.66	7.76	6.95
	φ req	mm	8	8	8	8	8	8
	φ elegido	mm	8	8	8	8	8	8
Av real	cm ²	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
RESUMEN	# Varillas	u	16	12	16	12	12	12
	φ	mm	20	20	18	22	18	16
	Est φ	mm	8	8	8	8	8	8
	cada	cm	8	8	8	8	9	10



DISEÑO DE VIGAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

			EJE A					
			PISOS					
			1	2	3			
DATOS	b	cm	30	30	30			
	h	cm	60	60	50			
	rec	cm	5	5	5			
	d	cm	55	55	45			
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9			
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			20.70	10.50	19.40	9.90	18.70	12.80
	# varillas	u	6.00	3.00	4.00	4.00	5.00	5.00
	ϕ req	mm	20.96	21.11	24.85	17.75	21.82	18.05
	ϕ elegido	mm	22.00	22.00	25.00	18.00	22.00	18.00
As real	cm ²	22.81	11.40	19.63	10.18	19.01	12.72	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.50	0.48	0.48			
	L	m	6.00	6.00	6.00			
	L neta	m	5.50	5.53	5.53			
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00			
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00			
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75			
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			22.81	11.40	19.63	10.18	19.01	12.72
	ω	-	0.207	0.104	0.178	0.093	0.211	0.141
	Mr	Ton-m	46.24	24.73	40.58	22.23	31.45	22.04
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	64.74	34.62	56.81	31.12	44.03	30.86
	Vm	Ton	18.07	15.92	13.55			
	Vg	Ton	19.25	19.3375	19.3375			
	Vu	Ton	37.32	35.25	32.89			
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	49.75	47.00	43.85			
	Vr = Vs + Vc							
	Vc	Ton	14.63	14.63	11.97			
	Vs	Ton	35.12	32.37	31.88			
	Av/S	cm ² /cm	0.0760	0.0701	0.0843			
	S	cm	14	16	13			
Av	cm ²	1.064	1.121	1.096				
ϕ req	mm	11.64	11.95	11.82				
ϕ elegido	mm	12	12	12				
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13				
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			6	3	4	4	5	5
	ϕ Long	mm	22	22	25	18	22	18
	Est ϕ	mm	12	12	12			
Cada	cm	14	16	13				



DISEÑO DE VIGAS

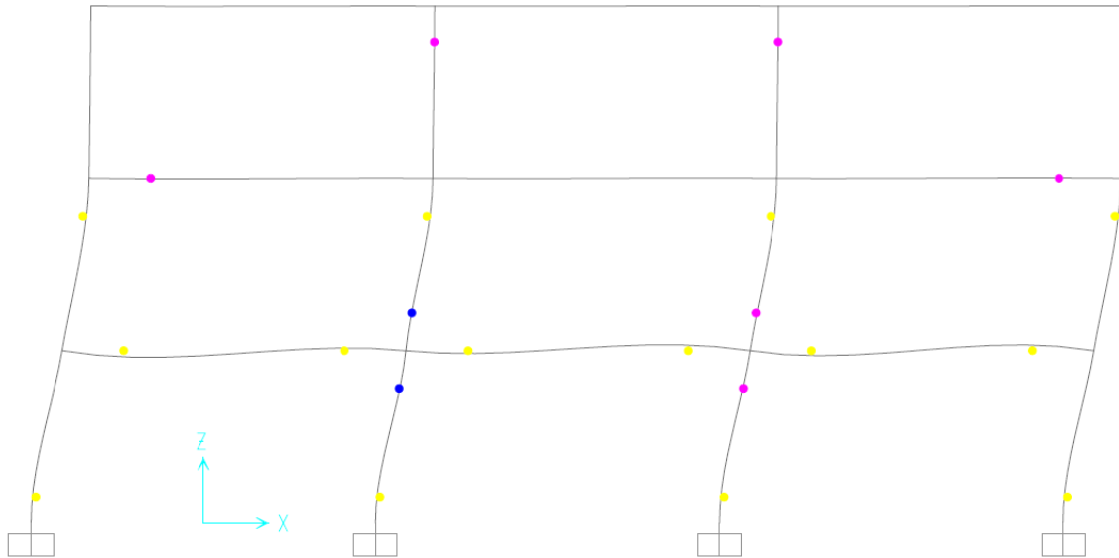
Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

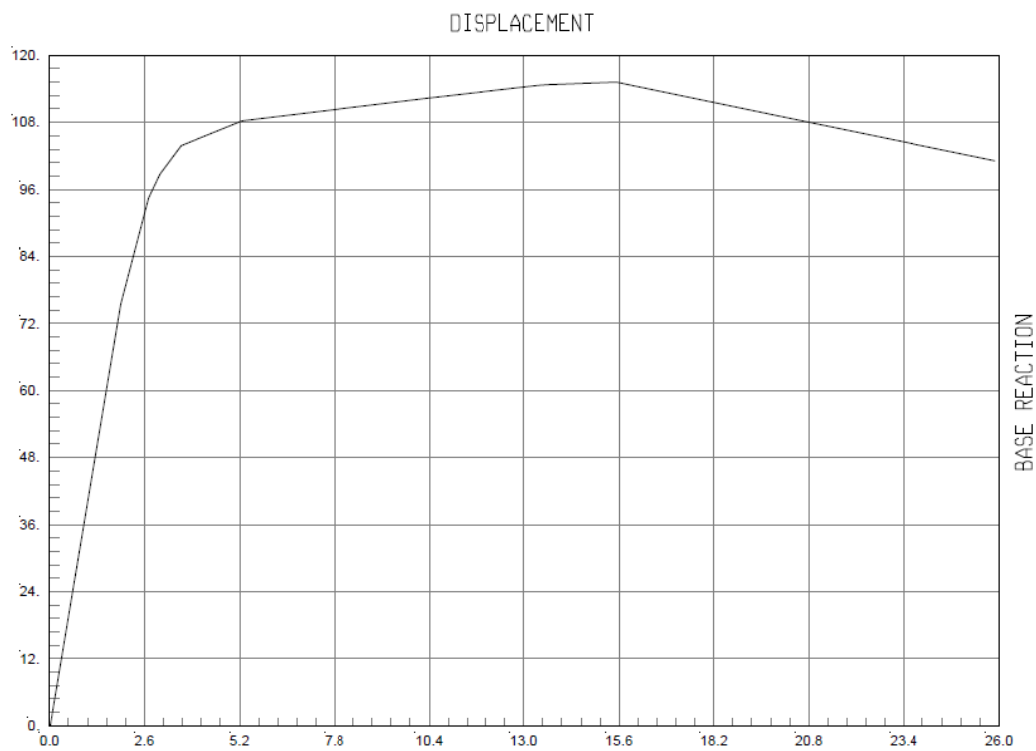
			EJE B					
			PISOS					
			1	2	3			
DATOS	b	cm	30	30	30			
	h	cm	60	60	50			
	rec	cm	5	5	5			
	d	cm	55	55	45			
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9			
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.00	9.30	18.00	9.70	17.30	11.90
	# varillas	u	5.00	3.00	6.00	4.00	6.00	4.00
	ϕ req	mm	22.00	19.87	19.54	17.57	19.16	19.46
	ϕ elegido	mm	22.00	20.00	20.00	18.00	20.00	20.00
As real	cm ²	19.01	9.42	18.85	10.18	18.85	12.57	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.50		0.45		0.45	
	L	m	6.00		6.00		6.00	
	L neta	m	5.50		5.55		5.55	
	qd	Ton/ml	5.00		5.00		5.00	
	ql	Ton/ml	2.00		2.00		2.00	
	ϕ	-	0.75		0.75		0.75	
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.01	9.42	18.85	10.18	18.85	12.57
	ω	-	0.173	0.086	0.171	0.093	0.209	0.140
	Mr	Ton-m	39.43	20.67	39.14	22.23	31.22	21.79
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	55.20	28.94	54.80	31.12	43.71	30.51
	Vm	Ton	15.30		15.48		13.37	
	Vg	Ton	19.25		19.425		19.425	
	Vu	Ton	34.55		34.91		32.80	
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	46.06		46.54		43.73	
	Vr = Vs + Vc		46.06		46.54		43.73	
	Vc	Ton	14.63		14.63		11.97	
	Vs	Ton	31.43		31.91		31.76	
	Av/S	cm ² /cm	0.0680		0.0691		0.0840	
	S	cm	16		16		13	
	Av	cm ²	1.089		1.105		1.092	
	ϕ req	mm	11.77		11.86		11.79	
	ϕ elegido	mm	12		12		12	
Av real	cm ²	1.13		1.13		1.13		
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			5	3	6	4	6	4
	ϕ Long	mm	22	20	20	18	20	20
	Est ϕ	mm	12		12		12	
Cada	cm	16		16		13		



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{24.404}{2.6783} = 9.112$$

$$T = 0.54226 \text{ seg}; T > 0.5$$

$$R = \mu = 9.112$$

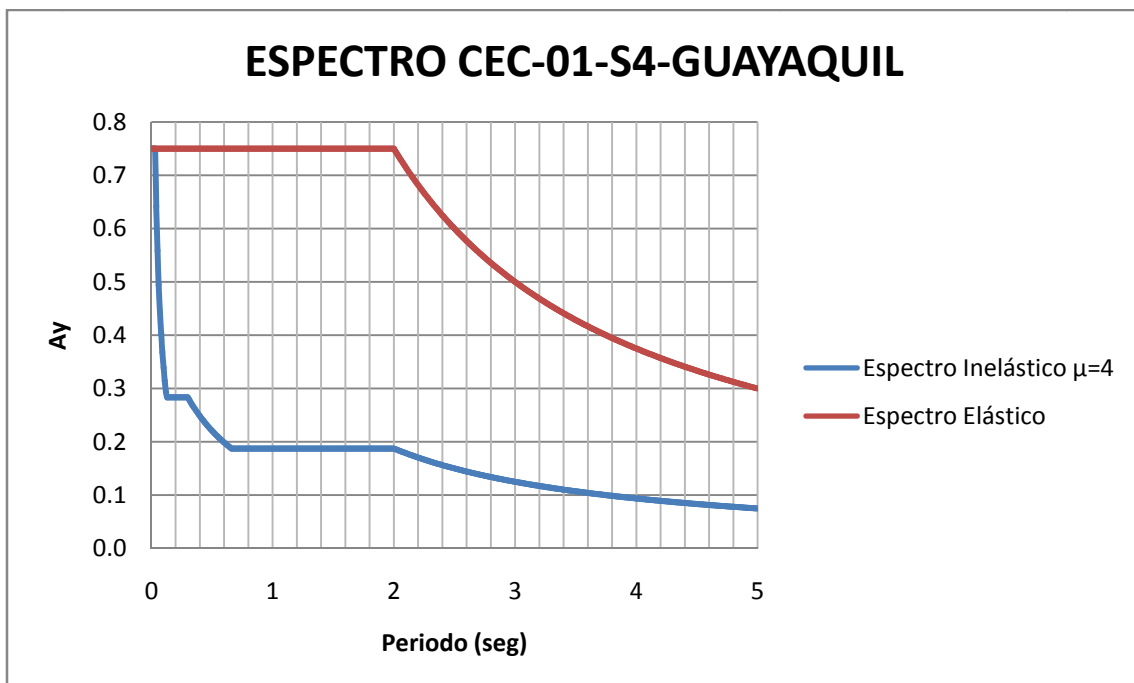


Pórtico # 12:

4 Pisos, 3 Vanos

Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

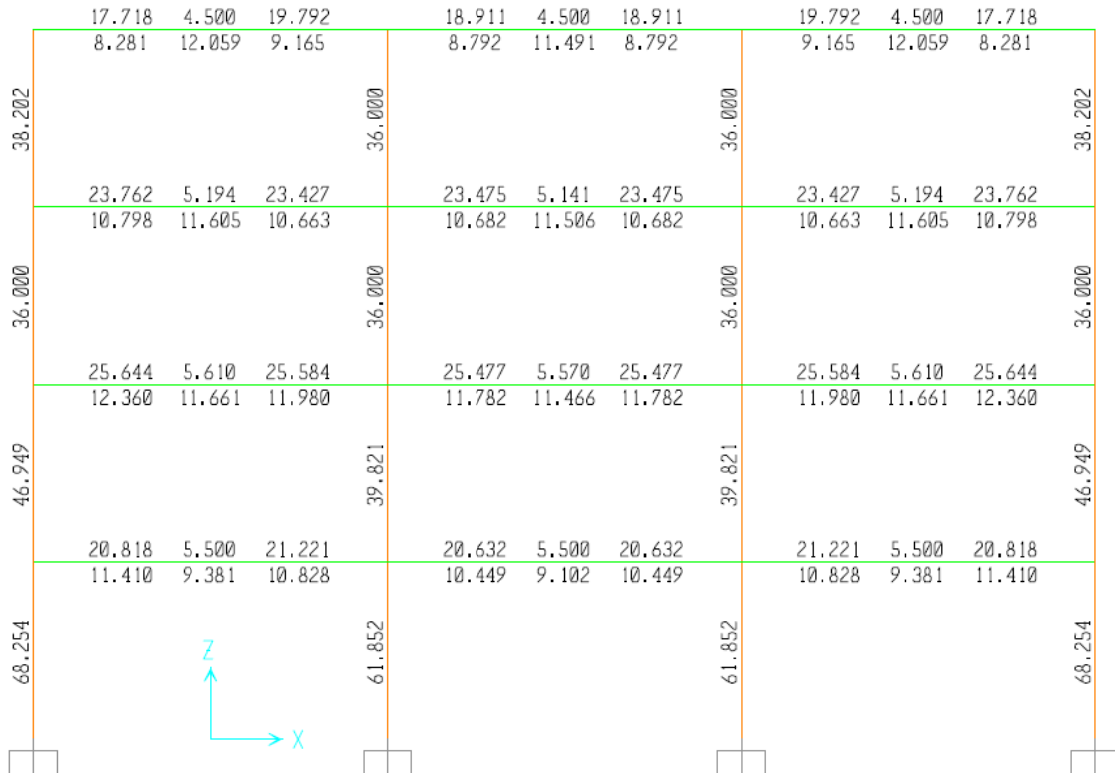




Dimensiones (cm):



Diseño (cm2):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 4				EJE 2 = EJE 3			
			PISOS				PISOS			
			1	2	3	4	1	2	3	4
DATOS	b	cm	65	60	60	60	65	60	60	60
	h	cm	65	60	60	60	65	60	60	60
	rec	cm	5	5	5	5	5	5	5	5
	d	cm	60	55	55	55	60	55	55	55
	φ	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	68.26	46.95	36.00	38.21	61.86	39.83	36.00	36.00
	# varillas	u	16	12	12	8	16	12	12	8
	φ req	mm	23.31	22.32	19.54	24.66	22.19	20.56	19.54	23.94
	φ elegido	mm	25	28	28	28	25	28	28	28
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	21.20	20.80	16.50	16.15	21.20	20.80	16.50	16.15
	Vr = Vu/φ	Ton	28.27	27.73	22.00	21.53	28.27	27.73	22.00	21.53
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vc	Ton	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vs	Ton	28.27	27.73	22.00	21.53	28.27	27.73	22.00	21.53
	Av/S	cm ² /cm	0.056	0.060	0.048	0.047	0.056	0.060	0.048	0.047
	S	cm	10	9	10	12	10	9	10	12
	Av	cm ²	0.561	0.540	0.476	0.559	0.561	0.540	0.476	0.559
	φ req	mm	8.45	8.29	7.79	8.44	8.45	8.29	7.79	8.44
	φ elegido	mm	12	12	12	12	12	12	12	12
	Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
RESUMEN	# Varillas	u	16	12	12	8	16	12	12	8
	φ	mm	25	28	28	28	25	28	28	28
	Est φ	mm	12	12	12	12	12	12	12	12
	cada	cm	10	9	10	12	10	9	10	12



DISEÑO DE VIGAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

			EJE 1-2 = EJE 3-4							
			PISOS							
			1	2	3	4				
DATOS	b	cm	30	30	30	30				
	h	cm	60	50	50	50				
	rec	cm	5	5	5	5				
	d	cm	55	45	45	45				
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9	0.9				
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			21.23	11.41	25.65	12.36	23.77	11.61	19.80	12.10
	# varillas	u	7.00	3.00	7.00	7.00	5.00	6.00	4.00	6.00
	ϕ req	mm	19.65	22.01	21.60	14.99	24.60	15.70	25.10	16.02
	ϕ elegido	mm	20.00	22.00	22.00	16.00	25.00	16.00	25.00	16.00
As real	cm ²	21.99	11.40	26.61	14.07	24.54	12.06	19.63	12.06	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.65	0.60	0.60	0.60				
	L	m	6.00	6.00	6.00	6.00				
	L neta	m	5.35	5.40	5.40	5.40				
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00	5.00				
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00	2.00				
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75	0.75				
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			21.99	11.40	26.61	14.07	24.54	12.06	19.63	12.06
	ω	-	0.200	0.104	0.296	0.156	0.273	0.134	0.218	0.134
	Mr	Ton-m	44.81	24.73	41.52	24.15	38.92	21.00	32.33	21.00
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	62.73	34.62	58.13	33.80	54.49	29.40	45.27	29.40
	Vm	Ton	18.20	17.02	15.54	13.83				
	Vg	Ton	18.725	18.9	18.9	18.9				
	Vu	Ton	36.92	35.92	34.44	32.73				
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	49.23	47.90	45.91	43.64				
	Vr = Vs + Vc									
	Vc	Ton	14.63	11.97	11.97	11.97				
	Vs	Ton	34.60	35.93	33.94	31.66				
	Av/S	cm ² /cm	0.0749	0.0950	0.0898	0.0838				
	S	cm	15	11	12	13				
Av	cm ²	1.123	1.045	1.077	1.089					
ϕ req	mm	11.96	11.54	11.71	11.77					
ϕ elegido	mm	12	12	12	12					
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13	1.13					
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			7	3	7	7	5	6	4	6
	ϕ Long	mm	20	22	22	16	25	16	25	16
	Est ϕ	mm	12	12	12	12	12	12	12	
Cada	cm	15	11	12	13					



DISEÑO DE VIGAS

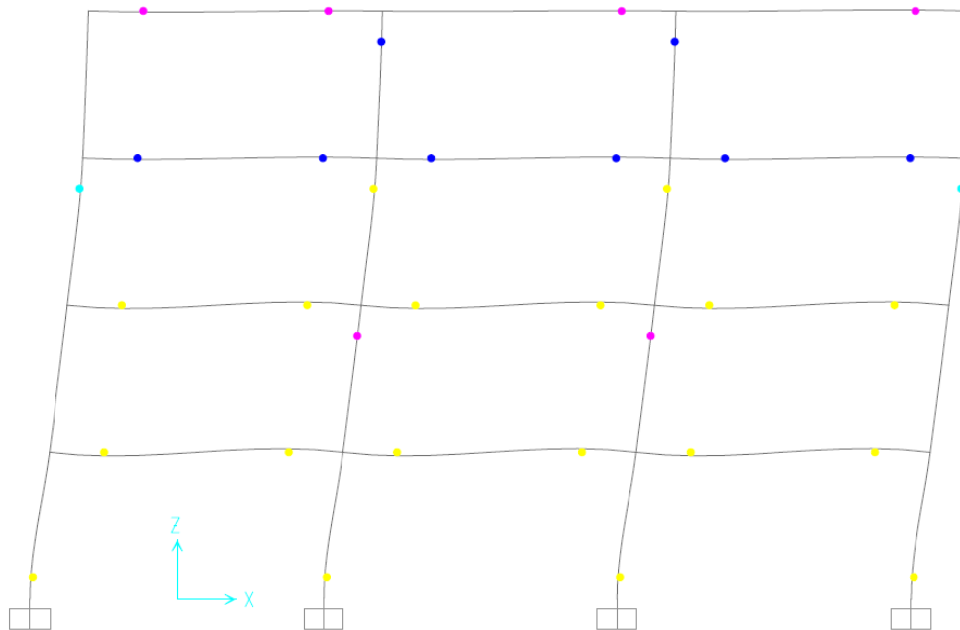
Propiedades

$f'_c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

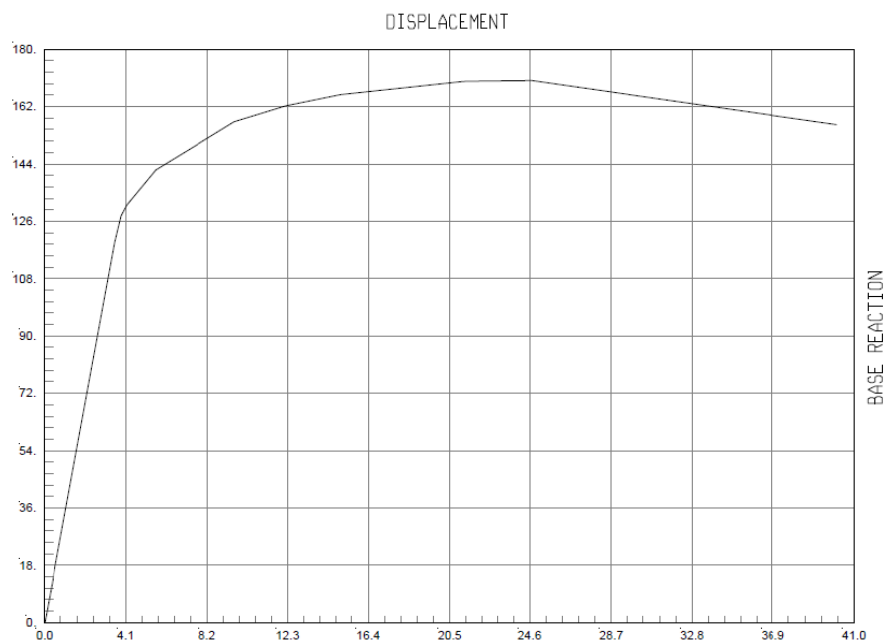
			EJE 2-3							
			PISOS							
			1	2	3	4				
DATOS	b	cm	30	30	30	30				
	h	cm	60	50	50	50				
	rec	cm	5	5	5	5				
	d	cm	55	45	45	45				
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9	0.9				
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			20.64	10.45	25.48	11.79	23.48	11.51	18.92	11.50
	# varillas	u	4.00	3.00	7.00	6.00	5.00	6.00	6.00	6.00
	ϕ req	mm	25.63	21.06	21.53	15.82	24.45	15.63	20.04	15.62
	ϕ elegido	mm	25.00	22.00	22.00	16.00	25.00	16.00	20.00	16.00
As real	cm ²	19.63	11.40	26.61	12.06	24.54	12.06	18.85	12.06	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.65	0.60	0.60	0.60				
	L	m	6.00	6.00	6.00	6.00				
	L neta	m	5.35	5.40	5.40	5.40				
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00	5.00				
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00	2.00				
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75	0.75				
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.63	11.40	26.61	12.06	24.54	12.06	18.85	12.06
	ω	-	0.178	0.104	0.296	0.134	0.273	0.134	0.209	0.134
	Mr	Ton-m	40.58	24.73	41.52	21.00	38.92	21.00	31.22	21.00
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	56.81	34.62	58.13	29.40	54.49	29.40	43.71	29.40
	Vm	Ton	17.09	16.21	15.54	13.54				
	Vg	Ton	18.725	18.9	18.9	18.9				
	Vu	Ton	35.82	35.11	34.44	32.44				
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	47.75	46.81	45.91	43.25				
	Vr = Vs + Vc									
	Vc	Ton	14.63	11.97	11.97	11.97				
	Vs	Ton	33.12	34.84	33.94	31.28				
	Av/S	cm ² /cm	0.0717	0.0922	0.0898	0.0827				
	S	cm	15	12	12	13				
Av	cm ²	1.075	1.106	1.077	1.076					
ϕ req	mm	11.70	11.87	11.71	11.70					
ϕ elegido	mm	12	12	12	12					
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13	1.13					
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			4	3	7	6	5	6	6	6
	ϕ Long	mm	25	22	22	16	25	16	20	16
	Est ϕ	mm	12	12	12	12	12	12	12	
Cada	cm	15	12	12	13					



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{40.2851}{3.367} = 11.97$$

$$T = .53141 \text{ seg}; T > 0.5$$

$$R = \mu = 11.97$$

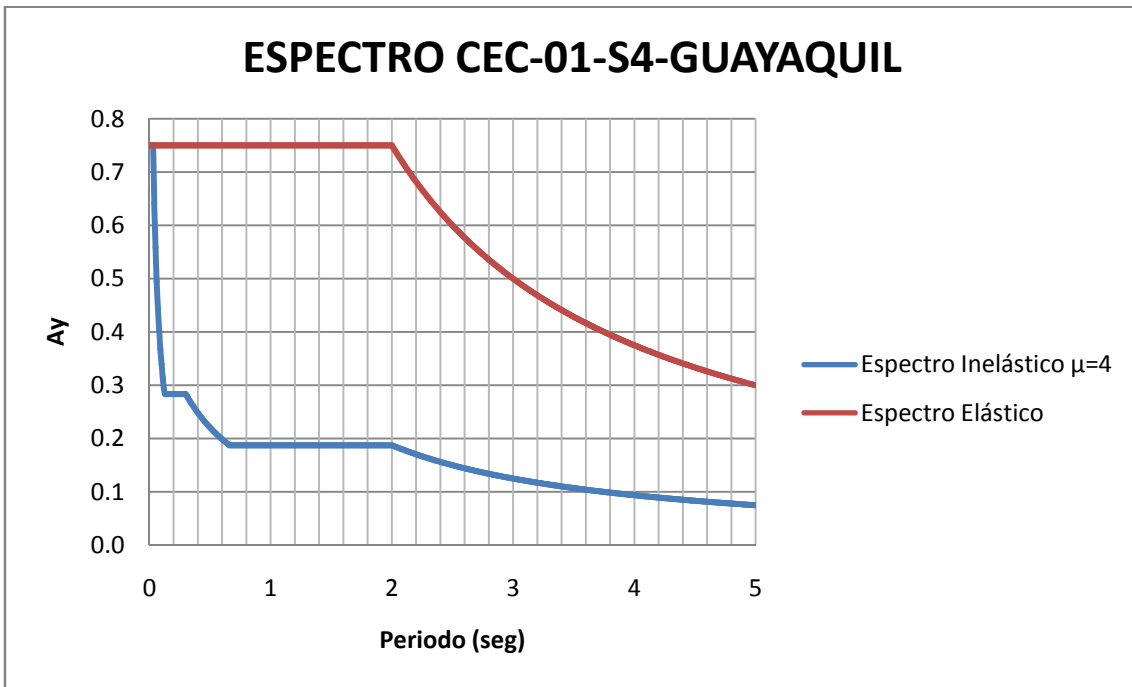


Pórtico # 13:

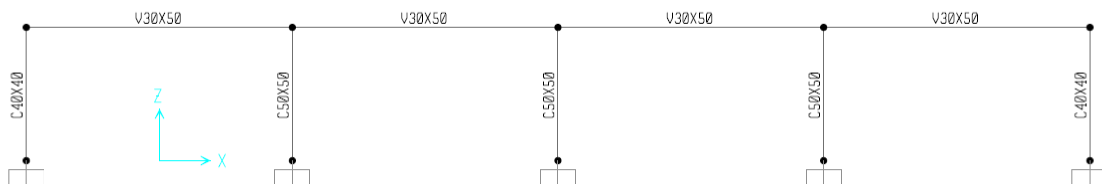
1 Piso, 4 Vanos

Espectro de Diseño

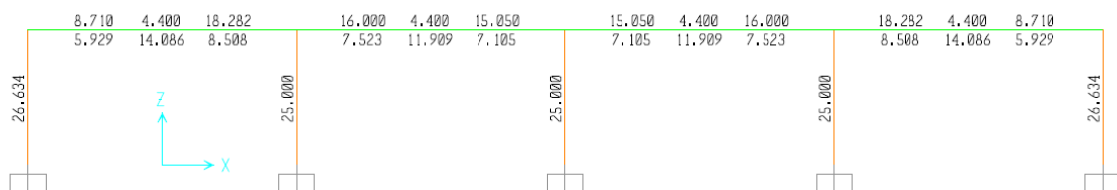
Tipo de Suelo: S4
S= 2
 $C_m = 2.5$
R= 4



Dimensiones (cm):



Diseño (cm2):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 5	EJE 2 = EJE 4	EJE 3
			PISOS	PISOS	PISOS
			1	1	1
DATOS	b	cm	40	50	50
	h	cm	40	50	50
	rec	cm	5	5	5
	d	cm	35	45	45
	φ	-	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	26.63	25.00	25.00
	# varillas	u	12	12	12
	φ req	mm	16.81	16.29	16.29
	φ elegido	mm	18	18	18
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	4.48	6.96	7.07
	Vr = Vu/φ	Ton	5.97	9.28	9.43
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0
	Vc	Ton	0	0	0
	Vs	Ton	5.97	9.28	9.43
	Av/S	cm ² /cm	0.020	0.025	0.025
	S	cm	10	10	10
	Av	cm ²	0.203	0.246	0.249
	φ req	mm	5.09	5.59	5.63
	φ elegido	mm	8	8	8
Av real	cm ²	0.50	0.50	0.50	
RESUMEN	# Varillas	u	12	12	12
	φ	mm	18	18	18
	Est φ	mm	8	8	8
	cada	cm	10	10	10



DISEÑO DE VIGAS

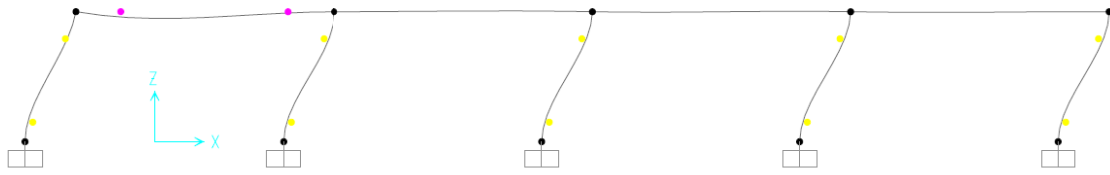
Propiedades

$f'c =$ 280 kg/cm²
 $f_y =$ 4200 kg/cm²

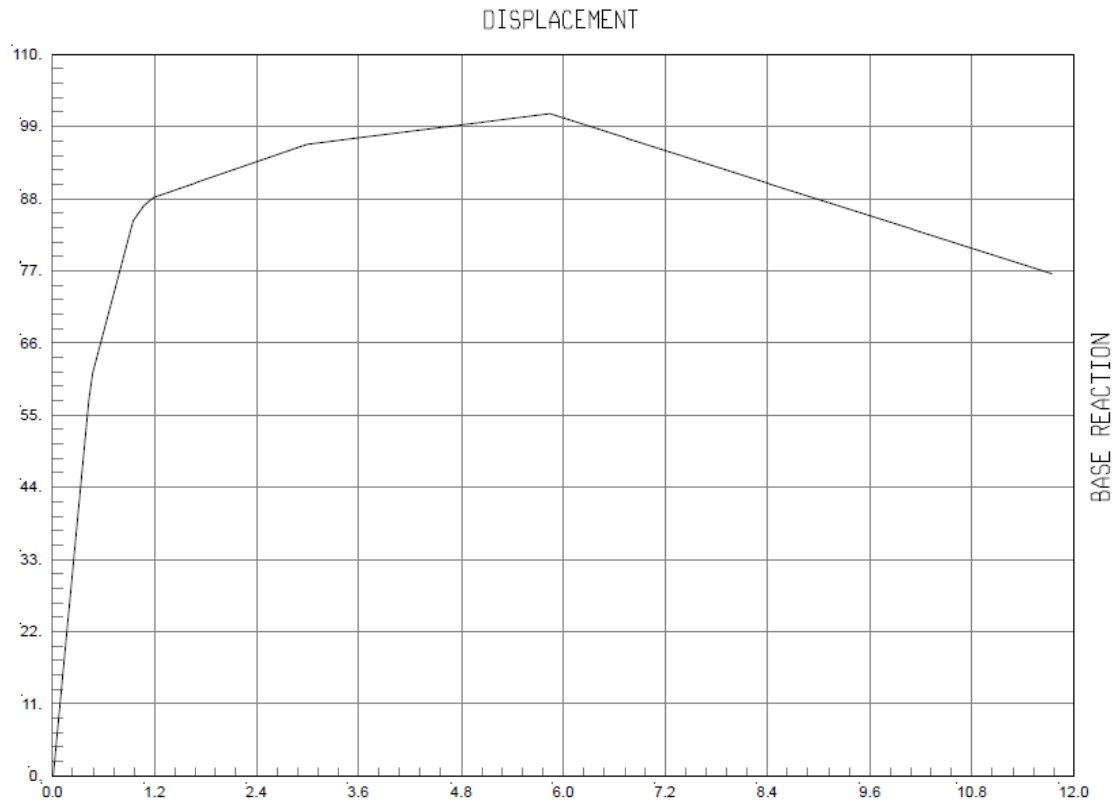
			EJE 1-2 = EJE 4-5		EJE 2-3 = EJE 3-4	
			PISOS		PISOS	
			1		1	
DATOS	b	cm	30		30	
	h	cm	60		50	
	rec	cm	5		5	
	d	cm	55		45	
	ϕ	-	0.9		0.9	
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			18.28	14.09	16.00	11.91
	# varillas	u	5.00	4.00	4.00	4.00
	ϕ req	mm	21.58	21.18	22.57	19.47
	ϕ elegido	mm	22.00	22.00	24.00	20.00
	As real	cm ²	19.01	15.21	18.10	12.57
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.45		0.50	
	L	m	6.00		6.00	
	L neta	m	5.55		5.50	
	qd	Ton/ml	5.00		5.00	
	ql	Ton/ml	2.00		2.00	
	ϕ	-	0.75		0.75	
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.01	15.21	18.10	12.57
	ω	-	0.173	0.138	0.201	0.140
	Mr	Ton-m	39.43	32.26	30.14	21.79
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	55.20	45.16	42.20	30.51
	Vm	Ton	18.08		13.22	
	Vg	Ton	19.425		19.25	
	Vu	Ton	37.51		32.47	
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	50.01		43.29	
	Vr = Vs + Vc					
	Vc	Ton	14.63		11.97	
	Vs	Ton	35.38		31.32	
	Av/S	cm ² /cm	0.0766		0.0829	
	S	cm	14		13	
	Av	cm ²	1.072		1.077	
	ϕ req	mm	11.68		11.71	
	ϕ elegido	mm	12		12	
Av real	cm ²	1.13		1.13		
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			5	4	4	4
	ϕ Long	mm	22	22	24	20
	Est ϕ	mm	12		12	
Cada	cm	14		13		



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{11.73398}{0.93196} = 12.5906$$

$$T = 0.21137 \text{ seg}; T < 0.5$$

$$R = \sqrt{2 \cdot \mu - 1} = 4.92$$

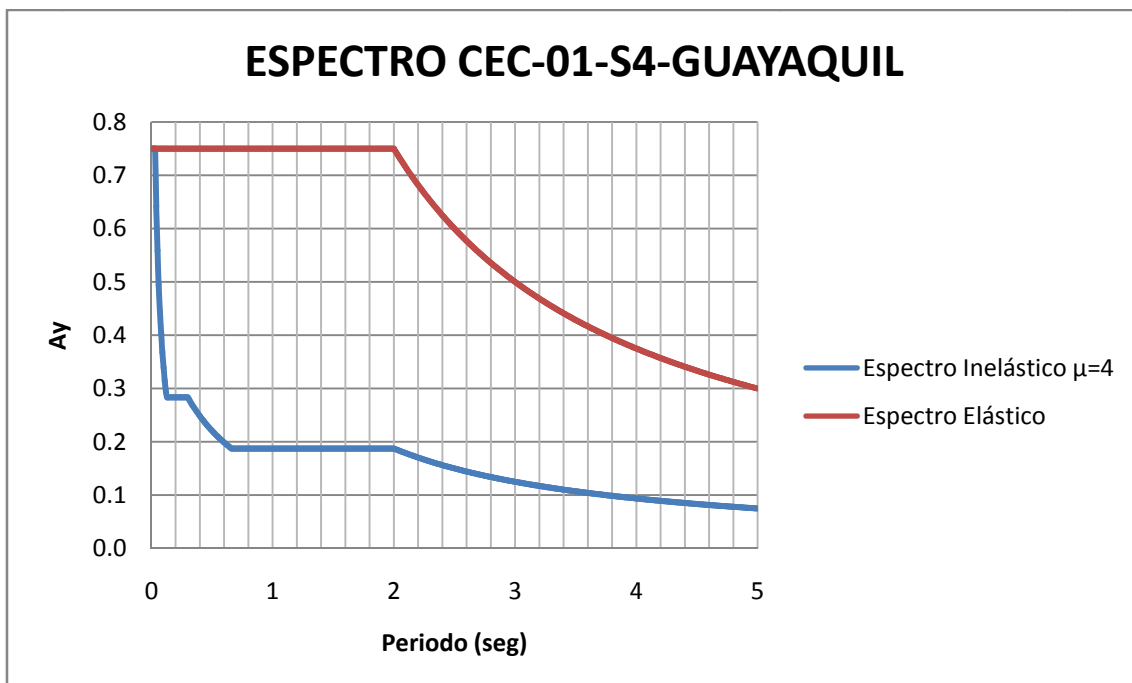


Pórtico # 14:

2 Pisos, 4 Vanos

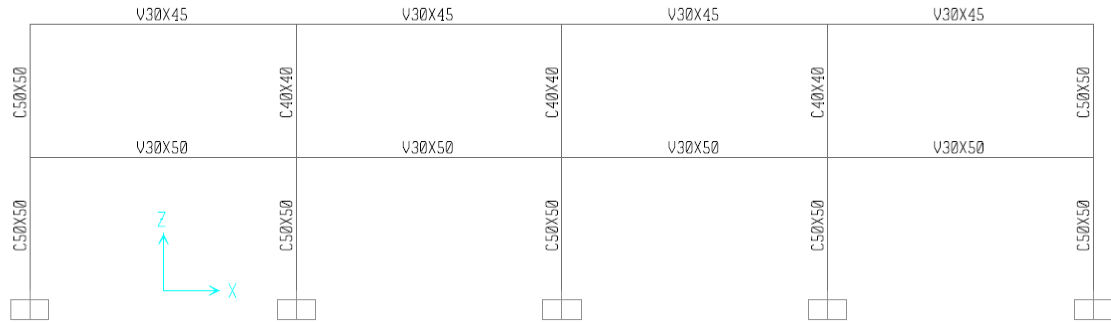
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

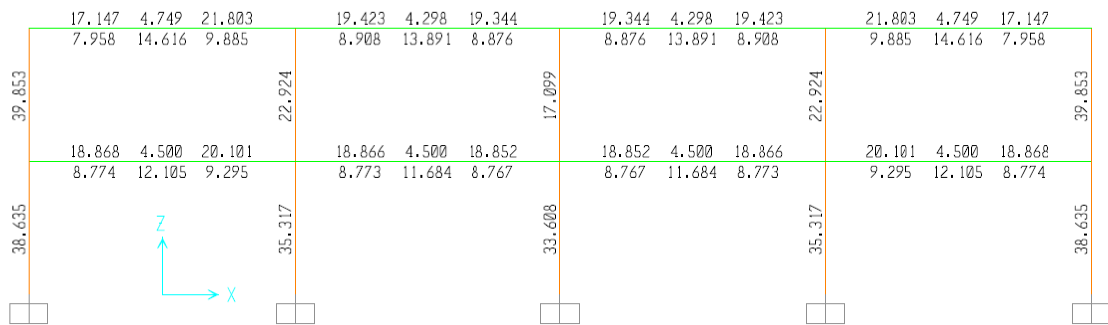




Dimensiones (cm):



Diseño (cm2):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 5		EJE 2 = EJE 4		EJE 3	
			PISOS		PISOS		PISOS	
			1	2	1	2	1	2
DATOS	b	cm	50	50	50	40	50	40
	h	cm	50	50	50	40	50	40
	rec	cm	5	5	5	5	5	5
	d	cm	45	45	45	35	45	35
	φ	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	38.64	39.85	35.32	22.92	33.61	17.10
	# varillas	u	16	16	12	8	12	12
	φ req	mm	17.54	17.81	19.36	19.10	18.88	13.47
	φ elegido	mm	18	18	20	20	20	14
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	12.30	17.34	11.18	8.20	10.65	6.80
	Vr = Vu/φ	Ton	16.40	23.12	14.91	10.93	14.20	9.07
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0	0	0
	Vc	Ton	0	0	0	0	0	0
	Vs	Ton	16.40	23.12	14.91	10.93	14.20	9.07
	Av/S	cm ² /cm	0.043	0.061	0.039	0.037	0.038	0.031
	S	cm	11	8	12	13	13	15
	Av	cm ²	0.477	0.489	0.473	0.483	0.488	0.463
	φ req	mm	7.80	7.89	7.76	7.85	7.89	7.67
	φ elegido	mm	8	8	8	8	8	8
Av real	cm ²	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
RESUMEN	# Varillas	u	16	16	12	8	12	12
	φ	mm	18	18	20	20	20	14
	Est φ	mm	8	8	8	8	8	8
	cada	cm	11	8	12	13	13	15



DISEÑO DE VIGAS

Propiedades

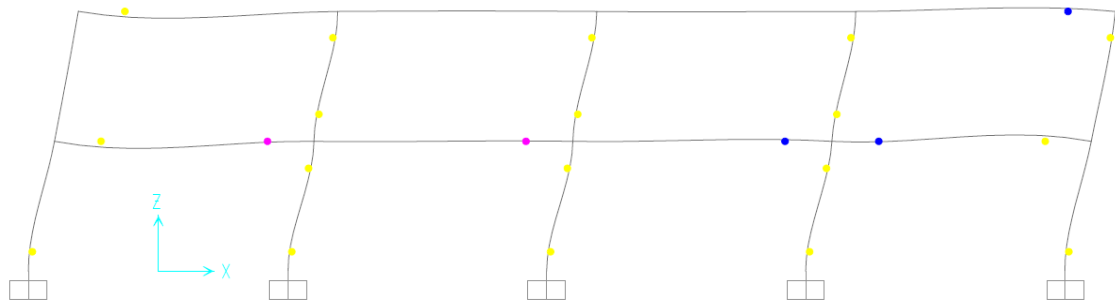
$f'c = 280$ kg/cm²

$f_y = 4200$ kg/cm²

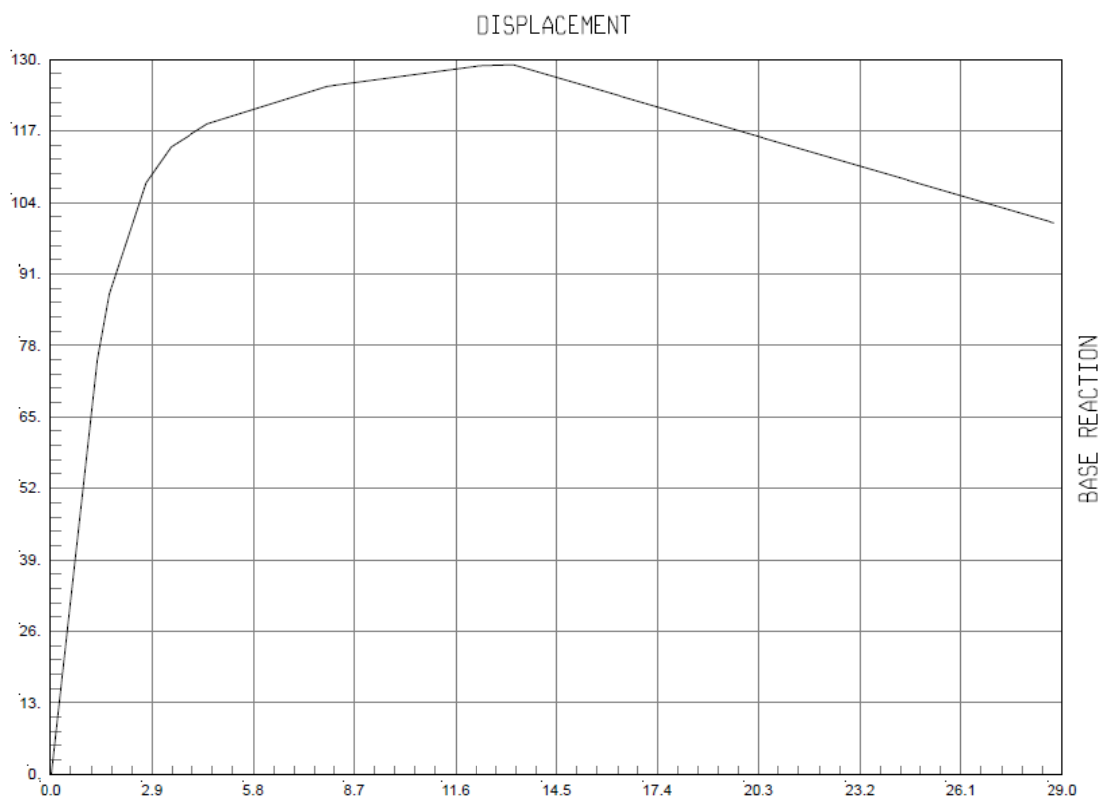
			EJE 1-2 = EJE 4-5				EJE 2-3 = EJE 3-4			
			PISOS				PISOS			
			1		2		1		2	
DATOS	b	cm	30		30		30		30	
	h	cm	50		50		45		45	
	rec	cm	5		5		5		5	
	d	cm	45		45		40		40	
	ϕ	-	0.9		0.9		0.9		0.9	
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			20.10	12.10	21.80	14.62	18.90	11.70	19.42	13.90
	# varillas	u	6.00	4.00	6.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00
	ϕ req	mm	20.65	19.63	21.51	21.57	24.53	19.30	24.86	24.29
	ϕ elegido	mm	22.00	20.00	22.00	22.00	25.00	20.00	25.00	25.00
As real	cm ²	22.81	12.57	22.81	15.21	19.63	12.57	19.63	14.73	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.50		0.55		0.50		0.40	
	L	m	6.00		6.00		6.00		6.00	
	L neta	m	5.50		5.45		5.50		5.60	
	qd	Ton/ml	5.00		5.00		5.00		5.00	
	ql	Ton/ml	2.00		2.00		2.00		2.00	
	ϕ	-	0.75		0.75		0.75		0.75	
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			22.81	12.57	22.81	15.21	19.63	12.57	19.63	14.73
	ω	-	0.253	0.140	0.253	0.169	0.245	0.157	0.245	0.184
	Mr	Ton-m	36.66	21.79	36.66	25.87	28.21	19.15	28.21	22.05
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	51.33	30.51	51.33	36.22	39.49	26.82	39.49	30.87
	Vm	Ton	14.88		16.06		12.06		12.57	
	Vg	Ton	19.25		19.075		19.25		19.6	
	Vu	Ton	34.13		35.14		31.31		32.17	
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	45.51		46.85		41.74		42.89	
	Vr = Vs + Vc									
	Vc	Ton	11.97		11.97		10.64		10.64	
	Vs	Ton	33.53		34.88		31.10		32.25	
	Av/S	cm ² /cm	0.0887		0.0923		0.0926		0.0960	
	S	cm	12		11		13		11	
	Av	cm ²	1.065		1.015		1.203		1.056	
	ϕ req	mm	11.64		11.37		12.38		11.59	
ϕ elegido	mm	12		12		12		12		
Av real	cm ²	1.13		1.13		1.13		1.13		
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			6	4	6	4	4	4	4	3
	ϕ Long	mm	22	20	22	22	25	20	25	25
	Est ϕ	mm	12		12		12		12	
Cada	cm	12		11		13		11		



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{28.718}{2.675} = 10.736$$

$$T = 0.4224 \text{ seg}; T < 0.5$$

$$R = \sqrt{2 \cdot \mu - 1} = 4.52$$

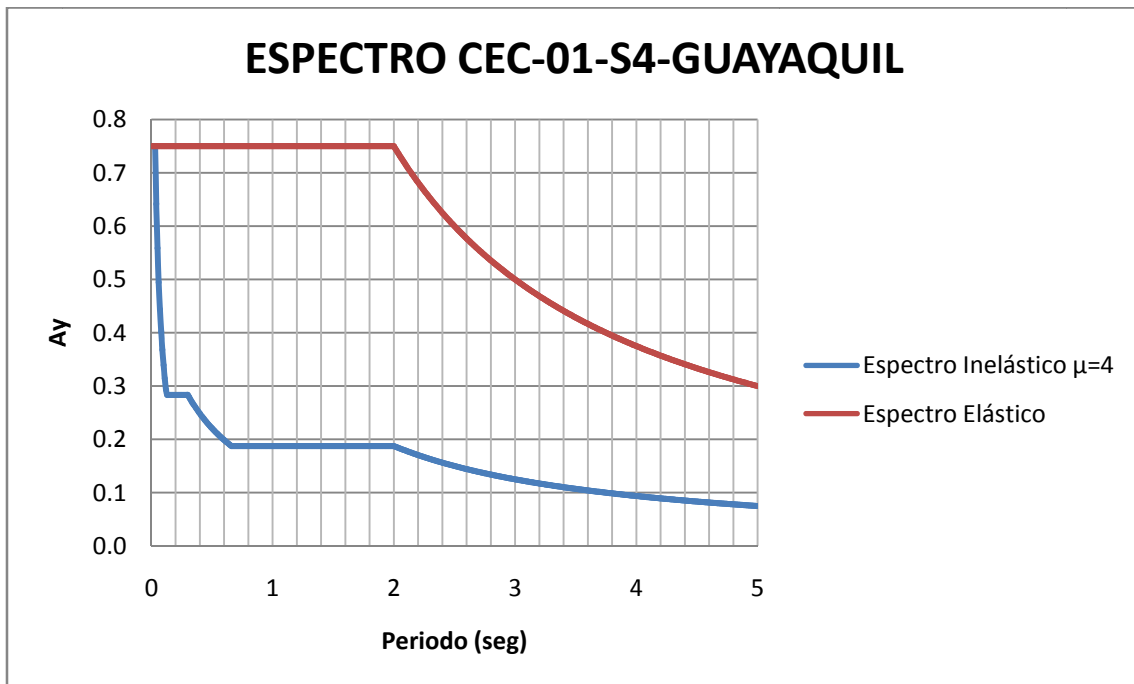


Pórtico # 15:

3 Pisos, 4 Vanos

Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

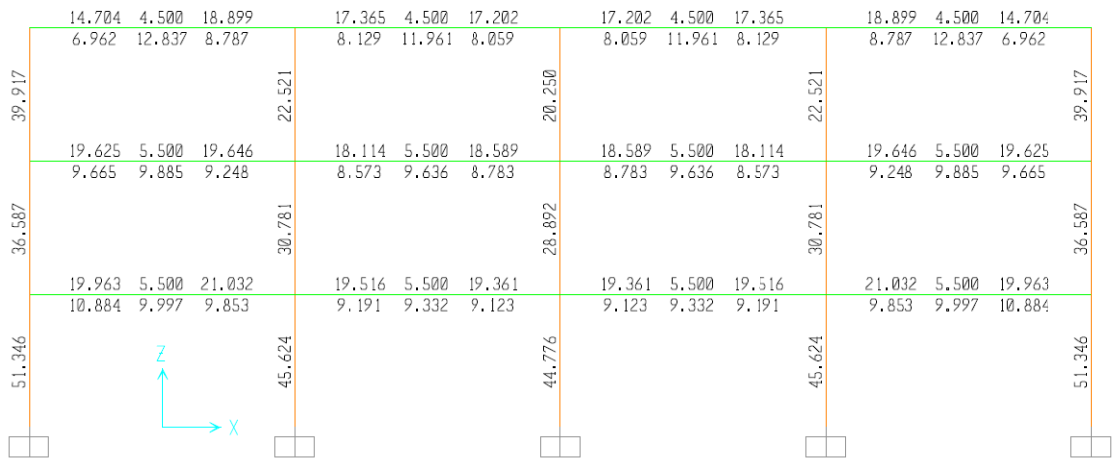




Dimensiones (cm):



Diseño (cm2):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 5			EJE 2 = EJE 4			EJE 3		
			PISOS			PISOS			PISOS		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
DATOS	b	cm	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	h	cm	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	rec	cm	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	d	cm	45	45	45	45	45	45	45	45	45
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	53.70	34.40	39.10	45.48	28.45	25.00	45.04	26.53	25.00
	# varillas	u	12	12	16	12	12	16	12	12	16
	ϕ req	mm	23.87	19.10	17.64	21.97	17.37	14.10	21.86	16.78	14.10
	ϕ elegido	mm	26	26	18	26	26	18	26	26	18
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	17.53	16.48	15.51	16.55	14.97	10.15	16.18	14.48	8.91
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	23.37	21.97	20.68	22.07	19.96	13.53	21.57	19.31	11.88
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vc	Ton	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vs	Ton	23.37	21.97	20.68	22.07	19.96	13.53	21.57	19.31	11.88
	Av/S	cm ² /cm	0.062	0.058	0.055	0.058	0.053	0.036	0.057	0.051	0.031
	S	cm	8	7	9	8	7	9	8	7	9
	Av	cm ²	0.495	0.407	0.492	0.467	0.370	0.322	0.457	0.358	0.283
	ϕ req	mm	7.94	7.20	7.92	7.71	6.86	6.41	7.62	6.75	6.00
	ϕ elegido	mm	12	12	8	12	12	8	12	12	8
Av real	cm ²	1.13	1.13	0.50	1.13	1.13	0.50	1.13	1.13	0.50	
RESUMEN	# Varillas	u	12	12	16	12	12	16	12	12	16
	ϕ	mm	26	26	18	26	26	18	26	26	18
	Est ϕ	mm	12	12	8	12	12	8	12	12	8
	cada	cm	8	7	9	8	7	9	8	7	9



DISEÑO DE VIGAS

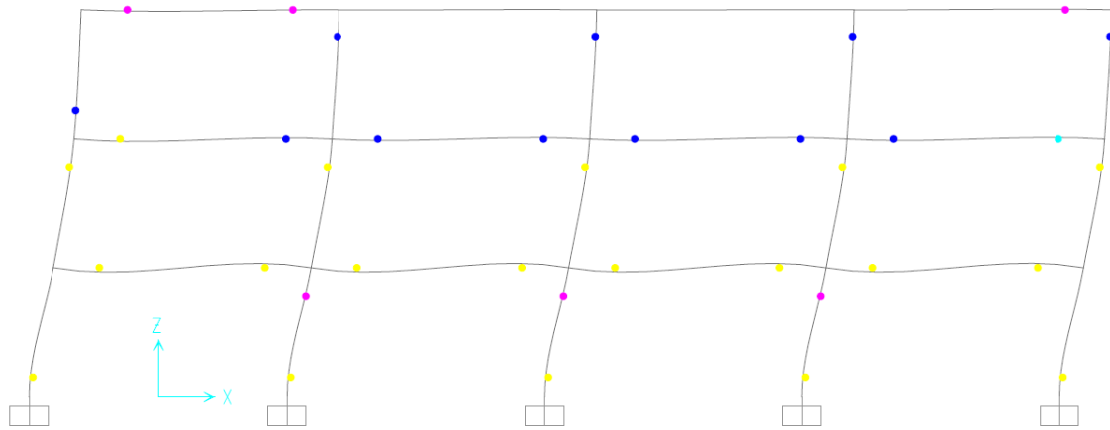
Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

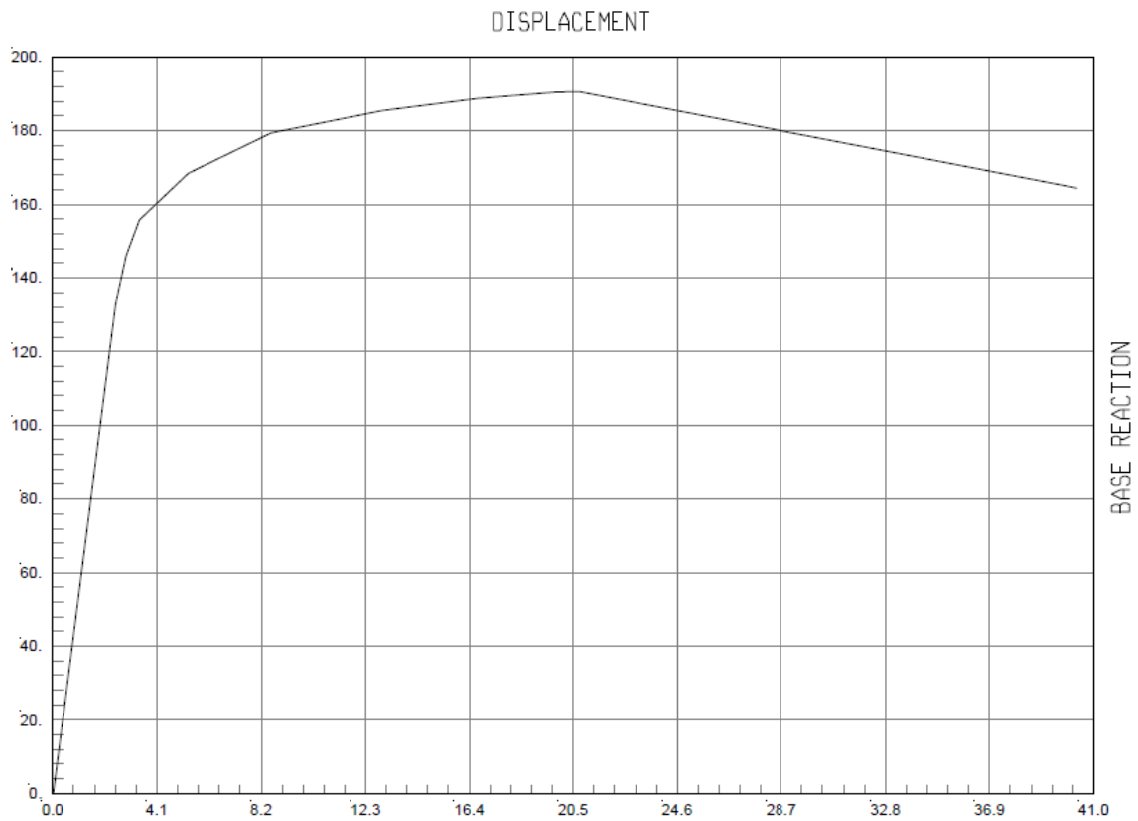
			EJE 2-3 = EJE 3-4					
			PISOS					
			1	2	3			
DATOS	b	cm	30	30	30			
	h	cm	60	60	50			
	rec	cm	5	5	5			
	d	cm	55	55	45			
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9			
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			19.98	9.40	18.74	9.41	17.21	11.67
	# varillas	u	6.00	3.00	4.00	4.00	5.00	5.00
	ϕ req	mm	20.59	19.97	24.42	17.31	20.93	17.24
	ϕ elegido	mm	22.00	22.00	25.00	18.00	22.00	18.00
As real	cm ²	22.81	11.40	19.63	10.18	19.01	12.72	
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.50	0.45	0.45			
	L	m	6.00	6.00	6.00			
	L neta	m	5.50	5.55	5.55			
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00			
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00			
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75			
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			22.81	11.40	19.63	10.18	19.01	12.72
	ω	-	0.207	0.104	0.178	0.093	0.211	0.141
	Mr	Ton-m	46.24	24.73	40.58	22.23	31.45	22.04
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	64.74	34.62	56.81	31.12	44.03	30.86
	Vm	Ton	18.07	15.84	13.49			
	Vg	Ton	19.25	19.425	19.425			
	Vu	Ton	37.32	35.27	32.92			
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	49.75	47.03	43.89			
	Vr = Vs + Vc							
	Vc	Ton	14.63	14.63	11.97			
	Vs	Ton	35.12	32.39	31.92			
	Av/S	cm ² /cm	0.0760	0.0701	0.0844			
	S	cm	14	14	13			
	Av	cm ²	1.064	0.982	1.098			
	ϕ req	mm	11.64	11.18	11.82			
ϕ elegido	mm	12	12	12				
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13				
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			6	3	4	4	5	5
	ϕ Long	mm	22	22	25	18	22	18
	Est ϕ	mm	12	12	12			
Cada	cm	14	14	13				



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{25.472}{1.9061} = 13.36$$

$$T = 0.55 \text{ seg}; T > 0.5$$

$$R = \mu = 13.36$$

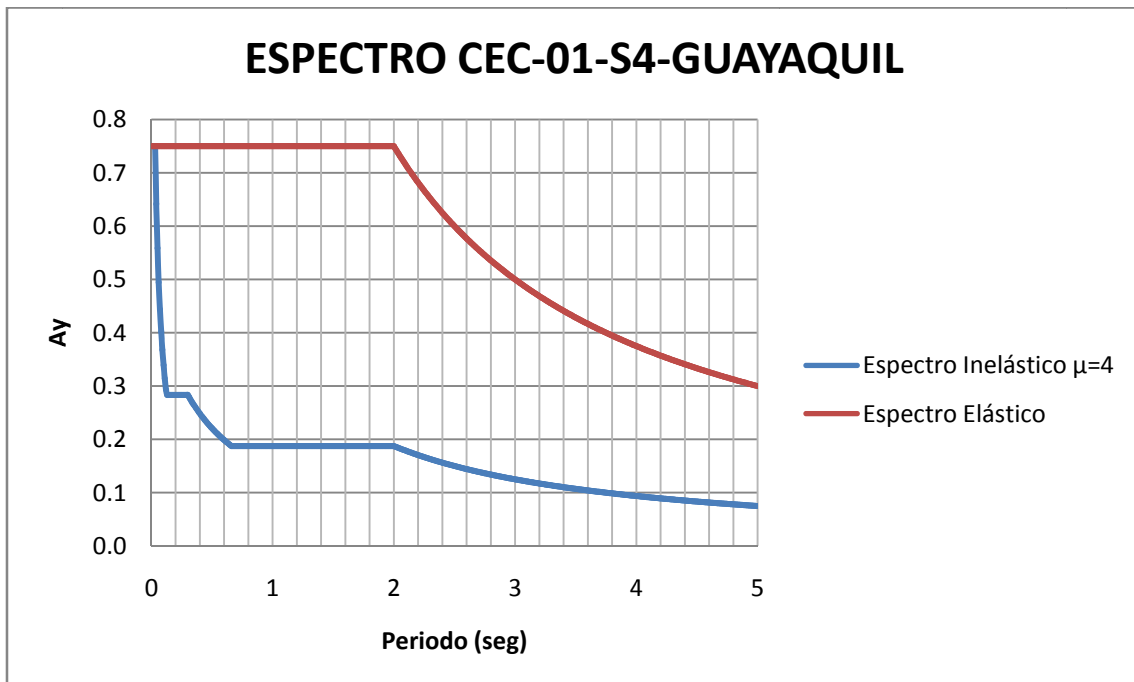


Pórtico # 16:

4 Pisos, 4 Vanos

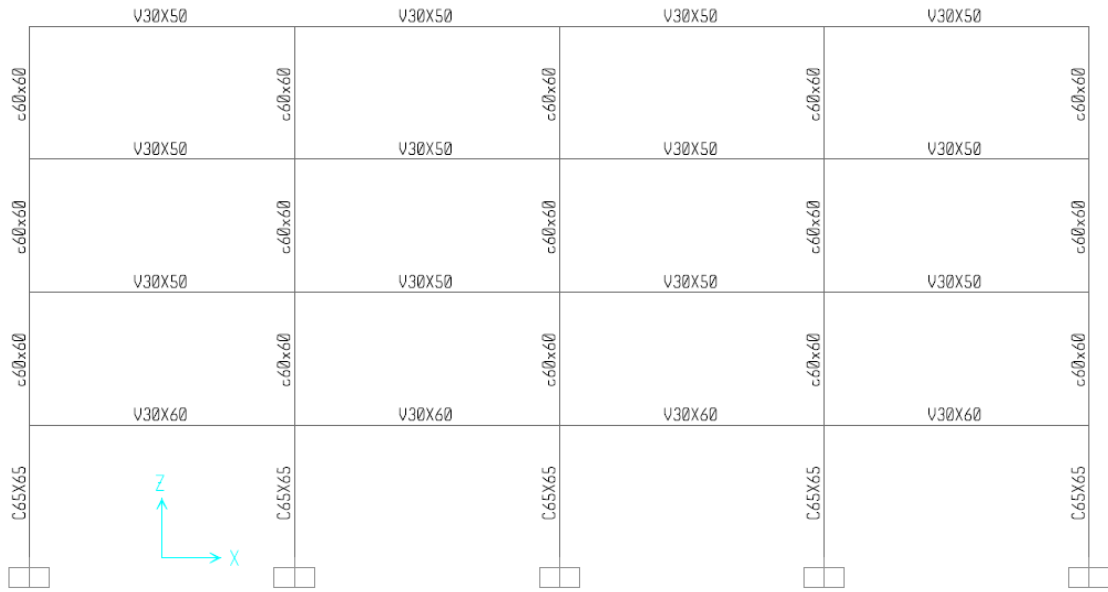
Espectro de Diseño

Tipo de Suelo: S4
S= 2
C_m= 2.5
R= 4

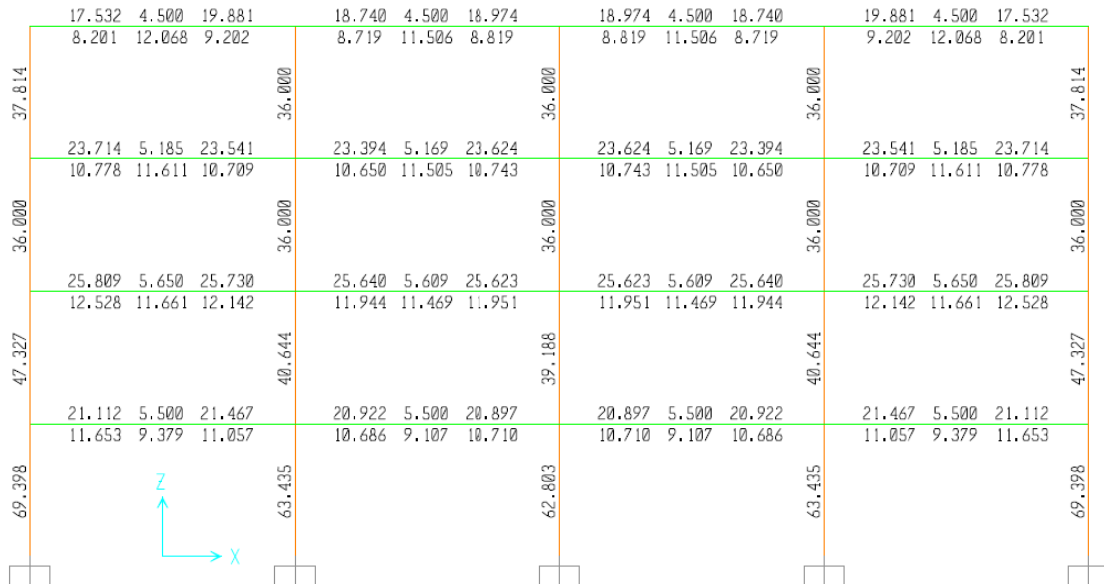




Dimensiones (cm):



Diseño (cm²):





DISEÑO DE COLUMNAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $f_y = 4200$ kg/cm²

			EJE 1 = EJE 5				EJE 2 = EJE 4				EJE 3			
			PISOS				PISOS				PISOS			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
DATOS	b	cm	65	60	60	60	65	60	60	60	65	60	60	60
	h	cm	65	60	60	60	65	60	60	60	65	60	60	60
	rec	cm	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	d	cm	60	55	55	55	60	55	55	55	60	55	55	55
	φ	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
DISEÑO PU-MU	As	cm ²	69.40	47.33	36.00	37.82	63.44	40.65	36.00	36.00	62.81	39.19	36.00	36.00
	# varillas	u	16	12	12	8	16	12	12	8	12	12	8	16
	φ req	mm	23.50	22.41	19.54	24.53	22.47	20.77	19.54	23.94	25.82	20.39	23.94	16.93
	φ elegido	mm	25	28	28	28	25	28	28	28	25	28	28	28
DISEÑO CORTANTE	Vu SAP	Ton	21.71	21.04	18.44	15.83	21.30	20.56	16.81	11.39	21.06	20.10	16.25	10.28
	Vr = Vu/φ	Ton	28.95	28.05	24.59	21.11	28.40	27.41	22.41	15.19	28.08	26.80	21.67	13.71
	Vr = Vs + Vc	Ton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vc	Ton	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vs	Ton	28.95	28.05	24.59	21.11	28.40	27.41	22.41	15.19	28.08	26.80	21.67	13.71
	Av/S	cm ² /cm	0.057	0.061	0.053	0.046	0.056	0.059	0.049	0.033	0.056	0.058	0.047	0.030
	S	cm	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	Av	cm ²	0.574	0.607	0.532	0.457	0.563	0.593	0.485	0.329	0.557	0.580	0.469	0.297
	φ req	mm	8.55	8.79	8.23	7.63	8.47	8.69	7.86	6.47	8.42	8.59	7.73	6.15
	φ elegido	mm	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	
RESUMEN	# Varillas	u	16	12	12	8	16	12	12	8	12	12	8	16
	φ	mm	25	28	28	28	25	28	28	28	25	28	28	28
	Est φ	mm	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
	cada	cm	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10



DISEÑO DE VIGAS

Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

EJE 1-2 = EJE 4-5

PISOS

			1	2	3	4				
DATOS	b	cm	30	30	30	30				
	h	cm	60	50	50	50				
	rec	cm	5	5	5	5				
	d	cm	55	45	45	45				
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9	0.9				
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			21.47	11.66	25.81	11.66	23.72	11.62	19.88	12.07
	# varillas	u	7.00	4.00	7.00	5.00	5.00	6.00	4.00	6.00
	ϕ req	mm	19.76	19.27	21.67	17.23	24.58	15.70	25.16	16.00
	ϕ elegido	mm	20.00	20.00	22.00	18.00	25.00	16.00	25.00	16.00
	As real	cm ²	21.99	12.57	26.61	12.72	24.54	12.06	19.63	12.06
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.65	0.60	0.60	0.60				
	L	m	6.00	6.00	6.00	6.00				
	L neta	m	5.35	5.40	5.40	5.40				
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00	5.00				
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00	2.00				
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75	0.75				
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			21.99	12.57	26.61	12.72	24.54	12.06	19.63	12.06
	ω	-	0.200	0.114	0.296	0.141	0.273	0.134	0.218	0.134
	Mr	Ton-m	44.81	27.07	41.52	22.04	38.92	21.00	32.33	21.00
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	62.73	37.90	58.13	30.86	54.49	29.40	45.27	29.40
	Vm	Ton	18.81	16.48	15.54	13.83				
	Vg	Ton	18.725	18.9	18.9	18.9				
	Vu	Ton	37.53	35.38	34.44	32.73				
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	50.05	47.17	45.91	43.64				
	Vr = Vs + Vc									
	Vc	Ton	14.63	11.97	11.97	11.97				
	Vs	Ton	35.41	35.20	33.94	31.66				
	Av/S	cm ² /cm	0.0767	0.0931	0.0898	0.0838				
	S	cm	14	14	14	14				
	Av	cm ²	1.073	1.304	1.257	1.173				
	ϕ req	mm	11.69	12.88	12.65	12.22				
ϕ elegido	mm	12	12	12	12					
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13	1.13					
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			7	4	7	5	5	6	4	6
	ϕ Long	mm	20	20	22	18	25	16	25	16
	Est ϕ	mm	12	12	12	12	12	12	12	12
Cada	cm	14	14	14	14	14	14	14	14	





DISEÑO DE VIGAS

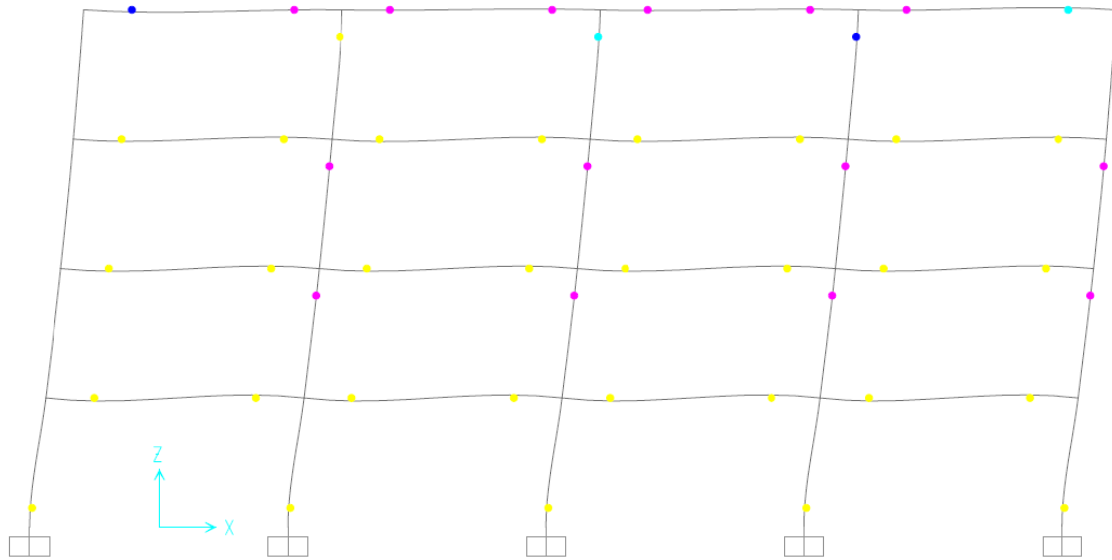
Propiedades

$f'c = 280$ kg/cm²
 $fy = 4200$ kg/cm²

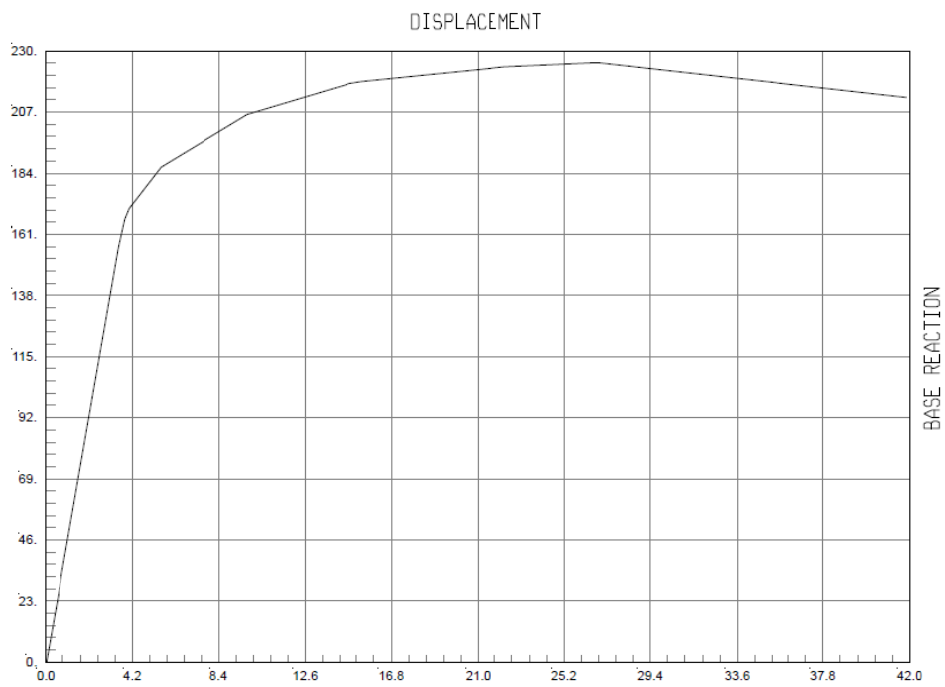
			EJE 2-3 = EJE 3-4							
			PISOS							
			1	2	3	4				
DATOS	b	cm	30	30	30	30				
	h	cm	60	50	50	50				
	rec	cm	5	5	5	5				
	d	cm	55	45	45	45				
	ϕ	-	0.9	0.9	0.9	0.9				
DISEÑO A FLEXION	As req SAP	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			20.92	10.71	25.64	11.95	23.63	11.51	18.98	11.51
	# varillas	u	7.00	7.00	7.00	6.00	5.00	6.00	6.00	6.00
	ϕ req	mm	19.51	13.96	21.60	15.92	24.53	15.63	20.07	15.63
	ϕ elegido	mm	20.00	14.00	22.00	16.00	25.00	16.00	20.00	16.00
	As real	cm ²	21.99	10.78	26.61	12.06	24.54	12.06	18.85	12.06
DISEÑO A CORTANTE	b col	m	0.65	0.60	0.60	0.60				
	L	m	6.00	6.00	6.00	6.00				
	L neta	m	5.35	5.40	5.40	5.40				
	qd	Ton/ml	5.00	5.00	5.00	5.00				
	ql	Ton/ml	2.00	2.00	2.00	2.00				
	ϕ	-	0.75	0.75	0.75	0.75				
	As real	cm ²	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			21.99	10.78	26.61	12.06	24.54	12.06	18.85	12.06
	ω	-	0.200	0.098	0.296	0.134	0.273	0.134	0.209	0.134
	Mr	Ton-m	44.81	23.45	41.52	21.00	38.92	21.00	31.22	21.00
	Mo = 1.4Mr	Ton-m	62.73	32.83	58.13	29.40	54.49	29.40	43.71	29.40
	Vm	Ton	17.86	16.21	15.54	13.54				
	Vg	Ton	18.725	18.9	18.9	18.9				
	Vu	Ton	36.59	35.11	34.44	32.44				
	Vr = Vu/ ϕ	Ton	48.78	46.81	45.91	43.25				
	Vr = Vs + Vc									
	Vc	Ton	14.63	11.97	11.97	11.97				
	Vs	Ton	34.15	34.84	33.94	31.28				
	Av/S	cm ² /cm	0.0739	0.0922	0.0898	0.0827				
	S	cm	14	14	14	14				
	Av	cm ²	1.035	1.290	1.257	1.158				
	ϕ req	mm	11.48	12.82	12.65	12.15				
ϕ elegido	mm	12	12	12	12					
Av real	cm ²	1.13	1.13	1.13	1.13					
RESUMEN	# Varillas	mm	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
			7	7	7	6	5	6	6	6
	ϕ Long	mm	20	14	22	16	25	16	20	16
	Est ϕ	mm	12	12	12	12				
Cada	cm	14	14	14	14					



Análisis Pushover:



Curva Pushover “Cortante Basal (Ton) vs Desplazamiento (cm)”



$$\mu = \frac{u_m}{u_y} = \frac{41.7888}{3.7866} = 11.04$$

$$T = 0.68108 \text{ seg}; T > 0.5$$

$$R = \mu = 11.04$$



CAPITULO V

CONCLUSIONES



CAPITULO V

CONCLUSIONES

5.1- Resumen de Resultados:

El resultado de análisis del capítulo IV, se lo resume en el siguiente cuadro de interés:

Vanos	Pórtico	H (m)	L (m)	H/L -	u_m (cm)	u_y (cm)	μ -	T (seg)	R -
1	1	3	6	0.500	11.145	1.273	8.75	0.223	4.06
	2	6	6	1.000	28.315	1.645	17.21	0.372	5.78
	3	9	6	1.500	36.621	2.324	15.76	0.496	5.52
	4	12	6	2.000	31.322	3.384	9.26	0.594	9.26
2	5	3	12	0.250	11.779	0.935	12.60	0.215	4.92
	6	6	12	0.500	20.214	1.591	12.71	0.403	4.94
	7	9	12	0.750	26.814	2.293	11.69	0.528	11.69
	8	12	12	1.000	61.615	4.030	15.29	0.606	15.29
3	9	3	18	0.167	11.991	0.930	12.89	0.213	4.98
	10	6	18	0.333	21.886	1.710	12.80	0.415	4.96
	11	9	18	0.500	24.404	2.678	9.11	0.542	9.11
	12	12	18	0.667	40.285	3.367	11.965	0.531	11.96
4	13	3	24	0.125	11.734	0.932	12.59	0.211	4.92
	14	6	24	0.250	28.718	2.675	10.74	0.422	4.52
	15	9	24	0.375	25.472	1.906	13.36	0.550	13.36
	16	12	24	0.500	41.789	3.787	11.036	0.681	11.04

Tabla 5.1.- Resumen de los resultados obtenidos para pórticos de 1-4 vanos y 1-4 pisos.



Donde se procederá a analizar gráficamente como varía el factor “R” según el periodo de cada pórtico, según el número de pisos, y de la misma manera se analizara gráficamente como varia la ductilidad “ μ ” de la estructura.

5.1.1.-Pórticos de 1 Vano

Pisos	H (m)	L (m)	H/L	u_m (cm)	u_y (cm)	μ	T (seg)	R
1	3	6	0.500	11.145	1.273	8.75	0.223	4.06
2	6	6	1.000	28.315	1.645	17.21	0.372	5.78
3	9	6	1.500	36.621	2.324	15.76	0.496	5.52
4	12	6	2.000	31.322	3.384	9.26	0.594	9.26

Tabla 5.1.1.1.- Resumen de resultados para pórticos de 1 vanos de 1-4 pisos.

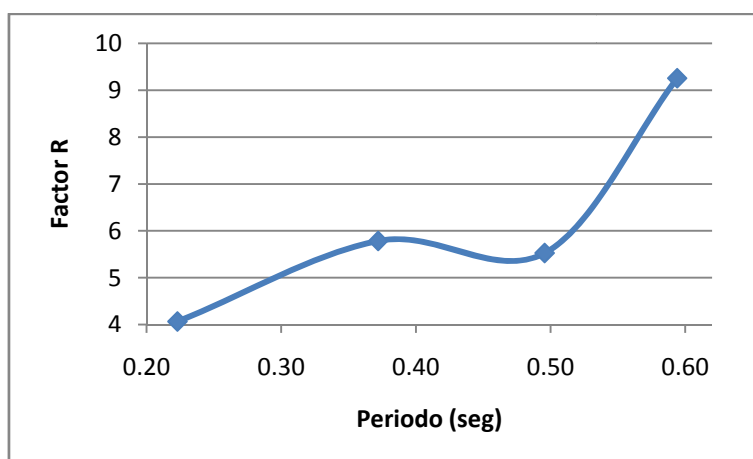


Gráfico 5.1.1.1.- Factor “R” vs “Periodo” para pórticos de 1 vano y 1-4 pisos.

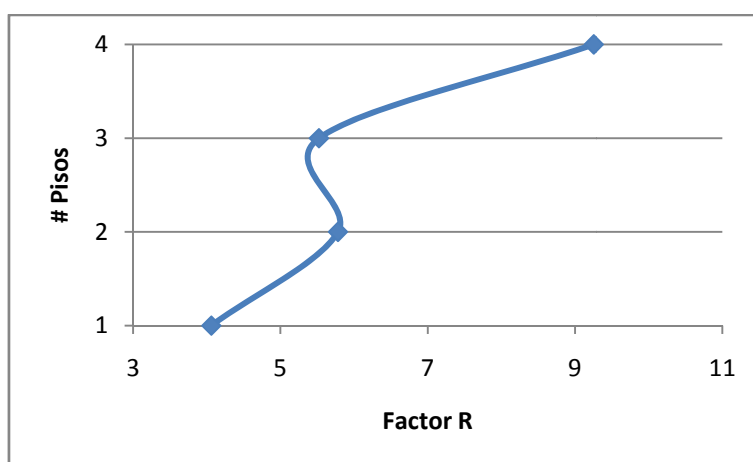


Gráfico 5.1.1.2.- # Pisos vs Factor “R” para pórticos de 1 vano y 1-4 pisos.

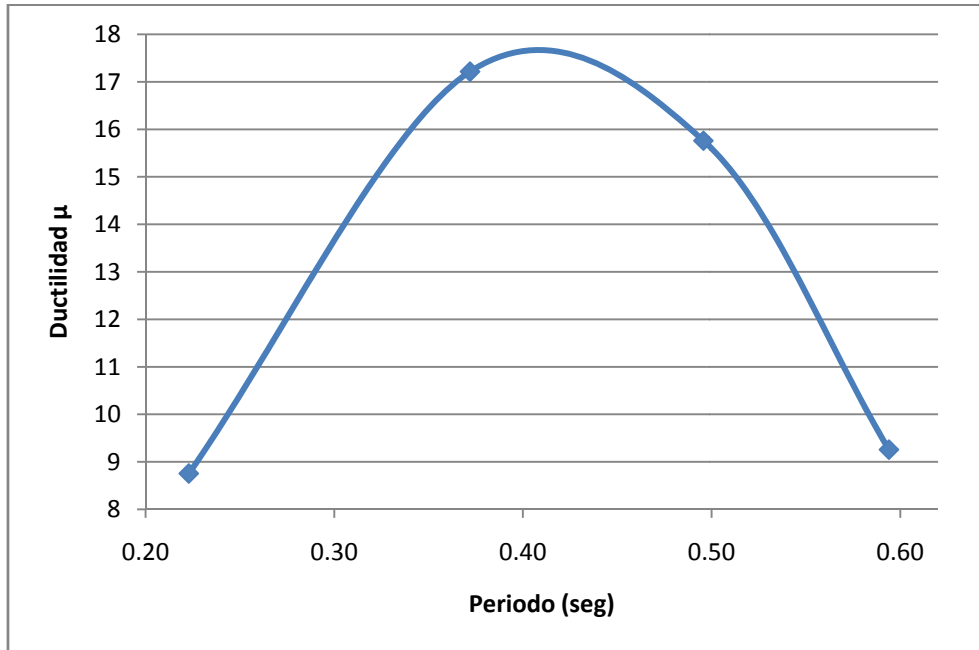


Gráfico 5.1.1.3.- Ductilidad vs "Periodo" para pórticos de 1 vano y 1-4 pisos.

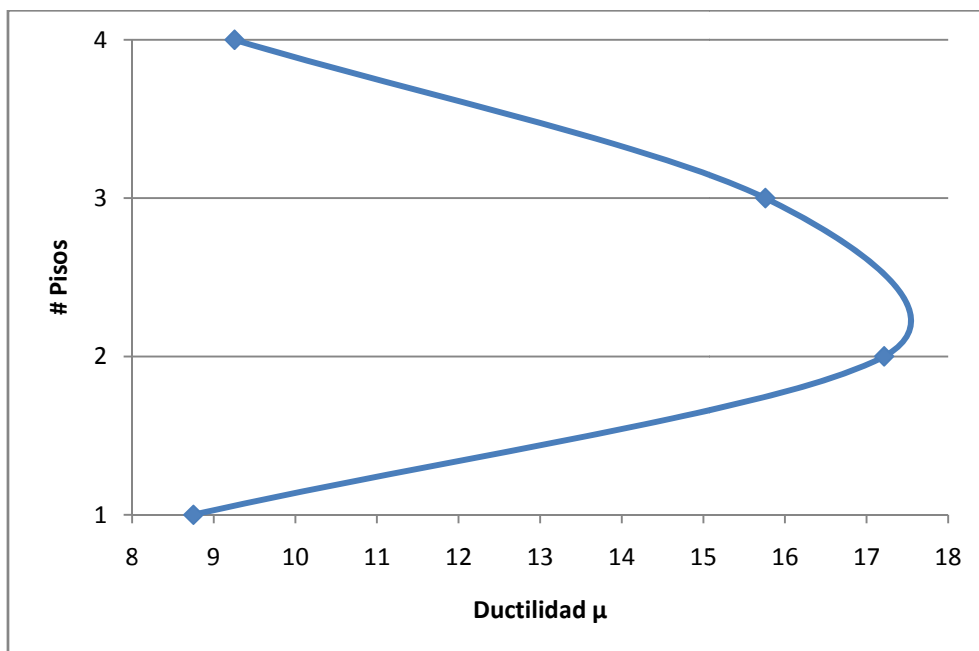


Gráfico 5.1.1.4.- # Pisos vs Ductilidad para pórticos de 1 vano y 1-4 pisos.



5.1.2.- Pórticos de 2 Vanos

Pórtico	H (m)	L (m)	H/L -	u_m (cm)	u_y (cm)	μ -	T (seg)	R -
5	3	12	0.250	11.779	0.935	12.60	0.215	4.92
6	6	12	0.500	20.214	1.591	12.71	0.403	4.94
7	9	12	0.750	26.814	2.293	11.69	0.528	11.69
8	12	12	1.000	61.615	4.030	15.29	0.606	15.29

Tabla 5.1.2.1.- Resumen de resultados para pórticos de 2 vanos de 1-4 pisos.

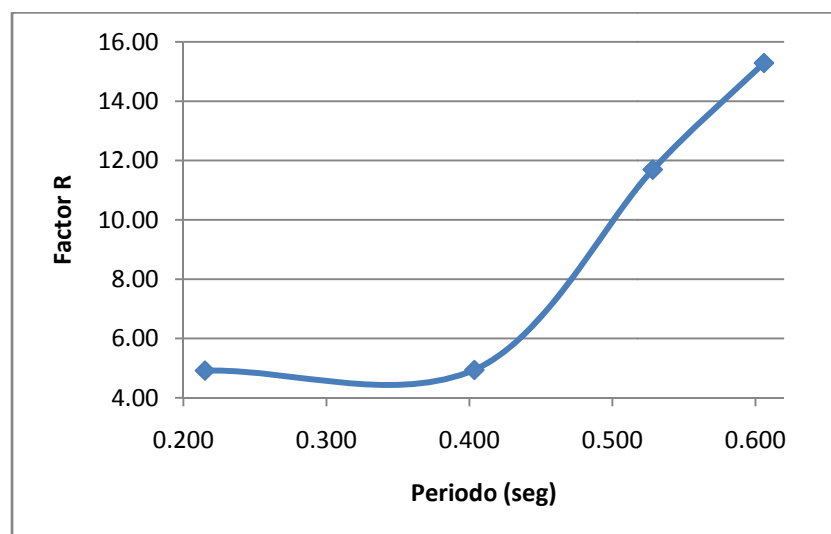


Gráfico 5.1.2.1.- Factor "R" vs "Periodo" para pórticos de 2 vanos y 1-4 pisos.

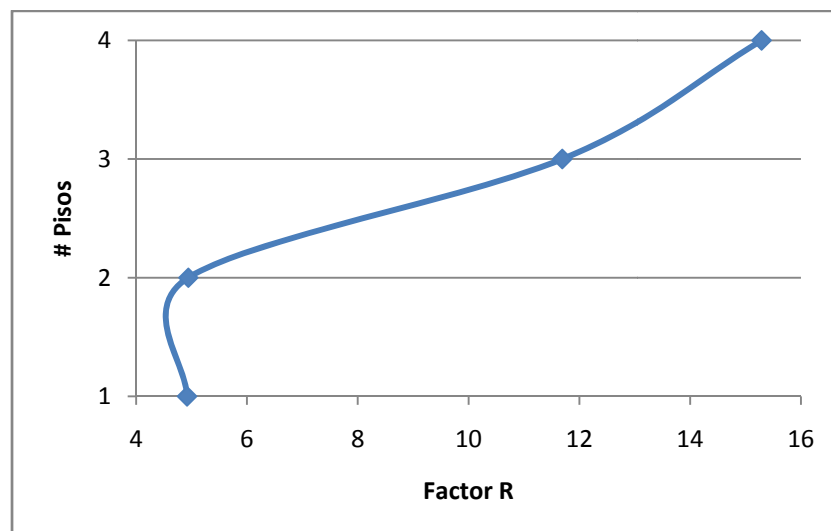


Gráfico 5.1.2.2.- # Pisos vs Factor "R" para pórticos de 2 vanos y 1-4 pisos.

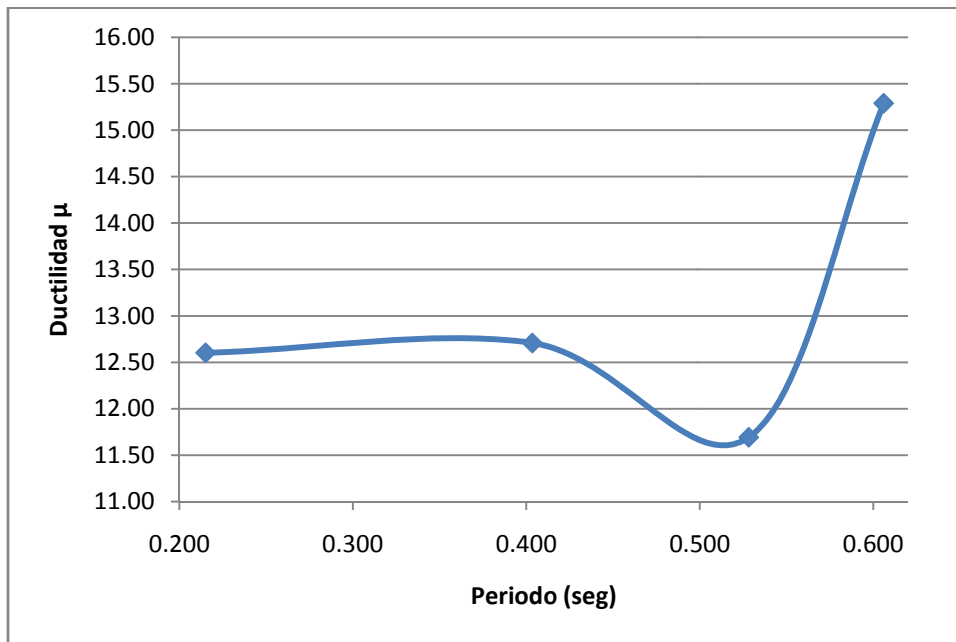


Gráfico 5.1.2.3.- Ductilidad vs "Periodo" para pórticos de 2 vanos y 1-4 pisos.

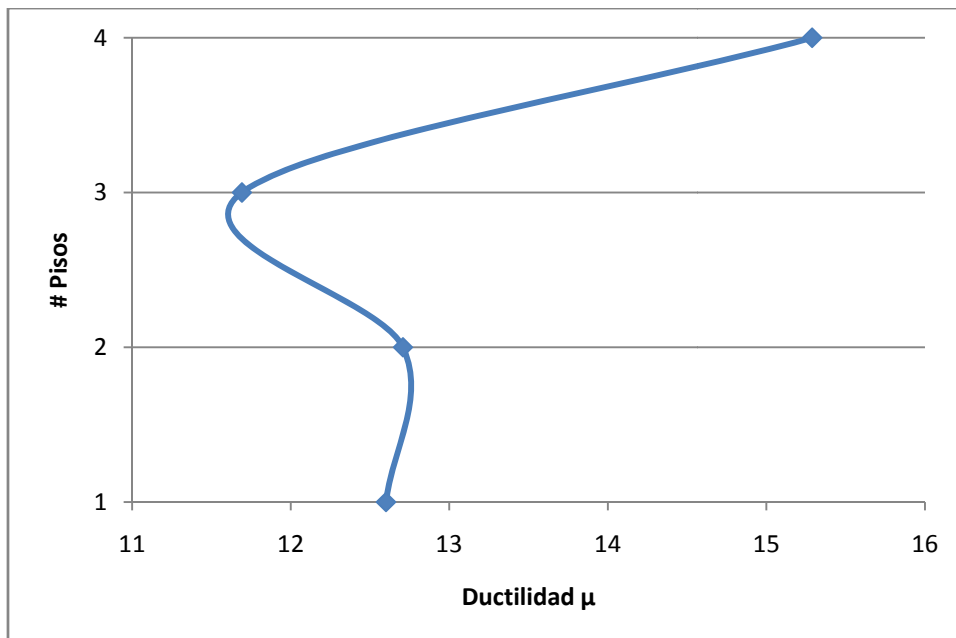


Gráfico 5.1.2.4.- # Pisos vs Ductilidad para pórticos de 2 vanos y 1-4 pisos.



5.1.3.- Pórticos de 3 Vanos

Pórtico	H (m)	L (m)	H/L -	u_m (cm)	u_y (cm)	μ -	T (seg)	R -
9	3	18	0.167	11.991	0.930	12.89	0.213	4.98
10	6	18	0.333	21.886	1.710	12.80	0.415	4.96
11	9	18	0.500	24.404	2.678	9.11	0.542	9.11
12	12	18	0.667	40.285	3.367	11.965	0.531	11.96

Tabla 5.1.3.1.- Resumen de resultados para pórticos de 3 vanos de 1-4 pisos.

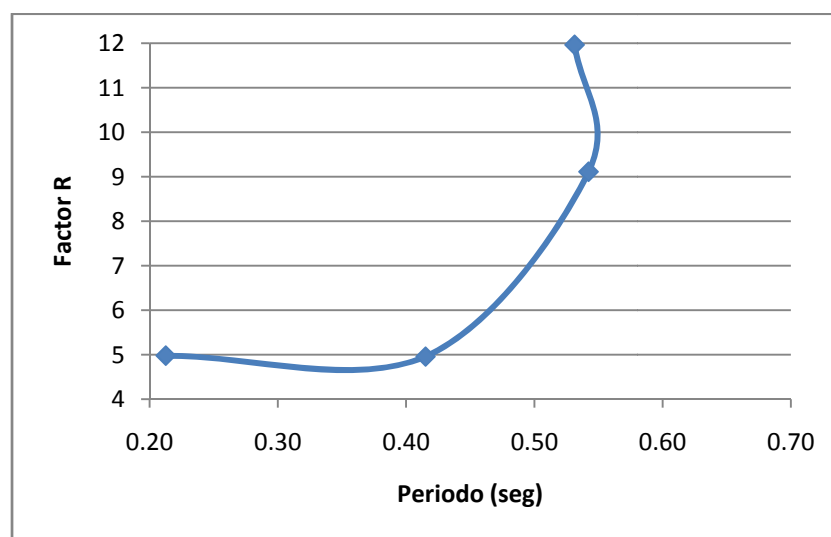


Gráfico 5.1.3.1.- Factor "R" vs "Periodo" para pórticos de 3 vanos y 1-4 pisos.

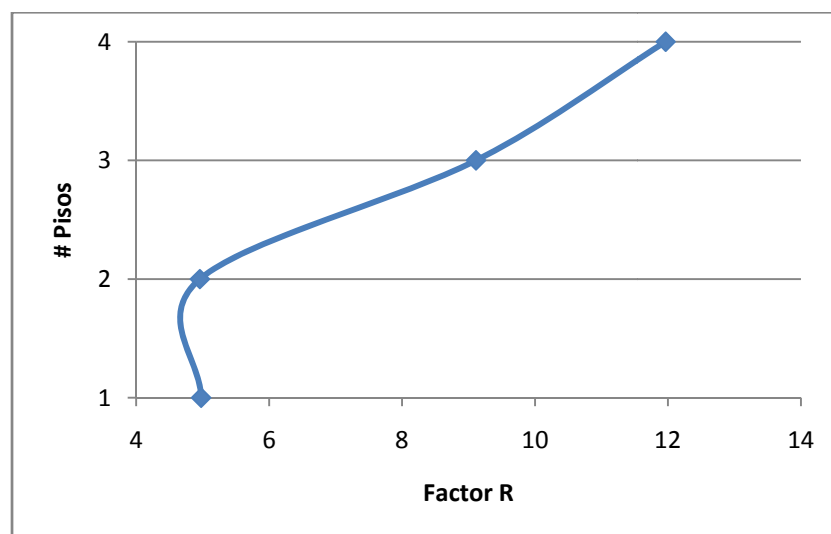


Gráfico 5.1.3.2.- # Pisos vs Factor "R" para pórticos de 3 vanos y 1-4 pisos.

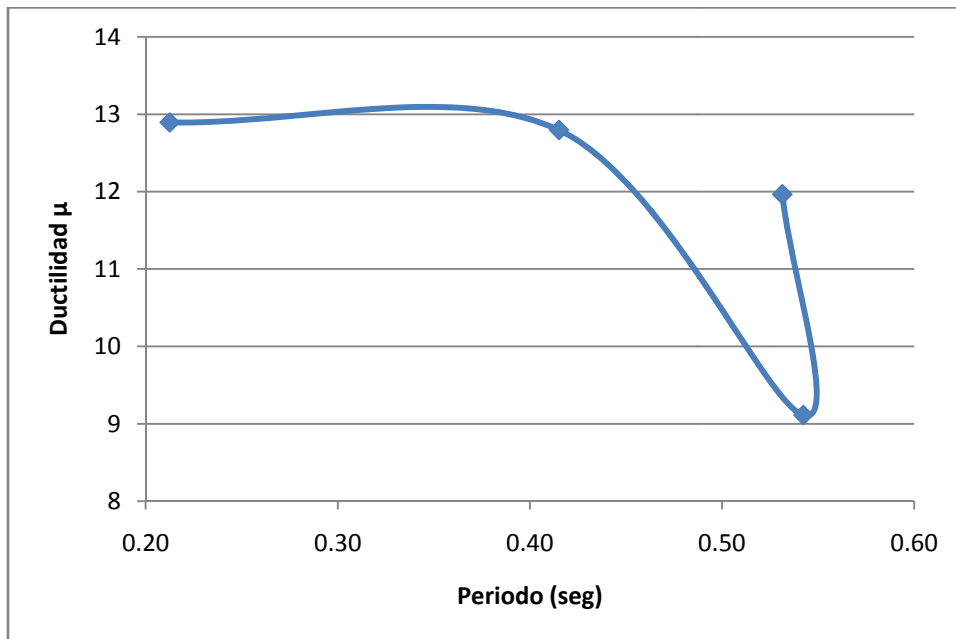


Gráfico 5.1.3.3.- Ductilidad vs "Periodo" para pórticos de 3 vanos y 1-4 pisos.

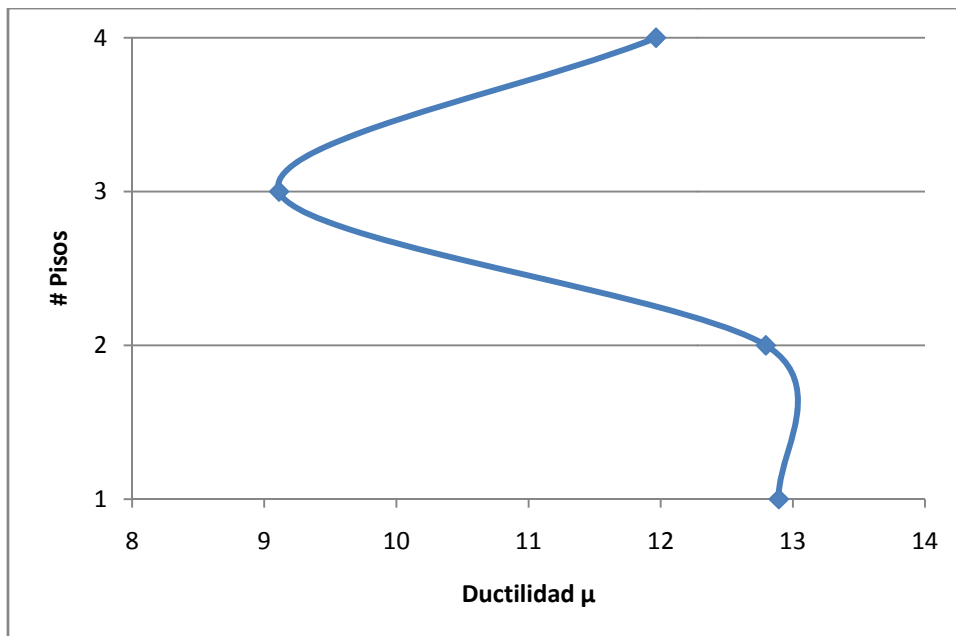


Gráfico 5.1.3.4.- # Pisos vs Ductilidad para pórticos de 3 vanos y 1-4 pisos.



5.1.4.- Pórticos de 4 Vanos:

Pórtico	H (m)	L (m)	H/L -	u_m (cm)	u_y (cm)	μ -	T (seg)	R -
13	3	24	0.125	11.734	0.932	12.59	0.211	4.92
14	6	24	0.250	28.718	2.675	10.74	0.422	4.52
15	9	24	0.375	25.472	1.906	13.36	0.550	13.36
16	12	24	0.500	40.525	3.951	10.257	0.681	10.26

Tabla 5.1.4.1.- Resumen de resultados para pórticos de 4 vanos de 1-4 pisos.

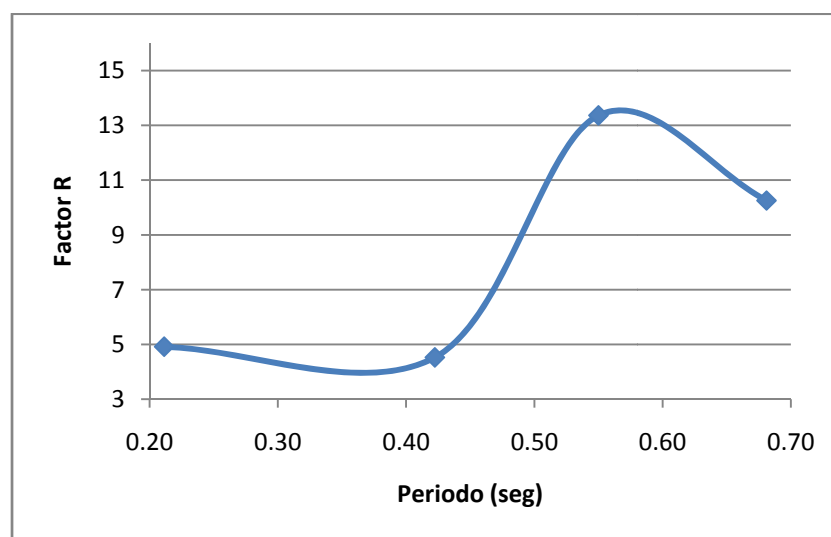


Gráfico 5.1.4.1.- Factor "R" vs "Periodo" para pórticos de 4 vanos y 1-4 pisos.

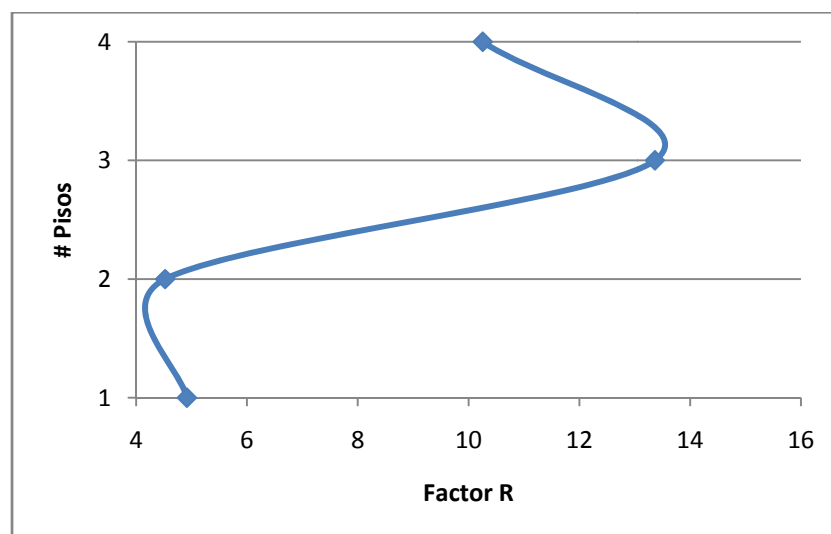


Gráfico 5.1.4.2.- # Pisos vs Factor "R" para pórticos de 4 vanos y 1-4 pisos.

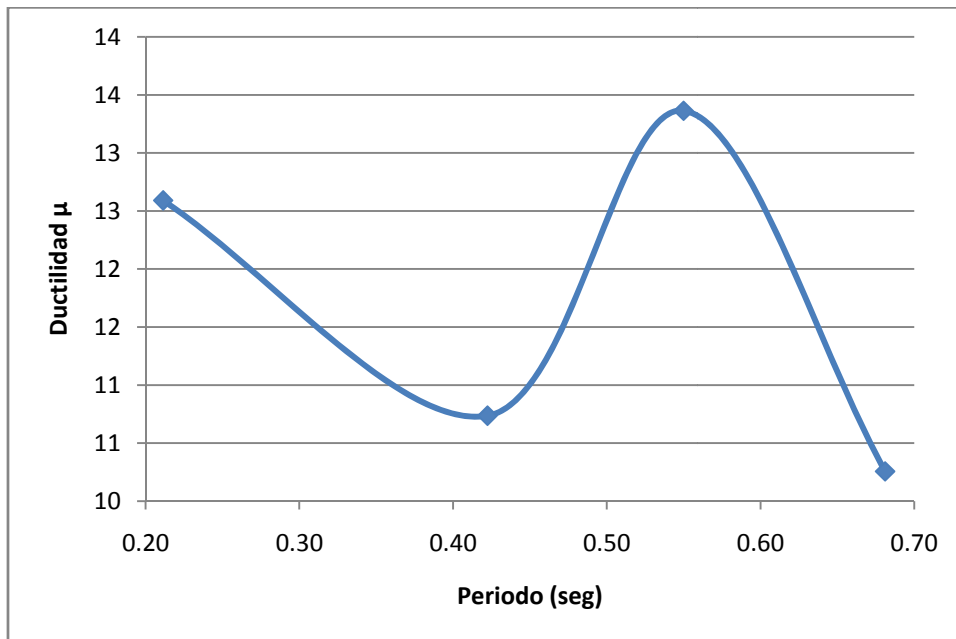


Gráfico 5.1.4.3.- Ductilidad vs "Periodo" para pórticos de 4 vanos y 1-4 pisos.

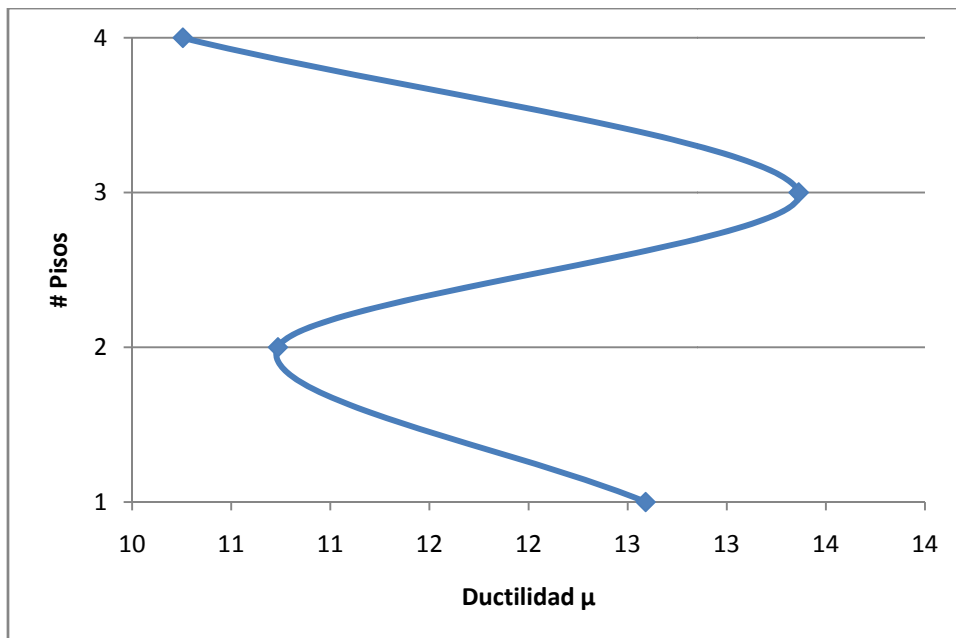


Gráfico 5.1.4.4.- # Pisos vs Ductilidad para pórticos de 4 vanos y 1-4 pisos.



5.2.- Gráficas totales:

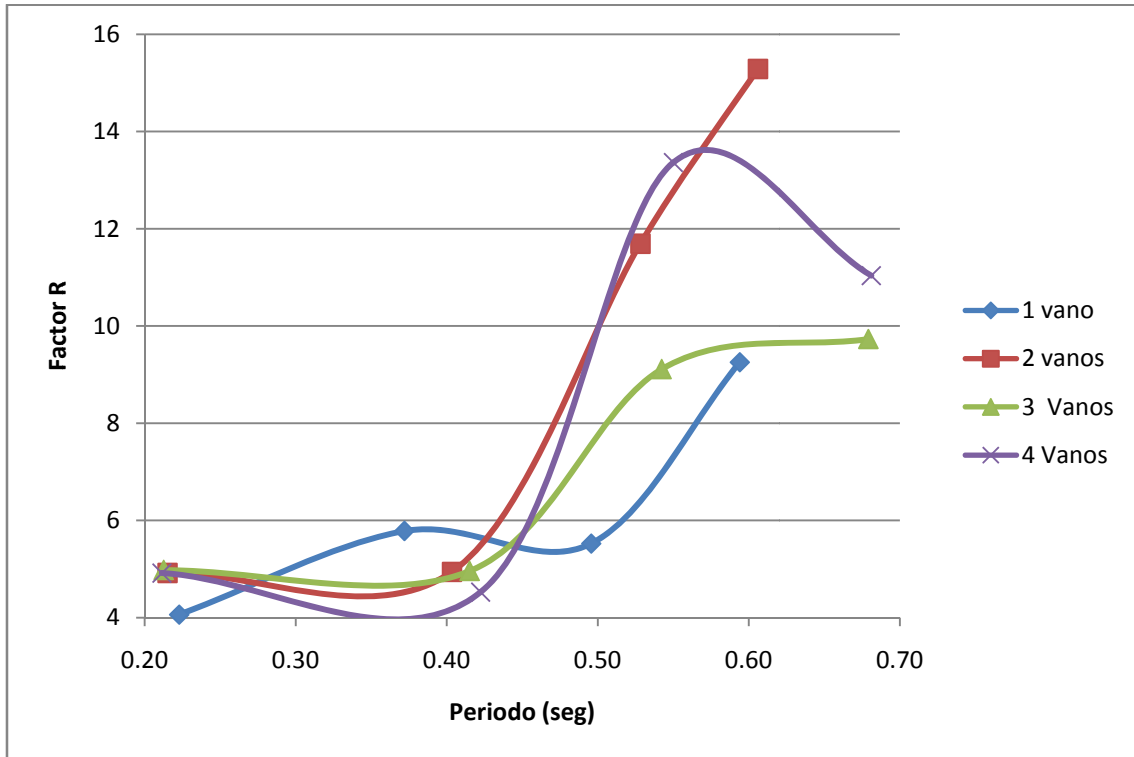


Gráfico 5.2.1.- Factor "R" vs "Periodo" para pórticos de 1-4 vanos y 1-4 pisos.

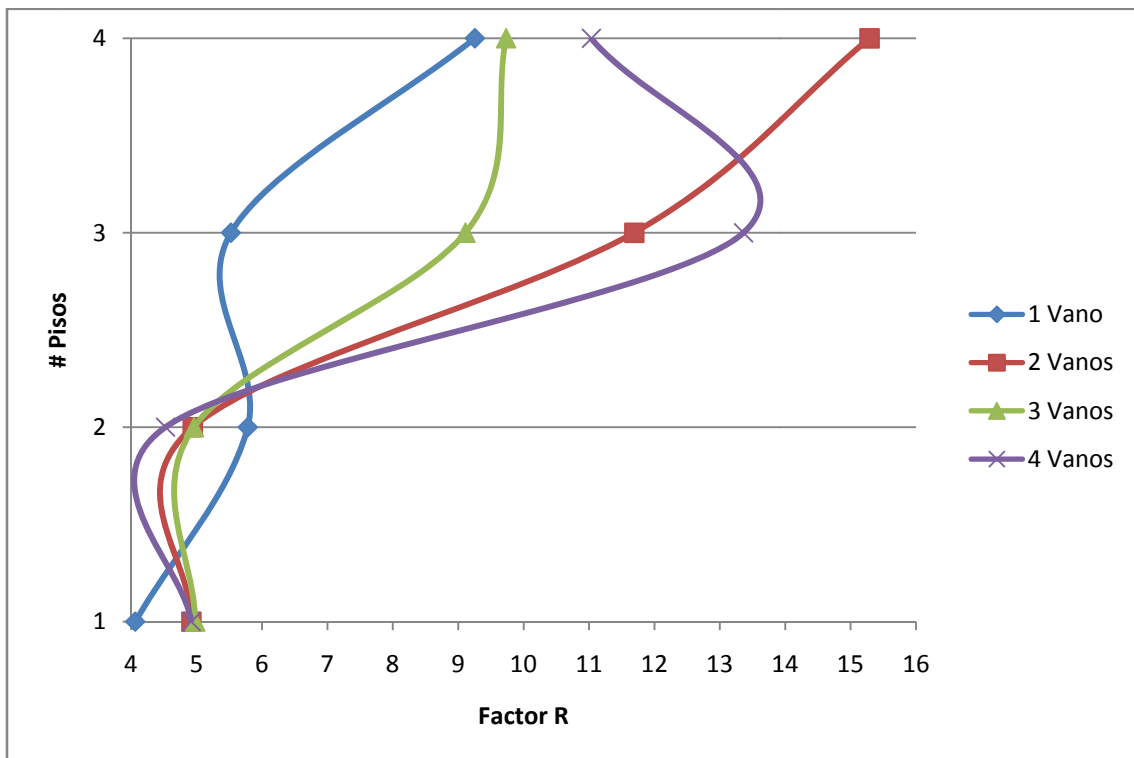


Gráfico 5.2.2.- # Pisos vs Factor "R" para pórticos de 1-4 vanos y 1-4 pisos.

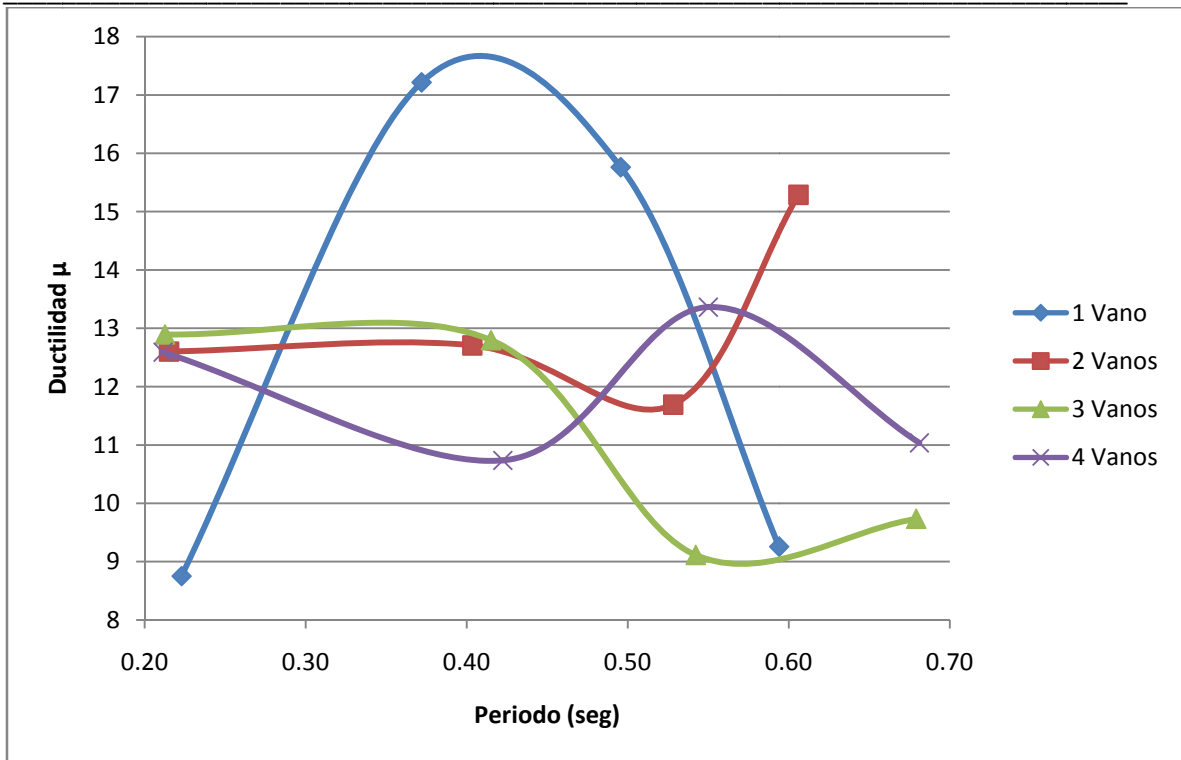


Gráfico 5.2.3.- Ductilidad vs "Periodo" para pórticos de 1-4 vanos y 1-4 pisos.

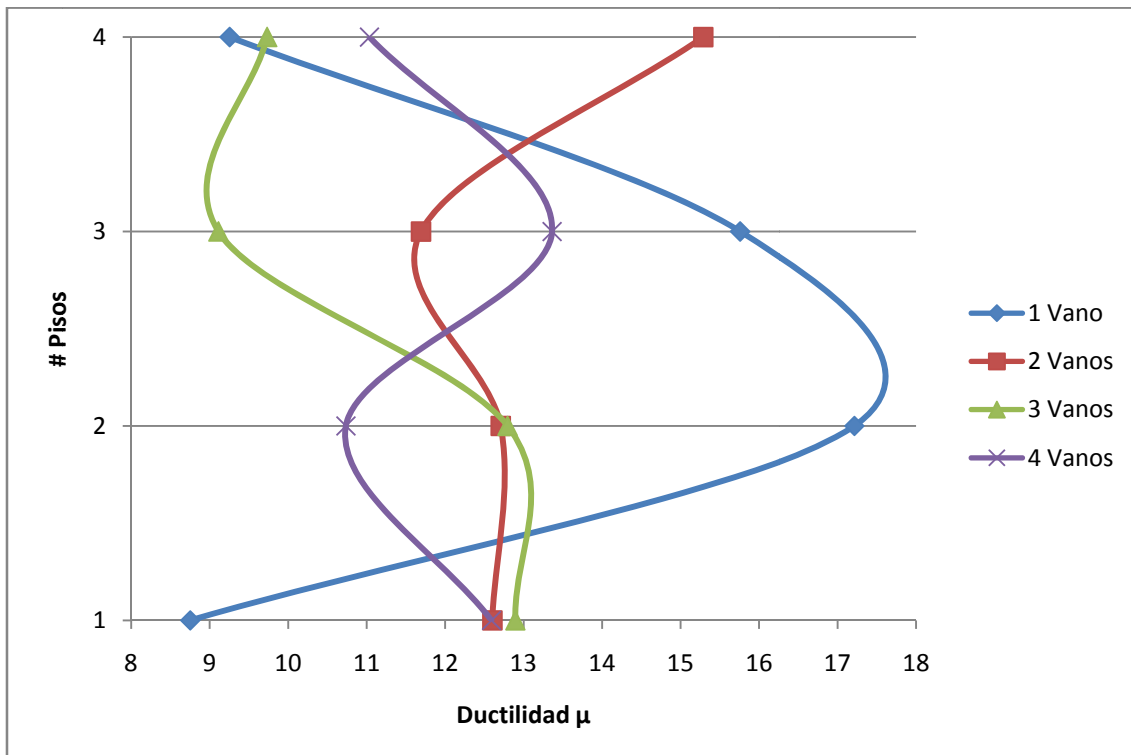


Gráfico 5.2.4.- # Pisos vs Ductilidad para pórticos de 1-4 vanos y 1-4 pisos.



De las curvas de todos los pórticos vistas en (4.2.) se puede observar:

- 1.- En el gráfico 5.2.1 se observa cómo va variando el Factor "R" vs el periodo de forma aproximadamente "parabólica" de tal manera que se puede inducir que la curva para 2 vanos es la curva de tendencia del factor "R" para estos casos en particular.
- 2.- De la misma manera en el gráfico 5.2.2 se observa como aproximadamente se mantiene el factor hasta el segundo piso, y luego se incrementa a lo largo del tercer y cuarto piso.
- 3.- En los gráficos 5.2.3 y 5.2.4 se puede apreciar como en los porticos de 1 vano la ductilidad aumenta hasta el segundo piso, disminuye un poco en el tercer piso y luego disminuye drásticamente en el cuarto piso, hasta obtener una ductilidad similar a la del primer piso. Sin embargo en los pórticos de 2, 3 y 4 vanos hay un equilibrio aproximadamente, donde la ductilidad se mantiene en rangos de $(11- a 13) \pm 2$.

5.3.- Conclusiones Generales:

- 1.-La relación que existe entre las dimensiones de la sección y las propiedades de los materiales influye en la ductilidad del elemento, tal que, para una viga dada de características b , d , f_y , f'_c y A_s , se obtiene una ductilidad μ ; en el momento que se disminuye cualquier característica, la ductilidad se verá afectada.
- 2.- La ductilidad de la curvatura aumenta en la medida que la cuantía de acero longitudinal disminuye. Demasiado acero de refuerzo longitudinal en tensión causa aplastamiento y descascaramiento del concreto en compresión antes de que el acero de tensión fluya.
- 3.- La carga axial tiene una influencia importante en la curvatura. Si la carga axial está por encima del punto balanceado, el diagrama momento-curvatura llega a ϵ_{cu} antes de llegar a fluencia. Por lo tanto, las secciones con carga axial mayor que la balanceada no tienen ductilidad.
- 4.-Si la zona de compresión del elemento está confinada por refuerzo transversal espaciado muy cerca tal como estribos cerrados de confinamiento o espirales, la ductilidad del concreto mejora notablemente.



5.4.- Conclusiones Finales:

- 1.- Es importante aclarar la influencia de la filosofía de diseño, lo que aplican o restringen los códigos, en la manera que se diseña cada pórtico; ya que sabemos la manera cómo influyen las dimensiones, y propiedades de cada elemento y de cada pórtico en la ductilidad final de la estructura.
- 2.- Es fundamental guiarnos con los códigos, pero estos al ser muy generales y al malinterpretar ciertos requisitos podríamos poner en peligro un diseño satisfactorio.
- 3.- El ASCE nos brinda factores de reducción para sistemas de pórticos de concreto momento-resistentes, que varían desde $R = 3$, si son “Pórticos Ordinarios”, $R = 5$, si son “Pórticos Intermedios” y $R = 8$ si son “Pórtico Especiales”, pero tendremos esa incertidumbre de la demanda real del factor “R” para cada Estructura.
- 4.- Se puede concluir finalmente que un análisis pushover es una herramienta de verificación que nos sirve para demostrar si elegimos un factor de reducción de acuerdo a las demandas sísmicas de la estructura. Por lo tanto no está de más realizar un análisis pushover para un diseño óptimo, seguro y eficientemente económico.



BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFÍA:

TEXTOS:

- Chopra, Anil k., *DYNAMICS OF STRUCTURES: THEORY AND APLICACIONES TO EARTHQUAKE ENGINEERING*. Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, NJ, Second edition, 2001. (Ref.-1).
- Park & Paulay, *ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO*. Editorial Limusa, Mexico D.F., Primera edición, 1978.
- Paulay T., Priestly M.J.N., *SEISMIC DESIGN OF REINFORCED CONCRETE AND MASONRY BUILDINGS*. John Wiley & Sons, Inc., USA, 1992.
- Paz, Mario, *STRUCTURAL DYNAMICS: THEORY AND COMPUTATION*. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, Third edition, 1991.
- ASCE Standard ASCE/SEI 7-10, *MINIMUM DESIGN LOADS FOR BUILDINGS AND OTHERS STRUCTURES*. American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2010.
- ACI 318S-05 y Comentario ACI 318R-05, *REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL*. American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2005.
- FEMA, ACI & ASCE, *PRESTANDARD AND COMMENTARY FOR THE SEISMIC REHABILITATION OF BUILDINGS*. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., 2000.

INVESTIGACIONES:

- García, L.E., *RIGIDEZ DE ELEMENTOS DE CONCRETO REFORZADO*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia, 2010. (Ref.-2)
- Vielma J., Lobo W. y Rivero P., *FACTORES DE REDUCCION DE RESPUESTA POR DUCTILIDAD DE ESTRUCTURAS CON COMPORTAMIENTO NO LINEAL*. Universidad Carabobo, Valencia, Venezuela, 2005.
- Vielma J., Barbat A., y Oller S., *FACTORES DE REDUCCION DE RESPUESTA. ESTADO DEL ARTE Y ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE CODIGOS*. ESPE, Quito, Ecuador, 2006