



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Facultad de Ingeniería Civil

“Diseño de edificio de concreto reforzado en Lázaro Cárdenas

Michoacán empleando criterios de desempeño”

TESIS

Que para obtener el grado de:

Ingeniero Civil

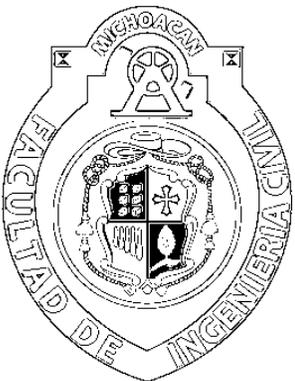
Presenta:

Antonio Rodríguez Rangel

Asesor:

Dr. José Manuel Jara Guerrero

Morelia, Michoacán, México Mayo, 2022



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

DEDICATORIA

A mis padres (q. e. p. d.):

José Dolores y María Isabel

A mi esposa e hijas:

Marta Patricia, Martha Isabel y Brenda Patricia

A mis hermanos:

María Elena, Juan Carlos, María del Socorro,

Armando, María Dolores, Alejandro,

Sergio, María de la Salud y María Isabel

A mis amigos:

Juan y Jorge

*Por su comprensión y toda la valiosa ayuda que me dieron en todo el tiempo que duró la
elaboración de este trabajo.*

Gracias.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido realizar este sueño.

A mi esposa e hijas por su cariño y apoyo.

A mis hermanos y amigos, en especial un sincero agradecimiento a mi hermana María

Elena por su gran apoyo moral y económico en la época de estudiante.

Un especial agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo por todos los conocimientos que me transmitieron, incentivando mi curiosidad por el diseño estructural y el amor a esta profesión.

De manera especial expreso mi gratitud a mi asesor, el Dr. José Manuel Jara Guerrero por su invaluable apoyo y disposición para ayudarme en el desarrollo de este trabajo.

A todos ustedes, "Muchas gracias"

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

RESUMEN

En el presente trabajo se describe en forma detallada la teoría y aplicación del diseño sísmico basado en desempeño. Se explica el método del espectro de capacidad usando el ATC-40 (métodos A, B y C) y el FEMA 440 (métodos A, B y C), utilizando ejemplos de aplicación para cada uno de ellos. Se analizó un marco (que se encuentra en el anexo) para obtener los datos de la curva de capacidad que sirvieron para la elaboración de los ejemplos.

Se realiza el diseño de un edificio para oficinas corporativas en la ciudad de Lázaro Cárdenas Michoacán.

En el modelo estructural se aplicaron los criterios y requerimientos de las NTC DF 2004 y el MOC DS 2008 CFE, utilizando el programa ETABS 18.1.1 El espectro de diseño sísmico fue definido mediante una hoja de cálculo de Excel, con los parámetros tomados de un estudio de mecánica de suelos realizado expresamente para este edificio; también se determinó el espectro, usando los mismos datos, pero con base en el MOC DS 2015 CFE, y se realizó la comparación entre ambos espectros.

Primeramente, se realizó el diseño elástico del edificio utilizando el análisis dinámico espectral y cumpliendo con los desplazamientos verticales y las derivas de entrepiso indicadas en el MOC DS 2008 CFE. De este análisis se obtuvo el acero de refuerzo necesario.

Posteriormente, se realizó un análisis estático no lineal (Pushover) siguiendo las recomendaciones dadas por el ASCE/SEI 41-13. El modelo estructural y el análisis se desarrolló también con el programa ETABS. El objetivo a cumplir es un Objetivo Básico, por ser un edificio para oficinas. Se definieron los factores de escala para el sismo de servicio, el sismo de diseño y el sismo máximo. Finalmente, se obtuvo la curva de capacidad y se analizó el proceso de formación de rótulas plásticas en sus elementos.

Con relación a los resultados, se obtuvo el punto de desempeño mediante la aplicación del método del Espectro de Capacidad FEMA 440 y por el método de los Coeficientes ASCE 41-

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

13. Se calcularon las derivas de acuerdo al FEMA 440 y al ASCE 41-13 y se presenta la evaluación del desempeño sísmico de acuerdo a los objetivos de desempeño recomendados por el Comité VISION 2000 y el ATC-40.

Palabras clave: *Análisis estático no lineal; curva de capacidad; rótulas plásticas; punto de desempeño; objetivos de desempeño.*

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

ABSTRACT

This paper describes in detail the theory and application of performance-based seismic design. The capacity spectrum method is explained using ATC-40 (methods A, B and C) and FEMA 440 (methods A, B and C), using application examples. A frame of the building (found in the appendix) was analyzed to obtain the capacity curve data that served for the development of the examples.

The design of a building for corporate offices in the city of Lázaro Cárdenas Michoacán was carried out.

The structural model applied the criteria and requirements of the NTC DF 2004 and the MOC DS 2008 CFE, using the ETABS 18.1 program. The seismic design spectrum was defined using an Excel spreadsheet, with the parameters taken from a soil mechanics study performed specifically for this building; the spectrum was also determined, using the same data, but based on the MOC DS 2015 CFE, and a comparison was made between both spectra.

First, the elastic design of the building was carried out using the dynamic spectral analysis and complying with the vertical displacements and the interstory drifts indicated in the MOC DS 2008 CFE. The required reinforcing steel was obtained from this analysis.

Subsequently, a nonlinear static analysis (Pushover) was performed following the recommendations given by ASCE/SEI 41-13. The structural model and analysis were also developed with the ETABS program. The objective to be fulfilled is a Basic Objective, since it is an office building. The scaling factors for the serviceability earthquake, the design earthquake and the maximum earthquake were defined. Finally, the capacity curve was obtained and the formation process of plastic hinges in its elements was analyzed.

Regarding the results, the performance point was obtained by applying the FEMA 440 Capacity Spectrum method and the ASCE 41-13 Coefficients method. Drifts were calculated according to FEMA 440 and ASCE 41-13 and the seismic performance evaluation is presented

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

according to the performance objectives recommended by the VISION 2000 Committee and ATC-40.

Keywords: nonlinear static analysis; capacity curve; plastic hinges; performance point; performance objectives.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Contenido

Capítulo 1	INTRODUCCIÓN	13
1.1	Justificación	14
1.2	Objetivo General.....	14
1.3	Objetivos Particulares.....	14
1.4	Alcance.....	15
Capítulo 2	FILOSOFÍAS DE DISEÑO	16
2.1	Diseño basado en fuerzas	16
2.1.1	Pasos a seguir en el diseño basado en fuerzas.....	16
2.2	Diseño basado en desempeño	18
2.3	Objetivos de desempeño	19
2.3.1	Propuesta del comité VISIÓN 2000 (SEAOC, 1995)	24
2.3.2	Propuesta del ATC-40:.....	30
2.4	ATC-40	38
2.4.1	Análisis estático no lineal	38
2.4.2	Procedimiento conceptual del método del espectro de capacidad	42
2.5	FEMA 440.....	129
2.6	Resumen de valores, métodos A, B, y C ejemplos de aplicación	203
2.7	Espectro de Respuesta	203
2.7.1	Definición.....	203
2.7.2	Espectro de respuesta inelástico	210

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.8	Espectro de diseño.....	212
2.8.1	Definición.....	212
2.8.2	Espectros de diseño en México	212
Capítulo 3	SISMICIDAD LOCAL.....	234
3.1	Sismicidad en la República Mexicana	234
3.2	Sismos más importantes en México.....	243
3.3	Terremotos históricos	247
3.4	Daños observados en Lázaro Cárdenas Michoacán.....	261
Capítulo 4	ANÁLISIS ELÁSTICO DEL EDIFICIO	293
4.1	Ubicación.....	293
4.2	Diseño elástico del edificio.....	298
4.2.1	Normatividad empleada	298
4.2.2	Condiciones de irregularidad.....	299
4.2.3	Geometría	305
4.2.4	Vista 3D y plantas de la estructura.....	328
4.2.5	Definición de materiales	334
4.2.6	Definición de secciones.....	336
4.2.7	Factores de reducción de rigideces	338
4.2.8	Brazos rígidos	340
4.2.9	Diafragma (rígido/flexible)	343
4.2.10	Análisis de cargas	347

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.11	Definición de patrones de carga.....	353
4.2.12	Asignación de cargas	356
4.2.13	Análisis dinámico espectral	360
4.2.14	Acción sísmica	360
4.2.15	Espectro elástico y espectro reducido.....	360
4.2.16	Casos de carga	361
4.3	Sismicidad de Lázaro Cárdenas (Atlas de riesgo Lázaro Cárdenas Michoacán).....	361
4.3.1	Carga sísmica, espectro en X y espectro en Y	370
4.3.2	Definición de materiales	372
4.3.3	Masa.....	373
4.3.4	Efecto P-Delta	373
4.3.5	Caso modal	374
4.3.6	Combinaciones de carga según las (NTC-RCDF, 2004)	375
4.3.7	Combinaciones de carga en el modelo	376
4.3.8	Grados de libertad.....	377
4.3.9	Resultados del análisis dinámico espectral.....	378
4.3.10	Resultados del diseño	385
Capítulo 5	ANÁLISIS POR DESEMPEÑO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO	411
5.1	Objetivos de desempeño.....	411
5.2	Geometría.....	414
5.3	Modos y periodo de vibrar	414

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.4	Secciones con acero de refuerzo teórico	415
5.5	Área de refuerzo real.....	416
5.6	Carga gravitacional no lineal (CGNL-X)	421
5.7	Carga gravitacional no lineal (CGNL-Y)	422
5.8	Patrón de carga lateral no lineal PUSH-X (modo 1).....	423
5.9	Patrón de carga lateral no lineal PUSH-Y (modo 2).....	424
5.10	Configuración de otros parámetros.....	425
5.11	Espectro elástico.....	428
5.12	Casos de carga no lineal	429
5.13	Revisión de la condición de falla por flexión (i) o corte (ii) de la viga.....	430
5.14	Revisión de la consideración de confinamiento “C” y “NC”	431
5.15	Revisión de la condición de falla de la columna eje 3A	432
5.16	Disposición de rótulas plásticas en vigas dirección X.....	436
5.17	Disposición de rótulas plásticas en vigas dirección Y.....	438
5.18	Aplicación de rótulas plásticas en vigas dirección X.....	442
5.19	Disposición de rótulas plásticas en columnas	443
5.20	Aplicación de rótulas plásticas en columnas	444
5.21	Articulaciones plásticas en vigas del eje 2 al 6.....	448
5.22	Articulaciones plásticas en vigas del eje A al M	453
5.23	Resultados del PUSHOVER	460
5.23.1	Revisión de articulaciones plásticas.....	460

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.2	Curva de capacidad dirección X.....	473
5.23.3	Curva de capacidad dirección Y.....	475
5.23.4	Definición de sismo de servicio, diseño y máximo	477
5.23.5	Factores de escala para la acción sísmica	478
5.23.6	Punto de desempeño dirección X, método del espectro de capacidad (FEMA-440) 480	
5.23.7	Punto de desempeño dirección X, método de los coeficientes (ASCE 41-13)....	484
5.23.8	Punto de desempeño dirección Y, método del espectro de capacidad (FEMA-440) 488	
5.23.9	Punto de desempeño dirección Y, método de los coeficientes (ASCE 41-13.....	492
5.23.10	Verificación del desempeño.....	496
5.24	Criterios de aceptabilidad	501
5.24.1	Control de derivas	502
5.24.2	Evaluación de resultados	506
Capítulo 6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	507
Capítulo 7	Bibliografía	509
Capítulo 8	LISTA DE FIGURAS	512
Capítulo 9	LISTA DE TABLAS.....	533
ANEXO	538

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

En México, la mayor parte de los sismos de gran magnitud son producidos por la subducción de las placas de cocos y de Rivera por debajo de la placa de Norteamérica. La línea donde comienza la subducción se encuentra a pocos kilómetros fuera de las costas de Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas, cerca de ahí es donde se encuentra la mayoría de los epicentros. Actualmente, existe la Brecha de Guerrero con más de 100 años que no se presenta un sismo de magnitud importante que incrementa la probabilidad de que ocurra un sismo de gran magnitud con epicentro en esa zona. (Manzano, 2012).

En los últimos años, con la existencia de varios terremotos muy importantes tanto a nivel mundial como nacional y en México después de los sismos de septiembre de 1985 y 2017 que afectaron notablemente a la ciudad de México, se pone de manifiesto la vital importancia de realizar un adecuado proyecto sismorresistente de estructuras. En este sentido, las tendencias recientes en el proyecto de estructuras sismorresistentes se encaminan hacia filosofías de diseño basadas en el desempeño o comportamiento («Performance Based Seismic Engineering» (PBSE)). En estas filosofías la estructura se diseña específicamente para alcanzar ciertos niveles de desempeño, definidos con antelación bajo intensidades sísmicas también preestablecidas. Es decir, a diferencia de las metodologías de cálculo usadas comúnmente en el proyecto sísmico basadas en fuerzas, la tendencia es aplicar metodologías mediante las cuales se pueda predecir de mejor manera el desplazamiento de la estructura, e incluso fijar con ello, el daño estructural que se espera. Los terremotos de Northridge de 1994 y Kobe de 1995 pusieron de manifiesto con claridad que los «métodos basados en fuerzas» (DBF) no permitían definir de forma cuantitativa los niveles de daño asociado a una estructura. Además, los métodos clásicos basados en fuerzas, se rigen fundamentalmente en cálculos lineales con espectros de diseño reducidos, lo que origina una respuesta no lineal de los edificios ante terremotos de importancia. En ese sentido, en el presente trabajo, se aborda el cálculo de estructuras convencionales de edificación

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

mediante «cálculos estáticos no lineales», que es una de las herramientas para aplicar la filosofía de proyecto basada en el desempeño. El análisis inelástico nos ayuda a comprender de mejor manera el comportamiento no lineal del edificio. La curva de capacidad muestra el progreso de daño de la edificación y como se van formando las rótulas plásticas hasta alcanzar el colapso de la estructura. Adicionalmente, se evalúa el desempeño sísmico al introducir la demanda sísmica y con ello se determinan los desplazamientos para verificar que cumpla con los objetivos establecidos al inicio del proyecto. (Alonzo, 2016).

1.1 Justificación

Con la filosofía del diseño basado en el desempeño se determina de mejor manera el comportamiento de las estructuras, más allá del límite elástico. Se define desde un inicio el daño que deseamos aceptar, de acuerdo a los objetivos que fijemos al iniciar el proyecto en conjunto con el cliente, el arquitecto, corresponsable estructural, DRO (director responsable de obra) y el proyectista estructural. Esto no es posible realizarlo con los análisis lineales que se usan en el método de las fuerzas que son los que se usan comúnmente en la práctica profesional.

Los métodos dinámicos no lineales que permite la norma todavía resultan imprácticos para los edificios más comunes que se construyen en ciertas regiones, los usan más comúnmente para diseñar edificios muy altos e importantes, lo cual no es muy común en esta región.

1.2 Objetivo General

Realizar el diseño sísmico de un edificio de concreto de cuatro niveles empleando la metodología del diseño basado en desempeño.

1.3 Objetivos Particulares

- Elaborar el modelo del edificio concreto de cuatro niveles
- Hacer un análisis dinámico espectral cumpliendo las NTC DS 2004 y el MOC DS 2008 CFE
- Realizar el análisis Pushover

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- Determinar la demanda sísmica
- Evaluar los niveles de desempeño sísmico
- Verificar que se cumpla con las derivas para un **objetivo básico considerando** el sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo

1.4 Alcance

El alcance de este trabajo comprende únicamente el análisis y diseño de la superestructura del edificio de concreto de cuatro pisos, la cimentación queda fuera del alcance de este trabajo.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Capítulo 2 FILOSOFÍAS DE DISEÑO

2.1 Diseño basado en fuerzas

El diseño de edificios con la reglamentación actual está basado en fuerzas (análisis elástico de las estructuras). este incluye el análisis estático y dinámico. Se basa en tener espectros de diseño, y es usado por la mayoría de los reglamentos, se aplican los factores que marcan los reglamentos y después verificar los desplazamientos al final con los espectros sin reducir

El nombre que se le da Basado en Fuerzas es porque lo primero que obtenemos para el diseño del edificio son precisamente las fuerzas ,usamos el espectro de diseño para que con base en multiplicar el espectro de diseño por el peso del edificio nos da el cortante basal y solamente los repartimos en los diferentes niveles de la estructura, el paso de esto es tener espectros de pseudoaceleracion ,para obtener las fuerzas laterales que deben aplicarse a los distintos niveles de los edificios , el diseño basado en fuerzas es la filosofía tradicional que seguimos usando de manera general

La principal ventaja que presenta este método es la simplicidad de su aplicación, se trabaja con el periodo elástico sabiendo que se adentra en el intervalo inelástico. El factor Q no se verifica para el comportamiento real de la estructura y la suposición de que el concepto de desplazamientos equivalentes es aplicable a todo tipo de estructuras independiente de la resistencia y su periodo, no siempre es aplicable. (Paniagua, 2013)

2.1.1 Pasos a seguir en el diseño basado en fuerzas

- Paso 1. Definir la geometría
- Paso 2. Definición de los materiales
- Paso 3. Definir las secciones iniciales
- Paso 4. Elaboración del modelo
- Paso 5. Factores de reducción de rigideces

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- Paso 6. Definición de brazos rígidos
- Paso 7. Definir patrones de carga
- Paso 8. Asignación de cargas
- Paso 9. Determinar el grado de irregularidad
- Paso 10. Factores de ductilidad, sobre resistencia, redundancia e irregularidad
- Paso 11. Espectro de diseño sísmico
- Paso 12. Definición de masas
- Paso 13. Combinaciones de carga
- Paso 14. Realizar el análisis estructural
- Paso 15. Verificar los desplazamiento horizontales y verticales
- Paso 16. Revisar el diseño de las secciones

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.2 Diseño basado en desempeño

El diseño por desempeño sísmico de una edificación se basa en el adecuado control de daños de la misma en su vida útil, referido a sus componentes estructurales y no estructurales, no solo orientado a la prevención del colapso de la estructura para evitar la pérdida de vidas, sino considerando criterios de funcionalidad, conforme a las actividades que se desarrollan en dicha edificación. El costo asociado a detener la actividad de una edificación, debido al daño provocado por un sismo, puede ser más relevante que la inversión inicial de la estructura, por lo que es necesario analizar muy bien con el cliente su condición operativa posterior al evento sísmico. En el caso de edificaciones esenciales como hospitales, centros de bomberos, entre otros, se requiere que las mismas mantengan en todo momento sus actividades, por lo que es necesario minimizar el daño, incluso de los componentes no estructurales que podrían obstaculizar su funcionamiento. (INESA TECH, 2020).

Esto implica fijar unos objetivos específicos de desempeño que apunten a la optimización de costos de construcción, pero también a las necesidades propias del cliente.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Los reglamentos han evolucionado en el tiempo y a continuación se muestra los que tienen que ver conl desempeño:

ATC 40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (Nov. 1996)

FEMA 273 y 274: NEHRP Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (oct. 1997)

FEMA 356: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (Nov. 2000)

FEMA 440: Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures (jun. 2005)

FEMA P-58 (2018)

ASCE/SEI 31-03: Seismic Evaluation of Existing Buildings (2003)

ASCE/SEI 41-06: Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (2007)

ASCE/SEI 41-13: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (2014)

ASCE/SEI 41-17: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (2018)

AISC 342: Seismic Provisions for Evaluation and Retrofit of Existing Structural Steel Buildings (2019)

La intención de este último documento es proporcionar criterios de diseño de edificaciones en acero para ser utilizados en conjunto con el ASCE-41. Se pretende que dicha norma adopte estas nuevas provisiones y reemplace lo establecido en su Capítulo 9. Actualmente se encuentra en una fase revisión para su futura aprobación por parte de la AISC. (INESA TECH, 2020)

2.3 Objetivos de desempeño

La siguiente información fue tomada de (INESA TECH, 2020)

La figura 1 muestra una gráfica que representa la filosofía basada en desempeño. En el eje horizontal se describe el desempeño deseado de la estructura (con incremento de daño hacia la derecha) y en el eje vertical, la severidad del sismo (en términos de intensidad). Cada recuadro

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

representa un **objetivo de desempeño**: un estado de desempeño para una intensidad de sismo dada.

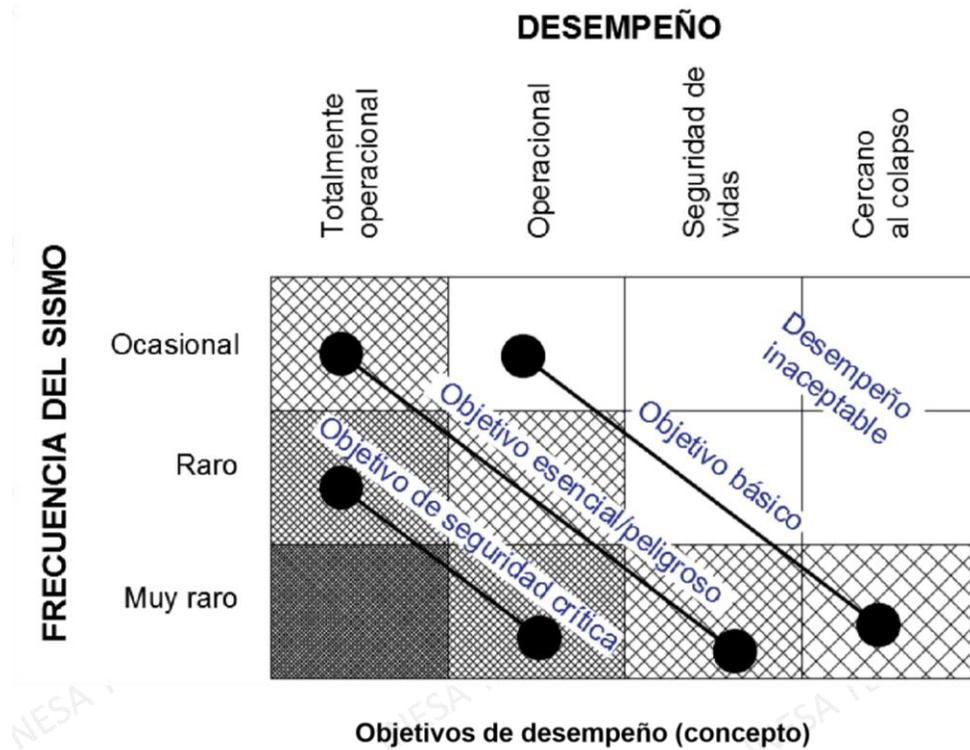


Figura 1 Filosofía basada en desempeño (SEAOC, 2000)

Las líneas diagonales representan los criterios de diseño que el cliente, dueño del proyecto o reglamentación vigente podrá imponer sobre la estructura. Por ejemplo, el diseño más rentable para una tienda minorista podría ser el criterio “básico”, mientras que un fabricante de alta tecnología podría querer reducir el riesgo mediante el criterio “esencial/peligroso”. La jurisdicción local, en cambio, podría requerir que los hospitales cumplan con el criterio de “seguridad crítica”. Esta figura fue desarrollada por la SEAOC Visión 2000 y por el proyecto FEMA 273

Un objetivo de desempeño está referido al tipo de comportamiento esperado de la estructura, tomando en consideración también el comportamiento de elementos no estructurales. Especifica el comportamiento sísmico deseado de la estructura, y se define al combinar el

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

máximo estado de daño admisible (nivel de desempeño) con una amenaza sísmica identificada (movimiento sísmico).

La figura 2 muestra como varían los costos de acuerdo con la combinación del incremento de desempeño y el incremento de la severidad del sismo.

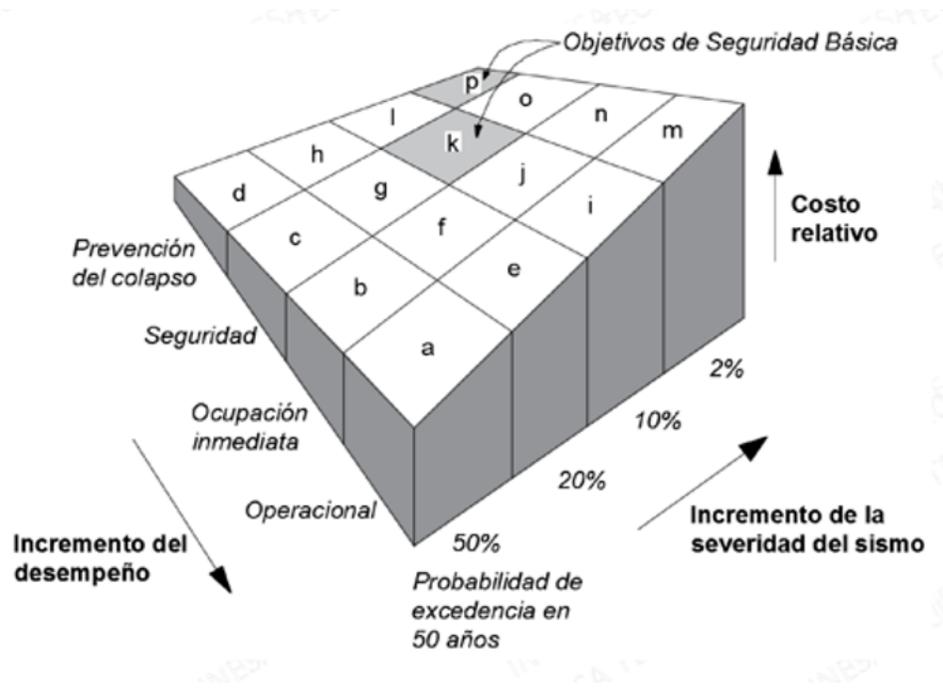


Figura 2 Costos relativos de varios objetivos de rehabilitación.

Fuente: Adaptada de FEMA 274 (1997)

Table C2-1. Probability of Exceedance and Mean Return Period

Probability of Exceedance	Mean Return Period (years)
50%/30 years	43
50%/50 years	72
20%/50 years	225
10%/50 years	475
5%/50 years	975
2%/50 years	2,475

Figura 3 Probabilidad de excedencia y periodo de retorno

Fuente: (ASCE/SEI 41-13, 2014)

Table C2-2. Performance Objectives				
Target Building Performance Levels				
Seismic Hazard Level	Operational Performance Level (1-A)	Immediate Occupancy Performance Level (1-B)	Life Safety Performance Level (3-C)	Collapse Prevention Performance Level (5-D)
50%/50 years	a	b	c	d
BSE-1E (20%/50 years)	e	f	g	h
BSE-2E (5%/50 years)	i	j	k	l
BSE-2N (ASCE 7 MCE_R)	m	n	o	p

NOTES: Each cell in the above matrix represents a discrete Performance Objective.
 The Performance Objectives in the matrix above can be used to represent the three specific Performance Objectives for a standard building that would be considered Risk Category I & II defined in Sections 2.2.1, 2.2.2, and 2.2.3, as follows:

Basic Performance Objective for Existing Buildings (BPOE)	g and l
Enhanced Objectives	g and i, j, m, n, o, or p l and e or f g and l and a, or b k, m, n, or o alone
Limited Objectives	g alone l alone c, d, e, or f

Figura 4 Objetivos de desempeño

Fuente (ASCE/SEI 41-13, 2014)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

En el caso de cada edificación, **debe seleccionarse desempeño aceptable para diferentes niveles de amenaza sísmica**, teniendo en cuenta factores tales como: ocupación, importancia, y consideraciones económicas, incluyendo el costo de reparación y los costos indirectos por la interrupción del servicio.

Niveles de Desempeño de la Edificación

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño discreto, y representa una condición límite definida en función de tres aspectos fundamentales:

- Los posibles daños físicos sobre los componentes estructurales y no estructurales,
- Amenaza de la seguridad de los ocupantes de la Estructura, por los daños ocurridos debido al sismo.,
- La funcionalidad de la estructura después del sismo.

Está compuesto por la combinación de un nivel seleccionado de desempeño estructural y un nivel seleccionado de desempeño no estructural

El Nivel de Desempeño Estructural describe el estado límite de daño del sistema estructural principal, mientras que el Nivel de Desempeño No Estructural, describe el estado límite de daño de componentes no estructurales. Estos niveles están referidos a puntos discretos en una escala continua, describiendo el comportamiento esperado de la estructura, o alternativamente, cuánto daño y pérdidas económicas pueden ocurrir.

A continuación, se presenta una breve descripción de los niveles establecidos por dos de los trabajos más completos de los documentos mencionados anteriormente: el comité VISIÓN 2000 y el ATC-40.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.3.1 Propuesta del comité VISIÓN 2000 (SEAOC, 1995)

Este comité definió cuatro niveles de desempeño:

TOTALMENTE OPERACIONAL

Corresponde a un nivel en el cual prácticamente no ocurren daños. La edificación permanece completamente segura para sus ocupantes. Todo el contenido y los servicios de la edificación permanecen funcionales y disponibles para su uso. En general no se requieren reparaciones.

OPERACIONAL

En este nivel se presentan daños moderados en los elementos no estructurales y en el contenido de la edificación, e incluso algunos daños leves en los elementos estructurales. El daño es limitado y no compromete la seguridad de la estructura para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo.

SEGURIDAD

Está asociado a la ocurrencia de daños moderados en elementos estructurales y no estructurales, así como en algunos contenidos de la construcción. La rigidez lateral de la estructura y la capacidad de resistir cargas laterales adicionales se ven reducidas, posiblemente, en un gran porcentaje, sin embargo, aún permanece un margen de seguridad frente al colapso. Los daños producidos pueden impedir que la estructura sea ocupada inmediatamente después del sismo, con lo cual, es probable que sea necesario proceder a su rehabilitación, siempre y cuando sea viable y se justifique desde un punto de vista económico

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

PRÓXIMO AL COLAPSO

La degradación de la rigidez lateral y la capacidad resistente del sistema compromete la estabilidad de la estructura aproximándose al colapso. Los servicios de evacuación pueden verse interrumpidos por fallos locales, aunque los elementos que soportan las cargas verticales continúan en funcionamiento. Bajo estas condiciones, la estructura es insegura para sus ocupantes y el costo de su reparación puede no ser técnicamente viable desde un punto de vista económico.

• Propuesta del ASCE 41-13 & 17

Establece una tabla de aplicación del objetivo de desempeño en función al nivel de amenaza sísmica y el nivel de daño esperado (Figura 3).

- **Operacional:** corresponde a un nivel donde se presentan daños muy leves en los elementos estructurales, por lo que la edificación se encuentra prácticamente en sus condiciones originales.
- **Ocupación Inmediata:** corresponde a un nivel donde se presentan daños leves en los elementos estructurales (reparables), por lo que se mantiene la funcionalidad de la edificación posterior al sismo, sin riesgo para sus ocupantes.
- **Seguridad de vida:** corresponde a un nivel donde se presentan daños moderados en los elementos estructurales, por lo que se compromete la posibilidad de funcionamiento de la edificación posterior al sismo, requiriendo de una evaluación y adecuación estructural para su uso.
- **Prevención del colapso:** Corresponde a un nivel donde se presentan daño severo en los elementos estructurales, por lo que la edificación está en riesgo de colapso.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA

La amenaza sísmica debida al movimiento del terreno debe considerar la ubicación del edificio con respecto a las fallas que existan, y las características geológicas del sitio. El alcance, para el cual estas amenazas pueden afectar el desempeño de la estructura, depende de la magnitud máxima de los sismos, el tiempo entre temblores, la distancia a la fuente, la dirección de propagación de la ruptura de falla, y las características geológicas de la región y locales. El efecto de cada uno de estos componentes se integra dentro de un estudio de peligro sísmico. Para permitir aplicaciones prácticas del diseño basado en el desempeño, es necesario seleccionar diversas intensidades sísmicas como función de la tasa de excedencia de los temblores. Las curvas de tasas de excedencia son el resultado de un estudio de peligro sísmico

$$T_R = -\frac{t}{\ln(1-p_e)} \quad \longrightarrow \quad T_R = \frac{1}{1 - (1-p_e)^{\frac{1}{t}}}$$

y son figuras que tienen en el eje de las abscisas la intensidad sísmica (Amax del terreno, por ejemplo) y su tasa de excedencia correspondiente en el eje de las ordenadas. La tasa de excedencia se define como el número de veces que se excede anualmente en promedio la intensidad sísmica.

NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA. Propuesta del comité VISION 2000

La intensidad sísmica de los movimientos se selecciona con base en la tasa de excedencia aceptada. Por las unidades de la tasa de excedencia (anos^{-1}), el inverso de ella se le conoce como periodo de retorno (años). Es más común considerar este último para definir la intensidad sísmica de un sitio. Una gran cantidad de reglamentos en el mundo establecen como intensidad sísmica de diseño a la correspondiente a un periodo de retorno de 475 años (que corresponde a una probabilidad de excedencia anual de 0.0021 y a 10% probabilidad de

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

excedencia en una vida útil de 50 años). La relación entre probabilidad de excedencia anual (p_e), vida útil (t) y periodo de retorno (T_r).

NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA • De acuerdo con el comité VISION 2000, los periodos de retorno asociados a cada intensidad sísmica para el diseño por desempeño, se muestra en la tabla 1. Se muestra también la relación de las probabilidades de excedencia en una vida útil con los periodos de retorno.

Tabla 1

Niveles de Amenaza Sísmica

MOVIMIENTO SÍSMICO DE DISEÑO	INTERVALO DE RECURRENCIA	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy raro	950 años	10% en 100 años

Nota. Fuente: VISION 2000

Por otra parte, conocido el período de retorno y aceleración correspondiente a un nivel de sismo, por ejemplo, TR_1 y a_1 se puede definir otro período de retorno TR_2 , y con ello calcular la aceleración esperada correspondiente a_2 . Esto permitiría pasar de un sismo de diseño a uno de servicio y máximo.

$$\frac{a_2}{a_1} = \left(\frac{TR_2}{TR_1} \right)^{0.4} \quad \longrightarrow \quad a_2 = \left(\frac{TR_2}{TR_1} \right)^{0.4} \cdot a_1$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Factores de escala

Sismo de Diseño			
$p_{diseño} := 0.10$		$t := 50$	$a_{diseño} := 0.30 \quad g = 2.942 \frac{m}{s^2}$
Probabilidad de excedencia del 10%		Vida útil (años)	Aceleración del sismo de diseño
$T_{diseño} := -\frac{t}{\ln(1 - p_{diseño})} = 474.56$ Período de Retorno			
Sismo de Servicio			
$p_{servicio} := 0.50$	Probabilidad de excedencia del 50%	$t := 50$	Vida útil (años)
$T_{servicio} := -\frac{t}{\ln(1 - p_{servicio})} = 72.13$ Período de Retorno			
$a_{servicio} := \left(\frac{T_{servicio}}{T_{diseño}}\right)^{0.4} \cdot a_{diseño} = 1.385 \frac{m}{s^2}$		$F_{servicio} := \frac{a_{servicio}}{a_{diseño}} = 0.47$	

Figura 5 Amenaza sísmica, sismo de diseño y sismo de servicio

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Factores de escala

Sismo de Diseño		
$p_{diseño} := 0.10$	$t := 50$	$a_{diseño} := 0.30 \quad g = 2.942 \frac{m}{s^2}$
Probabilidad de excedencia del 10%	Vida útil (años)	Aceleración del sismo de diseño
$T_{diseño} := -\frac{t}{\ln(1 - p_{diseño})} = 474.56$	Período de Retorno	
Sismo de Máximo		
$p_{máximo} := 0.05$	Probabilidad de excedencia del 5%	$t := 50$ Vida útil (años)
$T_{máximo} := -\frac{t}{\ln(1 - p_{máximo})} = 974.79$	Período de Retorno	
$a_{máximo} := \left(\frac{T_{máximo}}{T_{diseño}}\right)^{0.4} \cdot a_{diseño} = 3.924 \frac{m}{s^2}$	$F_{máximo} := \frac{a_{máximo}}{a_{diseño}} = 1.33$	

Figura 6 Nivel de Amenaza sísmica, sismo de diseño y sismo máximo

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.3.2 Propuesta del ATC-40:

La siguiente información fue tomada de: (Roque, 2018).

Los niveles de desempeño definidos por el ATC-40 para las estructuras, corresponden a una combinación de los niveles utilizados para los elementos estructurales y los niveles correspondientes a los elementos no estructurales, ambos definidos de forma independiente. Esto, con el fin de lograr establecer una mejor comprensión de la situación de cada elemento frente a un sismo.

1. Niveles de Desempeño Estructural

Se definen tres niveles o estados de daño discretos:

- Ocupación inmediata
- Seguridad de vida
- Estabilidad estructural.

Estos tres niveles pueden ser utilizados directamente para definir criterios técnicos en los procesos de evaluación y rehabilitación de estructuras. Adicionalmente, se establecen dos niveles intermedios:

- Daño controlado
- Seguridad limitada.

Estos niveles intermedios permiten definir, de una forma más adecuada y útil, el nivel de desempeño de la estructura. Esto es de gran utilidad en el caso de ser necesaria una evaluación o refuerzo de una estructura en particular. Estos niveles se identifican por la abreviación, **SP-n** (SP son las siglas de **Structural Performance** y **n** es un número que varía entre 1 y 6).

- **Ocupación inmediata, SP-1:** los daños son muy limitados y de tal magnitud, que el sistema resistente de cargas laterales y verticales permanece prácticamente en las

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- mismas condiciones de capacidad y resistencia que antes de ocurrido el sismo. No se presentan pérdidas de vidas humanas y la estructura funciona con normalidad.
- ***Daño controlado, SP-2:*** corresponde a un estado de daño que varía entre los límites de ocupación inmediata y seguridad de vida. La vida de los ocupantes no está en peligro, aunque es posible que éstos puedan verse afectados.
 - ***Seguridad, SP-3:*** los daños después del sismo no agotan por completo los márgenes de seguridad existentes frente a un posible colapso parcial o total de la estructura. Pueden producirse algunos heridos tanto en el interior como en el exterior, sin embargo, el riesgo de la vida de los ocupantes debido a un fallo de los elementos estructurales es muy bajo. Es posible que sea necesario reparar la estructura antes de ser ocupada de nuevo, siempre y cuando sea factible y rentable desde el punto de vista económico.
 - ***Seguridad limitada, SP-4:*** corresponde a un estado de daño entre los niveles de seguridad y estabilidad estructural, en el que algunas partes de la estructura pueden requerir un refuerzo para garantizar el nivel de seguridad.
 - ***Prevención del colapso, SP-5:*** este nivel corresponde al estado de daño límite después de ocurrido un sismo en el cual el sistema estructural está muy cerca de experimentar un colapso parcial o total. Se producen daños sustanciales, pérdida de rigidez y resistencia en los elementos estructurales. A pesar de que el sistema de cargas verticales continúa funcionando, hay un alto riesgo de que se produzca el colapso por la ocurrencia de posibles réplicas. Es muy probable que los daños en las estructuras más antiguas sean técnica y económicamente irreparables.
 - ***No considerado, SP-6:*** éste no es un nivel de desempeño, pero es útil en algunas ocasiones que requieran evaluar los daños sísmicos no estructurales o realizar un refuerzo.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2. Niveles de Desempeño No Estructural

Se consideran cuatro niveles de desempeño correspondientes a estados discretos de daño para los elementos no estructurales: operacional, ocupación inmediata, seguridad y amenaza reducida. Estos niveles se representan con la abreviación **NP-n**. NP son las siglas de “*Nonstructural Performance*”, y **n** es una letra que toma valores entre A y E.

- **Operacional NP-A:** los elementos no estructurales, máquinas y sistemas del edificio continúan en su sitio y funcionando con normalidad después del sismo.
- **Ocupación inmediata NP-B:** a pesar de que los elementos no estructurales y sistemas permanecen en su sitio, pueden presentarse algunas interrupciones en el funcionamiento de las maquinarias y equipos. Algunos servicios externos pueden no estar disponibles, aunque esto no compromete la ocupación del edificio.
- **Seguridad NP-C:** pueden presentarse daños severos en algunos elementos no estructurales tanto dentro como fuera del edificio, sin que se llegue al colapso, ni se ponga en peligro la seguridad de los ocupantes. Los sistemas, equipos y maquinaria pueden verse seriamente afectados, requiriendo, en algunos casos, ser reparados o, en el peor de los casos, reemplazados.
- **Amenaza reducida NP-D:** se presentan daños severos en elementos no
 - estructurales, contenidos y sistemas, pero sin llegar al colapso o al fallo de grandes elementos, como por ejemplo parapetos y muros exteriores de mampostería, entre otros, que puedan ocasionar heridas a grupos de personas.
- **No considerado NP-E:** no es un nivel de desempeño y se usa para indicar que no se han evaluado los elementos no estructurales, a menos que tengan un efecto directo sobre la respuesta estructural, como por ejemplo los muros de mampostería de relleno o alguna otra tabiquería pesada.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- Todos los niveles de desempeño se miden a través de los criterios de aceptación presentados en este documento, en función del desplazamiento total de la estructura y la distorsión de entrepiso.

3. Niveles de desempeño de la edificación

Describen los posibles estados de daño para la edificación, estos niveles de desempeño se obtienen de la apropiada combinación de los niveles de desempeño de los componentes estructurales y no estructurales. En la figura 7 se muestra las posibles combinaciones donde se han destacado e indicado los cuatro niveles de desempeño de edificaciones más comúnmente referenciados; (1-A) operacional, (1-B) ocupación inmediata, (3-C) seguridad de vida y (5-E) prevención del colapso, así como otros niveles de desempeño posibles (2-A, 2-B, etc.). La designación NR corresponde a niveles de desempeño no recomendables en el sentido que no deben ser considerados en la evaluación.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Niveles de desempeño no estructural	Niveles de Desempeño Estructural					
	SP-1 Ocupación Inmediata	SP-2 Daño Controlado	SP-3 Seguridad de Vida	SP-4 Seguridad Limitada	SP-5 Prevención del Colapso	SP-6 No Considerado
NP-A Operacional	1-A Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
NP-B Ocupación Inmediata	1-B Ocupación Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
NP-C Seguridad de Vida	1-C	2-C	3-C Seguridad De Vida	4-C	5-C	6-C
NP-D Amenaza Reducida	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
NP-E No Considerado	NR	NR	3-E	4-E	5-E Prevención Del Colapso	No Aplicable

Leyenda:

- Usados comúnmente para los niveles de desempeño de edificios (SP-NP)
- Otra posible combinación de SP-NP
- Combinaciones no recomendadas de SP-NP

Figura 7 Niveles de desempeño de las estructuras

Nota. Fuente: Adaptación del ATC-40 (1996) tomada de: (Roque, 2018)

La combinación de un nivel de desempeño estructural con un nivel de desempeño no estructural forma el nivel de desempeño de la edificación, para describir el estado de daño límite deseado. A continuación, se presenta la descripción de los niveles de diseño de los edificios, según el ATC- 40. La recomendación es la utilización de uno de ellos.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- **Operacional 1-A:** los daños estructurales son limitados y los daños en los sistemas y elementos no estructurales no impiden que la estructura continúe funcionando con normalidad después del sismo. Adicionalmente, las reparaciones que son necesarias no impiden la ocupación del edificio, por lo cual este nivel *se asocia con un estado de funcionalidad*.
- **Ocupación inmediata, 1-B:** corresponde al nivel de desempeño más utilizado para estructuras esenciales, como es el caso por ejemplo de los hospitales. Se espera que los diferentes espacios y sistemas de la estructura sigan siendo utilizados después del sismo, a pesar de que pueden ocurrir algunos daños en los contenidos. *Se mantiene la seguridad de los ocupantes*.
- **Seguridad de vida, 3-C:** el objetivo de este nivel es lograr un estado de daño que presente una probabilidad extremadamente baja de amenaza a la seguridad de vida, ya sea por daños estructurales o por fallas o volcaduras de los componentes no estructurales del edificio. Sin embargo, *los contenidos proporcionados por el usuario no están controlados y podrían crear riesgos de caídas o riesgos secundarios, como emisiones de químicos o incendios*.
- **Estabilidad estructural, 5-E:** el margen de seguridad del sistema resistente de cargas laterales se encuentra prácticamente al límite y la probabilidad del colapso ante la ocurrencia de posibles réplicas es bastante alta, no obstante, el sistema de cargas verticales continuas garantizando la estabilidad del edificio. Los daños no estructurales no requieren ser evaluados debido al elevado nivel de daños en los elementos estructurales. *No se garantiza la seguridad de los ocupantes ni transeúntes*, por lo que se sugiere desalojar y, en algunos casos, demoler la estructura.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA • Propuesta del ATC-40:

EL ATC-40 utiliza tres niveles de movimientos sísmicos para el diseño de estructuras: sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. A continuación, el detalle

SISMO DE SERVICIO (SE)

Nivel del movimiento del terreno con 50% de probabilidad de excedencia en un período de 50 años. A este caso le corresponde un período de retorno: $T= 72$ años. Se considera como un sismo frecuente, ya que puede ocurrir más de una vez durante la vida útil de la estructura.

SISMO DE DISEÑO (DE)

Nivel del movimiento del terreno con una probabilidad de excedencia 10% en un período de 50 años. A este caso le corresponde un período de retorno: $T= 475$ años. Es un sismo poco frecuente, de intensidad entre moderada y severa, y se considera que puede ocurrir al menos una vez durante la vida de la estructura.

SISMO MÁXIMO (ME)

Nivel del movimiento del terreno con una probabilidad de excedencia entre 2% y 5% de en un período de 50 años. Período de retorno: $T=$ entre 975 y 2475 años. Corresponde al máximo movimiento del terreno que puede ser esperado en el sitio donde se encuentra localizada la estructura. Es utilizado para el diseño de estructuras esenciales

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 2

Objetivo de Seguridad Básica para Estructuras Convencionales

Movimiento Sísmico de diseño	Nivel de desempeño del edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad de Vida	Prevención del Colapso
Sismo de servicio, SE				
Sismo de Diseño, DE			√	
Sismo Máximo, ME				√

Nota. Fuente: Adaptación del ATC-40 (1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.4 ATC-40

Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings (nov. 1996) En el año 1990, fue generada la Propuesta 122 sometida a votación en la ciudad de California, Estados Unidos, con el fin de autorizar a la Comisión de Seguridad Sísmica de California (CSSC) a disponer recursos para llevar a cabo una serie de actividades, que aprovecharían la experiencia de adaptación sísmica en el sector privado, con el propósito de mejorar las prácticas de adecuación sísmica en edificios gubernamentales. Específicamente, el proyecto se enfocó en edificaciones vulnerables de concreto armado con tipologías similares. En 1994, el Consejo de Tecnología Aplicado (ATC) obtuvo el contrato para desarrollar una metodología y comentario para la evaluación y adecuación sísmica de edificios existente de concreto armado. El resultado, es el documento ATC-40 (también conocido como SSC-96-01).

El método del espectro de capacidad fue presentado por el ATC-40 (1996) y mejorado posteriormente en el FEMA 440 (2005). Se fundamenta en una representación aproximada de las características globales no lineales de la estructura, obtenida mediante el reemplazo del sistema no lineal por un sistema lineal equivalente, usando como base los procedimientos del análisis modal. Consiste en comparar el espectro de capacidad de la estructura con el espectro de la demanda sísmica, para identificar el desplazamiento máximo o punto de desempeño, donde la capacidad y la demanda se igualan, permitiendo estimar la respuesta máxima de la edificación, la cual servirá de base para compararla con el nivel de desempeño esperado.

2.4.1 *Análisis estático no lineal*

El método de análisis inelástico más refinado es un análisis no lineal tiempo historia, sin embargo, aún es considerado complejo y de uso general impráctico, debido a ello se han planteado métodos simplificados de análisis no lineal, llamados también **análisis estáticos no lineales**. Los análisis inelásticos permiten entender el comportamiento esperado de una estructura cuando son sometidos a una sollicitación que exceda su capacidad elástica. Esto

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

reduce las incertidumbres asociadas con la filosofía diseño de fuerzas establecido en la mayor parte de reglamentos actuales, basado en análisis elásticos.

Existen 3 métodos utilizados en el análisis estático no lineal (PUSHOVER) preferidos por su simplicidad:

- a) Método del espectro de capacidad.
- b) Método de los coeficientes
- c) Método de la secante

En este trabajo se estudiará solo el espectro de capacidad debido a que es uno de los más utilizados.

El desempeño de una estructura depende de su capacidad para resistir una demanda sísmica, y de su compatibilidad con los objetivos de diseño. Por ello los procedimientos de análisis no lineal simplificado, tal como el método del espectro de capacidad, requiere la determinación de tres elementos primarios: capacidad, demanda y desempeño

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

1 Capacidad

La capacidad de una estructura depende de la resistencia y la ductilidad de sus componentes individuales. Con el fin de determinar la capacidad de una estructura más allá de su límite elástico, se requiere de un análisis no lineal tal como el procedimiento Pushover. Este procedimiento usa una serie de análisis elásticos de manera secuencial, mediante la aplicación de un patrón de cargas laterales, (bajo la suposición de que el primer modo de vibrar es el más importante) que se va incrementando en cada paso y luego son superpuestos para aproximar un diagrama de fuerza-desplazamiento de toda la estructura. El modelo matemático de la estructura es modificado en cada paso, para tomar en cuenta la reducción de rigidez de los componentes que alcanzaron su fluencia. Este proceso continúa hasta que se alcance un límite preestablecido (falla de elementos individuales), o que se forme un mecanismo de colapso.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

La capacidad de la estructura se representa por medio de una curva de capacidad que relaciona el cortante en la base con el desplazamiento en el último nivel ver figura 8

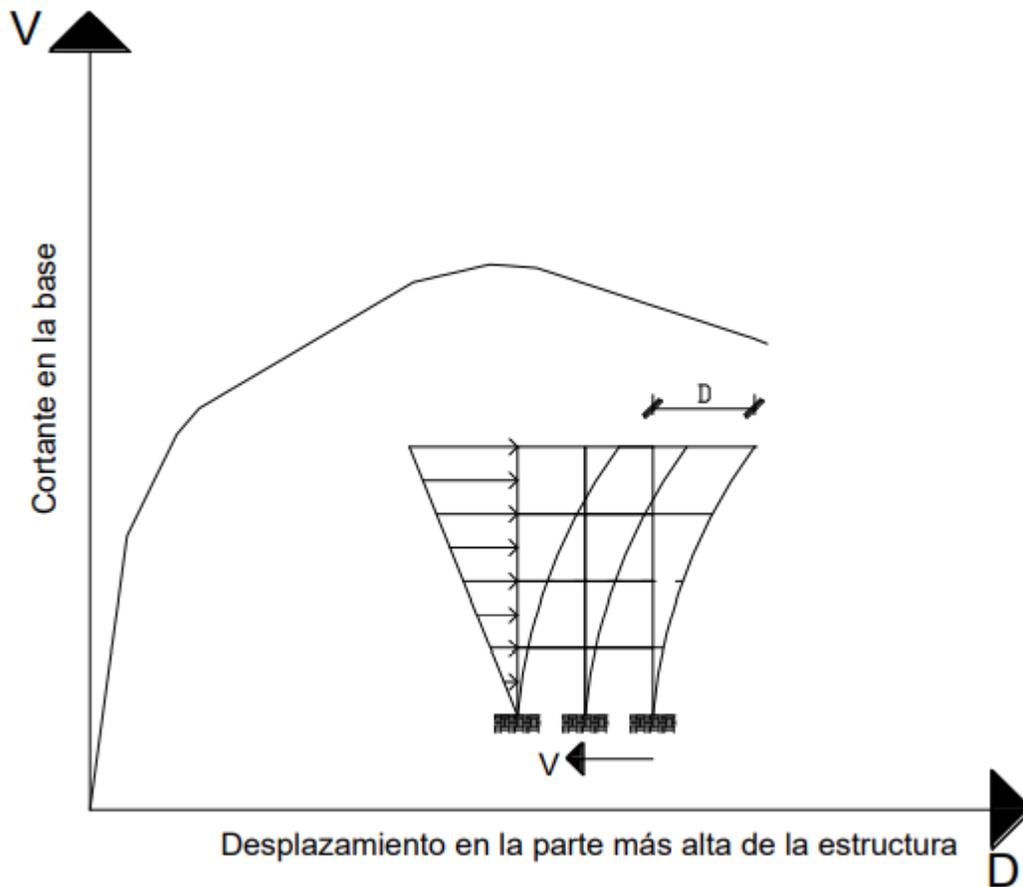


Figura 8 Curva de capacidad de una; estructura, tomada de: (Paniagua, 2013)

2 Demanda

Los movimientos del terreno producen patrones de desplazamientos horizontales complejos en las estructuras, que pueden variar con el tiempo. A diferencia de los métodos de análisis lineal que emplean fuerzas laterales para representar una condición de diseño, los métodos basados en desempeño emplean desplazamientos laterales como una condición de diseño. Para una estructura y una sollicitación sísmica, la demanda de desplazamiento es una estimación de la respuesta máxima esperada durante el movimiento sísmico. La demanda sísmica puede estar definida por espectros de respuesta o por espectros de diseño.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

3 Desempeño

Una vez que se han determinado la curva de capacidad y se ha definido la demanda sísmica, se evalúa el desempeño de la estructura. La verificación del desempeño verifica que los componentes estructurales y no estructurales no estén dañados más allá de los límites aceptables del desempeño objetivo.

2.4.2 Procedimiento conceptual del método del espectro de capacidad

Paso 1. Desarrollar el espectro elástico para un 5 % de amortiguamiento

El espectro puede ser el correspondiente al sitio de interés, o tomado de una norma que viene en algún software de análisis y diseño estructural, como el que se muestra en la Figura 9.

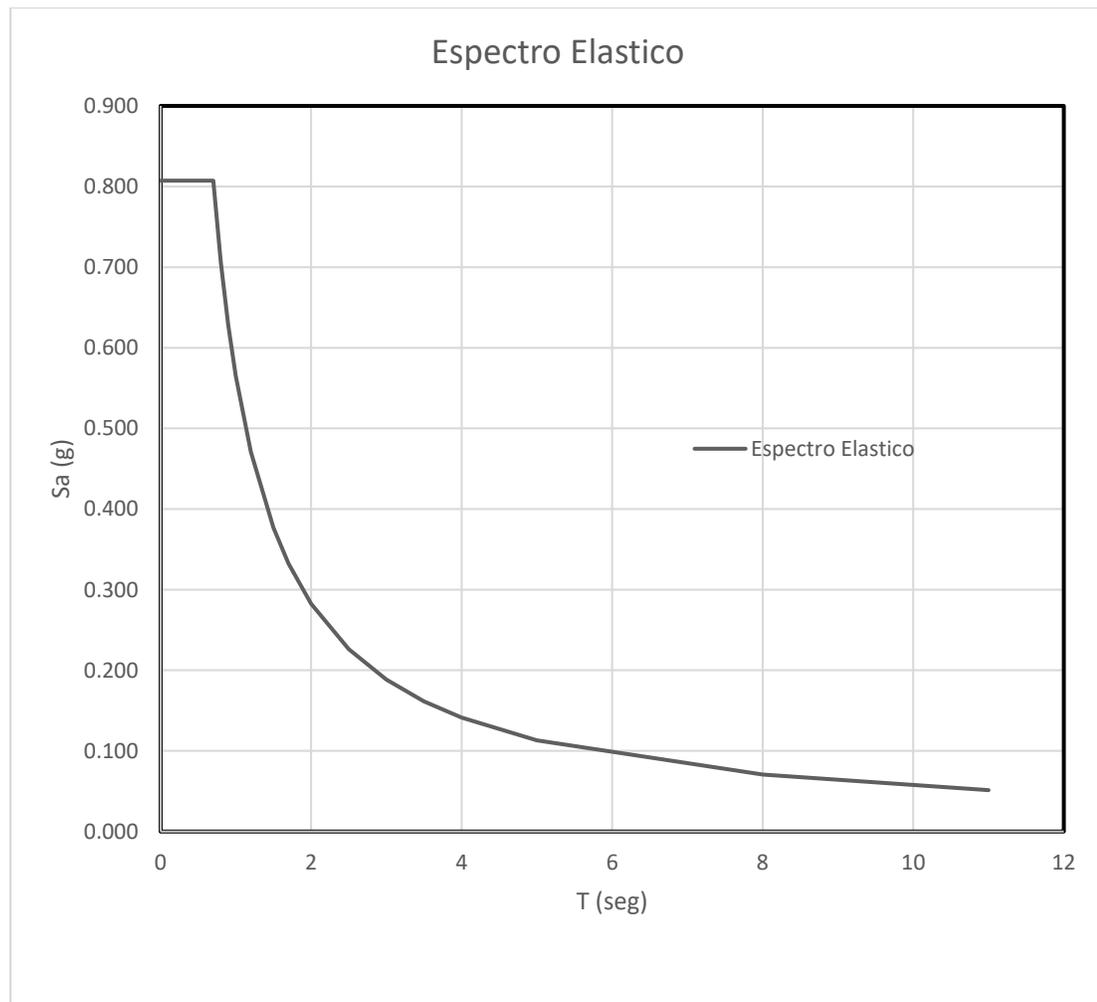


Figura 9 Grafica del espectro elástico con 5% de amortiguamiento

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Paso 2. Curva de capacidad

Después de realizar el análisis estático no lineal (Pushover) se obtiene, del software (ETABS, SAP 2000, etc.) la información para graficar la curva de capacidad como la mostrada en la Figura 10 (ver Anexo al final).

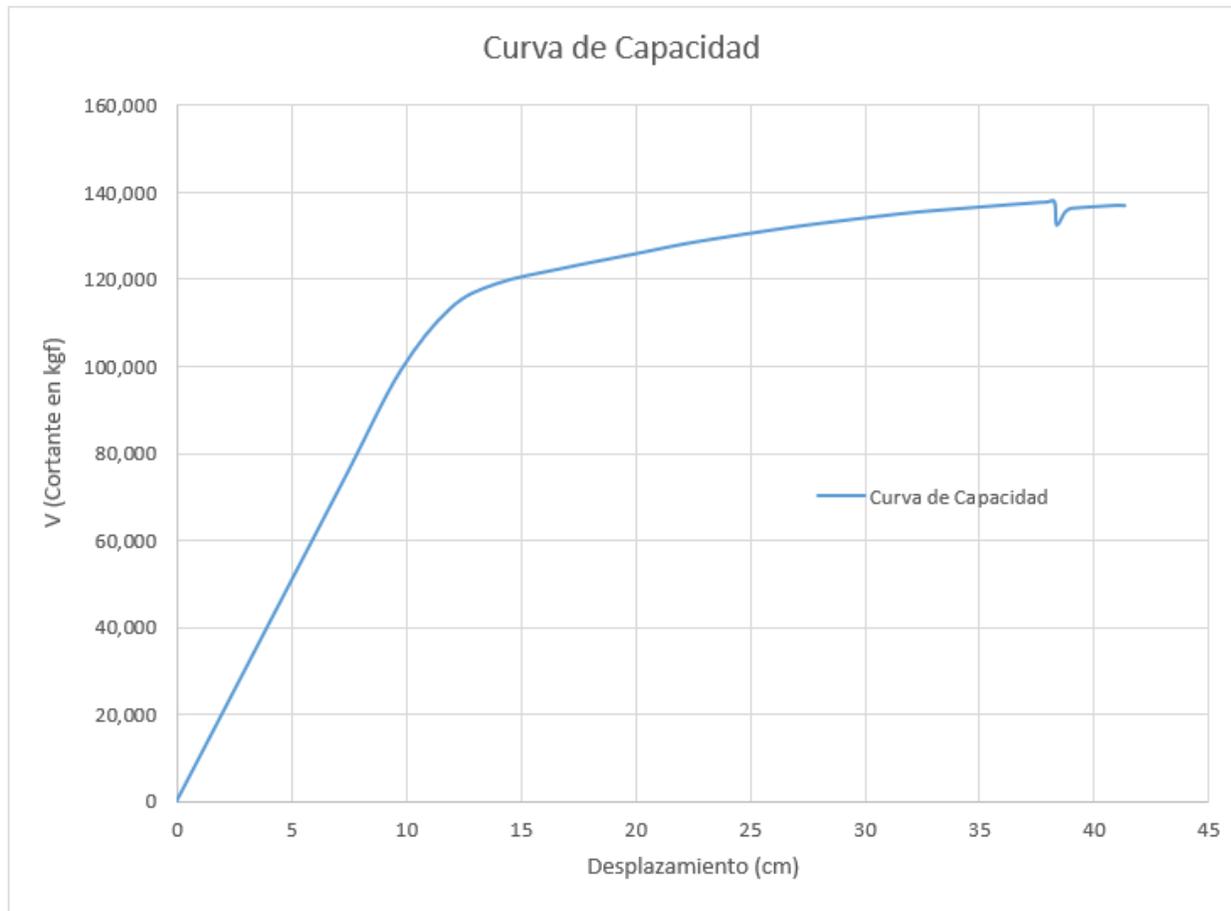


Figura 10 Curva de Capacidad

Paso 3. Transformar la curva de capacidad en espectro de capacidad

Para usar el método del espectro de capacidad, el ATC-40 (1996) indica que es necesario convertir la curva de capacidad, que está en términos del cortante basal y desplazamiento (sistema de varios grados de libertad), en lo que se denomina un espectro de capacidad (sistema de un grado de libertad), que es una representación de la curva de capacidad en términos de

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

aceleración y desplazamiento, conocido como formato ADRS (Acceleration–Displacement Response Spectra), es decir a S_a versus S_d . Las ecuaciones necesarias para su transformación son las siguientes:

$$PF_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]}{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]}$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N w_i / g \right] \left[\sum_{i=1}^N (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]}$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1}$$

$$S_d = \frac{\Delta_{techo}}{PF_1 \phi_{techo,1}}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Donde:

PF_1 : Factor de participación modal para el primer modo natural

α_1 : Coeficiente de masa efectiva para el primer modo natural

Sa_i : Aceleración espectral

Sd_i : Desplazamiento espectral

T_i : Periodo modal de vibración

w_i/g : Masa asignada al nivel i

ϕ_{1i} : Amplitud del modo 1 en el nivel i

N : Nivel N , el nivel que es el más alto en la parte principal de la estructura

V_i : Cortante basal

W : Peso muerto del edificio más probable carga viva

$\Delta_{techo,1}$: Desplazamiento del techo

Cualquier punto V_i , Δ_{techo} en la curva de capacidad, se convierte en puntos correspondientes Sa_i , Sd_i para el espectro de capacidad, utilizando las ecuaciones mostradas anteriormente.

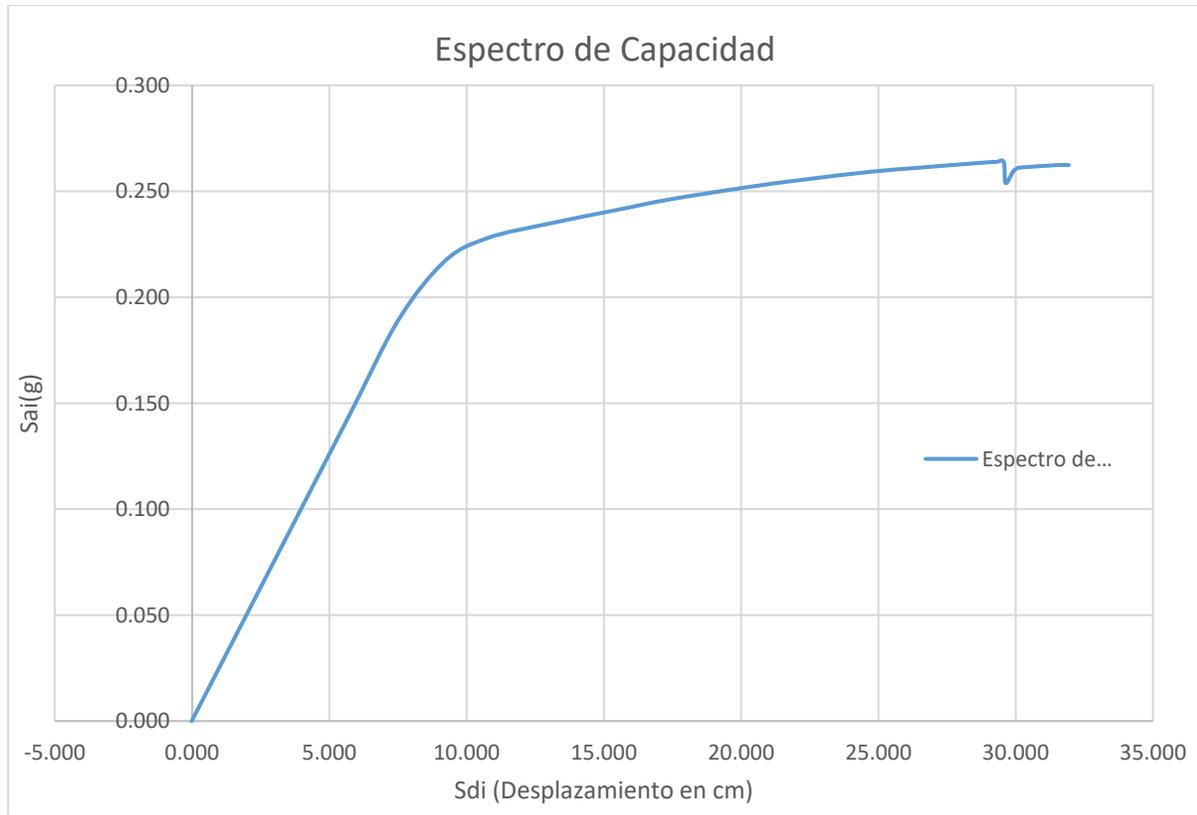


Figura 11 Grafica del espectro de capacidad

Paso 4. Conversión del espectro de respuesta en espectro de demanda

El espectro de respuesta que representa la demanda, también debe ser graficado en formato ADRS. Para convertir un espectro de respuesta estándar de valores S_{ai} , T_i a un formato equivalente S_{di} , S_{di} , ver Figura 11, se debe determinar cada desplazamiento espectral S_{di} para cada T_i con la siguiente ecuación:

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g \quad S_{di} = \text{Desplazamiento espectral } i \text{ para cada valor de período } T_i \text{ y aceleración espectral } S_{ai}.$$

y así obtener la gráfica que se muestra en la Figura 12

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

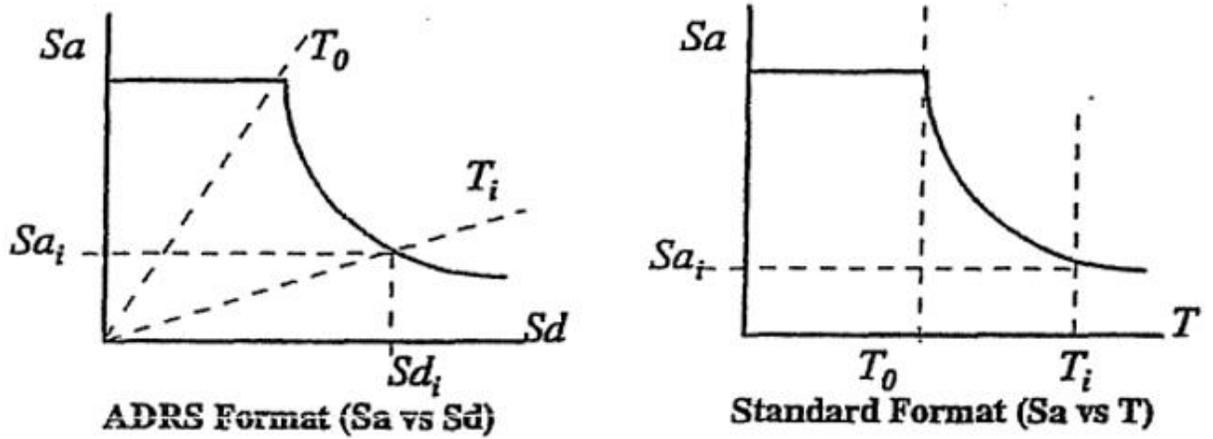


Figura 12 Conversión del espectro de respuesta en formato ADRS

Fuente: ATC-40 (1996)

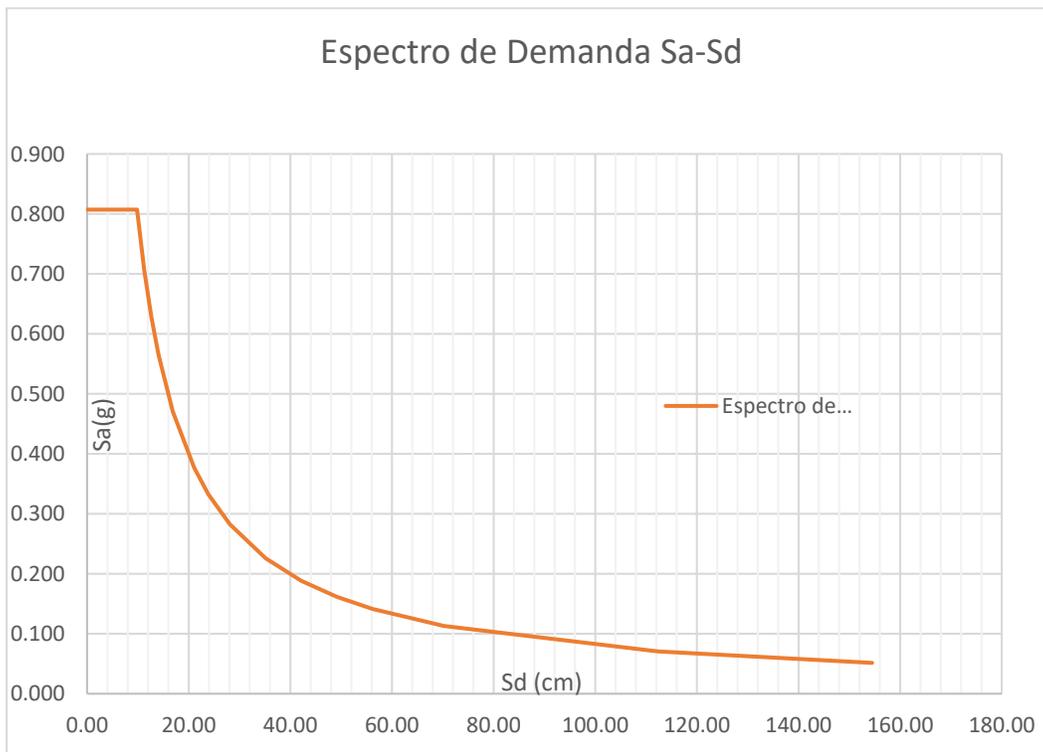


Figura 13 Grafica del espectro de demanda formato (ADRS)

A continuación, se debe trazar la curva de capacidad en el mismo gráfico que el espectro de demanda (respuesta amortiguada al 5%) en el formato ADRS, como se muestra en la Figura 14.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

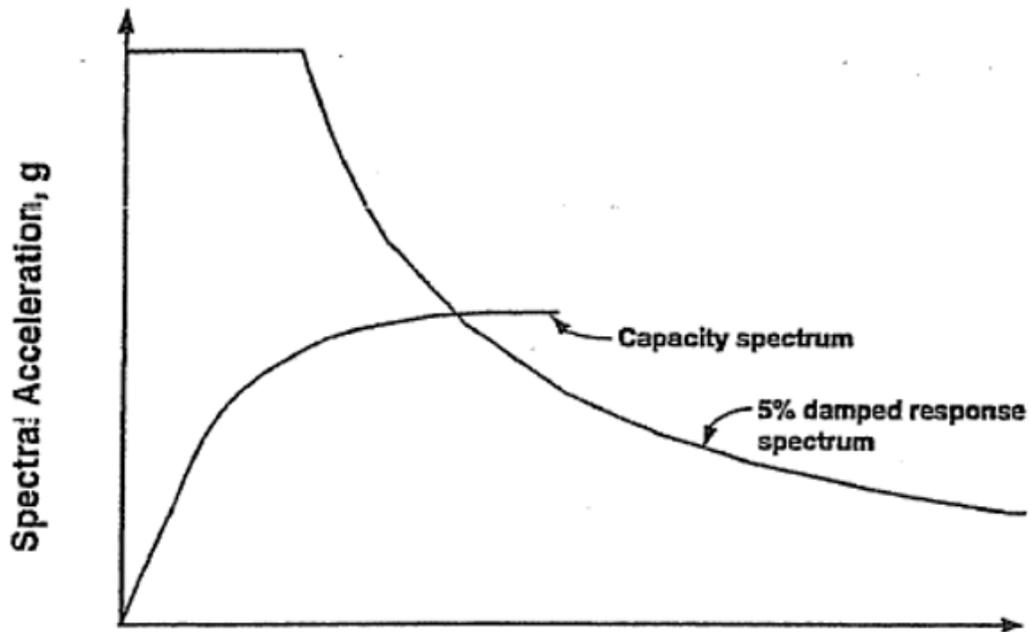


Figura 14 Curva del espectro de capacidad y espectro de respuesta

Fuente: ATC-40 (1996)

Paso 5. Seleccionar un posible punto inicial de desempeño

La primera elección del punto api, dpi podría ser el desplazamiento obtenido mediante la aproximación de igual desplazamiento, o bien, podría ser el punto final del espectro de capacidad, o, cualquier otro punto elegido a juicio del ingeniero, de acuerdo a la gráfica mostrada en la Figura 15.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

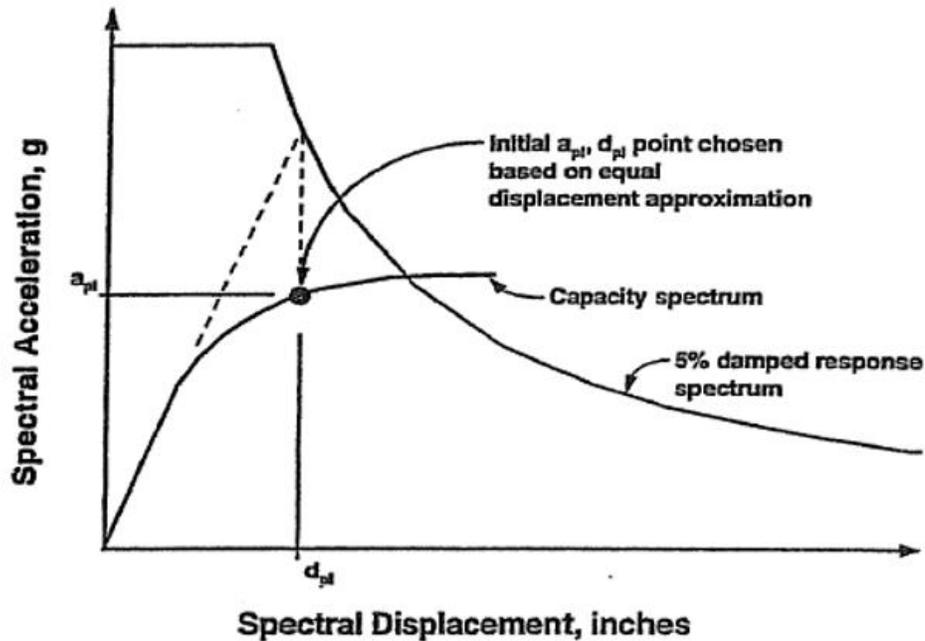


Figura 15 Punto de igual desplazamiento Fuente ATC-40 (1996)

Paso 6. Construcción de la representación bilineal del espectro de capacidad

Para estimar el amortiguamiento efectivo y la reducción apropiada de la demanda espectral, se necesita una representación bilineal del espectro de capacidad. Se requiere la definición del punto a_{pi} , d_{pi} , llamado el punto de desempeño tentativo, necesario para desarrollar un espectro de demanda reducido. Si dicho espectro intercepta la curva de capacidad en el punto estimado a_{pi} , d_{pi} , entonces éste será el punto de desempeño.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

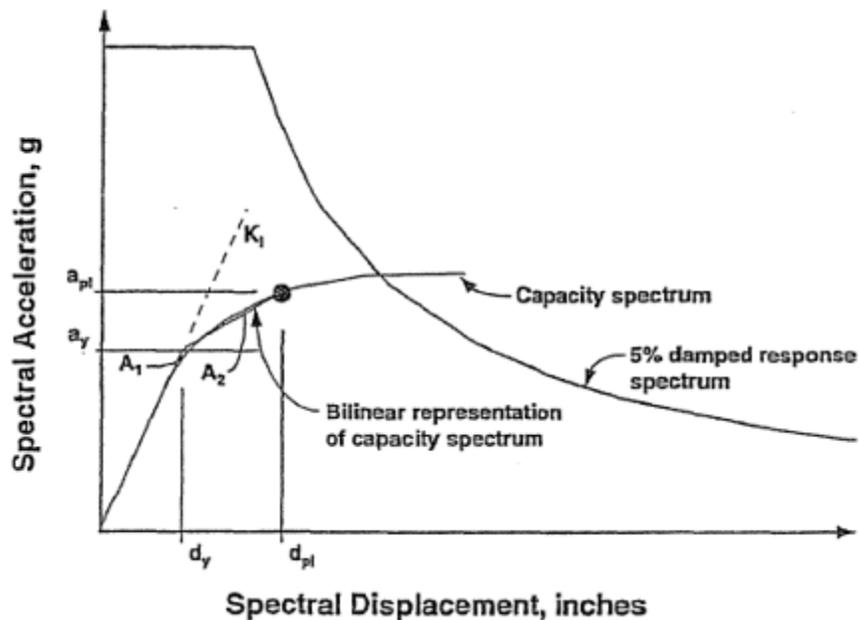


Figura 16 Representación bilineal del espectro de capacidad

Fuente ATC-40 (1996)

Para construir la representación bilineal, se debe dibujar una línea recta desde el origen con una pendiente igual a la rigidez inicial k_1 de la estructura; una segunda línea hacia atrás desde el punto de desempeño tentativo a_{pi} , d_{pi} , de manera de que cuando corte la primera línea en el punto a_y , d_y , el área designada como A_1 , sea igual al área A_2 . El objetivo de intentar igualar gráficamente las áreas A_1 y A_2 , es que la energía bajo la curva original sea la misma que bajo la curva bilineal, ver figura 16.

El amortiguamiento de una estructura cuando incursiona en el intervalo inelástico, puede ser determinado como una combinación de amortiguamiento viscoso inherente a la estructura, más el amortiguamiento histérico. Este último está relacionado con el área bajo la curva histérica de la fuerza sísmica contra el desplazamiento de la estructura, en el intervalo de comportamiento inelástico.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

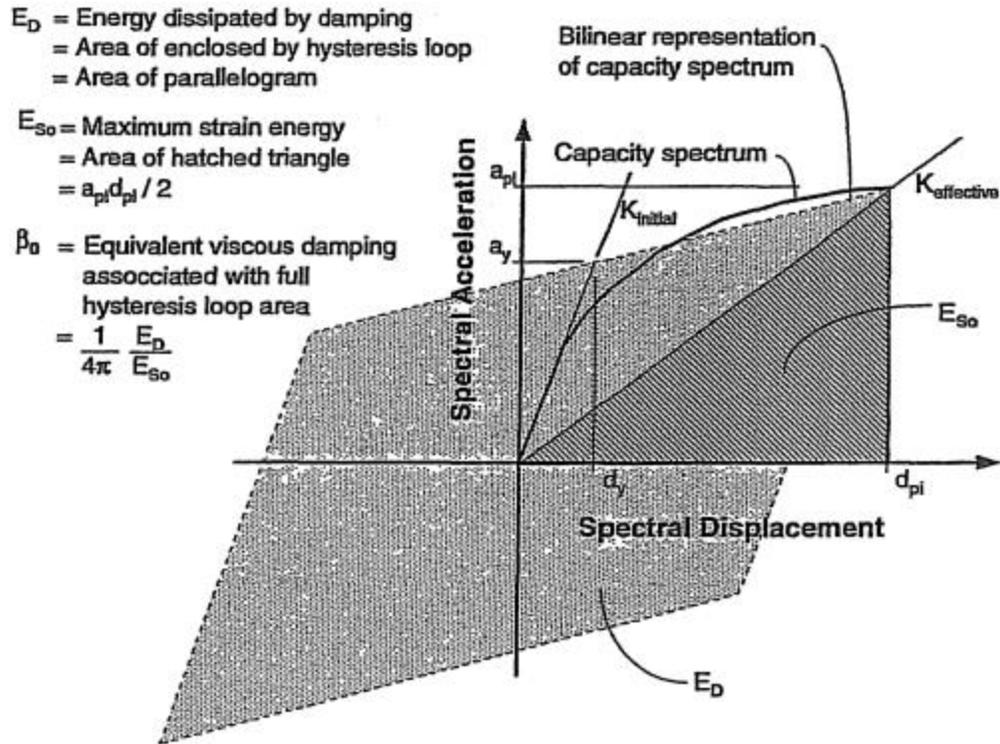


Figura 17 Derivación del amortiguamiento para la reducción del espectro

Fuente: ATC-40 (1996)

Paso 7. Reducción del espectro de respuesta con amortiguamiento del 5% a un amortiguamiento mayor

El comportamiento inelástico con frecuencia se representa como un amortiguamiento viscoso equivalente mediante ecuaciones obtenidas con base en métodos lineales equivalentes. El amortiguamiento viscoso equivalente, β_{eq} asociado a un desplazamiento máximo d_{pi} , se calcula con la siguiente ecuación:

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05$$

Donde:

β_{eq} = amortiguamiento viscoso equivalente

β_0 = amortiguamiento histórico, representado como amortiguamiento viscoso equivalente

0.05 = 5% de amortiguamiento viscoso inherente a la estructura (asumido constante)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

El término β_0 puede calcularse como (Chopra 1995):

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{S0}}$$

Donde:

E_D = Energía disipada por amortiguamiento y se calcula como.

$$E_D = 4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})$$

E_{S0} = Máxima energía de deformación que se calcula como

$$E_{S0} = \frac{a_{pi} * d_{pi}}{2}$$

El significado físico de los términos E_D y E_{S0} son ilustrados en la figura 17

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

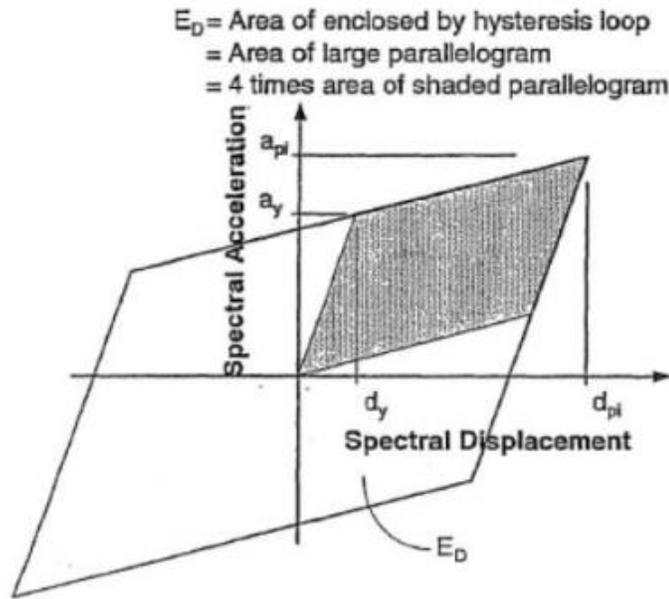


Figura 18 Derivación de la energía disipada por el amortiguamiento E_D

Fuente: ATC-40 (1996)

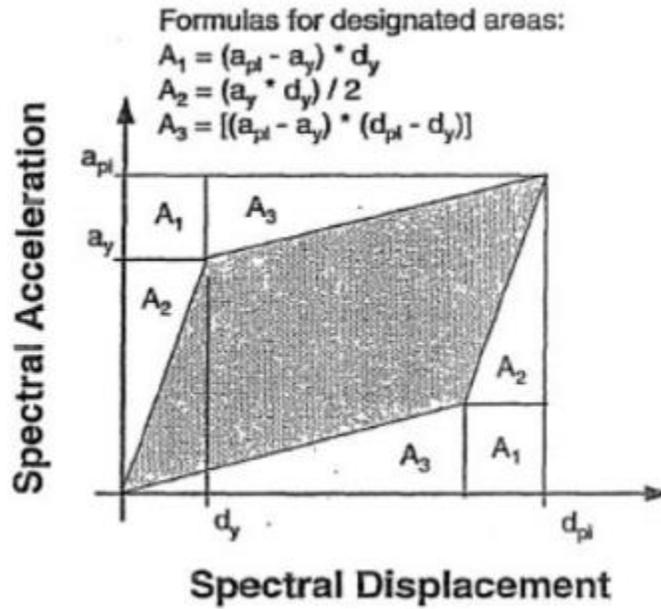


Figura 19 Derivación de la energía disipada por el amortiguamiento E_D

Fuente: de ATC-40 (1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Con estos valores, el término de β_0 puede escribirse como:

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} \frac{4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi} / 2} = \frac{2}{\pi} \frac{a_y d_{pi} - d_y a_{pi}}{a_{pi} d_{pi}}$$
$$\beta_0 = \frac{0.637(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$$

Al escribir esta ecuación en términos de porcentaje de amortiguamiento crítico, se tiene:

$$\beta_0 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$$

Entonces, el amortiguamiento viscoso equivalente sería:

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 5 = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5$$

El amortiguamiento viscoso equivalente β_{eq} se usa para reducir las ordenadas del espectro de respuesta elástico (con 5% de amortiguamiento), y generar un espectro de respuesta con mayor amortiguamiento.

El ciclo de histéresis idealizado mostrado en la figura 17, es una aproximación razonable para una edificación con ductilidad, sujeta a un sismo de duración relativamente corta (con poco número de ciclos para degradar significativamente los elementos), y con amortiguamiento viscoso equivalente menor a un 30% aproximadamente. Para otras condiciones, dicha representación podría conllevar a errores, ya que los lazos de histéresis serían irregulares (reducidos en área o en su ancho). En estos casos, debe utilizarse un factor de modificación de amortiguamiento de valor k , de la siguiente manera:

$$\beta_{eff} = k\beta_0 + 5 = \frac{63.7k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

El factor k depende del comportamiento estructural de la edificación, que a su vez depende de las características del sistema resistente a carga lateral y la duración del movimiento sísmico. Se establecen tres categorías llamadas: Tipo A, correspondiente a una estructura con lazos de histéresis estables, similares a los presentados en la figura 17 y con valor de $k = 1$; Tipo B, con un valor de $k = 2/3$, representando una reducción moderada de área; y Tipo C, con un comportamiento histerético pobre con reducción substancial del área del lazo (severamente angosto) y con valor asignado de $k = 1/3$. Dichos valores también dependen del valor de amortiguamiento histerético ocurrido, afectando a estructuras Tipo A cuando es mayor a 16.25%, y las Tipo B, cuando es mayor a 25%, como se muestra en la tabla 3.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 3

Tipos de Comportamiento Estructural

<i>Shaking Duration</i> ¹	<i>Essentially New Building</i> ²	<i>Average Existing Building</i> ³	<i>Poor Existing Building</i> ⁴
Short	Type A	Type B	Type C
Long	Type B	Type C	Type C

1. See Section 4.5.2 for criteria.
2. Buildings whose primary elements make up an essentially new lateral system and little strength or stiffness is contributed by noncomplying elements.
3. Buildings whose primary elements are combinations of existing and new elements, or better than average existing systems.
4. Buildings whose primary elements make up noncomplying lateral force systems with poor or unreliable hysteretic behavior.

Nota. Fuente: ATC-40 (1996)

Con los valores de amortiguamiento efectivo obtenidos, se estiman los factores de reducción espectrales, utilizados para modificar el espectro elástico de respuesta con amortiguamiento 5%.

Las ecuaciones para estimar los factores de reducción SR_A y SR_V , desarrolladas por Newmark y Hall, se presentan a continuación:

Ambos valores deben ser mayores o iguales a los presentados en la tabla 4

$$SR_A \approx \frac{3.21 - 0.68 \ln(\beta_{\text{eff}})}{2.12}$$

$$SR_V \approx \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{\text{eff}})}{1.65}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

SR_A es el valor de reducción espectral en rango de aceleración constante del espectro.

SR_V es el valor de reducción espectral en rango de velocidad constante del espectro

Tabla 4

Valores para el Factor de Modificación de Amortiguamiento k y Tipo de Comportamiento Estructural

Table 8-1. Values for Damping Modification Factor, κ

Structural Behavior Type¹	β_D (percent)	κ
Type A ²	≤ 16.25	1.0
	> 16.25	$1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Type B	≤ 25	0.67
	> 25	$0.845 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Type C	Any value	0.33

1. See Table 8-4 for structural behavior types.
2. The formulas are derived from Tables of spectrum reduction factors, B (or BI), specified for the design of base isolated buildings in the 1991 UBC, 1994 UBC and 1994 NEHRP Provisions. The formulas created for this document give the same results as are in the Tables in the other documents.

Nota. Fuente: ATC-40 (1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 5

Valores Mínimos Permitidos de SR_A y SR_V

<i>Structural Behavior Type²</i>	SR_A	SR_V
Type A ²	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

1. Values for SR_A and SR_V shall not be less than those shown in this Table
2. See Table 8-4 for structural behavior types.

Nota. Fuente: ATC-40 (1996)

Adicionalmente, en el **ATC-40** se presentan tabulados dichos valores de reducción espectral de acuerdo al valor de β_0 y al tipo de comportamiento estructural. Se muestran a continuación en la Tabla 8.

Tabla 6

Factores de Reducción Espectral SR_A y SR_V

β_0 (percent)	<i>Behavior Type A¹</i>			<i>Behavior Type B¹</i>			<i>Behavior Type C¹</i>		
	β_{eff}	SR_A (1/ B_s)	SR_V (1/ B_l)	β_{eff}	SR_A (1/ B_s)	SR_V (1/ B_l)	β_{eff}	SR_A (1/ B_s)	SR_V (1/ B_l)
0	5	1.00	1.00	5	1.00	1.00	5	1.00	1.00
5	10	0.78	0.83	8	0.83	0.87	7	0.91	0.93
15	20	0.55	0.66	15	0.64	0.73	10	0.78	0.83
25	28	0.44	0.57	22	0.53	0.63	13	0.69	0.76
35	35	0.38	0.52	26	0.47	0.59	17	0.61	0.70
≥45	40	0.33	0.50 ²	29	0.44	0.56	20	0.56	0.67 ²

1. Structural behavior type, see Table 8-4.
2. Controlled by minimum allowable value for SR_V , see Table 8.2

Nota. Fuente: ATC-40 (1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Los valores de las abscisas y ordenadas en el espectro de respuesta con 5% de amortiguamiento inicial deben multiplicarse por los factores de reducción SRA y SRV , en orden de obtener el espectro de demanda reducido.

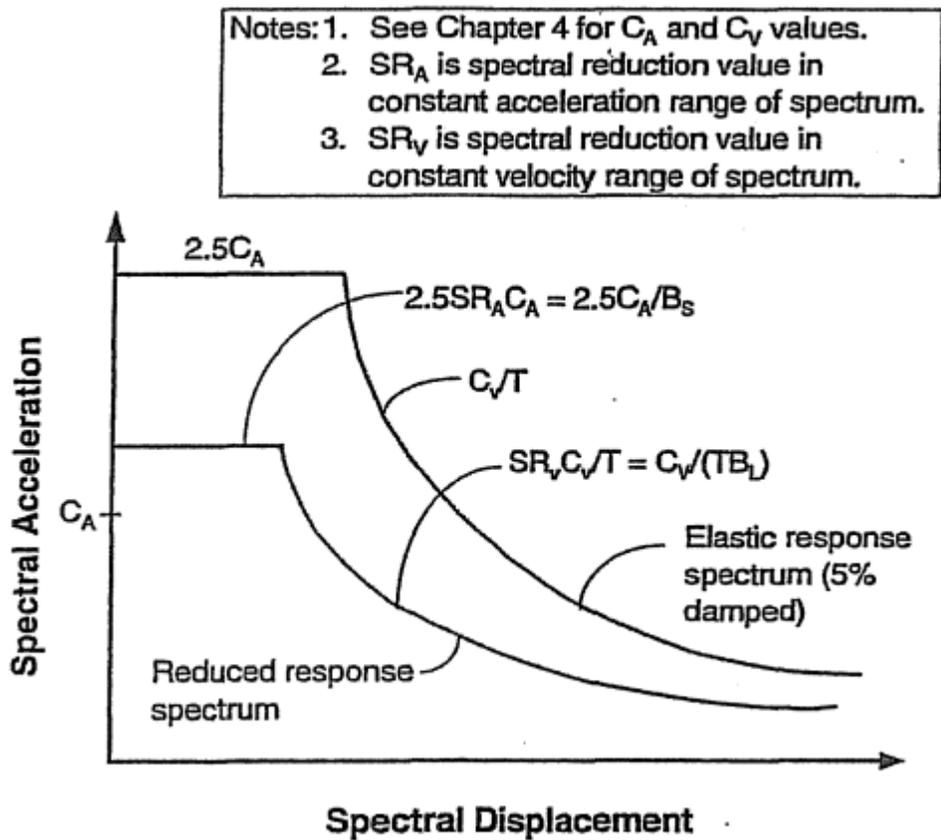


Figura 20 Espectro de respuesta reducido

Fuente: ATC-40 (1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

β_{eff} de 5%.10%.15%.20%.25%.30%.35%.40%
Soil profile Type= S_a
ZEN=0.4
 $C_A=0.4$
 $C_v=0.4$

β_{eff} de 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% y 40%

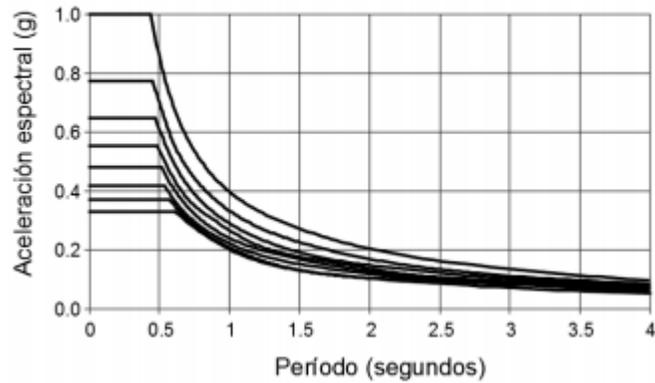


Figura 21 Familia de espectros de demanda, en formato tradicional S_a vs T

Fuente: Adaptación de ATC-40 (1996)

β_{eff} de 5%.10%.15%.20%.25%.30%.35%.40%
Soil profile Type= S_a
ZEN=0.4
 $C_A=0.4$
 $C_v=0.4$

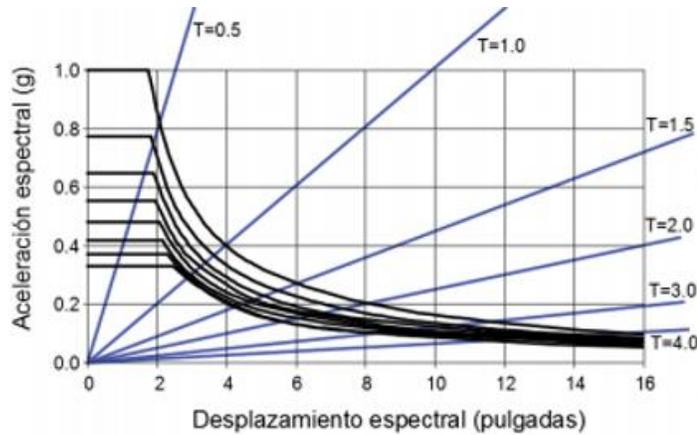


Figura 22 Familia de espectro de demanda en formato ADRS

Fuente: Adaptación ATC-40 (1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Esta familia de espectros puede construirse para cualquier información de perfil de suelo e intensidad del sismo, según se requiera para cada análisis

Paso 8. Intersección de espectro de capacidad con el espectro de demanda

La determinación del desplazamiento donde la capacidad y la demanda se igualan, exige un proceso iterativo en el cual, inicialmente se compara el espectro de capacidad con el espectro de demanda, descrito a través del espectro de respuesta elástico usando 5% de amortiguamiento, que será sucesivamente ajustado por estos factores de reducción, que toman en cuenta de manera compatible la disipación histerética de energía o amortiguamiento efectivo asociado al punto de desplazamiento obtenido en cada fase.

Cuando el desplazamiento en la intersección del espectro de demanda con el espectro de capacidad está dentro de un 5%, con respecto al punto de desempeño tentativo, esto es, $0.95d_{pi} \leq d_i \leq 1.05d_{pi}$, este punto se convierte en el punto de desempeño. Si esta intersección no tiene la tolerancia aceptable, se debe elegir un nuevo punto a_{pi} , d_{pi} . ver Figura 18.

Con base en el valor de prueba del punto de desempeño, los valores de prueba del punto a_y , d_y pueden elegirse para definir la representación bilineal del espectro de capacidad. Esta representación bilineal puede ser en el mismo gráfico que el espectro de capacidad. Los valores de los puntos a_y , d_y pueden ser revisados hasta que la representación bilineal cumpla los requisitos del paso 5 Una vez dados los puntos a_{pi} , d_{pi} , y a_y , d_y , se calculan los factores de reducción espectral y se traza el espectro de la demanda en el mismo gráfico que el espectro de capacidad. El gráfico se revisa para ver si la intersección del espectro de capacidad y el espectro de la demanda está dentro de una tolerancia aceptable antes mencionada. Si no está dentro de una tolerancia aceptable, se selecciona un nuevo punto a_{pi} , d_{pi} y se repite el proceso (hacer una nueva iteración). (ATC-40, 1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

El **punto de desempeño** representa el máximo desplazamiento estructural y cortante esperado para el movimiento del terreno definido como demanda.

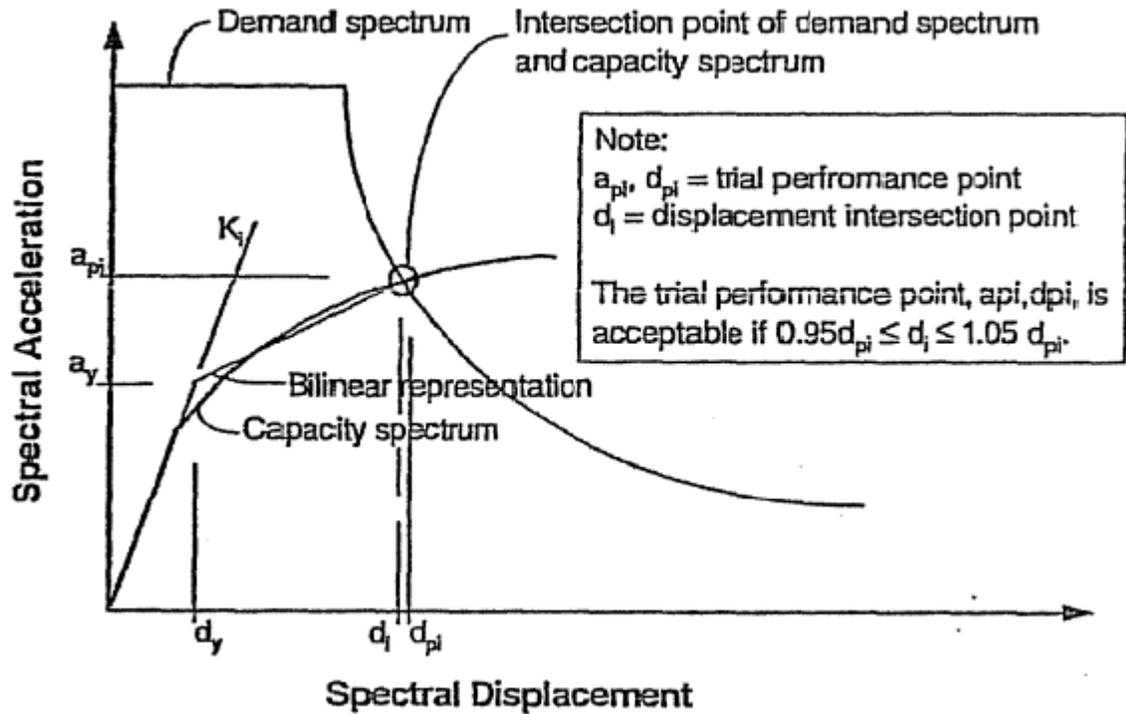


Figura 23 Punto de intersección o desempeño entre los espectros de capacidad y demanda.

Fuente: ATC-40 (1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.4.2.1 Método A, ejemplo de aplicación.

En el anexo A se tiene el desarrollo de un ejemplo de un marco de concreto con 3 crujiás y 7 niveles (Análisis Estático No Lineal) de donde se tomó la información (espectro elástico y curva de capacidad) para el desarrollo de estos ejemplos.

Paso 1 Desarrollar el espectro elástico para un 5 % de amortiguamiento

A continuación, se presenta la Tabla 7 con los valores del espectro elástico.

Tabla 7

Periodo y Aceleración del Espectro Elástico

Espectro de Diseño	
Período	Valor
segundos	a(g)
0	0.807
0.1	0.807
0.2	0.807
0.3	0.807
0.4	0.807
0.5	0.807
0.6	0.807
0.7	0.807
0.8	0.706
0.9	0.628
1	0.565
1.2	0.471

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

1.5	0.377
1.7	0.332
2	0.283
2.5	0.226
3	0.188
3.5	0.161
4	0.141
5	0.113
8	0.071
11	0.051

Nota. Con los valores de la tabla1 graficamos el espectro elástico que se muestra en la figura 24

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

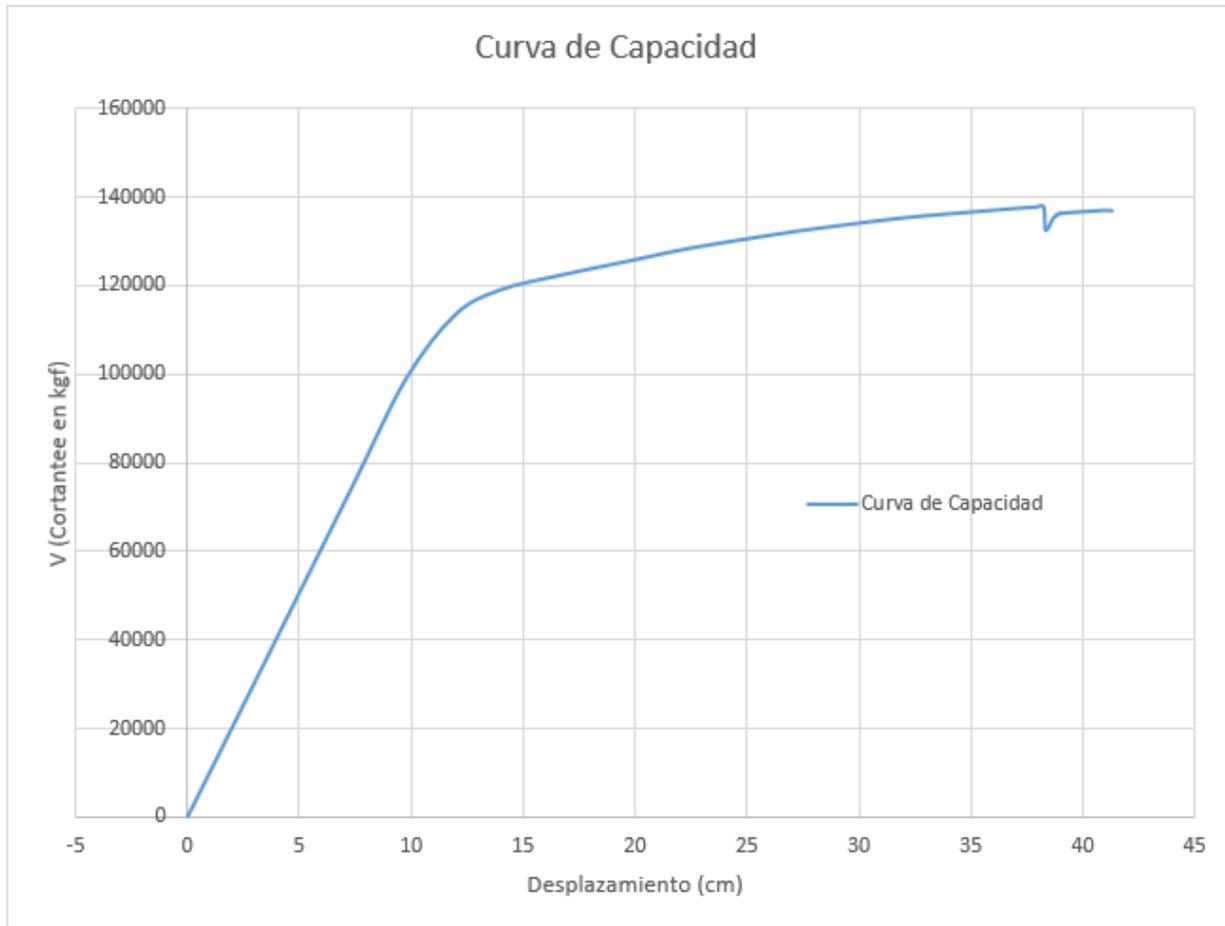


Figura 24 Curva de capacidad

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

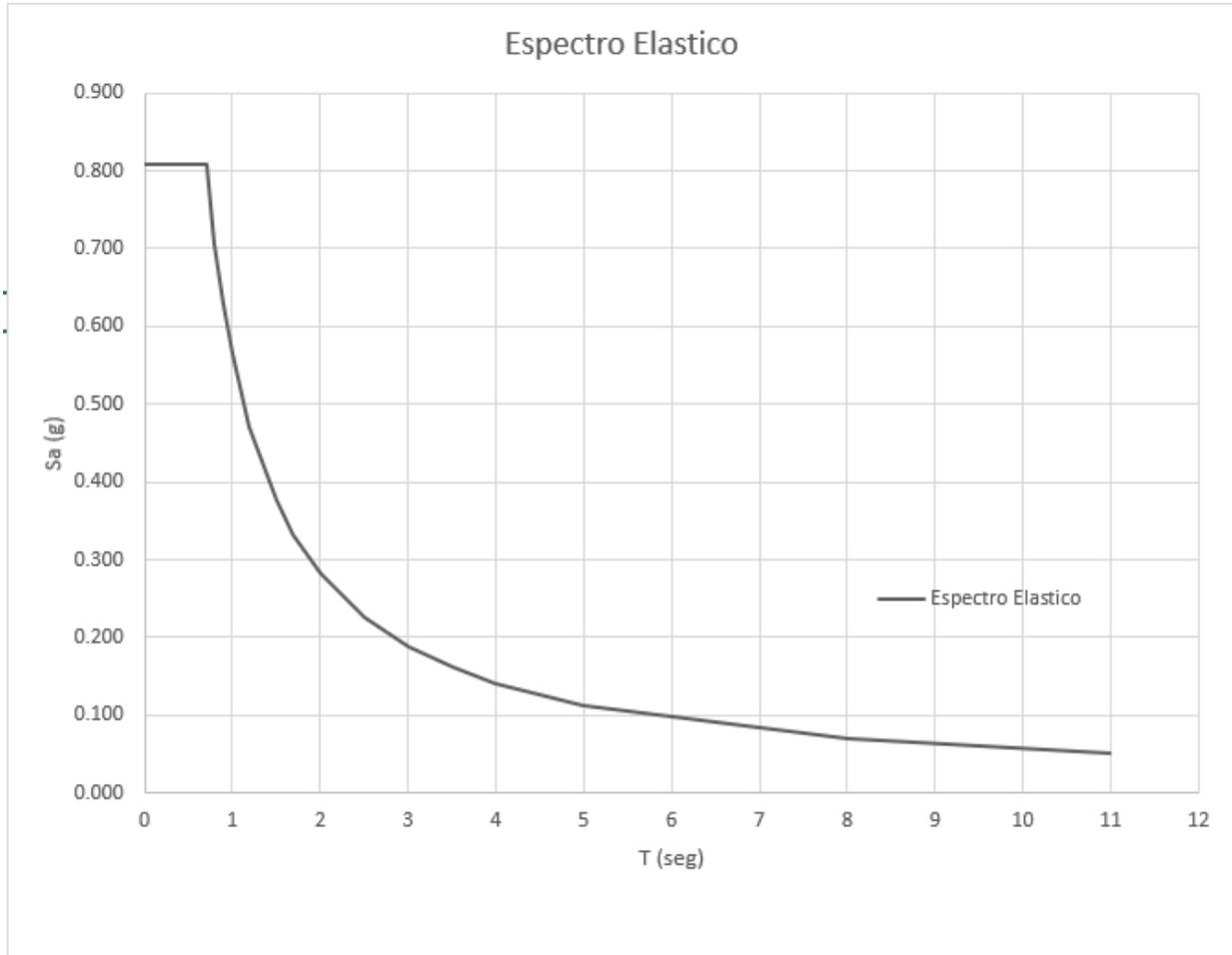


Figura 25 Espectro elástico

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 8

Datos de la Curva de Capacidad Extraídos del Ejemplo del Anexo

Story	UX	W=m(g)	Φ	$(W_i \times \Phi_i) / g$	$(W_i \times \Phi^2) / g$	Step	Displacement.	Base Force
	kgf-s ² /m	kgf				Unitless	cm	Kgf
N-6	9802.44	96161.94	0.0056	55.03	0.31	0	-0.02	0.00
N-5	11090.64	108799.18	0.0052	57.23	0.30	1	2.48	25316.88
N-4	11090.64	108799.18	0.0044	48.81	0.21	2	4.98	50633.75
N-3	11090.64	108799.18	0.0034	37.16	0.12	3	7.48	75950.38
N-2	11090.64	108799.18	0.0021	23.28	0.05	4	9.75	98934.28
N-1	11090.64	108799.18	0.0008	9.14	0.01	5	11.94	113325.79
SUMAS	65255.64	640157.83		230.65	1.00	6	13.95	118957.15
						7	16.78	122430.99
						8	20.02	125837.85
						9	22.52	128442.43
						10	26.27	131513.40
						11	28.77	133264.53
						12	31.94	135220.01

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

PF1=	230.655	13	34.44	136323.16
		14	37.67	137636.93
		15	37.94	137675.47
		16	38.28	137698.46
		17	38.37	132476.59
		18	38.71	135168.89
		19	38.85	135875.13
		20	39.00	136268.67
		21	40.97	136939.46
α =	0.815	22	41.35	136881.80

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

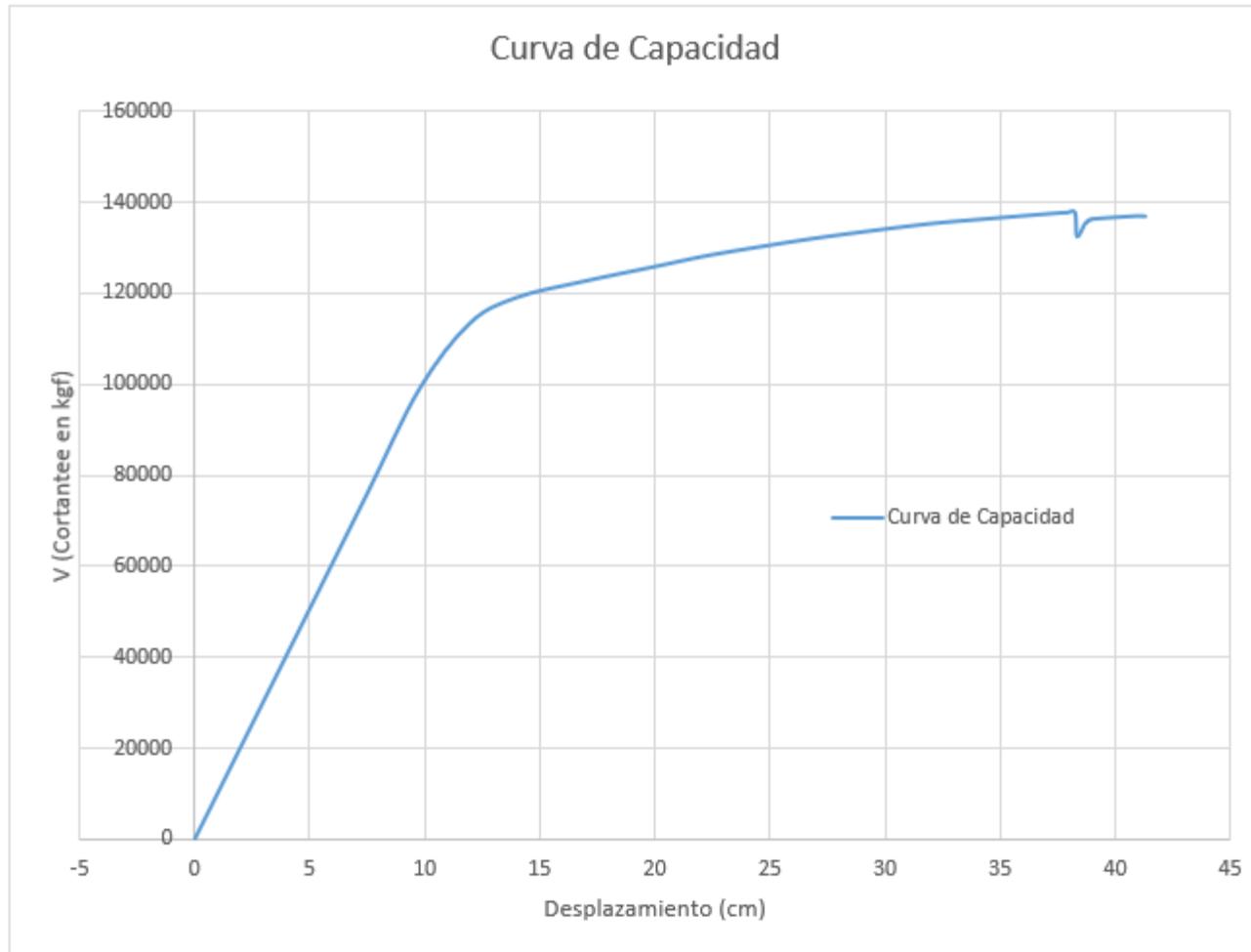


Figura 26 Curva de capacidad

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 9

Datos para Convertir la Curva de Capacidad en Espectro de Capacidad

Story	UX	W=m(g)	Φ	$(W_i X \Phi_i) / g$	$(W_i X \Phi_i^2) / g$	Step	Displacem.	Force	$S_d := \frac{\Delta_{tope}}{PF_1 \cdot \phi_{tope1}}$	$S_{ai} := \frac{V}{W \alpha_1}$
	kgf-s ² /m	kgf					cm	kgf		
N-6	9802.44	96161.94	0.0056	55.03	0.31	0	-0.02	0.00	-0.012	0.000
N-5	11090.64	108799.18	0.0052	57.23	0.30	1	2.48	25316.88	1.919	0.049
N-4	11090.64	108799.18	0.0044	48.81	0.21	2	4.98	50633.75	3.849	0.097
N-3	11090.64	108799.18	0.0034	37.16	0.12	3	7.48	75950.38	5.780	0.146
N-2	11090.64	108799.18	0.0021	23.28	0.05	4	9.75	98934.28	7.533	0.190
N-1	11090.64	108799.18	0.0008	9.14	0.01	5	11.94	113325.7	9.220	0.217
								9		
SUMAS	65255.6	640157.8						118957.1		
	4	3		230.651	1.000	6	13.95		10.773	0.228
								5		
								122430.9		
						7	16.78		12.960	0.235
								9		

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

			125837.8		
	8	20.02	5	15.461	0.241
			128442.4		
	9	22.52	3	17.392	0.246
			131513.4		
	10	26.27	0	20.284	0.252
			133264.5		
	11	28.77	3	22.215	0.255
			135220.0		
	12	31.94	1	24.664	0.259
			136323.1		
PF1=	230.655	13	6	26.595	0.261
			137636.9		
	14	37.67	3	29.088	0.264
			137675.4		
	15	37.94	7	29.301	0.264

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

				137698.4		
		16	38.28		29.566	0.264
				6		
				132476.5		
		17	38.37		29.632	0.254
				9		
				135168.8		
		18	38.71		29.893	0.259
				9		
				135875.1		
		19	38.85		30.002	0.260
				3		
				136268.6		
		20	39.00		30.121	0.261
				7		
				136939.4		
		21	40.97		31.636	0.262
				6		
				136881.8		
	$\alpha =$	0.815		22	41.35	31.930
						0.262
				0		

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

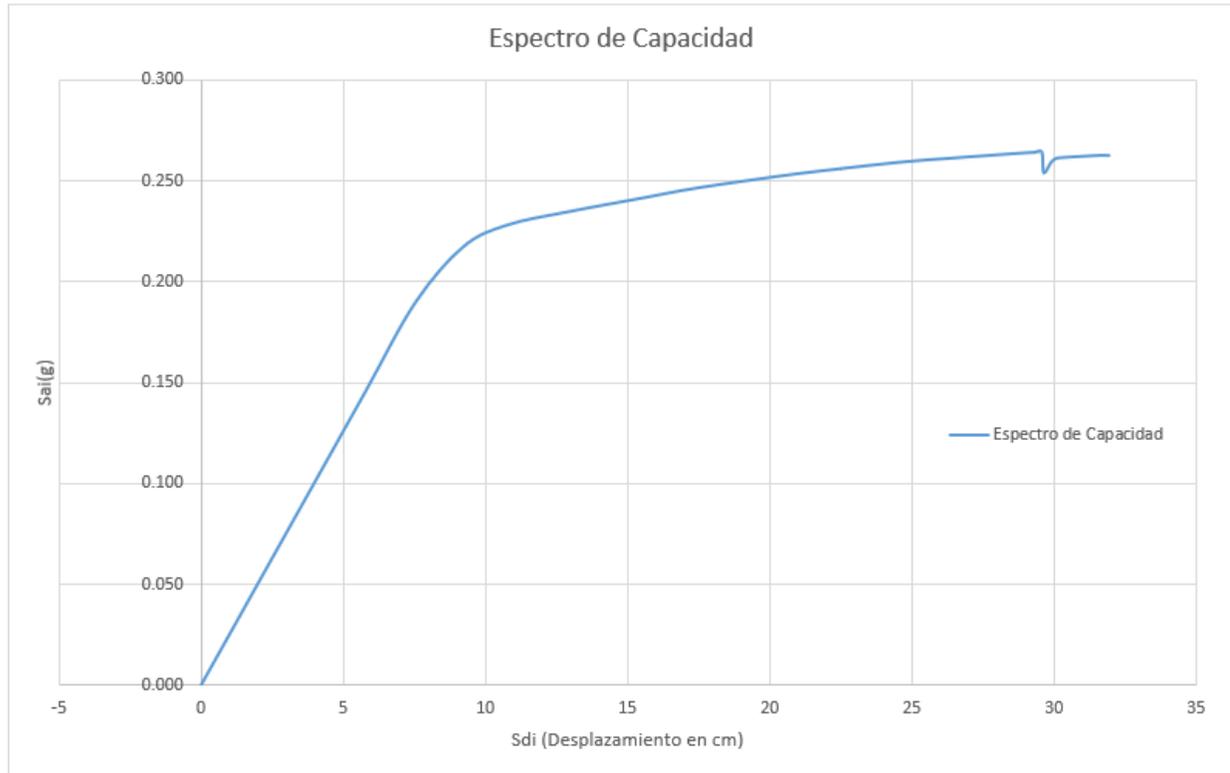


Figura 27 Espectro de capacidad

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 10

Datos para Definir el Espectro de Demanda

Espectro de demanda		
Period	S_{ai}	$S_{ai} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai}g$
sec	a(g)	cm
0	0.807	0.00
0.1	0.807	0.20
0.2	0.807	0.80
0.3	0.807	1.81
0.4	0.807	3.21
0.5	0.807	5.02
0.6	0.807	7.22
0.7	0.807	9.83
0.8	0.706	11.23
0.9	0.628	12.64
1	0.565	14.04
1.2	0.471	16.85
1.5	0.377	21.06
1.7	0.332	23.87
2	0.283	28.08
2.5	0.226	35.11
3	0.188	42.13
3.5	0.161	49.15

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4	0.141	56.17
5	0.113	70.21
8	0.071	112.34
11	0.051	154.47

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

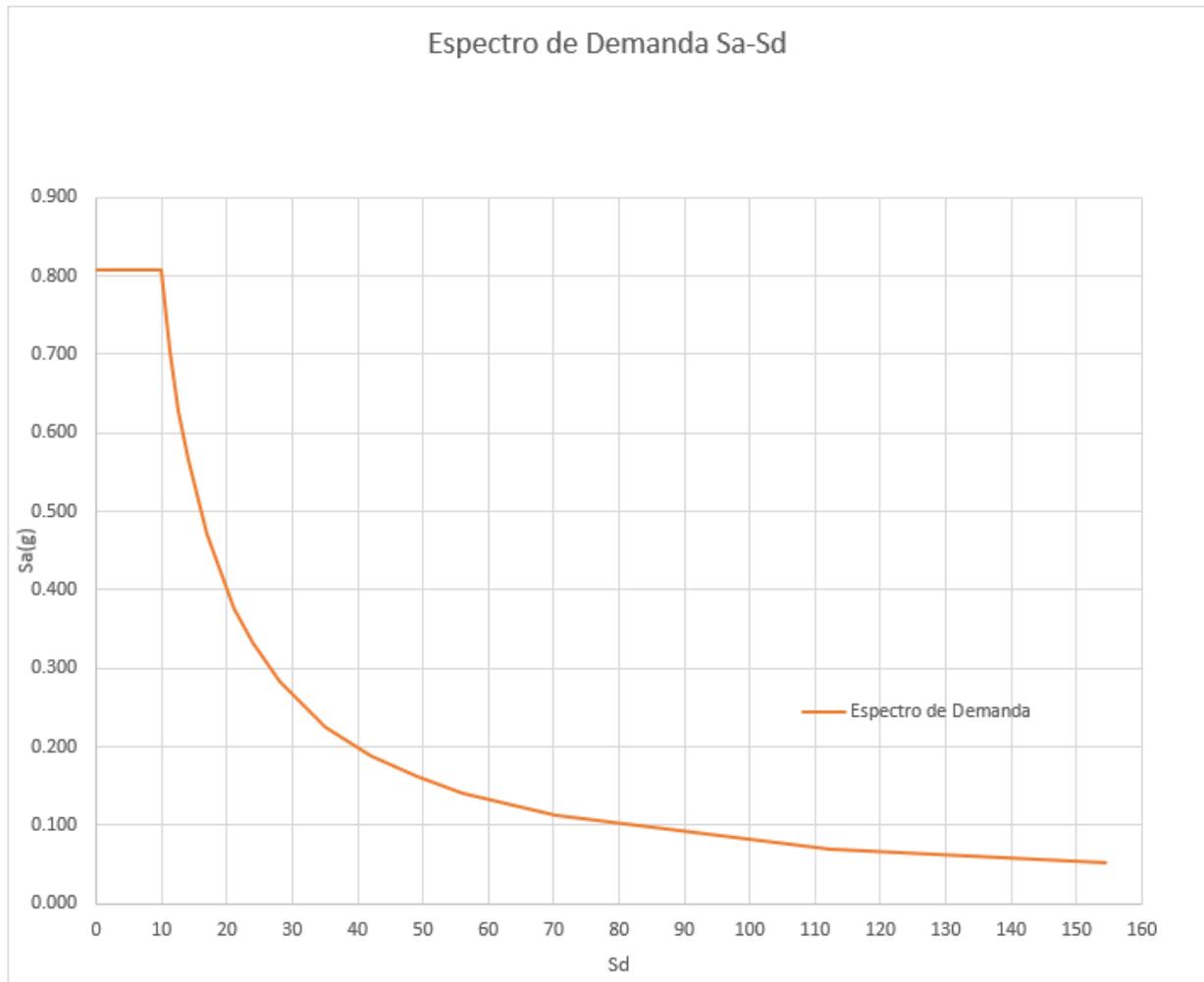


Figura 28 Grafica del espectro de demanda

Después de obtener las gráficas de la curva de capacidad (figura 26) y espectro de capacidad (figura 27), se colocan en una sola gráfica, para graficar los puntos de la primera iteración (a_y, d_y y a_{p_i}, d_{p_i}) de acuerdo a la regla de igual desplazamiento (Figura 29) o cualquier otro punto elegido a juicio del ingeniero.

Se considera que encontramos el punto de desempeño cuando en la última iteración el punto de desempeño a_{p_i}, d_{p_i} coincide con la curva de capacidad o queda en el rango $1.05 d_{p_i} \leq d_i \leq 0.95 d_{p_i}$, enseguida se muestran los cálculos y graficas de las iteraciones necesarias.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

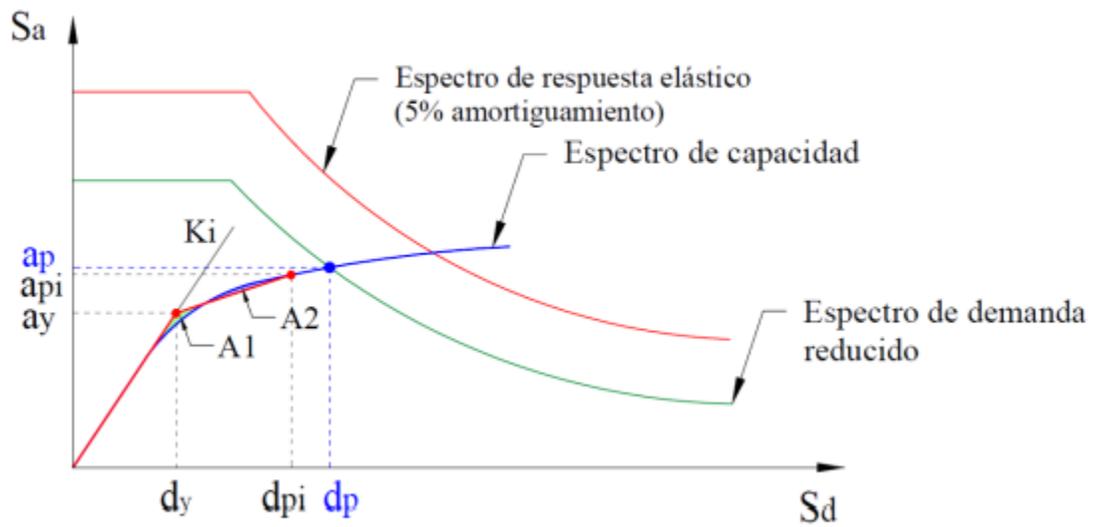


Figura 29 Determinación del punto de desempeño (ATC-40,1996). Tomada de: (Choque Sucasaca, 2019)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 1 (Punto de igual desplazamiento)

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.219$$

$$a_{pi} := 0.246$$

$$d_y := 8.6$$

$$d_{pi} := 17.8$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} = 25.932$$

$$k := \begin{cases} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \parallel 0.67 \\ \text{else} \\ \quad \parallel 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} \end{cases} = 0.663$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 30.932$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 22.204$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.52$$

$$SR_A \geq a \text{ valores dados en la tabla 4.2 (ATC-40)}$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.63$$

$$SR_V \geq a \text{ valores dados en la tabla 4.2 (ATC-40)}$$

Table 8-2. Minimum Allowable SR_A and SR_V Values¹

Structural Behavior Type ²	SR_A	SR_V
Type A ²	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

1. Values for SR_A and SR_V shall not be less than those shown in this Table
2. See Table 8-4 for structural behavior types.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 11

Datos para la Curva de Demanda Reducida. Iteración 1

Espectro de demanda		Factores de Reducción del Espectro de Demanda	Curva de Demanda Reducida (multiplica el Espectro de Demanda por SRA o SRv)	
Value	$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai}g$	SRA o SRv	Value	$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$
a(g)	cm		a(g)	cm
0.807	0.000	0.520	0.420	0.000
0.807	0.201	0.520	0.420	0.104
0.807	0.802	0.520	0.420	0.417
0.807	1.805	0.520	0.420	0.939
0.807	3.210	0.520	0.420	1.669
0.807	5.015	0.520	0.420	2.608
0.807	7.222	0.520	0.420	3.755
0.807	9.830	0.520	0.420	5.111
0.706	11.234	0.630	0.445	7.077
0.628	12.638	0.630	0.396	7.962
0.565	14.042	0.630	0.356	8.847
0.471	16.851	0.630	0.297	10.616
0.377	21.064	0.630	0.237	13.270
0.332	23.872	0.630	0.209	15.039
0.283	28.085	0.630	0.178	17.693
0.226	35.106	0.630	0.142	22.117

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

0.188	42.127	0.630	0.119	26.540
0.161	49.149	0.630	0.102	30.964
0.141	56.170	0.630	0.089	35.387
0.113	70.212	0.630	0.071	44.234
0.071	112.340	0.630	0.045	70.774
0.051	154.468	0.630	0.032	97.315

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

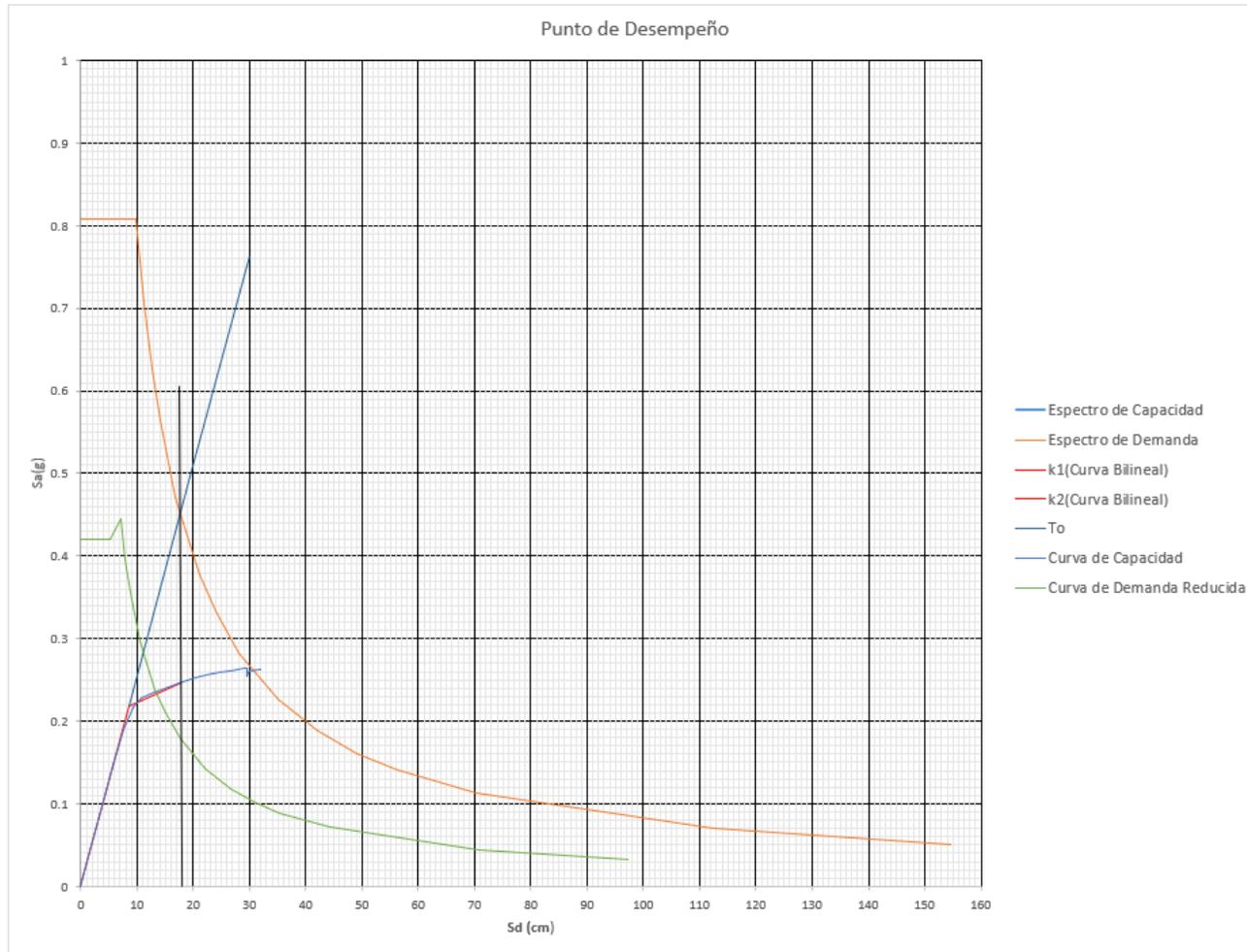


Figura 30 Iteración 1, punto de igual desplazamiento, $d_{p_i}=17.8$ cm

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 2

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.212$$

$$a_{pi} := 0.235$$

$$d_y := 8.3$$

$$d_{pi} := 13$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} = 16.796$$

$$k := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 0.67 \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} \end{array} \right. \end{array} \right. \end{array} \right\| = 0.67$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5 \quad \beta_{eq} = 21.796$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5 \quad \beta_{eff} = 16.253$$

Table 8-2. Minimum Allowable SR_A and SR_V Values¹

Structural Behavior Type ²	SR_A	SR_V
Type A ²	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

1. Values for SR_A and SR_V shall not be less than those shown in this Table
2. See Table 8-4 for structural behavior types.

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.62$$

$$SR_A \geq a \text{ valores dados en la tabla 4.2 (ATC-40)}$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.707$$

$$SR_V \geq a \text{ valores dados en la tabla 4.2 (ATC-40)}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 12

Datos para la Curva de Demanda Reducida, Iteración 2

Espectro de demanda			Factores de Reducción del Espectro de Demanda	Curva de Demanda Reducida (multiplica el Espectro de Demanda por SRA o SRV)	
Period	Value	$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai}g$	SRA o SRV	Value	$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$
sec	a(g)	cm		a(g)	cm
0	0.807	0.000	0.620	0.501	0.000
0.1	0.807	0.201	0.620	0.501	0.124
0.2	0.807	0.802	0.620	0.501	0.498
0.3	0.807	1.805	0.620	0.501	1.119
0.4	0.807	3.210	0.620	0.501	1.990
0.5	0.807	5.015	0.620	0.501	3.109
0.6	0.807	7.222	0.620	0.501	4.478
0.7	0.807	9.830	0.620	0.501	6.094
0.8	0.706	11.234	0.707	0.499	7.942
0.9	0.628	12.638	0.707	0.444	8.935
1	0.565	14.042	0.707	0.400	9.928
1.2	0.471	16.851	0.707	0.333	11.914
1.5	0.377	21.064	0.707	0.266	14.892
1.7	0.332	23.872	0.707	0.235	16.878
2	0.283	28.085	0.707	0.200	19.856
2.5	0.226	35.106	0.707	0.160	24.820

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

3	0.188	42.127	0.707	0.133	29.784
3.5	0.161	49.149	0.707	0.114	34.748
4	0.141	56.170	0.707	0.100	39.712
5	0.113	70.212	0.707	0.080	49.640
8	0.071	112.340	0.707	0.050	79.424
11	0.051	154.468	0.707	0.036	109.209

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

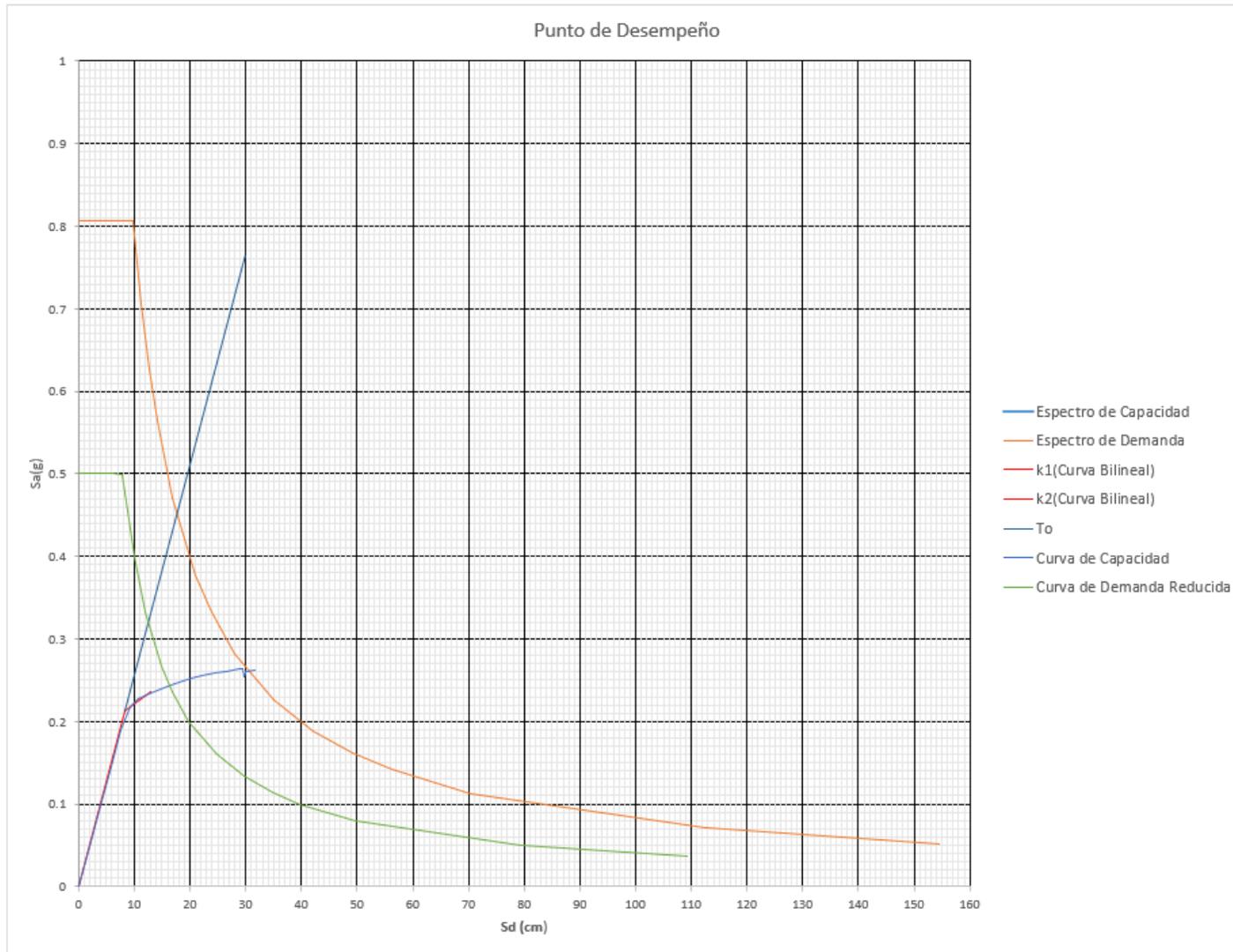


Figura 31 Iteración 2, $d_p=13$ cm

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 3

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.215$$

$$a_{pi} := 0.237$$

$$d_y := 8.5$$

$$d_{pi} := 14$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} = 19.112$$

$$k := \begin{cases} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \parallel 0.67 \\ \text{else} \\ \quad \parallel 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} \end{cases} = 0.67$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5 \quad \beta_{eq} = 24.112$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5 \quad \beta_{eff} = 17.805$$

Table 8-2. Minimum Allowable SR_A and SR_V Values¹

Structural Behavior Type ²	SR_A	SR_V
Type A ²	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

1. Values for SR_A and SR_V shall not be less than those shown in this Table
2. See Table 8-4 for structural behavior types.

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.591$$

$SR_A \geq a$ valores dados en la tabla 4.2 (ATC-40)

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.684$$

$SR_V \geq a$ valores dados en la tabla 4.2 (ATC-40)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 13

Datos para la Curva de Demanda Reducida, Iteración 3

Espectro de demanda			Factores de Reducción del Espectro de Demanda	Curva de Demanda Reducida (multiplica el Espectro de Demanda por SR_A o SR_V)	
Period	Value	$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai}g$	SR_A o SR_V	Value	$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$
sec	a(g)	cm		a(g)	cm
0	0.807	0.000	0.591	0.477	0.000
0.1	0.807	0.201	0.591	0.477	0.119
0.2	0.807	0.802	0.591	0.477	0.474
0.3	0.807	1.805	0.591	0.477	1.067
0.4	0.807	3.210	0.591	0.477	1.897
0.5	0.807	5.015	0.591	0.477	2.964
0.6	0.807	7.222	0.591	0.477	4.268
0.7	0.807	9.830	0.591	0.477	5.809
0.8	0.706	11.234	0.684	0.483	7.684
0.9	0.628	12.638	0.684	0.429	8.645
1	0.565	14.042	0.684	0.387	9.605
1.2	0.471	16.851	0.684	0.322	11.526
1.5	0.377	21.064	0.684	0.258	14.408
1.7	0.332	23.872	0.684	0.227	16.329
2	0.283	28.085	0.684	0.193	19.210

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.5	0.226	35.106	0.684	0.155	24.013
3	0.188	42.127	0.684	0.129	28.815
3.5	0.161	49.149	0.684	0.110	33.618
4	0.141	56.170	0.684	0.097	38.420
5	0.113	70.212	0.684	0.077	48.025
8	0.071	112.340	0.684	0.048	76.840
11	0.051	154.468	0.684	0.035	105.656

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

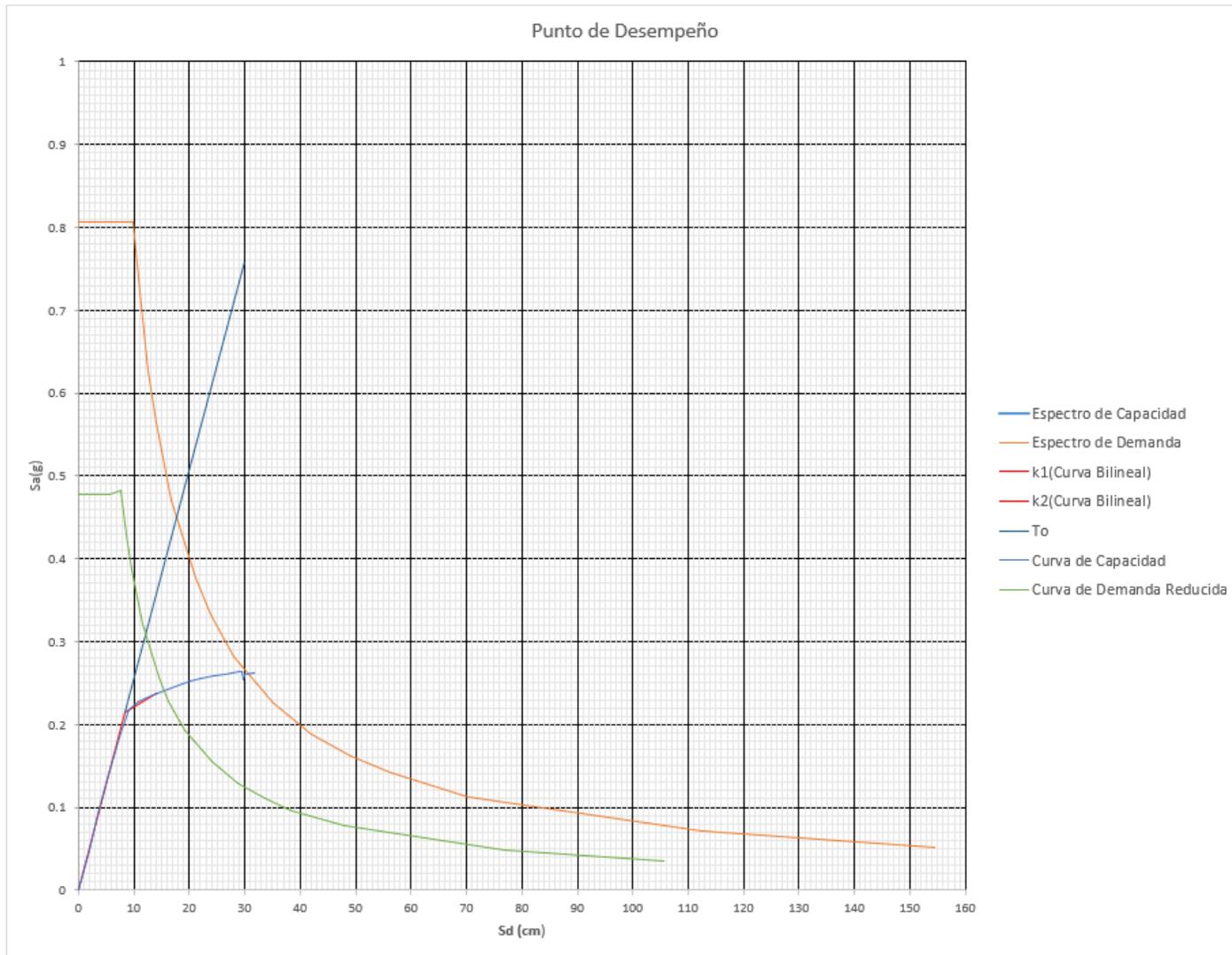


Figura 32 Iteración 3, $d_p=14$ cm

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 14

Datos para la Curva de Demanda Reducida, Iteración 4

Espectro de demanda			Factores de Reducción del Espectro de Demanda	Curva de Demanda Reducida (multiplica el Espectro de Demanda por SR_A o SR_V)	
Period	Value	$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai}g$	SR_A o SR_V	Value	$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$
sec	a(g)	cm		a(g)	cm
0	0.807	0.000	0.566	0.457	0.000
0.1	0.807	0.201	0.566	0.457	0.114
0.2	0.807	0.802	0.566	0.457	0.454
0.3	0.807	1.805	0.566	0.457	1.022
0.4	0.807	3.210	0.566	0.457	1.817
0.5	0.807	5.015	0.566	0.457	2.839
0.6	0.807	7.222	0.566	0.457	4.088
0.7	0.807	9.830	0.566	0.457	5.564
0.8	0.706	11.234	0.665	0.470	7.471
0.9	0.628	12.638	0.665	0.418	8.404
1	0.565	14.042	0.665	0.376	9.338
1.2	0.471	16.851	0.665	0.313	11.206
1.5	0.377	21.064	0.665	0.251	14.007
1.7	0.332	23.872	0.665	0.221	15.875
2	0.283	28.085	0.665	0.188	18.676
2.5	0.226	35.106	0.665	0.150	23.346

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

3	0.188	42.127	0.665	0.125	28.015
3.5	0.161	49.149	0.665	0.107	32.684
4	0.141	56.170	0.665	0.094	37.353
5	0.113	70.212	0.665	0.075	46.691
8	0.071	112.340	0.665	0.047	74.706
11	0.051	154.468	0.665	0.034	102.721

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

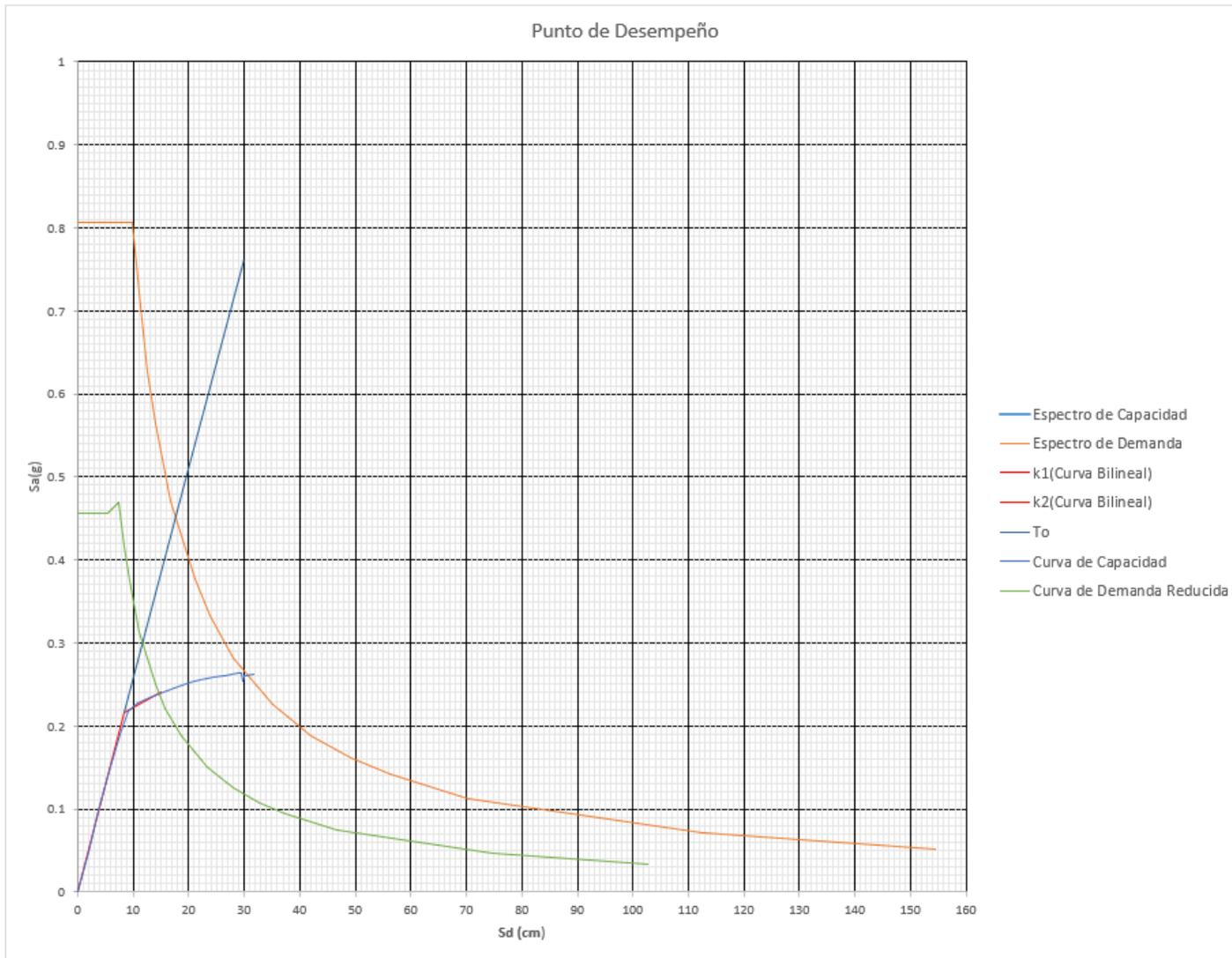


Figura 33 Iteración 4, $d_{pi}=15$ cm

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 15

Datos para la Curva de Demanda Reducida, Iteración 5

Espectro de demanda			Factores de Reducción del Espectro de Demanda	Curva de Demanda Reducida (multiplica el Espectro de Demanda por SR _A o SR _V)		
Period	Value	$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai}g$	SR_A o SR_V	Value	$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$	
sec	a(g)	cm		a(g)	cm	
0	0.807	0.000	0.572	0.462	0.000	
0.1	0.807	0.201	0.572	0.462	0.115	
0.2	0.807	0.802	0.572	0.462	0.459	
0.3	0.807	1.805	0.572	0.462	1.033	
0.4	0.807	3.210	0.572	0.462	1.836	
0.5	0.807	5.015	0.572	0.462	2.869	
0.6	0.807	7.222	0.572	0.462	4.131	
0.7	0.807	9.830	0.572	0.462	5.623	
0.8	0.706	11.234	0.670	0.473	7.527	
0.9	0.628	12.638	0.670	0.421	8.468	
1	0.565	14.042	0.670	0.379	9.408	
1.2	0.471	16.851	0.670	0.316	11.290	
1.5	0.377	21.064	0.670	0.252	14.113	

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

1.7	0.332	23.872	0.670	0.223	15.994
2	0.283	28.085	0.670	0.189	18.817
2.5	0.226	35.106	0.670	0.151	23.521
3	0.188	42.127	0.670	0.126	28.225
3.5	0.161	49.149	0.670	0.108	32.929
4	0.141	56.170	0.670	0.095	37.634
5	0.113	70.212	0.670	0.076	47.042
8	0.071	112.340	0.670	0.047	75.268
11	0.051	154.468	0.670	0.034	103.493

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

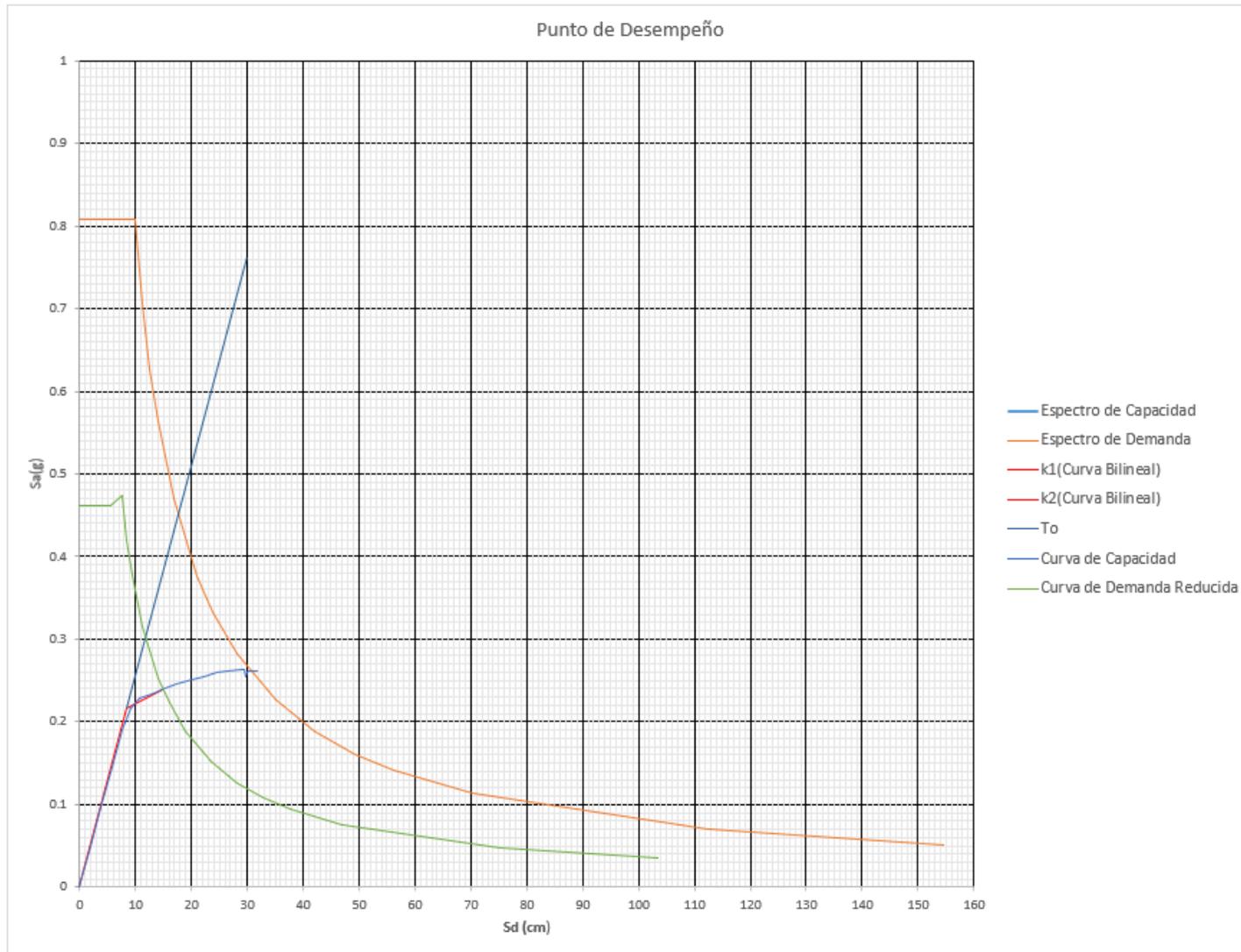


Figura 34 Iteración 5, $d_{pi}=14.8$ cm

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

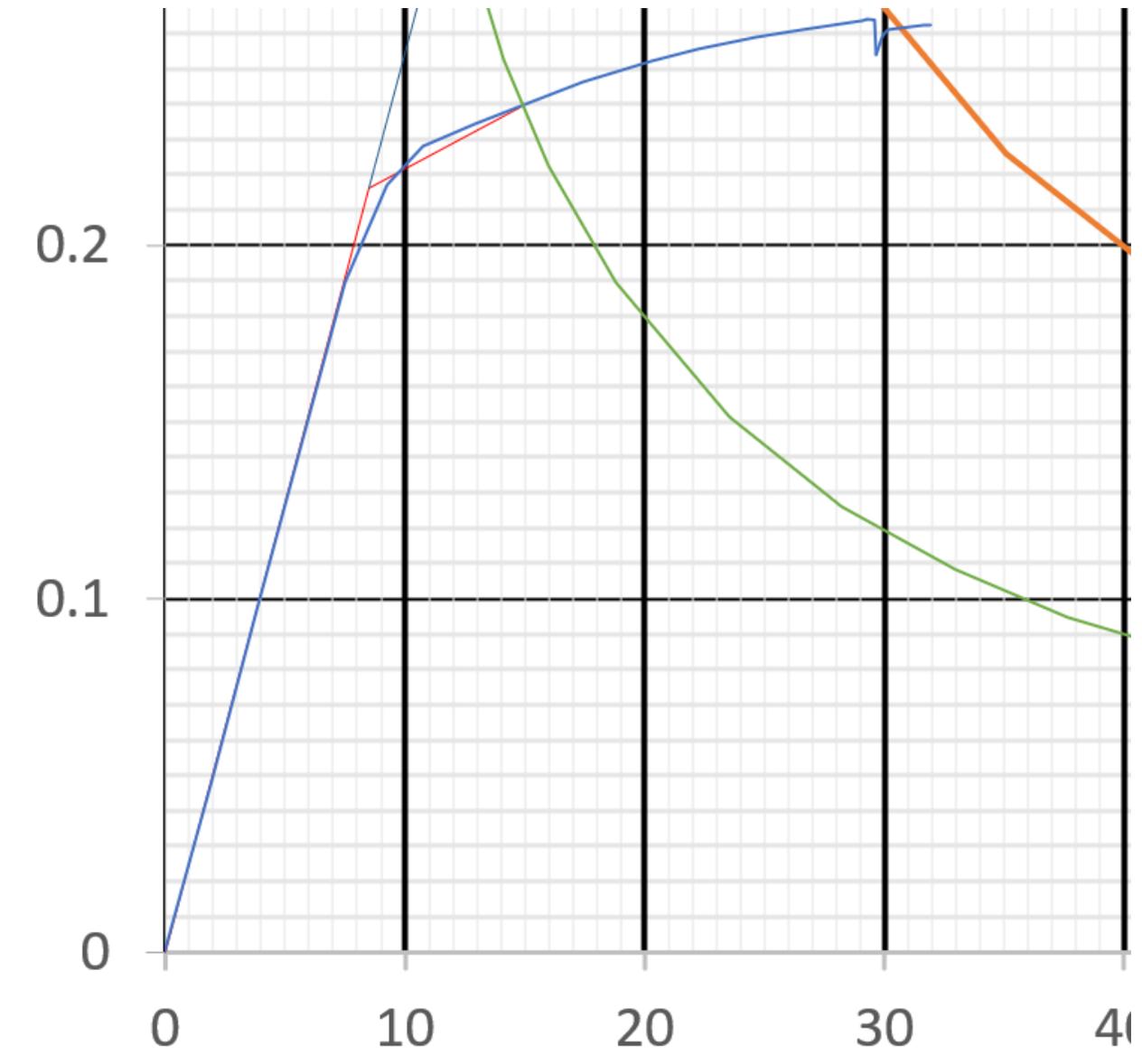


Figura 35 Detalle donde se muestra que se alcanza el punto de desempeño

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 16

Datos para Graficar T_o y la Curva Bilineal

T_o					
	X1	X2(dpi)	Y1	Y2(api)	X
	0	8.5	0	0.216	
m=	0.0254	$m := \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$			
y=	0.216	$y := m \cdot (x - x_1) + y_1$			8.5
	0.508			dato	20
	0.762			dato	30
Curva Bilineal					
	k1		k2		
	0	0	8.5	0.216	
	8.5	0.216	14.8	0.239	
	dy	ay	dpi	api	

Nota. Los datos ay, dy, así como dpi, api, son los propuestos para iniciar la iteración 5

Tabla 17

Resumen de Factores de Reducción de Respuesta Obtenidos (SR_A y SR_V) y Datos Utilizados al realizar las Iteraciones.

Ts=	0.807	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 5
SR_A=	0.572	0.52	0.62	0.591	0.566	0.572
SR_V=	0.67	0.63	0.707	0.684	0.665	0.67
Datos		Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 5

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

ay=	0.216	0.219	0.212	0.215	0.216	0.216
dy=	8.5	8.6	8.3	8.5	8.5	8.5
ap1=	0.2390	0.246	0.235	0.237	0.24	0.2390
dp1=	14.8	17.8	13	14	15	14.8

Nota. Los datos **SR_A** y **SR_v** son calculados anteriormente donde inician las iteraciones (mediante una hoja de cálculo de MathCad), con las cuales se obtienen las tablas y graficas

Verificación del punto de desempeño: Comprobamos que alcanzamos el punto de desempeño cuando el punto d_{p_i} :14.8 correspondiente a la iteración 5 queda dentro del rango que se muestra a continuación: $0.95 d_{p_i} \leq d_i \leq 1.05 d_{p_i}$ (ver figura 23 del procedimiento):

$$0.95 * d_{p5} = 14.06$$

$$1.05 * d_{p5} = 15.54$$

El valor 14.8 queda dentro de este rango y además en la figura 34 observamos

gráficamente $d_i = 14.9$

Por lo que el punto de desempeño encontrado se considera aceptable.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.4.2.2 Método B, ejemplo de aplicación.

Este procedimiento hace una suposición simplificadora que no se hace en los otros dos procedimientos. Se asume que no sólo la pendiente inicial de la representación bilineal de la curva de capacidad permanece constante, sino también el punto a_y , d_y , y la pendiente de post fluencia permanece constante.

Esta suposición simplificadora permite una solución directa sin dibujar múltiples curvas porque obliga a que el amortiguamiento efectivo β_{eff} , depende únicamente de d_{pi} . Los pasos a seguir son los siguientes:

1. Desarrolle el espectro de respuesta con el 5 por ciento de amortiguamiento apropiado para el sitio de interés.
2. Dibuje el espectro de respuesta con el 5 por ciento de amortiguamiento y dibuje una familia de espectros reducidos en el mismo gráfico. Es conveniente que los espectros trazados corresponden a valores efectivos de amortiguación β_{eff} que van desde el 5 por ciento hasta el máximo valor permitido para el tipo de comportamiento estructural del edificio.

El máximo β_{eff} para la construcción tipo A es del 40 por ciento, para el tipo B es del 29 por ciento y el del tipo C es del 20 por ciento. La figura 35 muestra un ejemplo de familia de espectros de demanda.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

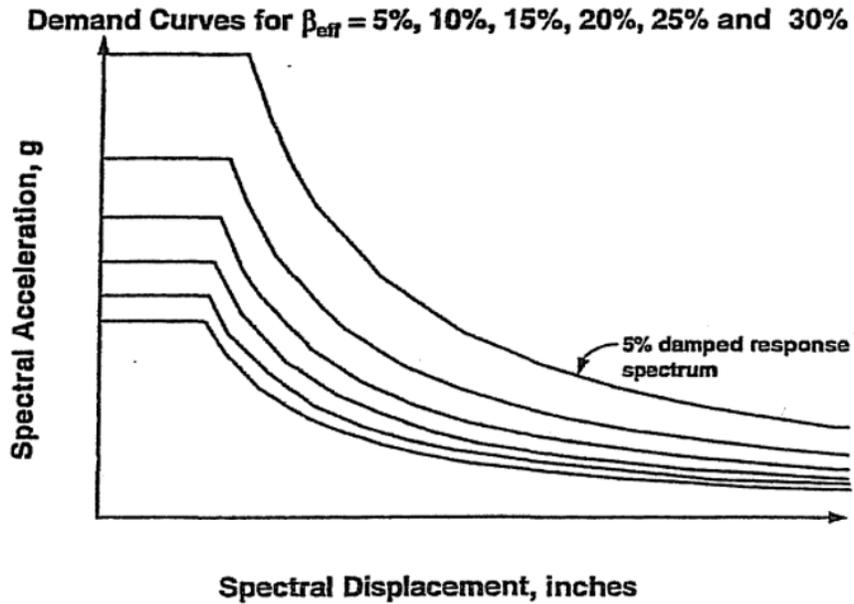


Figura 36 Familia de espectros de demanda, Fuente ATC-40 (1996)

3. Transformar la curva de capacidad en un espectro de capacidad. Trazar el espectro de capacidad en el mismo gráfico que la familia de espectros de demanda, como se muestra en la figura 37.

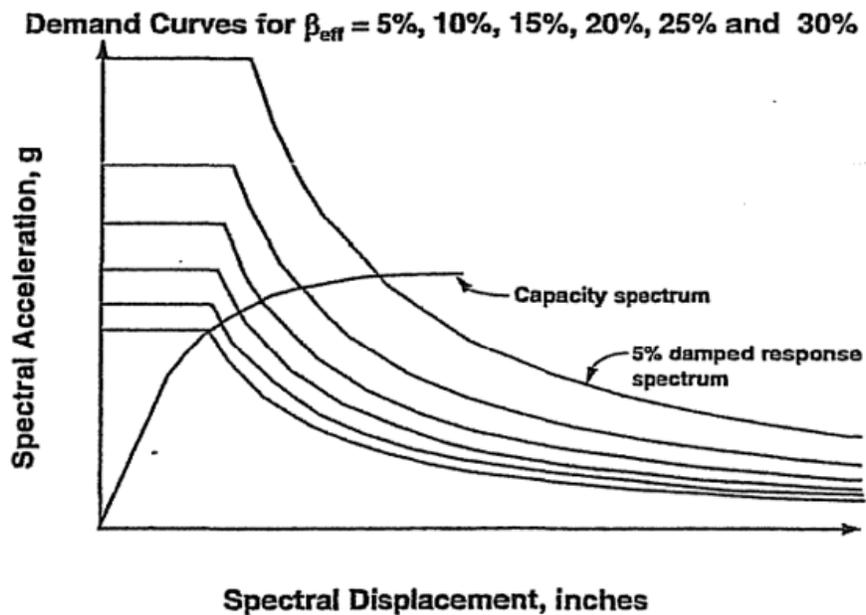


Figura 37 Espectro de capacidad y curvas de demanda, Fuente ATC-40 (1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4. Desarrollar una representación bilineal del espectro de capacidad como se ilustra en la figura 38.

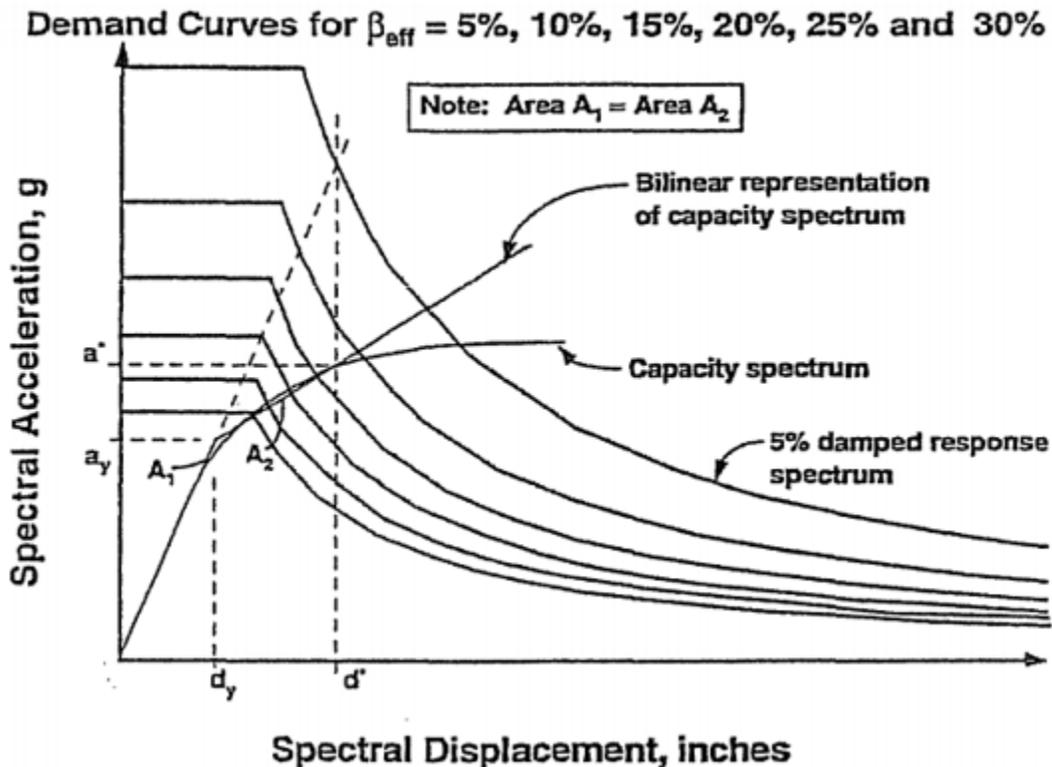


Figura 38 Representación bilineal del espectro de capacidad

Fuente ATC-40 (1996)

La pendiente inicial de la curva bilineal es igual a la rigidez inicial de la estructura. El segmento de post fluencia de la representación bilineal debe pasar a través del espectro de capacidad en un desplazamiento igual al desplazamiento espectral del espectro de demanda elástico (amortiguado al 5 por ciento) que coincide con la rigidez inicial antes de la fluencia (regla de igual de desplazamiento). Este será punto a^* , d^* . El segmento de post fluencia debe girar en torno a este punto para equilibrar las áreas A_1 y A_2 . como se muestra en la figura 38. **Comentario:** En el paso 3 es donde se hace la suposición simplificadora en este procedimiento. Se establece la pendiente del segmento posterior a la fluencia en la representación bilineal del espectro de capacidad a un valor constante γ , por tanto, permite expresar β_{eff} directamente en términos de

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

dpi. Exigir que el segmento de post fluencia pase por el espectro de capacidad en el punto de desplazamiento elástico tiene por objeto garantizar que el segmento de post fluencia simule fielmente el espectro de capacidad en esta región. Si el punto de fluencia no se produce en esta región, entonces el ingeniero puede querer verificar los resultados utilizando el procedimiento A o C.

5. Se calcula el amortiguamiento efectivo para varios desplazamientos cerca del punto a^* , d^* . La pendiente del segmento de post fluencia de la representación bilineal del espectro de capacidad está dada por:

$$\text{pendiente de post fluencia} = \frac{a^* - a_y}{d^* - d_y}$$

Para cualquier punto a_{pi} , d_{pi} , en el segmento de post fluencia de la representación bilineal, la pendiente viene dada por:

$$\text{pendiente de post fluencia} = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}$$

puesto que la pendiente es constante las ecuaciones anteriores pueden ser igualadas

$$\frac{a^* - a_y}{d^* - d_y} = \frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}$$

Resolviendo anterior para a_{pi} en términos de d_{pi} y llamando a_{pi} para esta ecuación como a_{pi}' obtenemos:

$$a_{pi}' = \frac{(a^* - a_y) - (d_{pi} - d_y)}{d^* - d_y} + a_y$$

Este valor puede ser sustituido por a_{pi} en ecuación 8-8 (indicada en ATC-40) para obtener una expresión para β_{eff} que está en términos de una sola incógnita, d_{pi} .

$$\beta_{eff} = \frac{63.7k(a_y d_{pi} - d_y a_{pi}')}{a_{pi}' d_{pi}} + 5$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

6. Para cada valor de d_{pi} considerado en el paso 5, grafique el resultado de los puntos d_{pi}, β_{eff} en la misma gráfica de la familia de espectros de demanda y la capacidad, La figura 39 muestra cinco de estos puntos

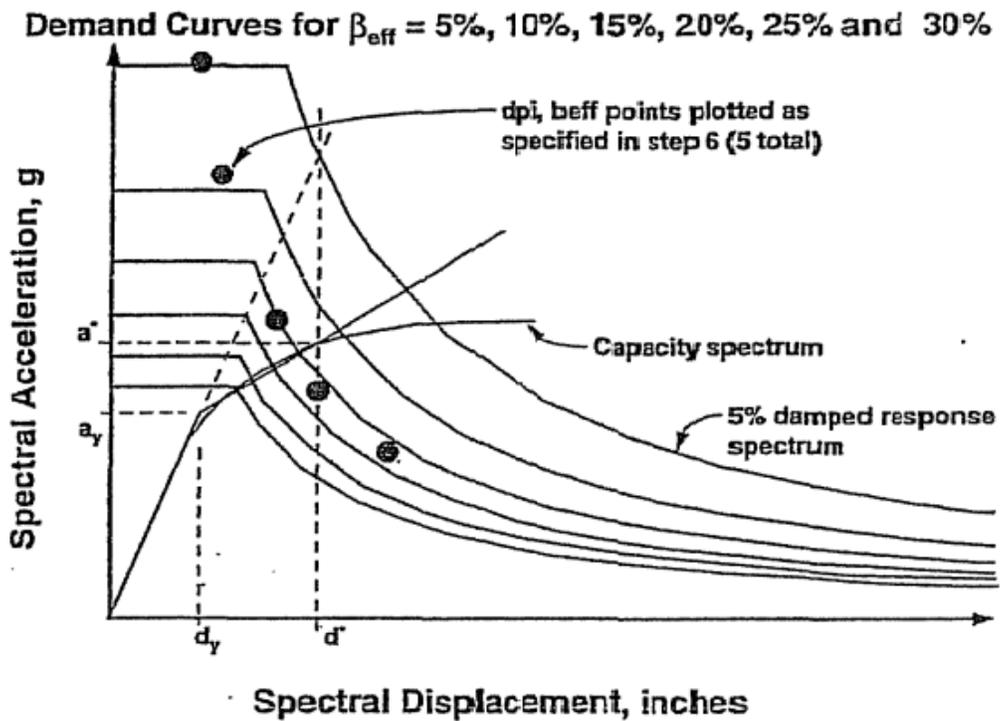


Figura 39 Puntos graficados con d_{pi} y β_{eff} , Fuente ATC-40 (1996)

Como se ilustra en la figura 39, conecta los puntos creados para formar una línea. La intersección de esta línea con el espectro de capacidad define el punto de desempeño.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

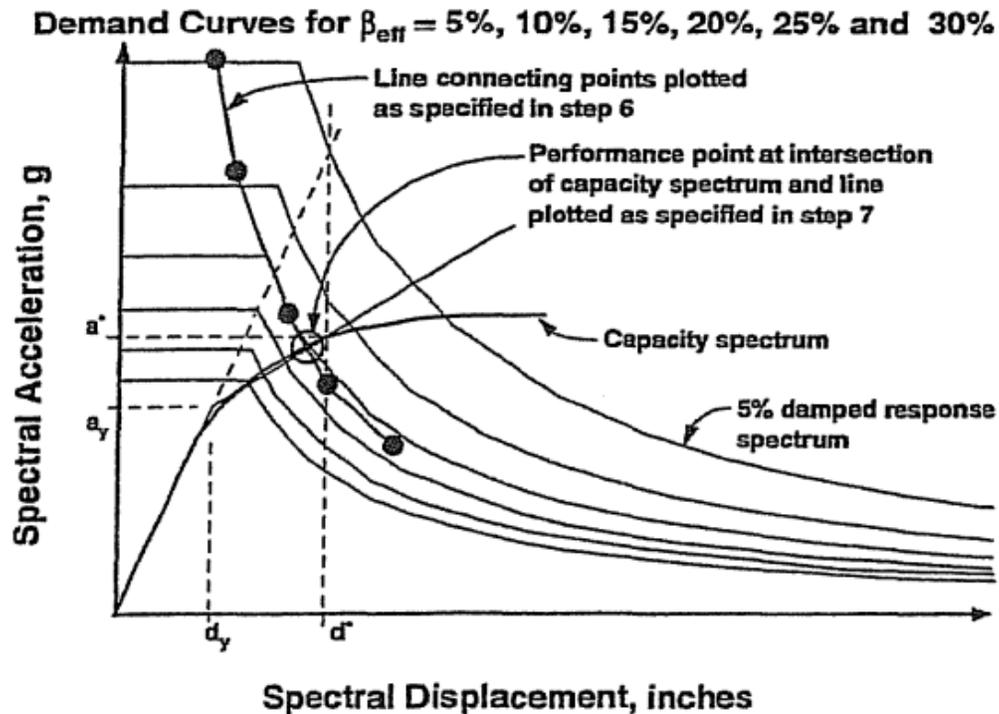


Figura 40 Puntos conectados creados en la figura 39. Fuente ATC-40 (1996)

Este procedimiento proporciona los mismos resultados que los otros procedimientos, si el punto de desempeño está en el punto a^* , d^* . Los resultados diferirán ligeramente de otros procedimientos si el punto de desempeño no es el punto a^* , d^* . Si el punto de desempeño encontrado está distante de a^* , d^* , entonces el ingeniero puede desear verificar el resultado empleando los procedimientos A o C.

Aun cuando el procedimiento B grafica varios puntos d_{pi} , β_{eff} , el único punto que tiene un significado real es el que intercepta el espectro de capacidad. Este punto define el punto de intersección del espectro de capacidad con el espectro de demanda amortiguado apropiadamente, ver figura 40.

A continuación, se muestran los cálculos para los valores de β_{eff} en función de d_{pi} .

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 1

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.219$$

$$a_{pi} := 0.246$$

$$a_x := 0.231$$

$$d_y := 8.6$$

$$d_{pi} := 17.6$$

$$d_x := 17.6$$

$$a_{pi'} := \frac{(a_x - a_y) \cdot (d_{pi} - d_y)}{d_x - d_y} + a_y = 0.231$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} = 29.265$$

$$k := \begin{cases} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \parallel 0.67 \\ \text{else} \\ \quad \parallel 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} \end{cases} = 0.666$$

$$T := \sqrt{\left(\frac{d_{pi} \cdot 4 \cdot \pi^2}{a_{pi'} \cdot 981} \right)} = 1.751$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 34.265$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 24.487$$

Table 8-2. Minimum Allowable SR_A and SR_V Values¹

Structural Behavior Type ²	SR_A	SR_V
Type A ²	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

1. Values for SR_A and SR_V shall not be less than those shown in this Table
2. See Table 8-4 for structural behavior types.

$$SR_A := \max\left(\frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12}, 0.44\right) = 0.488 \quad SR_A \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

$$SR_V := \max\left(\frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65}, 0.56\right) = 0.605 \quad SR_V \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 2

Estructura tipo B

1.- Cálculo de β_0

$$a_y := 0.219$$

$$a_{pi} := 0.246$$

$$a_x := 0.231$$

$$d_y := 8.6$$

$$d_{pi} := 15$$

$$d_x := 17.6$$

$$a_{pi'} := \frac{(a_x - a_y) \cdot (d_{pi} - d_y)}{d_x - d_y} + a_y = 0.2275333$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} = 24.79$$

$$k := \begin{cases} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \parallel 0.67 \\ \text{else} \\ \quad \parallel 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} \end{cases} = 0.67$$

$$T := \sqrt{\left(\frac{d_{pi} \cdot 4 \cdot \pi^2}{a_{pi'} \cdot 981} \right)} = 1.629$$

Entonces el amortiguamiento equivalente sería:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 29.79$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 21.609$$

Table 8-2. Minimum Allowable SR_A and SR_V Values¹

Structural Behavior Type ²	SR_A	SR_V
Type A ²	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

1. Values for SR_A and SR_V shall not be less than those shown in this Table
2. See Table 8-4 for structural behavior types.

$$SR_A := \max\left(\frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12}, 0.44\right) = 0.528$$

$$SR_A \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

$$SR_V := \max\left(\frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65}, 0.56\right) = 0.636$$

$$SR_V \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 3

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.219$$

$$a_{pi} := 0.246$$

$$a_x := 0.231$$

$$d_y := 8.6$$

$$d_{pi} := 14$$

$$d_x := 17.6$$

$$a_{pi'} := \frac{(a_x - a_y) \cdot (d_{pi} - d_y)}{d_x - d_y} + a_y = 0.2262$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} = 22.542$$

$$k := \begin{cases} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \parallel 0.67 \\ \text{else} \\ \quad \parallel 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} \end{cases} = 0.67$$

$$T := \sqrt{\left(\frac{d_{pi} \cdot 4 \cdot \pi^2}{a_{pi'} \cdot 981} \right)} = 1.578$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 27.542$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 20.103$$

Table 8-2. Minimum Allowable SR_A and SR_V Values¹

Structural Behavior Type ²	SR_A	SR_V
Type A ²	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

1. Values for SR_A and SR_V shall not be less than those shown in this Table
2. See Table 8-4 for structural behavior types.

$$SR_A := \max\left(\frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12}, 0.44\right) = 0.552$$

$$SR_A \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

$$SR_V := \max\left(\frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65}, 0.56\right) = 0.654$$

$$SR_V \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 4

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.219$$

$$a_{pi} := 0.246$$

$$a_x := 0.231$$

$$d_y := 8.6$$

$$d_{pi} := 13$$

$$d_x := 17.6$$

$$a_{pi'} := \frac{(a_x - a_y) \cdot (d_{pi} - d_y)}{d_x - d_y} + a_y = 0.2248667$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} = 19.898$$

$$k := \begin{cases} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \parallel 0.67 \\ \text{else} \\ \quad \parallel 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} \end{cases} = 0.67$$

$$T := \sqrt{\left(\frac{d_{pi} \cdot 4 \cdot \pi^2}{a_{pi'} \cdot 981} \right)} = 1.525$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 24.898$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 18.332$$

Table 8-2. Minimum Allowable SR_A and SR_V Values¹

Structural Behavior Type ²	SR_A	SR_V
Type A ²	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

1. Values for SR_A and SR_V shall not be less than those shown in this Table
2. See Table 8-4 for structural behavior types.

$$SR_A := \max\left(\frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12}, 0.44\right) = 0.581$$

$$SR_A \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

$$SR_V := \max\left(\frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65}, 0.56\right) = 0.677$$

$$SR_V \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 5 |

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.219$$

$$a_{pi} := 0.246$$

$$a_x := 0.231$$

$$d_y := 8.6$$

$$d_{pi} := 12$$

$$d_x := 17.6$$

$$a_{pi'} := \frac{(a_x - a_y) \cdot (d_{pi} - d_y)}{d_x - d_y} + a_y = 0.2235333$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} = 16.756$$

$$k := \begin{cases} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \parallel 0.67 \\ \quad \text{else} \\ \quad \parallel 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi'})}{a_{pi'} \cdot d_{pi}} \end{cases} = 0.67$$

$$T := \sqrt{\frac{d_{pi} \cdot 4 \cdot \pi^2}{a_{pi'} \cdot 981}} = 1.47$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 21.756$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 16.227$$

Table 8-2. Minimum Allowable SR_A and SR_V Values¹

Structural Behavior Type ²	SR_A	SR_V
Type A ²	0.33	0.50
Type B	0.44	0.56
Type C	0.56	0.67

1. Values for SR_A and SR_V shall not be less than those shown in this Table
2. See Table 8-4 for structural behavior types.

$$SR_A := \max\left(\frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12}, 0.44\right) = 0.62$$

$$SR_A \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

$$SR_V := \max\left(\frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65}, 0.56\right) = 0.708$$

$$SR_V \geq a \text{ valores tabla 8.2 ATC-40}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 18

Datos para Graficar los Puntos que Definen el Punto de Desempeño

dpi (cm)	B _{eff} (%)
17.6	24.49
15	21.61
14	20.10
13	18.33
12	16.22

Nota. Los valores de B_{eff} son calculados en las páginas anteriores

y se grafican en la figura 41

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

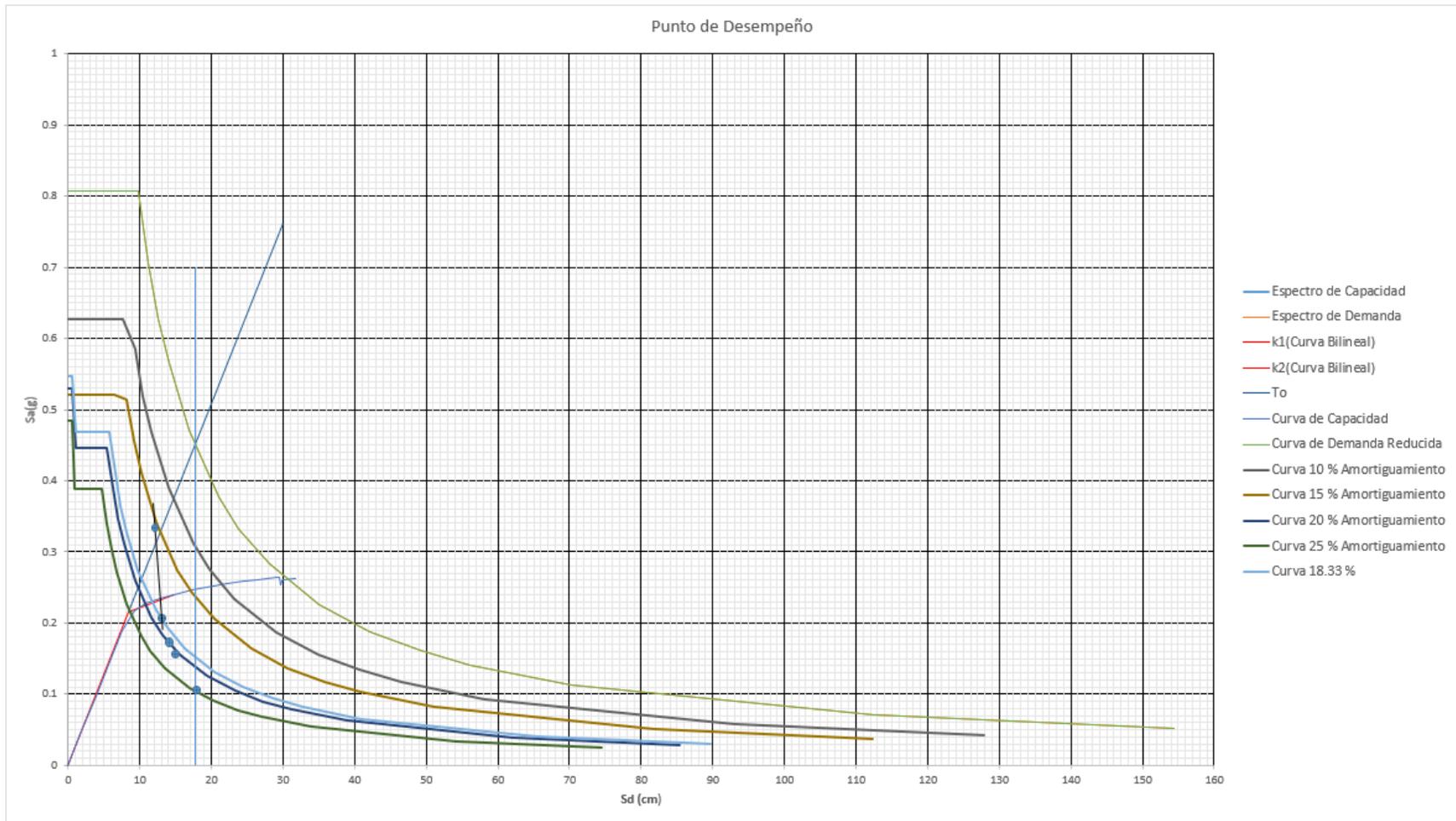


Figura 41 Grafica para Definir el Punto de desempeño

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

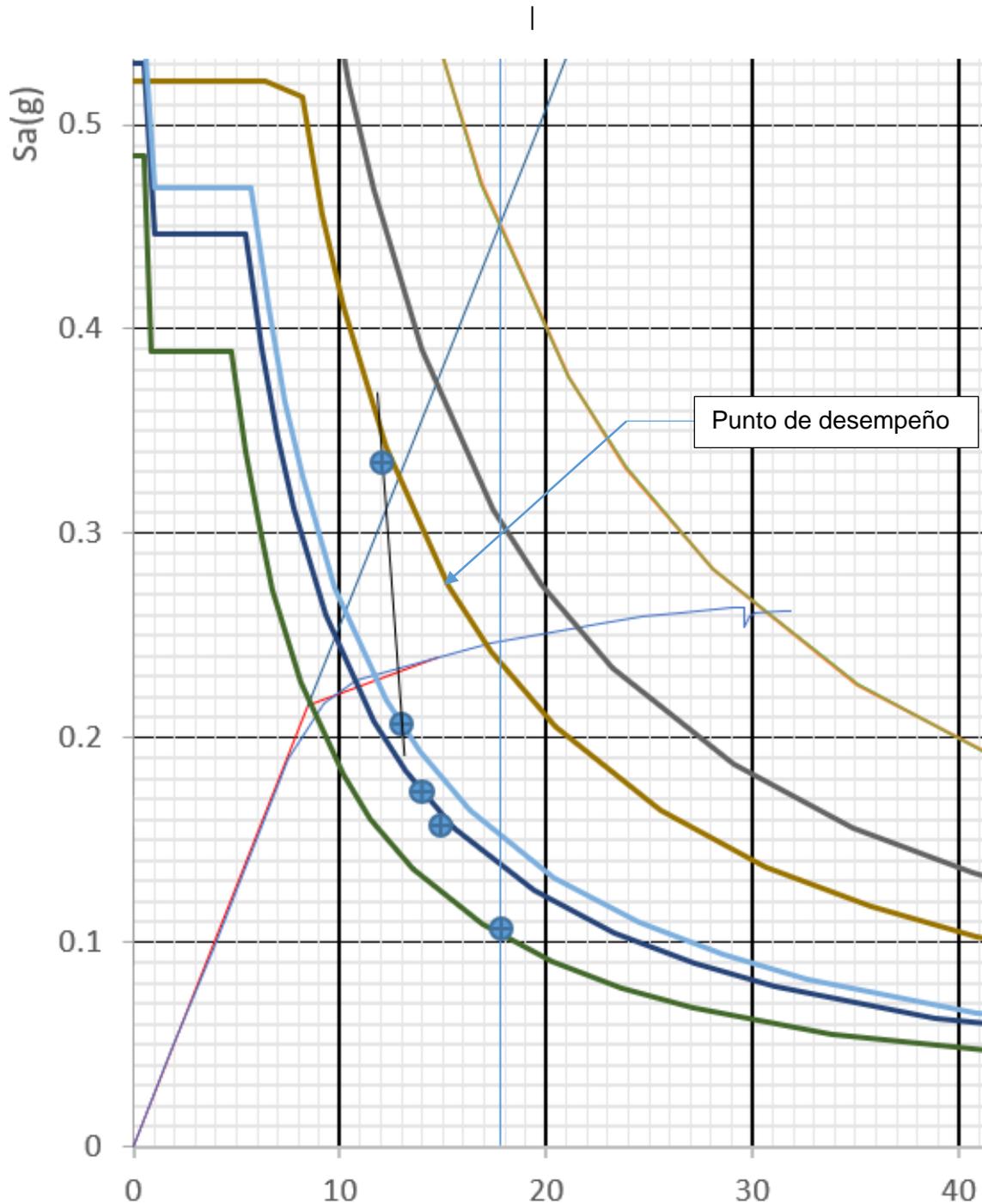


Figura 42 Detalle de la gráfica de los puntos dpi, Beff.

En la figura 42 se muestran los puntos dpi, Beff que ayudan a definir el punto de desempeño y es donde se cruza la curva de capacidad con la recta que une los puntos más cercanos a ella por lo que en este caso el punto de desempeño es $a_{pi}=0.234$, $d_{pi}=12.8$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.4.2.3 Método C, ejemplo de aplicación

Este procedimiento ha sido desarrollado para proporcionar una solución gráfica utilizando métodos manuales. Se ha visto que con frecuencia se encuentra razonablemente cerca el punto de desempeño en el primer intento. Están involucrados los siguientes pasos:

1. Desarrolle la respuesta amortiguada al 5 por ciento, espectro apropiado para el sitio donde se va a utilizar.
2. Dibuje el espectro de respuesta amortiguado al 5 por ciento y dibuje una familia de espectros reducidos en el mismo gráfico, como se ilustra en la figura 43. Es conveniente si los espectros trazados corresponden a valores de amortiguación efectivos (β_{eff}) que van desde 5 por ciento al valor máximo permitido para el tipo de comportamiento estructural del edificio. El máximo β_{eff} para la construcción Tipo A es 40, por ciento, para la construcción de Tipo B es del 29 por ciento y en la construcción tipo C es del 20 por ciento.

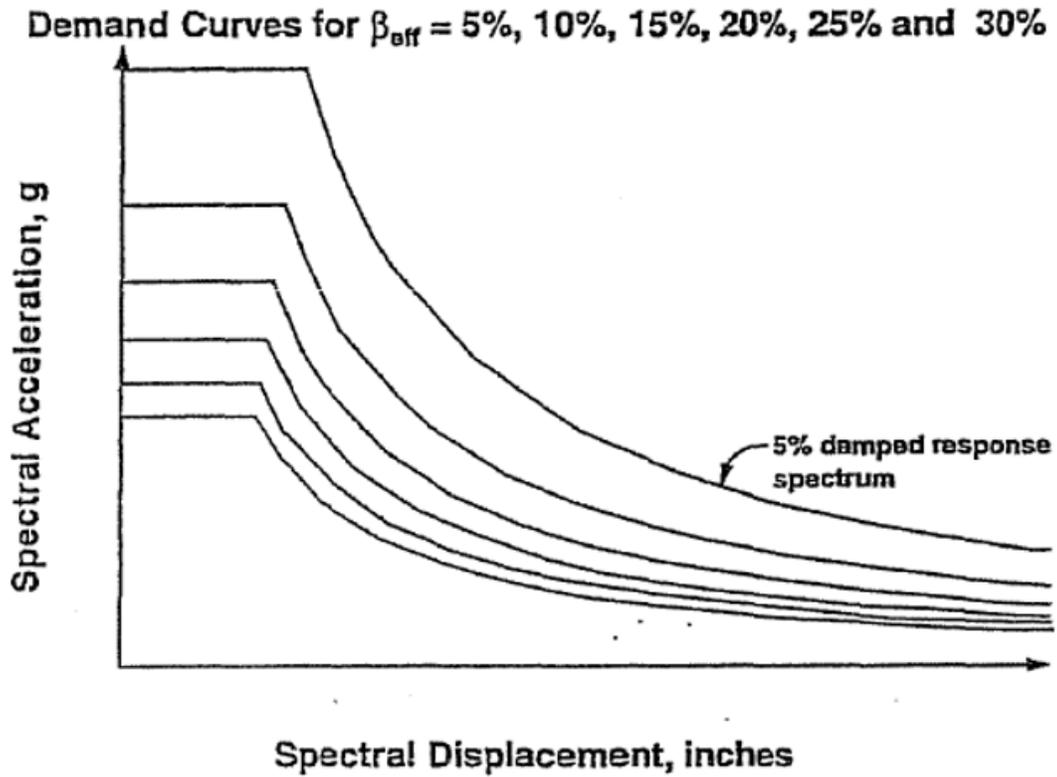


Figura 43 Espectro de respuesta para varios grados de amortiguamiento

3. Transforme la curva de capacidad en un espectro de capacidad como se describe En el procedimiento A, descrito anteriormente ver tabla 9 y figura 28.y trazar ésta en el mismo gráfico que la familia de espectros de demanda, como se ilustra en la figura 44.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

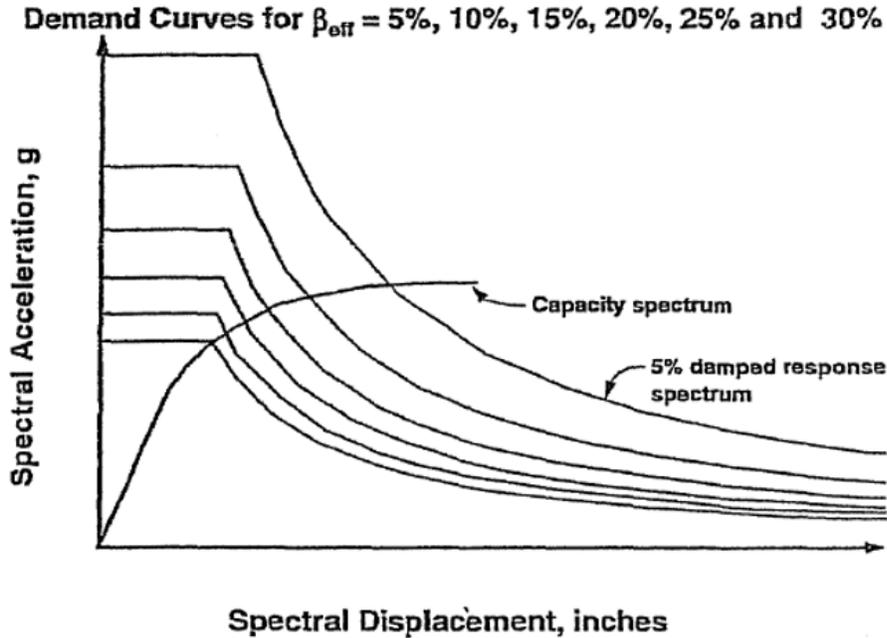


Figura 44 Grafica donde se muestra la curva de capacidad y espectros de demanda reducidos

4. Desarrolle una representación bilineal del espectro de capacidad como se ilustra en la figura

45.

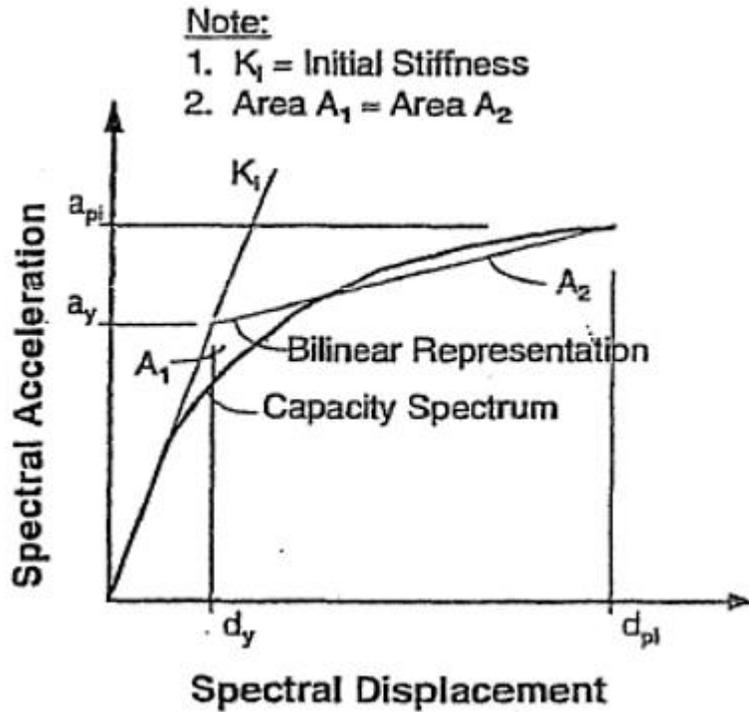


Figura 45 Representación bilineal del espectro de capacidad

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Seleccione el punto inicial, a_{pi} , d_{pi} donde el espectro de capacidad se intercepta con el espectro de demanda al 5 por ciento de amortiguamiento, también puede ser un desplazamiento un poco más grande que el calculado con la regla de igual desplazamiento (digamos 1,5 veces más grande) también puede ser razonable esta estimación de los d_{pi} iniciales. Ver la figura 46 para una ilustración de este paso.

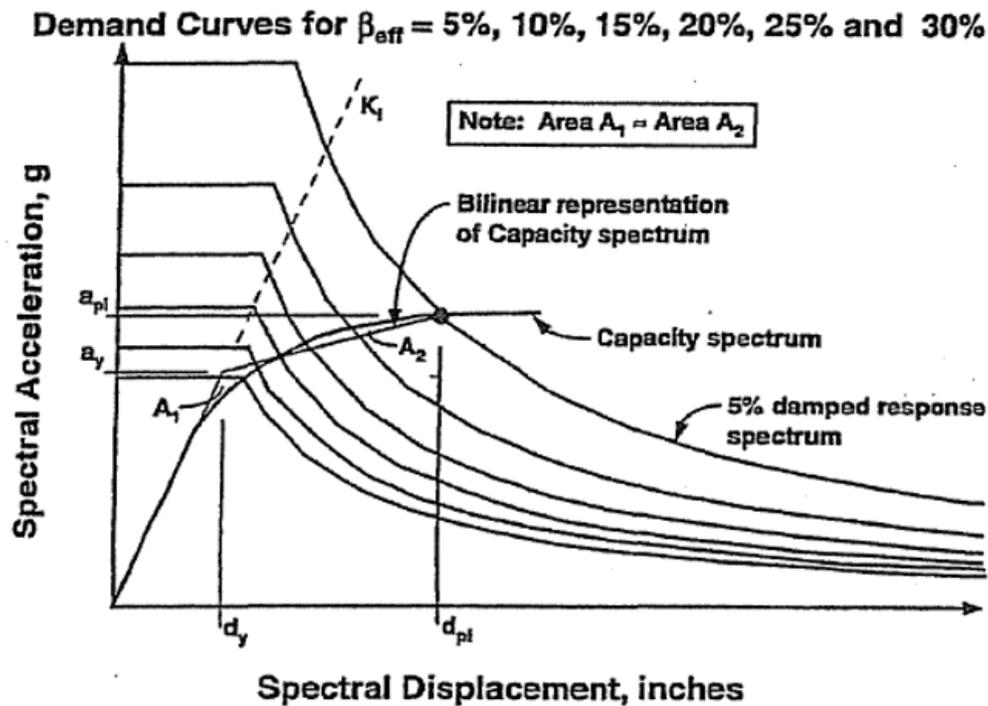


Figura 46 Representación bilineal del espectro de capacidad

- Determine las relaciones d_{pi}/d_y y $[(a_{pi}/a_y)-1]/[(d_{pi}/d_y)-1]$. Tenga en cuenta que el segundo término es la relación de la rigidez de post fluencia a la rigidez inicial.
- Con base en las proporciones obtenidas en el paso 5, ingrese ya sea en la tabla 19 y como el tipo de comportamiento es estructura es tipo B, ingresamos a la tabla 20, dependiendo del tipo de comportamiento estructural del edificio, (ver Tabla 8-4 de ATC-40) para la definición de tipos de comportamiento estructural) y encuentre el valor de amortiguamiento efectivo β_{eff} ,

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 19

Tipos de Comportamiento Estructural

Table 8-4. Structural Behavior Types

<i>Shaking Duration</i> ¹	<i>Essentially New Building</i> ²	<i>Average Existing Building</i> ³	<i>Poor Existing Building</i> ⁴
Short	Type A	Type B	Type C
Long	Type B	Type C	Type C

1. See Section 4.5.2 for criteria.
2. Buildings whose primary elements make up an essentially new lateral system and little strength or stiffness is contributed by noncomplying elements.
3. Buildings whose primary elements are combinations of existing and new elements, or better than average existing systems.
4. Buildings whose primary elements make up noncomplying lateral force systems with poor or unreliable hysteretic behavior.

Tabla 20

Porcentaje de Amortiguamiento efectivo β_{eff} Estructuras Tipo B

Table 8-6. Effective Damping, β_{eff} , in percent—Structural Behavior Type B

d_{pi}/d_y	<i>Slope Ratio: $(\Delta p_i/\Delta y) - 1 / (\Delta p_i/d_y) - 1$</i>						
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0
10	9	10	12	16	23	27	29
8	9	11	13	17	24	27	29
6	10	12	15	19	25	27	29
4	11	14	17	21	25	27	29
3	12	14	17	21	25	27	29
2	12	14	16	19	22	24	25
1.5	11	12	14	15	17	18	18
1.25	9	10	10	11	12	13	13

También podemos utilizar la ecuación para calcular el amortiguamiento efectivo β_{eff} en lugar de las tablas. como lo haremos en este caso:

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

7. consulte la figura 47, extienda la línea de rigidez inicial, etiquetada como línea 1 en la figura, hasta interceptar la curva amortiguada del 5 por ciento, además dibujar una línea, etiquetada como línea 2 en la figura, desde el origen hasta el punto a_{pi} , d_{pi} .

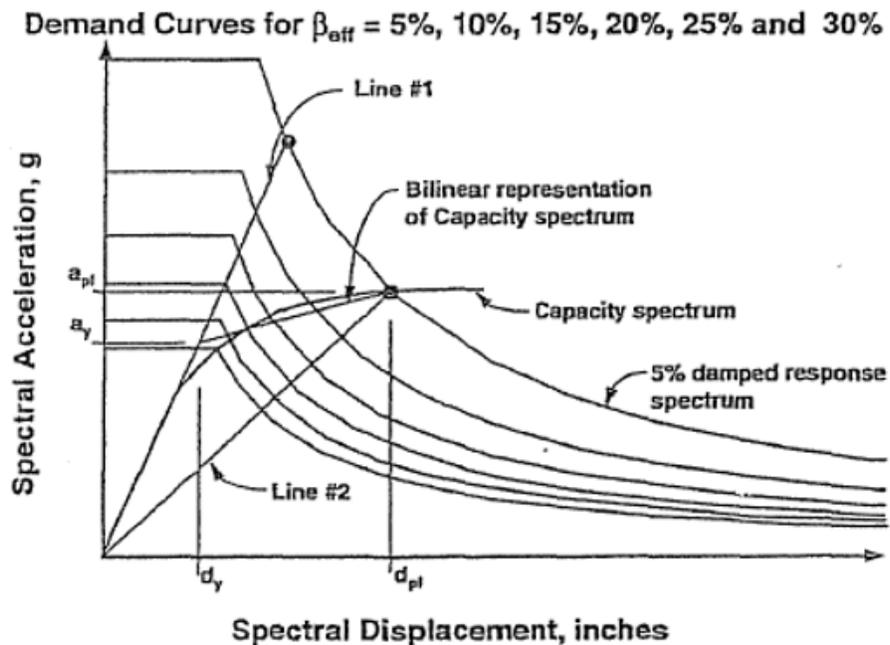


Figura 47 Espectros de demanda reducidos. Línea 1 y línea 2 del procedimiento

8. Consulte la figura 47. Dibuje una línea, etiquetada como Línea 3 en la figura, desde el punto de intersección de la Línea 1 y el espectro de respuesta amortiguado al 5 por ciento hasta el punto de intersección de la Línea 2 y el espectro reducido que corresponde al β_{eff} determinado en el paso 6. (figura 48). Tenga en cuenta que la figura se extrae para un β_{eff} de aproximadamente el 24 por ciento

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

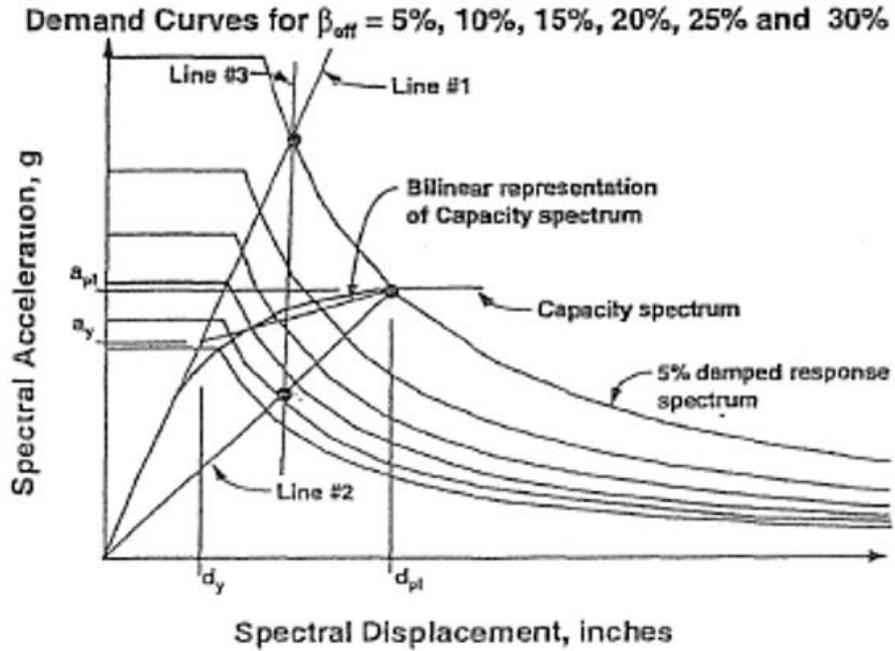


Figura 48 Espectros de demanda reducidos y trazo de línea 3

9. Consulte la figura 49. El punto donde la Línea 3 intercepta el espectro de capacidad se toma como el punto de desempeño estimado a_{p2} , d_{p2} .

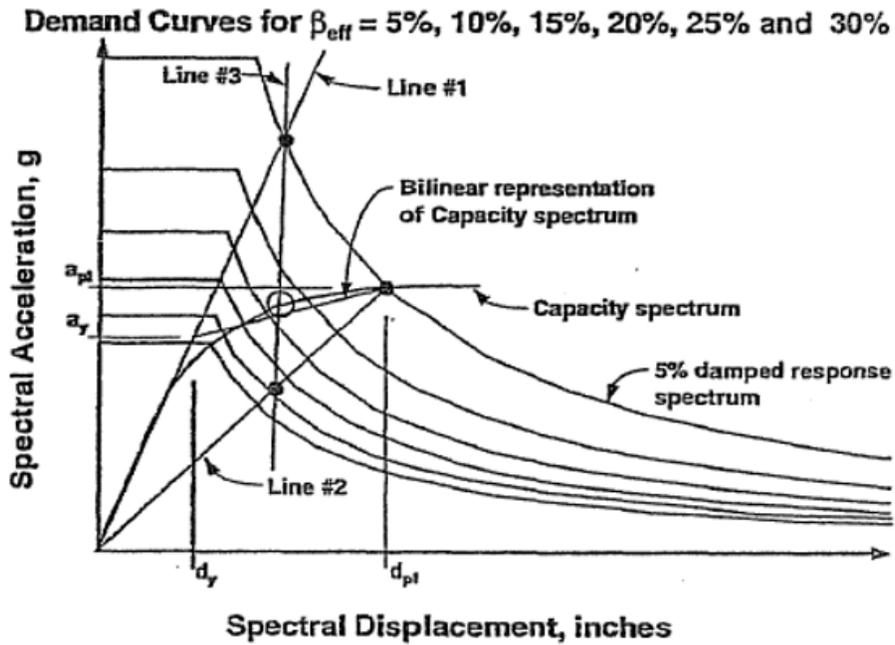


Figura 49 Punto de desempeño estimado a_{p2} , d_{p2}

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Estructura tipo B

Amortiguamiento del 5 %

$$\beta_{eff} := 5$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.998$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 1$$

Estructura tipo B

Amortiguamiento del 10%

$$\beta_{eff} := 10$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.776$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.828$$

Estructura tipo B

Amortiguamiento del 15%

$$\beta_{eff} := 15$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.646$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.727$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Estructura tipo B

Amortiguamiento del 20%

$$\beta_{eff} := 20$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.553$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.656$$

Estructura tipo B

Amortiguamiento del 25%

$$\beta_{eff} := 25$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.482$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.6$$

Estructura tipo B

Amortiguamiento del 29 %

$$\beta_{eff} := 29$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.434$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.563$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteracion1

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.234$$

$$a_{pi} := 0.261$$

$$d_y := 9.2$$

$$d_{pi} := 30.7$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} = 38.021$$

$$k := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \left\| 0.67 \right\| \\ \text{else} \\ \quad \left\| 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} \right\| \end{array} \right\| = 0.579$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 43.021$$

$$\frac{d_{pi}}{d_y} = 3.337$$

$$k = 0.579$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 27.006$$

$$\frac{\left(\left(\frac{a_{pi}}{a_y} \right) - 1 \right)}{\left(\left(\frac{d_{pi}}{d_y} \right) - 1 \right)} = 0.049$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.457$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.581$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 2

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.218$$

$$a_{pi} := 0.241$$

$$d_y := 8.6$$

$$d_{pi} := 15.4$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} = 22.048$$

$$k := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 0.67 \\ \text{else} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\| = 0.67$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 27.048$$

$$\frac{d_{pi}}{d_y} = 1.791$$

$$k = 0.67$$

$$\frac{\left(\left(\frac{a_{pi}}{a_y} \right) - 1 \right)}{\left(\left(\frac{d_{pi}}{d_y} \right) - 1 \right)} = 0.133$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 19.772$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.557$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.658$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 3

Estructura tipo B

1.- Calculo de β_0

$$a_y := 0.216$$

$$a_{pi} := 0.236$$

$$d_y := 8.6$$

$$d_{pi} := 13.5$$

$$\beta_0 := \frac{63.7 (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} = 17.722$$

$$k := \begin{cases} \text{if } \beta_0 \leq 25 \\ \quad \left| \begin{array}{l} 0.67 \\ \text{else} \\ 0.845 - \frac{0.446 \cdot (a_y \cdot d_{pi} - d_y \cdot a_{pi})}{a_{pi} \cdot d_{pi}} \end{array} \right| \\ \end{cases} = 0.67$$

Entonces el amortiguamiento equivalente seria:

$$\beta_{eq} := \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eq} = 22.722$$

$$\frac{d_{pi}}{d_y} = 1.57$$

$$k = 0.67$$

$$\frac{\left(\left(\frac{a_{pi}}{a_y} \right) - 1 \right)}{\left(\left(\frac{d_{pi}}{d_y} \right) - 1 \right)} = 0.163$$

$$\beta_{eff} := k \cdot \beta_0 + 5$$

$$\beta_{eff} = 16.874$$

$$SR_A := \frac{3.21 - 0.68 \cdot \ln(\beta_{eff})}{2.12} = 0.608$$

$$SR_V := \frac{2.31 - 0.41 \cdot \ln(\beta_{eff})}{1.65} = 0.698$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

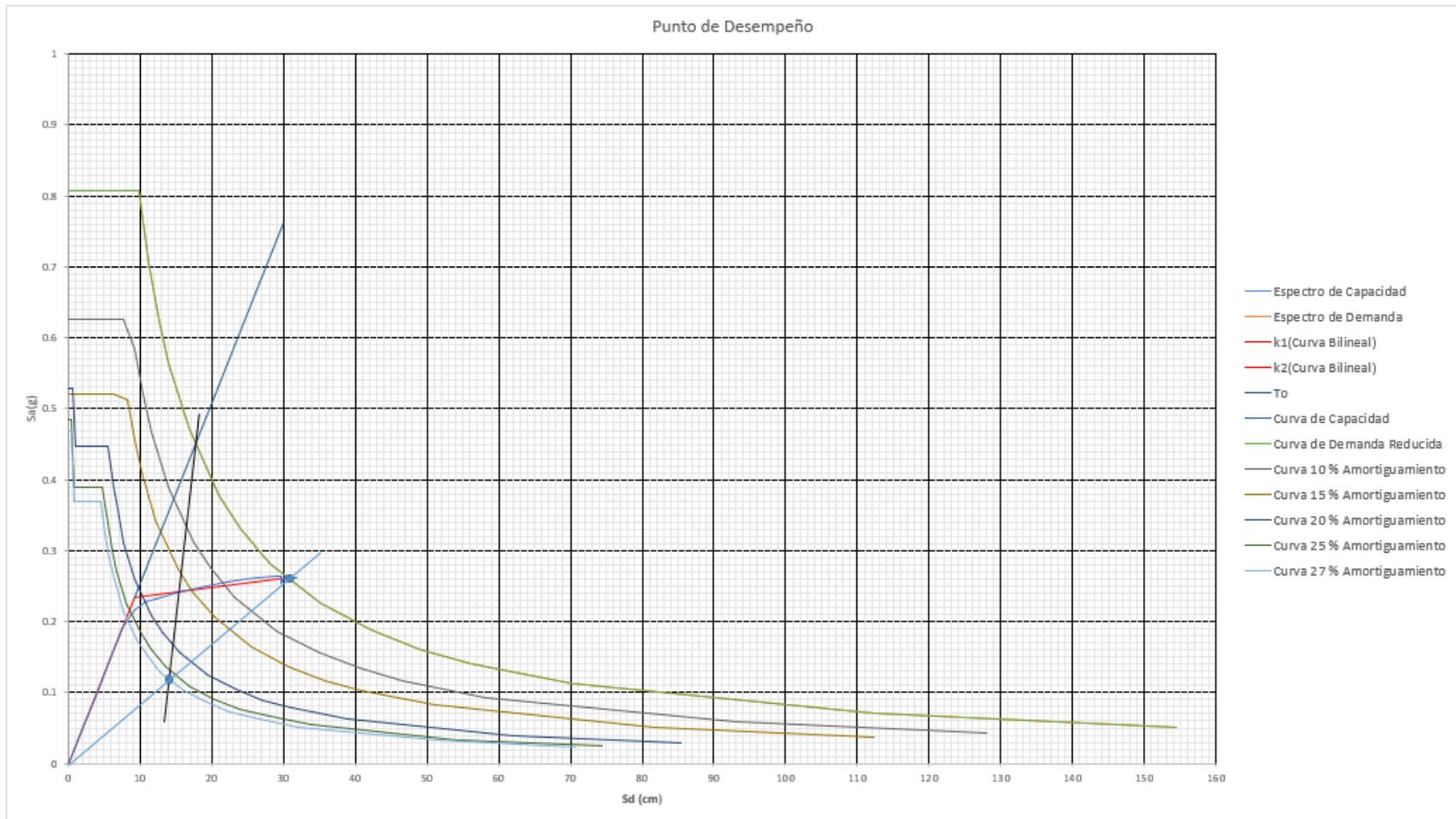


Figura 50 Iteración 1, de acuerdo al paso 9 ver figura 47

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

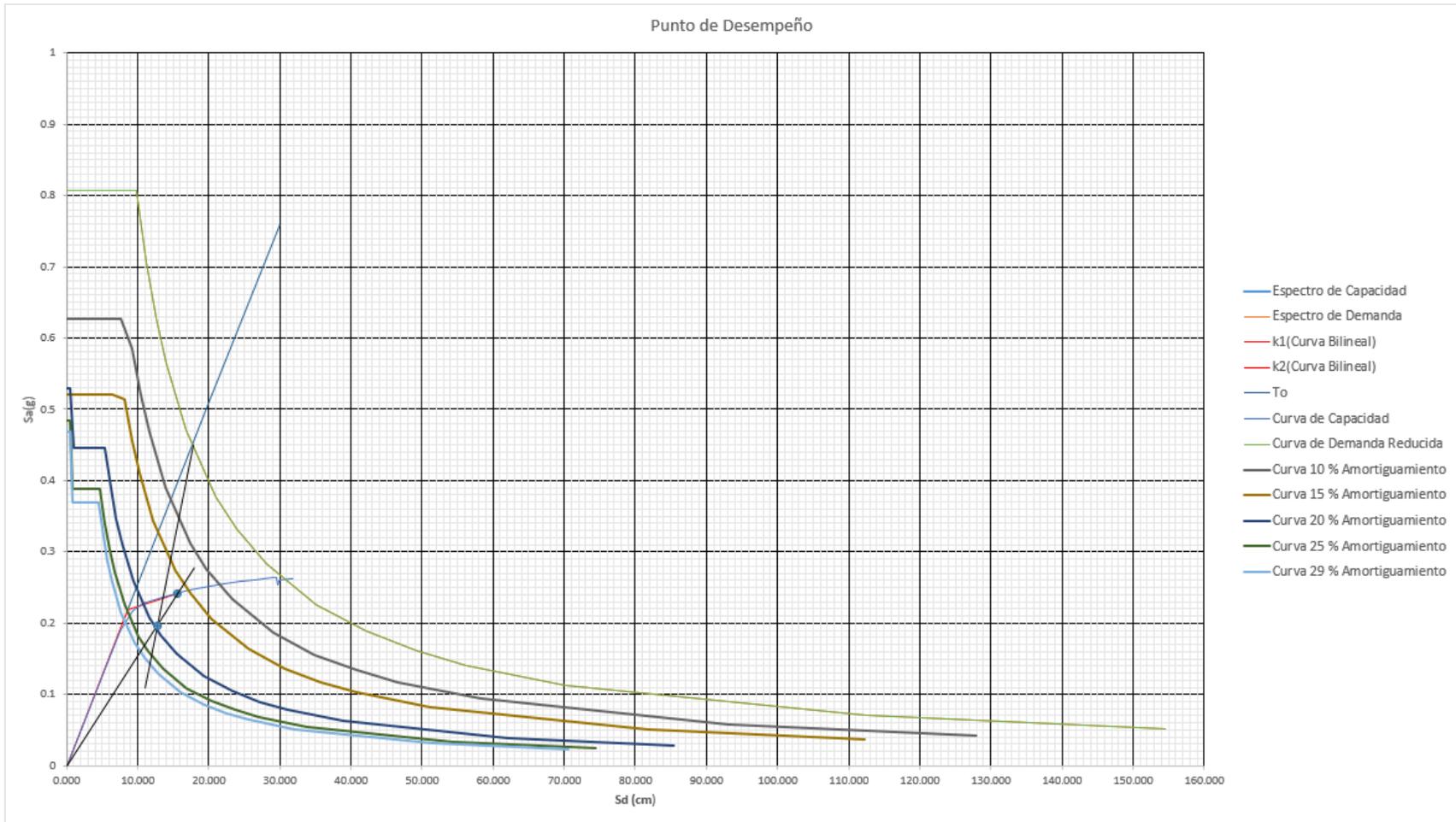


Figura 51 Iteración 2 dpi=15.4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

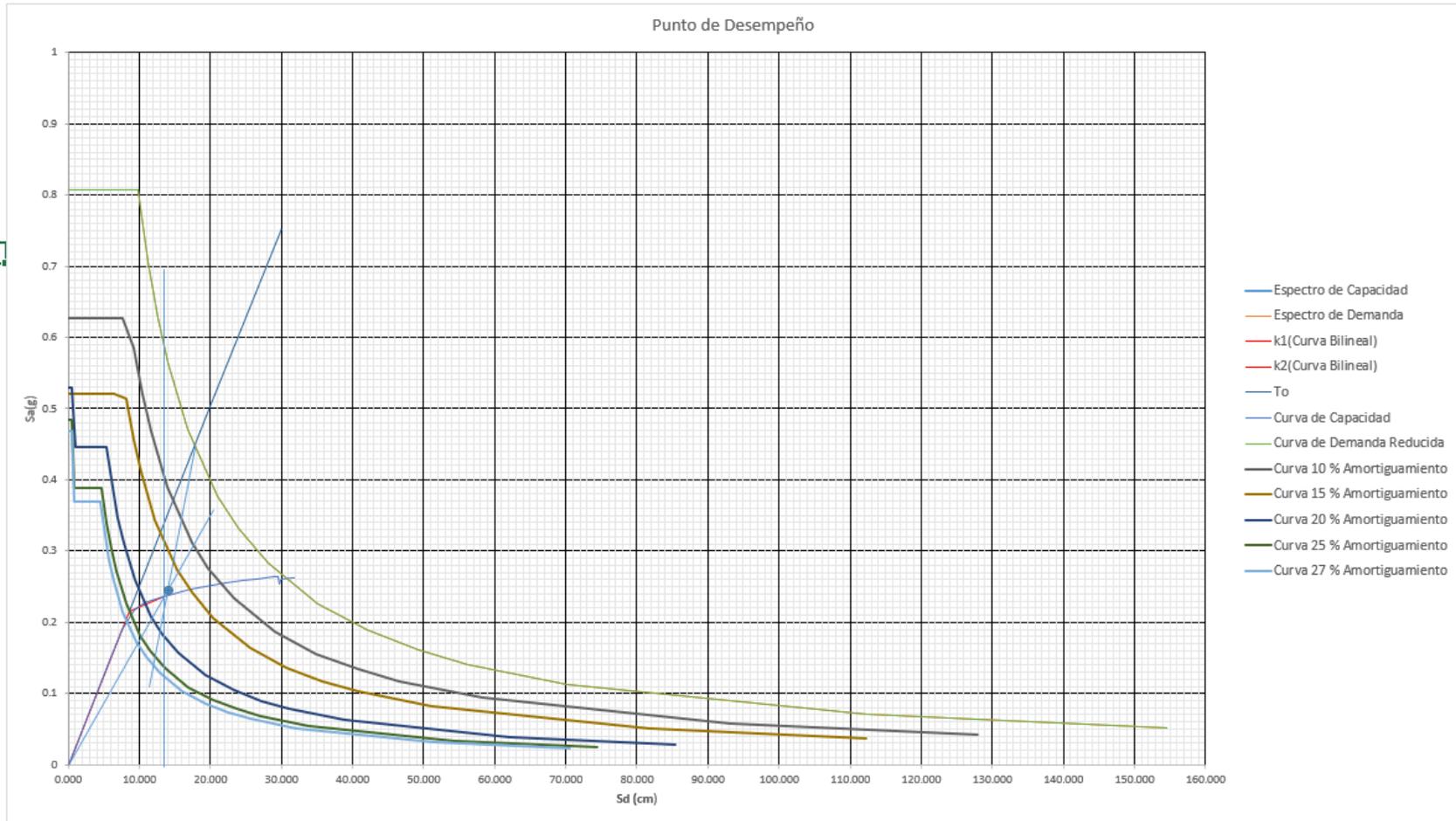


Figura 52 Iteración 3 dpi=15.7

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

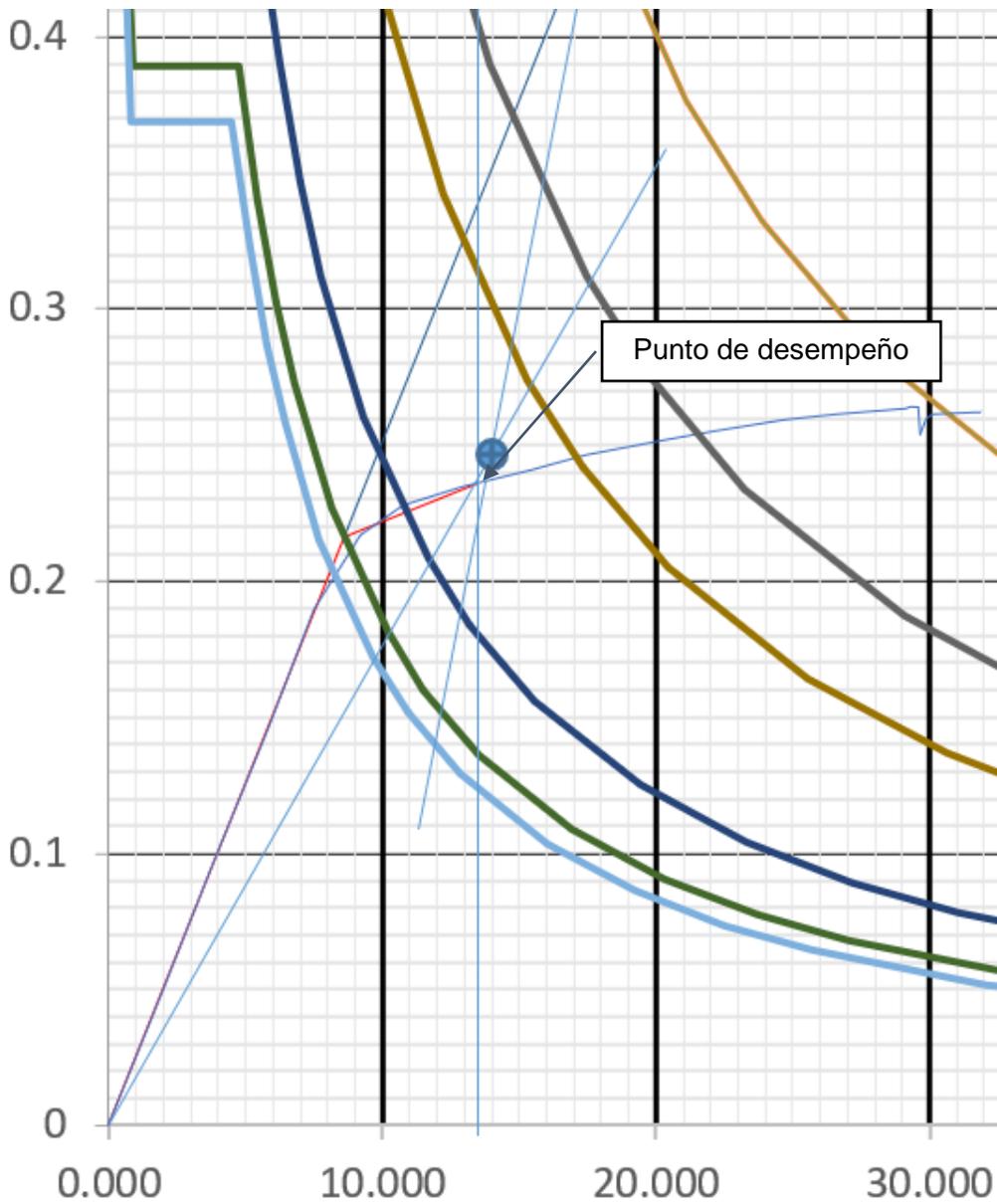


Figura 53 Detalle de la Iteración 3 (ver figura 52) Punto de desempeño $api=0.246, dpi=15.7$
(observado)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

10. Si el desplazamiento dp_2 está dentro de ± 5 por ciento de desplazamiento dp_1 , entonces el punto ap_2 , dp_2 es el punto de desempeño (o en términos más generales, si el desplazamiento $dp(i+1)$ está dentro de ± 5 por ciento de desplazamiento dpi , entonces el punto $ap(i+1)$, $dp(i+1)$ es el punto de desempeño. Si los desplazamientos no están dentro de la tolerancia especificada, entonces continúe con el paso 11.

11. Repita el proceso comenzando en el paso 4, incrementando i por 1. Así en la segunda iteración, la línea 2 se dibuja desde el origen hasta el punto ap_2 , dp_2

En nuestro ejemplo se observa que en la iteración 3 ($dpi = 15.4$ comparada con la que se observa gráficamente en el detalle (ver Figura 46) $dpi = 15.7$ cumple con la tolerancia establecida.

2.5 FEMA 440

La siguiente información fue tomada de: (FEMA-440, 2005)

Introducción

En este capítulo se presenta un procedimiento mejorado de linealización como una modificación del Método de -Espectro de Capacidad (CSM) del ATC-40. Cuando la linealización equivalente se utiliza como parte de un procedimiento estático no lineal que modela la respuesta no lineal de un edificio con un oscilador SDOF, El objetivo es estimar el desplazamiento máximo del sistema no lineal con un sistema lineal "equivalente" utilizando un período efectivo, T_{eff} , y el amortiguamiento efectivo, β_{eff} (véase la figura 54). La relación global relación fuerza-deformación mostrada en la figura 54 para un oscilador SDOF en formato de espectro de respuesta (ADRS) se denomina curva de capacidad.

La curva de capacidad mostrada en la figura 54 se desarrolla utilizando los procedimientos convencionales de ATC-40. Los parámetros lineales efectivos son funciones de las características de la curva de capacidad, el período inicial, el amortiguamiento correspondiente, y la demanda de ductilidad, μ .

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

El ATC-40, y gran parte del proceso sigue siendo el mismo. Este capítulo se centra en las partes que cambian. También incluye una técnica para modificar el espectro de demanda resultante para que coincida con la conocida técnica del MCS de utilizar la intersección de la demanda modificada con la curva de capacidad para generar un punto de desempeño para el modelo estructural.

Los límites anteriores de amortiguamiento efectivo del ATC-40 no deben aplicarse a estos nuevos procedimientos. Sin embargo, el usuario debe reconocer que los resultados son una estimación de respuesta media y no implican ningún factor de seguridad para estructuras que pueden mostrar un mal comportamiento y/o una gran incertidumbre en el comportamiento. Los parámetros efectivos para la linealización equivalente son funciones de la ductilidad. Dado que la ductilidad (la relación entre el desplazamiento máximo y el desplazamiento de fluencia) es el objeto del análisis, la solución debe ser encontrada usando técnicas iterativas o gráficas.

Por último, cabe señalar que estos procedimientos pueden no ser fiables para ductilidades extremadamente altas (por ejemplo, mayores de 10 a 12).

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

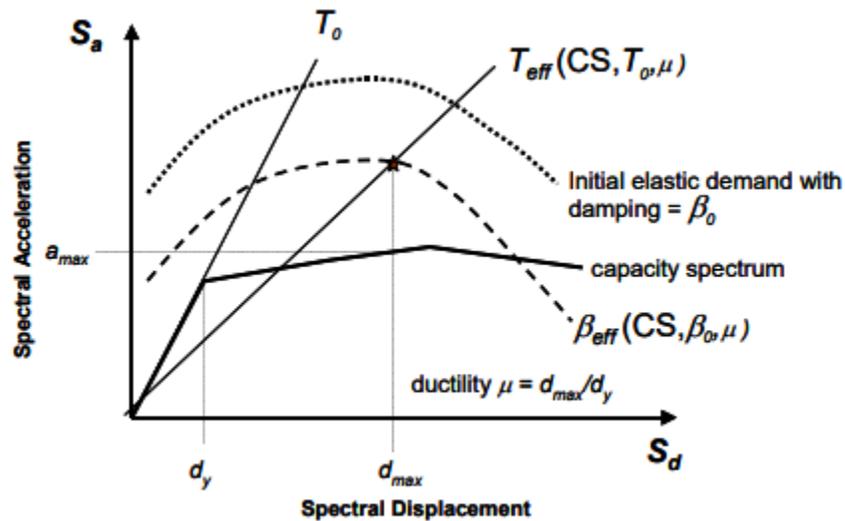


Figura 54 Espectro de respuesta de aceleración-desplazamiento (ADRS), que muestra el periodo efectivo y parámetros de amortiguamiento de la linealización equivalente, junto a la curva de capacidad.

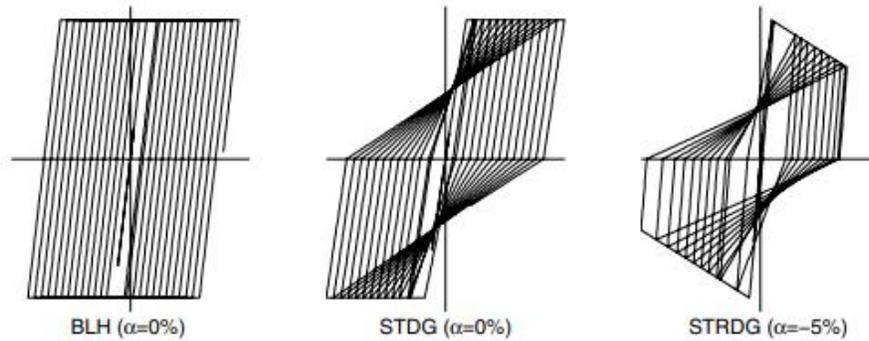
Fuente FEMA 440, 2005

Parámetros básicos para la linealización equivalente

Los parámetros lineales equivalentes (período efectivo T_{eff} y amortiguamiento efectivo β_{eff}) se determinan a través de un análisis estadístico que minimiza, de una manera rigurosa, las ocurrencias extremas de las diferencias (es decir el error) entre la respuesta máxima de un sistema inelástico real y su equivalente lineal. Una de las variables de la que depende el cálculo de los parámetros efectivos es el tipo de comportamiento histeréticos de los elementos de la estructura, en términos de degradación de resistencia y rigidez. Se han estudiado tres tipos de comportamiento que se mencionan a continuación: El sistema histerético bilineal (BLH), degradación de la rigidez (STDG), y degradación de la resistencia, como se muestra en la figura 54. Obsérvese que el modelo bilineal (BLH) es el mismo que el modelo elástico perfectamente plástico (EPP). del mismo modo, el modelo de degradación de la rigidez (STDG) es el mismo que el modelo SD. En cambio,

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

el modelo de degradación de la resistencia (STRDG) difiere del modelo SSD. Un valor negativo de la relación de rigidez post elástica, α , indica una degradación de resistencia durante el ciclo. También se incluyen parámetros que han sido optimizados para todo tipo de comportamiento.



Types of inelastic behavior considered. BLH=Bilinear Hysteretic STDG=Stiffness Degrading, and STRDG=Strength Degrading.

Figura 55 Tipos de comportamiento inelástico considerados

Fuente: FEMA 440,2005

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Amortiguamiento efectivo

Los valores de amortiguamiento viscoso efectivo, expresados como porcentaje del amortiguamiento crítico, para todos los tipos de modelos histeréticos y valores α (alfa) tienen la siguiente forma:

Para:

$$1.0 < \mu < 4.0:$$

$$\beta_{\text{eff}} = A(\mu - 1)^2 + B(\mu - 1)^3 + \beta_0$$

Para:

$$4.0 \leq \mu \leq 6.5:$$

$$\beta_{\text{eff}} = C + D(\mu - 1) + \beta_0$$

Para:

$$\mu > 6.5:$$

$$\beta_{\text{eff}} = E \left[\frac{F(\mu - 1) - 1}{[F(\mu - 1)]^2} \right] \left(\frac{T_{\text{eff}}}{T_0} \right)^2 + \beta_0$$

Los valores literales dentro de las fórmulas están tabulados en la tabla 21 (se presenta a continuación). Dichos valores son función de las características de la curva de capacidad del oscilador de un grado de libertad (modelo de análisis), en términos de tipo de histéresis y rigidez post-elástica α .

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 21

Tabla con los Coeficientes para el uso en Ecuaciones con el Amortiguamiento Efectivo

Table 6-1 Coefficients for use in Equations for Effective Damping							
<i>Model</i>	α (%)	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>
Bilinear hysteretic	0	3.2	-0.66	11	0.12	19	0.73
Bilinear hysteretic	2	3.3	-0.64	9.4	1.1	19	0.42
Bilinear hysteretic	5	4.2	-0.83	10	1.6	22	0.40
Bilinear hysteretic	10	5.1	-1.1	12	1.6	24	0.36
Bilinear hysteretic	20	4.6	-0.99	12	1.1	25	0.37
Stiffness degrading	0	5.1	-1.1	12	1.4	20	0.62
Stiffness degrading	2	5.3	-1.2	11	1.6	20	0.51
Stiffness degrading	5	5.6	-1.3	10	1.8	20	0.38
Stiffness degrading	10	5.3	-1.2	9.2	1.9	21	0.37
Stiffness degrading	20	4.6	-1.0	9.6	1.3	23	0.34
Strength degrading	-3 ^a	5.3	-1.2	14	0.69	24	0.90
Strength degrading	-5 ^a	5.6	-1.3	14	0.61	22	0.90

a. Negative values of post-elastic stiffness should be limited to α_e , as discussed in Section 4.3

• Amortiguamiento efectivo

Los coeficientes en la tabla anterior han sido optimizados para encajar con los resultados empíricos de los modelos idealizados de osciladores que presentan un comportamiento histerético bien definido, como se observó en las gráficas anteriores (Tipos de comportamiento inelástico considerados). Las estructuras reales, conformadas por un conjunto de muchos elementos que pueden presentar comportamientos histeréticos distintos unos de otros, rara vez presentarán comportamientos que coincidan exactamente con el de los osciladores; es por esto que, debe hacerse con cautela la elección de los coeficientes de la tabla anterior (tabla 6-1 del FEMA 440). Si todos los componentes exhiben un comportamiento similar (por ejemplo, componentes de concreto controlado por deformación con degradación de rigidez y endurecimiento por deformación), entonces se puede inferir que el comportamiento histerético de la estructura será similar al de un oscilador idealizado. Para modelos de estructuras en los cuales sus componentes exhiben comportamiento fuerza-deformación distintos, queda menos claro cual coeficiente utilizar.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Las siguientes ecuaciones aproximadas para el valor efectivo de amortiguamiento se han optimizado para su aplicación a cualquier curva de capacidad, independientemente del tipo de modelo histerético o del valor alfa utilizado para el estudio:

Para:

$$1.0 < \mu < 4.0:$$

$$\beta_{\text{eff}} = 4.9(\mu - 1)^2 - 1.1(\mu - 1)^3 + \beta_0$$

Para:

$$4.0 \leq \mu \leq 6.5:$$

$$\beta_{\text{eff}} = 14.0 + 0.32(\mu - 1) + \beta_0$$

Para

$$\mu > 6.5:$$

$$\beta_{\text{eff}} = 19 \left[\frac{0.64(\mu - 1) - 1}{[0.64(\mu - 1)]^2} \right] \left(\frac{T_{\text{eff}}}{T_0} \right)^2 + \beta_0$$

Para:

Donde:

μ : Ductilidad

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo

β_0 : Es el 5 % de amortiguamiento viscoso inherente a la estructura

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Periodo efectivo

Los valores de periodo efectivo para todos los tipos de modelo histerético y valores α (alfa) tienen la siguiente forma:

Para: $1.0 < \mu < 4.0$:

$$T_{\text{eff}} = [G(\mu - 1)^2 + H(\mu - 1)^3 + 1]T_0$$

Para:

$4.0 \leq \mu \leq 6.5$:

$$T_{\text{eff}} = [I + J(\mu - 1) + 1]T_0$$

Para:

$\mu > 6.5$:

$$T_{\text{eff}} = \left\{ K \left[\sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + L(\mu - 2)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_0$$

Los valores de los coeficientes en las ecuaciones para periodo efectivo de los modelos de oscilación son tabulados en la siguiente tabla (tabla 22) note que estos son función de las características del espectro de capacidad para el oscilador en términos del tipo histerético y rigidez post elástica, α .

Las siguientes ecuaciones, para el valor del periodo efectivo, se han optimizado para la aplicación a cualquier espectro de capacidad, independientemente del tipo de modelo histerético.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 22

Coefficientes para el uso del Periodo Efectivo

Table 6-2 Coefficients for use in Equations for Effective Period							
Model	$\alpha(\%)$	G	H	I	J	K	L
Bilinear hysteretic	0	0.11	-0.017	0.27	0.090	0.57	0.00
Bilinear hysteretic	2	0.10	-0.014	0.17	0.12	0.67	0.02
Bilinear hysteretic	5	0.11	-0.018	0.09	0.14	0.77	0.05
Bilinear hysteretic	10	0.13	-0.022	0.27	0.10	0.87	0.10
Bilinear hysteretic	20	0.10	-0.015	0.17	0.094	0.98	0.20
Stiffness degrading	0	0.17	-0.032	0.10	0.19	0.85	0.00
Stiffness degrading	2	0.18	-0.034	0.22	0.16	0.88	0.02
Stiffness degrading	5	0.18	-0.037	0.15	0.16	0.92	0.05
Stiffness degrading	10	0.17	-0.034	0.26	0.12	0.97	0.10
Stiffness degrading	20	0.13	-0.027	0.11	0.11	1.0	0.20
Strength degrading	-3 ^a	0.18	-0.033	0.17	0.18	0.76	-0.03
Strength degrading	-5 ^a	0.20	-0.038	0.25	0.17	0.71	-0.05

a. Negative values of post-elastic stiffness may be limited to α_e , as discussed in Section 4.3

El uso de estos coeficientes en la tabla 22 está sujeta a las mismas limitaciones que para el amortiguamiento efectivo. Cuando exista duda, el profesional debe utilizar las siguientes ecuaciones para el valor del período efectivo que han sido optimizado para su aplicación de cualquier espectro de capacidad, independientemente del tipo de modelo histerético o del valor α .

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Para: $1.0 < \mu < 4.0$:

$$T_{eff} = \left[0.20(\mu - 1)^2 - 0.038(\mu - 1)^3 + 1 \right] T_0$$

Para:

$4.0 \leq \mu \leq 6.5$:

$$T_{eff} = \left[0.28 + 0.13(\mu - 1) + 1 \right] T_0$$

Para: $\mu > 6.5$:

$$T_{eff} = \left\{ 0.89 \left[\sqrt{\frac{(\mu - 1)}{1 + 0.05(\mu - 2)}} - 1 \right] + 1 \right\} T_0$$

Note que estas ecuaciones aplican únicamente para $T_0=0.2$ a 2 segundos

Donde:

T_{eff} : Periodo efectivo

T_0 : Periodo inicial

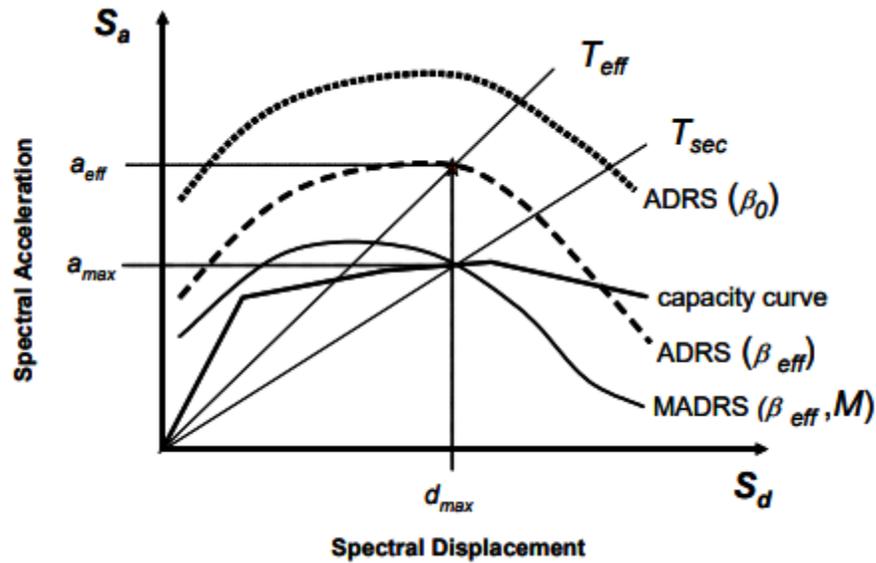


Figura 56 Espectro de respuesta modificado de aceleración-desplazamiento, para relacionar con el período secante, T_{sec}

Fuente: FEMA 440, 2005

Espectro de respuesta aceleración-desplazamiento modificado (MADRS) para su uso con el período secante

El método convencional de capacidad-espectro (ATC-40) utiliza el período secante como período lineal efectivo para determinar el desplazamiento máximo (punto de desempeño). Esta suposición hace que el desplazamiento máximo se produzca en la intersección de la curva de capacidad de la estructura y la curva de demanda para amortiguamiento efectivo en formato ADRS. Esta característica es útil por dos razones. En primer lugar, proporciona al ingeniero una herramienta de visualización que facilita una comparación gráfica de la capacidad y la demanda. En segundo lugar, se han propuesto estrategias de solución muy eficaces para linealización equivalente que se basan en una curva de demanda modificada (MADRS) que intercepta la curva de capacidad en el desplazamiento máximo.

Con el uso de las ecuaciones de período y amortiguamiento efectivo se obtiene un desplazamiento máximo que coincide con la intersección de la línea radial de período efectivo y

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

la demanda, en formato ADRS para el amortiguamiento efectivo (véase la figura 56). El período efectivo del procedimiento mejorado, T_{eff} , es generalmente más pequeño que el período secante, T_{sec} , definido por el punto en la curva de capacidad correspondiente al máximo desplazamiento, d_{max} . La aceleración efectiva, a_{eff} , no es significativa, ya que la aceleración máxima real a_{max} , debe situarse en la curva de capacidad y coincidir con el desplazamiento máximo, d_{max} .

Multiplicando las ordenadas de la demanda ADRS correspondiente al amortiguamiento efectivo, β_{eff} , por la modificación del factor M (en formato ADRS), obtenemos la curva de demanda modificada (MADRS), la cual intercepta la curva de capacidad en el punto de desempeño. El factor de modificación se calcula con:

$$M = \frac{a_{max}}{a_{eff}}$$

Debido a que los valores de aceleración están relacionados directamente con los períodos correspondientes, el factor de modificación puede calcularse como:

$$M = \left(\frac{T_{eff}}{T_{sec}} \right)^2 = \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 \left(\frac{T_0}{T_{sec}} \right)^2$$

$$\left(\frac{T_0}{T_{sec}} \right)^2 = \frac{1 + \alpha(\mu - 1)}{\mu}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Espectro de demanda reducido para un amortiguamiento efectivo

Los procedimientos de linealización equivalente aplicados en la práctica normalmente requieren el uso de factores de reducción espectral para ajustar un espectro de respuesta inicial al nivel adecuado de nivel de amortiguamiento efectivo, β_{eff} . También son una forma práctica de ajustar el amortiguamiento de los cimientos. En el caso del amortiguamiento en la cimentación, el valor inicial, de amortiguamiento β_0 , para un modelo estructural de base flexible se modifica a partir del valor lineal de la base fija, β_i (por ejemplo, 5%). Estos factores son una función del amortiguamiento efectivo y se denominan coeficientes de amortiguamiento $B(\beta_{eff})$. Se utilizan para ajustar las ordenadas de aceleración espectral de la siguiente manera:

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})(en \%)}$$

Procedimientos de solución

Dado que el período efectivo, T_{eff} , y el amortiguamiento efectivo β_{eff} , son ambas funciones de la demanda de ductilidad, el cálculo de un desplazamiento máximo utilizando linealización equivalente no es directo y requiere un procedimiento iterativo o de solución gráfica. Esto es lo mismo misma situación que la anterior con el Método del Espectro de Capacidad del ATC-40. Esta sección presenta tres procedimientos alternativos. Otros procedimientos son posibles.

Todos los procedimientos de solución presentados aquí requieren pasos iniciales que se enumeran a continuación.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

1. Seleccione una representación espectral del movimiento del suelo de interés con un amortiguamiento inicial, β_i (normalmente 5%). Este puede ser un espectro de diseño del sitio de interés, o un espectro definido por alguna norma que contiene algún software de análisis y diseño estructural formado con los parámetros del sitio
2. Modifique el espectro seleccionado, según corresponda, para la interacción suelo-estructura, el cual será nuestra demanda inicial. Si el amortiguamiento de la cimentación es ignorado, β_0 es igual a β_i .
3. Convierta el espectro de demanda seleccionado, a formato aceleración-desplazamiento. Este espectro es la Demanda inicial ADRS (ver figura 56).
4. Generar una curva de capacidad para la estructura a ser analizada. Esto es relación fundamental para un modelo SDOF de la estructura entre aceleración espectral y el desplazamiento espectral (ver Figura 56). Esto requiere la conversión al formato ADRS para el procedimiento linealización equivalente (ver ATC-40).
5. Seleccione un punto de desempeño inicial (máxima aceleración, a_{pi} , y desplazamiento, d_{pi}). Este puede basarse en el método de aproximación de igual desplazamiento como se muestra en la figura 57 o en cualquier otro punto en base al juicio del ingeniero.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

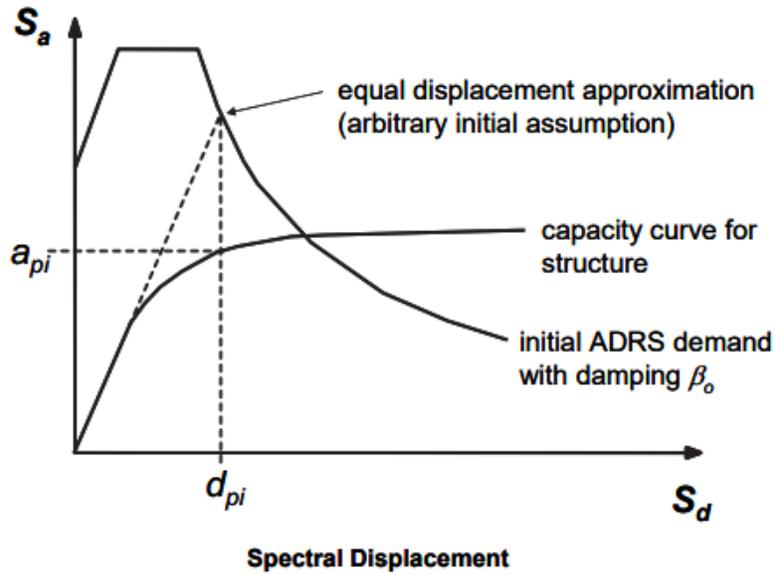


Figura 57 Espectro de demanda y capacidad inicial ADRS

6. Desarrollar una representación bilineal del espectro de capacidad de acuerdo con los procedimientos del ATC-40. Esto define el período inicial, T_0 , el desplazamiento de fluencia, d_y , y la aceleración de fluencia, a_y . (véase la figura 57). Obsérvese que estos parámetros pueden variar para diferentes supuestos de a_{pi} y d_{pi}

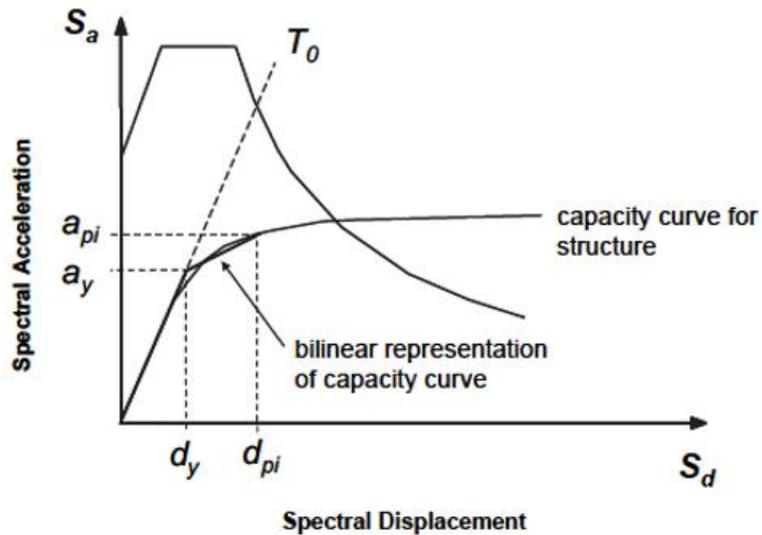


Figura 58 Representación bilineal del espectro de capacidad

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

7. Para la representación bilineal desarrollada en el paso 6 calcule los valores de la rigidez post elástica, α , y ductilidad, μ , como sigue:

$$\alpha = \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y} \right)}{\left(\frac{a_y}{d_y} \right)}$$

$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y}$$

8. Utilizando los valores calculados para la rigidez post elástica α , y la ductilidad, μ , a partir de las ecuaciones del paso 7, calcular el amortiguamiento efectivo correspondiente, β_{eff} , del mismo modo, calcule el correspondiente período efectivo, T_{eff} . Después de este paso, existen una serie de opciones disponibles para identificar una solución única. A continuación, se describen tres posibles procedimientos

2.5.1.1 Método A (Iteración directa) FEMA 440, ejemplo de aplicación

En este procedimiento, la iteración se realiza para converger directamente en un punto de desempeño. Los espectros de demanda ADRS generados para los varios valores de amortiguamiento efectivo no se modifican para intersección con el espectro de capacidad.

A9. Ajustar la demanda inicial en formato ADRS, utilizando el amortiguamiento efectivo β_{eff} .

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 23

Datos para Graficar el Espectro de Demanda y el Espectro de Respuesta Amortiguado Beff (ADRS)

Espectro de demanda		ADRS		
Period	Value	$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai}g$	$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$	$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$
sec	a(g)	cm		
0.000	0.807	0.000	0.548	0.000
0.100	0.807	0.201	0.548	0.136
0.200	0.807	0.802	0.548	0.545
0.300	0.807	1.805	0.548	1.226
0.400	0.807	3.210	0.548	2.179
0.500	0.807	5.015	0.548	3.405
0.600	0.807	7.222	0.548	4.903
0.700	0.807	9.830	0.548	6.673
0.800	0.706	11.234	0.480	7.627
0.900	0.628	12.638	0.426	8.580
1.000	0.565	14.042	0.384	9.533
1.200	0.471	16.851	0.320	11.440
1.500	0.377	21.064	0.256	14.300
1.700	0.332	23.872	0.226	16.206
2.000	0.283	28.085	0.192	19.066
2.500	0.226	35.106	0.153	23.833

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

3.000	0.188	42.127	0.128	28.600
3.500	0.161	49.149	0.110	33.366
4.000	0.141	56.170	0.096	38.133
5.000	0.113	70.212	0.077	47.666
8.000	0.071	112.340	0.048	76.266
11.000	0.051	154.468	0.035	104.866

Nota. Los valores de B indicados en la fórmula de la tabla se calculan a continuación

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

ITERACION 1

Valores de la representación bilineal

$$a_y := 0.233 \quad a_{pi} := 0.262$$

$$d_y := 9.2 \quad d_{pi} := 31$$

Rigidez post-elástica α y la ductilidad, μ

$$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.053$$

$$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 3.37$$

Periodo inicial

$$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.261$$

Calculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$$A := 4.9 \quad B := -1.1 \quad \beta_0 := 5$$

$$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 17.878$$

$$G := 0.2 \quad H := -0.038$$

$$T_{eff} := \left(G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1\right) \cdot T_0 = 2.039$$

Coefficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.473$$

$$d_{y1} := \frac{(T_{eff})^2 \cdot 981 \cdot a_y}{4 \cdot \pi^2} = 24.067$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

ITERACION 2

Valores de la representación bilineal

$$a_y := 0.221 \quad a_{pi} := 0.248$$

$$d_y := 8.7 \quad d_{pi} := 19.3$$

Rigidez post-elástica α y la ductilidad, μ

$$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.1$$

$$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 2.218$$

Periodo inicial

$$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.259$$

· Calculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$$A := 4.9 \quad B := -1.1 \quad \beta_0 := 5$$

$$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 10.284$$

$$G := 0.2 \quad H := -0.038$$

$$T_{eff} := \left(G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1\right) \cdot T_0 = 1.546$$

Coefficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.223$$

$$d_{y2} := \frac{(T_{eff})^2 \cdot 981 \cdot a_y}{4 \cdot \pi^2} = 13.123$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

ITERACION 3

Valores de la representación bilineal

$$a_y := 0.22 \quad a_{pi} := 0.247$$

$$d_y := 8.8 \quad d_{pi} := 17.8$$

Rigidez post-elástica α y la ductilidad, μ

$$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.12$$

Periodo inicial

$$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.269$$

$$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 2.023$$

Calculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$$A := 4.9 \quad B := -1.1 \quad \beta_0 := 5$$

$$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 8.949$$

$$G := 0.2 \quad H := -0.038$$

$$T_{eff} := (G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 = 1.483$$

Coefficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.174$$

$$d_{y3} := \frac{(T_{eff})^2 \cdot 981 \cdot a_y}{4 \cdot \pi^2} = 12.016$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

ITERACION 4

Valores de la representación bilineal

$$a_y := 0.22 \quad a_{pi} := 0.247$$

$$d_y := 8.8 \quad d_{pi} := 17.7$$

Iteracion 4

1.171

Datos

0.22

8.8

0.247

17.7

Rigidez post-elástica α y la ductilidad, μ

$$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.121$$

$$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 2.011$$

Periodo inicial

$$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.269$$

· Cálculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$$A := 4.9 \quad B := -1.1 \quad \beta_0 := 5$$

$$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 8.874$$

$$G := 0.2 \quad H := -0.038$$

$$T_{eff} := \left(G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1\right) \cdot T_0 = 1.478$$

Coefficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.171$$

$$d_{y4} := \frac{(T_{eff})^2 \cdot 981 \cdot a_y}{4 \cdot \pi^2} = 11.949$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 24

Datos de la Primera Iteración (curva bilineal)

Datos	Iteración 1
ay	0.233
dy	9.2
ap1	0.262
dp1	31

Nota. Los valores de la tabla se tomaron como dpi el valor del cruce entre la curva de capacidad y el espectro de demanda, ajustando las áreas para que queden aproximadamente iguales por encima y debajo entre la curva bilineal (formada con los valores de la tabla) y la curva de capacidad.

El valor de B es obtenido en los cálculos de las páginas anteriores (realizados con MathCad) y sirve para ajustar el espectro de demanda ADRS. Ver tabla 25.

A10. Determinar el desplazamiento máximo estimado d_i , utilizando la intersección del período efectivo radial, T_{eff} , con el espectro de demanda ADRS para el amortiguamiento efectivo β_{eff} . La aceleración máxima estimada, a_i , es la que corresponde a d_i en la curva de capacidad (ver figura 59).

Tabla 25

Datos para Trazo de la Curva Bilineal Iteración 1

Curva Bilineal			
k1		k2	
x	y	x	y
0	0	9.2	0.233
9.2	0.233	31	0.262
dy	ay	dpi	api

Nota. Ver figura 60, donde se observa el trazo de la curva bilineal para la iteración 1

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 26

Datos para Graficar el Periodo Inicial To. Iteración 1

To					
	X1	X2	Y1	Y2	X
	0	9.2	0	0.233	
m=	0.0253	$m := \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$			
y=	0.233	$y := m \cdot (x - x_1) + y_1$			9.2
	0.507			dato	20
	0.760			dato	30

Nota. Ver figura 60

Tabla 27

Datos para Graficar el Periodo Efectivo de la Iteración 1

Teff					
	X1	X2	Y1	Y2	X
	0.000	24.067	0	0.233	
m=	0.010	$m := \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$			
y=	0.000	$y := m \cdot (x - x_1) + y_1$			0
	0.194				20
	0.290				30
	0.387				40

Nota. Ver figura 60

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

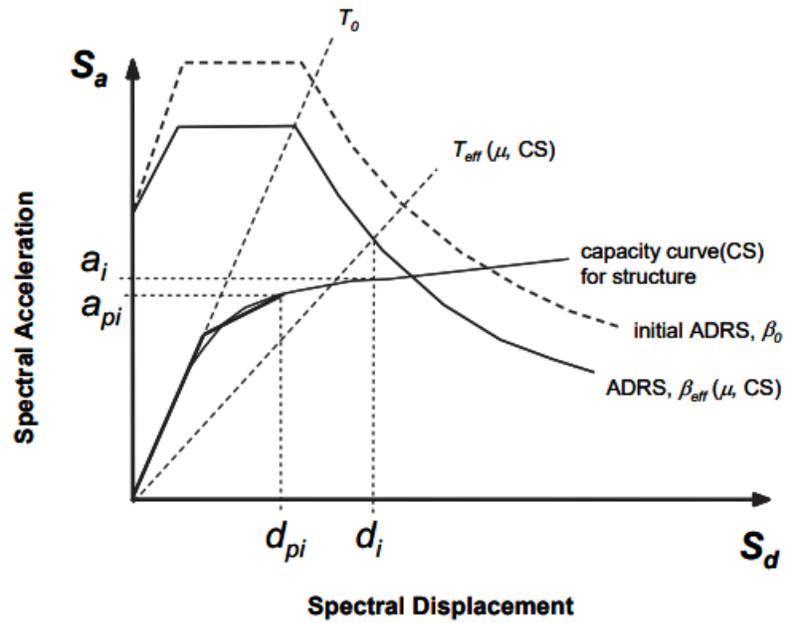


Figura 59 Determinación del desplazamiento máximo estimado, usando la iteración directa

Fuente: FEMA 440,2005

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

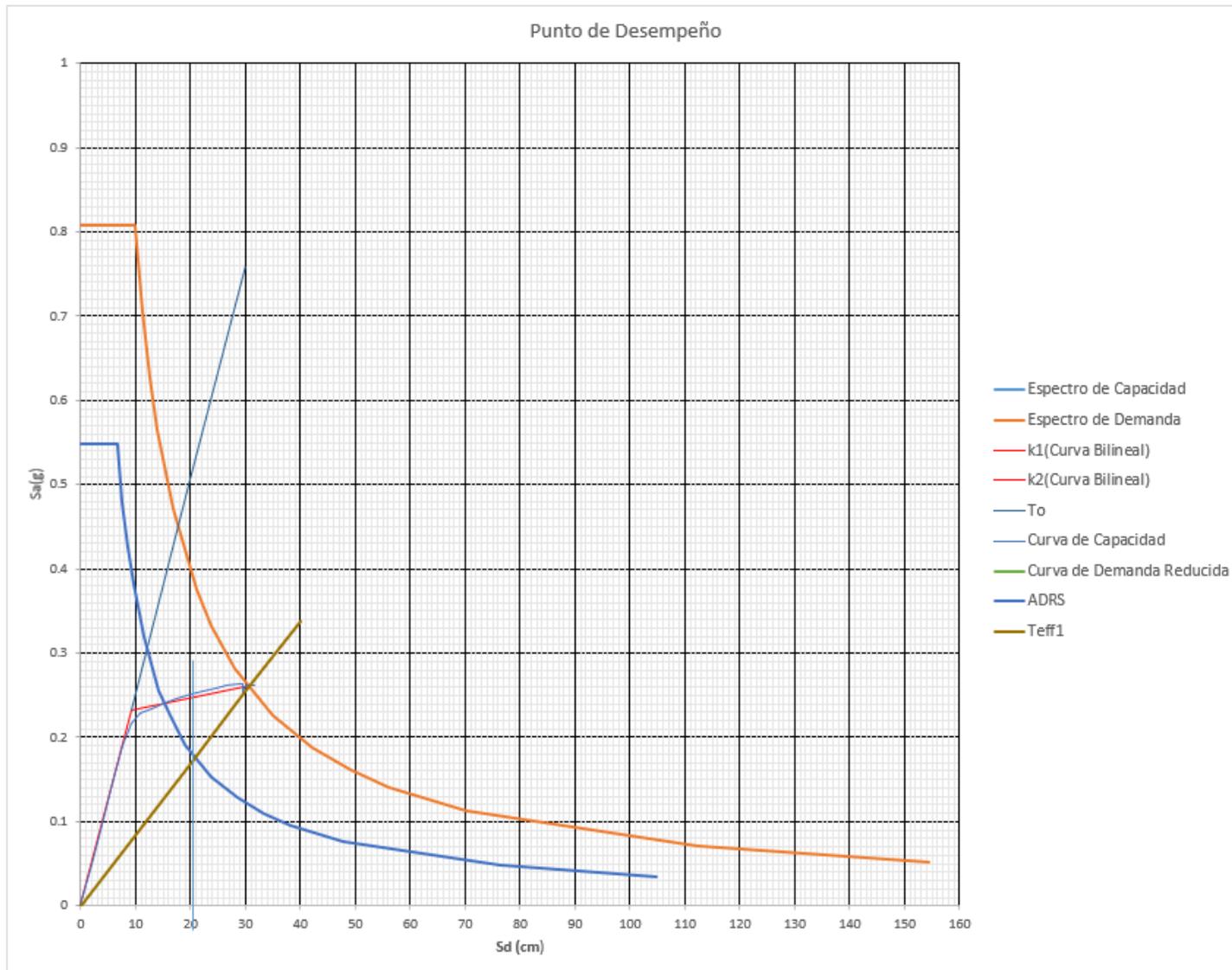


Figura 60 Iteración 1 gráfica con dpi=31

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

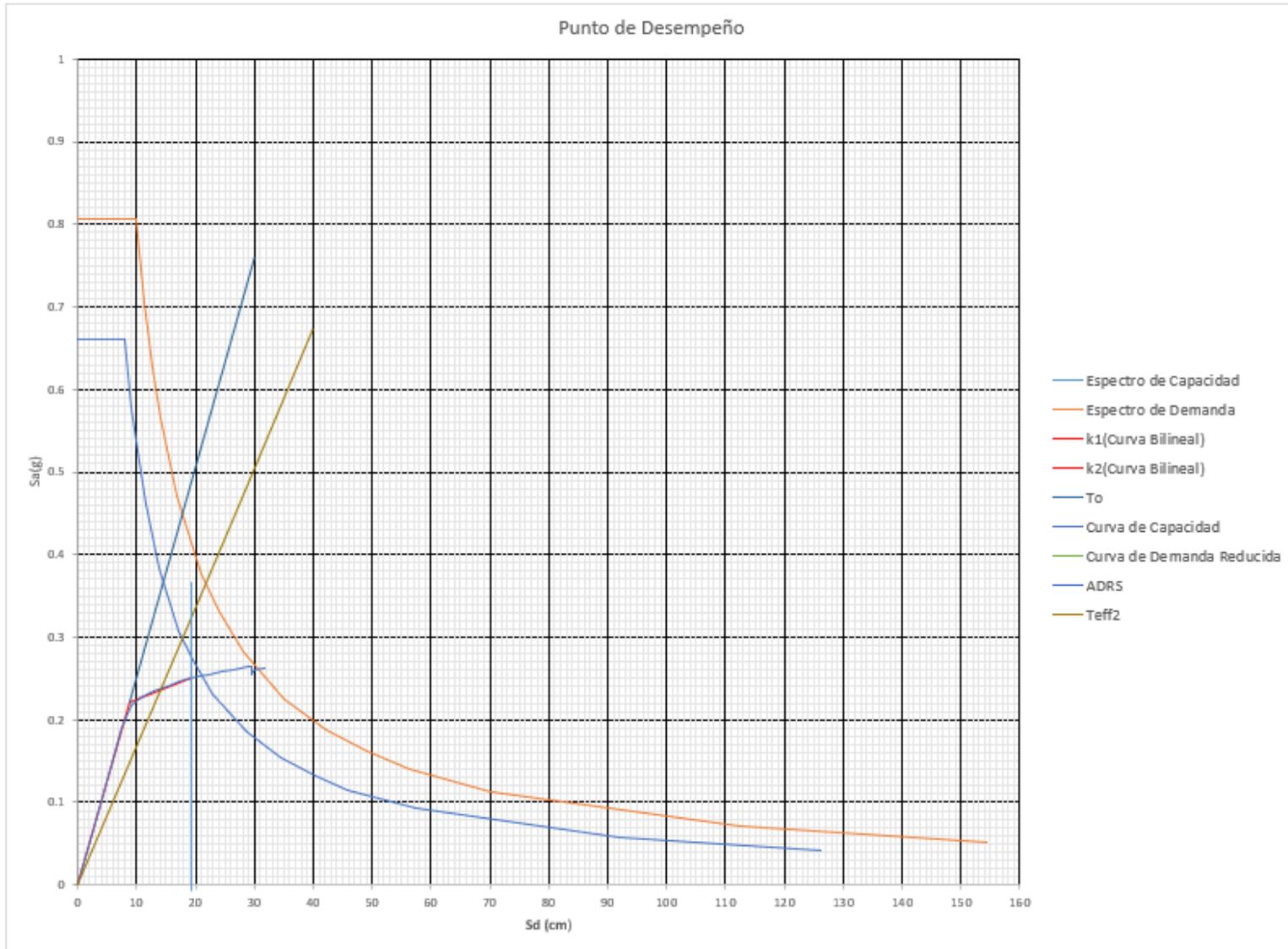


Figura 61 Iteración 2, gráfica con dpi=19.3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

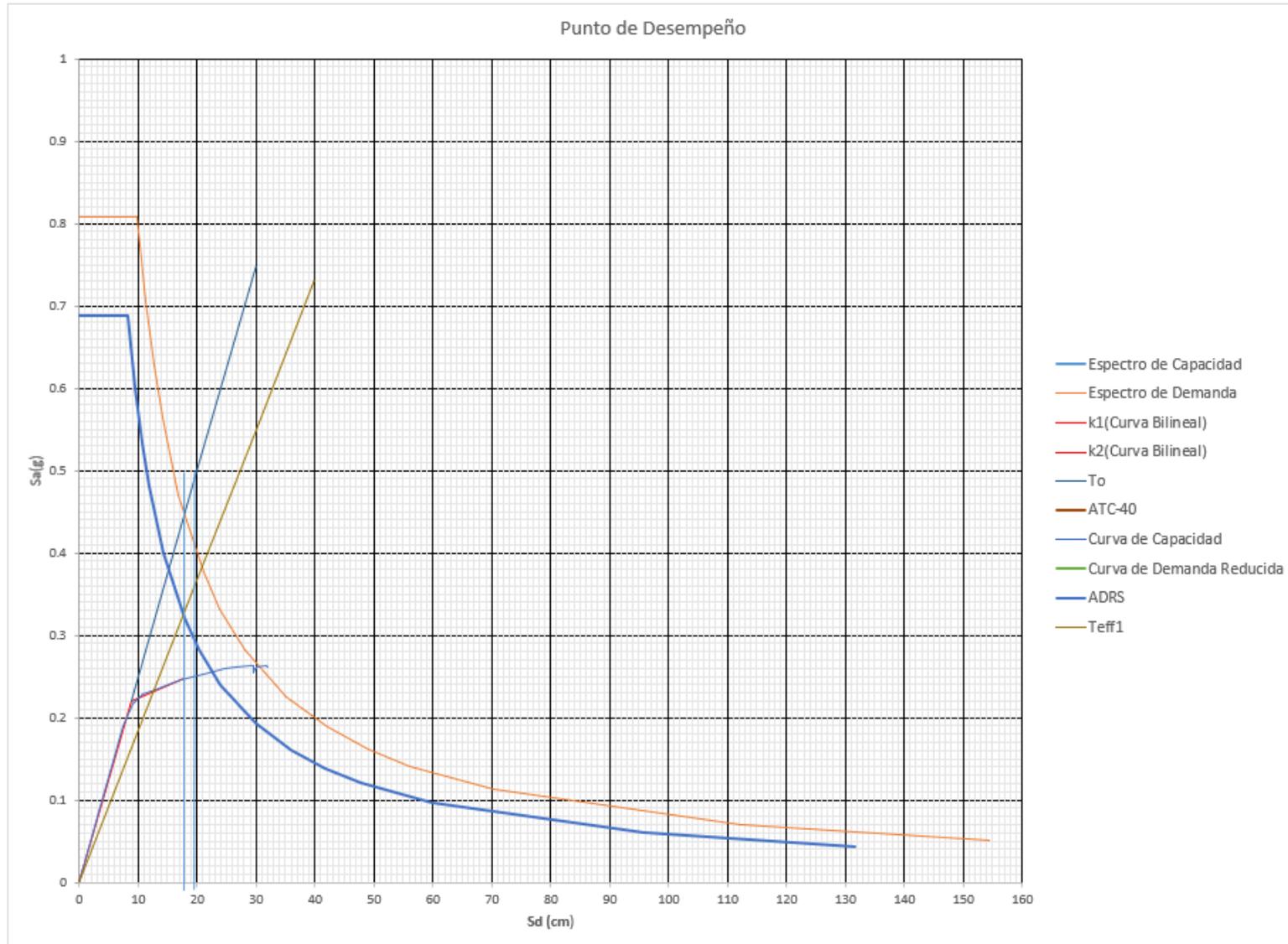


Figura 62 Iteración 3 con dpi=17.8

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

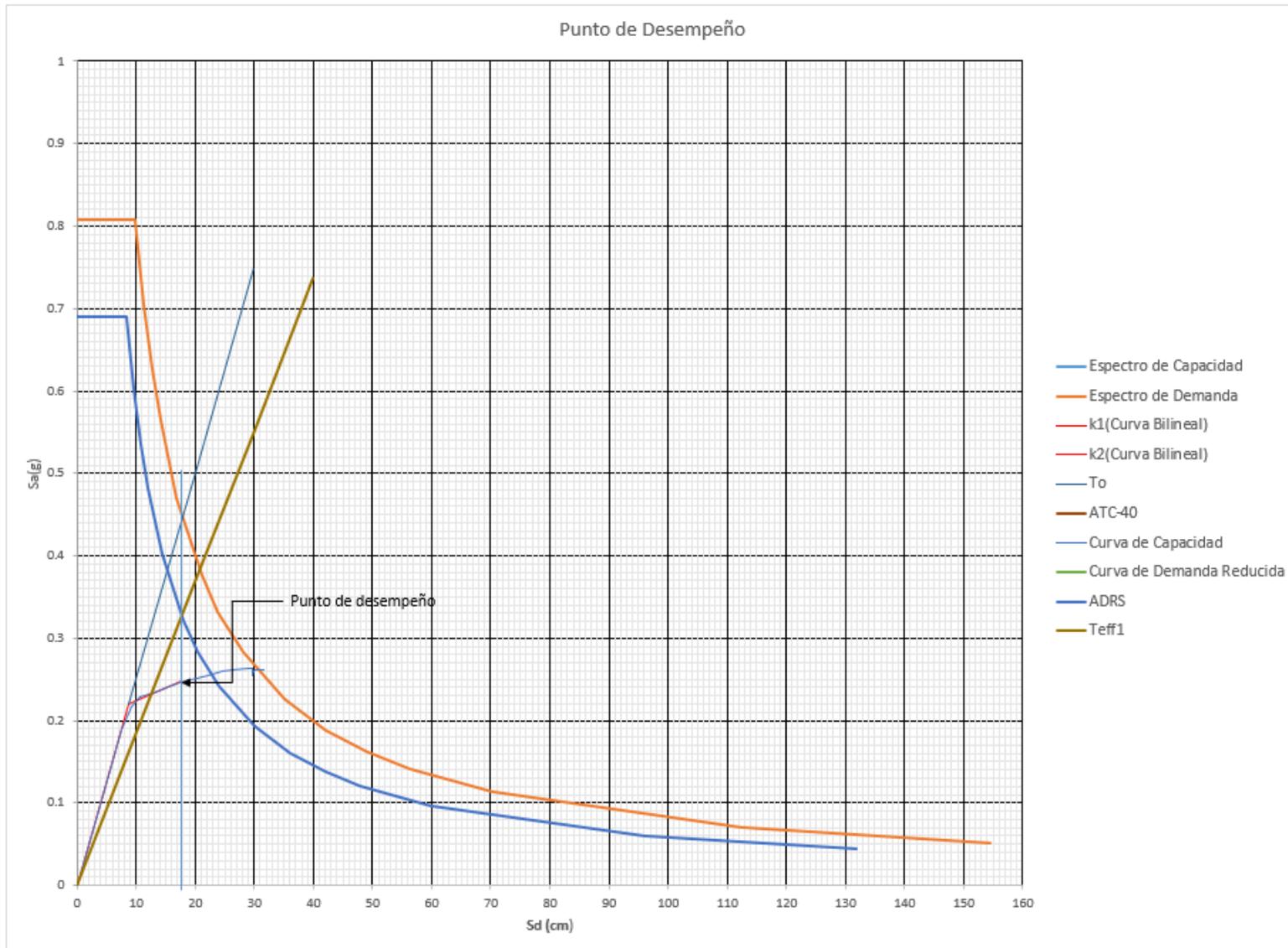


Figura 63 Iteración 4 con dpi=17.7

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

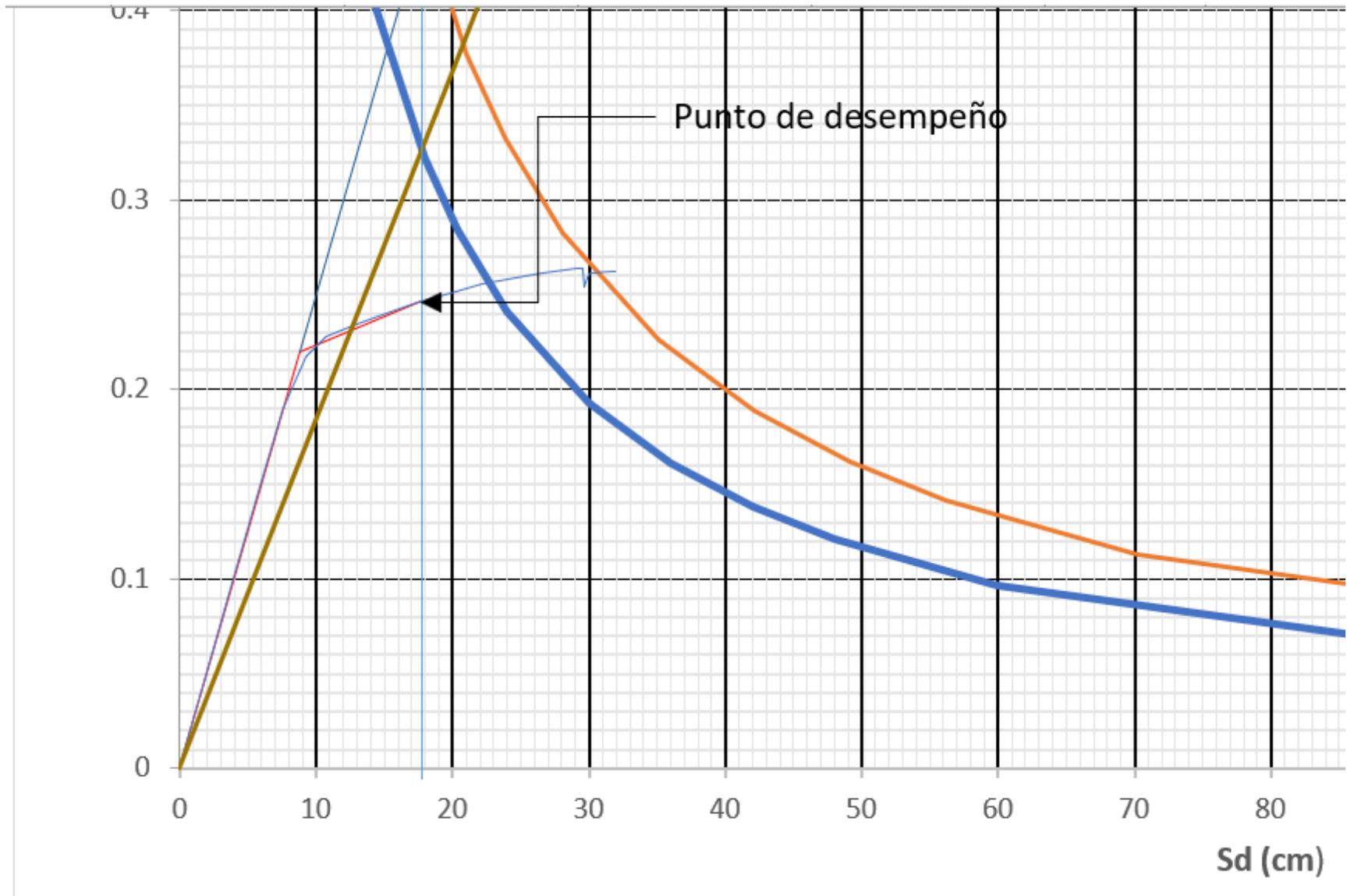


Figura 64 Detalle de la iteración 4 (punto de desempeño) $d_{pi}=17.7$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

A11. Comparar el desplazamiento máximo estimado, d_i , con la hipótesis inicial (o anterior). Si está dentro de una tolerancia aceptable, ($0.95 d_{pi} \leq d_i \leq 1.05 d_{pi}$) el punto de desempeño corresponde a a_i y d_i , si no está dentro de tolerancia aceptable, entonces se repite el proceso desde el paso 5 utilizando a_i y d_i , o alguna otra hipótesis seleccionada como punto de partida.

Tabla 28

Resumen de Iteraciones para Obtener el Punto de Desempeño

Resumen de Iteraciones				
	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4
ay	0.233	0.221	0.220	0.220
dy	9.200	8.700	8.800	8.800
api	0.262	0.250	0.246	0.247
dpi	31.000	19.300	17.800	17.700
B	1.473	1.223	1.174	1.171
d _{yi}	24.067	13.123	12.016	11.949

Nota. Los valores de B, se usaron para ajustar el espectro de respuesta ADRS y d_{yi} para graficar el periodo efectivo T_{eff} en cada iteración.

En nuestro caso se observa que el valor de la tercera iteración $d_{pi}=17.8$ y la cuarta $d_{pi}=17.7$ caen dentro del rango de tolerancia aceptable ($0.95 d_{pi} \leq d_i \leq 1.05 d_{pi}$). Por lo tanto, nuestro punto de desempeño es $a_{pi}=0.247$, $d_{pi}=17.7$ ver figura 64.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.5.1.2 Método B (Intersección con demanda MADRS) FEMA 440, ejemplo de aplicación

En este procedimiento, el punto de desempeño se define como la intersección del espectro de capacidad con el ADRS modificado (MADRS). El espectro de demanda MADRS se genera modificando el ADRS para los distintos valores de amortiguamiento efectivo.

B9. Ajustar la demanda inicial en formato ADRS, utilizando el amortiguamiento efectivo β_{eff} .

Calcularemos los valores de B y M en varias iteraciones hasta encontrar el punto de desempeño

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 1

$a_y := 0.22$ $d_y := 8.8$ Valores de la representación bilineal

$a_{pi} := 0.247$ $d_{pi} := 18$ Punto de desempeño tentativo

$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.269$ Periodo inicial

$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 2.045$ Ductilidad, μ

$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.117$ Rigidez post-elástica α

Cálculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$G := 0.2$ $H := -0.038$

$T_{eff} := (G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 = 1.491$

$A := 4.9$ $B := -1.1$ $\beta_0 := 5$

$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 9.099$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Coefficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.179$$

Coefficiente M

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 \left(\frac{1 + \alpha \cdot (\mu - 1)}{\mu} \right) = 0.758$$

El espectro de demanda amortiguado en formato ADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

El espectro de demanda amortiguado en formato MADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})} \times M$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 2

$a_y := 0.216$ $d_y := 8.5$ Valores de la representación bilineal

$a_{pi} := 0.237$ $d_{pi} := 14$ Punto de desempeño tentativo

$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.258$ Periodo inicial

$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 1.647$ Dductilidad, μ

$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.15$ Rigidez post-elástica α

Calculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$G := 0.2$ $H := -0.038$

$T_{eff} := \left(G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1\right) \cdot T_0 = 1.351$

$A := 4.9$ $B := -1.1$ $\beta_0 := 5$

$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 6.754$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Coefficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.084$$

Coefficiente M

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 \left(\frac{1 + \alpha \cdot (\mu - 1)}{\mu} \right) = 0.768$$

El espectro de demanda amortiguado en formato ADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

El espectro de demanda amortiguado en formato MADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})} \times M$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 3

$a_y := 0.216$ $d_y := 8.5$ Valores de la representación bilineal

$a_{pi} := 0.243$ $d_{pi} := 16$ Punto de desempeño tentativo

$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.258$ Periodo inicial

$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 1.882$ Dductilidad, μ

$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.142$ Rigidez post-elástica α

Calculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$G := 0.2$ $H := -0.038$

$T_{eff} := \left(G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1\right) \cdot T_0 = 1.422$

$A := 4.9$ $B := -1.1$ $\beta_0 := 5$

$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 8.059$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Coeficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.139$$

Coeficiente M

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right)^2 \left(\frac{1 + \alpha \cdot (\mu - 1)}{\mu}\right) = 0.763$$

El espectro de demanda amortiguado en formato ADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

El espectro de demanda amortiguado en formato MADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 4

$a_y := 0.217$ $d_y := 8.5$ Valores de la representación bilineal

$a_{pi} := 0.241$ $d_{pi} := 15.5$ Punto de desempeño tentativo

$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.256$ Periodo inicial

$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 1.824$ Dductilidad, μ

$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.134$ Rigidez post-elástica α

Calculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$G := 0.2$ $H := -0.038$

$T_{eff} := \left(G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1\right) \cdot T_0 = 1.399$

$A := 4.9$ $B := -1.1$ $\beta_0 := 5$

$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 7.709$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Coeficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.124$$

Coeficiente M

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right)^2 \left(\frac{1 + \alpha \cdot (\mu - 1)}{\mu}\right) = 0.756$$

El espectro de demanda amortiguado en formato ADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_d)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

El espectro de demanda amortiguado en formato MADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_d)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Iteración 5

$a_y := 0.216$ $d_y := 8.5$ Valores de la representación bilineal

$a_{pi} := 0.241$ $d_{pi} := 15.4$ Punto de desempeño tentativo

$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.258$ Periodo inicial

$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 1.812$ Dductilidad, μ

$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.143$ Rigidez post-elástica α

Calculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$G := 0.2$ $H := -0.038$

$T_{eff} := (G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 = 1.399$

$A := 4.9$ $B := -1.1$ $\beta_0 := 5$

$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 7.64$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Coeficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.122$$

Coeficiente M

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 \left(\frac{1 + \alpha \cdot (\mu - 1)}{\mu} \right) = 0.761$$

El espectro de demanda amortiguado en formato ADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

El espectro de demanda amortiguado en formato MADRS se obtiene con las siguientes ecuaciones.

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$$

$$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

B10. Multiplicar sólo las ordenadas de aceleración (es decir, no las ordenadas de desplazamiento) de la demanda ADRS para el amortiguamiento efectivo β_{eff} por el factor de modificación, M, determinado utilizando el período efectivo calculado, T_{eff} , para generar la respuesta modificada de aceleración-desplazamiento modificado (MADRS)

Tabla 29

Datos para Graficar ADRS Y MADRS

ADRS		MADRS	
$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})}$		$(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2}(S_a)_\beta$ $(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})} \times M$ $(S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2}(S_a)_\beta$	
a(g)	cm	a(g)	cm
0.685	0.000	0.519	0.000
0.685	0.170	0.519	0.129
0.685	0.681	0.519	0.516
0.685	1.531	0.519	1.161
0.685	2.722	0.519	2.064
0.685	4.254	0.519	3.224
0.685	6.125	0.519	4.643
0.685	8.337	0.519	6.320
0.599	9.528	0.454	7.223
0.533	10.719	0.404	8.125
0.479	11.910	0.363	9.028
0.399	14.293	0.303	10.834
0.320	17.866	0.242	13.542

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

0.282	20.248	0.214	15.348
0.240	23.821	0.182	18.056
0.192	29.776	0.145	22.570
0.160	35.731	0.121	27.084
0.137	41.687	0.104	31.598
0.120	47.642	0.091	36.113
0.096	59.552	0.073	45.141
0.060	95.284	0.045	72.225
0.044	131.016	0.033	99.310

. B11. Determinar la aceleración a_i , y el desplazamiento, d_i , como la intersección de la demanda MADRS con la curva de capacidad (ver figura 65).

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

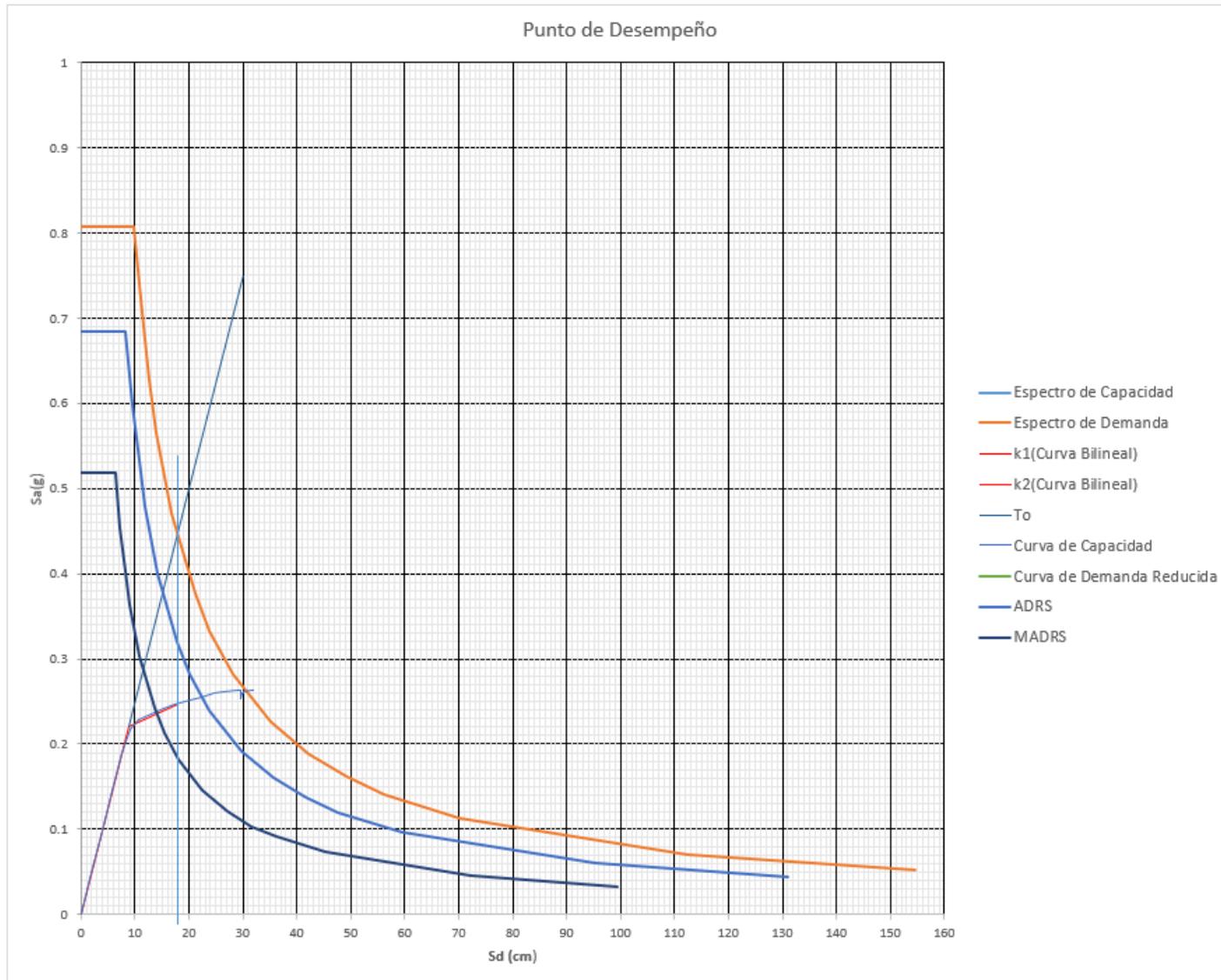


Figura 65 gráfica Iteración 1 dpi=18

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

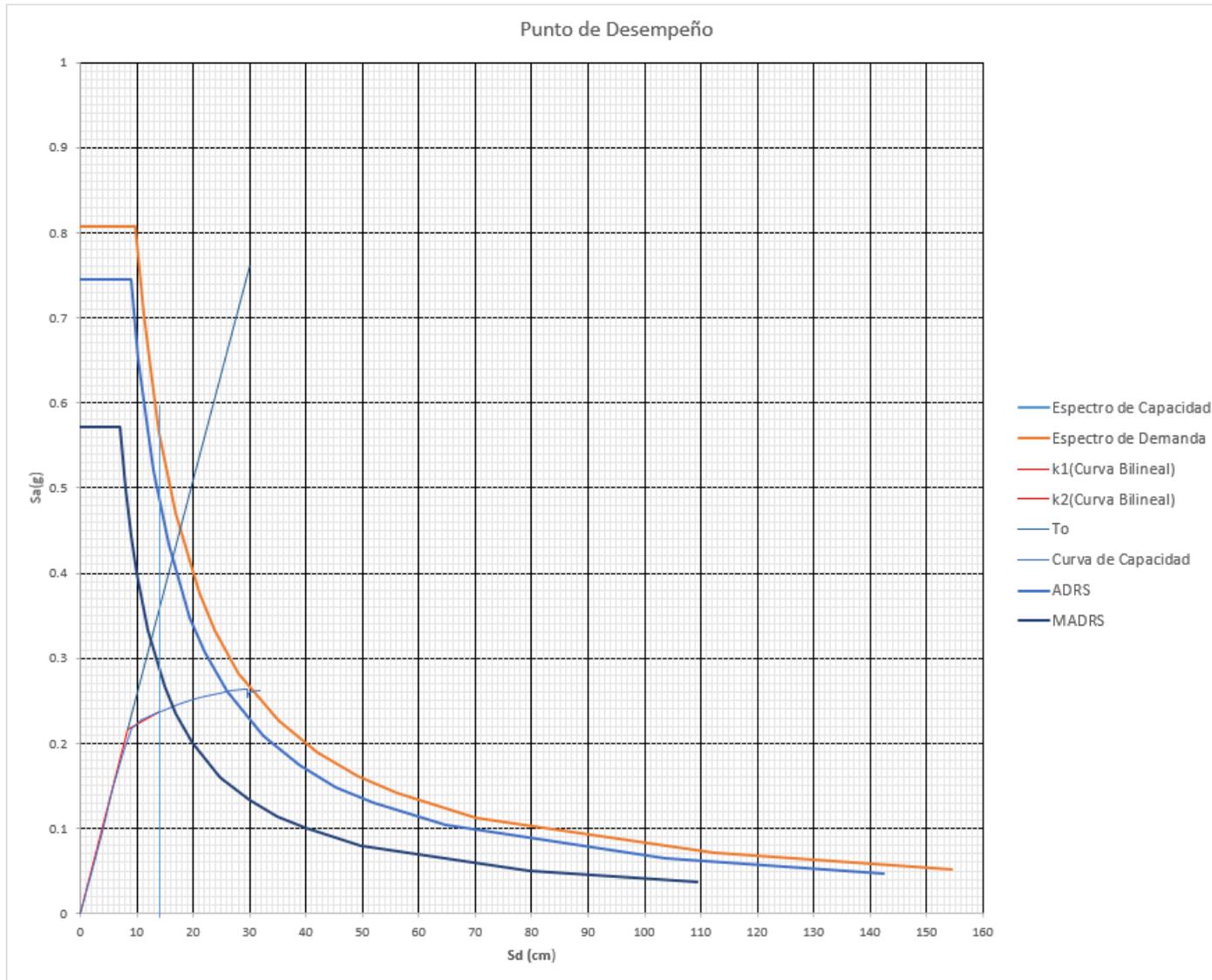


Figura 66 Gráfica Iteración 2 dpi=14

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

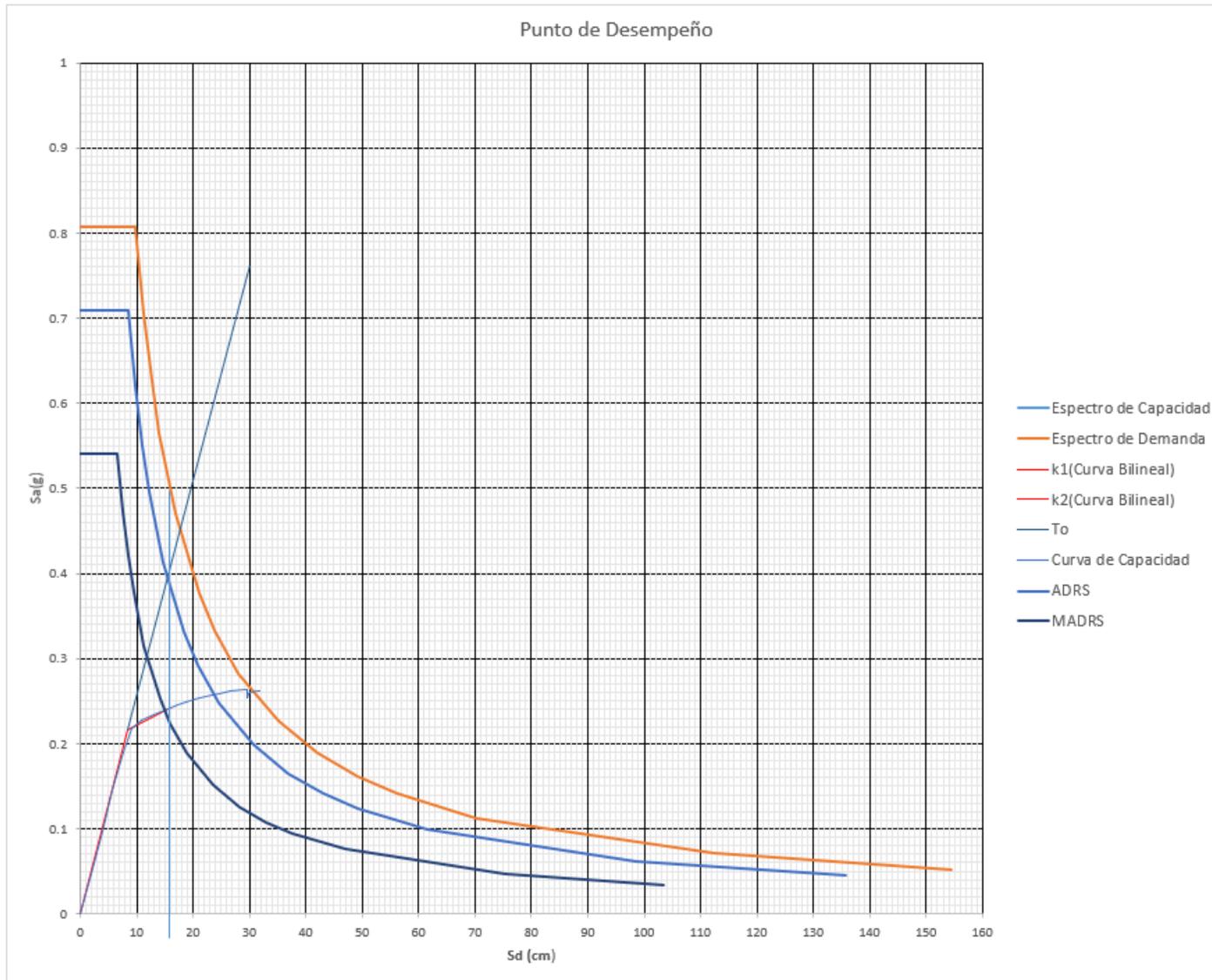


Figura 67 Gráfica Iteración 3 dpi=16

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

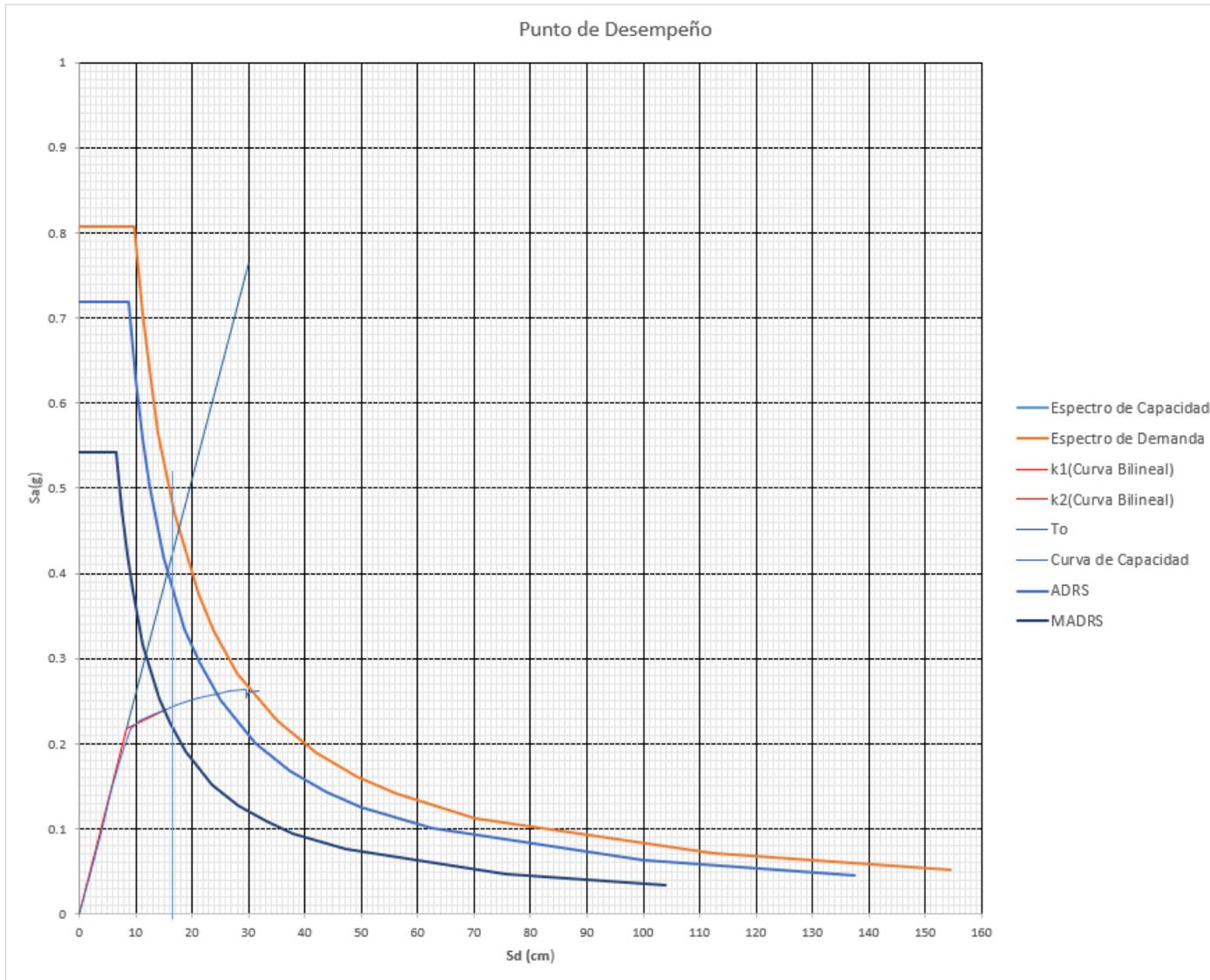


Figura 68 Gráfica Iteración 4 dpi=15.5

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

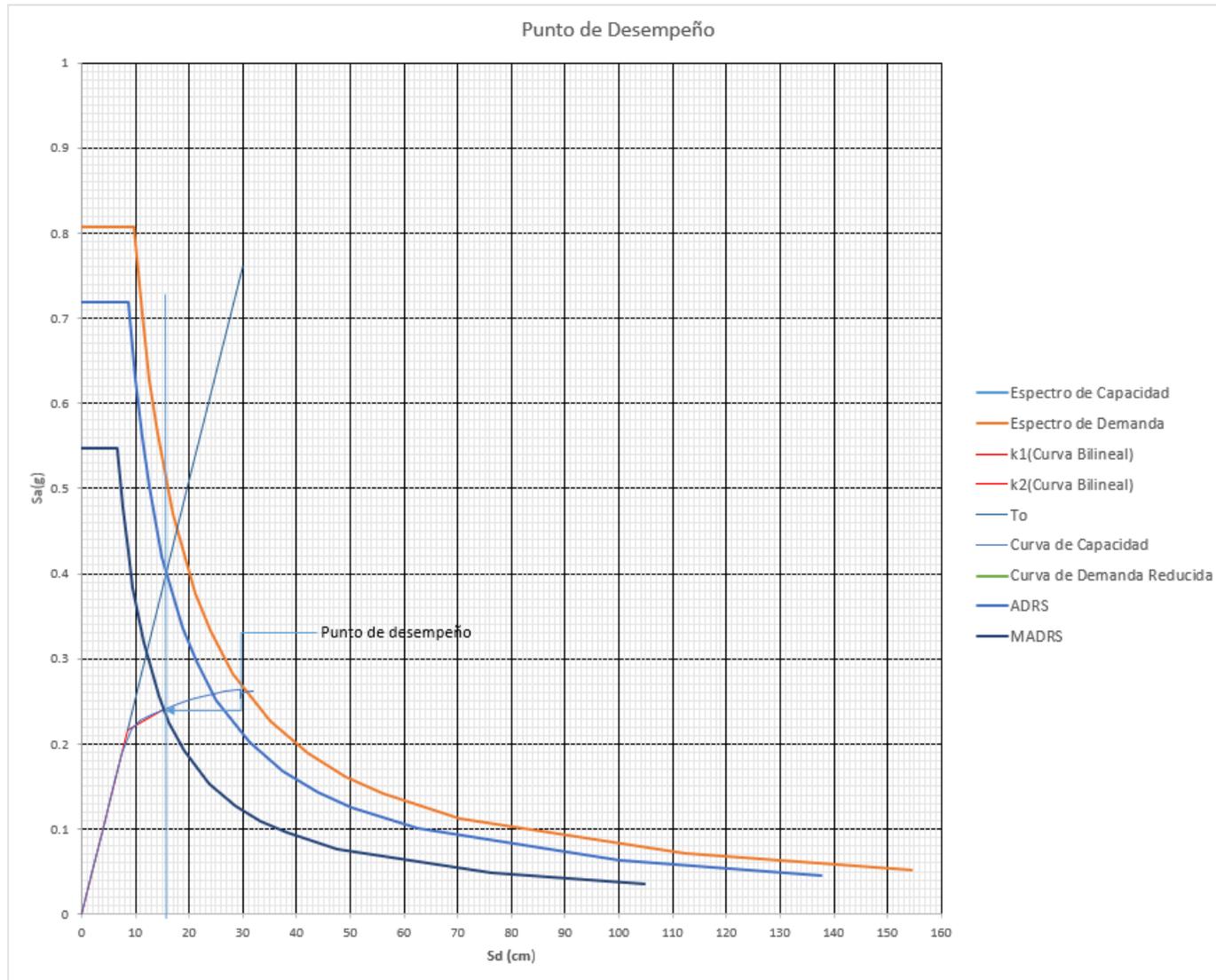


Figura 69 Gráfica Iteración 5 dpi=15.4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

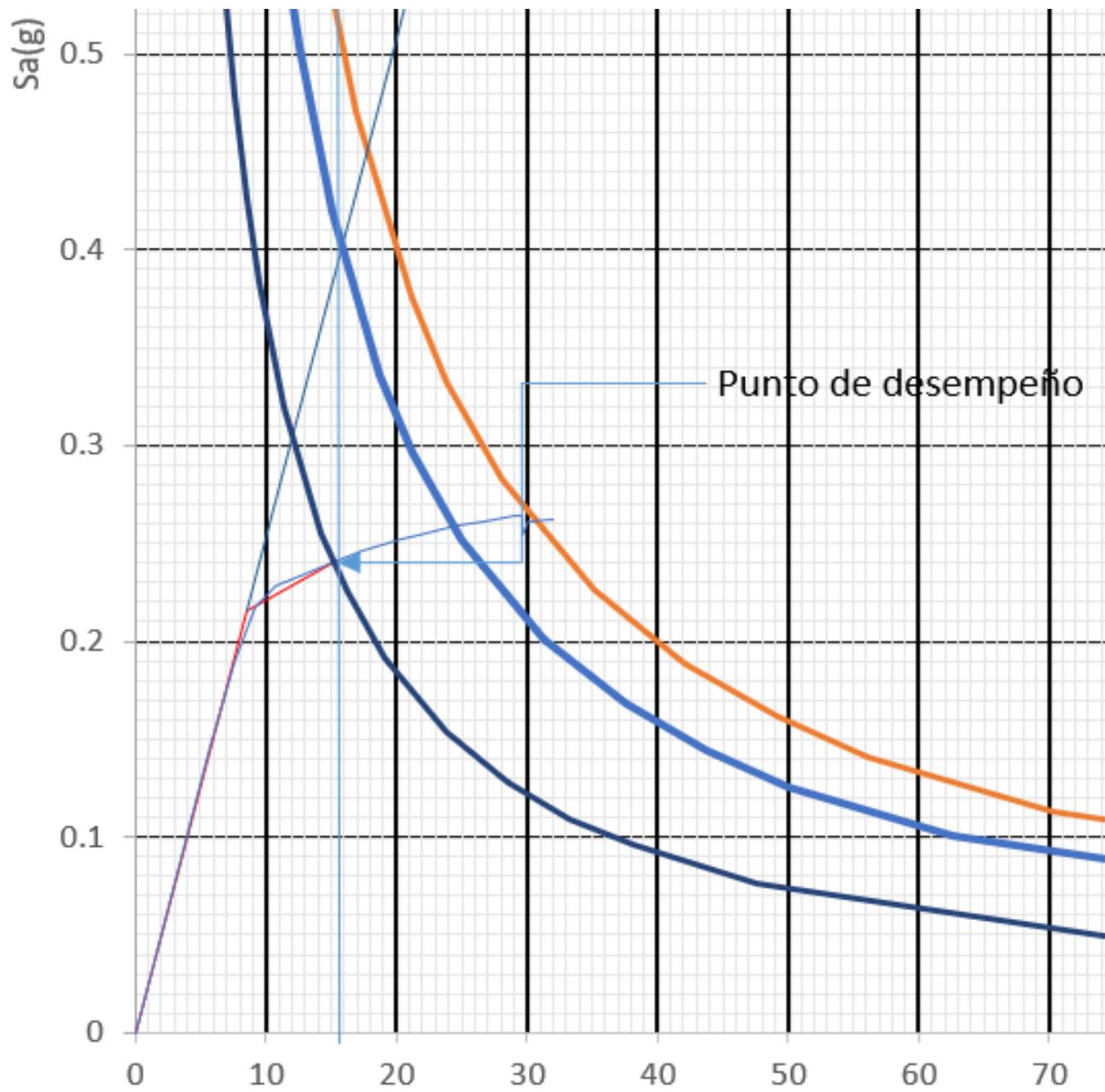


Figura 70 Detalle Gráfica Iteración 5 Punto de Desempeño $a_i=0.241$. $d_{pi}=15.4$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

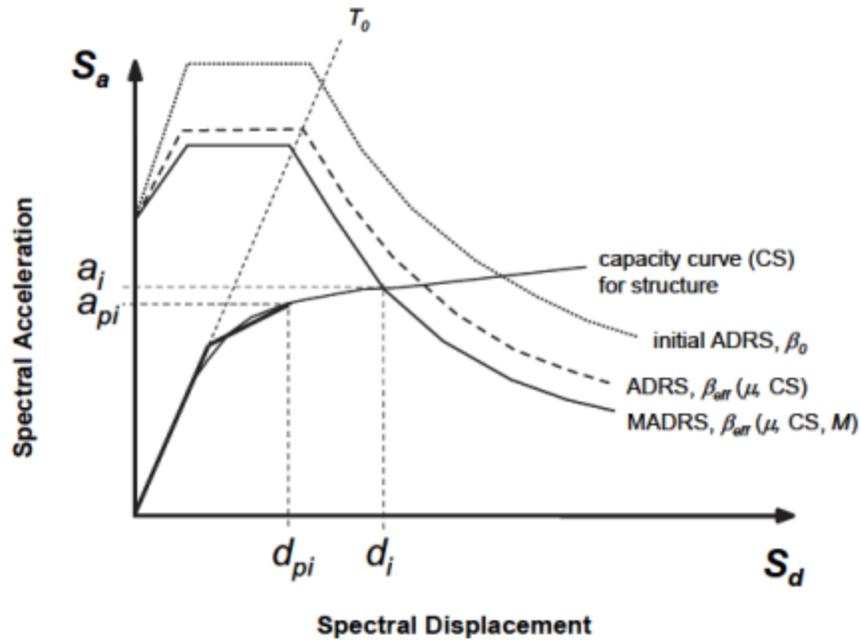


Figura 71 Determinación del desplazamiento máximo esperado utilizando la intersección del espectro de capacidad con MADRS

Fuente: FEMA 440,2005

B12. Comparar el desplazamiento máximo estimado d_i , con la hipótesis inicial (o anterior), d_{pi} . Si está dentro de una tolerancia aceptable ($\pm 5\%$), este será el punto de desempeño a_i y d_i . Si no está dentro de la tolerancia aceptable, entonces repita el proceso desde el paso 5 utilizando un nuevo valor (a_{pi} , d_{pi}), hasta encontrar el punto de desempeño.

Tabla 30

Resumen de Iteraciones

	Iteración 1	Iteración 2	Iteración 3	Iteración 4	Iteración 5
B	1.179	1.084	1.139	1.124	1.122
M	0.758	0.768	0.763	0.756	0.761
ay	0.22	0.216	0.216	0.217	0.216
dy	8.8	8.5	8.5	8.5	8.5

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

api	0.247	0.237	0.243	0.241	0.241
dpi	18	14	16	15.5	15.4

Nota. Los valores de B y M se usaron para ajustar el espectro de respuesta ADRS y MDRS

En nuestro caso se observa que el valor de la cuarta iteración $d_{pi}=15.5$ y la quinta $d_{pi}=15.4$ caen dentro del rango de tolerancia aceptable ($0.95 d_{pi} \leq d_i \leq 1.05 d_{pi}$). Por lo tanto, nuestro punto de desempeño es $a_{pi}=0.247$, $d_{pi}=15.4$ ver figura 70.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.5.1.3 Método C (MADRS) Lugar de posibles Puntos de desempeño, ejemplo de aplicación

Este enfoque utiliza el espectro-respuesta de aceleración modificado, para múltiples soluciones supuestas (α_{pi} , δ_{pi}) y las correspondientes ductilidades para generar un lugar de posibles puntos de desempeño. El punto de desempeño real se encuentra en la intersección de este lugar de posibles puntos y el espectro de capacidad

C9. Ajustar la demanda inicial en formato ADRS, utilizando el amortiguamiento efectivo β_{eff} .

Calcularemos los valores de B y M en varias iteraciones hasta encontrar el punto de desempeño

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

iteración 1

$\mu=1$

Método C (FEMA 440)

$$a_y := 0.218 \quad d_y := 8.7$$

Valores de la representación

$$a_{pi} := 0.2425 \quad d_{pi} := 16$$

Punto de desempeño tentativo

$$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.267$$

Periodo inicial

$$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 1.839$$

ductilidad, μ

$$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.134$$

Rigidez post-elástica α

Calculo del Periodo Secante para $\mu=1$

$\mu=1$

$$T_{sec} := \frac{(T_0)}{\left(\frac{(1 + \alpha \cdot (\mu - 1))}{\mu}\right)^{\frac{1}{2}}} = 1.267$$

$$d_{y1} := \frac{T_{sec}^2 \cdot a_y \cdot 981}{4 \cdot \pi^2} = 8.7$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Cálculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$$A := 4.2 \quad B := -0.83 \quad \beta_0 := 5$$

$$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 5$$

$$G := 0.11 \quad H := -0.018$$

$$T_{eff} := (G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 = 1.267$$

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1$$

Coefficiente de amortiguamiento, B

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 \left(\frac{1 + \alpha \cdot (\mu - 1)}{\mu} \right) = 1$$

Coefficiente M

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

iteración 2

$\mu=2$

Método C (FEMA 440)

$a_y := 0.218$

$d_y := 8.7$

Valores de la representación

$a_{pi} := 0.2425$

$d_{pi} := 16$

Punto de desempeño tentativo

$$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.267$$

Periodo inicial

$$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 1.839$$

ductilidad, μ

$$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.134$$

Rigidez post-elástica α

Calculo del Periodo Secante para $\mu := 2$

$\mu := 2$

$$T_{sec} := \frac{(T_0)}{\left(\frac{(1 + \alpha \cdot (\mu - 1))}{\mu}\right)^{\frac{1}{2}}} = 1.683$$

$$d_{y2} := \frac{T_{sec}^2 \cdot a_y \cdot 981}{4 \cdot \pi^2} = 15.345$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Calculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$$A := 4.2 \quad B := -0.83 \quad \beta_0 := 5$$

$$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 5$$

$$G := 0.11 \quad H := -0.018$$

$$T_{eff} := (G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 = 1.267$$

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.002 \quad \text{Coeficiente de amortiguamiento, B}$$

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right)^2 \left(\frac{1 + \alpha \cdot (\mu - 1)}{\mu}\right) = 1 \quad \text{Coeficiente M}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

iteración 3 $\mu=3$ Método C (FEMA 440)

$a_y := 0.218$ $d_y := 8.7$ Valores de la representación

$a_{pi} := 0.2425$ $d_{pi} := 16$ Punto de desempeño tentativo

$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.267$ Periodo inicial

$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 1.839$ ductilidad, μ

$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.134$ Rigidez post-elástica α

Calculo del Periodo Secante para $\mu := 3$ $\mu := 3$

$$T_{sec} := \frac{(T_0)}{\left(\frac{(1 + \alpha \cdot (\mu - 1))}{\mu}\right)^{\frac{1}{2}}} = 1.949$$

$$d_{y1} := \frac{T_{sec}^2 \cdot a_y \cdot 981}{4 \cdot \pi^2} = 20.586$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Cálculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$$A := 4.2 \quad B := -0.83 \quad \beta_0 := 5$$

$$\beta_{eff} := A \cdot (\mu - 1)^2 + B \cdot (\mu - 1)^3 + \beta_0 = 15.16$$

$$G := 0.11 \quad H := -0.018$$

$$T_{eff} := (G \cdot (\mu - 1)^2 + H \cdot (\mu - 1)^3 + 1) \cdot T_0 = 1.642$$

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.388 \quad \text{Coeficiente de amortiguamiento, B}$$

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 \left(\frac{1 + \alpha \cdot (\mu - 1)}{\mu} \right) = 0.71 \quad \text{Coeficiente M}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

iteración 4

$\mu=4$

Método C (FEMA 440)

$$a_y := 0.218$$

$$d_y := 8.7$$

Valores de la representación bilineal

$$a_{pi} := 0.2425$$

$$d_{pi} := 16$$

Punto de desempeño tentativo

$$T_0 := 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{d_y}{a_y \cdot 981}} = 1.267$$

Periodo inicial

$$\mu := \frac{d_{pi}}{d_y} = 1.839$$

ductilidad, μ

$$\alpha := \frac{\left(\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} = 0.134$$

Rigidez post-elástica α

Calculo del Periodo Secante para $\mu=4$

$\mu=4$

$$T_{sec} := \frac{(T_0)}{\left(\frac{(1 + \alpha \cdot (\mu - 1))}{\mu}\right)^{\frac{1}{2}}} = 2.141$$

$$d_{pu1} := \frac{T_{sec}^2 \cdot a_y \cdot 981}{4 \cdot \pi^2} = 24.825$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

· Cálculo del amortiguamiento efectivo β_{eff} y el periodo efectivo T_{eff}

$C := 10$ $D := 1.6$ $\beta_0 := 5$ Se usan estos valores para

$\beta_{eff} := C + D \cdot (\mu - 1) + \beta_0 = 19.8$ este rango $4 \leq \mu \leq 6.5$

$I := 0.09$ $J := 0.14$

$T_{eff} := (I + J \cdot (\mu - 1) + 1) \cdot T_0 = 1.914$

Coefficiente de amortiguamiento, B

$$B := \frac{4}{5.6 - \ln(\beta_{eff})} = 1.53$$

Coefficiente M

$$M := \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right)^2 \left(\frac{1 + \alpha \cdot (\mu - 1)}{\mu} \right) = 0.799$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

C10. Multiplicar las ordenadas de aceleración de la demanda ADRS para el amortiguamiento efectivo β_{eff} por el factor de modificación M, determinado utilizando el período efectivo calculado, T_{eff} , para generar el espectro de respuesta de aceleración-desplazamiento modificado (MADRS).

Ver cálculo de los factores β_{eff} , T_{eff} , B y M en las hojas anteriores para graficar los espectros modificados MADRS con varios valores de la ductilidad, que se utilizan para obtener los datos para graficar los espectros modificados (ver tabla 31 en la siguiente página)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 31

Valores para Graficar los Espectros de Respuesta Modificados con Diferentes Valores de Ductilidad (μ)

MADRS U=1		MADRS U=2		MADRS U=3		MADRS U=4	
$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})} \times M \quad (S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta \quad (S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})} \times M \quad (S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta \quad (S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})} \times M \quad (S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta \quad (S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{B(\beta_{eff})} \times M \quad (S_d)_\beta = \frac{T^2}{4\pi^2} (S_a)_\beta$							
a(g)	cm	a(g)	cm	a(g)	cm	a(g)	cm
0.807	0.000	0.474	0.000	0.413	0.000	0.414	0.000
0.807	0.201	0.474	0.118	0.413	0.103	0.414	0.103
0.807	0.802	0.474	0.471	0.413	0.410	0.414	0.411
0.807	1.805	0.474	1.060	0.413	0.924	0.414	0.925
0.807	3.210	0.474	1.885	0.413	1.642	0.414	1.645
0.807	5.015	0.474	2.945	0.413	2.565	0.414	2.571
0.807	7.222	0.474	4.241	0.413	3.694	0.414	3.702
0.807	9.830	0.474	5.773	0.413	5.028	0.414	5.039
0.706	11.234	0.415	6.598	0.361	5.746	0.362	5.759
0.628	12.638	0.369	7.423	0.321	6.465	0.322	6.478
0.565	14.042	0.332	8.247	0.289	7.183	0.290	7.198
0.471	16.851	0.277	9.897	0.241	8.620	0.241	8.638

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

0.377	21.064	0.221	12.371	0.193	10.775	0.193	10.797
0.332	23.872	0.195	14.020	0.170	12.211	0.170	12.237
0.283	28.085	0.166	16.495	0.145	14.366	0.145	14.396
0.226	35.106	0.133	20.618	0.116	17.958	0.116	17.996
0.188	42.127	0.111	24.742	0.096	21.549	0.097	21.595
0.161	49.149	0.095	28.866	0.083	25.141	0.083	25.194
0.141	56.170	0.083	32.989	0.072	28.732	0.072	28.793
0.113	70.212	0.066	41.237	0.058	35.915	0.058	35.991
0.071	112.340	0.041	65.979	0.036	57.465	0.036	57.586
0.051	154.468	0.030	90.721	0.026	79.015	0.026	79.181

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

C11. Un posible punto de desempeño se genera mediante la intersección del período secante radial, T_{sec} , con el espectro MADRS (ver Figura 72 en la página siguiente)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Punto de Desempeño

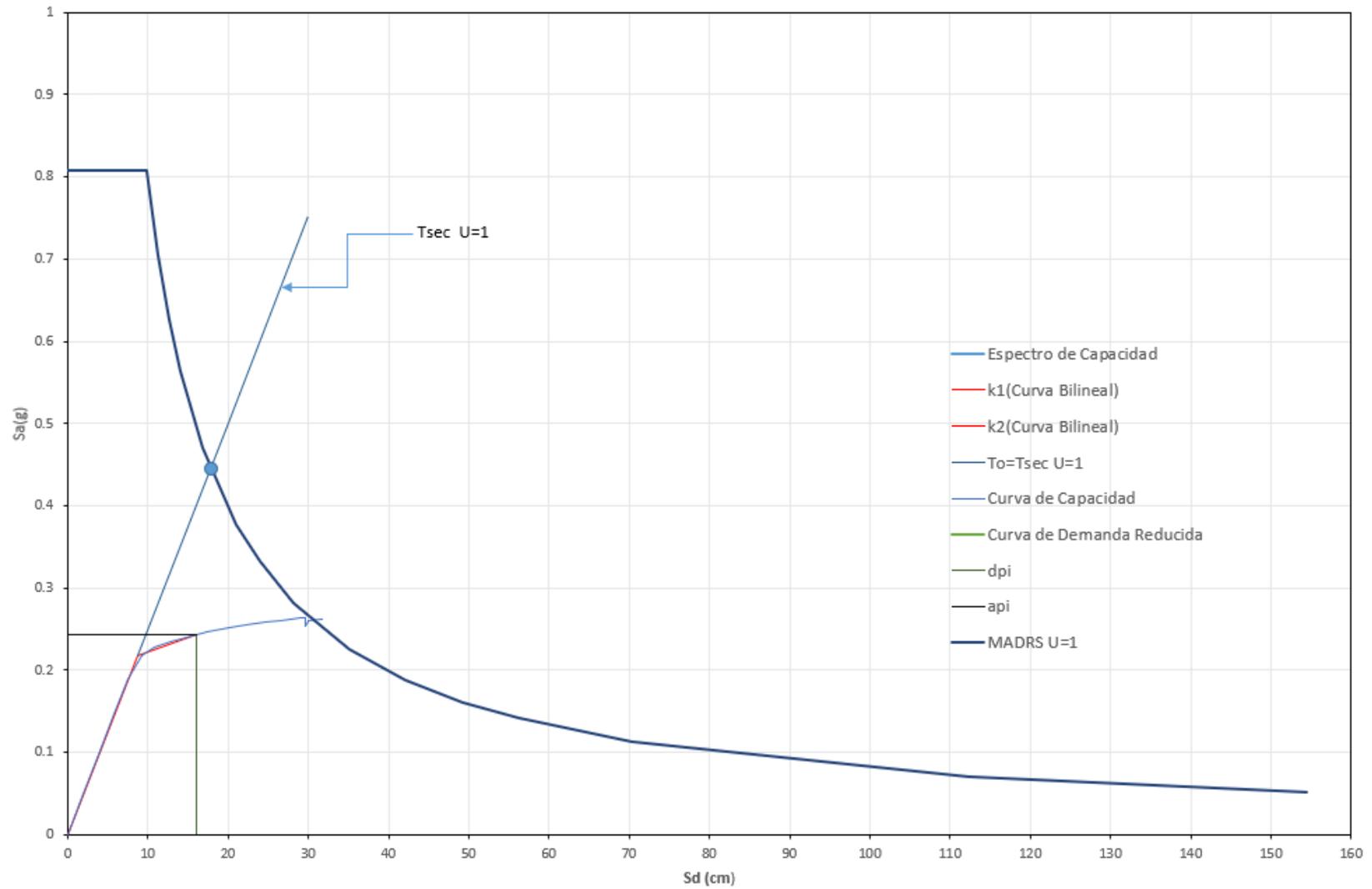


Figura 72 Iteración 1, MADRS U=1 y periodo T_o que es igual a T_{sec} 1

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

C12. Aumente o disminuya el punto de desempeño supuesto y repita el proceso para generar una serie de posibles puntos de desempeño. (en nuestro caso mantuvimos el punto de desempeño inicial supuesto), con la que obtuvimos el primer punto (ver figura 72, en página anterior) y los puntos subsecuentes en páginas siguientes (ver figuras 73 a 76)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

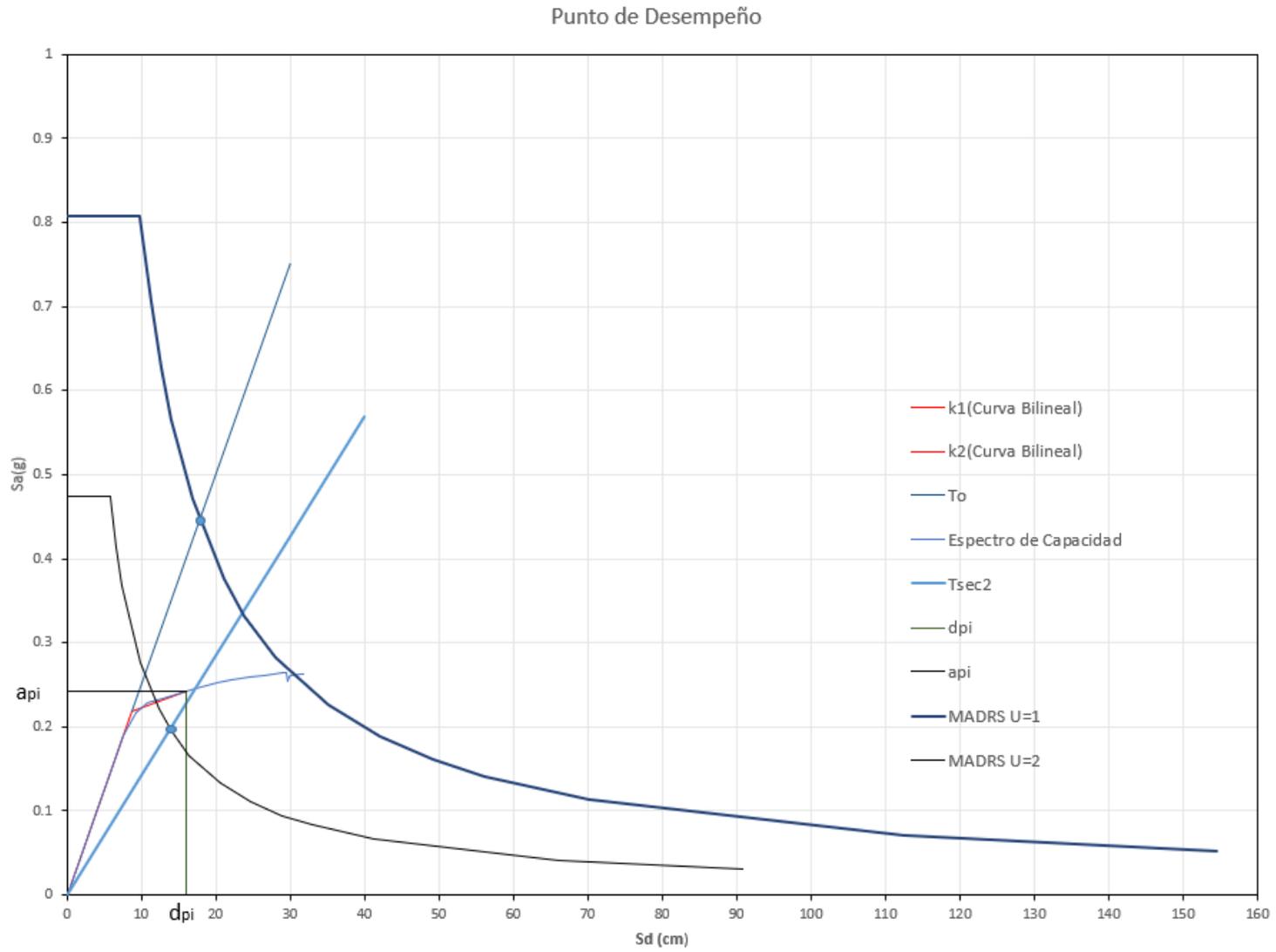


Figura 73 Iteración 2, MADRS U=2 y periodo T_{sec2}

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

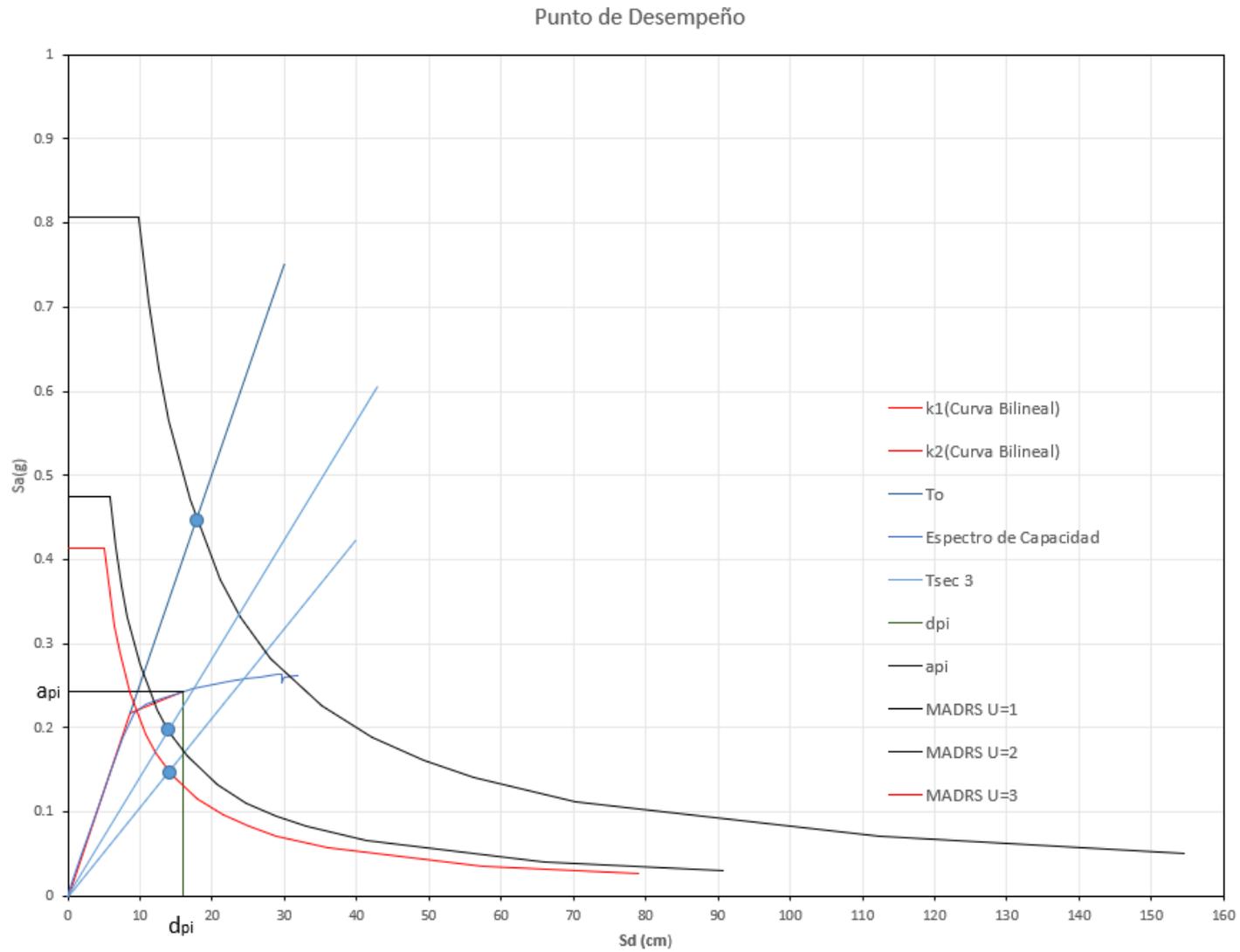


Figura 74 Iteración 3, MADRS U=3 y periodo Tsec 3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Punto de Desempeño

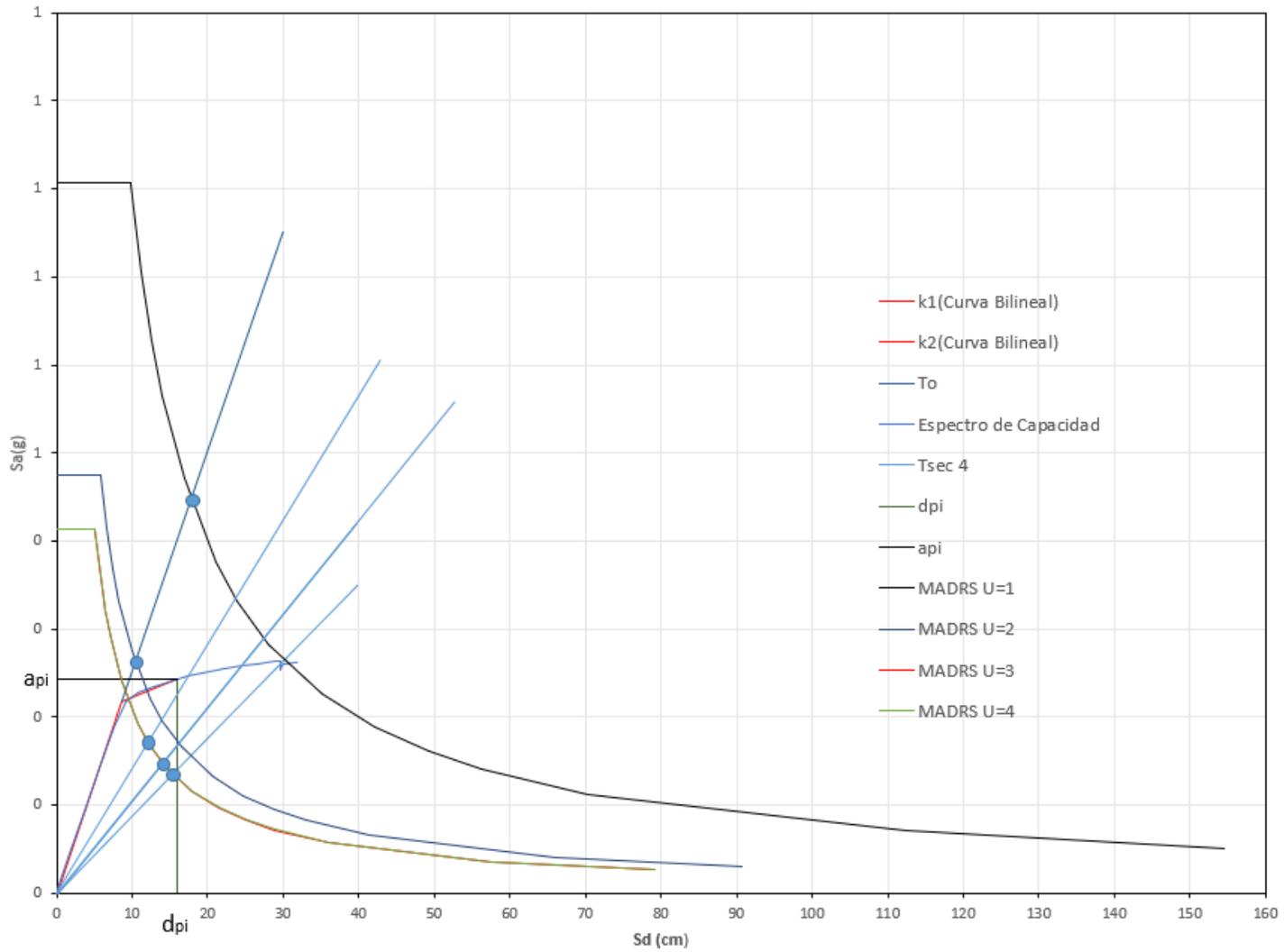


Figura 75 Iteración 4, MADRS U=4 y periodo Tsec 4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Punto de Desempeño

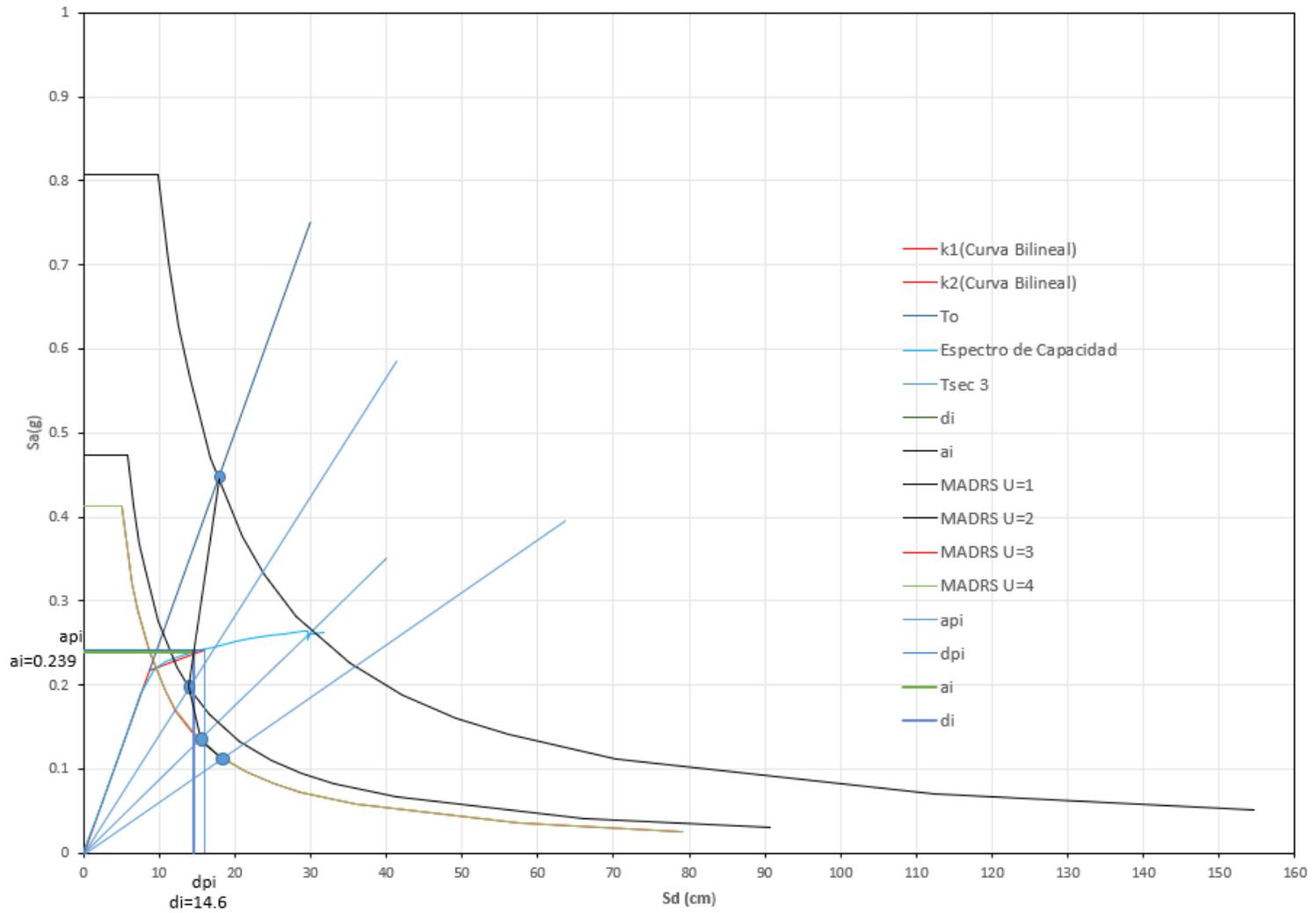


Figura 76 Gráfica de los espectros MADRS con los periodos secante para encontrar el punto de desempeño

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

C13. El punto de desempeño real se define por la intersección del lugar de los puntos del paso 12 y la curva de capacidad (ver figura 76.)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

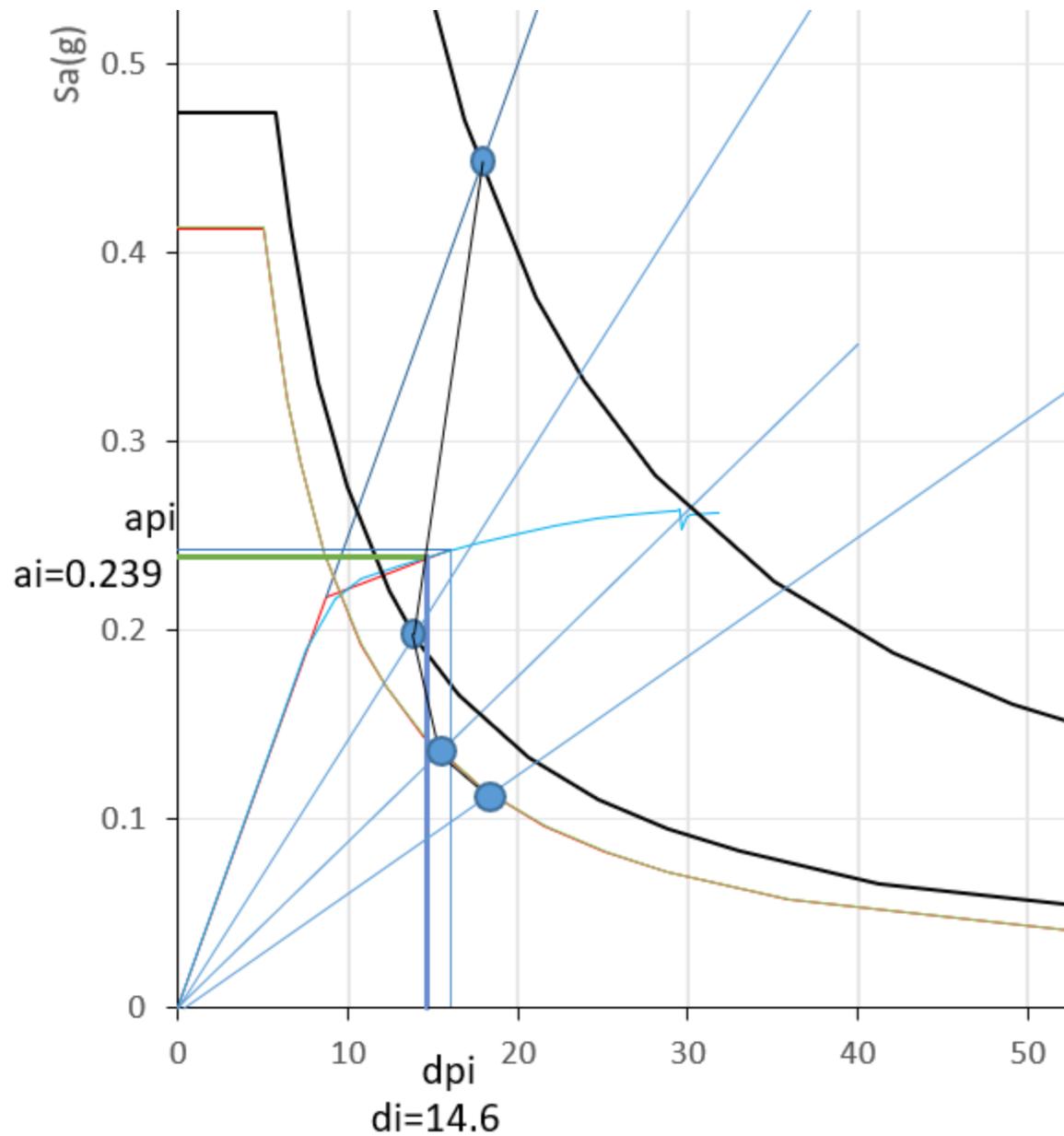


Figura 77 Detalle de figura 76. punto desempeño que se obtiene en la intersección de la curva de capacidad, con la línea formada entre los puntos de Tsec 1 con MADRS U=1 y el punto de cruce entre Tsec 2 y MADRS U=2

Nota. Obsérvese que el procedimiento C se presta para un proceso automatizado en el que se supone que la solución inicial ductilidad de 1,0 y los ensayos subsiguientes se establecen como ductilidades cada vez mayores (por ejemplo, 2, 3, 4, 5, etc.).

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

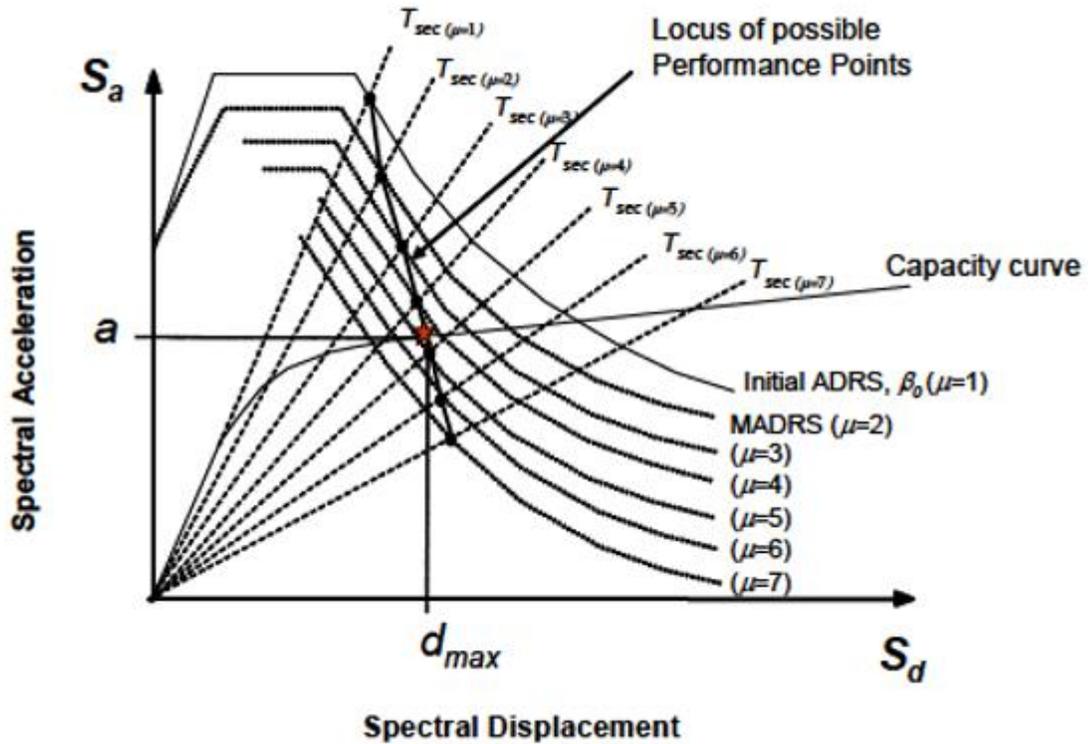


Figura 78 lugar de posibles puntos de desempeño (procedimiento c)

Fuente: FEMA 440,2005

Nota: En la tabla 32 y al final del anexo se encuentra una tabla donde se resumen los valores del punto de desempeño empleando el método del espectro de capacidad (A, B y C) con ATC-40 y FEMA 440.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.6 Resumen de valores, métodos A, B, y C ejemplos de aplicación

Tabla 32

Resumen de Valores de los Ejercicios para la Obtención del Punto de Desempeño con los Métodos A, B y C

Resumen de valores con el método del espectro de capacidad (Marco del anexo)				
Método	ATC-40		FEMA 440	
	Punto de Desempeño			
	ai	di	ai	di
A	0.239	14.8	0.247	17.7
B	0.234	12.8	0.247	15.4
C	0.246	15.7	0.239	14.6

2.7 Espectro de Respuesta

2.7.1 Definición

Un espectro de respuesta es una representación gráfica de las máximas repuestas (desplazamientos, velocidades y aceleraciones) de diversos osciladores de un grado de libertad dinámico, de masa y amortiguamiento constantes.

G. W. Housner contribuyó a la aceptación generalizada del concepto de espectro de respuesta a los terremotos -introducido por M. A. Biot en 1932- como medio práctico para caracterizar los movimientos del suelo y sus efectos en las estructuras. El espectro de respuesta, que se ha convertido en un concepto central en la ingeniería sísmica, proporciona un medio conveniente para resumir la respuesta máxima de todos los posibles sistemas lineales de un grado de libertad a un componente particular del movimiento del suelo. También proporciona un enfoque práctico para aplicar el conocimiento de la dinámica estructural al diseño de estructuras y al desarrollo de requisitos de fuerza lateral en los códigos de construcción.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Un gráfico del valor máximo de una magnitud de respuesta en función del período de vibración natural T_n del sistema, o un parámetro relacionado como la frecuencia circular ω , o la frecuencia cíclica f_n , se denomina espectro de respuesta para esa magnitud. Cada uno de estos gráficos corresponde a sistemas de un grado de libertad con una relación de amortiguación fija de ζ , y se incluyen varios gráficos de este tipo para diferentes valores de ζ a fin de cubrir la gama de valores de amortiguación que se encuentran en las estructuras reales. (Chopra, 2001)

Procedimiento de construcción de un espectro de respuesta

- Selección de un registro de aceleración
- Selección del periodo natural de vibración T_n y la relación de amortiguamiento ζ de un sistema de un grado de libertad
- Determinar el valor máximo en valor absoluto de cada respuesta y colocarlos en un gráfico con T en el eje horizontal
- El valor máximo de cada oscilador representa un punto del espectro de respuesta

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

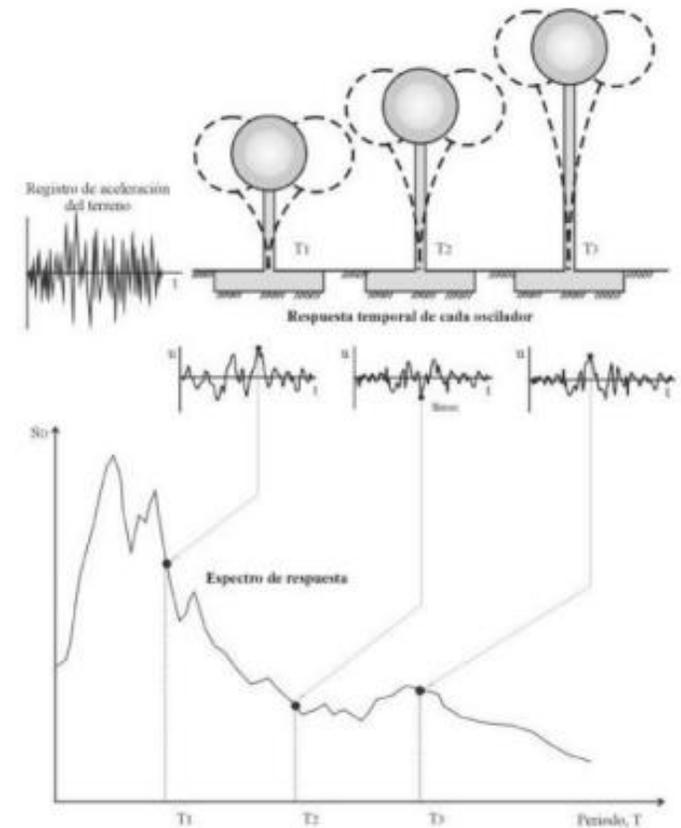
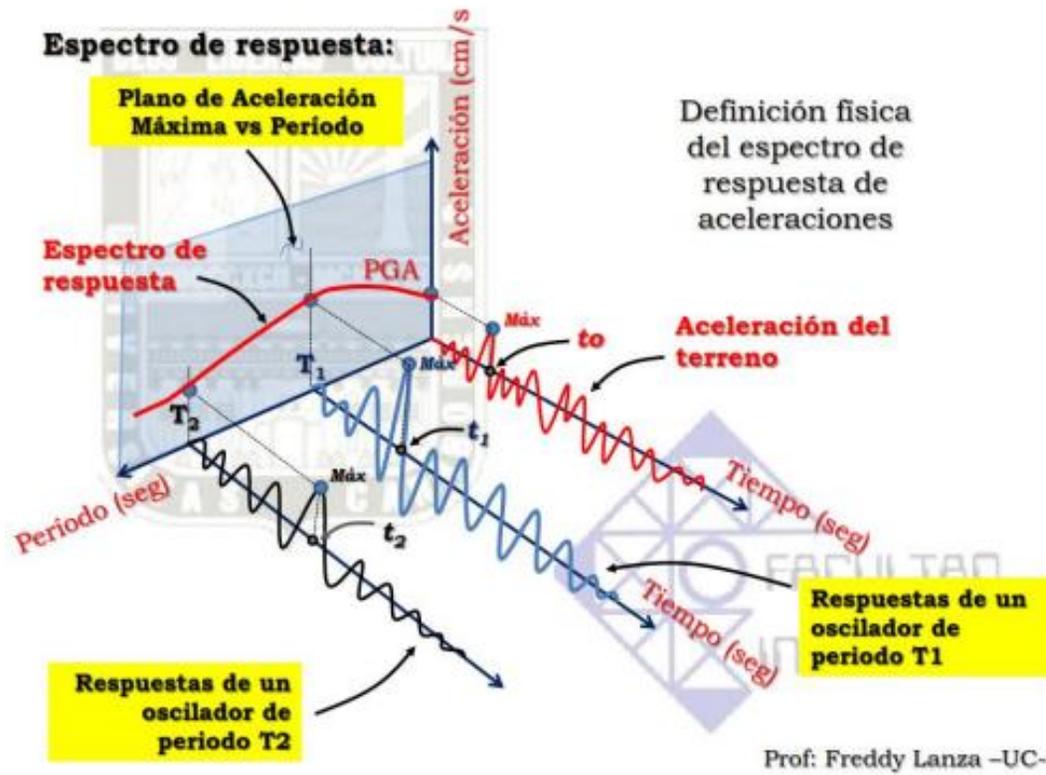


Figura 79 Grafico indicativo del método para la determinación del espectro de respuesta

Fuente: Ing. Freddy Lanza Sísmica Adiestramiento, citado por (Cañizares, 2016)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

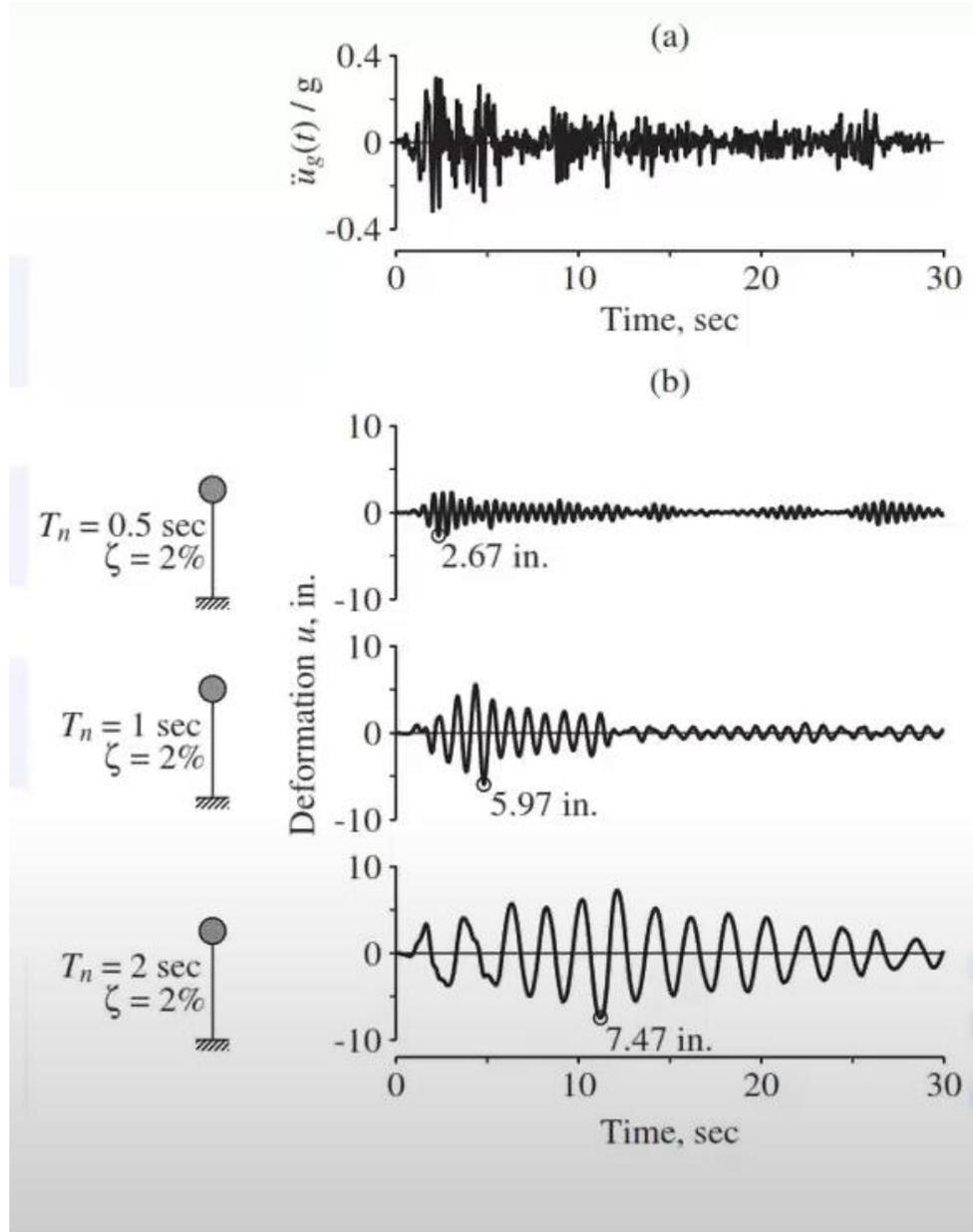


Figura 80 Respuesta máxima (deformación) para 3 sistemas de un grado de libertad ($\zeta=2\%$ amortiguamiento, periodos $T_n=0.5,1$ y 2 sec.)

Fuente: Libro Dynamic of Structures de Anil K. Chopra, second edition

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Espectro de respuesta de pseudovelocidad. Consideremos una cantidad V para un sistema de un grado de libertad con frecuencia natural ω_n relacionada con su pico de deformación $D=u_0$ debido al movimiento sísmico del suelo

Partiendo de la máxima respuesta del sistema de un grado de libertad y un amortiguamiento $\zeta=2\%$, para periodos de 0.5 s, 1s y 2s según figura 80. A partir de la respuesta de los desplazamientos., se calcula la respuesta de velocidad y aceleración con las siguientes ecuaciones y los valores obtenidos se observan en la figura 81

$$V = \omega_n D = \frac{2 \cdot \pi}{T_n} D$$

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

$$D := 2.67 \text{ in} \quad \text{Desplazamiento}$$

$$T_n := 0.5 \text{ s} \quad \text{Periodo}$$

$$V = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_n} \right) \cdot D = 33.6 \frac{\text{in}}{\text{s}} \quad \text{Velocidad}$$

$$A = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_n} \right)^2 \cdot D = 421.63 \frac{\text{in}}{\text{s}^2} \quad \frac{A}{g} = 1.092 \quad \text{Aceleración}$$

$$D := 5.97 \text{ in} \quad \text{Desplazamiento}$$

$$T_n := 1 \text{ s} \quad \text{Periodo}$$

$$V = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_n} \right) \cdot D = 37.5 \frac{\text{in}}{\text{s}} \quad \text{Velocidad}$$

$$A = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_n} \right)^2 \cdot D = 235.686 \frac{\text{in}}{\text{s}^2} \quad \frac{A}{g} = 0.61 \quad \text{Aceleración}$$

$$D := 7.47 \text{ in} \quad \text{Desplazamiento}$$

$$T_n := 2 \text{ s} \quad \text{Periodo}$$

$$V = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_n} \right) \cdot D = 23.5 \frac{\text{in}}{\text{s}} \quad \text{Velocidad}$$

$$A = \left(\frac{2 \cdot \pi}{T_n} \right)^2 \cdot D = 73.726 \frac{\text{in}}{\text{s}^2} \quad \frac{A}{g} = 0.191 \quad \text{Aceleración}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

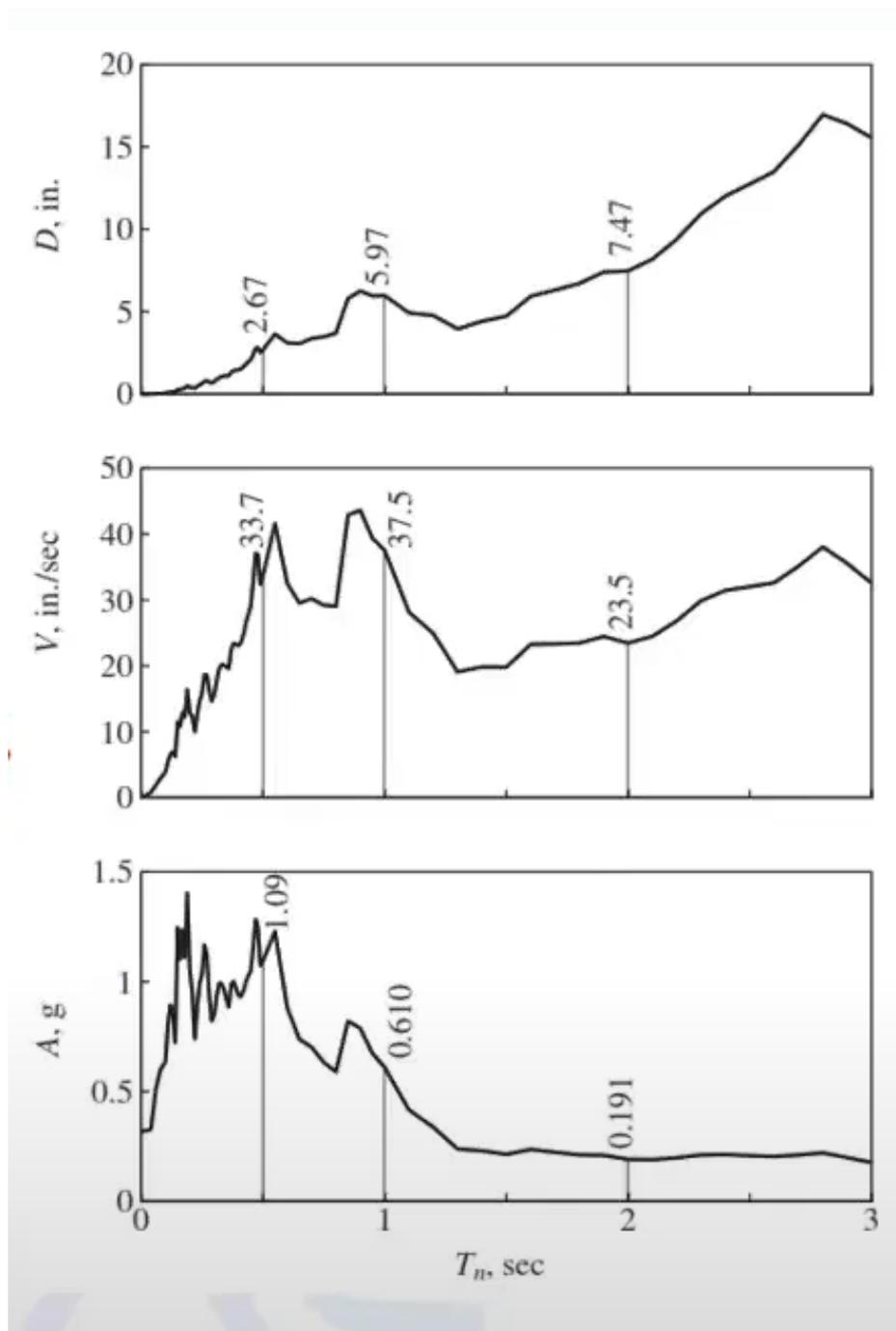


Figura 81 Gráfica de la respuesta de desplazamiento, velocidad y aceleración, obtenida con los datos de la figura 77 Fuente: Adaptación del libro Dynamic of Structures de Anil K.

Chopra, second edition

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

$D \equiv x_0$ (desplazamiento en pulgadas)

V =Velocidad(pulgadas/seg)

A =Aceleración (g)

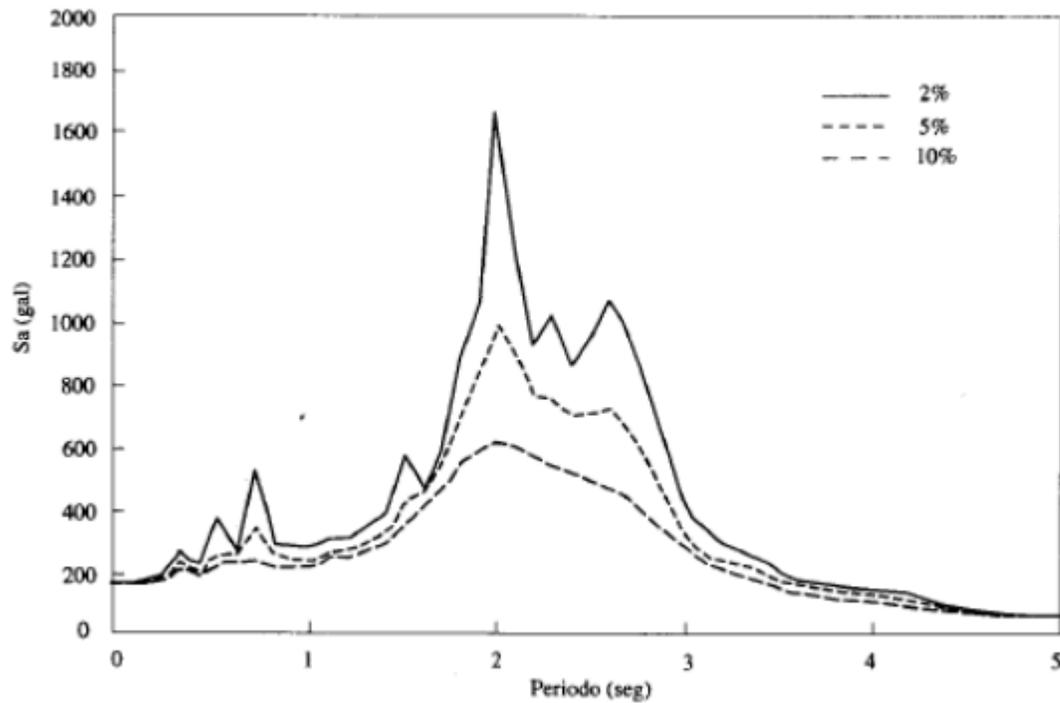


Figura 82 Espectro de pseudoaceleraciones del registro de la SCT del sismo de septiembre de 1985 (Bazán y Meli) citado por (Paniagua, 2013)

2.7.2 *Espectro de respuesta inelástico*

En estructuras sometidas a sismos severos, estas incursionan significativamente más allá del límite elástico la demanda de ductilidad es $\mu = \frac{x_{max}}{x_y}$, cociente del desplazamiento máximo y el desplazamiento de fluencia, se usa para determinar el grado de incursión en el intervalo inelástico.

La ductilidad se emplea para modificar los espectros elásticos tomando en cuenta la capacidad que tienen las estructuras de disipar la energía a través de las deformaciones inelásticas

En la siguiente figura se presentan los espectros elastoplásticos del acelerograma registrado en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes durante el temblor del 19 de septiembre de 1985, correspondientes a amortiguamientos del 5% del crítico y para ductilidades de $\mu=1, 2, 3$ y 4

El valor $\mu=1$ representa comportamiento elástico

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

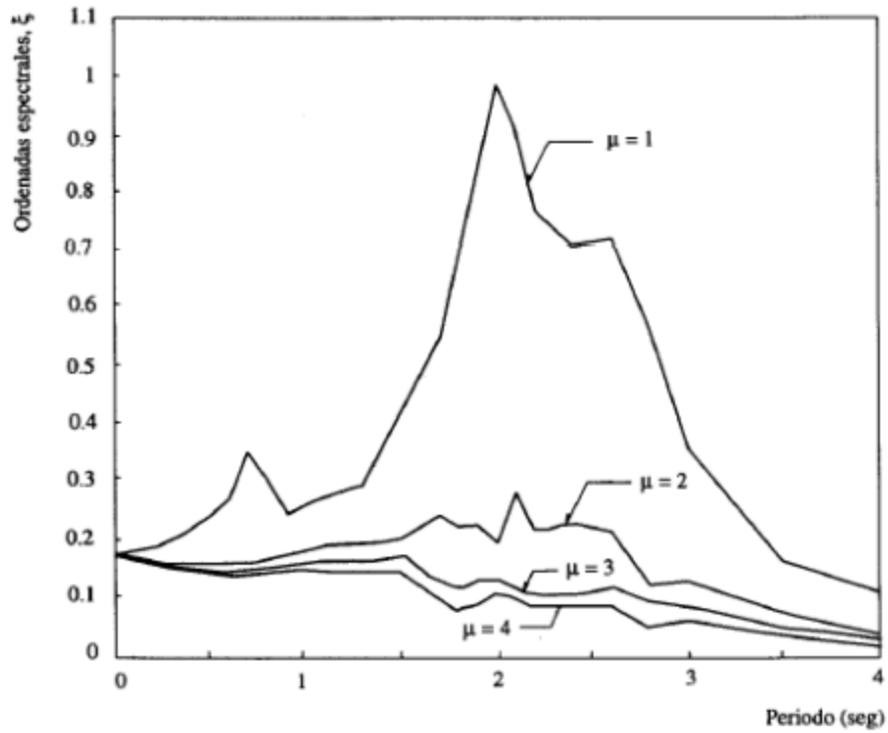


Figura 83 Espectro elastoplástico del registro de la SCT sismo del 19 de septiembre de 1985

(Bazán y Meli) citado por (Paniagua, 2013)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.8 Espectro de diseño

2.8.1 Definición

Los códigos que definen la demanda sísmica, proponen valores de reducción de respuesta en función del sistema estructural empleado. El espectro de diseño debe ser representativo de movimientos de suelos registrados durante sismos pasados, si no existen registros sísmicos en el lugar, entonces el espectro de diseño se debe basar en movimientos sísmicos registrados en otros sitios bajo condiciones similares. Los factores que influyen en esta selección son: las fuentes sísmicas, la magnitud máxima esperada, la distancia del sitio a la falla sísmica, el mecanismo de falla, la geología y las condiciones locales del sitio.

El espectro de diseño se basa en un análisis estadístico del espectro de respuesta para un conjunto de movimientos del suelo.

El análisis estadístico de estos datos provee la distribución de probabilidades para las ordenadas espectrales, el valor de la media y la desviación estándar para cada periodo T_n

Conectando todos los valores medios se obtiene el espectro de respuesta medio en forma normalizada, y el espectro de respuesta de la media más una desviación estándar nos da el espectro de diseño.

2.8.2 Espectros de diseño en México

En la ciudad de México se utiliza actualmente el programa SASID de acuerdo a las NTC DS del RCDF para definir los espectros sísmicos, en el resto de la república normalmente los estados o municipios adoptan el Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad. Después de la versión de 1993 salió el Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo 2008 CFE y posteriormente se actualizó a la versión 2015 y el programa para definir los espectros se llama PRODISIS.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.8.2.1 Definición del espectro para el edificio de 4 niveles

Para determinar el espectro se usó una hoja de cálculo en Excel basada en el MDOC DS 2008 CFE.

A continuación, se muestran los datos que se usaron (el factor de irregularidad se tomó en base a las condiciones que cumplía el edificio) para el cálculo del espectro:

- Información de mecánica de suelos de acuerdo a la figura 84
- Factor de comportamiento $Q=2$
- Factor de sobre resistencia $R=2$
- Factor de redundancia $\rho=1.25$
- Factor de irregularidad $\alpha=0.9$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



XIII.1.7.)- Para los rellenos de las excavaciones se recomienda realizarlo con material producto de bancos de préstamo de la región, que cumplan con las especificaciones vigentes de la S.C.T. y resumidas en el inciso siguiente del apartado de pavimentos.

XIII.1.8.)- Las propiedades y características del subsuelo obtenidas en este estudio son para las condiciones actuales, por lo tanto si la construcción de la obra se realiza en época de lluvias, se recomienda proteger inmediatamente las excavaciones.

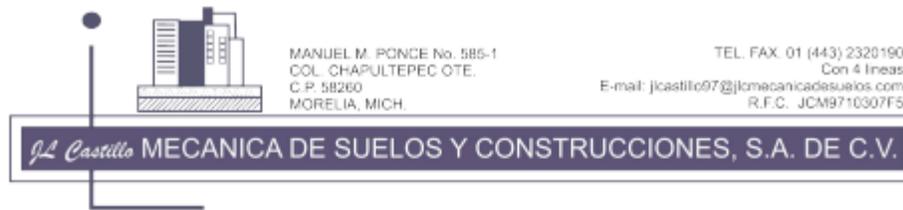
XIII.2.)- ESTUDIO DE PROSPECCION GEOFISICA.

XIII.2.1.)- El predio donde se proyecta construir un Edificio de 4 niveles ubicado en la Avenida De Las Islas esquina Isla Cerralvo de la Colonia Parque de la Pequeña y Mediana Industria del Puerto Lázaro Cárdenas, Michoacán, se localiza en la zona sísmica denominada " D " caracterizada por la ocurrencia de sismos frecuentes e intensos que ocasionalmente pueden llegar a ser de gran magnitud.

XIII.2.2.)- La secuencia estratigráfica en el área de estudio es cruzada, típica de los ambientes deltaicos de desembocadura, en donde es común observar una distribución prácticamente horizontal y homogénea, pero con variaciones en sus velocidades de cortante que ocasionan diferencias en sus calidades de suelo y comportamiento dinámico, debido a que su subsuelo somero estratigráficamente está constituido por diferentes granulometrías y grados de compacidad en los materiales que constituyen los Deltas Moderno y Antiguo, identificándose los siguientes 5 estratos o paquetes litológicos principales:

XIII.2.2.1.)- En la parte superficial se presentan depósitos aluviales constituidos por arena fina poco limosa de compacidad media (SP-SM), color café grisáceo, con espesor promedio de 3.00 m, número de golpes a la penetración estándar de 11 a 20, peso volumétrico de 1.724 Ton/m³, resistividades de 18 a 269 Ohm-m, velocidad longitudinal de 462 m/s y velocidad transversal de 182 m/s. Este paquete geológicamente corresponde con la zona poco compacta del Delta Moderno, presenta Coeficiente de Poisson de 0.41, Módulo de elasticidad de 1,639 Kg/cm² y Módulo de cortante de 582 Kg/cm²; parámetros que corresponden con su baja rigidez dinámica. La amplificación de los movimientos telúricos en este primer paquete es importante.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



XIII.2.2.2).- Por debajo del paquete anterior y con espesor reducido de 0.60 m, se presentan gravas angulosas y redondeadas empacadas en arena fina a media poco de compacidad media a muy densa limosa (GP-GM), color café grisáceo, con número de golpes a la penetración estándar de 15 a mayor de 50, peso volumétrico de 1.689 Ton/m³, resistividad alta de 2382 Ohm-m, velocidad longitudinal de 383 m/s y velocidad transversal de 150 m/s. Este estrato geológicamente corresponde con la zona compacta del Delta Moderno. Presenta Coeficiente de Poisson de 0.41, Módulo de elasticidad de 1,092 Kg/cm² y Módulo de cortante de 387 Kg/cm². La amplificación de los movimientos telúricos en este estrato es importante.

XIII.2.2.3).- Subyaciendo al paquete anterior a partir de los 3.60 m de profundidad y con espesor constante de 19.80 m, se presenta arena fina a media poco limosa con algunas gravas (SM) de compacidad media a densa, color café grisáceo, número de golpes de 37 a mayor de 50, peso volumétrico de 1.757 Ton/m³, resistividades de 14 a 76 Ohm-m, velocidad longitudinal de 1010 m/s y velocidad transversal de 266 m/s. Estos materiales geológicamente corresponden con la zona compacta del Delta Antiguo con Coeficiente de Poisson de 0.46, Módulo de elasticidad de 3,707 Kg/cm² y Módulo de cortante de 1,267Kg/cm². La amplificación de los movimientos telúricos en este paquete es significativa.

XIII.2.2.4).- De 23.40 a 76.00 m de profundidad, se presentan gravas angulosas y redondeadas empacadas en arena fina a media poco limosa (GP-GM) de compacidad muy densa, color café grisáceo, con número de golpes a la penetración estándar mayor de 50, peso volumétrico de 2.20 Ton/m³, resistividad de 17 Ohm-m, velocidad longitudinal de 2057 m/s y velocidad transversal de 440 m/s. Este paquete geológicamente corresponden con la zona muy compacta del Delta Antiguo con Coeficiente de Poisson de 0.48, Módulo de elasticidad de 12,817 Kg/cm² y Módulo de cortante de 4,342 Kg/cm²; parámetros que corresponden con su alta rigidez dinámica y con repercusión importante en el esquema de diseño sísmico por su potente espesor. La amplificación de los movimientos telúricos que produce este paquete es media.

XIII.2.2.5).- Por último, a partir de los 76 m de profundidad y con espesor indefinido, se presenta un paquete con resistividad de 5 Ohm-m, presumiblemente conformado por areniscas, limolitas, tobas, conglomerados, brechas dacíticas y esporádicos lentes de caliza de consistencia muy dura pertenecientes al Miembro La Unión (KapaAr-Cz), que aflora en las

Figura 84 Información de mecánica de suelos para la definición del espectro

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Enseguida se muestra la hoja de cálculo donde se define el espectro con los datos mencionados anteriormente.

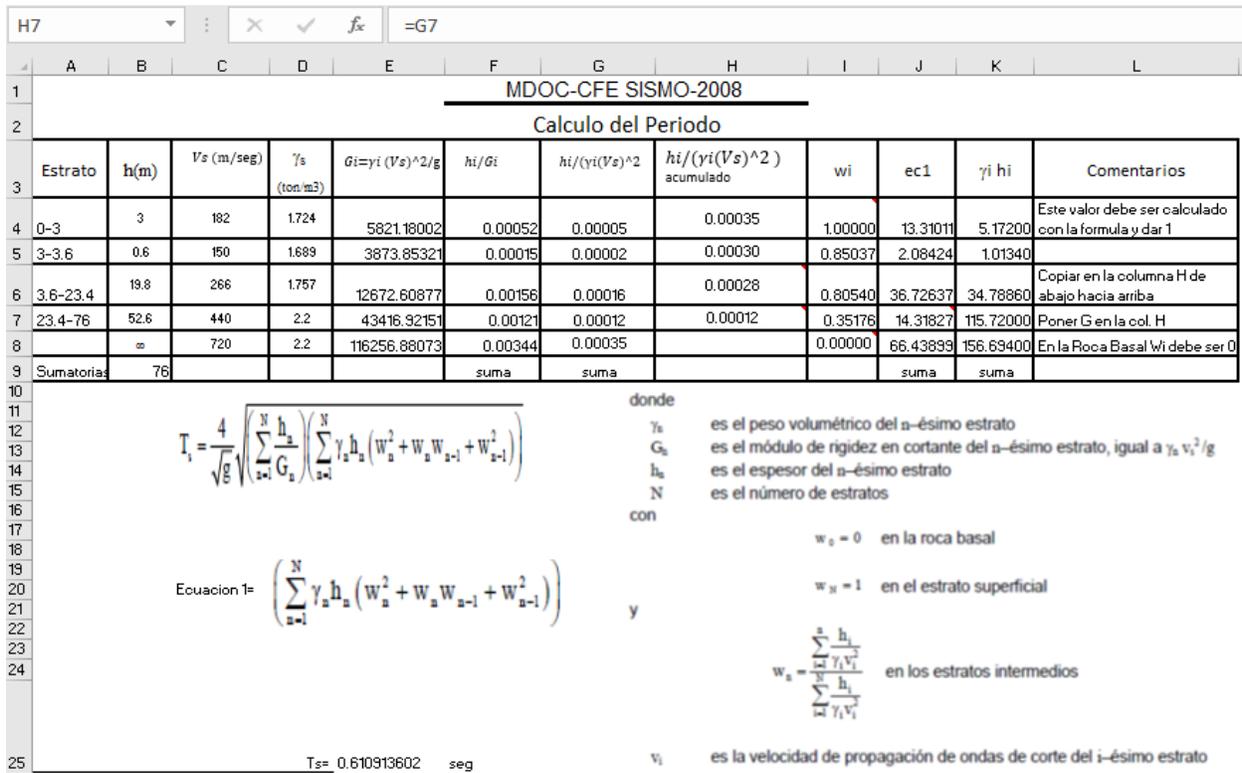


Figura 85 Cálculo del periodo del suelo

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

26			factor de sitio	
27		f_{sd}	0.55404845	X
28		P_s	0.6477052	y
29	x_j	0.5	x_{j+1}	1
30	y_i	0.625	y_{i+1}	1
31				
32			d_x	0.1081
33			d_y	0.0605
34				
35	$F_{i+1,j}$	1	$F_{i+1,j+1}$	1
36	$F_{i,j}$	1	$F_{i,j+1}$	1
37				
38				
39		F_s		1
40				

$$F_s = \frac{a_0}{a_0^r}$$

Tabla 1.2. Factores de sitio F_s .

f_{sd} \ P_s	0.00	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00	3.00
1.000	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.625	1.00	1.08	1.23	1.12	1.00	1.00	1.00	1.00
0.250	1.00	1.18	1.98	1.60	1.40	1.12	1.00	1.00
0.125	1.00	1.20	2.64	2.01	1.69	1.32	1.00	1.00
0.000	1.00	1.22	4.51	3.17	2.38	1.75	1.19	1.00

Para terreno rocoso $F_s = 1.0$.

Figura 86 Cálculo del factor de sitio

42			factor de Respuesta	
43		T_s	0.6109136	X
44		P_s	0.6477052	y
45	x_j	0.5	x_{j+1}	1
46	y_i	0.625	y_{i+1}	1
47				
48			d_x	0.2218
49			d_y	0.0605
50				
51	$F_{i+1,j}$	2.5	$F_{i+1,j+1}$	2.5
52	$F_{i,j}$	3.26	$F_{i,j+1}$	2.81
53				
54		F_r	3.12020584	

Tabla 1.3. Factores de respuesta F_r .

T_s \ P_s	0.00	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00	3.00
1.000	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
0.625	2.5	3.80	3.74	3.57	3.26	2.81	2.56	2.51
0.250	2.5	4.36	4.41	4.27	3.45	2.85	2.59	2.53
0.125	2.5	4.74	4.91	4.90	3.70	3.06	2.75	2.65
0.000	2.5	5.27	5.66	6.02	4.81	4.05	3.58	3.40

Figura 87 Cálculo del factor de respuesta

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
56			factor de no linealidad								
57		Fd	0.8225	X							
58		Ps=	0.6477052	y							
59	xj=	0.75	xj+1								
60	yi	0.625	yi+1								
61											
62											
63			dx								0.29
64			dy								0.0605
65											
66	Fi+1,j=	0.75	Fi+1,j+1=								0.71
67	Fij=	0.71	Fij+1=								0.68
68											
69		F'nl=	0.7035463								

Tabla 1.4. Factores F'_d para la determinación de $F_{d\pm}$ para suelos granulares.

$F_d \backslash P_s$	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.75	1.00
1.000	1.00	0.97	0.93	0.90	0.86	0.83	0.75	0.71
0.625	1.00	0.95	0.91	0.89	0.85	0.82	0.71	0.68
0.250	1.00	0.93	0.87	0.82	0.77	0.73	0.63	0.56
0.125	1.00	0.92	0.84	0.75	0.67	0.64	0.58	0.53
0.000	1.00	0.90	0.78	0.66	0.58	0.54	0.53	0.50

Figura 88 Cálculo del factor de no linealidad

72			factor de velocidad								
73		Fd	0.8225	X							
74		Ps=	0.6477052	y							
75	xj=	0.75	xj+1								
76	yi	0.625	yi+1								
77											
78											
79			dx								0.29
80			dy								0.0605
81											
82	Fi+1,j=	0.95	Fi+1,j+1=								0.95
83	Fij=	0.89	Fij+1=								0.89
84											
85		F'v=	0.89363283								

Tabla 1.6. Factores F'_v para la determinación de $F_{v\pm}$ para suelos granulares.

$F_d \backslash P_s$	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.75	1.00
1.000	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	0.95
0.625	1.00	0.98	0.97	0.93	0.90	0.89	0.89	0.89
0.250	1.00	0.97	0.93	0.86	0.81	0.79	0.79	0.79
0.125	1.00	0.97	0.92	0.85	0.80	0.78	0.78	0.78
0.000	1.00	0.97	0.92	0.85	0.80	0.78	0.78	0.78

Figura 89 Cálculo del factor de velocidad

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Parametro	Formula	Valor	Prueba Logica	Ecuacion	Pagina	Comentarios
Velocidad efectiva del deposito	$v_s = \frac{4H_s}{T_s}$	497.62		1.5	24	
Aceleracion en Roca(gals)	a_0^r	329.00			25	Se obtiene con el programa PRODISIS, de acuerdo a las coordenadas del sitio
Aceleracion de Referencia	a ref. (cm/s ²)	400.00		1.6	25	
Factor de Distancia	$F_d = \frac{a_0^r}{a_{ref}}$; $F_d \leq 1$	0.823	si (a ₀ ^r /a _{ref}) > 1, 1, (a ₀ ^r /a _{ref})	1.6	25	
	$f_{sd} = T_s \sqrt{F_d}$	0.55				
Espesor del Estrato Equivalente	H _s =	76.00				
Peso Volumetrico del Estrato Equivalente	$\gamma_s = \frac{\sum_{i=1}^N \gamma_i h_i}{H_s}$	2.06			25	Se determina como el promedio de los pesos volumetricos de los estratos pesados por el espesor de cada uno de ellos
Contraste de Impedancia Mecanica	$p_s = \gamma_s v_s / \gamma_0 v_0$	0.65			25	
Factor de Sitio	F _s =	1.00		1.7	25	Ver la interpolacion
Factor de Respuesta	F _r =	3.12		1.8	26	Ver la interpolacion
Periodo de Referencia	T _{ref} =	1.50		1.9	27	T _{ref} es un periodo de referencia igual a 1.5 s
	F _n '=	0.70			27	Ver la interpolacion
	F _v '=	0.89				

Figura 90 Cálculo de parámetros para definir el espectro de diseño parte 1/3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Factor no Lineal	$F_{nl}=1-(1-F'_{nl})T_s/T_{ref}$ si $T_s < \sigma' = T_{ref}$		si($T_s > T_{ref}, F'_{nl}, 1-(1-F'_{nl})T_s/T_{ref}$)	1.9	27	
	$F_{nl}=F'_{nl}$ si $T_s > T_{ref}$	0.88				
Factor de Velocidad	$F_v=1-(1-F'_{v})T_s/T_{ref}$ si $T_s \leq T_{ref}$	0.96	si($T_s > T_{ref}, F'_{v}, 1-(1-F'_{v})T_s/T_{ref}$)	1.10	27	
	$F_v=F'_{v}$ si $T_s > T_{ref}$					
Velocidad equivalente	$V'_s=F_v V_s$	476.06		1.11	28	
	$F_s F_{nl} =$			1.13	29	
Aceleracion maxima del Terreno	$a_0 = \frac{F_s F_{nl} a_0^r}{981.0}$; con $F_s, F_{nl} \geq 1.0$	0.34	si($F_s F_{nl} > 1, F_s F_{nl} a_0^r/981, a_0^r/981$)	1.13	29	
Coefficiente Sismico	$\sigma = F_r a_0$	1.05		1.14	29	
	$T'_s = T_s/F_v$	0.64				
Periodo donde inicia la Meseta	$T_a = 0.35 T'_s$; $T_a > \sigma' = 0.1$	0.22	si($0.35 T'_s > 0.1, 0.35 T'_s, 0.1$)	1.15	29	
Periodo donde termina la Meseta	$T_b = 1.2 T'_s$; $T_s > \sigma' = 0.6$	0.77	si($1.2 T'_s > 0.6, 1.2 T'_s, 0.6$)	1.16	29	
T_c	$T_c = 2s$ si $T_b < 2s$	2.00	si($T_b < 2, 2, T_b$)	1.12	29	Es el periodo de inicio de la rama descendente en que los desplazamientos espectrales tienden correctamente al desplazamiento del terreno
	$T_c = T_b$ si $T_b \geq 2s$					
Parametro que controla la curva T_c	$r = (0.5 \leq r \leq 1.0)$.	0.61	si($T_s < 0.5, 0.5, si(T_s > 1, 1, T_s)$)	1.12	29	
Amortiguamiento	$\zeta =$	0.05		1.19	30	Porcentaje se da a consentimiento

Figura 91 Cálculo de parámetros para definir el espectro de diseño parte 2/3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Parametro	Formula		Prueba Logica	Ecuacion	Pagina	Comentarios
λ	$\lambda=0.45$ si $T_e < T_c$	0.45	si $(T_e < T_c, 0.45, 0.45 T_c / T_e)$	1.19	30	Factor para determinar el factor de amortiguamiento β
	$\lambda=0.45 T_c / T_e$ si $T_e \geq T_c$					
β	$\beta = \left(\frac{0.05}{\zeta_c} \right)^k$	1.00		1.19	29	Factor de amortiguamiento
k	$k = \begin{cases} \min(1.5, 2 - T_s) & \text{si } T_s \leq 1.65 \text{ s} \\ \max(0.35, \beta / F_s) & \text{si } T_s > 1.65 \text{ s} \end{cases}$	1.39	si $(T_s > 1.65, \max(0.35, \beta / F_s), \min(1.5, 2 - T_s))$	1.18	29	parametro que controla la caída de la rama descendente del espectro a periodo largo
Rama 1	$\beta_c + (\beta_c - \beta_b) \frac{T_b}{T_s}$ si $T_s < T_b$			1.12	29	
Rama 2	β_c si $T_b \leq T_e < T_b$			1.12	29	
Rama 3	$\beta_c \left(\frac{T_b}{T_e} \right)^r$ si $T_b \leq T_e \leq T_c$			1.12	29	El valor obtenido corresponde a $T_e = 0.01$ para $T_e = 0$ da division por cero excluido
Rama 4	$\beta_c \left(\frac{T_b}{T_e} \right)^r \left[k + (1-k) \left(\frac{T_s}{T_e} \right) \right] \left(\frac{T_s}{T_e} \right)^2$ si $T_s \geq T_e$			1.12	29	El valor obtenido corresponde a $T_e = 0.01$ para $T_e = 0$ da division por cero excluido
$a(\beta)$			si $(T_e < T_a, \text{rama1}, \text{si}(T_e < T_b, \beta_c, \text{si}(T_e < T_c, \text{rama3}, \text{rama4})))$	1.12	29	Aceleracion espectral
$a(5\%)$						
ρ	$\rho = k + (1-k)(T_b/T_e)^p$ si $T_e > T_b$		si $(T_e > T_b, k + (1-k)(T_b/T_e)^p, 1)$	2.2	42	Parametro que define la variacion del espectro en la rama descendente
Q'	$\begin{cases} 1 + (Q-1) \sqrt{\frac{\beta_c T_e}{k T_b}} & \text{si } T_e \leq T_b \\ 1 + (Q-1) \sqrt{\frac{\beta_c}{k}} & \text{si } T_e > T_b \end{cases}$		si $(T_e > T_b, 1 + (Q-1) \text{raiz}(\beta_c/k), 1 + (Q-1) \text{raiz}(\beta_c/k)(T_e/T_b))$	2.1	42	Factor reductor por ductilidad
R	$R = \begin{cases} R_0 + 0.5(1 - \sqrt{T_e/T_s}) & \text{si } T_e \leq T_s \\ R_0 & \text{si } T_e > T_s \end{cases}$		si $(T_e > T_a, R_0, R_0 + 0.5(1 - \text{raiz}(T_e/T_a))$	3.1	53	Factor de Sobrerresistencia
a'	$a' = \frac{a(\beta)}{Q' R \rho}$			3.3	55	Aceleracion Espectral reducida
A_{cd}	$A_{cd} = 0.8 + \frac{1}{2 + 5 \left 2 \frac{T_s}{T_b} - 1 \right ^p}$			3.2	54	Factor de Comportamiento Degradante
a'	$a' = \frac{a(\beta) A_{cd}}{Q' R \rho}$			3.4	55	Aceleracion Espectral reducida incluyendo el comportamiento degradante

Figura 92 Cálculo de parámetros para definir el espectro de diseño parte 3/3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

$$a = \frac{S_a(T_e)}{g} = \begin{cases} a_0 + (\beta_c - a_0) \frac{T_e}{T_a} & \text{si } T_e < T_a \\ \beta_c & \text{si } T_a \leq T_e < T_b \\ \beta_c \left(\frac{T_b}{T_e} \right)^r & \text{si } T_b \leq T_e < T_c \\ \beta_c \left(\frac{T_b}{T_c} \right)^r \left[k + (1-k) \left(\frac{T_c}{T_e} \right)^2 \right] \left(\frac{T_c}{T_e} \right)^2 & \text{si } T_e \geq T_c \end{cases}$$

Figura 93 Fórmulas para calcular el espectro de diseño MDOC DS 2008 CFE

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI
76														
77		Ductilidad		Sobrerresistencia		Redundancia		Irregularidad						
78		Q=	2	Ro=	2	P=	1.25	a=	0.9					
79								Espectro Elastico				Espectro Inelastico		
80														
81	Te	l	b	k	Rama1	Rama3	Rama4	a(b)	p	Q'	R	a_{dir}^{dir}	Accl	$a_{dir}^{dir}Accl$
82	0	0.45	1.0	1.39	0.34	#DIV/0!	#DIV/0!	0.335	1	1	2.5	0.119	0.943	0.112
83	0.01	0.45	1.0	1.39	0.37	14.82	-362501017.72	0.367	1.000	1.011	2.394	0.135	0.960	0.129
84	0.02	0.45	1.0	1.39	0.40	9.71	-22650246.63	0.399	1.000	1.022	2.350	0.148	0.980	0.145
85	0.03	0.45	1.0	1.39	0.43	7.58	-4472125.43	0.431	1.000	1.033	2.317	0.160	1.001	0.160
86	0.04	0.45	1.0	1.39	0.46	6.35	-1414123.67	0.463	1.000	1.044	2.288	0.172	1.023	0.176
87	0.05	0.45	1.0	1.39	0.49	5.55	-578759.11	0.494	1.000	1.055	2.264	0.184	1.047	0.193
88	0.06	0.45	1.0	1.39	0.53	4.96	-278833.73	0.526	1.000	1.066	2.241	0.196	1.072	0.210
89	0.07	0.45	1.0	1.39	0.56	4.51	-150332.31	0.558	1.000	1.078	2.220	0.207	1.098	0.228
90	0.08	0.45	1.0	1.39	0.59	4.16	-88003.54	0.590	1.000	1.089	2.201	0.219	1.123	0.246
91	0.09	0.45	1.0	1.39	0.62	3.87	-54856.34	0.622	1.000	1.100	2.183	0.230	1.148	0.264
92	0.1	0.45	1.0	1.39	0.65	3.63	-278833.77	0.654	1.000	1.111	2.166	0.242	1.172	0.283
93	0.11	0.45	1.0	1.39	0.69	3.43	-24494.10	0.685	1.000	1.122	2.149	0.253	1.194	0.302
94	0.12	0.45	1.0	1.39	0.72	3.25	-17258.58	0.717	1.000	1.133	2.134	0.264	1.215	0.320
95	0.13	0.45	1.0	1.39	0.75	3.09	-12501.84	0.749	1.000	1.144	2.119	0.275	1.232	0.339
96	0.14	0.45	1.0	1.39	0.78	2.96	-9271.95	0.781	1.000	1.155	2.104	0.286	1.248	0.356
97	0.15	0.45	1.0	1.39	0.81	2.83	-7017.34	0.813	1.000	1.166	2.090	0.296	1.261	0.374
98	0.16	0.45	1.0	1.39	0.84	2.72	-5405.42	0.844	1.000	1.177	2.077	0.307	1.271	0.390
99	0.17	0.45	1.0	1.39	0.88	2.63	-4228.66	0.876	1.000	1.188	2.064	0.318	1.279	0.406
100	0.18	0.45	1.0	1.39	0.91	2.54	-3353.62	0.908	1.000	1.199	2.051	0.328	1.286	0.422
101	0.19	0.45	1.0	1.39	0.94	2.45	-2692.22	0.940	1.000	1.210	2.039	0.339	1.291	0.437
102	0.2	0.45	1.0	1.39	0.97	2.38	-2184.94	0.972	1.000	1.221	2.027	0.349	1.294	0.451
103	0.21	0.45	1.0	1.39	1.00	2.31	-1790.73	1.003	1.000	1.233	2.015	0.359	1.296	0.465
104	0.22	0.45	1.0	1.39	1.04	2.24	-1480.74	1.035	1.000	1.244	2.004	0.369	1.298	0.479
105	0.23	0.45	1.0	1.39	1.07	2.18	-1234.33	1.046	1.000	1.255	2.000	0.371	1.299	0.481
106	0.24	0.45	1.0	1.39	1.10	2.13	-1036.53	1.046	1.000	1.266	2.000	0.367	1.299	0.477
107	0.25	0.45	1.0	1.39	1.13	2.07	-876.31	1.046	1.000	1.277	2.000	0.364	1.300	0.473
108	0.26	0.45	1.0	1.39	1.16	2.03	-745.47	1.046	1.000	1.288	2.000	0.361	1.300	0.469
109	0.27	0.45	1.0	1.39	1.19	1.98	-637.78	1.046	1.000	1.299	2.000	0.358	1.300	0.465
110	0.28	0.45	1.0	1.39	1.23	1.94	-548.54	1.046	1.000	1.310	2.000	0.355	1.300	0.462
111	0.29	0.45	1.0	1.39	1.26	1.89	-474.10	1.046	1.000	1.321	2.000	0.352	1.300	0.458
112	0.3	0.45	1.0	1.39	1.29	1.86	-411.62	1.046	1.000	1.332	2.000	0.349	1.300	0.454
113	0.31	0.45	1.0	1.39	1.32	1.82	-358.89	1.046	1.000	1.343	2.000	0.346	1.300	0.450
114	0.32	0.45	1.0	1.39	1.35	1.78	-314.14	1.046	1.000	1.354	2.000	0.343	1.300	0.446
115	0.33	0.45	1.0	1.39	1.39	1.75	-275.98	1.046	1.000	1.365	2.000	0.341	1.300	0.443
116	0.34	0.45	1.0	1.39	1.42	1.72	-243.30	1.046	1.000	1.376	2.000	0.338	1.300	0.439
117	0.35	0.45	1.0	1.39	1.45	1.69	-215.17	1.046	1.000	1.388	2.000	0.335	1.300	0.436
118	0.36	0.45	1.0	1.39	1.48	1.66	-190.88	1.046	1.000	1.399	2.000	0.333	1.300	0.432
119	0.37	0.45	1.0	1.39	1.51	1.63	-169.80	1.046	1.000	1.410	2.000	0.330	1.299	0.429
120	0.38	0.45	1.0	1.39	1.54	1.61	-151.46	1.046	1.000	1.421	2.000	0.327	1.299	0.425
121	0.39	0.45	1.0	1.39	1.58	1.58	-135.43	1.046	1.000	1.432	2.000	0.325	1.298	0.422
122	0.4	0.45	1.0	1.39	1.61	1.56	-121.39	1.046	1.000	1.443	2.000	0.322	1.296	0.418

Figura 94 Resultados obtenidos para el espectro elástico e inelástico parte 1/2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI
121	0.39	0.45	1.0	1.39	1.58	1.58	-135.43	1.046	1.000	1.432	2.000	0.325	1.298	0.422
122	0.4	0.45	1.0	1.39	1.61	1.56	-121.39	1.046	1.000	1.443	2.000	0.322	1.296	0.418
123	0.41	0.45	1.0	1.39	1.64	1.53	-109.05	1.046	1.000	1.454	2.000	0.320	1.294	0.414
124	0.42	0.45	1.0	1.39	1.67	1.51	-98.16	1.046	1.000	1.465	2.000	0.317	1.291	0.410
125	0.43	0.45	1.0	1.39	1.70	1.49	-88.54	1.046	1.000	1.476	2.000	0.315	1.286	0.405
126	0.44	0.45	1.0	1.39	1.74	1.47	-80.01	1.046	1.000	1.487	2.000	0.313	1.280	0.400
127	0.45	0.45	1.0	1.39	1.77	1.45	-72.43	1.046	1.000	1.498	2.000	0.310	1.272	0.395
128	0.46	0.45	1.0	1.39	1.80	1.43	-65.68	1.046	1.000	1.509	2.000	0.308	1.262	0.389
129	0.47	0.45	1.0	1.39	1.83	1.41	-59.65	1.046	1.000	1.520	2.000	0.306	1.249	0.382
130	0.48	0.45	1.0	1.39	1.86	1.39	-54.25	1.046	1.000	1.531	2.000	0.304	1.234	0.375
131	0.49	0.45	1.0	1.39	1.89	1.38	-49.41	1.046	1.000	1.543	2.000	0.302	1.216	0.367
132	0.5	0.45	1.0	1.39	1.93	1.36	-45.06	1.046	1.000	1.554	2.000	0.299	1.196	0.358
133	0.51	0.45	1.0	1.39	1.96	1.34	-41.15	1.046	1.000	1.565	2.000	0.297	1.174	0.349
134	0.52	0.45	1.0	1.39	1.99	1.33	-37.62	1.046	1.000	1.576	2.000	0.295	1.150	0.340
135	0.53	0.45	1.0	1.39	2.02	1.31	-34.43	1.046	1.000	1.587	2.000	0.293	1.125	0.330
136	0.54	0.45	1.0	1.39	2.05	1.30	-31.54	1.046	1.000	1.598	2.000	0.291	1.100	0.320
137	0.55	0.45	1.0	1.39	2.09	1.28	-28.92	1.046	1.000	1.609	2.000	0.289	1.074	0.311
138	0.56	0.45	1.0	1.39	2.12	1.27	-26.55	1.046	1.000	1.620	2.000	0.287	1.049	0.301
139	0.57	0.45	1.0	1.39	2.15	1.25	-24.38	1.046	1.000	1.631	2.000	0.285	1.025	0.292
140	0.58	0.45	1.0	1.39	2.18	1.24	-22.42	1.046	1.000	1.642	2.000	0.283	1.003	0.284
141	0.59	0.45	1.0	1.39	2.21	1.23	-20.62	1.046	1.000	1.653	2.000	0.281	0.982	0.276
142	0.6	0.45	1.0	1.39	2.24	1.22	-18.99	1.046	1.000	1.664	2.000	0.279	0.962	0.269
143	0.61	0.45	1.0	1.39	2.28	1.20	-17.49	1.046	1.000	1.675	2.000	0.278	0.944	0.262
144	0.62	0.45	1.0	1.39	2.31	1.19	-16.12	1.046	1.000	1.686	2.000	0.276	0.928	0.256
145	0.63	0.45	1.0	1.39	2.34	1.18	-14.86	1.046	1.000	1.698	2.000	0.274	0.914	0.250
146	0.64	0.45	1.0	1.39	2.37	1.17	-13.71	1.046	1.000	1.709	2.000	0.272	0.901	0.245
147	0.65	0.45	1.0	1.39	2.40	1.16	-12.65	1.046	1.000	1.720	2.000	0.270	0.890	0.241
148	0.66	0.45	1.0	1.39	2.44	1.15	-11.68	1.046	1.000	1.731	2.000	0.269	0.880	0.236
149	0.67	0.45	1.0	1.39	2.47	1.14	-10.78	1.046	1.000	1.742	2.000	0.267	0.871	0.233
150	0.68	0.45	1.0	1.39	2.50	1.13	-9.96	1.046	1.000	1.753	2.000	0.265	0.863	0.229
151	0.69	0.45	1.0	1.39	2.53	1.12	-9.20	1.046	1.000	1.764	2.000	0.264	0.856	0.226
152	0.7	0.45	1.0	1.39	2.56	1.11	-8.50	1.046	1.000	1.775	2.000	0.262	0.850	0.223
153	0.71	0.45	1.0	1.39	2.59	1.10	-7.85	1.046	1.000	1.786	2.000	0.260	0.845	0.220
154	0.72	0.45	1.0	1.39	2.63	1.09	-7.25	1.046	1.000	1.797	2.000	0.259	0.840	0.217
155	0.73	0.45	1.0	1.39	2.66	1.08	-6.69	1.046	1.000	1.808	2.000	0.257	0.836	0.215
156	0.74	0.45	1.0	1.39	2.69	1.07	-6.18	1.046	1.000	1.819	2.000	0.256	0.832	0.213
157	0.75	0.45	1.0	1.39	2.72	1.06	-5.71	1.046	1.000	1.830	2.000	0.254	0.829	0.211
158	0.76	0.45	1.0	1.39	2.75	1.05	-5.26	1.046	1.000	1.842	2.000	0.253	0.826	0.209
159	0.77	0.45	1.0	1.39	2.79	1.04	-4.86	1.043	1.004	1.850	2.000	0.251	0.823	0.206
160	0.78	0.45	1.0	1.39	2.82	1.04	-4.48	1.035	1.014	1.854	2.000	0.248	0.821	0.204
161	0.79	0.45	1.0	1.39	2.85	1.03	-4.12	1.027	1.023	1.858	2.000	0.246	0.819	0.201
162	0.8	0.45	1.0	1.39	2.88	1.02	-3.80	1.019	1.032	1.862	2.000	0.243	0.817	0.199
163	0.81	0.45	1.0	1.39	2.91	1.01	-3.49	1.012	1.041	1.866	2.000	0.241	0.816	0.197
164	0.82	0.45	1.0	1.39	2.94	1.00	-3.21	1.004	1.049	1.869	2.000	0.239	0.814	0.194
165	0.83	0.45	1.0	1.39	2.98	1.00	-2.94	0.997	1.057	1.872	2.000	0.237	0.813	0.192
166	0.84	0.45	1.0	1.39	3.01	0.99	-2.70	0.989	1.065	1.876	2.000	0.234	0.812	0.190
167	0.85	0.45	1.0	1.39	3.04	0.98	-2.47	0.982	1.073	1.879	2.000	0.232	0.811	0.188
168	0.86	0.45	1.0	1.39	3.07	0.98	-2.25	0.975	1.080	1.882	2.000	0.230	0.810	0.187
169	0.87	0.45	1.0	1.39	3.10	0.97	-2.05	0.968	1.087	1.885	2.000	0.228	0.809	0.185
170	0.88	0.45	1.0	1.39	3.14	0.96	-1.87	0.962	1.094	1.887	2.000	0.226	0.808	0.183
171	0.89	0.45	1.0	1.39	3.17	0.96	-1.69	0.955	1.101	1.890	2.000	0.225	0.808	0.181
172	0.9	0.45	1.0	1.39	3.20	0.95	-1.53	0.949	1.107	1.893	2.000	0.223	0.807	0.180

Figura 95 Resultados obtenidos para el espectro elástico e inelástico parte 2/2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

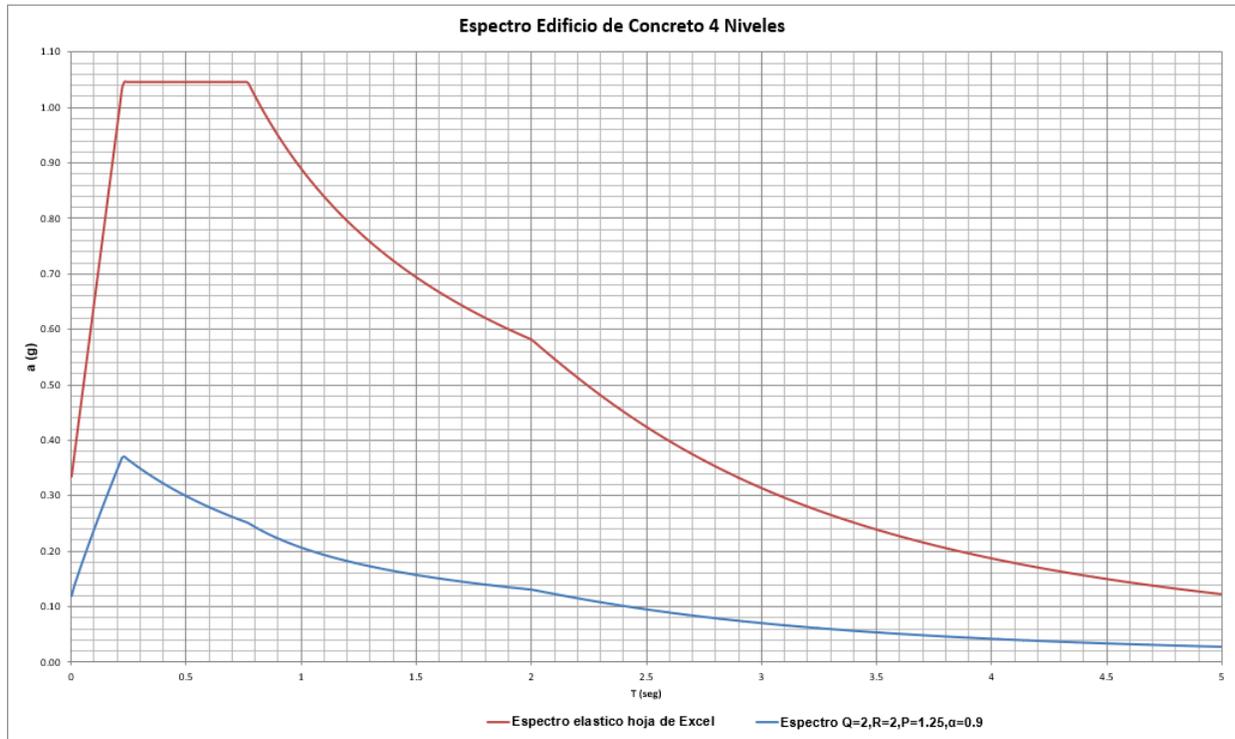


Figura 96 Gráfica del espectro elástico y reducido

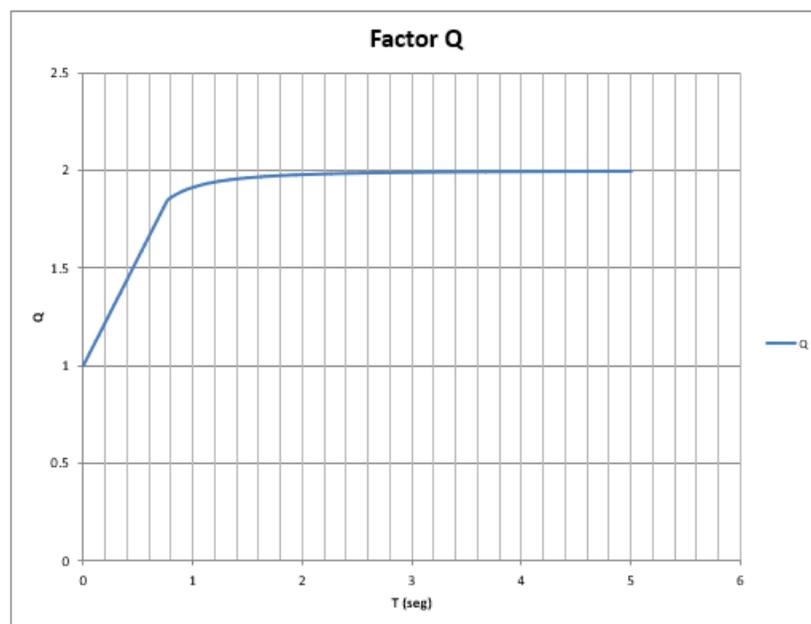


Figura 97 Gráfica del factor Q

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

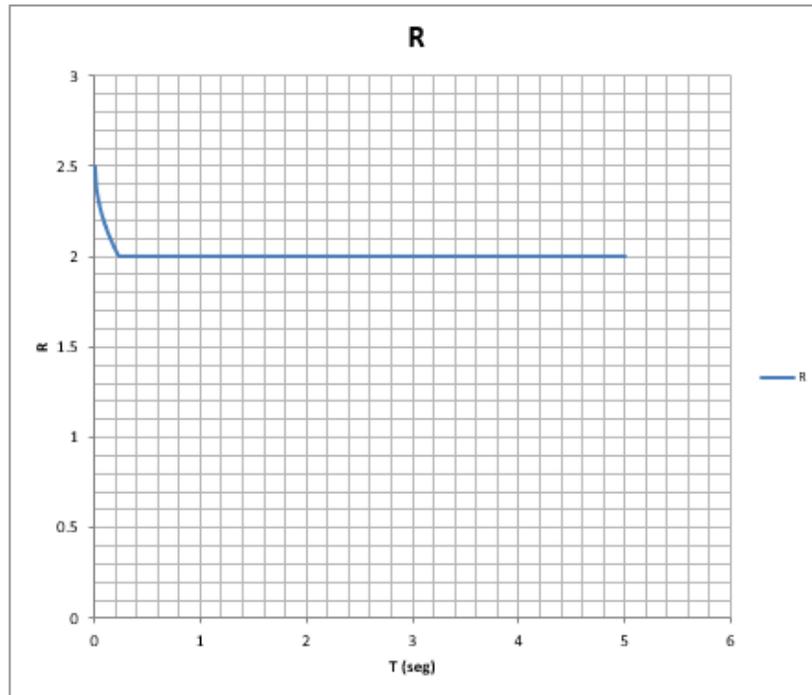


Figura 98 Gráfica del Factor R

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2.8.2.2 Comparación del espectro con el MDOC DS-2008 CFE y 2015

a). -Determinación del espectro con Prodisis 2008 (CFE, 2008).

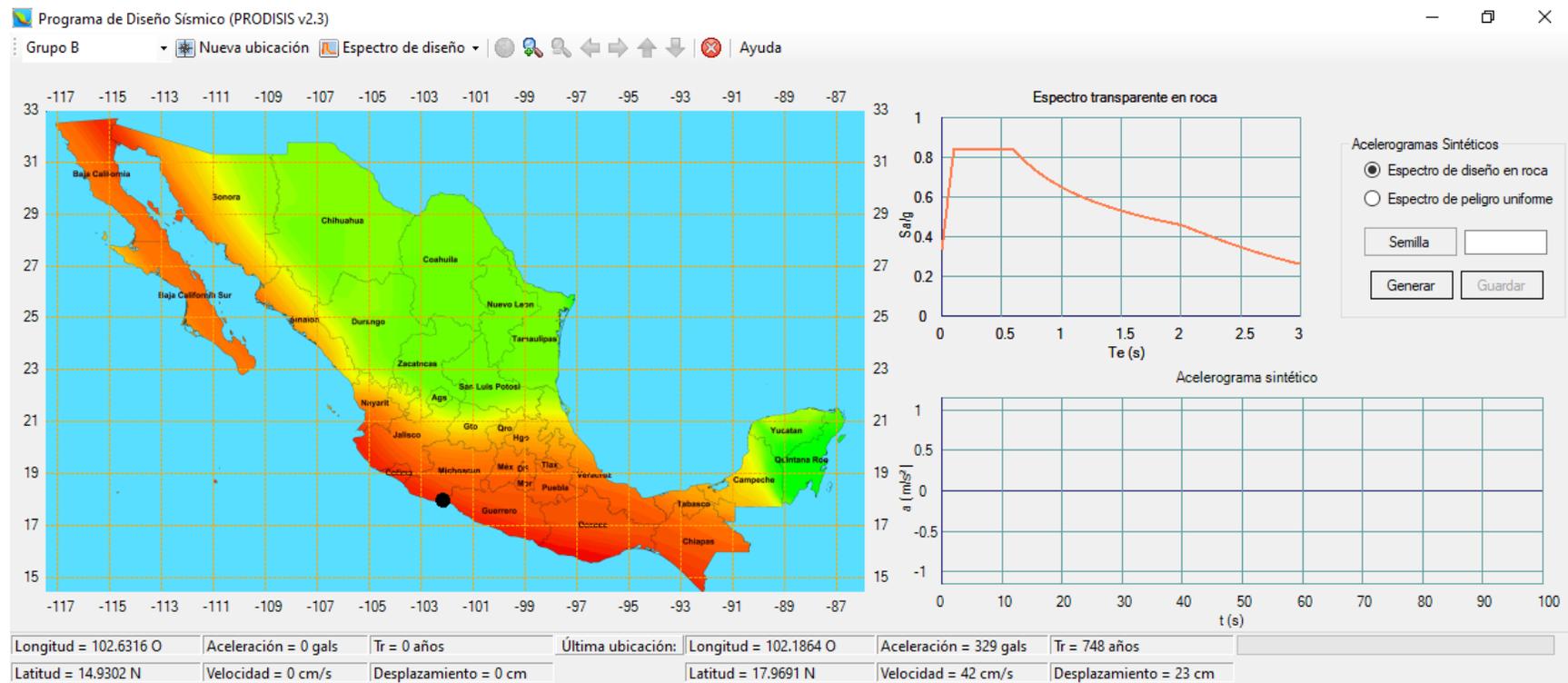


Figura 99 Coordenadas del sitio donde se ubicará el edificio

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Opciones ×

Estado límite y caracterización del terreno Te y ζ e efectivos Resumen Espectro

Estado límite

Servicio

Colapso

Roca basal

v0

ρ_0

Estratigrafía del suelo

Número de estratos Arenas

	h (m)	ρ (kg/m ³)	v (m/s)
2	0.60	1,689.00	150
3	19.80	1,757.00	266
▶ 4	52.60	2,200.00	440

Figura 100 Datos de mecánica de suelos para definir el espectro con Prodisis 2008

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Opciones

Estado límite y caracterización del terreno Te y ζ_e efectivos Resumen Espectro

Respuesta dinámica Ts = 0.61 s Vs = 498.36 m/s <input type="checkbox"/> M. Haskel (exacto)	Fact comp lineal p = 0.65 Fs = 1 Fr = 3.119	Espectro de diseño a0 = 0.336 g c = 1.048 g Ta = 0.214 s Tb = 0.735 s ζ_e = 5 % k = 1.39 β = 1
Fact terreno rocoso a0r = 0.336 g Fd = 0.823	Fact comp no lineal Fnl = 0.92 Fv = 0.996	

Aceptar Cancelar Aplicar

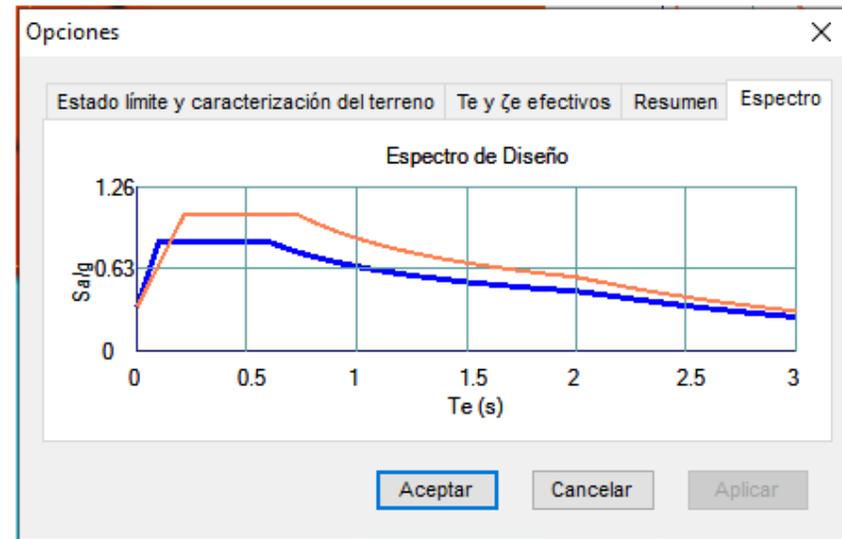


Figura 101 Resultados de espectro con Prodisis 2008

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

b). - Espectro con Prodisis 2015 (CFE, 2015).

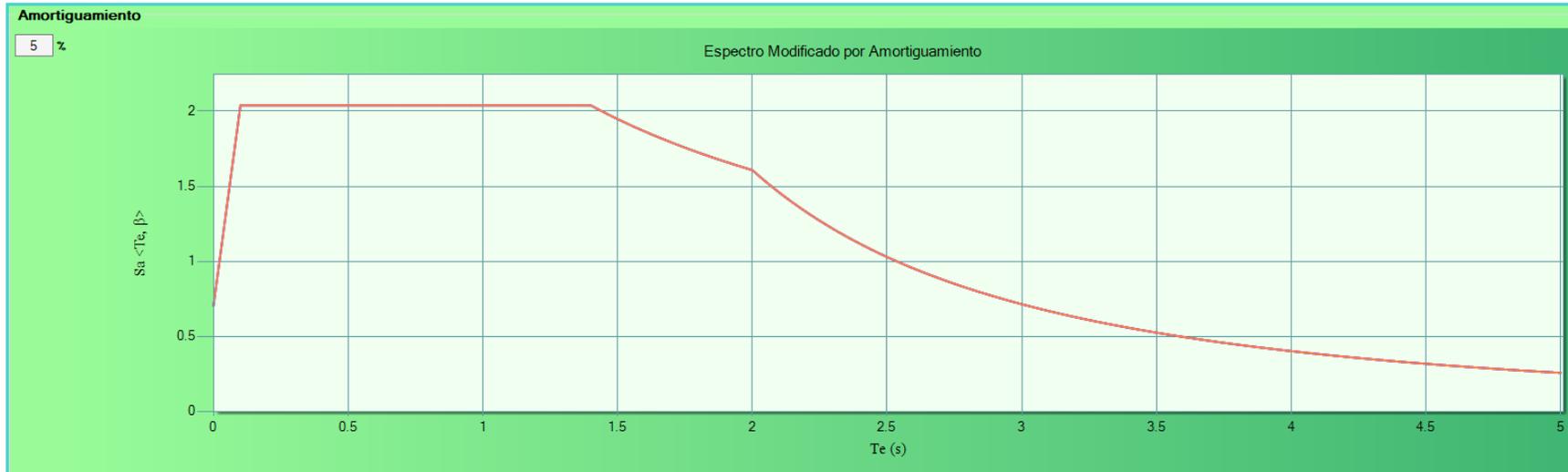


Figura 102 Espectro modificado por amortiguamiento prodisis 2015

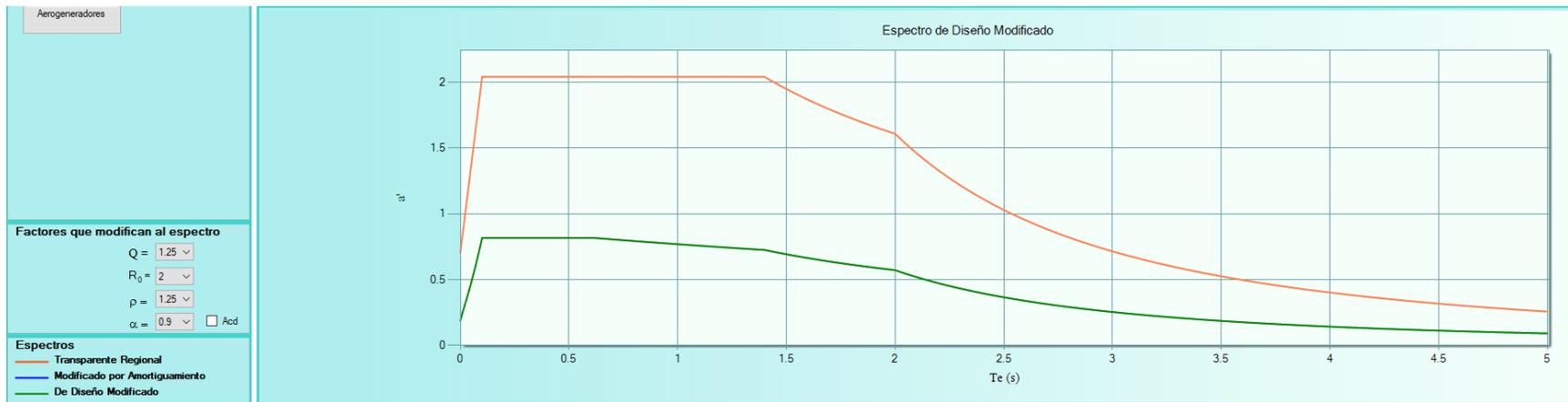


Figura 103 Espectro de diseño modificado prodisis 2015

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

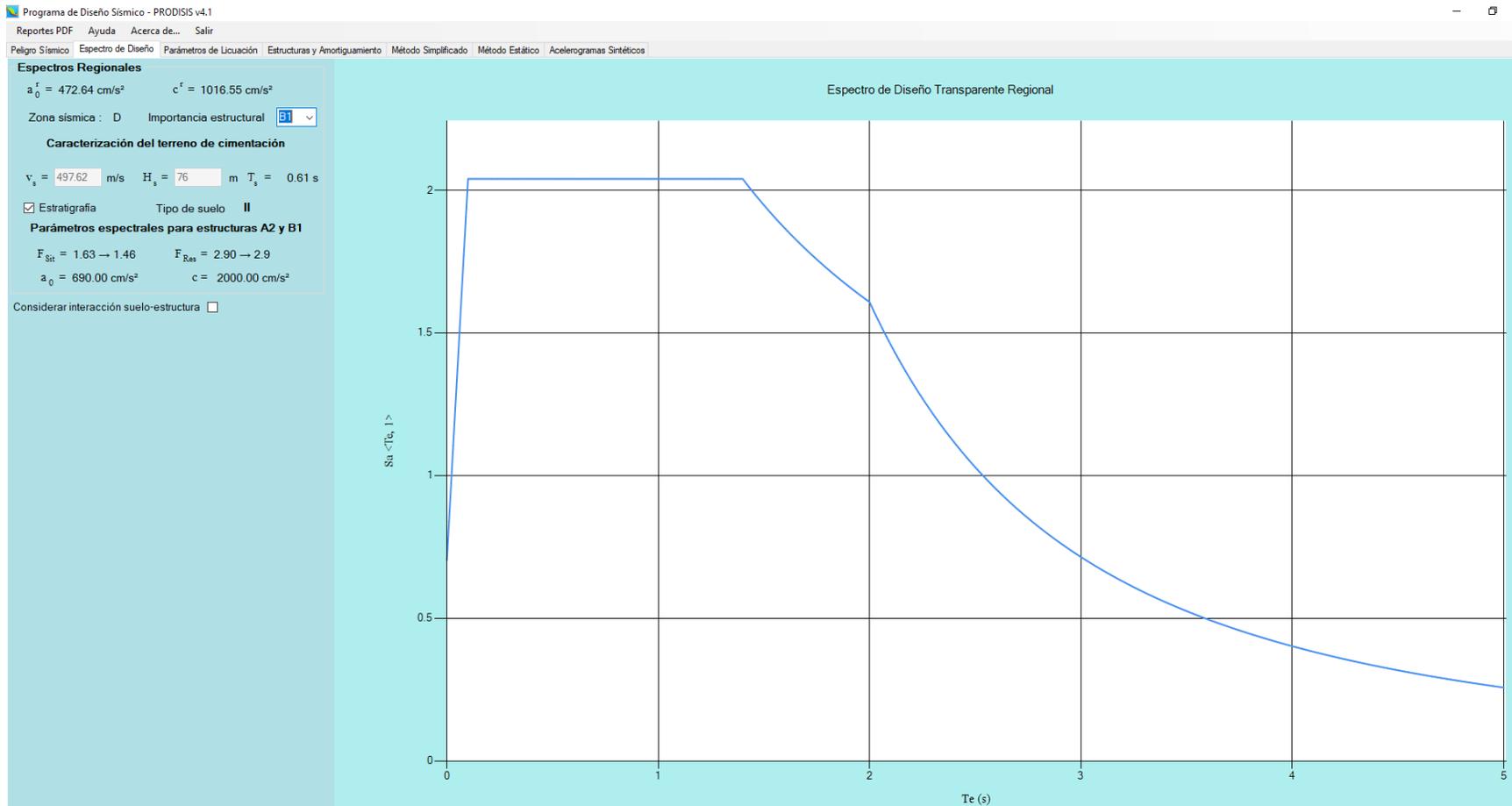


Figura 104 Espectro de diseño transparente regional prodisis 2015

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

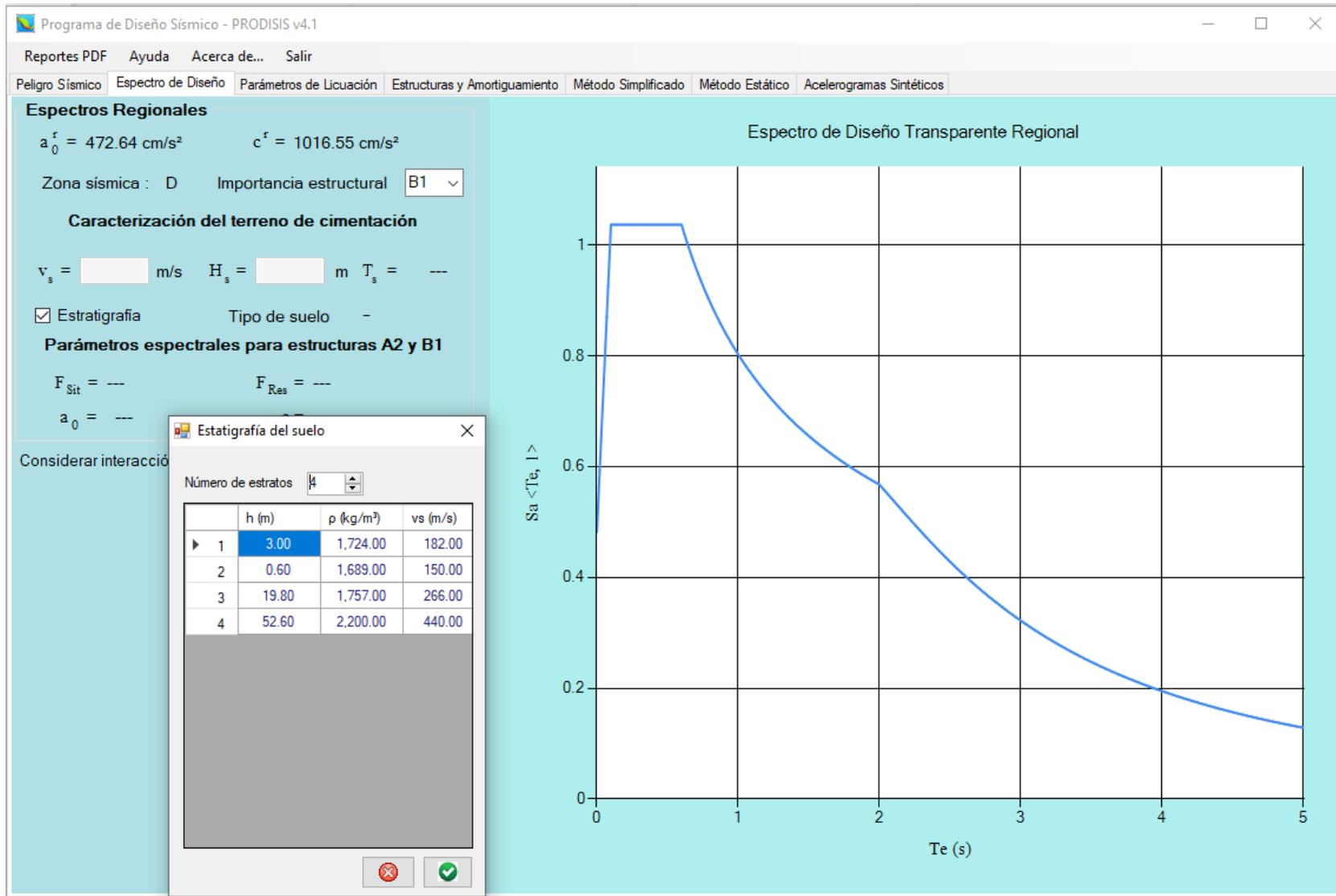


Figura 105 Espectro de diseño transparente regional prodisis 2015

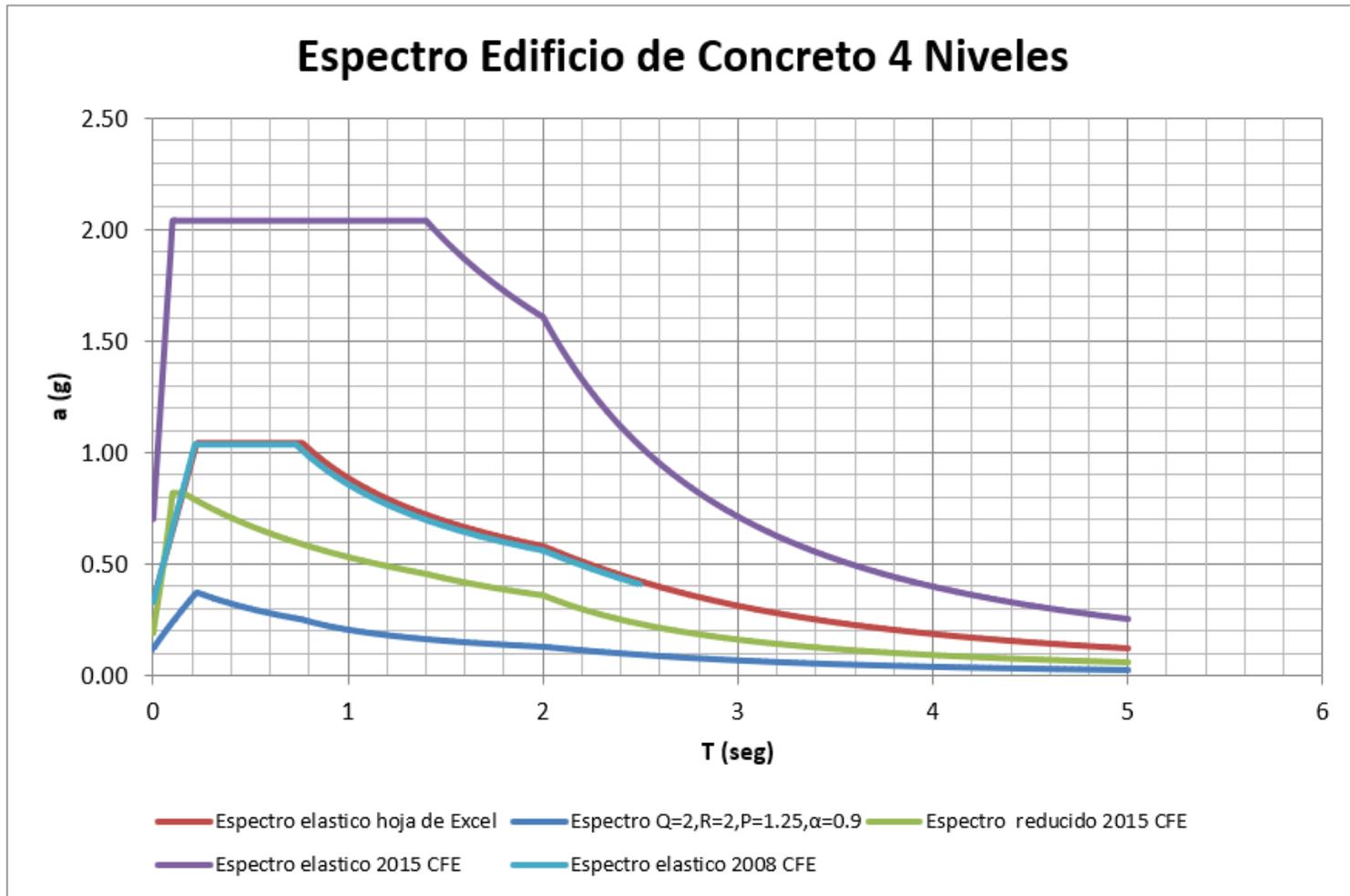


Figura 106 Comparación de espectro elástico 2008 con hoja de Excel (en hojas anteriores), Prodisis 2008 y 2015 de la CFE

Capítulo 3 SISMICIDAD LOCAL

3.1 Sismicidad en la República Mexicana

La siguiente información fue tomada de: (SMIE, 2021)

Los 8 sismos más catastróficos en la historia de México

Entre los sismos que se han documentado en este país, el de 1985 permanecerá en la memoria de los mexicanos, además de los del 2017 y 2019 que cobraron la vida de más de 470 personas.



Entre todos los sismos que se han documentado en este país, **el de 1985 es uno de los que permanecerá en la memoria de los mexicanos**. Sin embargo, antes y después de ese fenómeno natural que reveló la fragilidad en la que vivimos diariamente, se registraron otros. Aquí te decimos cuáles fueron:

¿Después de todo qué es el hombre en la naturaleza? Nada en relación con la infinidad, todo en relación a la nada. Un punto central entre la nada y el todo e infinitamente lejos de entender la diferencia entre estas dos posturas.

Blaise Pascal

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

México es un amplio laboratorio **sismológico**. **Tan sólo hasta agosto del 2021, el Servicio Sismológico Nacional reportó 1,969 sismos en la República Mexicana** con magnitud igual o superior a 3.5 grados en escala de Richter. Es decir que en este país se registran más de cuatro sismos por día dentro de ese rango de magnitud y 40 en total.

Así lo revela Víctor Manuel Cruz Atienza, investigador del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en su libro: *“Los sismos. Una amenaza cotidiana”*.

PUBLICIDAD

De los sismos más recientes destacan el del 7 y 19 de septiembre de 2017, de magnitud 8.2 y 7.1 respectivamente, que sacudieron el estado de Oaxaca y la Ciudad de México cobrando la vida de al menos 369 personas y derrumbando a 57 edificios en la capital y decenas de casas en Juchitán de Zaragoza y Guerrero.

De acuerdo con datos publicados por el especialista, en México los sismos no se distribuyen de manera homogénea, pues hay regiones en que las características del suelo no permiten que ocurran fenómenos naturales, en comparación con Guerrero, Oaxaca y Chiapas, en donde ocurren aproximadamente 80% de los terremotos.

PUBLICIDAD

En entrevista, Bernardo Gómez Pimienta, director de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Anáhuac platica: “Hablar de 1985 es hablar de la prehistoria en materia de arquitectura, pero no en historia. **Los sismos que han remecido a México han marcado su memoria no sólo cultural, también en educación y práctica al momento de construir un edificio**, cuestión que en la actualidad podemos apreciar en las nuevas construcciones y en las que se están desarrollando.”

Aquí los 8 sismos más devastadores en la historia de México:

1. El sismo más grande en México

Magnitud: 8.6

Fecha: 28 de marzo de 1787 (dos años antes del estallido de la Revolución Francesa)

Lugar: Costas de Oaxaca

Hora local: Cerca de las 11:00 horas

Daños: A este sismo también se le conoce como ‘El gran tsunami mexicano’, debido a que la ruptura provocó uno de los mayores daños en la historia de Oaxaca, al inundarse todo a su paso hasta seis kilómetros tierra adentro, cerca de Pochutla, hoy Puerto Ángel, y se extendió aproximadamente a lo largo de los 450 kilómetros que abarcan las costas oaxaqueñas.

Documentos del Siglo XVIII muestran que, las costas estaban escasamente pobladas lo que provocó un número relativamente bajo de víctimas para un tsunami de esa magnitud.

2.- El sismo del 2017

Magnitud: 8.2

Lugar: Golfo de Tehuantepec

Fecha: 7 de septiembre de 2017

Hora local: 23:49 hrs

Daños: El sismo ocurrido el 7 de septiembre de 2017 de magnitud 8.2 localizado en el golfo de Tehuantepec, a 133 kilómetros al suroeste de Pijijiapan, Chiapas provocó severos daños en Oaxaca entidad donde se vieron afectadas más de 20,000 viviendas y otras 40,000 sufrieron daños, en el caso de Chiapas se dañaron 46,000 viviendas.

Este sismo cobró la vida de 99 personas, de las cuales 79 fallecieron en Oaxaca, 16 en Chiapas y otras cuatro en Tabasco.

De acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional, México se encuentra en una zona de alta sismicidad debido a la interacción de cinco placas tectónicas: La placa de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la placa del Caribe. Por esta razón no es rara la ocurrencia de sismos.

3. El sismo de 1985

Magnitud: 8.1

Lugar: Costas de Michoacán

Fecha: 19 de septiembre de 1985

Hora local: 07:17 horas / Sensación Ciudad de México: 07:19 horas

Daños: A pesar de haber ocurrido en las costas de Michoacán, a más de 350 kilómetros de la Ciudad de México, la mayoría de las afectaciones y pérdidas humanas se concentraron en la capital del país.

Las cifras oficiales dijeron que durante el sismo fallecieron 5,000 personas, sin embargo, otras estimaciones arrojan más de 10,000 decesos, cerca de 50,000 heridos, al menos unas 250,000 personas sin hogar, más de 770 edificios colapsados o severamente dañados y pérdidas económicas que representaron el 2.1% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y el 9.9% de la Ciudad de México.

4. El sismo del Ángel

Magnitud: 7.8

Lugar: Sureste de Acapulco

Fecha: 27 de julio de 1957

Hora local: 02:44 horas

Daños: Inaugurado en 1910 por Porfirio Díaz en la Ciudad de México, el monumento a la Independencia capitaliano, de siete metros de altura y siete toneladas de peso, se mantuvo estoico a 45 metros del piso durante casi medio siglo hasta la madrugada del domingo de 1957, cuando el sismo provocara su caída.

Después de 14 meses de restauración y reforzamiento al monumento, el Ángel de la Independencia fue reinaugurado en septiembre de 1958. Desde entonces, la escultura ha permanecido intacta a pesar de los numerosos sismos que la han sacudido, incluido el de 1985.

La zona centro de la República Mexicana fue la más afectada, en especial la Ciudad de México en donde se registró un saldo de 700 muertos y 2,500 heridos.

5. El sismo con más réplicas de la historia

Magnitud: 7.5

Lugar: Ometepepec, Guerrero

Fecha: 20 de marzo de 2012

Hora local: 12:02 horas

Daños: Este sismo, cuya intensidad en la Ciudad de México fue muy similar a la que provocó el sismo de Copala en septiembre de 1995 (magnitud 7.3), generó un tsunami de aproximadamente 1.5 metros de altura y un levantamiento de la costa de cerca de 70 centímetros en el poblado de Punta Maldonado.

Este sismo se distingue por haber tenido la mayor cantidad de réplicas registradas en terremotos mexicanos, con 44 eventos de magnitud superior a 4.5 durante los primeros 30 días que siguieron a su ruptura. En comparación con el sismo de 1985, este sismo tuvo tres veces más réplicas en ese rango de magnitud.

6. El sismo El Mayor-Cucapah

Magnitud: 7.2

Lugar: Mexicali, Baja California

Fecha: 4 de abril de 2010

Hora local: 15:40 horas

Daños: El sismo rompió una falla de corrimiento lateral derecho con 120 kilómetros de longitud en dirección a la ciudad fronteriza. Desde 1915, es decir en los últimos 100 años, han ocurrido sólo cinco sismos de magnitud igual o superior a 7 en el extremo norte del Golfo de Cortés, amenazando la región donde se encuentran ciudades como Ensenada, Mexicali, Tijuana y la central geotérmica de Cerro Prieto, que es una de las más grandes del mundo.

Durante el sismo sólo se registraron dos decesos, cerca de 100 lesionados y daños severos en la infraestructura de canales de riego, vivienda, carreteras, puentes, escuelas y hospitales, entre otros.

7. El sismo del 19 de septiembre de 2019

Magnitud: 7.1

Lugar: Puebla

Fecha: 19 de septiembre de 2019

Hora: 2:40 hrs

Daños: Uno de los sismos más mortales para México que cobró la vida de 370 personas y dejó a 7,289 heridos. Además se derrumbaron 57 edificios y un número mucho mayor resultó gravemente dañado.

8. El sismo de Acambay

Magnitud: 7

Lugar: Acambay, Estado de México

Fecha: 19 de noviembre de 1912

Hora local: 07:12 horas

Daños: La ruptura del sismo, sobre una falla normal, se extendió unos 50 kilómetros de largo y, al ser poco profunda, dejó sobre la superficie de la tierra fracturas con más de un metro de altura.

Los daños fueron muy importantes en la región, donde la escasa infraestructura y varios poblados quedaron severa o completamente destruidos.

3.2 Sismos más importantes en México

La siguiente información fue tomada de: (SMIS, 2021)

Sismos más importantes en México



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

LUGAR	FECHA	DESCRIPCION	MAGNITUD
Colula (Jalisco)	27 de diciembre de 1568.		
Jalisco	25 de agosto de 1611.	Muy grande	
Oaxaca	23 de agosto de 1696		7.5
Oaxaca	21 de diciembre de 1701	Destruyivo	
Colima	16 de septiembre de 1711	Varios muertos	
Acapulco (Guerrero)	1 de septiembre de 1741	Tsunami	
Acapulco (Guerrero)	28 de mayo de 1784	Tsunami, varios muertos	
Zapotlan (Jalisco)	25 de marzo de 1806	Muchos muertos	
Jalisco	22 de noviembre de 1837		7.7
Oaxaca	9 de marzo de 1845		8.0
Oaxaca	5 de mayo de 1854		8.0
Huajuapan de León (Oaxaca)	19 de julio de 1882.		
Sonora	3 de mayo de 1887	42 muertos mínimo	
Oaxaca-Guerrero	29 de enero de 1899		8.4
Jalisco	20 de enero de 1900		8.2
Jalisco	16 de mayo de 1900		7.8

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Jalisco	16 de mayo de 1900		7.8
Chiapas	23 de septiembre de 1902		8.2
Baja California Norte	16 de octubre de 1902		7.8
Oaxaca-Chiapas	14 de enero de 1903		8.2
Acapulco (Guerrero)	15 de abril de 1907		8.2
Golfo de Baja California	16 de octubre de 1907		7.5
Jalisco	7 de junio de 1911	45 muertos y daños en la Cd. de México.	7.9
Cd. Guzmán (Jalisco)	30 de abril de 1921		7.8
Pinotepa Nacional (Oaxaca)	17 de junio de 1928	Daños en la Cd. de México.	8.0
Puerto Escondido (Oaxaca)	9 de octubre de 1928		7.6
Colima	3 de junio de 1932		8.2
Colima	18 de junio de 1932		7.8
Orizaba (Veracruz)	26 de julio de 1937	34 muertos	7.7
Petatlan (Guerrero)	22 de febrero de 1943	75 muertos	7.5
Acapulco (Guerrero)	28 de julio de 1957	160 muertos. Daños en Cd de México (ángel de la independencia caído)	7.7
Oaxaca	23 de agosto de 1965	5 muertos	7.5
Chiapas	29 de abril de 1970		7.3
Colima	30 de enero de 1973	56 muertos	7.5
Orizaba (Veracruz)	28 de agosto de 1973	600 muertos	7.3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Orizaba (Veracruz)	28 de agosto de 1973	600 muertos	7.3
Oaxaca	29 de noviembre de 1978		7.6
Petatlan (Guerrero)	26 de enero de 1979		6.5
Petatlan (Guerrero)	28 de febrero de 1979		5.2
Petatlan (Guerrero)	14 de marzo de 1979	5 muertos	7.6
Tehuantepec (Oaxaca)	22 de junio de 1979		7.1
Huajuapán de León (Oaxaca)	24 de octubre de 1980	50 muertos	7.0
Playa Azul (Michoacán)	25 de octubre de 1981		7.3
Ometepec (Guerrero)	7 de junio de 1982		6.9
Michoacán	19 de septiembre de 1985	20.000 muertos	8.2
Michoacán	20 de septiembre de 1985		7.6
Colima	9 de octubre de 1995		8.0
Costa de Guerrero, MICH	8 de Septiembre del 2000		7.0
Costa de Colima	21 de enero del 2003		7.6
Santa Rosalía, BCS	4 de enero del 2006		6.7
18 Km al Sureste de Mexicali	4 de abril del 2010	2	7.2
29 km al SUR de OMETEPEC, GRO	2012-03-20 12:02:47		7.4
68 km al SUROESTE de CD HIDALGO, CHIS	2012-11-07 10:35:51		7.3
40 km al SUR de PETATLAN, GRO	2014-04-18		7.2
133 km al SUROESTE de PIIJIAPAN, CHIS: 14.85°, -94.11°	2017-09-07 23:49:18	Más de 110 muertos	8.2
12 km al SURESTE de AXOCHIAPAN, MORELOS : 18.4°, -98.72°	2017-09-19 13:14:40	Más de 320 muertos	7.1

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

3.3 Terremotos históricos

La siguiente información fue tomada de: (SMIS, 2021)



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Fecha	Magnitud	Intensidad máxima	Zona
526			Costa del Mediterráneo, sin saber qué país es hoy. Más de 200.000 muertos.
836			Corinto. Grecia. 45.000 muertos.
1201			Oriente Medio. Se produjo el terremoto más trágico del que se tiene noticias en época histórica, causando mas de 1.100.000 muertos.
1268	8,4		Sicilia . Italia. 60.000 muertos.
1556			Shaan-si. China. Más de 830.000 muertos.
1615			República Dominicana. Puerto Rico. Grandes daños.
1670			San Germán y San Juan. Puerto Rico. Daños importantes.
1737			Calcuta. India. Más de 300.000 muertos.
1-11-1755	8,5-9	X	Lisboa. Portugal. Aprox. 20.000 muertos entre Portugal, España y Marruecos, la mayor parte por efecto del tsunami que alcanzó las costas. Este terremoto se sintió en casi toda Europa.
1797			Quito. Ecuador. 40.000 muertos.
16-12-1811	6,7		Nuevo Madrid, Estado de Missouri. U.S.A. Se sintió a más de 2.000 km de distancia.
23-01-1812	4,2		Nuevo Madrid, Estado de Missouri. U.S.A. 270 muertos.
07-02-1812	3,6		Nuevo Madrid, Estado de Missouri. U.S.A. Se produjo el tercer terremoto en menos de dos meses.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

13-08-1868			Arica. Perú. Después de ser destruida por el terremoto, Arica fue arrasada por grandes olas. Todos los barcos anclados en las bahía fueron destruidos. En 1868 Arica pertenecía a Perú, hasta la guerra que mantuvo con Chile, que tendría lugar once años más tarde, en 1879.
03-04-1872	7,5		Antioquía. Turquía. Más de 1.000 muertos.
1879			En el cantón Glaris. Suiza.
1883			Isla de Ischia. Italia. Más de 3.000 muertos
18-04-1906	8,6		San Francisco, Santa Rosa, Salinas y San José. U.S.A. 700 muertos y 28. 000 edificios destruidos.
16-08-1906	8,6		Valparaíso. Chile. 20.000 muertos.
1917	7		Los Angeles, California. U.S.A. Diversos muertos y gran cantidad de destrozos materiales.
16-12-1920	8,6		Kan-sú. China. 100.000 muertos.
01-09-1923	8,3		Tokio. Japón. 99.330 muertos. Más de la mitad de las viviendas quedaron destruidas.
22-05-1927	8,2		Nan-Shán. China. Más de 200.000 muertos.
1932			Han-Sú. China. Más de 70.000 muertos.
02-03-1933	8,9		Costa Noroeste. Japón. Aprox. 2.990 muertos.
10-03-1933	6,3		Long Beach (Sur de California). U.S.A. 117 muertos.
15-01-1934	8,4		Bihar-Nepal. India. 10.700 muertos.
1934	7,5		Panamá.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

1934	7,5		Panamá.
31-03-1935	8,4		Quetta, Beluchistán. Más de 30.000 muertos.
02-03-1939	8,3		Chillán. Chile. 28.000 muertos.
26-12-1939	7,9		Erzincan. Turquía. Más de 30.000 muertos.
18-05-1940	7,1		Imperial Valley. U.S.A. 9 muertos.
04-03-1942			Japón. 82.000 muertos.
1943	7,5		Puerto Rico (Noroeste). Daños importantes.
22-01-1944	8,5		San Juan. Argentina. Más de 10.000 muertos.
08-12-1946			Shiho-Ku. Japón. 2.000 muertos.
02-06-1948			Fuku-i. Japón. Aprox. 5.100 muertos.
04-03-1952			Hokkaido. Japón. Aprox. 8.233 muertos.
21-06-1952	7,7		Bakersfield. 12 muertos.
1953			Isla del mar Jónico. Grecia.
1954	6,7		Orléansville. Argelia. 1.000 muertos.
1957			Norte de Irán. Más de 25.000 muertos.
18-08-1959	8,2		Montana, cerca del parque Yellowstone. U.S.A. Sin víctimas. Causó el desplome de una montaña sobre un río.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

29-02-1960			Agadir. Marruecos. Más de 16.000 muertos.
22-05-1960	9,5		Sur de Chile. 2.000 muertos.
1962			Irán.
26-07-1963			Skopjé. Yugoslavia. La sacudida duró 20 segundos pero dejó convertida la ciudad en un montón de ruinas y sepultó entre los escombros a millares de personas.
04-06-1964	4,6		Nigata. Japón. 26 muertos y 447 heridos.
1964			Valdes-Alaska. U.S.A.
1965			Valparaíso. Chile. Varios muertos.
1965			Nagano. Japón.
1965			Nagano. Japón. Réplicas consecutivas de pequeña y mediana intensidad, sin causar ninguna víctima mortal.
19-08-1966	6,7		Turquía oriental. Aprox. 2.520 muertos.
26-02-1968			Miyazaki. Japón. Tres terremotos. 42 heridos.
31-08-1968			Irán (Norte). Más de 12.000 muertos.
31-05-1970	7,7		Huaylas. Perú. Más de 50.000 muertos.
1970			Turquía. Muchos muertos.
1970			Managua. Nicaragua. Más de 20.000 muertos. Destrucción total.
1970			Nagato. Japón. Varios terremotos.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

1970			Nagato. Japón. Varios terremotos.
09-02-1971	7		Los Angeles, California. U.S.A. Varios muertos y muchos daños materiales.
08-06-1971	7,8		Santiago y Valparaíso. Chile. Muchos muertos.
10-04-1972	7,1		Irán Meridional, al SE del país, en la ciudad de Ghir Karzin. 5.374 muertos.
23-12-1972			Managua. Nicaragua. Más de 10.000 muertos Destrucción total.
08-05-1974			Península de Izu. Japón. Aprox. 30 muertos.
28-12-1974	6,3		Pakistán. Más de 5.200 muertos.
1974			China. Más de 20.000 muertos.
06-09-1975	6,8		Turquía. Aprox. 23.12 muertos.
06-02-1976			Guatemala (Norte). Aprox. 22.235 muertos.
28-07-1976	7,5		Tang-Shan. China. Más de 242,419 muertos.
17-08-1976	6,3		Mindanao. Filipinas. Más de 8.000 muertos.
24-11-1976	7,9		Turquía Oriental. Más de 4.000 muertos.
22-03-1977	7		Costa Sureste de Irán, en la ciudad de Bandar Abbas. 167 muertos.
6/7-04-1977	6,5		Irán, provincia de Isfahan. 352 muertos.
21-12-1977	6,2		Irán, ciudad de Zarand. 521 muertos.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

21-12-1977	6,2		Irán, ciudad de Zarand. 521 muertos.
05-01-1978			Sendai y Mishima. Japón. 12 y 25 muertos respectivamente.
16-09-1978	7,5-7,9		Norte de Irán, en la ciudad de Tabas. 15.000 muertos.
16-01-1979	7		Irán, provincia de Khorasan. 199 muertos.
14-1-1979	5,6		Irán, en las ciudades de Kaen y Khaf, en la provincia de Khorasan. 385 muertos.
1980			Yemen del Norte. Más de 3.000 muertos.
1980	7,1		El-Asnam (Argelia). 5.000 muertos.
11-06-1981	6,8		Irán, en la ciudad de Golbaf. 1027 muertos y más de 800 heridos. La ciudad quedó destruida.
Marzo, 1982			Uruwa, cerca de Tokio. Japón.
1982			El Salvador, Guatemala, Nicaragua y Honduras.
1982			Sur de Yugoslavia
1982			Nicaragua.
1982			Guatemala.
1983			Erzurúm. Turquía. Más de 2.000 muertos.
1983			Akita. Japón. 104 muertos.
06-09-1984			Nagano. Japón. 20 muertos.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

03-03-1985	7,8	Región metropolitana de Santiago de Chile. Más de 2.000 afectados y numerosos daños en viviendas.
19-09-1985	8,1	México D.F. Más de 4.000 muertos. Más de 300.000 perdieron sus casas.
20-09-1985	7,5	México, réplica más importante del sismo de 1985. La réplica causó daños materiales en las construcciones dañadas previamente por efecto del primer sismo, además de provocar el mayor daño estructural al sacudir construcciones endebles.
12-10-1985	7,6	Telucán. Chile.
1985	6,3	Concepción. Chile.
1985	7,6	Argentina.
1985		Nevado del Ruiz. Colombia. Terremoto volcánico que produjo el deshielo de la nieve. Una avalancha de lodo y barro ocasionó más daños que el propio terremoto, más de 22.000 muertos y miles de desaparecidos.
1986	7,5	El Salvador. 1.400 muertos. Más de 200.000 personas perdieron sus casas.
21-08-1987	2,7	Nepal. India. 800 muertos.
01-10-1987	5,9	Proximidades de Los Angeles. U.S.A. Pérdidas numerosas. Sin víctimas.
23/24-10-1987	6 – 6,3	Westmereland . U.S.A. Dos sismos casi seguidos.
26-10-1987		Isla de Pantar. Indonesia. 43 muertos y 75 desaparecidos.
1987	6,8	Napo. Ecuador. 300 muertos.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

1987	6,8		Napo. Ecuador. 300 muertos.
1987	5,7		Trinidad. Albania. Muchos muertos. Grandes daños.
07-12-1988	8,3		Spitak y Leninakan. Armenia. Más de 25.000 muertos. Más de 100.000 personas perdieron sus casas.
1988			Yu-Nan. China. Aprox. 900 muertos.
17-10-1989	7,1		San Francisco, California. U.S.A. Más de 60 muertos. Más de 100 heridos. Casi 50.000 personas perdieron sus casas.
1989			Sichu-An. China . Miles de muertos.
21-06-1990	7,7		Azerbaijón (Irán). Las ciudades de Gilan y Zanjan quedaron totalmente devastadas. Más de 35.000 muertos y 10.000 heridos. Se trata del peor sismo de la historia de Irán, donde más de 500.000 personas se quedaron sin hogar.
22-04-1992	6,3		Sur de California. U.S.A. Sin víctimas. Sentido en Los Angeles.
28-06-1992	7,4		Sur de California. U.S.A. Escaso número de víctimas.
12-10-1992	6,9		El Cairo. Egipto. 560 muertos.
06-01-1993			Kushiro. Japón. 966 heridos.
01-07-1993			Isla de Okushiri, cerca de Hokkaido. Japón. 230 muertos.
11-06-1994			Hiula y Cauca. Colombia. Muchos muertos.
12-10-1994			Isla de Okushiri, cerca de Hokkaido. Japón. 436 muertos.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

12-10-1994			Isla de Okushiri, cerca de Hokkaido. Japón. 436 muertos.
28-12-1994			Aumori, Iwate y Miyagi. Japón. 3 muertos y 688 heridos.
17-01-1995	7,2		Kobe. Japón. Más de 5.600 muertos, 18.000 heridos y más de 10.000 edificios destruidos.
28-02-1997	5,5		Noroeste de Irán. 1.000 muertos.
10-05-1997	7,1		Irán, cerca de la frontera con Afganistán. 1.560 muertos.
1997	5,2		Chiriqui. Panamá. No hubo víctimas.
14-03-1998	6,6		Gorgán. Irán. Más de 4.000 muertos.
01-04-1998	5,7		Birjand. Irán.
01-04-1998	6,3		Costa Sur de Chile.
12-04-1998	5,7		Arequipa. Perú.
27-04-1998	5,7		Gerrero. Mexico.
27-04-1998	5,4		Isla de Java. Indonesia.
27-04-1998	6,1		Irian-Jaya. Indonesia.
09-06-1998	5,1		Entre los estados de California y Nevada, al NW de Bishop. U.S.A.
27-06-1998	6,2		Adena-Ceyhan. Turquía. 50 muertos

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

30-06-1998	5,8		Islas Kernader. Nueva Zelanda.
30-06-1999	6,8		Chamoli. India. Más de 4.000 muertos.
17-08-1999	7,4		Turquía. Más de 7.000 muertos.
13-01-2001	7,6	VII	San Salvador. El Salvador. 944 muertos, 1.155 edificios públicos dañados, 108.261 viviendas destruidas y 405 iglesias dañadas.
26-01-2001	7,7		Región de Gujarat (India). 25.000 muertos según fuentes oficiales, aunque podrían haber llegado a 100.000, y decenas de miles de heridos. Las pérdidas económicas oscilan entre los 0,4 y 0,9 billones de pesetas.
13-02-2001	6,6	VI	San Salvador. El Salvador. 315 muertos, 82 edificios públicos dañados, 41.302 viviendas destruidas, 5 hospitales dañados y 73 iglesias dañadas.
22-06-2002	6,3	VI	Irán, en la región de Qazvin, donde devastó a docenas de pueblos. 229 muertos.
21-05-2003	7		Argelia . 2.200 muertos y 10.000 heridos. Numerosos edificios del tipo C derrumbados, entre ellos un hospital entero.
26-09-2003	7,8		Isla de Hokkaido (Norte de Japón). 1 muerto, 420 heridos y 41.000 personas evacuadas. 370.000 viviendas afectadas.
22-12-2003	6,5		EE.UU. Costa de California. 2 muertos y muchos edificios colapsados o gravemente dañados en la ciudad de Paso Robles.
26-12-2003	6,3		Irán , en la ciudad de Bam, al sureste del país. 26.271 muertos y 50.000 heridos. Dos hospitales resultaron destruidos y más de 40.000 familias se quedaron sin hogar. El 70% de los edificios se derrumbaron.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

24-02-2004	6,1	IX	Alhucemas (Marruecos). Hasta el momento, aprox. 628 muertos y 929 heridos. La aldea de Ait Kamra quedó prácticamente destruida e Imzurem resultó muy castigada, siendo el lugar donde más muertes se han registrado. 15.320 personas se quedaron sin hogar.
25-03-2004	5,1		Erzurum (Turquía). 9 muertos, 30 heridos graves y 4.000 damnificados. Destrucción de 45 edificios en la ciudad de Askale y 15 villas de alrededor.
26-12-2004	8,9	VIII	Sumatra y Golfo de Bengala . El tsunami generado por la magnitud del sismo causa más de 226.000 muertos en Sri Lanka, Islas Maldivas, India, Tailandia, Malasia, Bangladesh y Myanmar (antigua Birmania) e Indonesia. Una cifra superior a 50.000 casas quedaron destruidas. Es uno de los cinco peores temblores de tierra conocidos desde 1900.
28-03-2005	8,7		El oeste de Sumatra sufre un terremoto de magnitud 8,7 y mueren unas 1.300 personas.
13-06-2005	7,9	VI-VII	Chile . Las cifras oficiales son de 11 muertos, 182 heridos y 72 viviendas destruidas, la mayor parte en la zona de Iquique. Otras fuentes hablan de 68.000 damnificados, 544 casas destruidas y más de 8.000 edificios dañados de distinta consideración.
08-10-2005	7,6		Pakistán. Cifras oficiales de 2 de noviembre de 2005 indican 73.276 muertos y más de 69.000 heridos graves
27-05-2006	6,2		En la isla de Java, Indonesia, un seísmo de magnitud 6,2 deja 6.234 muertos, 20.000 heridos y 340.000 desplazados.
15-08-2007	8,0		Oeste de Pisco, Perú. Cifras oficiales de 16 de Agosto de 2007 indican 510 muertos, alrededor de 1.615 heridos graves.
14-11-2007	7,7		A 101 kilómetros al Noroeste de Calama, en la localidad de Quillagua. Norte Grande de Chile. Cifras oficiales de 15 de noviembre de 2007 indican 2 muertos, alrededor de 140 heridos graves.
01-11-2007	6,2		Sureste de Pakistán, provincia de Baluchistán, más de 200 muertos.
12-05-2008	7,8		China, provincia de Sichuán, epicentro en Dujiangyan, zona montañosa del sureste del país. Deja más de 85.000 muertos aún por determinar y más de 20.000 desaparecidos y cuantiosos daños materiales.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

08-01-2009	6,2		Costa Rica, con epicentro a unos 6Km. al este del volcán Poás. Deja 22 muertos y cuantiosos daños materiales
30-09-2009	7,6		Indonesia, Isla de Sumatra. El epicentro fue localizado a unos 47 kilómetros al noroeste de Padang. Más de 3000 muertos al 01-10-2009.
12-01-2010	7,3		Haití sufre un terremoto de magnitud 7,0, el peor en su historia. Al 21 de febrero aún se siguen contabilizando las víctimas, unas 215,000.
27-02-2010	8,8		El terremoto de 8,8. Afectó a la zona centro-sur de Chile. Según la Onemi, el epicentro se registró en la Región del Bío Bío, a unos 90 kilómetros de Concepción. Más de 700 muertos al 1de marzo.
04-09-2010	7,2		Las autoridades de Nueva Zelanda han declarado el estado de emergencia en el sur del país tras el seísmo de 7,2 que ha dejado una veintena de heridos e importantes daños en edificios aunque no se ha declarado el peligro de tsunami. El temblor ha ocurrido de madrugada a 28,4 kilómetros de profundidad bajo el lecho marino, 31 kilómetros al noroeste de la ciudad de Christchurch, según el Servicio Geológico de Estados Unidos.
22-02-2011	6,3		Se ha producido a cinco kilómetros de la costa este de Nueva Zelanda ha dejado al menos 65 víctimas mortales. Varios edificios del centro de Christchurch se han derrumbado o incendiado, mientras que unas 200 personas se encuentran heridas o atrapadas en las estructuras dañadas y se teme que aumente la cifra de víctimas mortales.
11-03-2011	8,9		Un devastador terremoto de 8,9 el de mayor magnitud vivido en Japón desde que existen registros, ha sacudido el país provocando centenares de muertos y desaparecidos. La catástrofe se debe en gran parte a que el fuerte movimiento sísmico, cuyo epicentro se ha localizado en el océano Pacífico a un centenar de kilómetros de la costa, ha desatado un tsunami con olas de hasta 10 metros que han penetrado 5 kilómetros tierra adentro y han arrasado cuanto han encontrado a su paso en las provincias del noreste. El hipocentro de este seísmo se ha situado a una profundidad de 24 kilómetros bajo el océano Pacífico, a 130 kilómetros de la península de Ojika, en la misma zona donde hace dos días ocurrió otro terremoto de magnitud 7,3 que no causó daños. El temblor ocurrió a las 14.46 hora local (las 6.46, hora peninsular española) y alcanzó el máximo de magnitud 7 en la escala japonesa, que se centra en las zonas afectadas más que en la intensidad del temblor. Según el Servicio Geológico de Estados Unidos, uno de los de referencia a nivel mundial, el seísmo tuvo una magnitud de 8,9, el mayor registrado en Japón desde que se iniciaran las mediciones hace 140 años.
20-04-2013	7.0		El seísmo, de magnitud 7 según el departamento sismológico chino y 6.6 según el servicio de Evaluación Geológica de Estados Unidos, se produjo a las 8.02 de la mañana (seis horas menos en la España peninsular) en el condado de Lushan, cerca de la ciudad de Ya'an (Sichuan). El epicentro se situó a una profundidad de 12,3 kilómetros. El temblor cortó los servicios de telefonía, agua y electricidad en Lushan. Ha habido alrededor de 1.100 réplicas, una de ellas de magnitud 5,2. Al 23 de abril 179 muertos, 24 desaparecidos y más de 11.000 heridos, según el Ministerio de Asuntos Civiles.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

24-09-2013	7.7		Un terremoto de MAGNITUD 7.7 ha sacudido la región de Baluchistán, ubicada en el suroeste de Pakistán, causando hasta el momento cerca de 328 muertos y 350 heridos, según autoridades provinciales citadas por France Presse
25-04-2015	7.8		El sismo se registró a las 06:11 GMT, y su epicentro se localizó a 81 kilómetros al noroeste de la capital, Katmandú, y a una profundidad de 15 kilómetros. El temblor, que golpeó a las 11:41 de la mañana hora local, ocurrió a una profundidad de 15 kilómetros, que es considerada superficial y más dañina que la de un temblor con epicentro a mayor profundidad. El temblor se sintió hasta a 2,000 kilómetros del epicentro (la distancia entre la Ciudad de México y Nuevo México, Estados Unidos), aunque con menor fuerza en las zonas más alejadas, como el sur de India. Tres días después del terremoto se han contabilizado ya cerca de 5 mil muertos pero la cifra irá en aumento.
16-04-2016	7.8		Más de 500 personas murieron víctimas de un fuerte terremoto de magnitud 7,8 registrado el sábado en la provincia de Manabí, en el noroeste de Ecuador, según reportaron las autoridades. Según el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) el sismo tuvo una magnitud de 7,8 y se registró a las 18:58 hora local del sábado (23:58 GMT). El dato fue corroborado por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador.
19-09-2017	7.1		El sismo del 19 de septiembre de 2017 ocurrió exactamente a las 13:14:40, tuvo su epicentro en la latitud 18.40 norte, longitud 98.72 oeste, a una profundidad de 57 kilómetros, a 12 kilómetros al sureste de Axochiapan, Morelos, en el límite con el estado de Puebla el sismo tuvo una magnitud de 7,1 y deja más de 360 muertos.
28-09-2018	7.5		A 78 Km de la ciudad de Palu en Indonesia el sismo tuvo una magnitud de 7,5 y con el posterior Tsunami deja más de 2,000 muertos.

3.4 Daños observados en Lázaro Cárdenas Michoacán

Información tomada de: (EPRI, Electric Power Research Institute, 1988)

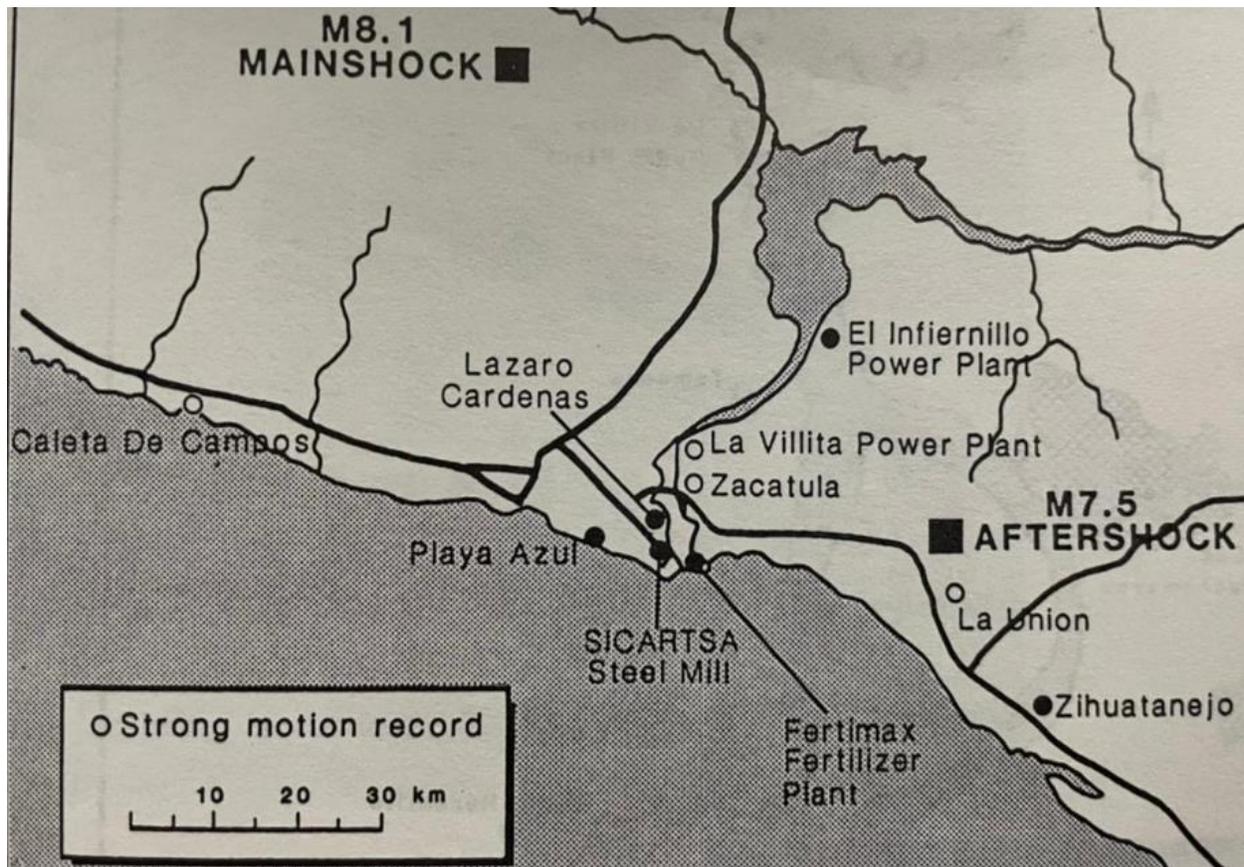


Figura 107 El área epicentral del sismo del 19 de septiembre de 1985

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

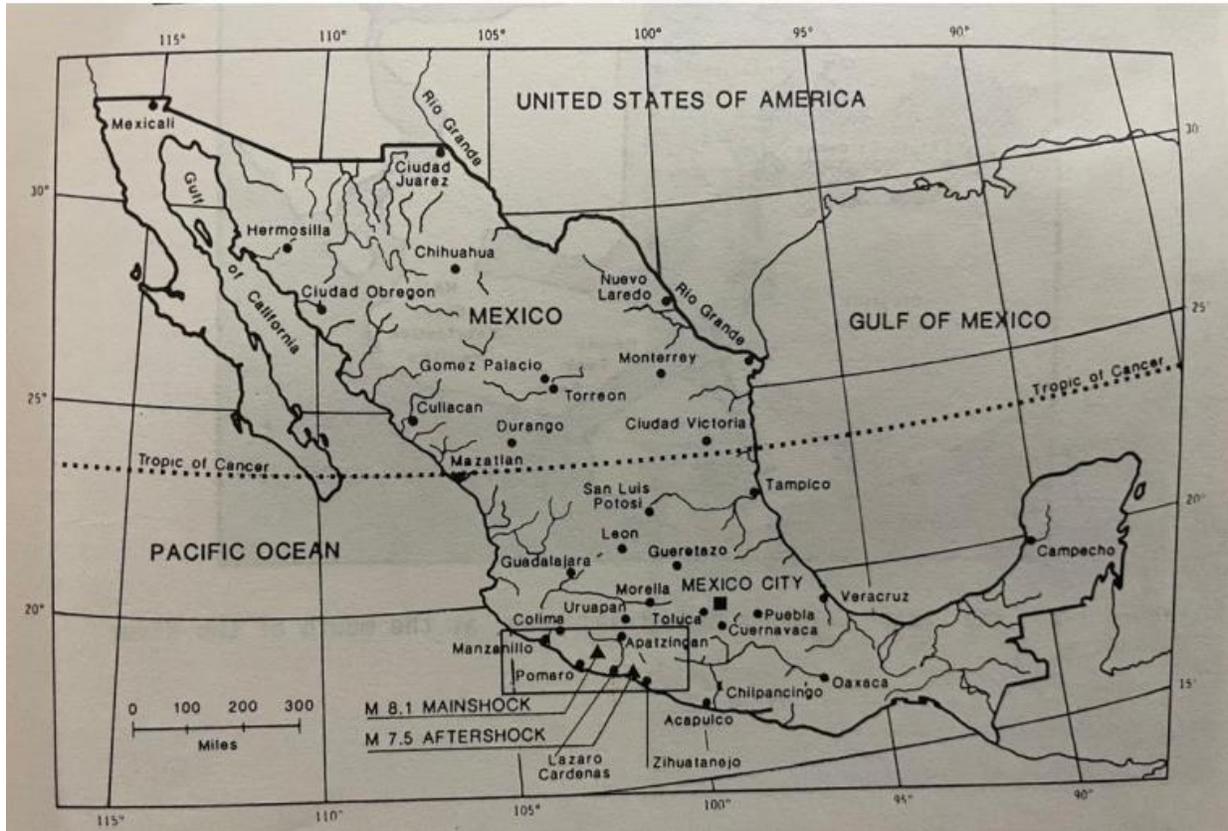


Figura 108 El área epicentral de la sacudida principal del 19 de septiembre y de la réplica del 21 de septiembre, mostrando la ubicación de los registros de movimientos fuertes, y el sitio investigado

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

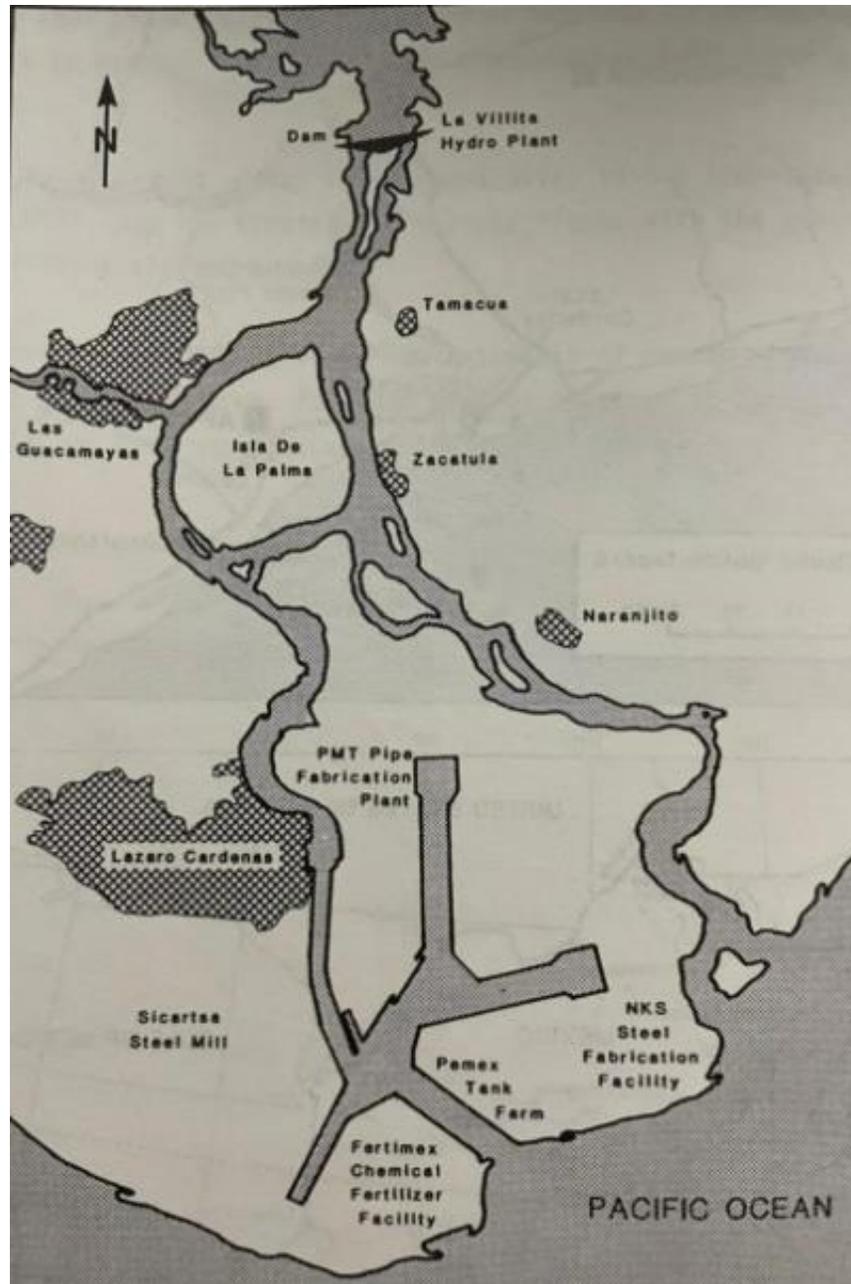


Figura 109 El área industrial de Lázaro Cárdenas, en la desembocadura del Río Balsas.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

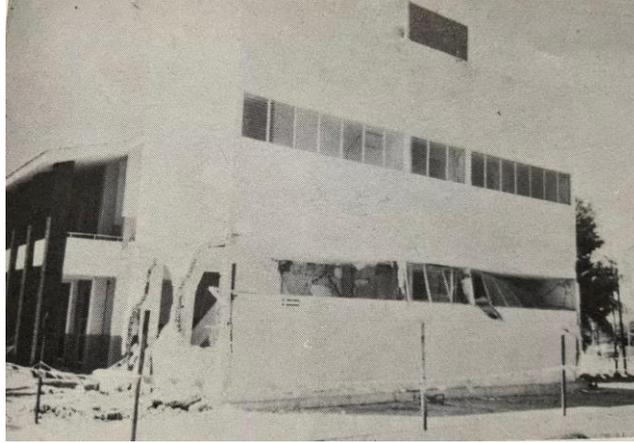


Figura 110 Un ejemplo de daño estructural severo en la localidad de Lázaro Cárdenas



Figura 111 La pared del extremo colapsada del edificio de oficinas mostrado en la figura 86

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 112 Este hotel de nueve pisos es la estructura más alta de la ciudad.

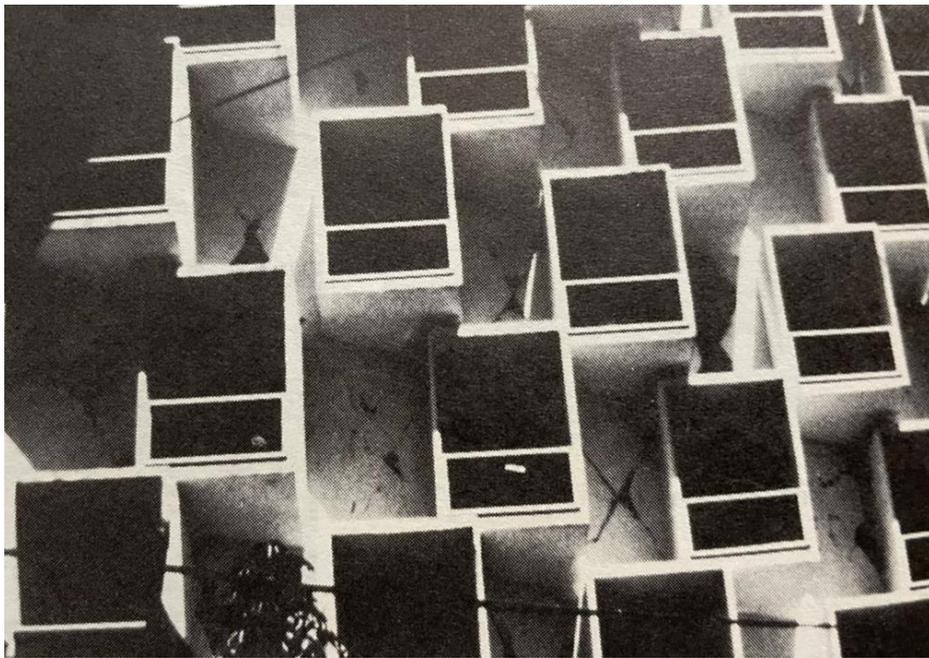


Figura 113 El edificio (Figura 116) sufrió daños importantes en su fachada no estructural.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 114 Ejemplos típicos de daño estructural moderado incluye los cinco pisos del hotel que perdieron secciones de mampostería en sus partes extremas.

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 115 Ejemplos de reparación de grietas de cortante en edificaciones, tal como la mostrada, fueron evidentes por todas partes en la ciudad después de un año del sismo (Juguería Acapulco)

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 116 Cine Olimpia en ciudad Lázaro Cárdenas colapsó (ahora es una tienda de Elektra)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

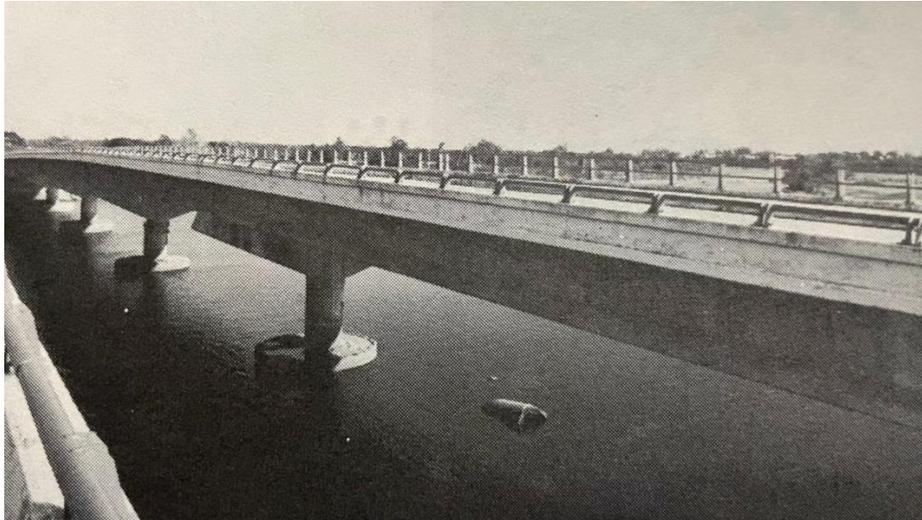


Figura 117 . Los dos puentes de concreto reforzado que atraviesan el Río Balsas al norte de la ciudad sufrieron daños de ruptura severa en los apoyos y pilares de hormigón

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 118 Muestra el daño a un pilar, donde las varillas del acero de refuerzo quedaron expuestas en el concreto dañado.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 119 Un silo de almacenamiento de cemento en la planta de distribución COPSA volcado empujando la torre de carga de camiones adyacente a ella

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 120 El ferrocarril con las pistas cercanas a la planta de cemento estaban distorsionadas por fallas en el suelo

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 121 Aparecieron grandes fisuras en el pavimento de asfalto de esta carretera cerca de Lázaro Cárdenas.

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 122 Aparecieron grandes fisuras en el pavimento de asfalto de esta carretera cerca de Lázaro Cárdenas. (complemento)

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

SUMMARY OF STRONG MOTION RECORDS IN THE EPICENTRAL AREA

<u>Record</u>	<u>East-West</u>	<u>North-South</u>	<u>Average Horizontal</u>	<u>Vertical</u>
La Union	0.15g	0.17g	0.16g	0.13g
La Villita	0.12g	0.12g	0.12g	0.06g
Caleta de Campos	0.14g	0.14g	0.14g	0.09g
Zacatula	0.18g	0.27g	0.23g	0.14g

Figura 123 Resumen de registros de los fuertes movimientos en el área epicentral

Fuente: EPRI Electric power research Institute

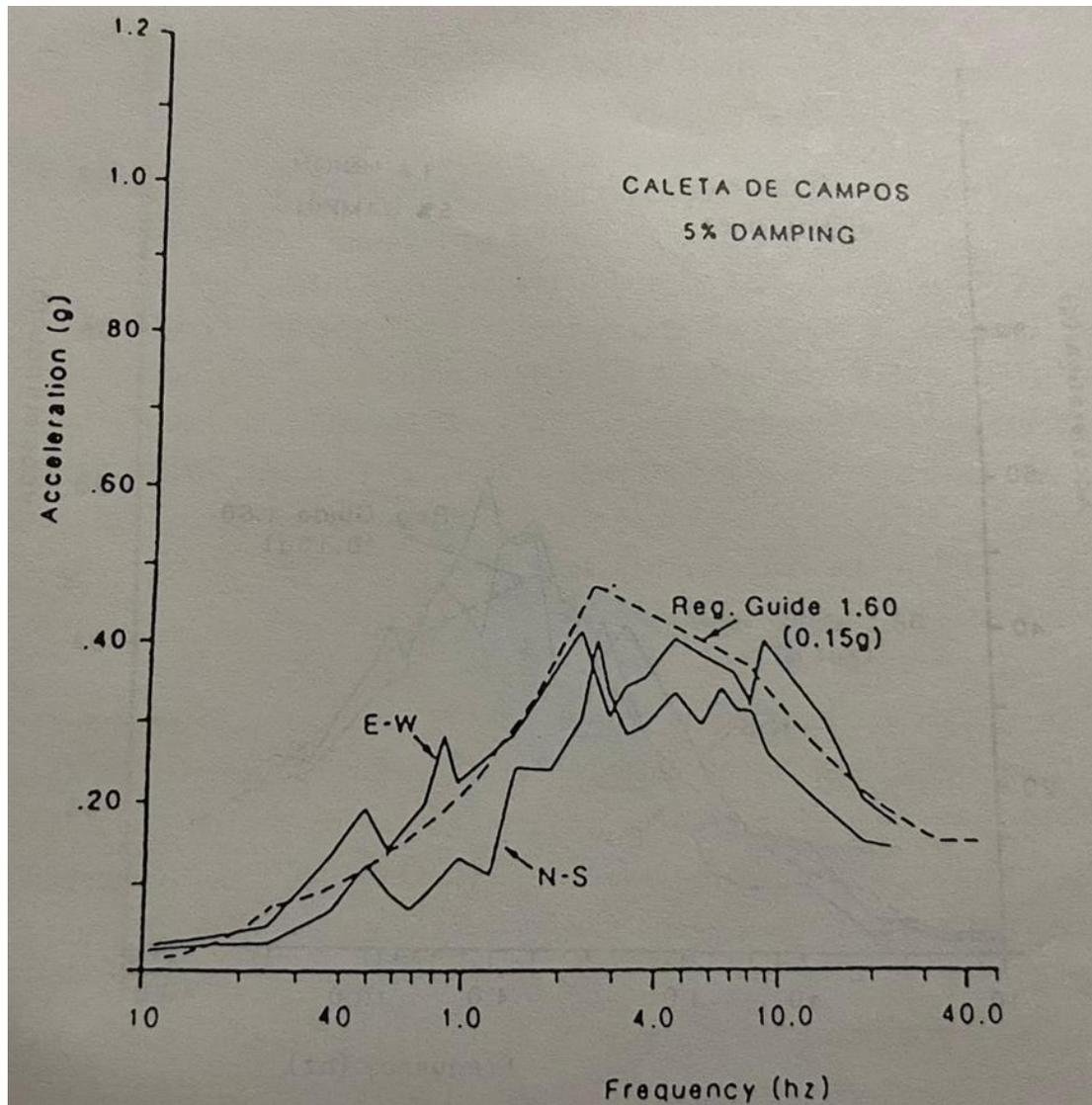


Figura 124 Espectros de respuesta para la aceleración horizontal del suelo medida en Caleta de Campos en comparación con el espectro de la Guía Regulatoria de la USNRC normalizado a 0.15 g.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

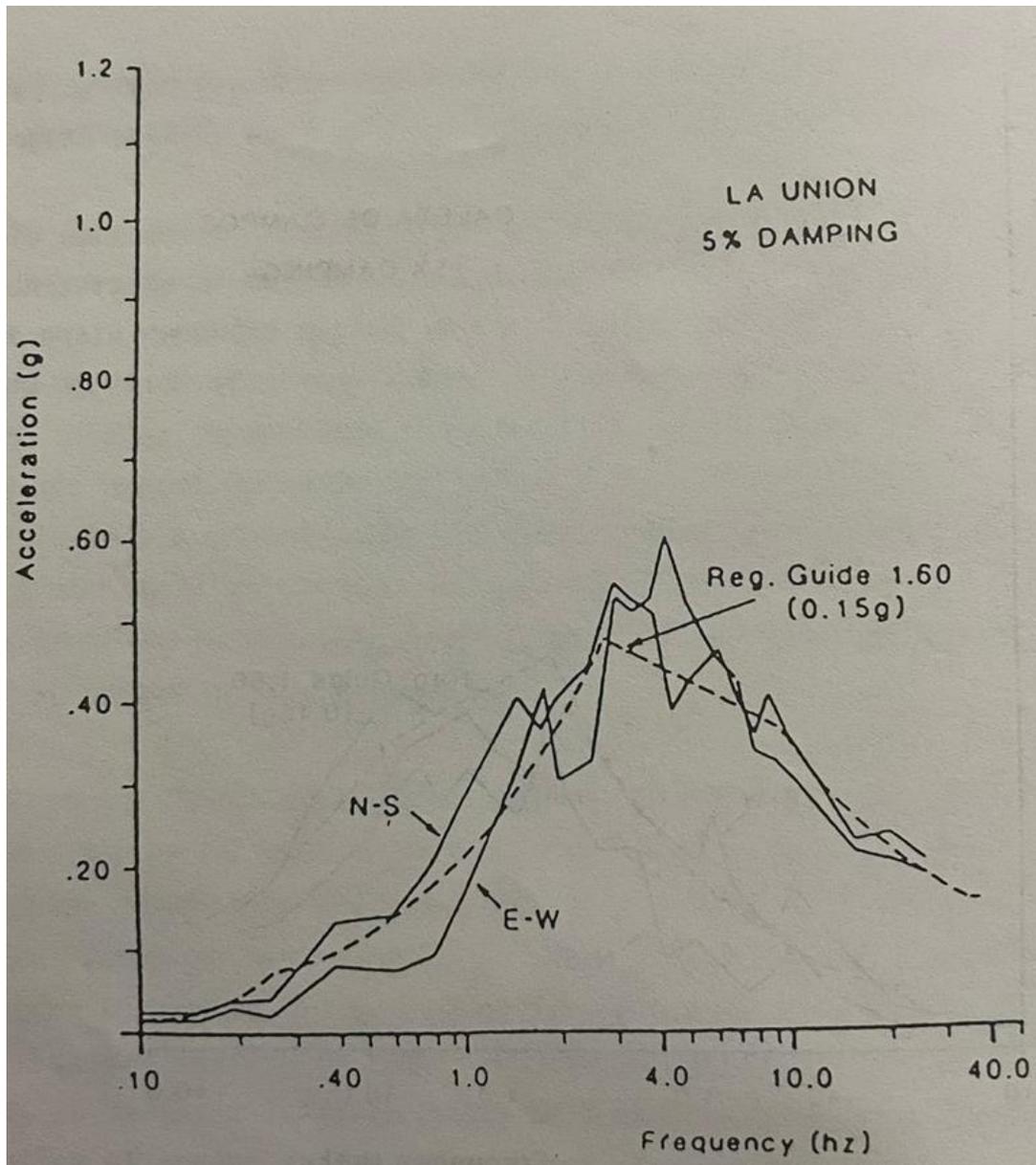


Figura 125 Espectros de respuesta para la aceleración horizontal del suelo medida en La Unión, en comparación con el espectro de la Guía Regulatoria de la USNRC normalizado a 0.15 g.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

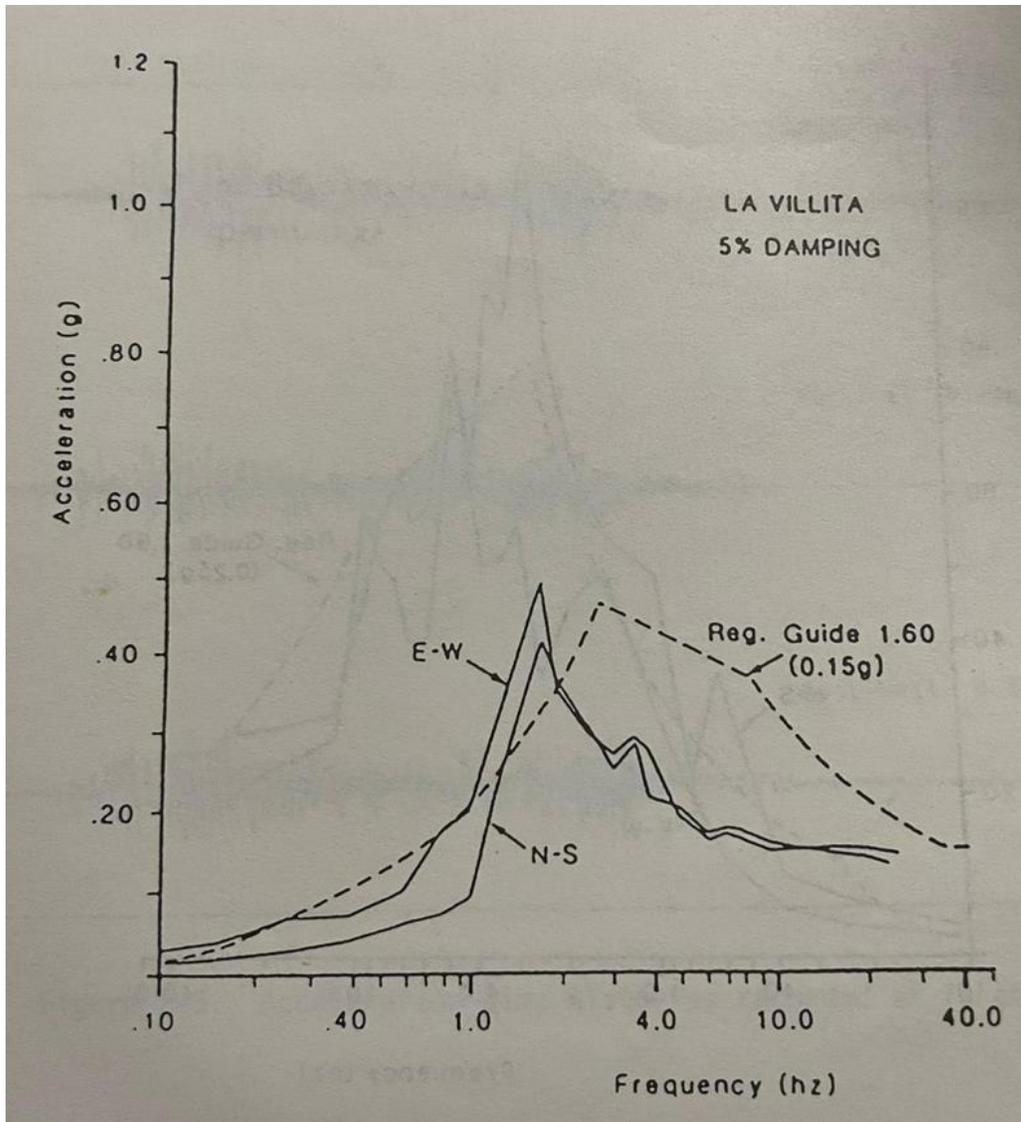


Figura 126 Espectros de respuesta para la aceleración horizontal del suelo medida en La Villita, en comparación con el espectro de la Guía Regulatoria de la USNRC normalizado a 0.15

g.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

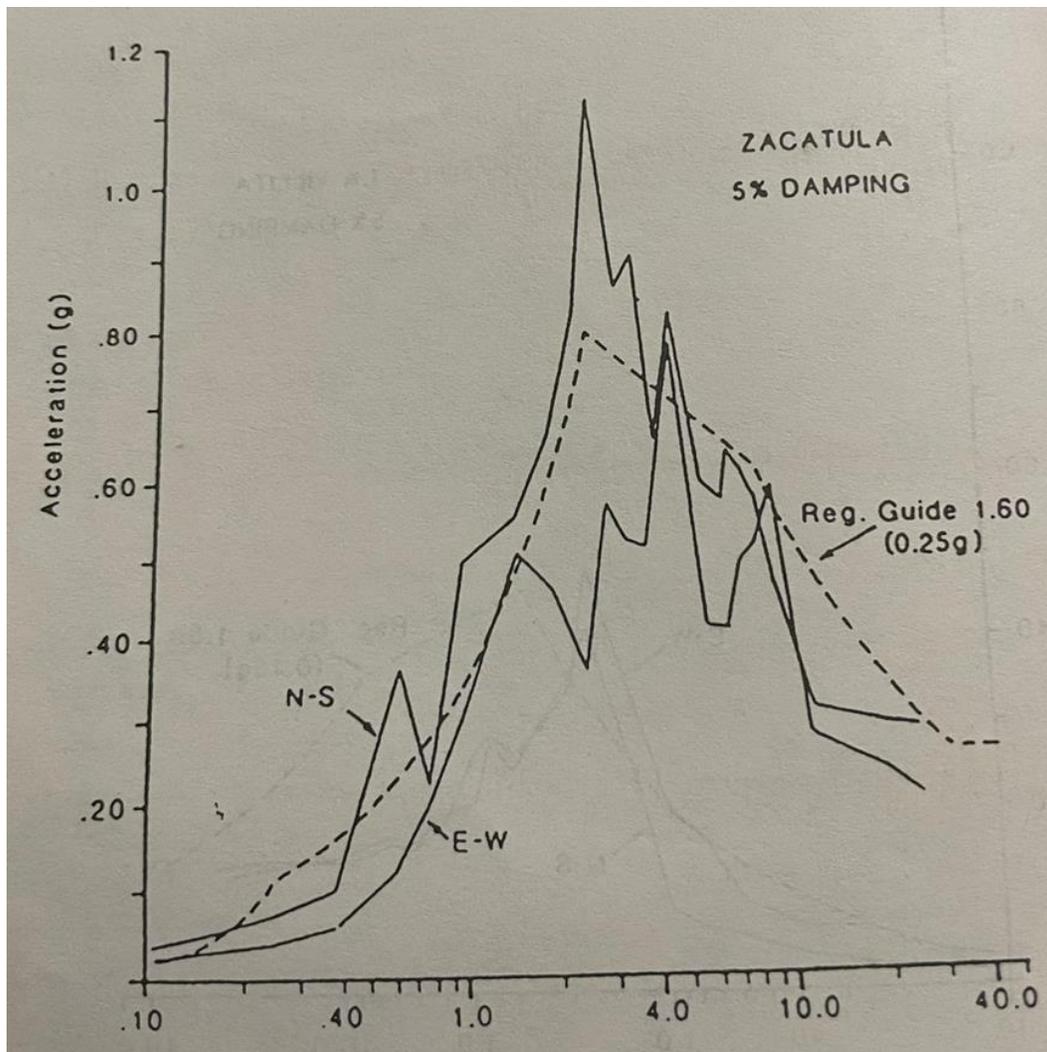


Figura 127 Espectros de respuesta para la aceleración horizontal del suelo medida en Zacatula en comparación con el espectro de la Guía Regulatoria de la USNRC normalizado a 0.25 g.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

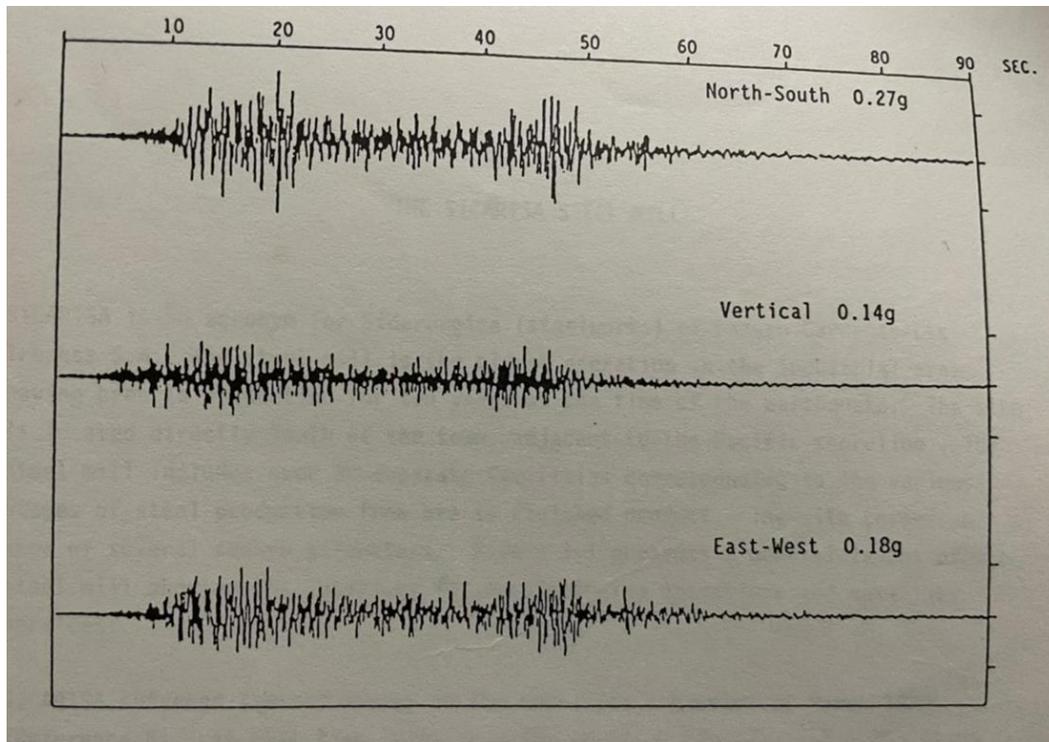


Figura 128 Historial de tiempos de aceleración registrados en Zacatula.

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 129 Uno de los edificios más dañados en la empresa SICARTSA fue el edificio de administración con estructura de concreto reforzado de dos plantas, que sufrió graves daños en la estructura y en los muros de mampostería.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 130 Se produjeron fisuras por cortante en muros de mampostería en todo el sitio de la empresa SICARTSA, se ven ejemplos en las paredes del almacén de dos pisos

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 131 Se muestra el trabajo de reparación en curso en un edificio de cuatro pisos, edificio de oficinas con estructura de concreto reforzado que sufrió colapso en muros interiores de mampostería

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 132 El edificio de la figura anterior (Figura 101), que sufrió colapso en accesorios internos tales como cielo raso suspendido.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 133 Una de las pérdidas más graves en el sitio de la empresa SICARTSA fue el daño al tanque de almacenamiento de combustible de gas, un cilindro de 30 metros de diametro por 90 metros de alto construido de placas de acero remachadas a un marco exterior de acero estructural. Fugas en el tanque impidió su uso como plenum de combustible de gas durante muchos meses después del terremoto.

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 134 Se muestra la típica interfaz placa-marco, donde la placa ha sido removida pendiente de reparación.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 135 La chimenea de acero se inclinó debido al asentamiento del suelo..



Figura 136 La base de concreto de la chimenea (figura 135) se inclinó y se levantó

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

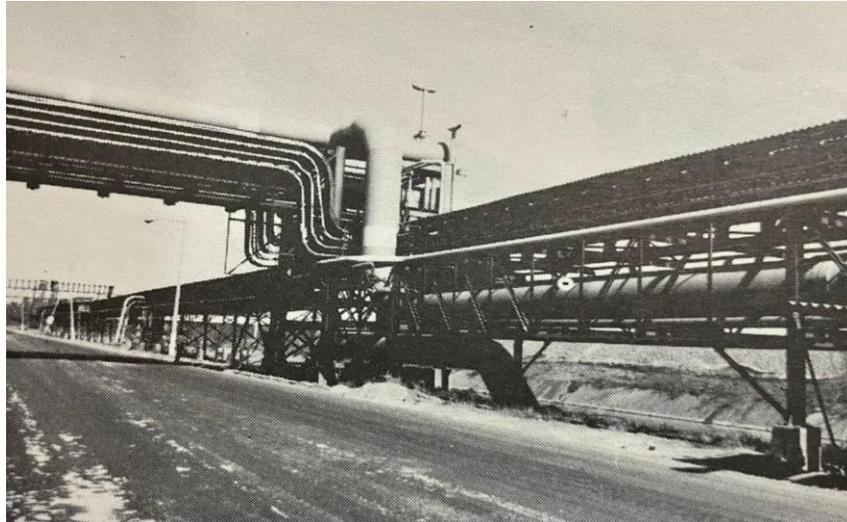


Figura 137 Las distintas secciones del sitio de SICARTSA están unidas por bastidores con estructura de acero que soportan tuberías, bandejas de cables y conductos entre plantas, donde las secciones de los bastidores corren paralelas a los canales de agua a través de la estructura

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 138 El pedestal de cimentación típico que fue sustituido, observe las diagonales de los contravientos dañadas en el marco.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 139 El edificio de la administración, entre los más dañados estructuralmente en la empresa SICARTSA

Fuente: EPRI Electric power research Institute

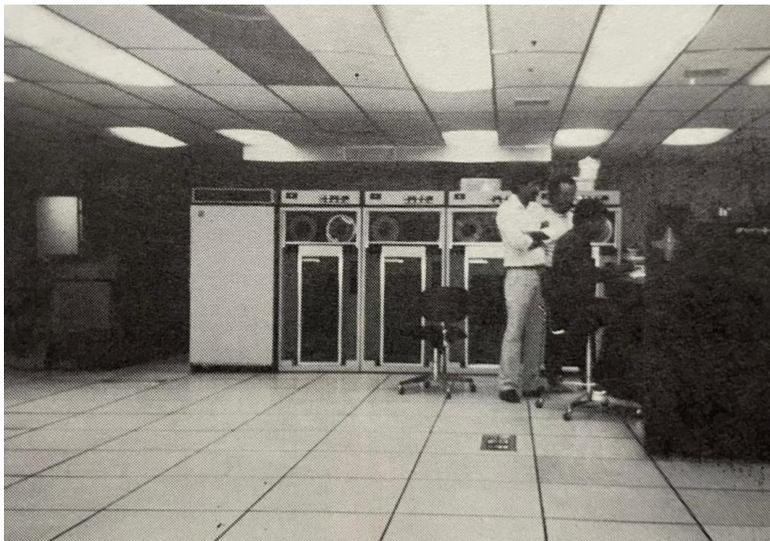


Figura 140 El edificio de administración alberga una gran instalación de procesamiento de datos, el daño principal sufrido por la instalación consistió en unidades de cinta volcadas (se muestra en el fondo después de la reparación).

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

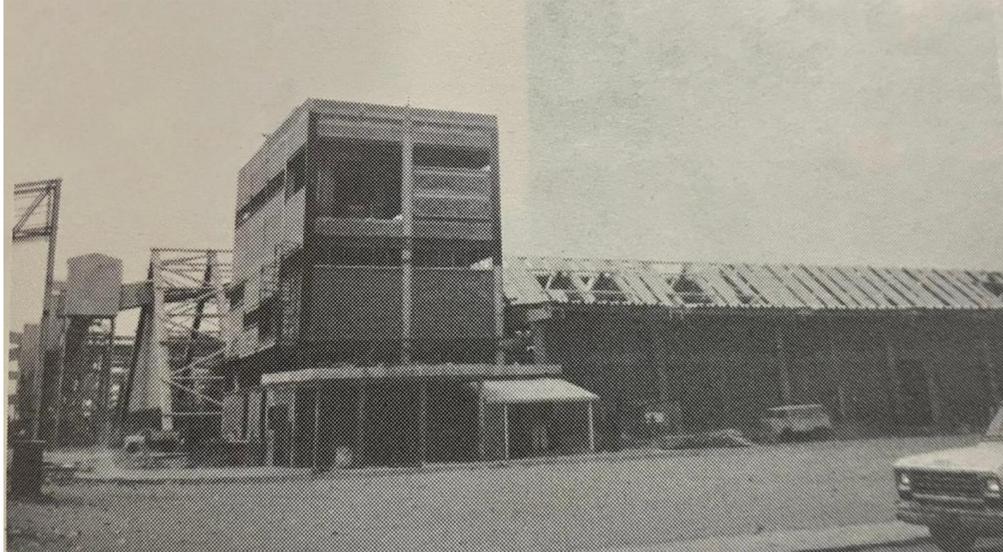


Figura 141 El daño estructural típico en la empresa FERTIMEX incluyó colapso en muros de relleno de mampostería y paneles de techo caídos, como se ve en los cobertizos de almacenamiento. La foto muestra una sección colapsada de un muro de mampostería en un depósito. Tenga en cuenta también la estructura de concreto dañada.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

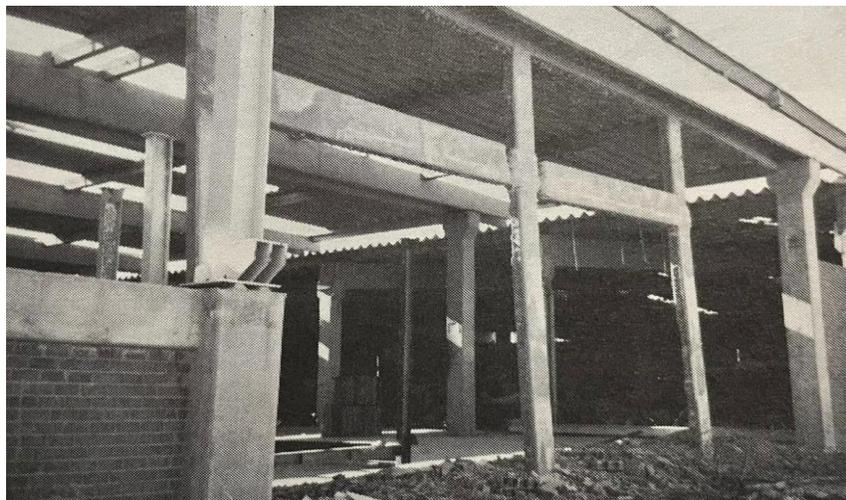


Figura 142 Se muestra una sección colapsada de muros de mampostería en un almacén, note también los daños al marco de concreto.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

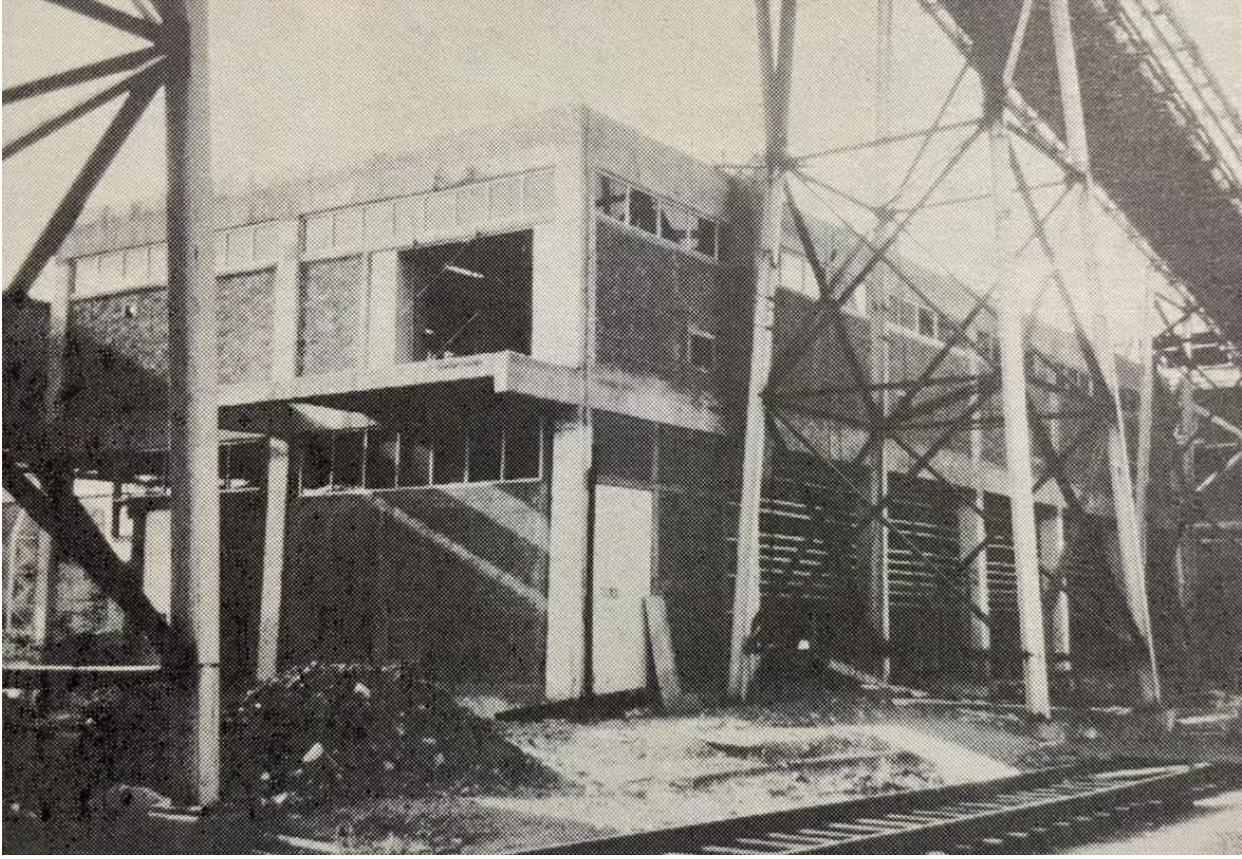


Figura 143 El edificio de la subestación de control de la planta de embalaje es de dos pisos. Estructura de concreto armado parcialmente abierta en la zona de distribución de cables de la planta baja, y encerrado por relleno de mampostería en el área de distribución del segundo piso. El edificio sufrió daños sustanciales en los muros de mampostería y en marcos de concreto

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 144 . El edificio sufrió daños sustanciales en los muros de mampostería y el marco de concreto, aquí se muestra el detalle de la figura anterior.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

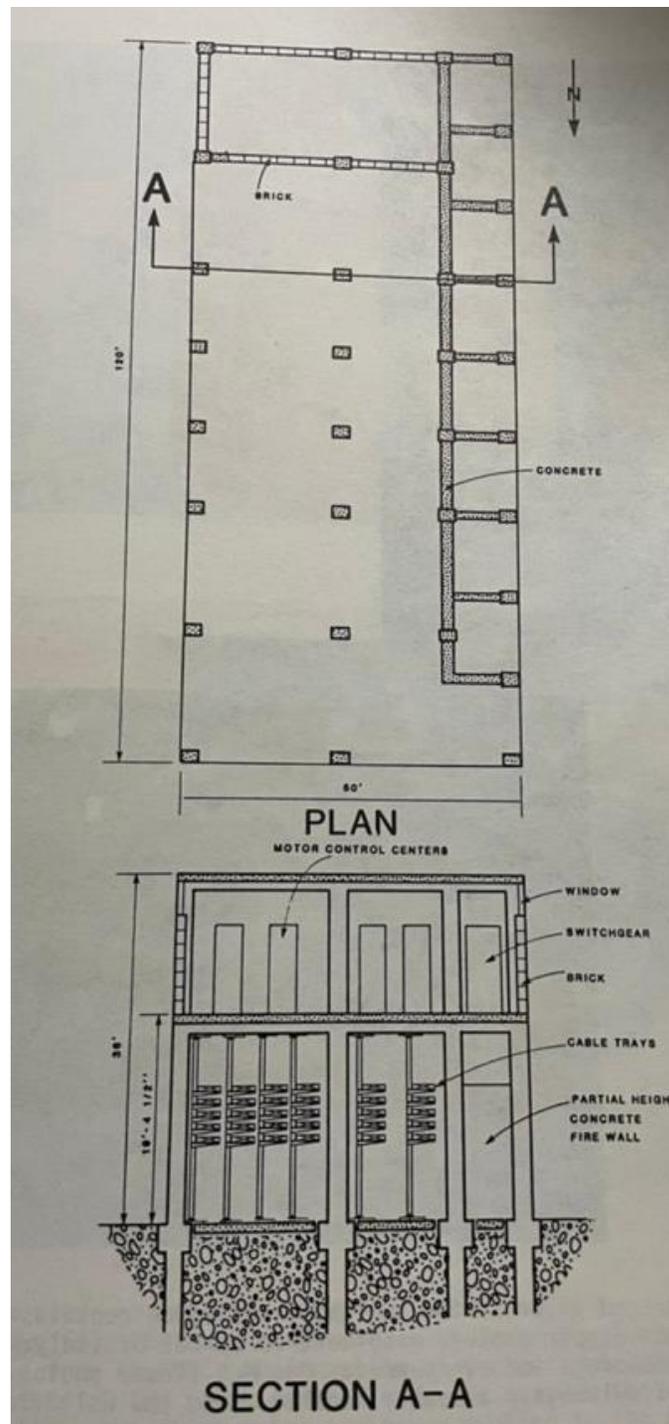


Figura 145 planta y elevación de la subestación de control indicada en la figura 143

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 146 Figura 5-14. El granero de la CONASUPO es un silo complejo rematado por una estructura de torre de hormigón.

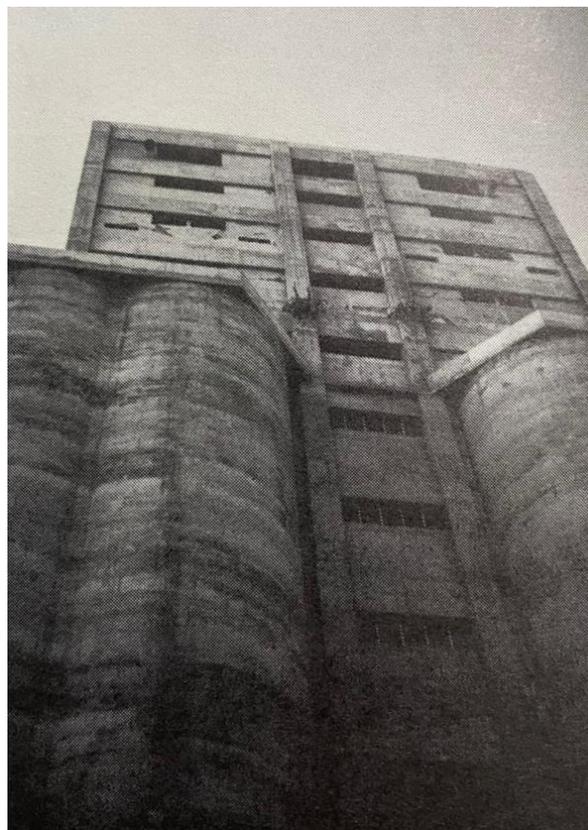


Figura 147 .El piso inferior de la torre colapsó. Los cuatro pisos superiores de la torre se asentaron en la parte superior de los silos, con solo las barras del acero de refuerzo expuestas y un ligero desplazamiento en las líneas de las columnas para marcar el piso inferior colapsado.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Fuente: EPRI Electric power research Institute

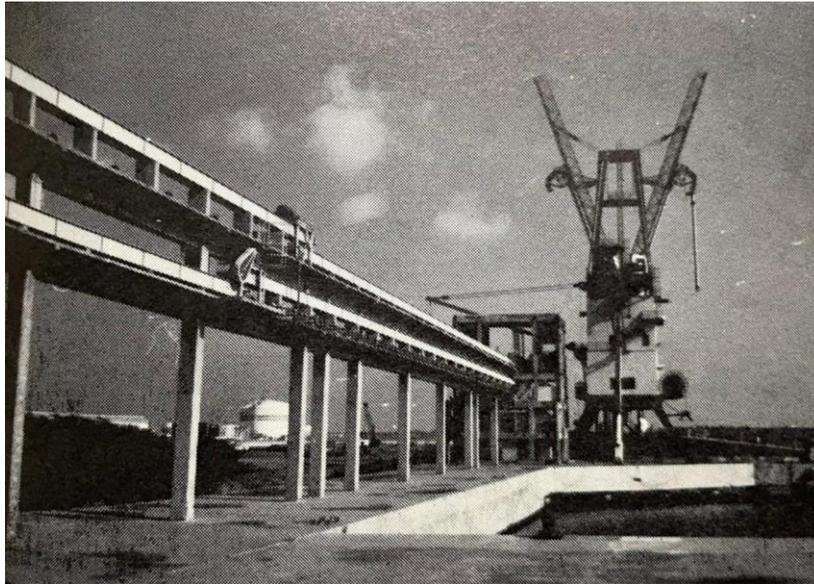


Figura 148 Se construyeron dos bandas transportadoras con estructura de concreto, para transportar grano a silos. Se muestra el sistema de transporte desde los silos a la estructura de transmisión del transportador. Las columnas de concreto están dañadas en sus bases

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 149 Se muestra la estructura del transportador volcada en toda la ruta a lo largo del muelle la grúa pórtico del fondo sufrió daños menores.

Fuente: EPRI Electric power research Institute



Figura 150 La estructura de accionamiento del transportador es un marco de concreto con relleno de mampostería.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

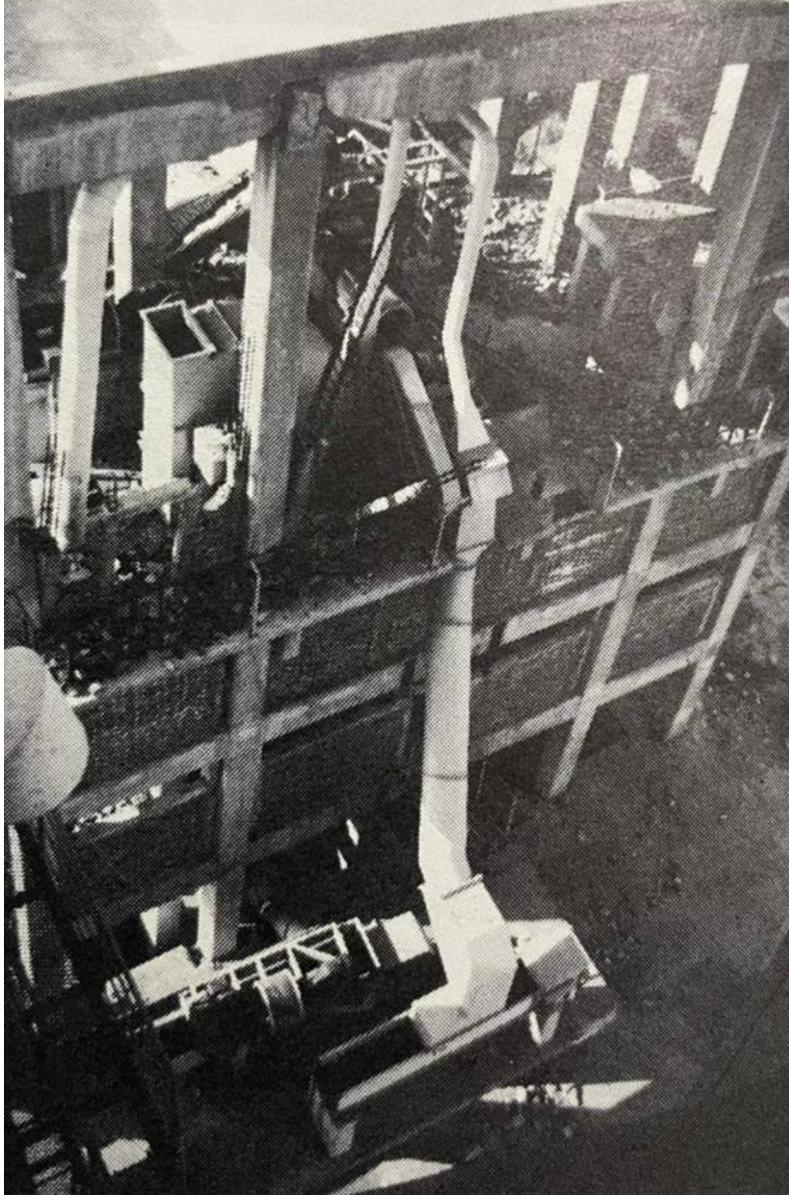


Figura 151 El edificio de la figura anterior sufrió un colapso parcial de sus pisos superiores y fue una pérdida total.

Fuente: EPRI Electric power research Institute

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Capítulo 4 ANÁLISIS ELÁSTICO DEL EDIFICIO

4.1 Ubicación

La estructura se localizará en el predio ubicado en la Avenida de las Islas esquina Isla Cerralvo del Parque de la Pequeña y Mediana Industria del Puerto Lázaro Cárdenas, ver figura 152.



Figura 152 Ubicación del predio

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Características estructurales

El Edificio es de concreto reforzado, cuenta con cuatro niveles destinados a oficinas corporativas. Está estructurado con base en columnas, traveses y losas macizas que forman pórticos en dos direcciones, muros perimetrales con cancelería de aluminio y cristal; en la parte izquierda de la fachada principal tiene un muro con un bastidor metálico forrado con tabla cemento (duroc), así como la zona húmeda en el interior (baños), las divisiones entre las diferentes áreas internas están formadas por un bastidor metálico ligero recubierto por placa de yeso (tabla roca).

Las figuras 153 y 154 muestran el arreglo de la distribución arquitectónica del edificio

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

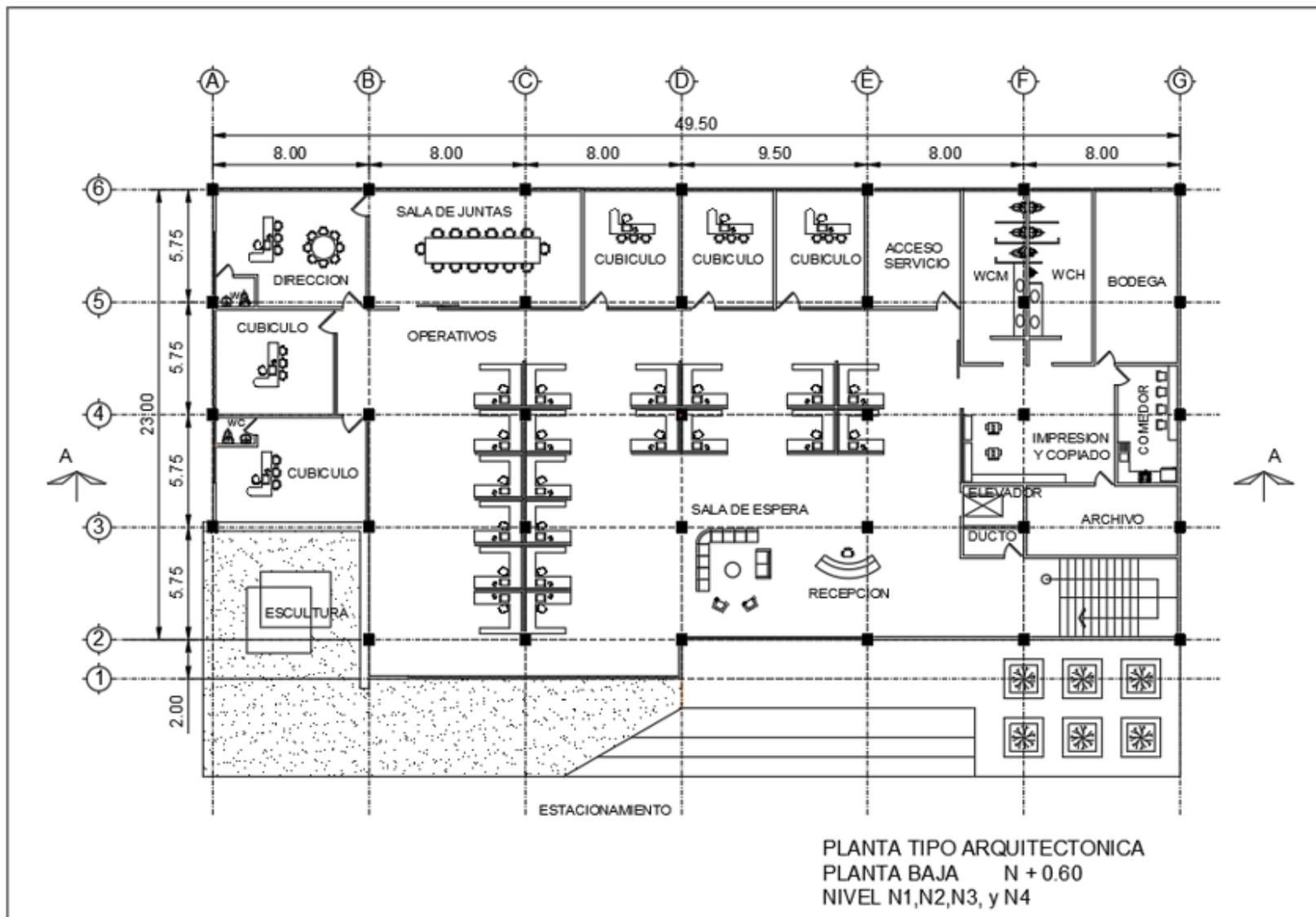


Figura 153 Planta tipo arquitectónica N1, N2, N3, y N4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

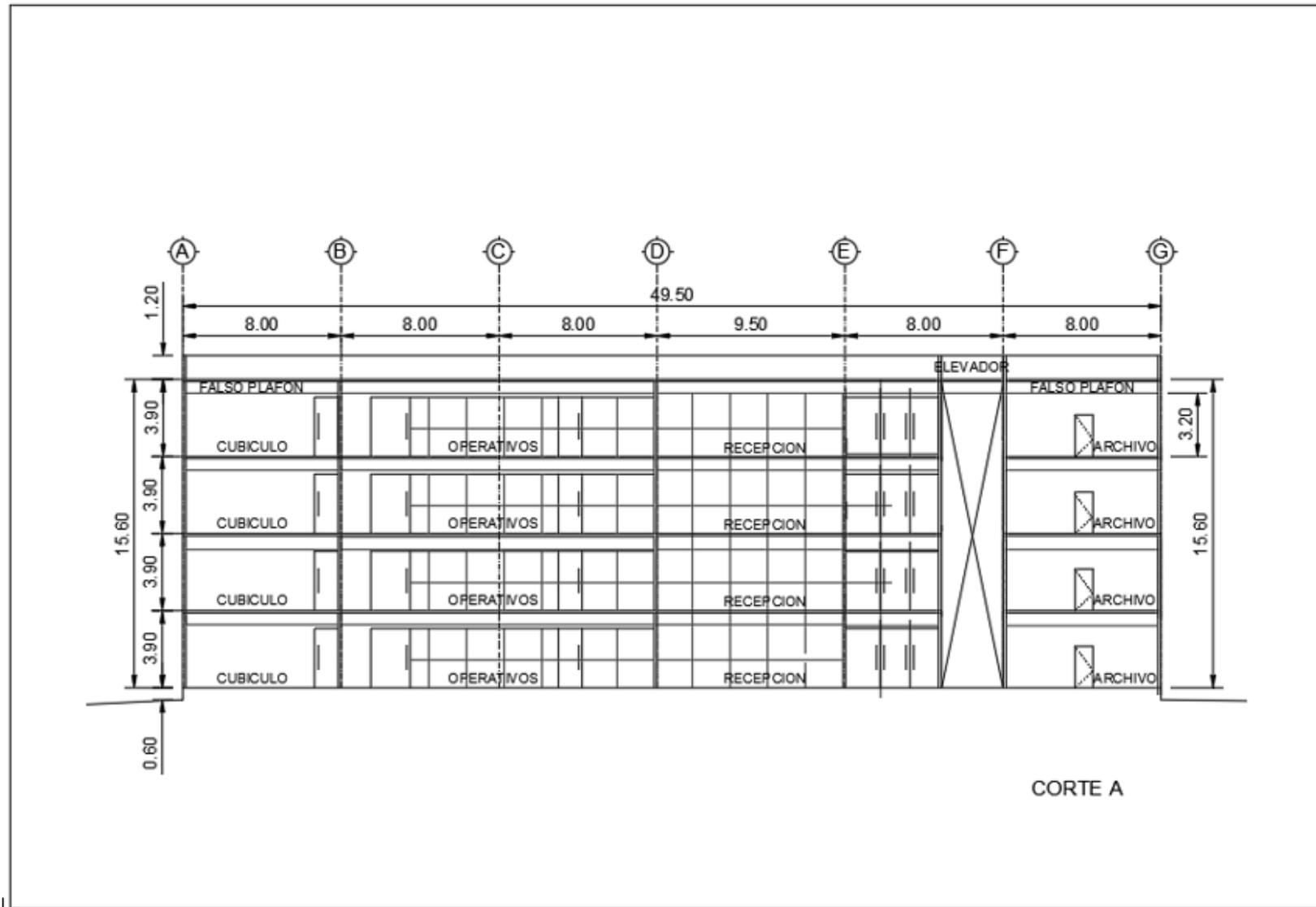


Figura 154 Corte A-A ver figura anterior

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 155 Perspectiva del edificio

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2 Diseño elástico del edificio

4.2.1 *Normatividad empleada*

El diseño del Edificio se realizará aplicando las Normas y códigos indicados a continuación:

Normas Técnicas del Reglamento de Construcción de Distrito Federal (NTC-RCDF, 2004)

Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo (CFE, 2008).

Clasificación de la estructura:

Para la clasificación de la estructura se considera que es un edificio destinado a oficinas, construido con base en marcos de concreto reforzado. La resistencia del entrepiso es suministrada por columnas y trabes con losas macizas.

A) Por su importancia (Inciso 3.2.2, tabla 2.1 MDOC CFE-DS 2008)

La construcción funciona como un edificio corporativo de oficinas, por lo cual se considera como una estructura del Grupo B

B) Por su estructuración (Inciso 3.2.3, tabla 2.2 MDOC-DS CFE-2008)

La estructura se considera como Tipo 1, Estructura de Edificios

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.2 Condiciones de irregularidad

Para que un edificio sea considerado regular, debe cumplir las 11 condiciones que se indican en el inciso 3.3.2.1 de la sección de recomendaciones del MDOC-DS CFE-2008

1. La distribución en planta de masas, muros y otros elementos resistentes, es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales. Estos elementos son sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.

- *Como puede apreciarse en la figura 1, los elementos resistentes en cada nivel son sensiblemente simétricos en ambas direcciones, por lo tanto*

SI CUMPLE ✓

2. La relación entre la altura y la dimensión menor de la base es:

$$\frac{H}{B} = \frac{14}{23} = 0.60 < 2.5$$

SI CUMPLE ✓

3. La relación entre largo y ancho de la base es:

$$\frac{L}{B} = \frac{49.5}{23} = 2.15 < 2.5$$

SI CUMPLE ✓

4. En planta no se tienen entrantes ni salientes cuya dimensión exceda el 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considere la entrante o saliente.

- *En la planta se puede apreciar que se tiene una entrante de 5.75 m, el ancho del edificio es de 23 m; el 20% de 23 son 4.60 m, por lo tanto, excede al 20% de la dimensión en que se considera la entrante en la planta del edificio.*

NO CUMPLE

5. En cada nivel se tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- *El sistema de piso del edificio se consideró construido a base de losa maciza, lo que hace un techo o piso rígido y resistente, por lo tanto:*

SI CUMPLE ✓

6. No se tienen aberturas en los sistemas techo o piso cuya dimensión excede 20% de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección en que se considera la abertura. Las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro y el área total de aberturas no excede, en ningún nivel, el 20% del área de la planta.

- *Se tienen dos aberturas, una para la escalera y otra para el elevador (estos elementos se van a estructurar de forma independiente al edificio principal), la abertura del elevador es de 3.25 X3.85 m y el de la escalera 7.70 X4.15 m, el 20% en la dirección X de 49.5m es 9.9m y en la dirección Y el 20% de 23m es 4.6m por lo tanto no exceden el 20% de la dimensión en planta medida paralelamente en la dirección en que se considera la abertura ver figura de planta tipo.*

SI CUMPLE ✓

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

7. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico no es mayor que 110% del correspondiente al piso superior ni menor que 70% del correspondiente al piso inmediato inferior. El último entrepiso queda excluido

Tabla 33

Pesos por Nivel para Analizar las Irregularidades

Nivel	W (Peso)	110%W	70%W
	Ton	Ton	Ton
N-4	1225.41		
N-3	1246.61	1371.27	872.62
N-2	1270.74	1397.59	889.38
N-1	1288.92	1417.82	902.25

SI CUMPLE ✓

8. Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110% ni menor que 70% de la del piso inmediato inferior. El último piso de la construcción está exento de condiciones de área mínima. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50% a la menor de los pisos inferiores

Se considera que el área del edificio es la misma en todos los niveles, por lo tanto:

SI CUMPLE ✓

9. En todos los pisos, todas las columnas están restringidas en las dos direcciones ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas macizas.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tal como se aprecia en las figuras de 183 y 184 vista en 3 D, en la que se puede identificar que todas las columnas están restringidas en las dos direcciones ortogonales por trabes o losas macizas.

SI CUMPLE ✓

10. La rigidez y la resistencia al corte de cada entrepiso no excede en más de 50% a la del entrepiso inmediato inferior. El último entrepiso queda excluido de esta condición.

11. SI CUMPLE ✓

Tabla 34

Rigidez de Entrepiso

Story	Stiff X	Stiff Y
	ton/cm	ton/cm
N-4	515.94	547.90
N-3	740.24	823.54
N-2	1001.68	1195.06
N-1	2070.76	2606.55

Nota. Valores tomados del modelo y pasados a Excel

SI CUMPLE ✓

12. En todos los entrepisos, la excentricidad torsional es menor del 10% de su dimensión.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- *La excentricidad torsional es menor que el 10% de la dimensión en planta medida paralelamente a la excentricidad torsional (tabla35)*

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 35

Excentricidad Torsional de Entrepisos

Nivel	Centros de masas		Centros de torsión		Excentricidad torsional		Dimensiones en planta		Porcentajes	
	XCM	YCM	XCR	YCR	ex=XCM-XCR	ex=YCM-YCR	B	L	10% B	10% L
	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
N-1	24.59	13.60	25.05	13.79	-0.46	-0.20	23.00	49.50	2.3	4.95
N-2	24.60	13.59	25.15	13.79	-0.55	-0.20	23.00	49.50	2.3	4.95
N-3	24.62	13.57	25.21	13.79	-0.60	-0.22	23.00	49.50	2.3	4.95
N-4	24.72	13.48	25.27	13.79	-0.55	-0.31	23.00	49.50	2.3	4.95

SI CUMPLE ✓

Como no cumple la condición 10.4 (Inciso 3.3.2.2 Estructura Irregular MDOC-DS CFE-2008) en consecuencia, la estructura se considera como irregular (y se aplicara un factor de irregularidad $\alpha=0.9$ (inciso 3.3.2.4 Corrección por irregularidad Tabla 3.1. Factor correctivo por irregularidad, α)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.3 Geometría

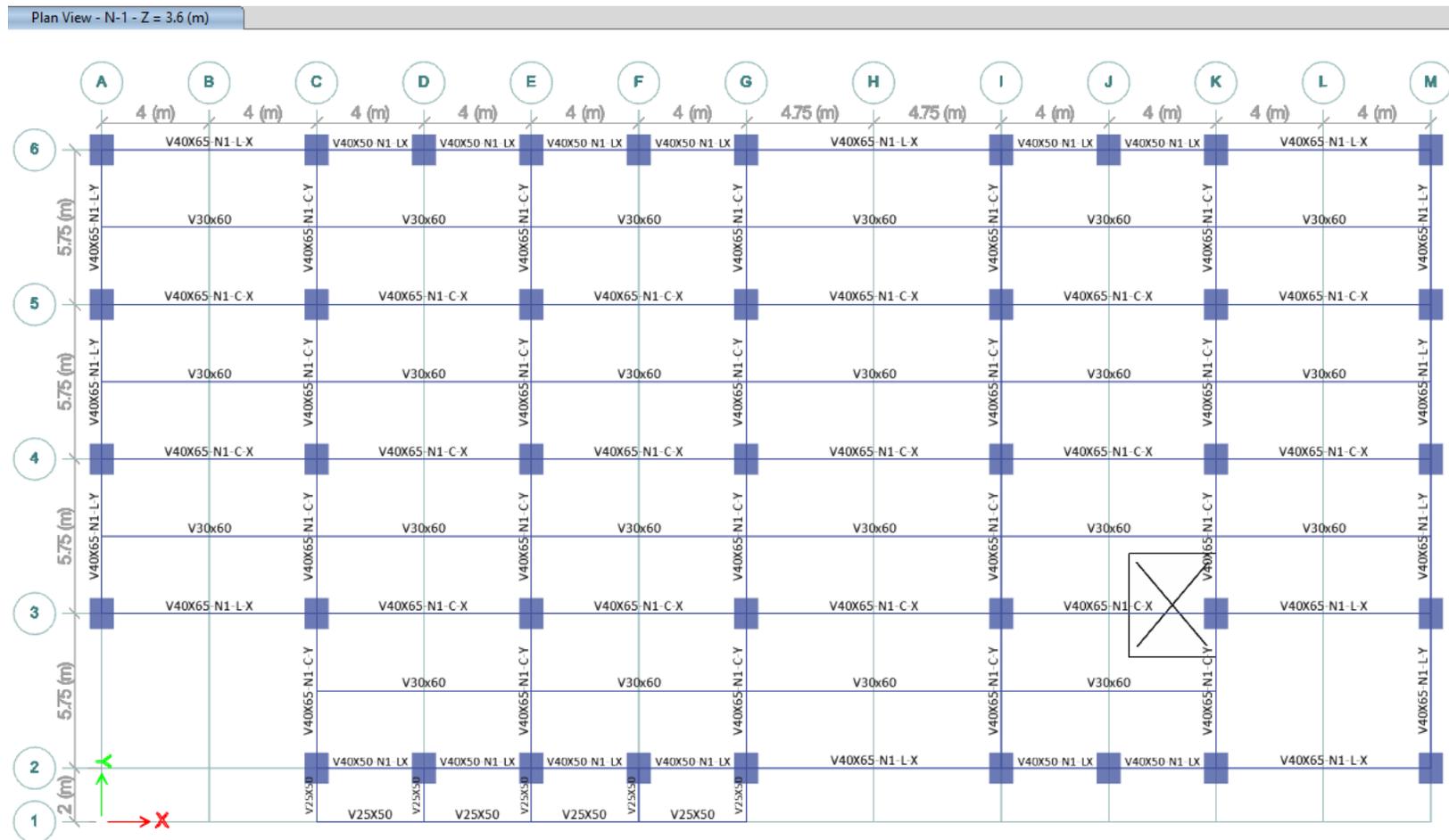


Figura 156 Planta nivel 1

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

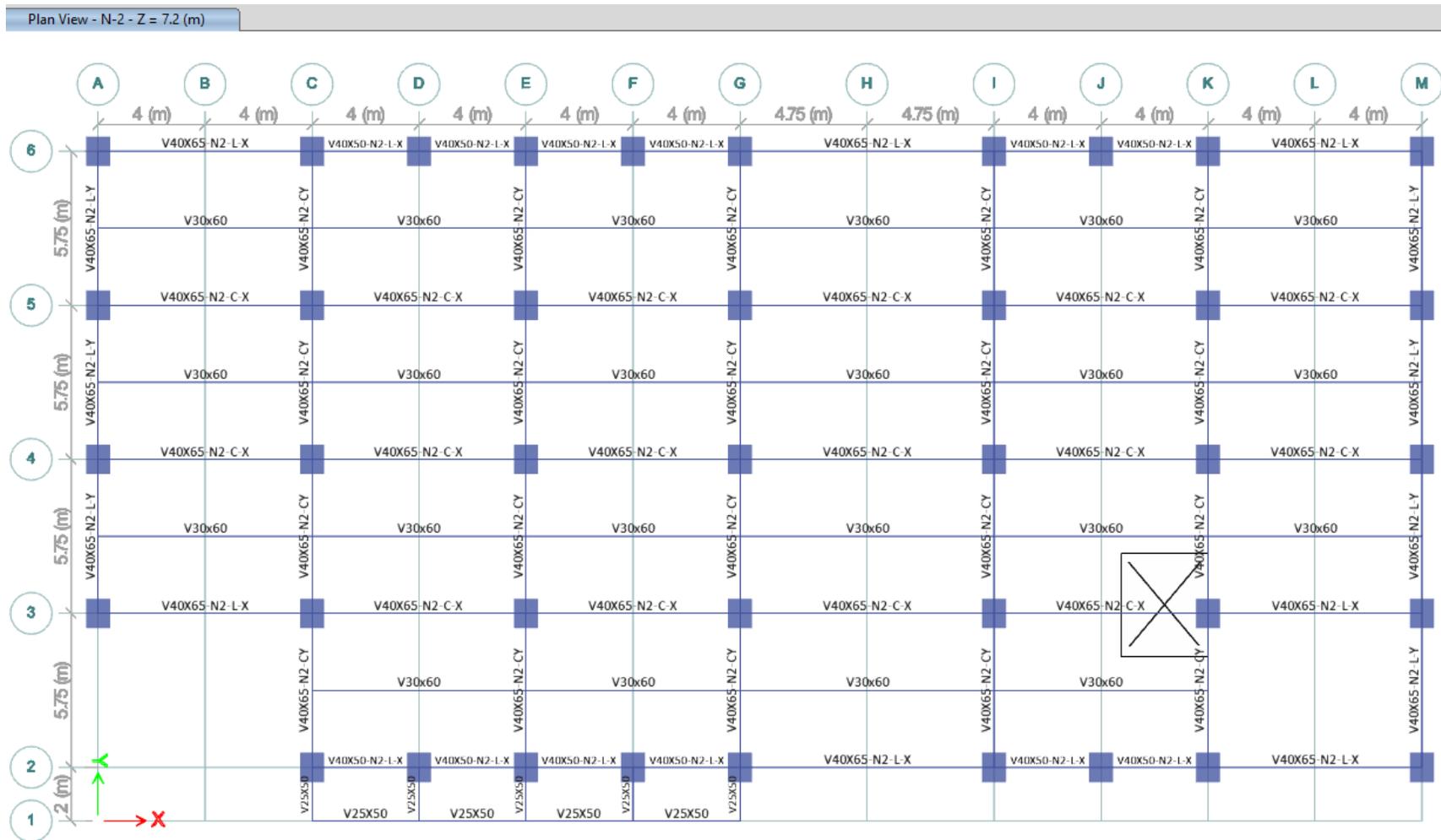


Figura 157 Planta nivel 2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

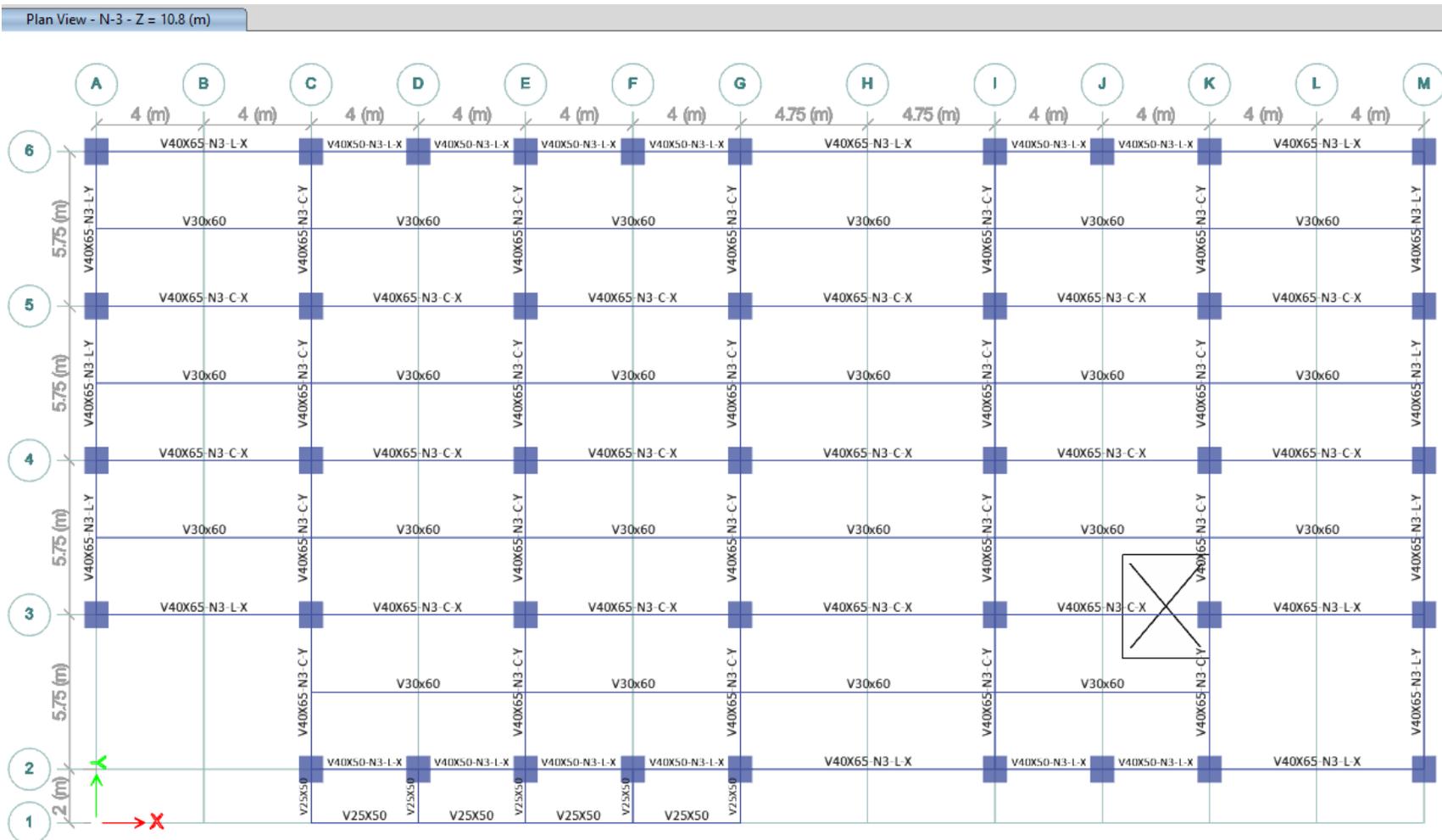


Figura 158 Planta nivel 3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Plan View - N-4 - Z = 14.4 (m)

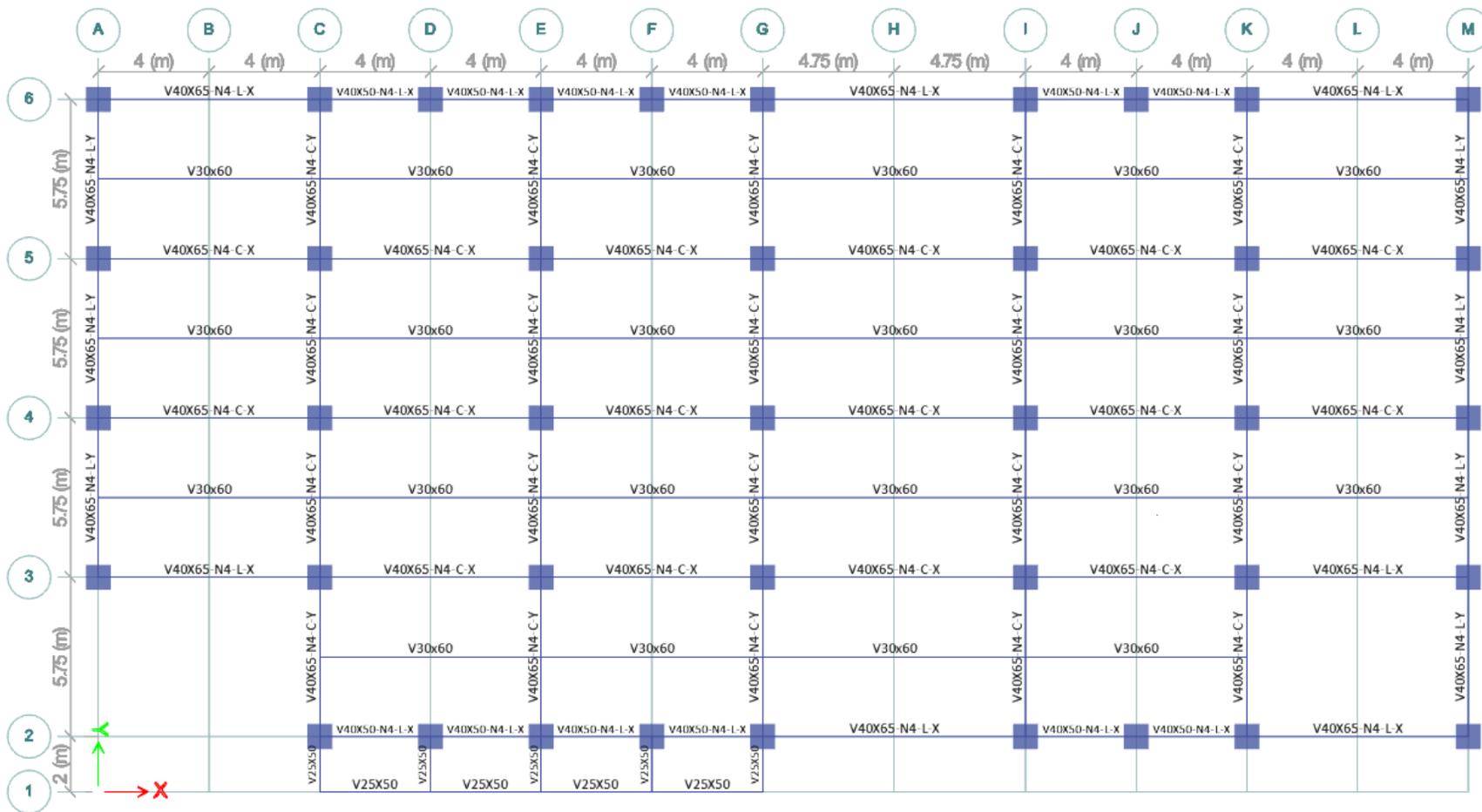


Figura 159 Planta nivel 4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

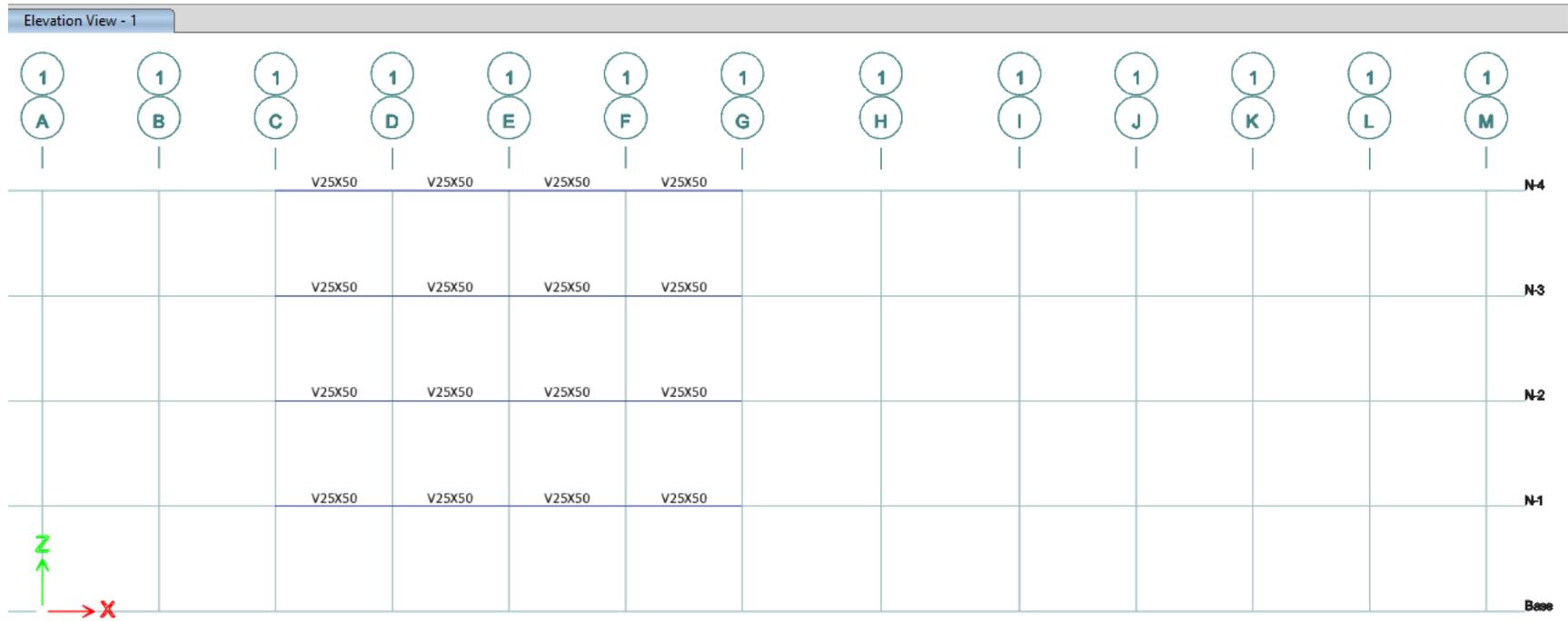


Figura 160 Elevación eje 1

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

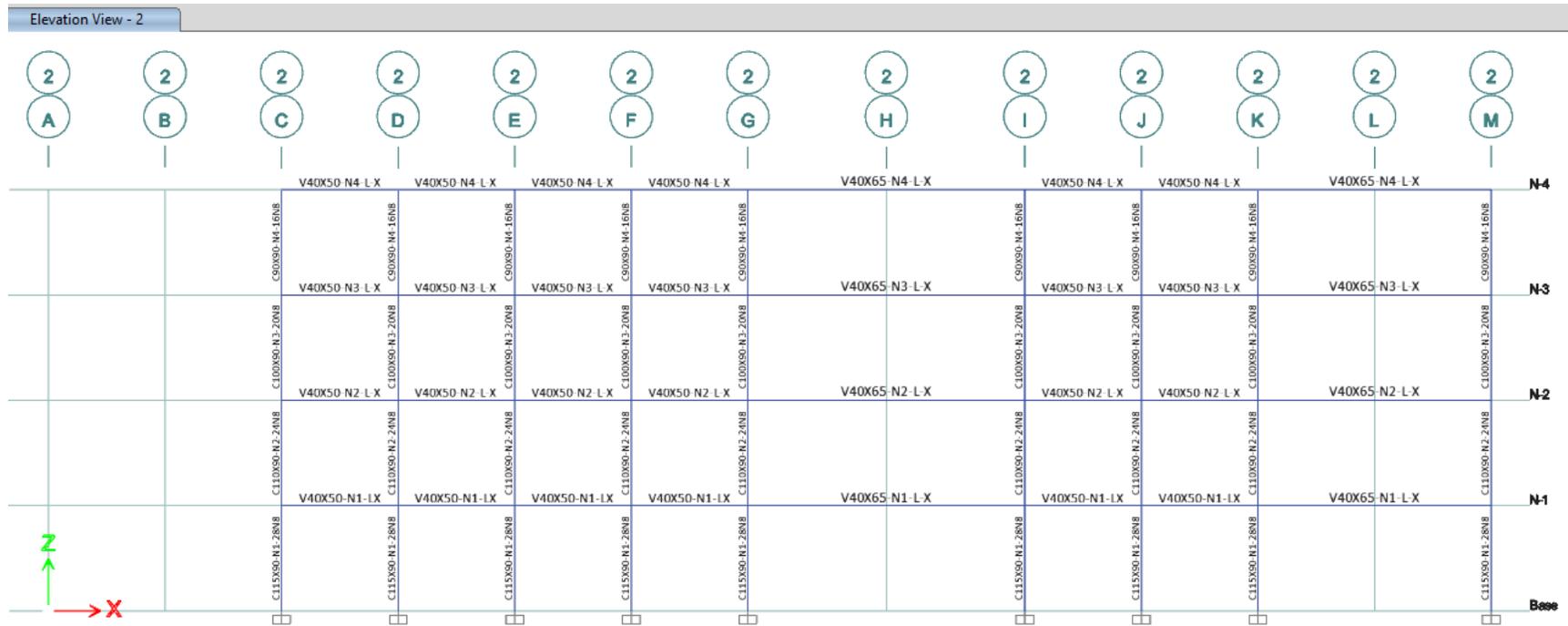


Figura 161 Elevación eje 2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

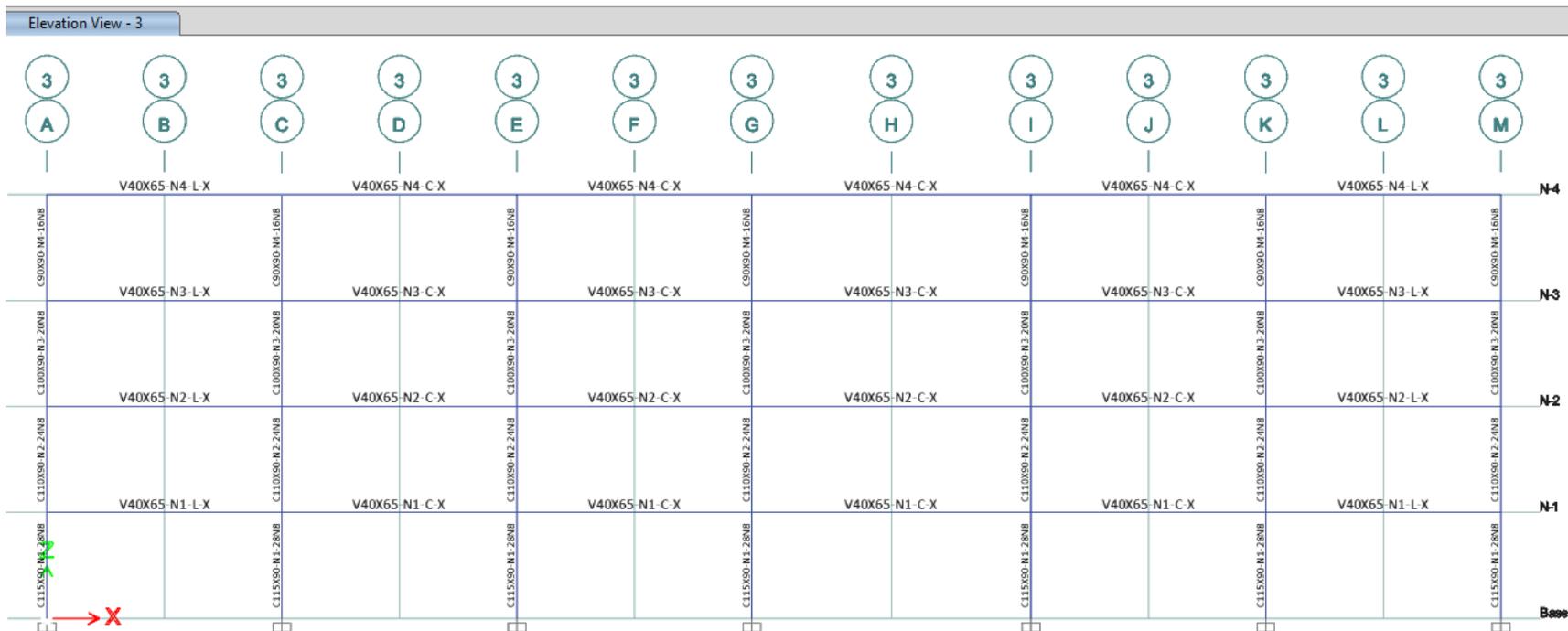


Figura 162 Elevación eje 3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

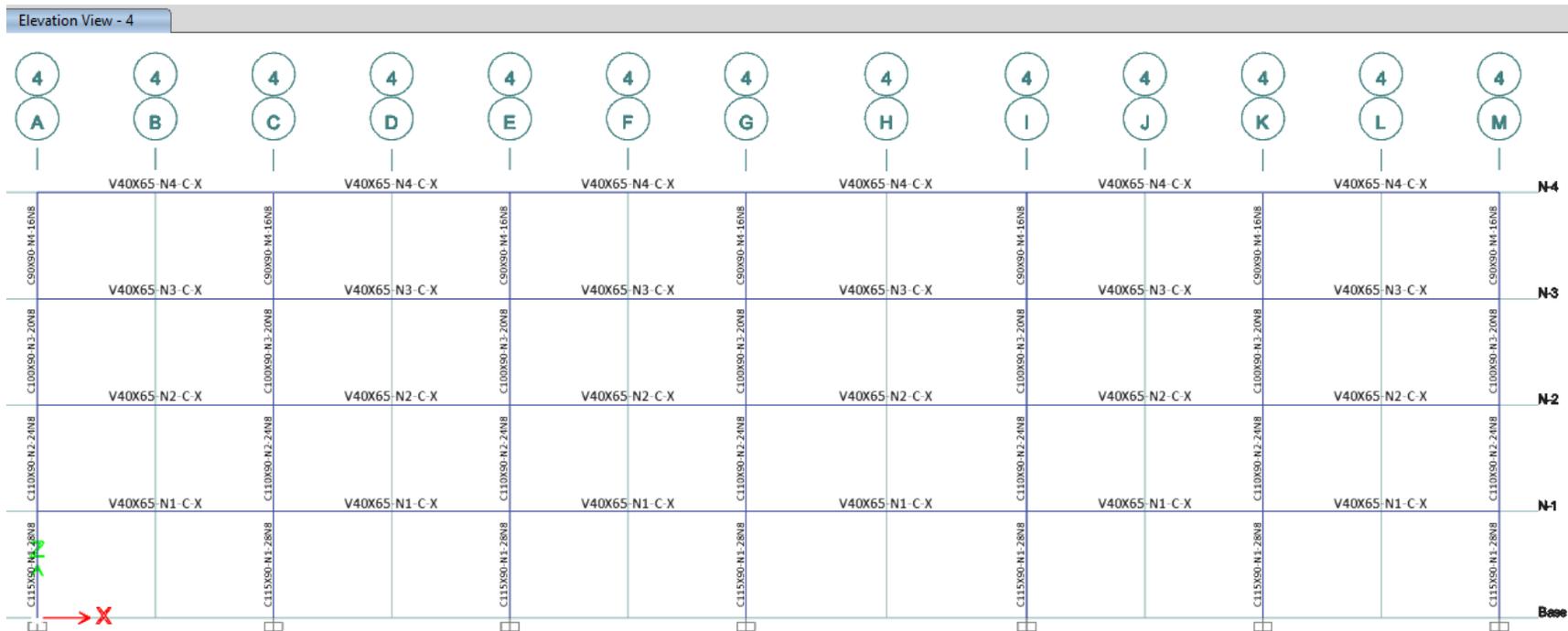


Figura 163 Elevación eje 4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

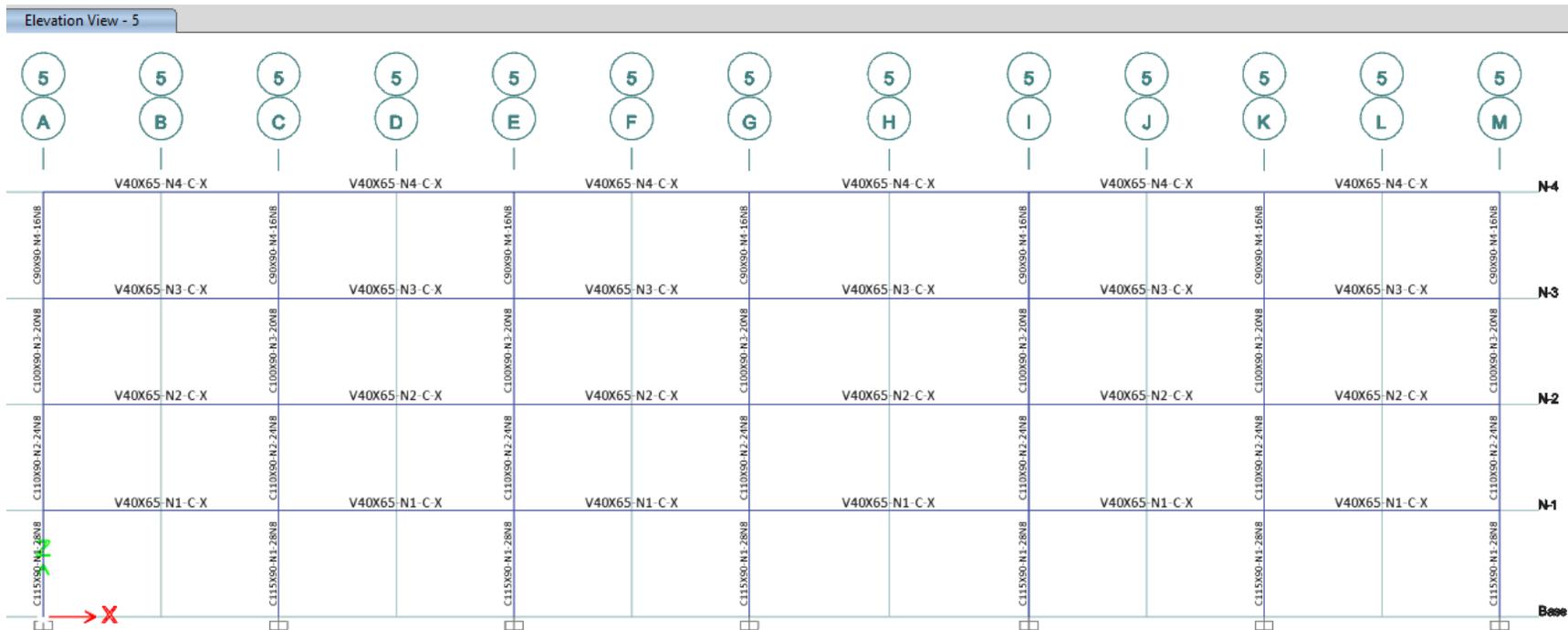


Figura 164 Elevación eje 5

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

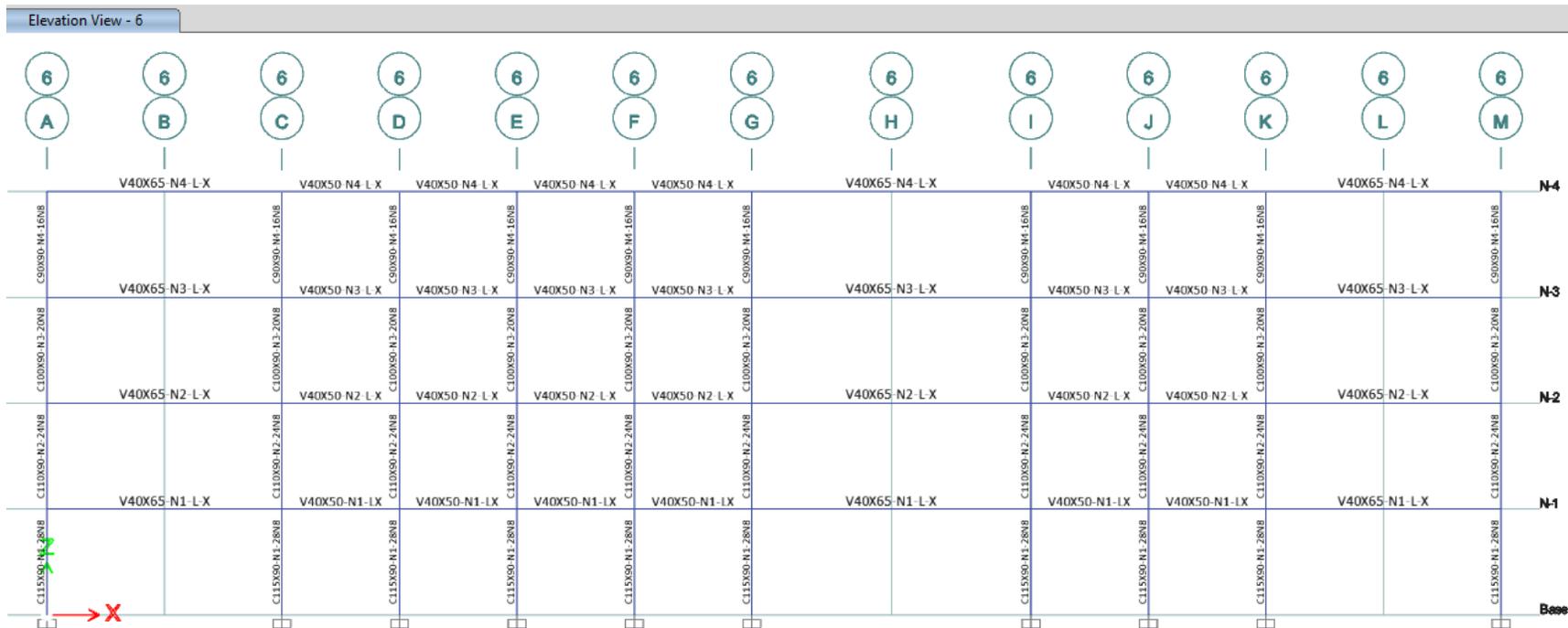


Figura 165 Elevación eje 6

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 166 Elevación eje A

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

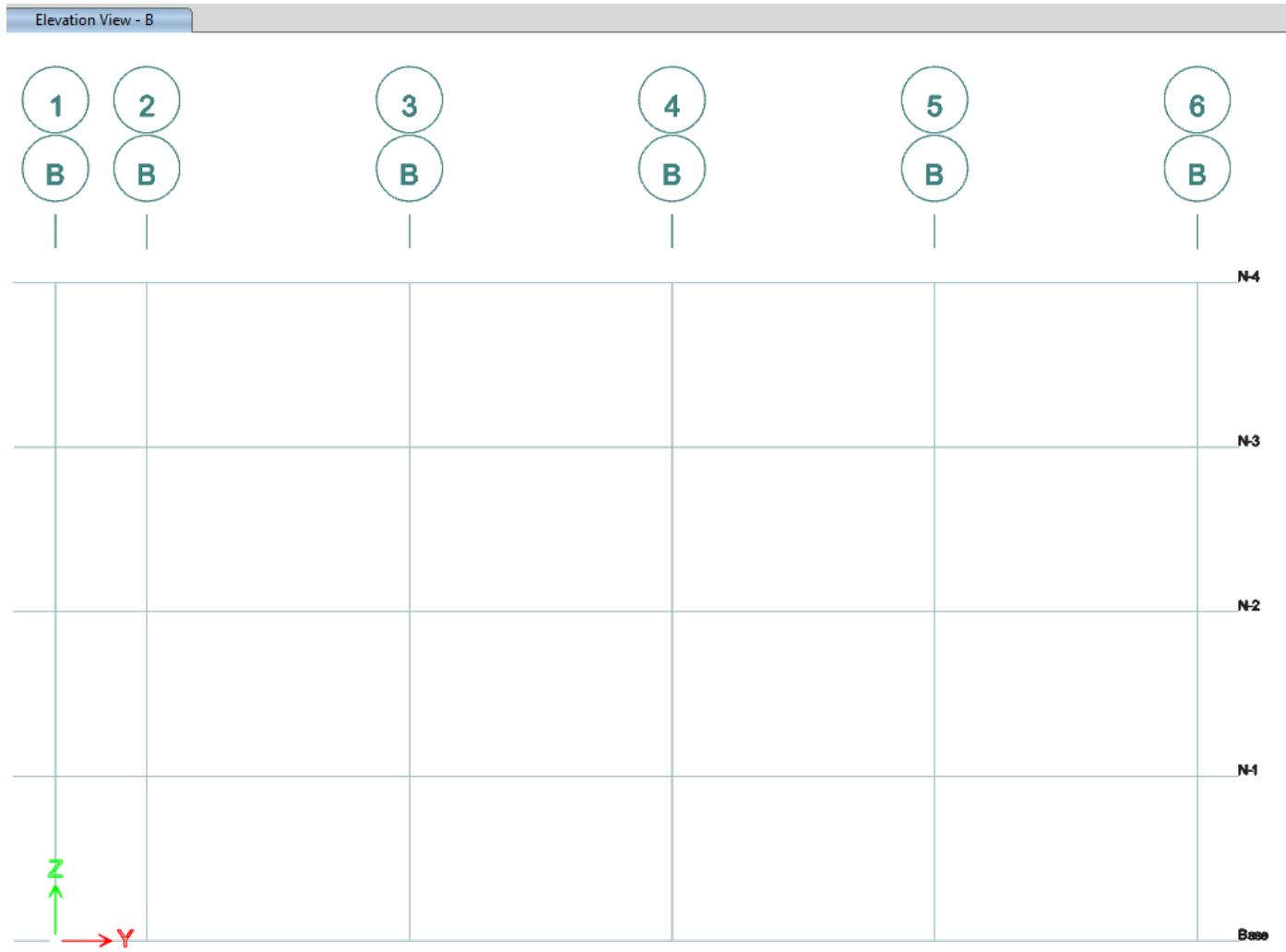


Figura 167 Elevación eje B

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 168 Elevación eje C

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

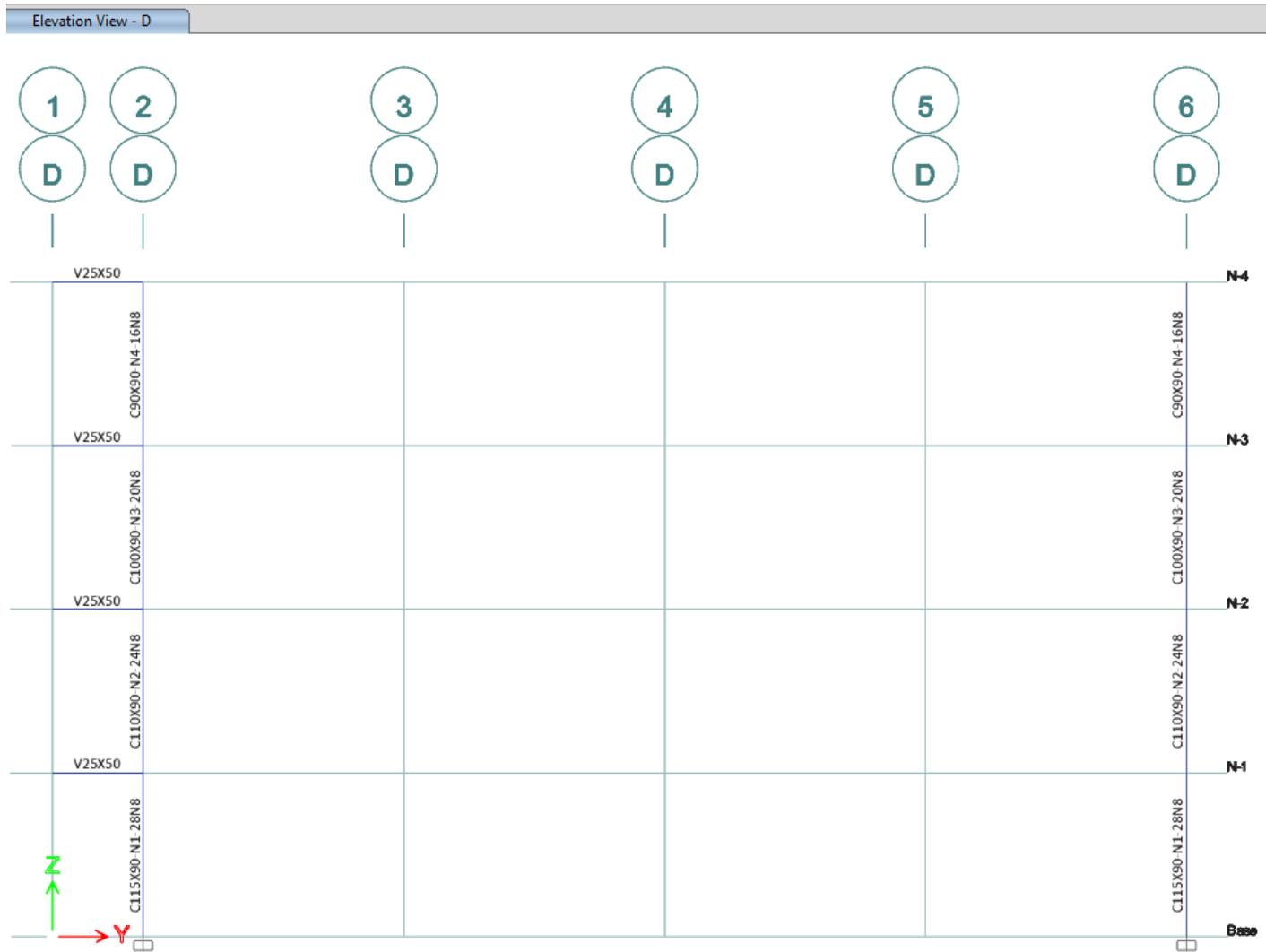


Figura 169 Elevación eje D

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

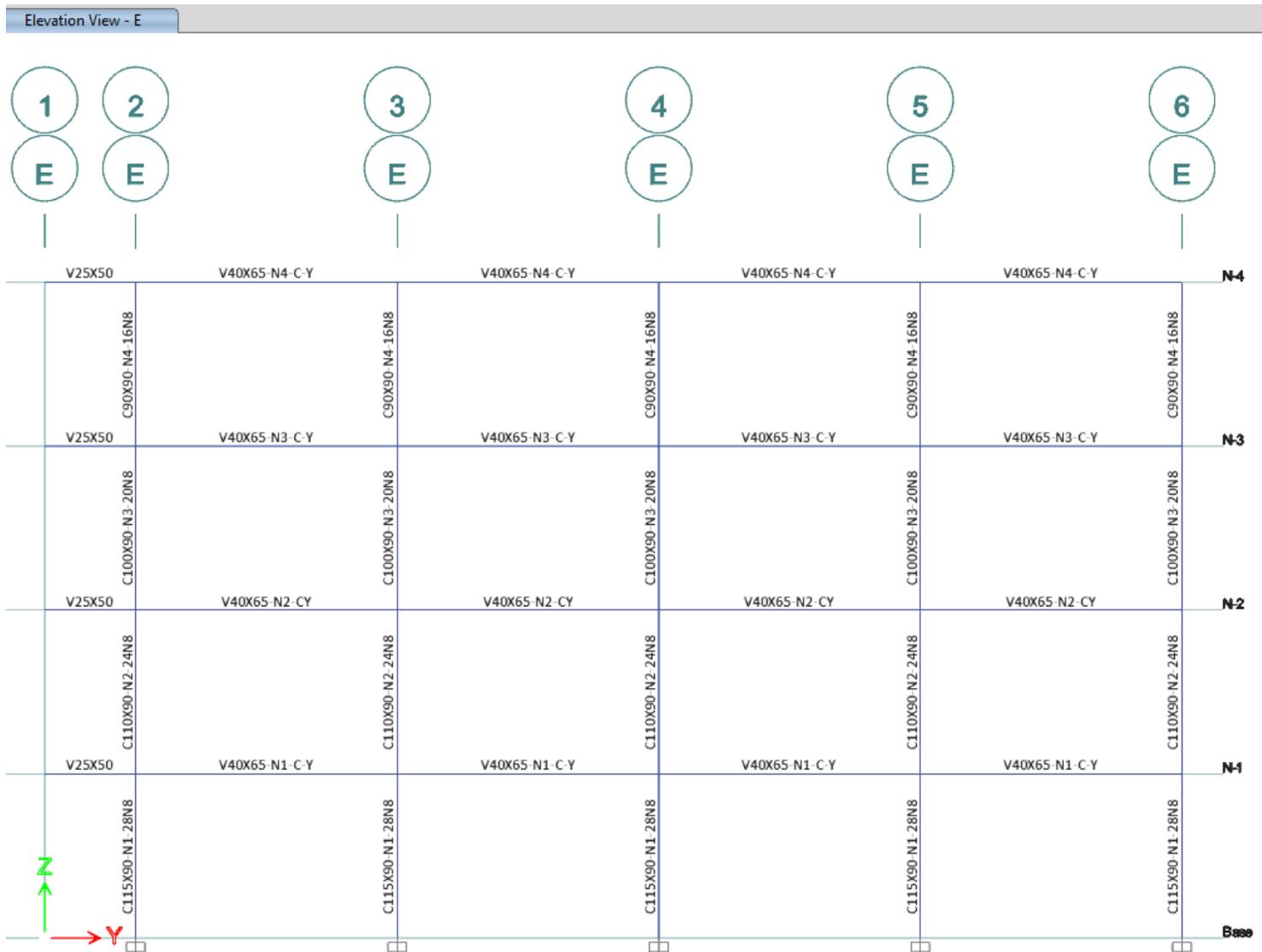


Figura 170 Elevación eje E

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

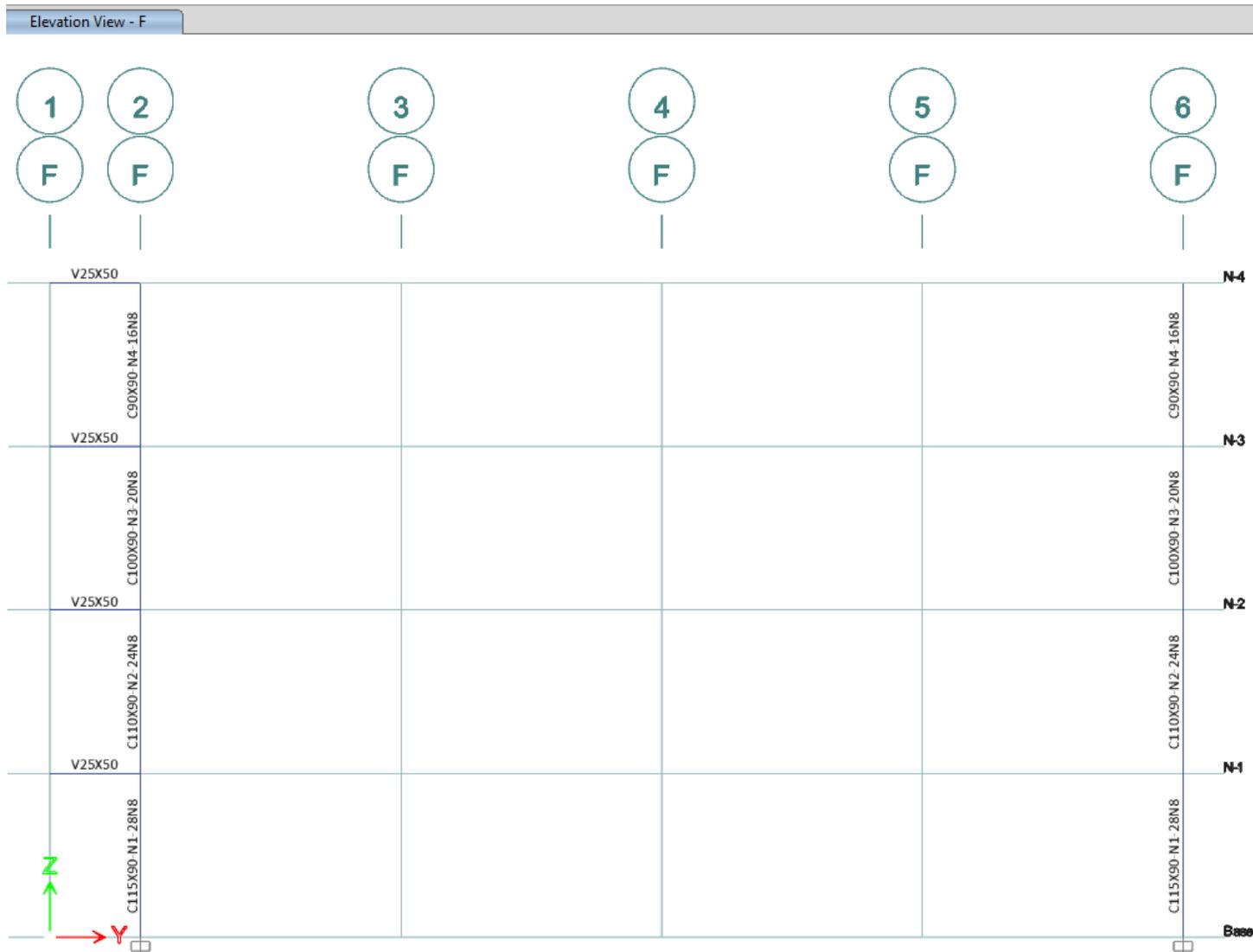


Figura 171 Elevación eje F

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 172 Elevación eje G

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

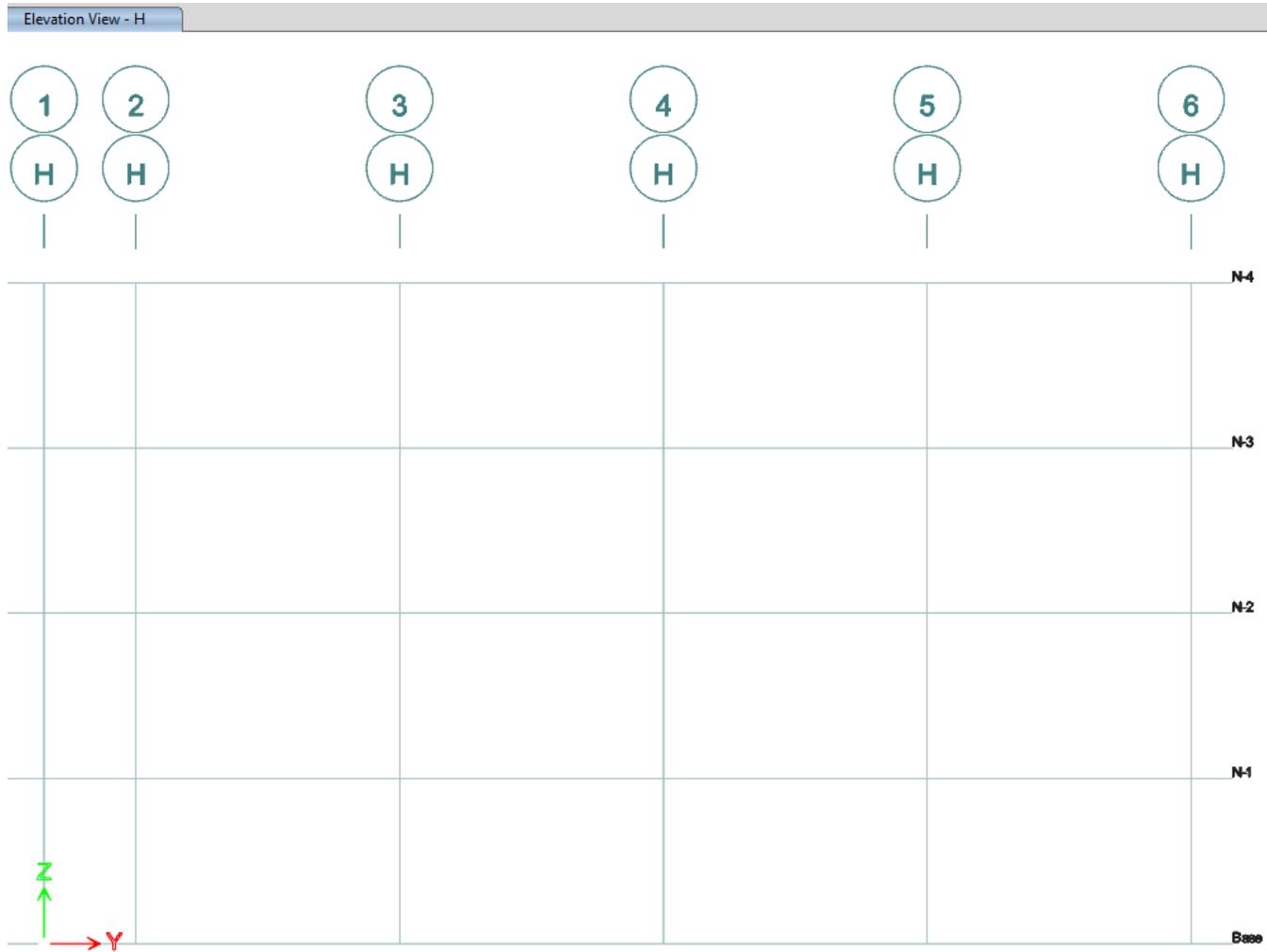


Figura 173 Elevación eje H

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

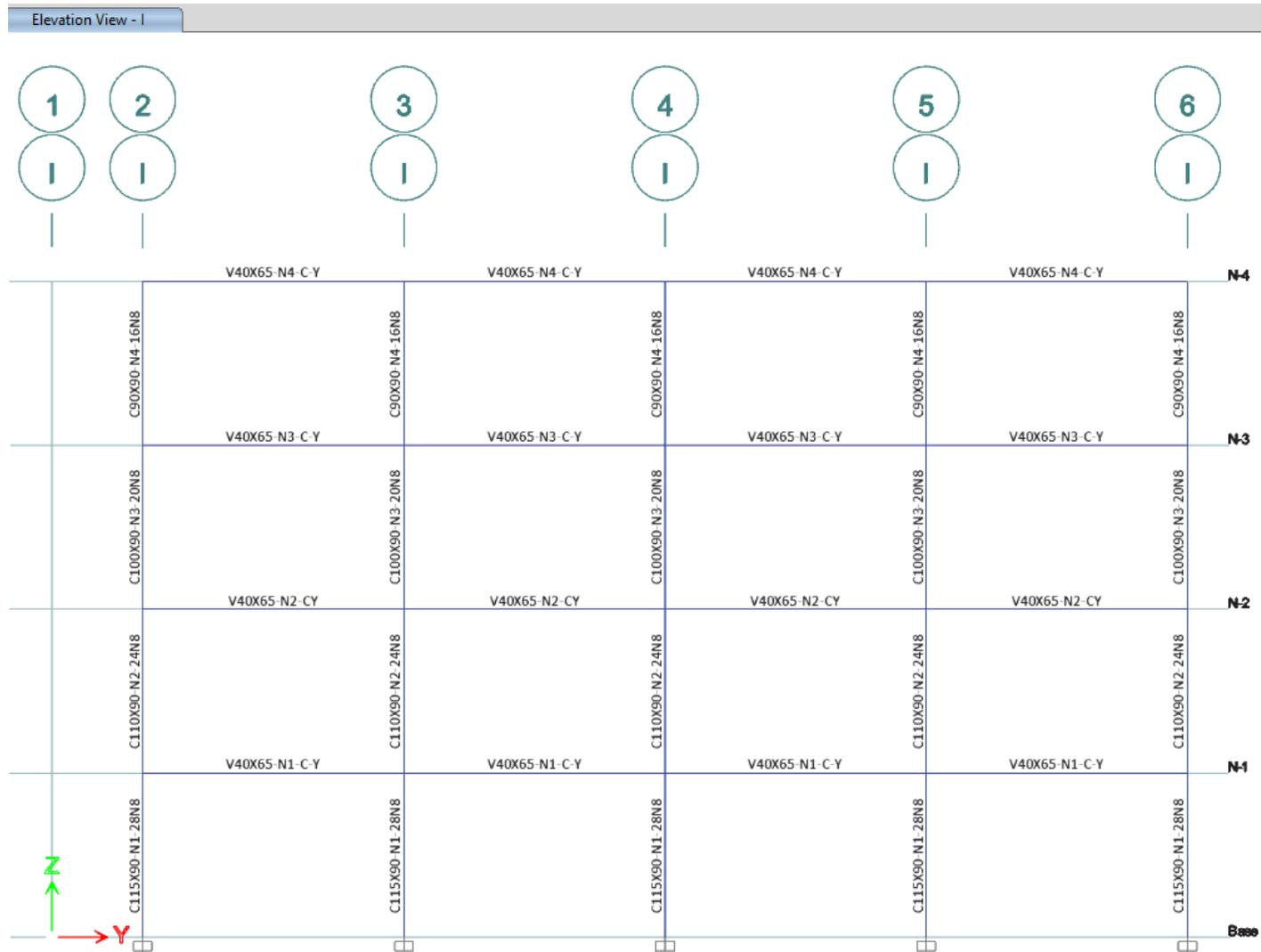


Figura 174 Elevación eje I

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

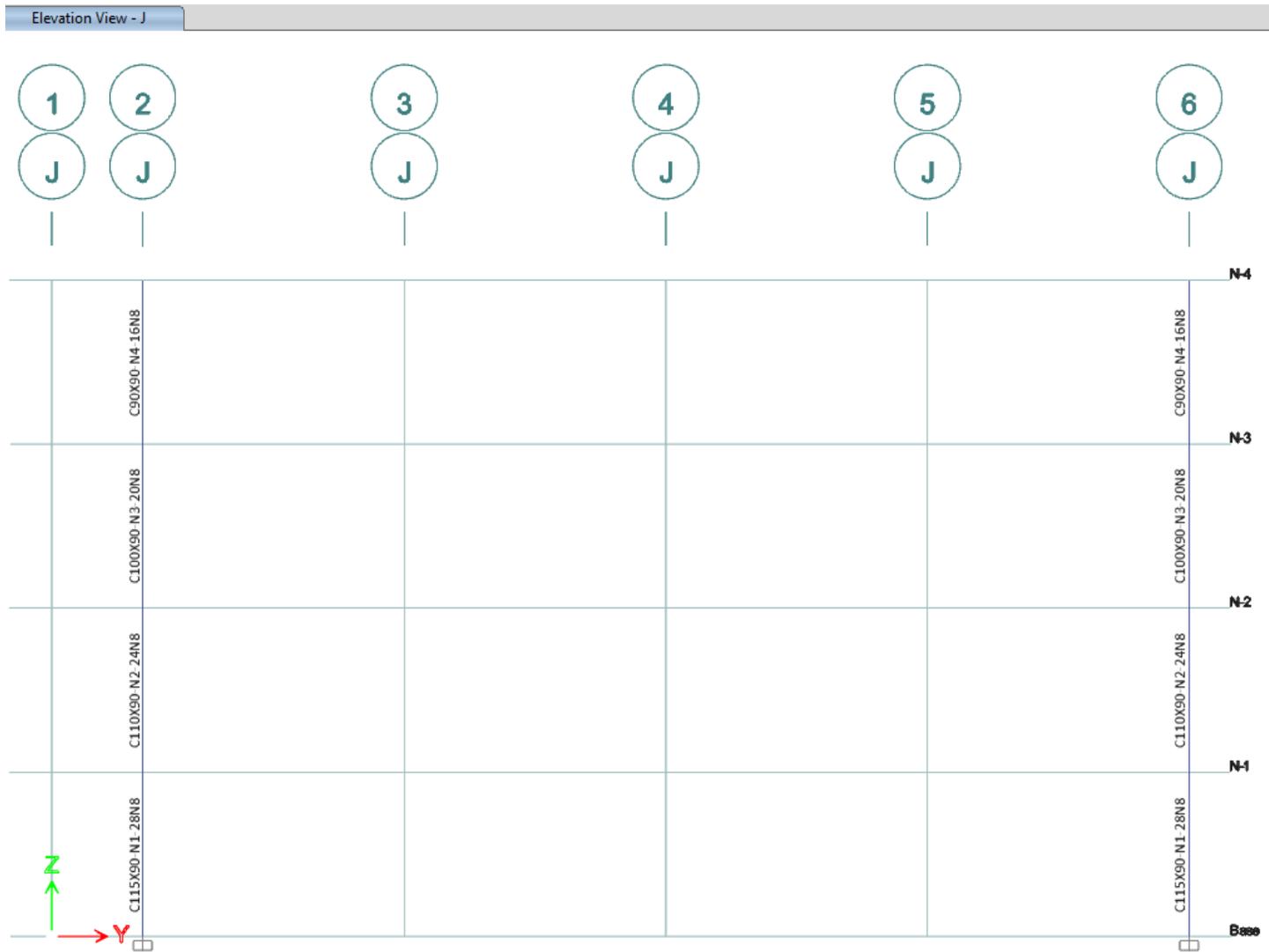


Figura 175 Elevación eje J

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

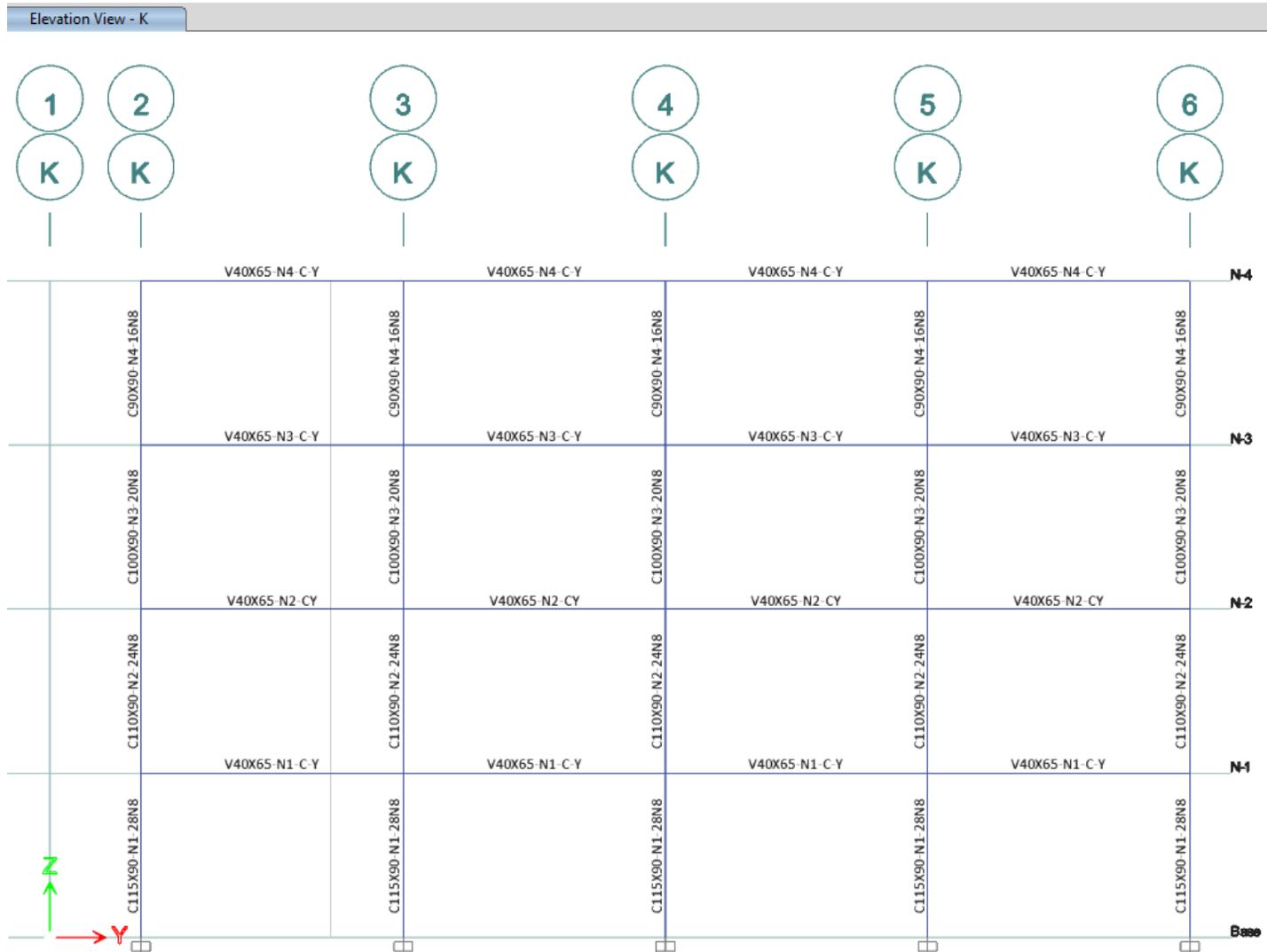


Figura 176 Elevación eje K

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

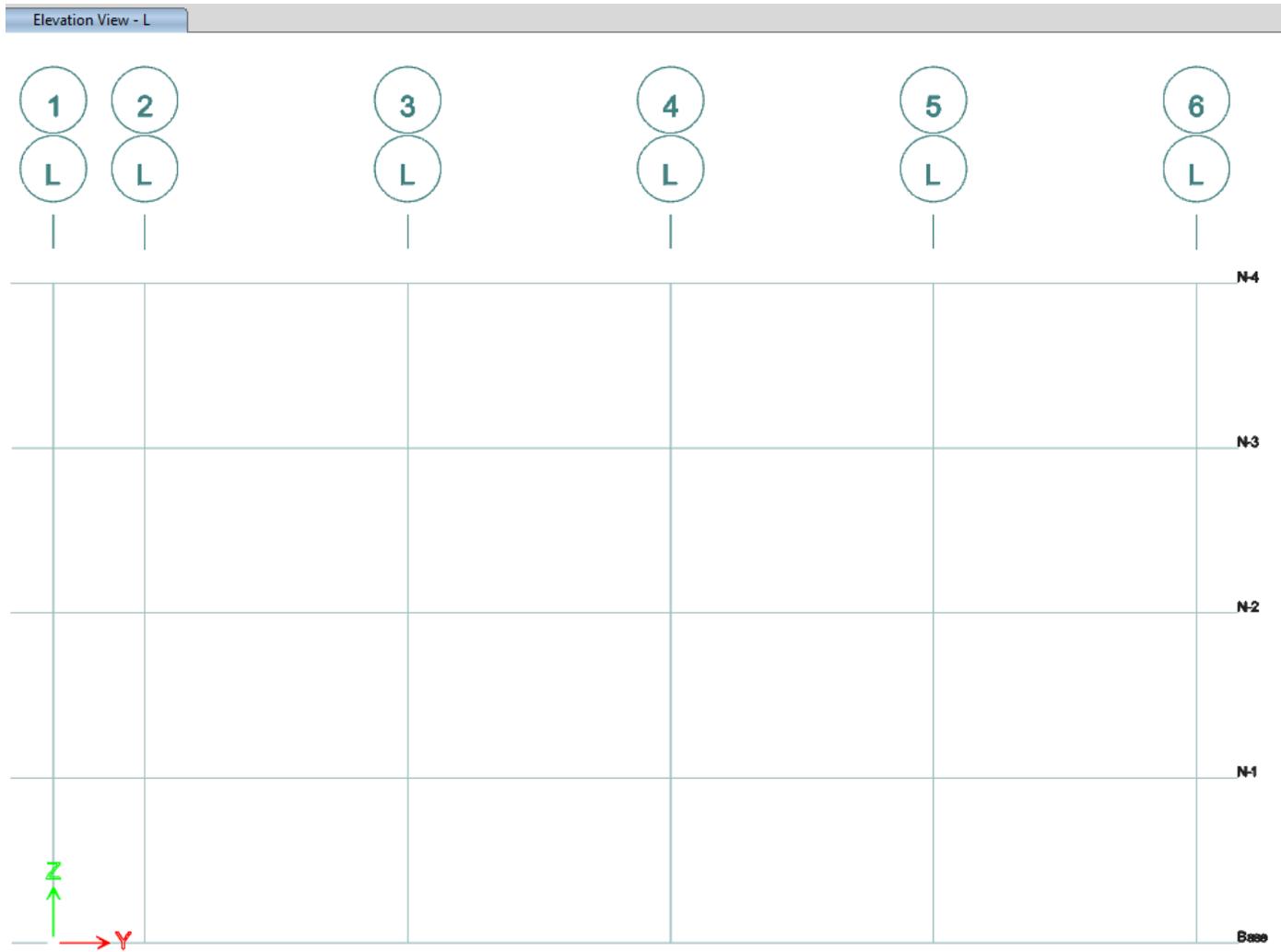


Figura 177 Elevación L

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 178 Elevación M

4.2.4 Vista 3D y plantas de la estructura

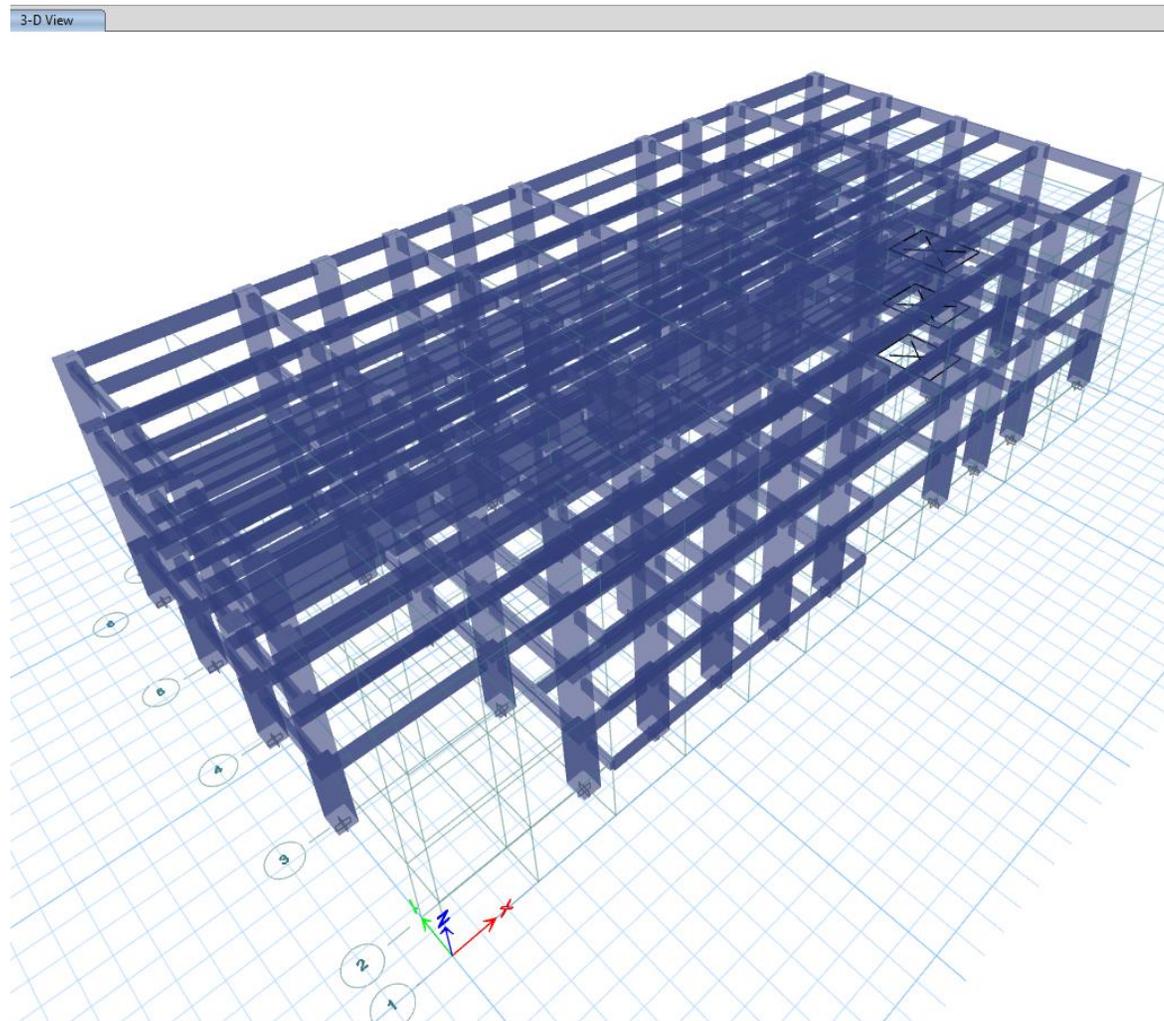


Figura 179 Vista en 3D de la estructura

3-D View

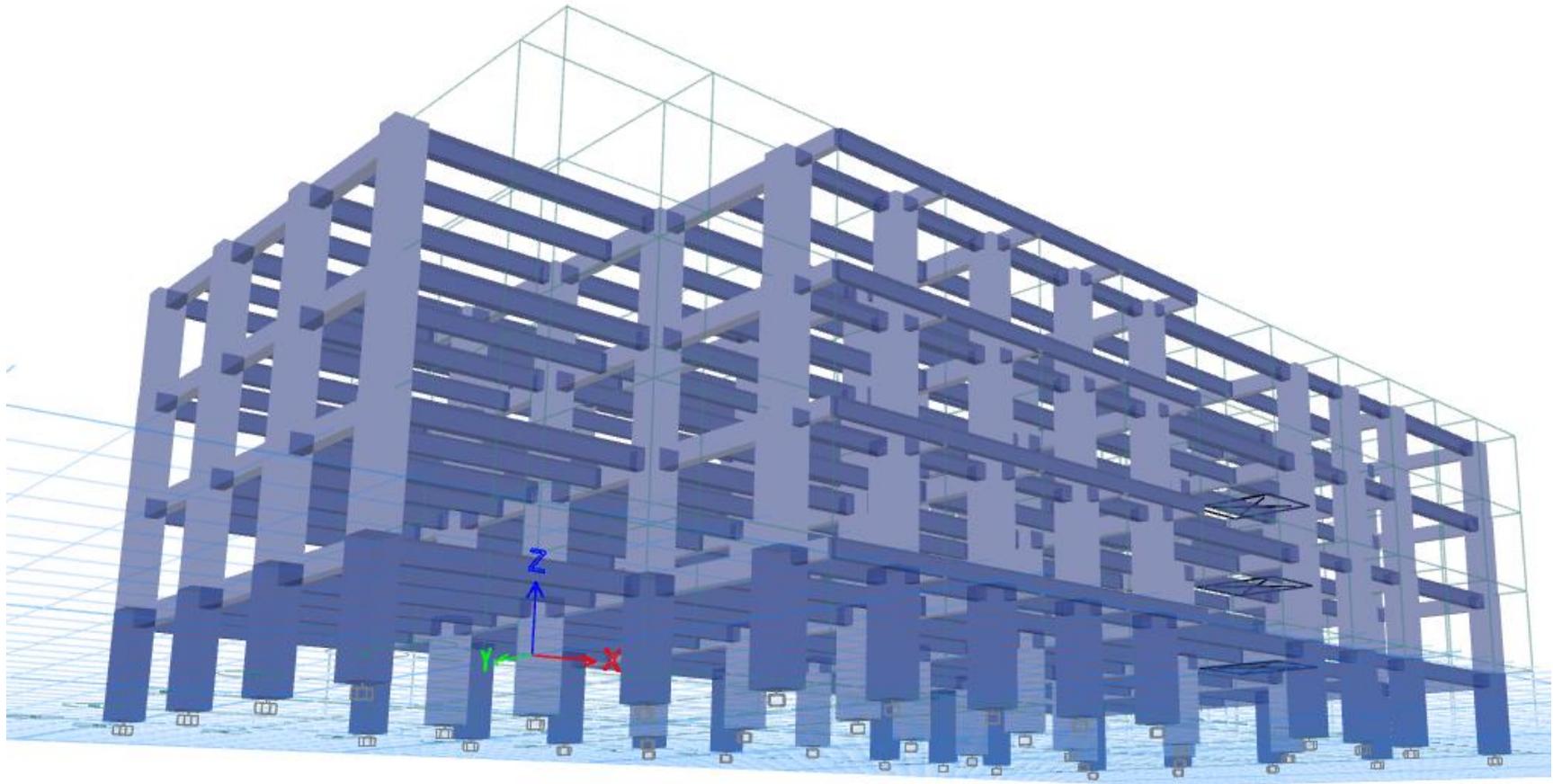


Figura 180 Vista en 3D de la estructura

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

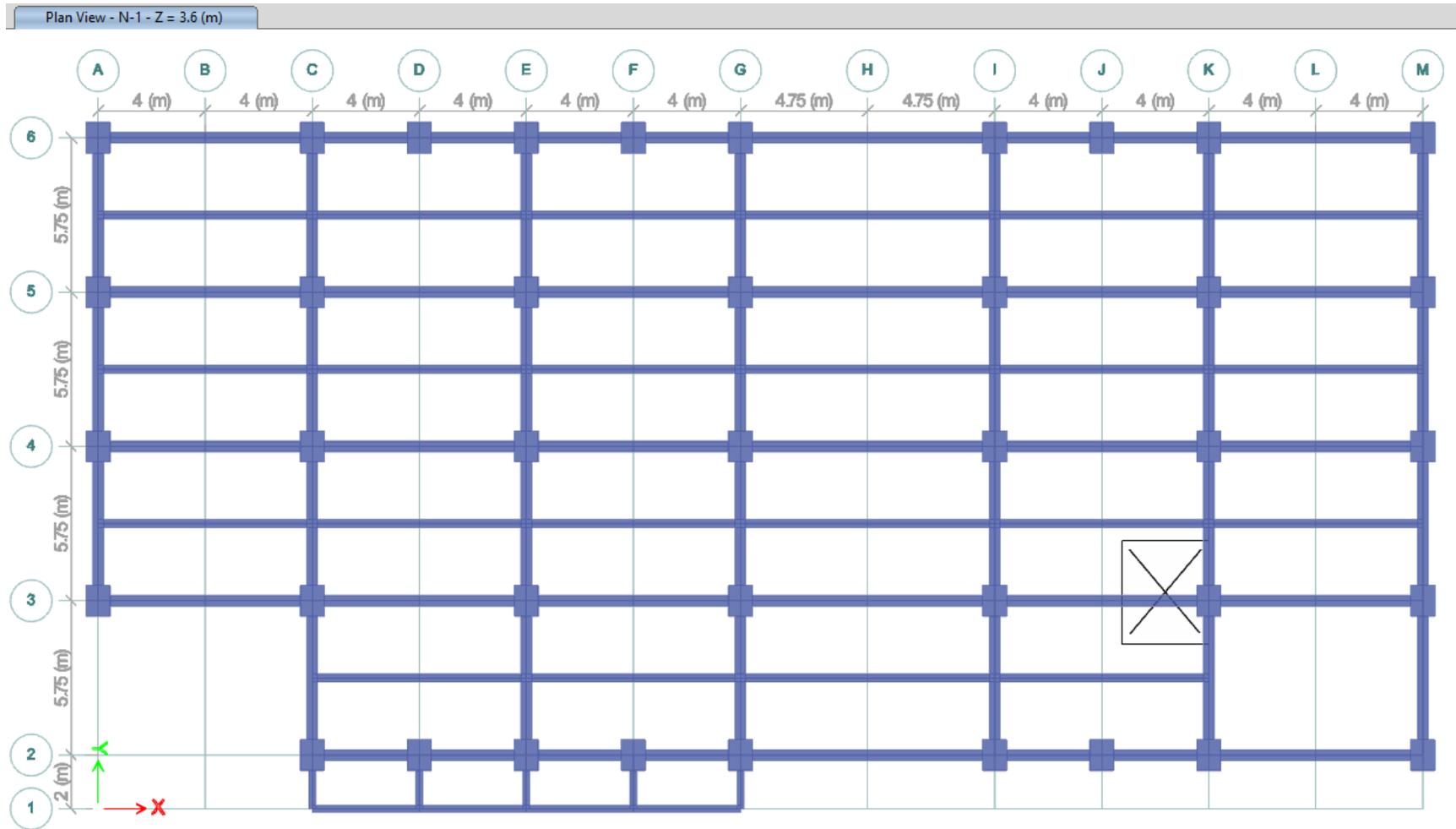


Figura 181 Vista en planta Nivel 1, ubicación de columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

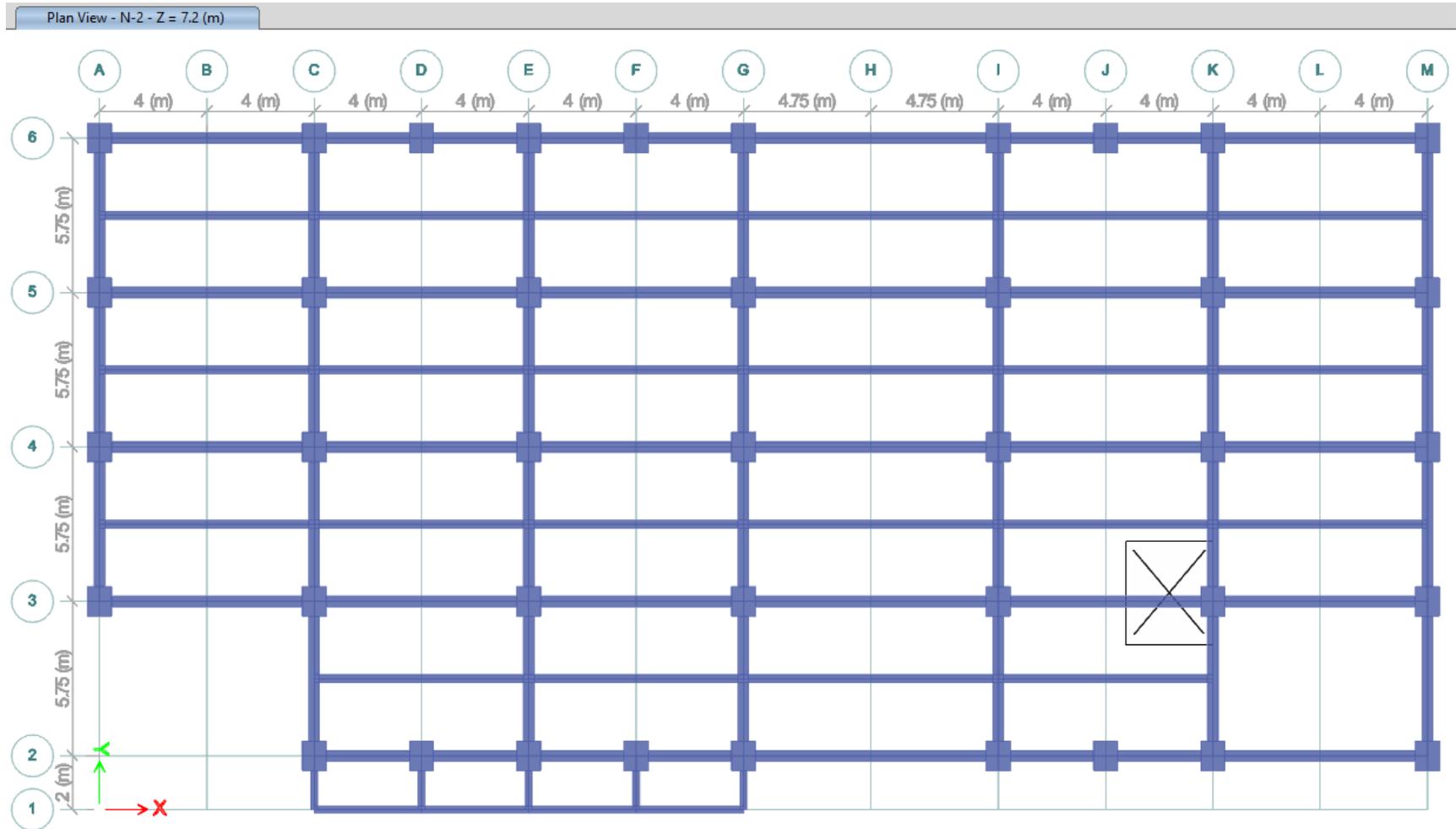


Figura 182 Vista en planta Nivel 2, ubicación de columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

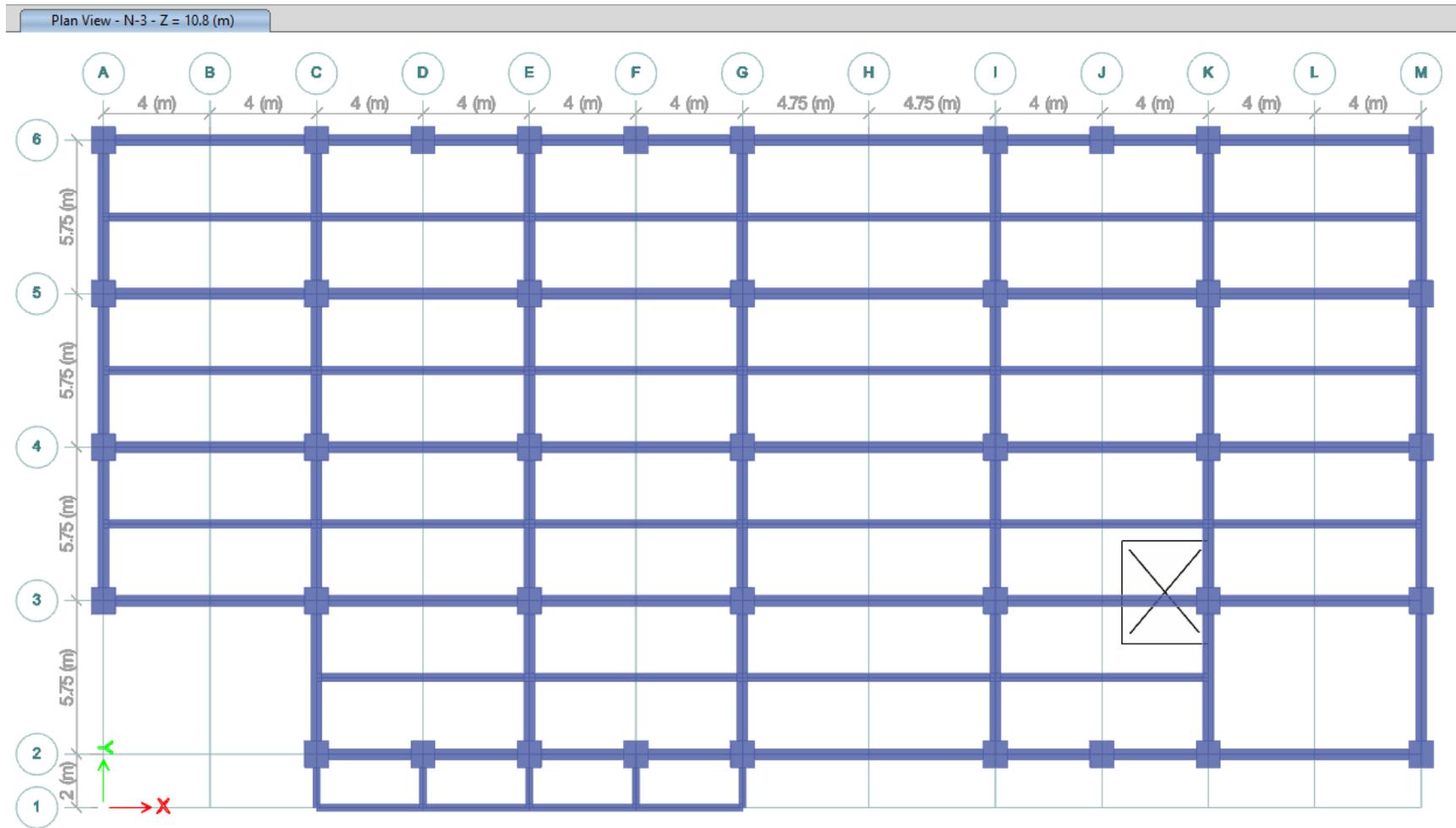


Figura 183 Vista en planta Nivel 3, ubicación de columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

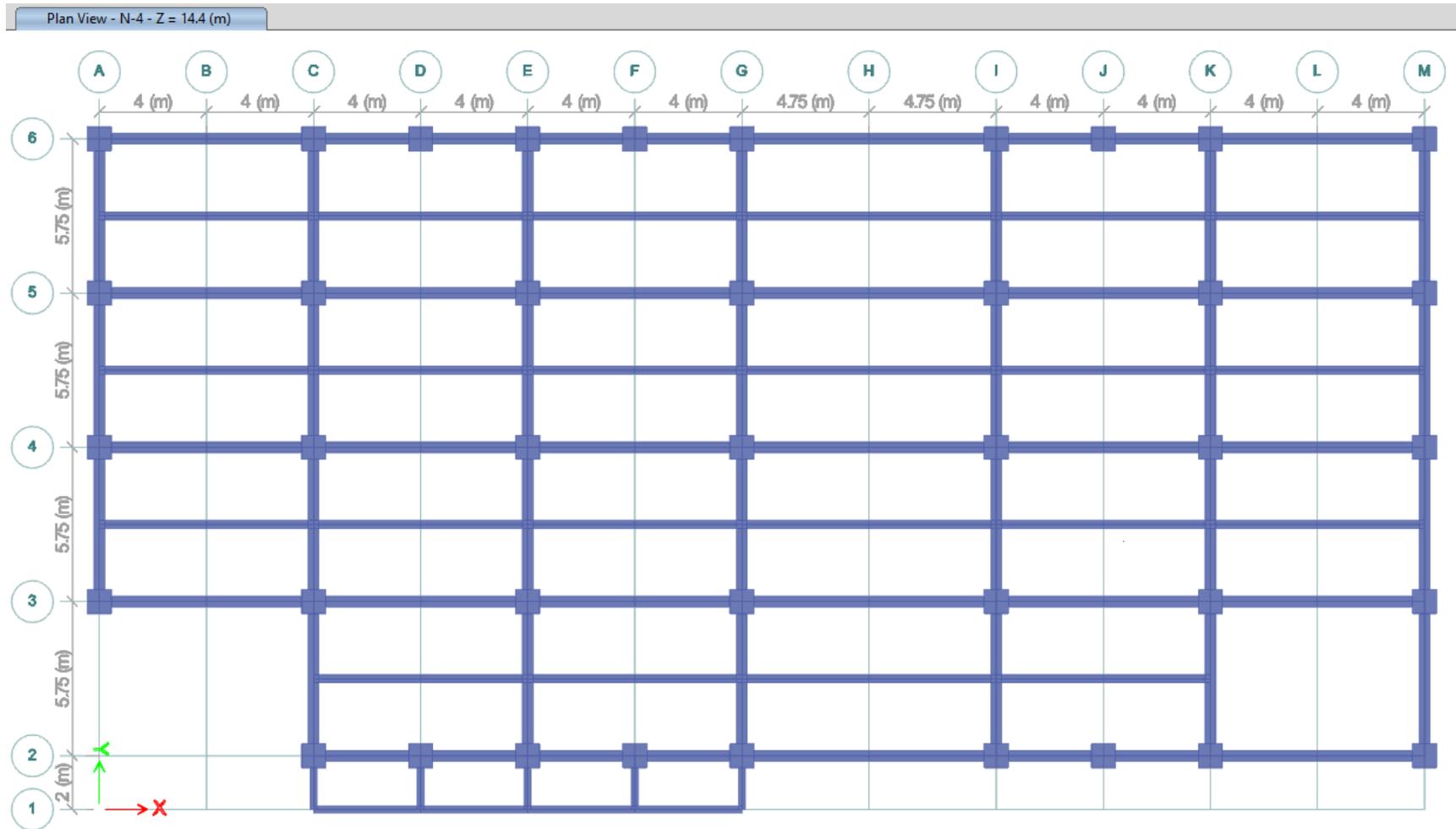


Figura 184 Vista en planta Nivel 4, ubicación de columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.5 Definición de materiales

Concreto $f_c=250$ kg/cm²

Material Property Data

General Data

Material Name: CONC250

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Color Selection]

Material Notes: [Modify/Show Notes...]

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 2400 kg/m³

Mass per Unit Volume: 244.732 kg-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 238752 kgf/cm²

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 99480 kgf/cm²

Design Property Data

[Modify/Show Material Property Design Data...]

Advanced Material Property Data

[Nonlinear Material Data...]

[Material Damping Properties...]

[Time Dependent Properties...]

[OK] [Cancel]

Figura 185 Datos del concreto

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: CONC250

Material Type: Concrete, Isotropic

Grade: Fc 250 kg/vm²

Design Properties for Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 250 kgf/cm²

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: [Field]

[OK] [Cancel]

Figura 186 Datos del concreto(complemento)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Acero de refuerzo $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

Material Property Data

General Data

Material Name: A615Gr60

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: [Blue] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

Specify Weight Density Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 7850 kgf/m³

Mass per Unit Volume: 800.477 kgf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 2100000 kgf/cm²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

Figura 187 Datos del acero de refuerzo

Material Property Design Data

Material Name and Type

Material Name: A615Gr60

Material Type: Rebar, Uniaxial

Grade: Grade 60

Design Properties for Rebar Materials

Minimum Yield Strength, Fy: 4200 kgf/cm²

Minimum Tensile Strength, Fu: 6327 kgf/cm²

Expected Yield Strength, Fye: 4640 kgf/cm²

Expected Tensile Strength, Fue: 6960 kgf/cm²

OK Cancel

Figura 188 Datos del acero de refuerzo(complemento)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.6 Definición de secciones

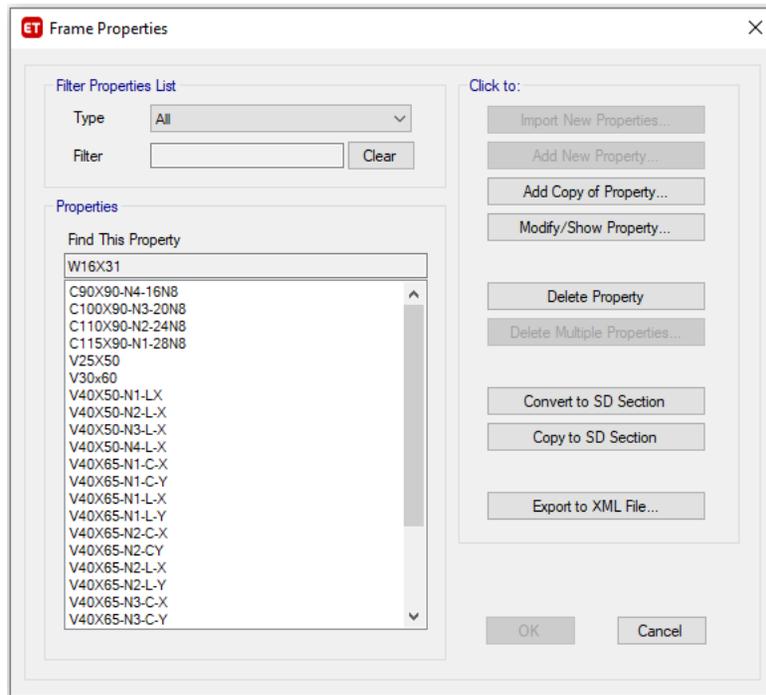


Figura 189 Definición de secciones columnas y vigas

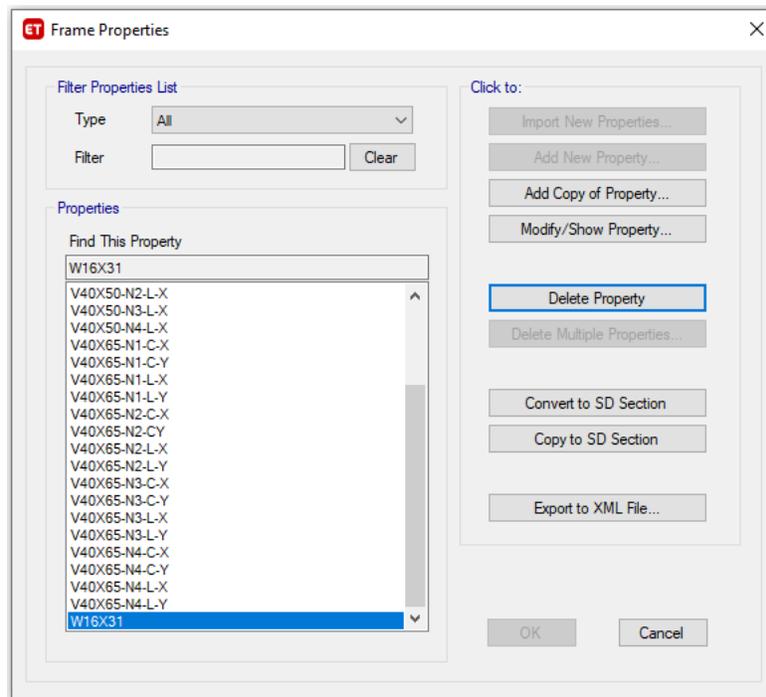


Figura 190 Definición de secciones vigas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

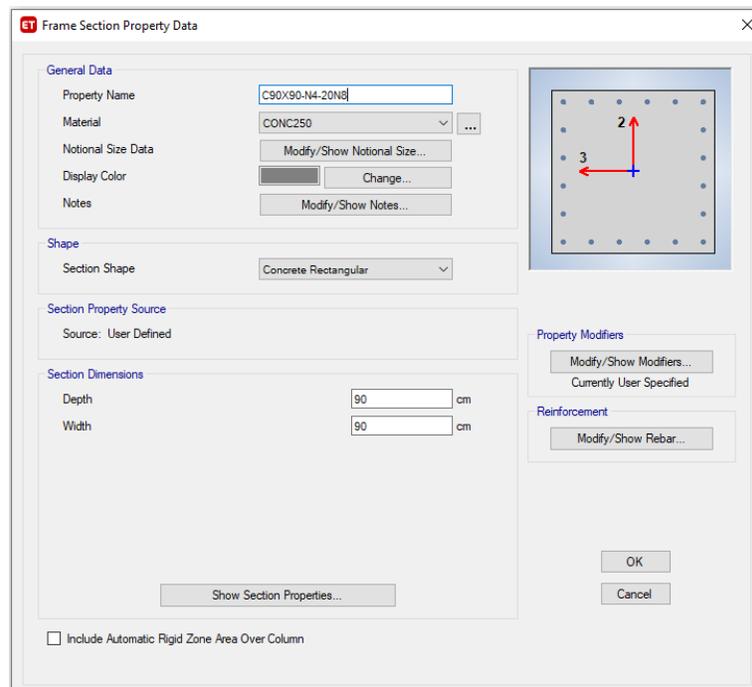


Figura 191 Disposición de acero de refuerzo longitudinal y dimensiones de columna

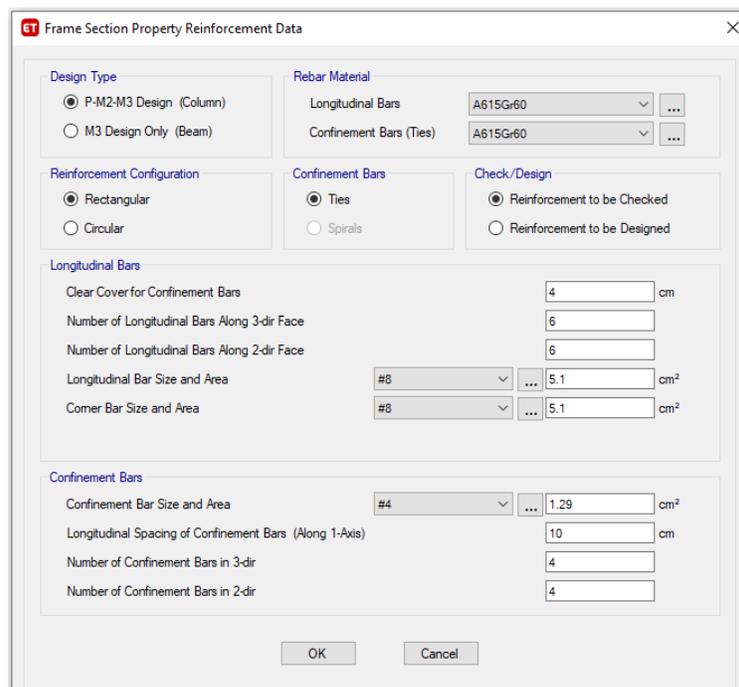


Figura 192 Acero de refuerzo longitudinal y estribos, así como recubrimiento libre en columna

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.7 Factores de reducción de rigideces

Utilizaremos el criterio del ATC-40, donde para las vigas se aplica una reducción de la inercia con un factor de 0.50 y para columnas un factor de 0.70. Para ambas se aplica un factor de corte de 0.40.

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity ²	Axial Rigidity
Beam, non-prestressed ¹	$0.5Ecdg$	$0.4EcAw$	$EcAg$
Beam, prestressed ¹	$Ecdg$	$0.4EcAw$	$EcAg$
Columns in compression	$0.7Ecdg$	$0.4EcAw$	$EcAg$
Columns in tension	$0.5Ecdg$	$0.4EcAw$	$EcAs$
Walls, uncracked	$0.8Ecdg$	$0.4EcAw$	$EcAg$
Walls, cracked	$0.5Ecdg$	$0.4EcAw$	$EcAg$
Flat slabs, non-prestressed	See discussion	$0.4EcAw$	$EcAg$
Flat slabs, prestressed	in Section 9.5.3	$0.4EcAw$	$EcAg$

Figura 193 Factores de reducción de vigas y columnas

ET Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	0.4
Shear Area in 3 direction	0.4
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.7
Moment of Inertia about 3 axis	0.7
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Figura 194 Factores de reducción en columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

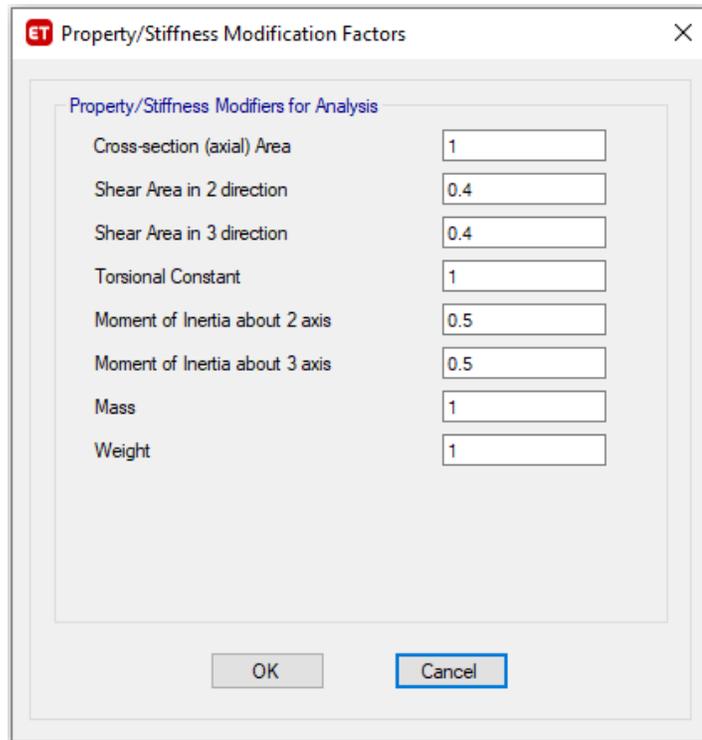


Figura 195 Factores de reducción en vigas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.8 Brazos rígidos

- Columnas (se seleccionaron las columnas y se aplicó un factor de 1

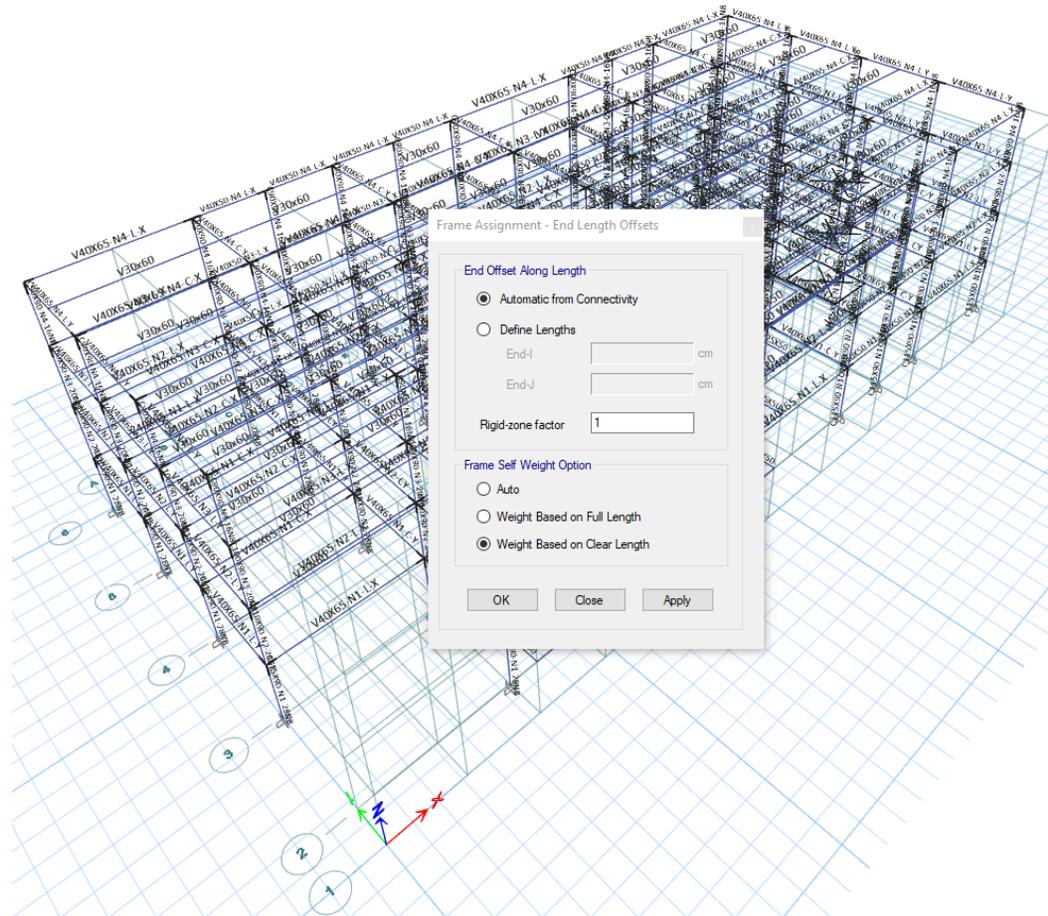


Figura 196 Definición de brazo rígido en columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

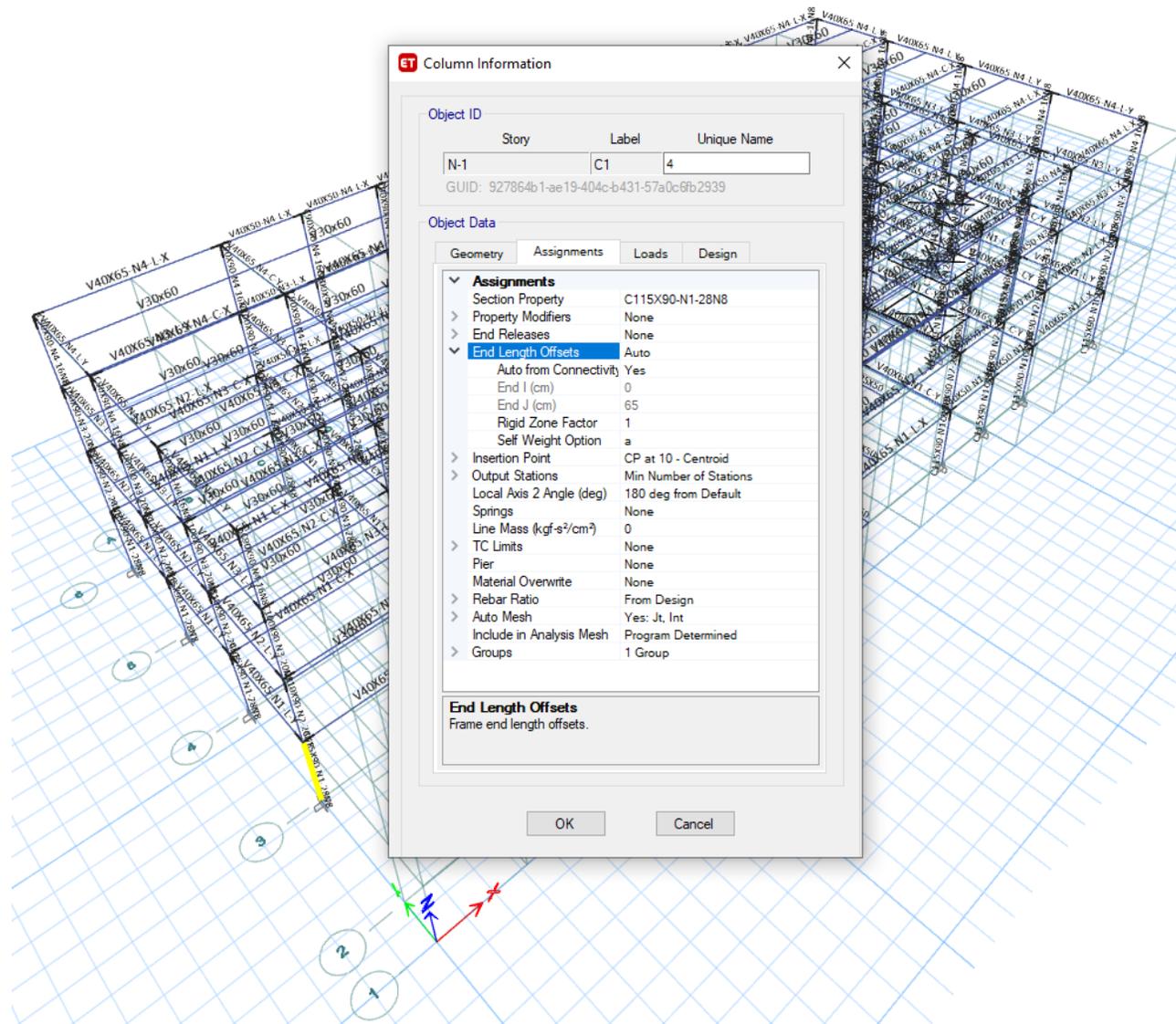


Figura 197 Muestra el factor de zona rígida en la columna 3-A

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- Vigas. (Se seleccionaron las vigas y se aplicó un factor de 0)

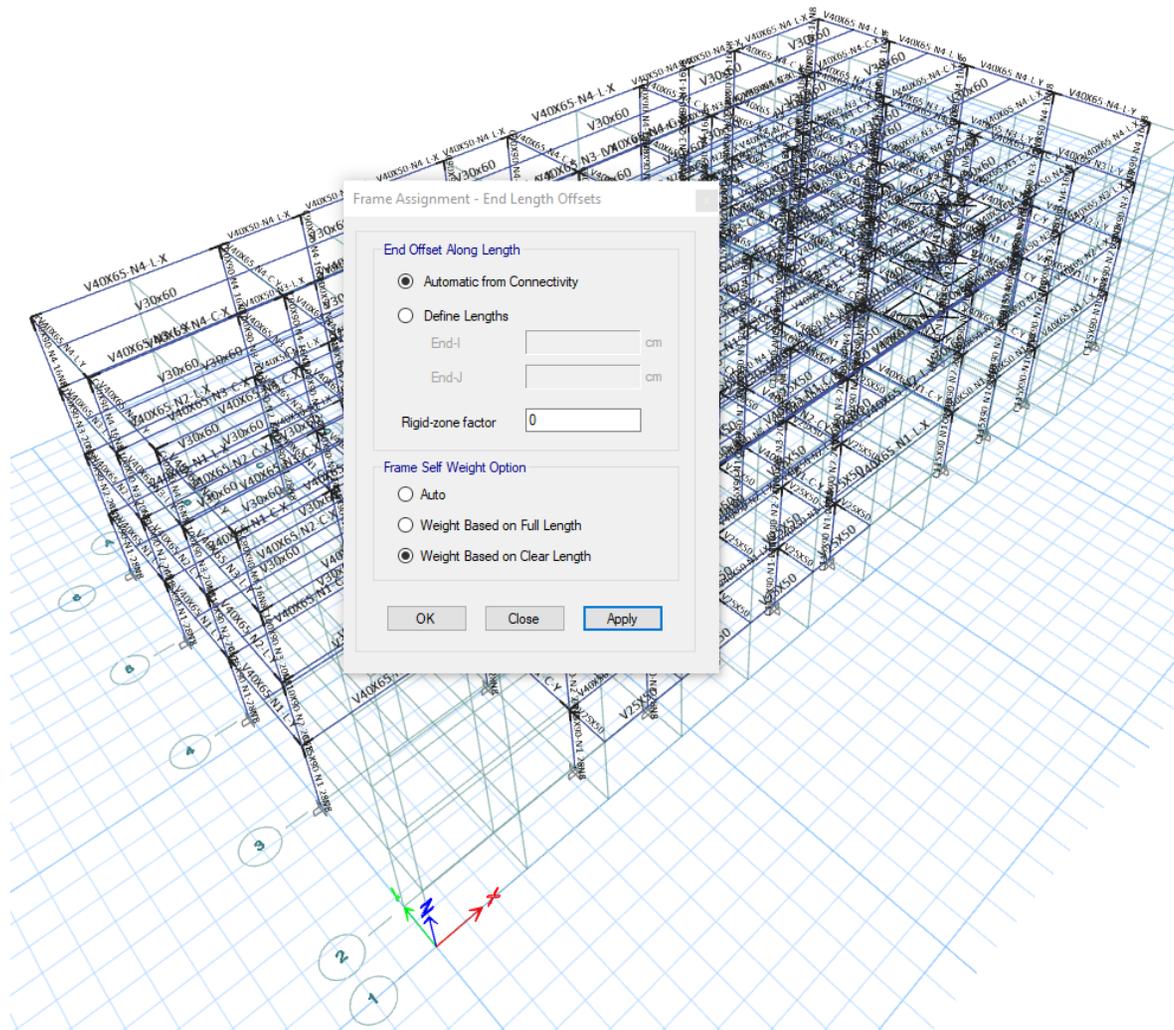


Figura 198 Definición de brazo rígido en vigas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.9 Diafragma (rígido/flexible)

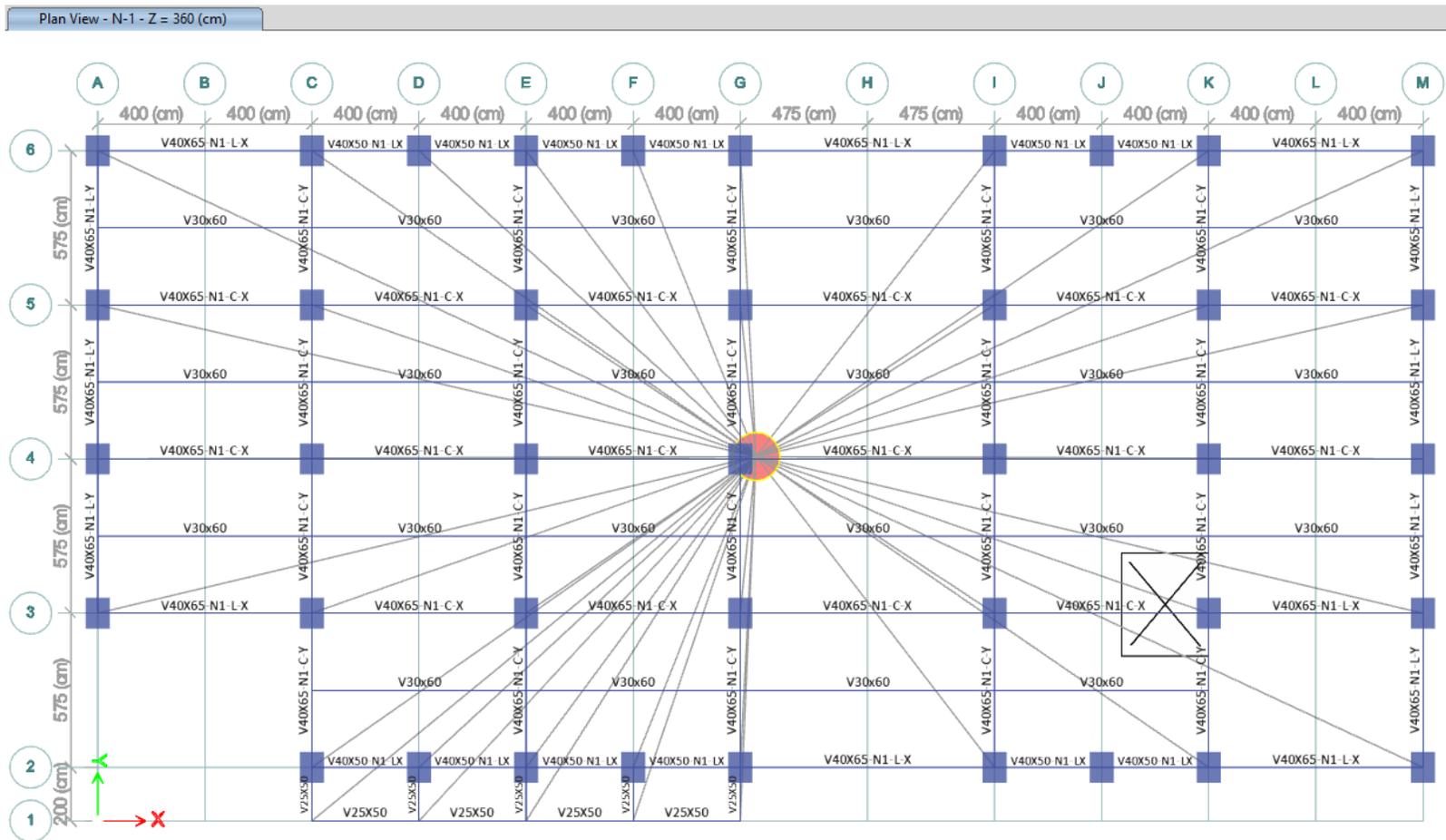


Figura 199 Definición de diafragma rígido N1

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

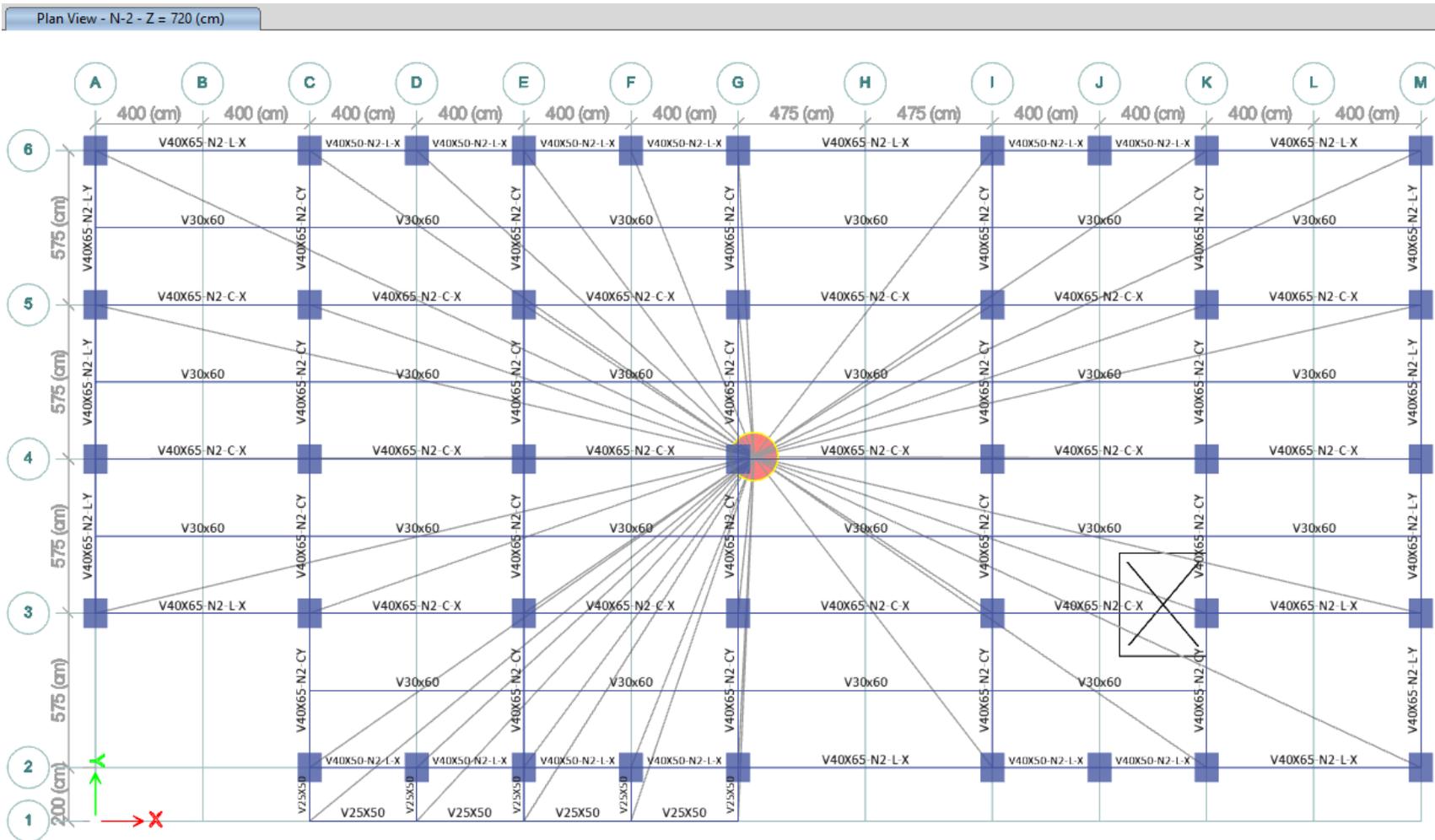


Figura 200 Definición de diafragma rígido N2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

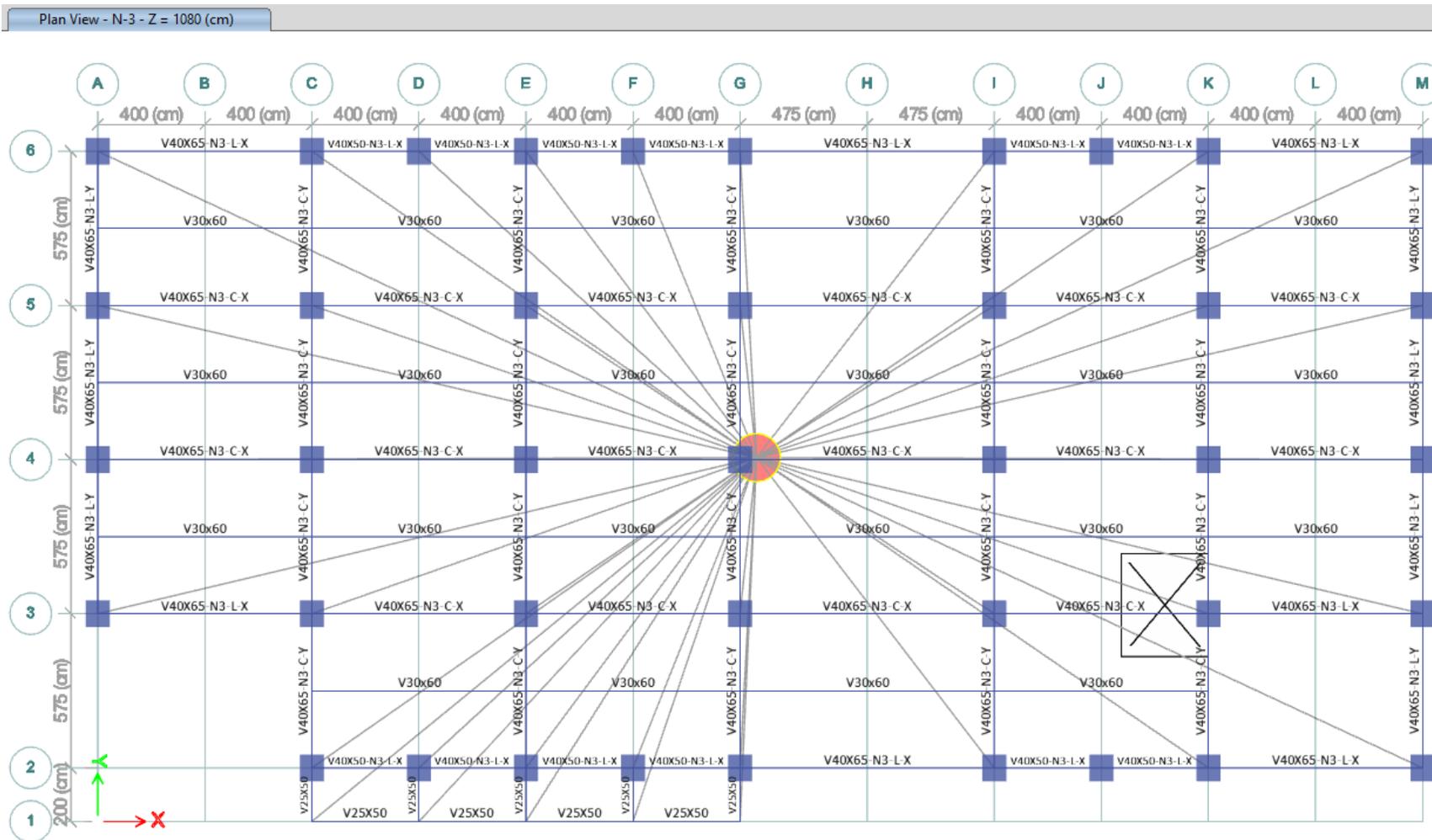


Figura 201 Definición de diafragma rígido N3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

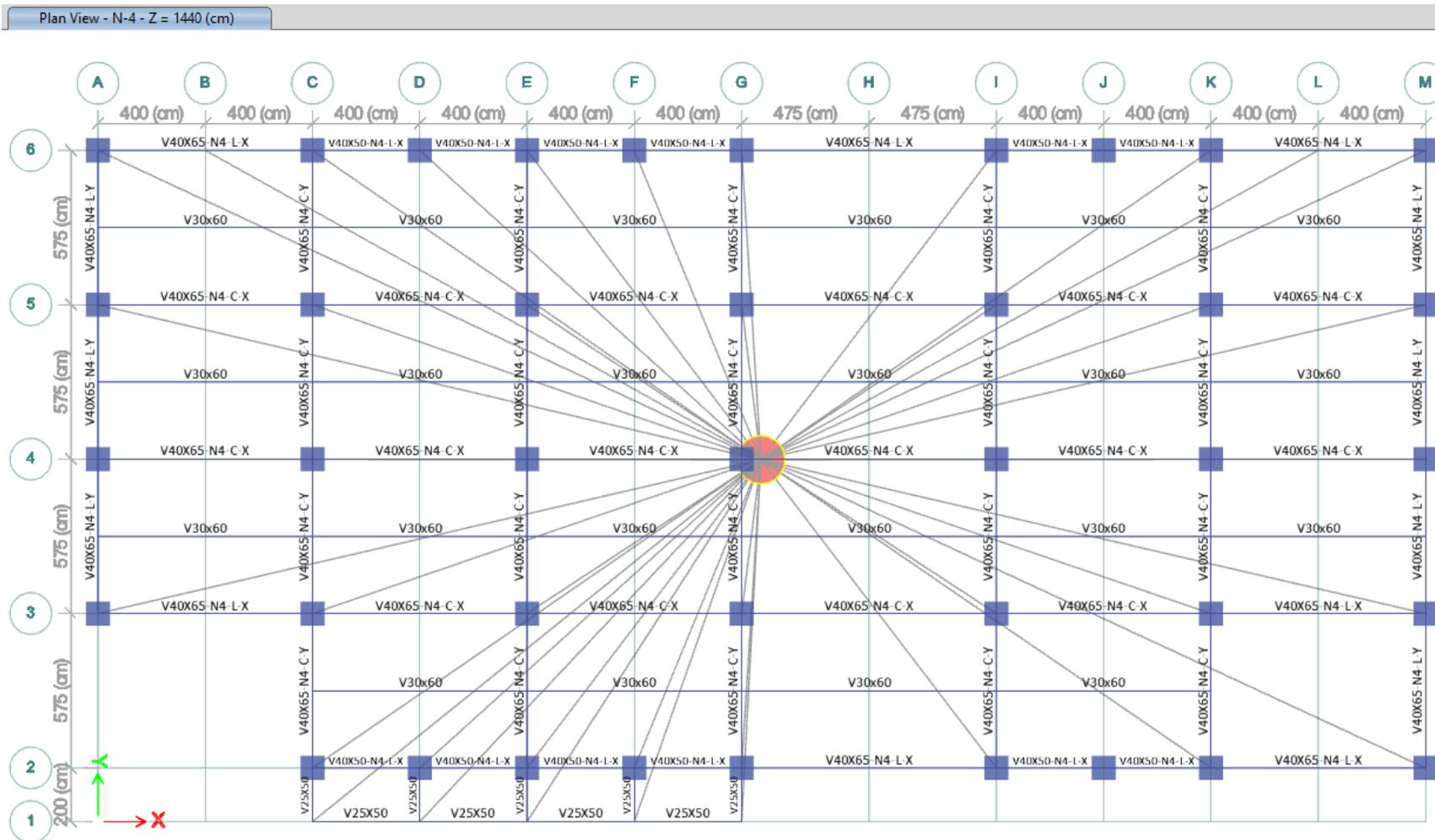


Figura 202 Definición de diafragma rígido N4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.10 Análisis de cargas

Cargas básicas

- PP= Peso propio (Lo toma en cuenta el programa ETABS)
- CM=Carga Muerta
- CV= Carga Viva Máxima (W_m , según NTC DF 2004)
- CVa= Carga Viva Instantánea (W_a , según NTC DF 2004)
- CVm= Carga Viva Media (W , según NTC DF 2004)
- CVt=Carga Viva de techo
- SX = Sismo Estático (para revisar Cortante Basal)
- SY = Sismo Estático (para revisar Cortante Basal)
- SPECX =Sismo Dinámico
- SPECY =Sismo Dinámico
- CP = Cargas Permanentes (PP+ CM+ CVa)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 36

Nomenclatura y Tipo de Carga en ETABS

<i>Descripción</i>	<i>Nomenclatura</i>	<i>Tipo de Carga ETABS</i>
<i>Peso propio</i>	<i>PP</i>	<i>Dead</i>
<i>Carga Muerta</i>	<i>CM</i>	<i>Superdead</i>
<i>Carga Viva máxima</i>	<i>CV</i>	<i>Live</i>
<i>Carga Viva instantánea</i>	<i>CVa</i>	<i>Reducible Live</i>
<i>Carga Viva de techo</i>	<i>CVt</i>	<i>Roof Live</i>
<i>Carga Sísmica</i>	<i>S (Estático), SPEC (Dinámico)</i>	<i>Seismic</i>

Las cargas consideradas para el análisis y diseño del Edificio son de acuerdo al RCDF 2004 como se describe a continuación:

- Carga Muerta.

Se considera como carga muerta el peso propio de todos los elementos constructivos, que tienen una posición permanente que no cambia substancialmente con el tiempo.

Peso propio (Los elementos modelados como columnas, trabes, losa, los toma en cuenta el programa ETABS).

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 37

Carga Muerta en Azotea

<i>Material</i>	<i>Carga Muerta (kg/m²)</i>
<i>Impermeabilizante</i>	<i>7</i>
<i>Enladrillado 2 cm de espesor 0.02 x 1500</i>	<i>30</i>
<i>Mortero (cemento-arena) 3 cm de espesor 0.03 x 2100</i>	<i>63</i>
<i>Relleno para dar pendiente 0.10 (h promedio) x 1200</i>	<i>120</i>
<i>Losa de concreto de concreto de 12 cm de espesor</i>	<i>(ver nota1)</i>
<i>Plafón e Instalaciones</i>	<i>40</i>
<i>Carga muerta adicional por losa y mortero (RCDF)</i>	<i>40</i>
<i>Carga muerta Total</i>	<i>300</i>

Nota 1. El peso de la losa lo toma en cuenta el programa de análisis

Nota 2. Se considera 20 kg/m² de carga muerta adicional a la calculada con los espesores nominales de losa o capa de mortero de acuerdo al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal 2004.

(5.1.2 Peso muerto de losas de concreto Normas Técnicas RCDF 2004)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla2

Carga muerta en planta tipo

Material	Carga Muerta (kg/m ²)
Loseta de cerámica	30
pegazulejo	20
Losa de concreto de concreto de 12 cm de espesor	(ver nota1)
Plafón e Instalaciones	40
Muros divisorios (Tablaroca)	70
Carga muerta adicional por losa y mortero (RCDF 2004)	40
Carga muerta Total	200

Nota 1. El peso de la losa lo toma en cuenta el Programa de Análisis

Nota 2. Se considera 20 kg/m² de carga muerta adicional a la calculada con los espesores nominales de losa o capa de mortero de acuerdo al Reglamento de Construcciones del Distrito Federal 2004.

(5.1.2 Peso muerto de losas de concreto Normas Técnicas RCDF 2004)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- Carga viva

Se consideran cargas vivas, las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente.

Azoteas con pendiente mayor de 5% (Tabla 6.1 Cargas vivas unitarias RCDF 2004)

Tabla 38

Carga viva en azotea

<i>Tipo de carga</i>		<i>Carga</i>
		<i>Kg/m²</i>
<i>Carga Viva Máxima</i>	<i>CV (Wm)=</i>	100
<i>Carga Viva Instantánea</i>	<i>CVa</i>	70
<i>(Wa)=</i>		
<i>Carga Viva Media</i>	<i>CVm</i>	15
<i>(W)=</i>		

Tabla 39

Carga Viva en Planta Tipo

<i>Tipo de carga</i>		<i>Carga</i>
		<i>Kg/m²</i>
<i>Carga Viva Máxima</i>	<i>CV</i>	250
<i>(Wm)=</i>		
<i>Carga Viva Instantánea</i>	<i>CVa</i>	180
<i>(Wa)=</i>		
<i>Carga Viva Media</i>	<i>CVm</i>	70
<i>(W)=</i>		

Nota. Ver Sección 6.1.2 Disposiciones generales RCDF 2004

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 40

Resumen de Cargas

<i>NIVEL</i>	<i>Carga muerta CM (kg/m²)</i>	<i>Carga viva máxima CV (kg/m²)</i>	<i>Carga viva instantánea CVa (kg/m²)</i>
<i>N-4 (Azotea)</i>	<i>400</i>	<i>100</i>	<i>70</i>
<i>N-3</i>	<i>200</i>	<i>250</i>	<i>180</i>
<i>N-2</i>	<i>200</i>	<i>250</i>	<i>180</i>
<i>N-1</i>	<i>200</i>	<i>250</i>	<i>180</i>

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.11 Definición de patrones de carga

El factor multiplicador del peso propio (PP) debe ser siempre 1 y el resto de los factores deberán tomar el valor de 0 (debido a que, si tiene algún otro el valor de 1, se estaría duplicando el peso propio).

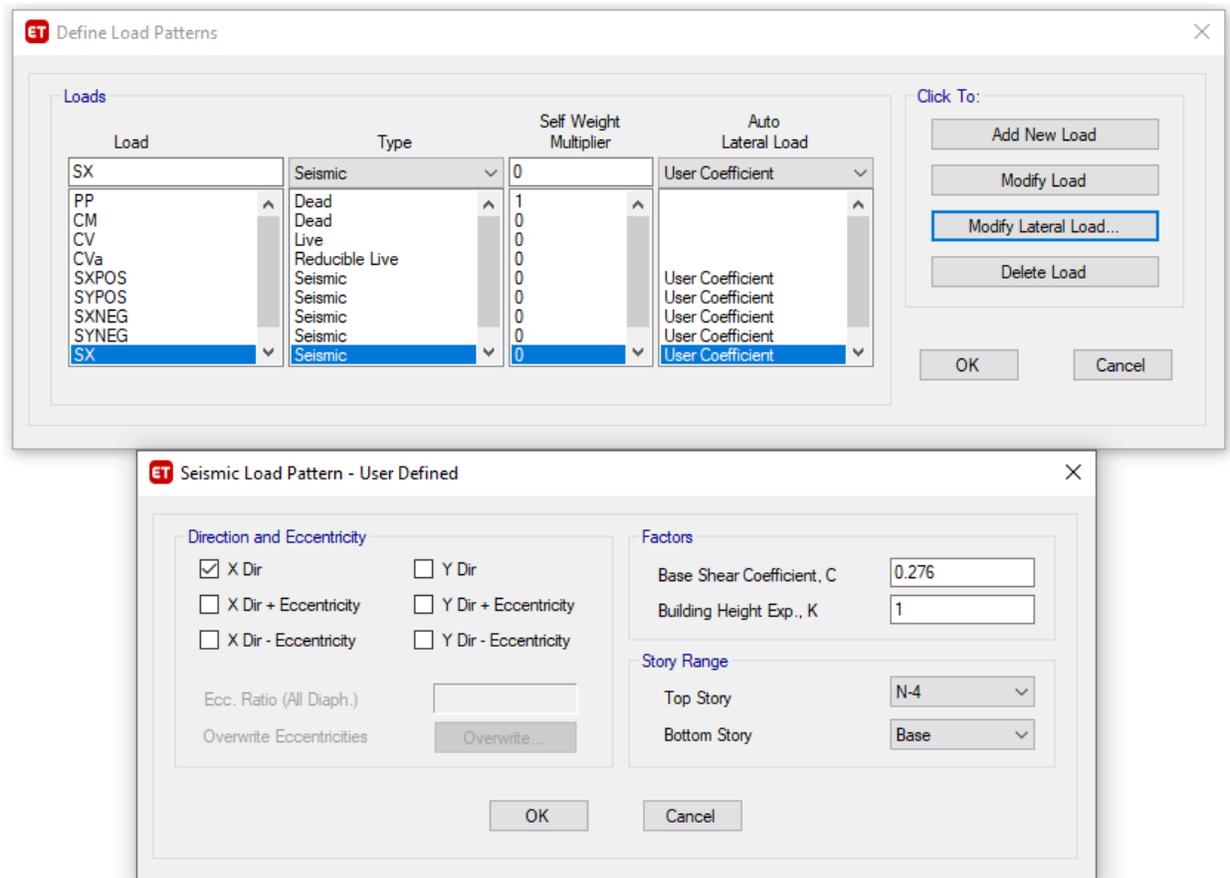


Figura 203 Patrones de carga y sismo (SXPOS)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

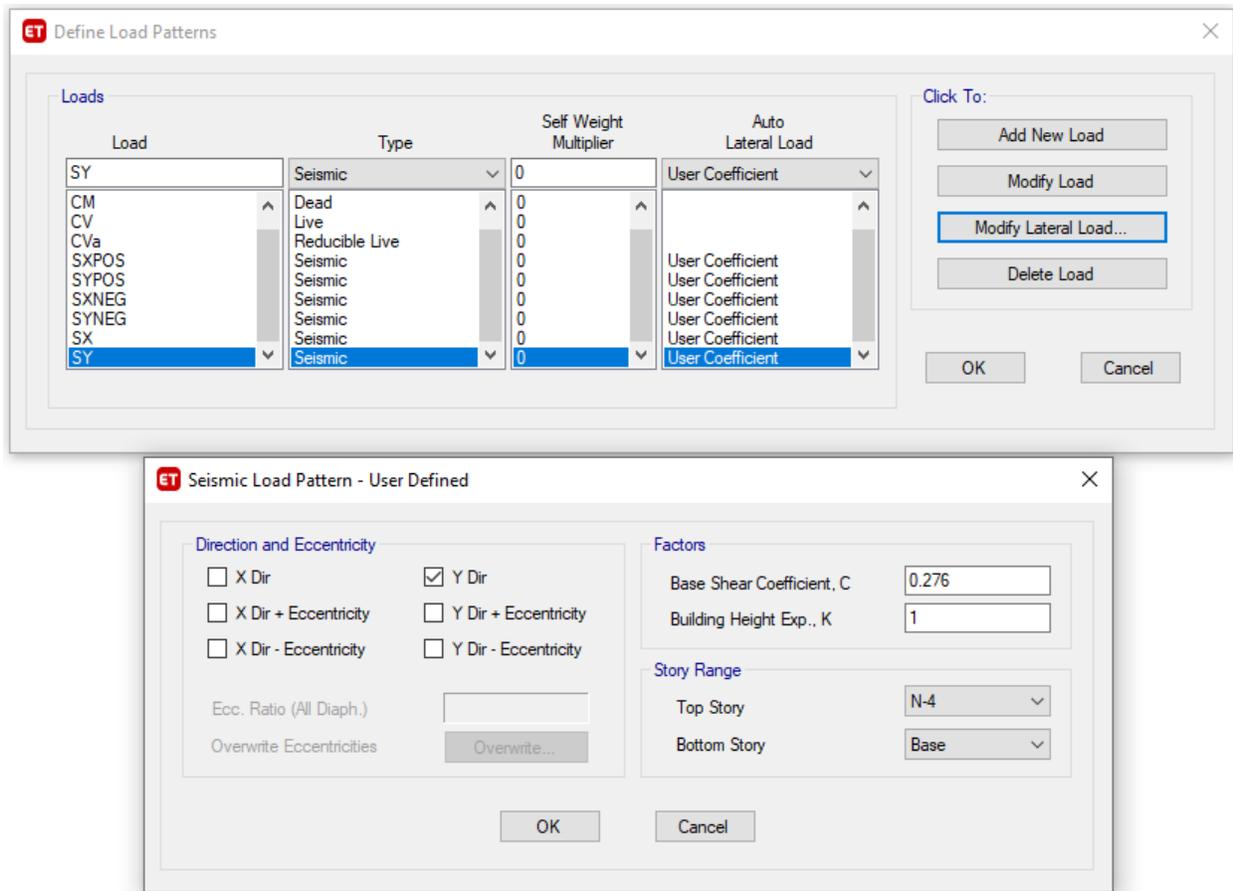


Figura 204 Patrones de carga y sismo (SYPOS)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

El coeficiente sísmico $C=0.276$ se toma de acuerdo al periodo ($T=0.62$ seg.) de la estructura (entramos en el ETABS en Define/Functions/Response Spectrum y con el periodo definimos el coeficiente sísmico que le corresponde)

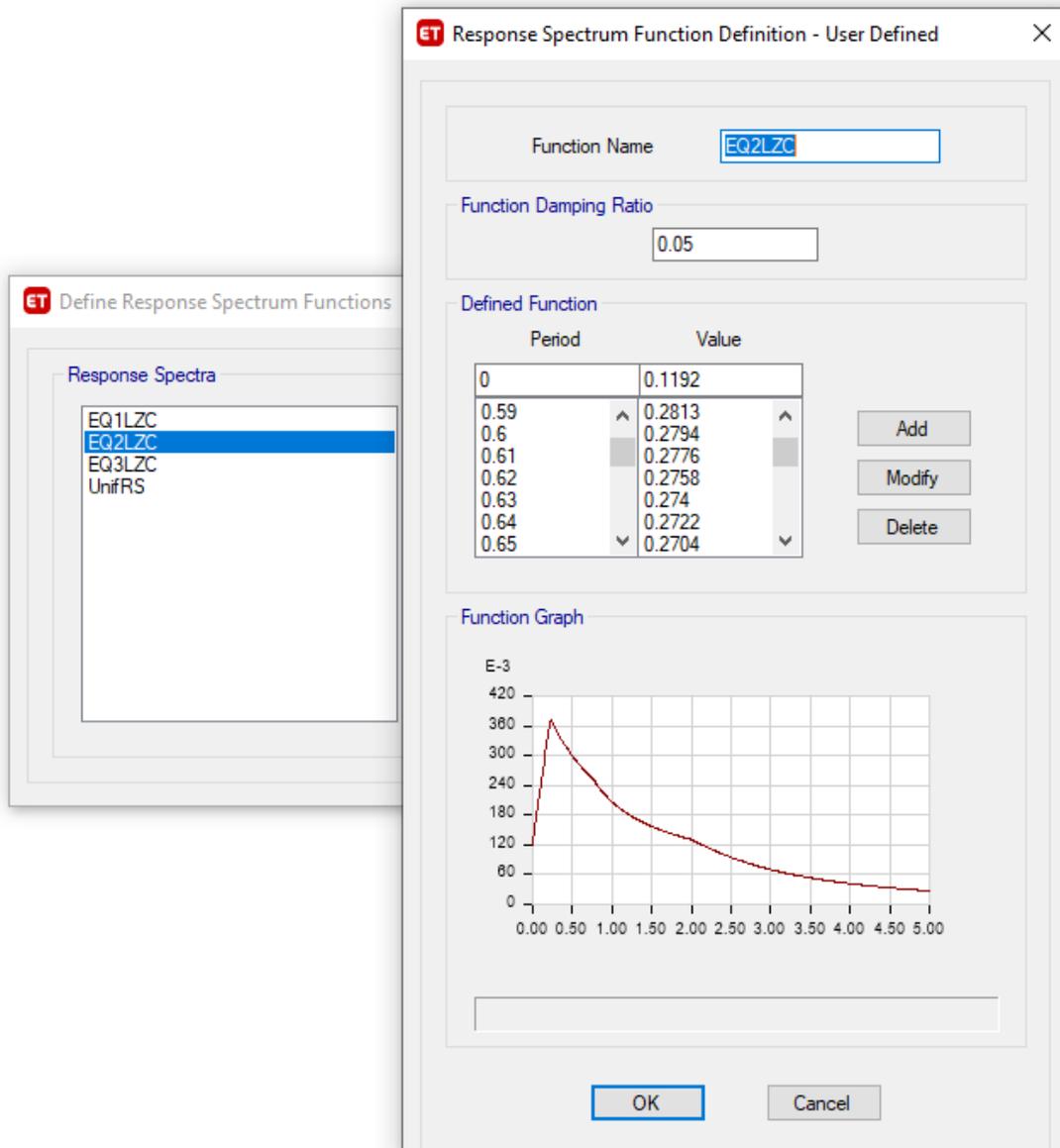


Figura 205 Definición del valor de la aceleración (0.276) en función del periodo ($T=0.62$ seg)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.12 Asignación de cargas

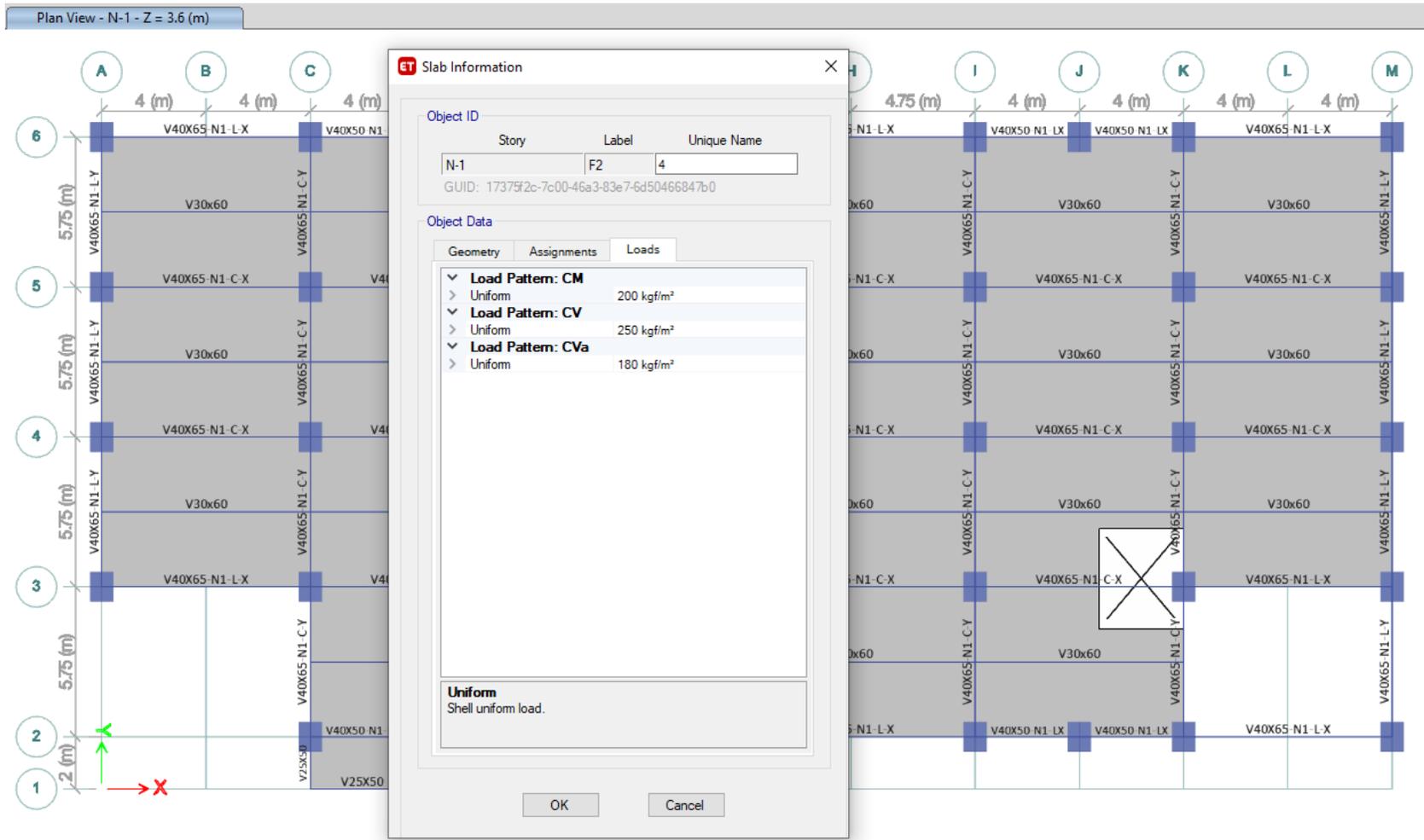


Figura 206 Asignación de cargas planta N1

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

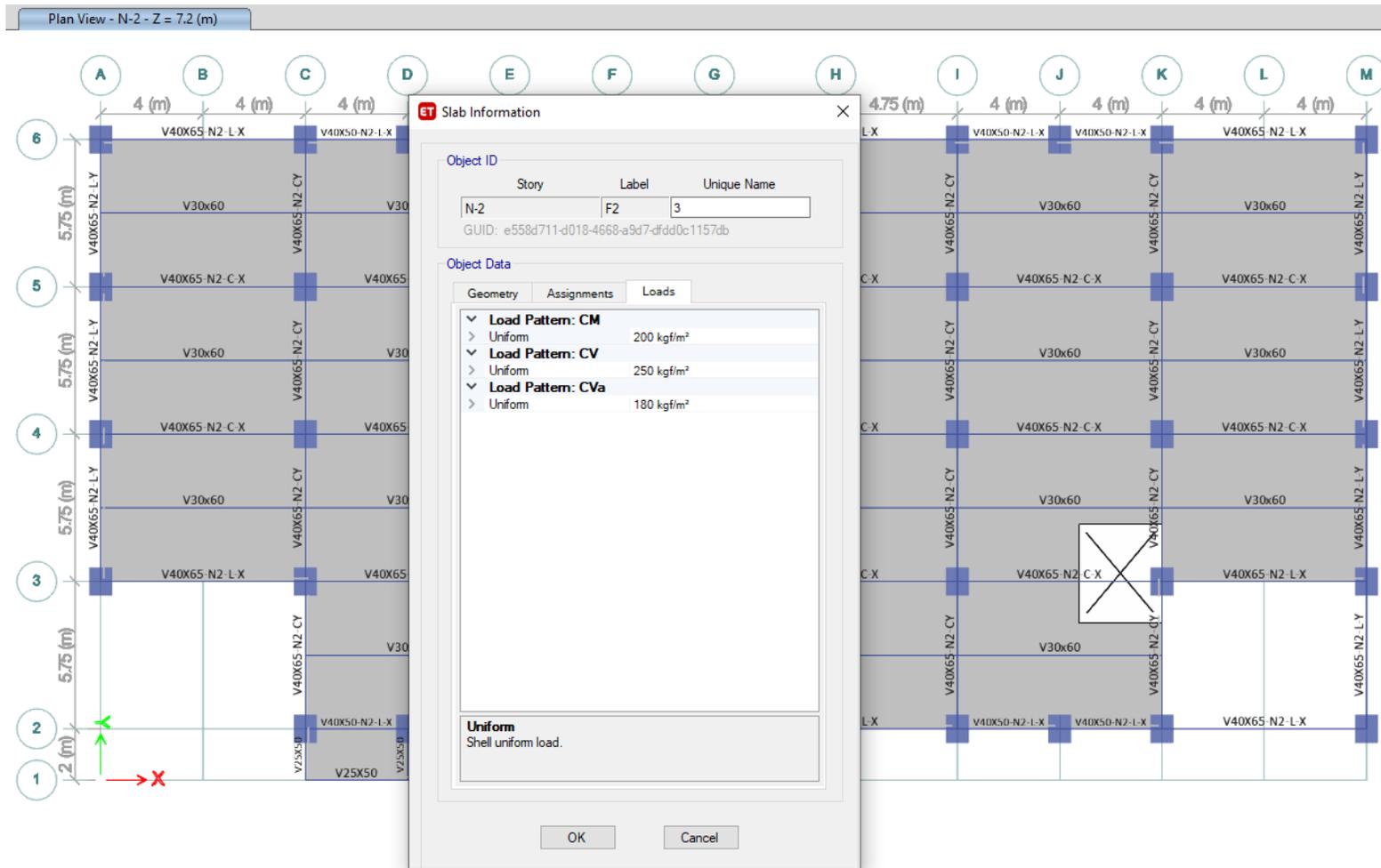


Figura 207 Asignación de cargas planta N2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

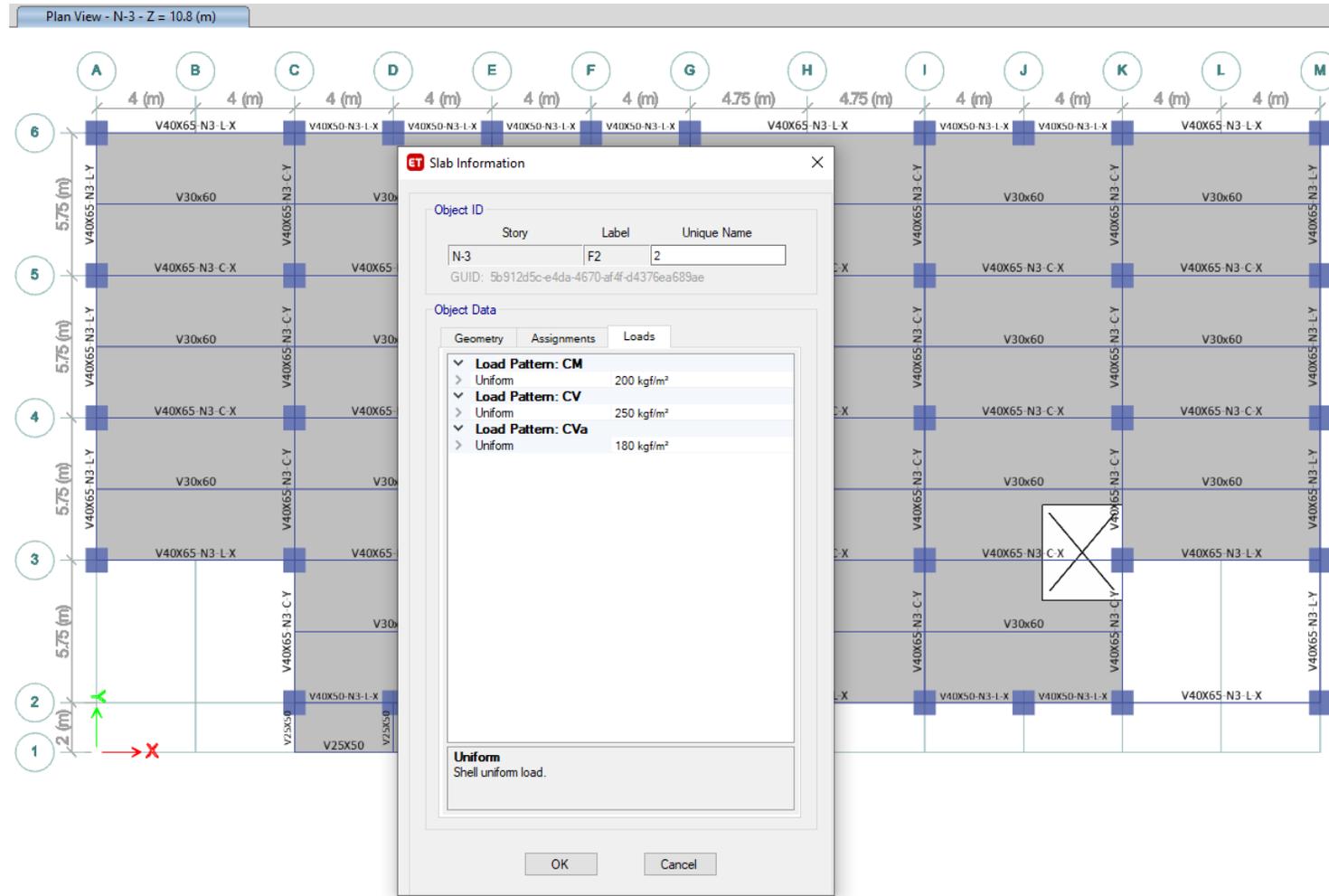


Figura 208 Asignación de cargas planta N3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

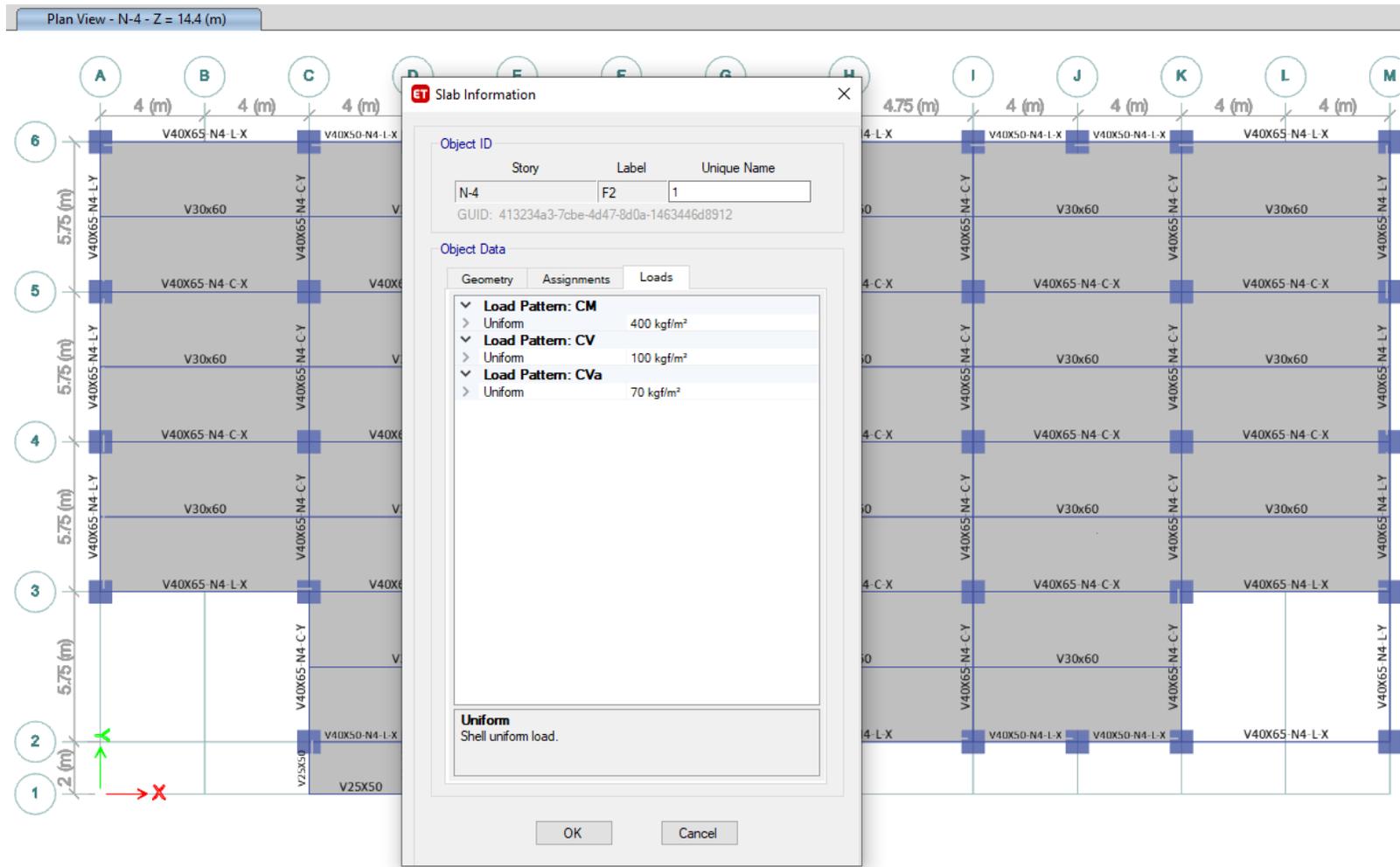


Figura 209 Asignación de cargas planta N4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.13 Análisis dinámico espectral

Para dimensionar la estructura, se plantea el análisis dinámico espectral, donde se incluyen las cargas gravitacionales, la masa y el espectro inelástico con un factor de reducción de respuesta que lo conforma Q (factor de comportamiento), R (factor de sobre resistencia) ρ (factor de redundancia) y α (factor de irregularidad).

4.2.14 Acción sísmica

- El Espectro se definió en base al manual de obras civiles 2008 diseño por sismo y al estudio de mecánica de suelos con una hoja de cálculo (ver el capítulo 2, sección 2.8.2.1)

4.2.15 Espectro elástico y espectro reducido

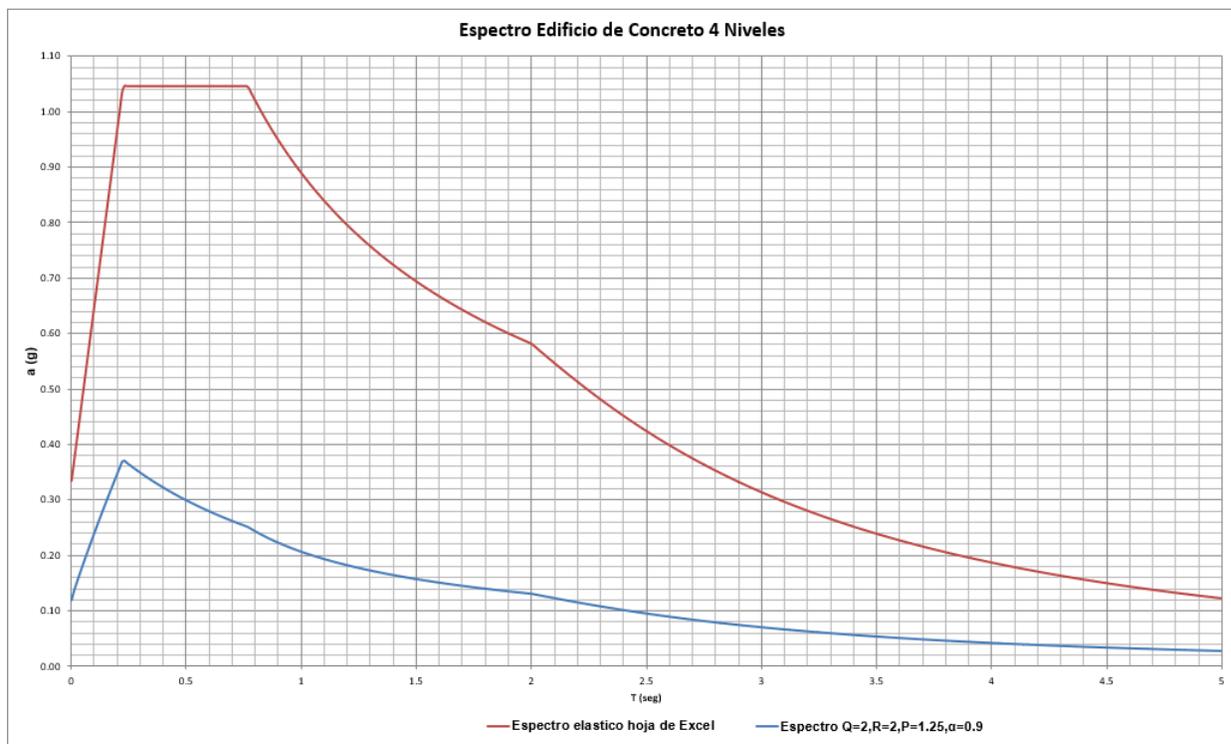


Figura 210 Espectro elástico y espectro reducido

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.2.16 Casos de carga

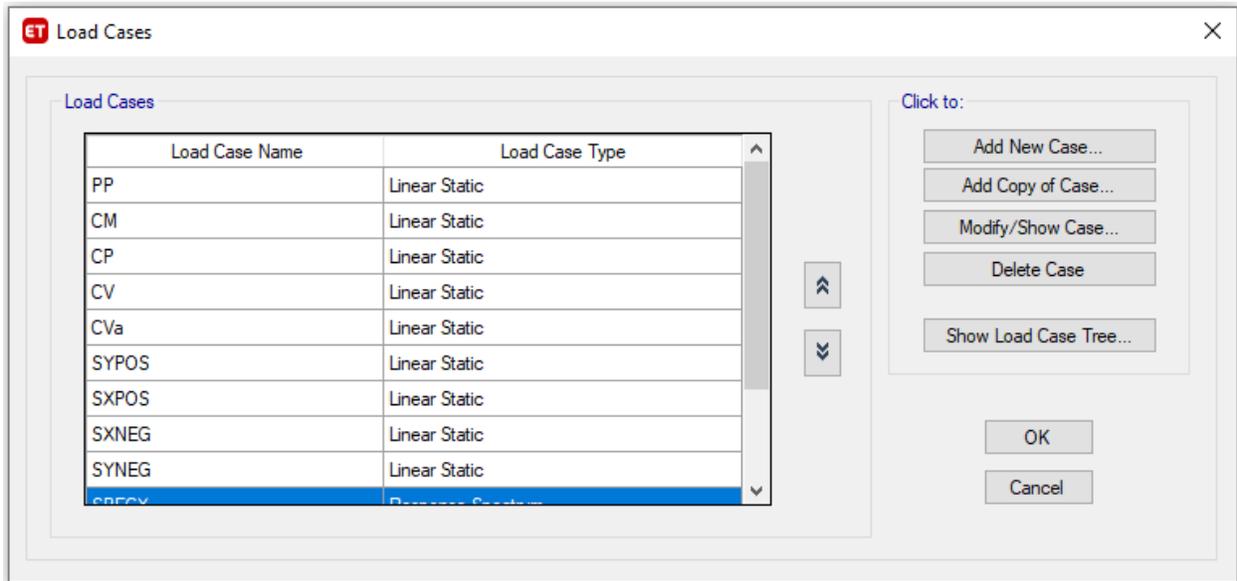


Figura 211 Casos de carga

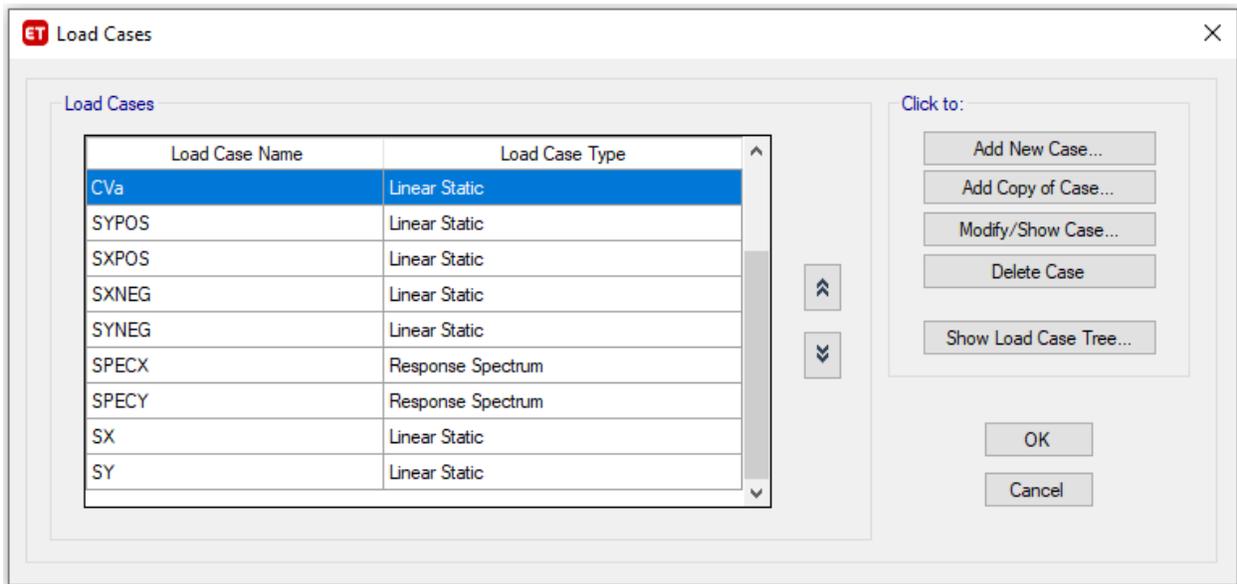


Figura 212 Casos de carga (complemento)

4.3 Sismicidad de Lázaro Cárdenas (Atlas de riesgo Lázaro Cárdenas Michoacán)

La siguiente información fue tomada de: (CENAPRED, 2012)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 213 Croquis Localización Cd. Lázaro Cárdenas Michoacán

La ciudad y puerto de Lázaro Cárdenas, es la cabecera de uno de los 113 municipios que conforman al estado de Michoacán.

La infraestructura carretera comunica al centro del estado a través de la carretera de cuota a entroncar en la carretera (Morelia -Pátzcuaro); comunicando al oriente por la carretera federal numero 200 Guerrero Zihuatanejo. Y al poniente con Colima.

Desembocadura del rio Balsas hasta las Peñas. Justo en la frontera con el estado de Guerrero, que está delimitada por el Rio Balsas; sus coordenadas son: 17°57'22"N 102°11'32"O.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

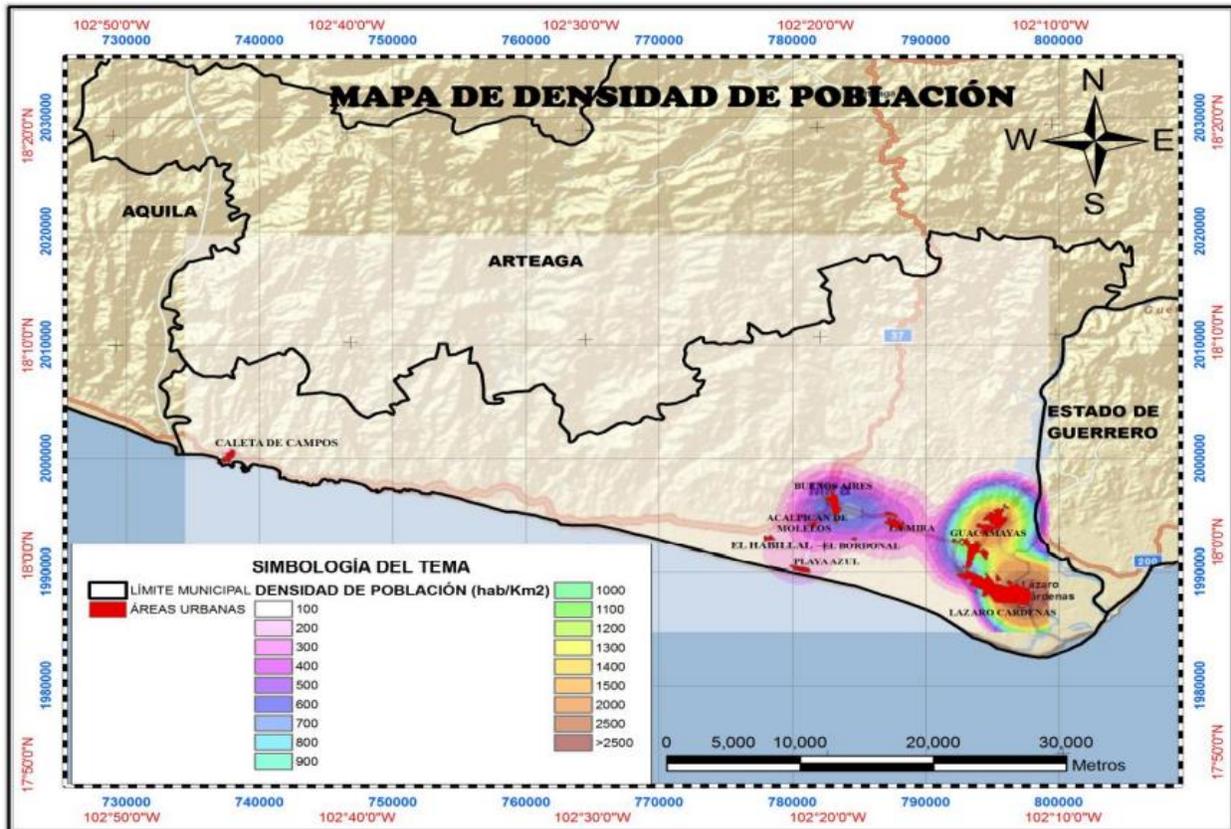


Figura 214 Mapa de densidad de población al año 2010

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

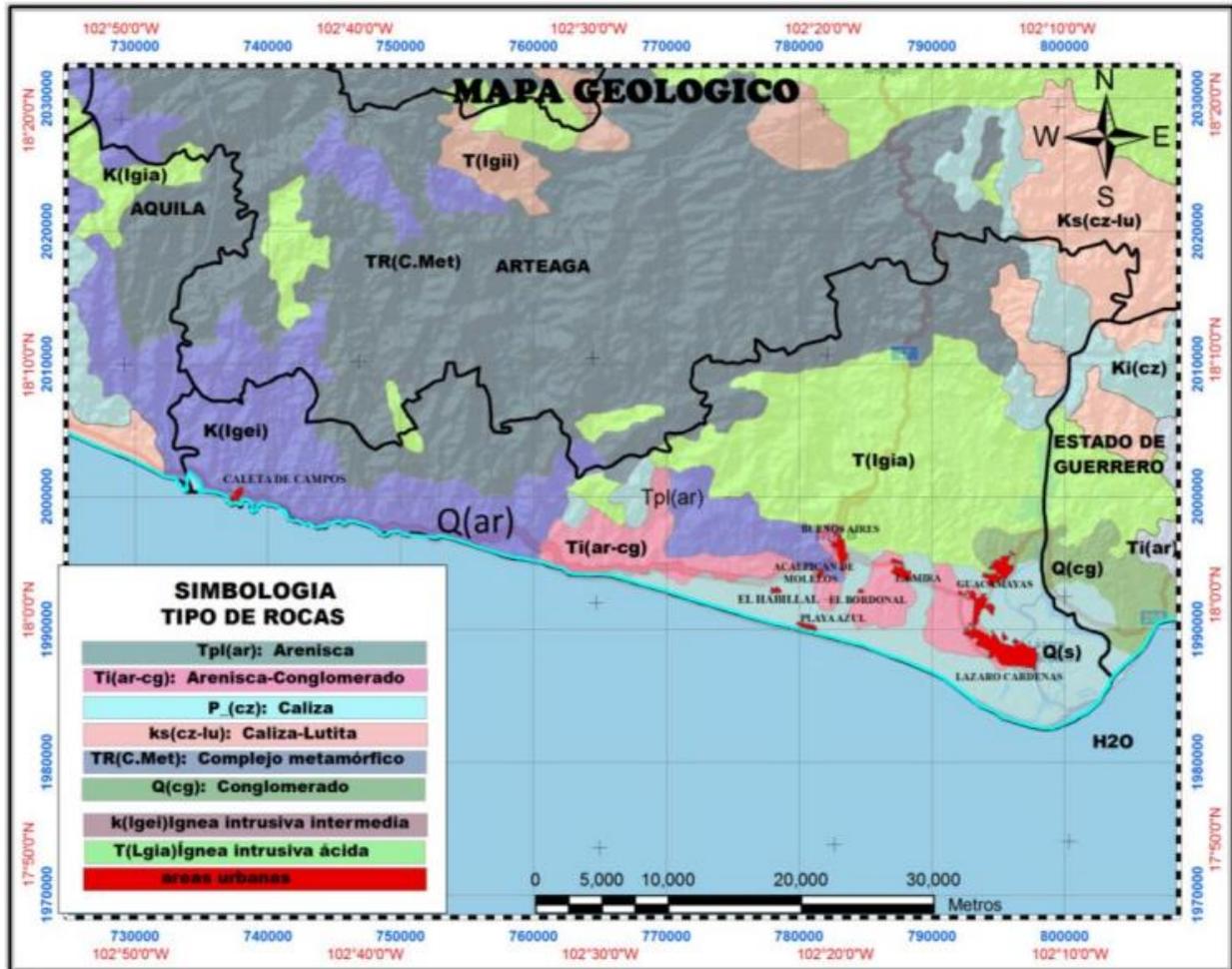


Figura 215 Mapa geológico en Cd. Lázaro Cárdenas Michoacán

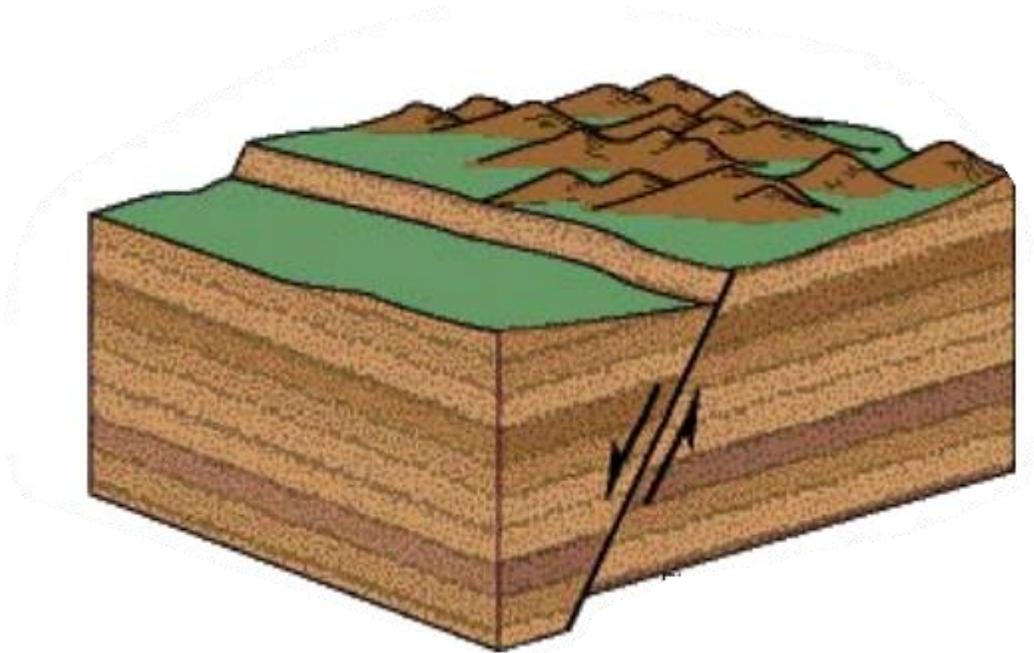


Figura 216 Fallas y fracturas. Se muestra una falla de tipo superficial

Una falla es una grieta en la corteza terrestre. Generalmente, las fallas están asociadas con, o forman los límites entre las placas tectónicas de la Tierra. En una falla activa, las piezas de la corteza de la tierra a lo largo de la falla, se mueven con el transcurrir del tiempo. El movimiento de estas rocas puede causar terremotos.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

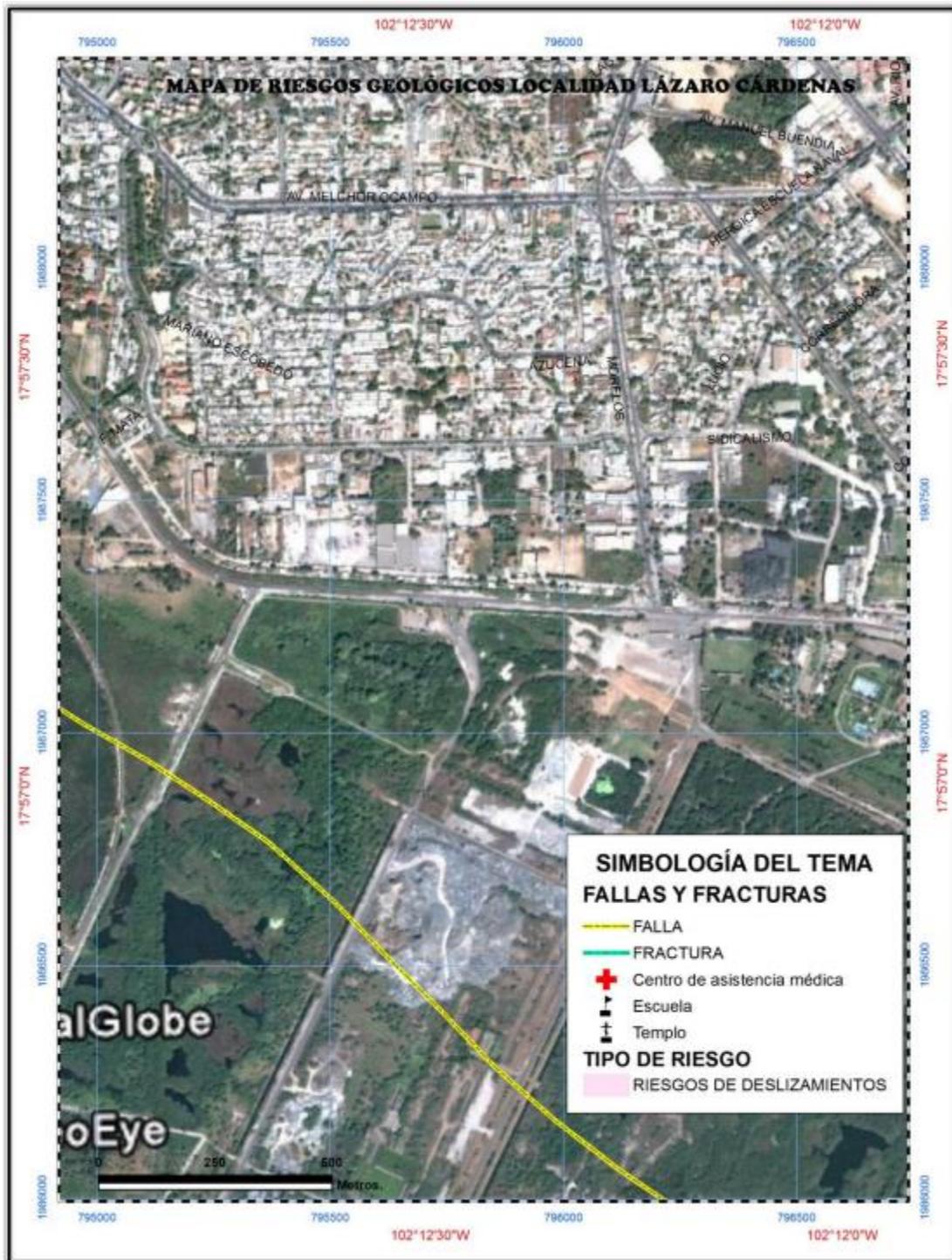


Figura 218 Mapa de fallas y fracturas Cd. Lázaro Cárdenas Michoacán

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Sismos

INDICADORES DE VULNERABILIDAD

Lázaro Cárdenas se considera como una de las ciudades de mayor riesgo sísmico, esto debido a que el municipio se encuentra en las costas del pacifico y cercano a la placa de cocos, la cual se considera como la más activa en el territorio mexicano.



Figura 219 Placas tectónicas dentro del territorio mexicano y sus velocidades relativas

Otros de los motivos por el cual el municipio se considera de alto riesgo sísmico, es porque se encuentra en la zona donde se han registrado los epicentros sísmicos mayores a 7° (ver figura 82).

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

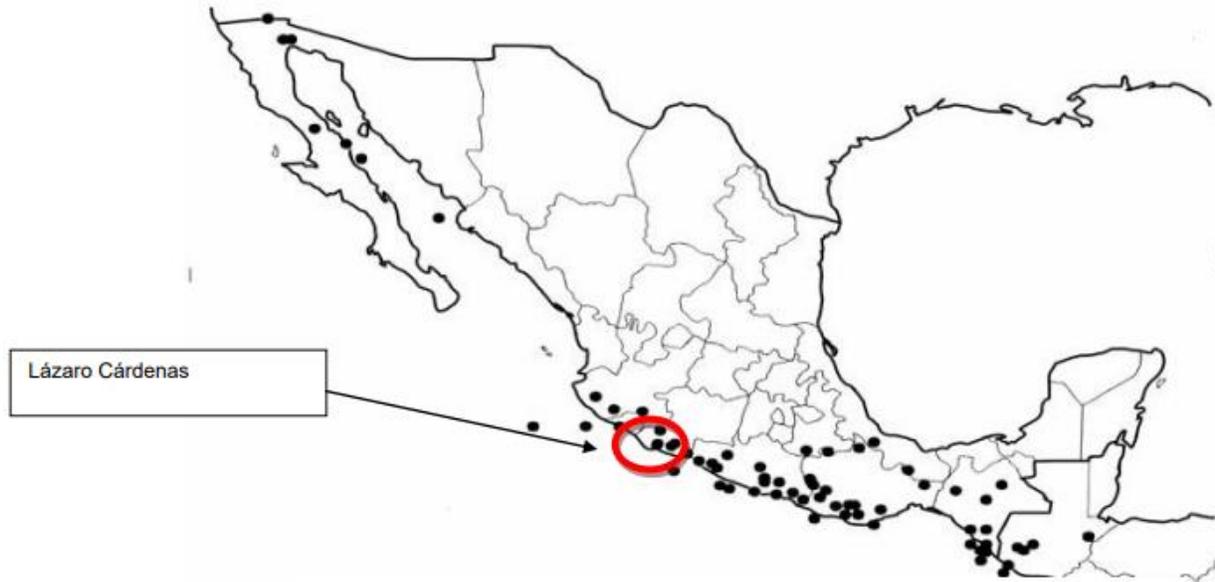


Figura 220 Sismos con magnitud mayor a 7 grados hasta el año 2010

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.1 Carga sísmica, espectro en X y espectro en Y

General

Load Case Name: SPECX

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	EQ2LZC	9.81

Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: []

Rigid Frequency, f2: []

Periodic + Rigid Type: []

Earthquake Duration, td: []

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms

OK Cancel

Figura 221 Espectro dirección X

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

ET Load Case Data

General

Load Case Name: SPECY [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	EQ2LZC	9.81

[Add] [Delete] Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: []

Rigid Frequency, f2: []

Periodic + Rigid Type: []

Earthquake Duration, td: []

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 222 Espectro dirección Y

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.2 Definición de materiales

Los materiales que se utilizaran son los siguientes:

Acero de refuerzo: ASTM A615 Grado 60 ($f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$)

Concreto: $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.3 Masa

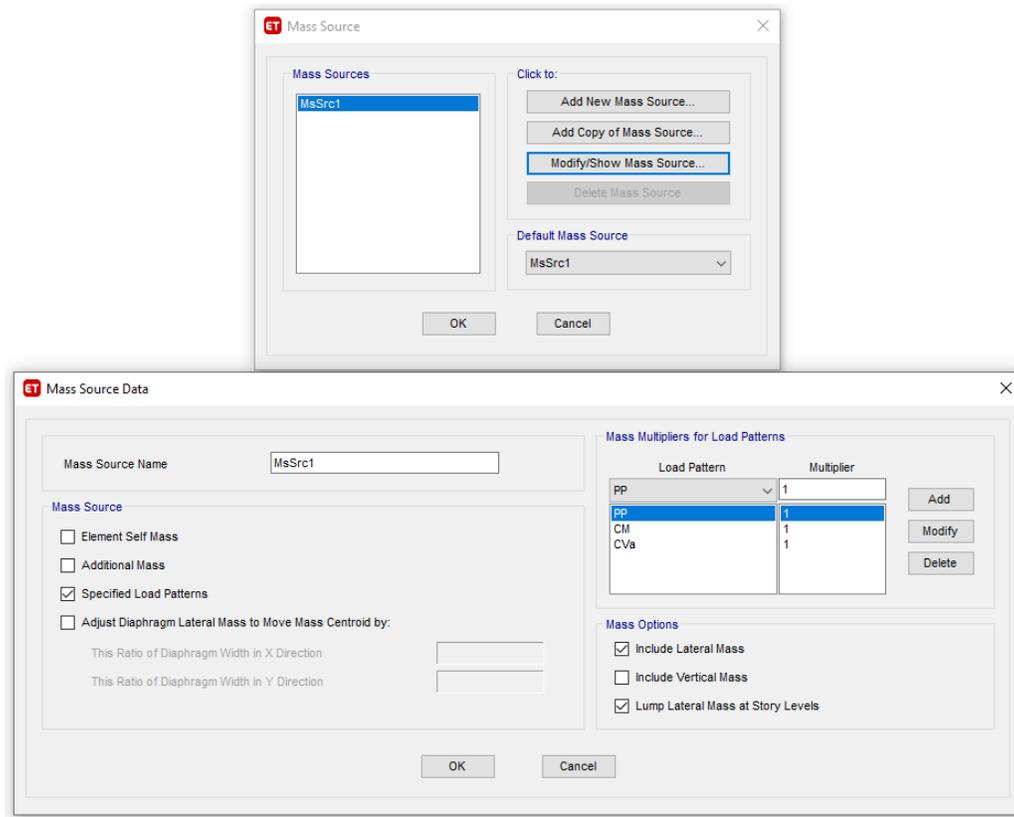


Figura 223 Definición de masas

4.3.4 Efecto P-Delta

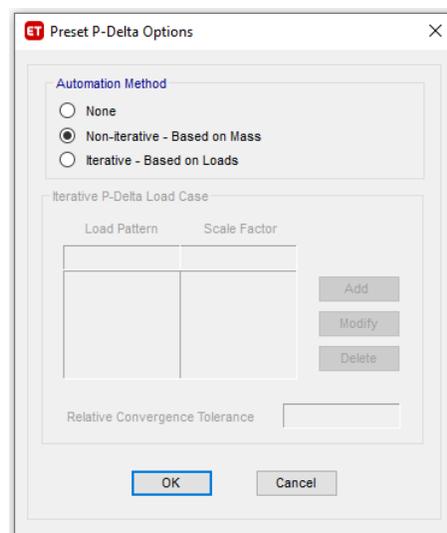
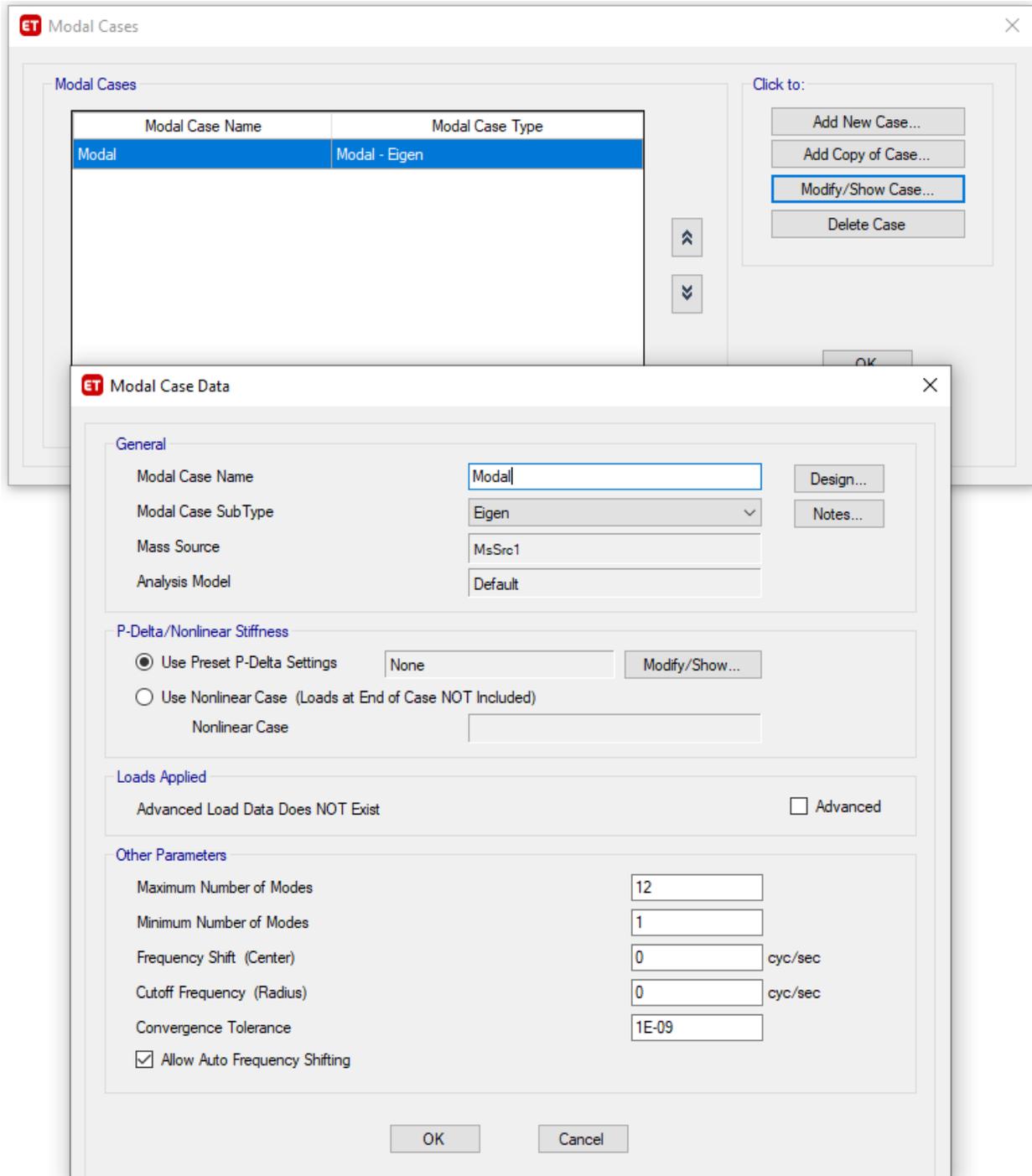


Figura 224 Efecto P-Delta

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.5 Caso modal

Utilizamos 3 modos por nivel (dos horizontales, en X, en Y, uno alrededor del eje Z)



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.6 Combinaciones de carga según las (NTC-RCDF, 2004)

Los capítulos 2.3 y 3.4 de las NTC RCDF 2004 definen las combinaciones de las acciones que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente con sus respectivos factores

Tabla 41

Combinaciones de Carga para Revisión de Estado Límite de Falla

<i>Combinación</i>	<i>Carga muerta (CP)</i>	<i>Carga viva máxima (CV)</i>	<i>Carga viva instantánea (CVa)</i>	<i>Sismo en X</i>	<i>Sismo en Y</i>
1	1.40	1.40	0.00	0.00	0.00
2	1.10	0.00	1.10	1.10	0.33
3	1.10	0.00	1.10	1.10	-0.33
4	1.10	0.00	1.10	-1.10	0.33
5	1.10	0.00	1.10	-1.10	-0.33
6	1.10	0.00	1.10	0.33	1.10
7	1.10	0.00	1.10	-0.33	1.10
8	1.10	0.00	1.10	0.33	-1.10
9	1.10	0.00	1.10	-0.33	-1.10

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 42

Combinaciones de Carga para Revisión de Estado Límite de Servicio

	Carga muerta	Carga viva máxima (CV)	Carga viva instantánea (CVa)	Sismo en X	Sismo en Y
10	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
11	1.00	0.00	1.00	1.00	0.30
12	1.00	0.00	1.00	1.00	-0.30
13	1.00	0.00	1.00	-1.00	0.30
14	1.00	0.00	1.00	-1.00	-0.30
15	1.00	0.00	1.00	0.30	1.00
16	1.00	0.00	1.00	-0.30	1.00
17	1.00	0.00	1.00	0.30	-1.00
18	1.00	0.00	1.00	-0.30	-1.00

4.3.7 Combinaciones de carga en el modelo

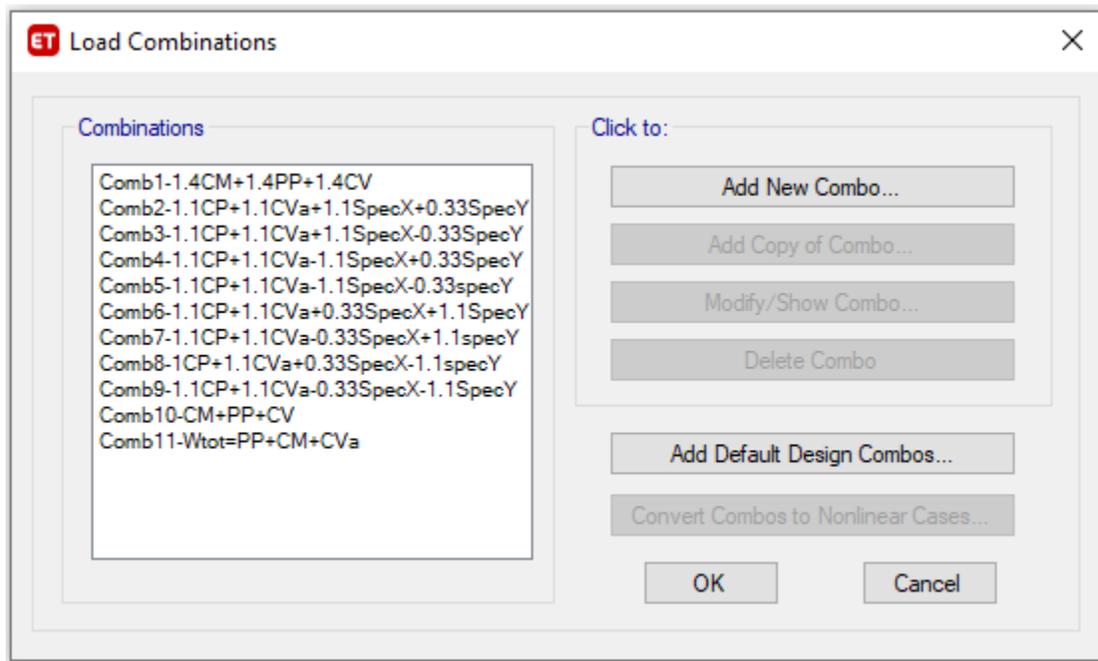


Figura 225 Combinaciones de carga

4.3.8 Grados de libertad

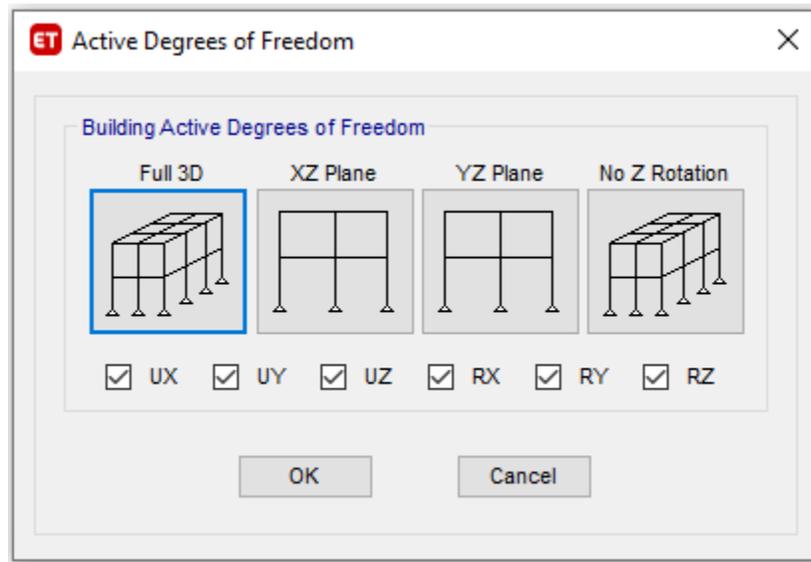


Figura 226 Grados de libertad

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.9 Resultados del análisis dinámico espectral

4.3.9.1 Formas modales

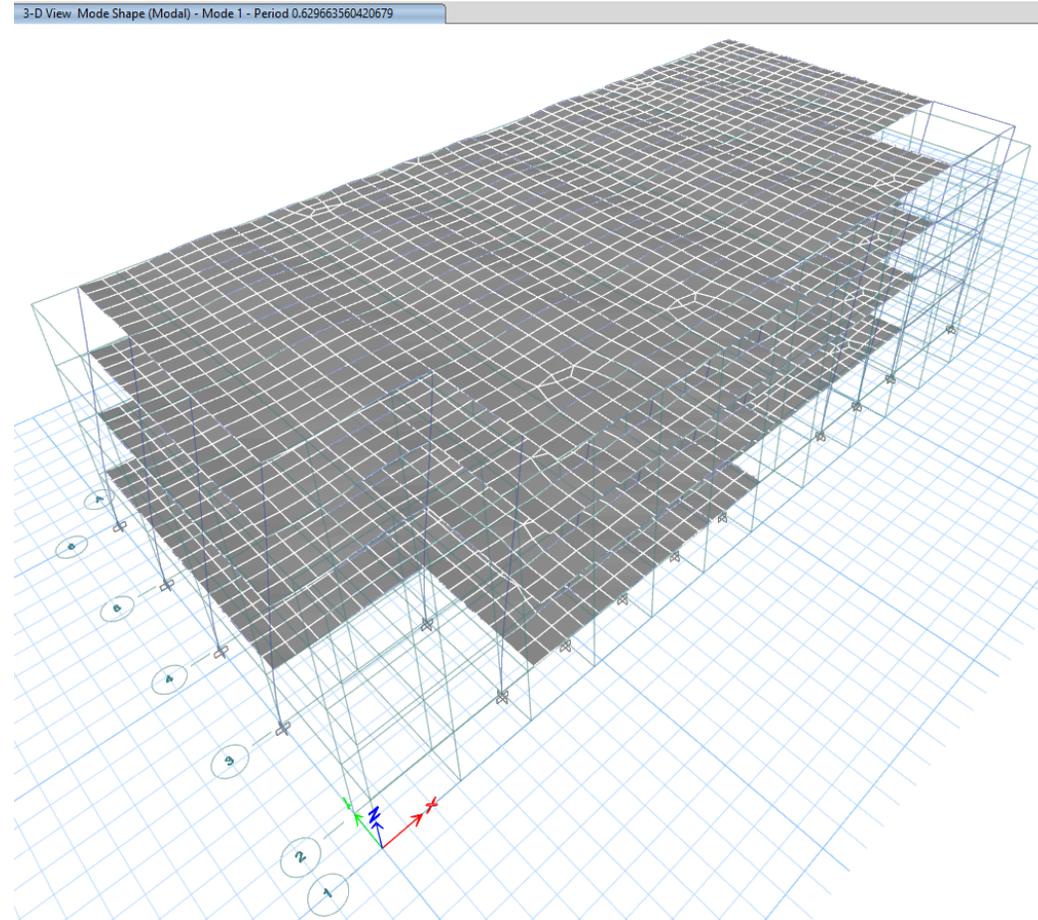


Figura 227 Modo 1 vista 3 D

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

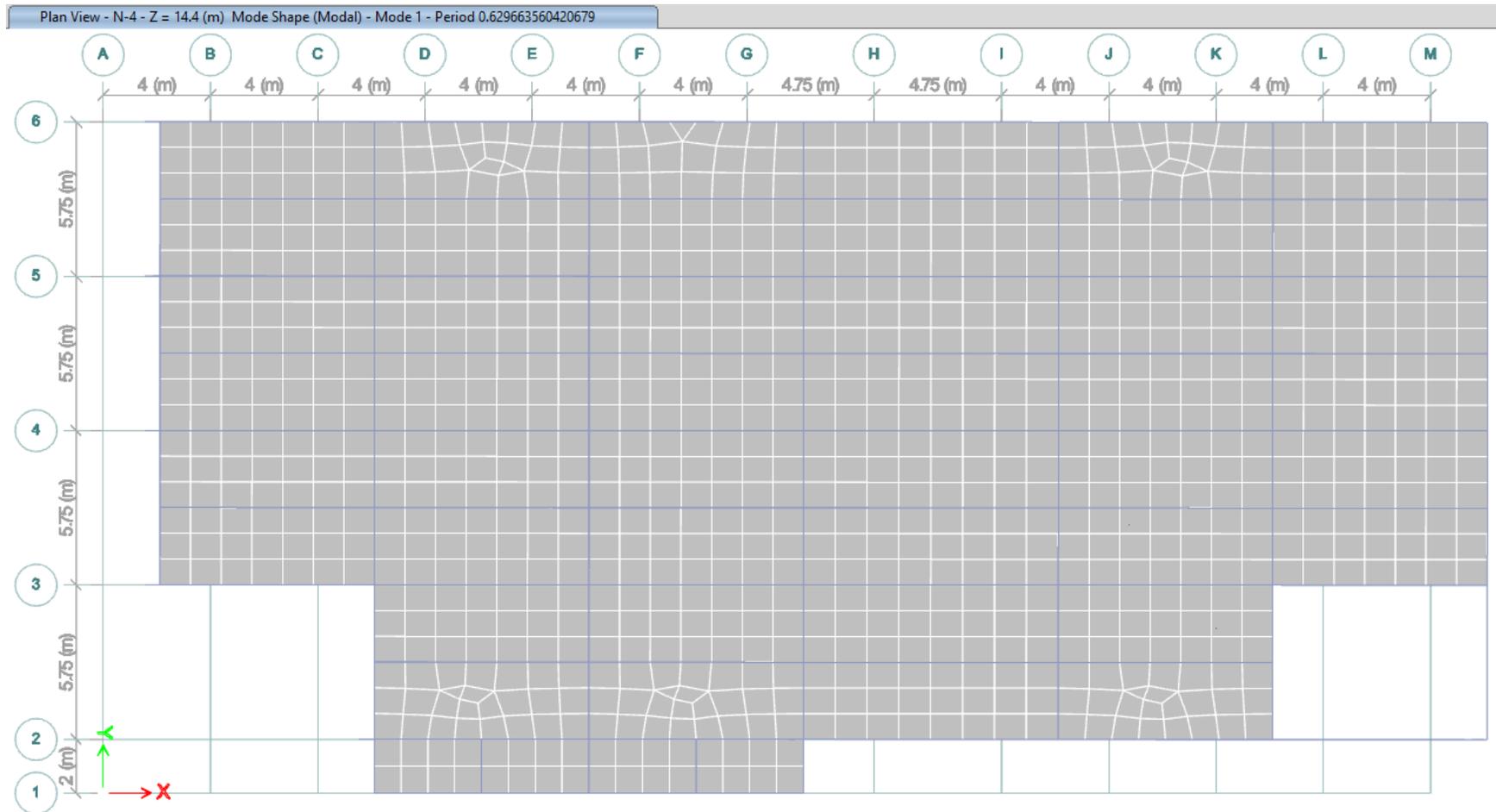


Figura 228 Modo 1 vista en planta

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

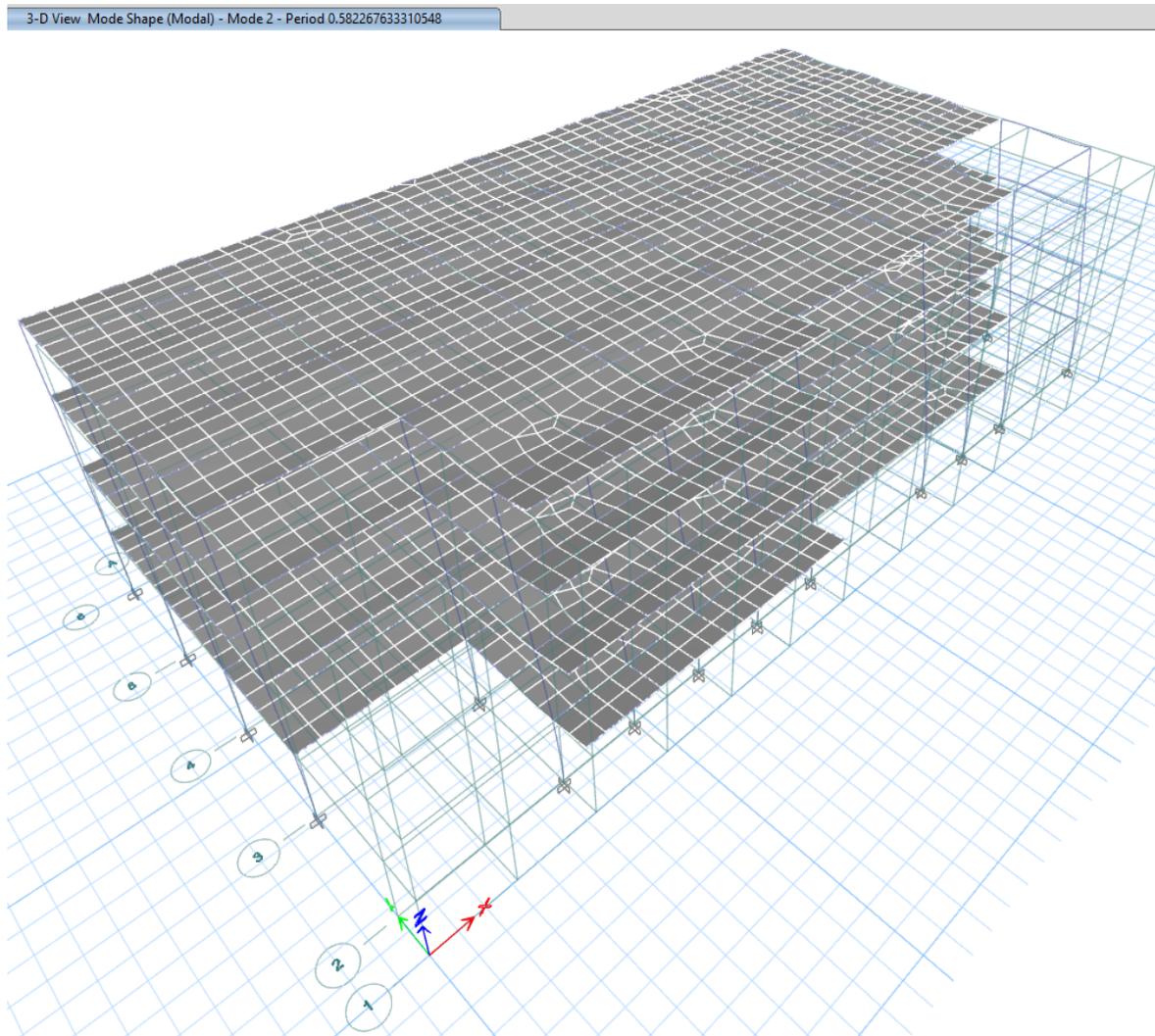


Figura 229 Modo 2 vista en 3D

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

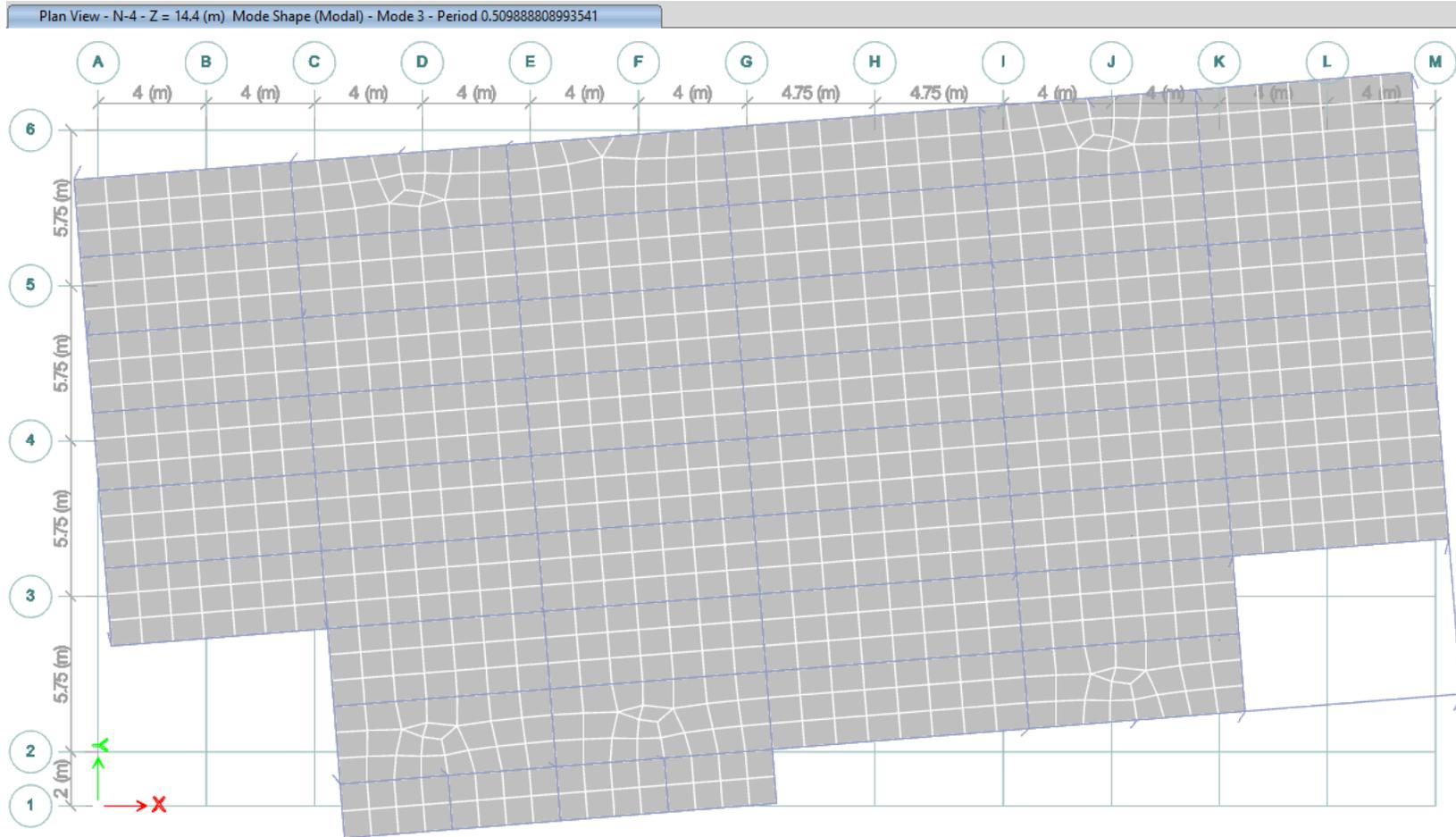
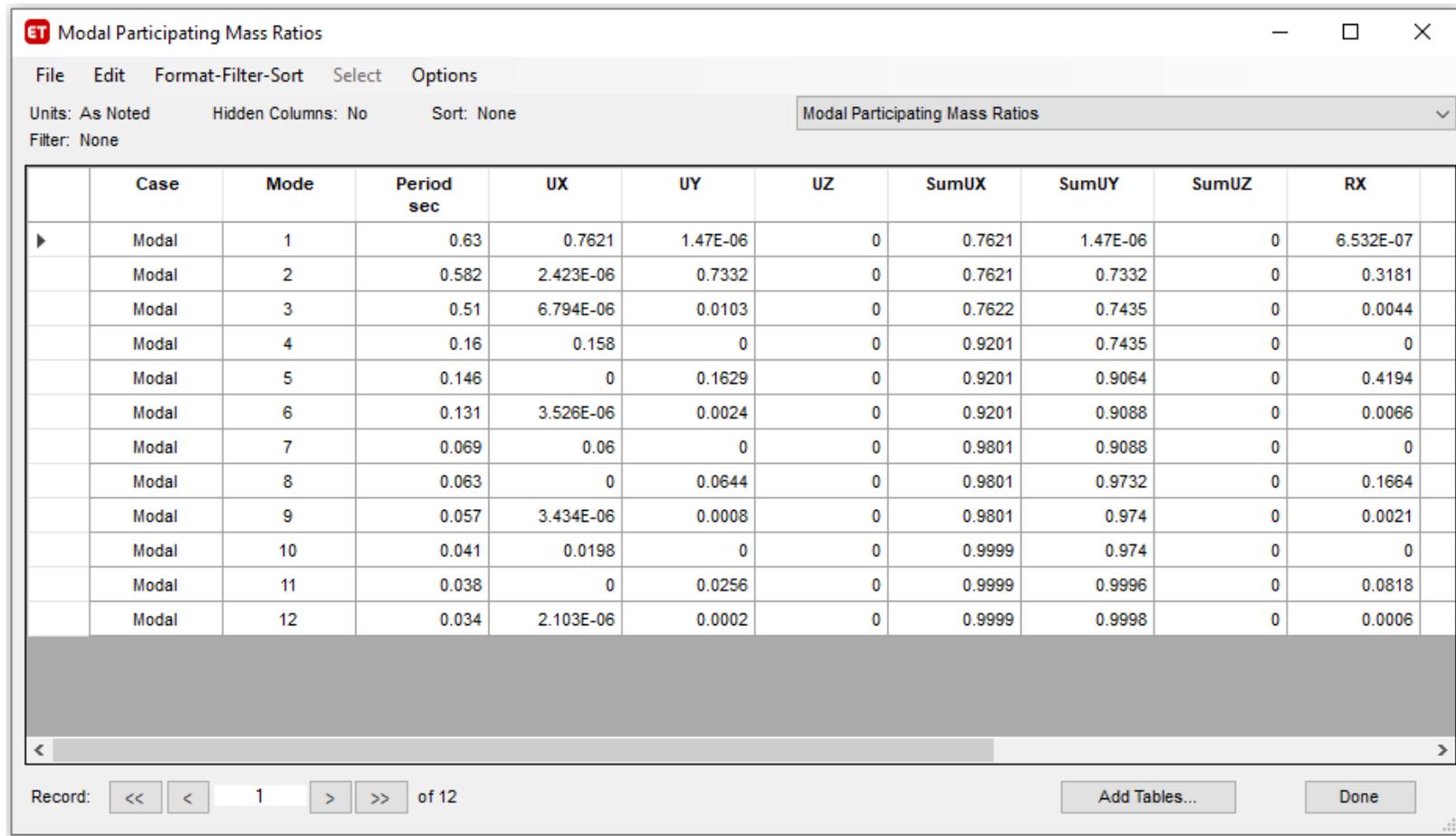


Figura 231 Modo 3 vista en planta

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.9.2 Masas participativas



The screenshot shows a software window titled "ET Modal Participating Mass Ratios". The window has a menu bar with "File", "Edit", "Format-Filter-Sort", "Select", and "Options". Below the menu bar, there are status indicators: "Units: As Noted", "Hidden Columns: No", "Sort: None", and a dropdown menu showing "Modal Participating Mass Ratios". A "Filter: None" label is also present. The main area contains a table with 12 rows of modal data. The columns are: Case, Mode, Period sec, UX, UY, UZ, SumUX, SumUY, SumUZ, and RX. The first row is selected. At the bottom of the window, there is a record navigation bar showing "Record: << < 1 > >> of 12" and two buttons: "Add Tables..." and "Done".

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.63	0.7621	1.47E-06	0	0.7621	1.47E-06	0	6.532E-07
Modal	2	0.582	2.423E-06	0.7332	0	0.7621	0.7332	0	0.3181
Modal	3	0.51	6.794E-06	0.0103	0	0.7622	0.7435	0	0.0044
Modal	4	0.16	0.158	0	0	0.9201	0.7435	0	0
Modal	5	0.146	0	0.1629	0	0.9201	0.9064	0	0.4194
Modal	6	0.131	3.526E-06	0.0024	0	0.9201	0.9088	0	0.0066
Modal	7	0.069	0.06	0	0	0.9801	0.9088	0	0
Modal	8	0.063	0	0.0644	0	0.9801	0.9732	0	0.1664
Modal	9	0.057	3.434E-06	0.0008	0	0.9801	0.974	0	0.0021
Modal	10	0.041	0.0198	0	0	0.9999	0.974	0	0
Modal	11	0.038	0	0.0256	0	0.9999	0.9996	0	0.0818
Modal	12	0.034	2.103E-06	0.0002	0	0.9999	0.9998	0	0.0006

Figura 232 Masas participativas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Modal Participating Mass Ratios

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Modal Participating Mass Ratios

Filter: None

		UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
▶	-06	0	0.7621	1.47E-06	0	6.532E-07	0.3025	7.816E-06	6.532E-07	0.3025	7.816E-06
	332	0	0.7621	0.7332	0	0.3181	1.072E-06	0.0103	0.3181	0.3025	0.0103
	103	0	0.7622	0.7435	0	0.0044	5.098E-06	0.738	0.3225	0.3025	0.7484
	0	0	0.9201	0.7435	0	0	0.4744	3.99E-06	0.3225	0.7769	0.7484
	629	0	0.9201	0.9064	0	0.4194	1.193E-06	0.0025	0.7419	0.7769	0.7509
	024	0	0.9201	0.9088	0	0.0066	1.009E-05	0.1601	0.7484	0.7769	0.9111
	0	0	0.9801	0.9088	0	0	0.158	4.018E-06	0.7484	0.9349	0.9111
	644	0	0.9801	0.9732	0	0.1664	0	0.0008	0.9149	0.9349	0.9119
	008	0	0.9801	0.974	0	0.0021	9.12E-06	0.0634	0.9169	0.9349	0.9752
	0	0	0.9999	0.974	0	0	0.0649	3.088E-06	0.9169	0.9998	0.9752
	256	0	0.9999	0.9996	0	0.0818	0	0.0002	0.9987	0.9998	0.9755
	002	0	0.9999	0.9998	0	0.0006	6.838E-06	0.0243	0.9993	0.9998	0.9998

Record: << < 1 > >> of 12 Add Tables... Done

Figura 233 Masas participativas (complemento)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.10 Resultados del diseño

4.3.10.1 Configuración de preferencias para el diseño

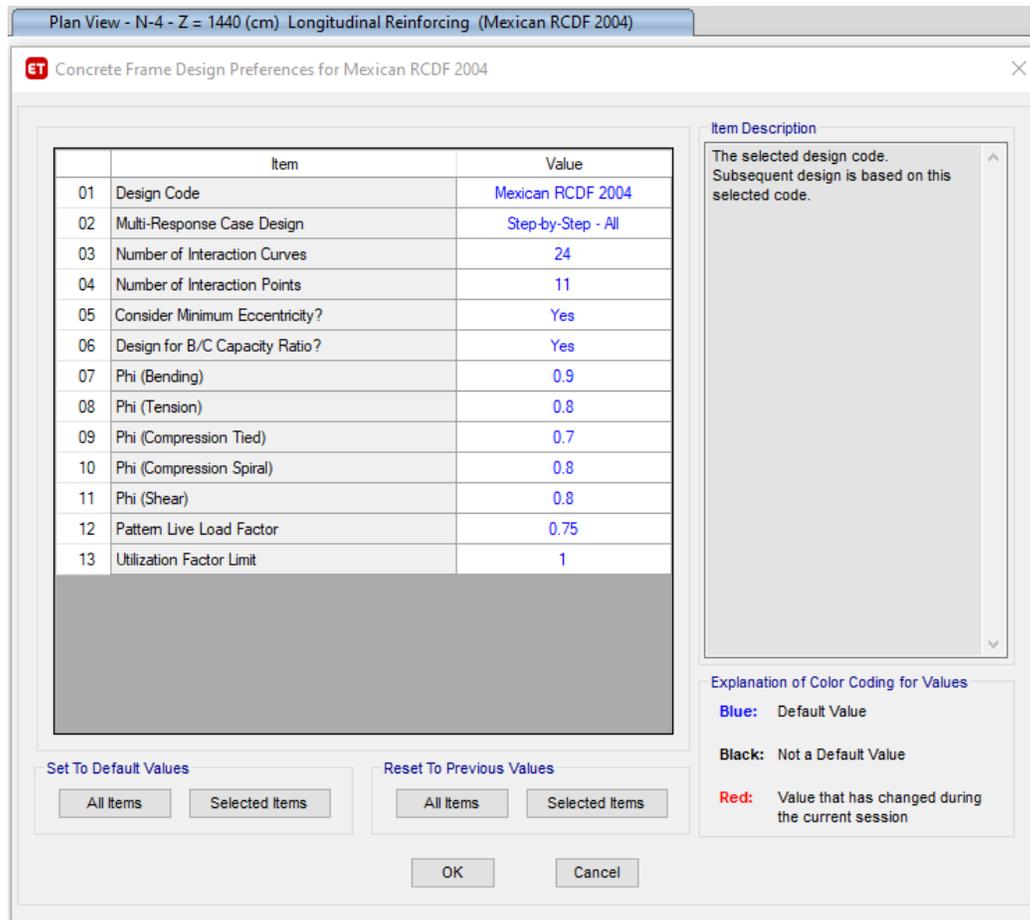


Figura 234 Configuración de preferencias para el diseño

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.10.2 Aceros de refuerzo requeridos a flexión

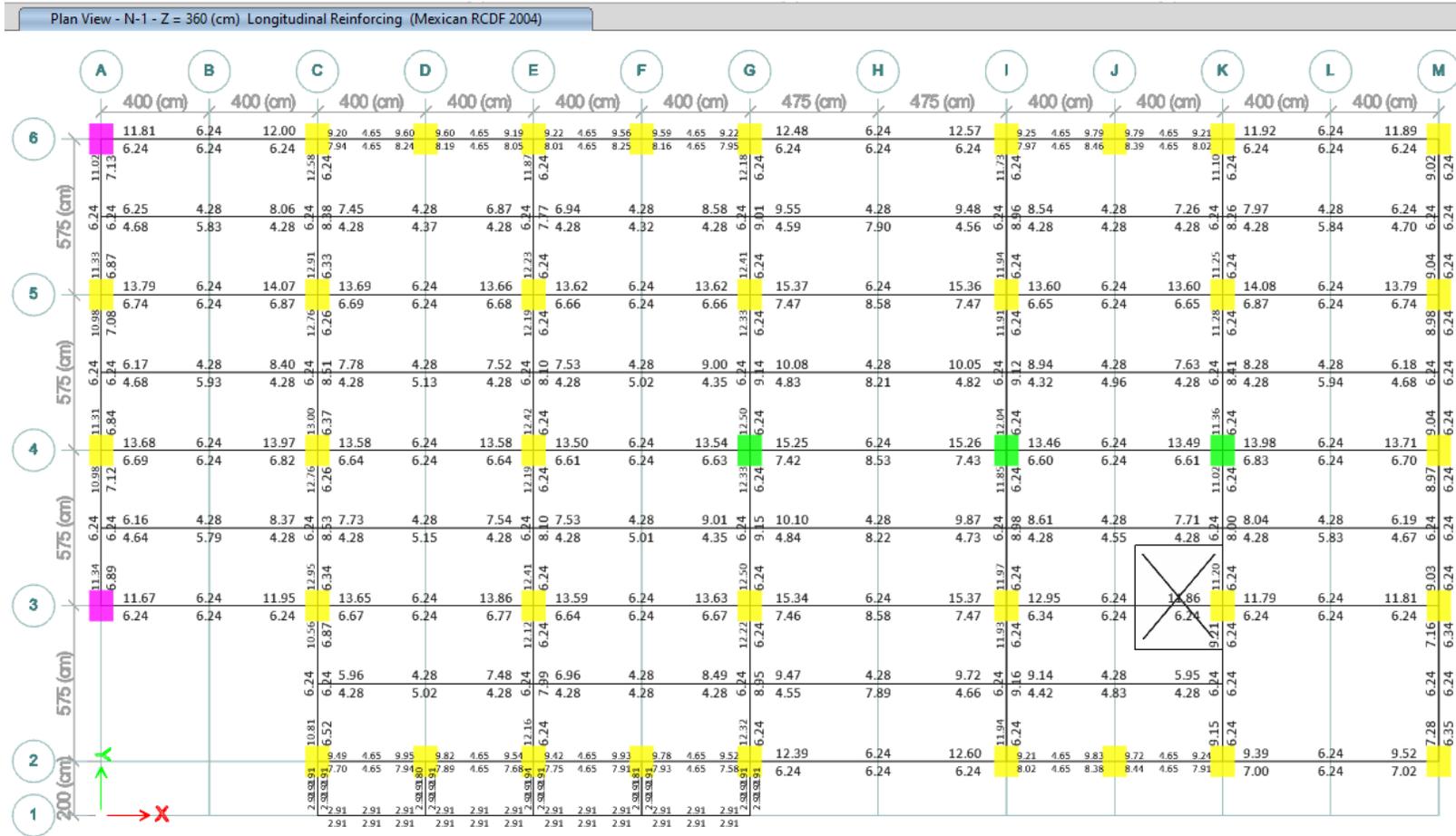


Figura 235 Aceros de refuerzo requeridos a flexión planta N-1

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.10.3 Porcentaje de acero



Figura 236 Aceros de refuerzo requeridos a flexión planta N-2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Plan View - N-3 - Z = 1080 (cm) Rebar Percentage (Mexican RCDF 2004)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M			
	400 (cm)	400 (cm)	400 (cm)	400 (cm)	400 (cm)	400 (cm)	400 (cm)	475 (cm)	475 (cm)	400 (cm)	400 (cm)	400 (cm)	400 (cm)			
6	0.57% 0.29%	0.24%	0.57% 0.31%	0.59% 0.23% 0.62% 0.54% 0.23% 0.54%	0.62% 0.23% 0.60% 0.54% 0.23% 0.54%	0.60% 0.23% 0.62% 0.54% 0.23% 0.55%	0.62% 0.23% 0.59% 0.53% 0.23% 0.54%	0.58% 0.29%	0.24%	0.59% 0.29%	0.59% 0.23% 0.63% 0.53% 0.23% 0.55%	0.63% 0.23% 0.58% 0.55% 0.23% 0.54%	0.57% 0.30%	0.24% 0.24%	0.57% 0.30%	
5	0.67% 0.46%	0.24%	0.65% 0.32%	0.73% 0.37%	0.73% 0.37%	0.69% 0.36%	0.64% 0.31%	0.70% 0.34%	0.24%	0.70% 0.34%	0.66% 0.32%	0.64% 0.31%	0.65% 0.32%	0.24% 0.26%	0.65% 0.32%	
4	0.68% 0.46%	0.24%	0.65% 0.32%	0.74% 0.36%	0.71% 0.35%	0.63% 0.31%	0.63% 0.31%	0.71% 0.34%	0.24%	0.69% 0.34%	0.68% 0.33%	0.63% 0.31%	0.65% 0.32%	0.24% 0.26%	0.64% 0.32%	
3	0.68% 0.46%	0.24%	0.57% 0.30%	0.74% 0.36%	0.71% 0.35%	0.64% 0.31%	0.64% 0.31%	0.71% 0.34%	0.24%	0.69% 0.34%	0.67% 0.33%	0.61% 0.30%	0.56% 0.29%	0.24% 0.24%	0.57% 0.29%	
2	0.65% 0.43%	0.24%	0.61% 0.23% 0.64% 0.52% 0.23% 0.53%	0.63% 0.23% 0.62% 0.53% 0.23% 0.52%	0.61% 0.23% 0.64% 0.53% 0.23% 0.53%	0.63% 0.23% 0.61% 0.53% 0.23% 0.52%	0.57% 0.28%	0.24%	0.59% 0.29%	0.58% 0.23% 0.64% 0.54% 0.23% 0.55%	0.62% 0.23% 0.59% 0.56% 0.23% 0.52%	0.46% 0.37%	0.24% 0.24%	0.47% 0.37%		
1	0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23%		0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23%		0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23%		0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23%	0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23% 0.23%								

Figura 237 Aceros de refuerzo requeridos a flexión planta N-3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

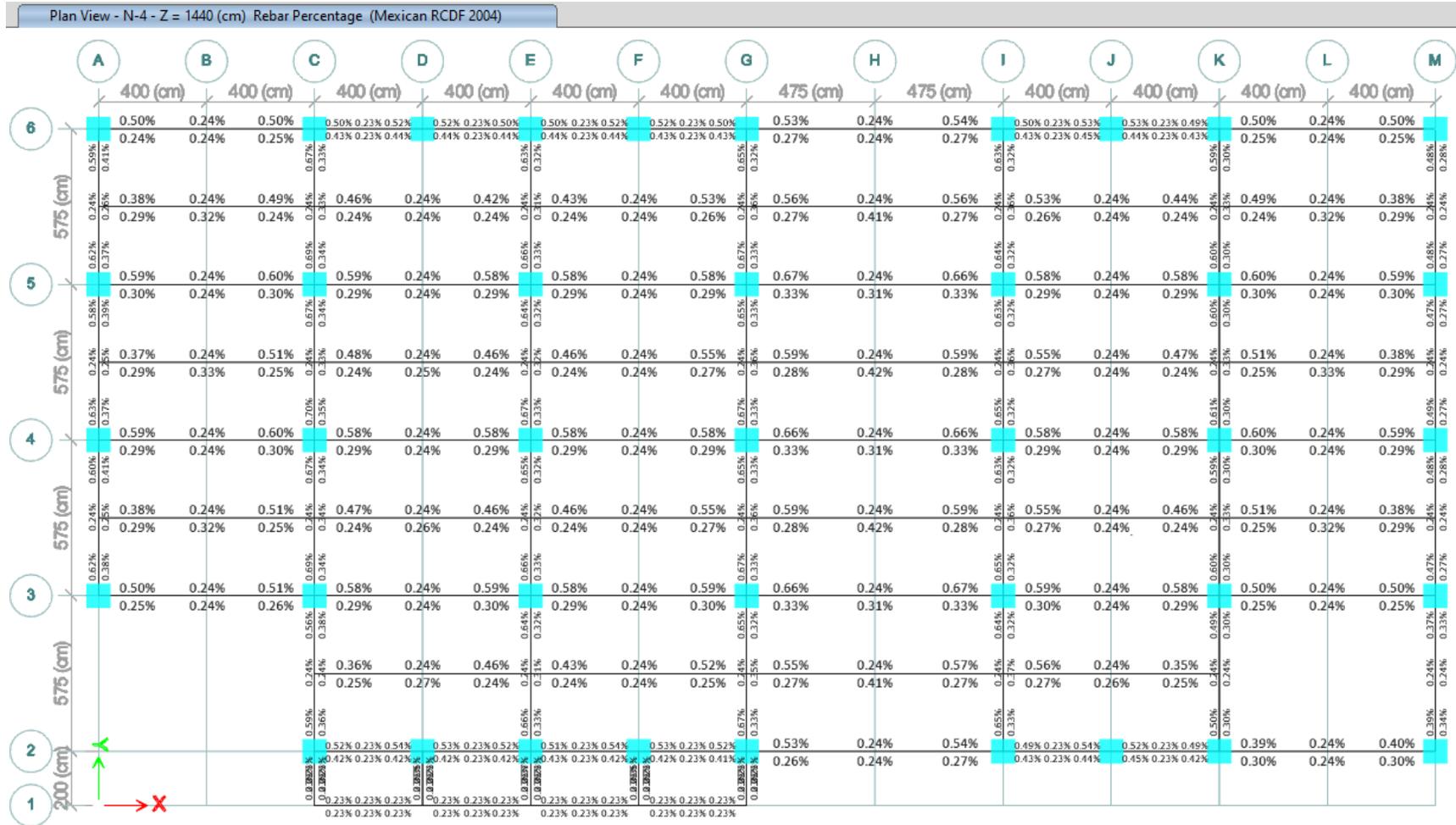


Figura 238 Aceros de refuerzo requeridos a flexión planta N-4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.10.4 Relación de interacción de columnas (P-M-M)

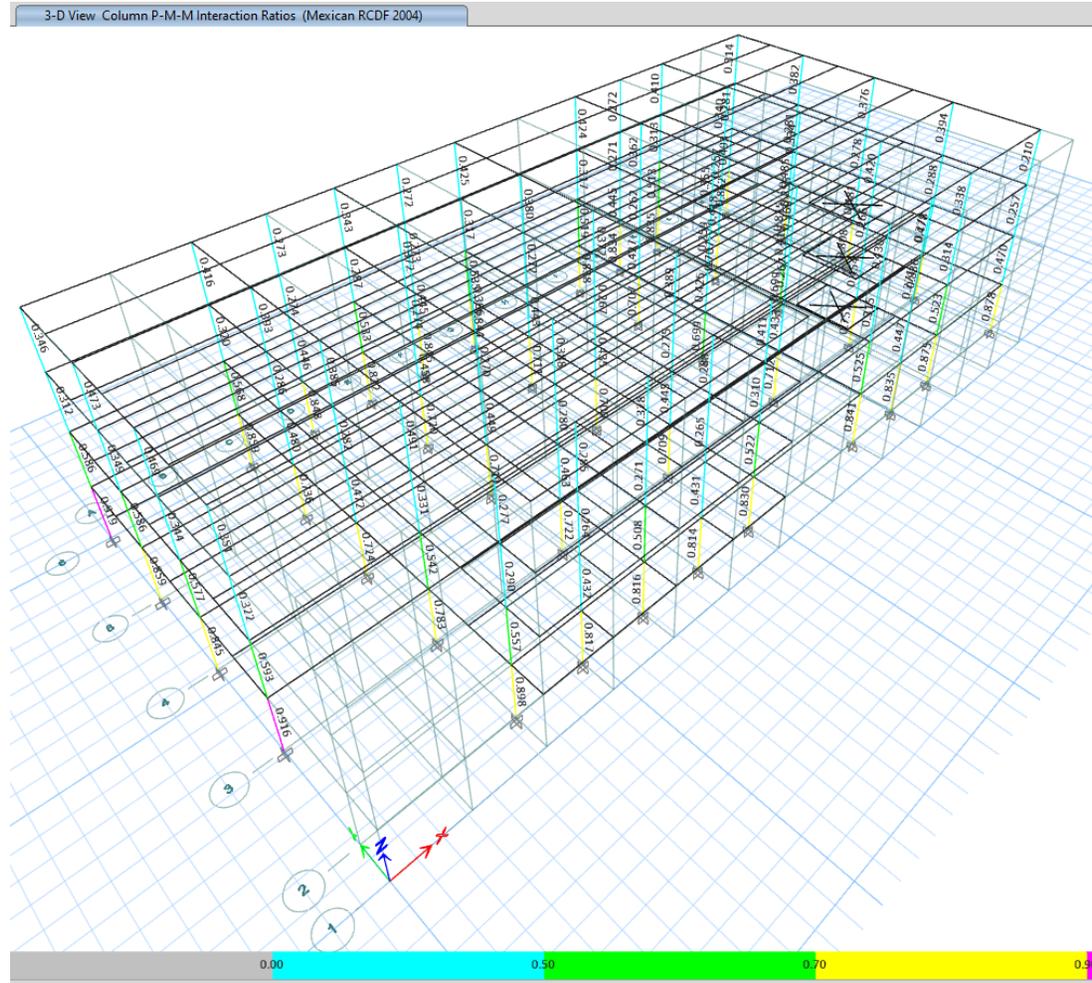


Figura 239 Relación de interacción de columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.10.5 Relación de capacidad viga columna

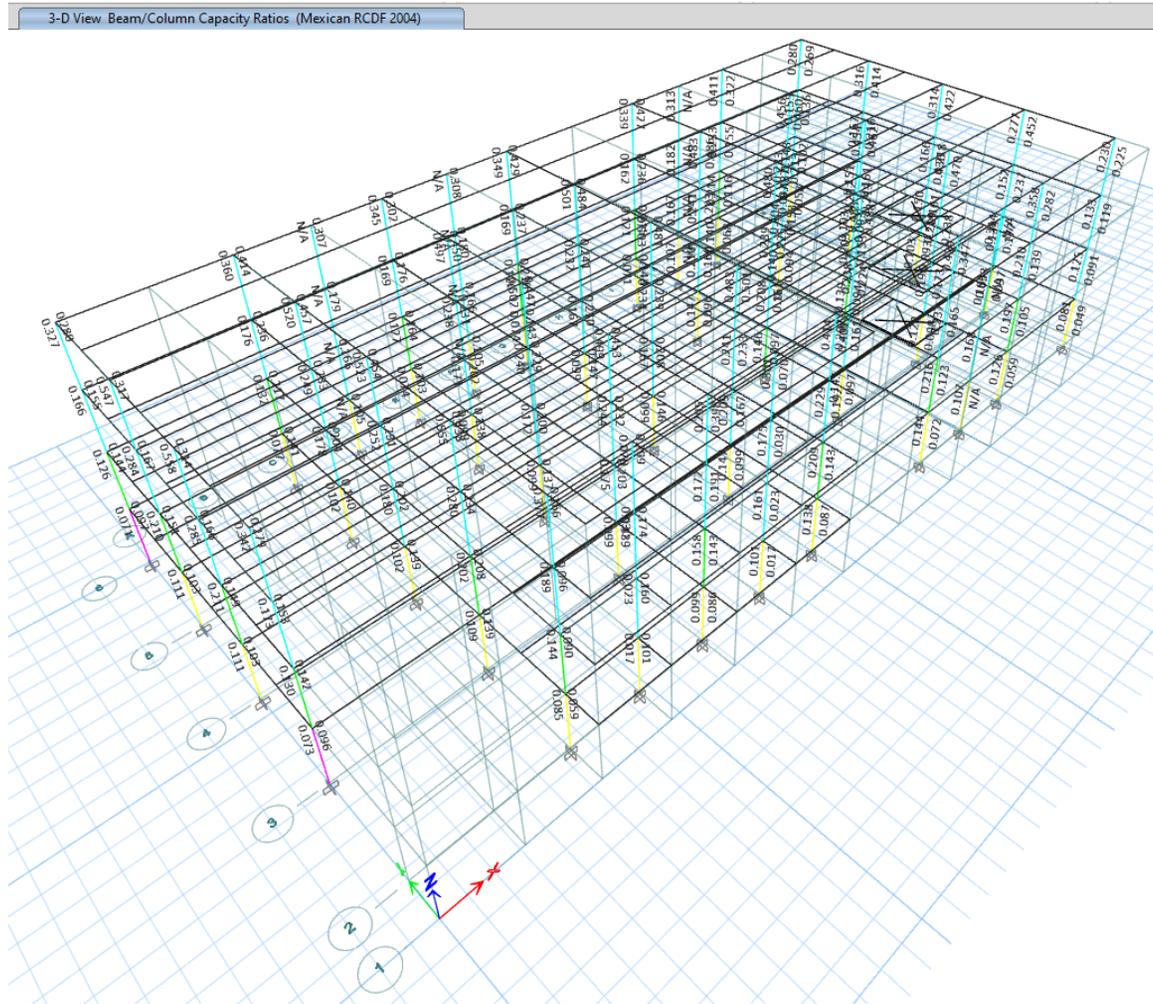


Figura 240 Relación de interacción viga/columna

4.3.10.6 Identificación de todas las fallas de concreto a flexo compresión(P-M)

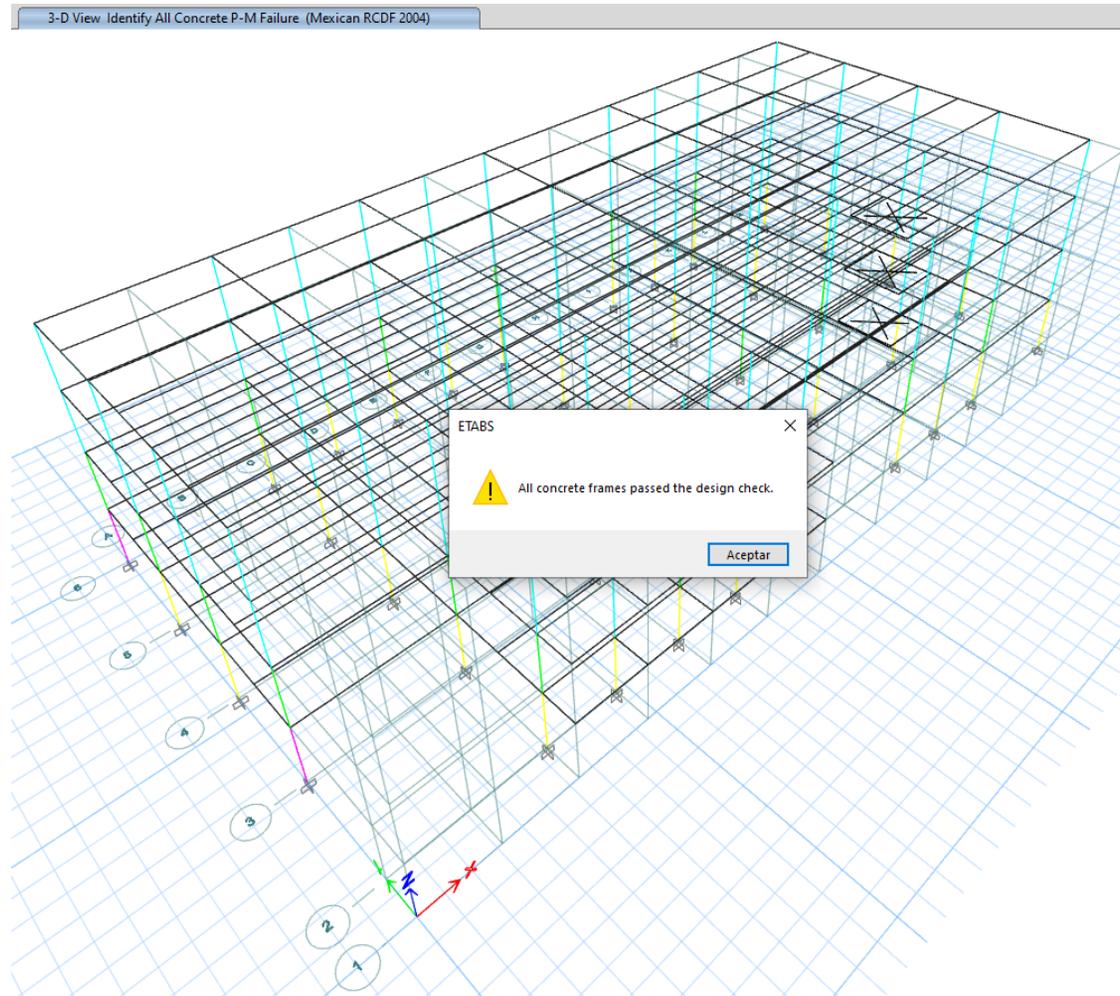


Figura 241 Identificación de todas las fallas de concreto a flexo compresión

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.10.7 Revisión por cortante basal

(inciso 3.3.6.3 MDOC-DS CFE-2008)

Cuando se emplea un método de análisis dinámico, y se encuentra que, en la dirección que se considera, la relación V/W es menor que $0.8a(\beta)/Q'R_p$ ó $0.8a(\beta)Acd/Q'R_p$ para estructuras con comportamiento histórico degradante ubicadas en suelos blandos, según sea el caso, se incrementarán todas las fuerzas de diseño y los desplazamientos laterales correspondientes en una proporción tal que V/W iguale a este valor.

Esta condición implica que la fuerza cortante basal de diseño no puede ser menor que el 80% de la que suministraría un análisis estático tomando en cuenta el periodo fundamental de la estructura.

De acuerdo con el espectro y con el periodo de la estructura $T_e=0.62$ segundos, al edificio le corresponde una demanda sísmica $a(g)=0.276$ con la cual se obtiene los cortantes estáticos y dinámicos indicados a continuación.

Tabla 43

Cortante Dinámico y Estático en el Nivel 1

Story	Output Case	Case Type	Location	VX (ton)	VY (ton)
N-1	SPECX	LinRespSpec	Bottom	1123.6	1.5
N-1	SPECY	LinRespSpec	Bottom	1.5	1121.1
N-1	SX	LinStatic	Bottom	-1441.7	0.0
N-1	SY	LinStatic	Bottom	0.0	-1441.7

Nota. Datos del modelo extraídos con Excel

80%VX estático=1153.36 ton

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

El cortante dinámico ($VX=1123.6$ ton) es menor que el 80% del cortante estático ($VX=1153.36$ ton) por lo tanto, se requiere incrementar la fuerza en proporción a V/W

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Revisión del cortante basal

El cortante dinámico V_d debe ser mayor o igual al 80% del cortante estático V_e y además no debe ser menor que V_0

Story	Output Case	Case Type	VX	VY
N-1	SPECX	LinRespSpec	1123.6	1.5
N-1	SPECY	LinRespSpec	1.5	1121.1
N-1	SX	LinStatic	-1441.7	0.0
N-1	SY	LinStatic	0.0	-1441.7

$$V_{d,x} := 1123.6 \text{ tonf}$$

Cortante dinámico sentido X

$$V_{d,y} := 1121.1 \text{ tonf}$$

Cortante dinámico sentido Y

$$V_{e,x} := 1441.7 \text{ tonf}$$

Cortante estático sentido X

$$V_{e,y} := 1441.7 \text{ tonf}$$

Cortante estático sentido Y

$$0.8 \cdot V_{e,y} = 1153.36 \text{ tonf}$$

80% del cortante estático en el sentido y

$$0.8 \cdot V_{e,x} = 1153.36 \text{ tonf}$$

80% del cortante estático en el sentido x

$$f_{esc,x} := \max\left(1, \frac{0.8 \cdot V_{e,x}}{V_{d,x}}\right) = 1.026$$

Factor de escala en el sentido x

$$f_{esc,y} := \max\left(1, \frac{0.8 \cdot V_{e,y}}{V_{d,y}}\right) = 1.029$$

Factor de escala en el sentido y

$$f_{g,x} := f_{esc,x} \cdot g = 10.066 \frac{m}{s^2}$$

$$f_{g,y} := f_{esc,y} \cdot g = 10.089 \frac{m}{s^2}$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Sin embargo, el cortante V_0 no será menor que $\frac{a(0,\beta)}{(Q'(0,Q) \cdot R(0,R_0) \cdot \rho)} \cdot W_t$

donde: $T_e = 0$ W_t es el peso total de la construcción incluyendo cargas muertas y vivas

$$a := 0.3353$$

$$Q' := 1.686$$

$$R := 2$$

$$\rho := 1.25$$

$$W_t := 5031.3 \text{ tonf}$$

Peso del edificio		
Nivel	Masa/ Nivel tonf-s ² /m	Peso/ Nivel Tonf
N-4	124.91	1225.41
N-3	127.08	1246.61
N-2	129.51	1270.54
N-1	131.39	1288.92
	512.89	5031.47

$$V_0 := \frac{a}{Q' \cdot R \cdot \rho} \cdot W_t = 400.2 \text{ tonf}$$

Nota 1: Los datos son tomados del análisis dinámico realizado en ETABS

Nota 2: Los factores de escala se deben multiplicar por el valor de la gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$) y cambiar el valor obtenido por el valor de 9.81 que usamos al definir el caso de carga del tipo espectro de respuesta en el ETABS y volver a correr el programa para revisar nuevamente y comparar con el valor de V_0 .

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

ET Load Case Data

General

Load Case Name: SPECX [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	EQ2LZC	10.066

[Add] [Delete] Advanced

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: []

Rigid Frequency, f2: []

Periodic + Rigid Type: []

Earthquake Duration, td: []

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 242 Espectro con factor de escala=10.066

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Load Case Data

General

Load Case Name: SPECY [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Mass Source: Previous (MsSrc1)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	EQ2LZC	10.089

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: []

Rigid Frequency, f2: []

Periodic + Rigid Type: []

Earthquake Duration, td: []

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 243 Espectro con factor de escala=10.089

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Comprobación del cortante basal

El cortante dinámico V_d debe ser mayor o igual al 80% del cortante estático V_e y además no debe ser menor que V_0

Story	Output Case	Case Type	VX	VY
			tonf	tonf
N-1	SPECX	LinRespSpec	1116.7223	1.5641
N-1	SPECY	LinRespSpec	1.5677	1116.5049
N-1	SX	LinStatic	-1388.2239	0
N-1	SY	LinStatic	0	-1388.2239

Nota: los valores de la tabla son obtenidos después de haber aplicado los factores de escala, los cuales se usaran para realizar la comprobación

$V_{d,x} := 1116.7223 \text{ tonf}$ Cortante dinámico sentido X

$V_{d,y} := 1116.5049 \text{ tonf}$ Cortante dinámico sentido Y

$V_{e,x} := 1388.2239 \text{ tonf}$ Cortante estático sentido X

$V_{e,y} := 1388.2239 \text{ tonf}$ Cortante estático sentido Y

$0.8 \cdot V_{e,y} = 1110.58 \text{ tonf}$ 80% del cortante estático en el sentido y

$0.8 \cdot V_{e,x} = 1110.58 \text{ tonf}$ 80% del cortante estático en el sentido x

$f_{esc,x} := \max\left(1, \frac{0.8 \cdot V_{e,x}}{V_{d,x}}\right) = 1$ Factor de escala en el sentido x

$f_{esc,y} := \max\left(1, \frac{0.8 \cdot V_{e,y}}{V_{d,y}}\right) = 1$ Factor de escala en el sentido y

$f_{g,x} := f_{esc,x} \cdot g = 9.807 \frac{m}{s^2}$ $f_{g,y} := f_{esc,y} \cdot g = 9.807 \frac{m}{s^2}$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Sin embargo, el cortante V_0 no será menor que $\frac{a(0,\beta)}{(Q'(0,Q) \cdot R(0,R_0) \cdot \rho)} \cdot W_t$

donde: $T_e = 0$ W_t es el peso total de la construcción incluyendo cargas muertas y vivas

$$a := 0.3353$$

$$Q' := 1.686$$

$$R := 2$$

$$\rho := 1.25$$

$$W_t := 5031.3 \text{ tonf}$$

Peso del edificio		
Nivel	Masa/ Nivel tonf-s ² /m	Peso/ Nivel Tonf
N-4	124.91	1225.41
N-3	127.08	1246.61
N-2	129.51	1270.54
N-1	131.39	1288.92
	512.89	5031.47

$$V_0 := \frac{a}{Q' \cdot R \cdot \rho} \cdot W_t = 400.2 \text{ tonf}$$

Nota 1: Los datos son tomados del análisis dinámico realizado en ETABS

y cambiar el valor obtenido por el valor de 9.81 que usamos al definir el caso de carga del tipo espectro de respuesta en el ETABS y volver a correr el programa para revisar Nota 2:

Los factores de escala se deben multiplicar por el valor de la gravedad ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

nuevamente y comparar con el valor de V_0 .

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

En nuestro caso el factor de escala nos dio =1.0

Con esto cumplimos la condición del Cortante Basal $V_o = a_o W_{tot}$ y procedemos a revisar desplazamientos

4.3.10.8 Desplazamientos verticales

$\Delta = \text{mm}$. (Obtenido del análisis estructural)

$\Delta = 3 + L/480$ (desplazamiento permisible)

$\Delta = \text{Desplazamiento (mm)}$

$L = 9500$ Claro máximo del Edificio (mm)

$\Delta = 3 + L/480 = > \text{mm}$

Se verifican los desplazamientos entre los ejes 4 y 5. (claro $L = 9.5$ m) y un claro de 5.75 entre los ejes G e I con una trabe secundaria al centro de estos ejes, bajo la combinación 1 (1.4CM+1.4PP+1.4CV) los cuales son los claros críticos.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

ET Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: Comb1-1.4CM+1.4PP+1.4CV

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
CM	1.4
PP	1.4
CV	1.4

Add

Delete

OK Cancel

Figura 244 Combinación de cargas permanentes (Comb 1)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Plan View - N-4 - Z = 14.4 (m)

Combinations

- Comb1-1.4CM+1.4PP+1.4CV
- Comb2-1.1CP+1.1CVa+1.1SpecX+0.33SpecY
- Comb3-1.1CP+1.1CVa+1.1SpecX+0.33SpecY
- Comb4-1.1CP+1.1CVa+1.1SpecX+0.33SpecY
- Comb5-1.1CP+1.1CVa+1.1SpecX+0.33SpecY
- Comb6-1.1CP+1.1CVa+0.33SpecX+1.1SpecY
- Comb7-1.1CP+1.1CVa+0.33SpecX+1.1SpecY
- Comb8-1CP+1.1CVa+0.33SpecX-1.1SpecY
- Comb9-1.1CP+1.1CVa+0.33SpecX-1.1SpecY
- Comb10-CM+PP+CV
- Comb11-Wtot=PP+CM+CVa

Click to:

Add New Combo...

Add Copy of Combo...

Modify/Show Combo...

Delete Combo

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: Comb1-1.4CM+1.4PP+1.4CV

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor	
CM	1.4	Add
PP	1.4	Delete
CV	1.4	

Figura 245 Combinación de carga para revisar desplazamientos verticales

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

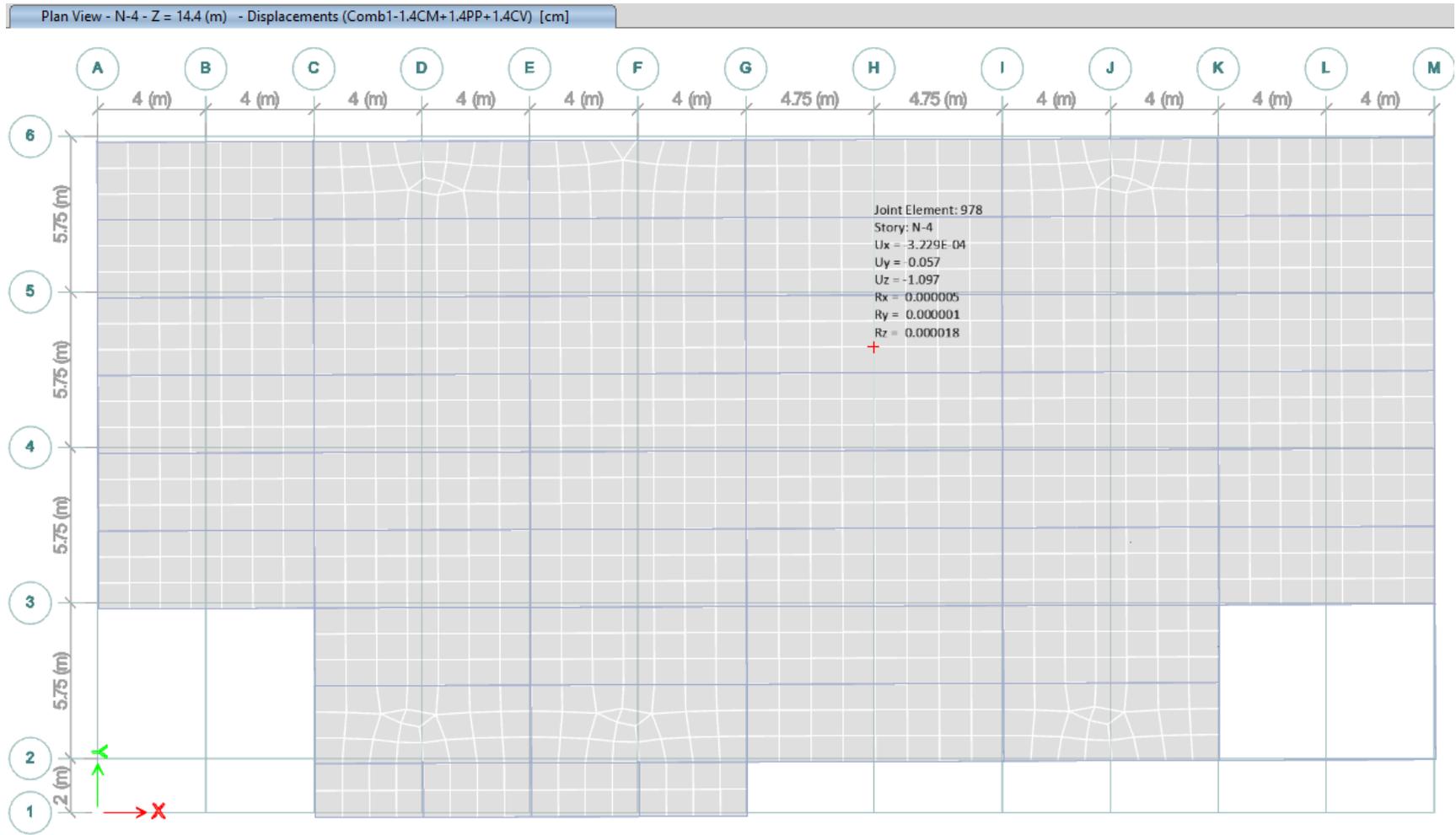


Figura 246 Desplazamiento vertical Uz=-1.097 cm

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 44

Revisión de Desplazamientos Verticales

NIVEL	Desplazamiento Permisible $\Delta=3+L/480$ (cm)	Desplazamientos verticales (cm)
N-4 (Azotea)	2.279	1.097
N-3	2.279	1.025
N-2	2.279	0.999
N-1	2.279	0.964

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

4.3.10.9 Desplazamientos horizontales

- Dirección X

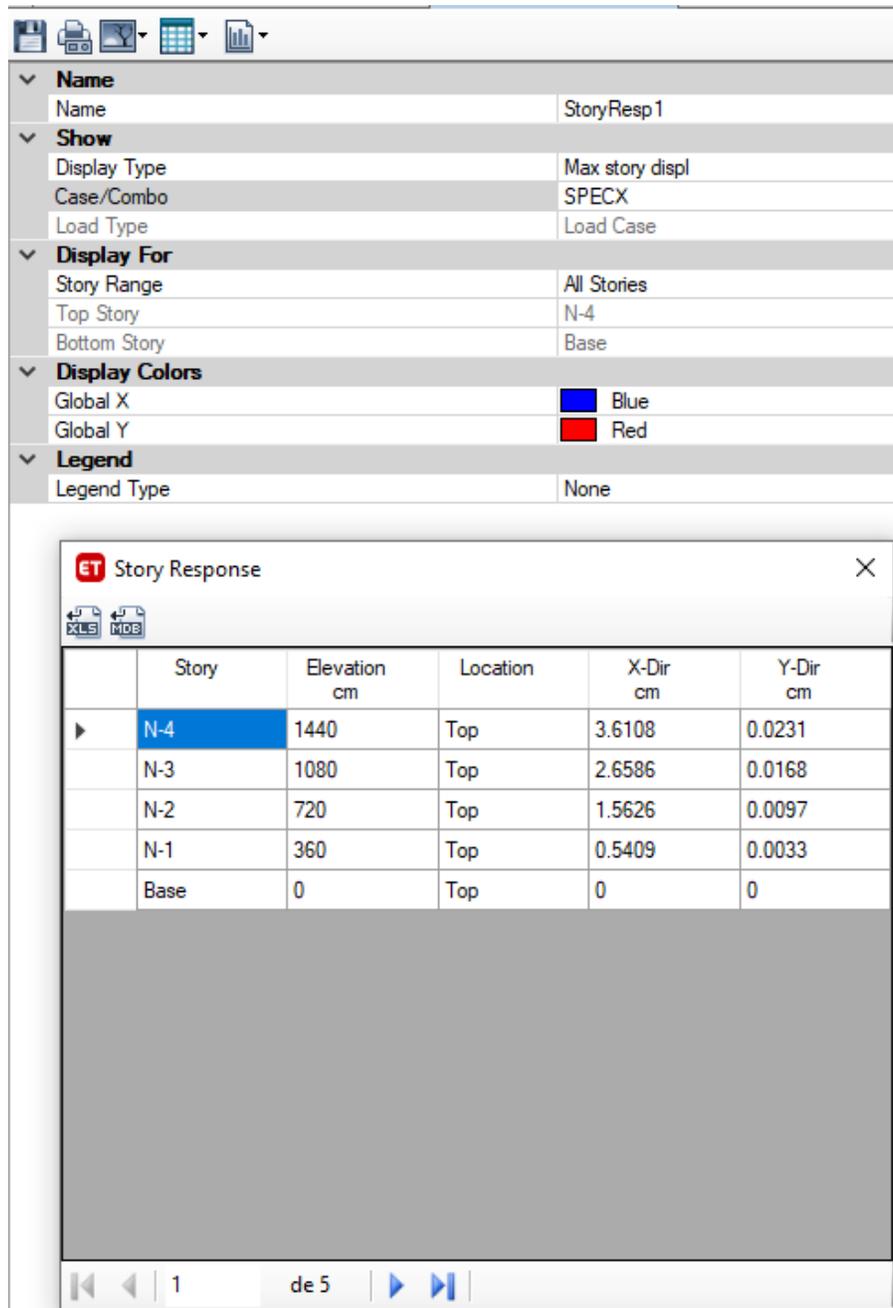


Figura 247 Desplazamientos horizontales SPECX

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- Dirección Y

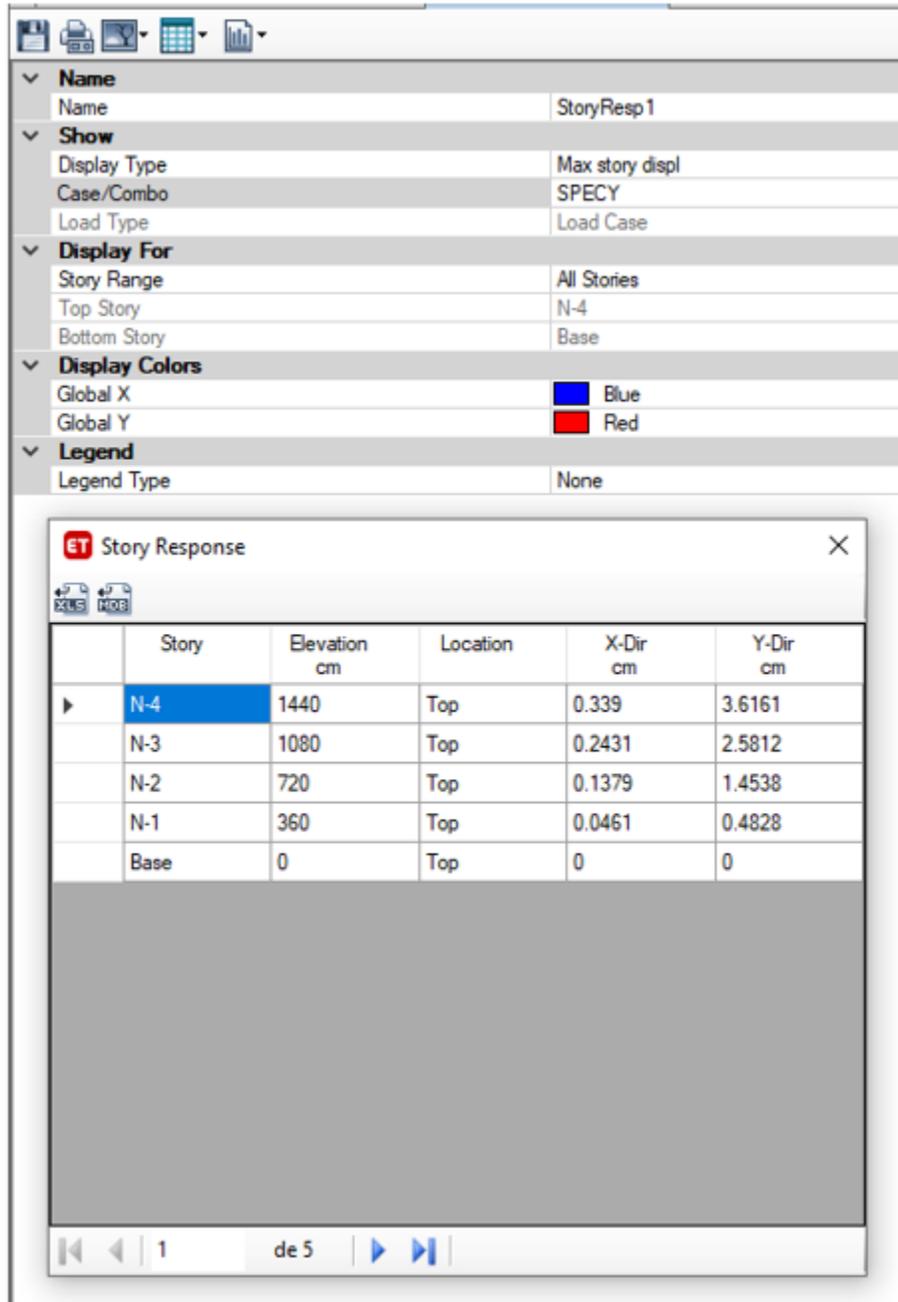


Figura 248 Desplazamientos horizontales SPECY

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Parámetros para determinar los desplazamientos laterales

$$T=0.62 \text{ seg.}$$

$$Q= 2$$

$$R= 2$$

$$\rho= 1.25$$

$$Q' = 1.68$$

$$F_{ser} = 5.5$$

Nota: Factores definidos al obtener el espectro inelástico, el valor del periodo ($T=0.62$ seg) es el valor obtenido de la estructura, que nos sirve para obtener Q' , el factor F_{ser} lo tomamos del manual de diseño de obra civiles (MDOC DS 2008(CFE)), así como también los factores Q , R y ρ .

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 45

Revisión de Desplazamientos Laterales Estado Límite de Colapso

Entrepiso	h_n (cm)	Δ_x (cm)	Δ_y (cm)	QR ρ	Δ_x/h_n	Δ_y/h_n	Δ_x/h_n (QR ρ)	Δ_y/h_n (QR ρ)	Distorsión Permisible	Rev. X	Rev. Y
3	360	2.65	2.58	5.000	0.003	0.003	0.015	0.015	0.015	✓	✓
2	360	1.56	1.45	5.000	0.003	0.003	0.014	0.013	0.015	✓	✓
1	360	0.54	0.48	5.000	0.002	0.001	0.008	0.006	0.015	✓	✓

Tabla 46

Revisión de Desplazamientos Laterales Estado Límite de Servicio

Entrepiso	h_n (cm)	Δ_x (cm)	Δ_y (cm)	QR ρ /Fser,	Δ_x/h_n	Δ_y/h_n	(Δ_x/h_n)	(Δ_y/h_n)	Distorsión Permisible	Rev. X	Rev. Y
							(QR ρ / Fser,)	(QR ρ / Fser,)			
4	360	3.61	3.61	0.764	0.003	0.003	0.002	0.002	0.004	✓	✓
3	360	2.65	2.58	0.764	0.003	0.003	0.002	0.002	0.004	✓	✓
2	360	1.56	1.45	0.764	0.003	0.003	0.002	0.002	0.004	✓	✓
1	360	0.54	0.48	0.764	0.002	0.001	0.001	0.001	0.004	✓	✓

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Por lo tanto, los desplazamientos verticales y horizontales no exceden el desplazamiento permisible y los desplazamientos cumplen.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Capítulo 5 ANÁLISIS POR DESEMPEÑO DE UN EDIFICIO DE CONCRETO

5.1 Objetivos de desempeño

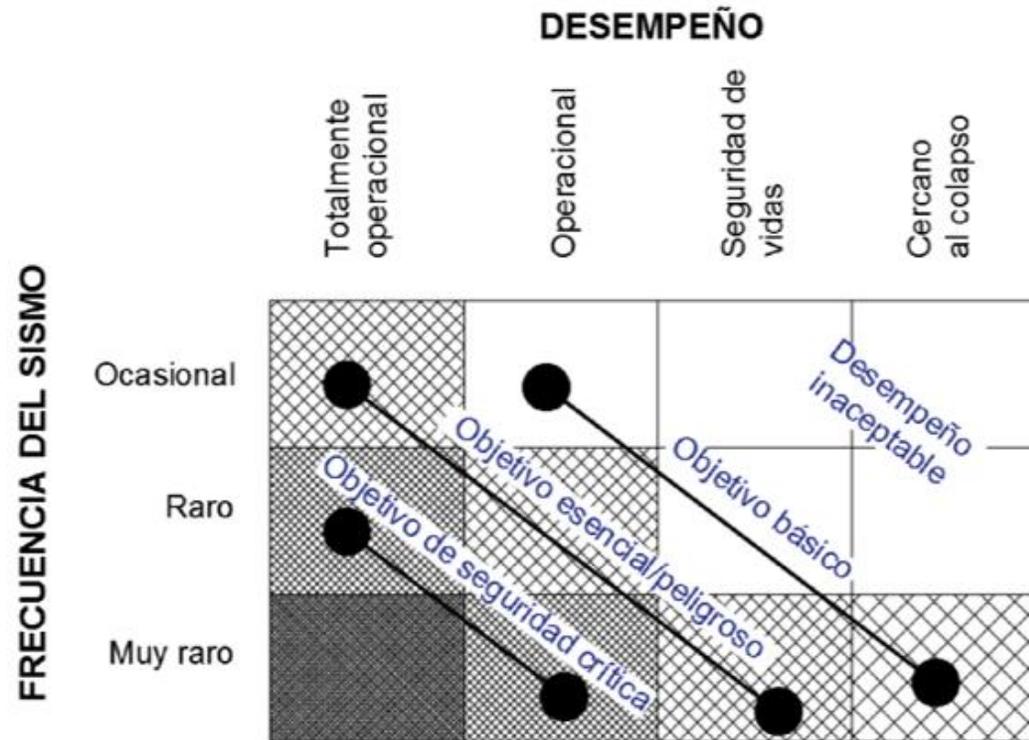


Figura 249 objetivos de desempeño (SEIOC 2000)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño de la estructura			
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Próximo al Colapso
Frecuente (43 años)	1	0	0	0
Ocasional (72 años)	2	1	0	0
Raro (475 años)	3	2	1	0
Muy raro (970 años)	-	3	2	1
0. Desempeño inaceptable				
1. Estructuras básicas				
2. Estructuras esenciales / riesgosas				
3. Estructuras de seguridad crítica				

Figura 250 Objetivos de desempeño recomendado para estructuras

(SEAOC 2000 VISION ,1995)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño mínimo
Frecuente	Totalmente operacional
Ocasional	Operacional
Raro	Seguridad
Muy raro	Próximo al Colapso

Figura 251 Objetivos de desempeño para estructuras básicas

Movimiento Sísmico de diseño	Nivel de desempeño del edificio			
	Operacional	Ocupación Inmediata	Seguridad	Estabilidad Estructural
Sismo de Servicio, SE				
Sismo de Diseño, DE			✓	
Sismo Máximo, ME				✓

Figura 252 Objetivos de seguridad básica para estructuras convencionales

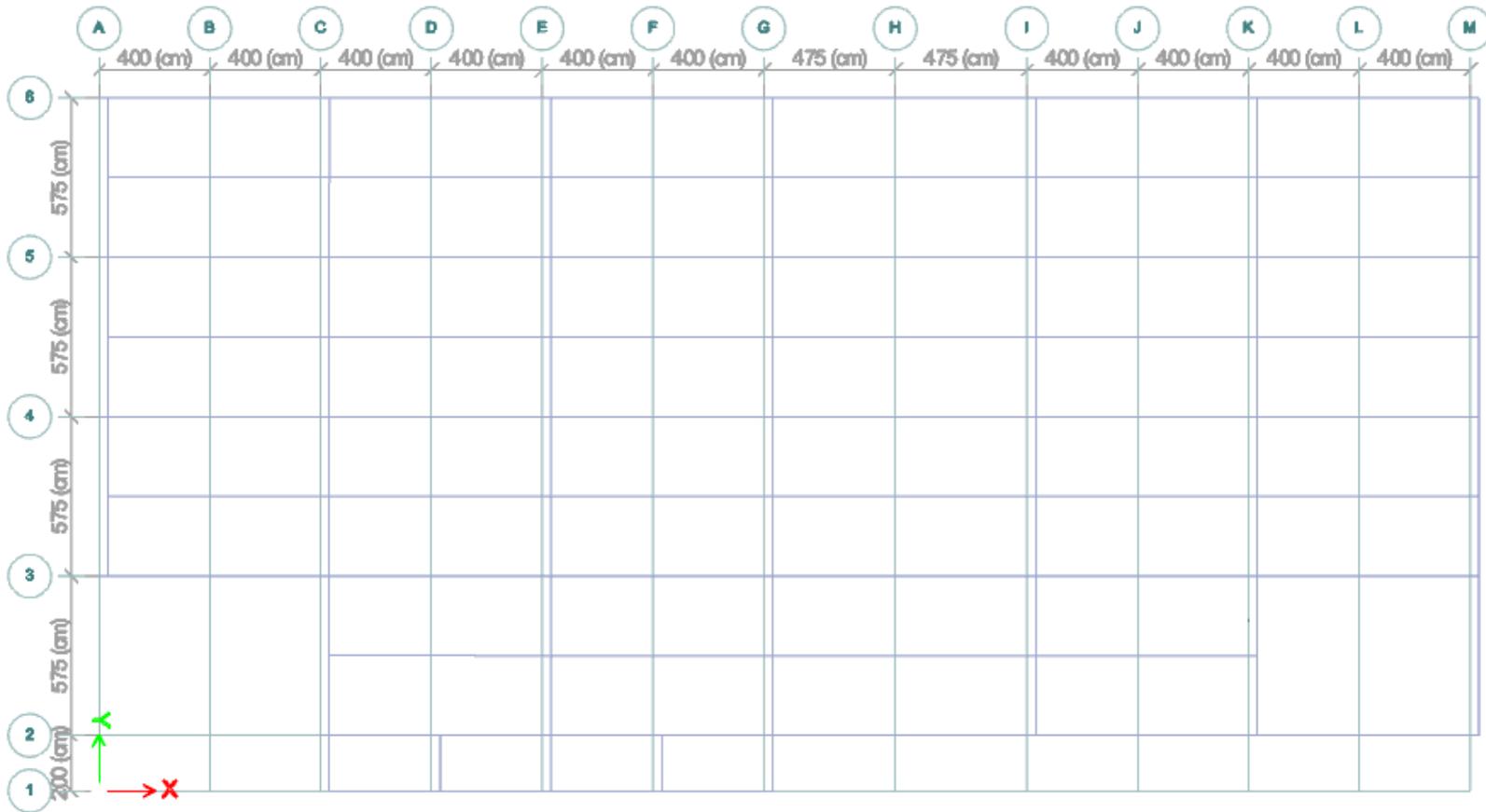
(ATC-40,1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.2 Geometría

5.3 Modos y periodo de vibrar

Plan View - N-1 - Z = 360 (cm) Mode Shape (Modal) - Mode 1 - Period 0.616454427118957



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.4 Secciones con acero de refuerzo teórico

Tabla 47

Área de Acero de Refuerzo Teórico Obtenida del Análisis Dinámico

Nivel	Viga	Dirección	Ubicación	Designación	As_Top_Izq cm2	As_Top_Der cm2	As_Bot_Izq cm2	As_Bot_Der cm2
1	V40X65	X	LATERALES	V40X65-N1-L-X	12.48	12.57	6.24	6.24
1	V40X50	X	LATERALES	V40X50-N1-L-X	9.79	9.21	8.4	8.03
1	V40X65	X	CENTRALES	V40X65-N1-C-X	15.37	15.36	7.47	7.47
1	V40X65	Y	LATERALES	V40X65-N1-L-Y	11.35	10.99	6.89	7.13
1	V40X65	Y	CENTRALES	V40X65-N1-C-Y	13	12.76	6.37	6.26
2	V40X65	X	LATERALES	V40X65-N2-L-X	15.42	15.55	7.52	7.58
2	V40X50	X	LATERALES	V40X50-N2-L-X	13.06	12.25	11.44	11.16
2	V40X65	X	CENTRALES	V40X65-N2-C-X	18.45	18.43	8.95	8.94
2	V40X65	Y	LATERALES	V40X65-N2-L-Y	16.42	15.7	11.26	11.76
2	V40X65	Y	CENTRALES	V40X65-N2-C-Y	17.91	17.51	8.71	8.95
3	V40X65	X	LATERALES	V40X65-N3-L-X	15.1	15.22	7.42	7.47
3	V40X50	X	LATERALES	V40X50-N3-L-X	12.7	11.67	10.96	10.72
3	V40X65	X	CENTRALES	V40X65-N3-C-X	18.12	18.09	8.86	8.84
3	V40X65	Y	LATERALES	V40X65-N3-L-Y	17.72	16.73	11.93	12.67
3	V40X65	Y	CENTRALES	V40X65-N3-C-Y	19.35	18.75	9.41	9.69
4	V40X65	X	LATERALES	V40X65-N4-L-X	13.7	14.05	6.87	7.03
4	V40X50	X	LATERALES	V40X50-N4-L-X	10.67	9.77	8.9	8.61
4	V40X65	X	CENTRALES	V40X65-N4-C-X	17.3	17.26	8.64	8.62
4	V40X65	Y	LATERALES	V40X65-N4-L-Y	16.12	15.57	10	10.55
4	V40X65	Y	CENTRALES	V40X65-N4-C-Y	18.19	17.54	9.03	8.73

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.5 Área de refuerzo real

Tabla 48

Área de Acero Real y Numero de Varillas en cada Tipo de Vigas

Área real				Números de varilla			
As_Top_Izq	As_Top_Der	As_Bot_Izq	As_Bot_Der	As_Top_Izq	As_Top_Der	As_Bot_Izq	As_Bot_Der
cm2	cm2	cm2	cm2	No. de varillas	No. de varillas	No. de varillas	No. de varillas
13.94	13.94	8.24	8.24	2Ø1/2 + 4Ø3/4	2Ø1/2 + 4Ø3/4	2Ø3/4 + 2Ø1/2	2Ø3/4 + 2Ø1/2
11.09	11.09	8.24	8.24	2Ø1/2 + 3Ø3/4	2Ø1/2 + 3Ø3/4	2Ø3/4 + 2Ø1/2	2Ø3/4 + 2Ø1/2
16.08	16.08	8.24	8.24	3Ø5/8 + 2Ø1/1	3Ø5/8 + 2Ø1/1	2Ø3/4 + 2Ø1/2	2Ø3/4 + 2Ø1/2
12.36	12.36	8.24	8.24	3Ø1/2 + 3Ø3/4	3Ø1/2 + 3Ø3/4	2Ø3/4 + 2Ø1/2	2Ø3/4 + 2Ø1/2
13.94	13.94	8.24	8.24	2Ø1/2 + 4Ø3/4	2Ø1/2 + 4Ø3/4	2Ø3/4 + 2Ø1/2	2Ø3/4 + 2Ø1/2
16.08	16.08	8.24	8.24	3Ø5/8 + 2Ø1/1	3Ø5/8 + 2Ø1/1	2Ø3/4 + 2Ø1/2	2Ø3/4 + 2Ø1/2
13.94	13.94	12.51	12.51	2Ø1/2 + 4Ø3/4	2Ø1/2 + 4Ø3/4	2Ø5/8 + 3Ø3/4	2Ø5/8 + 3Ø3/4
18.69	18.69	9.51	9.51	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø1/2 + 2Ø3/4	3Ø1/2 + 2Ø3/4
18.69	18.69	12.51	12.51	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø3/4 + 2Ø1/1	2Ø5/8 + 3Ø3/4	2Ø5/8 + 3Ø3/4
18.69	18.69	11.09	11.09	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø3/4 + 2Ø1/1	2Ø1/2 + 3Ø3/4	2Ø1/2 + 3Ø3/4
15.84	15.84	8.24	8.24	2Ø3/4 + 2Ø1/1	2Ø3/4 + 2Ø1/1	2Ø1/2 + 2Ø3/4	2Ø1/2 + 2Ø3/4
13.94	13.94	11.09	11.09	2Ø1/2 + 4Ø3/4	2Ø1/2 + 4Ø3/4	2Ø1/2 + 3Ø3/4	2Ø1/2 + 3Ø3/4
18.69	18.69	9.51	9.51	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø1/2 + 2Ø3/4	3Ø1/2 + 2Ø3/4
18.69	18.69	12.51	12.51	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø3/4 + 2Ø1/1	2Ø5/8 + 3Ø3/4	2Ø5/8 + 3Ø3/4
20.91	20.91	11.09	11.09	2Ø3/4 + 3Ø1/1	2Ø3/4 + 3Ø1/1	2Ø1/2 + 3Ø3/4	2Ø1/2 + 3Ø3/4
15.84	15.84	8.24	8.24	2Ø3/4 + 2Ø1/1	2Ø3/4 + 2Ø1/1	2Ø1/2 + 2Ø3/4	2Ø1/2 + 2Ø3/4
11.09	11.09	9.51	9.51	2Ø1/2 + 3Ø3/4	2Ø1/2 + 3Ø3/4	3Ø1/2 + 2Ø3/4	3Ø1/2 + 2Ø3/4
18.69	18.69	9.51	9.51	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø1/2 + 2Ø3/4	3Ø1/2 + 2Ø3/4
18.69	18.69	11.09	11.09	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø3/4 + 2Ø1/1	2Ø1/2 + 3Ø3/4	2Ø1/2 + 3Ø3/4
18.69	18.69	9.51	9.51	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø3/4 + 2Ø1/1	3Ø1/2 + 2Ø3/4	3Ø1/2 + 2Ø3/4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

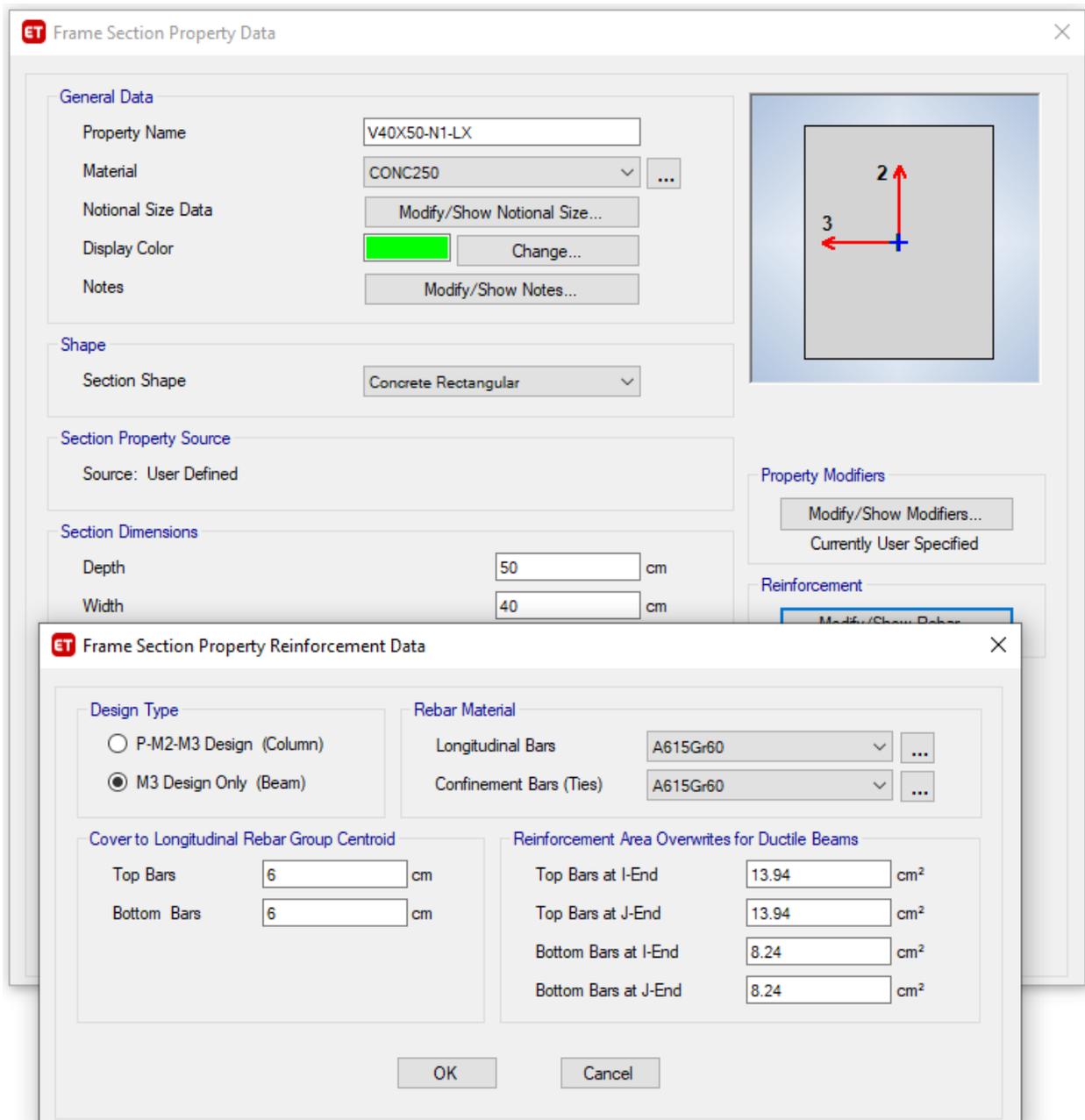


Figura 253 Asignación de área de refuerzo real en vigas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

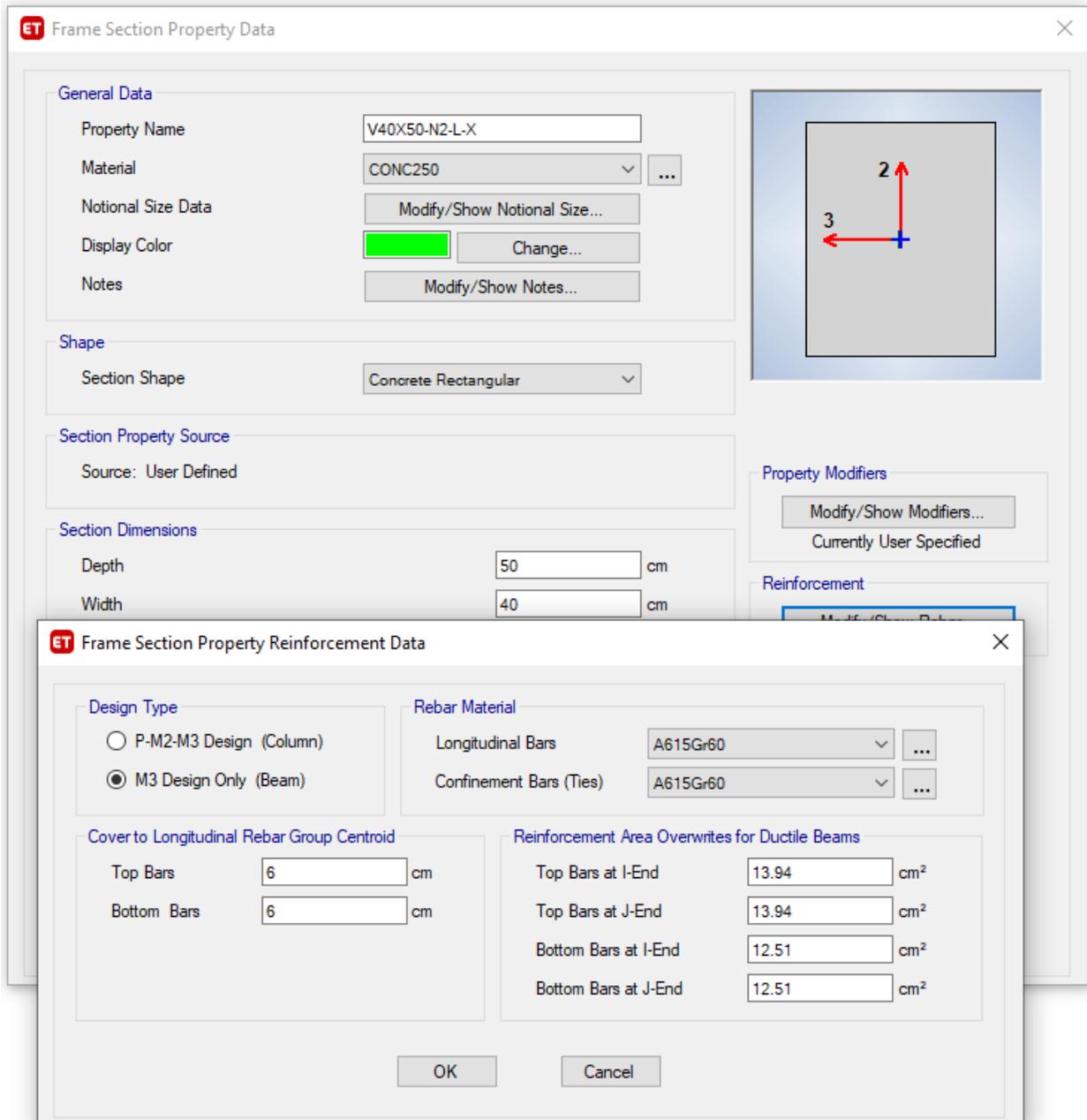


Figura 254 Asignación de área de refuerzo real en vigas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

The image displays two overlapping dialog boxes from the ETABS software interface. The background dialog is 'Frame Section Property Data', and the foreground dialog is 'Frame Section Property Reinforcement Data'.

Frame Section Property Data Dialog:

- General Data:** Property Name: V40X50-N3-L-X; Material: CONC250; Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...; Display Color: Cyan; Notes: Modify/Show Notes...
- Shape:** Section Shape: Concrete Rectangular
- Section Property Source:** Source: User Defined
- Section Dimensions:** Depth: 50 cm; Width: 40 cm
- Property Modifiers:** Modify/Show Modifiers...; Currently User Specified
- Reinforcement:** Modify/Show Rebar...

Frame Section Property Reinforcement Data Dialog:

- Design Type:** P-M2-M3 Design (Column); M3 Design Only (Beam)
- Rebar Material:** Longitudinal Bars: A615Gr60; Confinement Bars (Ties): A615Gr60
- Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid:** Top Bars: 6 cm; Bottom Bars: 6 cm
- Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams:** Top Bars at I-End: 13.94 cm²; Top Bars at J-End: 13.94 cm²; Bottom Bars at I-End: 11.09 cm²; Bottom Bars at J-End: 11.09 cm²

Buttons: OK, Cancel

Figura 255 Asignación de área de refuerzo real en vigas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

The image shows two overlapping dialog boxes from the ETABS software. The top dialog is 'Frame Section Property Data' and the bottom one is 'Frame Section Property Reinforcement Data'.

Frame Section Property Data

- General Data**
 - Property Name: V40X50-N4-L-X
 - Material: CONC250
 - Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...
 - Display Color: [Red Box] Change...
 - Notes: Modify/Show Notes...
- Shape**
 - Section Shape: Concrete Rectangular
- Section Property Source**
 - Source: User Defined
- Section Dimensions**
 - Depth: 50 cm
 - Width: 40 cm
- Property Modifiers**
 - Modify/Show Modifiers... Currently User Specified
- Reinforcement**
 - Modify/Show Rebar...

Frame Section Property Reinforcement Data

- Design Type**
 - P-M2-M3 Design (Column)
 - M3 Design Only (Beam)
- Rebar Material**
 - Longitudinal Bars: A615Gr60
 - Confinement Bars (Ties): A615Gr60
- Cover to Longitudinal Rebar Group Centroid**
 - Top Bars: 6 cm
 - Bottom Bars: 6 cm
- Reinforcement Area Overwrites for Ductile Beams**
 - Top Bars at I-End: 11.09 cm²
 - Top Bars at J-End: 11.09 cm²
 - Bottom Bars at I-End: 9.51 cm²
 - Bottom Bars at J-End: 9.51 cm²

Buttons: OK, Cancel

Figura 256 Asignación de área de refuerzo real en vigas

5.6 Carga gravitacional no lineal (CGNL-X)

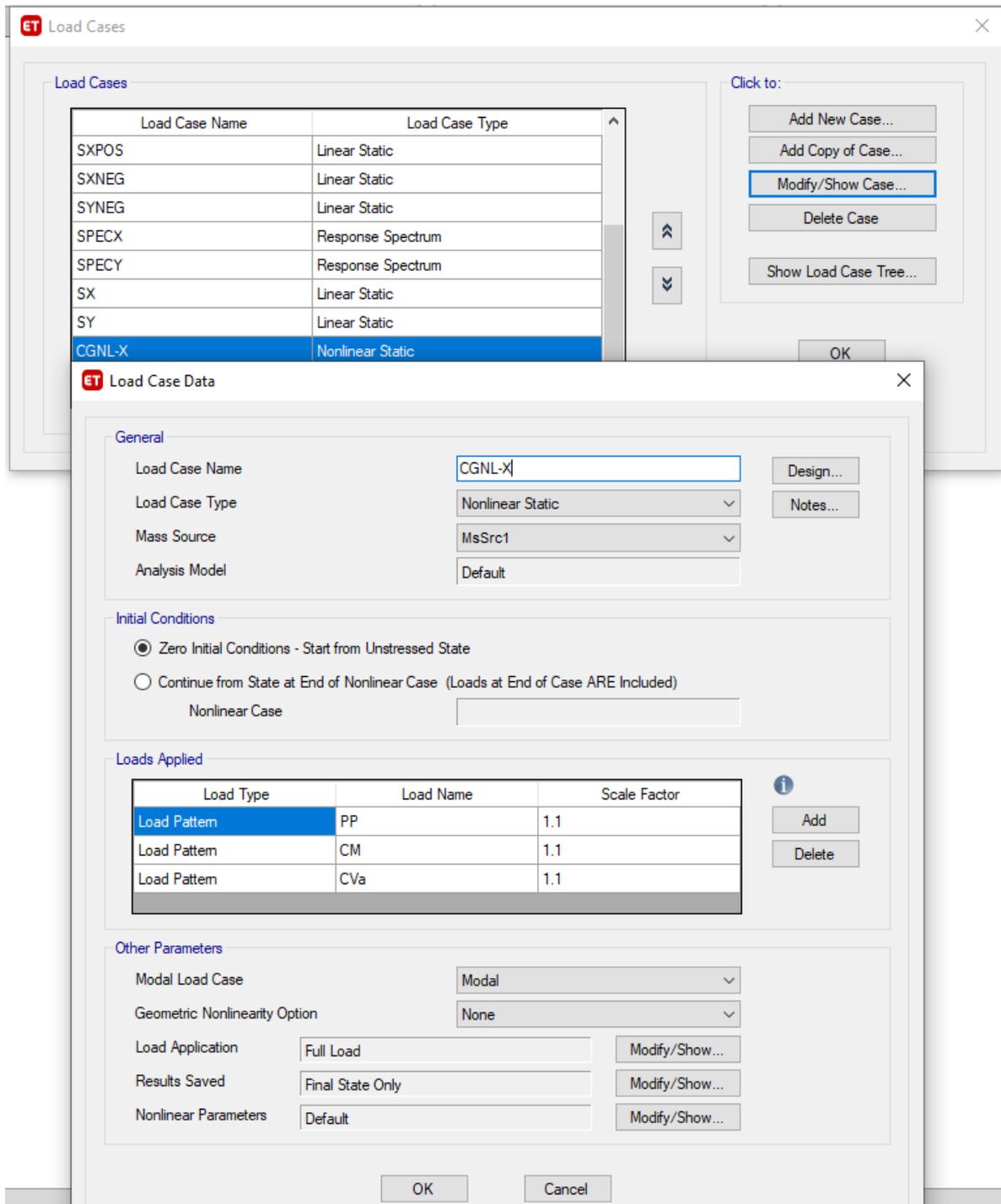


Figura 257 carga gravitacional (CGNL-X)

5.7 Carga gravitacional no lineal (CGNL-Y)

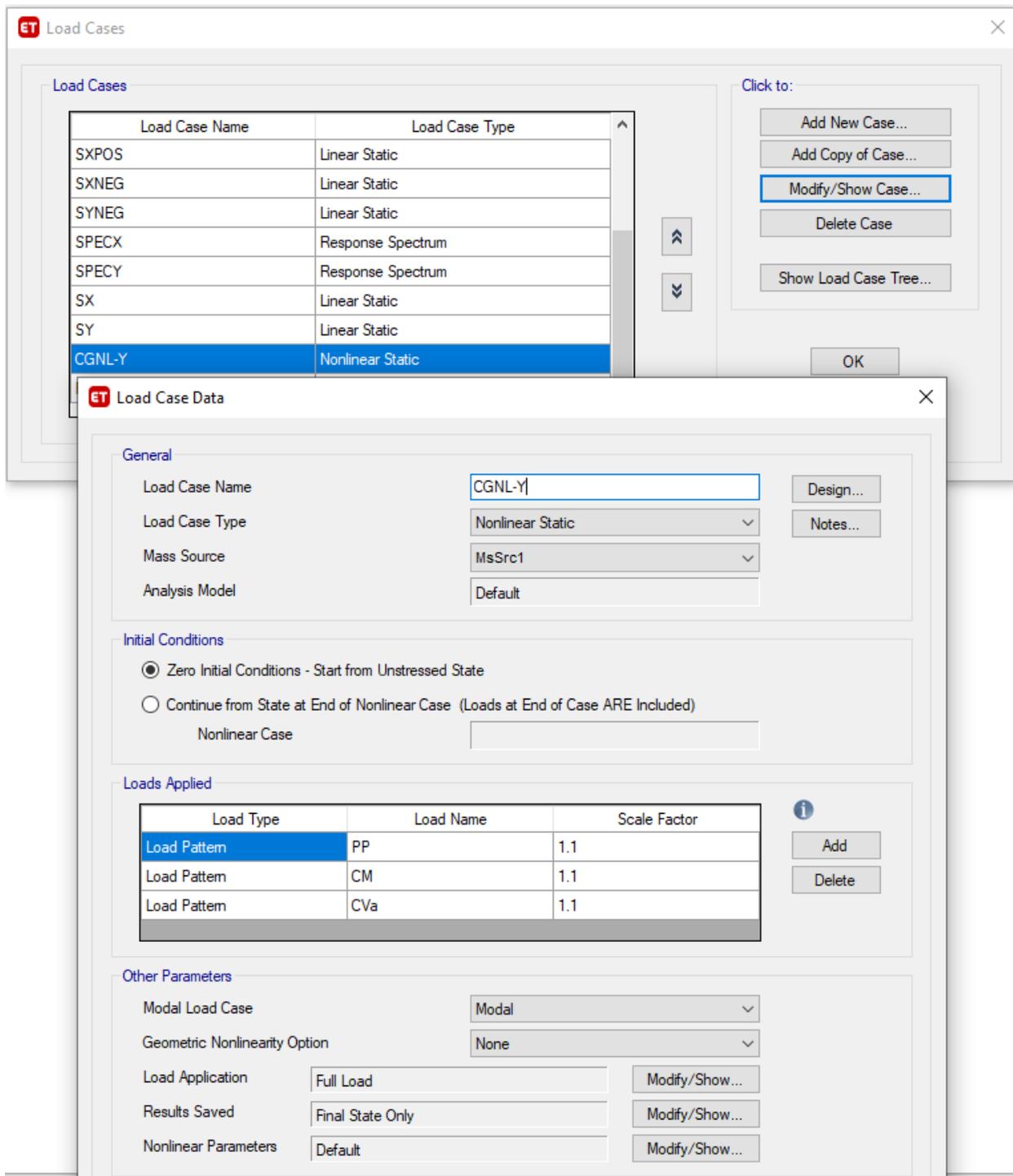


Figura 258 Carga gravitacional no lineal (CGNL-Y)

5.8 Patrón de carga lateral no lineal PUSH-X (modo 1)

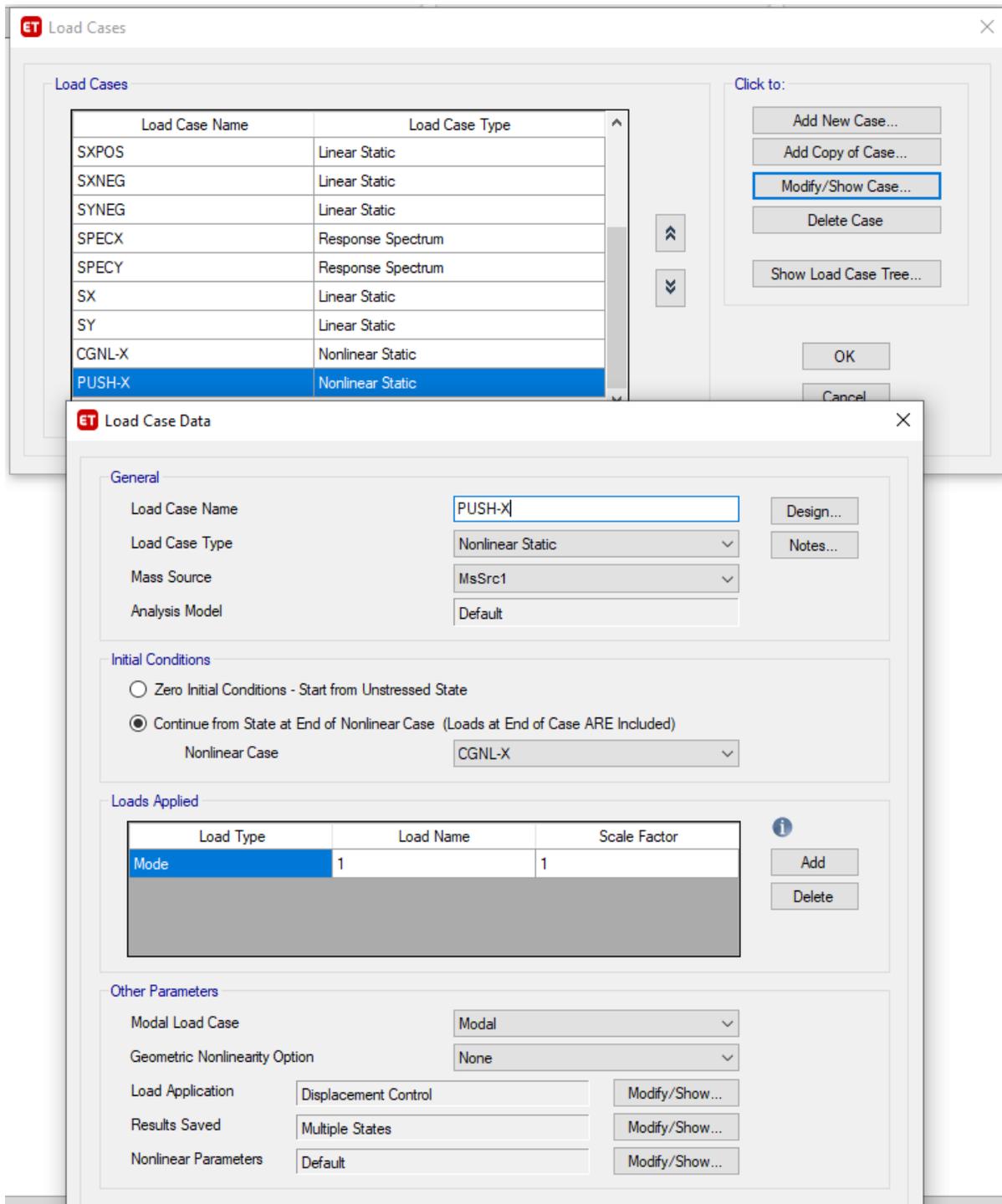


Figura 259 Patrón de carga no lineal en dirección X (PUSH-X)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.9 Patrón de carga lateral no lineal PUSH-Y (modo 2)

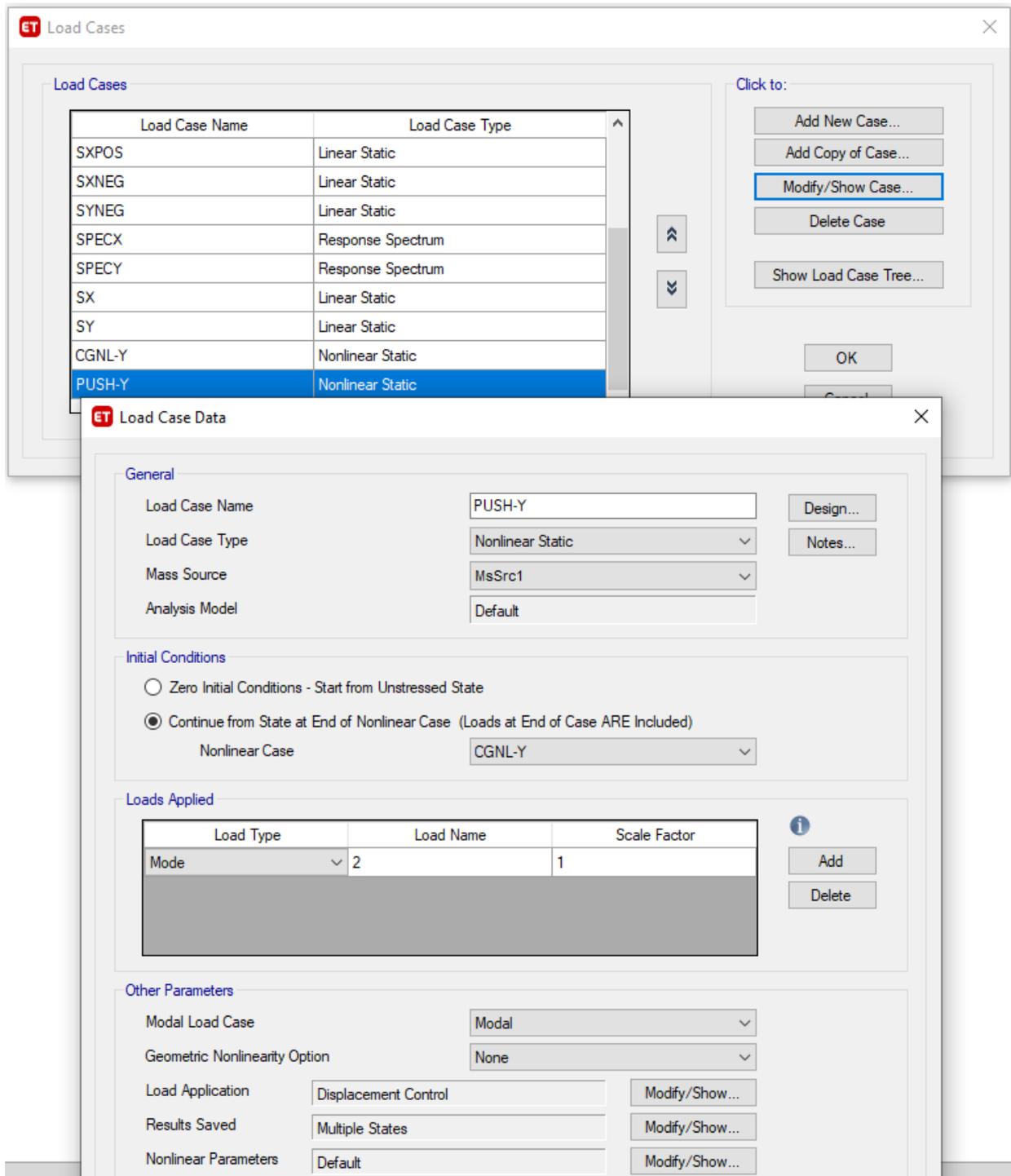


Figura 260 Patrón de carga no lineal en dirección Y (PUSH-Y)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.10 Configuración de otros parámetros

ET Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

Full Load

Displacement Control

Quasi-Static (run as time history)

Control Displacement

Use Conjugate Displacement

Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of cm

Monitored Displacement

DOF/Joint

Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

Quasi-static Parameters

Time History Type

Output Time Step Size sec

Mass Proportional Damping 1/sec

Hilber-Hughes-Taylor Time Integration Parameter, Alpha

Figura 261 Configuración de otros parámetros

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

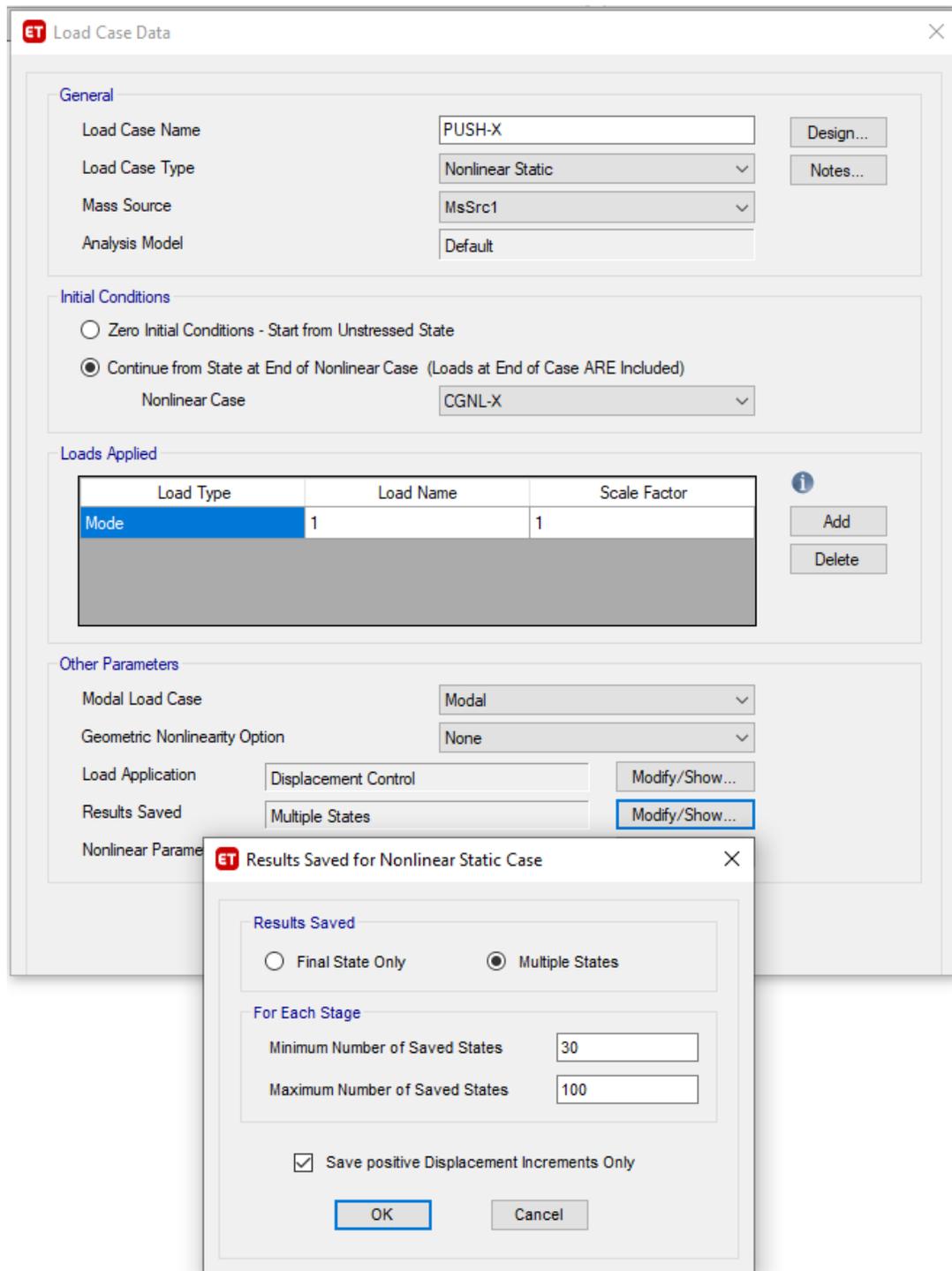


Figura 262 Configuración de otros parámetros (complemento)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

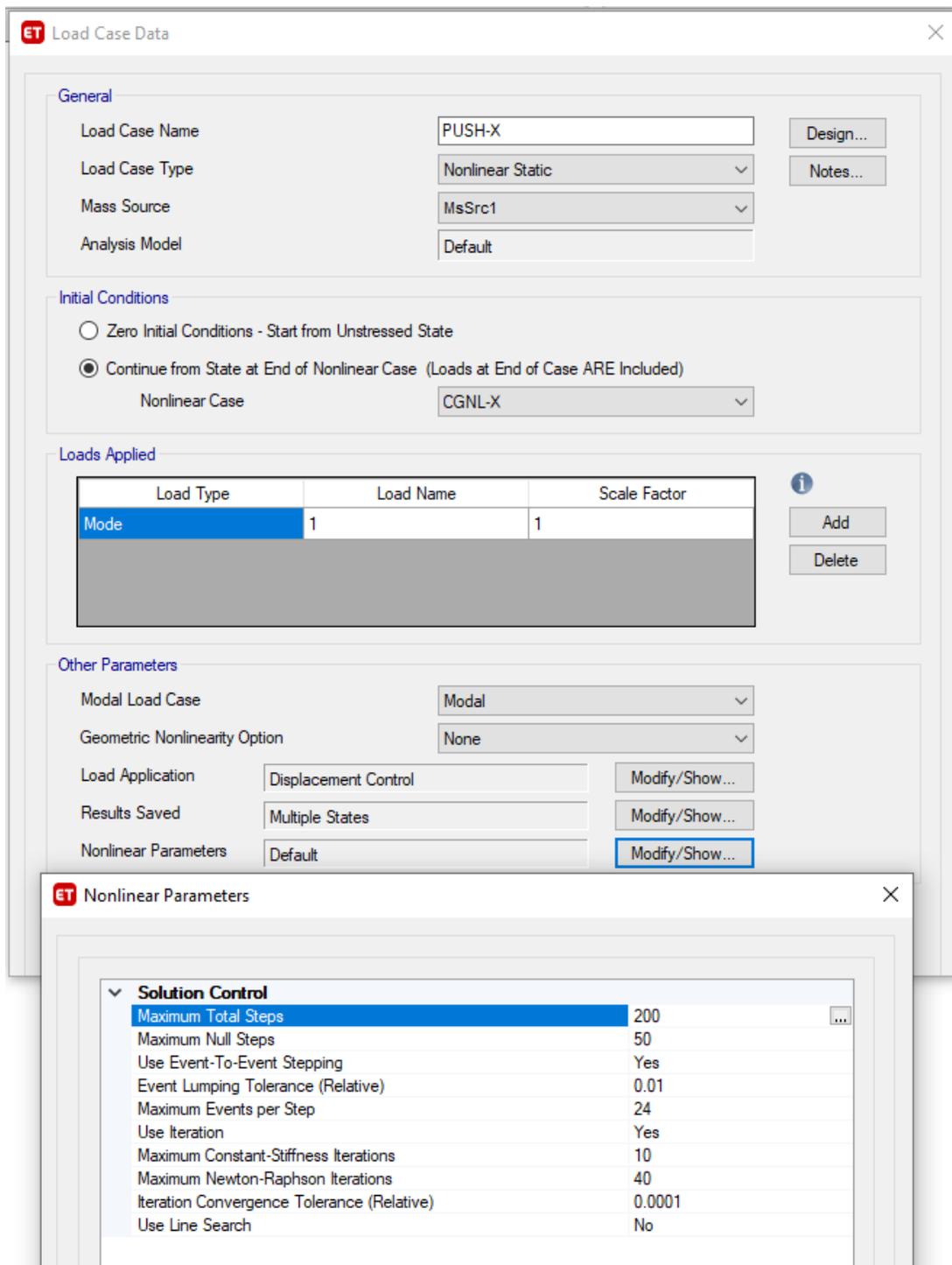


Figura 263 Configuración de otros parámetros (complemento)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.11 Espectro elástico

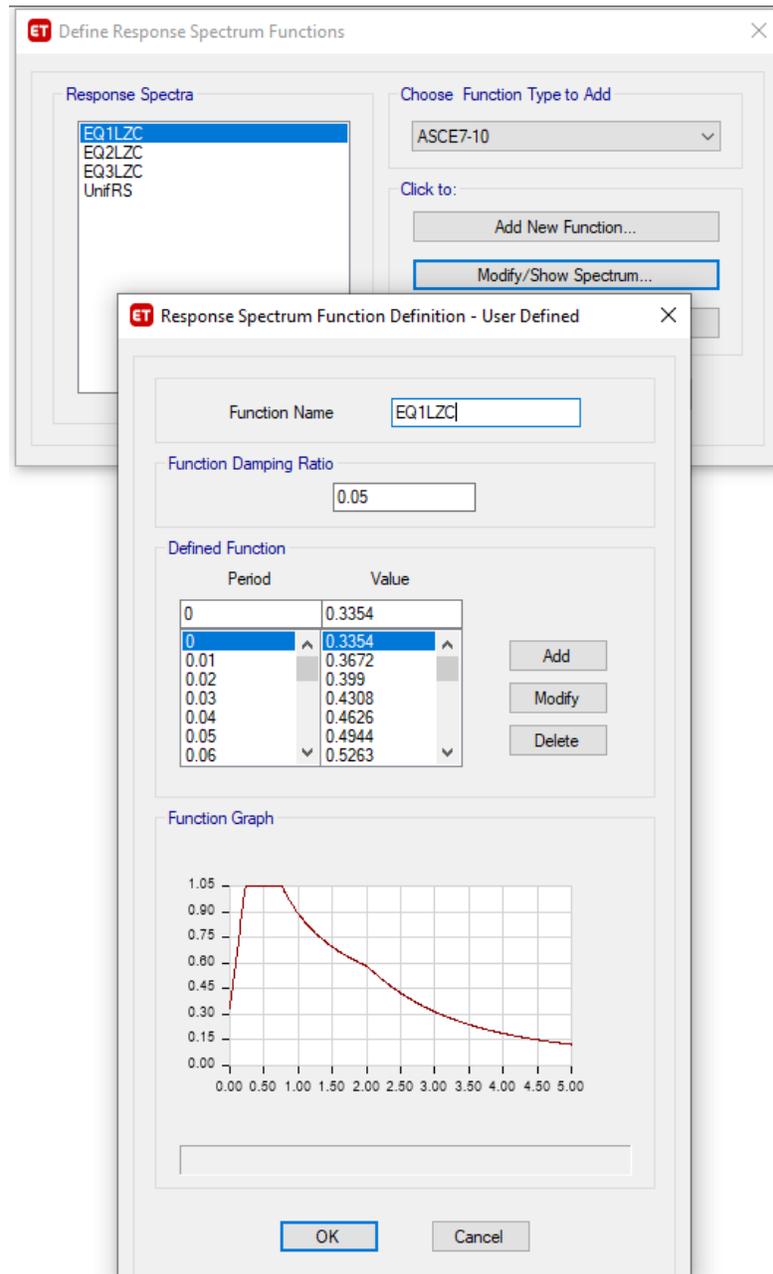


Figura 264 Espectro elástico

5.12 Casos de carga no lineal

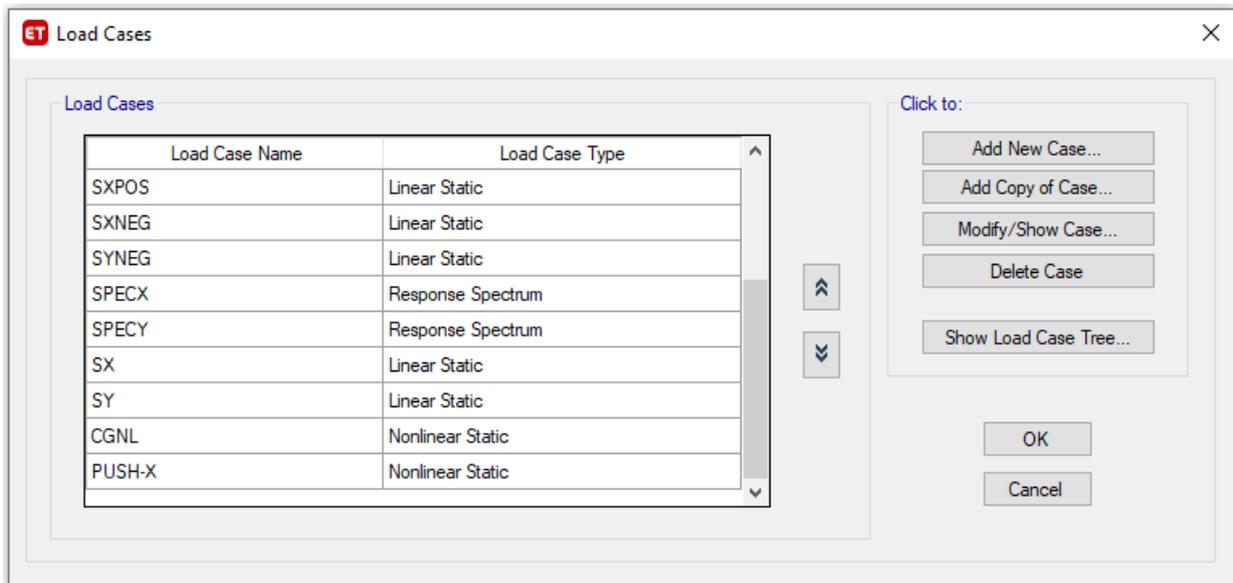


Figura 265 Casos de carga no lineal (CGNL y PUSH-X)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.13 Revisión de la condición de falla por flexión (i) o corte (ii) de la viga

Revisión de la Condición de falla por flexión (i) o por corte (ii) de la Viga, Marco eje 2 Nivel 1													
Story	Label	Name	Section	Location	V	V Combo	At	diam. Est.	Aest	# Ramas	Separacion	At exist	Revision
					kgf		cm ³ /cm	cm	cm ²		cm	cm ² /cm	
N-1	B49	360	V40X50-N1-LX	End-I	17825.7	Comb9	0.1254	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B49	360	V40X50-N1-LX	End-J	18188.23	Comb9	0.1287	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B50	364	V40X50-N1-LX	End-I	18184.68	Comb9	0.1286	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B50	364	V40X50-N1-LX	End-J	17838.52	Comb9	0.1257	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B75	464	V40X65-N1-L-X	End-I	14774.53	Comb9	0.0667	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B75	464	V40X65-N1-L-X	End-J	14775.89	Comb9	0.0667	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B94	556	V40X50-N1-LX	End-I	17956.41	Comb9	0.1265	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B94	556	V40X50-N1-LX	End-J	18344.14	Comb9	0.1301	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B95	557	V40X50-N1-LX	End-I	18303.48	Comb9	0.1297	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B95	557	V40X50-N1-LX	End-J	17911.2	Comb9	0.1263	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B96	564	V40X50-N1-LX	End-I	17064.01	Comb9	0.1184	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B96	564	V40X50-N1-LX	End-J	17480.41	Comb9	0.1219	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B97	565	V40X50-N1-LX	End-I	17597.76	Comb9	0.1229	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi
N-1	B97	565	V40X50-N1-LX	End-J	17211.72	Comb9	0.1198	0.9525	0.71	4	10	0.285	Condi

Figura 266 Revisión condición de falla por flexión(i) y corte (ii)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.14 Revisión de la consideración de confinamiento "C" y "NC"

Revisión de la Consideración de confinamiento "C" y "NC" Condicion de falla por flexion (i) o por corte (ii) de la Viga																	
Story	Beam	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Station	V2	At exist	d	Fy	Φ	Vs	Vs/V	Revision 1	S	d/3	Revision 2
						cm	kgf	cm2/cm	cm	kgf		kgf			cm	cm	
N-1	B49	360	ENVOLVENTE	Combination	Max	45	38189.9	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.39	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B49	360	ENVOLVENTE	Combination	Max	355	54291.1	0.285	59	4200	0.75	52971.5	0.98	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B49	360	ENVOLVENTE	Combination	Min	45	-3119.3	0.285	59	4200	0.75	52971.5	16.98	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B49	360	ENVOLVENTE	Combination	Min	355	3660.7	0.285	59	4200	0.75	52971.5	14.47	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B50	364	ENVOLVENTE	Combination	Max	45	45691.3	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.16	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B50	364	ENVOLVENTE	Combination	Max	355	45919.5	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.15	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B50	364	ENVOLVENTE	Combination	Min	45	-3548.6	0.285	59	4200	0.75	52971.5	14.93	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B50	364	ENVOLVENTE	Combination	Min	355	3240.7	0.285	59	4200	0.75	52971.5	16.35	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B75	464	ENVOLVENTE	Combination	Max	45	7839.0	0.285	59	4200	0.75	52971.5	6.76	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B75	464	ENVOLVENTE	Combination	Max	905	23499.2	0.285	59	4200	0.75	52971.5	2.25	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B75	464	ENVOLVENTE	Combination	Min	45	-7684.4	0.285	59	4200	0.75	52971.5	6.89	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B75	464	ENVOLVENTE	Combination	Min	905	7714.9	0.285	59	4200	0.75	52971.5	6.87	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B94	556	ENVOLVENTE	Combination	Max	45	36422.0	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.45	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B94	556	ENVOLVENTE	Combination	Max	355	55357.3	0.285	59	4200	0.75	52971.5	0.96	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B94	556	ENVOLVENTE	Combination	Min	45	-3283.1	0.285	59	4200	0.75	52971.5	16.13	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B94	556	ENVOLVENTE	Combination	Min	355	3783.5	0.285	59	4200	0.75	52971.5	14.00	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B95	557	ENVOLVENTE	Combination	Max	45	44774.8	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.18	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B95	557	ENVOLVENTE	Combination	Max	355	46759.7	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.13	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B95	557	ENVOLVENTE	Combination	Min	45	-3706.6	0.285	59	4200	0.75	52971.5	14.29	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B95	557	ENVOLVENTE	Combination	Min	355	3274.1	0.285	59	4200	0.75	52971.5	16.18	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B96	564	ENVOLVENTE	Combination	Max	45	33708.1	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.57	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B96	564	ENVOLVENTE	Combination	Max	355	48092.3	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.10	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B96	564	ENVOLVENTE	Combination	Min	45	-2143.6	0.285	59	4200	0.75	52971.5	24.71	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B96	564	ENVOLVENTE	Combination	Min	355	2696.2	0.285	59	4200	0.75	52971.5	19.65	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B97	565	ENVOLVENTE	Combination	Max	45	42429.6	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.25	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B97	565	ENVOLVENTE	Combination	Max	355	39268.6	0.285	59	4200	0.75	52971.5	1.35	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B97	565	ENVOLVENTE	Combination	Min	45	-2695.4	0.285	59	4200	0.75	52971.5	19.65	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B97	565	ENVOLVENTE	Combination	Min	355	2323.5	0.285	59	4200	0.75	52971.5	22.80	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B30	384	ENVOLVENTE	Combination	Max	45	7235.5	0.285	59	4200	0.75	52971.5	7.32	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B30	384	ENVOLVENTE	Combination	Max	755	12108.9	0.285	59	4200	0.75	52971.5	4.37	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B30	384	ENVOLVENTE	Combination	Min	45	-2419.8	0.285	59	4200	0.75	52971.5	21.89	Consid. C	10	19.7	Consid. C
N-1	B30	384	ENVOLVENTE	Combination	Min	755	2453.6	0.285	59	4200	0.75	52971.5	21.59	Consid. C	10	19.7	Consid. C

Figura 267 Revisión de la consideración de confinamiento "C" y "NC"

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.15 Revisión de la condición de falla de la columna eje 3A

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								N_u
2	Nivel	Columna	Nombre unico	Caso de carga	Case Type	Step Type	Station	P
3							cm	lb
4	N-4	C4	13	PUSH-X	NonStatic	Min	0	-48181.8
5	N-3	C4	14	PUSH-X	NonStatic	Min	0	-96055.5
6	N-2	C4	15	PUSH-X	NonStatic	Min	0	-145773
7	N-1	C4	16	PUSH-X	NonStatic	Min	0	-196477

I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
										$\frac{A_v f_y d}{s}$
dest.	Aest	# Ramas	Av	Separacion		Fy		d		Vs
in	in2		in2	cm	in	kgf/cm2	lb/in2	cm	in	lb
0.5	0.196	4	0.785	10	3.94	4200	59738.09	83.5	32.87	391767.77
0.5	0.196	4	0.785	10	3.94	4200	59738.09	83.5	32.87	391767.77
0.5	0.196	4	0.785	10	3.94	4200	59738.09	83.5	32.87	391767.77
0.5	0.196	4	0.785	10	3.94	4200	59738.09	83.5	32.87	391767.77

Figura 268 Revisión de la condición de falla de la columna eje 3 A

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF
$= (W6/T6) * \text{RAIZ}(1 + \text{ABS}(H6) / (W6 * AB6)) * 0.8 * AB6$												
M/Vd	f'c		6*RAIZ(f'c)	bw	bw	h	h	Ag	Vc	Vo	Cap. Mom. Inf	Cap. Mom. Sup
	kgf/cm2	lb/in2		cm	in	cm	in	in2	lb	lb	lb*in	lb*in
4.000	250	3555.84	357.79	90.00	35.43	90.00	35.43	1255.50	94535.50	486303.27	17896237.15	17896237.15
4.000	250	3555.84	357.79	100.00	39.37	90.00	35.43	1395.00	109005.40	500773.17	19202137.81	19202137.81
4.000	250	3555.84	357.79	110.00	43.31	90.00	35.43	1534.50	123524.57	515292.35	23048198.18	23048198.18
4.000	250	3555.84	357.79	115.00	45.28	90.00	35.43	1604.25	132999.84	524767.61	26630030.16	26630030.16
					K=1							
					λ=1							

Figura 269 Revisión de la condición de falla de la columna eje 3 A (complemento)

AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
$= \text{SI}(AP9 \leq 0.6, \text{"Condicion i"}, \text{"Condicion ii"})$						$= \text{SI}(AN6 \geq 0.002, \text{"Aplica"}, \text{"No Aplica"})$					
$= (AE6 + AF6) / AH6$				$= \text{SI}(AJ6 \leq 0.6, \text{"Aplica"}, \text{"No Aplica"})$							
h libre piso	h libre piso	Vp	Vp/Vo	REV	Comprobacion	bw	Av/Bw*s	Comprobacion	s/d	REV	
cm	in	lb			Adicional	in		n Adicional			
295	116.14	308179.3	0.63	Condicion ii	No Aplica	35.43	0.00563	Aplica	0.120	Condicion i	
295	116.14	330667.3	0.66	Condicion ii	No Aplica	35.43	0.00563	Aplica	0.120	Condicion i	
295	116.14	396897.8	0.77	Condicion ii	No Aplica	35.43	0.00563	Aplica	0.120	Condicion i	
295	116.14	458578.1	0.87	Condicion ii	No Aplica	35.43	0.00563	Aplica	0.120	Condicion i	
$= \text{SI}(AP7 \leq 0.6, \text{"Condicion i"}, \text{"Condicion ii"})$											

Figura 270 Revisión de la condición de falla de la columna eje 3 A (complemento)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

$$V_n = kV_o = k \left[\frac{A_v f_y d}{s} + \lambda \left(\frac{6\sqrt{f'_c}}{M/Vd} \sqrt{1 + \frac{N_u}{6\sqrt{f'_c} A_g}} \right) 0.8A_g \right]$$

(lb/in.² units)

$$V_n = kV_o = k \left[\frac{A_v f_y d}{s} + \lambda \left(\frac{0.5\sqrt{f'_c}}{M/Vd} \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.5\sqrt{f'_c} A_g}} \right) 0.8A_g \right] \quad (10-3)$$

(MPa units)

in which $k = 1.0$ in regions where displacement ductility demand is less than or equal to 2, 0.7 in regions where displacement ductility is greater than or equal to 6, and varies linearly for displacement ductility between 2 and 6;

$\lambda = 0.75$ for lightweight aggregate concrete and 1.0 for normal-weight aggregate concrete;

N_u is the axial compression force (set to zero for tension force); M/Vd is the largest ratio of moment to shear times effective depth under design loadings for the column but shall not be taken greater than 4 or less than 2;

d is the effective depth. It shall be permitted to assume that $d = 0.8h$, where h is the dimension of the column in the direction of shear; and

A_g is the gross cross-sectional area of the column.

Table 10-11. Transverse Reinforcement Details: Condition to Be Used for Columns in Table 10-8

Shear Capacity Ratio	ACI 318 Conforming Seismic Details with 135-Degree Hooks	Closed Hoops with 90-Degree Hooks	Other (Including Lap-Spliced Transverse Reinforcement)
$V_p/V_o \leq 0.6$	i ^a	ii	ii
$1.0 \geq V_p/V_o > 0.6$	ii	ii	iii
$V_p/V_o > 1.0$	iii	iii	iii

^aTo qualify for condition i, a column should have $A_v/b_w s \geq 0.002$ and $s/d \leq 0.5$ within flexural plastic hinge region. Otherwise, the column is assigned to condition ii.

the column, V_p , defined as the shear demand at flexural yielding of plastic hinges, and the transverse reinforcement detailing, as shown in Table 10-11.

C10.4.2.2.2 Nonlinear Static Procedure The modeling parameters and acceptance criteria specified in Table 10-8 reflect results from research on reinforced concrete columns. Refer to Elwood et al. (2007) for a detailed description of the derivation of this table. This Section and Table 10-11 provide the criteria to determine which condition in Table 10-8 should be used to select the modeling parameters and acceptance criteria. For columns with transverse reinforcement including 135-degree

Figura 271 Formula del cortante y tabla 10-11 de ASCE/SEI 41-13 que se usa para revisar la condición de falla con la hoja de Excel

de la figura 262 a 264

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

NOTAS:

a).

$f'c$ en unidades lb/pulg.², (MPA), Los valores entre los indicado en la tabla deben determinarse por interpolación lineal

b).

Cuando se dé más de una de las condiciones i, ii, iii y iv para un determinado componente, utilícese el valor numérico mínimo apropiado de la tabla.

c).

"C" y "NC" son abreviaturas de la armadura transversal, Conforme y No Conforme, respectivamente. La armadura transversal es conforme si, dentro de la región de articulación plástica de flexión, los anillos están espaciados $a \leq d/3$, y si, para los componentes de demanda de ductilidad moderada y alta, la resistencia proporcionada por los anillos (V_s) es al menos $3/4$ del cortante de diseño. En caso contrario, la armadura V es el esfuerzo cortante de diseño de NSP o NDP,

Figura 272 Notas de la figura 265

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.16 Disposición de rótulas plásticas en vigas dirección X

Tabla 49

Disposición de Rotulas Plásticas en Vigas, Dirección X

Disposición de rótulas plásticas en vigas eje 2 entre F a J			
NIVEL 1 a 4			
Tramo	1	2	3
Long (m)	4.00	9.50	8.00
Col izq (m)	0.9	0.9	0.9
Col der (m)	0.9	0.9	0.9
L-Libre (m)	3.10	8.60	7.10
Li Rotula %	11.25%	4.74%	5.63%
Li Rotula % (Análisis)	12.00%	5.00%	6.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.12	0.05	0.06
Lj-Rotula %	11.25%	4.74%	5.63%
Lj-Rotula % (Análisis)	12.00%	5.00%	6.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.88	0.95	0.94
Disposición de rótulas plásticas en vigas eje 3 a 5 (entre A e I)			
NIVEL 1 a 4			
Tramo	1	2	3
Long (m)	8.00	8.00	8.00
Col izq (m)	0.9	0.9	0.9
Col der (m)	0.9	0.9	0.9
L-Libre (m)	7.10	7.10	7.10
Li Rotula %	5.63%	5.63%	5.63%
Li Rotula % (Análisis)	6.00%	6.00%	6.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.06	0.06	0.06
Lj-Rotula %	5.63%	5.63%	5.63%
Lj-Rotula % (Análisis)	6.00%	6.00%	6.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.94	0.94	0.94
Disposición de rótulas plásticas en vigas eje 6 (entre A e I)			
NIVEL 1			
Tramo	1	2	3
Long (m)	8.00	4.00	4.00
Col izq (m)	0.9	0.9	0.9

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Col der (m)	0.9	0.9	0.9
L-Libre (m)	7.10	3.10	3.10
Li Rotula %	5.63%	11.25%	11.25%
Li Rotula % (Análisis)	6.00%	12.00%	12.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.06	0.12	0.12
Lj-Rotula %	5.63%	11.25%	11.25%
Lj-Rotula % (Análisis)	6.00%	12.00%	12.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.94	0.88	0.88

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.17 Disposición de rótulas plásticas en vigas dirección Y

Tabla 50

Disposición de Rótulas Plásticas en Vigas, Dirección Y

Dirección Y				
Disposición de rótulas plásticas en vigas eje A				
NIVEL 1				
Tramo	1	2	3	
Long (m)	5.75	5.75	5.75	
Col izq (m)	1.15	1.15	1.15	
Col der (m)	1.15	1.15	1.15	
L-Libre (m)	4.60	4.60	4.60	
Li Rotula %	10.00%	10.00%	10.00%	
Li Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%	10.00%	
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.10	0.10	0.10	
Lj-Rotula %	10.00%	10.00%	10.00%	
Lj-Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%	10.00%	
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.90	0.90	0.90	
Disposición de rótulas plásticas en vigas eje C a M				
NIVEL 1				
Tramo	1	2	3	4
Long (m)	5.75	5.75	5.75	5.75
Col izq (m)	1.15	1.15	1.15	1.15
Col der (m)	1.15	1.15	1.15	1.15
L-Libre (m)	4.60	4.60	4.60	4.60
Li Rotula %	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Li Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.10	0.10	0.10	0.10
Lj-Rotula %	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Lj-Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.90	0.90	0.90	0.90
Disposición de rótulas plásticas en vigas eje A				
NIVEL 2				

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tramo	1	2	3
Long (m)	5.75	5.75	5.75
Col izq (m)	1.10	1.10	1.10
Col der (m)	1.10	1.10	1.10
L-Libre (m)	4.65	4.65	4.65
Li Rotula %	9.57%	9.57%	9.57%
Li Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%	10.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.10	0.10	0.10
Lj-Rotula %	9.57%	9.57%	9.57%
Lj-Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%	10.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.90	0.90	0.90

Disposición de rótulas plásticas en vigas eje C a M

NIVEL 2

Tramo	1	2	3	4
Long (m)	5.75	5.75	5.75	5.75
Col izq (m)	1.10	1.10	1.10	1.10
Col der (m)	1.10	1.10	1.10	1.10
L-Libre (m)	4.65	4.65	4.65	4.65
Li Rotula %	9.57%	9.57%	9.57%	9.57%
Li Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.10	0.10	0.10	0.10
Lj-Rotula %	9.57%	9.57%	9.57%	9.57%
Lj-Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.90	0.90	0.90	0.90

Disposición de rótulas plásticas en vigas eje A

NIVEL 3

Tramo	1	2	3
Long (m)	5.75	5.75	5.75
Col izq (m)	1	1	1
Col der (m)	1	1	1
L-Libre (m)	4.75	4.75	4.75
Li Rotula %	8.70%	8.70%	8.70%
Li Rotula % (Análisis)	9.00%	9.00%	9.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.09	0.09	0.09

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Lj-Rotula %	8.70%	8.70%	8.70%
Lj-Rotula % (Análisis)	9.00%	9.00%	9.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.91	0.91	0.91
Disposición de rótulas plásticas en vigas eje C a M			

NIVEL 3

Tramo	1	2	3	4
Long (m)	5.75	5.75	5.75	5.75
Col izq (m)	1	1	1	1
Col der (m)	1	1	1	1
L-Libre (m)	4.75	4.75	4.75	4.75
Li Rotula %	8.70%	8.70%	8.70%	8.70%
Li Rotula % (Análisis)	9.00%	9.00%	9.00%	10.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.09	0.09	0.09	0.10
Lj-Rotula %	8.70%	8.70%	8.70%	8.70%
Lj-Rotula % (Análisis)	9.00%	9.00%	9.00%	10.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.91	0.91	0.91	0.90

Disposición de rótulas plásticas en vigas eje A

NIVEL 4

Tramo	1	2	3
Long (m)	5.75	5.75	5.75
Col izq (m)	0.9	0.9	0.9
Col der (m)	0.9	0.9	0.9
L-Libre (m)	4.85	4.85	4.85
Li Rotula %	7.83%	7.83%	7.83%
Li Rotula % (Análisis)	8.00%	8.00%	8.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.08	0.08	0.08
Lj-Rotula %	7.83%	7.83%	7.83%
Lj-Rotula % (Análisis)	8.00%	8.00%	8.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.92	0.92	0.92

Disposición de rótulas plásticas en vigas eje C a M

NIVEL 4

Tramo	1	2	3	4
Long (m)	5.75	5.75	5.75	5.75
Col izq (m)	0.9	0.9	0.9	0.9

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Col der (m)	0.9	0.9	0.9	0.9
L-Libre (m)	4.85	4.85	4.85	4.85
Li Rotula %	7.83%	7.83%	7.83%	7.83%
Li Rotula % (Análisis)	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.08	0.08	0.08	0.08
Lj-Rotula %	7.83%	7.83%	7.83%	7.83%
Lj-Rotula % (Análisis)	8.00%	8.00%	8.00%	8.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.92	0.92	0.92	0.92

5.18 Aplicación de rótulas plásticas en vigas dirección X

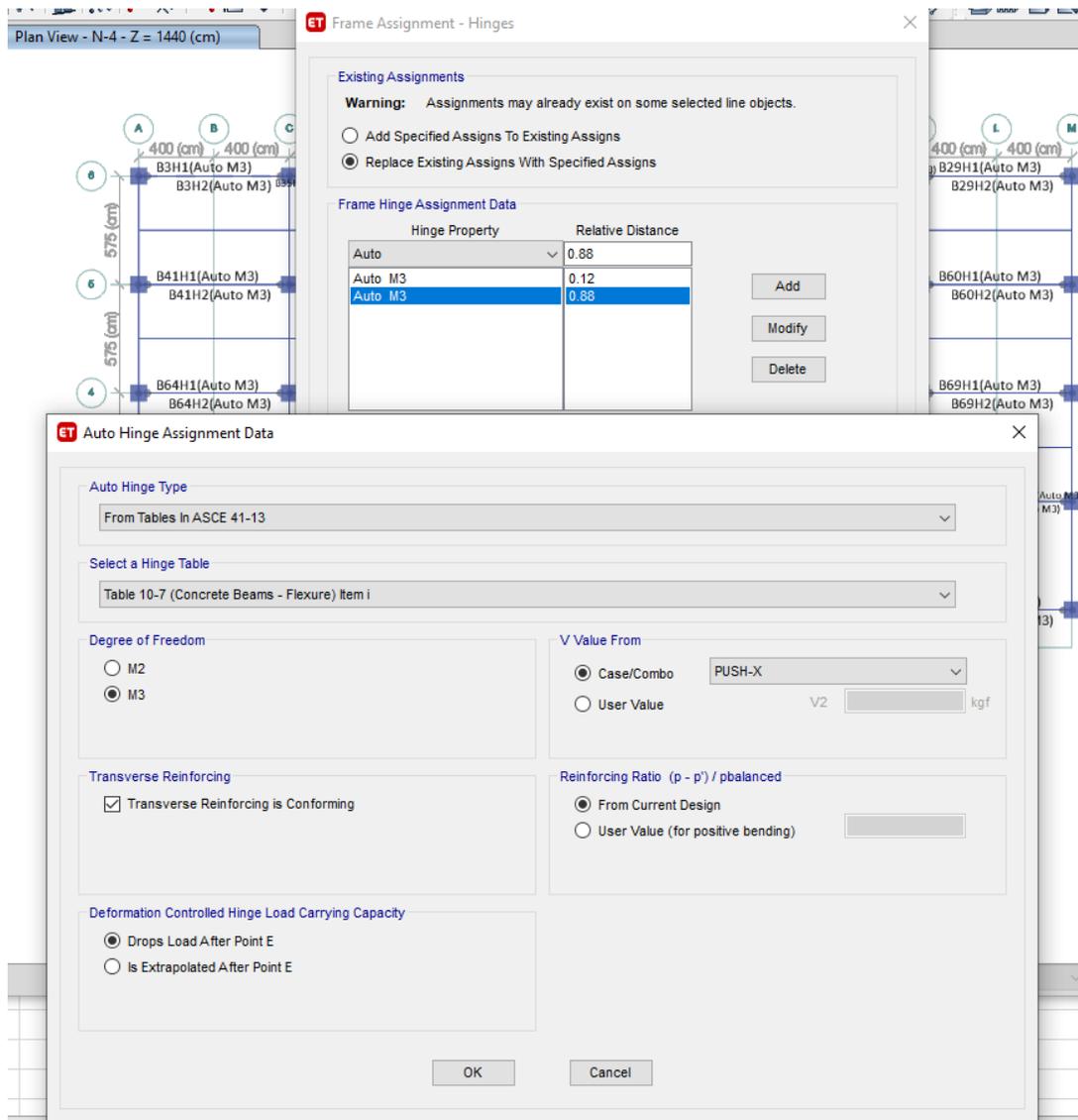


Figura 273 Aplicación de rótulas plásticas en vigas

Nota: el acero de refuerzo transversal es conforme(C) o no conforme (NC), de acuerdo a lo determinado en el punto 5.14. Determinación de la conformidad del confinamiento (se asigna la palomita considerando que es conforme). De esta manera se seleccionan las vigas y se les asigna los valores que correspondan de acuerdo a la disposición de las vigas según punto 5.18, ver figura 267 (Aplicación de rotulas plásticas en vigas dirección X).

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.19 Disposición de rótulas plásticas en columnas

Tabla 51

Disposición de Rótulas Plásticas en Columnas

Nivel	NIVEL 1	NIVEL 2 a 4
Long (m)	3.60	3.60
h Viga Nivel i (m)	0	0.65
h Viga Nivel j (m)	0.65	0.65
Luz Libre (m)	3.275	2.95
Li Rotula (m)	0.00%	9.03%
Li Rotula % (Análisis)	2.50%	10.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.025	0.100
Lj Rotula (%)	9.03%	9.03%
Lj Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%
Lj Rotula Relativa (Análisis)	0.90	0.90
Nivel	NIVEL 1	NIVEL 2 a 4
Long (m)	3.60	3.60
h Viga Nivel i (m)	0	0.5
h Viga Nivel j (m)	0.5	0.5
Luz Libre (m)	3.35	3.1
Li Rotula (m)	0.00%	6.94%
Li Rotula % (Análisis)	2.50%	10.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.025	0.100
Lj Rotula (%)	6.94%	6.94%
Lj Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%
Lj Rotula Relativa (Análisis)	0.90	0.90

Nota: en la segunda tabla, el peralte de la viga es 50 cm. Pero dejamos los mismos valores porque la trabe adyacente a la columna el peralte es de 65 cm.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.20 Aplicación de rótulas plásticas en columnas

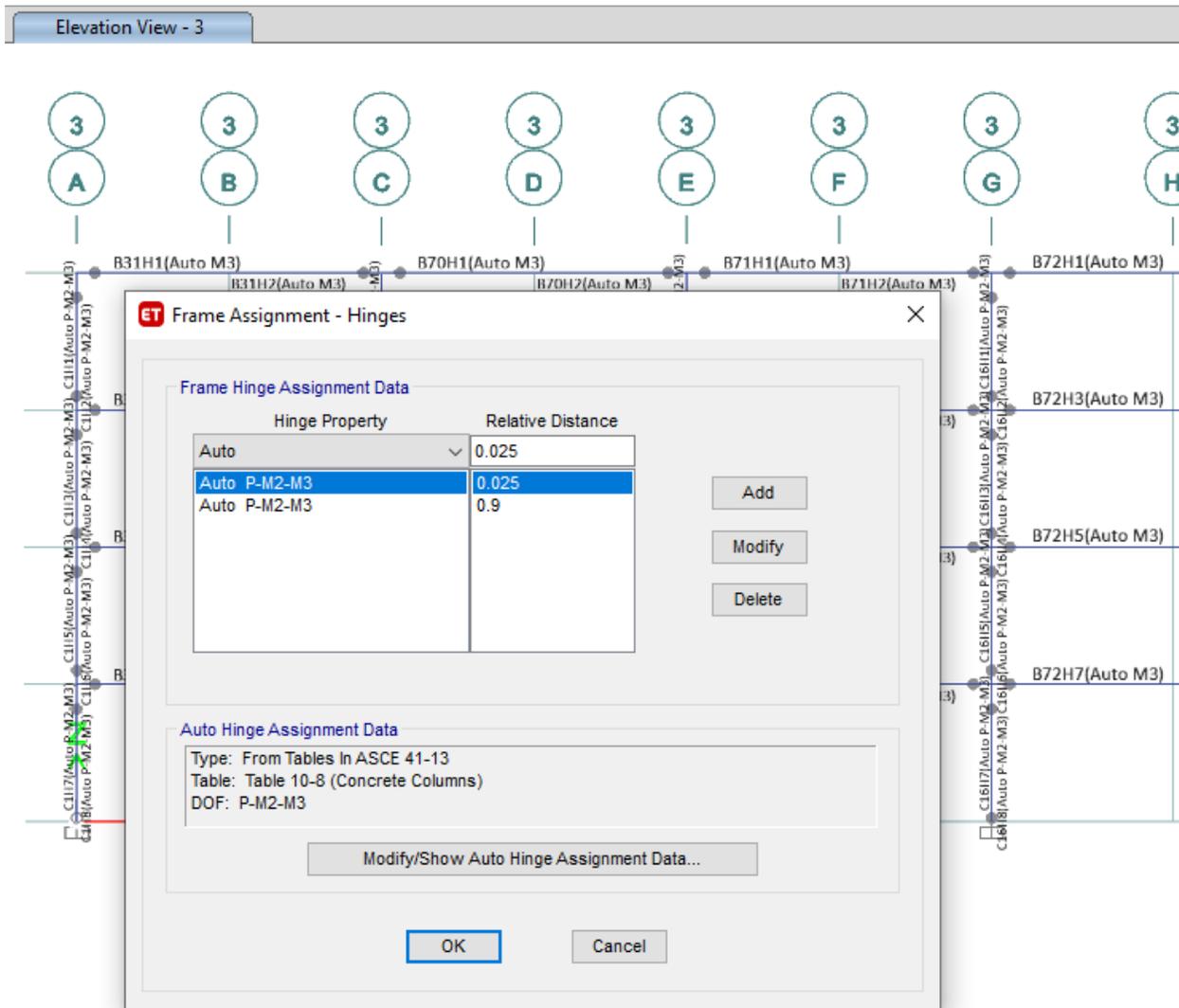


Figura 274 Asignación de rótulas plásticas en columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

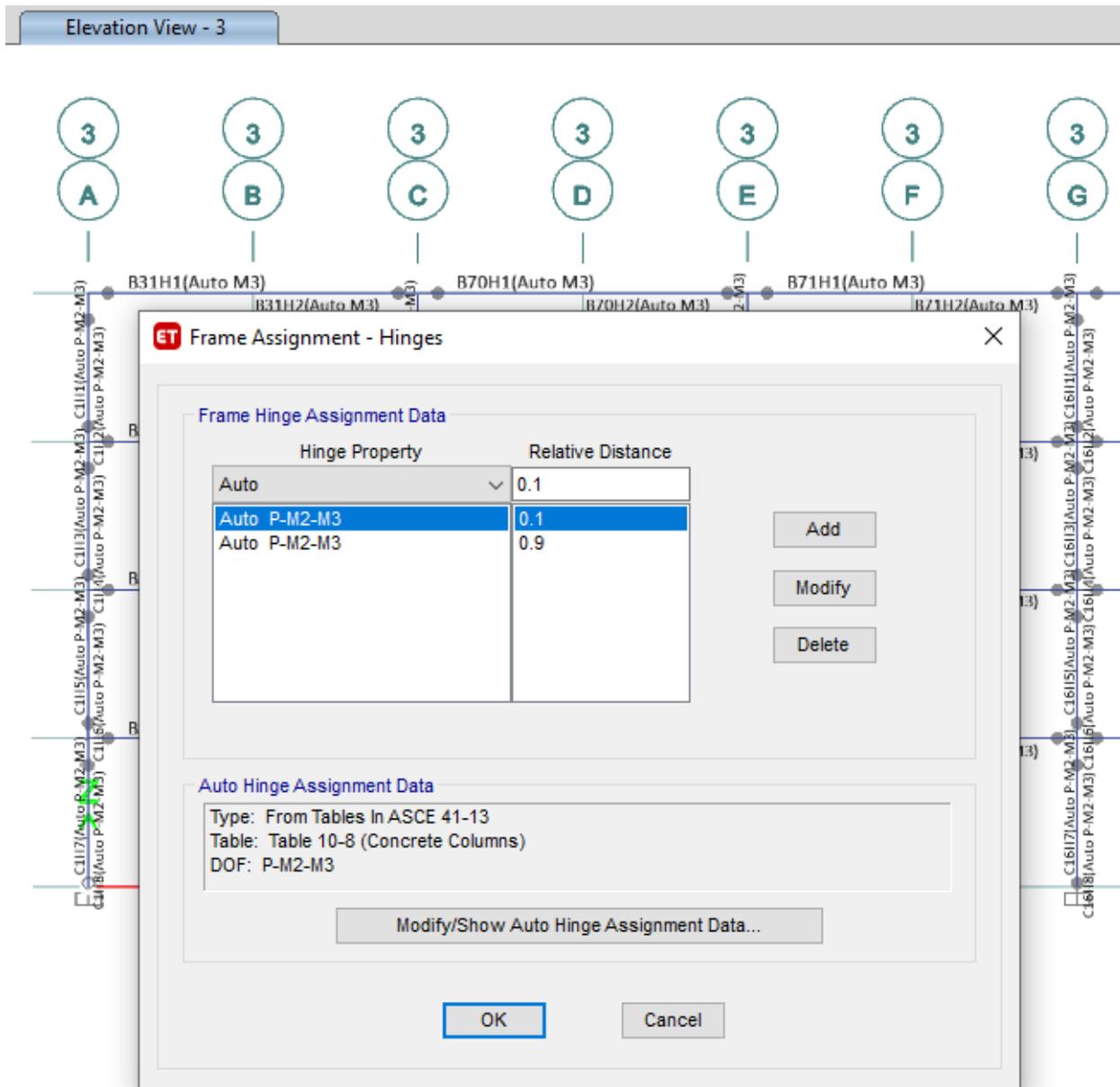


Figura 275 Asignación de rótulas plásticas en columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

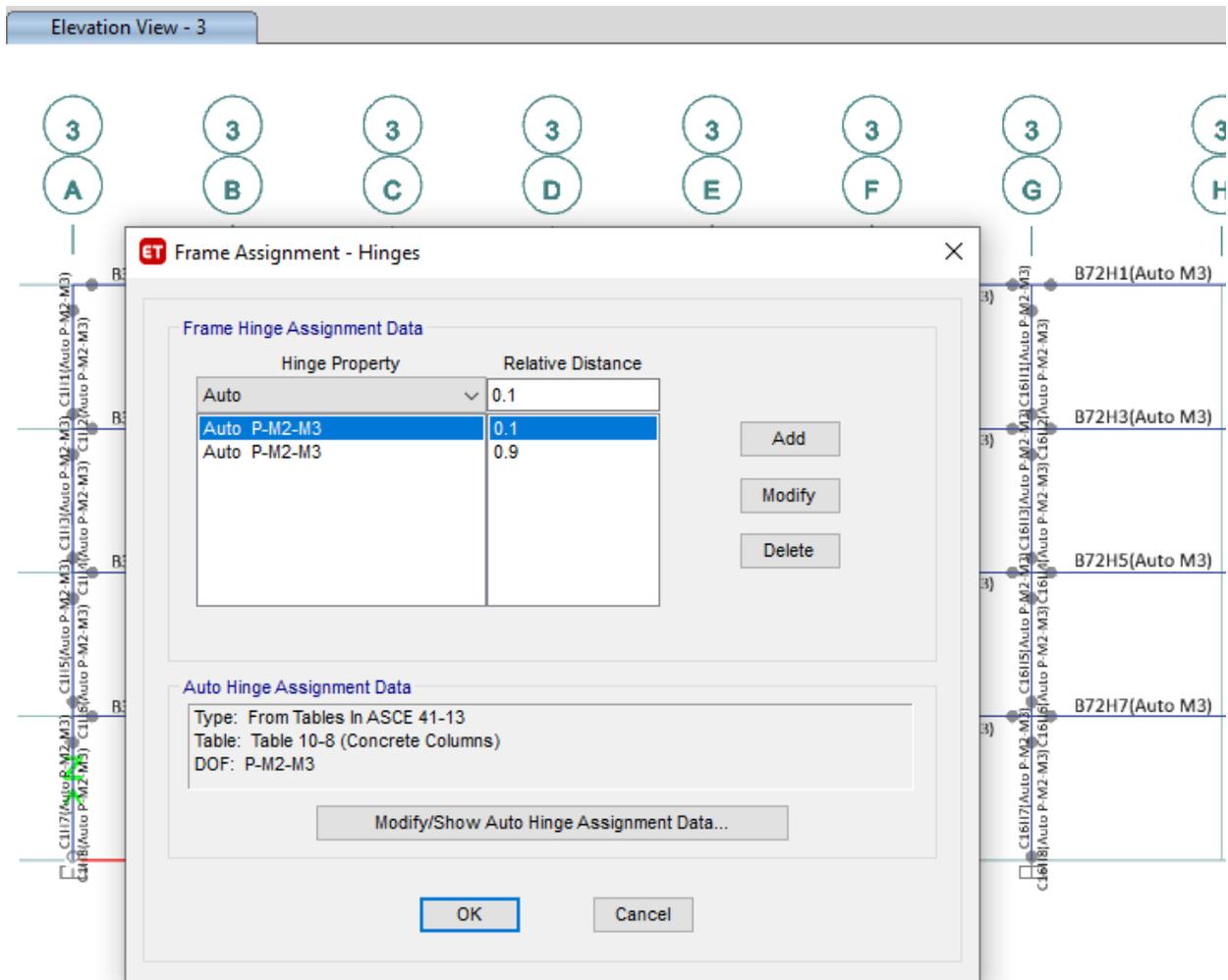


Figura 276 Asignación de rótulas plásticas en columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

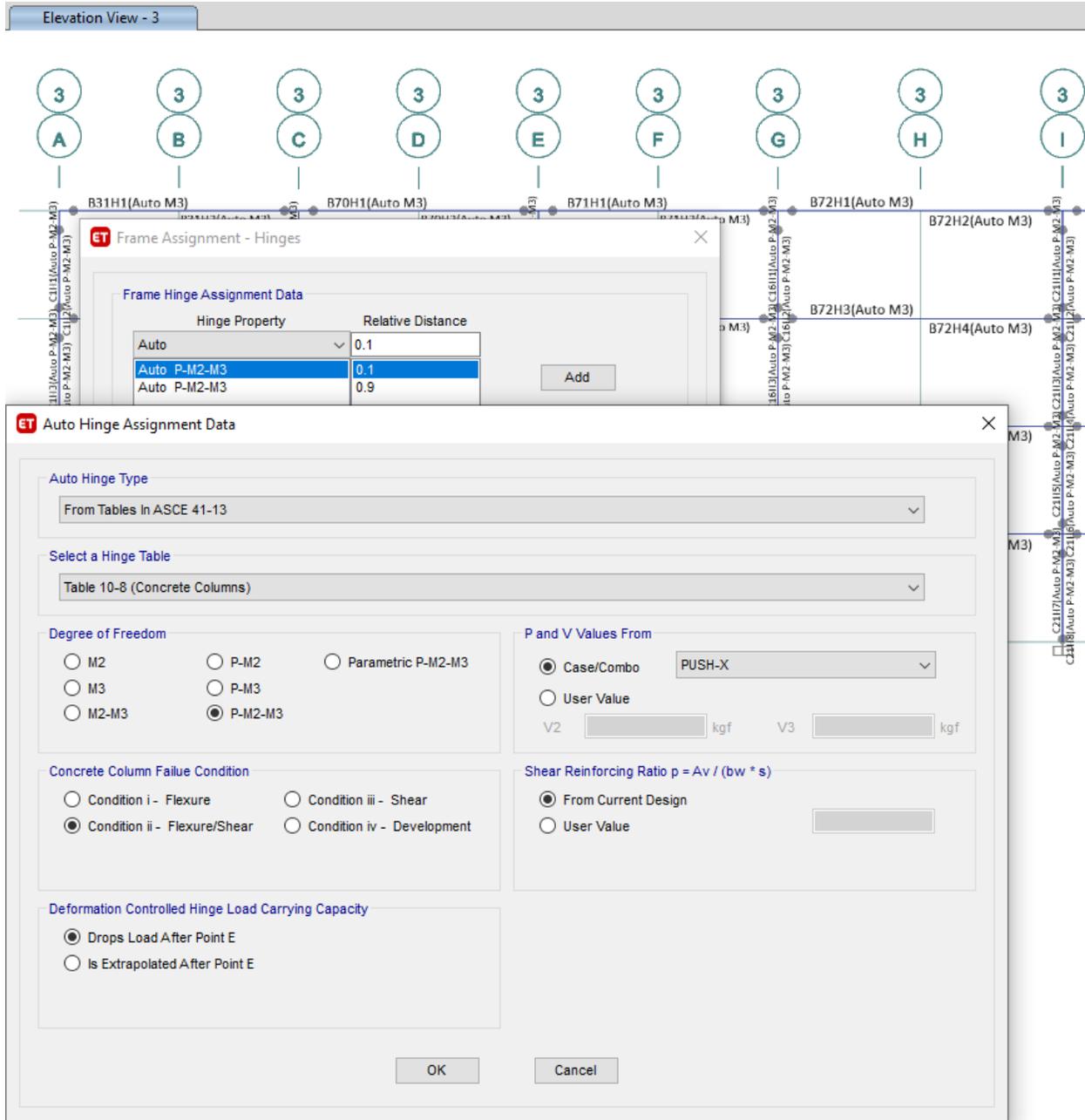


Figura 277 Asignación de rótulas plásticas en columnas

Nota: Se observa que se aplicó la condición ii como se determinó en la sección 5.13, figura 260 en la columna AK (Condición i)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.21 Articulaciones plásticas en vigas del eje 2 al 6

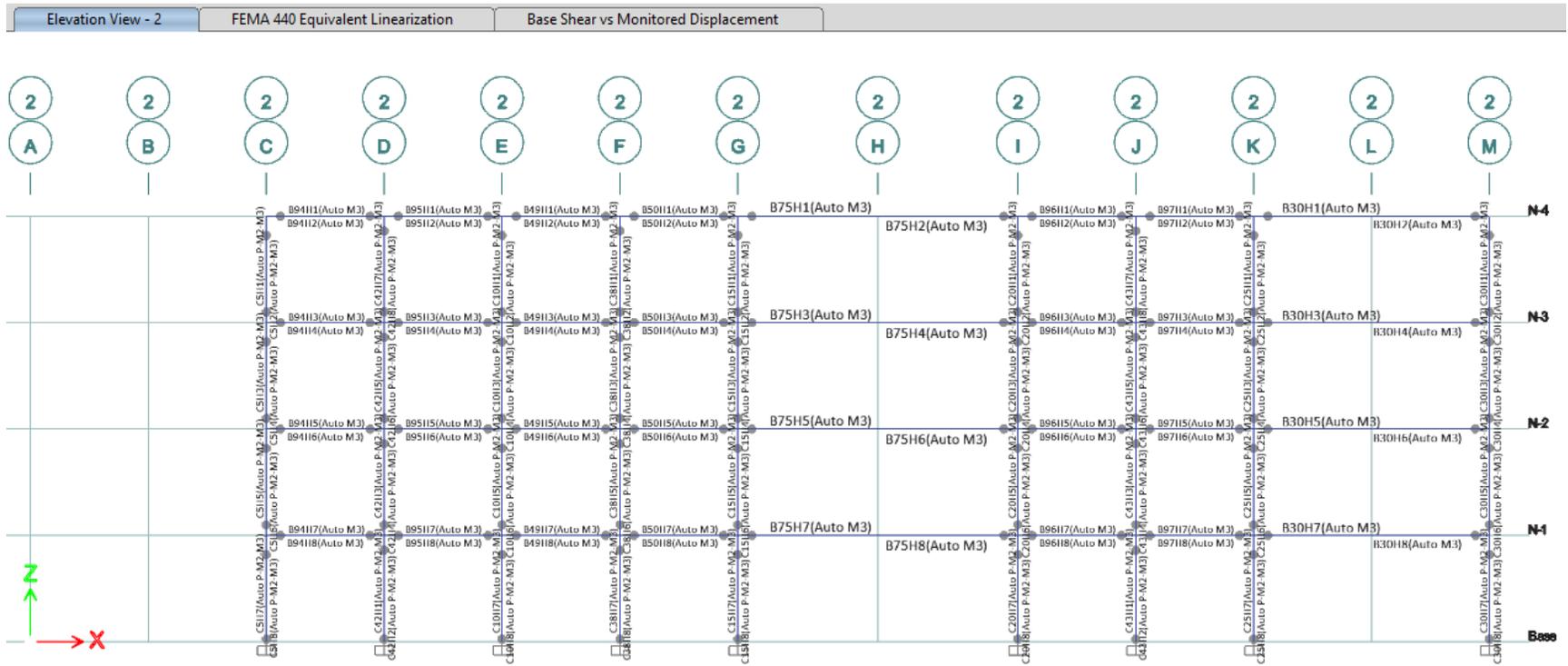


Figura 278 Articulaciones plásticas en vigas, eje 2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

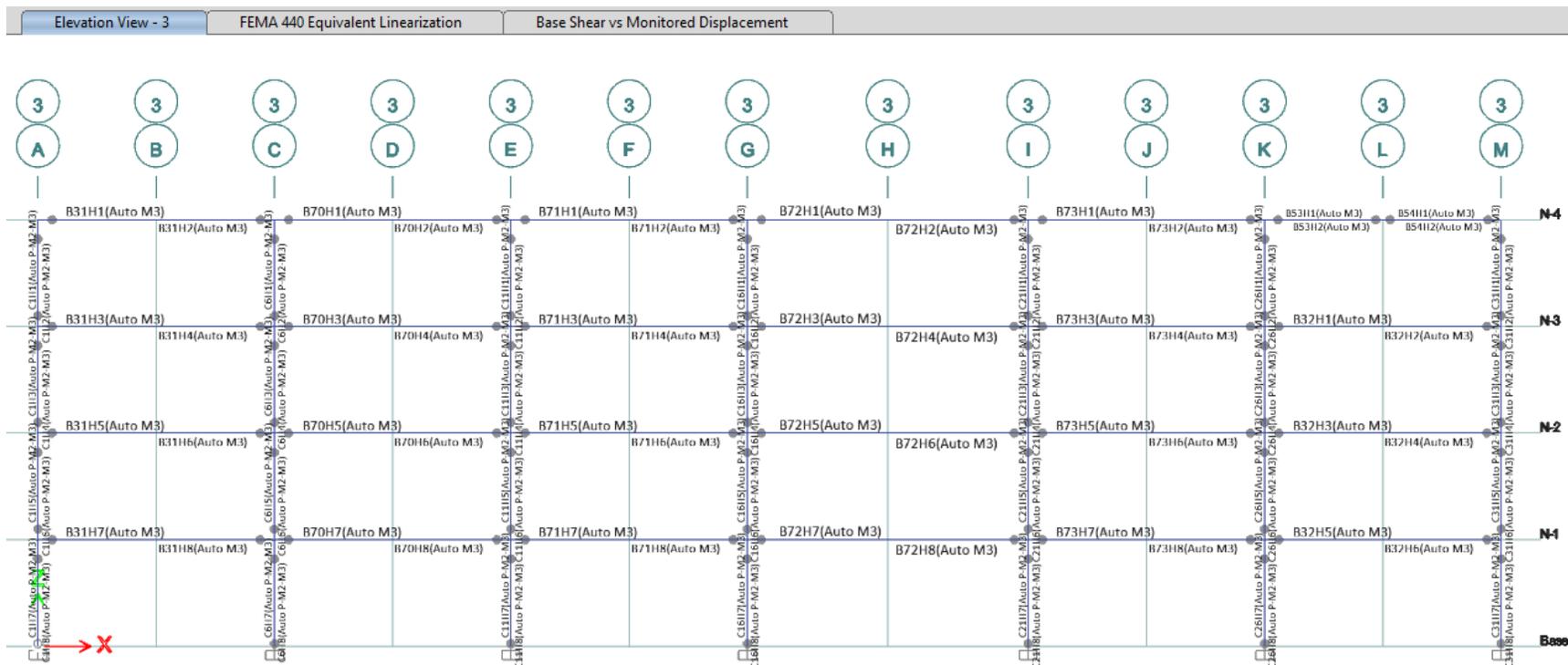


Figura 279 Articulaciones plásticas en vigas, eje 3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

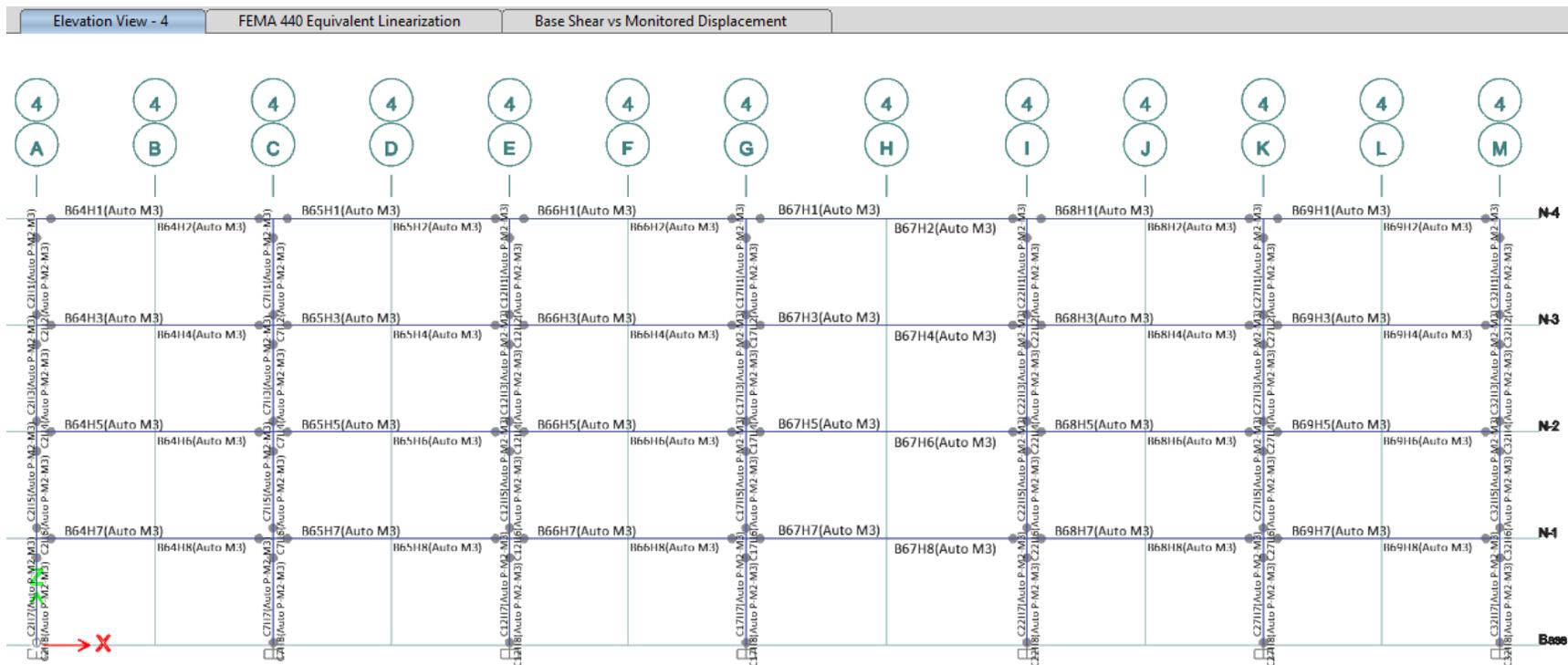


Figura 280 Articulaciones plásticas en vigas, eje 4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

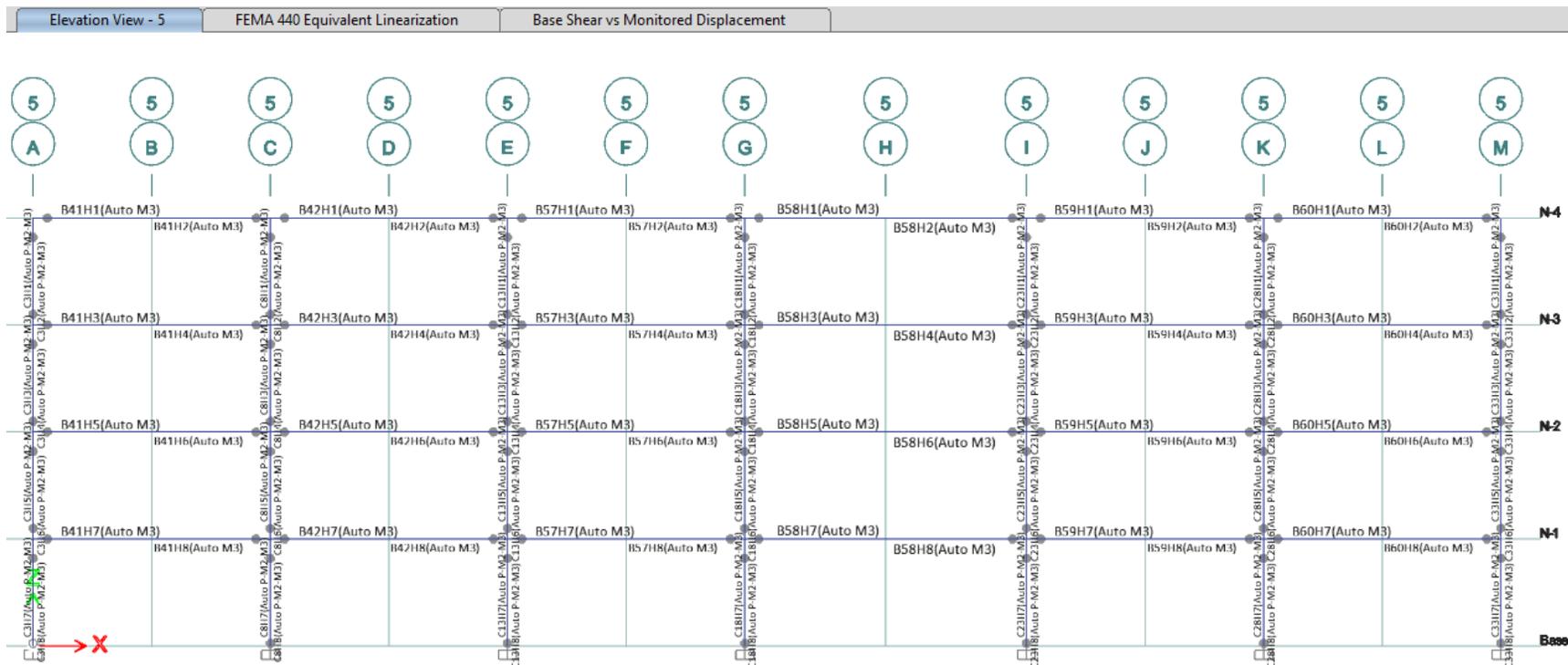


Figura 281 Articulaciones plásticas en vigas, eje 5

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

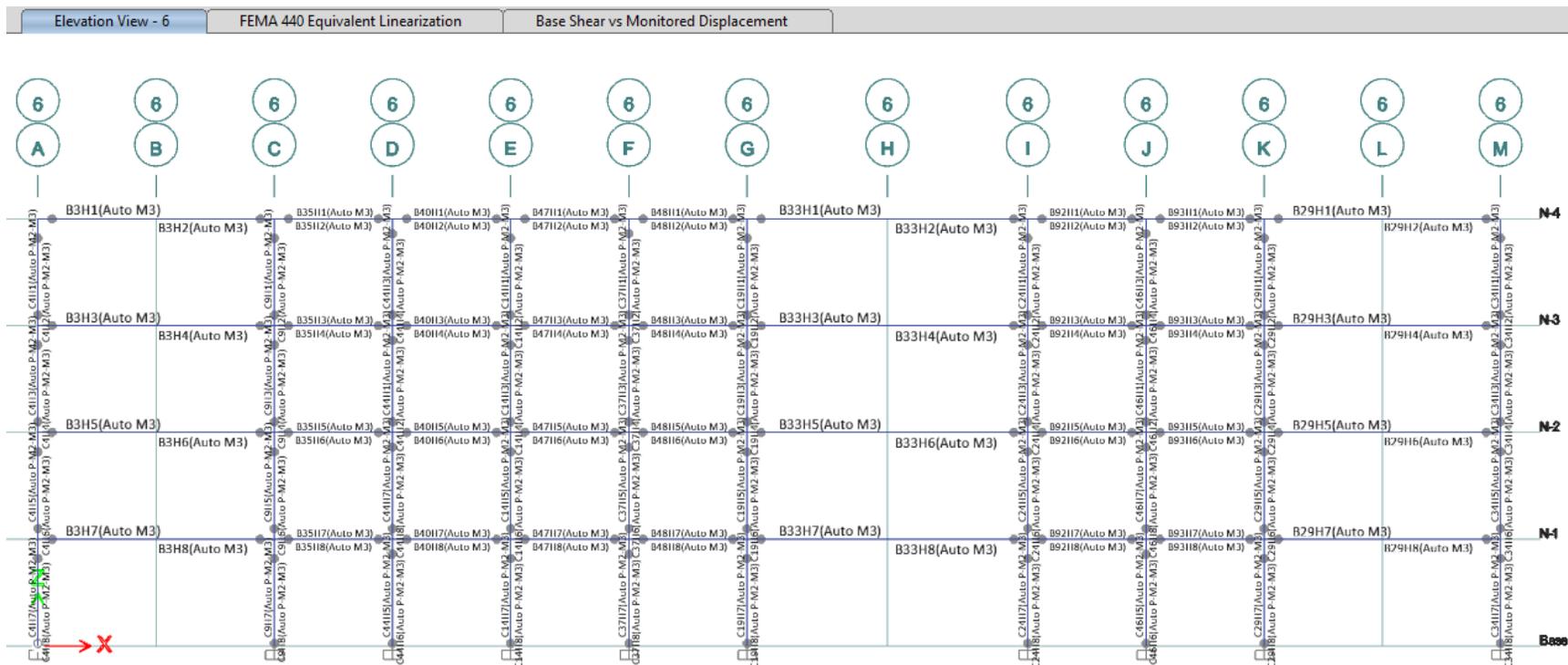


Figura 282 Articulaciones plásticas en vigas, eje 6

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.22 Articulaciones plásticas en vigas del eje A al M

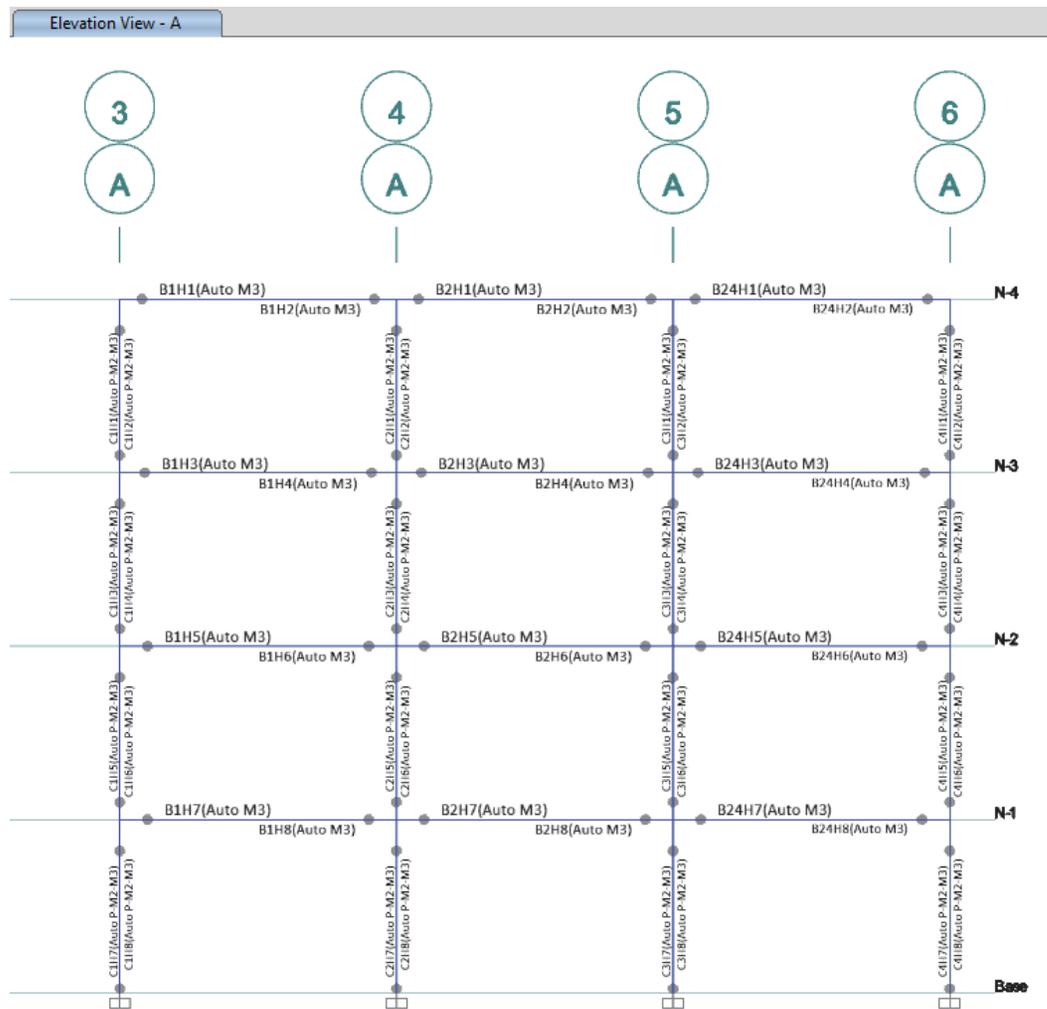


Figura 283 Articulaciones plásticas en vigas, eje A

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

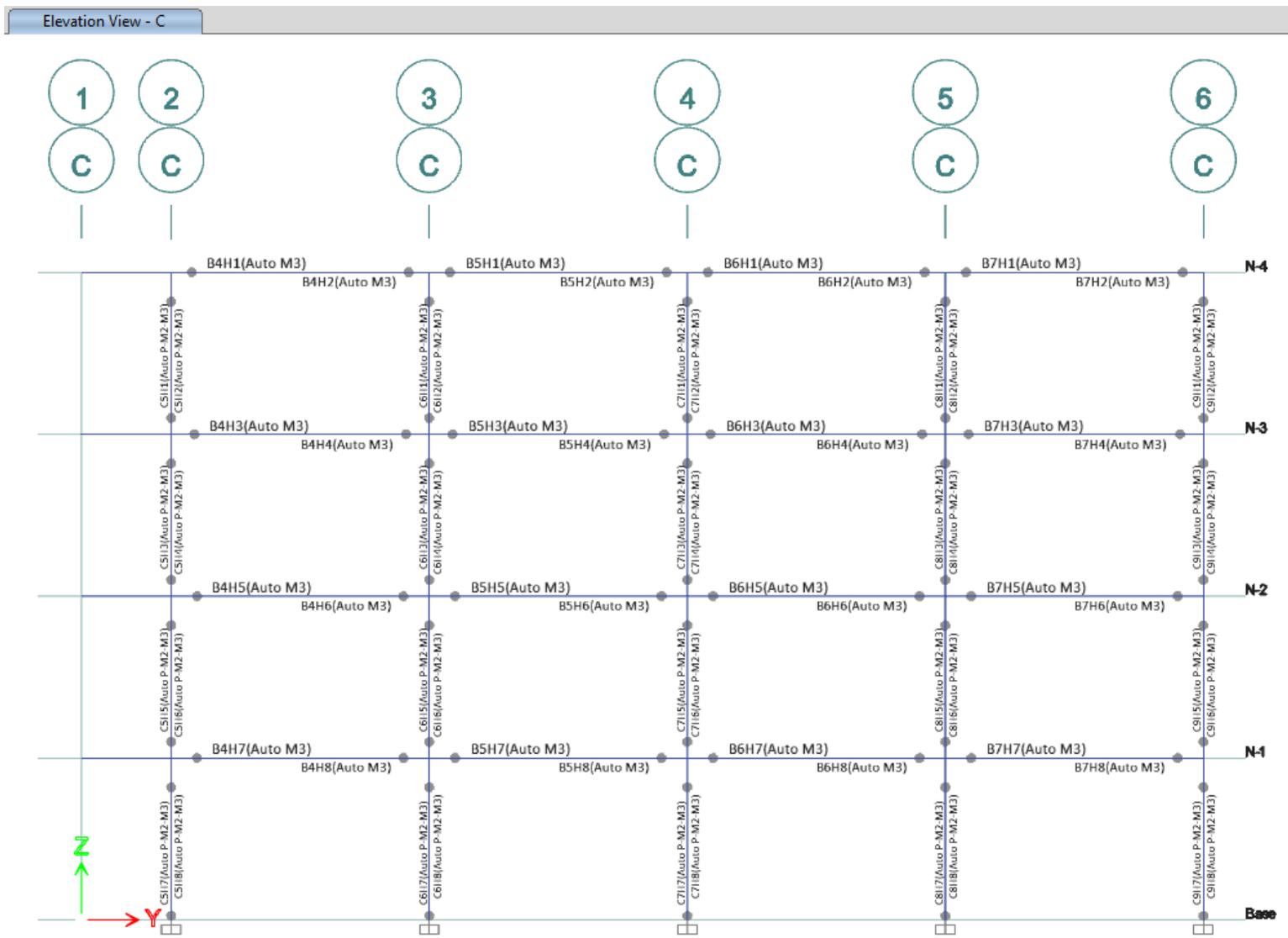


Figura 284 Articulaciones plásticas en vigas, eje C

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

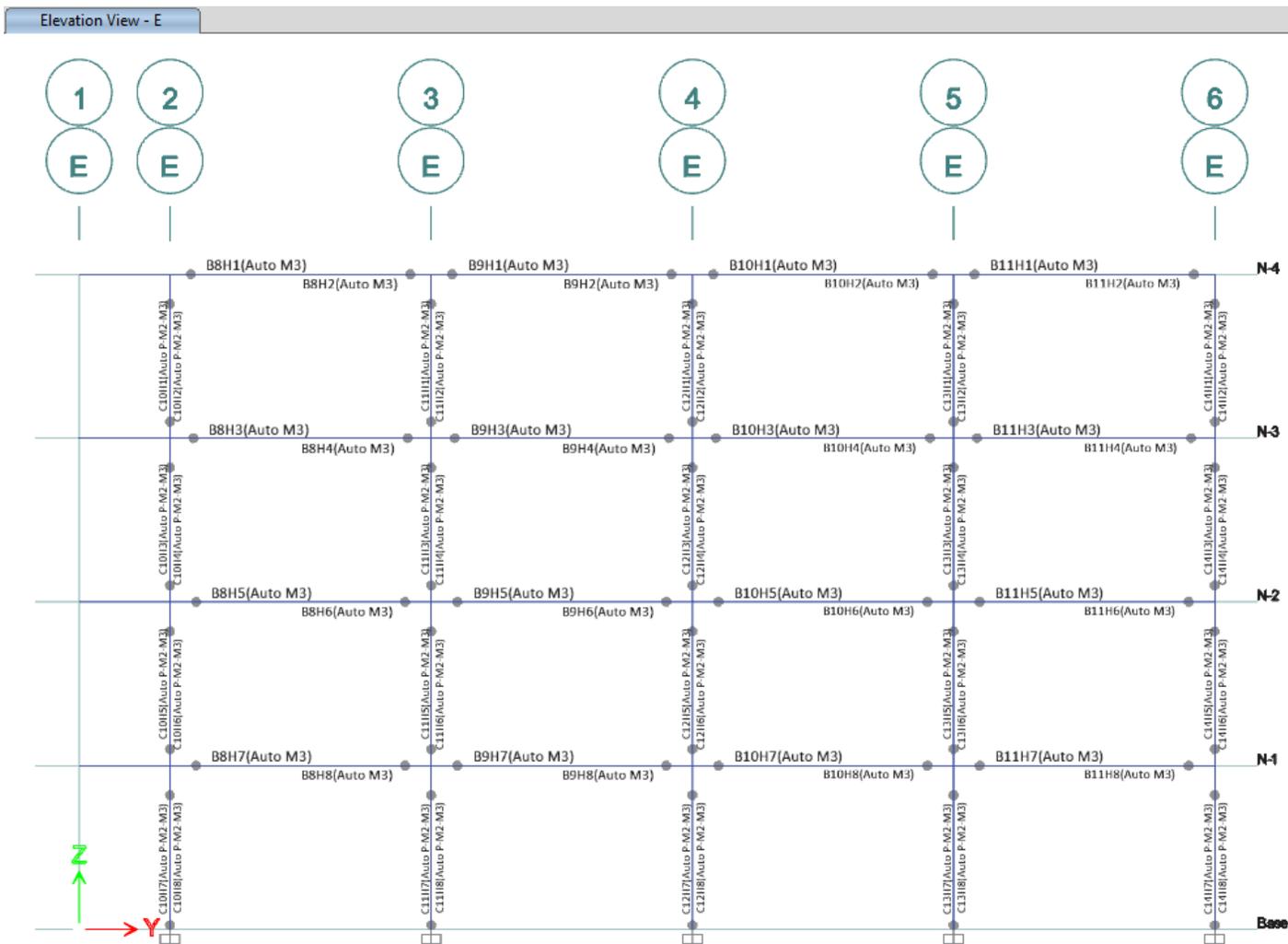


Figura 285 Articulaciones plásticas en vigas, eje E

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

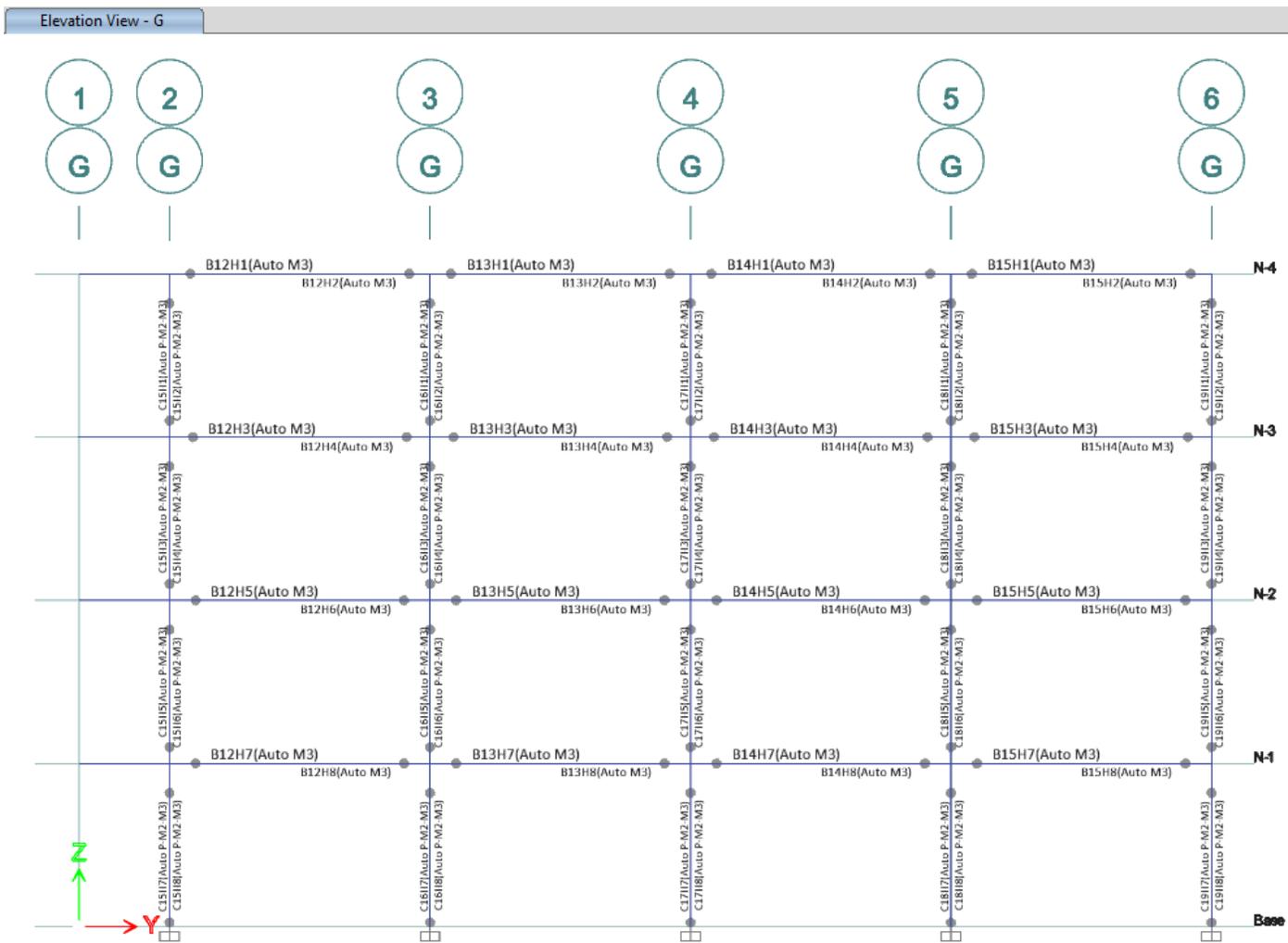


Figura 286 Articulaciones plásticas en vigas, eje G

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

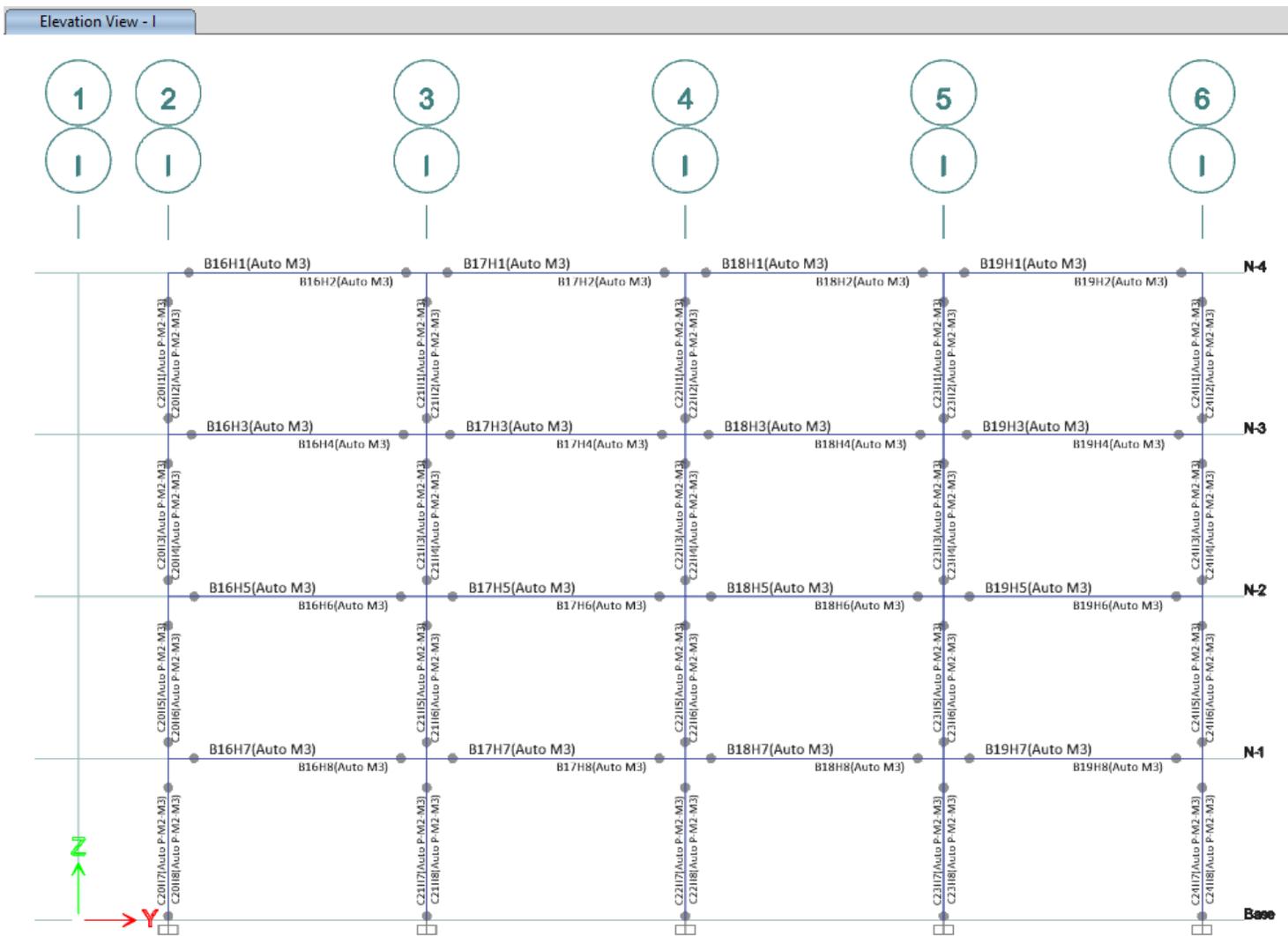


Figura 287 Articulaciones plásticas en vigas, eje I

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

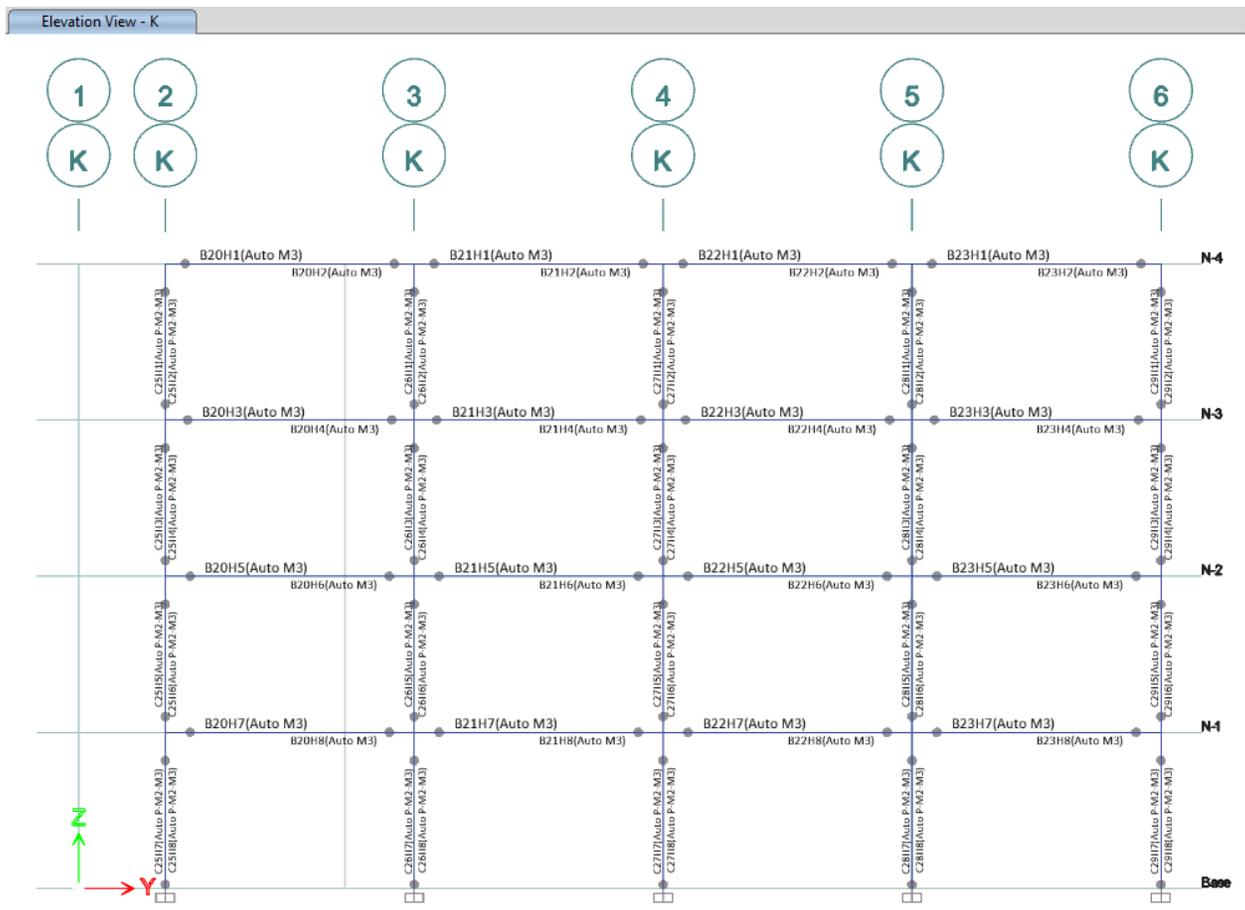


Figura 288 Articulaciones plásticas en vigas, eje K

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

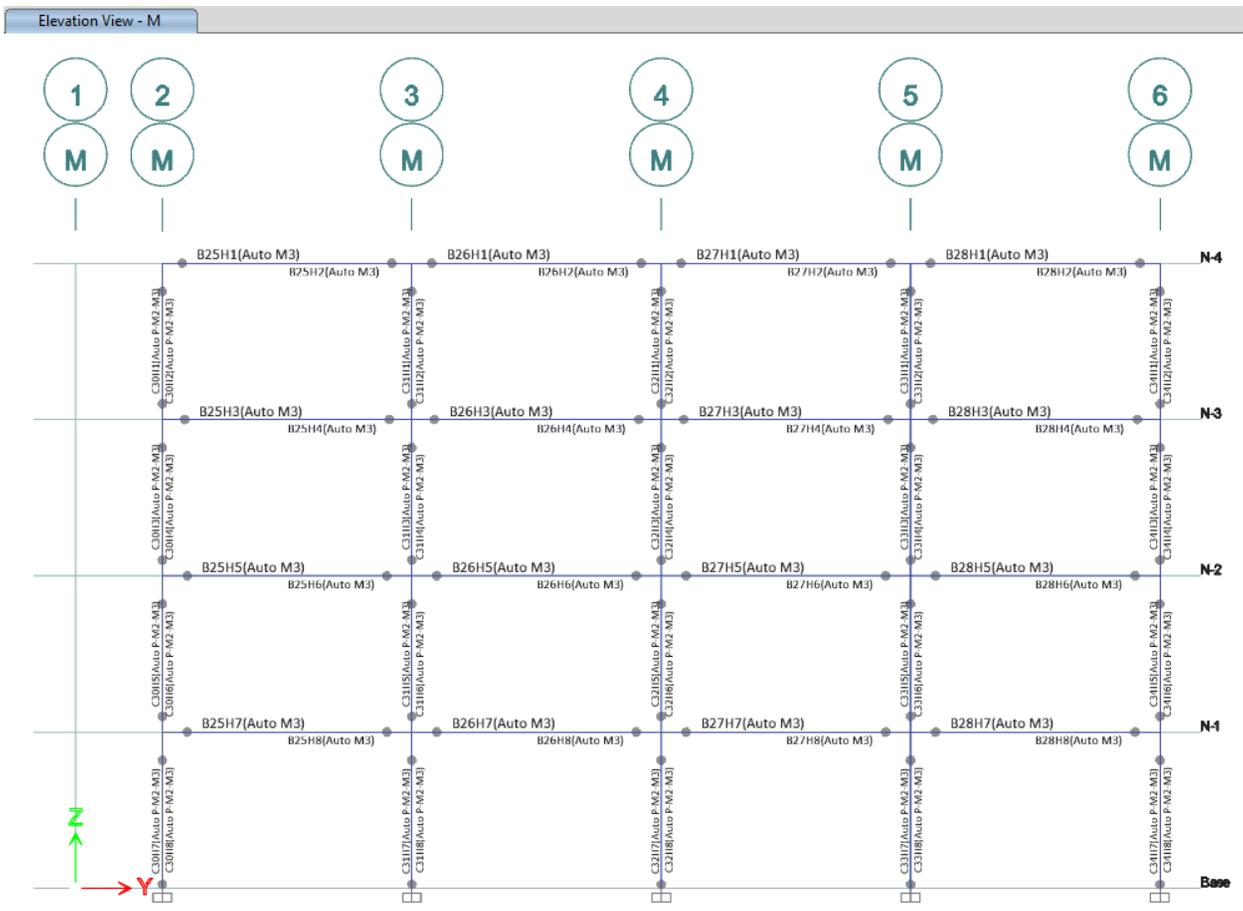


Figura 289 Articulaciones plásticas en vigas, eje M

5.23 Resultados del PUSHOVER

5.23.1 Revisión de articulaciones plásticas

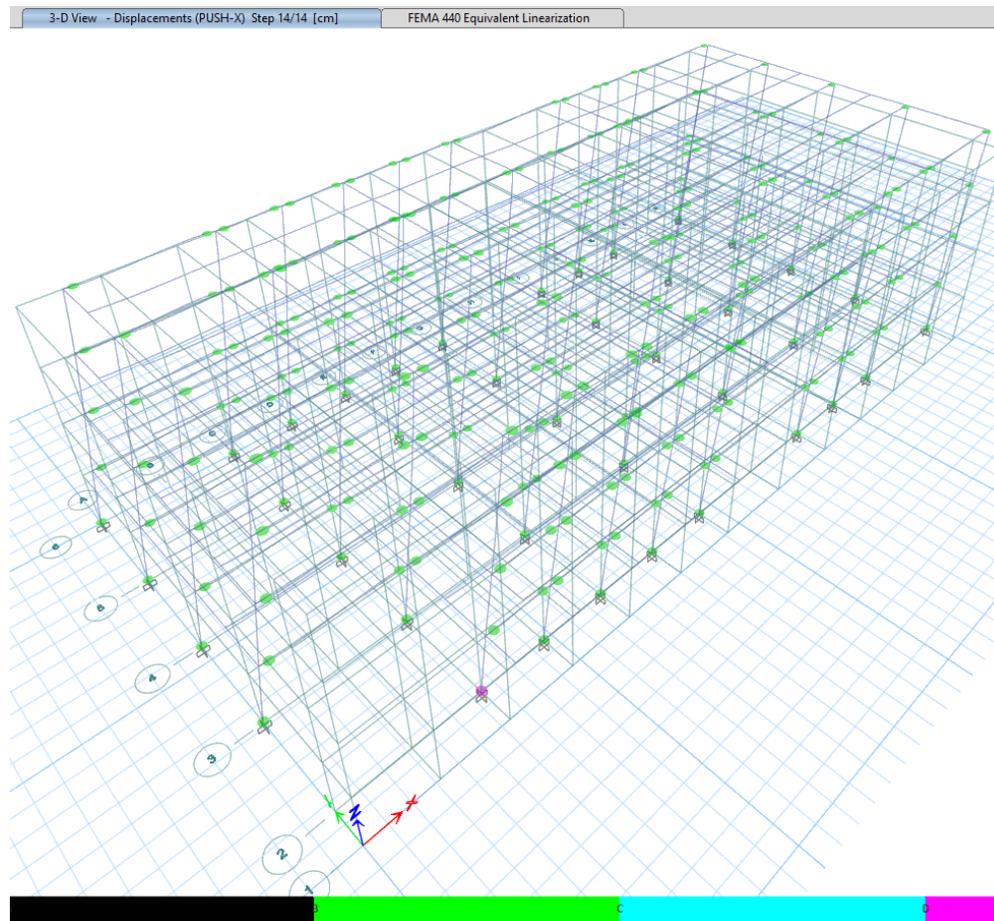


Figura 290 Revisión de articulaciones plásticas (Figura en 3D)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

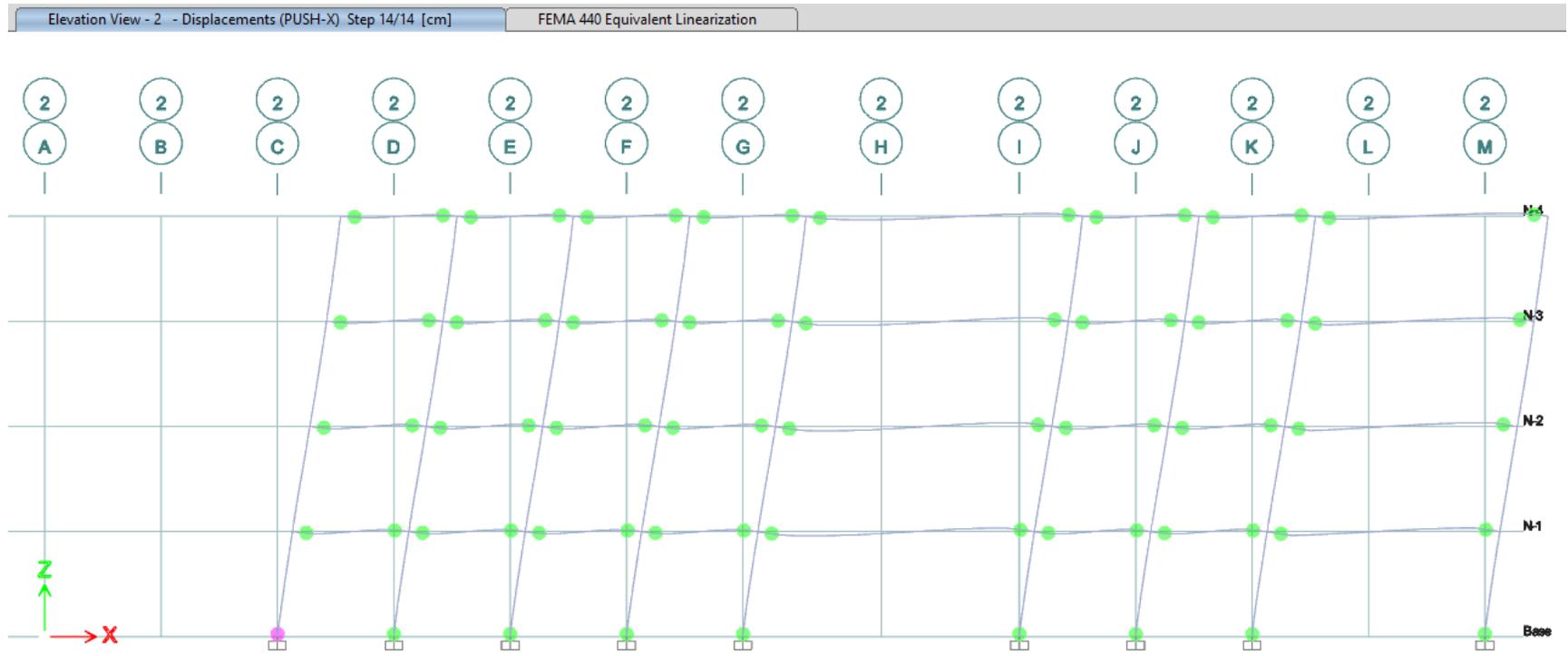


Figura 291 revisión de articulaciones plásticas en vigas, eje 2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

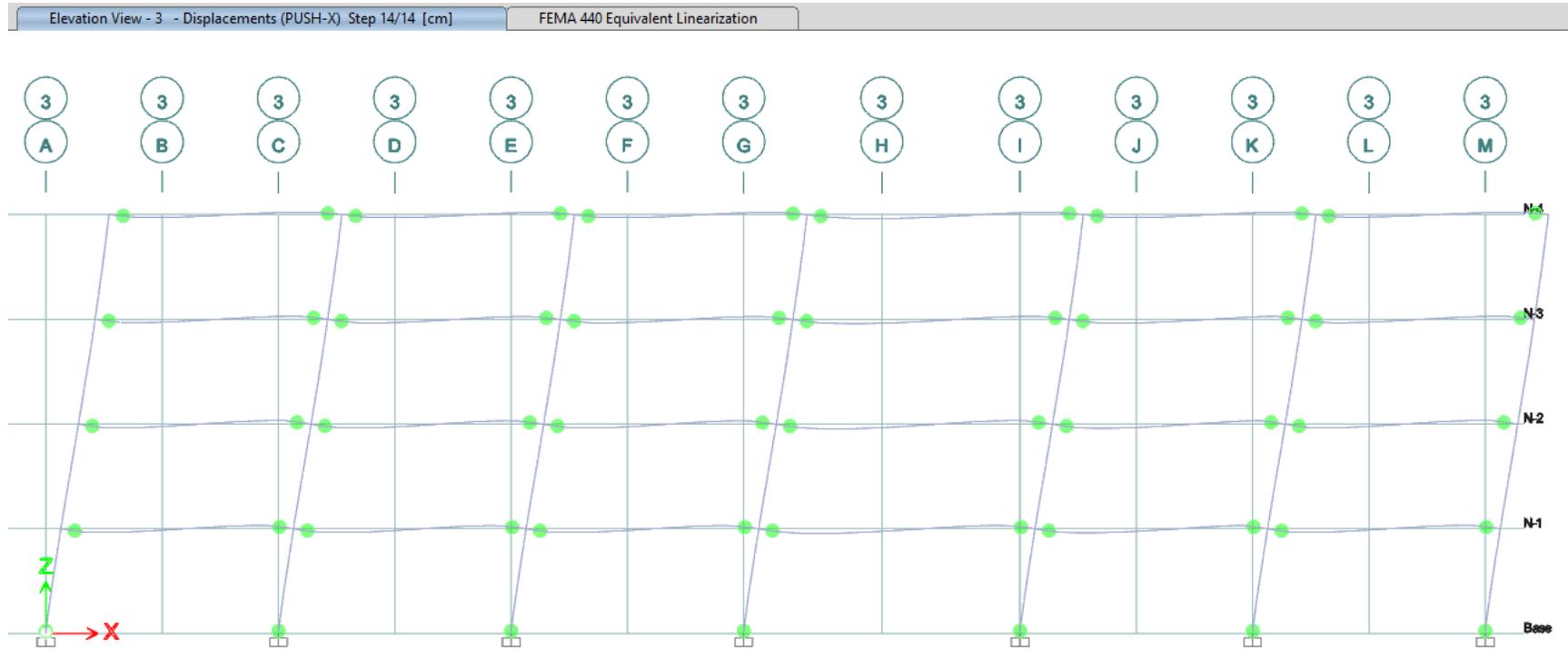


Figura 292 Articulaciones plásticas en vigas, eje 3

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

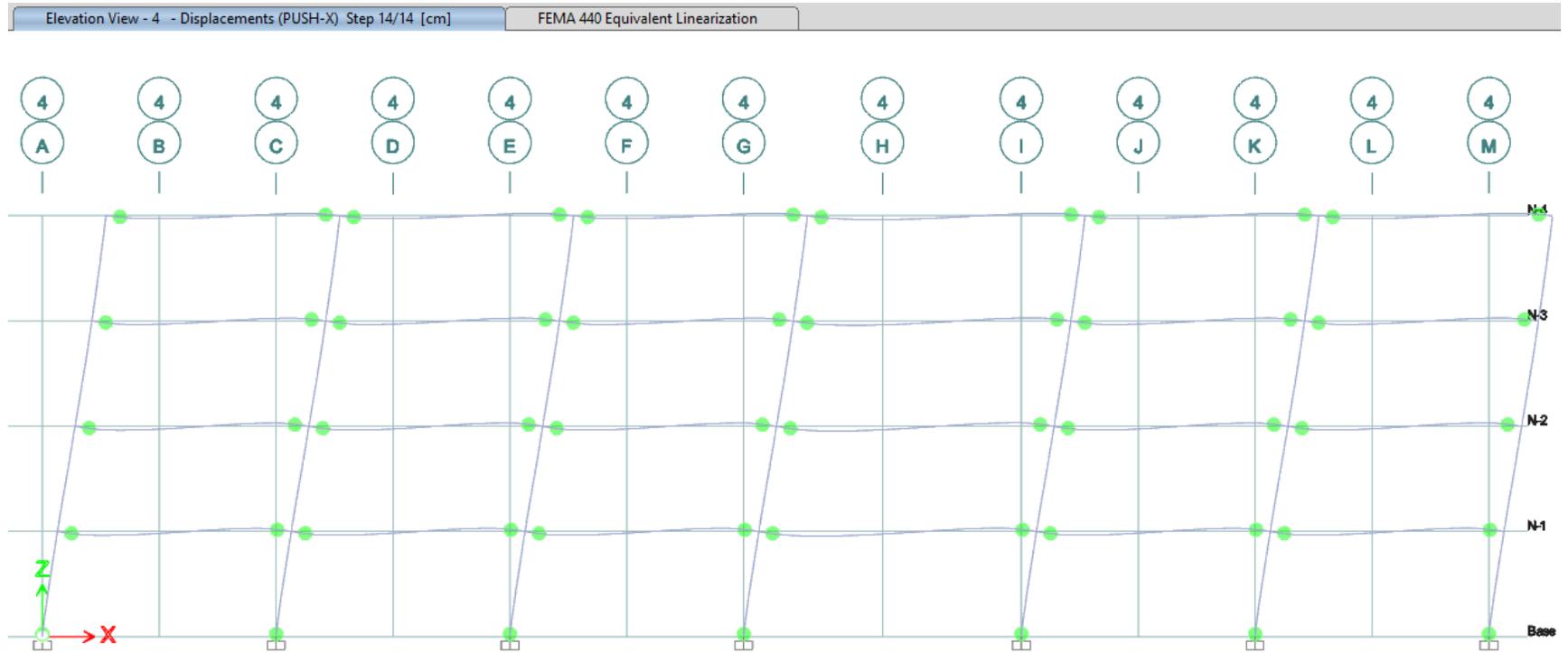


Figura 293 Articulaciones plásticas en vigas, eje 4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

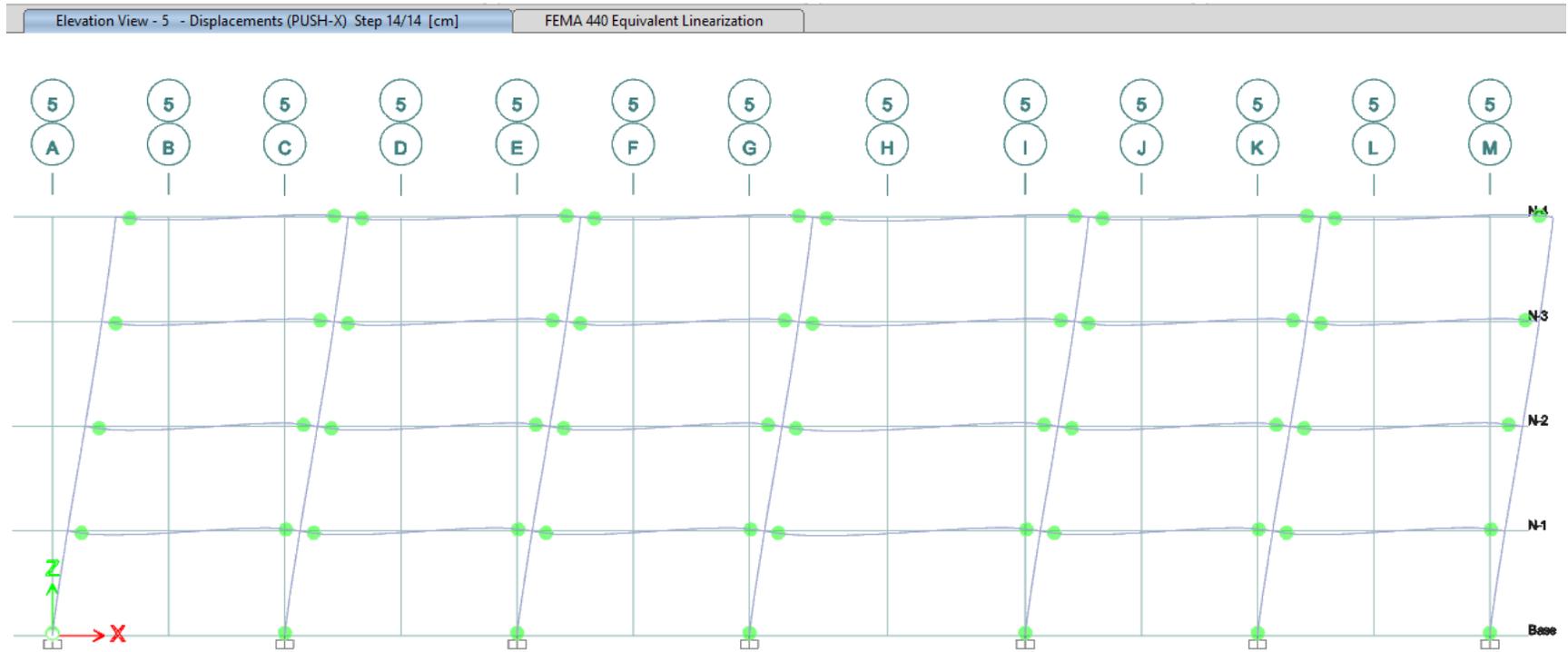


Figura 294 Articulaciones plásticas en vigas, eje 5

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

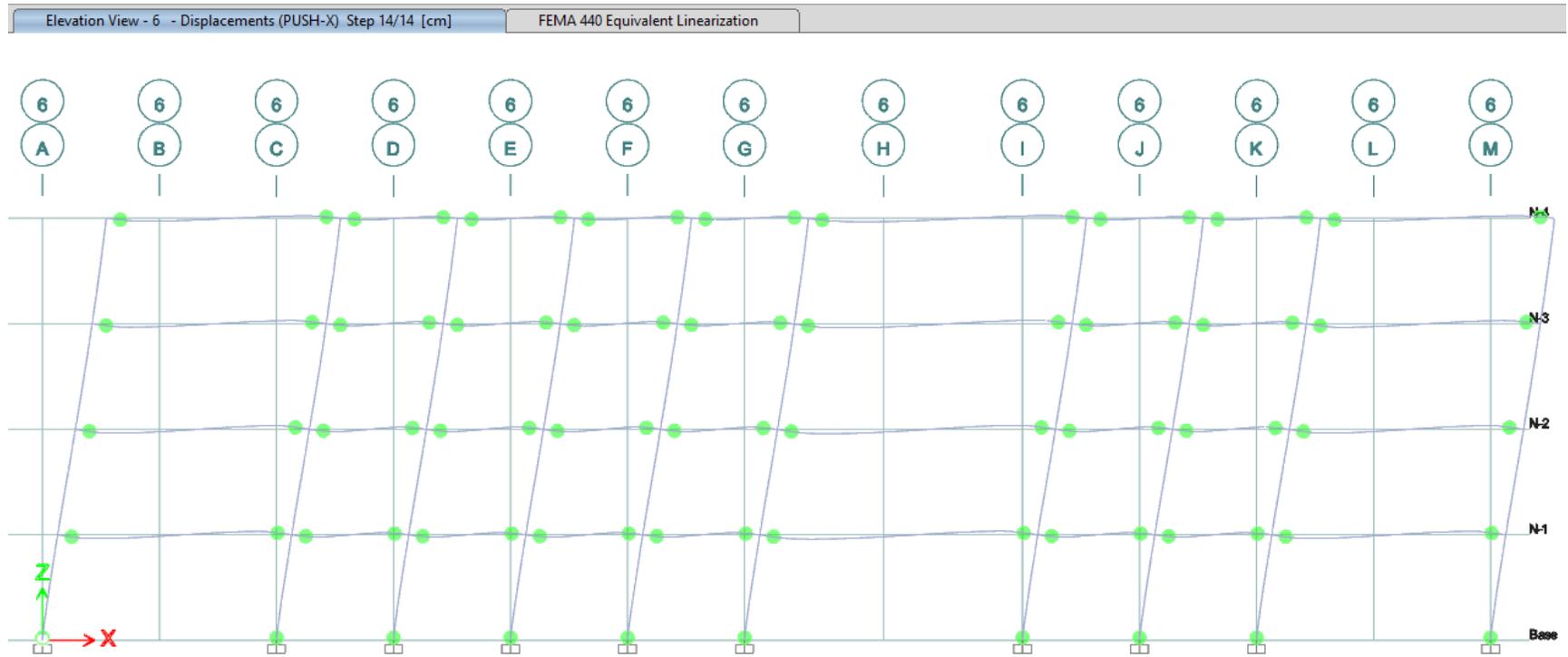


Figura 295 Articulaciones plásticas en vigas, eje 6

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

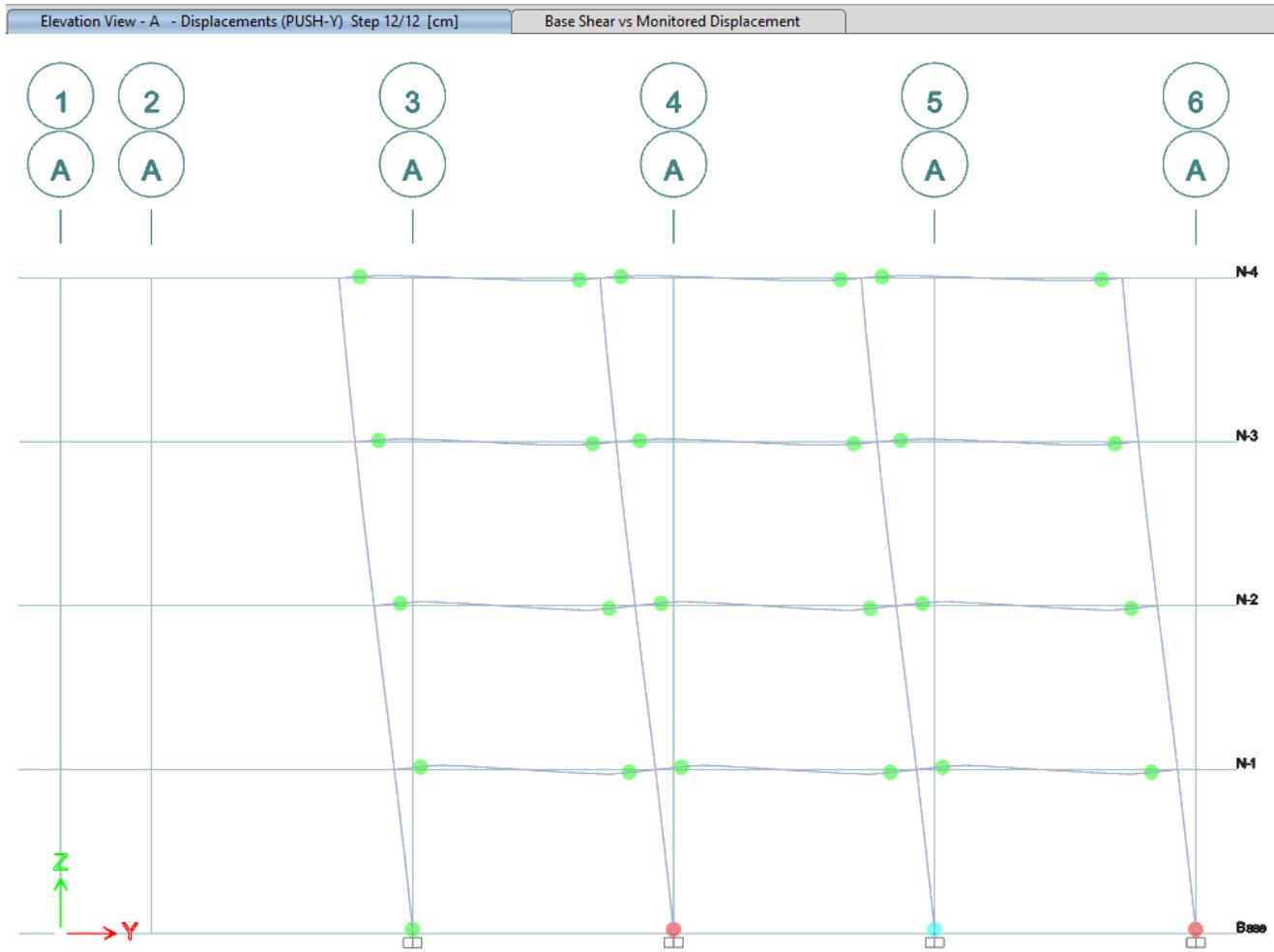


Figura 296 Articulación plástica eje A

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

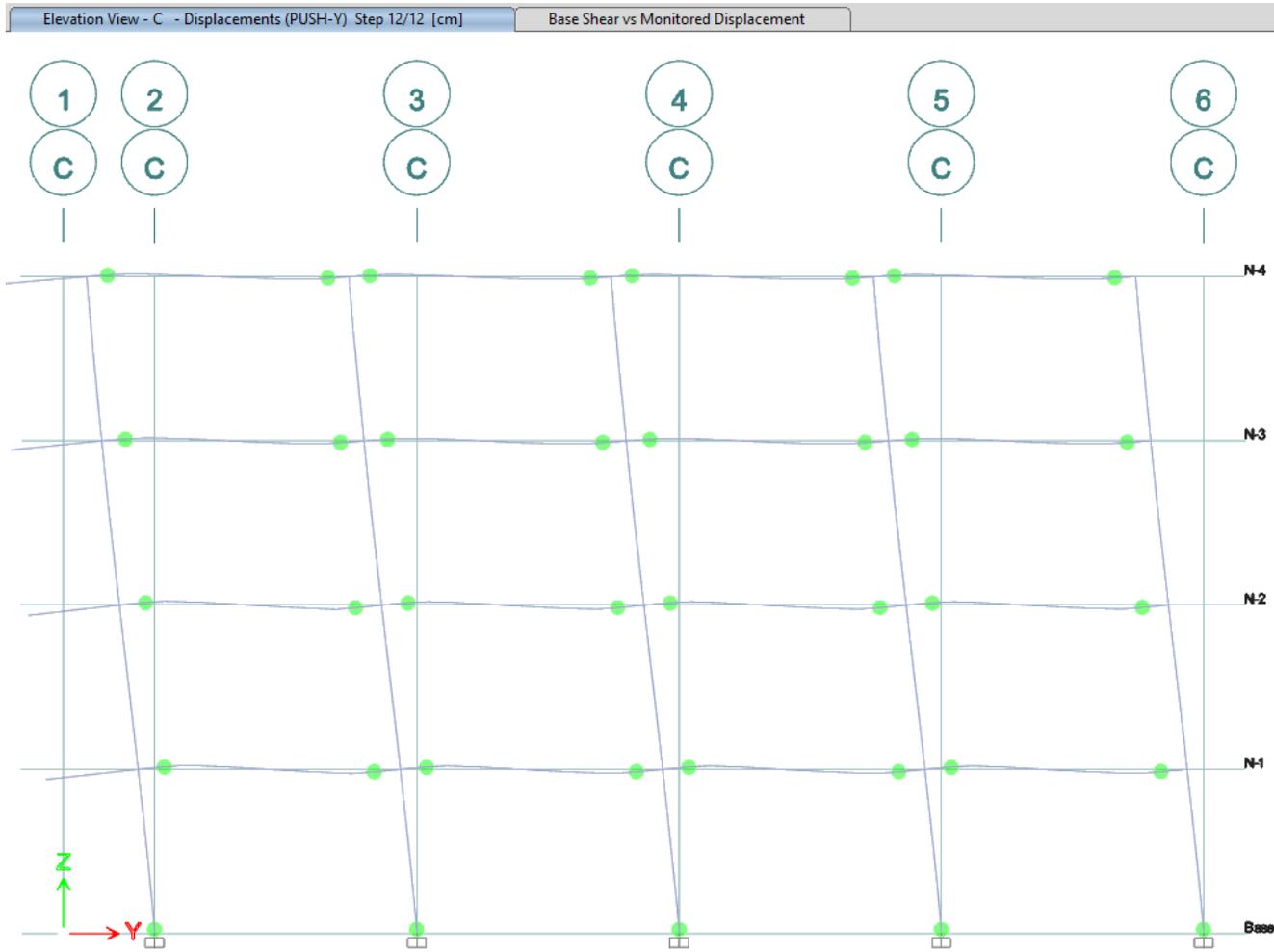


Figura 297 Articulación plástica eje C

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 298 Articulación plástica eje E

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 299 Articulación plástica eje G

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

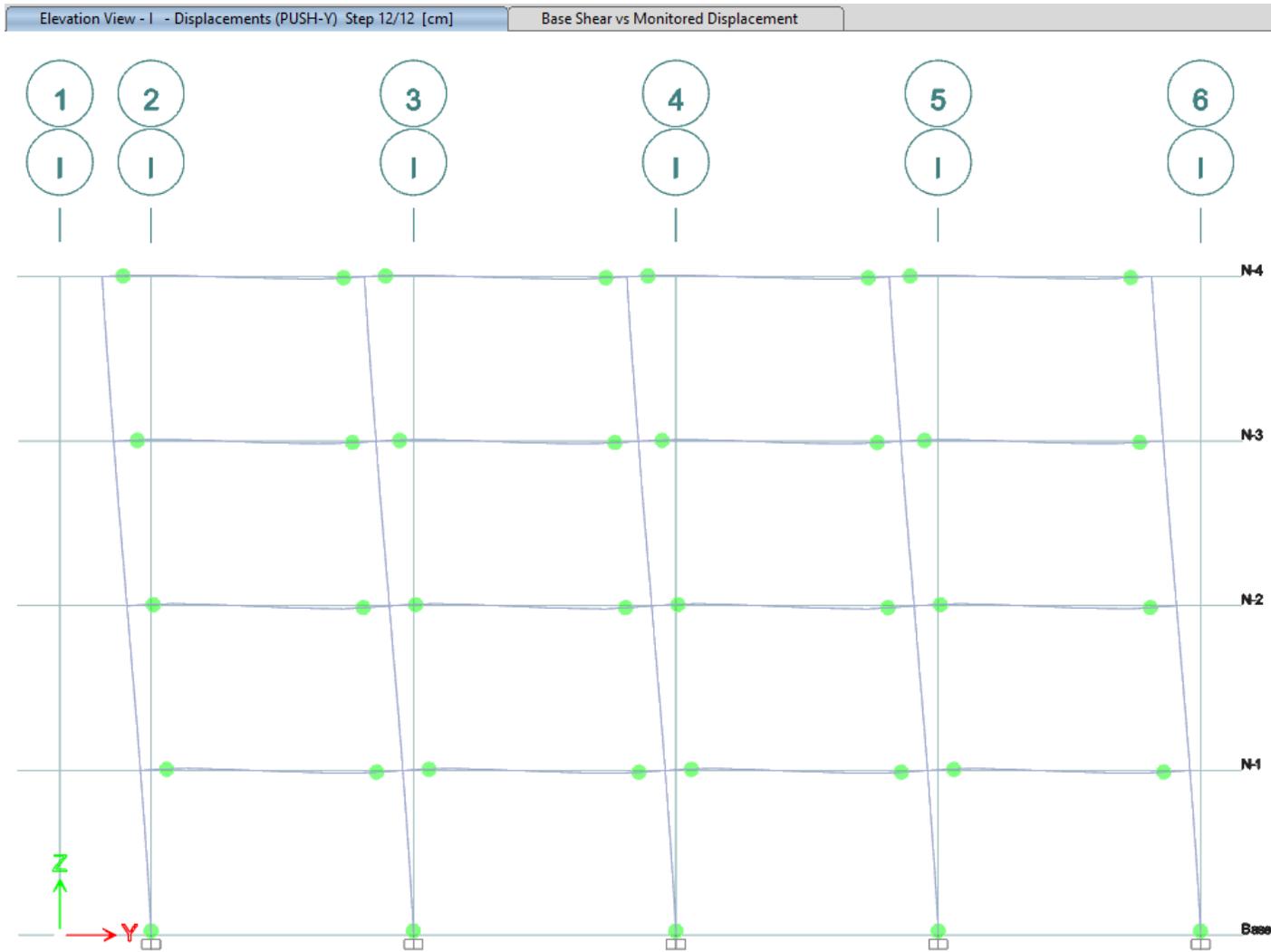


Figura 300 Articulación plástica eje I

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

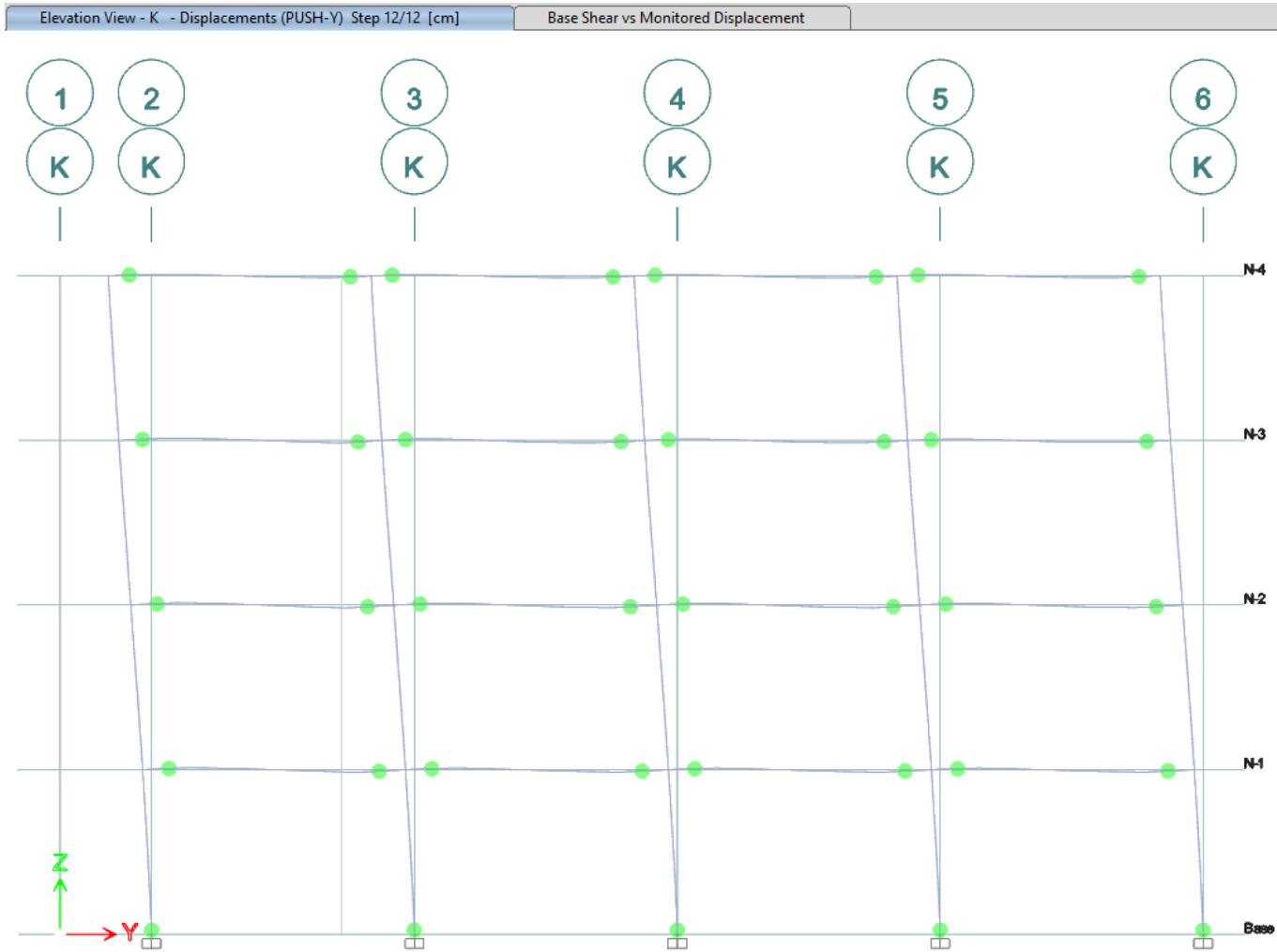


Figura 301 Articulación plástica eje K

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Figura 302 Articulación plástica eje M

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.2 Curva de capacidad dirección X

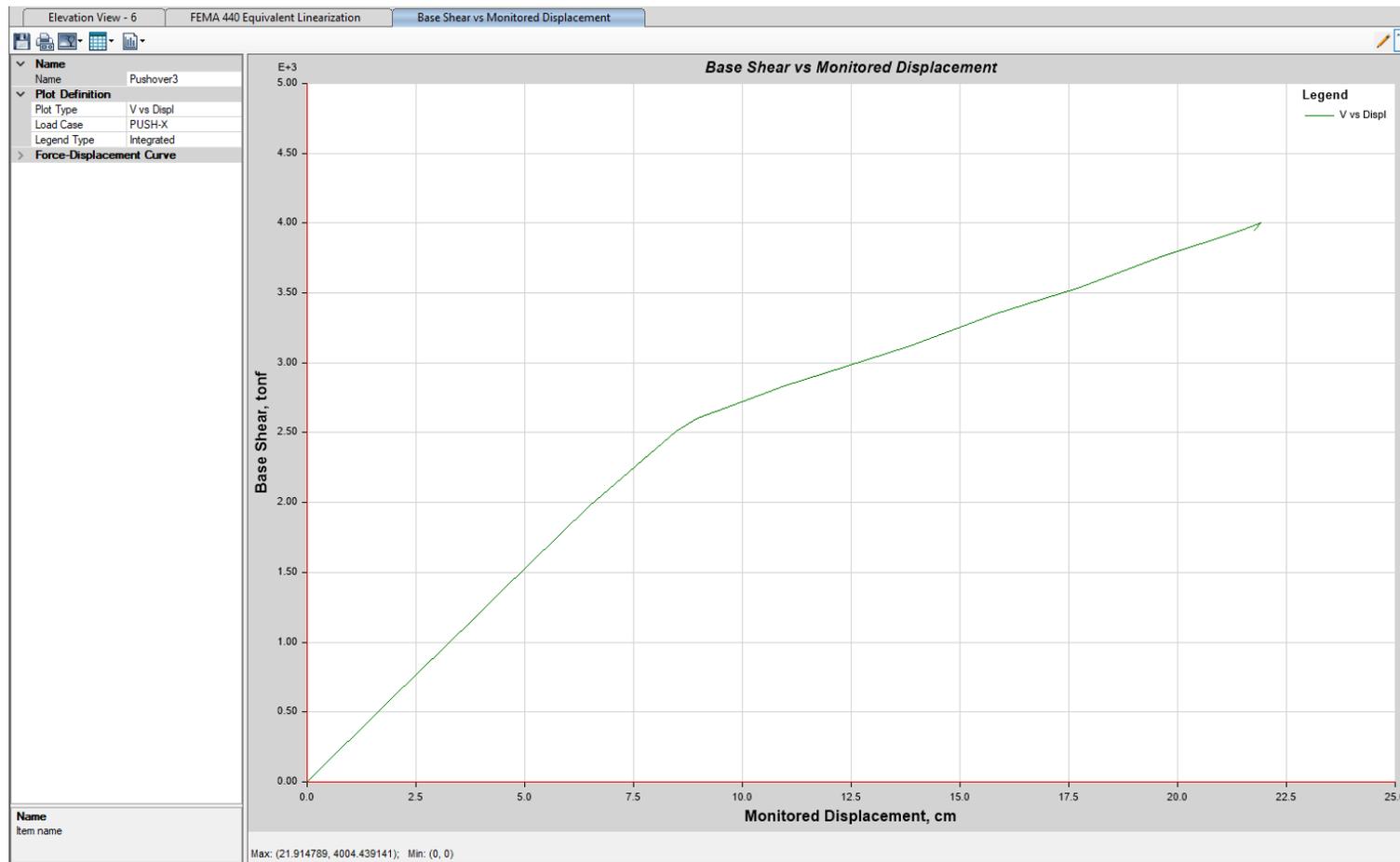


Figura 303 Curva de capacidad dirección X

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	cm	tonf										
0	0	0	602	0	0	0	0	602	0	0	0	602
1	1.92	588.0733	602	0	0	0	0	602	0	0	0	602
2	3.84	1176.1466	602	0	0	0	0	602	0	0	0	602
3	4.4292	1356.6154	601	1	0	0	0	602	0	0	0	602
4	6.4788	1972.9044	561	41	0	0	0	602	0	0	0	602
5	8.4883	2511.4164	414	188	0	0	0	602	0	0	0	602
6	8.9819	2604.552	357	245	0	0	0	602	0	0	0	602
7	10.971	2833.5165	300	302	0	0	0	591	0	0	11	602
8	13.8448	3121.5484	282	320	0	0	0	583	8	0	11	602
9	15.7648	3341.8643	282	320	0	0	0	535	48	0	19	602
10	17.6848	3534.5015	282	320	0	0	0	462	118	0	22	602
11	19.6048	3761.3067	282	320	0	0	0	388	192	0	22	602
12	21.5248	3955.6269	282	320	0	0	0	355	207	18	22	602
13	21.9148	4004.4391	282	319	1	0	0	339	223	18	22	602
14	21.7664	3951.7625	282	319	0	1	0	339	223	17	23	602

Figura 304 Cortante en la base vs desplazamientos (para graficar la curva de capacidad)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.3 Curva de capacidad dirección Y

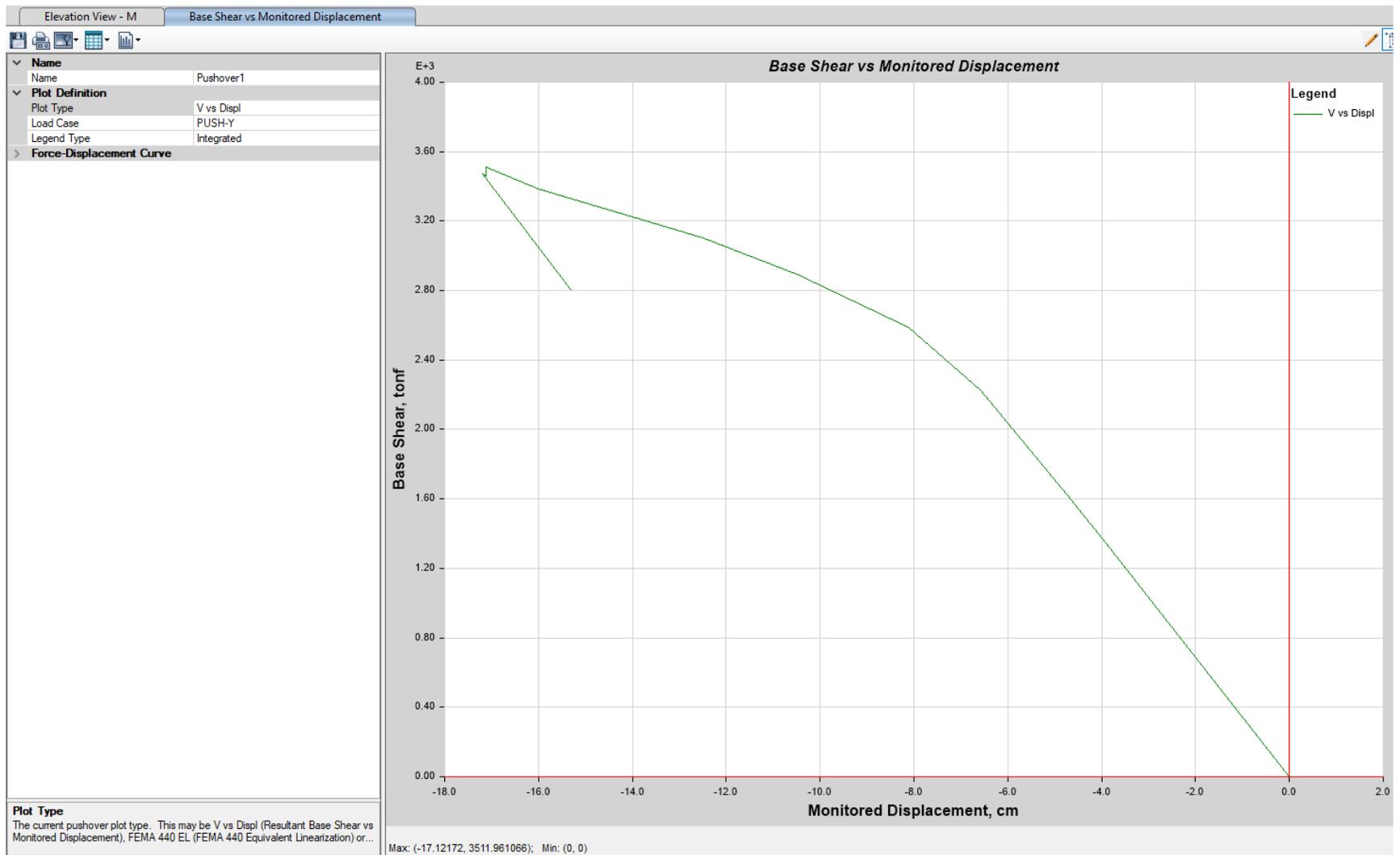


Figura 305 Curva de capacidad dirección Y

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement												
Step	Monitored Displ	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
	cm	tonf										
0	0	0	818	0	0	0	0	818	0	0	0	818
1	-1.92	660.4857	818	0	0	0	0	818	0	0	0	818
2	-3.84	1320.9714	818	0	0	0	0	818	0	0	0	818
3	-4.6464	1598.3662	816	2	0	0	0	818	0	0	0	818
4	-6.5741	2223.7957	738	80	0	0	0	818	0	0	0	818
5	-8.1152	2590.4863	645	173	0	0	0	818	0	0	0	818
6	-10.4887	2892.2595	598	220	0	0	0	816	0	0	2	818
7	-12.5004	3104.1172	566	252	0	0	0	793	22	0	3	818
8	-16.0167	3384.1098	562	256	0	0	0	737	73	4	4	818
9	-17.1217	3511.9611	562	255	1	0	0	718	89	7	4	818
10	-17.1223	3459.2553	562	255	0	0	1	718	88	7	5	818
11	-17.2074	3472.298	562	253	2	0	1	718	87	8	5	818
12	-15.3094	2806.5338	562	253	1	0	2	718	87	6	7	818

Figura 306 Cortante en la base vs desplazamientos (para graficar la curva de capacidad)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.4 Definición de sismo de servicio, diseño y máximo

Información tomada de: (INESA TECH, 2020)

Sismo de Servicio (SE): Nivel del movimiento del terreno con 50 % de probabilidad de excedencia en un periodo de 50 años. Periodo de retorno **T=75 años**. Se considera como un sismo frecuente, ya que puede ocurrir mas de una vez durante la vida útil de la estructura.

Sismo de Diseño (DE): Nivel del movimiento del terreno con 10 % de probabilidad de excedencia en un periodo de 50 años. Periodo de retorno **T=475 años**. Representa un movimiento sísmico poco frecuente, de intensidad entre moderada y severa y se considera que puede ocurrir cuando menos una vez durante la vida de la estructura.

Sismo Máximo (ME): Nivel del movimiento del terreno entre el 2 % y 5 % de probabilidad de excedencia en un periodo de 50 años. Periodo de retorno **T= entre 975 y 2475 años**.

Corresponde al máximo movimiento del terreno que puede ser esperado en el sitio donde se encuentra localizada la estructura. Es utilizado para el diseño de estructuras esenciales.

Probabilidad de ocurrencia vs. Periodo de retorno

La fórmula que relaciona la probabilidad de ocurrencia “p” durante un periodo de años “n” con el periodo de retorno “T” es la siguiente:

$$T = \frac{1}{1 - (1 - p)^{1/n}}$$

Relación entre aceleración del suelo y periodo de retorno:

Conocidos los valores de “a1,” T1” y “T2”, queda por determinar el valor “a2” a través de la siguiente expresión:

$$\frac{a2}{a1} = \left(\frac{T2}{T1}\right)^k$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.5 Factores de escala para la acción sísmica

Sismo de Diseño

$P_{\text{diseño}} := 0.1$ Probabilidad de excedencia del 10%

$n_{\text{diseño}} := 50$ Vida útil (años)

$a_{\text{diseño}} := 0.30 \cdot g = 2.942 \frac{m}{s^2}$

$T_{\text{diseño}} := \frac{1}{1 - (1 - P_{\text{diseño}})^{\frac{1}{n_{\text{diseño}}}}} = 475.061$ **Periodo de Retorno**

Sismo de Servicio

$P_{\text{servicio}} := 0.5$ Probabilidad de excedencia del 50%

$n_{\text{servicio}} := 50$ Vida útil (años)

$T_{\text{servicio}} := \frac{1}{1 - (1 - P_{\text{servicio}})^{\frac{1}{n_{\text{servicio}}}}} = 72.64$ **Periodo de Retorno**

$k := 0.4$

$a_{\text{servicio}} := \left(\frac{T_{\text{servicio}}}{T_{\text{diseño}}} \right)^k \cdot a_{\text{diseño}} = 1.39 \frac{m}{s^2}$

$F_{\text{servicio}} := \frac{a_{\text{servicio}}}{a_{\text{diseño}}} = 0.47$

Sismo de Máxima

$P_{\text{maximo}} := 0.05$ Probabilidad de excedencia del 5%

$n_{\text{maximo}} := 50$ Vida útil (años)

$T_{\text{maximo}} := \frac{1}{1 - (1 - P_{\text{maximo}})^{\frac{1}{n_{\text{maximo}}}}} = 975.29$ **Periodo de Retorno**

$k := 0.4$

$a_{\text{maximo}} := \left(\frac{T_{\text{maximo}}}{T_{\text{diseño}}} \right)^k \cdot a_{\text{diseño}} = 3.923 \frac{m}{s^2}$

$F_{\text{maximo}} := \frac{a_{\text{maximo}}}{a_{\text{diseño}}} = 1.33$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Sismo de Diseño

$P_{\text{diseño}} := 0.1$ Probabilidad de excedencia del 10%

$$a_{\text{diseño}} := 0.30 \cdot g = 2.942 \frac{m}{s^2}$$

$n_{\text{diseño}} := 50$ Vida útil (años)

Aceleración del sismo de diseño

$$T_{\text{diseño}} := \frac{1}{1 - (1 - P_{\text{diseño}})^{\frac{1}{n_{\text{diseño}}}}} = 475.061$$

Periodo de Retorno

Sismo de Servicio

$P_{\text{servicio}} := 0.5$ Probabilidad de excedencia del 50%

$n_{\text{servicio}} := 50$ Vida útil (años)

$$T_{\text{servicio}} := \frac{1}{1 - (1 - P_{\text{servicio}})^{\frac{1}{n_{\text{servicio}}}}} = 72.64$$

Periodo de Retorno

$$k := 0.4$$

$$a_{\text{servicio}} := \left(\frac{T_{\text{servicio}}}{T_{\text{diseño}}} \right)^k \cdot a_{\text{diseño}} = 1.39 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{\text{servicio}} := \frac{a_{\text{servicio}}}{a_{\text{diseño}}} = 0.47$$

Sismo de Máxima

$P_{\text{maximo}} := 0.065$ Probabilidad de excedencia del 6.5%

Nota: se Calculo para un F Máximo de 1.2 variando el P máximo a 6.5 %

$n_{\text{maximo}} := 50$ Vida útil (años)

$$T_{\text{maximo}} := \frac{1}{1 - (1 - P_{\text{maximo}})^{\frac{1}{n_{\text{maximo}}}}} = 744.45$$

Periodo de Retorno

$$k := 0.4$$

$$a_{\text{maximo}} := \left(\frac{T_{\text{maximo}}}{T_{\text{diseño}}} \right)^k \cdot a_{\text{diseño}} = 3.521 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{\text{maximo}} := \frac{a_{\text{maximo}}}{a_{\text{diseño}}} = 1.2$$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.6 Punto de desempeño dirección X, método del espectro de capacidad (FEMA-440)

5.23.6.1 Sismo de servicio

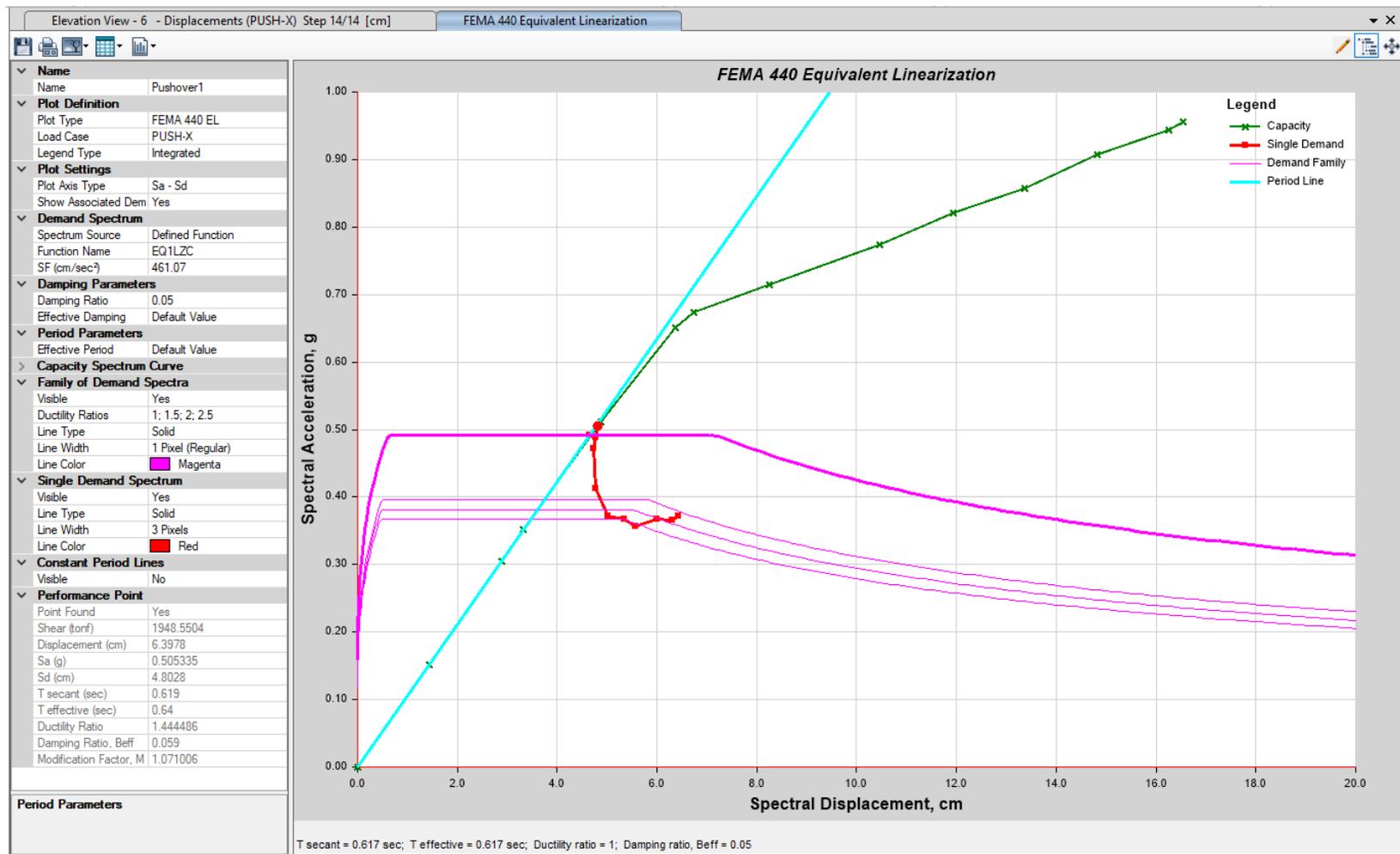


Figura 307 Punto de desempeño sismo de servicio, factor de escala =0.5 ($0.5 \times 981 = 461.07 \text{ cm/seg}^2$)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.6.2 Sismo de diseño

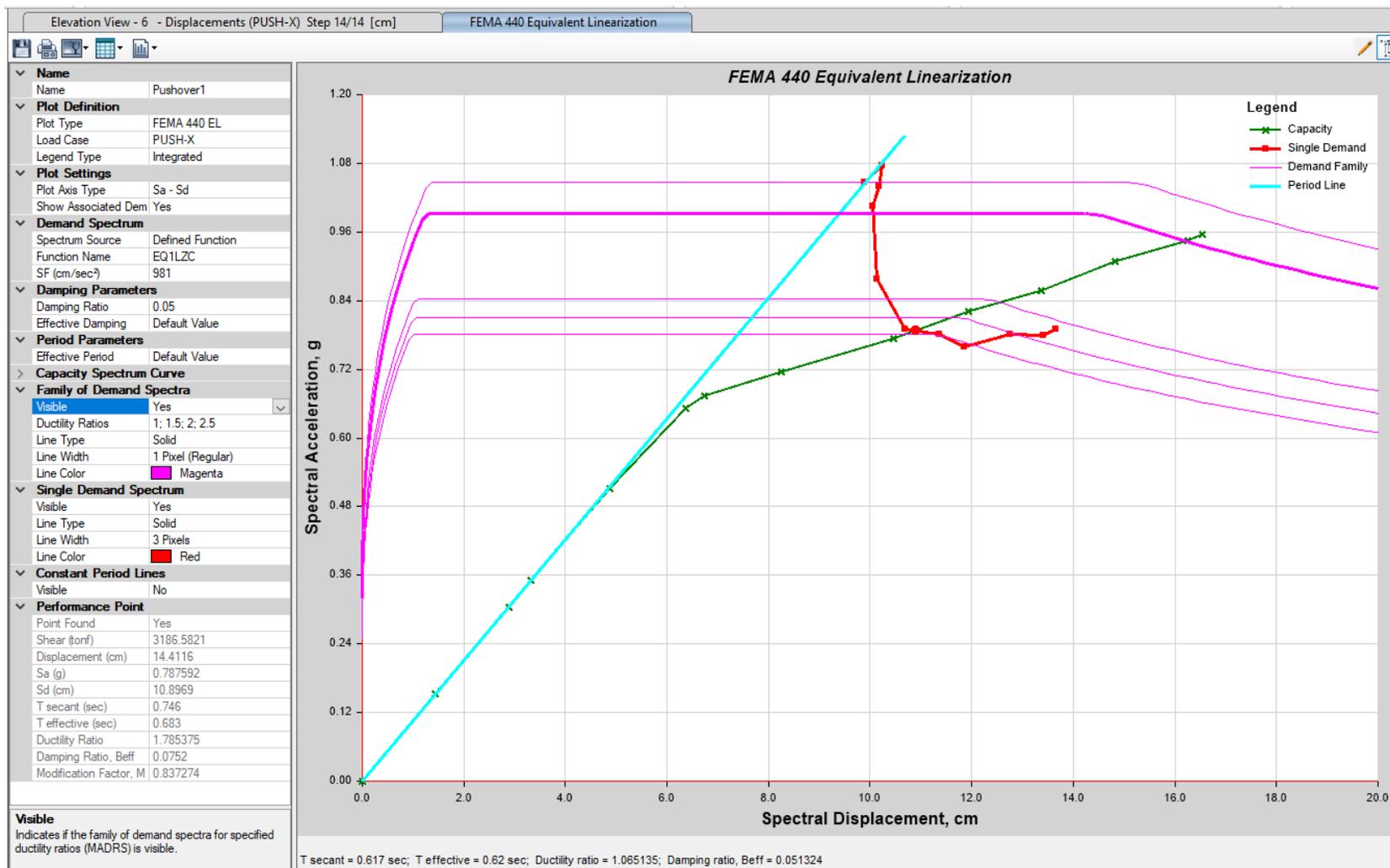


Figura 308 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala = 1 (1x981=981 cm/seg²)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.6.3 Sismo máximo

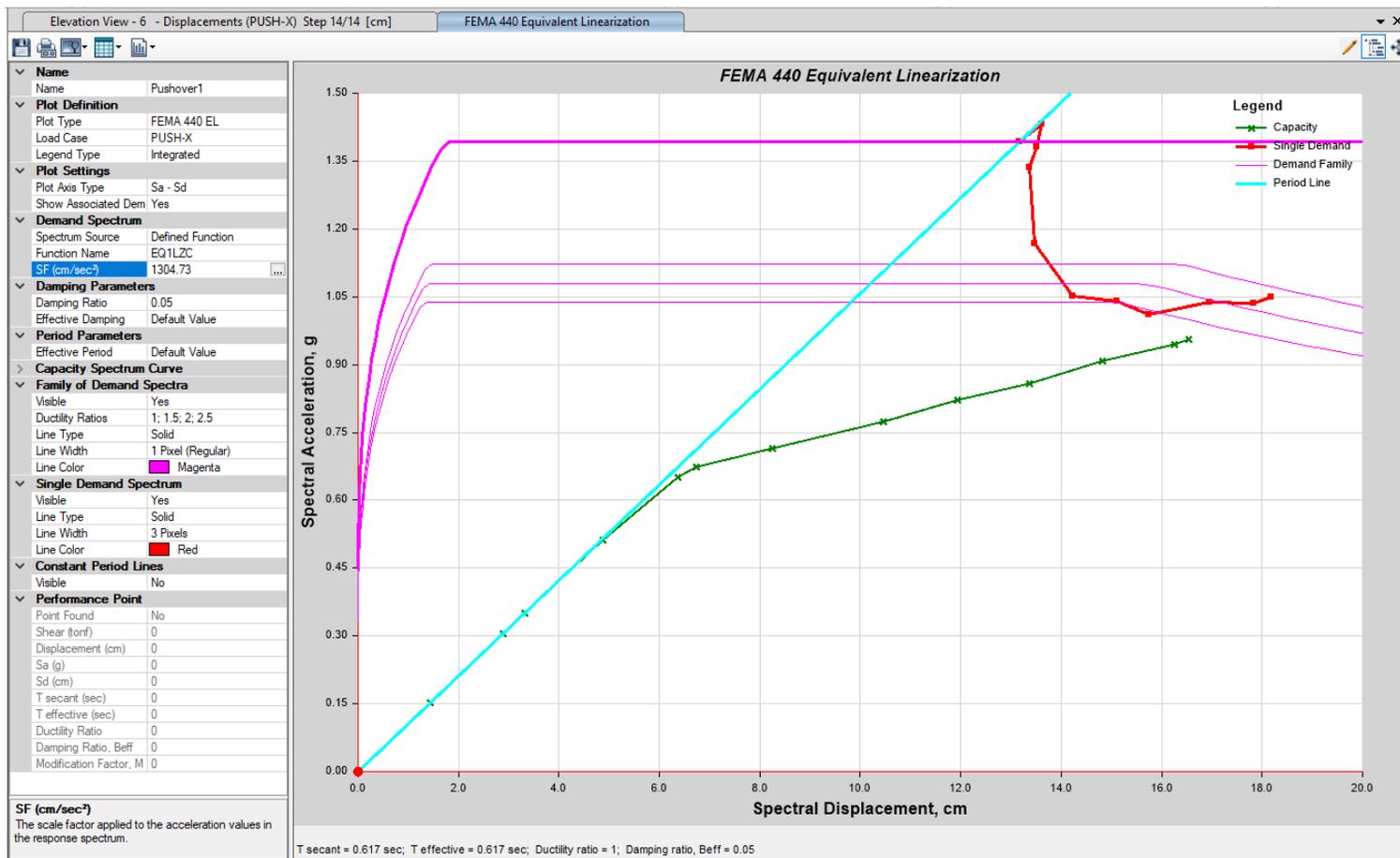


Figura 309 Punto de desempeño sismo máximo, factor de escala =1.33 (1.33x981=1304.73cm/seg² la curva de capacidad y demanda no se interceptan (no hay suficiente capacidad)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

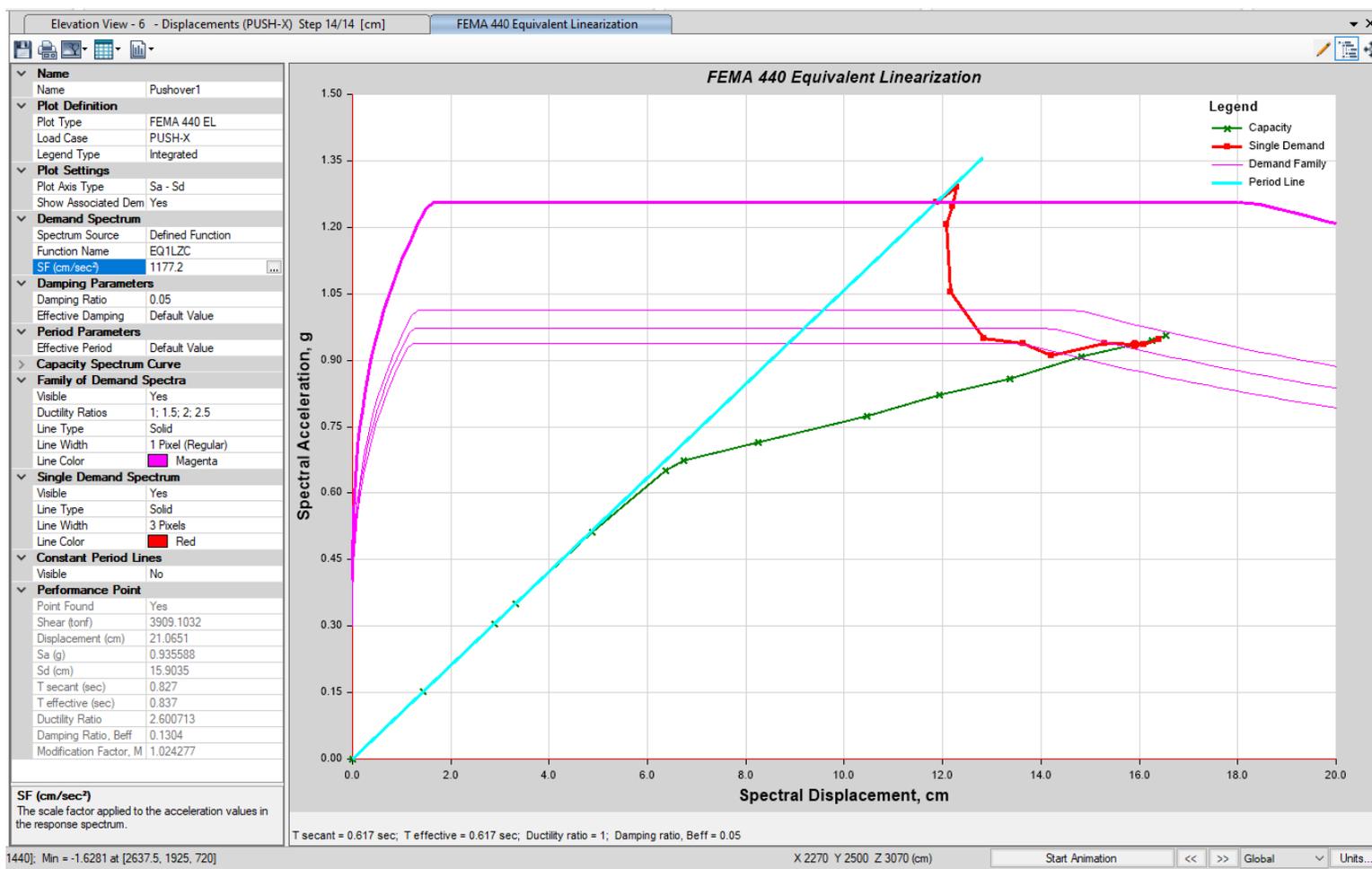


Figura 310 Punto de desempeño sísmo de máximo, factor de escala = 1.2 ($1.2 \times 981 = 1177.2 \text{ cm/seg}^2$), con este factor el sismo máximo tiene un periodo de retorno de 745 años y una probabilidad del 6.5 % en 50 años (ver factores de escala, sección 5.23.5)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.7 Punto de desempeño dirección X, método de los coeficientes (ASCE 41-13)

5.23.7.1 Sismo de servicio

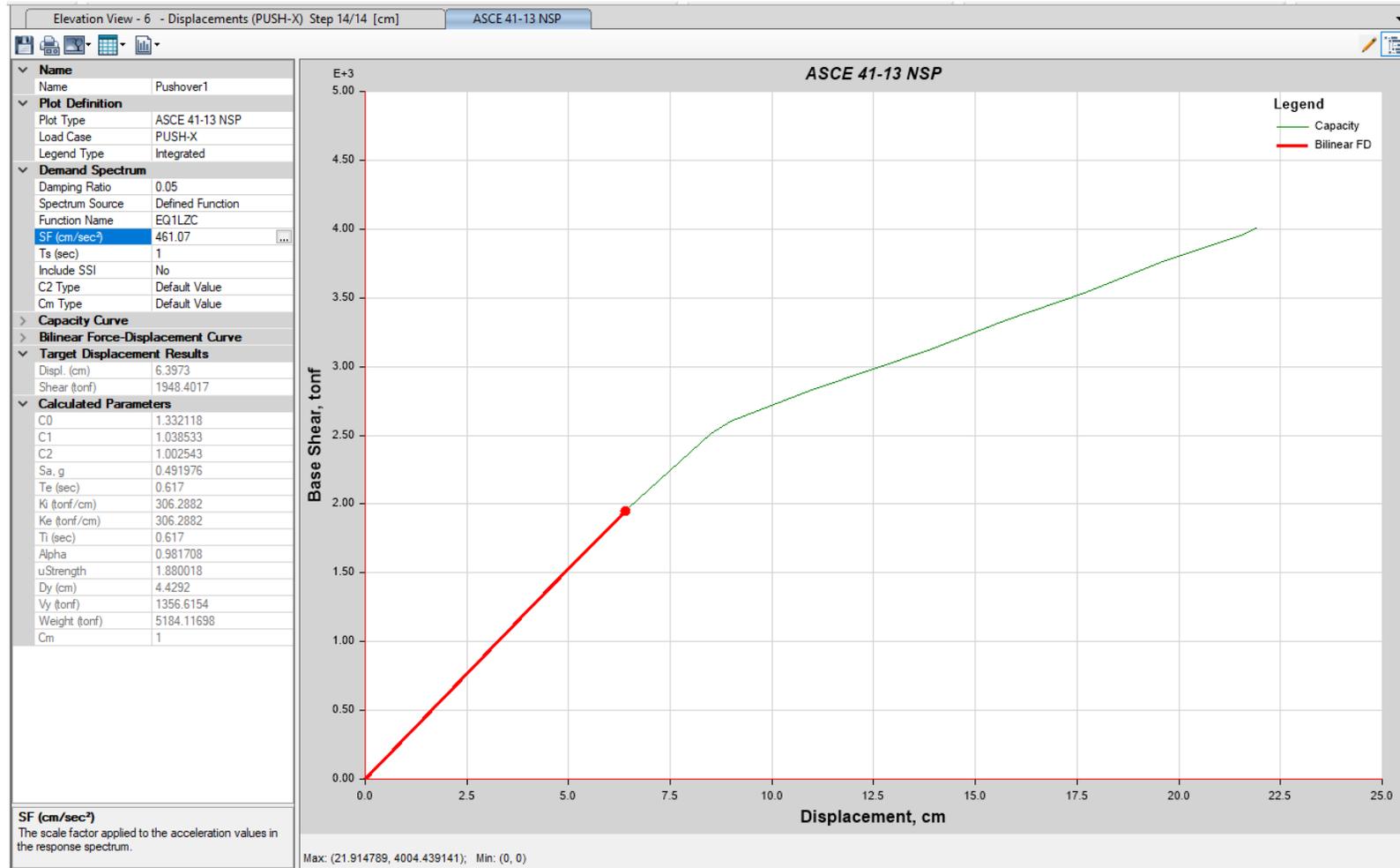


Figura 311 Punto de desempeño, sismo de servicio, factor de escala =0.5 (0.5x981=461.07 cm/seg2)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.7.2 Sismo de diseño

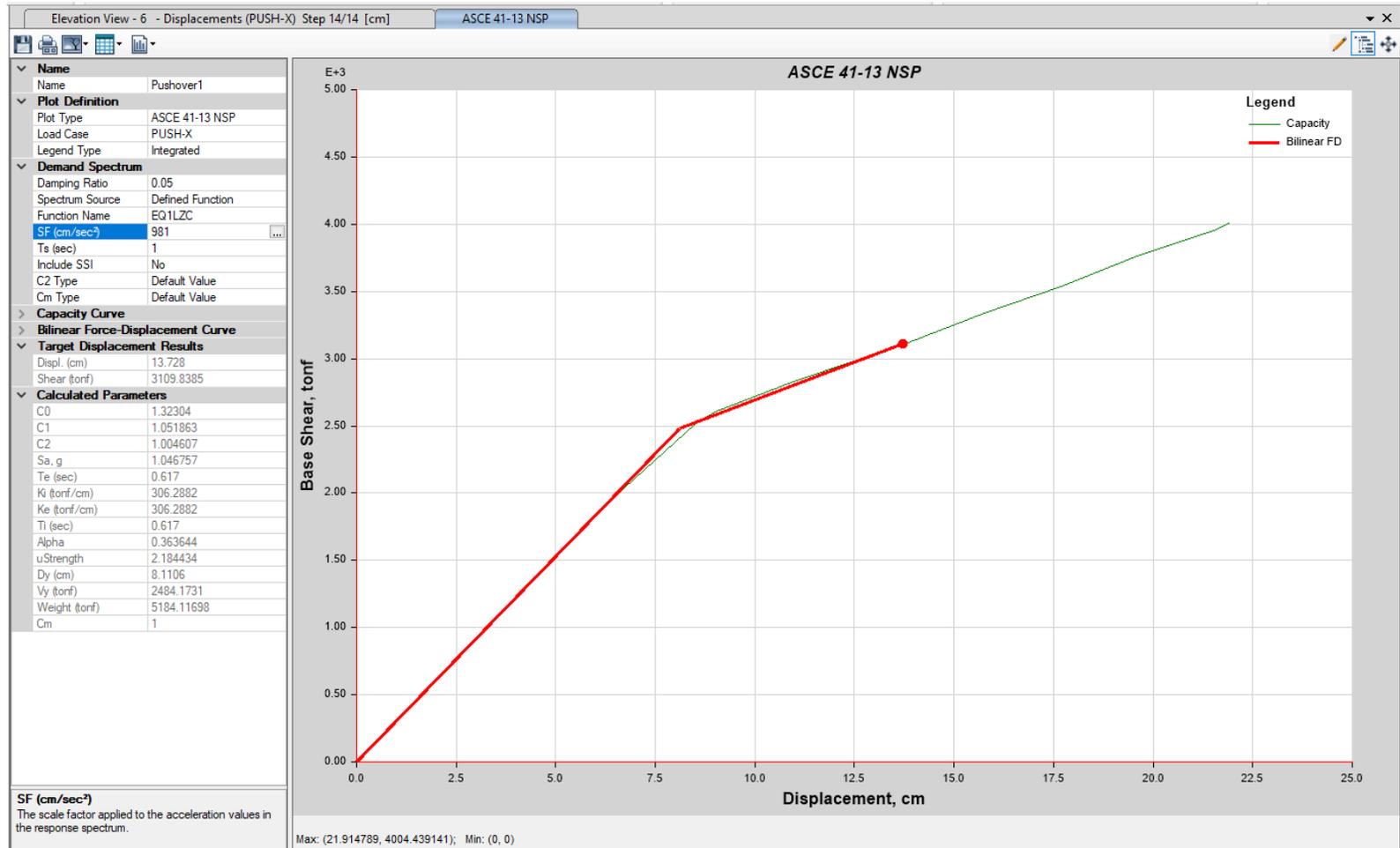


Figura 312 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala = 1 (1x981=981 cm/seg²)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.7.3 Sismo máximo

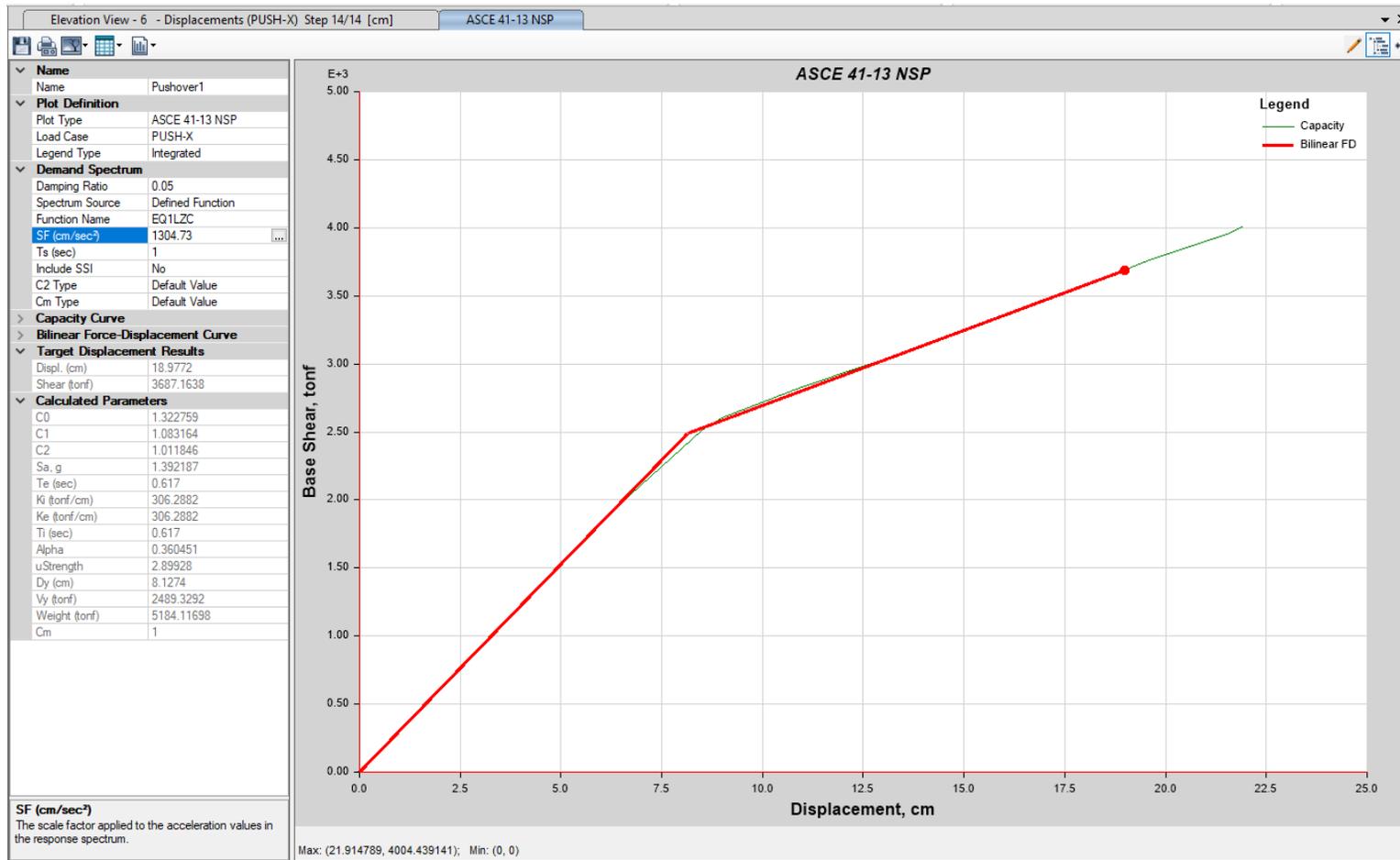


Figura 313 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala =1.33 (1.33x981=1304.73 cm/seg²)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

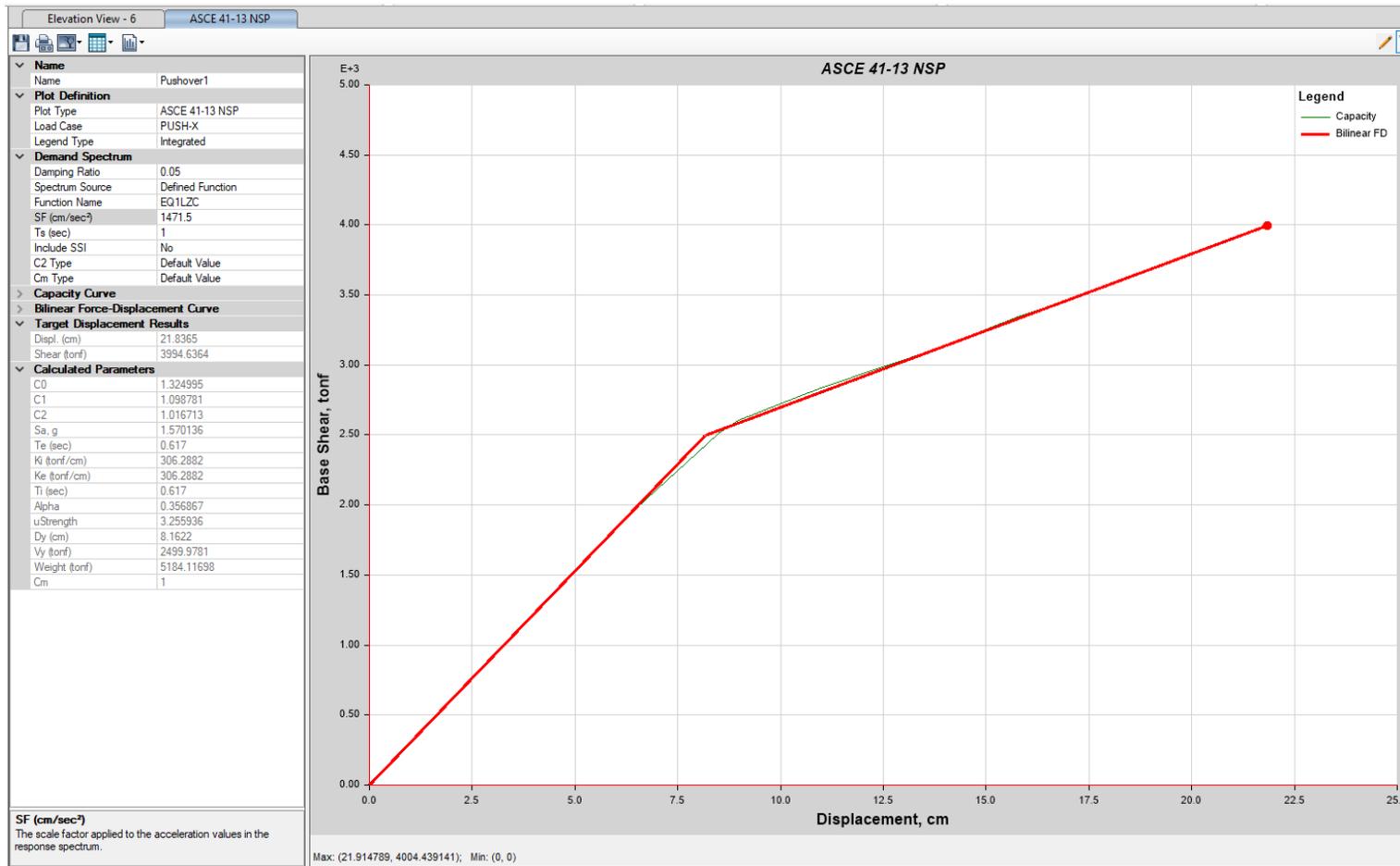


Figura 314 Punto de desempeño sismo máximo, factor de escala = 1.5 (1.5x981=1471.5 cm)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.8 Punto de desempeño dirección Y, método del espectro de capacidad (FEMA-440)

5.23.8.1 Sismo de servicio

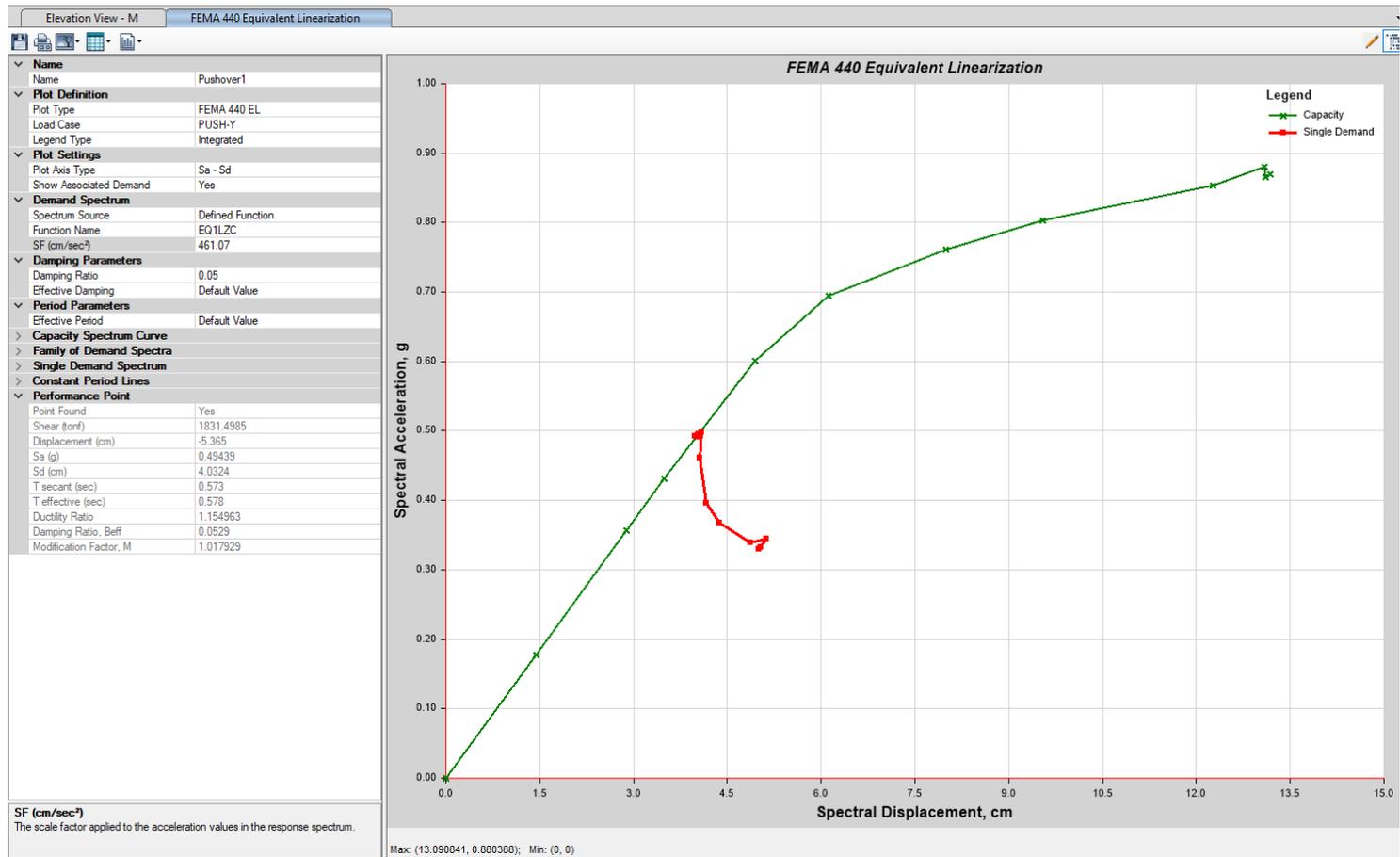


Figura 315 Punto de desempeño sismo de servicio, factor de escala =0.5 (0.5x981=461.07cm/seg2)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.8.2 Sismo de diseño

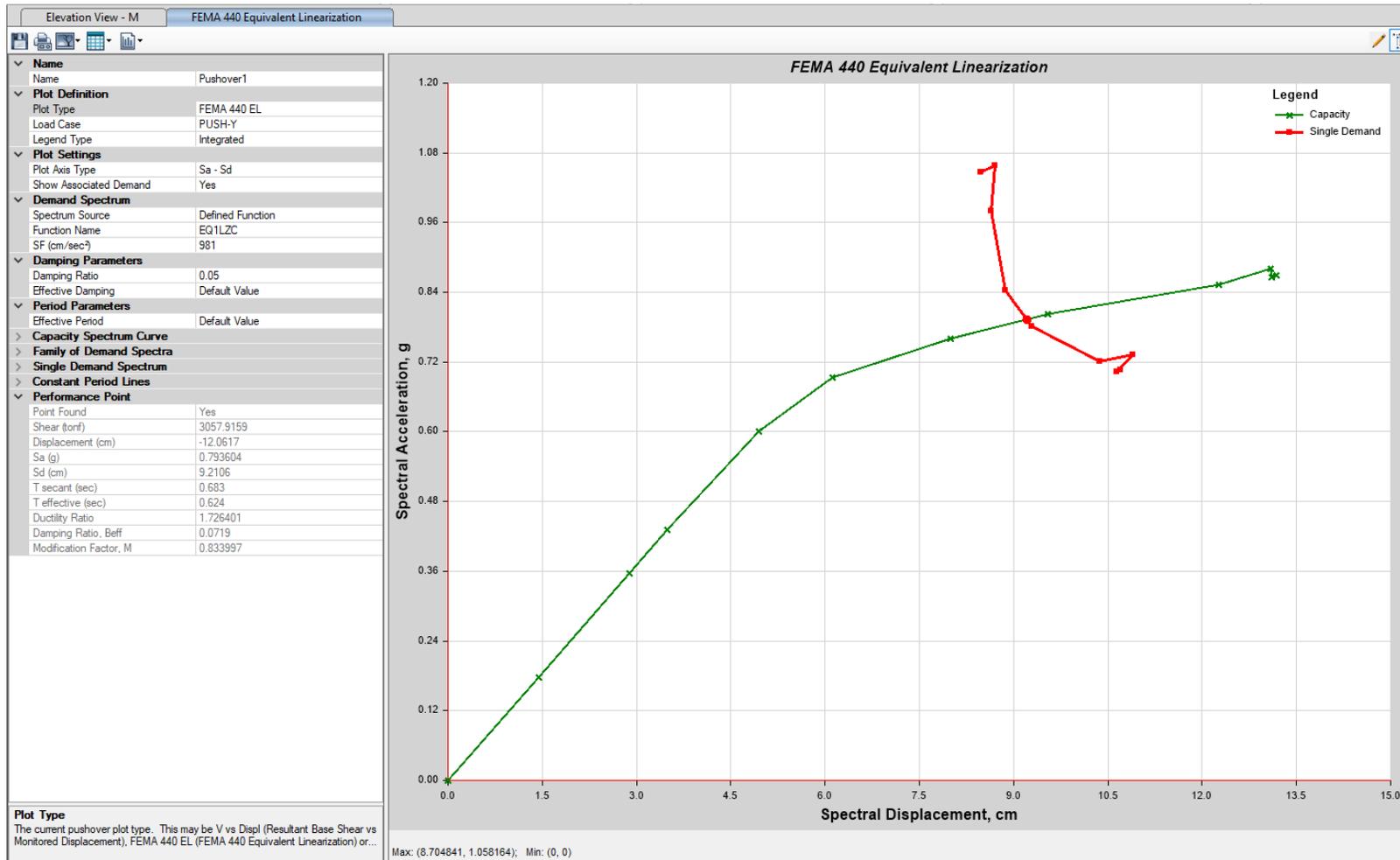


Figura 316 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala = 1 (1x981=981 cm/seg²)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.8.3 Sismo máximo

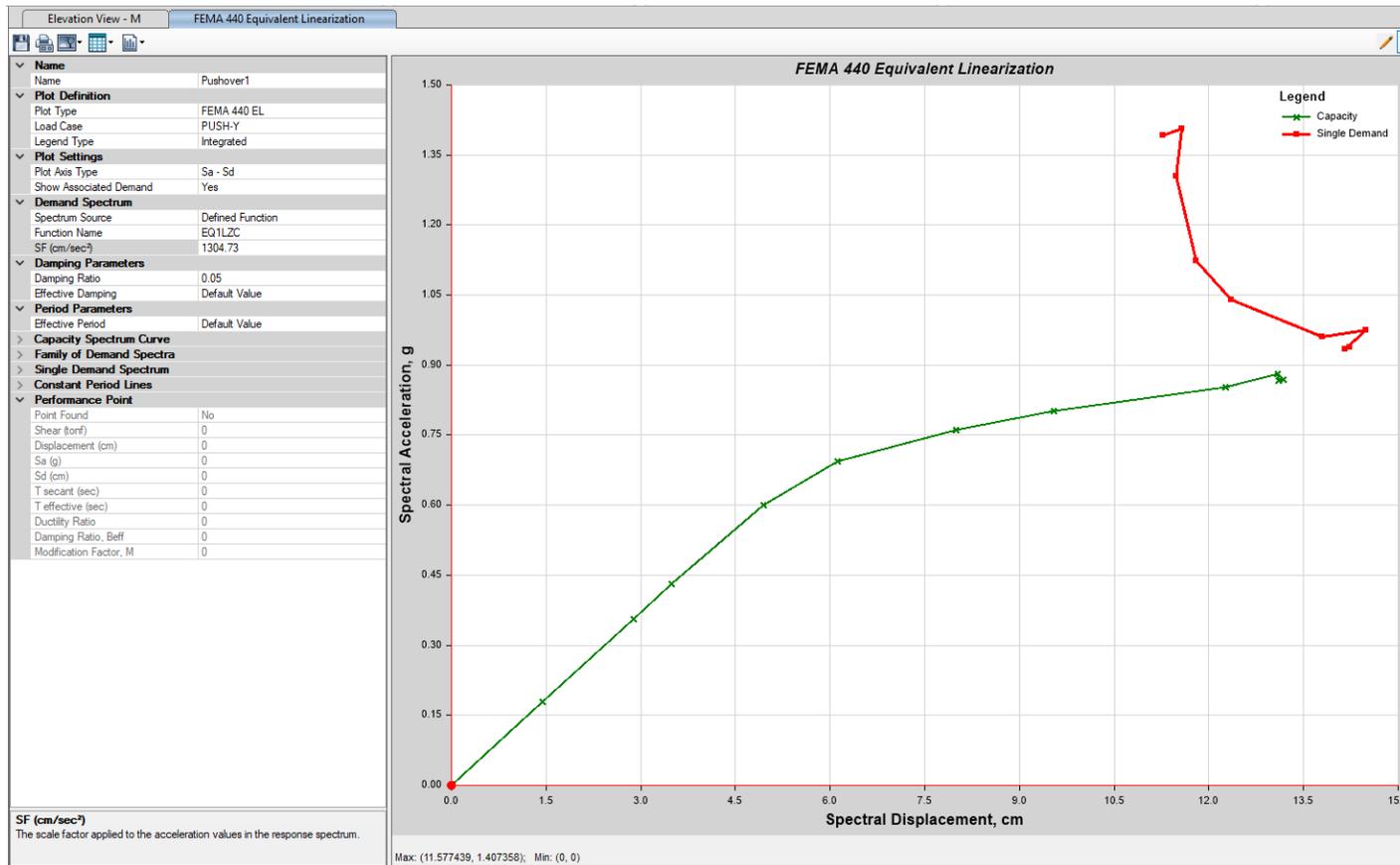


Figura 317 Punto de desempeño sismo máximo, factor de escala =1.33 ($1.33 \times 981 = 1304.73 \text{ cm/seg}^2$) la curva de capacidad y demanda no se interceptan (no hay suficiente capacidad)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

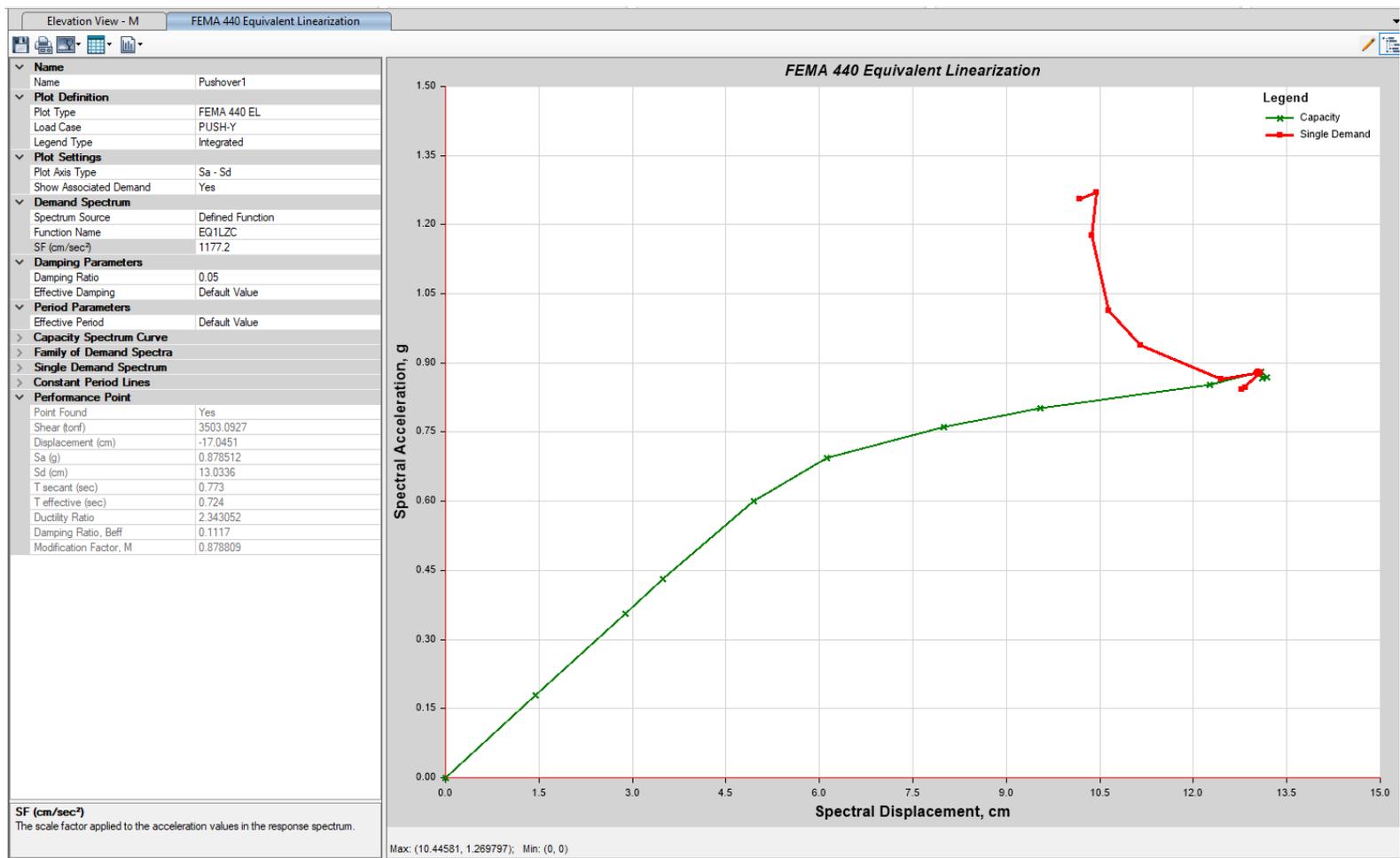


Figura 318 Punto de desempeño sismo de máximo, factor de escala = 1.2 ($1.2 \times 981 = 1177.2 \text{ cm/seg}^2$, con este factor el sismo máximo tiene un periodo de retorno de 745 años y una probabilidad del 6.5 % en 50 años (ver factores de escala sección 5.23.5)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.9 Punto de desempeño dirección Y, método de los coeficientes (ASCE 41-13)

5.23.9.1 Sismo de servicio

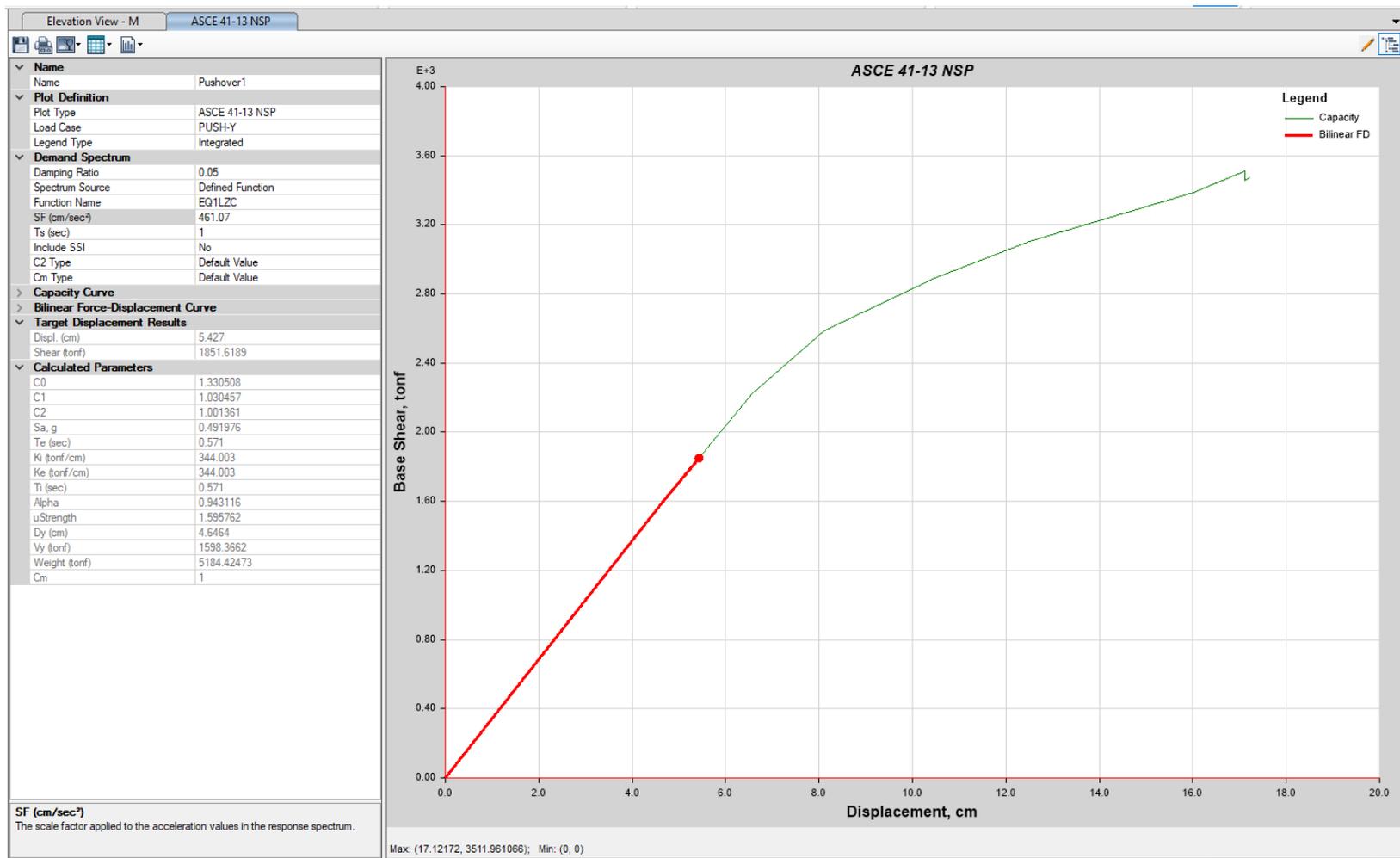


Figura 319 Punto de desempeño, sismo de servicio, factor de escala =0.5 ($0.5 \times 981 = 461.07$ cm/seg²)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.9.2 Sismo de diseño

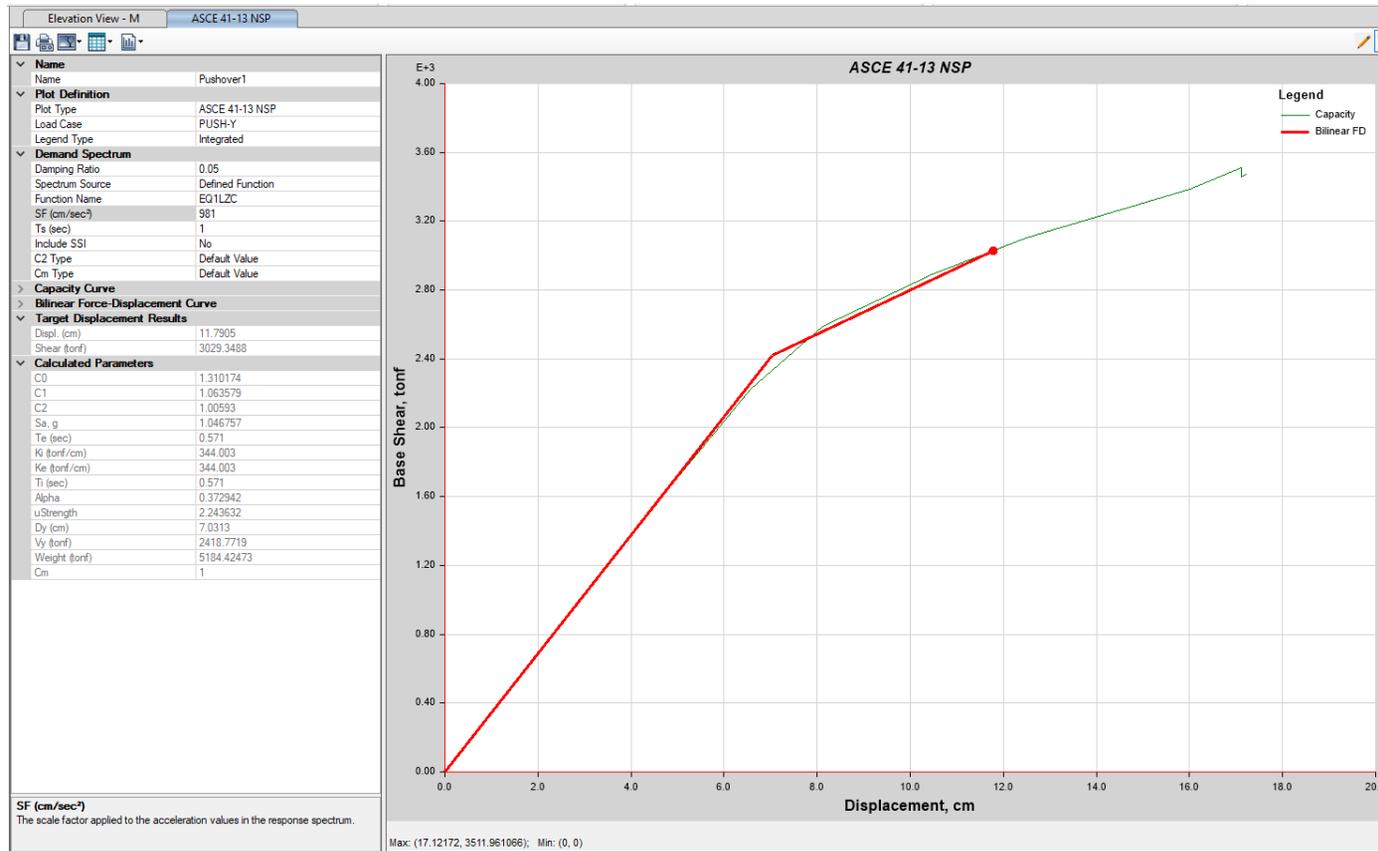


Figura 320 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala =1 (1x981=981 cm/seg²)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.23.9.3 Sismo máximo

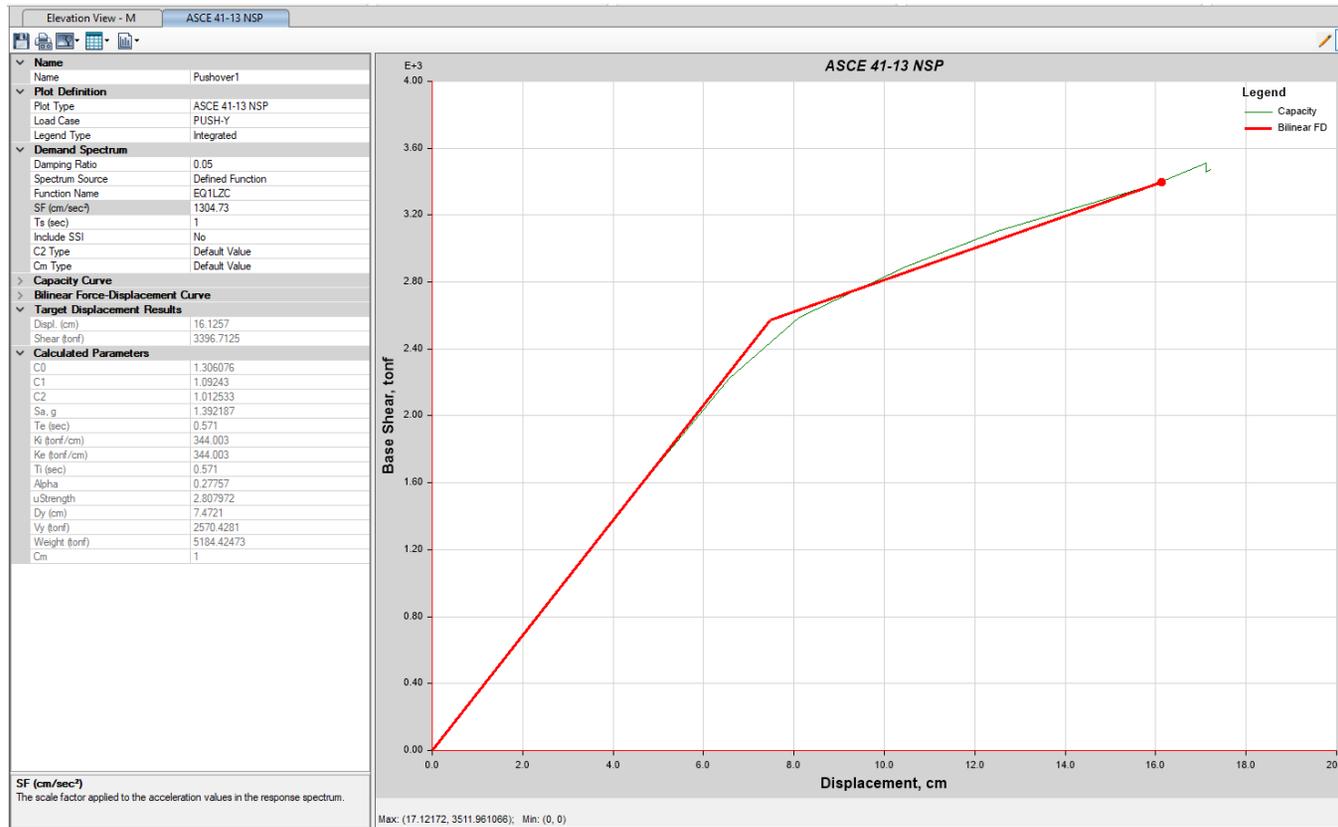


Figura 321 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala =1.33 (1.33x981=1304.73 cm/seg²)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

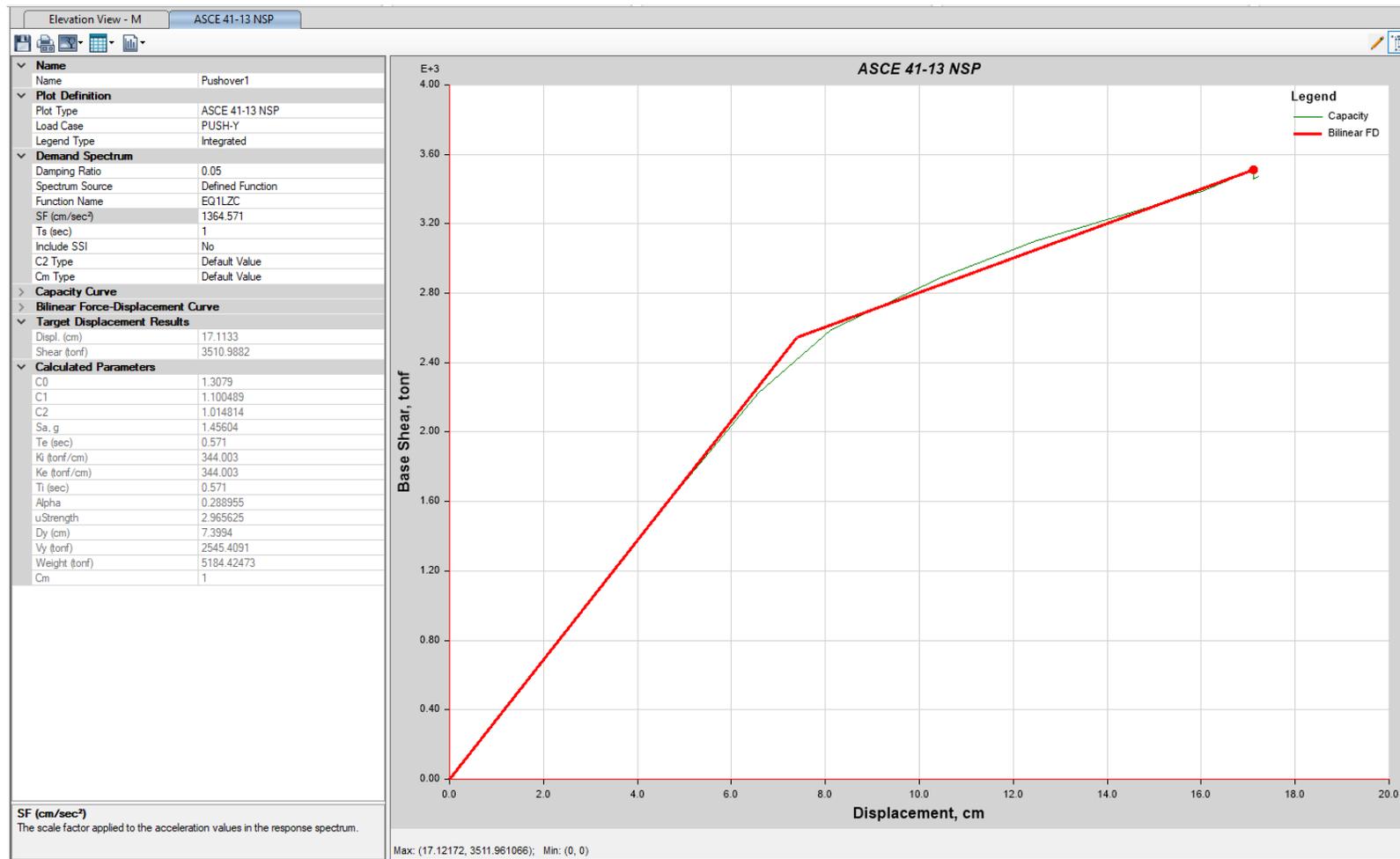
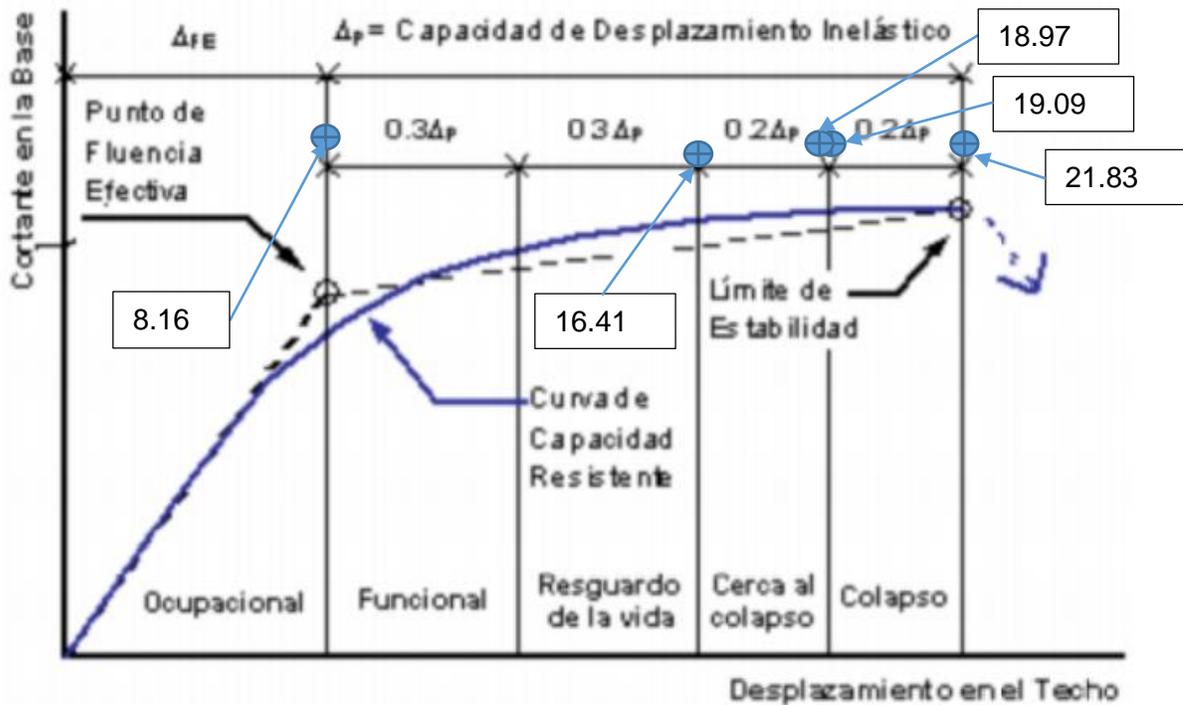


Figura 322 Punto de desempeño sismo máximo, factor de escala = 1.5 ($1.5 \times 981 = 1471.5 \text{ cm/seg}^2$)

5.23.10 Verificación del desempeño

Según la metodología del **SEAOC**, la curva de capacidad se puede dividir en sectores que se asocian a un estado de daño de la estructura, a fin de establecer la revisión de desempeño de la misma.

- La zona elástica (Δ_e) corresponde a un estado operacional de la estructura y se determina con el punto de fluencia efectiva mediante una idealización bilineal de la curva de capacidad.
- La zona inelástica (Δ_p) se divide en 4 partes, correspondiente a porcentajes de 30, 30, 20 y 20% a los que se asocian los cuatro últimos niveles de desempeño.



Sectorización de la curva de capacidad según SEAOC

Figura 323 Sectorización de la curva de capacidad (SEAOC)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

El sistema resistente a carga lateral no debe degradarse más del 20 % de su resistencia máxima

Table 11-2. Deformation Limits

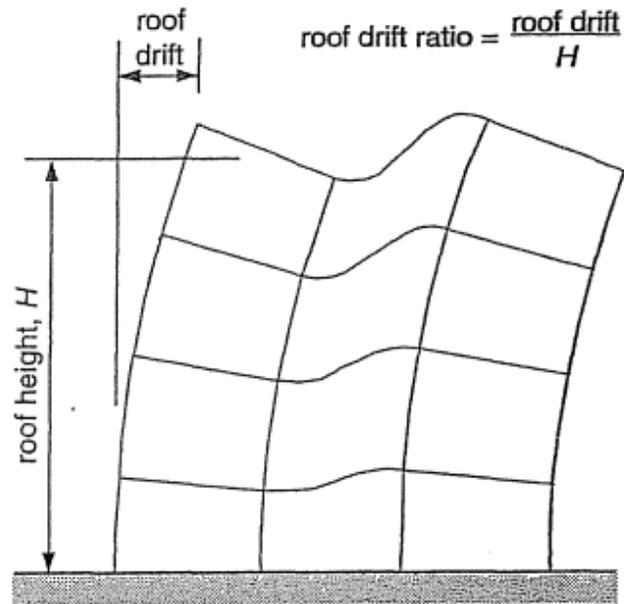
<i>Interstory Drift Limit</i>	<i>Performance Level</i>			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Maximum total drift	0.01	0.01 - 0.02	0.02	$0.33 \frac{V_i}{P_i}$
Maximum inelastic drift	0.005	0.005 - 0.015	no limit	no limit

Figura 324 Limites de deformación

Fuente ATC-40 (1996)

La máxima deriva del tope se define como la deriva de entrepiso en el valor de desplazamiento que corresponde al punto de desempeño; y la deriva inelástica, como la porción de la máxima deriva del tope más allá del punto de cedencia efectivo. En este caso “Vi” representa la fuerza de corte total en el nivel i, mientras que “Pi” representa la carga gravitacional total (permanente y variable) para el mismo nivel

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

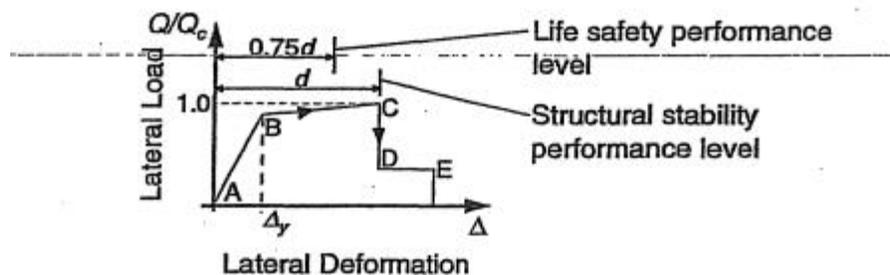


Roof Drift and Roof Drift Ratio

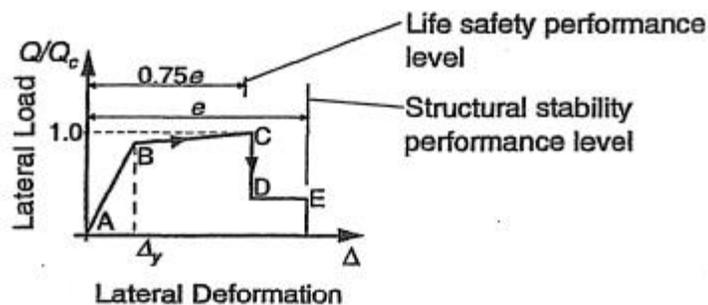
Figura 325 Deriva del tope=desplazamiento. de tope/H

En relación a los componentes, para los niveles de desempeño establecidos, no está permitido que las deformaciones calculadas en los mismos excedan los límites de deformación. Debe medirse en la relación multilineal carga-deformación definida para cada componente. El criterio de aceptabilidad en términos de deformación, debe establecerse como sigue:

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



(a) Primary Actions, Components and Elements



(b) Secondary Actions, Components and Elements

Figure 11-1. Typical Load-Deformation Acceptance Criteria

Figura 326 Criterios de aceptación carga deformación típica

Fuente: ATC-40 (1996)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

1. Instalaciones básicas. 2. Instalaciones esenciales 3. Inst. Seguridad crítica. 0. Desempeño inaceptable.		<i>Nivel de desempeño sísmico</i>			
		<i>Totalmente Operacional</i>	<i>Operacional</i>	<i>Seguridad</i>	<i>Colapso</i>
<i>Nivel del movimiento sísmico.</i>	<i>Frecuente (T=43 años)</i>	1	0	0	0
	<i>Frecuente (T=72 años)</i>	2	1	0	0
	<i>Frecuente (T=475 años)</i>	3	2	1	0
	<i>Frecuente (T=970 años)</i>	-	3	2	1

Figura 327 Niveles recomendados de desempeño sísmico esperados para estructuras

(SEAOC ,1995) citado por: (Silva, 2018)

<i>Nivel del movimiento del terreno</i>	<i>Nivel de desempeño de la edificación</i>			
	<i>Operacional</i>	<i>Inmediata Ocupación</i>	<i>Seguridad Vital</i>	<i>Estabilidad Estructural</i>
<i>Servicio (SS)</i>				
<i>Diseño (SD)</i>			X	
<i>Máximo(SM)</i>				X

Figura 328 Nivel de desempeño esperado: criterio de seguridad básica para estructuras convencionales

(ATC-40,1996) citado por: (Silva, 2018)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

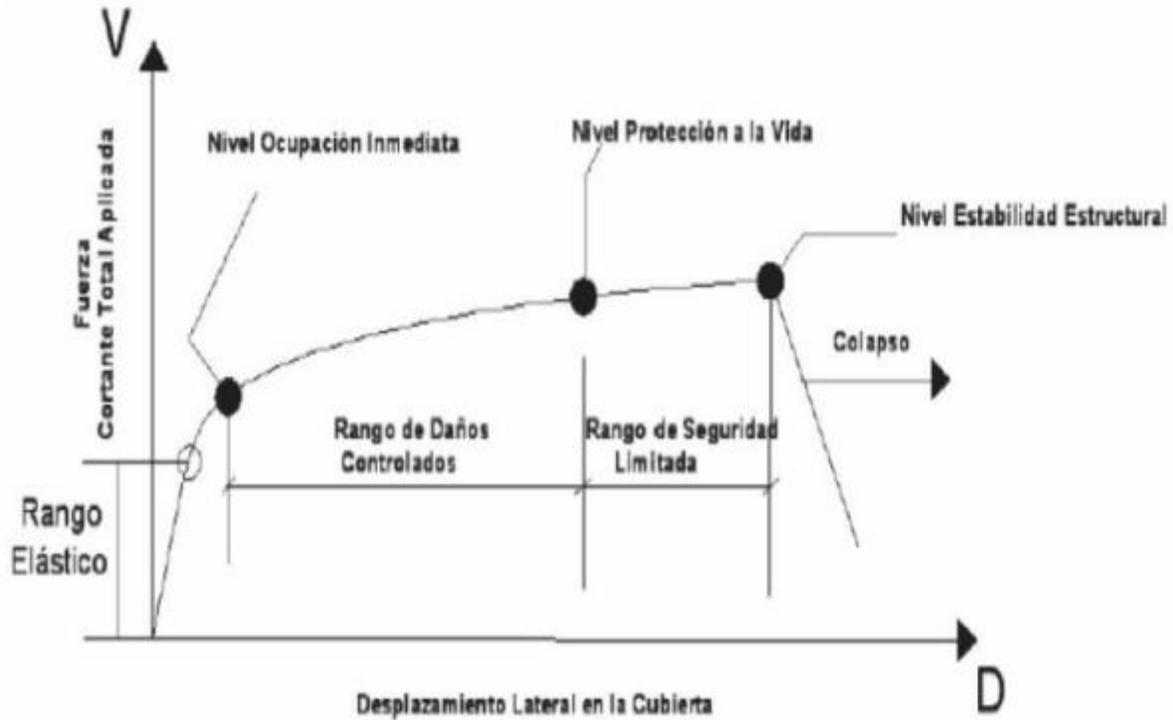


Figura 329 Niveles de desempeño según ATC-40,1996 citado por (Silva, 2018)

5.24 Criterios de aceptabilidad

Nivel de desempeño	Deriva de entrepiso
	(% altura de entrepiso)
Totalmente operacional	0.2
Operacional	0.5
Seguridad	1.5
Próximo al colapso	2.5
Colapso	>2.5

Figura 330 Valores límites de la deriva máxima de entrepiso para los niveles de desempeño

(SEAOC VISION 2000,1995)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.24.1 Control de derivas

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Metodo espectro de capacidad FEMA 440 Direccion-X							
2								
3	Sismo de Servicio							
4								
5	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	Limite de la Deriva
6	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
7	1440	6.39	0.004	4.80	1.33	0.003	0.001	0.005
8								
9	Sismo de Diseño							
10								
11	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	
12	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
13	1440	14.41	0.010	8.11	1.78	0.006	0.004	0.015
14								
15	Sismo de Maximo							
16								
17	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	
18	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
19	1440	21.06	0.015	8.13	2.59	0.006	0.009	0.025
20								
21	Nota:	Para este sismo la demanda fue mayor y se mostraron resultados ,la derivas para el sismo maximo se tomo para un factor de 1.2 en lugar de 1.33, que le corresponde un periodo de retorno de 745 años con una probabilidad de excedencia de 6.5 % , en una vida util de 50 años						

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Metodo de los Coeficientes ASCE 41-13 Direccion-X							
2								
3	Sismo de Servicio							
4								
5	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	Limite de la Deriva
6	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
7	1440	6.39	0.004	4.42	1.45	0.003	0.001	0.005
8								
9	Sismo de Diseño							
10								
11	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	
12	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
13	1440	13.73	0.010	8.11	1.69	0.006	0.004	0.015
14								
15	Sismo de Maximo							
16								
17	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	
18	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
19	1440	18.97	0.013	8.13	2.33	0.006	0.008	0.025

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Metodo espectro de capacidad FEMA 440 Direccion-Y							
2								
3	Sismo de Servicio							
4								
5	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	Limite de la Deriva
6	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
7	1440	5.36	0.004	4.03	1.33	0.003	0.001	0.005
8								
9	Sismo de Diseño							
10								
11	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	
12	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
13	1440	12.06	0.008	9.21	1.31	0.006	0.002	0.015
14								
15	Sismo de Maximo							
16								
17	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	
18	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
19	1440	17.04	0.012	12.98	1.31	0.009	0.003	0.025
20								
21	Nota:	Para este sismo la demanda fue mayor y se mostraron resultados ,la derivas para el sismo maximo se tomo para un factor de 1.2 en lugar de 1.33, que le corresponde un periodo de retorno de 745 años con una probabilidad de excedencia de 6.5 % , en una vida util de 50 años						

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Metodo de los coeficientes ASCE 41-13 Direccion Y							
2								
3	Sismo de Servicio							
4								
5	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	Limite de la Deriva
6	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
7	1440	5.42	0.004	4.64	1.17	0.003	0.001	0.005
8								
9	Sismo de Diseño							
10								
11	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	
12	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
13	1440	11.79	0.008	7.03	1.68	0.005	0.003	0.015
14								
15	Sismo de Maximo							
16								
17	Altura al tope Edificio	Desplazamiento del punto de desempeño	Deriva Total	Desplazamiento Cedente	Ductilidad	Deriva elastica	Deriva Inelastica	
18	H (cm)	Dpd (cm)	Dt =Dpd/H	Dc (cm)		De (cm)	Di (cm)	
19	1440	16.13	0.011	7.44	2.17	0.005	0.006	0.025

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5.24.2 Evaluación de resultados

De acuerdo a la capacidad elástica de la curva idealizada, el desplazamiento máximo de la curva es de 21.83 cm (ver figura 307)

$$\Delta_p = 21.83 - 8.16 = 13.67$$

ver figura 323 donde se muestra la sectorización de la curva de capacidad (SEAOC 2000)

- Desplazamiento en el punto de fluencia = 8.16 cm (ver figura 307)
- Desplazamiento para resguardo de vida = $8.16 + 0.6 * 13.67 = 16.41$ cm.
- Desplazamiento cerca del colapso = $8.16 + 0.8 * 13.67 = 19.096$ cm
- Desplazamiento en el colapso = 21.83 cm

Las derivas indicadas en el punto 5.24.1 cumplen los límites establecidos en SEAOC VISION 2000 y ATC-40 para **un objetivo básico** (por ser un edificio para oficinas) y como el desplazamiento del sismo máximo es 18.97 cm. cae dentro del rango cerca del colapso, ver figura 323, por lo tanto, el edificio **cumple**.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Capítulo 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se realizó el análisis y diseño estructural de una edificación de cuatro niveles empleando criterios de desempeño. Los resultados permiten obtener las siguientes conclusiones:

- El diseño por desempeño sísmico busca estimar la demanda de desplazamientos de una estructura, y con ello controlar los daños esperados en su vida útil.
- El diseño por desempeño no está solo orientado a la prevención del colapso de la estructura para evitar la pérdida de vidas.
- Esta metodología considera criterios de funcionalidad de acuerdo a las actividades que se desarrollan en cada edificación.
- Además de los objetivos que se deben de cumplir, de acuerdo con ATC-40 y SEAOC VISION 2000, (objetivo básico, objetivo esencial peligroso objetivo de seguridad crítica) se pueden definir objetivos adicionales dependiendo del contenido y uso de la edificación.
- Si el costo de los contenidos es muy importante, el incremento del costo del edificio al cambiar el objetivo de comportamiento, podría ser irrelevante comparado con el costo de la pérdida de contenidos y de los costos indirectos.
- El desempeño esperado es importante que se comprenda claramente y de forma precisa por el cliente y el proyectista estructural cuando se defina el objetivo deseado.
- Para trabajar con criterios de desempeño se deben usar métodos no lineales. En este trabajo se utilizó el análisis estático no lineal (pushover), aunque también podría utilizarse el análisis dinámico no lineal.
- Al determinar la curva de capacidad, es posible observar el comportamiento del edificio como función de la demanda de desplazamientos. La curva muestra la formación de articulaciones plásticas y permite determinar el colapso, u otro estado límite de la

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

estructura, a través de analizar las deformaciones, derivas o las demandas de rotación en los elementos.

- Los cálculos en los análisis estáticos no lineales son más rápidos y sencillos que los del análisis dinámico no lineal. Este último debería usarse cuando la importancia de la estructura, la irregularidad o los contenidos justifiquen su uso.
- En las últimas décadas, se han realizado diversas propuestas para mejorar el uso del método de análisis estático no lineal. Aunque existe un número importante de reglamentos en el mundo que ya lo incluyen en sus normas, no se ha incluido en México en forma generalizada.
- Es de esperarse que en un futuro cercano sea incorporado en la reglamentación de diseño sísmico en nuestro país, ya que es una herramienta que permite diseñar estructuras empleando criterios de desempeño, que el método basado en fuerzas que se usa actualmente, no permite realizar.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Bibliografía

- Alonzo, R. A. (Septiembre de 2016). Tesis de Maestría: Cálculo sísmico de estructuras convencionales de edificación aplicando métodos lineales y no lineales, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela superior de ingenieros industriales. Madrid, España.
- ASCE/SEI 41-13. (2014). *ASCE/SEI 41-13: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Reston.
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Volume Seismic Safety Commission*. California.
- Bazán, E., & Meli, R. (1998). *Diseño Sísmico de Edificios*. Mexico: LIMUSA.
- Cañizares, F. (Junio de 2016). *Diferencia entre espectro de respuesta (ER) y espectro de diseño (ED)*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/308749559>.
- CENAPRED. (Febrero de 2012). *Atlas de riesgo Lázaro Cárdenas Michoacán*. Obtenido de https://www.academia.edu/37495513/ATLAS_DE_RIESGOS_LAZARO_CARDENAS.
- CFE. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles Diseño por Sismo, Comisión Federal de Electricidad (Prodisis 2008)*. México.
- CFE. (2015). *Manual de Diseño de Obras Civiles, Comisión Federal de Electricidad (Prodisis 2015)*. México.
- Chopra, A. K. (2001). *Dynamic of Structures, Anil K. Chopra, second edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Choque Sucasaca, J. F. (2019). *Tesis de Licenciatura: Análisis Estático No Lineal y Evaluación del Desempeño Sísmico de un Edificio de 8 Niveles Diseñado con la Norma E.030*. AREQUIPA-PERÚ.
- EPRI, Electric Power Research Institute. (1988). *Effects of the 1985 Mexico Earthquake on Power and Industrial Facilities (NP-5784, Research Project 2848-6, Prepared by EQE Incorporated)*. San Francisco, California.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- FEMA-440. (2005). *Improvement of Non Linear Static Seismic Analysis Procedures*. California: Federal Emergency Management Agency.
- INESA TECH. (Diciembre de 2020). *Curso: Especialización en Análisis No Lineal y Diseño por Desempeño*. Obtenido de www.inesa.tech.com.
- Manzano, J. O. (2012). *Tesis de Maestría en ingeniería: Comparación de la respuesta sísmica dinámica y estática de edificios de 3 y 6 niveles diseñados con el RCDF-01 en la zona compresible de la ciudad de México, Instituto de ingeniería UNAM*. México.
- NTC-RCDF. (2004). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*; México.
- NTC-RCDF. (2004). *Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones*; México.
- Paniagua, G. R. (2013). *Tesis de Licenciatura: Capacidad sísmica de puentes con análisis estáticos no lineales y espectros inelásticos*. Morelia Michoacán, Mexico: Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Roque, E. R. (2018). *Tesis de Licenciatura: Determinación del nivel de desempeño sísmico de un edificio de 8 niveles*. Juliaca, Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- SEAOC. (1995). *Vision 2000: Performance Based Seismic Engineering of Buildings*. Structural Engineers Association of California. California.
- Silva, F. F. (2018). *Tesis de Licenciatura: Desempeño Sísmico de un Edificio de cinco niveles de Concreto armado mediante el Análisis Estático No Lineal "PUSHOVER"*. Perú.
- SMIE. (7 de Septiembre de 2021). *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (Los 8 sismos más catastróficos en la ciudad de México)*. Obtenido de <https://www.forbes.com.mx/los-8-sismos-más-catastróficos-en-la-historia-de-mexico/>.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

SMIS. (Octubre de 2021). *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (Sismos mas importantes en México)*. Obtenido de <https://smis.org.mx/informacion/terremotos-historicos/>.

SMIS. (Octubre de 2021). *Sociedad Mexicana de ingeniería Sísmica (Terremotos historicos)*. Obtenido de <https://smis.org.mx/informacion/terremotos-historicos/>.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Filosofía basada en desempeño (SEAOC, 2000).....	20
Figura 2 Costos relativos de varios objetivos de rehabilitación.....	21
Fuente: Adaptada de FEMA 274 (1997)	21
Figura 3 Probabilidad de excedencia y periodo de retorno.....	22
Fuente: (ASCE/SEI 41-13, 2014).....	22
Figura 5 Amenaza sísmica, sismo de diseño y sismo de servicio	28
Figura 6 Nivel de Amenaza sísmica, sismo de diseño y sismo máximo	29
Figura 7 Niveles de desempeño de las estructuras	34
Nota. Fuente: Adaptación del ATC-40 (1996) tomada de: (Roque, 2018).....	34
Figura 8 Curva de capacidad de una; estructura, tomada de: (Paniagua, 2013)	41
Figura 9 Grafica del espectro elástico con 5% de amortiguamiento	42
Figura 10 Curva de Capacidad	43
Figura 11 Grafica del espectro de capacidad	46
Figura 12 Conversión del espectro de respuesta en formato ADRS	47
Fuente: ATC-40 (1996).....	47
Figura 13 Grafica del espectro de demanda formato (ADRS)	47
Figura 14 Curva del espectro de capacidad y espectro de respuesta	48
Fuente: ATC-40 (1996).....	48
Figura 15 Punto de igual desplazamiento Fuente ATC-40 (1996).....	49
Figura 16 Representación bilineal del espectro de capacidad.....	50
Fuente ATC-40 (1996)	50
Figura 17 Derivación del amortiguamiento para la reducción del espectro	51
Fuente: ATC-40 (1996).....	51
Figura 18 Derivación de la energía disipada por el amortiguamiento E_D	53

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Fuente: ATC-40 (1996)	53
Figura 19 Derivación de la energía disipada por el amortiguamiento E_D	53
Fuente: de ATC-40 (1996)	53
Figura 20 Espectro de respuesta reducido	59
Fuente: ATC-40 (1996)	59
Figura 21 Familia de espectros de demanda, en formato tradicional S_a vs T	60
Figura 22 Familia de espectro de demanda en formato ADRS	60
Fuente: Adaptación ATC-40 (1996)	60
Figura 23 Punto de intersección o desempeño entre los espectros de capacidad y demanda. Fuente: ATC-40 (1996)	62
Figura 24 Curva de capacidad	65
Figura 25 Espectro elástico	66
Figura 26 Curva de capacidad	69
Figura 27 Espectro de capacidad	73
Figura 28 Grafica del espectro de demanda	76
Figura 29 Determinación del punto de desempeño (ATC-40,1996). Tomada de: (Choque Sucasaca, 2019)	77
Figura 30 Iteración 1, punto de igual desplazamiento, $dp_i=17.8$ cm	81
Figura 31 Iteración 2, $dp_i=13$ cm	85
Figura 32 Iteración 3, $dp_i=14$ cm	89
Figura 33 Iteración 4, $dp_i=15$ cm	92
Figura 34 Iteración 5, $dp_i=14.8$ cm	95
Figura 35 Detalle donde se muestra que se alcanza el punto de desempeño	96
Figura 36 Familia de espectros de demanda, Fuente ATC-40 (1996)	100
Figura 37 Espectro de capacidad y curvas de demanda, Fuente ATC-40 (1996)	100

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 38 Representación bilineal del espectro de capacidad.....	101
Fuente ATC-40 (1996)	101
Figura 39 Puntos graficados con dpi y Beff, Fuente ATC-40 (1996)	103
Figura 40 Puntos conectados creados en la figura 39. Fuente ATC-40 (1996).....	104
Figura 41 Grafica para Definir el Punto de desempeño	111
Figura 42 Detalle de la gráfica de los puntos dpi, Beff.....	112
Figura 43 Espectro de respuesta para varios grados de amortiguamiento	114
Figura 44 Grafica donde se muestra la curva de capacidad y espectros de demanda reducidos	115
Figura 45 Representación bilineal del espectro de capacidad.....	115
Figura 46 Representación bilineal del espectro de capacidad.....	116
Figura 47 Espectros de demanda reducidos. Línea 1 y línea 2 del procedimiento	118
Figura 48 Espectros de demanda reducidos y trazo de línea 3.....	119
Figura 49 Punto de desempeño estimado ap_2 , d_2	119
Figura 50 Iteración 1, de acuerdo al paso 9 ver figura 47.....	125
Figura 51 Iteración 2 $d_{pi}=15.4$	126
Figura 52 Iteración 3 $d_{pi}=15.7$	127
Figura 53 Detalle de la Iteración 3 (ver figura 52) Punto de desempeño $ap_i=0.246$, $d_{pi}=15.7$ (observado).....	128
Figura 54 Espectro de respuesta de aceleración-desplazamiento (ADRS), que muestra el periodo efectivo y parámetros de amortiguamiento de la linealización equivalente, junto a la curva de capacidad.....	131
Fuente FEMA 440, 2005.....	131
Figura 55 Tipos de comportamiento inelástico considerados	132
Fuente: FEMA 440,2005.....	132

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 56 Espectro de respuesta modificado de aceleración-desplazamiento, para relacionar con el periodo secante, T_{sec}	139
Fuente: FEMA 440, 2005.....	139
Figura 57 Espectro de demanda y capacidad inicial ADRS.....	143
Figura 58 Representación bilineal del espectro de capacidad.....	143
Figura 59 Determinación del desplazamiento máximo estimado, usando la iteración directa.	153
Fuente: FEMA 440,2005.....	153
Figura 60 Iteración 1 gráfica con $d_{pi}=31$	154
Figura 61 Iteración 2, gráfica con $d_{pi}=19.3$	155
Figura 62 Iteración 3 con $d_{pi}=17.8$	156
Figura 63 Iteración 4 con $d_{pi}=17.7$	157
Figura 64 Detalle de la iteración 4 (punto de desempeño) $d_{pi}=17.7$	158
Figura 65 gráfica Iteración 1 $d_{pi}=18$	173
Figura 66 Gráfica Iteración 2 $d_{pi}=14$	174
Figura 67 Gráfica Iteración 3 $d_{pi}=16$	175
Figura 68 Gráfica Iteración 4 $d_{pi}=15.5$	176
Figura 69 Gráfica Iteración 5 $d_{pi}=15.4$	177
Figura 70 Detalle Gráfica Iteración 5 Punto de Desempeño $a_i=0.241$. $d_{pi}=15.4$	178
Figura 71 Determinación del desplazamiento máximo esperado utilizando la intersección del espectro de capacidad con MADRS	179
Fuente: FEMA 440,2005.....	179
Figura 72 Iteración 1, MADRS $U=1$ y periodo T_o que es igual a $T_{sec} 1$	194
Figura 73 Iteración 2, MADRS $U=2$ y periodo $T_{sec}2$	196
Figura 74 Iteración 3, MADRS $U=3$ y periodo $T_{sec} 3$	197
Figura 75 Iteración 4, MADRS $U=4$ y periodo $T_{sec} 4$	198

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 76 Gráfica de los espectros MADRS con los periodos secante para encontrar el punto de desempeño	199
.....	201
Figura 77 Detalle de figura 76. punto desempeño que se obtiene en la intersección de la curva de capacidad, con la línea formada entre los puntos de Tsec 1 con MADRS U=1 y el punto de cruce entre Tsec 2 y MADRS U=2.....	201
Figura 78 lugar de posibles puntos de desempeño (procedimiento c)	202
Fuente: FEMA 440,2005.....	202
Figura 79 Grafico indicativo del método para la determinación del espectro de respuesta.....	205
Fuente: Ing. Freddy Lanza Sísmica Adiestramiento, citado por (Cañizares, 2016).....	205
Figura 80 Respuesta máxima (deformación) para 3 sistemas de un grado de libertad ($\zeta=2\%$ amortiguamiento, periodos $T_n=0.5, 1$ y 2 sec.).....	206
Fuente: Libro Dynamic of Structures de Anil K. Chopra, second edition	206
Figura 81 Gráfica de la respuesta de desplazamiento, velocidad y aceleración, obtenida	208
con los datos de la figura 77 Fuente: Adaptación del libro Dynamic of Structures de Anil K. Chopra, second edition	208
Figura 82 Espectro de pseudoaceleraciones del registro de la SCT del sismo de septiembre de 1985 (Bazán y Meli) citado por (Paniagua, 2013).....	209
Figura 83 Espectro elastoplástico del registro de la SCT sismo del 19 de septiembre de 1985 (Bazán y Meli) citado por (Paniagua, 2013).....	211
Figura 84 Información de mecánica de suelos para la definición del espectro.....	215
Figura 85 Cálculo del periodo del suelo	216
Figura 86 Cálculo del factor de sitio	217
Figura 87 Cálculo del factor de respuesta	217
Figura 88 Cálculo del factor de no linealidad	218

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 89 Cálculo del factor de velocidad	218
Figura 90 Cálculo de parámetros para definir el espectro de diseño parte 1/3	219
Figura 91 Cálculo de parámetros para definir el espectro de diseño parte 2/3	220
Figura 92 Cálculo de parámetros para definir el espectro de diseño parte 3/3	221
Figura 93 Fórmulas para calcular el espectro de diseño MDOC DS 2008 CFE	222
Figura 94 Resultados obtenidos para el espectro elástico e inelástico parte 1/2	223
Figura 95 Resultados obtenidos para el espectro elástico e inelástico parte 2/2	224
Figura 96 Gráfica del espectro elástico y reducido	225
Figura 97 Gráfica del factor Q	225
Figura 98 Gráfica del Factor R	226
Figura 99 Coordenadas del sitio donde se ubicará el edificio	227
Figura 100 Datos de mecánica de suelos para definir el espectro con Prodisis 2008	228
Figura 101 Resultados de espectro con Prodisis 2008	229
Figura 102 Espectro modificado por amortiguamiento prodisis 2015	230
Figura 103 Espectro de diseño modificado prodisis 2015	230
Figura 104 Espectro de diseño transparente regional prodisis 2015	231
Figura 105 Espectro de diseño transparente regional prodisis 2015	232
Figura 106 Comparación de espectro elástico 2008 con hoja de Excel (en hojas anteriores), Prodisis 2008 y 2015 de la CFE	233
Figura 107 El área epicentral del sismo del 19 de septiembre de 1985	261
Fuente: EPRI Electric power research Institute	261
Figura 108 El área epicentral de la sacudida principal del 19 de septiembre y de la réplica del 21 de septiembre, mostrando la ubicación de los registros de movimientos fuertes, y el sitio investigado	262
Fuente: EPRI Electric power research Institute	262

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 109 El área industrial de Lázaro Cárdenas, en la desembocadura del Río Balsas.	263
Fuente: EPRI Electric power research Institute	263
Figura 110 Un ejemplo de daño estructural severo en la localidad de Lázaro Cárdenas.....	264
Figura 111 La pared del extremo colapsada del edificio de oficinas mostrado en la figura 86	264
Fuente: EPRI Electric power research Institute	264
Figura 112 Este hotel de nueve pisos es la estructura más alta de la ciudad.	265
Figura 113 El edificio (Figura 116) sufrió daños importantes en su fachada no estructural. ...	265
Fuente: EPRI Electric power research Institute	265
Figura 114 Ejemplos típicos de daño estructural moderado incluye los cinco pisos del hotel que perdieron secciones de mampostería en sus partes extremas.	266
Fuente: EPRI Electric power research Institute	266
Figura 115 Ejemplos de reparación de grietas de cortante en edificaciones, tal como la mostrada, fueron evidentes por todas partes en la ciudad después de un año del sismo (Juguería Acapulco).....	266
Fuente: EPRI Electric power research Institute	266
Figura 116 Cine Olimpia en ciudad Lázaro Cárdenas colapsó (ahora es una tienda de Elektra)	267
Figura 117 . Los dos puentes de concreto reforzado que atraviesan el Río Balsas al norte de la ciudad sufrieron daños de ruptura severa en los apoyos y pilares de hormigón	268
Fuente: EPRI Electric power research Institute	268
Figura 118 Muestra el daño a un pilar, donde las varillas del acero de refuerzo quedaron expuestas en el concreto dañado.	268
Fuente: EPRI Electric power research Institute	268
Figura 119 Un silo de almacenamiento de cemento en la planta de distribución COPSA volcado empujando la torre de carga de camiones adyacente a ella	269

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Fuente: EPRI Electric power research Institute269

Figura 120 El ferrocarril con las pistas cercanas a la planta de cemento estaban distorsionadas por fallas en el suelo269

Fuente: EPRI Electric power research Institute269

Figura 121 Aparecieron grandes fisuras en el pavimento de asfalto de esta carretera cerca de Lázaro Cárdenas.270

Fuente: EPRI Electric power research Institute270

Figura 122 Aparecieron grandes fisuras en el pavimento de asfalto de esta carretera cerca de Lázaro Cárdenas. (complemento)270

Fuente: EPRI Electric power research Institute270

Figura 123 Resumen de registros de los fuertes movimientos en el área epicentral.....271

Fuente: EPRI Electric power research Institute271

Figura 124 Espectros de respuesta para la aceleración horizontal del suelo medida en Caleta de Campos en comparación con el espectro de la Guía Regulatoria de la USNRC normalizado a 0.15 g.272

Fuente: EPRI Electric power research Institute272

Figura 125 Espectros de respuesta para la aceleración horizontal del suelo medida en La Unión, en comparación con el espectro de la Guía Regulatoria de la USNRC normalizado a 0.15 g.273

Fuente: EPRI Electric power research Institute273

Figura 126 Espectros de respuesta para la aceleración horizontal del suelo medida en La Villita, en comparación con el espectro de la Guía Regulatoria de la USNRC normalizado a 0.15 g.274

Fuente: EPRI Electric power research Institute274

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 127 Espectros de respuesta para la aceleración horizontal del suelo medida en Zacatula en comparación con el espectro de la Guía Regulatoria de la USNRC normalizado a 0.25 g.	275
Fuente: EPRI Electric power research Institute	275
Figura 128 Historial de tiempos de aceleración registrados en Zacatula.	276
Fuente: EPRI Electric power research Institute	276
Figura 129 Uno de los edificios más dañados en la empresa SICARTSA fue el edificio de administración con estructura de concreto reforzado de dos plantas, que sufrió graves daños en la estructura y en los muros de mampostería.	277
Fuente: EPRI Electric power research Institute	277
Figura 130 Se produjeron fisuras por cortante en muros de mampostería en todo el sitio de la empresa SICARTSA, se ven ejemplos en las paredes del almacén de dos pisos	278
Fuente: EPRI Electric power research Institute	278
Figura 131 Se muestra el trabajo de reparación en curso en un edificio de cuatro pisos, edificio de oficinas con estructura de concreto reforzado que sufrió colapso en muros interiores de mampostería	279
Fuente: EPRI Electric power research Institute	279
Figura 132 El edificio de la figura anterior (Figura 101), que sufrió colapso en accesorios internos tales como cielo raso suspendido.	279
Fuente: EPRI Electric power research Institute	280
Figura 133 Una de las pérdidas más graves en el sitio de la empresa SICARTSA fue el daño al tanque de almacenamiento de combustible de gas, un cilindro de 30 metros de diametro por 90 metros de alto construido de placas de acero remachadas a un marco exterior de acero estructural. Fugas en el tanque impidió su uso como plenum de combustible de gas durante muchos meses después del terremoto.	280
Fuente: EPRI Electric power research Institute	280

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 134 Se muestra la típica interfaz placa-marco, donde la placa ha sido removida pendiente de reparación.	281
Fuente: EPRI Electric power research Institute	281
Figura 135 La chimenea de acero se inclinó debido al asentamiento del suelo.....	282
Figura 136 La base de concreto de la chimenea (figura 135) se inclinó y se levantó	282
Fuente: EPRI Electric power research Institute	282
Figura 137 Las distintas secciones del sitio de SICARTSA están unidas por bastidores con estructura de acero que soportan tuberías, bandejas de cables y conductos entre plantas, donde las secciones de los bastidores corren paralelas a los canales de agua a través de la estructura	283
Fuente: EPRI Electric power research Institute	283
Figura 138 El pedestal de cimentación típico que fue sustituido, observe las diagonales de los contravientos dañadas en el marco.	283
Fuente: EPRI Electric power research Institute	283
Figura 139 El edificio de la administración, entre los más dañados estructuralmente en la empresa SICARTSA.....	284
Figura 140 El edificio de administración alberga una gran instalación de procesamiento de datos,el daño principal sufrido por la instalación consistió en unidades de cinta volcadas (se muestra en el fondo después de la reparación).....	284
Fuente: EPRI Electric power research Institute	284
Figura 141 El daño estructural típico en la empresa FERTIMEX incluyó colapso en muros de relleno de mampostería y paneles de techo caídos, como se ve en los cobertizos de almacenamiento. La foto muestra una sección colapsada de un muro de mampostería en un depósito. Tenga en cuenta también la estructura de concreto dañada.	285
Fuente: EPRI Electric power research Institute	285

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 142 Se muestra una sección colapsada de muros de mampostería en un almacén, note también los daños al marco de concreto.	285
Fuente: EPRI Electric power research Institute	285
Figura 143 El edificio de la subestación de control de la planta de embalaje es de dos pisos. Estructura de concreto armado parcialmente abierta en la zona de distribución de cables de la planta baja, y encerrado por relleno de mampostería en el área de distribución del segundo piso. El edificio sufrió daños sustanciales en los muros de mampostería y en marcos de concreto	286
Fuente: EPRI Electric power research Institute	286
Figura 144 . El edificio sufrió daños sustanciales en los muros de mampostería y el marco de concreto, aquí se muestra el detalle de la figura anterior.	287
Fuente: EPRI Electric power research Institute	287
Figura 145 planta y elevación de la subestación de control indicada en la figura 143	288
Fuente: EPRI Electric power research Institute	288
.....	289
Figura 146 Figura 5-14. El granero de la CONASUPO es un silo complejo rematado por una estructura de torre de hormigón.....	289
.....	289
Figura 147 .El piso inferior de la torre colapsó. Los cuatro pisos superiores de la torre se asentaron en la parte superior de los silos, con solo las barras del acero de refuerzo expuestas y un ligero desplazamiento en las líneas de las columnas para marcar el piso inferior colapsado.....	289
Fuente: EPRI Electric power research Institute	290
.....	290

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 148 Se construyeron dos bandas transportadoras con estructura de concreto, para transportar grano a silos. Se muestra el sistema de transporte desde los silos a la estructura de transmisión del transportador. Las columnas de concreto están dañadas en sus bases.....	290
Fuente: EPRI Electric power research Institute	290
Figura 149 Se muestra la estructura del transportador volcada en toda la ruta a lo largo del muelle la grúa pórtico del fondo sufrió daños menores.	290
Fuente: EPRI Electric power research Institute	290
Figura 150 La estructura de accionamiento del transportador es un marco de concreto con relleno de mampostería.	291
Figura 151 El edificio de la figura anterior sufrió un colapso parcial de sus pisos superiores y fue una pérdida total.	292
Figura 152 Ubicación del predio	293
Figura 153 Planta tipo arquitectónica N1, N2, N3, y N4	295
Figura 154 Corte A-A ver figura anterior	296
Figura 155 Perspectiva del edificio	297
Figura 156 Planta nivel 1	305
Figura 157 Planta nivel 2	306
Figura 158 Planta nivel 3	307
Figura 159 Planta nivel 4	308
Figura 160 Elevación eje 1.....	309
Figura 161 Elevación eje 2.....	310
Figura 162 Elevación eje 3.....	311
Figura 163 Elevación eje 4.....	312
Figura 164 Elevación eje 5.....	313
Figura 165 Elevación eje 6.....	314

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 166 Elevación eje A	315
Figura 167 Elevación eje B	316
Figura 168 Elevación eje C	317
Figura 169 Elevación eje D	318
Figura 170 Elevación eje E	319
Figura 171 Elevación eje F	320
Figura 172 Elevación eje G	321
Figura 173 Elevación eje H	322
Figura 174 Elevación eje I.....	323
Figura 175 Elevación eje J.....	324
Figura 176 Elevación eje K	325
Figura 177 Elevación L	326
Figura 178 Elevación M	327
Figura 179 Vista en 3D de la estructura.....	328
Figura 180 Vista en 3D de la estructura.....	329
Figura 181 Vista en planta Nivel 1, ubicación de columnas.....	330
Figura 182 Vista en planta Nivel 2, ubicación de columnas.....	331
Figura 183 Vista en planta Nivel 3, ubicación de columnas.....	332
Figura 184 Vista en planta Nivel 4, ubicación de columnas.....	333
Figura 185 Datos del concreto	334
Figura 186 Datos del concreto(complemento)	334
Figura 187 Datos del acero de refuerzo.....	335
Figura 188 Datos del acero de refuerzo(complemento).....	335
Figura 189 Definición de secciones columnas y vigas.....	336
Figura 190 Definición de secciones vigas	336

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 191 Disposición de acero de refuerzo longitudinal y dimensiones de columna.....	337
Figura 192 Acero de refuerzo longitudinal y estribos, así como recubrimiento libre en columna	337
Figura 193 Factores de reducción de vigas y columnas.....	338
Figura 194 Factores de reducción en columnas.....	338
Figura 195 Factores de reducción en vigas.....	339
Figura 196 Definición de brazo rígido en columnas.....	340
Figura 197 Muestra el factor de zona rígida en la columna 3-A.....	341
Figura 198 Definición de brazo rígido en vigas.....	342
Figura 199 Definición de diafragma rígido N1.....	343
Figura 200 Definición de diafragma rígido N2.....	344
Figura 201 Definición de diafragma rígido N3.....	345
Figura 202 Definición de diafragma rígido N4.....	346
Figura 203 Patrones de carga y sismo (SXPOS).....	353
Figura 204 Patrones de carga y sismo (SYPOS).....	354
Figura 205 Definición del valor de la aceleración (0.276) en función del periodo (T=0.62 seg)	355
Figura 206 Asignación de cargas planta N1.....	356
Figura 207 Asignación de cargas planta N2.....	357
Figura 208 Asignación de cargas planta N3.....	358
Figura 209 Asignación de cargas planta N4.....	359
Figura 210 Espectro elástico y espectro reducido.....	360
Figura 211 Casos de carga.....	361
Figura 212 Casos de carga (complemento).....	361
Figura 213 Croquis Localización Cd. Lázaro Cárdenas Michoacán.....	362

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 214	Mapa de densidad de población al año 2010	363
Figura 215	Mapa geológico en Cd. Lázaro Cárdenas Michoacán	364
Figura 216	Fallas y fracturas. Se muestra una falla de tipo superficial.....	365
Figura 217	Mapa de fallas y fracturas en Cd Lázaro Cárdenas Michoacán	366
Figura 218	Mapa de fallas y fracturas Cd. Lázaro Cárdenas Michoacán	367
Figura 219	Placas tectónicas dentro del territorio mexicano y sus velocidades relativas.....	368
Figura 220	Sismos con magnitud mayor a 7 grados hasta el año 2010	369
Figura 221	Espectro dirección X	370
Figura 222	Espectro dirección Y	371
Figura 223	Definición de masas.....	373
Figura 224	Efecto P-Delta.....	373
Figura 225	Combinaciones de carga	376
Figura 226	Grados de libertad	377
Figura 227	Modo 1 vista 3 D.....	378
Figura 228	Modo 1 vista en planta.....	379
Figura 229	Modo 2 vista en 3D	380
Figura 230	Modo 3 vista 3D	381
Figura 231	Modo 3 vista en planta.....	382
Figura 232	Masas participativas	383
Figura 233	Masas participativas (complemento)	384
Figura 234	Configuración de preferencias para el diseño	385
Figura 235	Aceros de refuerzo requeridos a flexión planta N-1.....	386
Figura 236	Aceros de refuerzo requeridos a flexión planta N-2.....	387
Figura 237	Aceros de refuerzo requeridos a flexión planta N-3.....	388
Figura 238	Aceros de refuerzo requeridos a flexión planta N-4.....	389

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 239 Relación de interacción de columnas	390
Figura 240 Relación de interacción viga/columna	391
Figura 241 Identificación de todas las fallas de concreto a flexo compresión	392
Figura 242 Espectro con factor de escala=10.066.....	397
Figura 243 Espectro con factor de escala=10.089.....	398
Figura 244 Combinación de cargas permanentes (Comb 1)	402
Figura 245 Combinación de carga para revisar desplazamientos verticales	403
Figura 246 Desplazamiento vertical $U_z = -1.097$ cm	404
Figura 247 Desplazamientos horizontales SPECX.....	406
Figura 248 Desplazamientos horizontales SPECY	407
Parámetros para determinar los desplazamientos laterales	408
Figura 249 objetivos de desempeño (SEAOC 2000)	411
Figura 250 Objetivos de desempeño recomendado para estructuras	412
Figura 251 Objetivos de desempeño para estructuras básicas	413
Figura 252 Objetivos de seguridad básica para estructuras convencionales	413
(ATC-40,1996)	413
Figura 253 Asignación de área de refuerzo real en vigas.....	417
Figura 254 Asignación de área de refuerzo real en vigas.....	418
Figura 255 Asignación de área de refuerzo real en vigas.....	419
Figura 256 Asignación de área de refuerzo real en vigas.....	420
Figura 257 carga gravitacional (CGNL-X).....	421
Figura 258 Carga gravitacional no lineal (CGNL-Y).....	422
Figura 259 Patrón de carga no lineal en dirección X (PUSH-X)	423
Figura 260 Patrón de carga no lineal en dirección Y (PUSH-Y)	424
Figura 261 Configuración de otros parámetros.....	425

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 262 Configuración de otros parámetros (complemento).....	426
Figura 263 Configuración de otros parámetros (complemento).....	427
Figura 264 Espectro elástico.....	428
Figura 265 Casos de carga no lineal (CGNL y PUSH-X).....	429
Figura 266 Revisión condición de falla por flexión(i) y corte (ii).....	430
Figura 267 Revisión de la consideración de confinamiento "C" y "NC"	431
Figura 268 Revisión de la condición de falla de la columna eje 3 A	432
Figura 269 Revisión de la condición de falla de la columna eje 3 A (complemento)	433
Figura 270 Revisión de la condición de falla de la columna eje 3 A (complemento)	433
Figura 271 Formula del cortante y tabla 10-11 de ASCE/SEI 41-13 que se usa para revisar la condición de falla con la hoja de Excel de la figura 262 a 264	434
Figura 272 Notas de la figura 265.....	435
Figura 273 Aplicación de rótulas plásticas en vigas	442
Figura 274 Asignación de rótulas plásticas en columnas	444
Figura 275 Asignación de rótulas plásticas en columnas	445
Figura 276 Asignación de rótulas plásticas en columnas	446
Figura 277 Asignación de rótulas plásticas en columnas	447
Figura 278 Articulaciones plásticas en vigas, eje 2	448
Figura 279 Articulaciones plásticas en vigas, eje 3	449
Figura 280 Articulaciones plásticas en vigas, eje 4	450
Figura 281 Articulaciones plásticas en vigas, eje 5	451
Figura 282 Articulaciones plásticas en vigas, eje 6	452
Figura 283 Articulaciones plásticas en vigas, eje A	453
Figura 284 Articulaciones plásticas en vigas, eje C.....	454
Figura 285 Articulaciones plásticas en vigas, eje E	455

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 286 Articulaciones plásticas en vigas, eje G.....	456
Figura 287 Articulaciones plásticas en vigas, eje I	457
Figura 288 Articulaciones plásticas en vigas, eje K	458
Figura 289 Articulaciones plásticas en vigas, eje M	459
Figura 290 Revisión de articulaciones plásticas (Figura en 3D)	460
Figura 291 revisión de articulaciones plásticas en vigas, eje 2	461
Figura 292 Articulaciones plásticas en vigas, eje 3	462
Figura 293 Articulaciones plásticas en vigas, eje 4	463
Figura 294 Articulaciones plásticas en vigas, eje 5	464
Figura 295 Articulaciones plásticas en vigas, eje 6	465
Figura 296 Articulación plástica eje A	466
Figura 297 Articulación plástica eje C	467
Figura 298 Articulación plástica eje E	468
Figura 299 Articulación plástica eje G.....	469
Figura 300 Articulación plástica eje I	470
Figura 301 Articulación plástica eje K.....	471
Figura 302 Articulación plástica eje M	472
Figura 303 Curva de capacidad dirección X	473
Figura 304 Cortante en la base vs desplazamientos (para graficar la curva de capacidad)....	474
Figura 305 Curva de capacidad dirección Y	475
Figura 306 Cortante en la base vs desplazamientos (para graficar la curva de capacidad)....	476
Figura 307 Punto de desempeño sismo de servicio, factor de escala =0.5 ($0.5 \times 981 = 461.07 \text{ cm/seg}^2$)	480
Figura 308 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala =1 ($1 \times 981 = 981 \text{ cm/seg}^2$	481

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 309 Punto de desempeño sismo máximo, factor de escala =1.33 ($1.33 \times 981 = 1304.73 \text{ cm/seg}^2$ la curva de capacidad y demanda no se interceptan (no hay suficiente capacidad)	482
Figura 310 Punto de desempeño sismo de máximo, factor de escala =1.2($1.2 \times 981 = 1177.2 \text{ cm/seg}^2$, con este factor el sismo máximo tiene un periodo de retorno de 745 años y una probabilidad del 6.5 % en 50 años (ver factores de escala, sección 5.23.5) ..	483
Figura 311 Punto de desempeño, sismo de servicio, factor de escala =0.5 ($0.5 \times 981 = 461.07 \text{ cm/seg}^2$	484
Figura 312 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala =1 ($1 \times 981 = 981 \text{ cm/seg}^2$	485
Figura 313 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala =1.33 ($1.33 \times 981 = 1304.73 \text{ cm/seg}^2$)	486
Figura 314 Punto de desempeño sismo máximo, factor de escala =1.5 ($1.5 \times 981 = 1471.5 \text{ cm}$)	487
Figura 315 Punto de desempeño sismo de servicio, factor de escala =0.5 ($0.5 \times 981 = 461.07 \text{ cm/seg}^2$)	488
Figura 316 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala =1 ($1 \times 981 = 981 \text{ cm/seg}^2$	489
Figura 317 Punto de desempeño sismo máximo, factor de escala =1.33 ($1.33 \times 981 = 1304.73 \text{ cm/seg}^2$ la curva de capacidad y demanda no se interceptan (no hay suficiente capacidad)	490
Figura 318 Punto de desempeño sismo de máximo, factor de escala =1.2($1.2 \times 981 = 1177.2 \text{ cm/seg}^2$, con este factor el sismo máximo tiene un periodo de retorno de 745 años y una probabilidad del 6.5 % en 50 años (ver factores de escala sección 5.23.5) ...	491

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Figura 319 Punto de desempeño, sismo de servicio, factor de escala =0.5 ($0.5 \times 981 = 461.07$ cm/seg ²)	492
Figura 320 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala =1 ($1 \times 981 = 981$ cm/seg ²)	493
Figura 321 Punto de desempeño sismo de diseño, factor de escala =1.33 ($1.33 \times 981 = 1304.73$ cm/seg ²)	494
Figura 322 Punto de desempeño sismo máximo, factor de escala =1.5 ($1.5 \times 981 = 1471.5$ cm/seg ²)	495
Figura 323 Sectorización de la curva de capacidad (SEAOC)	496
Figura 324 Límites de deformación	497
Fuente ATC-40 (1996)	497
Figura 325 Deriva del tope=desplazamiento. de tope/H	498
Figura 326 Criterios de aceptación carga deformación típica	499
Fuente: ATC-40 (1996)	499
Figura 327 Niveles recomendados de desempeño sísmico esperados para estructuras	500
Figura 328 Nivel de desempeño esperado: criterio de seguridad básica para estructuras convencionales	500
Figura 329 Niveles de desempeño según ATC-40,1996 citado por (Silva, 2018)	501
Figura 330 Valores límites de la deriva máxima de entrepiso para los niveles de desempeño	501

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de Amenaza Sísmica	27
Tabla 2 Objetivo de Seguridad Básica para Estructuras Convencionales	37
Tabla 3 Tipos de Comportamiento Estructural	56
Tabla 4 Valores para el Factor de Modificación de Amortiguamiento k y Tipo de Comportamiento Estructural	57
Tabla 5 Valores Mínimos Permitidos de SR_A y SR_V	58
Tabla 6 Factores de Reducción Espectral SR_A y SR_V	58
Tabla 7 Periodo y Aceleración del Espectro Elástico	63
Tabla 8 Datos de la Curva de Capacidad Extraídos del Ejemplo del Anexo	67
Tabla 9 Datos para Convertir la Curva de Capacidad en Espectro de Capacidad	70
Tabla 10 Datos para Definir el Espectro de Demanda	74
Tabla 11 Datos para la Curva de Demanda Reducida. Iteración 1	79
Tabla 12 Datos para la Curva de Demanda Reducida, Iteración 2	83
Tabla 13 Datos para la Curva de Demanda Reducida, Iteración 3	87
Tabla 14 Datos para la Curva de Demanda Reducida, Iteración 4	90
Tabla 15 Datos para la Curva de Demanda Reducida, Iteración 5	93
Tabla 16 Datos para Graficar T_0 y la Curva Bilineal	97
Tabla 17 Resumen de Factores de Reducción de Respuesta Obtenidos (SR_A y SR_V) y Datos Utilizados al realizar las Iteraciones	97
Tabla 18 Datos para Graficar los Puntos que Definen el Punto de Desempeño	110
Tabla 19 Tipos de Comportamiento Estructural	117
Tabla 20 Porcentaje de Amortiguamiento efectivo B_{eff} Estructuras Tipo B	117
Tabla 21 Tabla con los Coeficientes para el uso en Ecuaciones con el Amortiguamiento Efectivo	134

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 22 Coeficientes para el uso del Periodo Efectivo	137
Tabla 23 Datos para Graficar el Espectro de Demanda y el Espectro de Respuesta Amortiguado Beff (ADRS).....	145
Tabla 24 Datos de la Primera Iteración (curva bilineal).....	151
Tabla 25 Datos para Trazo de la Curva Bilineal Iteración 1	151
Tabla 26 Datos para Graficar el Periodo Inicial T_0 . Iteración 1	152
Tabla 27 Datos para Graficar el Periodo Efectivo de la Iteración 1.....	152
Tabla 28 Resumen de Iteraciones para Obtener el Punto de Desempeño	159
Tabla 29 Datos para Graficar ADRS Y MADRS	171
Tabla 30 Resumen de Iteraciones.....	179
Tabla 31 Valores para Graficar los Espectros de Respuesta Modificados con Diferentes Valores de Ductilidad (μ).....	191
Tabla 32 Resumen de Valores de los Ejercicios para la Obtención del Punto de Desempeño con los Métodos A, B y C.....	203
Tabla 33 Pesos por Nivel para Analizar las Irregularidades.....	301
Tabla 34 Rigidez de Entrepiso	302
Tabla 35 Excentricidad Torsional de Entrepisos	304
Tabla 36 Nomenclatura y Tipo de Carga en ETABS.....	348
Tabla 37 Carga Muerta en Azotea	349
Tabla 38 Carga viva en azotea.....	351
Tabla 39 Carga Viva en Planta Tipo.....	351
Tabla 40 Resumen de Cargas.....	352
Tabla 41 Combinaciones de Carga para Revisión de Estado Límite de Falla	375
Tabla 42 Combinaciones de Carga para Revisión de Estado Límite de Servicio	376
Tabla 43 Cortante Dinámico y Estático en el Nivel 1	393

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Tabla 44 Revisión de Desplazamientos Verticales	405
Tabla 45 Revisión de Desplazamientos Laterales Estado Límite de Colapso	409
Tabla 46 Revisión de Desplazamientos Laterales Estado Límite de Servicio.....	409
Tabla 47 Área de Acero de Refuerzo Teórico Obtenida del Análisis Dinámico	415
Tabla 48 Área de Acero Real y Numero de Varillas en cada Tipo de Vigas	416
Tabla 49 Disposición de Rotulas Plásticas en Vigas, Dirección X	436
Tabla 50 Disposición de Rótulas Plásticas en Vigas, Dirección Y	438
Tabla 51 Disposición de Rótulas Plásticas en Columnas	443

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

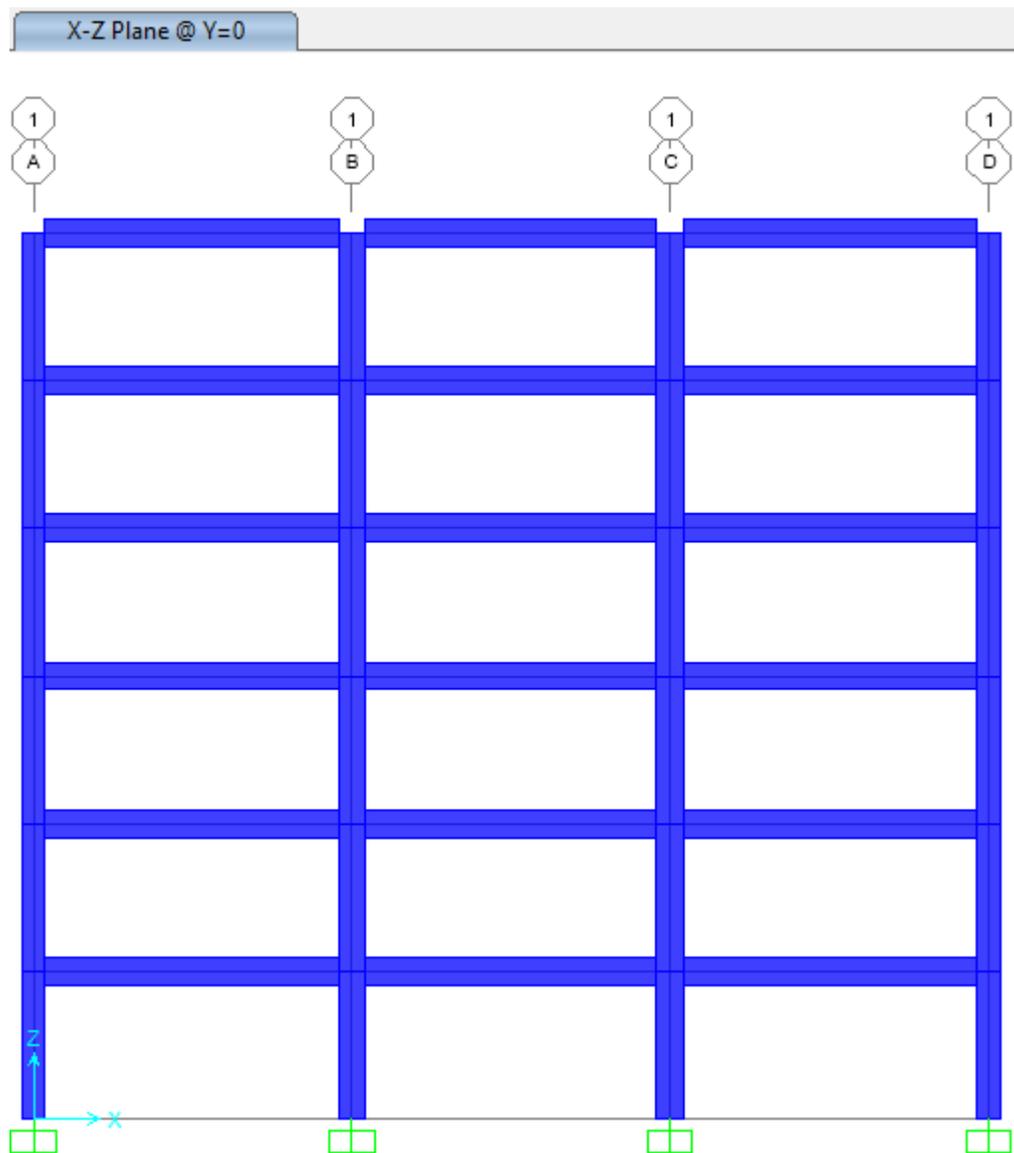
ANEXO

Ejemplo del Análisis por desempeño de un pórtico resistente a momento

Datos tomados de: (INESA TECH, 2020)

1. Planteamiento

Diseñar una estructura de concreto armado que debe cumplir con un objetivo esencial peligroso en función a la importancia que representa para el cliente. Marco de 7 niveles de 3.25m de altura y 3 claros de 7m. Se usará el ACI 318-08.



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

2. Geometría



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

3. Materiales (Acero de refuerzo y concreto)

Material Property Data dialog for Rebar. The dialog is divided into several sections: General Data, Weight and Mass, Uniaxial Property Data, and Other Properties For Rebar Materials. The material name is A615Gr60 and the type is Rebar. The weight per unit volume is 7.849E-03 and the mass per unit volume is 8.004E-06. The modulus of elasticity is 2100000, Poisson's ratio is 0, and the coefficient of thermal expansion is 1.170E-05. The other properties include minimum yield stress of 4200, minimum tensile stress of 6327, expected yield stress of 4640, and expected tensile stress of 6960.

Section	Property	Value
General Data	Material Name and Display Color	A615Gr60
	Material Type	Rebar
	Material Grade	
	Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	Weight per Unit Volume	7.849E-03
	Mass per Unit Volume	8.004E-06
Uniaxial Property Data	Modulus Of Elasticity, E	2100000
	Poisson, U	0
	Coefficient Of Thermal Expansion, A	1.170E-05
	Shear Modulus, G	
Other Properties For Rebar Materials	Minimum Yield Stress, Fy	4200
	Minimum Tensile Stress, Fu	6327
	Expected Yield Stress, Fye	4640
	Expected Tensile Stress, Fue	6960

Material Property Data dialog for Concrete. The dialog is divided into several sections: General Data, Weight and Mass, Isotropic Property Data, and Other Properties For Concrete Materials. The material name is Fc=280 and the type is Concrete. The weight per unit volume is 2.400E-03 and the mass per unit volume is 2.447E-06. The modulus of elasticity is 252672, Poisson's ratio is 0.2, and the coefficient of thermal expansion is 9.900E-06. The other properties include specified concrete compressive strength of 280 and expected concrete compressive strength of 280. The lightweight concrete checkbox is unchecked.

Section	Property	Value
General Data	Material Name and Display Color	Fc=280
	Material Type	Concrete
	Material Grade	
	Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	Weight per Unit Volume	2.400E-03
	Mass per Unit Volume	2.447E-06
Isotropic Property Data	Modulus Of Elasticity, E	252672
	Poisson, U	0.2
	Coefficient Of Thermal Expansion, A	9.900E-06
	Shear Modulus, G	105280
Other Properties For Concrete Materials	Specified Concrete Compressive Strength, Fc	280
	Expected Concrete Compressive Strength	280
	Lightweight Concrete	<input type="checkbox"/>

4. Secciones con acero final

Frame Properties dialog. The dialog is divided into two main sections: Properties and Click to:. The Properties section contains a list of properties with 'C50X50N13E-A-D' selected. The Click to: section contains buttons for Import New Property..., Add New Property..., Add Copy of Property..., Modify/Show Property..., and Delete Property. The dialog also has OK and Cancel buttons at the bottom.

Section	Property	
Properties	Find this property:	C50X50N13E-A-D
		C50X50N13E-A-D
		C50X50N46E-A-D
		C60X60N13E-B-C
		C60X60N46E-B-C
		V40X60-N3-T-AD
		V40X60-N4-T-AD
		V40X60-N5-T-AD
		V40X60-N6-T-AD
		V40X60-N12-T-AD

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Rectangular Section

Section Name: C50X50N13E-A-D Display Color:

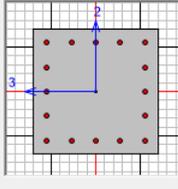
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3): 0.5

Width (t2): 0.5

Section



Material

+ Fc=280

Property Modifiers

Properties

S Reinforcement Data

Rebar Material

Longitudinal Bars: + A615Gr60

Confinement Bars (Ties): + A615Gr60

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

Rectangular

Circular

Confinement Bars

Ties

Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars: 0.03

Number of Longit Bars Along 3-dir Face: 5

Number of Longit Bars Along 2-dir Face: 5

Longitudinal Bar Size: + #6

Confinement Bars

Confinement Bar Size: + #4

Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 0.1

Number of Confinement Bars in 3-dir: 4

Number of Confinement Bars in 2-dir: 4

Check/Design

Reinforcement to be Checked

Reinforcement to be Designed

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Rectangular Section [X]

Section Name: C50X50N46E-A-D Display Color: ■

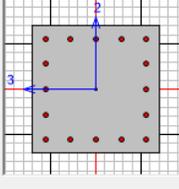
Section Notes:

Dimensions

Depth (t3):

Width (t2):

Section



Material: Fc=280

Property Modifiers:

Properties:

S Reinforcement Data [X]

Rebar Material

Longitudinal Bars: A615Gr60

Confinement Bars (Ties): A615Gr60

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

Rectangular

Circular

Confinement Bars

Ties

Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars:

Number of Longit Bars Along 3-dir Face:

Number of Longit Bars Along 2-dir Face:

Longitudinal Bar Size: #5

Confinement Bars

Confinement Bar Size: #4

Longitudinal Spacing of Confinement Bars:

Number of Confinement Bars in 3-dir:

Number of Confinement Bars in 2-dir:

Check/Design

Reinforcement to be Checked

Reinforcement to be Designed

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Rectangular Section [X]

Section Name: C60X60N13E-B-C Display Color: 

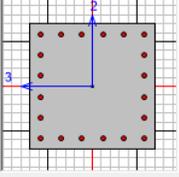
Section Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Dimensions

Depth (t3): 0.6

Width (t2): 0.6

Section



Material

+ Fc=280

Property Modifiers

[Set Modifiers...](#)

Properties

[Section Properties...](#)

[Time Dependent Properties...](#)

[Concrete Reinforcement...](#)

[OK](#) [Cancel](#)

S Reinforcement Data [X]

Rebar Material

Longitudinal Bars: + A615Gr60

Confinement Bars (Ties): + A615Gr60

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

Rectangular

Circular

Confinement Bars

Ties

Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars: 0.03

Number of Longit Bars Along 3-dir Face: 6

Number of Longit Bars Along 2-dir Face: 6

Longitudinal Bar Size: + #6

Confinement Bars

Confinement Bar Size: + #4

Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 0.1

Number of Confinement Bars in 3-dir: 4

Number of Confinement Bars in 2-dir: 4

Check/Design

Reinforcement to be Checked

Reinforcement to be Designed

[OK](#) [Cancel](#)

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Rectangular Section [X]

Section Name: C60X60N46E-B-C Display Color: [Pink Box]

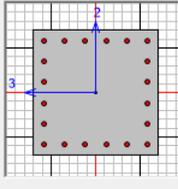
Section Notes: [Modify/Show Notes...]

Dimensions

Depth (t3): 0.6

Width (t2): 0.6

Section



Material: [+] Fc=280 [v]

Property Modifiers: [Set Modifiers...]

Properties: [Section Properties...] [Time Dependent Properties...]

[Concrete Reinforcement...]

[OK] [Cancel]

S Reinforcement Data [X]

Rebar Material

Longitudinal Bars: [+] A615Gr60 [v]

Confinement Bars (Ties): [+] A615Gr60 [v]

Design Type

Column (P-M2-M3 Design)

Beam (M3 Design Only)

Reinforcement Configuration

Rectangular

Circular

Confinement Bars

Ties

Spiral

Longitudinal Bars - Rectangular Configuration

Clear Cover for Confinement Bars: 0.03

Number of Longit Bars Along 3-dir Face: 6

Number of Longit Bars Along 2-dir Face: 6

Longitudinal Bar Size: [+] #6 [v]

Confinement Bars

Confinement Bar Size: [+] #4 [v]

Longitudinal Spacing of Confinement Bars: 0.1

Number of Confinement Bars in 3-dir: 4

Number of Confinement Bars in 2-dir: 4

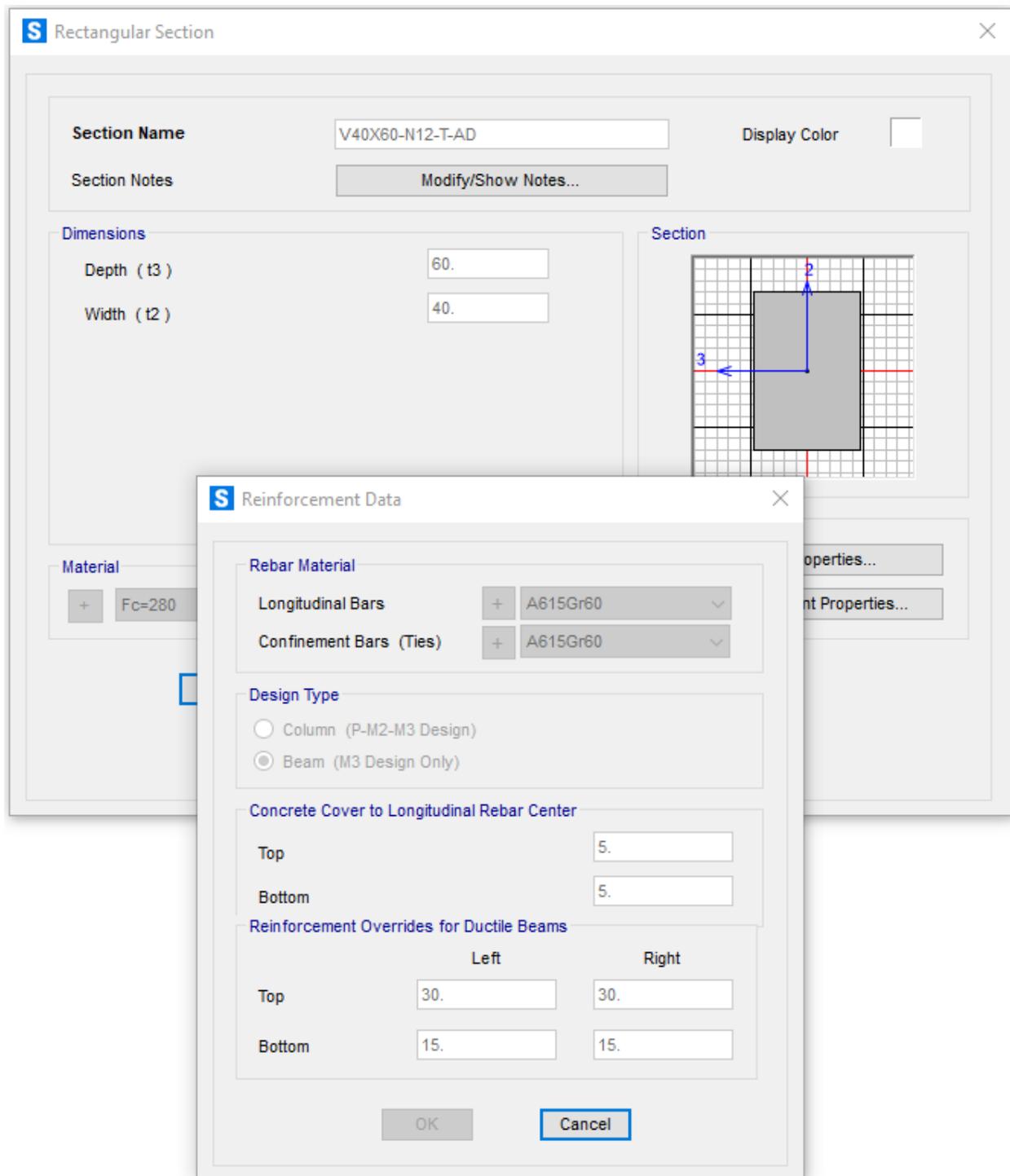
Check/Design

Reinforcement to be Checked

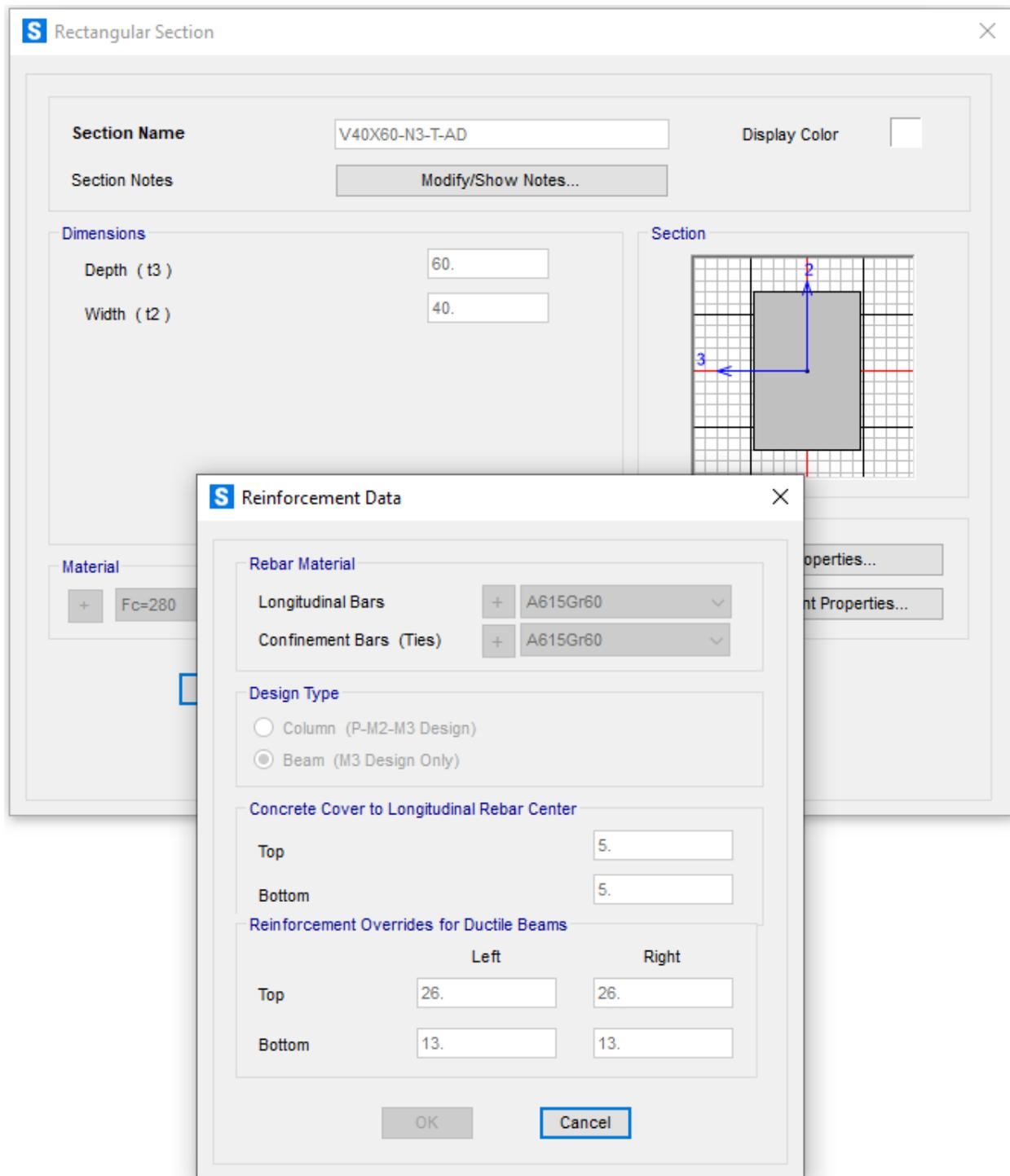
Reinforcement to be Designed

[OK] [Cancel]

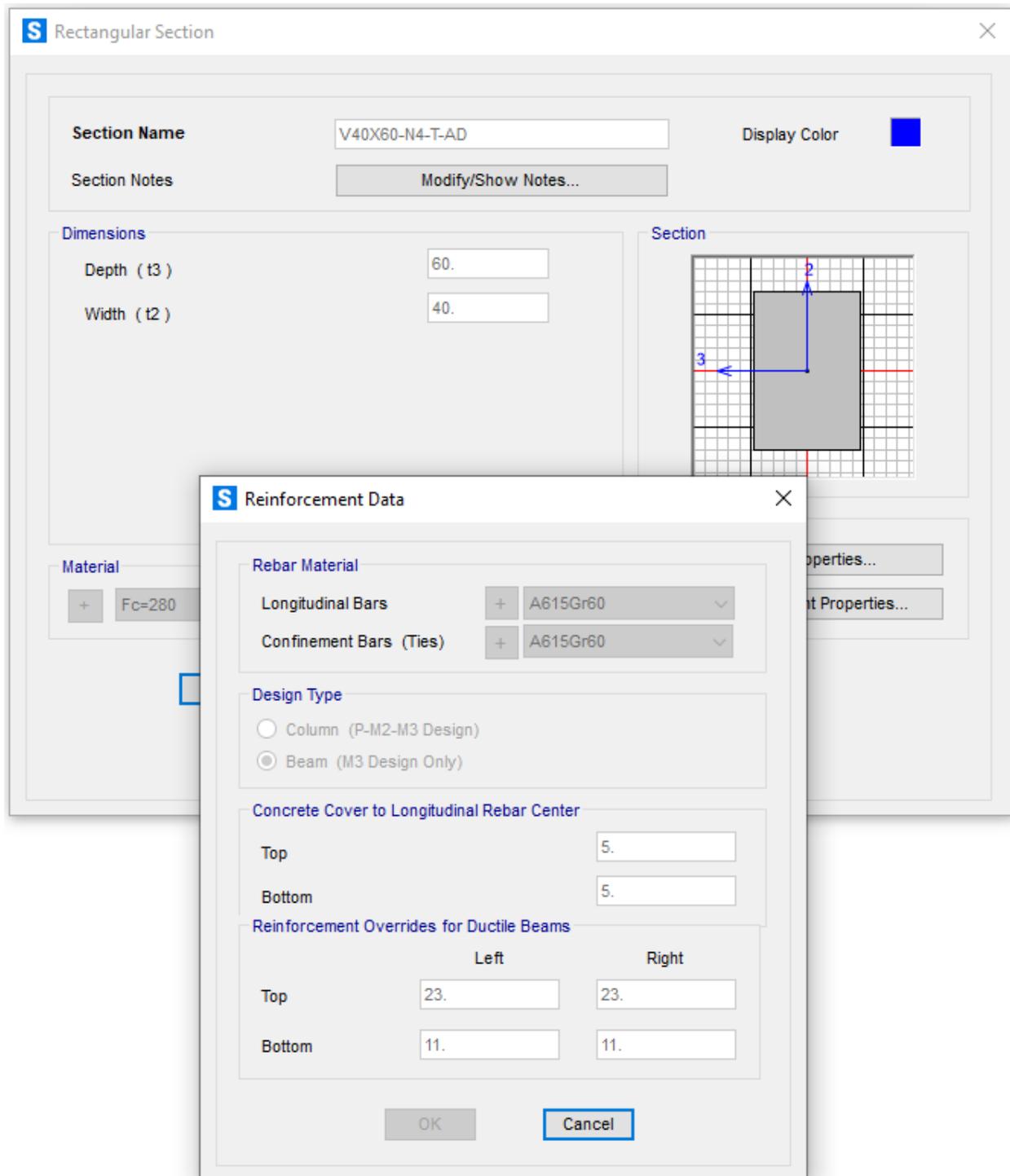
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



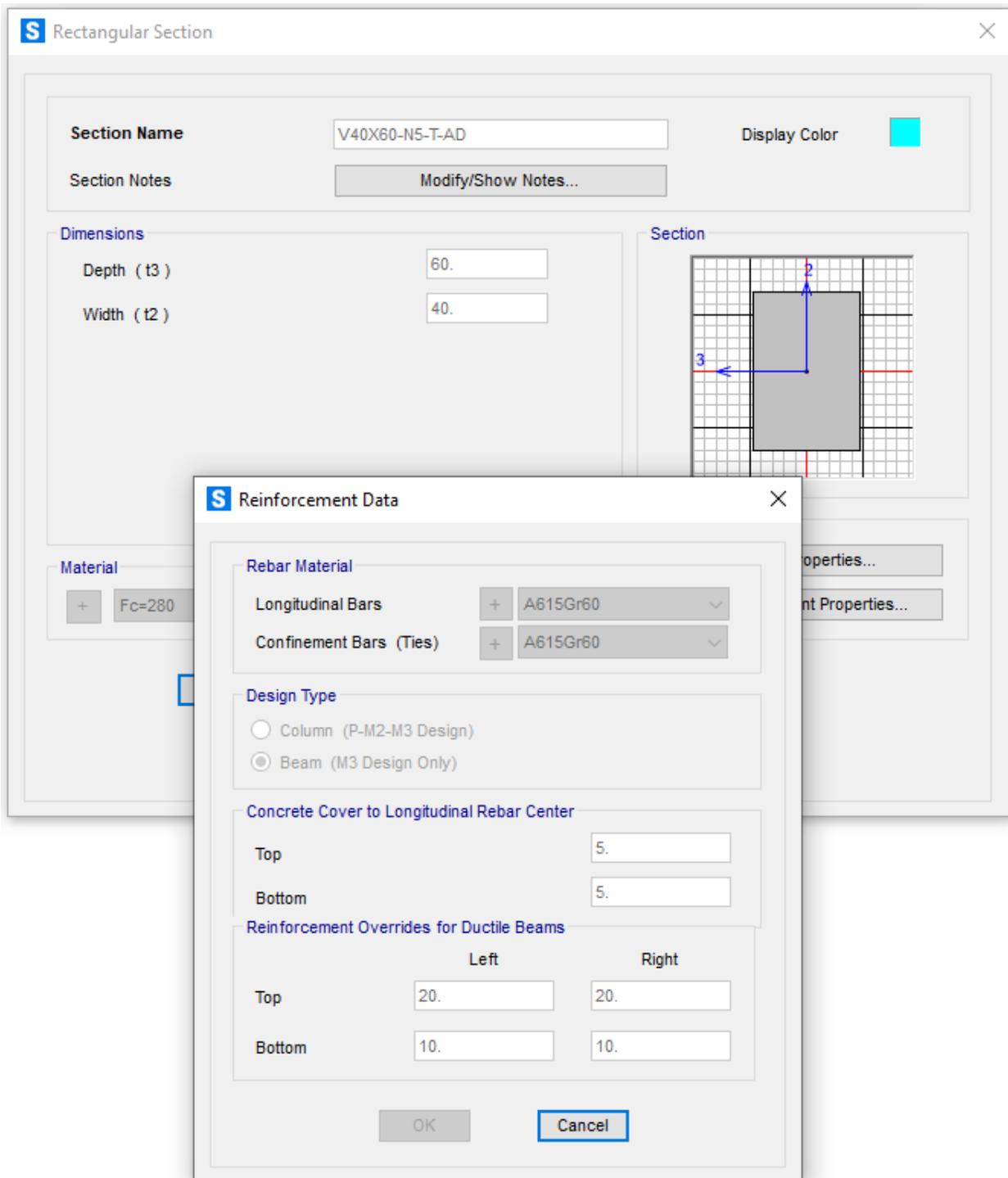
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



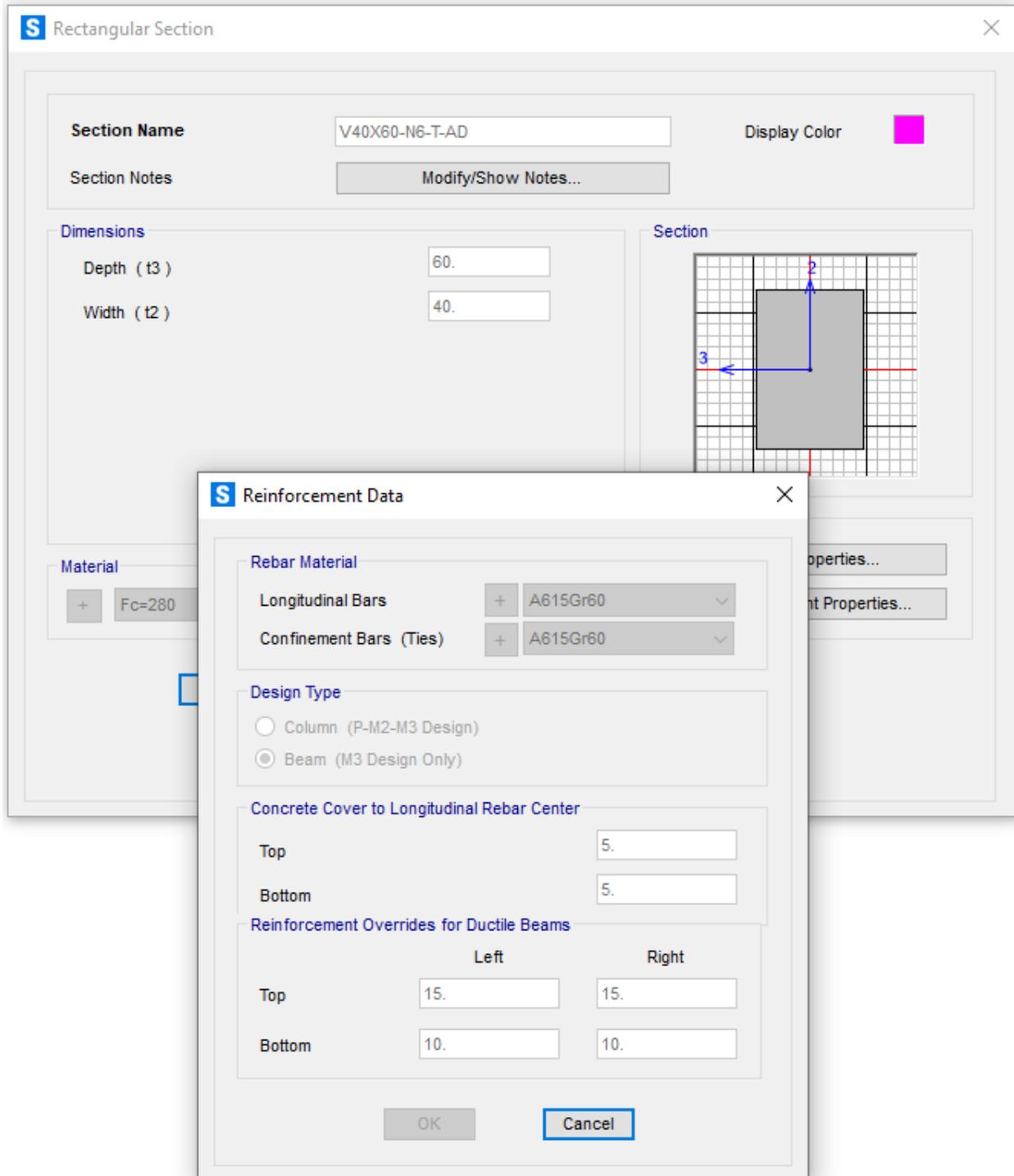
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

5. Factores de reducción de rigideces

a). - Propuesta ATC-40

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	—
Beams—prestressed	$E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	—
Columns with compression due to design gravity loads $\geq 0.5 A_g f_c$	$0.7E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
Columns with compression due to design gravity loads $\leq 0.3 A_g f_c$ or with tension	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_g A_s$
Walls—uncracked (on inspection)	$0.8E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
Walls—cracked	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
Flat Slabs—nonprestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_c A_g$	—
Flat Slabs—prestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_c A_g$	—

Note: It shall be permitted to take I_g for T-beams as twice the value of I_g of the web alone. Otherwise, I_g shall be based on the effective width as defined in Section 6.4.1.3. For columns with axial compression falling between the limits provided, linear interpolation shall be permitted. Alternatively, the more conservative effective stiffnesses shall be used.

b). -Propuesta FEMA 356 Y FEMA 440 (Método de los coeficientes)

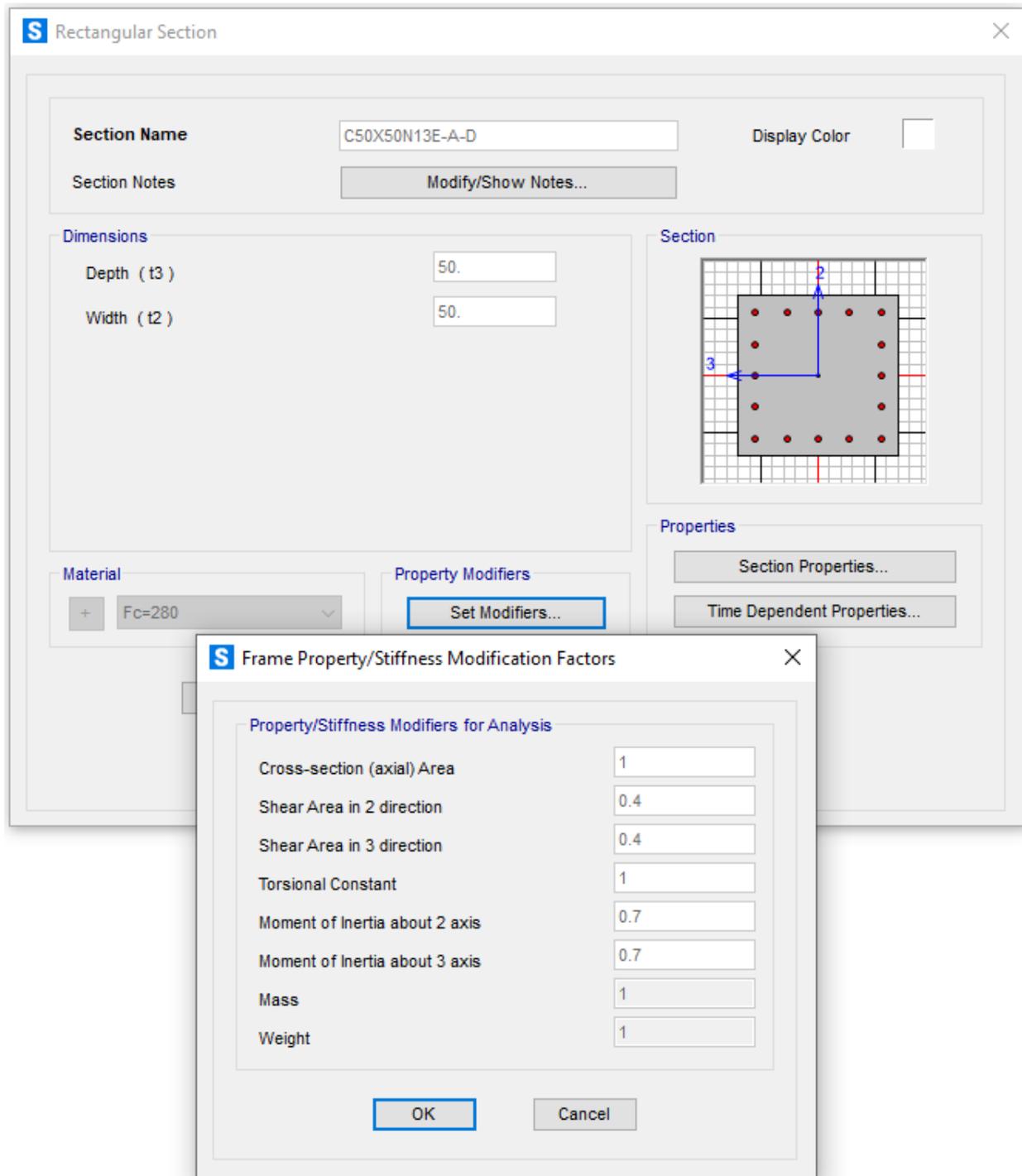
Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	—
Beams—prestressed	$E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	—
Columns with compression due to design gravity loads $\geq 0.5 A_g f_c$	$0.7E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
Columns with compression due to design gravity loads $\leq 0.3 A_g f_c$ or with tension	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_g A_s$
Walls—uncracked (on inspection)	$0.8E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
Walls—cracked	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
Flat Slabs—nonprestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_c A_g$	—
Flat Slabs—prestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_c A_g$	—

Note: It shall be permitted to take I_g for T-beams as twice the value of I_g of the web alone. Otherwise, I_g shall be based on the effective width as defined in Section 6.4.1.3. For columns with axial compression falling between the limits provided, linear interpolation shall be permitted. Alternatively, the more conservative effective stiffnesses shall be used.

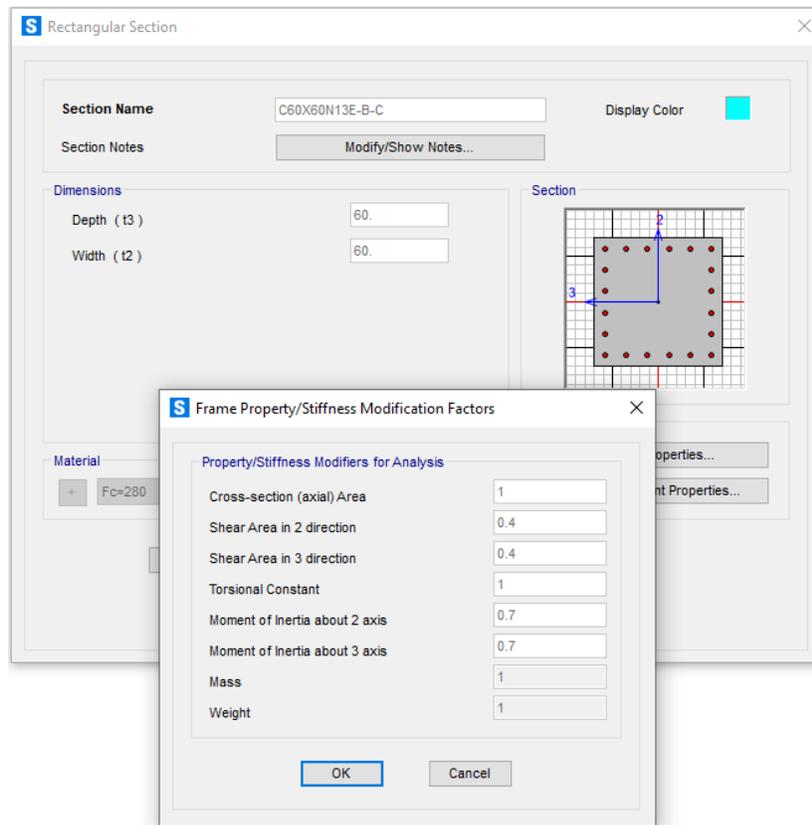
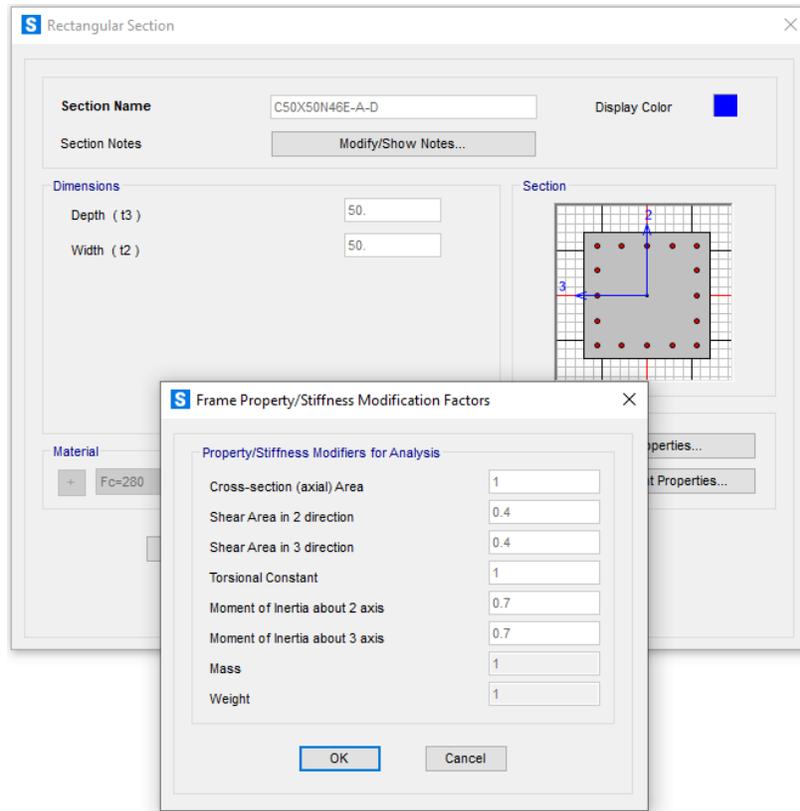
Nota: Se asume el criterio del ATC-40, donde para las columnas se aplica un factor de reducción de la inercia de 0.7 y para las vigas de 0.5, mientras que, para ambas, se aplica una reducción del área a corte de 0.4

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

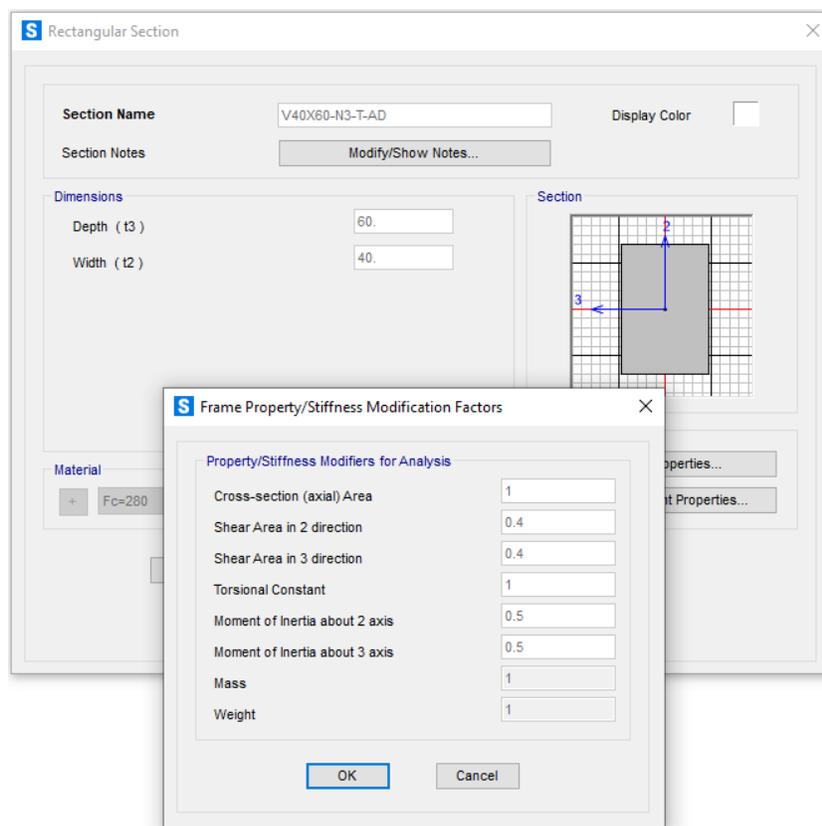
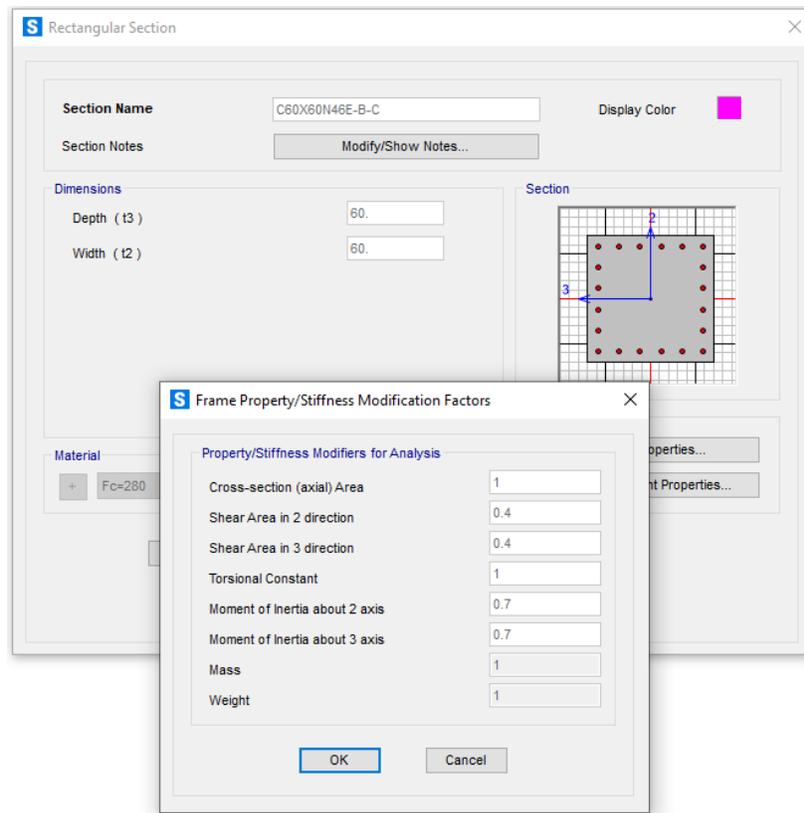
6. Aplicación de los factores de reducción de la inercia y del área a corte en columnas y vigas



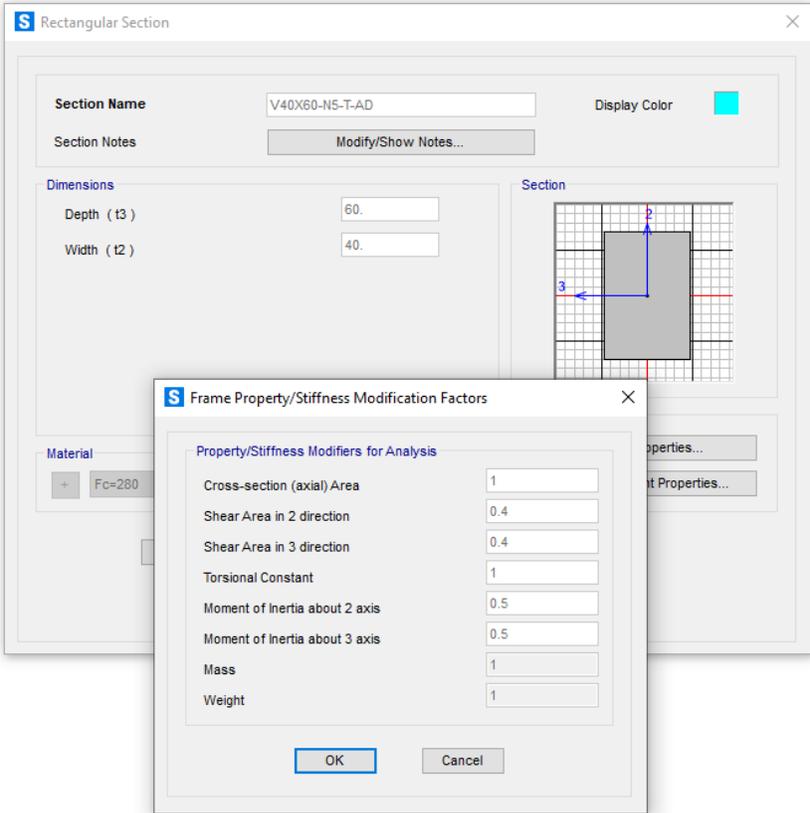
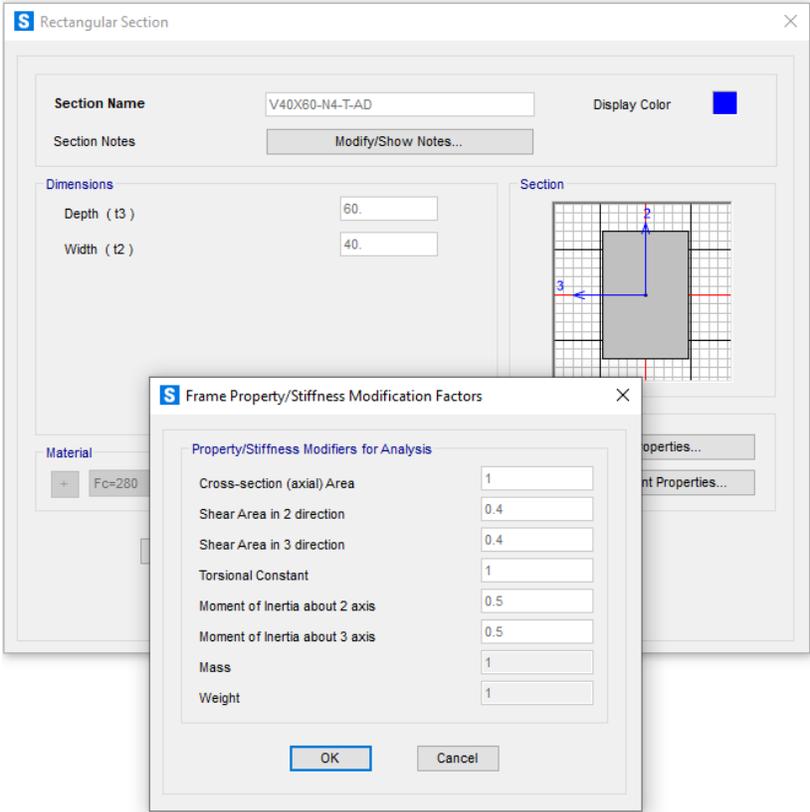
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



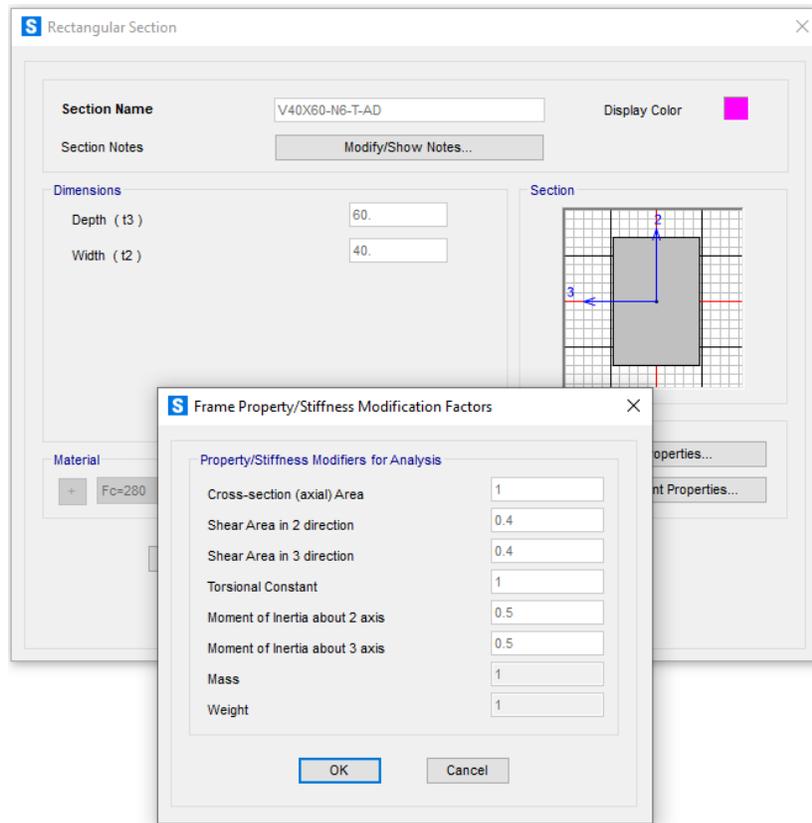
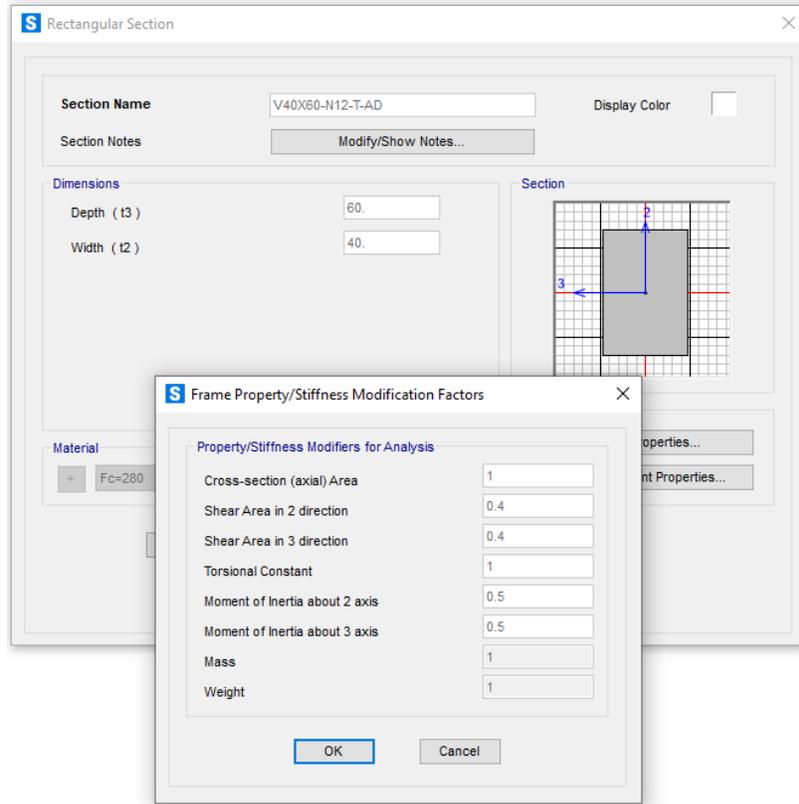
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

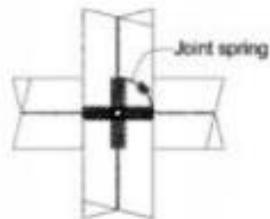


DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

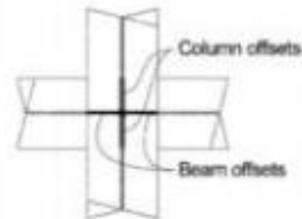
7. Brazos rígidos

Asumiendo la propuesta del ASCE 41-13, donde para la condición de columna fuerte-viga débil, con una relación de momentos mayor a 1.2 en la junta, se aplica un factor de 1.00 en columnas y de 0.00 en vigas

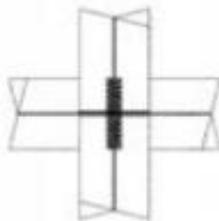
1. For $\Sigma M_{rc}/\Sigma M_{rb} > 1.2$, column offsets are rigid and beam offsets are not;
2. For $\Sigma M_{rc}/\Sigma M_{rb} < 0.8$, beam offsets are rigid and column offsets are not; and
3. For $0.8 \leq \Sigma M_{rc}/\Sigma M_{rb} \leq 1.2$, half of the beam and column offsets are considered rigid.



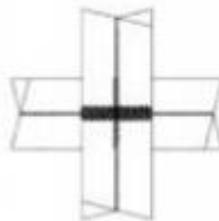
a) Example of explicit joint model



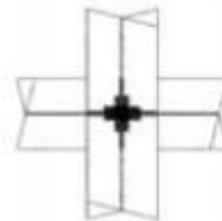
b) Offsets for implicit joint model



c) $\Sigma M_{rc}/\Sigma M_{rb} > 1.2$

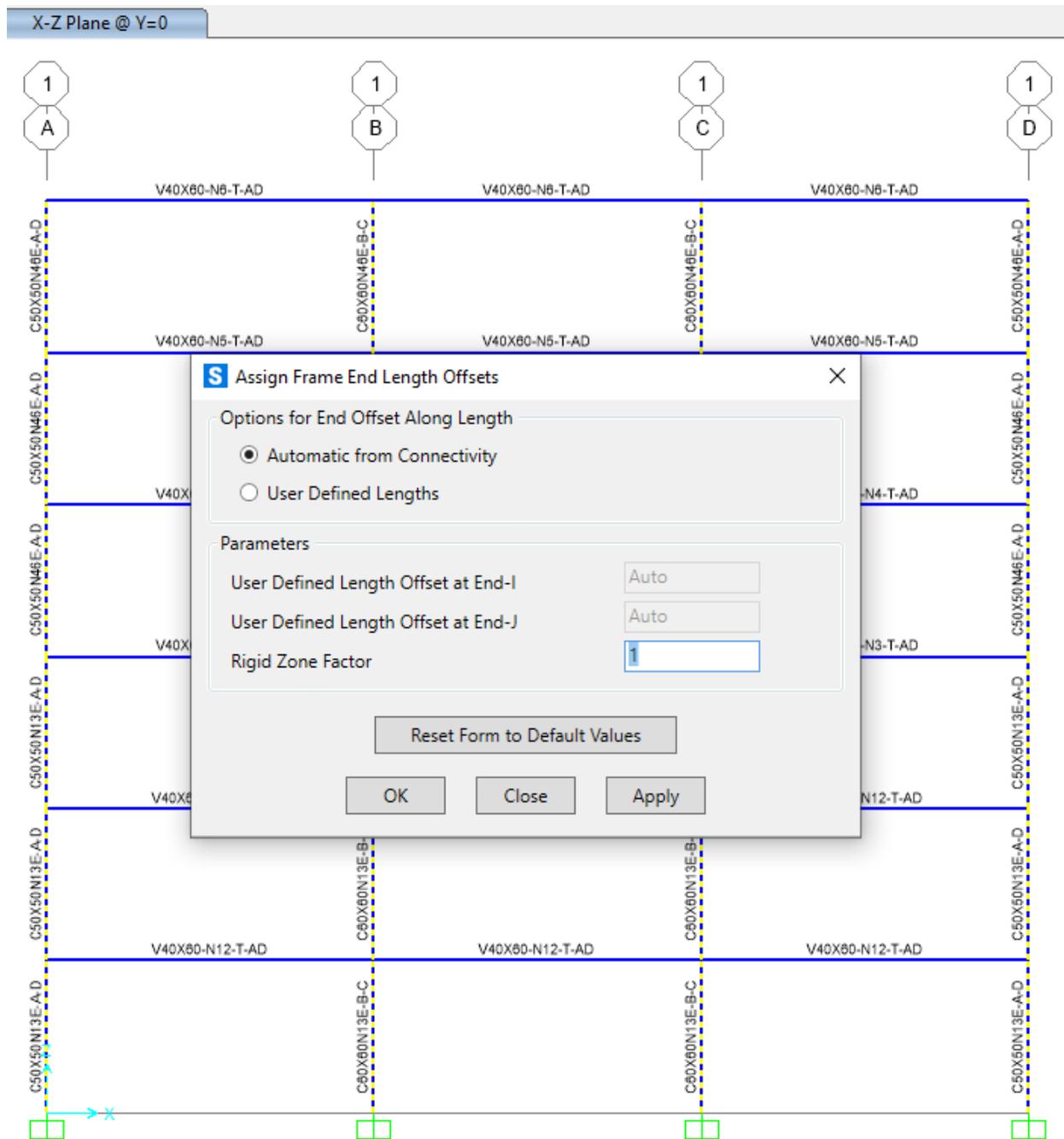


d) $\Sigma M_{rc}/\Sigma M_{rb} < 0.8$



e) $0.8 \leq \Sigma M_{rc}/\Sigma M_{rb} \leq 1.2$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Frame End Offsets

The diagram shows a structural frame with four columns labeled A, B, C, and D, and four levels labeled 1, 2, 3, and 4. The columns are labeled C50X50N46E-A-D, C50X50N46E-A-D, C50X50N13E-A-D, and C50X50N13E-A-D. The levels are labeled V40X80-N6-T-AD, V40X80-N5-T-AD, V40X80-N4-T-AD, and V40X80-N3-T-AD. A dialog box titled "Assign Frame End Length Offsets" is open, showing options for end offset along length: "Automatic from Connectivity" (selected) and "User Defined Lengths". Parameters include "User Defined Length Offset at End-I" (Auto), "User Defined Length Offset at End-J" (Auto), and "Rigid Zone Factor" (0). Buttons for "Reset Form to Default Values", "OK", "Close", and "Apply" are visible.

Options for End Offset Along Length

- Automatic from Connectivity
- User Defined Lengths

Parameters

User Defined Length Offset at End-I: Auto

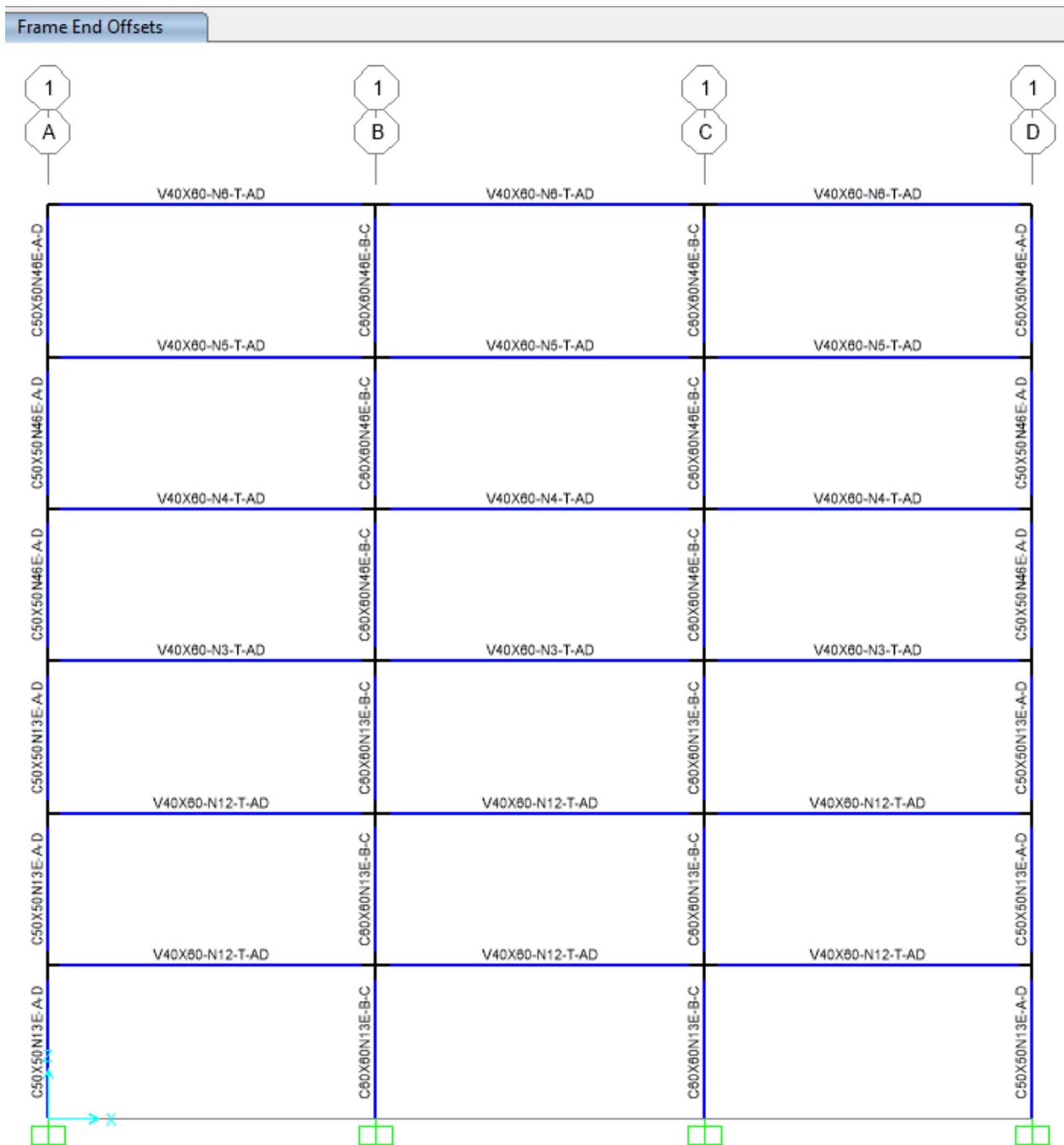
User Defined Length Offset at End-J: Auto

Rigid Zone Factor: 0

Reset Form to Default Values

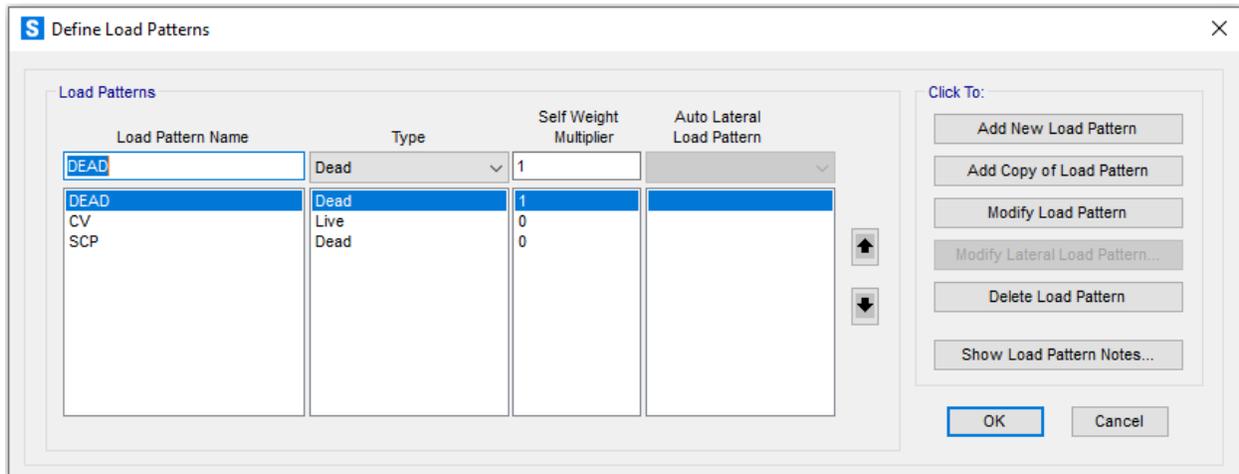
OK Close Apply

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

8. Definición de Patrones de carga

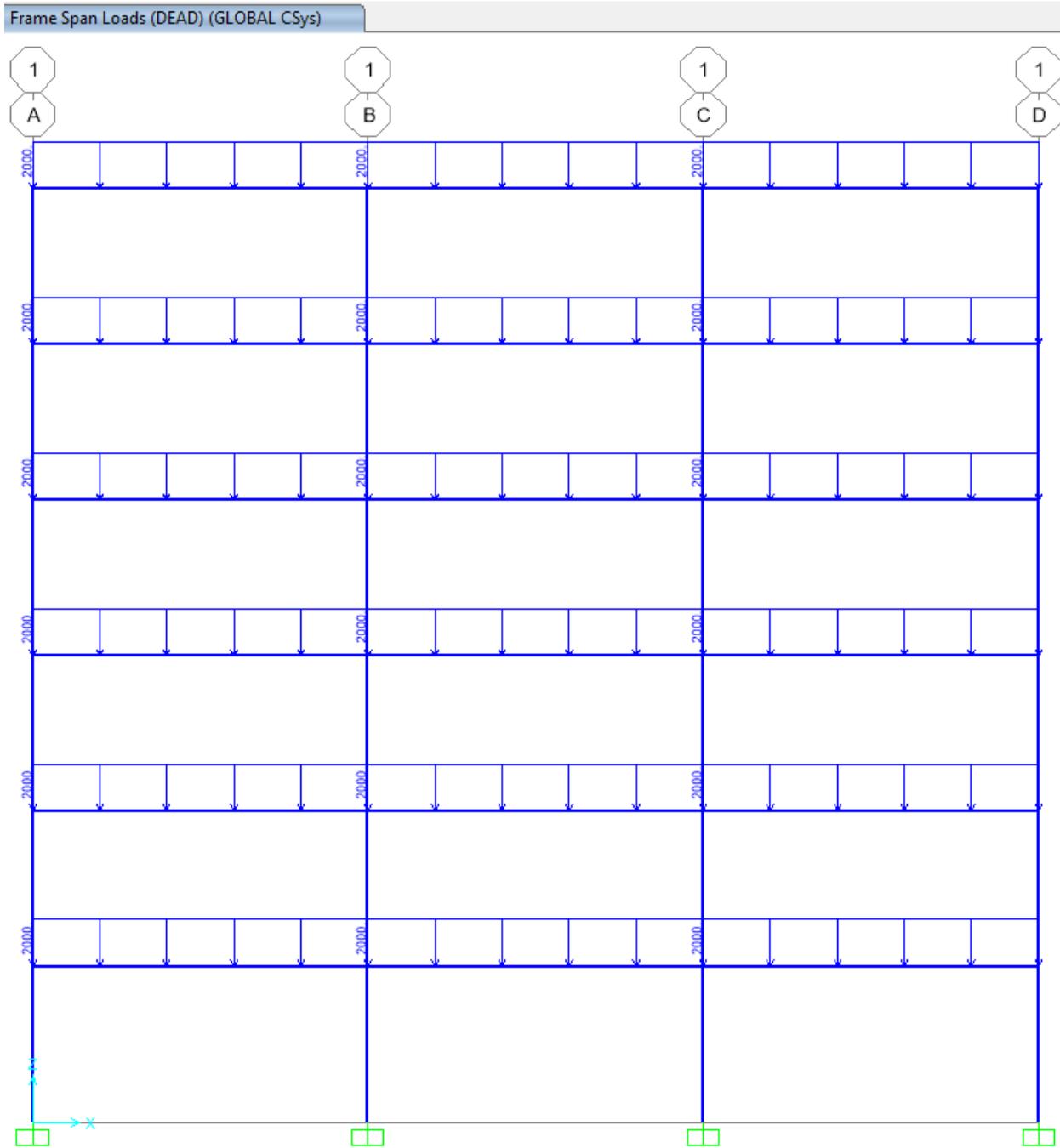


9.- Cargas a aplicar

Nivel	Dead	SCP	CV
	Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m
N-1	2000	1400	1500
N-2	2000	1400	1500
N-3	2000	1400	1500
N-4	2000	1400	1500
N-5	2000	1400	1500
N-6	2000	1400	1500
N-7	2000	1400	750

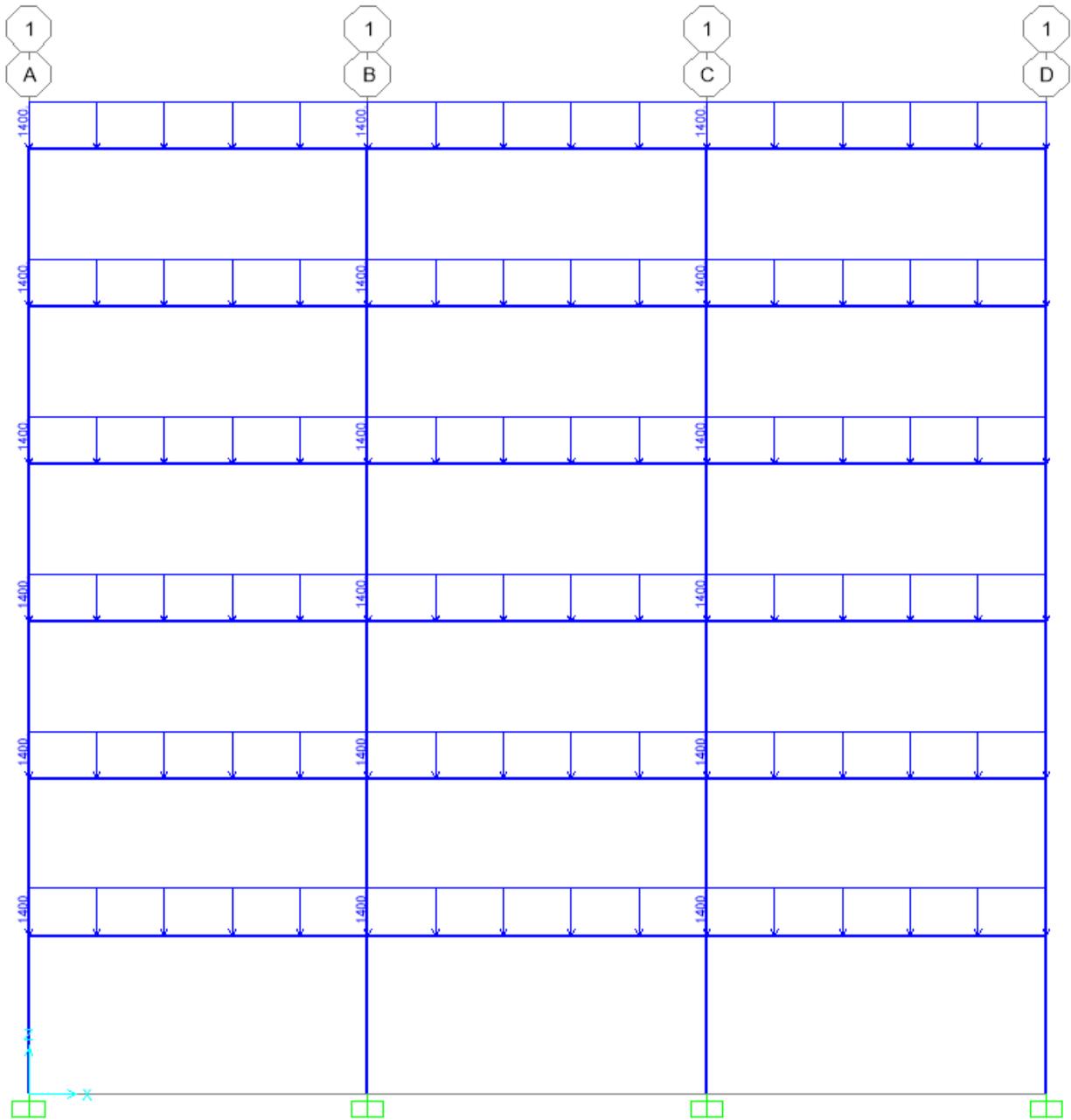
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

9. Asignación de cargas



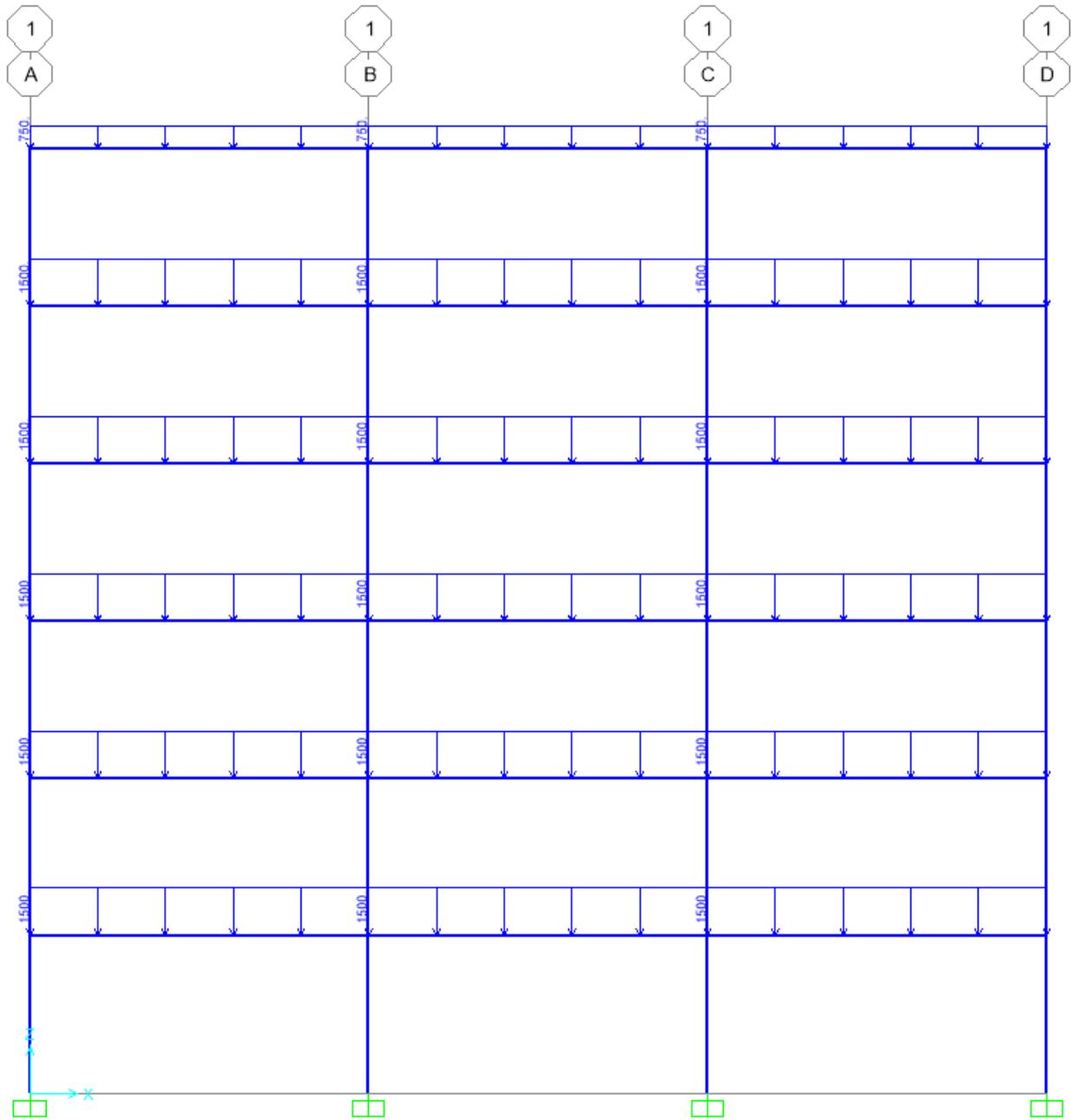
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Frame Span Loads (SCP) (GLOBAL CSys)



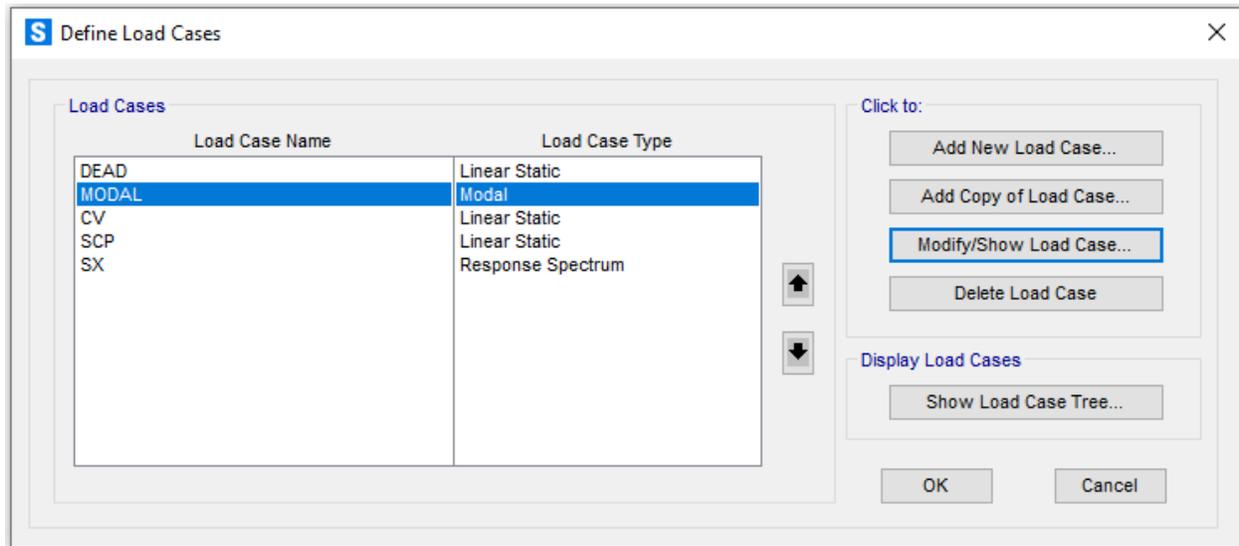
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Frame Span Loads (CV) (GLOBAL CSys)



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

10. Casos de carga

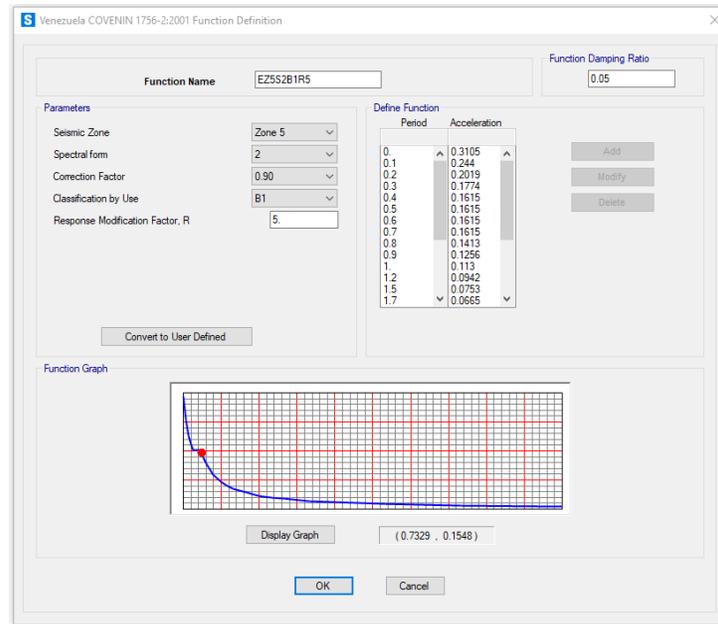


11. Acción Sísmica

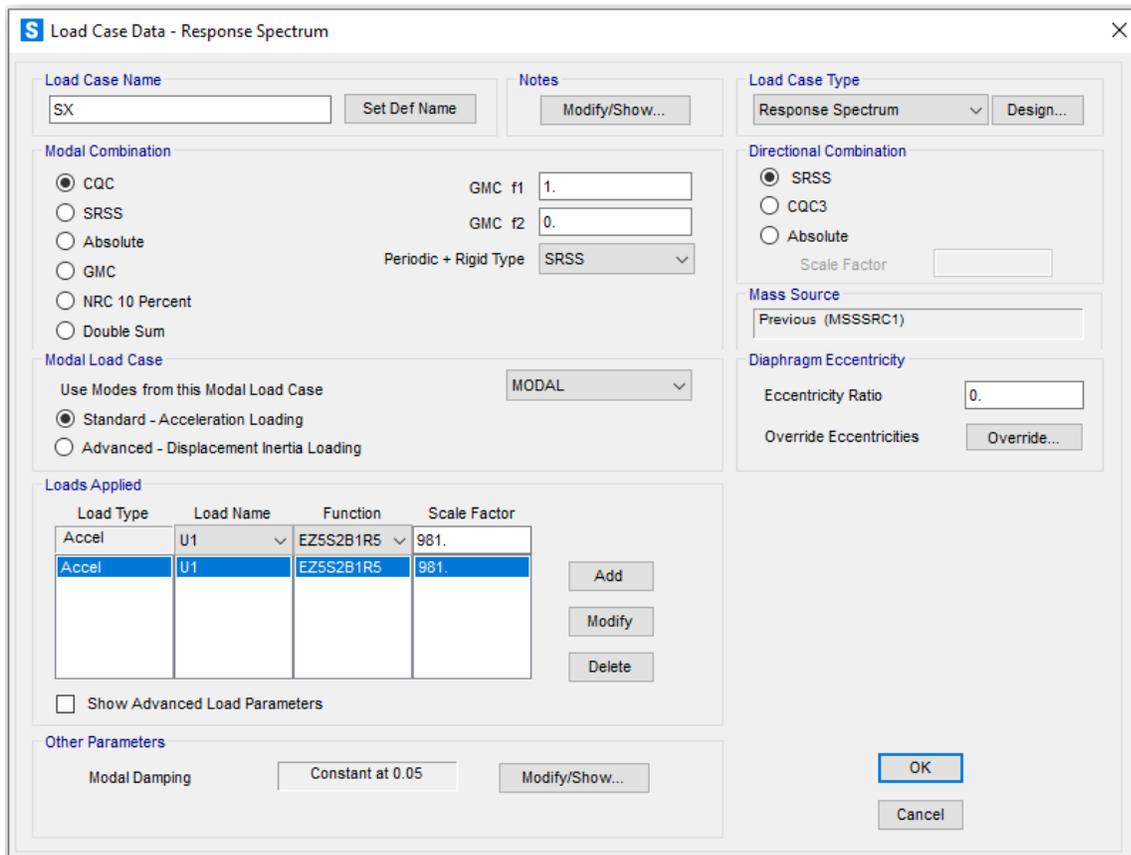
Se aplica un espectro Inelástico de la norma venezolana Covenin 1756 con los siguientes datos para el espectro

- Zona 5
- Suelo S2
- Factor de corrección 0.9
- Clasificación por uso: B1
- Para fines de diseño estructural se establece un $R=5$ (Espectro inelástico)
- Para la evaluación del punto de desempeño se establece un $R=5$

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO



Caso de carga SX



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

12. Masa

Mass Source Name: MSSSRC1

Mass Source

- Element Self Mass and Additional Mass
- Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD	1.
CV	0.5
SCP	1.

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

13. Caso modal

S Load Case Data - Modal

Load Case Name: MODAL [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Modal [Design...]

Stiffness to Use:
 Zero Initial Conditions - Unstressed State
 Stiffness at End of Nonlinear Case

Type of Modes:
 Eigen Vectors
 Ritz Vectors

Mass Source: MSSSRC1

Number of Modes:
Maximum Number of Modes: 12
Minimum Number of Modes: 1

Loads Applied:
 Show Advanced Load Parameters

Other Parameters:
Frequency Shift (Center): 0.
Cutoff Frequency (Radius): 0.
Convergence Tolerance: 1.000E-09
 Allow Automatic Frequency Shifting

[OK] [Cancel]

Casos de carga

S Define Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
DEAD	Linear Static
MODAL	Modal
CV	Linear Static
SCP	Linear Static
SX	Response Spectrum
CGNL	Nonlinear Static
PUSH-MODO1	Nonlinear Static

Click to:
[Add New Load Case...]
[Add Copy of Load Case...]
[Modify/Show Load Case...]
[Delete Load Case]

Display Load Cases:
[Show Load Case Tree...]

[OK] [Cancel]

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Combinaciones de carga

S Load Combination Data ×

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type ▾

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD ▾	Linear Static		1.4
DEAD	Linear Static		1.4
SCP	Linear Static		1.4

S Load Combination Data ×

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type ▾

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD ▾	Linear Static		1.2
DEAD	Linear Static		1.2
CV	Linear Static		1.6
SCP	Linear Static		1.2

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		1.2
DEAD	Linear Static		1.2
CV	Linear Static		1.
SCP	Linear Static		1.2
SX	Response Spectrum		1.

S Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

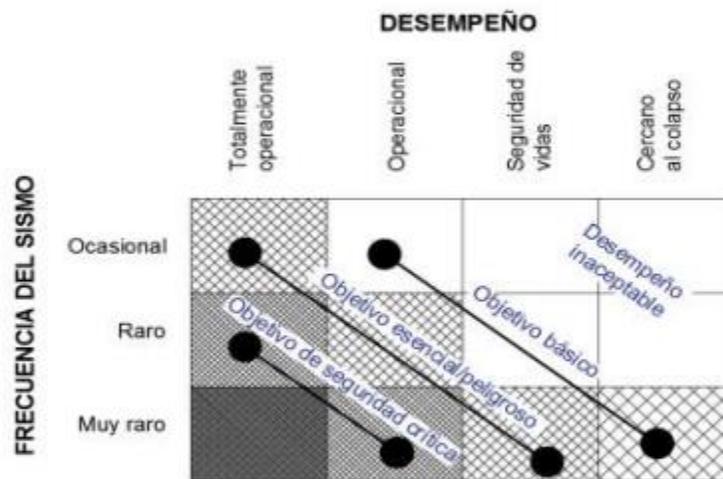
Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
DEAD	Linear Static		0.9
DEAD	Linear Static		0.9
SCP	Linear Static		0.9
SX	Response Spectrum		1.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

14. Análisis Estático No Lineal

Objetivo de desempeño, información obtenida de: (INESA TECH, 2020)

- Operacional o control de daño: En este nivel se presentan ciertos daños en los elementos estructurales y no estructurales de la edificación, pero sin comprometer su seguridad para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo. Es posible que se quieran ciertas reparaciones.
- Seguridad de vida: En este nivel se presentan daños significativos en los elementos estructurales de la edificación, pero manteniendo un margen de seguridad frente al colapso. Los daños ocasionados requerirán de una rehabilitación estructural para la ocupación de la edificación, sin embargo, no siempre será económicamente factible.



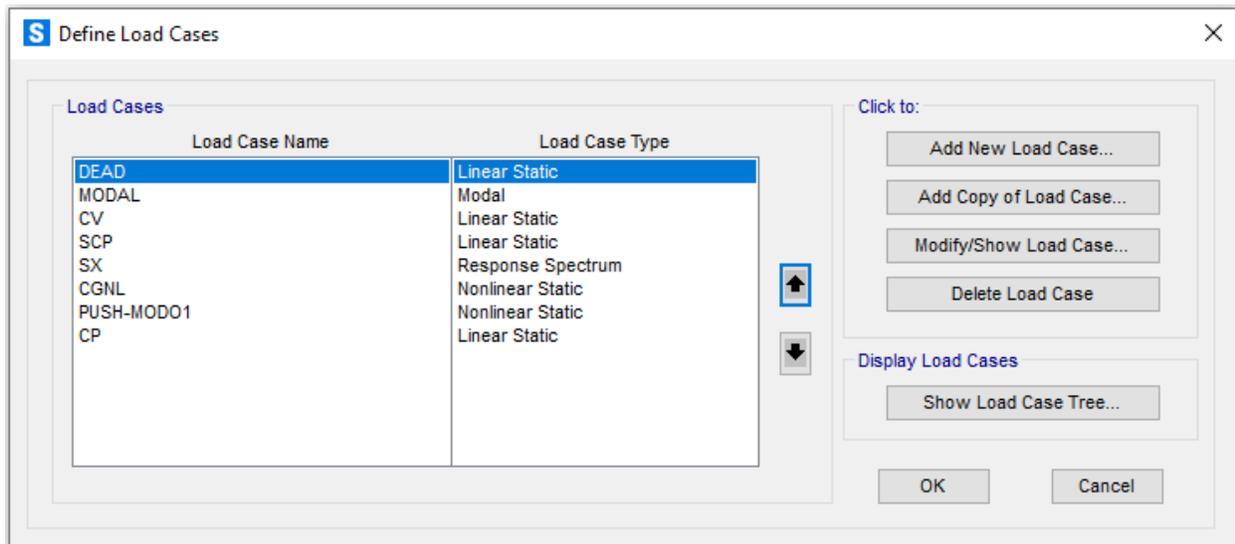
Para el sismo de servicio (ocasional) se debe garantizar un desempeño totalmente operacional, para el sismo de diseño (raro) un desempeño operacional y para el sismo máximo (muy raro) un desempeño basado en seguridad de vidas, donde para cada caso será necesario un control de las derivas máximas e inelásticas.

- Totalmente operacional ó inmediata ocupación: Corresponde a un nivel en el cual prácticamente no ocurren daños en la edificación. Todo el contenido y los servicios de la misma permanecen funcionales y disponibles para su uso. Los sistemas resistentes a carga vertical y lateral mantienen casi todas sus características y capacidades originales previas al sismo. No se requieren reparaciones.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

- **Operacional o control de daño:** En este nivel se presentan ciertos daños en los elementos estructurales y no estructurales de la edificación, pero sin comprometer su seguridad para continuar siendo ocupada inmediatamente después del sismo. Es posible que se quieran ciertas reparaciones.
- **Seguridad de vida:** En este nivel se presentan daños significativos en los elementos estructurales de la edificación, pero manteniendo un margen de seguridad frente al colapso. Los daños ocasionados requerirán de una rehabilitación estructural para la ocupación de la edificación, sin embargo, no siempre será económicamente factible.

15. casos de carga



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

16. Carga gravitacional no lineal (CGNL)

The dialog box is titled "S Load Case Data - Nonlinear Static" and contains the following sections:

- Load Case Name:** A text field containing "CGNL" and a "Set Def Name" button.
- Notes:** A "Modify/Show..." button.
- Load Case Type:** A dropdown menu set to "Static" and a "Design..." button.
- Initial Conditions:** Radio buttons for "Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State" (selected) and "Continue from State at End of Nonlinear Case". An "Important Note" states: "Loads from this previous case are included in the current case".
- Modal Load Case:** A dropdown menu set to "MODAL".
- Loads Applied:** A table with columns "Load Type", "Load Name", and "Scale Factor".

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	DEAD	1.2
Load Pattern	DEAD	1.2
Load Pattern	SCP	1.2
Load Pattern	CV	0.5

Buttons for "Add", "Modify", and "Delete" are located to the right of the table.
- Analysis Type:** Radio buttons for "Linear" and "Nonlinear" (selected).
- Geometric Nonlinearity Parameters:** Radio buttons for "None", "P-Delta" (selected), and "P-Delta plus Large Displacements".
- Mass Source:** A dropdown menu set to "Previous".
- Other Parameters:** Three rows of options: "Load Application" (Full Load), "Results Saved" (Final State Only), and "Nonlinear Parameters" (Default). Each row has a "Modify/Show..." button.

At the bottom right, there are "OK" and "Cancel" buttons.

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

Full Load
 Displacement Control

Control Displacement

Use Conjugate Displacement
 Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of

Monitored Displacement

DOF at Joint
 Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

S Results Saved for Nonlinear Static Load Cases

Results Saved

Final State Only Multiple States

For Each Stage

Minimum Number of Saved States
Maximum Number of Saved States

Save positive Displacement Increments Only

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Nonlinear Parameters [Close]

Solution Control

Maximum Total Steps per Stage	200
Maximum Null (Zero) Steps per Stage	50
Use Event-to-event Stepping	Yes
Event Lumping Tolerance (Relative)	0.01
Maximum Events per Step	24
Use Iteration	Yes
Maximum Constant-Stiff Iterations per Step	10
Maximum Newton-Raphson Iter. per Step	40
Iteration Convergence Tolerance (Relative)	1.000E-04
Use Line Search	No
Max Line Searches per Iteration	
Line-search Acceptance Tol. (Relative)	
Line-search Step Factor	

Target Force Iteration

Maximum Iterations per Stage	10
Convergence Tolerance (Relative)	0.01
Acceleration Factor	1.
Continue Analysis If No Convergence	No

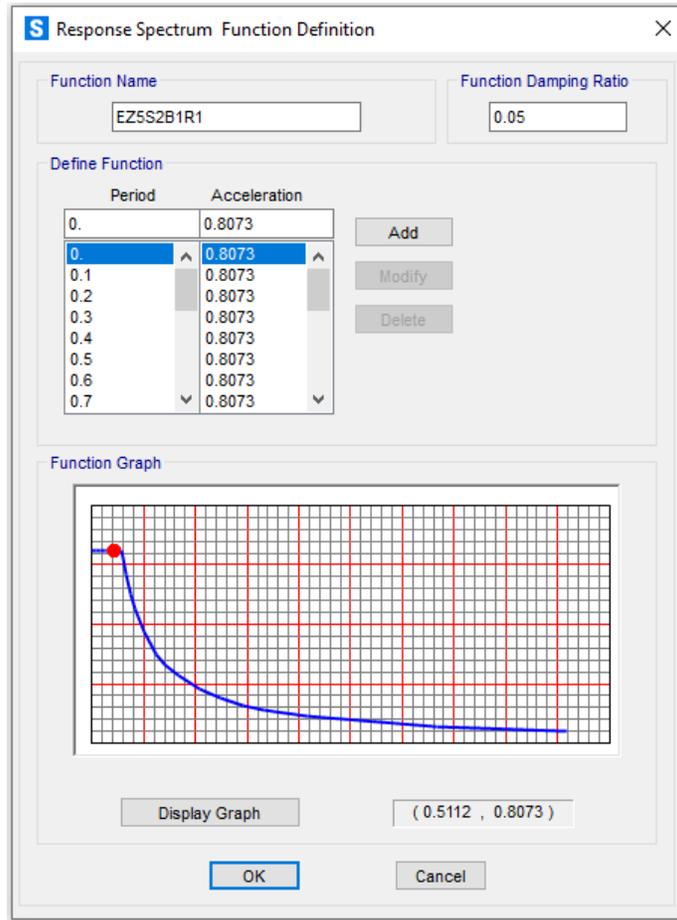
Reset To Defaults

OK Cancel

Nota: en estos parámetros no cambiamos nada

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

17. Espectro elástico



18. Patrón de carga lateral no lineal (modo 1)

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSH-MODO1

Initial Conditions: Continue from State at End of Nonlinear Case

Modal Load Case: MODAL

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1.

Analysis Type: Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters: P-Delta

Mass Source: Previous

Other Parameters: Load Application (Displ Control), Results Saved (Multiple States), Nonlinear Parameters (Default)

OK Cancel

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

19. Configuración de otros parámetros

S Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

Full Load

Displacement Control

Control Displacement

Use Conjugate Displacement

Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of

Monitored Displacement

DOF at Joint

Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

S Results Saved for Nonlinear Static Load Cases

Results Saved

Final State Only Multiple States

For Each Stage

Minimum Number of Saved States

Maximum Number of Saved States

Save positive Displacement Increments Only

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

20. Disposición de rotulas plásticas en vigas

Disposición de rotulas plásticas en vigas			
NIVEL 1 al 3			
Tramo	1	2	3
Long (m)	7.00	7.00	7.00
Col izq (m)	0.5	0.6	0.6
Col der (m)	0.6	0.6	0.5
L-Libre (m)	6.45	6.4	6.45
Li Rotula %	3.57%	4.29%	4.29%
Li Rotula % (Análisis)	4.00%	5.00%	5.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.04	0.05	0.05
Lj-Rotula %	4.29%	4.29%	3.57%
Lj-Rotula % (Análisis)	5.00%	5.00%	4.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.95	0.95	0.96
Disposición de rotulas plásticas en vigas			
NIVEL 4 al 6			
Tramo	1	2	3
Long (m)	7.00	7.00	7.00
Col izq (m)	0.5	0.6	0.6
Col der (m)	0.6	0.6	0.5
L-Libre (m)	6.45	6.4	6.45
Li Rotula %	3.57%	4.29%	4.29%
Li Rotula % (Análisis)	4.00%	5.00%	5.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.04	0.05	0.05
Lj-Rotula %	4.29%	4.29%	3.57%
Lj-Rotula % (Análisis)	5.00%	5.00%	5.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.95	0.95	0.95

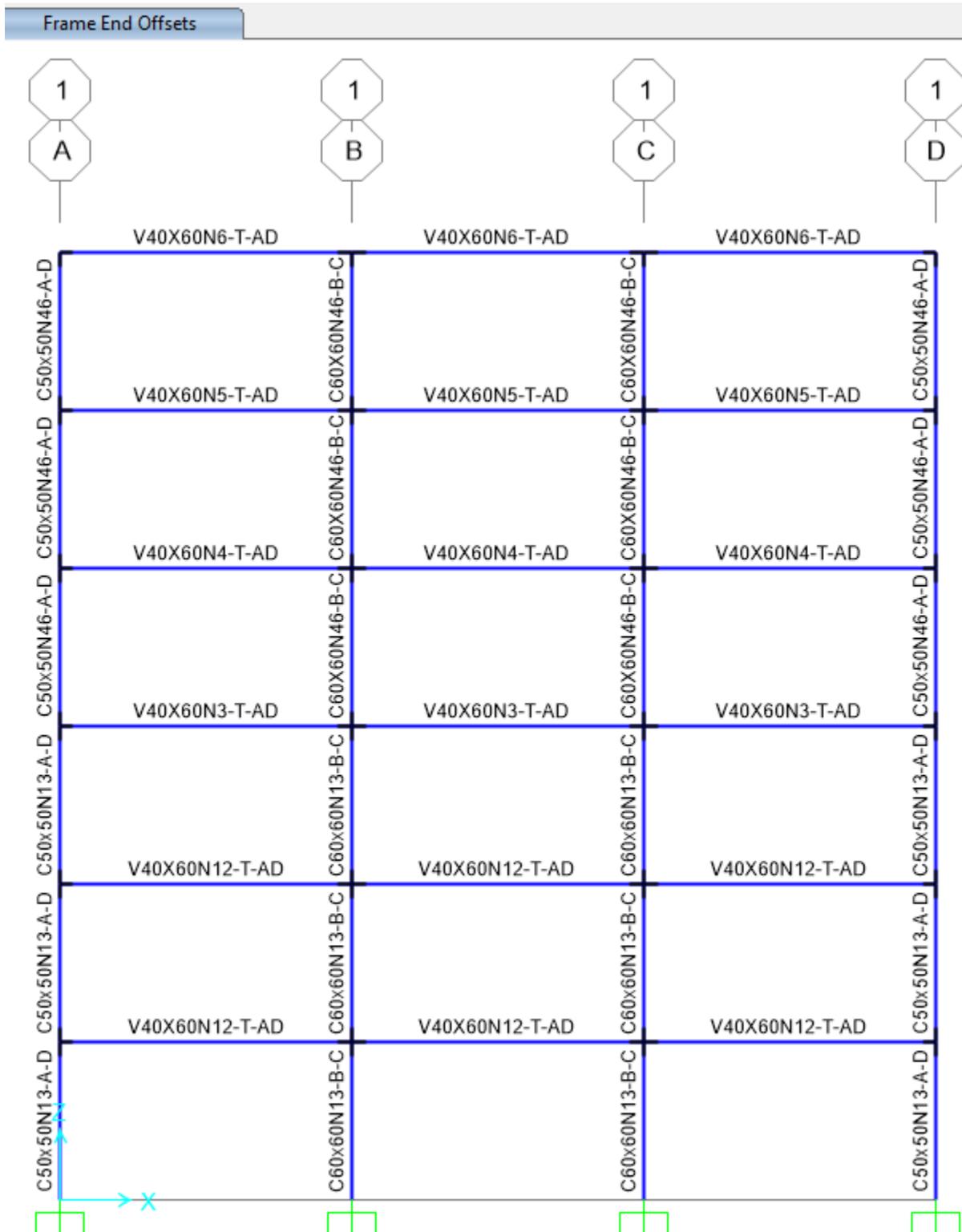
Disposición de rotulas plásticas en columnas

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Disposición de rotulas plásticas en columnas		
NIVEL 1 al 3		
Tramo	1	Resto
Long (m)	3.25	3.25
Col izq (m)	0	0.6
Col der (m)	0.6	0.6
L-Libre (m)	2.95	2.65
Li Rotula %	0.00%	9.23%
Li Rotula % (Análisis)	2.50%	10.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.03	0.10
Lj-Rotula %	9.23%	9.23%
Lj-Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.90	0.90
Disposición de rotulas plásticas en columnas		
NIVEL 4 al 6		
Tramo	1	Resto
Long (m)	3.25	3.25
Col izq (m)	0.6	0.6
Col der (m)	0.6	0.6
L-Libre (m)	2.65	2.65
Li Rotula %	9.23%	9.23%
Li Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%
Li Rotula Relativa (Análisis)	0.10	0.10
Lj-Rotula %	9.23%	9.23%
Lj-Rotula % (Análisis)	10.00%	10.00%
Lj-Rotula Relativa (Análisis)	0.90	0.90

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

21. Brazos rígidos



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

22. Definición de rotulas en vigas

S Assign Frame Hinges

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Relative To Clear Length	0.96	
Auto M3	Relative To Clear Length	0.04	
Auto M3	Relative To Clear Length	0.96	

Add Hinge...
Modify Hinge...
Delete Hinge

Note: Hold the Ctrl key down when clicking the Modify button to Modify or Show the Auto hinge properties of the selected hinge

Current Hinge Information
Type: From Tables In ASCE 41-13
Table: Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i
DOF: M3

Options

Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns
 Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects
Number of Selected Frame Objects: 6
Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 12
All 12 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

OK Close Apply

S Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table
Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Degree of Freedom
 M2
 M3

V Value From
 Case/Combo PUSH-MODO1
 User Value V2

Transverse Reinforcing
 Transverse Reinforcing is Conforming

Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced
 From Current Design
 User Value (for positive bending)

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Assign Frame Hinges [X]

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Relative To Clear Length	0.95	
Auto M3	Relative To Clear Length	0.05	
Auto M3	Relative To Clear Length	0.95	

Note: Hold the Ctrl key down when clicking the Modify button to Modify or Show the Auto hinge properties of the selected hinge

Current Hinge Information
 Type: From Tables In ASCE 41-13
 Table: Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i
 DOF: M3

Options

Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns
 Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects
 Number of Selected Frame Objects: 6
 Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 12
 All 12 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

S Auto Hinge Assignment Data [X]

Auto Hinge Type

From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table

Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Degree of Freedom

M2
 M3

V Value From

Case/Combo
 User Value

Transverse Reinforcing

Transverse Reinforcing is Conforming

Reinforcing Ratio $(p - p') / p_{balanced}$

From Current Design
 User Value (for positive bending)

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity

Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Assign Frame Hinges [X]

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Relative To Clear Length	0.96	
Auto M3	Relative To Clear Length	0.05	
Auto M3	Relative To Clear Length	0.96	

Note: Hold the Ctrl key down when clicking the Modify button to Modify or Show the Auto hinge properties of the selected hinge

Current Hinge Information
 Type: From Tables In ASCE 41-13
 Table: Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i
 DOF: M3

Options

Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns
 Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects
 Number of Selected Frame Objects: 6
 Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 6
 All 6 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

S Auto Hinge Assignment Data [X]

Auto Hinge Type
 From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table
 Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Degree of Freedom

M2
 M3

V Value From

Case/Combo
 User Value

Transverse Reinforcing

Transverse Reinforcing is Conforming

Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced

From Current Design
 User Value (for positive bending)

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity

Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

23. Definición de rotulas en las columnas

S Assign Frame Hinges [X]

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Relative To Clear Length	0.9	
Auto P-M3	Relative To Clear Length	0.03	
Auto P-M3	Relative To Clear Length	0.9	

Note: Hold the Ctrl key down when clicking the Modify button to Modify or Show the Auto hinge properties of the selected hinge

Current Hinge Information
 Type: From Tables In ASCE 41-13
 Table: Table 10-8 (Concrete Columns)
 DOF: P-M3

Options

Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns
 Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects
 Number of Selected Frame Objects: 4
 Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 8
 All 8 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

S Auto Hinge Assignment Data [X]

Auto Hinge Type
 From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table
 Table 10-8 (Concrete Columns)

Degree of Freedom

M2 P-M2 Parametric P-M2-M3
 M3 P-M3
 M2-M3 P-M2-M3

P and V Values From

Case/Combo PUSH-MODO1
 User Value
 V2 V3

Concrete Column Failure Condition

Condition i - Flexure Condition iv - Development
 Condition ii - Flexure/Shear
 Condition iii - Shear

Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w \cdot s)$

From Current Design
 User Value

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity

Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

S Assign Frame Hinges [X]

Frame Hinge Assignment Data

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Absolute Distance m
Auto	Relative To Clear Length	0.9	
Auto P-M3	Relative To Clear Length	0.1	
Auto P-M3	Relative To Clear Length	0.9	

Add Hinge...
Modify Hinge...
Delete Hinge

Note: Hold the Ctrl key down when clicking the Modify button to Modify or Show the Auto hinge properties of the selected hinge

Current Hinge Information
Type: From Tables In ASCE 41-13
Table: Table 10-8 (Concrete Columns)
DOF: P-M3

Options

Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns
 Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns

Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects
Number of Selected Frame Objects: 20
Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 40
All 40 existing hinge assignments will be removed when the above hinge assignment is applied

Fill Form with Hinges on Selected Frame Object

OK Close Apply

S Auto Hinge Assignment Data [X]

Auto Hinge Type
From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table
Table 10-8 (Concrete Columns)

Degree of Freedom

M2 P-M2 Parametric P-M2-M3
 M3 P-M3
 M2-M3 P-M2-M3

P and V Values From
 Case/Combo PUSH-MODO1
 User Value
V2 V3

Concrete Column Failure Condition
 Condition i - Flexure Condition iv - Development
 Condition ii - Flexure/Shear
 Condition iii - Shear

Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w * s)$
 From Current Design
 User Value

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
 Drops Load After Point E
 Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

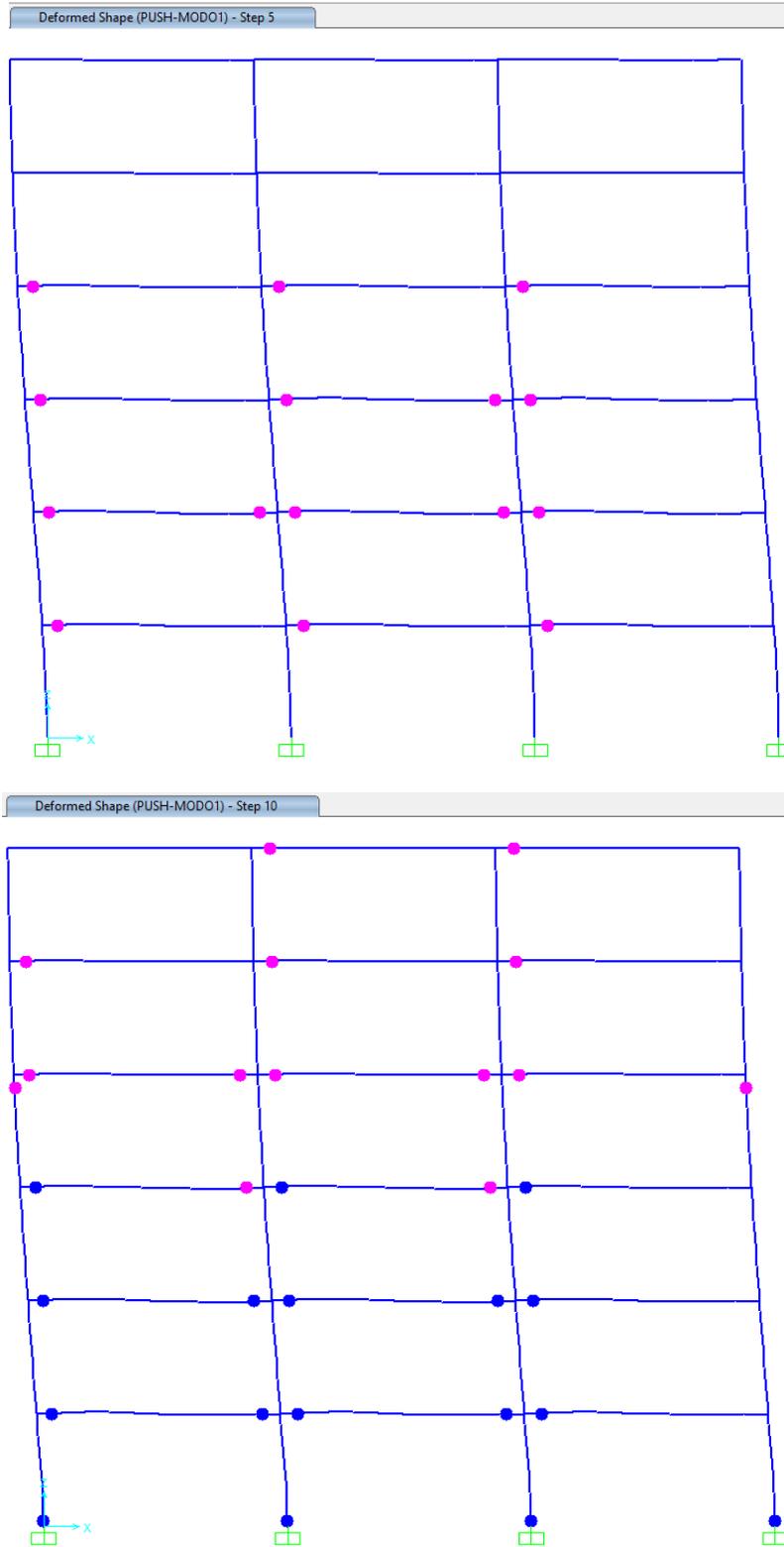
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

24. Asignación de rótulas



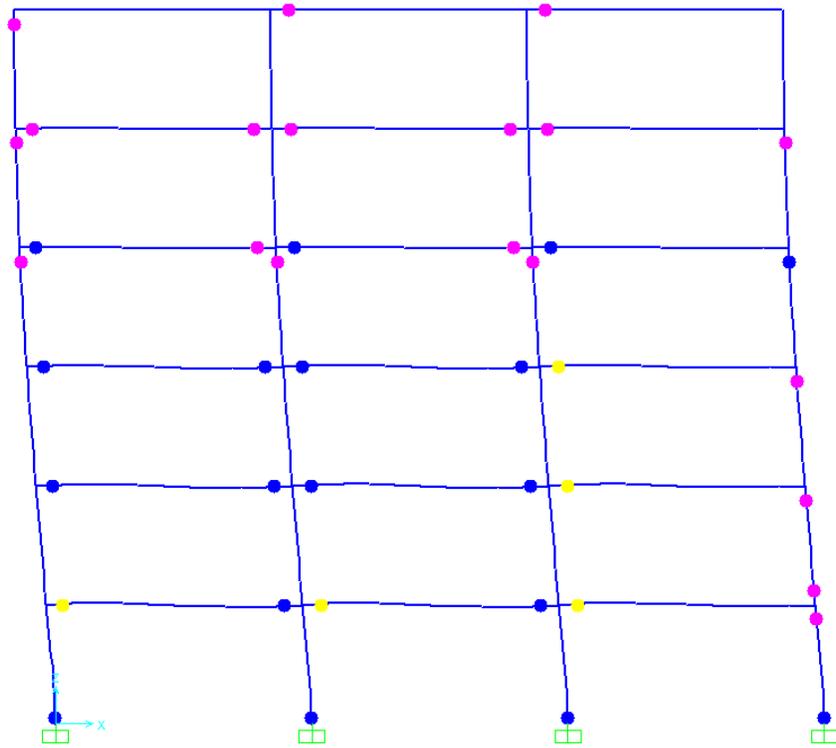
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

25. Rótulas plásticas

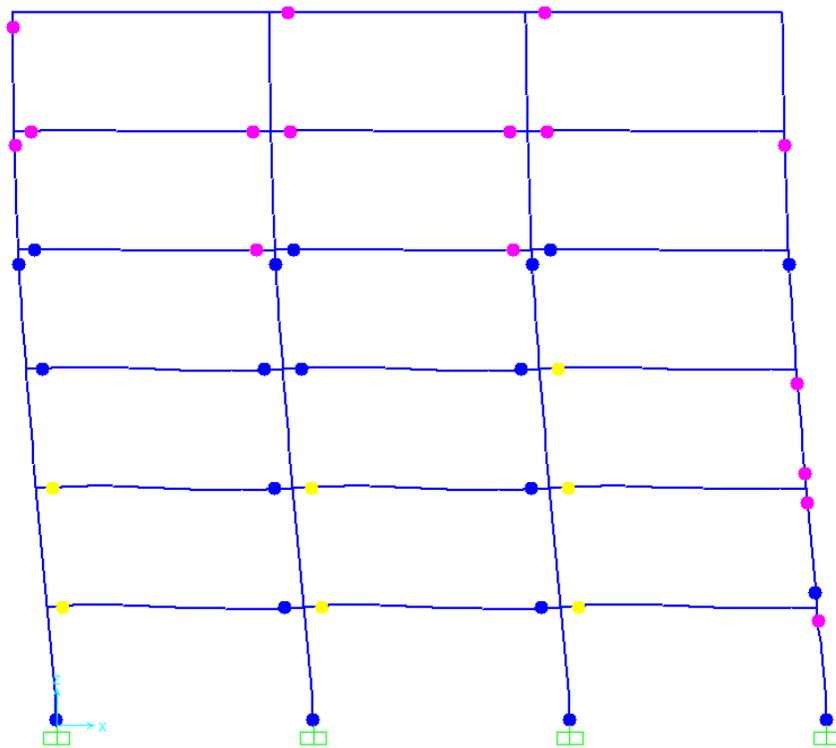


DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Deformed Shape (PUSH-MODO1) - Step 15

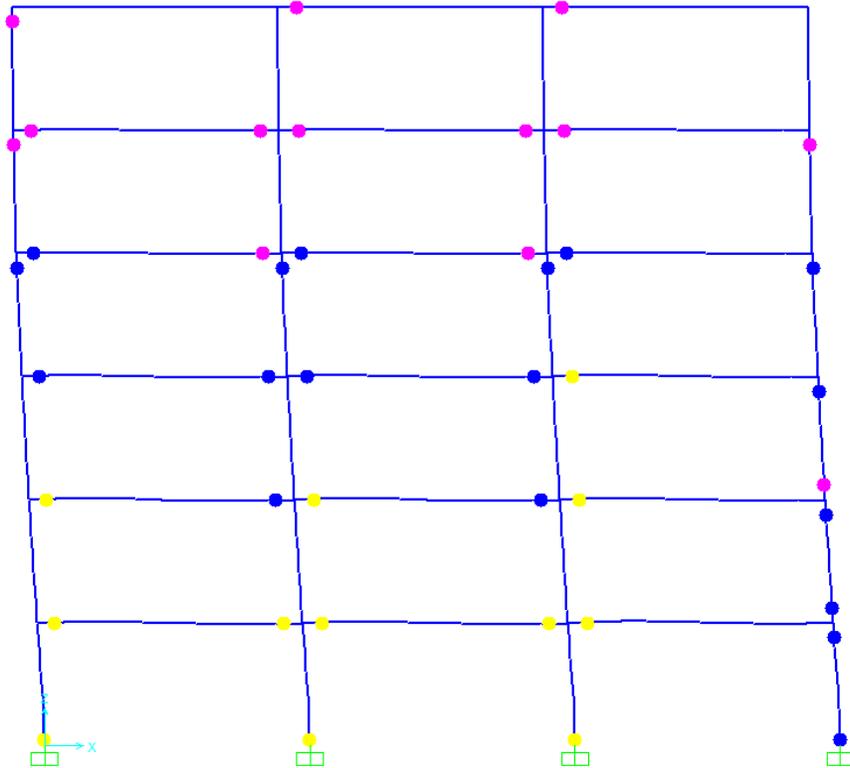


Deformed Shape (PUSH-MODO1) - Step 20

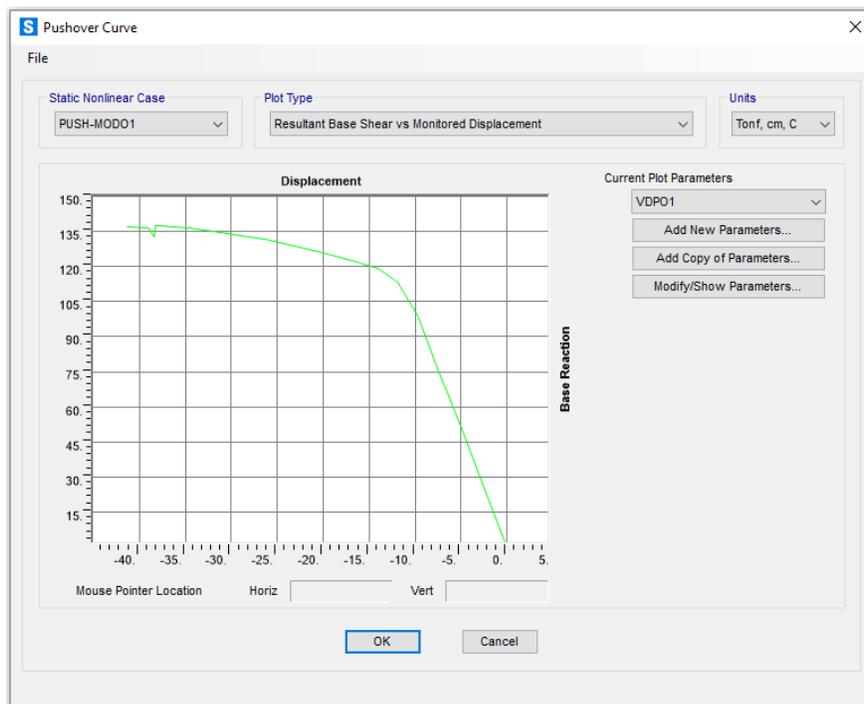


DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

Deformed Shape (PUSH-MODO1) - Step 23

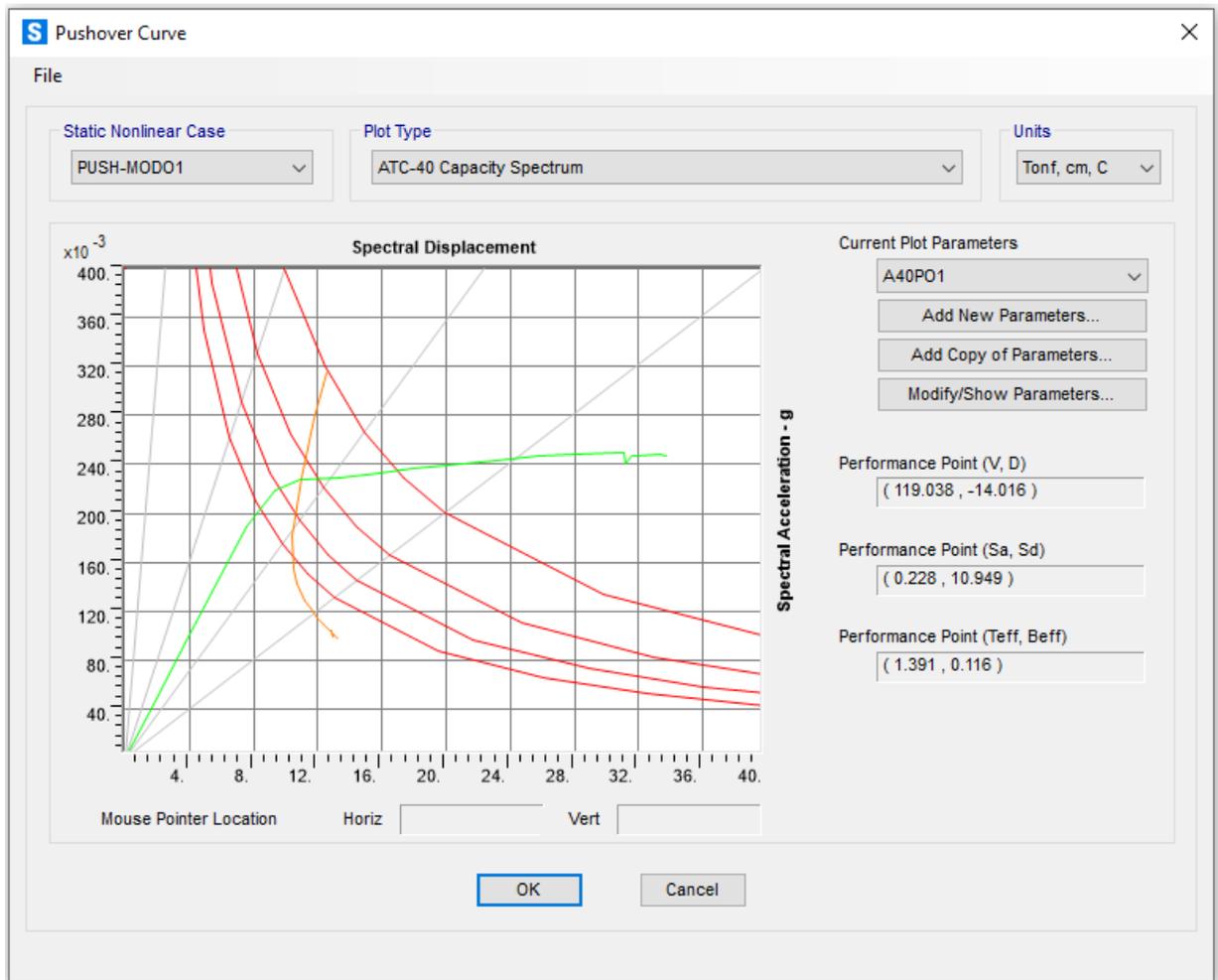


26. Curva de capacidad



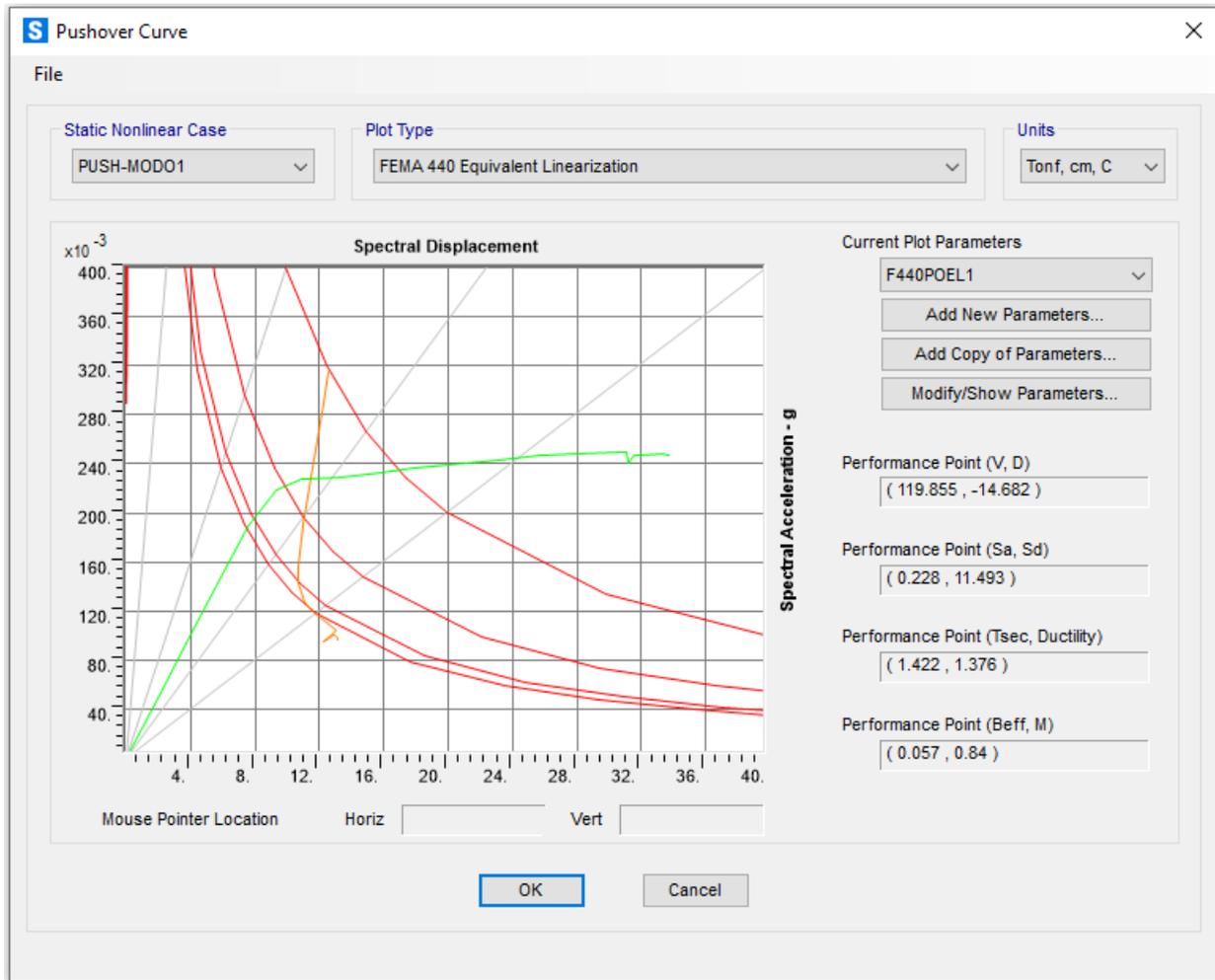
DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

27. Punto de desempeño (ATC-40 Espectro de capacidad)



DISEÑO DE EDIFICIO DE CONCRETO EMPLEANDO CRITERIOS DE DESEMPEÑO

28. Punto de desempeño (FEMA 440 Linealización equivalente)



Resumen de valores con el método del espectro de capacidad (Marco del anexo)

Método	ATC-40		FEMA 440	
	ai	di	ai	di
A	0.239	14.8	0.247	17.7
B	0.234	12.8	0.247	15.4
C	0.246	15.7	0.239	14.6

Nota: valores obtenidos de los ejercicios del capítulo 2.4 ATC-40 y 2.5 FEMA 440