UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Estudio comparativo del consumo de acero de refuerzo y concreto en edificaciones aporticadas de hasta quince (15) niveles, entre la Zona Sísmica 5 (Caracas, Distrito Capital) y la Zona Sísmica 3 (Ciudad Guayana, Estado Bolívar

Autores: Skeyla de Jesús Niño Romero/Juan Carlos Verdeja Marcano

Tutor: Ing. Vincenzo Bonadío

RESUMEN

Los volúmenes de concreto y acero de refuerzo que se utilizan en la construcción de una edificación son factores de gran importancia ya que una mala suposición en su cálculo puede causar daños tanto a la hora de construir, entre otros. En Venezuela existen diferentes fallas geológicas, las cuales con sus movimientos, han ocasionado grandes daños en algunas infraestructuras. Es por esto que existen distintas zonas de vulnerabidad a sismos, lo que trajo como consecuencia que necesiten distintas solicitaciones en la ejecución de la obra., y por lo tanto distintas cantidades a utilizar de los materiales antes mencionados. Vale la pena mencionar que el consumo de dicho materiales entre muchos otros factores dependerá de los niveles o la altura de la edificación.

Es por esto, que se consideró como objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado el *Comparar el consumo de acero de refuerzo y concreto en edificaciones aporticadas de hasta 15 niveles, entre la Zona 5 y la Zona 3*. Para el cumplimiento de este objetivo, la investigación se basó en la obtención y revisión de los resultados arrojados por el programa de análisis estructural ETABS, el cual permitió realizar por medio del análisis dinámico el diseño de la estructura. Para la obtención de resultados extremos se seleccionaron dos ciudades del país que pertenecieran a zonas sísmicas diferentes y que por sus características de población, desarrollo y economía fuese necesario y posible la existencia de edificios de 15 pisos. Finalmente se analizaron las cantidades y surgieron conclusiones lógicas basadas en los resultados obtenidos.

AGRADECIMIENTOS

A toda nuestra familia en especial a nuestros padres por su apoyo, sacrificio y motivación a lo largo de nuestra carrera.

Queremos agradecer principalmente a nuestro tutor el Ing. Vincenzo Bonadío por habernos aceptado, darnos su confianza, apoyo y supervisión en el desarrollo de este trabajo.

También queremos agradecer a los profesores e ingenieros Eduardo López, Arnaldo Gutiérrez y Roque García por su disposición a ayudarnos en los momentos en los que los necesitamos, brindarnos sus conocimientos y observaciones, ya que gracias a eso logramos el buen desenvolvimiento de este Trabajo Especial de Grado.

INDICE GENERAL

RESUMEN……iii
AGRADECIMIENTOS……..v
INDICE GENERAL iii
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS ix
NOMENTACLATURA xii
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO 1 3
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 3
1.1 Objetivo General 3
1.2 Antecedentes 3
1.3 Justificación 3
1.4 Alcances y Limitaciones 4
1.5 Planteamiento del problema 4
1.5.1 Ubicación 4
1.5.2 Arquitectura 4
CAPÍTULO 2 5
MARCO TEÓRICO 5
2.1 Conceptos básicos 5
2.2 Norma Venezolana para Edificaciones Sismorresistentes COVENIN 1756:2001 9
2.2.1 Niveles de diseño y clasificación de las estructuras 13
2.2.2 Espectros de diseño 17
2.2.3 Control de los desplazamientos 22
2.3 Tipo de Suelo 23
2.4 ETABS 24
CAPÍTULO 3 27
MARCO METODOLÓGICO 27
3.1 Espectros de diseño 27
Procedimiento para introducir la data en el programa 27
Datos necesarios para la construcción del espectro 27
Asignación de información para generar el Espectro 28

3.2 Predimensionado 38
3.2.1 Predimensionado de las Vigas 38
3.2.2 Predimensionado de las Columnas 40
3.3 ETABS 41
Procedimiento para introducir la data en el programa 41
Datos necesarios para la construcción de la edificación 41
Propiedades de los materiales 41
Asignaciones de información para los elementos estructurales 43
Asignación de las cargas en losas 46
Asignación de la función espectro 47
Asignación de datos para el espectro 48
Asignación del diseño de los elementos estructurales 50
Información de salida del diseño estructural 51
3.4 Requisitos del Diseño 54
3.4.1 Cargas de diseño 54
3.4.2 Combinación de carga 55
3.4.3 Criterios de diseño para columnas 56
3.4.4 Criterios de diseño para vigas 56
3.4.5 Desplazabilidad 57
3.5 Dimensiones finales 62
3.5.1 Columnas 63
3.5.1.1 Procedimiento de análisis para la realización de los cálculos 64
3.5.2 Vigas 65
3.5.2.1 Procedimiento de análisis para la realización de los cálculos 68
CAPÍTULO 4 70
ANÁLISIS Y RESULTADOS 70
CAPÍTULO 5 83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 83
5.1 Conclusiones 83
5.2 Recomendaciones 84
REFEREANCIAS BIBLIOGRÁFÍCAS 85
ANEXOS 87

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

CAPÍTULO 1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 3
FIGURA 1.1: Vista planta de la estructura 4
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO 5
FIGURA 2.1: Amortiguamiento de Coulomb 6
FIGURA 2.2: Relación Fuerza-Velocidad para un amortiguador viscoso 7
FIGURA 2.3: Mapa de zonificación sísmica con fines de ingeniería (2001) 11
FIGURA 2.4: Espectro de respuesta elástico R=1 22
TABLA 2.1: Aceleraciones pico en tierra 12
TABLA 2.2: Factor de importancia 14
TABLA 2.3: Niveles de diseño ND 15
TABLA 2.4: Selección del método de análisis para edificios de estructura regalar 16
TABLA 2.5: Selección del método de análisis para edificios de estructura irregular 16
TABLA 2.6: Forma espectral y factor de corrección φ 19
TABLA 2.7: Factores de reducción R 20
TABLA 2.8: Valores de T*, β y p 21
TABLA 2.9: Valores de T^{+} 21
TABLA 2.10: Valores límites de $\frac{\delta_i}{h_i - h_{i-1}}$ 23
CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO 27
FIGURA 3.1: Programa SCE SPECTRUM FREE 27
FIGURA 3.2: Interfaz para introducir datos 28
FIGURA 3.3: Definir datos de zona sísmica 28
FIGURA 3.4: Datos del tipo de suelo 29
FIGURA 3.5: Datos de tipo de uso 30
FIGURA 3.6: Datos ND y materiales a utilizar 30
FIGURA 3.7: Datos para tipo de estructura 31
FIGURA 3.8: Selección de respuesta 32
FIGURA 3.9: Resultados obtenidos por programa 32

FIGURA 3.10: Datos para el cálculo del espectro 5ND2 33
FIGURA 3.11: Datos para el cálculo del espectro 5ND3 34
FIGURA 3.12: Datos para el cálculo del espectro 3ND1 35
FIGURA 3.13: Datos para el cálculo del espectro 3ND2 36
FIGURA 3.14: Datos para el cálculo del espectro 3ND3 37
FIGURA 3.15: Definición de datos del Grid 41
FIGURA 3.16:Interfaz para modificar el material de concreto 42
FIGURA 3.17: Interfaz para modificar el material de acero 43
FIGURA 3.18: Sección rectangular 44
FIGURA 3.19: Datos de refuerzo para columna 45
FIGURA 3.20: Datos de refuerzo para vigas 46
FIGURA 3.21: Interfaz para definir caga en losas 47
FIGURA 3.22:Definir datos del espectro 48
FIGURA 3.23: Definir datos de la función espectro 49
FIGURA 3.24: Interfaz para definir el nivel de diseño 50
FIGURA 3.25: Superficie de iteración 51
FIGURA 3.26: Información del diseño de concreto para vigas 52
FIGURA 3.27: Información del diseño de concreto para columnas 53
TABLA 3.1: Requisitos de acero mínimos en columnas 56
TABLA 3.2: Requisitos de acero mínimos en vigas 56
TABLA 3.3: Datos del programa acerca de las columnas 63
TABLA 3.4: Datos del programa acerca de las vigas 66
GRÁFICO 3.1: Espectro 5ND2 34
GRÁFICO 3.2: Espectro 5ND3 35
GRÁFICO 3.3: Espectro 3ND1 36
GRÁFICO 3.4: Espectro 3ND2 37
GRÁFICO 3.5: Espectro 3ND3 38
GRÁFICO 3.6: Desplazabilidad entre pisos 5ND2 58
GRÁFICO 3.7: Desplazabilidad entre pisos 5ND3 59
GRÁFICO 3.8: Desplazabilidad entre pisos 3ND1 60
GRÁFICO 3.9: Desplazabilidad entre pisos 3ND2 61

GRÁFICO 3.10: Desplazabilidad entre pisos 3ND3 62

CAPÍTULO 4 ANÁLISIS Y RESULTADOS..... 70

GRÁFICO 4.1: Consumo de acero Ciudad Guaya (Zona 3) 70

GRÁFICO 4.2: Consumo concreto Ciudad Guayana (Zona3) 71

GRÁFICO 4.3: Consumo de acero Caracas (Zona 5)..... 71

GRÁFICO 4.4: Consumo concreto Caracas (Zona5) 72

GRÁFICO 4.5: Comparación de acero en ND2..... 73

GRÁFICO 4.6: Comparación de volúmenes de concreto ND2..... 73

GRÁFICO 4.7: Comparación de cantidad de acero ND3 74

GRÁFICO 4.8: Comparación de volúmenes de concreto ND3..... 74

GRÁFICO 4.9: Comparación porcentual de acero ND2..... 75

GRÁFICO 4.10: Comparación porcentual de volúmenes de concreto ND2 75

GRÁFICO 4.11: Comparación porcentual de acero ND3..... 76

GRÁFICO 4.12: Comparación porcentual de volúmenes de concreto ND3..... 77

GRÁFICO 4.13: Relación peso concreto-acero (%)..... 78

GRÁFICO 4.14: Comparación de volúmenes de concreto en Zona 3..... 79

GRÁFICO 4.15: Comparación consumo de acero en Zona 3 80

GRÁFICO 4.16: Comparación de volúmenes de concreto Zona 5..... 81

GRÁFICO 4.17: Comparación de consumo de acero Zona 5 82

TABLA 4.1: Relación de consumo de concreto Zona 3..... 79

TABLA 4.2: Relación de consumo de concreto Zona 3..... 80

TABLA 4.3: Relación de consumo de concreto Zona 5..... 81

TABLA 4.4: Relación de consumo de acero Zona 5 82

NOMENTACLATURA

α = Factor de importancia
A_o= Coeficiente de aceleración horizontal
R = Factor de reducción de respuesta
A_d = Ordenada del espectro de diseño
φ = Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal
β = Factor de magnificación promedio
T_o = período a partir del que los espectros normalizados tienen un valor constante
T* = Máximo período en el intervalo donde los espectros normalizados tienen un valor contante
T^+ = Período característico de variación de respuesta dúctil
c = $(R/\beta)^{1/4}$
p = Exponente que define la rama descendente del espectro
ND = Nivel de diseño
S = Forma espectral o separación d acero transversal de refuerzo
Δ = Desplazamiento lateral
Pn = Caraga axial
At = Área tributaria de columna
Q = Carga
M = Momento
M_u = Momento último
M_c = Momento de columna
M_v = Momento de viga
M_{uend} = Momento último en la cara de la viga
M_{uspan} = Momento último en el tramo de la viga
bw = ancho de la viga
d = Altura de la viga menos el recubrimiento
Cp = Carga permanente
Cv = Carga variable
Cvt = Carga viva de techo
L = luz del elemento estructural
Pu = Carga axial última
ρ = Cuantía de acero
F´c = Esfuerzo del concreto a compresión
δ = Deriva

INTRODUCCIÓN

En Venezuela existen 8 zonas sísmicas (0 a 7) diferenciadas y especificadas en la Norma Venezolana de Edificaciones Sismorresistentes COVENIN 1756:2001, con la más altas sismicidad en la costa y va descendiendo hacia el interior, dependiendo ellas de distintas características geológicas a lo largo del país. Es por esto que los riesgos de construcción varían según el estado donde se realicen o se encuentren las estructuras, en sitios con gran riesgo sísmico existe la posibilidad de colapso de estás, ya sea por su antigüedad o por falla de diseño. En dicha norma existen especificaciones de exigencia para la construcción que obligatoriamente deben cumplir según su nivel de diseño y varían de acuerdo a la zona sísmica, lo que señala que estructuras en zonas de alto riesgo sísmico deberán tener mayor exigencia en el detallado de su acero de refuerzo pero se podrán disminuir sus fuerzas de diseño, por el contrario las zonas de menor riesgo sísmico podrán tener menor exigencia en el detallado de su acero de refuerzo, pero una mayor fuerza de diseño. La interrogante y la idea de realizar el estudio comparativo surgió al preguntarse cómo sería el comportamiento de edificaciones altas, en este caso de hasta 15 pisos, del consumo de concreto y acero de refuerzo para cada nivel de diseño, todo esto analizando mediante el empleo de un programa de cálculo estructural avanzado y que a través de los resultados obtenido permita generar conclusiones.

Para esta comparación se eligió una estructura basada en el proyecto arquitectónico de un edificio ubicado en la urbanización Altamira en el Municipio Chacao, Distrito Capital, y se planteó una estructura aporticada tipo 1, que resiste las acciones sísmicas por medio de vigas y columnas (ver 6.3.1 COVENIN 1756). Se utilizó el método de área tributaria para el prediseño de columnas y para las vigas el método dado en clase por el Ingeniero Arnaldo Gutiérrez basado también en áreas tributarias, luego se empleó el programa ETABS versión 9 para el análisis estructural del edificio en cada una de las ubicaciones seleccionadas.

La estructura que se escogió fue analizada en la Zona Sísmica 5 (Caracas, Distrito Capital) y la Zona Sísmica 3 (Ciudad Guayana, Estado Bolívar), con perfil de suelo denso con profundidad cercana a los 100 metros y un suelo blando y/o suelto, respectivamente.

Con la finalidad de facilitar la claridad y entendimiento del contenido, este trabajo está conformado por cuatro capítulos, donde se contempla una explicación detallada que enriquece el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de la investigación.

En tomo consta de 5 capítulos, en El *Capítulo 1* se presentará el planteamiento del problema, objetivo general, antecedentes, justificación y limitaciones, El *Capítulo 2*, contiene el marco teórico de la investigación, el cual está conformado por una serie de elementos conceptuales que corresponden a la base de la investigación a realizar. En éste, se señalan las consideraciones que se deben tomar en cuenta para el diseño de estructuras, en El *Capítulo 3,* se define el marco metodológico para el desarrollo de esta investigación, contemplando las distintas fases que se llevaron a cabo para la ejecución de la misma, en El *Capítulo 4* se presentan los análisis y resultados de manera clara y concisa y en El *Capítulo 5* se muestran las conclusiones y recomendaciones según de los resultados obtenidos.

Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas consultadas para el desarrollo del presente trabajo, con la finalidad de brindarle al lector que esté interesado en el tema profundizar en el tema planteado.

CAPÍTULO 1

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Objetivo General

El objetivo principal es cuantificar y comparar el consumo de concreto y de acero de refuerzo, transversal y longitudinal, en estructuras de pórticos de quince (15) niveles, bajo distintas condiciones dadas por la ubicación y requerimientos de la Norma COVENIN 1756:2001 Edificaciones Sismorresistentes.

1.2 Antecedentes

Se tomó como antecedente principal el trabajo de Julio Gasia y Jaime González (2010), quienes en su Trabajo Especial de Grado titulado “Consumo de concreto y acero de refuerzo en edificaciones aporticadas de concreto reforzado de cuatro niveles en zonas sísmicas” realizaron el estudio en edificaciones bajas, y utilizaron el mismo programa de análisis estructural ETABS.

1.3 Justificación

Se quiso lograr una continuidad del trabajo especial de grado antes mencionado, observar si el comportamiento que se encontró en ese trabajo se presenta en una estructura de mayor altura, como lo son 15 pisos o más.

Para todo Ingeniero Estructural el diseño y el cálculo de una estructura son aspectos muy importantes a tomar en consideración a la hora de estimar volúmenes de materiales a utilizar. Es por esto que se considera de gran utilidad

1.4 Alcances y Limitaciones

Con el propósito de cumplir con el objetivo de este trabajo se requirió emplear una gran cantidad de tiempo en aprender el manejo correcto del programa, cabe destacar que se tomó como limitación dominio total del programa de análisis estructural ETBAS.

1.5 Planteamiento del problema

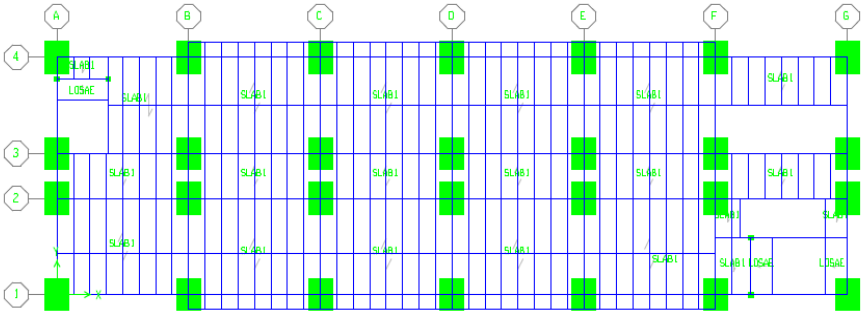
1.5.1 Ubicación

Las ubicaciones seleccionadas para las distintas edificaciones fueron Caracas, Miranda y Ciudad Guayana, Bolívar, pertenecientes a las zona 5 y 3 respectivamente.

1.5.2 Arquitectura

Se seleccionó un plano perteneciente a una edificación ubicada en Altamira, Distrito Capital, se planteó una estructura Tipo I, caracterizada por ser aporticada resistente a acciones sísmicas por medio de vigas y columnas, con la planta que se muestra en la Figura 1.1.

FIGURA 1.1 VISTA PLANTA DE LA ESTRUCTURA



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Conceptos básicos

- **Dinámica Estructural**

Desde el punto de vista mecánico, la dinámica es el estudio de los cuerpos en movimiento. La dinámica estructural estudia las vibraciones de cuerpos flexibles, aunque en muchos casos las deformaciones relativas entre algunas partes de la estructura son de un orden de magnitud tan pequeño, que pueden aplicarse los principios de la dinámica de cuerpo rígidos en algunas porciones de la estructura.

- **Grados de libertad**

En dinámica estructural, el número de grados de libertad de un sistema, corresponde al número mínimo de coordenadas independientes necesarias para definir la posición en el espacio en cualquier instante de tiempo.

- **Rigidez**

Un cuerpo elástico que está sometido a fuerzas externas, sufre una deformación. La rigidez se define como la relación entre estas fuerzas externas y las deformaciones que ellas crean en el cuerpo. Por lo que se puede decir que la rigidez es la relación entre las fuerzas y los desplazamientos.

- **Amortiguamiento**

Todo cuerpo en movimiento, debido a pérdidas de energía producidas por fuerzas de amortiguamiento o de fricción sobre el sistema, tiende a disminuir dicho movimiento con el tiempo. Se puede decir que el amortiguamiento es la capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética, la producida por el movimiento, en otro tipo de energía tales como calor o ruido.

Por los fenómenos físicos que experimenta el sistema estructural, se distinguen varios tipos de amortiguamiento:

- **Amortiguamiento de Coulomb:** corresponde al fenómeno físico de fricción en las conexiones o puntos de apoyo. Se supone que es independiente de la velocidad del movimiento. La fuerza de fricción es igual al producto de la fuerza normal a la superficie N, y el coeficiente de fricción μ. Matemáticamente se puede expresar:

ECUACIÓN 2.1

$$\boldsymbol{F_a = \pm\mu \times N}$$

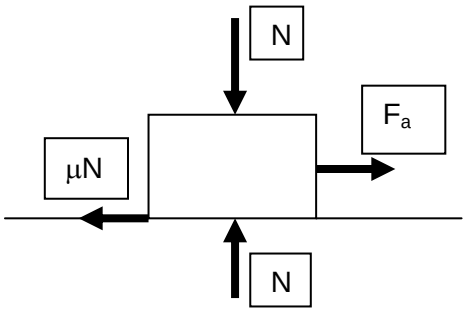


FIGURA 2.1 AMORTIGUAMIENTO COULOMB

- **Amortiguamiento viscoso:** Un cuerpo se encuentra en movimiento dentro de un fluido y tiende a perder energía debido a que la viscosidad del fluido se opone al movimiento. Esta pérdida de energía cinética esta directamente asociada a la velocidad, es por esto que la fuerza de amortiguamiento es proporcional a la velocidad y se puede representar según la Ecuación 2.2, donde c es la constante del amortiguador y k es la velocidad.

ECUACIÓN 2.2

$$\boldsymbol{F_a = c \times k}$$

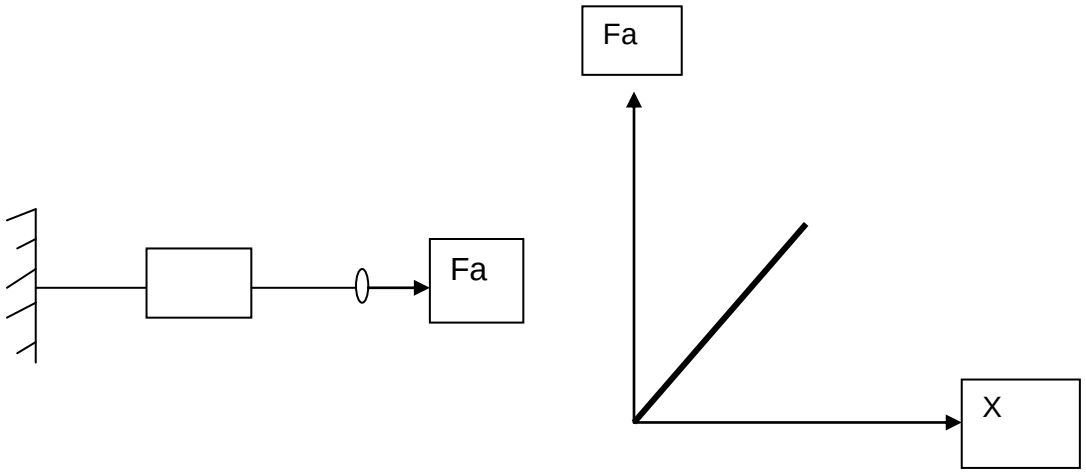


FIGURA 2.2 RELACIÓN FUERZA-VELOCIDAD PARA UN AMORTIGUADOR VISCOSO

- **Amortiguamiento histerético**: se presenta cuando un elemento estructural es sometido a inversiones en el sentido de la carga aplicada cuando el material del elemento se encuentra en el rango inelástico o no lineal. La fuerza de amortiguamiento es proporcional al desplazamiento y de signo opuesto a la velocidad.

- **Espectro de respuesta**

Un espectro de respuesta es un gráfico de máxima respuesta (expresada en términos de desplazamiento, velocidad, aceleración o cualquier otro parámetro de interés) que produce una acción dinámica determinada en una estructura.

Estos gráficos se representan en abscisas el periodo propio de la estructura y en ordenadas la respuesta máxima calculada para distintos factores de amortiguamiento ξ.

Los espectros son una herramienta de gran utilidad en el diseño de estructuras Sismorresistentes debido a que el ingeniero estructural puede estimar el valor máximo de respuesta, en términos generalmente de aceleración, sin necesidad de evaluar la historia temporal completa.

- **Modos de vibración**

Las estructuras se estudian analizando los Modos de Vibración de estas mismas (bien sean movimientos verticales, horizontales, rotacionales ó combinaciones de estos), cada modo involucra movimientos diferentes. La cantidad de Modos a analizar depende principalmente de la cantidad de masa que participa en el movimiento, "en Venezuela como mínimo debe participar el 90% de la masa estructural", por lo tanto se deben estudiar modos de vibración hasta que el 90% (por ciento) ó más de la masa estructural participe en la vibración.

La Vibración Estructural es un movimiento repetitivo oscilatorio en forma de un Péndulo Invertido. El Período Estructural es el tiempo que tarda en realizar una (1) oscilación ó movimiento, y la Frecuencia es la Cantidad de oscilaciones ó movimientos que ocurren en una (1) unidad de tiempo. El "Período Fundamental" es aquel de mayor duración por lo que introduce mayor daño a la estructura ya que origina los mayores desplazamientos.

Cada modo de vibración se caracteriza por una distribución de energía diferente, una pérdida de rigidez localizada afectada cada modo en forma diferente, dependiente de su ubicación y magnitud.

- **Edificios Altos**

Un edificio se considera “alto” cuando su altura se considera un factor de diseño. Estructuras así deben ser capaces de resistir las fuerzas gravitacionales, de viento, sismos o impacto, diferencia de temperaturas, sin superar los límites accesibles de solicitaciones que aseguren una adecuada resistencia de todas sus acciones, estabilidad global del conjunto, garantizando de este modo la seguridad y el bienestar de sus ocupantes durante toda la vida útil del edificio.

En general para el análisis estructural, un edificio es alto cuando su altura supera los 60 metros de altura libre o es de más de 20 pisos. Sin embargo para otras ramas de la ingeniería un edificio entra en la clasificación de “alto” cuando exige soluciones determinadas.

Todo edificio debe ofrecer suficiente resistencia, estabilidad, rigidez y ductilidad del conjunto, de modo de asegurar el confort de sus ocupantes para cualquier tipo de solicitación producida por las cargas actuantes sobre el sistema,

Entre las soluciones de tipo de sistema estructurales para edificaciones como estas están los pórticos rígidos, arriostrados, con muros diafragma, las pantallas o muros, los sistemas duales pórticos y pantallas, entre otros, la utilización dependerá de varios factores entre los que resaltan la altura, exigencias y tipo de suelo.

2.2 Norma Venezolana para Edificaciones Sismorresistentes COVENIN 1756:2001

En Venezuela existen distintas fallas geológicas, las cuales con sus movimientos han dejado como consecuencia acciones sísmicas, una de estas fue el terremoto ocurrido en Caracas el 29 de julio de 1967 de 6,5 grados en la escala de Richter. Luego de este hecho la Norma de 1945 fue sustituida por la de 1967 poco después del terremoto, con la finalidad de proteger la vida humana y disminuir los daños en las edificaciones. A medida de que pasaron los años dicha Norma fue cambiando y actualizándose, hasta llegar a la hoy vigente COVENIN 1756:2001.

Esta nueva Norma establece los criterios básicos para el análisis y diseño de las edificaciones ubicadas en zonas donde pueden producirse movimientos telúricos de variada magnitud, con el fin de salvaguardar vidas y evitar colapsos estructurales. También se trata de mantener eficientes los servicios luego de un sismo severo.

La Norma se aplica a las construcciones de concreto armado, de acero o mixtas de acero-concreto. En todos los casos, las estructuras resistentes a sismos deben estar en capacidad de absorber y disipar energía bajo acciones alteradas en rango inelástico sin pérdida apreciable de su resistencia. Además, los

elementos estructurales deben estar convenientemente conectados entre sí de modo de poder transmitir la totalidad de las solicitaciones debidas a las cargas gravitacionales y las de sismo.

De esta manera, el agotamiento resistente no deberá alcanzarse antes de que la totalidad de la estructura sea capaz de desarrollar la demanda de ductilidad prevista, evitando la formación de mecanismos cinemáticos en el sistema.

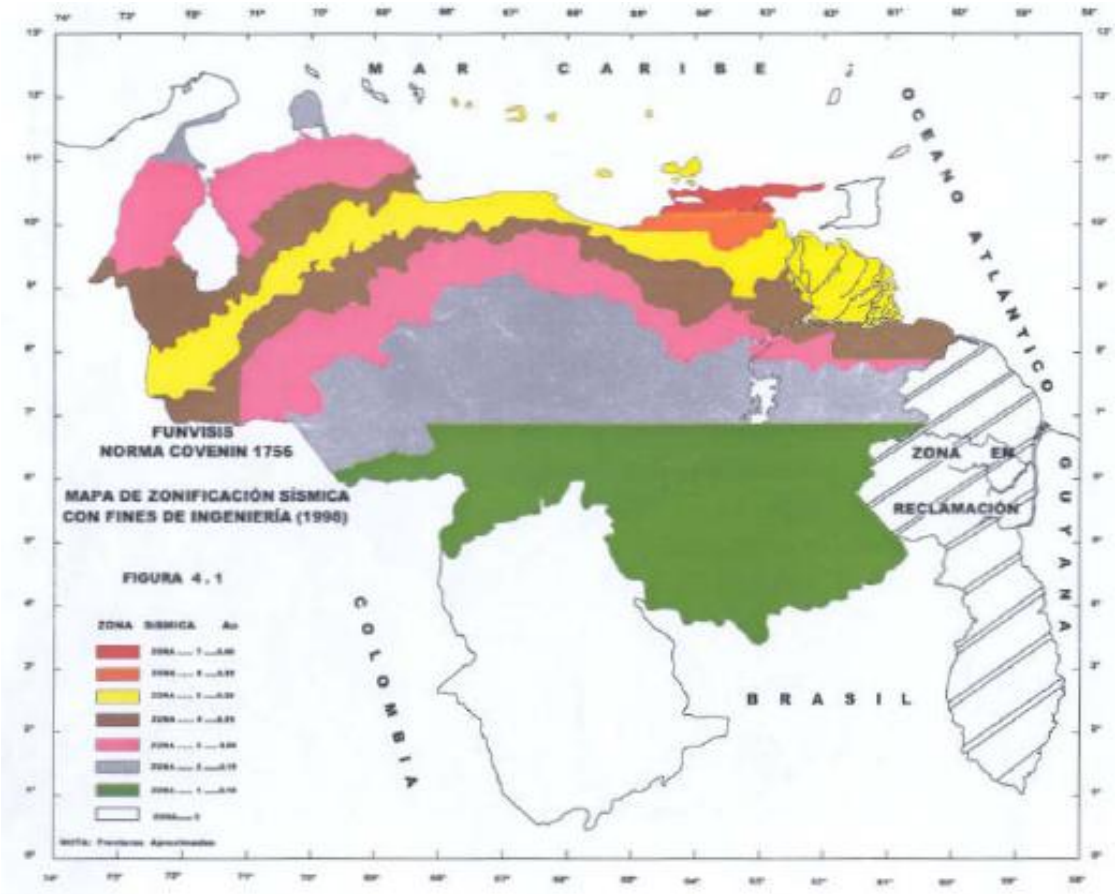
El fiel cumplimiento de esta Norma permite asegurar que los edificios:

- No sufran daños no estructurales bajo sismos menores, ni se afectará el funcionamiento de las instalaciones
- Podrán sufrir sólo daños moderados en los elementos no estructurales y daños muy limitados en los elementos estructurales bajo movimientos sísmicos de baja magnitud.
- Tendrán una baja probabilidad de alcanzar el agotamiento resistente en el caso de los movimientos sísmicos de diseño, y los daños estructurales producidos serán en todos los casos reparables.
- No sufrirán derrumbe total o parcial bajo movimientos sísmicos fuertes, si bien la reparación de los daños puede no ser aconsejable.

Para una adecuada aplicación de la Norma toda edificación debe quedar asignada a una zona sísmica y a un nivel de diseño.

Es por esto que la Norma ha dividido el país en 8 zonas ya que los daños y consecuencias varían según el sitio en donde se encuentra la estructura, desde Zona 0, donde no se requiere tomar en consideración las acciones sísmicas, hasta Zona 7, de máximo riesgo, tal como se muestra en el Mapa Sísmico de Venezuela en la Figura 2.3.

FIGURA 2.3 MAPA DE ZONIFICACIÓN SÍSMICA CON FINES DE INGENIERÍA (2001)



COVENIN **1756:2001**

El objetivo de separar el país en este número de zonas, fue agrupar ciudades con similar riesgo o peligro sísmico, y de esta manera tener en cuenta diferentes solicitaciones a la hora de evaluar algún proyecto o estructura ya realizada. Cada zona sísmica tiene asignado un valor máximo de aceleración, asociado a un valor prefijado de probabilidad de excedencia de los movimientos telúricos.

El riesgo sísmico de cada región permite establecer el espectro de diseño. Para ellos se debe tener información de la sismicidad y la geología de la región, de la actividad de las fallas y cualquier otro dato de la historia sísmica pasada o reciente.

La acción sísmica se caracteriza mediante espectros de respuesta que toman en cuenta las formas espectrales tipificadas, el factor de amortiguamiento y la ductilidad de la estructura. Así mismo, la acción sísmica puede también caracterizarse mediante acelerogramas u otra forma de definir los componentes ortogonales del movimiento, que sea congruente con el respectivo espectro de respuesta.

El coeficiente de aceleración horizontal Ao correspondiente a cada una de las diferentes zonas, se indica en la Tabla 2.1. Este coeficiente, varía entre 0.1 en la Zona 1 y 0.4 en la Zona7, se diferencia cada zona según el peligro sísmico que posee, y evalúa la aceleración pico efectiva del suelo, expresada según una función de la aceleración de la gravedad g. Estos valores se basan en datos geológicos anteriores y se ajustan a cada zona con el fin de proveer un criterio de diseño consistente con las condiciones locales del suelo. Cabe destacar que a medida que aumenta el peligro sísmico va a aumentar la aceleración horizontal y la vertical, siendo esta última 0,7 veces los valores de la horizontal.

TABLA 2.1 ACELERACIONES PICO EN TIERRA

ZONA SÍSMICA	PELIGRO SÍSMICO	COEFICIENTE ACELERACIÓN HORIZONTAL A_o
7	ELEVADO	0.40
6		0.35
5		0.30
4	INTERMEDIO	0.25
3		0.20
2	BAJO	0.15
1		0.10
0		---

COVENIN 1756:2001

2.2.1 Niveles de diseño y clasificación de las estructuras

Según la Norma Venezolana se debe determinar un nivel de diseño según las acciones sísmicas que se generan en una estructura y la importancia de la misma, siendo esto las exigencias mínimas de aceros, acciones que debe soportar la estructura, dimensiones y proporciones a la hora del diseño.

Se presentan los tres niveles de diseño:

Nivel de Diseño 1 (ND1):

Es el nivel de mínimas exigencias que debe soportar una estructura, aplicable en zonas de poca sismicidad y edificaciones como residencias.

Nivel de Diseño 2 (ND2):

Posee exigencias intermedias, se encuentran en zonas sísmicas un poco más elevadas que la clasificación anterior, por lo que sus elementos deben ser dimensionados con detallados que cumplan algunos requisitos específicos para su zona sísmica.

Nivel de Diseño 3 (ND3):

Sistemas estructurales cuyos elementos estructurales deben ser dimensionados y detallados con estricto cumplimiento de todos los requisitos específico para zonas sísmicas.

La Norma también especifica la clasificación de las edificaciones según su Uso, Tipo y Regularidad Estructural. La clasificación según el uso se basa en darle mayor interés a las edificaciones que puedan tener mayor utilidad en un momento determinado, es por esto que edificaciones con fines de atención médica, seguridad ya sea gubernamental o ciudadana, se consideran de alta importancia ya que en ellas se esperan grandes

concentraciones de personas en su uso habitual. De Esta manera se presentan los grupos de la clasificación:

GRUPO A: Se encuentran en este grupo edificaciones con instalaciones esenciales y de funcionamientos vital en casos de emergencia y que su falla acarré grandes pérdidas humanas o económicas, como son los hospitales y centros de atención médica, edificaciones educativas, cuarteles de policías, estaciones de bomberos, iglesias, edificaciones gubernamentales e instalaciones militares.

GRUPO B1: Edificaciones altamente pobladas, ya sea permanente o temporalmente, con más de 3.000 personas o área techada de más de 20.000 m^2 o aquellas estructuras que pueden poner en peligro la estabilidad de las anteriores, como son los centros comerciales y centro de salud no incluidos en la clasificación anterior.

GRUPO B2: Edificaciones de baja ocupación como viviendas, apartamentos, oficinas, hoteles, bancos, entre otros.

GRUPO C: Edificaciones que no entran en las clasificaciones anteriores.

Luego del grupo se le establece un factor de importancia α según la Tabla 2.2

TABLA 2.2 FACTOR DE IMPORTANCIA

GRUPO	α
A	1.30
B1	1.15
B2	1.00

COVENIN 1756:2001

Según el grupo al que corresponda la edificación y la zona sísmica en la que se encuentre, podrá elegirse el nivel de diseño ND que regirá el criterio de análisis y diseño mediante la Tabla 2.3.

TABLA 2.3 NIVELES DE DISEÑO ND

GRUPO	ZONA SÍSMICA		
	1 y 2	3 y 4	5,6 y 7
A; B1	ND2 ND3	ND3	ND3
B2	ND1(*) ND2 ND3	ND2 (*) ND3	ND3 ND2 (*)

(*) Válido para edificaciones de hasta 10 pisos ó de 30 m de altura

(**) Válido para edificaciones de hasta 2 pisos u 8 m de altura

COVENIN 1756:2001

La Norma Venezolana COVENIN 1756:2001 en el capítulo 6, divide las edificaciones en el punto 6.3.Clasificación según el tipo de estructura, en cuatro tipos de sistemas estructurales resistentes a sismos (Tipo I, Tipo II, Tipo III, Tipo IV), por las partes que la conforman y ayudan a resistir las fuerzas sísmicas, como vigas, columnas, muros, pórticos, entre otros. En este trabajó se utilizó una estructura Tipo I, que es una estructura porticada constituida por vigas y columnas.

Para los cálculos de la edificación se utilizan métodos de análisis que vienen dados por la regularidad de su estructura. Las estructuras son consideradas regulares siempre y cuando no presenten ninguna de las siguientes irregularidades verticales: entrepiso blando, entrepiso débil, distribución irregular de masas de uno de los pisos contiguos, aumento de

las masas con elevación, variaciones en la geometría del sistema estructural, esbeltez excesiva, discontinuidad en el plano del sistema resistente a cargas laterales, falta de conexión entre miembros verticales y efecto de columna corta; ni ninguna de las irregularidades en planta: gran excentricidad, riesgo torsional elevado, sistema no ortogonal, diafragma flexible. Por lo que el análisis se elegirá según las Tablas 2.4 y 2.5.

TABLA 2.4 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS PARA EDIFICIOS DE ESTRUCTURA REGULAR

ALTURA DE LA EDIFICACIÓN	REQUERIMIENTO MÍNIMO
No excede 10 pisos ni 30 metros	Análisis estático
Excede 10 pisos ó 30 metros	Análisis dinámico plano

COVENIN 1756:2001

TABLA 2.5 SELECCIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS PARA EDIFICIOS DE ESTRUCTURA IRREGULAR

TIPO DE IRREGULARIDAD (SECCIÓN 6.5.2)		REQUERIMIENTO MÍNIMO
VERTICAL	a.1; a.2; a.4; a.7; a.8	ANÁLISIS DINÁMICO ESPACIAL (SECCIÓN 9.1.3)
	a.3; a.5; a.6	ANÁLISIS DINÁMICO PLANO (SECCIÓN 9.1.2)
EN PLANTA	b.1; b.2; b.3	ANÁLISIS DINÁMICO ESPACIAL (Sección 9.1.3)
	b.4	ANÁLISIS DINÁMICO ESPACIAL CON DIAFRAGMA FLEXIBLE (Sección 9.1.4)

COVENIN 1756:2001

2.2.2 Espectros de diseño

El daño estructural sufrido por un edificio durante un sismo se deriva de la respuesta de la estructura al movimiento telúrico impuesto en la base. Las fuerzas dinámicas producidas, se deben a la inercia de los diferentes elementos componentes de la estructura, que vibran durante el sismo.

El estado de solicitación producido en los miembros de una estructura por las cargas gravitacionales es causado por las cargas estáticas independientes del tiempo. Por el contrario las cargas de sismo se producen en las estructuras debido a vibraciones variables del suelo que dan lugar a una respuesta del sistema dependiente del tiempo.

Esta respuesta depende de la magnitud, duración y demás características de la excitación del suelo, así como de las propiedades dinámicas de la estructura y de los depósitos del suelo donde apoya. Según el período fundamental del sistema, la vibración del terreno se amplifica en la estructura en una mayor o menor magnitud.

Simultáneamente, el efecto de amortiguamiento o resistencia friccional de la estructura a la vibración impuesta, reduce la magnitud y duración de la vibración. Aproximadamente un valor del 5% de amortiguamiento es el valor usualmente utilizado en edificios normales.

Una curva de respuesta es un gráfico de la máxima (o espectral) respuesta de un grupo de osciladores de un grado de libertad, a un determinado movimiento del suelo, representando en función de la frecuencia o el período de los osciladores.

Para determinar la respuesta del sistema se utilizan los valores máximos (o los valores pico) de la aceleración del suelo. De esta manera,

los espectros elegidos resultan un promedio normalizado de las aceleraciones pico del suelo. Cada curva promedio luego es suavizada para eliminar irregularidades fortuitas que pueden causar grandes variaciones en la respuesta, para pequeños cambios en el período. Estas curvas se conocen como espectros de diseño.

En razón de que las condiciones del suelo en una determinada zona afectan las formas espectrales, es necesario trazar diferentes curvas de respuesta correspondientes a cada tipo representativo de suelo.

La Norma Venezolana COVENIN 1756:2001 nos permite calcular las ordenadas de los espectros de diseño, definidas en función del período fundamental T de la estructural, como se muestra a continuación.

Las ondas de vibración producidas por un movimiento sísmico, se propagan por el suelo donde apoyan los edificios en forma diferente, según el tipo de terreno de fundación. En efecto, las vibraciones suelen ser más notables en suelos blandos que en aquellos duros o rocosos, debido a que la vibración se amplifica o atenúa en función del período fundamental del material que conforma el suelo.

Para tomar en cuenta esta potencial amplificación, la Norma toma en consideración diferentes tipos de suelos identificados de S1 a S4, y la velocidad promedio de las ondas de corte en m/sg en el perfil geotécnico en estudio.

A cada forma espectral tipificada (S1 a S4), de acuerdo con el valor de V_{sp} y la profundidad H, ó con el tipo de suelo y la profundidad H, se asigna un factor de corrección φ del coeficiente de aceleración horizontal A_o

Para la realización de un espectro se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se debe asignar una zona sísmica según la Figura 2.3 y el Capítulo 4 de la Norma COVENIN 1756:2001, y de esta manera se obtiene el coeficiente de horizontal según la Tabla 2.1
2. Según el tipo de suelo, material constituido, velocidad promedio. En la Tabla 2.6 se selecciona entonces la forma espectral (S1, S2, S3, S4) y el factor de corrección de la aceleración horizontal φ correspondiente.

TABLA 2.6 FORMA ESPECTRAL Y FACTOR DE CORRECCIÓN φ

MATERIAL	Vsp (m/s)	H (m)	Zona sísmica 1 a 4		Zona Sísmica 5 a 7	
			Forma Espectral	φ	Forma Espectral	φ
Roca Sana/Fracturada	>500	-	**S1**	0.85	S1	1.00
Roca blanda o meteorizada y suelos muy duros o muy densos	>400	<30	**S1**	0.85	S1	1.00
		30-50	**S2**	0.80	S2	0.90
		>50	**S3**	0.70	S2	0.90
Suelos muy duros o densos	250-400	<15	**S1**	0.80	S1	1.00
		15-50	**S2**	0.80	S2	0.90
		>50	**S3**	0.75	S2	0.90
Suelos firmes/medios densos	170-250	≤50	**S3**	0.70	S2	0.95
		>50	**S3**[(a)]	0.70	S3	0.75
Suelos blandos/sueltos	<170	≤15	**S3**	0.70	S2	0.90
		>15	**S3**[(a)]	0.70	S3	0.80
Suelos blandos o sueltos [(b)] intercalados con suelos más rígidos	-	H1	**S2**[(c)]	0.65	S2	0.70

a) Si $A_o \leq 0.15$ úsese S4
b) El espesor de los estratos blandos o sueltos (Vsp<170 m/s) debe ser mayor que 0.1 H

c) Si H≥0.25H y A_o≤0.20 úsese S3

COVENIN 1756:2001

3. Clasificar la edificación según su tipo, uso y nivel de diseño. Según su uso se obtiene el factor de importancia α de la Tabla 2.2, y de la Tabla 2.3 se obtiene el nivel de diseño. Con el nivel de diseño y el tipo de estructura y la Tabla 2.7 se obtiene el factor de reducción de respuesta del espectro (R).

   El factor de reducción de respuesta R es el valor por el cual se dividen las ordenadas del espectro de respuesta para obtener el espectro de diseño. Este factor resulta una medida de la capacidad de un sistema estructural de absorber energía y soportar ciclos de deformaciones inelásticas, sin colapsar. El valor R se incrementa con el aumento de la ductilidad de una estructura y con la capacidad de disipación de energía potencial, así como también aumenta el grado de hiperestaticidad.

TABLA 2.7 FACTORES DE REDUCCIÓN R

NIVEL DE DISEÑO	ESTRUCTURA DE CONCRETO ARMADO				
	TIPO DE ESTRUCTURA (Sección 6.3.1)				
	I	II	III	IIIa	IV
ND3	6.0	5.0	4.5	4.5	2.0
ND2	4.0	3.5	3.0	3.5	1.5
ND1	2.0	1.75	1.5	2.0	1.25

COVENIN 1756:2001

4. Con lo especificado en la Norma en el Capítulo 7 con las Tablas 2.8 y 2.9, las Ecuaciones 2.1, 2.2, 2.3 y los valores previamente obtenidos de α, Ao, φ, R y forma espectral (S1, S2, S3, S4) se realiza el espectro.

TABLA 2.8 VALORES DE T^*, B Y P

FORMA ESPECTRAL	T* (seg)	β	P
S1	0.4	2.4	1.0
S2	0.7	2.6	1.0
S3	1.0	2.8	1.0
S4	1.3	3.0	0.8

COVENIN 1756:2001

TABLA 2.9 VALORES DE $T^{+(1)}$

CASO	T^+ (seg)
R<5	0.1 (R-1)
R≥5	0.4

(1) $T_o \leq T^+$

COVENIN 1756:2001

ECUACIÓN 2.1

$$\boldsymbol{T} < \mathrm{T}^* \qquad Ad = \frac{\alpha \times \varphi \times A_o \times \left[1 + \frac{T}{T^+}(\beta - 1)\right]}{1 + \left(\frac{T}{T^+}\right)^C (R - 1)}$$

ECUACIÓN 2.2

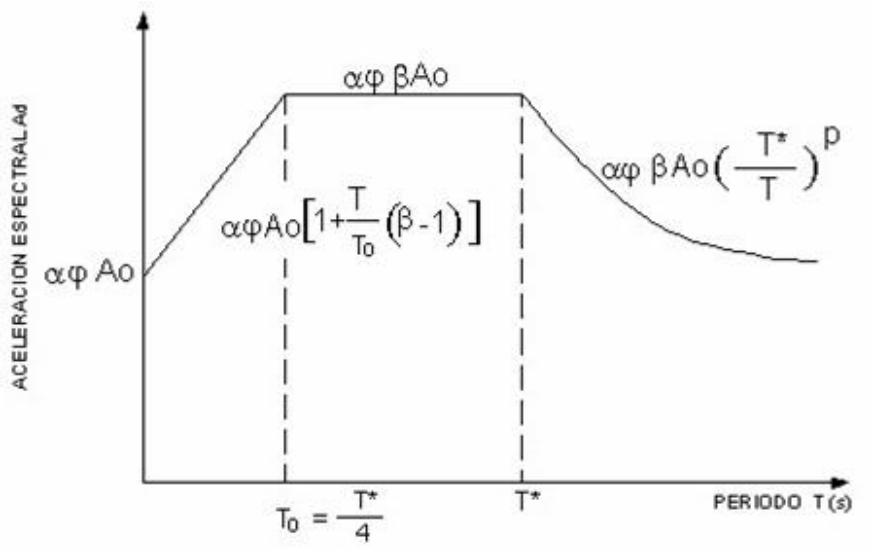
$$\boldsymbol{T}^+ \leq \mathrm{T} \leq \mathrm{T}^* \qquad Ad = \frac{\alpha \times \varphi \times A_o \times \beta}{R}$$

ECUACIÓN 2.3

$$\mathrm{T} > \mathrm{T}^* \qquad Ad = \frac{\alpha \times \varphi \times A_o \times \beta}{R}\left(\frac{T^*}{T}\right)^p$$

COVENIN 1756:2001

FIGURA 2.4 ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICO R=1



COVENIN 1756:2001

2.2.3 Control de los desplazamientos

El desplazamiento lateral total de un edificio se mide por la Ecuación 2.4:

ECUACIÓN 2.4

$$\Delta_i = 0.8 \times R \times \Delta_{ei}$$

Donde:

Δ_i: Es el desplazamiento lateral del nivel calculado

R: Es el factor de reducción de respuesta, ver tabla 2.7

Por lo que Δi es el desplazamiento máximo al que se someterá la estructura y se denomina δi a la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles consecutivos, ver ecuación 2.5.

ECUACIÓN 2.5

$$\delta i = \Delta i - \Delta_{i-1}$$

La Norma en su Capítulo 10 especifica la verificación del cumplimiento de los valores límites, según la Tabla 1.10 donde h_i es la altura del piso.

TABLA 2.10 VALORES LÍMITES DE: $\frac{\delta i}{h_i - h_{i-1}}$

TIPO Y DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES	EDIFICACIONES		
	GRUPO A	GRUPO B1	GRUPO B2
Susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0.012	0.015	0.018
No susceptibles de sufrir daños por deformaciones de la estructura	0.016	0.020	0.024

COVENIN 1756:2001

2.3 Tipo de Suelo

Existen cuatro perfiles de suelo, los cuales se denotan con la letra S, y son los siguientes:

- **Perfil S1:**

Es un perfil de suelo constituido por uno de los siguientes: roca de cualquier característica o suelos duros y/o densos. Los suelos que cubren la roca pueden ser arenas y gravas de densas a muy densas, limos y/o arcillas muy duras o bien una mezcla de ellos.

- **Perfil S2:**

Un perfil con gran espesor de suelos, los cuales pueden estar formados por arenas y gravas medianamente densas a muy densas, y/o limos y arcillas cuya consistencia sea de dura a muy dura, o bien una mezcla de ellos.

- **Perfil S3:**

Es un perfil con suelos granulares poco densos y/o suelos cohesivos con consistencia de blanda a media, y espesores entre los 7 y 15 metros, contenidos en los primeros 30 metros medidos desde la superficie del terreno.

- **Perfil S4:**

Suelos excepcionalmente flexibles y las condiciones geológicas o topográficas son particularmente desfavorables.

Según la información suministrada por el Ingeniero Roque García, el tipo de suelo característico de Caracas es un suelo duro o denso, de profundidad mayor a cien metros con perfil de suelo característica S2, y Ciudad Guayana suelos blandos/sueltos corresponde a un perfil de suelo S3

2.4 ETABS

Es un programa de análisis y diseño estructural, que funciona a través de un sistema completamente integrado, detrás de una interfaz intuitiva y simple se encajan poderosos métodos numéricos, procedimientos de diseño y códigos internacionales de diseño, que funcionan juntos desde una base de datos comprensiva, para poder realizar análisis de estructuras complejas con distintas maneras que simplifican el diseño de las edificaciones.

ETABS usa objetos para representar miembros estructurales físicos. Al crear un modelo, el usuario empieza dibujando la geometría del objeto, y luego asignándole propiedades y cargas para definir completamente la estructura del edificio.

Desarrollar un modelo de la manera más simple puede ser muy fácil, al seguir estos tres pasos:

·Dibujar series de objetos puntos, líneas y áreas que representen el edificio utilizando las herramientas de dibujo que se encuentran disponibles.

· Asignar propiedades estructurales como secciones y materiales, y cargas a objetos usando las opciones del menú Asignar (Assign menu options).

· Establecer y/o Asignar parámetros de división interna (meshing) en elementos de Área.

Al terminar el modelo, éste puede ser probado. Se le conoce como modelo del análisis usado en análisis total, a la acción que realiza el programa en la que convierte automáticamente modelos basados en objetos en modelos basados en elementos.

Una de las características más importantes de que ofrece ETABS es el reconocimiento de los niveles de pisos, permitiendo el ingreso de datos de construcción de una forma conveniente y lógica. Los usuarios pueden definir sus modelos bases de piso-piso, nivel-nivel, de forma análoga en la que un diseñados trabaja cuando presenta los dibujos del edificio. Los niveles de pisos ayudan a identificar, localizar y ver áreas y objetos específicos en su modelo. En la terminología de ETABS, un nivel de piso, representa un plano horizontal que se ve a través de un corte del edificio a una elevación específica, y todos los objetos debajo de dicho plano hasta el siguiente nivel de piso. Debido a que ETABS entiende de forma inherente la geometría de los sistemas del edificio, el usuario puede especificar que el objeto que está siendo dibujado puede ser multiplicado en todos los pisos, o en pisos similares que el mismo ha identificado. Esta opción funciona no solo en repetición de barras de piso, sino también para columnas y barras.

El ETABS es una herramienta para el ingeniero que arroja resultados confiables, sofisticados y fáciles de utilizar, que pueden ser bien utilizados o no, depende del interpretador. Saber analizar los resultados arrojados es una de las cosas más importantes a la hora de utilizar programas como estos, que son de

ayuda, mas no resuelven los problemas sólo. Se debe tener siempre en cuenta que el programa hace su trabajo según los datos suministrados por el usuario.

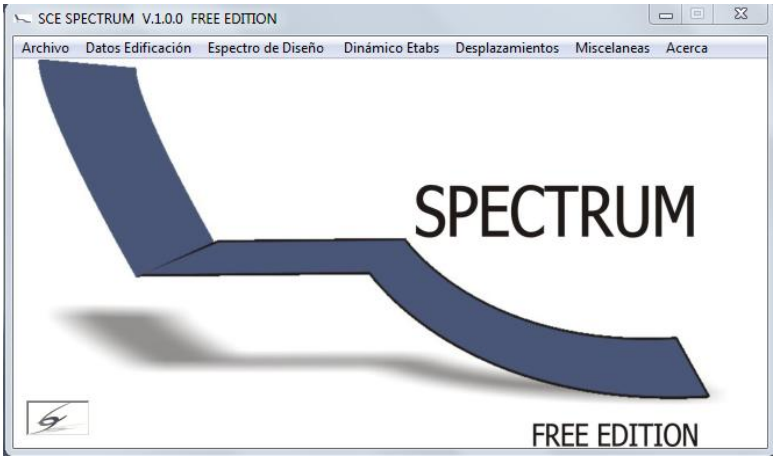
CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Espectros de diseño

Para la creación de los espectros utilizamos un programa llamado SCE SPRECTRUM FREE se muestra en la Figura 3.1, el cual fue hecho por ingenieros venezolanos, el cual trabaja con la NORMA VENEZOLANA.

FIGURA 3.1 PROGRAMA SCE SPECTRUM FREE



Procedimiento para introducir la data en el programa

Datos necesarios para la construcción del espectro

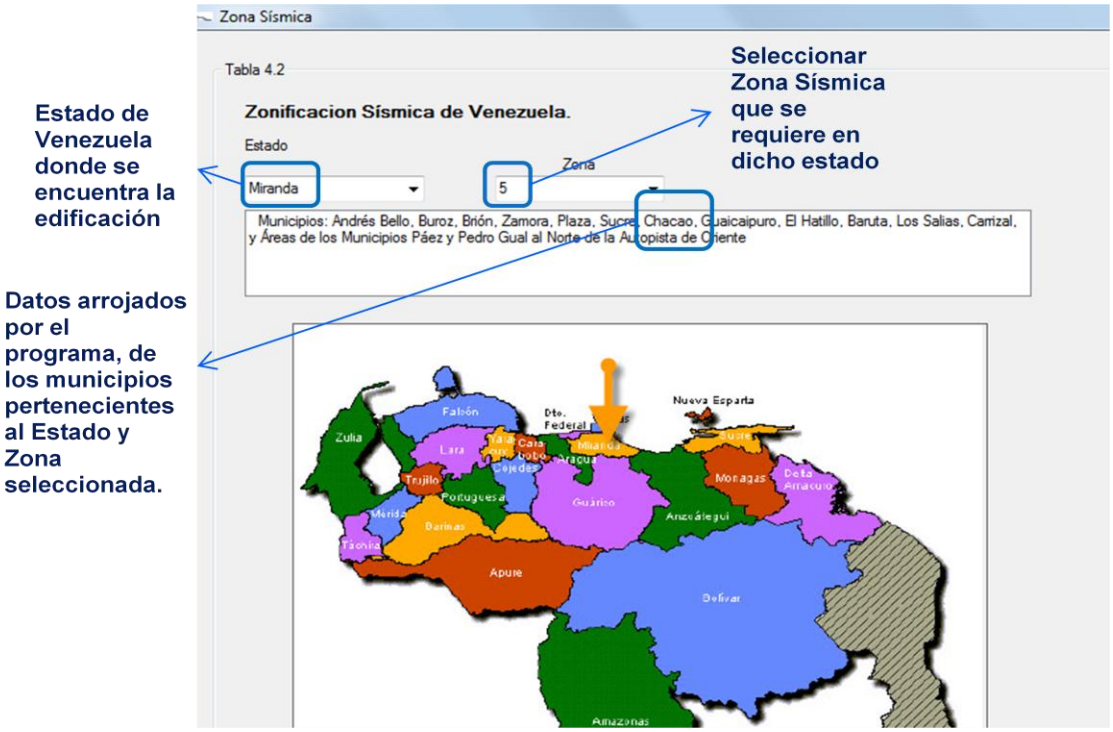
·Para la entrada de datos en el programa se muestra en la Figura 3.2 la interfaz para introducir los valores requeridos.

FIGURA 3.2 INTERFAZ PARA INTRODUCIR DATOS

Asignación de información para generar el Espectro

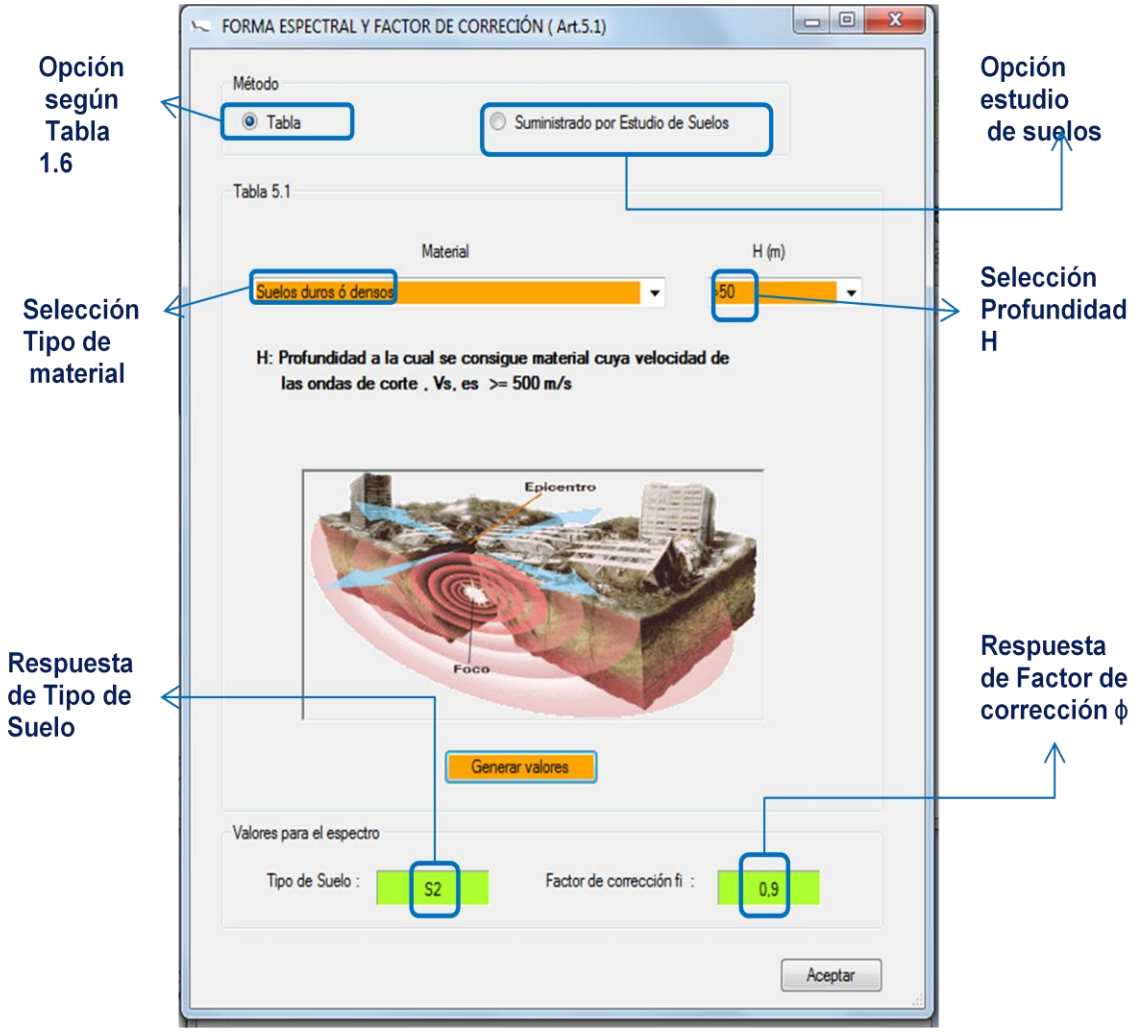
·Se define el estado de Venezuela y zona sísmica del municipio en el que se requieren los datos. En la Figura 3.3 Se muestra la interfaz del programa donde se muestran estos datos.

FIGURA 3.3 DEFINIR DATOS DE ZONA SÍSMICA



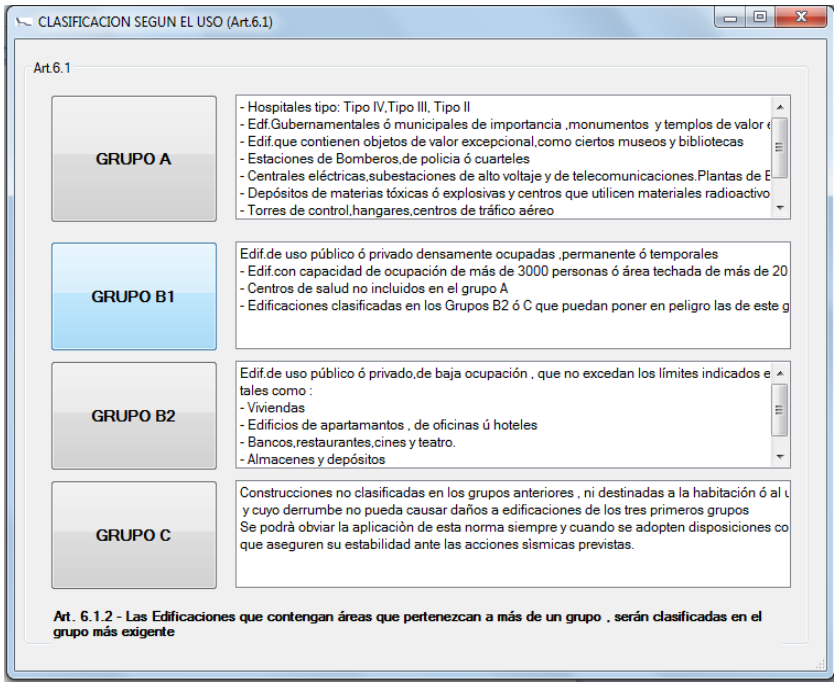
·El programa genera una respuesta con el tipo de perfil de suelo y el factor de corrección φ, se puede realizar de dos maneras, la primera es introduciendo el tipo de suelo y la profundidad H según la Tabla 2.6, que fue la utilizada en este trabajo y la siguiente manera es con la opción de los datos de un estudio de suelos realizados anteriormente. En la Figura 3.4 se muestra la interfaz de introducir estos datos.

FIGURA 3.4 DATOS DEL TIPO DE SUELO



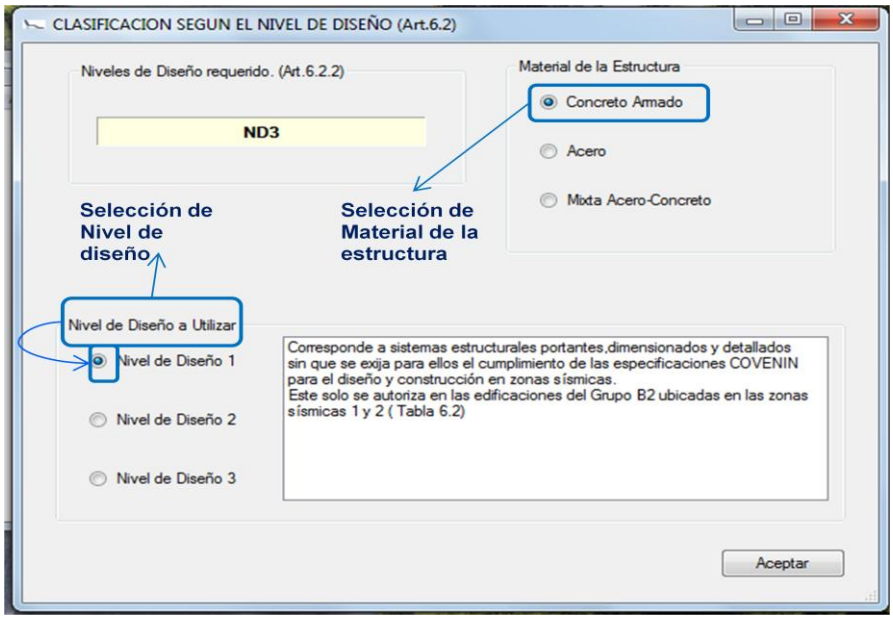
·Se debe seleccionar la clasificación de la estructura según su uso, tal como se muestra en la interfaz de la Figura 3.5.

FIGURA 3.5 DATO DE TIPO DE USO



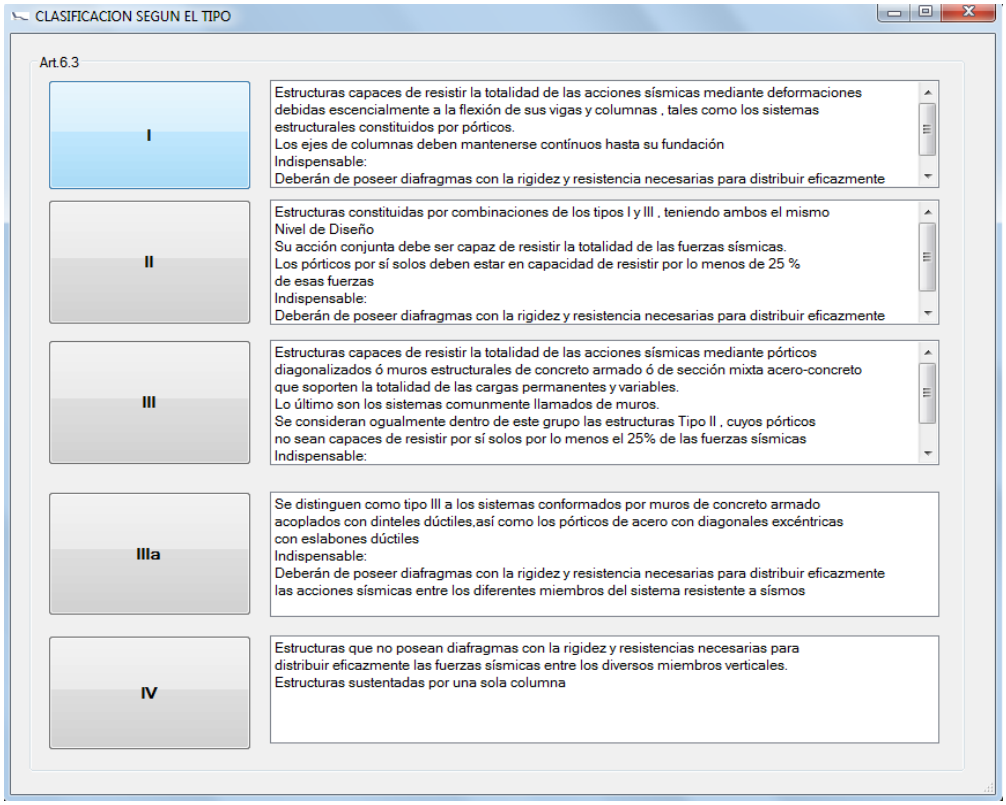
·Seleccionar el tipo de Nivel de diseño que se va a utilizar y el material a utilizar en la estructura, tal como se muestra en la interfaz Figura 3.6.

FIGURA 3.6 DATOS ND Y MATERIALES A UTILIZAR



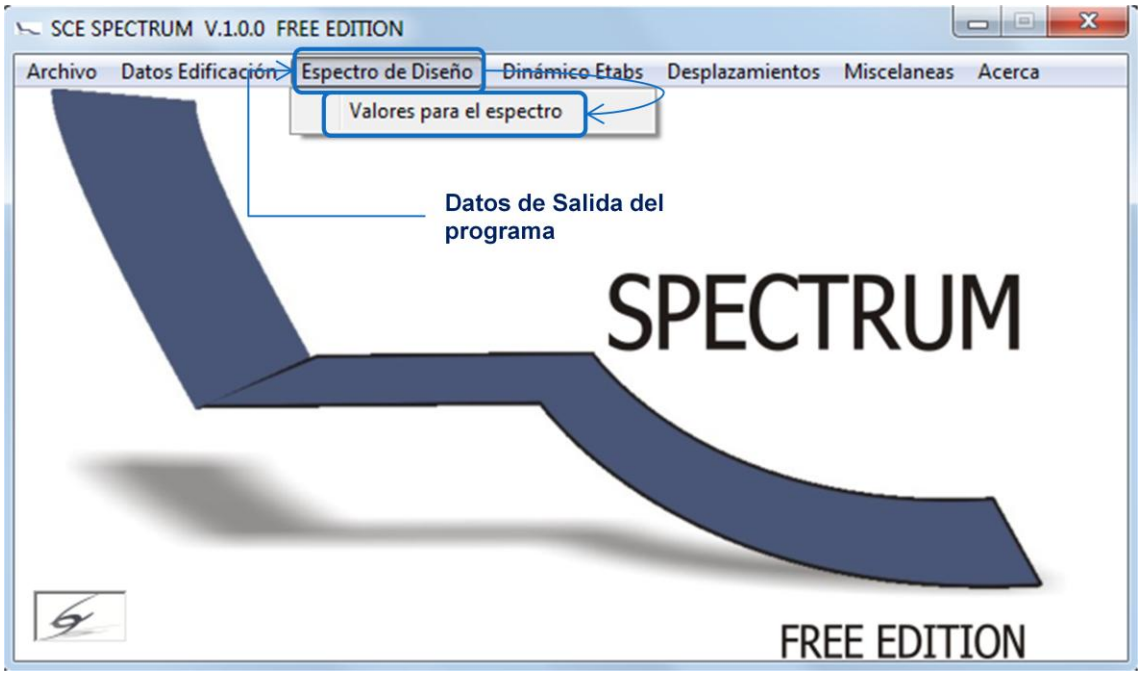
·Seleccionar el tipo de estructura según la clasificación de tipos de sistemas estructurales resistentes a sismos. En la Figura 3.7 se muestra la interfaz para asignar el tipo de estructura que se esté utilizando.

FIGURA 3.7 DATOS PARA TIPO DE ESTRUCTURA



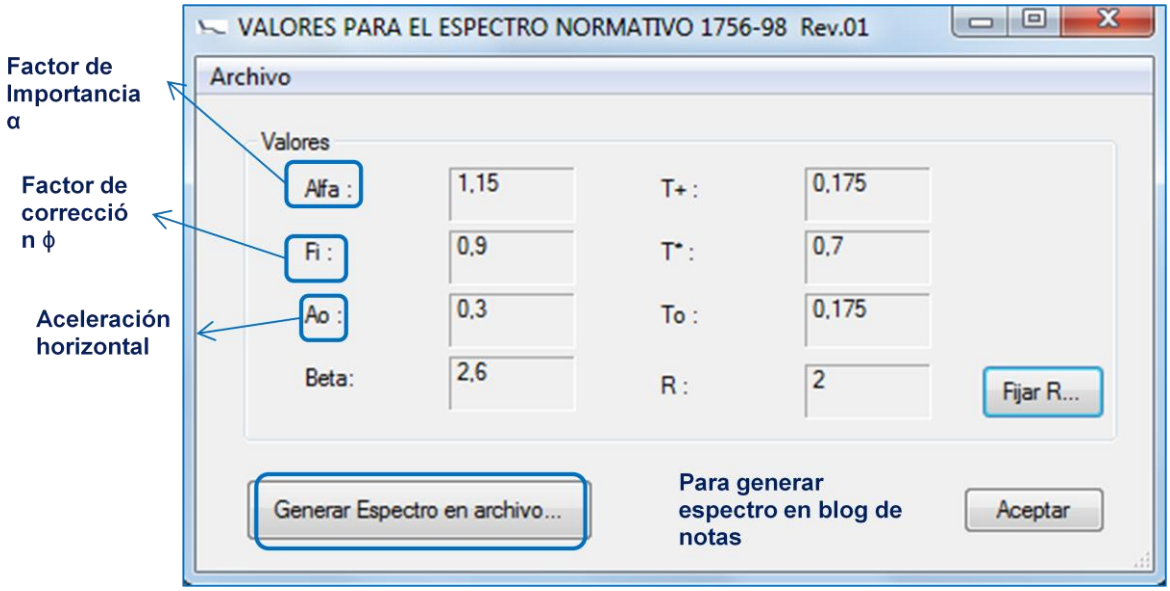
·Luego de introducir todos los datos requeridos por el programa, se le pide los valores requeridos para el cálculo del espectro, la Figura 3.8 muestra la interfaz de petición de resultados. Este programa tiene la opción de generar el espectro en un archivo, lo que hace es crear un blog de notas con los datos de la Aceleración Espectral (g) y Período (sg) generados, y con estos datos se crea la gráfica del espectro.

FIGURA 3.8 SELECCIÓN DE RESPUESTA



·Finalmente se obtienen los datos requeridos, como se muestra en la Figura 3.9.

FIGURA 3.9 RESULTADOS OBTENIDOS POR EL PROGRAMA



Se calcularon los espectros para cada uno de los casos planteados según la Norma COVENIN 1756:2001 Edificaciones Sismorresistentes. Obteniendo como resultado para la zona 5 Caracas, los factores de las Figuras 3.10 y 3.11 las cuales muestran la interfaz del programa SCE SPECTRUM FREE, y los Gráficos 3.1 y 3.2.

ZONA 5 ND2

FIGURA 3.10 DATOS PARA EL CÁLCULOS DEL ESPECTRO 5ND2

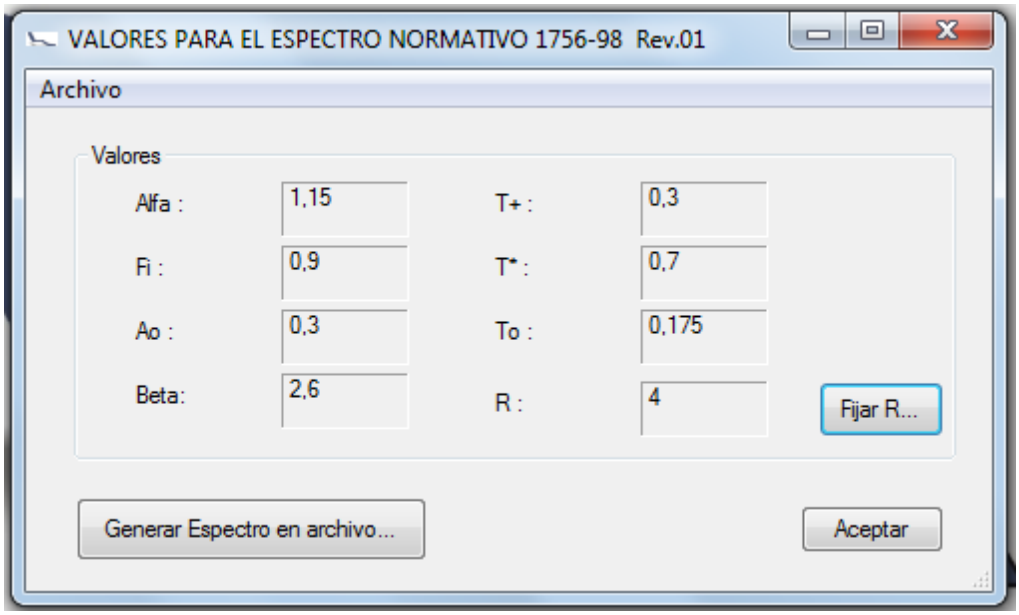
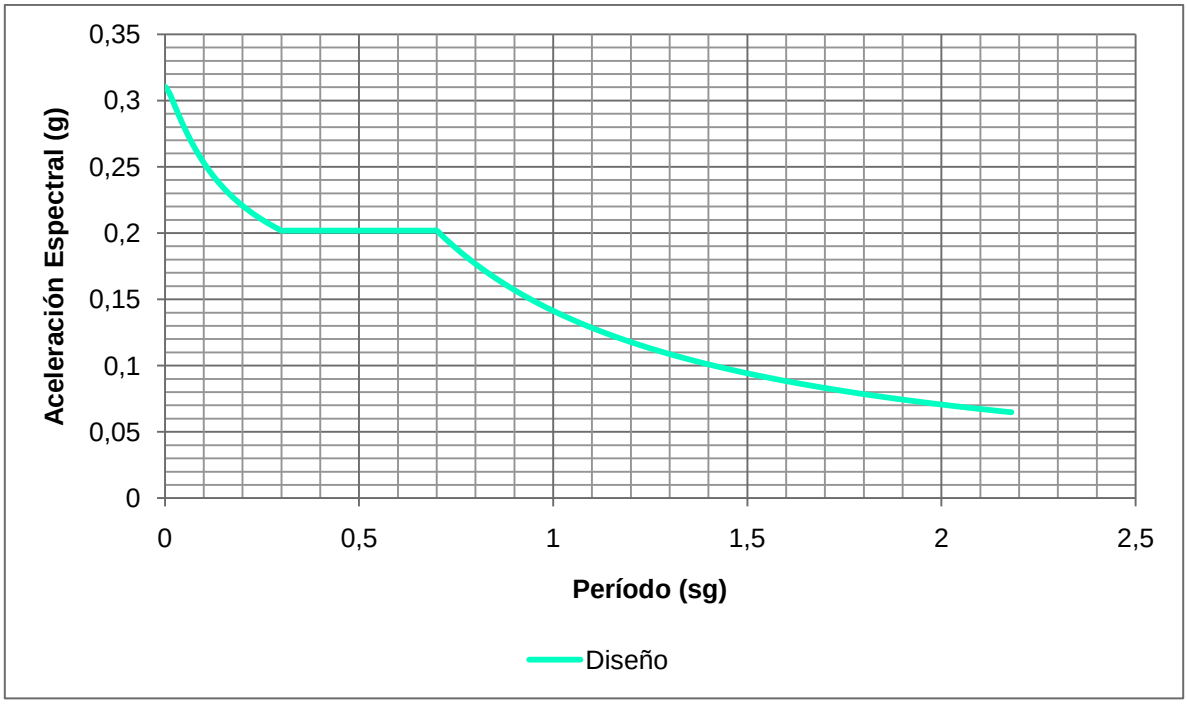


GRÁFICO 3.1 ESPECTRO 5ND2



ZONA 5 ND3

FIGURA 3.11 DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPECTRO 5ND3

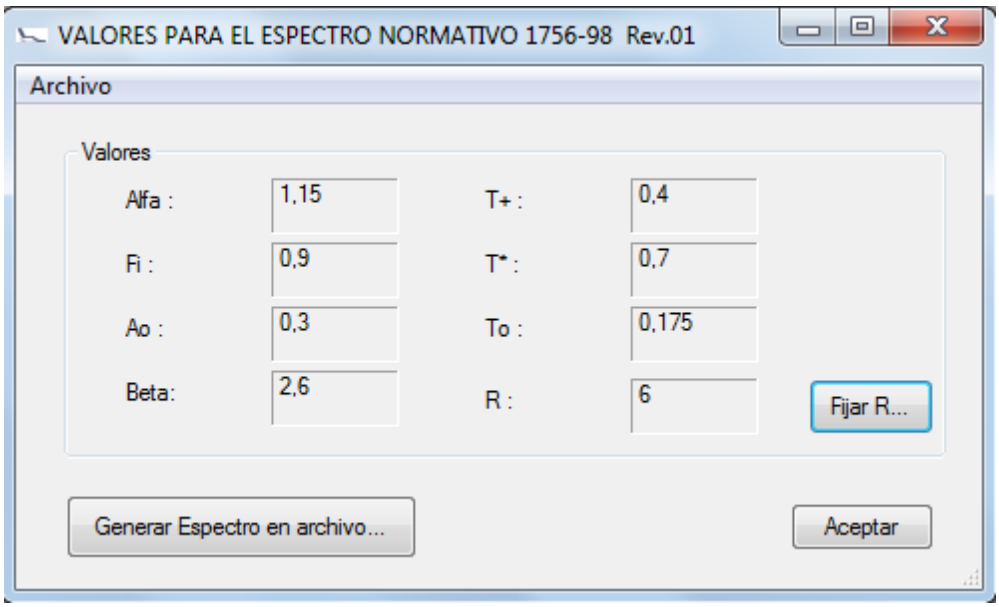
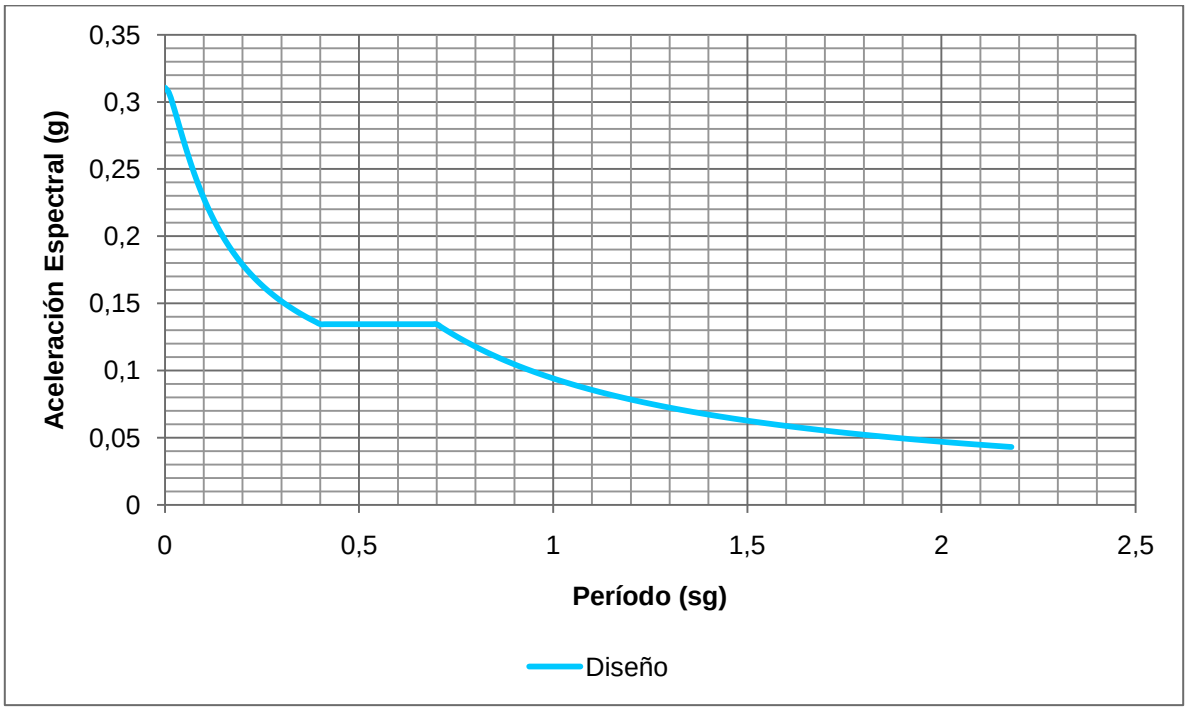


GRÁFICO 3.2 ESPECTROS 5ND3



Para el cálculo de los espectros correspondientes a la zona 3 se obtuvo los factores según las Figuras 3.12, 3.13 y 3.14 por la interfaz del programa SCE SPECTRUM FREE y los Gráficos 3.3, 3.4 y 3.5.

ZONA 3 ND1

FIGURA 3.12 DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPECTRO 3ND1

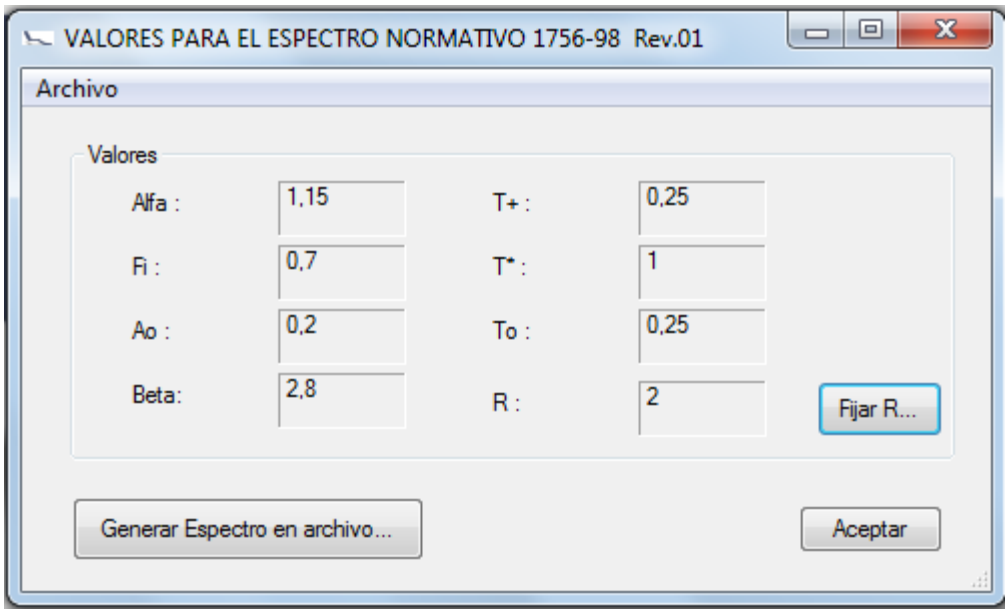
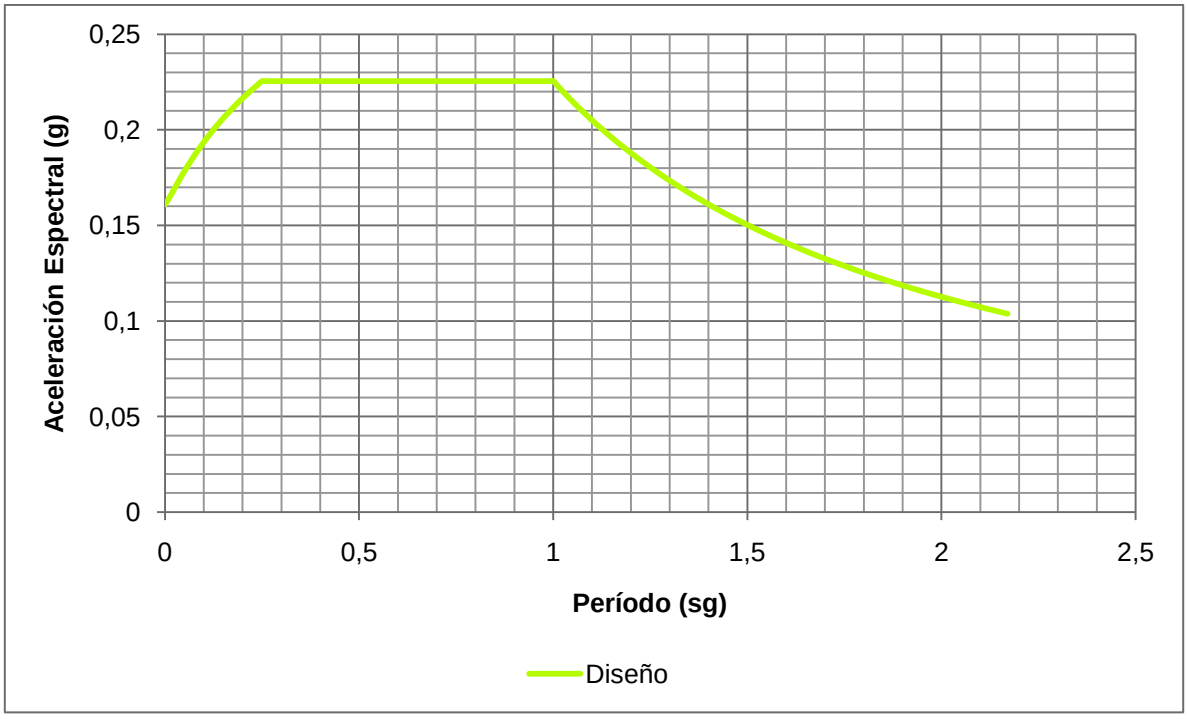


GRÁFICO 3.3 ESPECTRO 3ND1



ZONA 3 ND2

FIGURA 3.13 DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPECTRO 3ND2

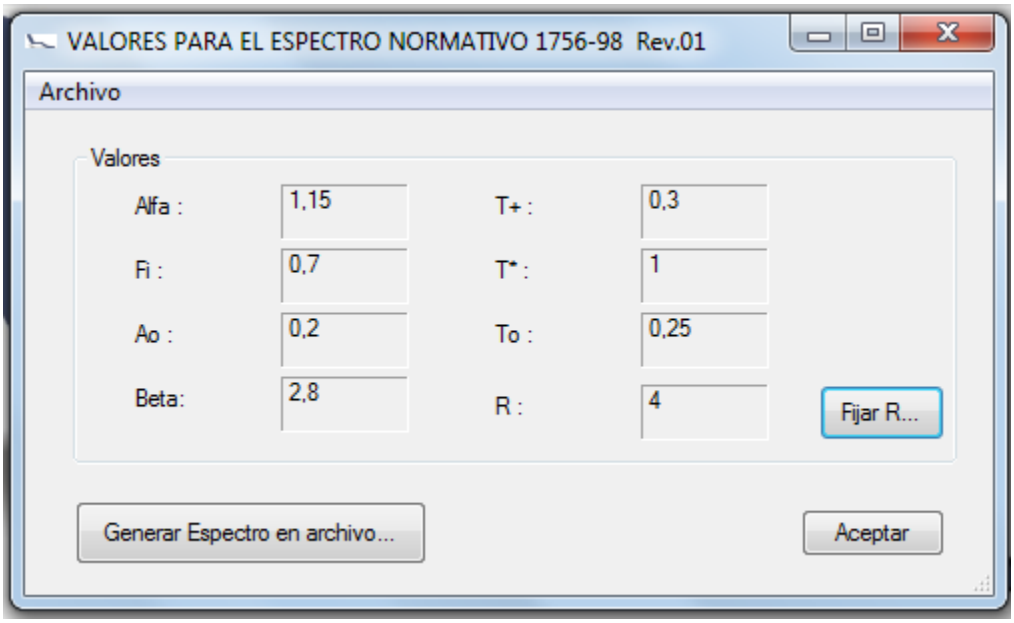
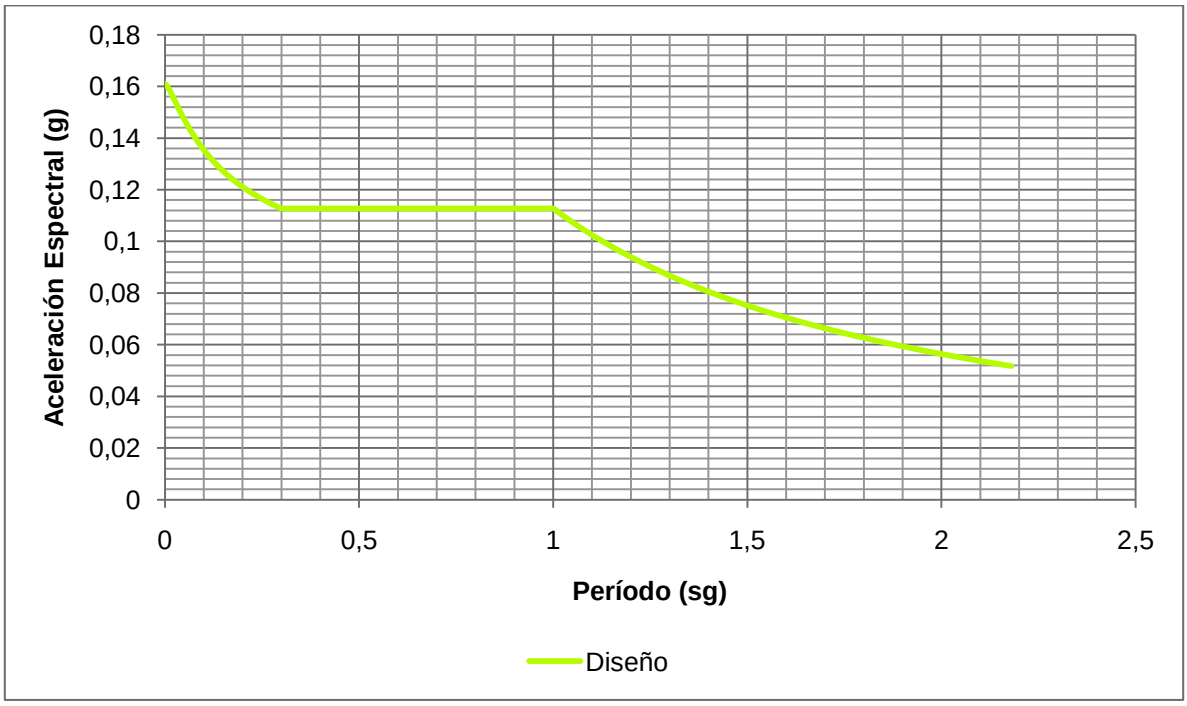


GRÁFICO 3.4 ESPECTRO 3ND2



ZONA 3 ND3

FIGURA 3.14 DATOS PARA EL CÁLCULO DEL ESPECTRO 3ND3

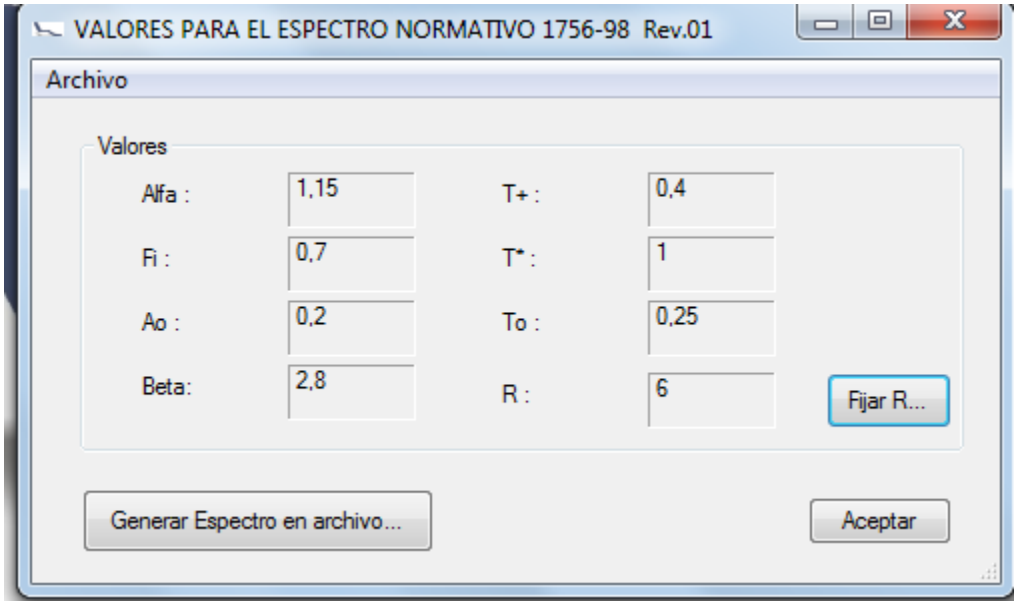
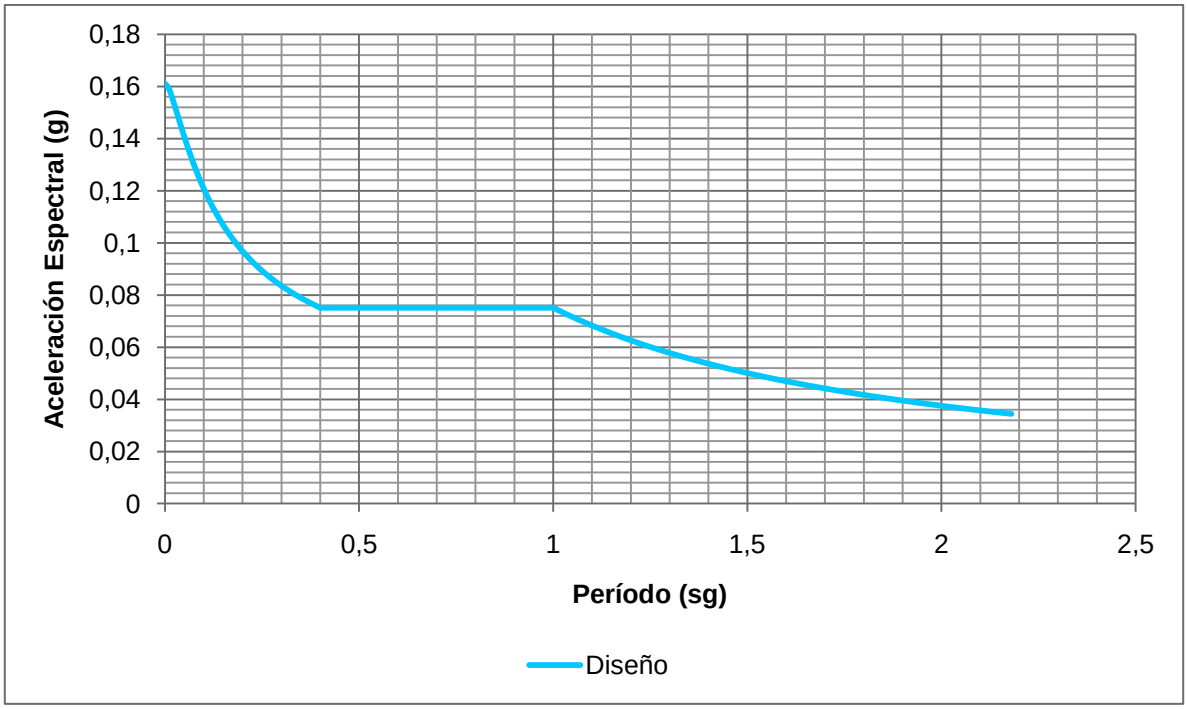


GRÁFICO 3.5 ESPECTRO 3ND3



3.2 Predimensionado

3.2.1 Predimensionado de las Vigas

Para el Predimensionado de vigas se utilizó el método dado en clases por el Ingeniero Arnaldo Gutiérrez, donde el primer paso a seguir es calcular la altura de viga según la Ecuación 3.1, donde l es la mayor luz libre, y el cociente debe estar entre 10 y 18, utilizándose aquí 14.

ECUACIÓN 3.1 ALTURA DE VIGA

$$h = \frac{l}{10} \leftrightarrow \frac{l}{18}$$

Se debe cumplir que:

ECUACIÓN 3.2 RELACIÓN ALTURA-BASE

$$\frac{h}{b} \geq 1.5$$

Se establece el momento actuante según la Ecuación 3.3 donde q es la carga en Kg/m sobre la viga transmitida por la losa adyacente, que puede ser la suma de las cargas permanentes y variables, y l es la luz libre de la viga.

ECUACIÓN 3.3 MOMENTO ACTUANTE

$$M = \frac{q \times l^2}{10}$$

Una vez que se obtienen todos estos valores se debe verificar la viga l y b, según la Ecuación 3.4, donde se asume un valor de q=0,20.

ECUACIÓN 3.4

$$\theta R_T = 0.90 \times f´c \times q \times (1 - 0.59 \times q)$$

Donde θR_T debe ser mayor o igual al momento actuante para que la viga resista las fuerzas solicitantes y las dimensiones obtenidas se puedan utilizar. El porcentaje de acero viene dado por la Ecuación 3.5.

ECUACIÓN 3.5 ÁREA DE ACERO

$$A_s = \frac{M_u}{\theta \times f_y \times (1 - 0.59 \times q) \times d}$$

3.2.2 Predimensionado de las Columnas

Para el Predimensionado de las columnas se utilizó el Método de área tributaria por nivel, por lo que el aporte de carga axial sobre una columna en el nivel “n” sería según la Ecuación 3.6.

ECUACIÓN 3.6

$$P_n = A_t \times Q$$

Donde Q es el área sobre la losa y A_t es el área tributaria correspondiente a la columna. Como se mencionó en el punto anterior la carga Q puede ser la suma de las cargas permanentes y variables sobre la losa, utilizando luego un factor de mayoración global de 1,5, o se puede hallar la carga axial originada por la carga permanente y por la carga viva por separado, mayorándolas con su respectivo factor y luego sumando para hallar P_u.

Las contribuciones de cada piso P_n se deben ir sumando por nivel, de manera de obtener la carga axial de predimensionado para cada nivel, siendo ésta la sumatoria de las contribuciones que estén por encima del nivel en estudio.

Una vez obtenida la carga axial de predimensionado, según la Ecuación 3.7 se obtiene el área de la columna.

ECUACIÓN 3.7 ÁREA DE COLUMNA

$$A = \frac{P_u}{\sigma_{adm}}$$

Con este valor de área obtenido, haciendo la suposición de que se utilizarán columnas cuadradas, se obtienen las dimensiones de la columna, según la Ecuación 3.8.

ECUACIÓN 3.8 DIMENSIONES DE COLUMNA

$$A = l \times l$$

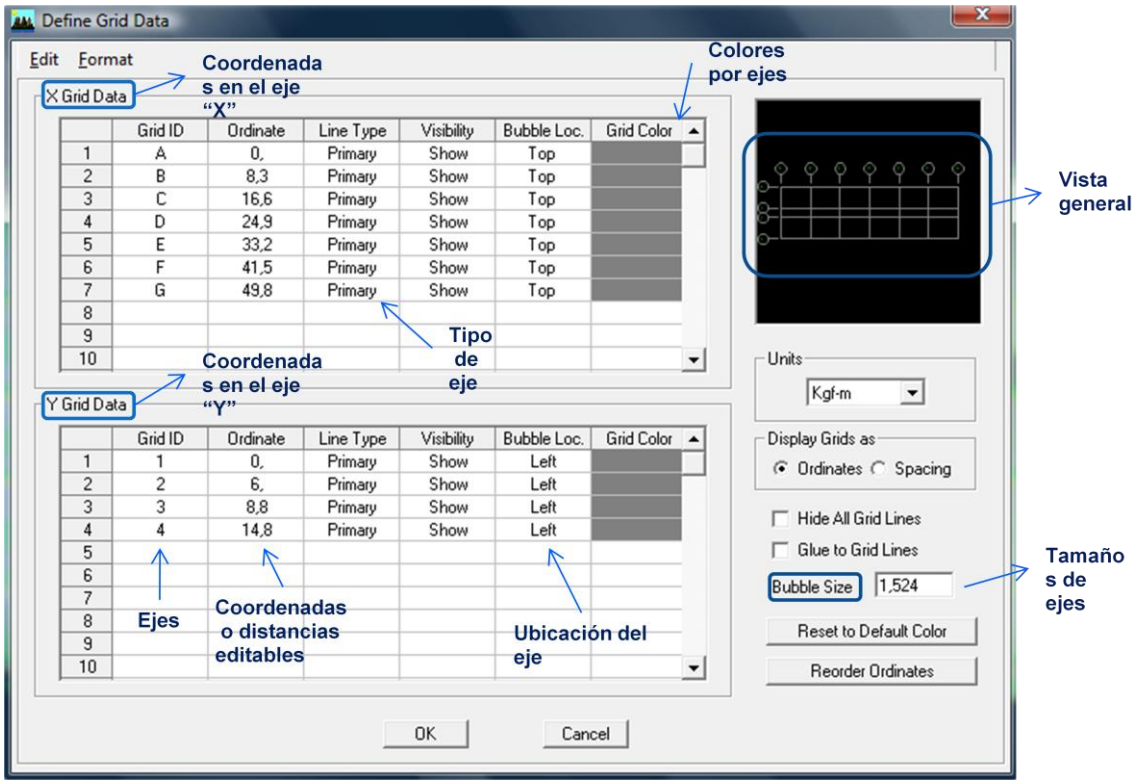
3.3 ETABS

Procedimiento para introducir la data en el programa

Datos necesarios para la construcción de la edificación

· Se definen los pórticos de la estructura mediante la interfaz de la Figura 3.15. Introduciendo el número de ejes y las distancias de las mismas en las direcciones “X” e “Y”

FIGURA 3.15 DEFINICIÓN DE DATOS DEL GRID



·**ETABS** posee una herramienta poderosa, es la capacidad que tiene para permitir definir con exactitud las propiedades de los materiales con los que se desea trabajar en el proyecto. Esta información viene incluida en el programa, pero a su vez puede ser modificada por el usuario en caso de ser conveniente o necesario. Entre las propiedades de los materiales que se pueden modificar se encuentran: densidad del material, módulos de elasticidad, relación de Poisson, módulo de cortante, esfuerzo a compresión y módulo cortante del concreto, y mínimos esfuerzos de cedencia y tensión del acero. En la Figura 3.16 se muestra la interfaz para variar las propiedades del concreto y la Figura 3.17 muestra la interfaz para variar las propiedades del acero. Para obtener resultados congruentes, las propiedades usadas para este trabajo de grado fueron las predeterminadas por el programa, que equivalen a las de la NORMA **ACI 318-05.**

FIGURA 3.16 INTERFAZ PARA MODIFICAR EL MATERIAL DE CONCRETO

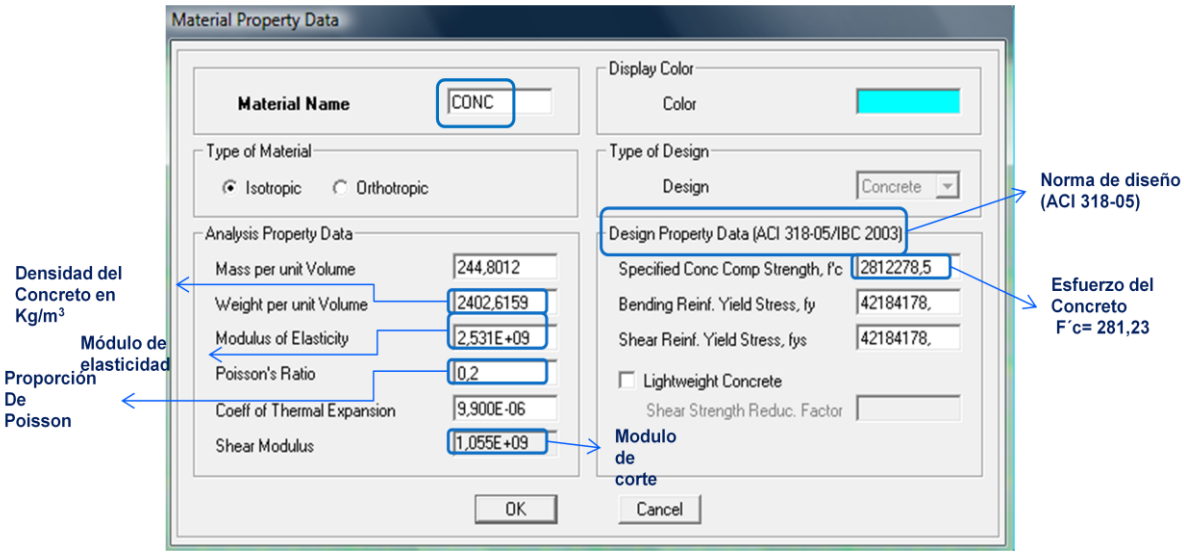
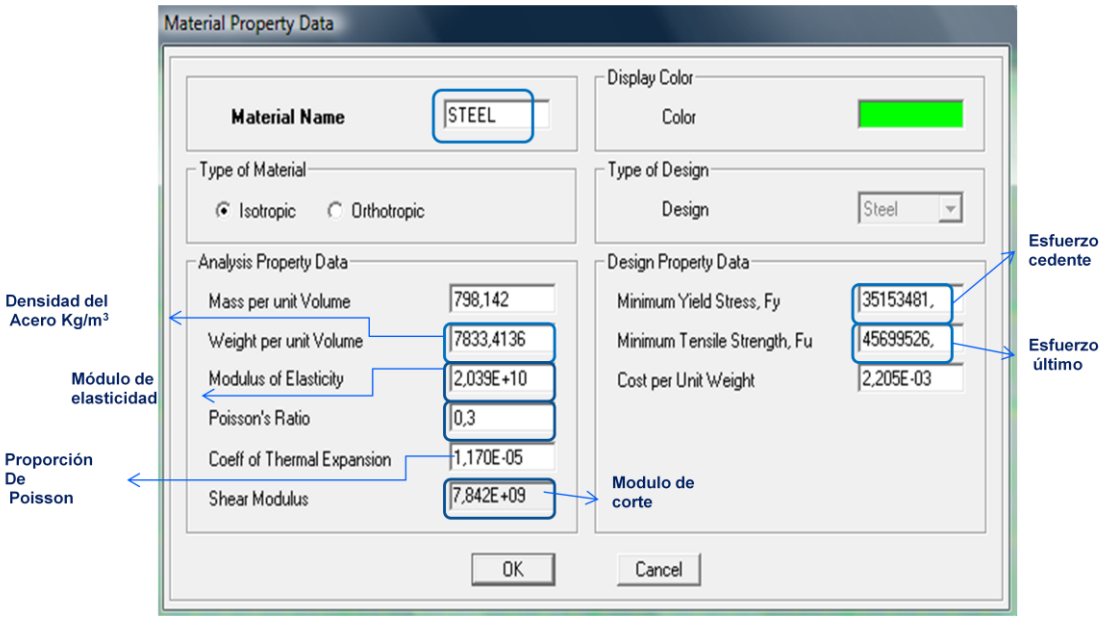


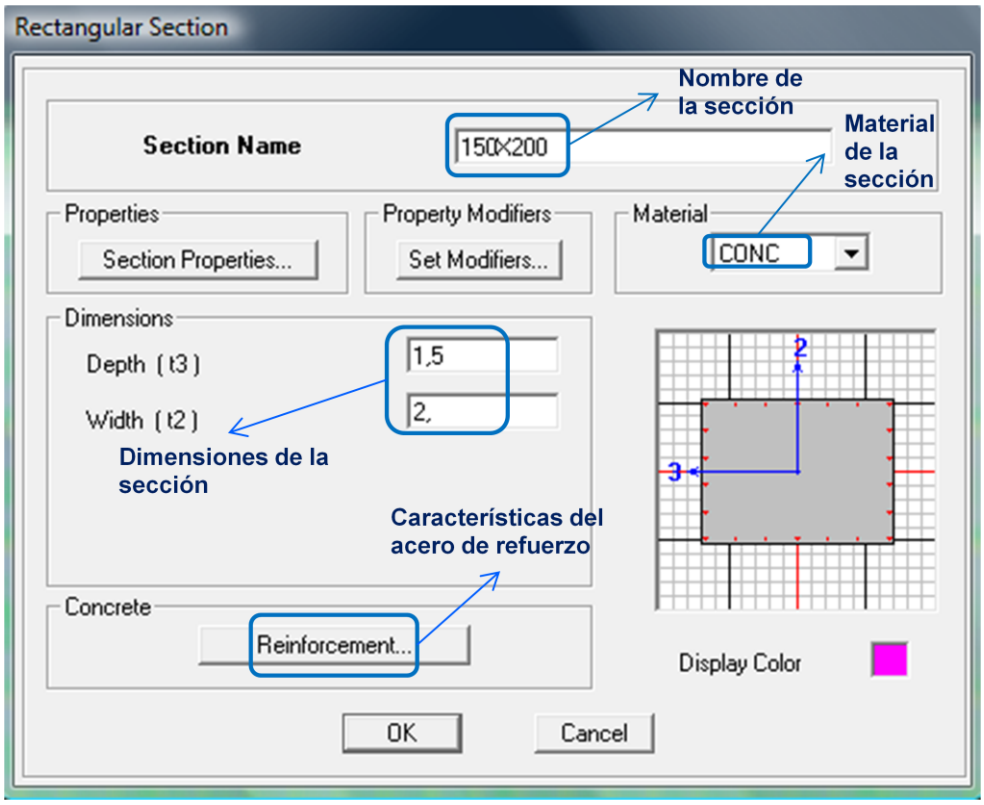
FIGURA 3.17 INTERFAZ PARA MODIFICAR EL MATERIAL DE ACERO



Asignaciones de información para los elementos estructurales

·En el caso de los elementos estructurales el programa ETABS posee una interfaz para la asignación de los tipos de refuerzos, tamaños y materiales. En la Figura 3.18 se muestra un ejemplo de la interfaz para establecer las características de los elementos estructurales en la que se especifica el material, tamaño y tipo de elemento (columna o viga) y su respectivo refuerzo.

FIGURA 3.18 SECCIÓN RECTANGULAR



·En la Figura 3.19 se observa la interfaz para especificar el diseño de una columna, en donde se muestra las opciones para asignar las características del refuerzo tales como: recubrimiento, forma geométrica del refuerzo longitudinal y transversal y número de barras longitudinales por cara.

FIGURA 3.19 DATOS DEL REFUERZO PARA COLUMNA

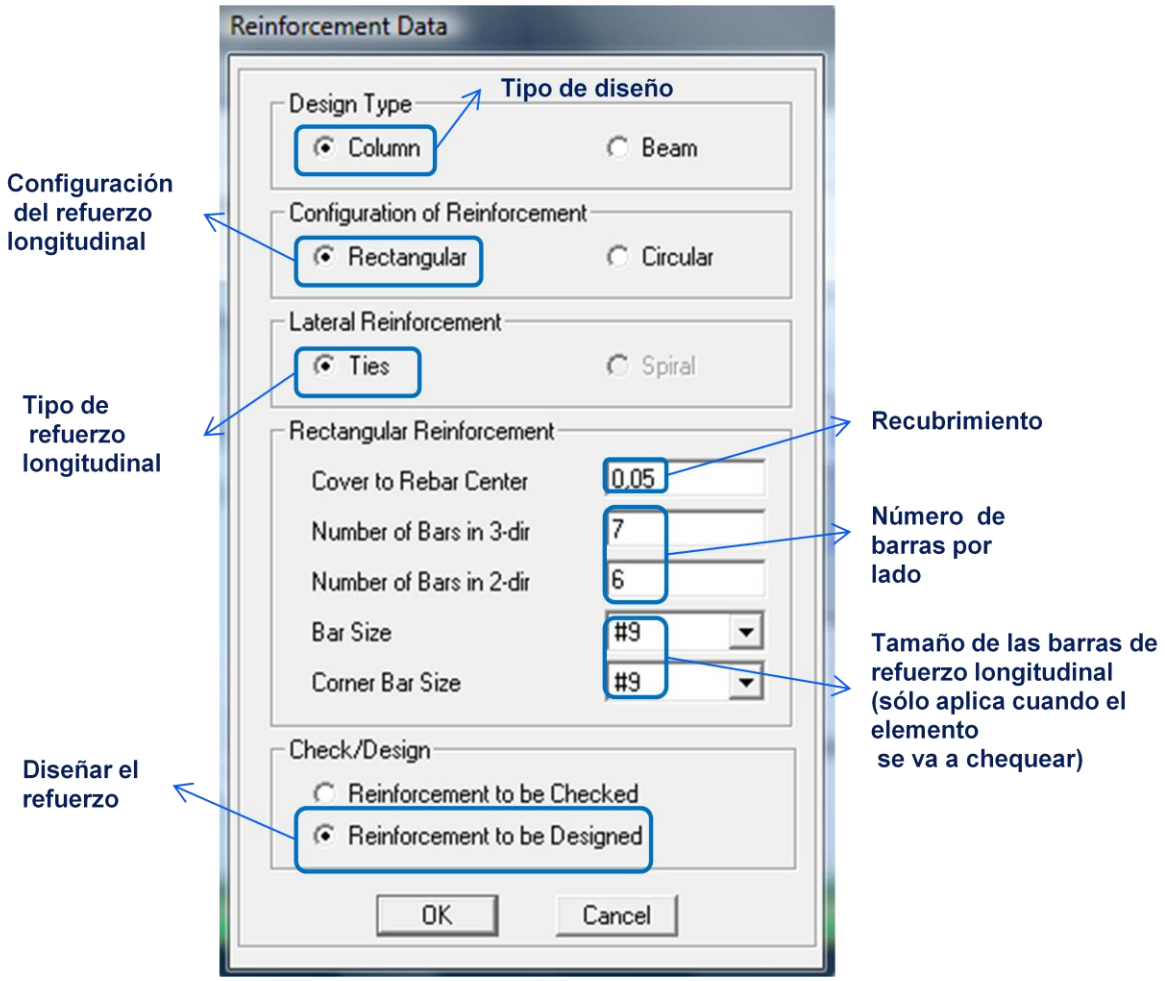
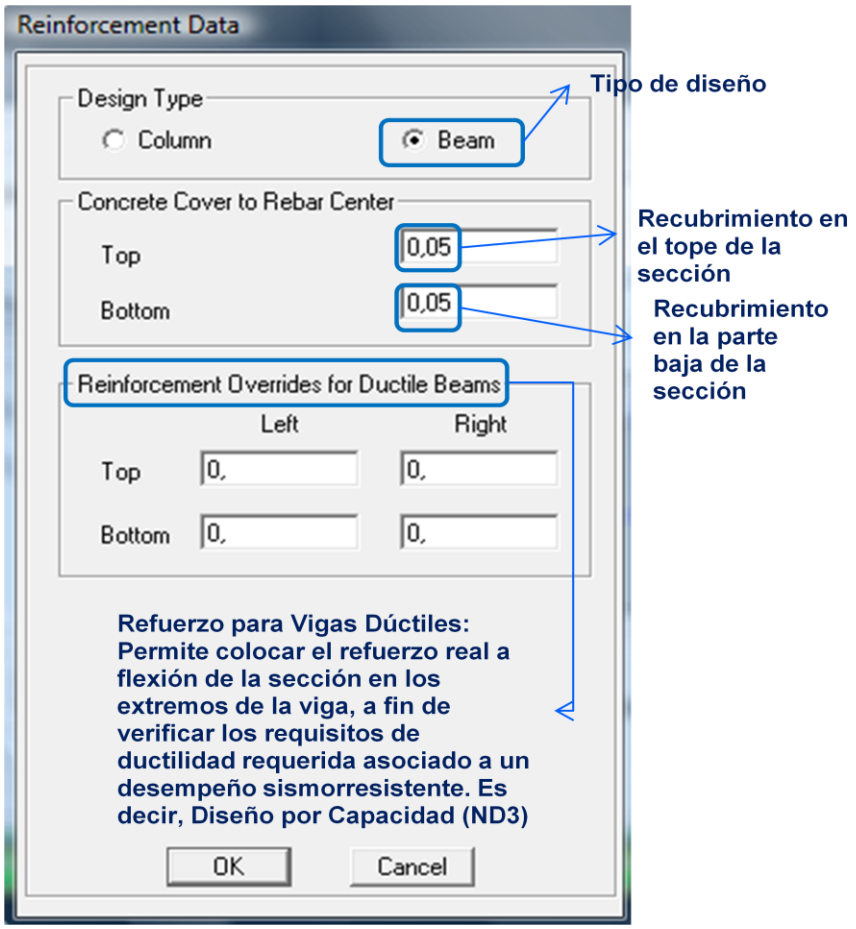


FIGURA 3.20 DATOS DEL REFUERZO PARA VIGA

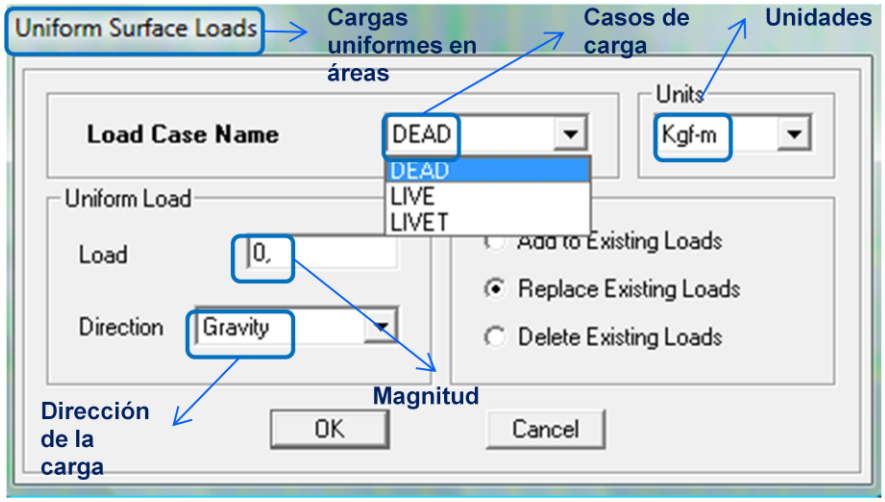


·En la Figura 3.20 se muestra la interfaz para especificar cómo se va a diseñar el elemento estructural, en este caso viga, en donde se observan las posibles opciones para asignar las características del refuerzo tales como: recubrimiento para acero positivo y negativo.

Asignación de las cargas en losas

·Para asignar las distintas cargas en losas el programa posee la opción para asignar carga permanente y variable, y también la opción de la dirección de las cargas, magnitud y unidades, esto se representa en la interfaz de la Figura 3.21.

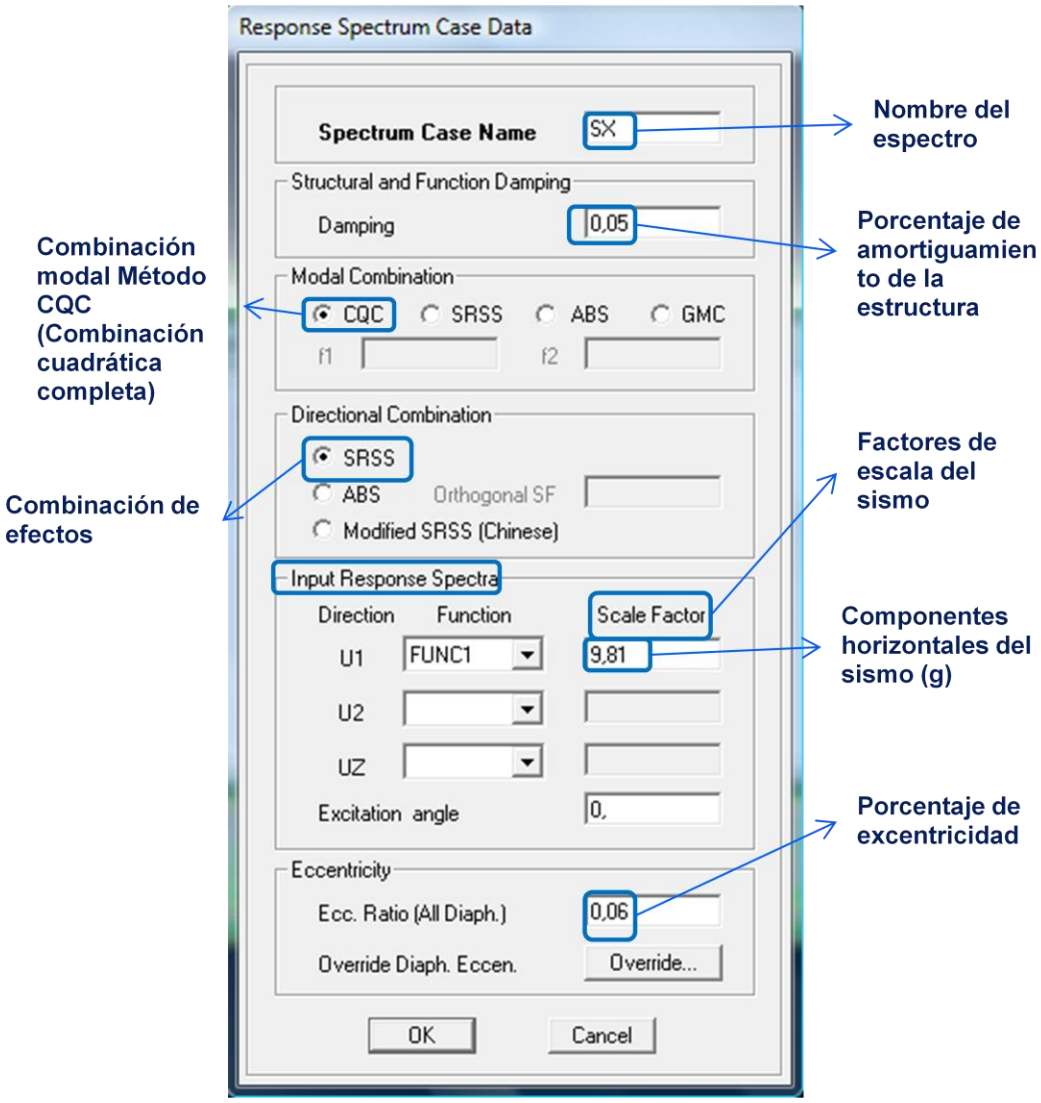
FIGURA 3.21 INTERFAZ PARA DEFINIR CARGAS EN LOSAS



Asignación de la función espectro

·Para asignar los datos del sismo el programa tiene la opción de introducir el espectro de la estructura en el que se pueden especificar, por medio de la interfaz de la Figura 3.22, donde se observa el porcentaje de amortiguación de la estructura, el tipo de combinación modal, la dirección del sismo, el tipo de espectro para la estructura con sus respectivos valores de la gravedad en sus componentes horizontales y verticales y el porcentaje de excentricidad.

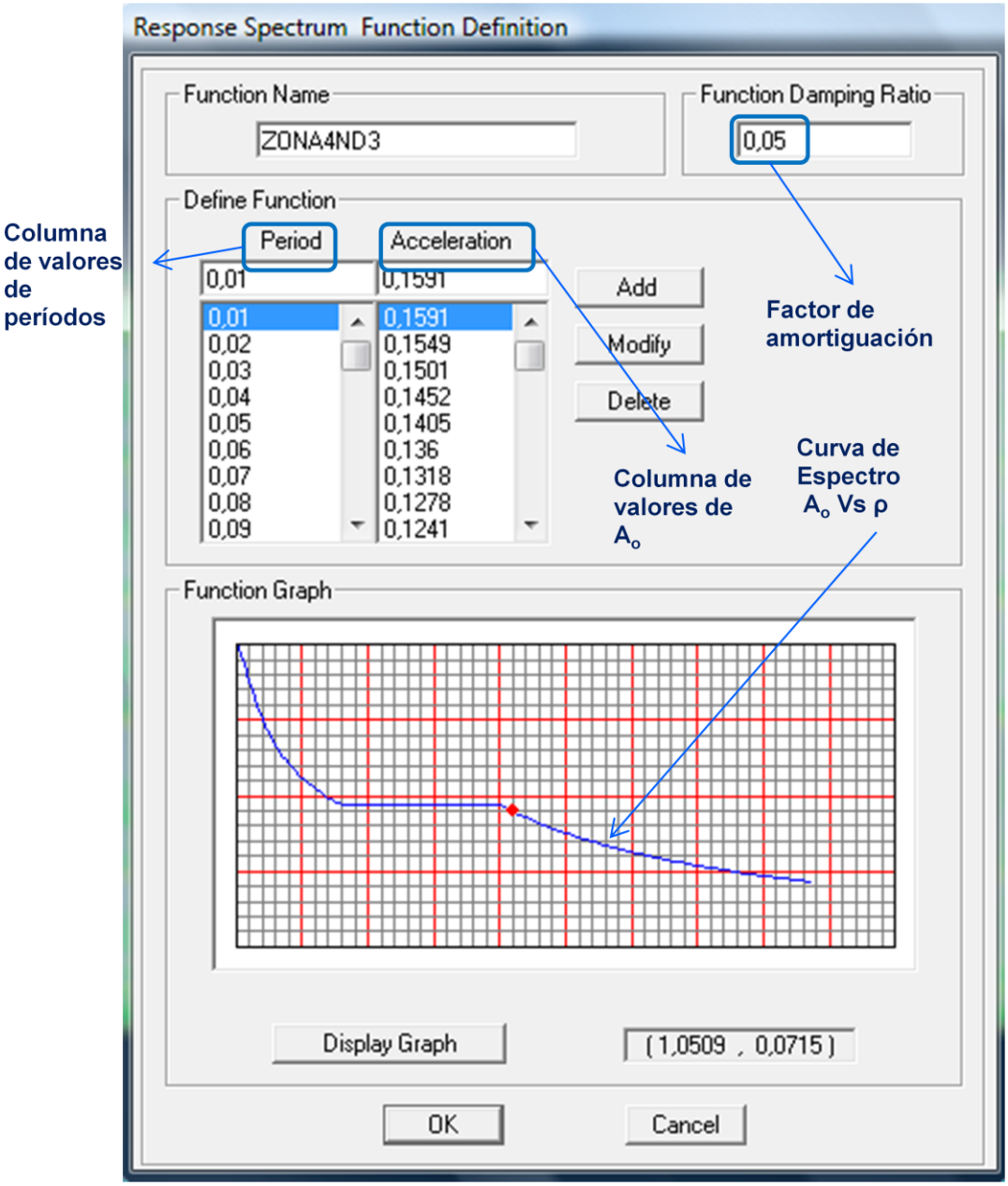
FIGURA 3.22 DEFINIR DATOS DEL ESPECTRO



Asignación de datos para el espectro

·En la Figura 3.23 se muestra la interfaz para introducir los datos de la función espectro. Se deben introducir las coordenadas como se observa en la columna Período Vs Aceleración y el programa graficará la función aplicándola al diseño.

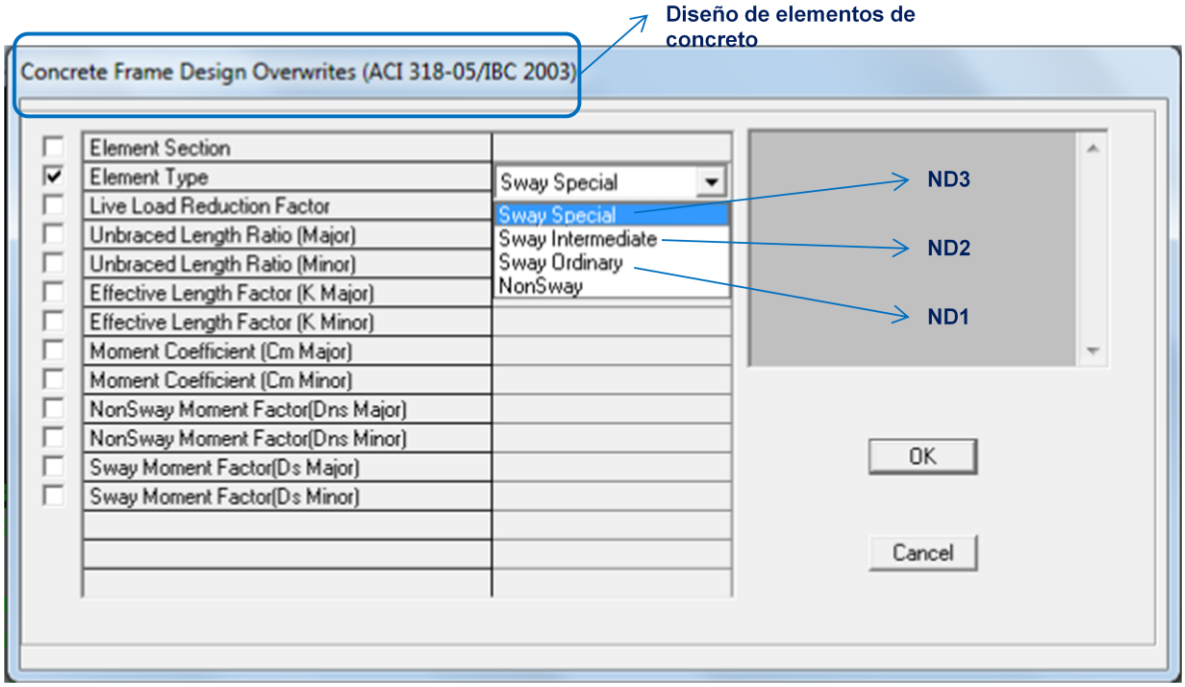
FIGURA 3.23 DEFINIR DATOS DE LA FUNCIÓN ESPECTRO



Asignación del diseño de los elementos estructurales

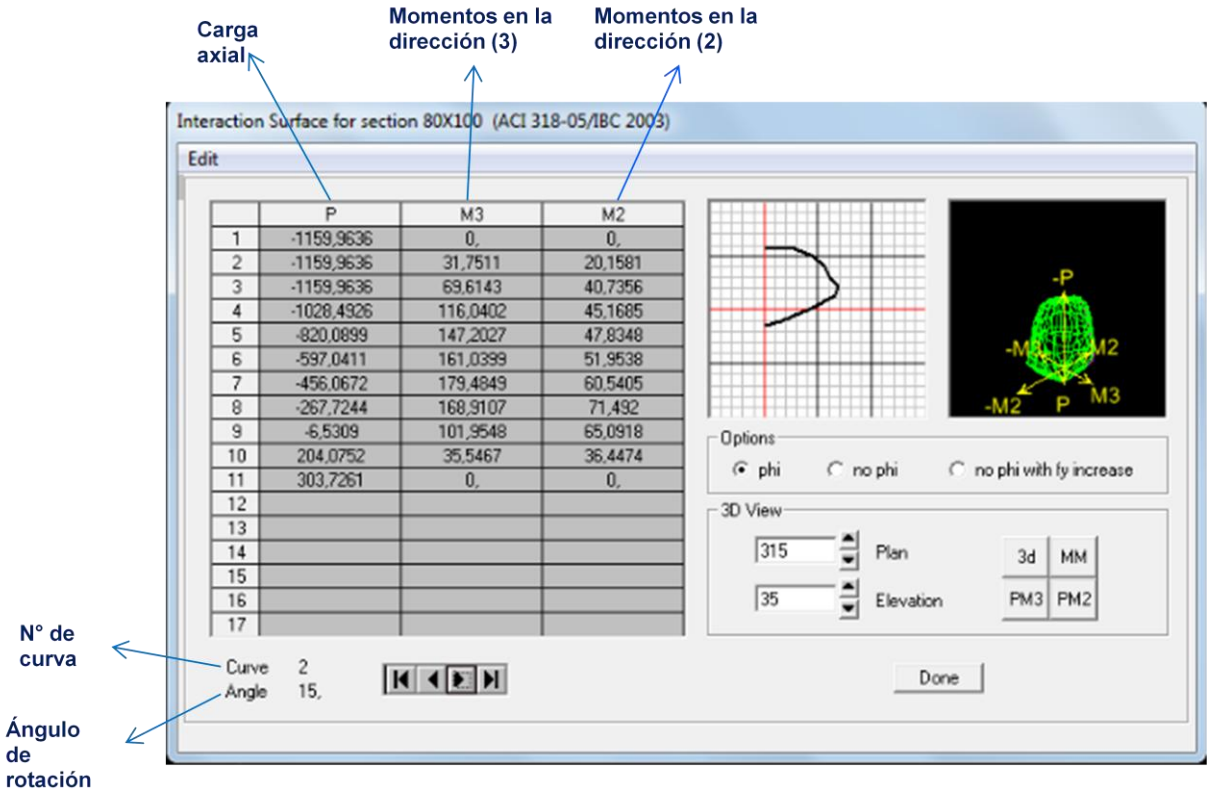
.A la estructura se le debe asignar el nivel de diseño según la norma ACI 318-05, en la Figura 3.24 se presenta la interfaz donde se observa la casilla para esta especificación.

FIGURA 3.24 INTERFAZ PARA DEFINIR EL NIVEL DE DISEÑO



·Para los elementos sometidos a flexo-compresión el programa los diseña bajo la iteración de la carga axial y los momentos biaxiales como se muestra en la Figura 3.25 donde se observa la carga axial y los momentos para distintas variaciones del eje neutro.

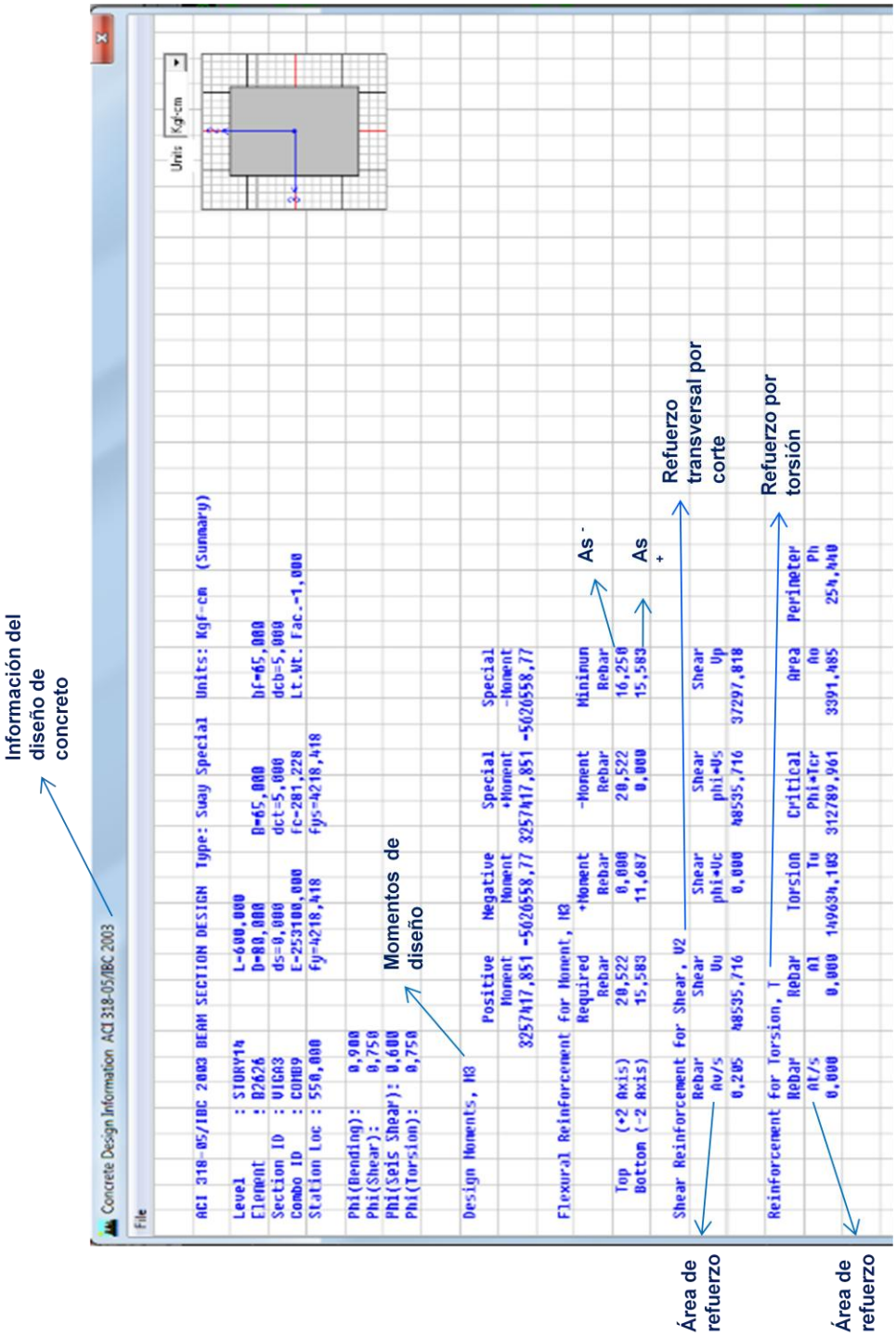
FIGURA 3.25 SUPERFICIE DE ITERACIÓN



Información de salida del diseño estructural

·En la Figura 3.26 se muestra la información resumida referente al diseño de las vigas, donde se observa los momentos y fuerzas cortantes de diseño según los requerimientos del ND2 con sus respectivas cantidades y ubicación del acero longitudinal y transversal de refuerzo según la Norma ACI 318-05.

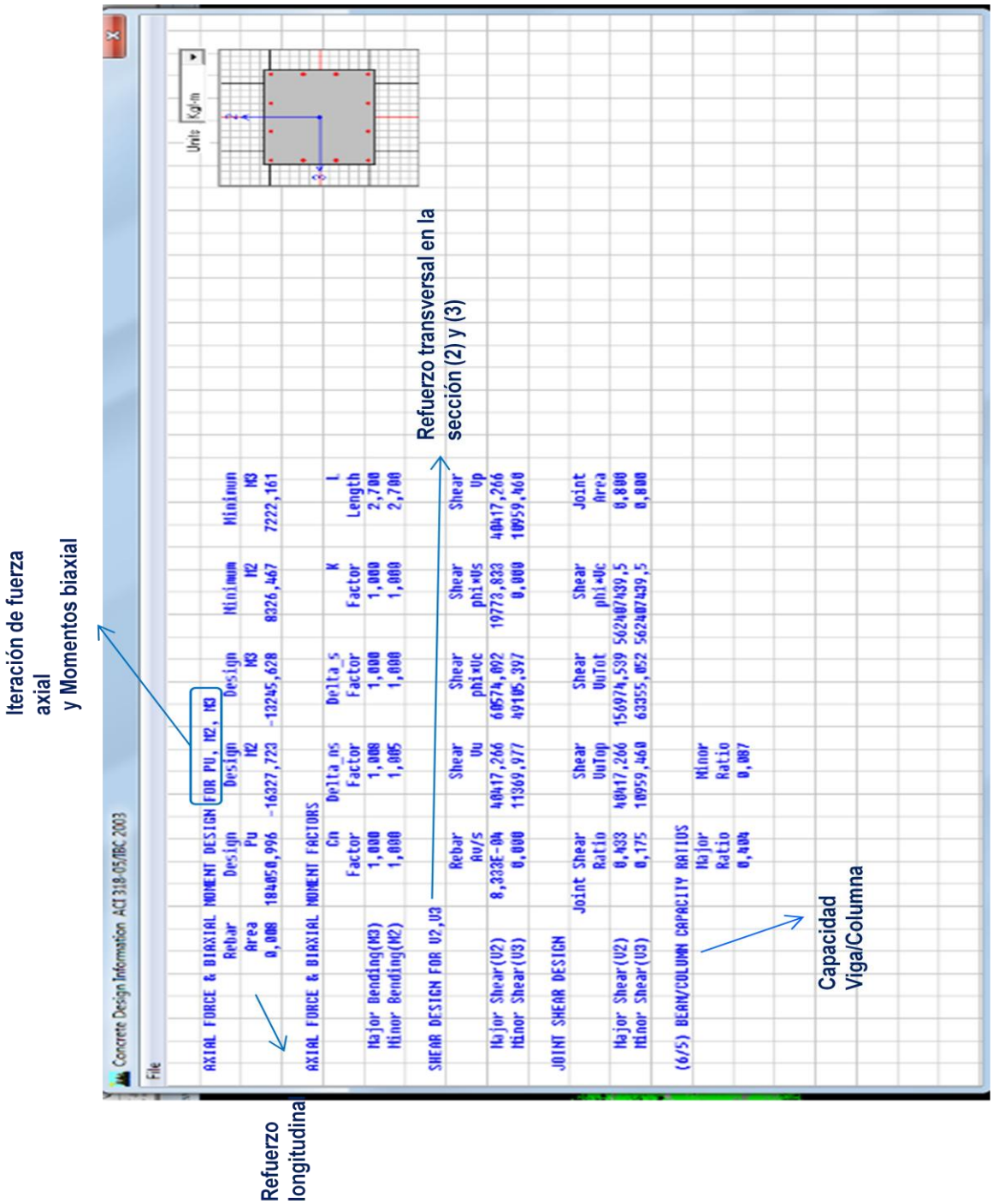
FIGURA 3.26 INFORMACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO PARA VIGAS



·En la figura 3.27 se muestra la información resumida del diseño de las columnas donde se muestran los momentos, fuerzas cortantes y axiales de diseño

según los requerimientos del ND3 con sus respectivas cantidades y ubicación del acero longitudinal y transversal de refuerzo según la Norma ACI-318-05.

FIGURA 2.27 INFORMACIÓN DEL DISEÑO DE CONCRETO PARA COLUMNAS



3.4 Requisitos del Diseño

3.4.1 Cargas de diseño

Las cargas de diseño son fuerzas por metro cuadrado que están aplicadas en distintas zonas de la estructura y simulan las cargas que tendrían la edificación en caso de estar en uso (distintas al peso propio de la estructura). Se clasifican en cargas permanentes y variables; la carga permanente también llamada carga muerta, son aquellas cargas verticales fijas aplicadas sobre la estructura incluyendo el peso de la misma estructura más la de los elementos permanentes, por ejemplo el peso de la cocina, lavadora, cerámica, entre otras. Y, la carga variable o carga viva son aquellas que no se consideran fijas, son movibles sobre la estructura, como las cargas de las personas.

Las distintas cargas que se utilizaron en esta edificación fueron:

-Área de la planta

C_p: 440 Kgf/m2
C_v: 250 Kgf/m^2

-Área de techo:

C_p: 0
C_{vt}:40

-Escaleras:

C_v: 500 Kgf/m^2

-Ascensores:

C_p: 1200 Kg/ m^2

3.4.2 Combinación de carga

Las solicitaciones sobre la estructura, sus miembros y juntas para el Estado Límite de Agotamiento Resistente, se determinan con base en las hipótesis de solicitaciones que produzcan el efecto más desfavorable, el cual puede ocurrir cuando una o más solicitaciones están actuando simultáneamente, por lo que se deben estudiar distintas combinaciones de carga, en este caso las combinaciones de carga mayoradas en el estado de límite de agotamiento resistente serán:

Combo 1:

1.2CP + 1.6CV + 1.6CVT

Combo 2:

1.2CP + 0.5(1.6CV) + S_x + 0.305y

Combo 3:

1.2CP + 0.5(1.6CV) + S_x - 0.305y

Combo 4:

1.2CP + 0.5(1.6CV) - S_x + 0.305y

Combo 5:

1.2CP + 0.5(1.6CV) - S_x - 0.305y

Combo 6:

1.2CP + 0.5(1.6CV) + S_y + 0.30S_x

Combo 7:

1.2CP + 0.5(1.6CV) + S_y - 0.30S_x

Combo 8:

1.2CP + 0.5(1.6CV) - S_y + 0.30S_x

Combo 9:

1.2CP + 0.5(1.6CV) - S_y - 0.30S_x

3.4.3 Criterios de diseño para columnas

TABLA 3.1 REQUISITOS DE ACEROS MÍNIMOS EN COLUMNAS

Columnas	ND1	ND2	ND3
Acero Longitudinal	1% ≤ ρ ≤ 2.5%	1% ≤ ρ ≤ 2.5%	1% ≤ ρ ≤ 2.5%
Acero Corte	$S_{máx}$≤B/2	$S_{máx}$≤B/2 ; 15	$S_{máx}$≤B/2 ; 15
Columna/viga capacidad	No requiere	No requiere	$\sum M_c \geq 1.2 \sum M_v$

3.4.4 Criterios de diseño para vigas

TABLA 3.2 REQUISITOS DE ACEROS MÍNIMO EN VIGAS

Vigas	ND1	ND2	ND3
Acero A flexión	Cabilla N°4 por esquina	$A_{s,mín} = \frac{14}{f_y} \times b_w \times d$	$A_{s,mín} = \frac{14}{f_y} \times b_w \times d$
Momento mínimo en la cara de los apoyos	No requiere	$M^+_{uend} \geq \frac{1}{3} M^-_{uend}$	$M^+_{uend} \geq \frac{1}{2} M^-_{uend}$
		$M^+_{uspan} \geq \frac{1}{5} max\{M^+_u, M^-_u\}_{end}$	$M^+_{uspan} \geq \frac{1}{4} max\{M^+_u, M^-_u\}_{end}$
		$M^-_{uspan} \geq \frac{1}{5} max\{M^+_u, M^-_u\}_{end}$	$M^-_{uspan} \geq \frac{1}{4} max\{M^+_u, M^-_u\}_{end}$
Diseño por corte	$S_{máx}$≤B/2	$S_{máx}$≤B/2 ; 20	$S_{máx}$≤B/2 ; 20

Con respecto a los requisitos del detallado de hacer, no se evaluaron las longitudes de transferencia, anclajes, ganchos ni empalmes, ya que estas cantidades se despreciaron para el consumo de acero.

3.4.5 Desplazabilidad

Tal como se expuso en el Capítulo 2 de este trabajo en el punto 2.2.3, se comprobó que los desplazamientos laterales de la estructura cumplieran con los valores aceptables por la Norma, se logró comparando los resultados de la estructura con la tabla 2.10.

Los gráficos mostrados a continuación representan el resultado de la Ecuación 3.1 obviando en el cálculo el factor R y el 0,8 pertenecientes a la ecuación 2.4 ya que para comparar con la tabla 2.10 el valor máximo será tomado y multiplicado por 0,8 y el factor R correspondiente.

ECUACIÓN 3.1 DERIVA

$$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}$$

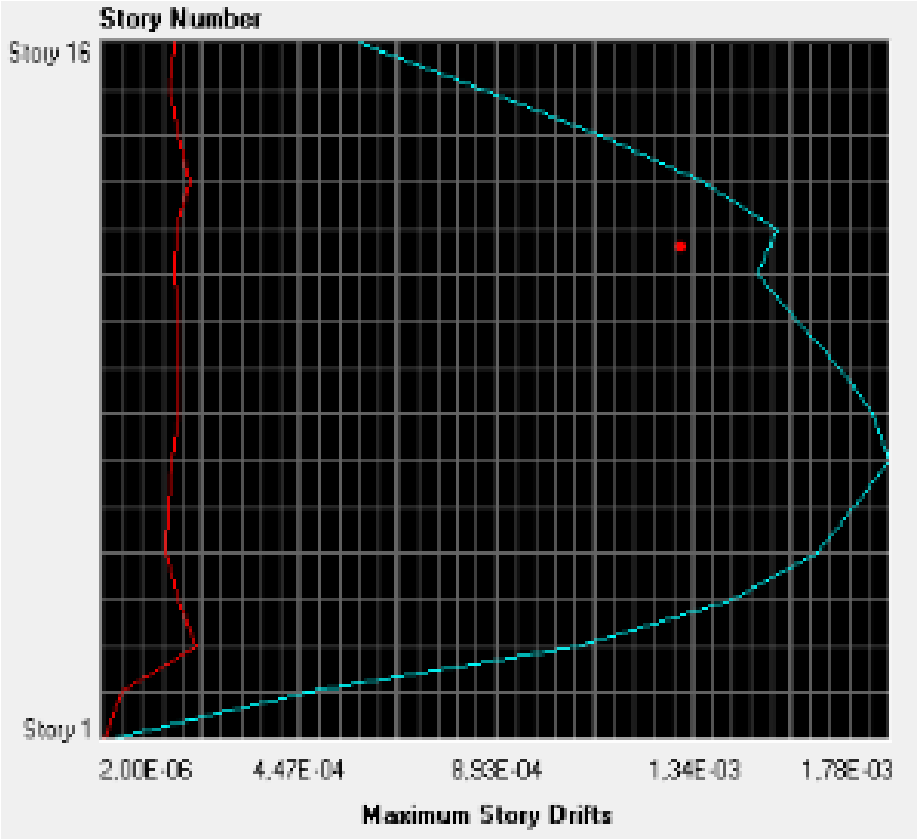
ECUACIÓN 3.2 DESPLAZABILIDAD ENTRE PISOS

$$\frac{\delta_i}{h_i - h_{i-1}}$$

En los gráficos a continuación, la línea de color azul representa el eje de coordenadas global X y la de color rojo corresponde al eje de coordenadas global Y.

ZONA 5 ND2

GRÁFICO 3.6 DESPLAZABILIDAD ENTRE PISOS 5ND2

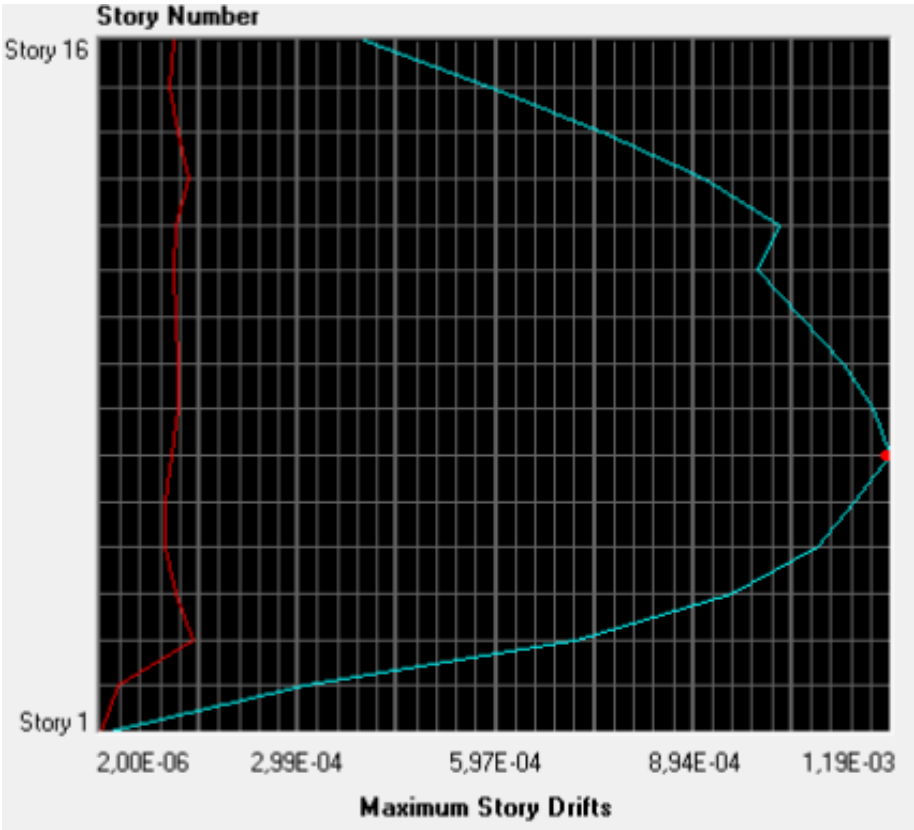


$$R = 4$$

$$(Ec\ 3.2) \times R \times 0{,}8$$

ZONA 5 ND3

GRÁFICO 3.7 DESPLAZABILIDAD ENTRE PISOS 5ND3

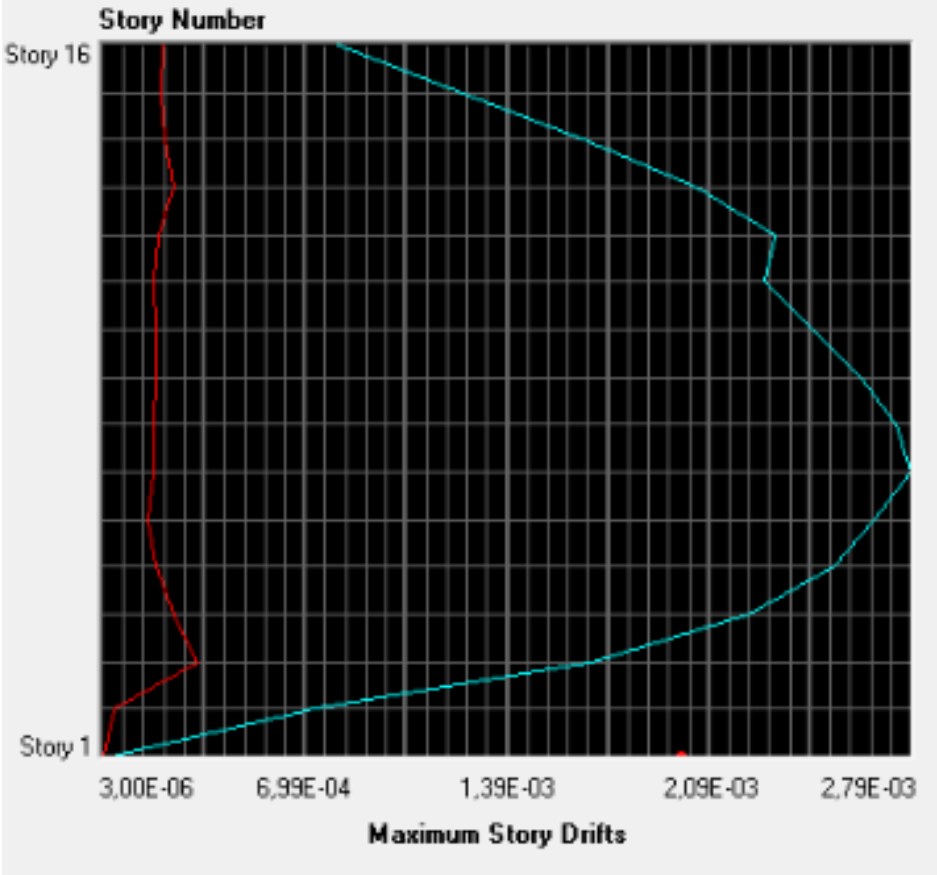


$$R = 6$$

$$(Ec\ 3.2) \times R \times 0{,}8$$

ZONA 3 ND1

GRÁFICO 3.8 DESPLAZABILIDAD ENTRE PISOS 3ND1

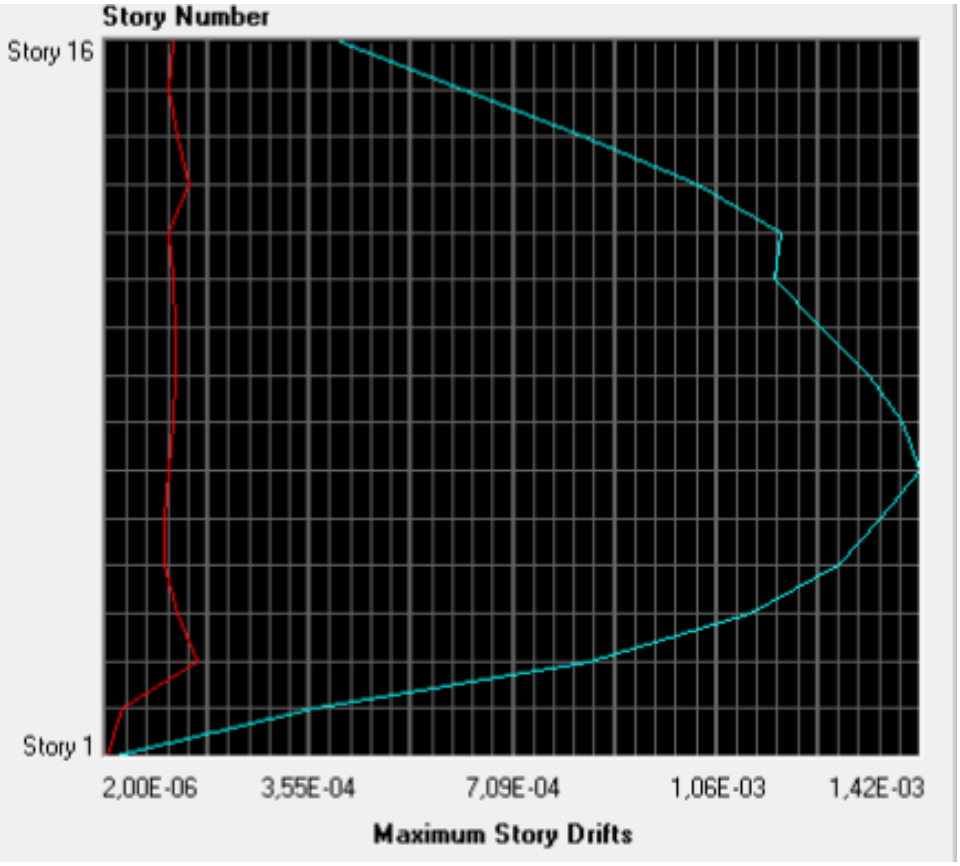


$$R = 2$$

$$(Ec\ 3.2) \times R \times 0{,}8$$

ZONA 3 ND2

GRÁFICO 3.9 DESPLAZABILIDAD ENTRE PISOS 3ND2

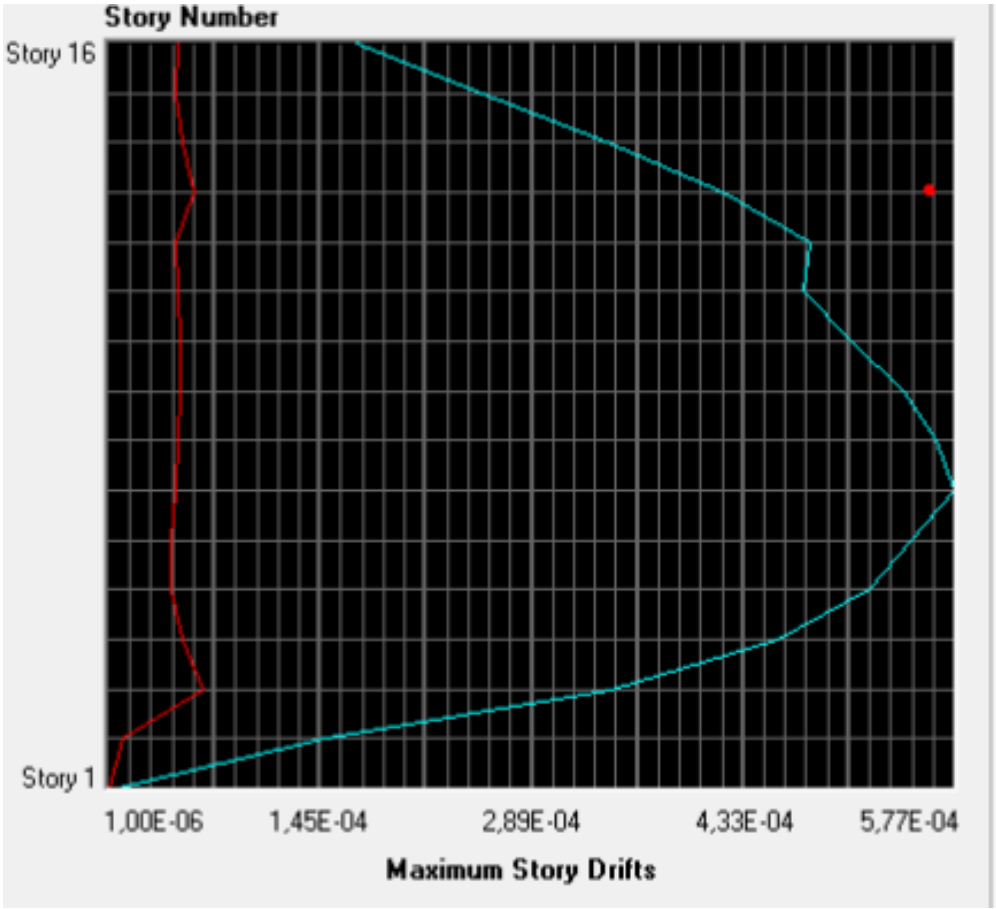


$$R = 4$$

$$(Ec\ 3.2) \times R \times 0{,}8$$

ZONA 3 ND3

GRÁFICO 3.10 DESPLAZABILIDAD ENTRE PISOS 3ND3



$$R = 6$$

$$(Ec\ 3.2) \times R \times 0{,}8$$

3.5 Dimensiones finales

Las dimensiones definitivas de los miembros que componen la estructura así como los resultados que arroja el programa, forman parte de los anexos de este trabajo.

3.5.1 Columnas

Ejemplo de la tabla de datos obtenidos por el programa para las columnas del edificio construido en la zona sísmica 5 y bajo el ND2.

TABLA 3.3 DATOS DEL PROGRAMA ACERCA DE LAS COLUMNAS

SecID	Base	Altura	StnLoc	PMMCombo	AsMin	As	ornerRebar	lidRebar	VMajCombo	MajReb	VMinCombo	VMinReba	AreaConc(cm2)	Longitud(cms)	VolConc(cm3)	AS-Long(cm3)	Sreq(cms)	SmaxNorma(cms)	S(cm)	N'Ligas	LongPer(cms	VolAsV(cm3)
120X150	120,00	150,00	0	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	135	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	270	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	0	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	135	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	270	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	0	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	135	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	270	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	0	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	135	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	270	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	0	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	135	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	270	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0,067	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	281,40
120X150	120,00	150,00	0	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	135	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	270	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	0	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	135	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	270	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	0	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	135	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	270	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-
120X150	120,00	150,00	0	COMB9	180	180	18	18	COMB9	0	COMB9	0	18.000,00	116,67	2.100.000,00	21.000,00	39	15,00	15,00	8	540	-

En la tabla 3.3 se registra:

·Ubicación de la columna según el piso del edificio en “STORY ( )” y la posición donde está siendo evaluada #StnLoc”.

·La sección de la columna en “SecID” donde se especifica su “Base” y “Altura” respectivamente.

·El combo que rige el diseño por flexo-compresión “PMMCombo”.

·Acero longitudinal mínimo para ρ = 1% “AsMin”.

·Acero longitudinal requerido par la sección “As”.

·Acero requerido en las esquinas “CornerRebarAs” y en las mitades “MidRebarAs” de la sección.

·El combo que rige el diseño por corte en ambas direcciones “VMajCombo” y “VMinCombo”.

·Acero transversal requerido para la sección “VMajRebar” y “VMinRebar”.

Con los datos obtenidos del programa se realizó una serie de cálculos para determinar los consumos finales de acero y concreto para cada columna, incluidos en la Tabla 3.3.

3.5.1.1 Procedimiento de análisis para la realización de los cálculos

·Acero longitudinal “AsLong”

Para cada columna del entrepiso el programa arroja tres puntos de información del acero requerido longitudinal “asLong”, los cuales están ubicados en los extremos y en el punto medio. Cada uno de estos puntos se multiplicó por su distancia correspondiente en la columna, obteniendo los resultados de la celda “AS-Long(cm^3)”.

·Acero transversal “VMinRebar”

De igual forma que el acero longitudinal, el programa arroja tres puntos de la información del acero requerido transversal entre la separación “VMinReba”, los cuales están ubicados en los extremos y en el punto medio. Para cada punto se calculó la separación requerida “Sreq(cms)” y se comparó con la separación máxima que permite la Norma COVENIN 1753:2006; tomando así la menor de las dos, y siendo reflejada en la celda “S(cm)”. Luego se dividió la longitud total de la columna entre la separación anterior, obteniendo así “N°Ligas”, la que se multiplicó por el perímetro de la sección “LongPer(cms)” y ese resultado se multiplicó por “N°Ligas” y por “VMinRebar” y se obtiene “VolAsV(cm^3)” que no es más que el volumen necesario para resistir el corte por tramo.

·Volumen de concreto “Volconc(cm^3)”

Se multiplicó el área de la sección de concreto “ÁreaConc(cm^2)” por la longitud total de la columna desde el primero hasta el último piso.

3.5.2 Vigas

Ejemplo de tabla de datos obtenidos por el programa para las vigas de la edificación construida en la zona sísmica 5 y bajo el ND2.

GRÁFICO 3.4 DATOS DEL PROGRAMA ACERCA DE LAS VIGAS

Story	BayID	SecID	Base	AlturaSta	LadrTopCombi	ArMinTop	ArTopIzBot	CombiArMinBot	ArBot	ArBotY	CombiRober	LaqCombi	LaqRobe	TraCombi	TraRobe	Longitud(cm)	ArLaqTop(cm3)	ArNormaTop(cm2)	LaqTopNor(cm	LaqTopTotal(cm	LaqBot(cm	ArNormaBot(cm	ArLaqTopNor(cm	LaqBotTotal(cm	maqPerY(cm	Area(cm	maxNorma(cm	S(cm)	M	Liqui	LiquRoda	ValArY(cm3)	ValConc(cm3)	ValArLaqT	ValArYT
STORY16	B2217	NER	15,00	30,00	-	COMB5	0,65	0,65	COMB5	0,22	0,22	COMB5	0,01	COMB9	-	COMB9	-	42,00	27,34	-	27,34	9,07	-	-	9,07	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2217	NER	15,00	30,00	54,17	COMB5	0,13	0,13	COMB1	0,53	0,53	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	5,42	-	5,42	22,09	-	-	22,09	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2217	NER	15,00	30,00	108,33	COMB5	0,13	0,13	COMB1	1,11	1,11	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	5,42	-	5,42	46,66	-	-	46,66	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2217	NER	15,00	30,00	162,50	COMB5	0,13	0,13	COMB1	1,32	1,32	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	5,42	-	5,42	55,23	-	-	55,23	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2217	NER	15,00	30,00	216,67	COMB5	0,13	0,13	COMB1	1,13	1,13	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	5,42	-	5,42	47,50	-	-	47,50	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2217	NER	15,00	30,00	270,83	COMB5	0,13	0,13	COMB1	0,57	0,57	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	5,42	-	5,42	23,73	-	-	23,73	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2217	NER	15,00	30,00	325,00	COMB5	0,61	0,61	COMB5	0,20	0,20	COMB5	0,01	COMB9	-	COMB9	-	42,00	25,70	-	25,70	8,53	-	-	8,53	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	-	COMB1	0,44	0,44	COMB1	0,15	0,15	COMB1	0,01	COMB9	-	COMB9	-	42,00	10,56	-	10,56	4,17	-	-	4,17	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	54,17	COMB1	0,09	0,09	COMB1	0,64	0,64	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,70	-	3,70	26,92	-	-	26,92	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	108,33	COMB1	0,09	0,09	COMB1	1,22	1,22	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,70	-	3,70	51,20	-	-	51,20	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	162,50	COMB1	0,09	0,09	COMB1	1,35	1,35	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,70	-	3,70	56,70	-	-	56,70	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	216,67	COMB1	0,09	0,09	COMB1	1,22	1,22	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,70	-	3,70	51,16	-	-	51,16	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	270,83	COMB1	0,09	0,09	COMB1	0,64	0,64	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,70	-	3,70	26,92	-	-	26,92	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	325,00	COMB1	0,44	0,44	COMB1	0,15	0,15	COMB1	0,01	COMB9	-	COMB9	-	42,00	10,61	-	10,61	4,17	-	-	4,17	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	-	COMB1	0,44	0,44	COMB1	0,15	0,15	COMB1	0,01	COMB9	-	COMB9	-	42,00	10,31	-	10,31	6,09	-	-	6,09	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	54,17	COMB1	0,09	0,09	COMB1	0,65	0,65	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,74	-	3,74	27,30	-	-	27,30	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	108,33	COMB1	0,09	0,09	COMB1	1,22	1,22	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,74	-	3,74	51,37	-	-	51,37	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	162,50	COMB1	0,09	0,09	COMB1	1,35	1,35	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,74	-	3,74	56,70	-	-	56,70	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	216,67	COMB1	0,09	0,09	COMB1	1,21	1,21	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,74	-	3,74	50,95	-	-	50,95	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	270,83	COMB1	0,09	0,09	COMB1	0,63	0,63	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	3,74	-	3,74	26,54	-	-	26,54	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2219	NER	15,00	30,00	325,00	COMB1	0,45	0,45	COMB1	0,15	0,15	COMB1	0,01	COMB9	-	COMB9	-	42,00	10,90	-	10,90	4,26	-	-	4,26	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2220	NER	15,00	30,00	-	COMB5	0,62	0,62	COMB5	0,21	0,21	COMB5	0,01	COMB9	-	COMB9	-	42,00	26,12	-	26,12	8,65	-	-	8,65	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2220	NER	15,00	30,00	54,17	COMB5	0,13	0,13	COMB1	0,55	0,55	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	5,46	-	5,46	23,14	-	-	23,14	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2220	NER	15,00	30,00	108,33	COMB5	0,13	0,13	COMB1	1,12	1,12	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	5,46	-	5,46	47,17	-	-	47,17	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-
STORY16	B2220	NER	15,00	30,00	162,50	COMB5	0,13	0,13	COMB1	1,31	1,31	COMB9	-	COMB9	-	COMB9	-	42,00	5,46	-	5,46	55,19	-	-	55,19	-	-	-	-	-	-	-	11.900,00	-	-

En la tabla 3.4 se muestra:

·Ubicación de la viga según el piso del edificio en “STORY ( )” y la posición donde la viga está siendo evaluada “StnLoc”

·La sección del elemento “SecID” y sus respectivas “Base” y “Altura” especificadas.

·El como que rige el diseño por flexión para el área de acero negativo “AsTopCombo” y para el acero positivo “AsBotCombo”.

·Acero longitudinal requerido y mínimo a lo largo de la viga tanto negativo como positivo “AsMinTop”, “AsTop”, “AsMinBot” y “AsBot”.

·El combo que rige el diseño para el área de acero transversal por corte “VCombo”.

·Acero transversal requerido por corte a lo largo de la viga “VRebar”.

·El combo que rige el diseño para el área longitudinal adicional requerido por los efectos de trosión en la viga “TLngCombo”.

·Acero longitudinal adicional requerido por los efectos de torsión “TLngRebar”.

·El combo que rige el diseño para el área de acero transversal requerido por los efectos de torsión en la viga “TTrnCombo”.

·Acero transversal requerido por efectos de torsión “TTnrRebar”.

A través de los datos obtenidos por el programa se realizó una serie de cálculos para determinar los consumos finales de acero y concreto de la viga, tal como se muestra en la Tabla 3.4

3.5.2.1 Procedimiento de análisis para la realización de los cálculos

·Acero longitudinal negativo “AsLongTop”

Se comparó el acero negativo requerido con el acero mínimo por la Norma COVENIN 1753:2006 ver tabla 3.2 y se tomó la mayor de los dos áreas para cada tercios de la viga.

·Acero longitudinal positivo “AsLongBot”

Se comparó el área negativo requerido con el área mínimo, ver tabla 3.2, y se tomó la mayor de las dos áreas para cada tramo de la viga.

·Volumen de acero negativo “AsTopTotal”

Se multiplicó el área de acero “AsMinTop” necesaria por la longitud de la sección “Longitud(cms)”, luego se calculó el área de acero mínimos por Norma “AsNormaTop(cm^2)” y se multiplico por la longitud “Longitud(cms)”, estos dos resultados se compararon y se tomó el mayor valor.

·Volumen de acero positivo “AsBotTotal”

Se realizó el procedimiento anterior pero con los datos del acero positivo, “AsMinBot” y “AsNormaBot(cm^2)”.

·Volumen de acero longitudinal adicional por efectos de torsión “VolAsLongT”

Se tomó el mayor valor de área de acero longitudinal adicional del tramo de la viga y se multiplicó por la longitud de la viga.

·Separación del acero transversal requerido “Sreq”

Se sumaron las áreas de acero requerido para el refuerzo transversal (corte más dos veces la torsión) y se determinó la separación requerida para un espesor de acero transversal de 0,71 cm^2 (3/8”).

·Separación final “S(cm)”

Esta separación viene dada por la máxima permitida por la Norma para el acero transversal, ver tabla 3.2, y se tomó la menor de las dos distancias para separación a lo largo de la viga.

·Longitud de acero transversal “VolAsV”

La longitud total del tramo de viga se dividió entre la separción obtenida anteriormente “S(cm)” para calcular el número de ligaduras a lo largo del tramo “N°Ligas”, y luego ese valor se multiplicó por el perímetro de la sección “LongPerV(cms)”.

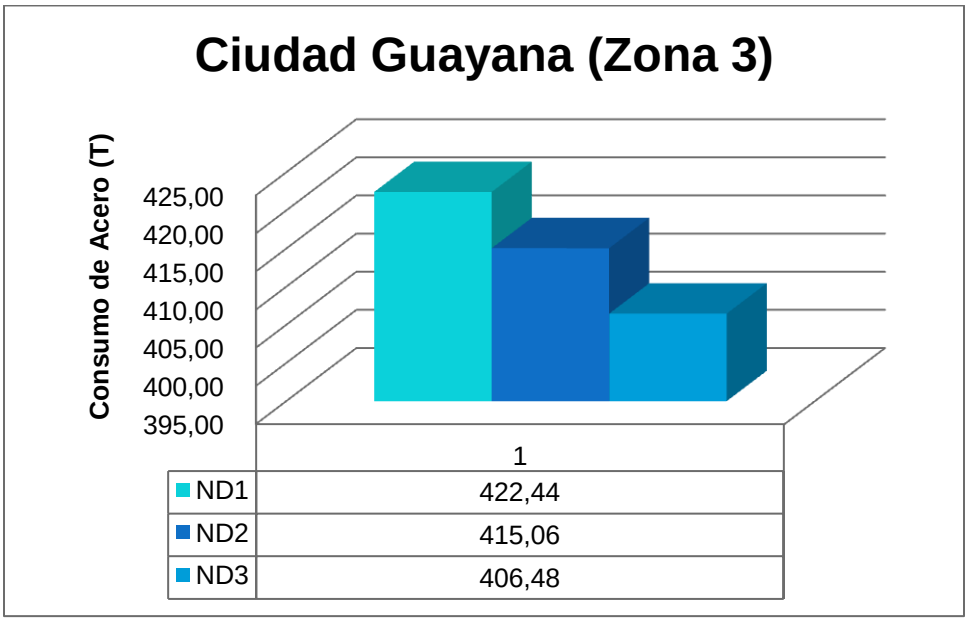
·Volumen de concreto “VolConc(cm^3)”

El área de la sección de concreto del tramo se multiplicó por el largo de la viga, “Longitud(cms)”, “Base” y “Altura”.

CAPÍTULO 4

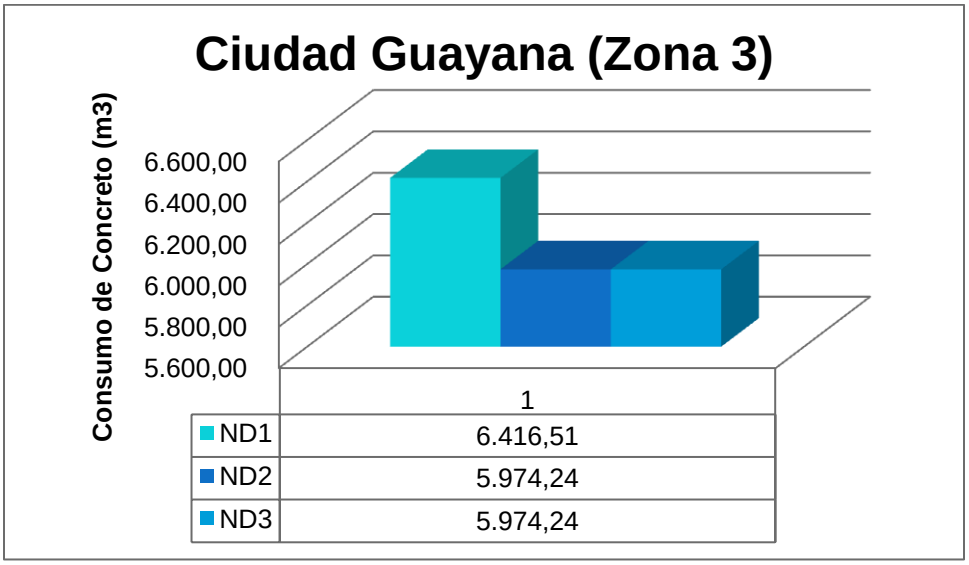
ANÁLISIS Y RESULTADOS

GRÁFICO 4.1 CONSUMO ACERO (T)



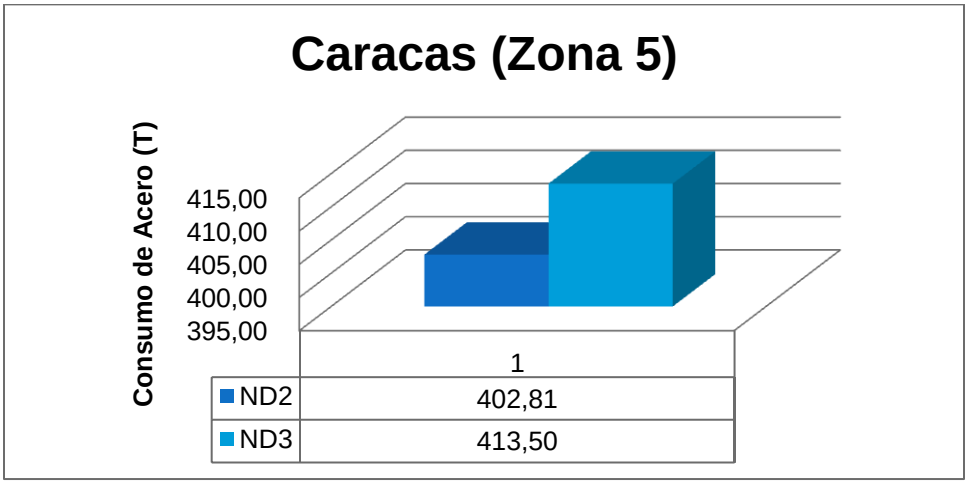
En el Gráfico 4.1 se puede observar la cantidad de acero necesaria en la ZONA 3 bajo los distintos niveles de diseño. Se observa una similitud en la cantidad del mismo.

GRÁFICO 4.2 CONSUMO CONCRETO (M^3)



En el Gráfico 4.2 se está representado el volumen de concreto necesario en cada una de las estructuras de la ZONA 3 según su nivel de diseño. Existe una diferencia notable entre las cantidades del nivel de diseño 1 (ND1) y los niveles 2 y 3 (ND2 y ND3). El ND1 requiere un consumo mucho mayor de concreto que el ND2 y el ND3.

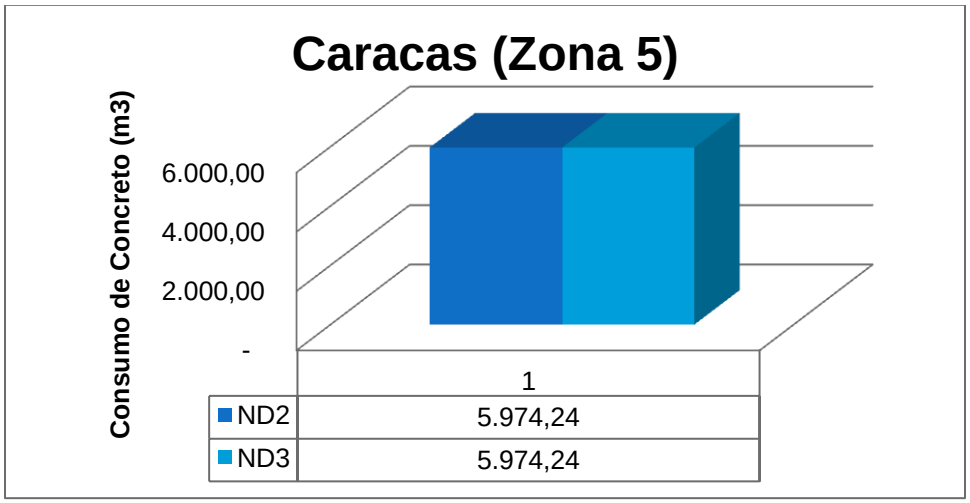
GRÁFICO 4.3 CONSUMO ACERO (T)



En el Gráfico 4.3 se expresa la cantidad de acero a consumir por la estructura ubicada en la ZONA 5 para sus 2 niveles de diseño permitidos por la

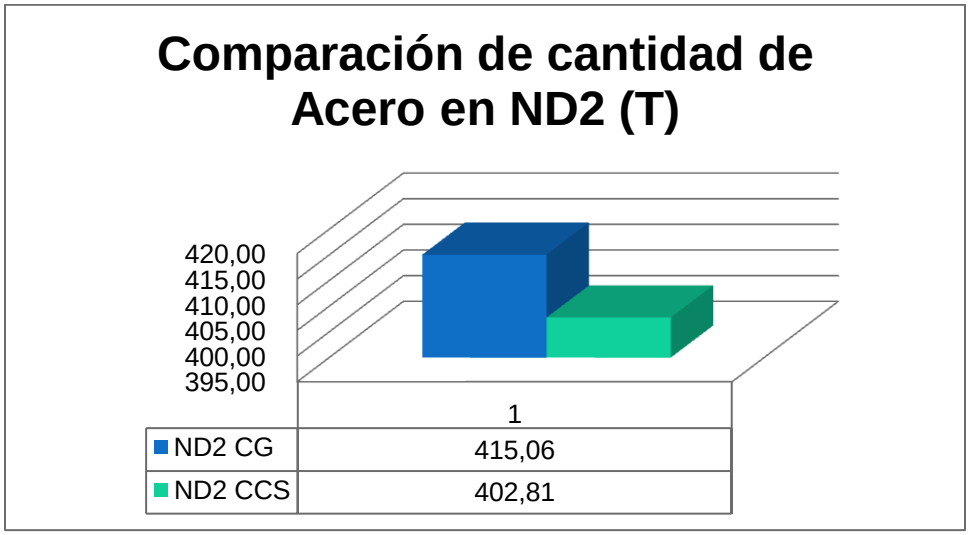
norma. Cabe destacar que la cantidad necesaria para el ND3 es un poco mayor a la del ND2.

GRÁFICO 4.4 CONSUMO CONCRETO (M^3)



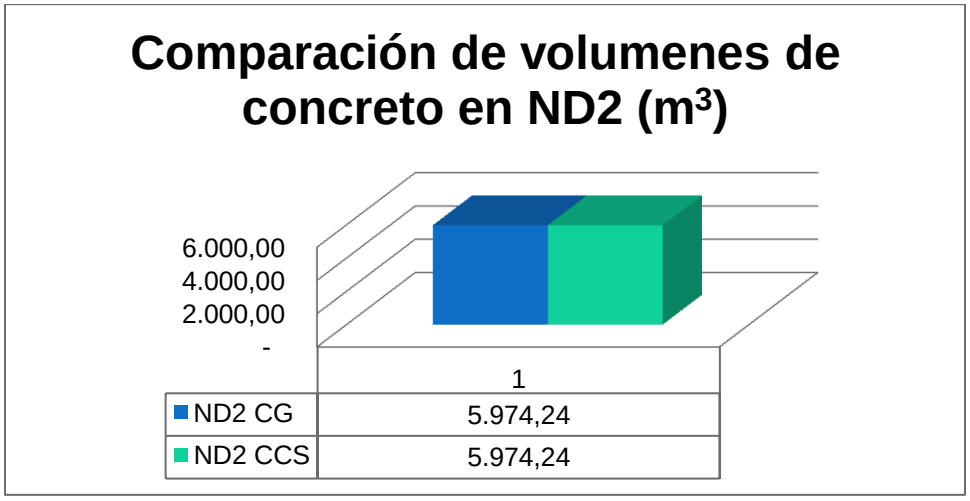
En el Gráfico 4.4 se muestra el volumen de concreto a utilizar en la ZONA 5 por cada uno de sus niveles de diseño. Ambas cantidades son exactamente iguales.

GRÁFICO 4.5 COMPARACIÓN ACERO ND2 (T)



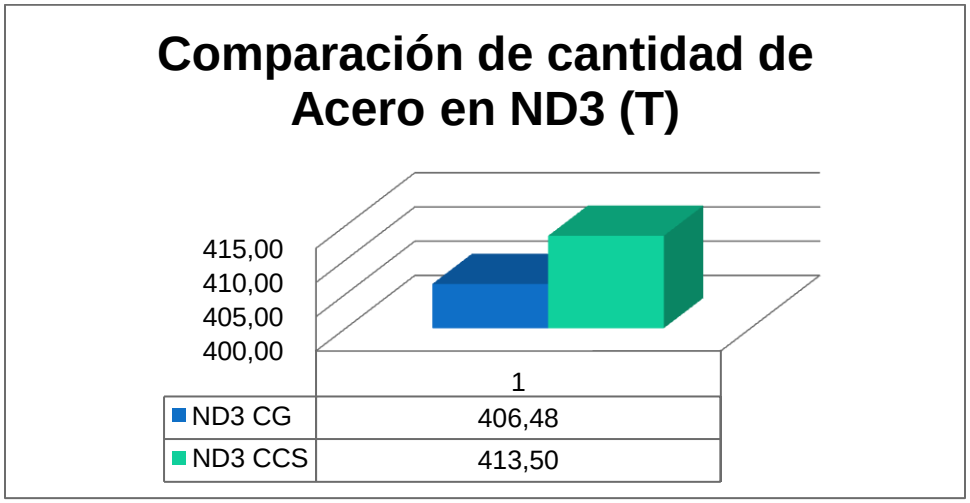
En el Gráfico 4.5 se pueden observar las cantidades de acero necesarias en el ND2 de ambas Zonas Sísmicas, pudiendo observar que el consumo en la ZONA 5 es menor que en la ZONA 3.

GRÁFICO 4.6 COMPARACIÓN VOLÚMENES ND2 (M^3)



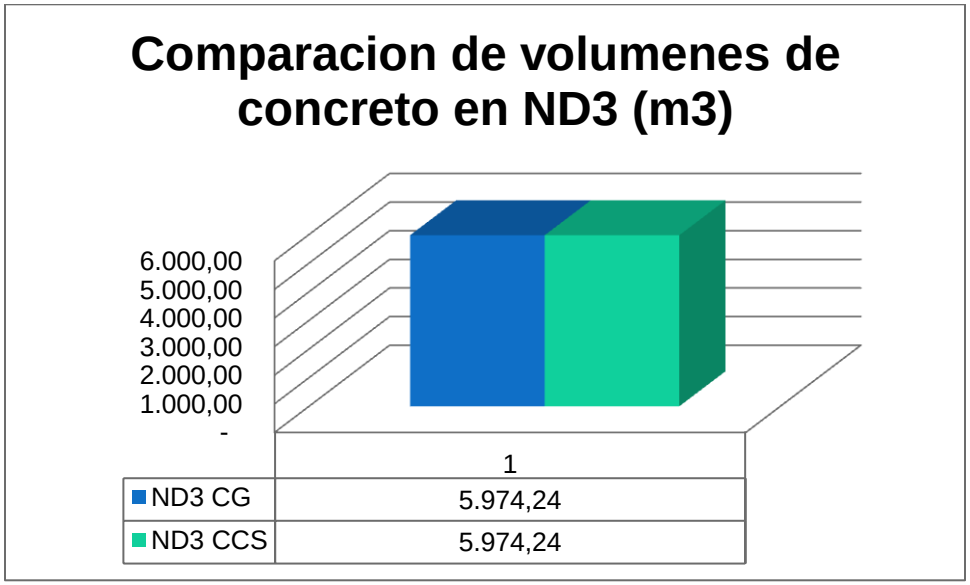
En el Gráfico 4.6 se obtuvo una comparación de los volúmenes a consumir de concreto en las ZONAS 3 y 5 calculados para el ND2. En ambos casos el volumen es el mismo.

GRÁFICO 4.7 COMPARACIÓN ACERO ND3 (T)



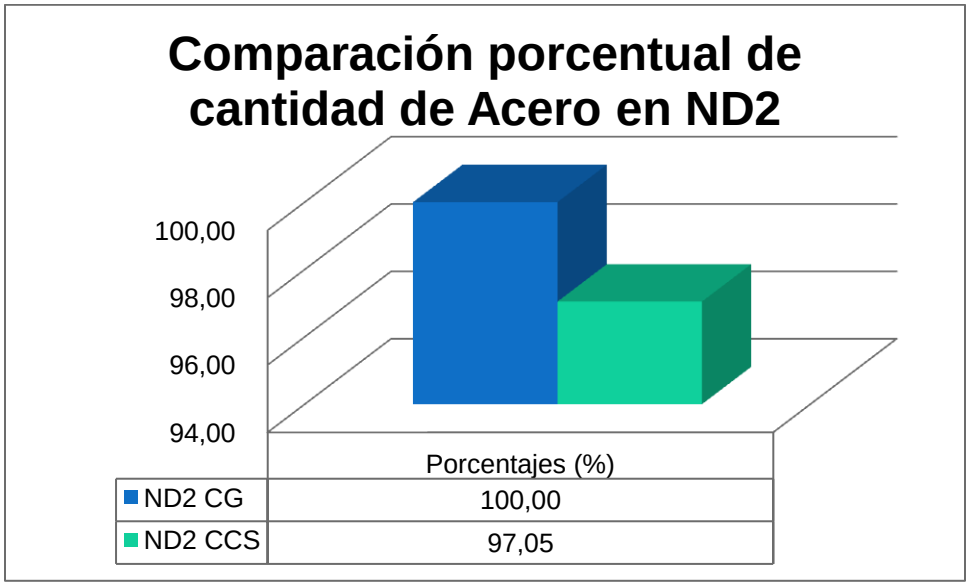
En el Gráfico 4.7 se comparan las cantidades de acero necesarias para el ND3 en las ZONAS 3 y 5. Se observa que el consumo de acero es mayor en la ZONA5.

GRÁFICO 4.8 COMPARACIÓN VOLÚMENES ND3 (M^3)



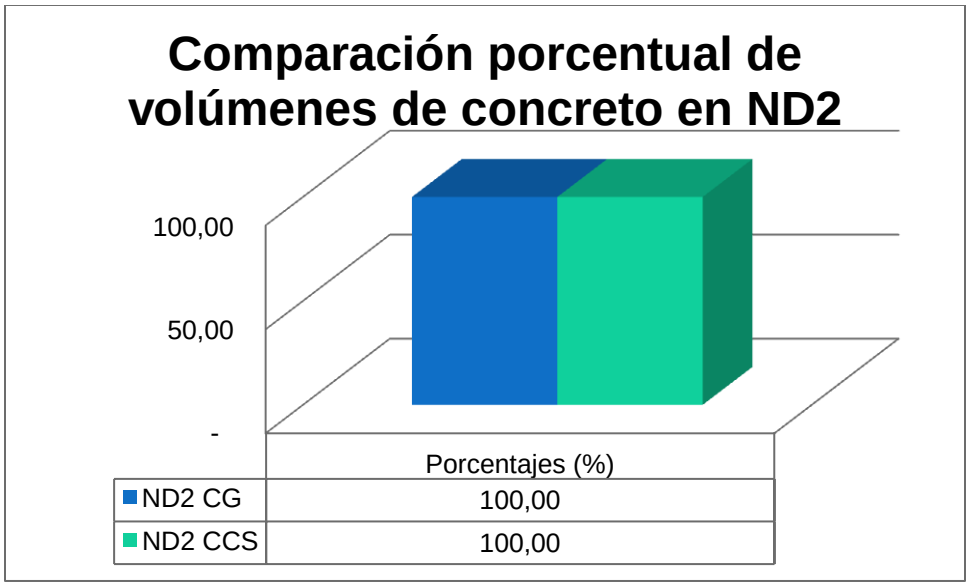
En el Gráfico 4.8 se representó la diferencia entre las ZONAS 3 y 5 en relación al concreto que debe usarse en cada una para un ND3. Ambas Zonas requieren el mismo volumen de concreto.

GRÁFICO 4.9 COMPARACIÓN PORCENTUAL DE ACERO ND2



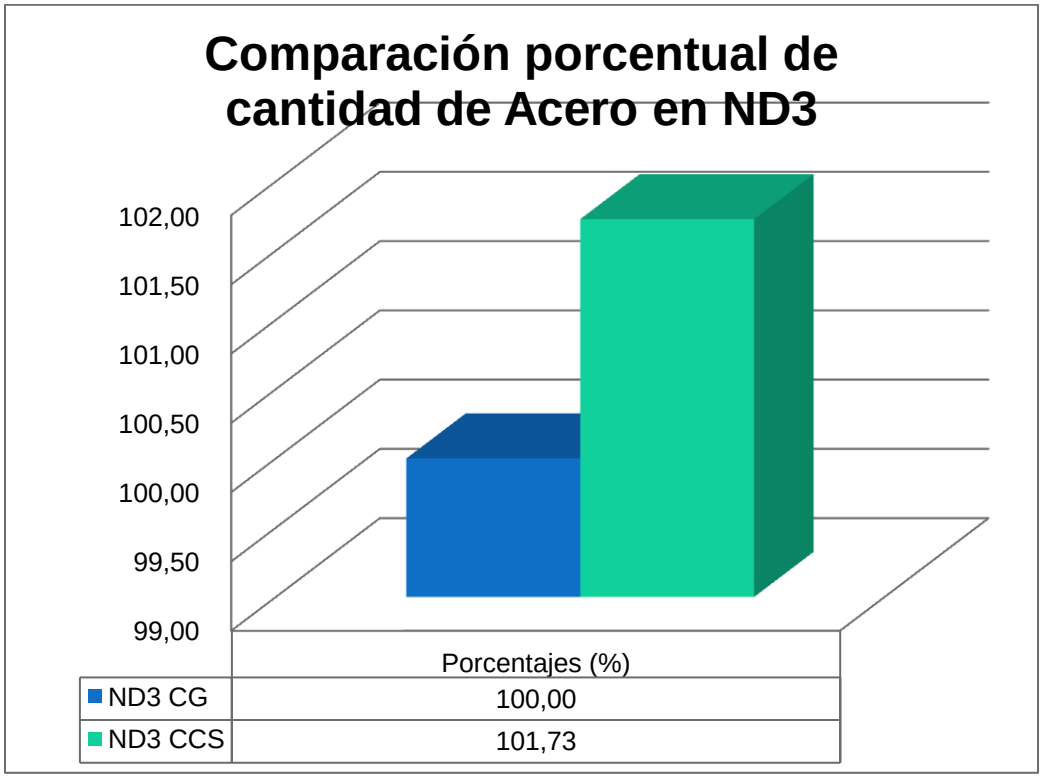
En el Gráfico 4.9 se observa la relación porcentual que existe entre el consumo de acero necesario para el ND2 de las ZONAS 3 y 5. La cantidad usada en la ZONA 5 es un 97% aproximadamente de la ZONA 3.

GRÁFICO 4.10 COMPARACIÓN PORCENTUAL DE CONCRETO EN ND2



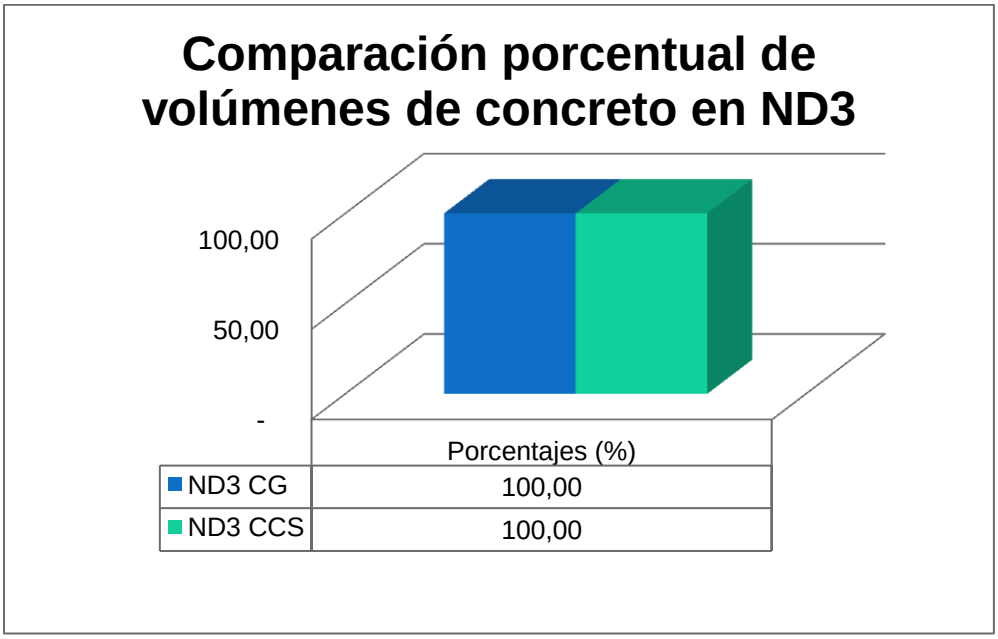
En el Gráfico 4.10 se obtuvo la relación porcentual existente entre las cantidades de concreto usadas en las ZONAS 3 y 5, ambas son iguales.

GRÁFICO 4.11 COMPARACIÓN PORCENTUAL DE ACERO ND3



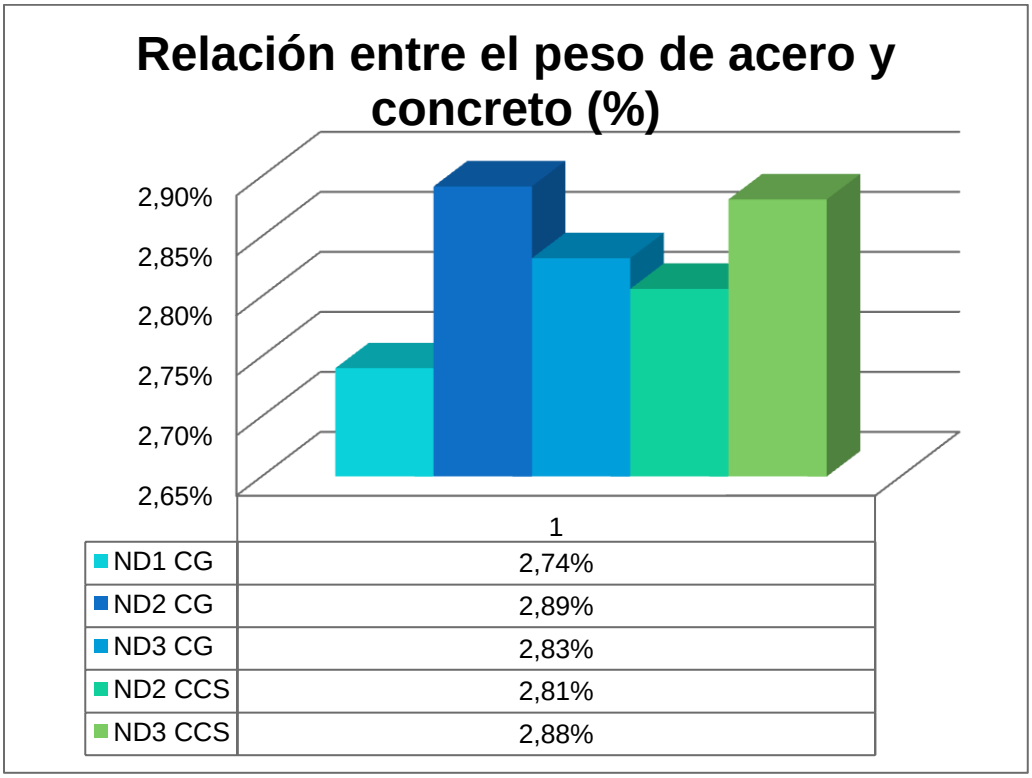
En el Gráfico 4.11 se muestra la comparación porcentual de acero que existe entre los niveles de diseño 3 de las ZONAS 3 y 5. En la ZONA 5 el porcentaje es mayor por un 1,73%.

GRÁFICO 4.12 COMPARACIÓN PORCENTUAL DE CONCRETO ND3



En el Gráfico 4.12 se observa la relación del concreto en las ZONAS 3 y 5 y de ND3, ambos porcentajes resultan ser iguales.

GRÁFICO 4.13 RELACIÓN PESO CONCRETO-ACERO (%)



En el Gráfico 4.13 se comparan las relaciones existentes entre el peso del acero y el peso del concreto total que se requiere en cada una de las edificaciones diferenciadas por las ZONAS (3 y 5) y por los niveles de diseño (ND1, ND2 y ND3). Se observa que los porcentajes son muy parecidos independientemente de la ZONA o del nivel de diseño, para la ZONA 3 los porcentajes son 2,74%, 2,89% y 2,83% en los niveles de diseño 1, 2 y 3 respectivamente, mientras que en la ZONA 5 los porcentajes fueron 2,81% y 2,88% para los niveles de diseño 2 y 3 respectivamente.

GRÁFICO 4.14 COMPARACIÓN DE CONCRETO EN ZONA 3

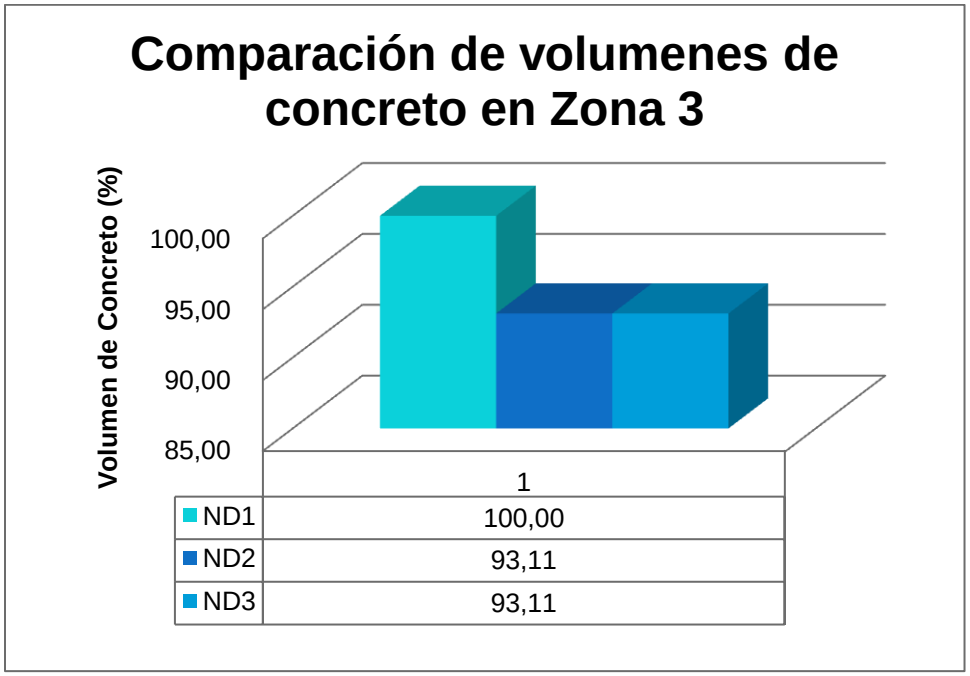


TABLA 4.1 RELACIÓN DE CONSUMO DE CONCRETO ZONA 3

	TOTAL (M3)	%
ND1	6.416,51	100,00
ND2	5.974,24	93,11
ND3	5.974,24	93,11

En el Gráfico 4.14 observamos que el porcentaje a usar de concreto en la ZONA 2 (Ciudad Guayana) comparándolo con su ND1 es igual en los niveles de diseño 2 y 3, pero a su vez son menores que en el ND1 que debe utilizar aproximadamente un 7% más de concreto que las otras estructuras.

GRÁFICO 4.15 COMPARACIÓN DE ACERO EN ZONA 3

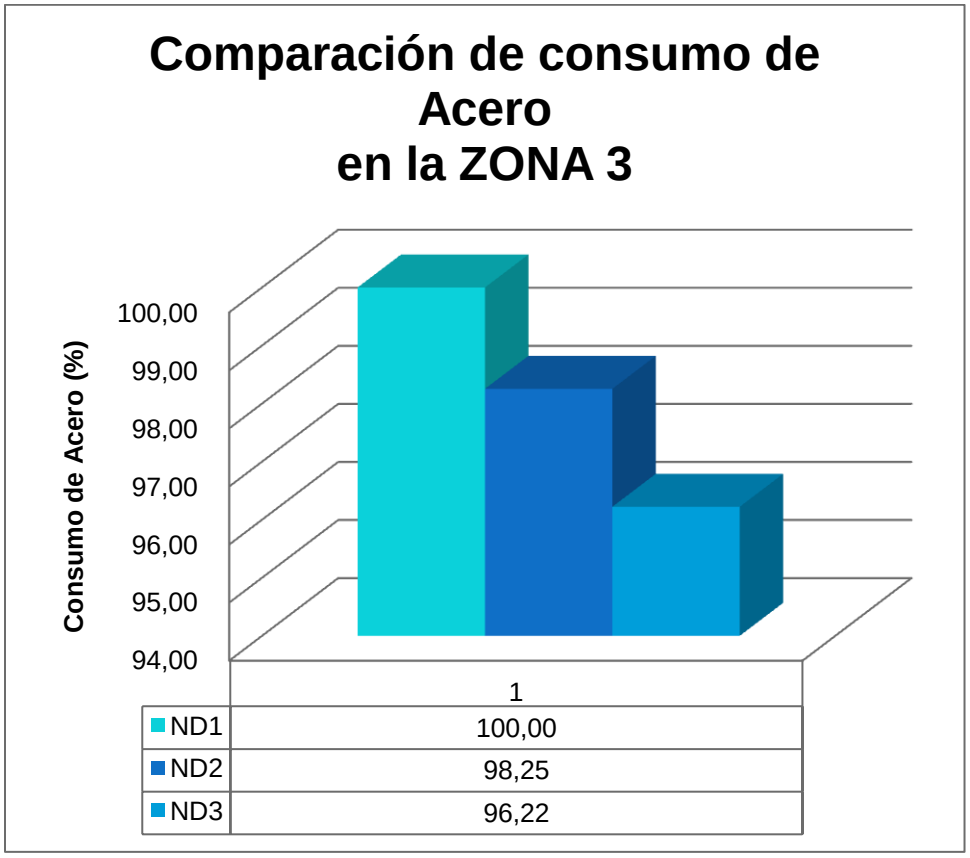


TABLA 4.2 RELACIÓN DE CONSUMO DE ACERO ZONA 3

	TOTAL (T)	%
ND1	391,14	100,00
ND2	384,32	98,25
ND3	376,37	96,22

Con los resultados obtenidos en la ZONA 3 (Ciudad Guayana) se puede observar mediante el Gráfico 4.15 que los consumos de acero porcentuales comparados con el del ND1 van disminuyendo a medida que aumenta el nivel de diseño, manteniéndose en un rango muy cercano entre ellos, con unas diferencias de un 2% aproximadamente.

GRÁFICO 4.16 COMPARACIÓN DE CONCRETO ZONA 5

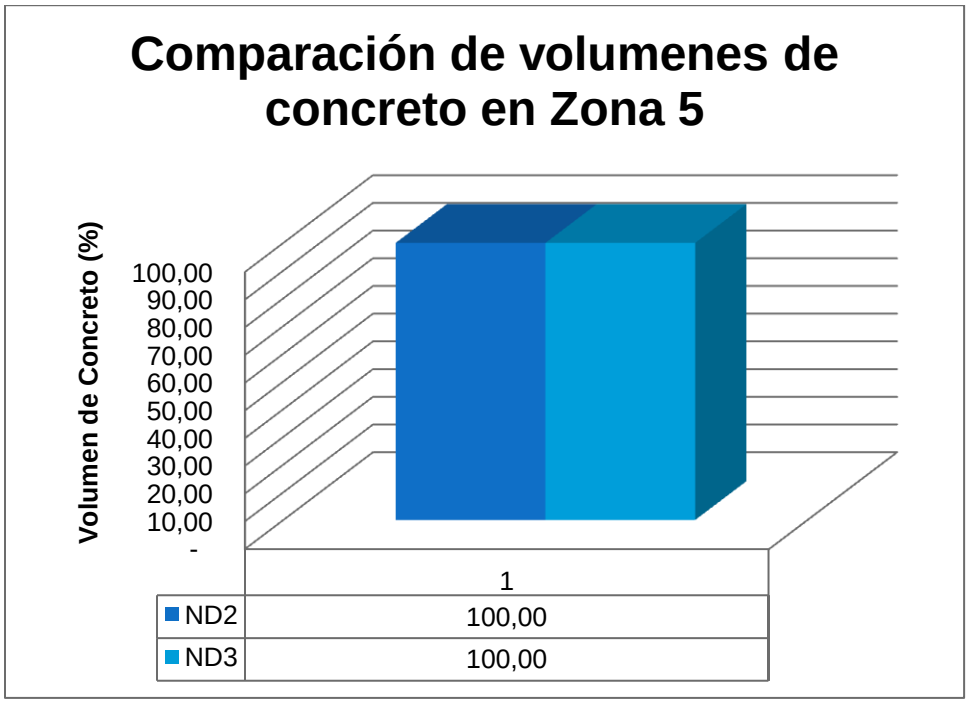


TABLA 4.3 RELACIÓN DE CONSUMO DE CONCRETO ZONA 5

	TOTAL (M3)	%
ND2	5.974,24	100,00
ND3	5.974,24	100,00

En el gráfico 4.16 se observan los volúmenes de concreto que se requieren para llevar a cabo la construcción de la edificación en la ZONA 5 (Caracas) dependiendo de su nivel de diseño. En ambos casos (ND1 y ND2) el volumen necesario es el mismo.

GRÁFICO 4.17 COMPARACIÓN ACERO EN ZONA 5

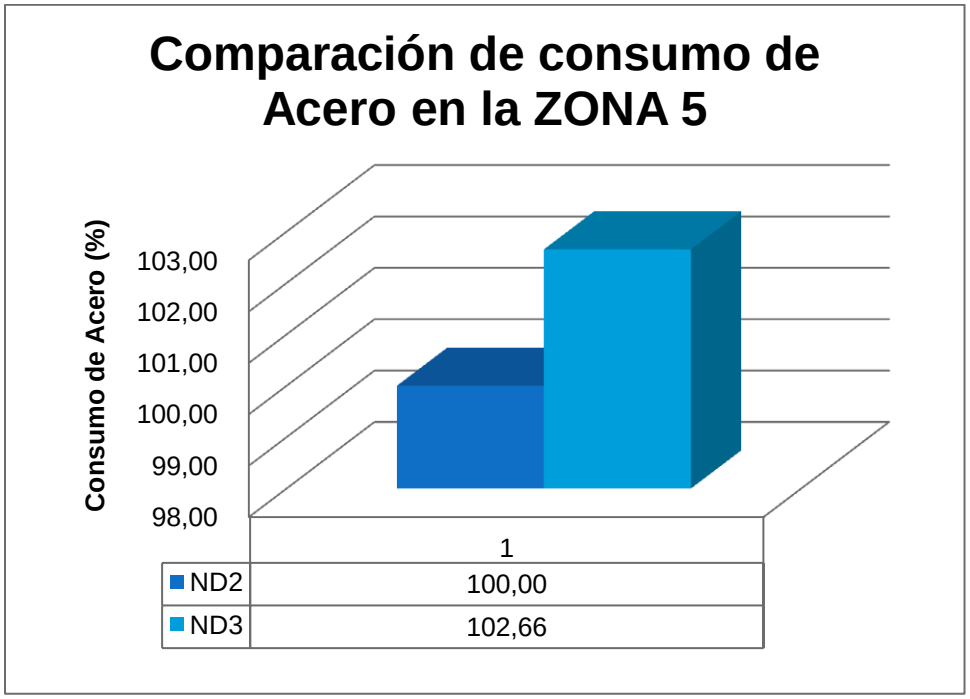


TABLA 4.4 RELACIÓN DE CONSUMO DE ACERO ZONA 5

	TOTAL (T)	%
ND2	402,81	100,00
ND3	413,50	102,66

El Gráfico 4.17 muestra de manera porcentual una comparación en el consumo de acero de los niveles de diseño 2 y 3 de la ZONA 5. El ND2 consume un 100% del acero ya que está siendo comparado con sí mismo, mientras que el ND3 consume un 102,66% en comparación con el ND2.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La condición más importante que limita el diseño de esta estructura es el primer período de vibración, ya que esto nos da un indicio de la rigidez que posee la misma.
- No se pueden optimizar dimensiones debido a la disminución del período de vibración que esto produce.
- El ND1 de la Zona 3 consume mayor cantidad de concreto que el resto debido a la acción del espectro sísmico.
- Las estructuras de menor nivel pueden ser optimizadas a mayor escala y esto se reduce en una disminución de consumo de material.
- No es viable construir este tipo de estructura aporticada tan alta, ya que se vuelve inestable y se pierde mucha rigidez.

5.2 Recomendaciones

- Una vez estudiados y analizados todos los casos anteriores y observando los resultados se pueden realizar una serie de recomendaciones que se encuentran a continuación:
- Utilizar Estructuras Mixtas, Tipo 2 que consiste en muros-pantalla y pórticos, debido a que los muros generan rigidez extra consumiendo una cantidad menor de concreto.
- A pesar de que muchas veces no elegimos el lugar donde debemos construir, lo ideal sería hacer en la ciudad de Caracas y con un ND3, ya que es donde las cantidades de concreto y acero son menores y reduciría los costos de la construcción.
- Al comparar nuestros resultados con los del antecedente los resultados varían considerablemente. Po lo que recomendamos realizar un estudio profundo en estructuras de entre 8 y 12 niveles aporticadas y así observar el comportamiento en alturas intermedias y quizás hasta se podría definir exactamente hasta que altura es recomendable utilizar estructuras Tipo I (Aporticadas) y empezar a usar estructuras Tipo II (Sistemas mixtos Porticos-Pantallas), ya que, en el caso estudiado en este trabajo no es recomendable por cuestiones de ahorro de material que luego se transforma en costo construir sistemas Tipo I para tanta altura, se recomendaría en este caso utilizar una estructura Tipo II.

REFEREANCIAS BIBLIOGRÁFÍCAS

(1) Norma venezolana (2001). COVENIN 1756-1:2001. *Edificaciones Sismorresistentes Parte 1: Articulado*. Caracas. FONDONORMA.

(2) Norma venezolana (2001). COVENIN 1756-2:2001*. Edificaciones Sismorresistentes Parte 2: Comentarios.* Caracas. FONDONORMA.

(3) Norma venezolana (2006). COVENIN 1753:2006*. Proyecto y construcción de obras de concreto estructural*. Caracas. FONDONORMA.

(4) Norma venezolana (1998). COVENIN 2004:1998*.Terminalogía de las normas Covenin-Mindur de edificaciones*. Caracas. FONDONORMA.

(5) Computers & Structures Inc. (2007). *Concrete Frame Design Manual. ACI 318-05/IBC 2006.* Berkeley-California

(6) Velázquez, José Manuel (1985). *Estructural*, Universidad Católica Andrés Bello. Caracas. Venezuela

(7) Barbart, Alex H (1982). *Cálculos sísmicos de las estructuras,* Editores técnicos asociados, s.a. Barcelona, España.

(8) González Cuevas, Oscar Manuel (2003). *Análisis Estructura.,* Universidad Autónoma Metropolitana, Limusa. México.

(9) Barbart, Alex- Bozzo, Luis M. (Reimpresión: julio de 2004). *Diseño Sismorresistentes de Edificios,* Reverté, S.A.

(10) Fratelli, María Graciela. *Estructuras Sismo-Resistentes,* Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela

(11) Fratelli, María Graciela. *Edificios Altos,* Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela

(12) Clough, Ray W.- Penzien, Joseph (1995). *Dynamics of Structures,* Computers & Structures, Inc. Berkeley- California. Usa.

(13) García Reyes, Luis Enrique (1998). *Dinámica Estructural aplicada al diseño sísmico,* Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

(14) Paz, Mario (1992). *Dinámica Estructural: Teoría y Cálculo,* Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España.

(15) Aguiar Falconi, Roberto (2005). *Dinámica de Estructuras con MATLAB,* Centro de Investigación Científicas, Escuela Superior Politécnica del Ejército. Quito, Ecuador.

(16) Chopra, Anil K (1995). *Dynamics of Structures*, Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.

ANEXOS

A continuación se presenta una lista de especificación de los archivos y su contenido, incluidos en el CD:

(1) Datos espectros sísmicos: datos obtenidos por el programa SCE SPECTRUM FREE y utilizados para la creación de los Gráficos 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5.

(2) Modelo Caracas: se encuentran los dos modelos creados en el programa de análisis estructural ETABS y que se utilizaron para obtener los resultados.

(3) Modelo Ciudad Guayana: se encuentran los dos modelos creados en el programa de análisis estructural ETABS y que se utilizaron para obtener los resultados.

(4) Vistas Estructura: imágenes obtenidas del programa ETABS de las distintas vistas de la estructura.

(5) Cálculos y resultados: en la carpeta resultados datos del programa se encuentran las tablas de datos sobre vigas y columnas arrojados por el programa ETABS y modificados para obtener los cálculos, tal como se explica en los puntos 3.5.1 y 3.5.2. También se encuentra las tablas resultados total y gráficos de análisis, donde se muestran las cantidades totales de acero y concreto de manera detallada por ND y Zona Sísmica, además los gráficos realizados con estos datos utilizados en el Capítulo 4.