

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL EN CONCRETO
REFORZADO, EN LOS PROYECTOS QUE ADELANTA LA EMPRESA ALEXIS
VEGA INGENIEROS CON LA NORMA NSR-10

RICHARD YASER HEREDIA MONTES



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2012

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL EN CONCRETO
REFORZADO, EN LOS PROYECTOS QUE ADELANTA LA EMPRESA ALEXIS
VEGA INGENIEROS CON LA NORMA NSR-10

RICHARD YASER HEREDIA MONTES

Trabajo de grado en la modalidad de Practica Empresarial

Hernán Agredo Acevedo

Ingeniero civil especialista en estructuras

Docente de la Universidad Industrial de Santander

Rafael Antonio Correa Melano

Ingeniero Civil de la Universidad Industrial de Santander

Tutor

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2012

DEDICATORIA

*Al artífice de la vida, DIOS, el cual su aliento nos da vida cada día para que
riamos, amemos, soñemos y alcancemos todos los sueños que podamos
tener.*

*A mi padre, RICAURTE HEREDIA AMAYA, por sus concejos y enseñanzas
los cuales han forjado al hombre que soy hoy en día.*

*A mi madre, ROSALBA MONTES PORTILLO, mujer valiente y decidida que
siempre ha visto los desafíos más difíciles como pequeñas piedras que se
pueden superar.*

*A mi abuela, ROSALBA PORTILLO LOPEZ, mujer sabia, que ora por mí
ante Dios todos los días para que los deseos de mi corazón se cumplan
conforme a la voluntad de él.*

*A mi novia PAULA MARTINEZ, mi hermana JENNIFER HEREDIA, demás
familiares y amigos los cuales han sido apoyo en momentos difíciles, con los
que he compartido mi vida, mis sueños y mis esperanzas, con los que he reído
y llorado y he aprendido el valor de la vida y el sudor de alcanzar las metas.*

RICHARD YASER HEREDIA MONTES

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	20
JUSTIFICACIÓN	22
OBJETIVOS	24
1. ALEXIS VEGA INGENIEROS	25
1.1 Reseña Histórica.....	25
1.2 Trayectoria y experiencia.....	25
1.3 Misión.....	26
1.4 Visión	26
1.5 Política de la Calidad	27
1.6 Una empresa con calidad	27
1.7 Alcance del Sistema de Gestión de la Calidad	27
2. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES EN LA EMPRESA ALEXIS VEGA INGENIEROS	28
2.1 Reconocimiento y capacitación en la empresa.....	28
2.2 Recopilación de la información del proyecto ejecutado	28
3. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO.....	32
3.1 Presentación del proyecto arquitectónico	33
3.2 Presentación del estudio de suelos	34
3.3 Definición estructural.....	35
3.3.1 Sistema estructural	35
3.3.2 Tipos de fuerzas	37
3.3.3 Combinaciones	38
3.4 Enfoque.....	38
4. CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE).....	40
4.1 Cálculo del periodo aproximado.....	40
4.2 Altura de la placa	41
4.3 Peso del edificio.....	42

4.3.1	Calculo manual	42
4.3.1.1	<i>Peso Muerto del aligeramiento y tortas de la losa</i>	43
4.3.1.2	<i>Cargas sobre-impuestas a la placa</i>	43
4.3.1.3	<i>Carga de fluidos con densidad definidas [F]</i>	45
4.3.1.4	<i>Cargas por zonas</i>	45
4.3.2	Calculo del peso propio de los elementos de la edificación	46
4.3.2.1	<i>Viguetas, Vigas, Columnas y Muros</i>	46
4.3.2.2	<i>Metodología</i>	46
4.3.2.3	<i>Observaciones</i>	46
4.3.3	Calculo de fuerzas sobre-impuesta	47
4.3.3.1	<i>Calculo manual de las Reacciones de la rampa sobre los apoyos</i>	48
4.3.3.2	<i>Asignación de las cargas al modelo sap2000</i>	49
4.3.4	Tabla de resultados	50
4.4	Cálculo de las fuerzas arbitrarias.....	53
4.5	Estructuración de la arquitectura	53
4.5.1	Elementos verticales.....	54
4.5.2	Elementos horizontales.....	55
4.5.3	Nomenclatura de los elementos estructurales.....	58
4.6	Modelamiento de la estructura.....	60
4.6.1	Materiales	60
4.6.2	Barras	62
4.6.3	Área	63
4.6.4	Casos de cargas	67
4.6.5	Análisis de casos de cargas	68
4.6.6	Combinaciones	70
4.6.7	Dibujo del modelo en Sap2000.....	71
4.6.8	Cargas “DEAD” Y “F” sobre el modelo	72
4.6.9	Origen de masas.....	73
4.6.10	Ubicación del centro de masa (C.M).....	75
4.6.11	Asignación de las fuerzas arbitrarias.....	75
4.6.12	Asignación del diafragma rígido.....	76
4.7	Desplazamientos debido a las fuerzas arbitrarias	77
4.8	Periodo fundamental de diseño	78

4.9	Cálculo de las fuerzas sísmicas horizontales equivalentes	80
4.9.1	Valor de aceleración S_a	82
4.9.2	Distribución del cortante sísmico de la base.....	82
4.10	Efectos ortogonales	83
4.11	Ubicación del centro de rigidez (C.R)	85
5.	ANÁLISIS DE DERIVAS	86
5.1	Desplazamiento horizontal en el centro de masa	86
5.2	Desplazamiento horizontal causado por efectos torsionales	86
5.2.1	Reducción de sistema de fuerzas a una fuerza y un par.....	87
5.2.2	Irregularidad torsional y asignación de las fuerzas sísmicas.....	88
5.3	Desplazamiento horizontal causados por efectos p-delta.....	92
5.3.1	Cálculo de las cargas vivas	92
5.3.2	Cálculo del índice de estabilidad Q_i y asignación de las cargas vivas	94
5.4	Desplazamientos horizontales totales.....	96
5.5	Deriva máxima	96
6.	ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO CON EL PROGRAMA SAP2000	99
6.1	Metodología 1: Asignar cargas y el centro de aplicación de las fuerzas.	99
6.2	Metodología 2: Asignar cargas sin el centro de aplicación de las fuerza	103
6.2.1	Análisis de los datos del auto sismo con “user load”	104
6.3	Metodología 3: Asignar coeficientes	108
6.3.1	Análisis de los datos del auto sismo con “user coefficient”	109
6.4	Porcentaje de error entre los diferentes métodos	113
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA	118
	ANEXOS	119

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Formato de Revisión, Verificación y Validación.....	29
Tabla 2. Peso de la edificación	52
Tabla 3. Calculo de fuerzas arbitrarias	54
Tabla 4. Ubicación del centro de masa por nivel	75
Tabla 5. Desplazamientos Fsx_arb	77
Tabla 6. Desplazamientos Fsy_arb	78
Tabla 7. Periodo Fundamental en dirección x	79
Tabla 8. Periodo fundamental en dirección y.....	80
Tabla 9. Distribución de las fuerzas sísmicas en las direcciones de diseño	84
Tabla 10. Momentos producidos por el desplazamiento de las fuerzas sísmicas	89
Tabla 11. Deriva de la Columna A-1 y muro A-5	90
Tabla 12. Irregularidad Torsional	91
Tabla 13. Cálculo del índice de estabilidad Q_i eje x.....	95
Tabla 14. Cálculo del índice de estabilidad Q_i eje y.....	96
Tabla 15. Derivas en la dirección X	97
Tabla 16. Derivas en la dirección Y	98
Tabla 17. Derivas asignando las fuerzas sísmicas y el punto de aplicación	102
Tabla 18. Porcentaje de error de la magnitud del Momento torsor con método “user Load”	106
Tabla 19. Comparación del centro de masa automático y el real	106
Tabla 20. Derivas asignando las fuerzas sísmicas y Calculo Automático del C.M.....	107
Tabla 21. Porcentaje de error de las fuerzas horizontales de diseño con el método “User coefficient”	111
Tabla 22. Porcentaje de error de la magnitud del Momento torsor con método “user coefficient”	111
Tabla 23. Derivas asignando coeficientes	112
Tabla 24. Porcentaje de error de las diferentes metodologías de análisis sísmico para la dirección X	113
Tabla 25. Porcentaje de error de las diferentes metodologías de análisis sísmico para la dirección Y	114

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Fig. 1.	Trayectoria y Experiencia. – Diseño estructural	25
Fig. 2.	Trayectoria y Experiencia. – Vulnerabilidad y rehabilitación.....	26
Fig. 3.	sótano 2; N-5.60	32
Fig. 4.	Parqueadero N+0.60	32
Fig. 5.	Piso Tipo	33
Fig. 6.	Isometría del edificio	34
Fig. 7.	Sistema estructural de resistencia sísmica.....	36
Fig. 8.	Valor de los parámetros para el cálculo del periodo aproximado T_a	41
Fig. 9.	Corte A-A	42
Fig. 10.	Longitud para espesor de placa.....	42
Fig. 11.	Alturas y espesores mínimos de vigas no pre esforzadas.....	42
Fig. 12.	Esquema de losa nervada	43
Fig. 13.	Valores mínimos alternativos de carga muerta.....	44
Fig. 14.	2 ^{do} piso pent-House y Zona social N+42.60	44
Fig. 15.	Distribución de masas.....	47
Fig. 16.	Vista de rampa - a)N-5.60; b) N-2.80.....	48
Fig. 17.	Sección Transversal de la Rampa Vehicular	49
Fig. 18.	Reaccion de rampa.....	50
Fig. 19.	Calculo de áreas por medio de AutoCAD	51
Fig. 20.	Elementos verticales.....	55
Fig. 21.	Idealización del muro de contención.....	56
Fig. 22.	Planta estructura. a) Izquierda N-2.80; b) Derecha N+0.60.....	57
Fig. 23.	Panta estructural. a) Izquierda N+3.40; b) Derecha Nivel Piso Tipo	58
Fig. 24.	Definición de materiales – a) Define materials; b) Material property Data.....	61
Fig. 25.	Definicion del elemento – a) Frame Properties; b) Rectangular Section; c) Reinforment Data.....	62
Fig. 26.	Definición de áreas – a) Area Sections; b) Shell Section Data.....	64
Fig. 27.	Elemento área (losa en el plano X-Y).....	65
Fig. 28.	Grados de libertad en elemento área de tipo “Plate”	65
Fig. 29.	Grados de libertad en elemento área de tipo “membrane”	65

Fig. 30.	Deformación de un elemento área de tipo “Plate”	65
Fig. 31.	Deformación de un elemento área de tipo “membrane”	65
Fig. 32.	Formation of Flat Shell Element.....	67
Fig. 33.	Casos de Carga – Define Load patterns.....	69
Fig. 34.	Analisis de Casos –a) Define Load Cases; b) Analysis Cases Data	69
Fig. 35.	Definición de combinaciones de carga	71
Fig. 36.	Importación de datos	72
Fig. 37.	Definición de elementos importados.....	72
Fig. 38.	Modelo en sap2000	74
Fig. 39.	Origen de Masa	75
Fig. 40.	Asignación de fuerzas arbitrarias N+39.00.....	76
Fig. 41.	Asignación de Diafragma – a) Assign/Define Constrain; b) Diaphragm Constrain.....	77
Fig. 42.	Resultado de desplazamientos por las fuerzas arbitrarias	78
Fig. 43.	Coefficientes de amplificación Fa y Fv	81
Fig. 44.	Espectro elástico de Aceleraciones de Diseño.....	82
Fig. 45.	Ubicación del C.R con respecto al C.M en el piso Tipo.....	85
Fig. 46.	Torsión accidental.....	87
Fig. 47.	Dimensión del Piso Tipo	88
Fig. 48.	Irregularidad Torsional	89
Fig. 49.	Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas	93
Fig. 50.	Ocupación de uso Piso Tipo	94
Fig. 51.	Definición caso de carga Fsx y Fsy para “User Load”	100
Fig. 52.	Asignación de las fuerzas sísmicas y el punto de aplicación	101
Fig. 53.	Combinación SRSS (Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados)	101
Fig. 54.	Asignación de las fuerzas sísmicas, Calculo automático del C.M.....	103
Fig. 55.	Ubicación del C.M y calculo automatico del momento torsor para los casos de carga “Fsx” y “Fsy” con la metodología “User Load”	105
Fig. 56.	Definición de casos de carga “Fsx” y “Fsy” para “User coefficient”	109
Fig. 57.	Asignación de los coeficientes para el análisis sísmico.....	109
Fig. 58.	cálculo de las fuerza sísmicas para “Fsx” y “Fsy” con “User Coefficient”	110

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Planos estructurales	119
Anexo B. Conclusiones y recomendaciones del geotecnista	127
Anexo C. Porcentaje de error del cálculo del peso propio de sap2000 con respecto al manual	130
Anexo D. Porcentaje de error de derivas de modelo con viguetas con respecto a modelo sin viguetas.	137
Anexo E. Planos estructurales	146
Anexo F. Calculo del centro de masa	155
Anexo G. Ubicación relativa del centro de rigidez	169
Anexo H. Efecto ortogonal y máximo desplazamientos debido a este efecto	175
Anexo I. Mejoramiento de los formatos de la empresa alexis vega ingenieros	192
Anexo J. Calculo de las cargas muertas sobre impuestas en la placa	202

LISTA DE SÍMBOLOS

2. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES EN LA EMPRESA ALEXIS VEGA INGENIEROS

<i>Act</i>	Actividad
<i>RE</i>	Revision
<i>VE</i>	Verificación
<i>VA</i>	Validación
<i>A</i>	Compromiso aceptado
<i>C</i>	Compromiso cumplido

3. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

<i>D</i>	Carga muerta
<i>E</i>	Fuerzas sísmicas reducidas
<i>F</i>	Carga por densidad de fluido definido
<i>F_s</i>	Fuerzas sísmicas
<i>G</i>	Carga debido al granizo
<i>H</i>	Empuje lateral del suelo
<i>L</i>	Carga viva
<i>L_e</i>	Empozamiento de agua
<i>L_r</i>	Carga viva sobre la cubierta
<i>Q_a</i>	Capacidad admisible o capacidad portante del suelo
<i>S_a</i>	Máxima Aceleración de diseño
<i>T</i>	Esfuerzo por cambio de temperatura
<i>W</i>	Carga del viento

4. CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS

γ_c	Densidad del concreto
δ_i	Desplazamiento horizontal del nivel <i>i</i> con respecto a la base de la estructura, debido a las fuerzas horizontales <i>f_i</i> .
δ_{ix}	Desplazamiento en la dirección X del piso <i>i</i>

δ_{iy}	Desplazamiento en la dirección Y del piso i
A	Área transversal, Ec. 5
A_v, A_a	Valores definidos según la zona de amenaza sísmica
A_r	Área transversal reducida, Ec. 5
C_{vx}	Coefficiente de distribución de las fuerzas sísmicas
E	Módulo de elasticidad, Ec. 5
e	Espesor de losa maciza
f_i	Fuerzas sísmicas horizontales en i.
F_v, F_a	Coefficientes de amplificación del suelo para zonas de periodos intermedios y cortos del espectro, respectivamente.
g	Gravedad 9.81m/s^2
G	Modulo de elasticidad a cortadura, Ec. 5
h	Altura de la edificación medida desde la base hasta el nivel más alto de la edificación
h_x, h_i	Altura en metros, medida desde la base del nivel x o i
I	Momento de Inercia, Ec. 5
I	Coefficiente de importancia
J	Momento polar de inercia, Ec. 5
l	Longitud libre de la viga o longitud entre la cara de los apoyos
m_x, m_i	Parte de la masa que está colocada en el nivel x o i respectivamente
m, M	Momento producido por la carga virtual y real respectivamente, Ec. 5
M	Masa de total de la edificación
n, N	Fuerza axial producida por la carga virtual y real respectivamente, Ec. 5
S_a	Valor de aceleración
T	Periodo de la edificación
t, T	Torsión producido por la carga virtual y real respectivamente, Ec. 5
T_a	Periodo aproximado de la edificación

v, V	Fuerza cortante producida por la carga virtual y real respectivamente, Ec. 5
V_s	Cortante sísmico en la base ó cortante basal
W	Peso de la edificación
w_x, w_i	Parte del peso que está colocado en el nivel x o i respectivamente

5. ANÁLISIS DE DERIVAS

Δ_{cm}	Deriva del piso i, en la dirección bajo estudio, medida en el centro de masa del piso, como la diferencia entre los desplazamientos horizontales del piso i menos el del piso i-1 en la misma dirección.
$\delta_{cm,j}$	Desplazamiento horizontal en el centro de masa
$\delta_{t,j}$	Desplazamiento horizontal causado por efecto torsionales
$\delta_{tot,j}$	Desplazamientos horizontales totales
$\delta_{pd,j}$	Desplazamiento horizontal causado por efectos P-Delta
A_x	Coefficiente amplificador de la torsión accidental
h_{pi}	Altura del piso i, medida des la superficie del diafragma del piso i hasta la superficie del diafragma del piso inmediatamente inferior i-1
P_i	Suma de las carga vertical total, incluyendo muerta y viva, que existe en el piso i, y todos los pisos localizados por encima. Para el cálculo de los efectos P-Delta, no hay necesidad que las cargas sean mayorados.
Q_i	Índice de estabilidad
V_i	Fuerza cortante del piso i, en la dirección bajo estudio, sin dividir por R. se determina por la ecuación A.4.3 de la norma ó capítulo 4.9 del presente libro. Corresponde a la suma de las fuerzas horizontales sísmicas que se aplican al nivel i, y todos los niveles localizados por encima de él.

6. ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO CON EL PROGRAMA SAP2000

V_t	Valor teórico
V_e	Valor experimental

GLOSARIO

BASE: En una edificación con sótanos, es la losa donde mueren los muros de contención, esto debido a que esta losa y las inferiores no pueden desplazarse lateralmente.

CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO: Es la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él, técnicamente es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo

CENTRO DE CORTANTE O DE TORSION: El centro de cortante o centro de corte, es el punto de equilibrio de las fuerzas que actúan en la estructura. Se basa en el principio de sumatoria de momentos con respecto a un punto arbitrario, donde las fuerzas actuantes corresponden a la rigidez del entrepiso calculada para cada uno de los pórticos. A continuación se muestra la ecuación para el cálculo del centro de corte: $X_{cc} = \frac{\sum R_{yi} * X_i}{RT_y}$ y

$X_{cc} = \frac{\sum R_{xi} * Y_i}{RT_x}$; Donde R_{yi} y R_{xi} son las fuerzas actuantes en la dirección X o Y para cada uno de los pórticos, X_i o Y_i es la distancia desde el punto de origen a el eje de aplicación de las fuerzas; RT_y o RT_x es la sumatoria de las fuerzas actuantes en la dirección X o Y

CENTRO DE GRAVEDAD: Es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre las distintas masas materiales de un cuerpo. En otras palabras, el centro de gravedad de un cuerpo es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas que la gravedad ejerce sobre los diferentes puntos materiales que constituyen el cuerpo

CENTRO DE MASA: Es el punto donde puede considerarse que está concentrada toda la masa de un cuerpo.

CENTRO DE RIGIDEZ: Es el punto donde se pueden considerar concentradas la rigidez de un piso, por ende es el punto donde al aplicar las fuerzas horizontales, la estructura solamente se desplaza y no rota. En estructura de dos o más piso, es el punto donde al aplicarse las fuerzas sísmicas el nivel no rota con respecto al anterior.

CENTRO GEOMÉTRICO: Es un punto que define que se encuentra en el medio de una figura geométrica.

CENTRO DE GIRO: El centro de giro de una estructura es el punto donde al aplicar las fuerzas sísmicas, solo existe rotación y no desplazamiento. Se puede calcular a través de las siguientes ecuaciones: $e_x = -\frac{q_y}{q_\theta}$ y $e_y = \frac{q_x}{q_\theta}$. Donde q_x y q_y son los desplazamientos de un piso en sentido X y Y; y q_θ es el giro del mismo piso ante la acción del sismo

CIMENTACIÓN: Es el conjunto de elementos de cualquier edificación cuya misión consiste en transmitir al terreno las cargas procedentes de la estructura

COLUMNA: Es un elemento axial sometido a compresión, lo bastante delgado respecto su longitud.

COPLANAR: Puntos o líneas que se encuentran en el mismo plano

DERIVAS: es el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación

MURO DE CONTENCIÓN: Los muros de contención tienen como finalidad resistir las presiones laterales ó empuje producido por el material retenido detrás de ellos.

NIVEL: Altura de la parte superior de la placa tomando como origen la vía o carretera

NIVEL FREÁTICO: Corresponde al lugar en el que se encuentra el agua subterránea. En este nivel la presión de agua del acuífero es igual a la presión atmosférica.

RAMPA: es una superficie plana que forma un ángulo agudo con la horizontal, la cual es utilizada para conectar dos niveles.

VIGA DE CIMENTACIÓN: Elemento estructural que se emplea con el fin de integrar las diferentes cimientos para de este modo evitar asentamientos diferenciales entre ellos.

VIGAS: Es un viga a un elemento constructivo lineal que trabaja principalmente a flexión. En las vigas, la longitud predomina sobre las otras dos dimensiones y suele ser horizontal.

VIGUETAS: Elemento fabricado longitudinal, diseñado para soportar cargas producidas en forjados de pisos o cubiertas.

RESUMEN

TITULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL EN CONCRETO REFORZADO, EN LOS PROYECTOS QUE ADELANTA LA EMPRESA ALEXIS VEGA INGENIEROS CON LA NORMA NSR-10*

AUTOR: Richard Yaser Heredia Montes**

PALABRAS CLAVES: Análisis sísmicos, Sap2000, Fuerza horizontal equivalente

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:

ALEXIS VEGA INGENIEROS fue fundada en Bucaramanga por el Ingeniero Alexis Vega Arguello, desde su inicio se ha consolidado como una empresa presente en el diseño y asesoría estructural de un sinnúmero de proyectos destacados a nivel local y nacional, especializándose en desarrollar proyectos urbanísticos, diseño de estructuras, estudios de vulnerabilidad y rehabilitación de edificios.

Por ello, el objetivo de este libro es aprovechar el conocimiento de esta empresa para mostrar el análisis sísmico y las diferentes formas de hacer esto a través del Sap2000, es decir, lo que se muestra en su cuerpo y anexos son alternativas metodológicas para que el procedimiento del cálculo de las fuerzas sísmicas a través de Sap2000 sea más veloz y seguro, utilizando, todos los instrumentos que el programa ofrece para esto. Para esto el libro se basa en la norma colombiana de diseño y construcción sismo resistente NSR-10, lo cual permite que el análisis cumpla las últimas exigencias para el diseño de estructuras.

Además de lo anterior, en los anexos es posible encontrar diferentes procedimientos para el cálculo del centro de masa, cálculo de centro de rigidez con base al centro de masa y cálculo de las cargas muertas en los entresijos y cubierta, ya sea utilizando métodos manuales o asistidos por computadoras

* *Trabajo de grado*

* *Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernan Agredo Acevedo; Tutor: Rafael Antonio Correa Melano*

ABSTRACT

TITLE: BUSINESS PRACTICE ABOUT THE STRUCTURAL DESIGN IN REINFORCED CONCRETE, IN THE PROJECTS DEVELOPED AT COMPANY ALEXIS VEGA INGENIEROS COMPANY BASED ON THE RULE NSR-10.*

AUTHOR: Richard Yaser Heredia Montes**

KEYWORDS: Seismic Analysis, Sap2000, equivalent force method

PROJECT DESCRIPTION:

ALEXIS VEGA INGENIEROS was founded in Bucaramanga by the engineer Alexis Vega, since its foundation, this company has been recognized for its presence on the design and structural advice area on several projects, locally and nationally, getting specialize in urbanization project develop, structural design, vulnerability and restoration.

Thus, the objective of this book is to use company knowledge for show the seismic analysis and the different ways of to do this through Sap2000. Ergo, this book focused on different alternatives to improve the procedure for calculate as the seismic force through the sap2000, for sure, we will use all tool the sap2000 on this. For all this the book is based in the rule Colombian of design and construction earthquake resistant NSR-10, which allows that the analysis satisfy the last requirements for the structural design.

Besides the above, in the attached are possible find different methods for calculating the center of mass, calculating the center of rigidity with base the center of mass and calculating of dead loads on floors and roof, either using methods manuals or computer-assisted.

* *Work Degree*

** *Faculty of Engineering physic mechanical. School of Civil Engineering. Director: Hernan Agredo Acevedo. Tutor: Rafael Antonio Correa Melano*

INTRODUCCIÓN

Sap2000 es uno de los programas de análisis y diseño más utilizados en el territorio colombiano debido a su facilidad, versatilidad y precisión. A través de este software es posible hacer todos los análisis de carga mencionados en la norma colombiana sismo resistente (NSR-10), como el análisis sísmico, de viento, de granizo, debido a cargas muertas, vivas, y demás, ya sea que las cargas tengan un comportamiento estático o dinámico.

Esta capacidad del programa Sap2000 no es de cuestionar, pero si la capacidad del ingeniero estructural en transformar el software en una herramienta eficiente, dicho de otro modo, que el calculista utilice la magnitud de ayuda del programa para que el diseño y análisis de una estructura sea más rápido y sencillo.

Debido a que este libro se centra en el análisis sísmico, lo que se muestra en su cuerpo y anexos son formas y alternativas para que el procedimiento del cálculo de las fuerzas sísmicas a través de Sap2000 sea más veloz y seguro, utilizando claro está, todos los instrumentos de ayuda que presenta el software para esto.

Teniendo en cuenta lo anterior y hablando más concretamente, en este libro se encuentra la manera de calcular la masa y el centro de masa de los entresijos de una edificación a través del programa mencionado, estos procedimientos son comprobados con los métodos utilizados convencionalmente para dar fe en los resultados arrojados por el software; adicionalmente se muestra como hallar el centro de rigidez tomando como referencia el centro de masa.

Por otra parte, para dar claridad, secuencia y amplitud al análisis sísmico a través de Sap2000, el cuerpo del libro inicia presentando un proyecto arquitectónico (capítulo 3), con el cual, más adelante se profundiza en temas, como: la ubicación de los elementos estructurales, el nombramiento y modelamiento de ellos en sap2000, para de este modo poder llegar al cálculo de las fuerzas sísmicas (capítulo 4).

Para este proyecto, el análisis de las derivas (Capítulo 5) se realiza con base a la aplicación de las fuerzas sísmicas, teniendo en cuenta todas las consideraciones mencionadas por la norma NSR-10, las cuales son aplicadas con la ayuda de Sap2000, si

cabe lugar, para que de esta manera el ingeniero o el estudiante pueda de paso profundizar y comprender la norma en su forma práctica.

Es importante aclarar que con mucha frecuencia se menciona Sap2000, dado que es el programa con el que se basa este libro, además en algunos temas se hace referencia al programa AutoCAD debido a que este programa es utilizado para el dibujo de los planos constructivos, por ende, a lo referente a Sap2000 y AutoCAD el lector debe tener conocimientos básicos para que de esta manera pueda entender y alcanzar los objetivos del libro.

Para terminar, en el capítulo 6 se presenta como aporte las diferentes alternativas metodológicas para el análisis sísmico con el programa Sap2000, es decir, se muestra métodos más sencillos y seguros para hacer análisis sísmico. Cabe resaltar que estos métodos son comprobados con el método convencional para demostrar las virtudes y falencias encontradas en el programa Sap2000.

JUSTIFICACIÓN

En el último siglo se han desarrollado grandes investigaciones en las diversas ramas de la ingeniería civil, como el de diseño de estructuras, motivado principalmente por el deseo del hombre de realizar estructuras innovadoras, sobresalientes y seguras, esta motivación ha impulsado la creación de metodologías de análisis y diseño más precisas.

Aunque estas metodologías, como el cálculo matricial o el de elementos finitos, tienen sus fundamentos desde hace más de cinco décadas, el uso práctico de estos métodos es de alrededor de tres décadas, esto se debe a la dificultad de aplicarlos manualmente dado que su desarrollo conduce a enormes sistemas de ecuaciones las cuales son inabordables para la capacidad humana. Fue entonces, hasta la aparición de los ordenadores como instrumentó de cálculo que se hizo posible la utilización de estos métodos, esto a la vez trajo consigo la aparición de programas especializados en el diseño de estructuras.

En Colombia el uso de software especializado en diseño como el Sap2000, cypecad, Etabs y Dc-cad, entre otros, ha sido lento pero progresivo, no obstante con la ayuda de programas de dibujo asistido por computadora, como el famoso AutoCAD ha impulsado el desarrollo y el crecimiento del país.

Por otra parte, el 15 de Diciembre de 2010 comenzó a regir la Norma Sismo Resistente NSR-10 remplazando a la norma anterior NSR-98, por Decreto 926 del 19 de Marzo de 2010, en la cual se estableció la normativa para el diseño de estructuras seguras en el territorio Colombiano. La actualización de la norma generó un cambio en algunos coeficientes utilizados para cálculo de las fuerzas sísmicas, esto fue necesario para dar mayor relevancia al comportamiento del tipo del suelo al presentarse los movimientos sísmicos de diseño, los cuales se estimaron para una probabilidad de diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años; también la nueva norma modificó los coeficientes de resistencia al cortante y torsión de los elementos estructurales; cambió los factores de mayoración de cargas y las combinaciones de las mismas; y ecuaciones, coeficientes y requisitos las cuales se encuentran en forma general en la modificaciones técnicas y científicas tomo 1 del reglamento NSR-10.

El deseo de que el estudiante en general tenga un conocimiento más amplio sobre el programa sap2000, (el cual es el programa de análisis y diseño que se estudiará en el presente libro), teniendo en cuenta los cambios en la norma NSR-10 ha impulsado el desarrollo de este proyecto.

En este libro se centrará al análisis sísmico de una edificación con el programa sap2000 donde se presentará varias alternativas metodológicas para este análisis, esto permite al estudiante y futuro ingeniero conocer las diferentes formas de analizar una edificación, ver sus pros y contras y además conocer sus restricciones debido a que en algunos casos se apoyará en cálculos internos del programa mientras que en otros se necesitará de una mayor entrada de datos, de forma manual, para el programa realice el análisis.

También es trascendental decir que este libro puede ser utilizado como un manual para el análisis sísmico con ayuda del programa sap2000, debido a que resuelve confusiones presentada en la norma (como la ubicación de la cimentación y la base en una edificación), además muestra formas de análisis a través de la observación (como el caso del cálculo del centro de masa), lo cual ayuda al estudiante para el buen desarrollo del diseño de una edificación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar el diseño de estructuras de concreto reforzado siguiendo el procedimiento implantado en la empresa Alexis Vega Ingenieros, y aportar algunas alternativas metodológicas para el análisis sísmico por medio del programa sap2000 en el proyecto "BARRANCA" adelantado en la empresa.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mejorar los formatos de análisis y diseño utilizados en la empresa Alexis Vega Ingenieros para optimizar los tiempos
- Rendir informes periódicos cada dos meses mostrando los avances en las alternativas metodológicas de análisis sísmicos.
- Entregar al finalizar las prácticas como Aporte las alternativas metodológicas para el análisis sísmico por medio del programa sap2000 en el proyecto Barranca adelantado en la empresa Alexis Vega Ingenieros.
- Exponer que por medio del programa sap2000 es posible calcular el peso de la edificación y el centro de masa con gran precisión.

1. ALEXIS VEGA INGENIEROS

1.1 RESEÑA HISTÓRICA

ALEXIS VEGA INGENIEROS fue fundada en Bucaramanga por el ingeniero Alexis Vega Arguello el 01 de Octubre de 2003 y desde entonces se ha consolidado como una empresa presente en el diseño y asesoría estructural de un sinnúmero de proyectos destacados a nivel local y nacional.

La empresa se especializa en desarrollar proyectos urbanísticos, diseño de estructuras, estudios de vulnerabilidad y rehabilitación de edificios, montajes industriales y construcción de estructuras metálicas e interventoría de proyectos.

1.2 TRAYECTORIA Y EXPERIENCIA

Desde su fundación la empresa Alexis Vega ingenieros se ha posicionado como una empresa vinculada a grandes proyectos que sobresalen en cuanto a desarrollo y liderazgo en la sociedad santandereana y en el ámbito nacional.

Fig. 1. Trayectoria y Experiencia. – Diseño estructural



Torre Mardel: Ubicación: Cra 31 con calle 52 esquina - Bucaramanga – Santander. Cliente: Constructora Mardel



Torre Picasso: Ubicación: Calle 105 Carrera 26ª provenza – Bucaramnaga – Santander. Cliente: HG Constructora S.A.

Fig. 2. Trayectoria y Experiencia. – Vulnerabilidad y rehabilitación



Análisis de Vulnerabilidad y reforzamiento auditorio colegio la salle. Ubicación: Bucaramanga – Santander. Cliente: Congregación de los hermanos de la escuela Cristiana.

Entre la experiencia de la empresa se encuentra todo tipo de edificaciones de vivienda, (Casas campestres, torres de apartamentos, conjuntos residenciales y condominios), edificaciones de oficinas, edificaciones para el sector salud, almacenes y bodegas industriales, centros comerciales, hoteles, coliseos y edificaciones deportivas, instituciones educativas y religiosas, estaciones de servicio, frigoríficos, helipuertos, puentes, estudios de vulnerabilidad sísmica y rehabilitación de estructuras (Para colegios, edificaciones comerciales y del sector salud), montajes especiales (Para el sector petrolero y planta de compostaje), entre otras. Algunos de estos proyectos se muestran en la Fig. 1y Fig. 2

1.3 MISIÓN

Brindar soluciones a las necesidades del sector civil en materia de diseños estructurales y estudios de vulnerabilidad, ofreciendo productos que satisfagan los requerimientos de nuestros clientes y que nos permitan prosperar como negocio y contribuir al progreso del país.

1.4 VISIÓN

ALEXIS VEGA INGENIEROS será reconocida en cinco años por ser una empresa líder en los productos ofrecidos, a nivel regional; Y Ganar mayores espacios a nivel local y nacional.

1.5 POLÍTICA DE LA CALIDAD

ALEXIS VEGA INGENIEROS tiene como propósito suministrar estudios y diseños en el ámbito de la Ingeniería civil que den cumplimiento a los requisitos y necesidades establecidas por sus clientes, a las normas técnicas aplicables y a los requisitos determinados por la propia organización. Para alcanzar lo anterior es responsabilidad de cada funcionario ejecutar sus actividades en el marco del Sistema de Gestión de la Calidad establecido y orientado a lograr permanentemente los objetivos de la calidad.

1.6 UNA EMPRESA CON CALIDAD

Desde el Año 2009 ALEXIS VEGA INGENIEROS dispone de un sistema de gestión de la calidad certificado de acuerdo a la norma ISO 9001:2008 por SGS para diseño y desarrollo de estructuras de concreto reforzado y estructuras metálicas.

1.7 ALCANCE DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD

Diseño y desarrollo de estructuras de concreto reforzado y estructuras metálicas que involucran: edificaciones, puentes y montajes industriales; y estudios de vulnerabilidad y diseños de rehabilitación de estructuras de concreto reforzado y estructuras metálicas.

2. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES EN LA EMPRESA ALEXIS VEGA INGENIEROS

La iniciación de la práctica empresarial en la empresa Alexis Vega Ingenieros se firmó a los siete (7) días del mes de Octubre de 2011 con un acta de Inicio y finaliza cuatro meses después de esta fecha, a los siete (7) días del mes de Febrero de 2012.

2.1 RECONOCIMIENTO Y CAPACITACIÓN EN LA EMPRESA

Durante las primeras dos semanas se estuvo adquiriendo información acerca de:

(1) Las actividades desarrolladas en la empresa, las cuales comprende el diseño de estructuras en concreto reforzado y estructuras metálicas, el estudios de vulnerabilidad sísmica y rehabilitación de edificaciones existentes;

(2) Del procedimiento para el desarrollo de las actividades, que ha sido implantado desde el año 2009 y es regido y mejorado según el sistema de la gestión de la calidad certificado de acuerdo a la norma ISO 9001:2008;

(3) Del uso de los instrumentos, software y materiales: De la primera encontramos Una impresora Epson, un plotter Helwett – Packard y un Laptop marca Dell, este último instrumento cuenta con el programa de diseño: Sap2000, y otros programas para el buen desarrollo de las actividades tales como: paquete de Microsoft Office, PDF, Paint, ect. Por último se facilitan consumibles para la impresión, como hojas y pliegos de papel bond;

(4) De las preferencias de la empresa en lo concerniente al dibujo, como: Colores, trazados y grosores en el programa AutoCAD y para la imprenta de los planos estructurales; y en los criterios de diseño: Formatos de diseño, procedimiento de diseño, entre otros.

2.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL PROYECTO EJECUTADO

Durante las prácticas se realizaron backups semanales según el avance del proyecto ejecutado y se llenó el formato de revisión, verificación y validación del diseño estructural según lo establecido en el sistema de la gestión de la calidad, el cual sirve como bitácora

de las actividades realizadas durante la práctica. A continuación se muestra el formato de Revisión, Verificación y Validación

Tabla 1. Formato de Revisión, Verificación y Validación.

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO						
Nombre: EDIFICIO BARRANCA			Consultoría No. CN 1472			
Cliente: ARQ. MAURICIO CHAVEZ			Dirección: avenida 25 de agosto N° 24-39			
Contacto: ARQ. MAURICIO CHAVEZ		Tel:	Cel.: 3214681155		E. Mail:	
Fecha inicio: 07-10-2011		Fecha estimada de entrega: 07-02-2012		Diseñador: Richard Heredia Montes		
Descripción: Diseño edificio de pórticos resistentes a momentos con capacidad de resistencia DMO, que consta de 2 sótanos, 1 parqueadero y 13 placas de entrepiso y 1 cubierta. Todas las placas son nervadas armadas en una dirección.						
SEGUIMIENTO DE LA REVISIÓN / VERIFICACIÓN / VALIDACIÓN						
	A c t	Aspecto a tratar	Resultados / Compromisos	compromisos		Participantes
				A	C	
24-10-11	RE	Interpretación de los planos arquitectónicos	La zona posterior de la edificación no presenta columnas propuestas por el Arquitecto. Solución: El diseñador debe plantear los elementos verticales.	X	X	Ing. Alexis Vega/ Richard Heredia
26-10-11	VE	La correcta ubicación de los elementos verticales (muros o columnas) dentro de los espacios arquitectónicos.	Se ubicaron los elementos verticales en Autocad y se propuso unos muros en el contorno del ascensor para dar mayor rigidez a la estructura.	X	X	Ing. Alexis Vega/ Richard Heredia
31-10-11	VE	El funcionamiento estructural de vigas, viguetas y contorno de placas con respecto a los elementos verticales (muros o columnas).	Se creó una viga para confinar el muro de contención perimetral a la edificación para que de esta manera el elemento vertical funcionara con la edificación al presentarse un sismo.	X	X	Ing. Alexis Vega/ Richard Heredia
02-11-11	RE	El modelo estructural sea fiel representación de la configuración en planta y en altura de la estructura	Resultado de la Revisión: OK			Ing. Alexis Vega
04-11-11	RE	Las hipótesis que usa el software para la solución de la estructura estén conformes con las normas y con el funcionamiento real de la misma (combinaciones de cargas, asignación de diafragmas, conectividad de elementos, condiciones de apoyo, etc.)	Resultado de la Revisión: OK			Ing. Alexis Vega
10-11-11	RE	Las características de los materiales estén correctamente asignadas a los elementos estructurales (resistencia de concretos y aceros y módulos de elasticidad).	Se verifico y se actualizo las características de los materiales según la norma NSR-10.	X	X	Ing. Alexis Vega/ Richard Heredia
14-11-11	RE	Las cargas laterales que estén asignadas a la estructura sean congruentes con el análisis sísmico	Se realiza el análisis de las cargas laterales para la estructura en el programa sap2000 y se presenta al ingeniero encargado para su aprobación Resultado de la Revisión: OK	X	X	Ing. Alexis Vega
22-11-11	VE	Se verifica la rigidez lateral y derivas tomando los resultados de la construcción del modelo estructural y comparándolos con los valores máximos admitidos por la norma NSR 10 para asegurar su cumplimiento.	Se realiza el análisis de las derivas de la estructura en el programa sap2000 y se asegura el cumplimiento de la norma	X	X	Richard Heredia

Tabla 1. (Continuación)

	A c t	Aspecto a tratar	Resultados / Compromisos	Compromisos		Participantes
				A	C	
26-11-11	RE	En el pre dimensionamiento estructural ante cargas verticales y laterales se revisa que la capacidad de los elementos estructurales esté de acuerdo con las cargas que va a recibir la estructura en su funcionamiento.	Se presenta el modelo, y las cargas sobre los elementos para ser revisado y verificar si las cargas propuestas están de acuerdo al funcionamiento del elemento. Se chequea la cargas verticales en la zona de la piscina Resultado de la Revisión: OK	X	X	Ing. Alexis Vega
01-12-11	RE	Las cargas verticales asignadas a cada elemento estructural sean congruentes con el funcionamiento de toda la estructura	Además de las cargas verticales según la funcionalidad de los elementos, se asigna las cargas producidas por aquellos elementos que no pertenecen al sistema de resistencia sísmica, como escaleras y rampas en el modelo de sap2000	X	X	Richard Heredia
02-12-11	RE	Las combinaciones de carga sean conformes a las mínimas exigidas por la norma NSR 10	Se actualiza las combinaciones en sap2000 según la norma NSR-10	X	X	Richard Heredia
05-12-11	RE	El diseño de acero de refuerzo (estructura de concreto) se esté realizando conforme con las hipótesis de diseño aplicables y con las normas reglamentarias para cada uno de los materiales (NSR 10)	Resultado de la Revisión: OK			Richard Heredia
14-12-11	RE	Todos los elementos estructurales que conforman la estructura en general estén especificados	se nomencian todos lo elementos según las preferencia de la empresa	X	X	Richard Heredia
20-12-11	VE	Una vez concluida la etapa de complementación con cargas verticales del modelo estructural en software SAP 2000, se verifica que las solicitaciones en los elementos estructurales no excedan su capacidad máxima	Resultado de la Revisión: OK			Ing. Alexis Vega
27-12-11	VA	Estructuras de concreto reforzado: El diseño se prueba en dos tipos de software distintos (SAP 2000 y Diseño de Soluciones – DCC) con el objetivo de confrontar entre los dos resultados las dimensiones y cantidades de aceros de refuerzo definitivas de los elementos estructurales.	Se realizo el diseño de todos los elementos estructurales según el acero requerido analizado en los programas sap2000 y Diseños de soluciones - DCC	X	X	Ing. Alexis Vega/ Richard Heredia
06-01-12	RE	La geometría de los elementos despiezados coincida con la configuración en planta para elementos horizontales y con la configuración en alturas para los elementos verticales	Se reviso que la geometría de los elementos despiezados por el programa DCC coincida con las dimensiones del dibujo en AutoCAD.	X	X	Richard Heredia
20-01-12	RE	El refuerzo especificado en el despiece esté conforme con las solicitaciones de los elementos y con los requisitos normativos	Con base a la norma se hace las correcciones del dibujo del despiece arrojado por DCC.	X	X	Richard Heredia
30-01-12	RE	Validación del proyecto estructura	Resultado de la Revisión: OK	X	X	Ing. Alexis Vega
07-02-12	RE	En el dibujo de los elementos estructurales revisa que lo dibujado sea conforme a lo que se diseñó	Resultado de la Revisión: OK			Ing. Alexis Vega

Tabla 1. (Continuación)

	A c t	Aspecto a tratar	Resultados / Compromisos	compro miso s		Participantes
				A	C	
16-02-12	RE	<p>En la superposición del proyecto estructural con el proyecto arquitectónico revisan:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Que el dimensionamiento de los elementos estructurales no afecte la funcionalidad del proyecto arquitectónico. ▪ Las alturas de los entresijos (Que se respeten las alturas libres entre las placas de entresijo) ▪ Los contornos de las placas (Que haya concordancia entre la planta estructural y la arquitectónica). ▪ Los vacíos (Que se hayan considerado en la configuración de las placas estructurales) ▪ Las escaleras (Que se hayan considerado en el diseño todos los tipos de escaleras requeridos por el diseño arquitectónico) 	<p>Se modifico el diseño de una escalera, para idealizarse de auto portante a simplemente apoyada. Para esto se agrego dos columnas auxiliares de medio nivel de altura y una viga en el que el descanso se apoyara.</p> <p>Las columnas se apoyan en una viga principal con una longitud de 1m de voladizo.</p> <p>Se realizo el despiece manual de estos elementos para tener mayor seguridad.</p>	X	X	Ing. Alexis Vega/ Richard Heredia
Act: Actividad; RE: Revisión; VE: Verificación; VA: Validación; A: Aceptado; C: Cumplido						

3. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Para realizar el diseño de cualquier estructura se debe tener cierta información que es indispensable para el desarrollo del proyecto: La primera es la arquitectura, dado que sin esta información es imposible saber el objetivo o uso del proyecto.

El otro dato es el estudio de suelos, el cual caracteriza el terreno en el que se encuentra el lote de la edificación y da la información necesaria para conocer el comportamiento de la estructura frente a diferentes análisis de cargas como sismo.

Fig. 3. sótano 2; N-5.60

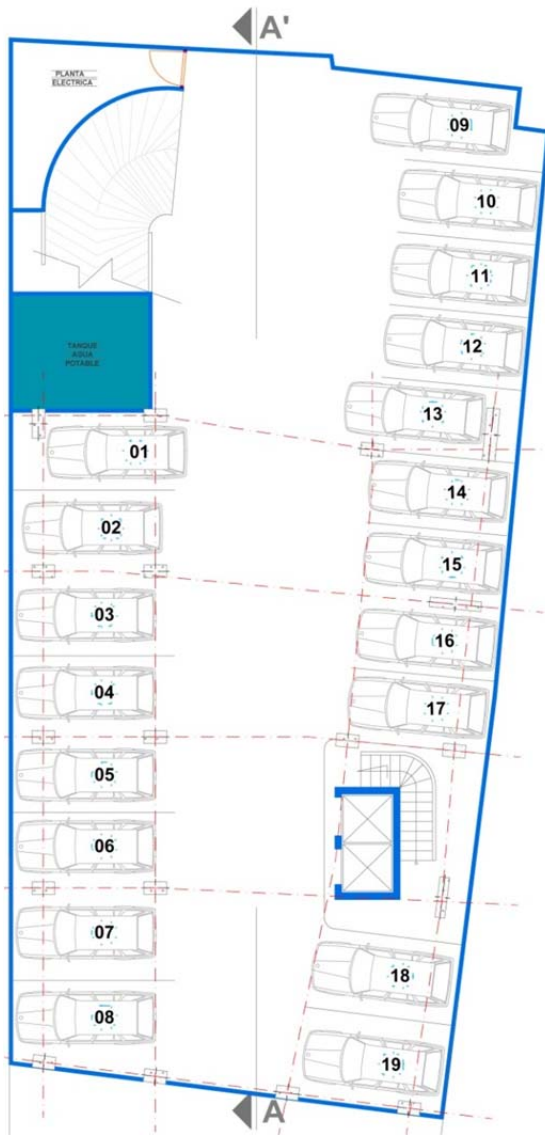
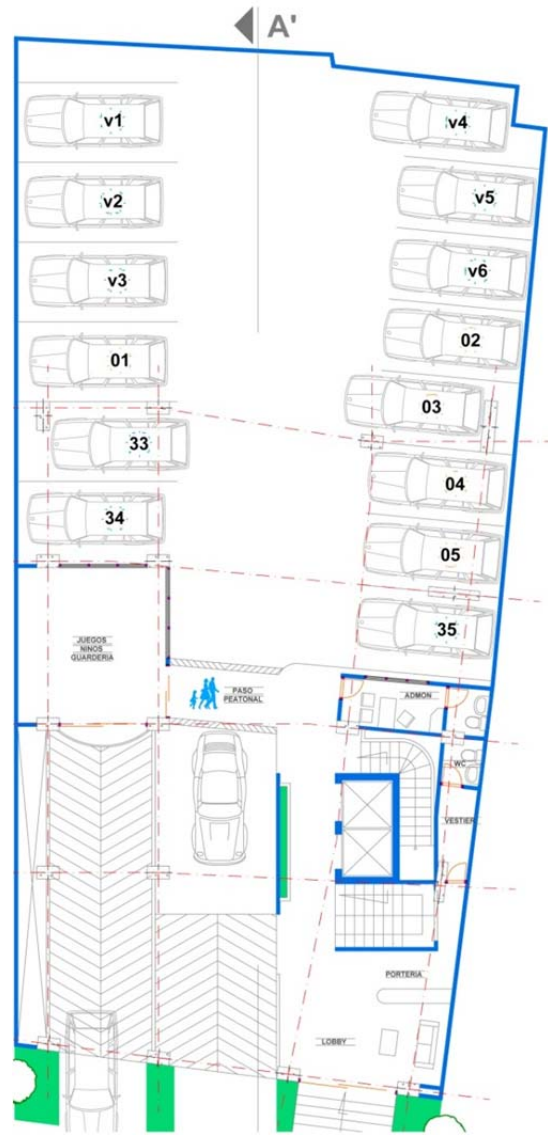
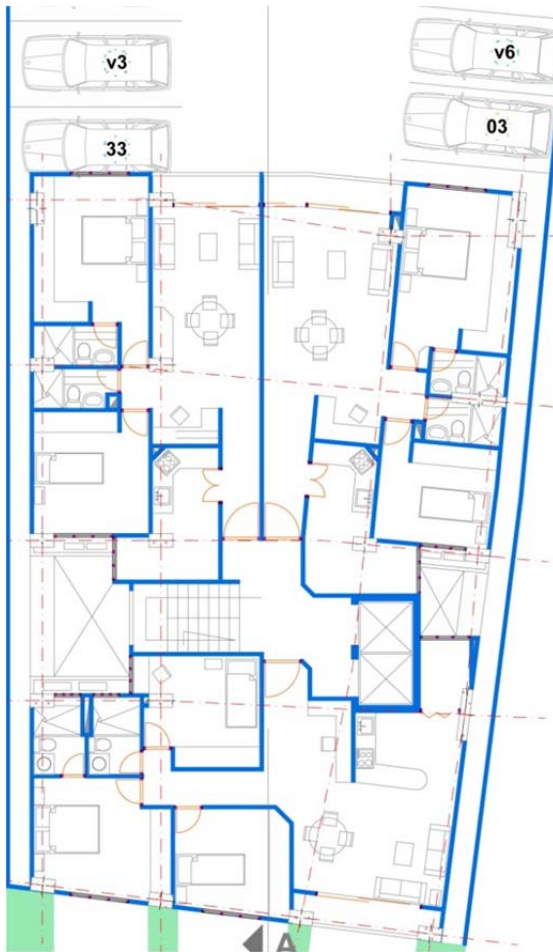


Fig. 4. Parqueadero N+0.60



Además, permite conocer en donde se encuentra el nivel freático (corriente de agua subterránea) el cual tiene gran repercusión en la estabilidad del edificio.

Fig. 5. Piso Tipo



Por ultimo esta la definición estructural, que consiste en escoger el sistema estructural y los efectos o fuerzas aplicables según el criterio del diseñador con base a la norma.

3.1 PRESENTACIÓN DEL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

El proyecto en el que se trabajará se llama “EDIFICIO BARRANCA” ubicado en la avenida 25 de agosto N° 24-39 Barrio la libertad. Ciudad Barrancabermeja - Santander - Colombia.

Las especificaciones dadas por el arquitecto son las siguientes: Edificio de 2 sótanos ubicados en las cotas N-2.80 (S1) y N-5.60 (S2), utilizados para parqueadero lo mismo la placa de la cota N+0.60 (P1). El sótano del nivel N-5.60 se puede apreciar en la Fig. 3

El N+0.00 se encuentra sobre terreno y es donde nacen dos rampas y una escalera; la primera rampa se dirige al S1 N-2.80, la otra rampa, junto con la escalera sube al N+0.60 tal como se ilustra en la Fig. 4.

El N+3.40 (P2) es de uso residencial, lo mismo el piso tipo que comprende el N+6.20 (P3) al N+37.00 (P13 - Ver Fig. 5), y el pent-house de dos pisos ubicado en el N+39.80 (P14) y N+42.60 (P15), en este último nivel se encuentra además una zona social en la parte frontal del edificio. La cubierta general queda ubicada entonces en el N+45.40.

NOTA: En el Anexo 1 se puede ver las plantas arquitectónicas con más detalles.

Fig. 6. Isometría del edificio



En conclusión el proyecto cuenta con 2 sótanos con una profundidad de excavación de 5.60m y una altura medida desde el nivel de vía de 47.40m (teniendo en cuenta la cubierta del ascensor la cual debe estar ubicada a dos metros de altura después de la cubierta general). En resumen la edificación cuenta con la cimentación y placa de contra piso ubicada en el N-5.60, 18 placas de entresuelo y la placa del ascensor en el N+47.40.

3.2 PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO DE SUELOS

La norma actual NSR-10 (Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente) hizo cambios en la forma de caracterizar el suelo y la manera en que los coeficientes del suelo se calculan. Esta nueva metodología, por decirlo de alguna manera, da como resultado que la máxima aceleración de diseño (S_a), utilizada para el cálculo de derivas y el diseño de los elementos de resistencia sísmica, sea un poco mayor con respecto a la anterior metodología.

Uno de los datos principales que se presenta en el estudio de suelos es la ubicación del nivel freático, el desconocimiento de este nivel puede conllevar a sótanos inundados lo cual genera sobre-costos en la construcción de la edificación al tener que usar bombas para expulsión del agua en la etapa constructiva y al tener que diseñar y construir sistemas de drenaje para que después de construido el sótano, este no se inunde o presente una constante humedad, lo cual podría generar además un deterioro progresivo y prematuro de la estructura.

Adicional a lo dicho anteriormente, al presentarse un suelo saturado hay que investigar si el mismo se encuentra en condiciones de drenado (Cuando el agua del suelo se desplazada en menor tiempo que la aplicación de la carga) o no drenado (Cuando el agua del suelo se desplaza en mayor tiempo que la aplicación de la carga). Las condiciones de drenaje son indispensables para conocer los asentamientos que se producirán en la edificación a corto, mediano y/o a largo plazo¹.

En este proyecto no se halló nivel freático en ninguna de las cuatro excavaciones

¹ LAMBE, William. *Mecánica de suelos*. México, DF. 2009. P. 509

hechas por el geotecnista, los cuales se hicieron para una profundidad de 6.90 metros. Con base a esto y teniendo en cuenta lo mencionado en el capítulo 3.1 (Presentación del proyecto arquitectónico) que la cimentación se plantea a 5.60 metros bajo tierra, se tiene la seguridad que la estructura no tendrá problemas a la hora de ser excavado o que presente humedad en los sótanos en la etapa de servicio.

Otro dato importante que se extrae del informe del estudio del suelo es la capacidad portante del suelo (Q_a) para la profundidad de excavación. Este dato permite el calculista determinar las dimensiones de la cimentación para que esta sea segura y no presente asentamientos excesivos que puedan comprometan la estabilidad de la edificación. Según McCormac en la tabla 11.1 de su libro “Diseño de concreto reforzado”. Un suelo pobre como la arcilla arenosa suave tiene un Q_a alrededor de 95 KN/m²; mientras que un suelo duro como la arcilla dura o compactada tendrá un Q_a de alrededor de 385 KN/m².

En el estudio de suelos presentado por el geotecnista la capacidad portante del suelo es de 300 kN/m². En el Anexo 2

² McCORMAN, Jack. *Diseño de concreto reforzado*. México DF. 2009. P.400.

puede verse el estudio del geotecnista – La localización de los sondeos, condiciones del sub-suelo, Conclusiones y recomendaciones.

3.3 DEFINICIÓN ESTRUCTURAL

Antes de comenzar el análisis sísmico y el diseño de una edificación el calculista debe indagar junto con el arquitecto cual es el sistema estructural más económico en relación al tiempo, materiales y mano de obra. A demás, con base a su criterio y según lo especificado en la norma NSR-10 debe analizar cuáles serán los efectos o fuerzas con las que se diseñará los elementos que componen la edificación.

3.3.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

El reglamento sismo resistente NSR-10 definió algunos sistemas estructurales en concreto reforzado para el diseño de las edificaciones en el territorio colombiano. Según el numeral A.3.2.2 toda edificación o cualquier parte de ella, debe quedar clasificada en uno de los cuatro sistemas estructurales: Muros de carga, Combinado, pórtico o dual.

En la Fig. 7 se muestra los sistemas estructurales mencionados en la norma.

- Los muros de carga son un sistema estructural en el cual las cargas

verticales (Carga muerta, viva, entre otras) y las fuerzas horizontales (Sismo, viento, presiones del suelo) son absorbidas en su totalidad por los muros estructurales;

- En los sistemas combinados se puede presentar que los pórticos soporten las cargas verticales mientras que los muros absorban las fuerzas horizontales o también se da que los pórticos y los muros resisten tanto las cargas verticales como las fuerzas horizontales;
- En el sistema estructural de pórticos se presenta una estructura formada por

columnas y vigas entrelazadas en las dos direcciones las cuales soportan la totalidad de las cargas verticales y horizontales;

- y por ultimo está el sistema Dual que se presenta cuando los pórticos y los muros soportan las cargas horizontales mientras que el sistema aporticado soportan solamente las cargas verticales.

Para ver en más detalle la definición de la norma para cada tipo de sistema estructural puede verse el numeral A.3.2 de la NSR-10.

Fig. 7. Sistema estructural de resistencia sísmica

SISTEMAS ESTRUCTURALES DE RESISTENCIA SISMICA			
SISTEMA		CARGAS VERTICALES	FUERZAS HORIZONTALES
MUROS DE CARGA			
COMBINADO			
PORTICO			
DUAL			

Fuente NSR-10 Prefacio-Apéndice I

Como se puede apreciar en la Fig. 3, Fig. 4 y Fig. 5. El sistema estructural que se plantea en la arquitectura es de pórticos resistente a momentos, pero debido a la necesidad de rigidizar la estructura se aumentará las dimensiones de algunas columnas para que funcionen como muros y además se agregaran muros estructurales alrededor del ascensor. Por este motivo se cambia la definición del sistema estructural inicial al sistema combinado.

3.3.2 TIPOS DE FUERZAS

La norma NSR-10 menciona en el numeral B.2. Los tipos de fuerzas a tener en cuenta para una edificación, entre ellas se encuentra las fuerzas por carga viva, muerta, debido al granizo, al viento y al sismo; las fuerzas producidas por el empuje de tierra y esfuerzos por cambio de temperatura (Este último no es muy aplicable tratándose del cambio de temperatura por cambios climáticos en estructuras de concreto dado que en el territorio colombiano estas variaciones de temperatura no son tan drásticas de una estación a otra, pero hay que resaltar que los cambios de temperatura se pueden producir por retracción del fraguado en el concreto, lo cual es muy importante en el diseño estos elementos). Además, en el numeral B.2 se encuentra las diferentes

combinaciones de los tipos de fuerza con las cuales el calculista diseña una edificación.

Los tipos de fuerzas que se analizaran en esta edificación y su justificación, son:

- Carga muerta [D]: es la fuerza producida por el peso propio, carga sobre-impuesta y equipos permanentes.
- Carga Viva [L]: Es la fuerza producida debido al uso y ocupación de la estructura, objetos móviles y cargas de impacto
- Carga viva sobre la cubierta [L_r]: Son las mismas fuerzas utilizadas en la carga viva pero aplicadas en la cubierta
- Fuerza sísmica [F_s]: Es la fuerza producidas por el sismo (estas fuerzas son utilizadas únicamente para el cálculo de derivas)
- Fuerzas sísmicas reducidas [E]: Es (F_s/R) donde R es un factor de reducción. (Estas fuerzas son utilizadas para el diseño de los miembros estructurales).
- Fuerzas por variación de temperatura [T]: Fuerza producida por la retracción de fraguado del concreto.

- Fuerza por empuje lateral del suelo [H]: Las fuerzas producida por la presión lateral del suelo contra los muros de contención.
- Carga de viento [W]: Este tipo de carga es importante en estructuras altas o muy flexibles, o con gran superficie lateral. Los factores que influyen en su magnitud es la velocidad de viento, Altura, condiciones naturales del terreno, la zona o región. Puede verse en el numeral B.6.4-1 de la NSR-10
- Empozamiento de agua [L_e]: Es la carga sobre la cubierta causada por el volumen del agua que puede acumularse antes de que el sistema auxiliar de drenaje de exceso opere. Puede verse en el Numeral B.4.8.2 de la Norma
- Carga por fluidos con densidad definida [F]: Cargas debidas al peso y presión de fluidos con densidades bien definidas y alturas controlables como Piscinas y Tanques de almacenamiento.

NOTAS: las fuerzas por variación de temperatura son controladas por la norma NSR-10 a través de la cuantía mínima por retracción de fraguado.

Los efectos que no se tendrán en cuenta y su justificación, son:

- Carga debido al granizo [G]: Según el Numeral B.4.8.3 Debe tenerse en cuenta en regiones que se encuentren a más de 2000 metros de altura sobre el nivel del mar. Barranca se encuentra entre 76 y 145 msnm

3.3.3 COMBINACIONES

En el numeral B.2.4 de la NSR-10 se menciona las combinaciones de cargas para el uso del método de resistencia última, el cual se aplica a todos los componentes que conforman el sistema estructural de la edificación. Según el numeral B.2.4.2 las combinaciones de carga son:

1. $1.4(D+F)$
2. $1.2(D+F+T)+1.6(L+H)+0.5(L_r \text{ o } G \text{ o } L_e)$
3. $1.2D+1.6(L_r \text{ o } G \text{ o } L_e)+(L \text{ ó } 0.8W)$
4. $1.2D+1.6W+1.0L+0.5(L_r \text{ o } G \text{ o } L_e)$
5. $1.2D+1.0E+1.0L$
6. $0.9D+1.6W+1.6H$
7. $0.9D+1.0E+1.6H$

3.4 ENFOQUE

Aunque las fuerzas y las combinaciones mencionadas en el capítulo 3.3 (Definición estructural) se utilizarán para el diseño de

los elementos que componen el sistema estructural de esta edificación, en este proyecto solo se estudiará y analizará las cargas que intervienen en el cálculo de las derivas.

Según la NSR-10 en el numeral A.6.1.3 la deriva está asociada con las deformaciones inelásticas de los elementos estructurales y no estructurales, daños en los elementos de la edificación y pánico de las personas debido a un temblor, es por esta razón que el análisis de las derivas se realiza con base a las fuerzas sísmicas.

Para el análisis de las derivas es necesario calcular la carga muerta (peso propio y sobre-impuesto) de la edificación, la carga por fluidos con densidad definida (si existe una gran probabilidad de encontrarse el líquido en el momento de un sismo), la carga viva y la carga viva en la cubierta. Las dos primeras cargas son

indispensables para el análisis sísmico, mientras que las dos últimas se utilizan para conocer la estabilidad de la edificación.

Para hallar las cargas anteriormente mencionadas y hacer el análisis de las derivas es importante el buen uso de programas de modelamiento, dado que esto ahorra tiempo en el cálculo y análisis de la edificación, en este proyecto el modelamiento se hará con el programa Sap2000.

En resumen, en los siguientes capítulos se hará el cálculo de las fuerzas sísmicas y el análisis de las derivas siguiendo el procedimiento implantado en la empresa Alexis Vega Ingenieros, después se realizará otras alternativas metodológicas para el cálculo de las fuerzas horizontales y las diferentes metodologías mediante las derivas.

4. CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE)

La norma NSR-10 en el numeral A.3.4.2 hace referencia a algunos métodos de cálculo de las fuerzas horizontales, como el modal o el de FHE (Fuerzas horizontales equivalentes). Estas fuerzas sísmicas, además de ser utilizadas para la verificación de los desplazamientos relativos, son utilizadas para el diseño de los elementos que componen la estructura. Según el numeral anteriormente mencionado, el método para el cálculo de las fuerzas sísmicas que se debe utilizar para este proyecto corresponde al:

- Método de la fuerza horizontal equivalente: En la sección A.3.4.2.1 se definen en cuales casos se puede utilizar este método y específicamente en el literal (b) se anuncia "*Todas las edificaciones, regulares e irregulares, pertenecientes al grupo de uso I, localizadas en zonas de amenazas sísmicas intermedia*". Las cuales son características de este proyecto

4.1 CÁLCULO DEL PERIODO APROXIMADO.

Este método se inicia calculando a través de la ecuación A.4.2-3 de la NSR-10 el

periodo T_a (periodo fundamental aproximado).

$$\text{Ec. 1. } T_a = C_t h^\alpha$$

Los factores C_t y α se encuentran en la tabla A.4.2-1 que se muestra en la Fig. 8. Como se mencionó en el capítulo 3.3.1 (Sistema estructural) el sistema que se diseñara es el combinado, el cual se ajusta a la última fila de la tabla.

El autor en el momento de utilizar el valor y la ecuación de la última fila de la Fig. 8 del libro. Para el cálculo de T_a observo que el resultado del periodo se sale del contexto o dicho de otra forma da como resultado un valor erróneo, por lo cual se verifico este ítem en la adenda de la norma y se encontró una corrección.

La corrección de la última fila de la Fig. 8 según el anexo de modificaciones técnicas y científicas de la NSR-10 aprobado el 17 de enero de 2011 especifica lo siguiente: "*Alternativamente, para estructuras de muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural...*". Lo anterior indica que el cálculo de la última fila solo es aplicable para sistemas estructuras basados en muros.

Fig. 8. Valor de los parámetros para el cálculo del periodo aproximado T_a

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Fuente Norma NSR-10 Tabla A.4.2-1

Dado que la norma no menciona específicamente unos valores para el sistema combinado para el cálculo de las fuerzas horizontales, el diseñador escoge el ítem que más este cercano a la realidad de la edificación. En este caso son los valores de la primera fila dado que el proyecto es un sistema de pórticos en los cuales se presenta unos algunos muros estructurales.

Con los valores dados en la primera fila de la tabla, para estructuras de pórticos que resisten las fuerzas sísmicas y la altura de la edificación $h=46.80$, medida desde la base hasta el nivel más alto, que como se puede apreciar en la Fig. 9 es la cubierta del ascensor, calculamos T_a .

$$T_a = 1.497$$

NOTA: La base para el caso de un edificio con sótanos que están restringidos por muros de contención es la losa de primer piso o la losa donde mueren dichos muros.

4.2 ALTURA DE LA PLACA

Este dato está ligado a la continuidad de las vigas y la longitud entre apoyos. En la Fig. 10. Se muestran los dos casos críticos para el cálculo de la altura de la placa, debido a que l_1 y l_2 tienen la misma configuración (Ambos extremos continuos), se calculará el espesor de la losa con base a la longitud más crítica que es $L1=8.60m$ y con el factor que da la fila para vigas de la tabla C.9.5(a) de la NSR-10, (Fig. 11 del presente libro).

$$l1/28 = 8.6/28 = 0.41 \approx 0.45m$$

Fig. 9. Corte A-A

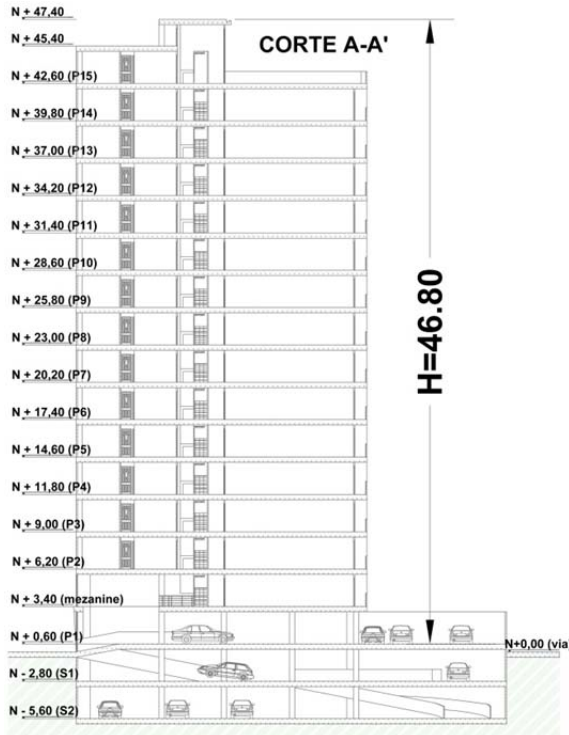


Fig. 10. Longitud para espesor de placa

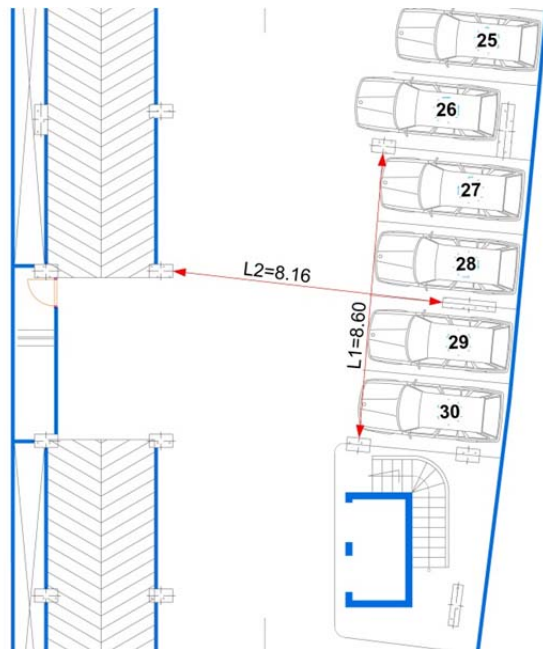


Fig. 11. Alturas y espesores mínimos de vigas no pre esforzadas

Elementos	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.				
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{20}$	$\frac{\ell}{24}$	$\frac{\ell}{28}$	$\frac{\ell}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{18.5}$	$\frac{\ell}{21}$	$\frac{\ell}{8}$

Fuente NSR-10 Tabla C.9.5(a)

4.3 PESO DEL EDIFICIO

Para hallar el peso de la edificación se integra el cálculo manual y el asistido por computadora. En el primer caso se realiza los cálculos más sencillos como pesos de las tortas de la losa y el aligeramiento, peso de fluidos con densidad definida (si cabe lugar), cargas sobre impuestas, entre otros; En el segundo caso se realiza el cálculo del peso de las columnas, muros, vigas y viguetas con la ayuda del programa sap2000; y por último se integran los dos métodos para hallar el peso de las rampas y escaleras.

El peso de la edificación corresponde a la suma de todas las cargas calculadas por los tres procedimientos acabados de mencionar.

4.3.1 CALCULO MANUAL

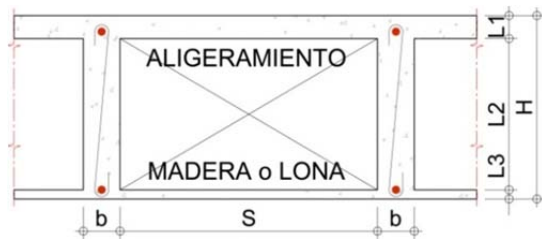
Para realizar el cálculo manual las fuerzas se hallan como densidades de carga (Peso / metro²) para cada una de las zona; estas

dependen de la altura de la placa y las cargas sobre-impuestas. Luego las densidades de carga se multiplican por las zonas que se encuentran en cada nivel.

4.3.1.1 Peso Muerto del aligeramiento y tortas de la losa

Para calcular el peso de las tortas de la losa se puede ver la Fig. 12. Las unidades se toman en metros y la densidad del concreto reforzado (γ_c) es de 24 KN/m³ según la NSR-10 en la tabla B.3.2-1.

Fig. 12. Esquema de losa nervada



➤ Peso torta superior

$$\frac{S * L_1 * \gamma_c}{S + b} = \frac{0.70 * 0.05 * 24}{0.70 + 0.10} = 1.05 \text{ KN/m}^2$$

➤ Peso torta inferior

$$\frac{S * L_3 * \gamma_c}{S + b} = \frac{0.70 * 0.02 * 24}{0.70 + 0.10} = 0.42 \text{ KN/m}^2$$

Donde S es la separación entre viguetas; b es la base de la vigueta; L1 y L2 son los espesores de la loseta superior e inferior; y H es la altura de la placa calculada en el capítulo 4.2 (Altura de la placa)

Nota: Las consideraciones para el espaciamiento y espesores entre vigueta y

altura de las losetas está regido por el numeral C.8.13.1 de la NSR-10.

➤ Aligeramiento. 0.15 KN/m²

Peso de la losa por m² 1.62 KN/m²

4.3.1.2 Cargas sobre-impuestas a la placa³

Los valores para cargas muertas mínimas permitidas por la norma se encuentran en la Tabla B.3.4.3-1. Fig. 13. Como se mencionó en la Presentación del proyecto arquitectónico el proyecto consta de zona de parqueaderos, social y uso residencial.

➤ Garaje **1.20 KN/m²**

Fachadas y particiones 0.20 KN/m²

Afinados de piso 1.00 KN/m²

➤ Residencial: mampostería **4.60 KN/m²**

Fachadas y particiones 3.00 KN/m²

Afinados de piso 1.60 KN/m²

➤ Zona social

En el N+42.60 se encuentra la zona social, la cual consiste en una piscina que se eleva 1.40m y se accede subiendo por una escalera como se muestra en la Fig. 14.

³ En el anexo 10 del presente libro se menciona otras formas de calcular las cargas sobreimpuestas en la placa sin basarse en "los valores mínimos alternativos" que menciona la NSR-10 en la Tabla B.3.4.3-1. Se hace mención a esto debido a que los valores de la Tabla B.3.4.3-1 pueden resultar muy altos en comparación a los valores reales de carga

Fig. 13. Valores mínimos alternativos de carga muerta

Ocupación		Fachada y particiones (kN/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m ²) m ² de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m ²) m ² de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m ²) m ² de área en planta
Reunión	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escenarios.	1.0	1.8	100	180
Oficinas	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
Educativos	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
Fábricas	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
Institucional	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías.	2.0	1.6	200	160
Comercio	Exhibición y venta de mercancías.	1.5	1.4	150	140
Residencial	Fachada y particiones de mampostería.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
Almacenamiento	Almacenamiento de materiales livianos.	1.5	1.5	150	150
Garajes	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

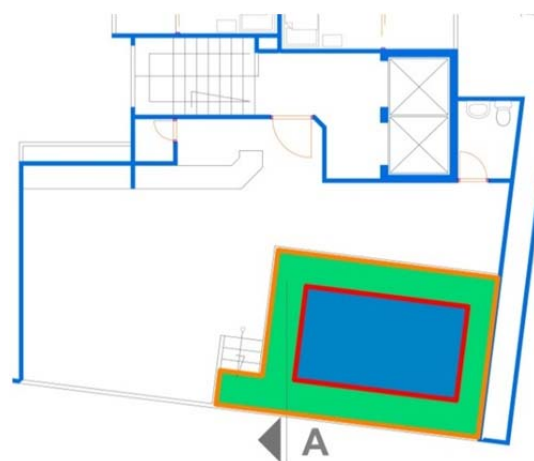
Fuente NSR-10 Tabla B.3.4.3-1.

Para el cálculo de la carga sobre impuesta en la zona social se debe tener en cuenta el peso de la mampostería confinada que sostiene la pasarela (color Naranja), el del muro estructural que contiene el agua de la piscina (color rojo); el peso propio y sobre impuesto de la pasarela (color verde) y el del agua de la piscina (Color Azul). Estos cálculos se harán de forma manual.

- o **Mampostería Confinada** – Para dar apoyo a la pasarela alrededor de la piscina se decide diseñar una mampostería de concreto confinada con columnetas cada 3m, La densidad de la mampostería de concreto es de 21.5 KN/m³, según la Norma, y con la altura

del muro confinado 1.40m, espesor de 0.15m y un perímetro de 21.95m tenemos que el peso de la mampostería confinada es “99 KN”

Fig. 14. 2^{do} piso pent-House y Zona social N+42.60



- o **Muro Estructural** - El muro que contiene la piscina se diseñará como un elemento

estructural su densidad es de 24 KN/m³ y su espesor es de 0.20m (preferencia de la empresa), con una altura de 1.40m y un perímetro de 13.32m calculamos el peso propio del muro “**89.51 KN**”

- *Pasarela* - El espesor para una losa maciza de luz libre de 0.80m y tipo de soporte simplemente apoyado es de e =0.04m (Según calculo con la tabla de la Fig. 11), pero dado que es importante impedir la infiltración de agua, el espesor mínimo de una losa maciza estándar en la empresa es de 0.10m. Con el espesor y un área de 14.42m² tenemos un peso propio de “**34.61**”; Además, para la pasarela se debe tener en cuenta una carga sobreimpuesta. Como es zona de reunión tiene una carga de 1.0 KN/m² por fachada y particiones, y 1.8 KN/m² por Afinado de piso, estas cargas multiplicadas por el área da un peso de “**40.38**”

La carga sobre impuesta en la zona social se calcula como la suma del peso propio de la mampostería confinada y el muro de contención, el peso propio y sobre impuesto de la pasarela sobre el área de la pasarela y piscina:

$$\text{Zona social } \frac{99+89.51+34.61+40.38}{27.12} = 9.72 \text{ KN/m}^2$$

NOTA: Si el edificio cuenta objetos inmóviles que generen carga muerta en la edificación debe ser considerado como peso muerto sobreimpuesto.

4.3.1.3 Carga de fluidos con densidad definidas [F]

Como la piscina se encuentra la mayor parte del tiempo llena la probabilidad de que esta masa oscile ante la presencia del sismo es alta. Por esta razón el peso del agua se tiene en cuenta.

El cálculo del peso del agua de la piscina se calcula como la densidad del fluido por el volumen. Este peso se distribuye en el área que ocupa la piscina para tener una fuerza distribuida.

$$\frac{\gamma_{\text{agua}} * \text{Area}_{\text{piscina}} * \text{Altura}}{\text{Area}_{\text{zona social}}} = \frac{10 * 10.29 * 1.40}{10.29} = 14 \text{ KN/m}^2$$

4.3.1.4 Cargas por zonas

Sumando el peso propio, las cargas sobre impuesta y la carga del agua sobre la zona social se tiene las densidades de cargas de:

- Zonas de Parqueadero o Garaje

$$1.62 + 1.20 = 2.82 \text{ KN/m}^2$$

- Zonas residencial con mampostería

$$1.62 + 4.60 = 6.22 \text{ KN/m}^2$$

➤ Zonas social

$$1.62 + 9.72 = 11.34 \text{ KN/m}^2$$

➤ Zona de la piscina (Caso de Carga "F")

$$14 \text{ KN/m}^2$$

4.3.2 CALCULO DEL PESO PROPIO DE LOS ELEMENTOS DE LA EDIFICACIÓN

Para completar el cálculo del peso de la edificación se modela en el programa sap2000 las viguetas, Vigas, muros y columnas y se extrae la masa de estos elementos de los *joints* de cada nivel, tal como se muestra en Anexo 3 (Porcentaje de error del cálculo del peso propio de sap2000 con respecto al manual)

La configuración, dimensiones de los elementos y modelamiento de la edificación se encuentran en el capítulo 4.6 (Modelamiento de la estructura)

4.3.2.1 Viguetas, Vigas, Columnas y Muros

En el anexo 3 del presente libro se muestra la metodología para el cálculo del peso de la edificación, además se calcula el porcentaje de error al utilizar este procedimiento con respecto al cálculo manual para conocer la fiabilidad de hacer el análisis con ayuda del programa.

En el anexo 4 se realizó el modelamiento de una edificación con viguetas para

ratificar que el correcto modelamiento de estos elementos no afectan las rigideces de los pisos.

En conclusión, según los anexos 3 y 4 es posible modelar las viguetas sin afectar el comportamiento de la estructura ante la presencia de un sismo y de este modo hallar el peso de las viguetas, vigas, columnas y muros en los pisos con gran exactitud y eficiencia.

4.3.2.2 Metodología

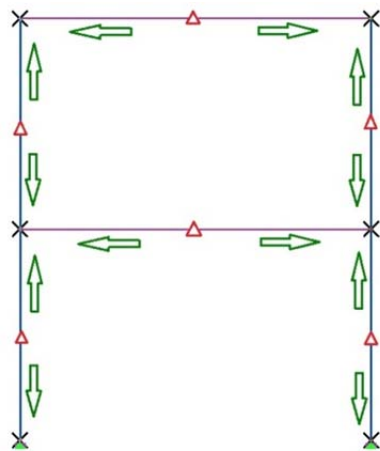
La metodología para el cálculo del peso puede encontrarse en el anexo 3 del presente libro. Aunque en el adjunto acabado de mencionar el procedimiento se realizó para hallar el peso del sistema de resistencia sísmica (Columnas, Vigas), es posible hacer el mismo procedimiento agregando las viguetas.

4.3.2.3 Observaciones

1. La masa de las columnas, muros, vigas y viguetas se distribuyen equitativamente entre los *joints* de los elementos modelados. En la Fig. 15 se muestra como se distribuye equitativamente la masa de las vigas y columnas de un pórtico entre los *joints*.
2. Si en el elemento modelado (columnas, muros, vigas y viguetas) se encuentra fuerzas adicionales, el

programa los divide estas fuerzas sobre la gravedad para volverlos masa y después los distribuye de la misma manera que lo mencionado en el punto anterior a los *joints*. Esto se realiza si las fuerzas se asignan a los mismos casos de carga que los casos de carga configurados en el origen de masa

Fig. 15. Distribución de masas



3. La norma hace diferencia entre el nivel de cimentación y el nivel de base, el primero es donde nace la cimentación mientras que el segundo es la losa de primer piso o la losa donde mueren los muros de contención.
4. La masa ubicada entre la cimentación y la base (N-5.60 y N+0.60) y el perteneciente a los elementos verticales distribuidos en la base no se calculan dividido a que estas masas no pueden desplazarse lateralmente mientras ocurre el sismo.

4.3.3 CALCULO DE FUERZAS SOBRE-IMPUESTA

El cálculo de las fuerzas sobre-impuestas se hace debido a la necesidad de tener en cuenta el peso de las rampas y escaleras en la edificación, para hacer esto se calcula las reacciones de estos elementos en los apoyos y luego se asigna las cargas calculadas en sap2000. Lo anterior se hace debido a que las rampas y las escaleras no hacen parte del sistema de resistencia sísmica, por la tanto estos elementos no deben afectar el comportamiento de la estructura en el análisis sísmico, pero sus efectos deben ser considerados dentro del modelo.

Es importante aclarar que para las rampas y escaleras que se encuentren debajo del nivel de base (N+0.60) No es necesario calcular las reacciones de estas, ni asignar las cargas en sap2000 para el cálculo del peso de la edificación, pero debido a que el diseño de los elementos que componen el sistema de resistencia sísmica debe hacerse con los efectos producidos por las combinaciones mencionadas en el capítulo 3.3.3 (Combinaciones) se es necesario hacer este análisis en el momento del diseño, por este motivo y debido a la necesidad de tomar un ejemplo para el cálculo mixto se decide utilizar la rampa

ubicada entre el N-2.80 al N-5.60 como guía.

4.3.3.1 Cálculo manual de las Reacciones de la rampa sobre los apoyos

En la Fig. 16 se muestra una rampa vehicular que se comunica entre el nivel N-2.80 y N-5.60. Para el cálculo de las reacciones se debe tener en cuenta cómo se va armar la rampa.

- o Peso propio (P.P)

Para el cálculo del peso propio es necesario primero conocer el espesor de la rampa. El cálculo del espesor se realiza utilizando la tabla Fig. 11 (Alturas y espesores mínimos de vigas no preesforzadas), teniendo en cuenta que la rampa se modelara y diseñara como simplemente apoyada en vigas inclinadas tal y como se muestra en la Fig. 17, que su luz libre es de 3.20m y que es una losa maciza de concreto el espesor (e) es igual:

$$e = 3.20/20 = 0.16m$$

Pero debido a que en obra las dimensiones son múltiplos de 0.05m el espesor se aproxima a 0.20m.

Teniendo el espesor es posible calcular el peso propio como densidad de carga multiplicando el espesor por la densidad del concreto reforzado,

$$PP = e * \gamma_c = 0.20m * 24 KN/m^3$$

$$4.80 KN/m^2$$

Fig. 16. Vista de rampa - a) N-5.60; b) N-2.80

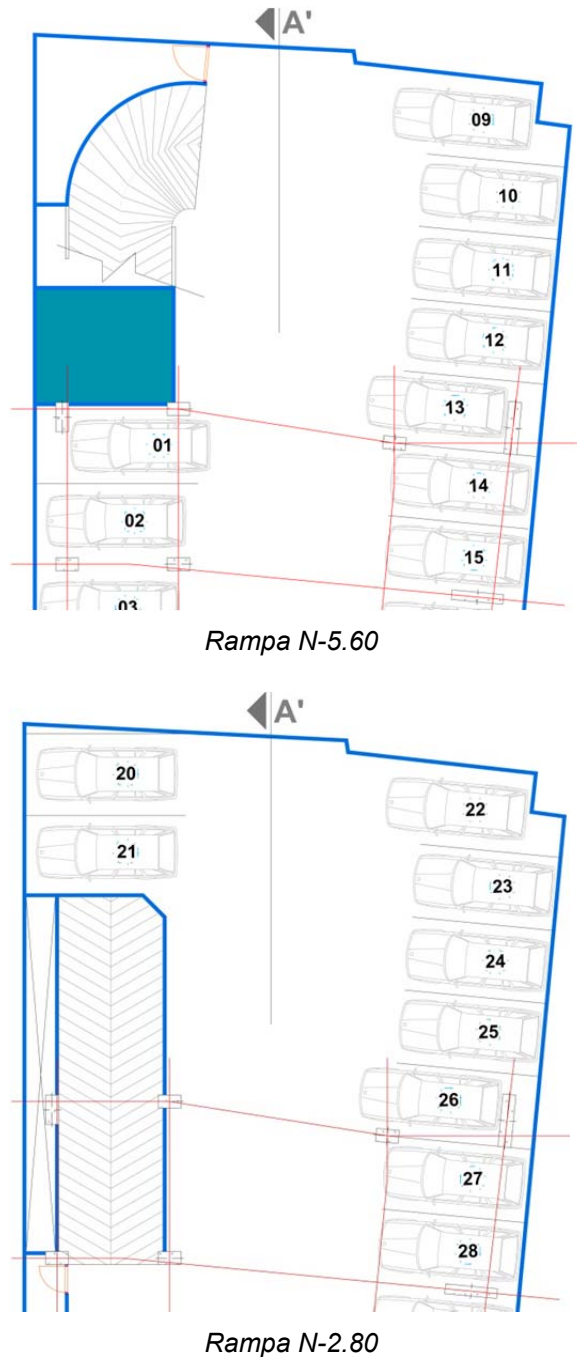
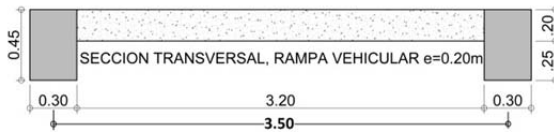


Fig. 17. Sección Transversal de la Rampa Vehicular



- o Peso sobre impuesto (P.S.I)

Como las rampas se encuentran ubicadas en zonas de parqueo las densidades de cargas que se utiliza es la misma que en zonas de garaje.

Fachadas y particiones	0.20 KN/m ²
Afinados de piso.	1.00 KN/m ²

$$1.20 \text{ KN/m}^2$$

- o Reacciones

Para el cálculo de las reacciones se acostumbra tomar un ancho de un metro profundidad, de esta manera se tiene que para un metro de ancho el peso propio es de 4.80 KN/m y el peso sobre-impuesto es de 1.20 KN/m. Como las cargas son distribuidas uniformemente a lo largo de la sección transversal de la rampa y la luz entre vigas es igual a la suma de la luz libre más dos veces la mitad del ancho de las vigas de apoyo, ósea 3.50m, la reacción de sobre las vigas será igual.

$$\frac{(P.P. + P.S.I) * L_{APOYO}}{2} = \frac{(4.80 + 1.20) * 3.50}{2}$$

$$10.50 \text{ KN}$$

Como el análisis se hizo para un metro de profundidad, el valor hallado se distribuye a lo largo de las vigas de apoyo del modelo de sap2000. En la Fig. 18, puede verse las vigas inclinadas en las que se apoya la rampa modeladas, color café, y la carga distribuida sobre la misma a causa de la rampa vehicular.

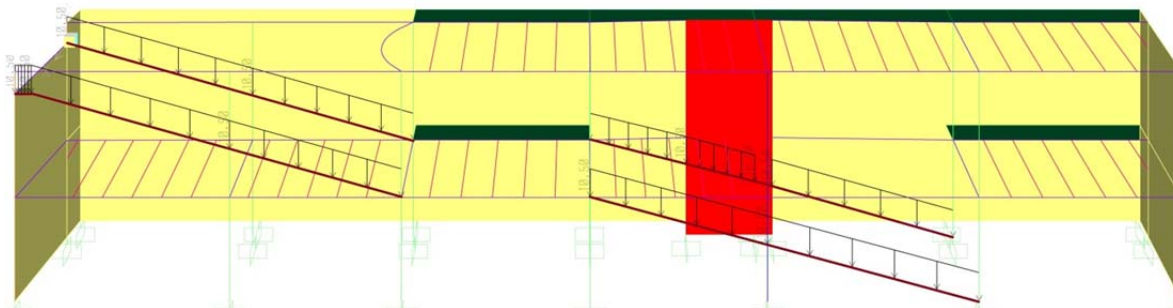
NOTA: Para el cálculo del peso y de las reacciones de las escaleras es posible encontrar algunas fórmulas según la luz libre, la longitud del pie y del contrapié y la forma de la escalera.

4.3.3.2 Asignación de las cargas al modelo sap2000

Dado que se tiene las reacciones en los elementos en los que se apoya la rampa, es posible siguiendo el ejemplo mostrado en el anexo 3 hacer que el programa calcule el peso de la rampa y lo distribuya en los pisos que interconecta, para esto es importante asignar las reacciones al caso de carga "DEAD" y configurarlo como origen de masa.

Como se menciona al inicio del capítulo 4.3.3 (Cálculo) el cálculo para la rampa ubicada del N+0.00 al N-5.60 es utilizada como ejemplo de la metodología cálculo mixto. En la Tabla 2 (Peso de la edificación) puede verse el peso de la rampa sobre la placa en el nivel N-2.80.

Fig. 18. Reaccion de rampa



4.3.4 TABLA DE RESULTADOS

Para obtener los datos presentados en la Tabla 2 (Peso de la edificación) es necesario que desde el momento en que se hace la Definición estructural mencionada en el Capítulo 3.3 se realice:

1. la Estructuración de la arquitectura para poder realizar el cálculo de las áreas, tal y como se muestra en las Columnas 5 y 7;
2. El Modelamiento de la estructura para el cálculo de la masa propia y de las cargas de las rampas y escaleras por medio de sap2000 tal y como se puede observar en las columnas 11 y 12.

NOTA: La Estructuración de la arquitectura y el Modelamiento de la estructura pueden verse en los capítulos 4.5 y 4.6 respectivamente.

Para realizar el cálculo de las áreas de la Tabla 2 se debe tener en cuenta que:

1. Con la ayuda del programa AutoCAD (Versión en inglés), se puede convertir las líneas en áreas con el comando "Region" el cual tiene propiedades de Área, perímetro, centroide, momentos de inercia, ect. Estas propiedades se pueden ver con el comando "Massprop". Además con los comandos "Union" y "Subtract" se puede agregar o restar área a la región inicial.
2. se debe discretizar las zonas que existen en cada piso tal y como se ve en la Fig. 19, N+42.60. El área que se analiza en esta figura, contorno de color morado, pertenece a la zona de uso residencial, su área es de 212.31 m². mientras que el área de la zona de zona social es de 27.12 m². Ver columnas 5 y 7 del nivel N+42.60
3. se debe sustraer los vacíos debido a las entradas de luz o a los ascensores; el área de las rampas y escaleras,

según indique el plano arquitectónico (Esto debido a que en ocasiones los arquitectos utilizan las zonas ubicadas por debajo de las rampas y escaleras, mientras en otras ocasiones no); y en lo posible el área de los elementos verticales dado que esta área en la placa esta contempla en el cálculo automático debido a las columnas.

Para que el programa sap2000 calcule la masa de los elementos que componen la estructura y después las cargas producidas por las escaleras y rampas, se corrió el programa definiendo como origen de masa "Define – Mass source" primero solo el caso de carga "PP" y después solo el caso "DEAD", como puede verse en la columna 11 y 12 de la Tabla 2.

Fig. 19. Cálculo de áreas por medio de AutoCAD

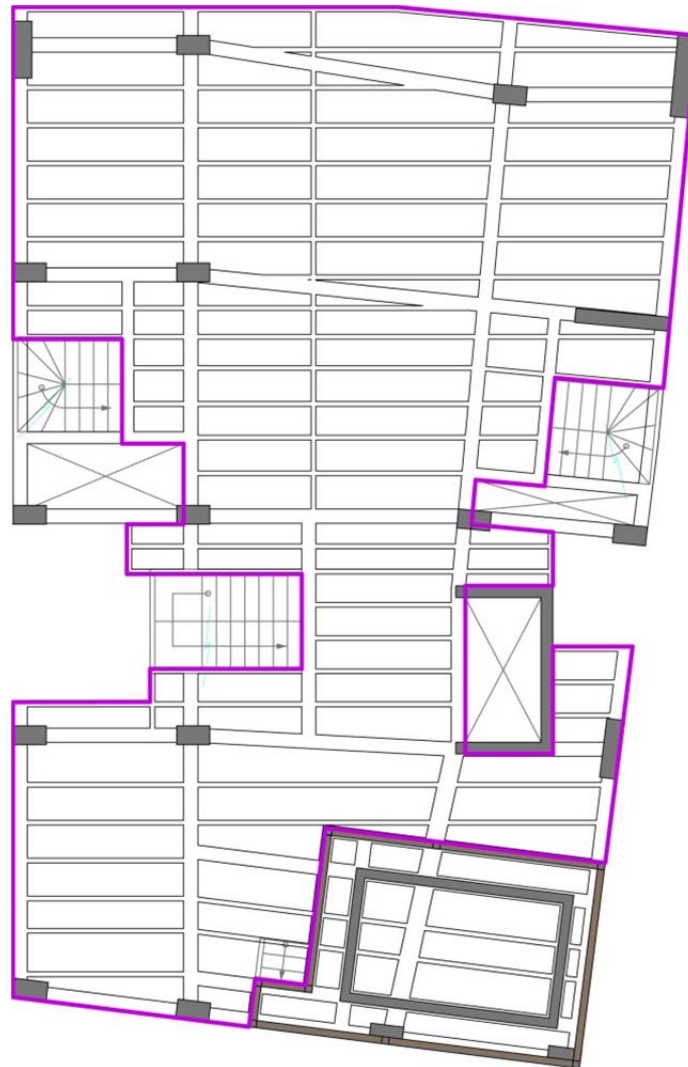


Tabla 2. Peso de la edificación

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Descripción	Nivel j [m]	h por piso [m]	h Global [m]	Área de placa 1 [m ²]	Densidad de placa 1 (Wd) [kN/m ²]	Área de placa 2 [m ²]	Densidad de placa 2 (Wd) [kN/m ²]	Peso placa 1 [kN]	Peso placa 2 [kN]	Peso VT, VG, COL., MC, y ME [kN]***	Peso Rampas y Esalera [KN]	PESO TOTAL
Cubiert Asc	47.40	2.00	46.80					0.0	0.0	85.45	32.18	117.6
Cubierta G	45.40	2.80	44.80	161.79	6.22			1006.4	0.0	688.10	0.00	1694.5
Zona Social	42.60	2.80	42	212.31	6.22	27.12	11.34	1320.6	451.6**	1484.73	51.99	3308.9
						10.29	14.00					
PentHouse	39.80	2.80	39.20	259.36	6.22			1613.2	0.0	1461.97	76.32	3151.5
P13	37.00	2.80	36.40	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P12	34.20	2.80	33.60	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P11	31.40	2.80	30.80	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P10	28.60	2.80	28	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P9	25.80	2.80	25.20	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P8	23.00	2.80	22.40	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P7	20.20	2.80	19.60	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P6	17.40	2.80	16.80	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P5	14.60	2.80	14.00	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P4	11.80	2.80	11.20	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P3	9.00	2.80	8.40	259.36	6.22			1613.2	0.0	1436.17	42.18	3091.6
P2	6.20	2.80	5.60	259.36	6.22			1613.2	0.0	1512.79	42.18	3168.1
Mezanine	3.40	2.80	2.80	178.38	6.22			1109.5	0.0	1074.87	50.48	2234.9
Parq	0.60	3.40										
S1	-2.80	2.80									298.32*	
												47683

* El Valor mostrado en el N-2.80 columna 12 corresponde al peso de la rampa calculado con base a lo expuesto en el capítulo 4.3.3 (Calculo Mixto. Este valor no se tiene en cuenta para el análisis sísmico debido a lo mencionado en el capítulo 4.3.2.3 (Observaciones); **El peso de la placa 2 (Columna 10) en la zona social es la suma de multiplicar las densidades de uso zona social (11.34 kN/m²) y Debido a fluidos con densidad definida (14.00 kN/m²) por sus respectivas áreas; ***VT: Vigueta, VG: Viga, COL: Columna, MC: Muro de contención, ME: Muro estructural

4.4 CÁLCULO DE LAS FUERZAS ARBITRARIAS

Para el cálculo de las fuerzas arbitrarias, Se prosigue calculando el coeficientes de distribución de las fuerzas sísmicas, C_{vx} a través de la formula A.4.3-3 de NSR-10. Ec. 2 del presente libro. La masa m_x , m_i en la formula de C_{vx} se multiplicara por la gravedad para trabajar la ecuación como peso w_x , w_i , dado que en capítulo 4.3 se calculó el Peso del edificio

$$\text{Ec. 2. } C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)}$$

$$\text{Ec. 3. } F_x = C_{vx} V_s$$

El coeficiente C_{vx} hallado para cada nivel se multiplica por un cortante basal arbitrario, V_s el cual será igual a 10000KN. Este procedimiento garantiza que la distribución de las fuerzas sísmica en cada nivel se haga racionalmente tal y como lo expresa la norma en el numeral A.4.2.1. En la Tabla 3 se muestra los cálculos acabados de mencionar.

El valor de k es un exponente relacionado con el periodo, el cual se calculó en el capítulo 4.1 (Cálculo del periodo aproximado.) y según el rango en el que se encuentre el periodo se utiliza una de las siguientes formulas:

$$\text{➤ } T \leq 0.5 \text{ seg. } \quad k = 1.0$$

$$\text{➤ } 0.5 < T \leq 2.5 \text{ Seg. } \quad k = 0.75 + 0.5T$$

$$\text{➤ } T > 2.5 \text{ seg. } \quad k = 2.0$$

Como el periodo aproximado (T_a) es 1.497 el valor de k se calcula con la segunda fórmula, por lo tanto $k=1.4985$

Para comprobar que el cálculo de las fuerzas arbitrarias este correcto la sumatoria de los coeficientes de distribución de carga vertical debe ser igual a " $C_{vx}=1$ "

NOTA: Como se mencionó anteriormente las alturas h_x y h_i deben medirse desde la base y la base para el caso de este edificio es la losa donde mueren los muros de contención, esto debido a que esta losa y las inferiores no pueden desplazarse lateralmente y por lo tanto esas masas no se deben considerar en el análisis sísmico.

4.5 ESTRUCTURACIÓN DE LA ARQUITECTURA⁴

En los anteriores capítulos se han mostrado los pasos para el cálculo de las fuerzas sísmicas arbitrarias, pero es necesario tener estructurada y modelada la edificación para poder hallar el periodo

⁴ El termino "Estructuración de la arquitectura" es utilizado por el autor para referirse a la acción de ubicar los elementos que componen el sistema de resistencia sísmica tales como: Muros, Columnas y Vigas; y a los que en este proyecto se quiere modelar como vigas auxiliares y viguetas.

real de la edificación y las fuerzas sísmicas con las que se analizará las derivas.

En esta sección se presentará la estructuración de la arquitectura, que es en otras palabras la ubicación de los elementos verticales (Columnas y muros) y los elementos horizontales (Vigas y viguetas) con respecto a la arquitectura.

4.5.1 ELEMENTOS VERTICALES

En esta edificación como se puede apreciar en la Fig. 3, Fig. 4 y Fig. 5, el arquitecto definió algunos elementos

verticales, los cuales según la experiencia del autor, no dará la rigidez suficiente para cumplir las derivas. Para que mejorar el desempeño de la estructura frente al sismo es necesario aumentar las secciones de los elementos ya existentes y adicionar otros elementos.

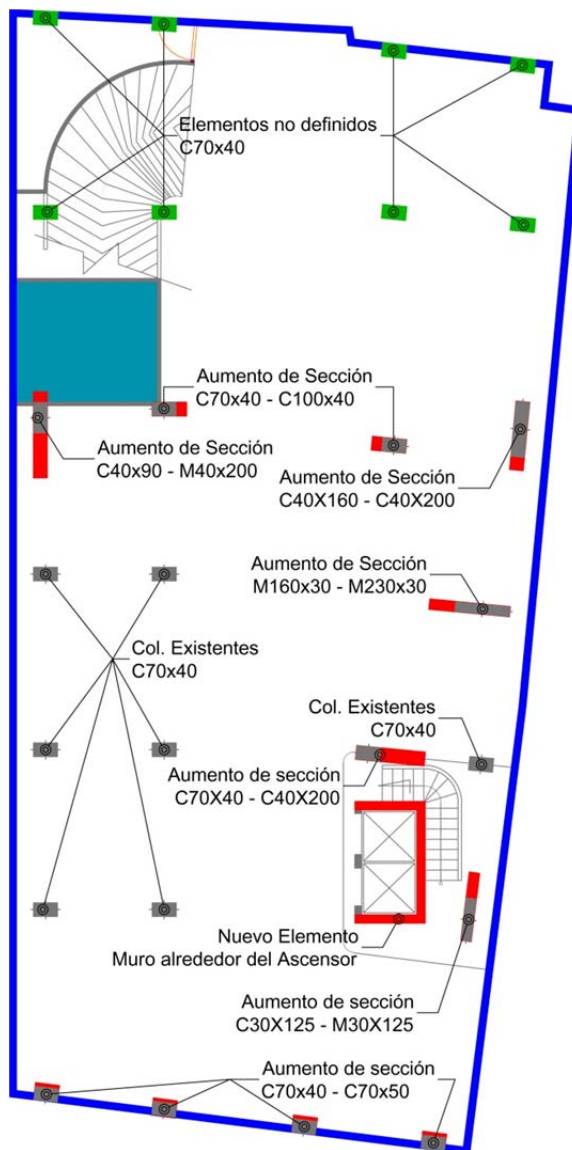
En la Fig. 20 se pueden ver las columnas y los muros definidos por el arquitecto de color gris y los no definidos de color verde; además se puede apreciar los elementos agregados y modificados por el autor de color rojo.

Tabla 3. Cálculo de fuerzas arbitrarias

Descripción	Nivel j	h _j	W _j	w _j *(h _j) ^k	C _{vj}	F _{arb}
Cubierta Asc	N+47.4	46.80	117.62	37441.4	0.006	61.8
Cubierta G	N+45.4	44.80	1694.46	505209.8	0.083	833.4
Zona Social	N+42.6	42.00	3308.92	895623.2	0.148	1477.5
Pent House	N+39.8	39.20	3151.51	769234.0	0.127	1269.0
P13	N+37.0	36.40	3091.58	675289.9	0.111	1114.0
P12	N+34.2	33.60	3091.58	598962.0	0.099	988.1
P11	N+31.4	30.80	3091.58	525742.5	0.087	867.3
P10	N+28.6	28.00	3091.58	455770.4	0.075	751.9
P9	N+25.8	25.20	3091.58	389205.1	0.064	642.1
P8	N+23.0	22.40	3091.58	326232.0	0.054	538.2
P7	N+20.2	19.60	3091.58	267070.3	0.044	440.6
P6	N+17.4	16.80	3091.58	211985.3	0.035	349.7
P5	N+14.6	14.00	3091.58	161306.8	0.027	266.1
P4	N+11.8	11.20	3091.58	115460.4	0.019	190.5
P3	N+9.0	8.40	3091.58	75026.1	0.012	123.8
P2	N+6.2	5.60	3168.19	41876.6	0.007	69.1
Mezanine	N+3.4	2.80	2234.89	10455.0	0.002	17.2
Parq	N+0.6					
			47682.93	6061890.81	1.000	10000

Ta	1.497
k	1.4985

Fig. 20. Elementos verticales



Las columnas que aparecen en la Fig. 20 de color verde es debido a que el arquitecto no propuso columnas para la zona trasera del edificio, por lo cual el autor debió adicionarlas. Estos elementos nacen en la cimentación N-5.60 y terminan

en el N+0.60m, estos pisos son para el uso del parqueo. Se debe tener cuidado que cuando suceda este tipo de situaciones los elementos adicionados no perturben los espacios definidos por el arquitecto.

Para agregar nuevos elementos que aporten rigidez a la estructura sin afectar los espacios, el perímetro del ascensor es la zona ideal. En la Fig. 20 se muestra este caso.

En la configuración estructural también es importante tener en cuenta la participación de los efectos del suelo sobre la estructura. En este caso y como se ve en el corte A-A, Fig. 9. El nivel de sótano llega al N-5.60, por lo tanto es necesario crear un muro de contención perimetral a la estructura que soporte la presión del suelo, en la Fig. 20 se puede ver de color azul.

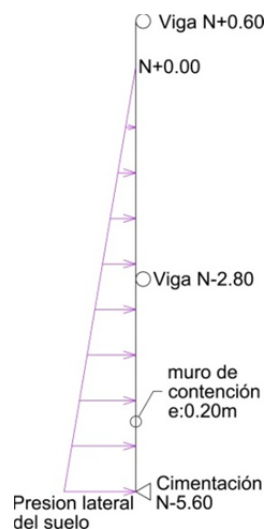
Como el muro se idealizará y diseñará simplemente apoyado en las vigas que se encuentran en la cimentación y niveles de entresijos, (Ver Fig. 21), este elemento será modelado en sap2000 junto con el resto de la estructura, sus especificaciones se encuentran en el capítulo 4.6.3 (Área)

4.5.2 ELEMENTOS HORIZONTALES

Los elementos horizontales corresponde a vigas y viguetas, las primeras se sub-

dividen en vigas cargueras, las cuales soportan el peso propio, sobre impuesto y vivo en la losa; de enlace, que amarran la estructura en dirección paralelo al armado de la losa, esto para dar estabilidad a la estructura; y vigas auxiliares, las cuales soportan las reacciones debido a las rampas, escaleras, ect. Las viguetas son las que reciben toda la carga del uso del piso.

Fig. 21. Idealización del muro de contención



Como se mencionó en el capítulo 4.5.1 (Elementos verticales), perimetral a la estructura se diseñara un muro de contención. Para que este elemento funcione al recibir la presión lateral del suelo deben disponerse una serie de vigas que conecten el muro con la estructura como tal. En la Fig. 22, N-2.80 y N+0.60 se puede observar estas vigas.

Se puede observar en la estructuración de los niveles N-2.80 y N+0.60 Fig. 22 que las viguetas no pasan de extremo a extremo de la edificación, es decir, desde el muro de contención ubicado antes del eje A hasta el muro de contención ubicado después del eje D. Esto es debido a que en el momento de la construcción se hace incómoda y demorada la ubicación de aligeramientos tan pequeños. Para solucionar este inconveniente se plantea las viguetas desde la viga del eje A hasta la viga del eje D y se deja el mismo espesor de la loseta superior e inferior de la losa nervada desde los muros de contención hasta las vigas A y D respectivamente, teniendo cuidado que la separación máxima en esta zona sea la estipulada por la NSR-10.

En la Fig. 23. Se puede observar que en el nivel 3.40 y los niveles del piso tipo se encuentra unos elementos llamados CCONF, MCONF Y VCONF, los cuales corresponden a las columnas, muros y vigas de confinamiento. Estos elementos son propuestos para apoyar los descansos de las escaleras para que de este modo el diseño de las mismas sea simplemente apoyado en vez de portante. Lo anterior se tuvo en cuenta para el cálculo del peso de la escalera en sobre las placas (Capítulo 4.3.3 - Calculo). Para tomar un ejemplo,

en el caso de la escalera del piso tipo, las reacciones producida por esta se aplicaron sobre la viga V40B(3) y sobre la viga de confinamiento, este ultima a la vez transmite la carga a la columna, la cual carga las vigas en voladizo V40B(1) y V40B(2) con una fuerza puntual.

En el caso de la escalera del N+3.40 al N+6.20 las reacciones se distribuyen en

las vigas V40B(3) y V30B(1), esta última viga es el apoyo del muro MCONF y la columna CCONF, los cuales sostienen la escalera.

Por último, cabe aclarar que debido a que las condiciones de apoyos son iguales en las dos escaleras se toman como una escalera tipo, pero las reacciones sobre la placa se distribuyen de forma diferente

Fig. 22. Planta estructural. a) Izquierda N-2.80; b) Derecha N+0.60

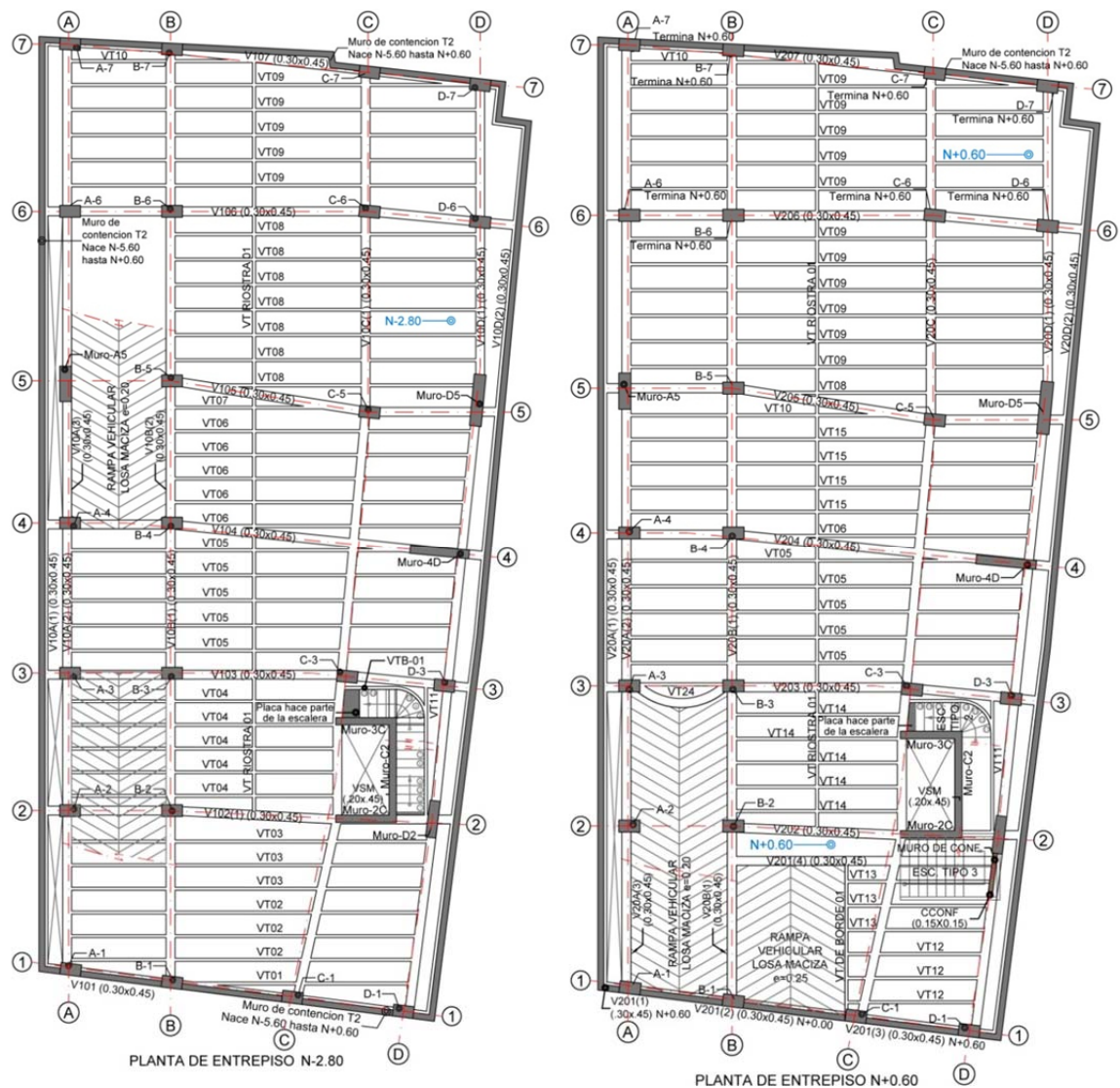
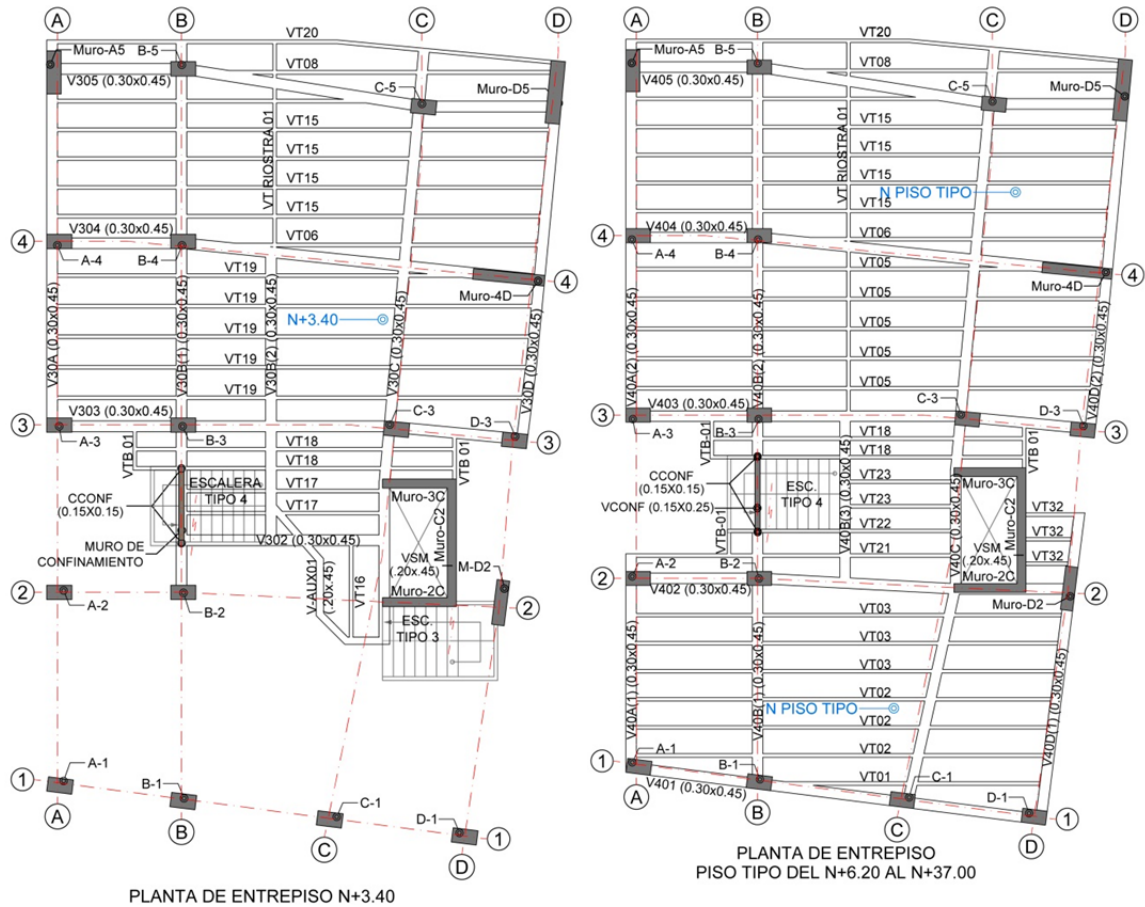


Fig. 23. Panta estructural. a) Izquierda N+3.40; b) Derecha Nivel Piso Tipo



4.5.3 NOMENCLATURA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

➤ EJES

Antes de asignar una nomenclatura a los elementos estructurales se deben definir la ubicación de los ejes, en algunos casos el arquitecto los define con anterioridad, sino debe ser el ingeniero civil quien los ubique.

En la medida de lo posible los ejes deben pasar por el centroide de las columnas, pero lo anterior no debe generar demasiados zigzag. Los ejes horizontales normalmente se nombran por números mientras que los verticales con letras.

Si llegará el caso que los ejes principales no son suficientes para nombrar las vigas

y columnas se puede utilizar ejes secundarios, no se recomienda que sea nomenclatura compuesta, AA, A1, 1A, sino más bien 1', B''.

➤ COLUMNAS

Para la nomenclatura de las columnas se parte de la base que siempre se escribe primero el eje de la letra y después el del número que pasa por la columna, sino no se encuentra en los ejes es la letra del eje a la izquierda y el número del eje abajo. En la Fig. 22 se puede ver los nombres de algunas columnas A-6, B-5 ó B-4. Si dado el caso se presenta una columna por donde no pasan los ejes principales y la nomenclatura acabada de mencionar ha sido utilizada por otro elemento, se puede utilizar el nombre de la columna más cercana seguido de una numeración, ejemplo D-1, D-1(1) y D-1(2), donde D-1 es la columna más cercana a los ejes.

➤ MUROS ESTRUCTURALES

En la Fig. 23, N+3.40 puede verse la nomenclatura de los muros estructurales ubicados al contorno del ascensor, a diferencia de las columnas los muros inician con el prefijo "M" seguido del nombre del muro. La nomenclatura de estos elementos es diferente al de las columnas, dado que después del prefijo se escribe el número o letra del eje paralelo

por el que pasa el muro, o sino, el eje paralelo más cercano a la izquierda o abajo; y después el primer eje de izquierda a derecha o de abajo a arriba que pase transversalmente o más cercano.

➤ MUROS DE CONTENCIÓN

Estos inician con el prefijo MC y después se enumeran según el tipo. Ejemplo MC-Tipo 2 la tipología depende del número de vanos, la luz libre de los vanos y el tipo de carga, este último factor es dependiente de la caracterización del suelo y la profundidad en el que se encuentre el muro. Ver Fig. 22

➤ VIGAS PRINCIPALES Y DE ENLACES

Las vigas inician con el prefijo V seguido del número del piso en el que se encuentra, 0 cimentación, 1 primera placa N-2.80 y así sucesivamente; luego el eje paralelo a la viga, 05 viga en el eje 5, 0B viga en el eje B; si el caso así lo requiere se agrega un número consecutivo para indicar el número de vigas ubicados en el mismo eje o cercanos a este. Ejemplo V10C(1) y V10C(2), en el N-2.80. Por último se escribe las dimensiones del elemento.

➤ VIGAS AUXILIARES

Algunas vigas tiene nombres especiales, esto es para indicar su función, VRV (viga

rampa vehicular N-2.80 y N+0.60, esta viga apoya la rampa vehicular mencionada en el capítulo de 4.3.3; VSM (Viga sobre muro), esta viga cumple la función de confinar los muros alrededor del ascensor en todos los entre pisos.

➤ VIGUETAS

Estos elementos inicial con el prefijo VT y al igual que los muros de contención estos elementos se nombran por tipos. La nomenclatura depende del número del vano, la longitud entre ellos, de las cargas aplicadas y de las dimensiones de las viguetas. El ejemplo puede verse en la Fig. 22 y Fig. 23.

NOTA: La estructuración presentada en este capítulo y en el Anexo 5 es preliminar, esto quiere decir que con estas secciones puede que las derivas no cumplan o que la resistencia de algunos elementos no sea suficiente o al contrario. En el Anexo 5 se encuentran los planos estructurales, con los cuales el lector puede observar de una forma más clara la estructuración y la nomenclatura de los elementos que componen el edificio.

4.6 MODELAMIENTO DE LA ESTRUCTURA

Mientras se ha desarrollado el cálculo del periodo fundamental, el peso de la

edificación, las fuerzas arbitrarias y la estructuración de la arquitectura, se ha venido modelando la estructura en el programa sap2000. En este capítulo se mostrará los datos más relevantes que se han tenido en cuenta en el modelamiento.

Es importante que cuando se abra un archivo nuevo en sap2000. En *File - New model* se configure el archivo en las siguientes unidades: kN – m - °C. Las cuales son las utilizadas en este libro.

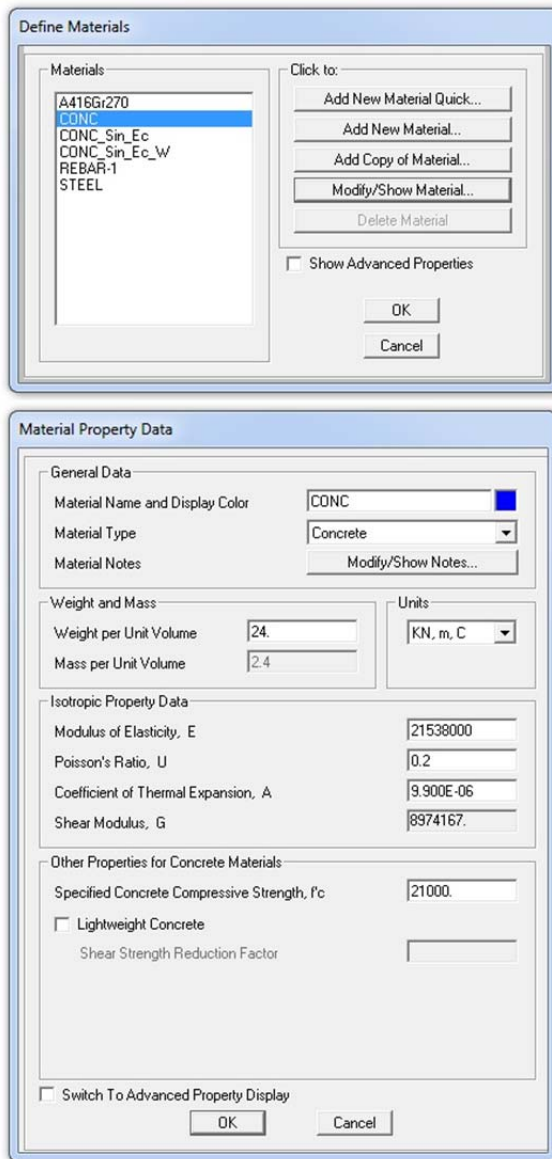
NOTA: Debido a la necesidad de diseñar los elementos que componen el sistema de resistencia sísmica ante las combinaciones presentadas en el capítulo 3.3.3, se hace necesario modelar en sap2000 todos los elementos ubicados por debajo del nivel de base. Lo anterior incluye los muros de contención, los cuales se verán afectados en las combinaciones en las que interviene la presión del suelo.

4.6.1 MATERIALES

Para iniciar el modelamiento, primero se define los materiales en sap2000:

En *Define - Materials* y se modifica el material que por defecto tiene sap2000 "CONC". En la Fig. 24 se puede ver los valores definidos para el análisis de la edificación.

Fig. 24. Definición de materiales – a) Define materials; b) Material property Data



Fuente Sap2000 "Define materials"

A continuación se muestra de donde surgen estos valores:

- Con base en la Tabla B.3.2-1 de la NSR-10 extraigo la información de la densidad del concreto 24KN/m³.

- Para la resistencia a compresión ($f'c$) se utiliza el preparado normalmente 21 Mpa. Dado que es el más usual y económico.
- El módulo de elasticidad (E_c) se puede ver en C.8.5.1, $4700\sqrt{f'c}$ y el módulo de Poisson se encuentra en el comentario del mismo numeral, 0.20.
- Dado que solo se analizara la respuesta de la edificación ante el sismo el valor del coeficiente de expansión térmica se deja según lo predefinido por el programa.

Se define además otros dos materiales de concreto llamados "CONC_Sin_Ec" y "CONC_Sin_Ec_W". En el primero se define el módulo de elasticidad igual a cero, tal y como se ilustra en el Anexo 4 Fig. 8 (Modelo sin viguetas), esto se hace para que al modelar las viguetas, las mismas no afecten la rigidez de los pisos; y en segundo se define el módulo de elasticidad y el peso por unidad de volumen igual a cero para que el peso y la rigidez de las vigas de confinamiento sobre los muros alrededor del ascensor no se tomen en cuenta, lo anterior es debido a que las vigas están embebidas en los muros por lo cual el modelamiento de las mismas no debe generar peso ni rigidez adicional.

4.6.2 BARRAS

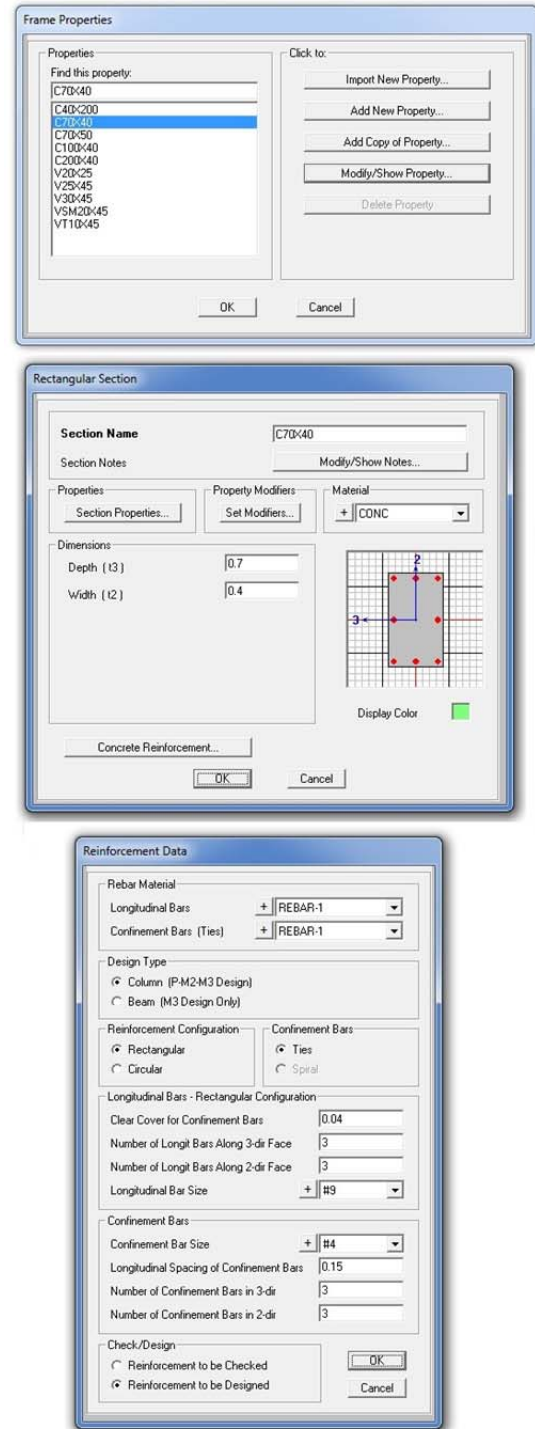
Para agregar un elemento se dirige a *Define – Section properties - Frame Section*, Se selecciona *Add New property*; en el siguiente cuadro *Add New Section property* en la lista de *Frame section property Type* se selecciona *Concrete* y se escoge la sección geométrica correspondiente al elemento;

En el cuadro de *Rectangular section*, (si el elemento es rectangular como la columna que se muestra en la Fig. 25) se nombra, se dimensiona y se asigna el material del elemento también es posible cambiar las propiedades de masa, peso, momentos de inercia, Área, y demás, del elemento si fuese necesario en *property modifier*, es importante antes de salir de este cuadro seleccionar *concrete reinfornent*; En este nuevo cuadro *Reinfornent Data* es importante indicar el tipo de diseño en *Design type* ya sea columna o viga.

Los *Frame* modelados en esta estructura son:

- Columnas: En sap2000, para nombrar las columnas se utiliza el prefijo es C seguido de la dimensión del eje X y después la dimensión del eje Y en centímetros. C40x200, C70x0.40, C70x50, C100x40 y C200x40.

Fig. 25. Definición del elemento – a) Frame Properties; b) Rectangular Section; c) Reinforcement Data



Fuente sap2000 "Frame properties"

NOTA: Como la edificación se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia, la norma en el Prefacio – Apéndice I - Figura 8 hace referencia a que estas estructuras se deben diseñar con elementos que tengan capacidad de disipación de energía moderada (DMO). Por tanto las columnas debe cumplir el numeral C.21.3.5 de la norma NSR-10. Aunque en este numeral no especifique el mínimo valor de la relación de mínima y máxima dimensión, en la empresa se toma como muro cualquier elemento vertical que su relación sea menor a 0.20, esto es para estructuras DMO.

➤ Vigas: En Vigas el prefijo es V y se nombran las vigas escribiendo la dimensión de la base y después la altura, las dimensiones son en centímetros. La V20x25 es utilizada para el apoyo de las escaleras que van del N-5.60 al N+0.60; La V25x45 es utilizada como viga auxiliar, la cual no soporta cargas elevadas; Las V30x0.45 son vigas cargueras y de enlace, utilizadas además para confinar los muros de contención y como apoyo de las rampas vehiculares; La VSM20x45 es una viga sobre el muro estructural alrededor del ascensor, utilizada para confinar el mismo.

➤ Viguetas: El prefijo es VT seguido de las dimensiones en centímetros de la base y altura. VT0.10x0.45 transmite las cargas del entepiso a las vigas principales. Aunque las viguetas no hacen parte del sistema de resistencia sísmica se modelan en sap2000 para hacer más fácil la asignación de las cargas verticales.

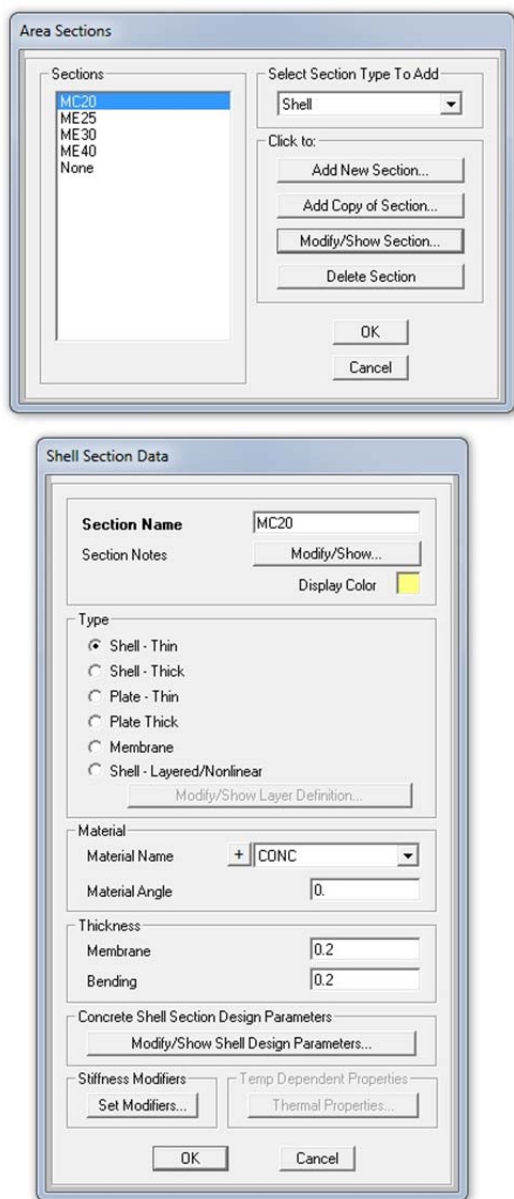
NOTA: El material utilizado para las columnas y vigas es "CONC", el de la vigueta es "CONC_Sin_Ec" y el de la viga de uso especial VSM20x45 (Vigas sobre muro) es "CONC_Sin_Ec_W".

4.6.3 ÁREA

Para configurar un nuevo muro se dirige a *Define – Section properties - Area Section*; en el cuadro de *Section Data* se escoge en *select selection Type To Add* un elemento tipo *Shell* y después se da clic en *Add New Section*.

En el siguiente cuadro *Shell Section Data* se encuentra las opciones de *Type (Shell, Plate and Membrane)*, las cuales son importantes de comprender dado que el correcto uso de estas opciones ahorrará tiempo y recursos al procesador, además en este cuadro es posible configurar el material, espesor y nombre de la sección tal y como se muestra en la Fig. 26.

Fig. 26. Definición de áreas – a) Area Sections; b) Shell Section Data



Fuente Sap2000 "Area Sections"

Para explicar las diferencias entre *plate*, *membrane* y *Shell* el lector debe modelar en Sap2000 una losa en el plano X-Y, además perimetral a la placa debe existir una barra tal como se ve en la Fig. 27.

Para el caso de análisis de un elemento tipo *plate* el programa en cada uno de los cuatro nodos de la losa analiza tres grados de libertad, un desplazamiento que es normal al plano (en este caso al eje Z) y dos rotaciones alrededor de los ejes coplanares o tangenciales del plano (ejes X y Y), Ver Fig. 27. Dado que la matriz de rigidez del elemento *plate* solo tiene en cuenta los grados de libertad mencionados, en caso tal que se aplique alguna carga coplanar a la losa (a través del elemento barra dado que el elemento área no reciben estas fuerzas por si sola) la deformación será debido a la rigidez del elemento barra únicamente dado que el elemento área no aporta rigidez (En la Fig. 27 se muestra la carga sobre la losa mediante la aplicación de una fuerza "Fx" en la barra y en la Fig. 30 se muestra la deformación debido a esta carga);

Para el caso de un elemento área de tipo *membrane* el programa en cada nodo analiza los desplazamientos en los ejes tangenciales al plano (como se sigue en el mismo ejemplo seria en la dirección X y Y) y la rotación con respecto al eje normal al plano (Eje Z), ver Fig. 29. Lo anterior conlleva a que las deformaciones debidas a la aplicación de fuerzas tangencialmente estén relacionadas con la rigidez de los elemento barra y muro, tal como se ve en

la Fig. 31; en caso que las cargas sean perpendiculares a la losa (como el peso propio) la deformación tenderá al infinito debido a que no existe rigidez en la matriz de rigidez para este grado de libertad.

Fig. 27. Elemento área (losa en el plano X-Y)

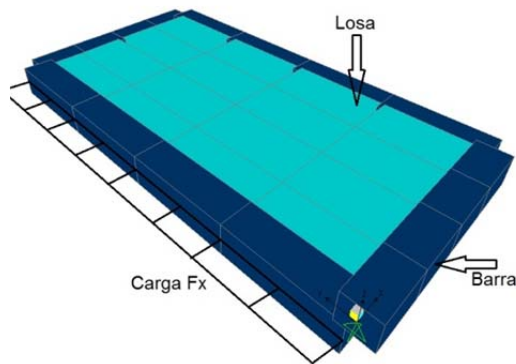
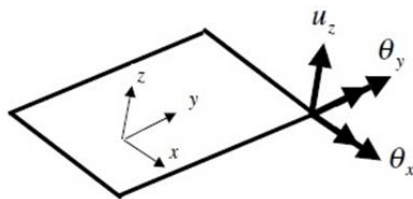
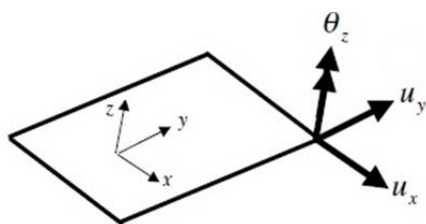


Fig. 28. Grados de libertad en elemento área de tipo "Plate"



Fuente *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures* de Edward L. Wilston

Fig. 29. Grados de libertad en elemento área de tipo "membrane"



Fuente *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures* de Edward L. Wilston

Fig. 30. Deformación de un elemento área de tipo "Plate"

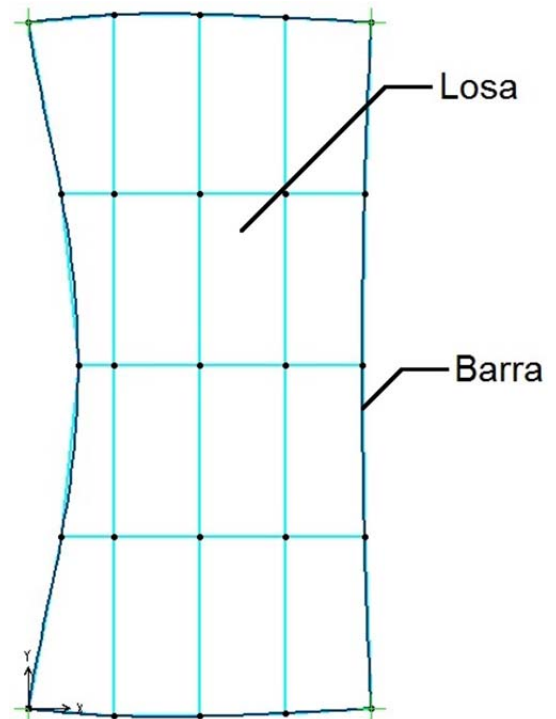
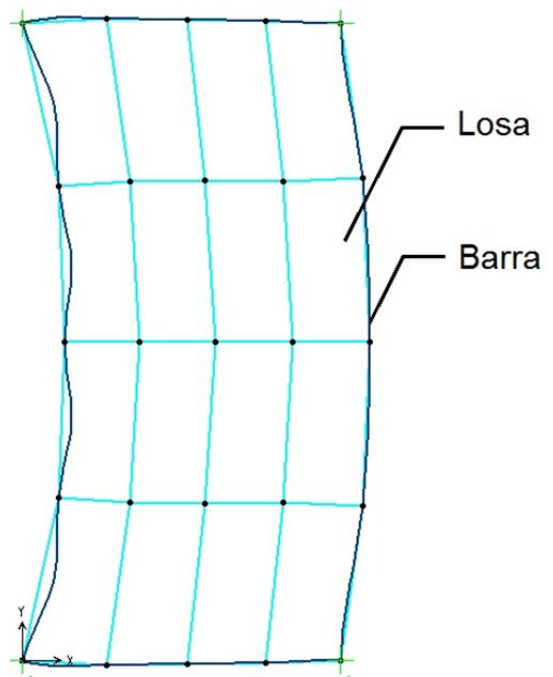


Fig. 31. Deformación de un elemento área de tipo "membrane"



Ahora, para complementar lo anterior, si se desea analizar el peso propio y sobre impuesto en una placa, es posible hacerlo seleccionando el elemento área de tipo *Plate*, pero si lo que se desea es analizar los cortantes y el momento sobre un muro portante por la presencia de un sismo se debe modelar el elemento área como tipo *membrane*. Es importante aclarar que en caso que se seleccione una losa como elemento de área de tipo *membrane*, al aplicar las fuerzas sobre la losa, esta transmitirá los efectos de las fuerzas a los *joints* perimetrales que soportan la losa y los desplazamientos producidos en estos elementos serán debido a la reacción de la losa sobre ellos.

Si se desea realizar el análisis de un elemento plano donde cada nodo tenga seis grados de libertad se debe utilizar un elemento tipo *Shell*. Este tipo de elementos de area es útil cuando se realiza el análisis de una edificación, donde la fuerza sísmica, las cargas de las placas, y demás efectos, concurren a los *joint* del muro o la placa en cualquier dirección.

En cierta forma, el *Shell* es la suma del caso *plate bending* y *membrane*, tal y como se muestra en la Fig. 32, por este motivo en *Thickness* del cuadro de *Shell Section Data* se debe escribir dos

espesores del análisis tipo *membrane and plate bending*.⁵

Para explicar el uso del sufijo *Thin* y *Thick* para elementos *Shell* y *Plate*, se utilizará la de deformación por el método de carga unitaria, ecuación mostrada en el libro de *Análisis Estructural I de Esperanza Maldonado y Gustavo Chio Cho en la página 23 capítulo 3.3.2 - cálculo de desplazamientos totales por el método de carga unitaria*. Ec. 4 del presente libro.

$$\text{Ec. 4. } \int \frac{nN}{E \cdot A} dl + \int \frac{vV}{G \cdot Ar} dl + \int \frac{mM}{E \cdot I} dl + \int \frac{tT}{J \cdot G} dl$$

$$\text{Ec. 5. } \int \frac{vV}{G \cdot Ar} dl + \int \frac{mM}{E \cdot I} dl$$

En la Ec. 4, de izquierda a derecha se puede observar la deformación producida por la carga axial, cortante, momento y torsión en cualquier elemento. Dado que las secciones de tipo *plate* y *Shell* analizan las deformaciones en el eje normal a su plano, estos tipos de elemento de área tienen en cuenta las cargas de cortante y momento. Con base a lo anterior, cuando al programa se le asigna el sufijo *Thick*, El programa tiene en cuenta la deformación

⁵ Para profundizar más sobre los conceptos de *plate*, *membrane and Shell* puede leer los capítulos 8, 9 y 10 *Plate Bending elements*, *Membrane elements with rotations* y *shells elements* del libro *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures* de Edward L. Wilston

producida por las fuerzas actuantes en la Ec. 5, en cambio cuando se le asigna el sufijo *Thin*, sap2000 desprecia la deformación producida por el cortante dado que es muy pequeño en comparación a la deformación producida por el momento.

Cabe mencionar, que como el elemento *membrane* no tiene grado de libertad para desplazamiento en el eje perpendicular al plano, el programa no se muestra los sufijo *Thin* y *Thick*.

Teniendo claridad sobre las opciones presentada por el programa sap2000, se configura los elementos tal y como se ilustra en la Fig. 26.

- Se nombra el área con el prefijo MC si pertenece a muro de contención y ME si son muros estructurales, después se escribe en centímetros el espesor del

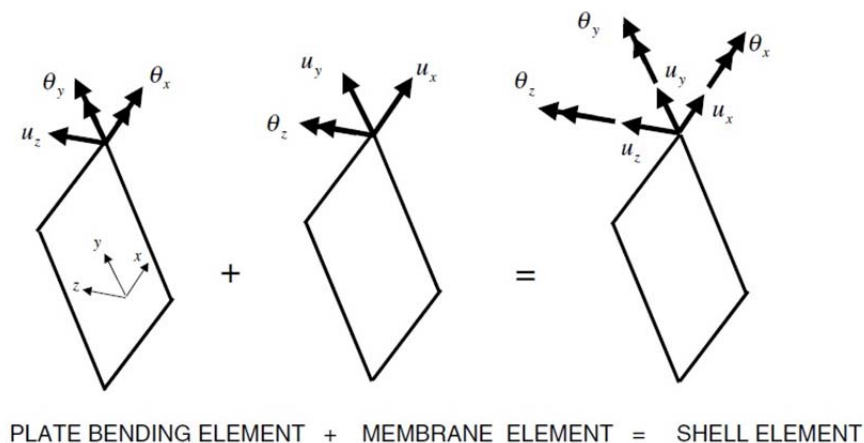
muro. MC20, El muro de contención es un muro de concreto reforzado utilizado para resistir las fuerzas horizontales producidas por el empuje de tierra; ME25, ME30, ME40, se definen muros estructurales si la relación de la menor dimensión sobre la mayor dimensión es menor a 0.20 para edificaciones (DMO).

4.6.4 CASOS DE CARGAS

Como se mencionó en el capítulo 3.4 (Enfoque) las cargas que se analizarán son las necesarias para el análisis de las derivas, las cuales son:

- PP: Carga muerta por peso propio, utilizada en el capítulo 4.3.2 (Calculo) para calcular el peso propio de las columnas, muros estructurales y de contención, vigas y viguetas. Se define *type*: "DEAD" y en *self weight Multiplier*: "1";

Fig. 32. Formation of Flat Shell Element



Fuente *Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures de Edward L. Wilston*

- Dead: Carga muerta sobre impuesta, utilizada en el capítulo 4.3.3 (Calculo) para calcular el sobre impuesto en la estructura. Se define *type*: “DEAD” y en *self weight Multiplier*: “0”;
- L y Lr: Carga viva y carga viva aplicada sobre la cubierta. Se definen *type*: “LIVE” y en *self weight Multiplier*: “0”;
- F: Cargas debido al peso y presión de fluidos con densidades bien definidas. Se define *type*: “OTHER” y en *self weight Multiplier*: “0”;
- Fs_arb: Fuerza sísmicas arbitrarias para el cálculo del periodo de la edificación, como el cálculo del periodo se debe hacer en las dos direcciones es necesario crear dos casos de carga según la dirección de estudio, Fsx_arb y Fsy_arb. Se define *type*: “QUAKE” y en *self weight Multiplier*: “0”, En este tipo de carga es posible agregar un *Auto Lateral Load*, pero por el momento se deja *none*;
- Fs: fuerzas sísmicas para el cálculo de las derivas, como en el caso anterior es necesario aplicar las cargas horizontales en cada dirección de estudio por lo tanto se crea dos casos de cargas Fsx y Fsy. Además se crea dos casos de carga Mz_Fsx y Mz_Fsy con los cuales se tendrán en cuenta

para la torsión accidental (Este tema se profundizará en el capítulo 5.2 - Desplazamiento horizontal causado por efectos torsionales) Estos casos se definen *type*: “QUAKE” y en *self weight Multiplier*: “0”, En estos tipos de carga es posible agregar un *Auto Lateral Load*, pero por el momento se dejará *none*;

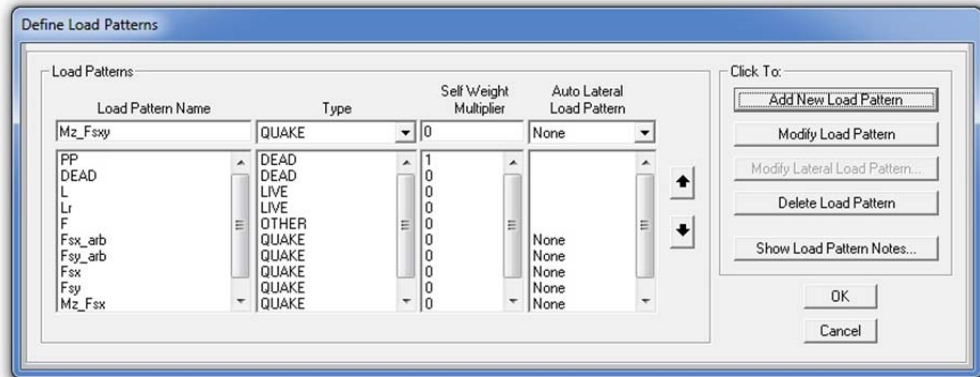
Para agregar estos casos de cargas se dirige a *Define – Load patterns*. En la Fig. 33. Se muestra las configuraciones.

4.6.5 ANÁLISIS DE CASOS DE CARGAS

En *define - Load cases* es posible agregar nuevos casos como el modal y calcular fuerzas sísmicas a través de este tipo de análisis, también es posible configurar los casos de cargas para que el análisis de estos se realice de forma lineal, no lineal, estático, hiperestático, entre otras opciones que presenta este cuadro.

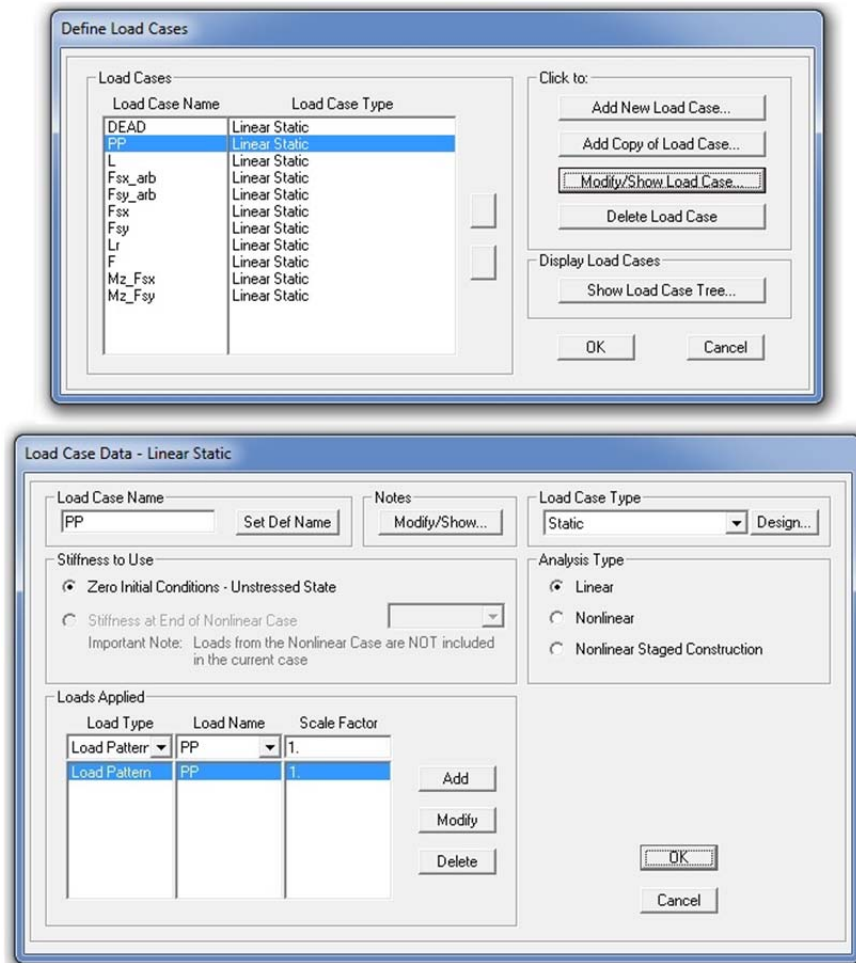
En la Fig. 34 se muestra el cuadro de análisis de casos de carga y la configuración predeterminada para el caso “PP”. Como se podrá notar en el cuadro *Define Load Cases Data* el programa configura por defecto las cargas como estáticas con análisis lineal, por el momento los casos de carga se dejan tal y como el programa lo configura.

Fig. 33. Casos de Carga – Define Load patterns



Fuente Sap2000 "Define Load Patterns"

Fig. 34. Analisis de Casos –a) Define Load Cases; b) Analysis Cases Data



Fuente Sap2000 "Define Load Cases"

4.6.6 COMBINACIONES

Para realizar el cálculo de las derivas se debe analizar la pertinencia de tener en cuenta los efectos ortogonales indicados en la norma NSR-10 en el numeral A.3.6.3, además se debe desplazar las fuerzas sísmicas un 5% la dimensión de la edificación, medida perpendicularmente la dirección de la aplicación de la fuerza, lo cual la norma NSR-10 en el numeral A.3.6.7.1 denomina Torsión accidental. Estos temas se profundizan en los capítulos 4.10 (Efectos ortogonales) y 5.2 (Desplazamiento horizontal causado por efectos torsionales). Se recomienda entonces, para tener en cuenta estos efectos definir combinaciones de cargas en *Define – Load Combination*,

Adelantándose un poco al tema Desplazamiento horizontal causado por efectos torsionales del capítulo 5.2, es posible decir que la aplicación de la fuerza sísmica desplazada del centro de masa (C.M) produce el mismo efecto que si en el C.M. se aplicará la fuerza sísmica y además un momento “torsor” igual a la fuerza sísmica por el desplazamiento. Por este motivo en la Fig. 35 Se muestra en el cuadro *Load Combination Data* de la COMBINACIÓN “C3” un combo de tipo “linear” en *Load combination Type*, dado que esto indica al programa que sume los

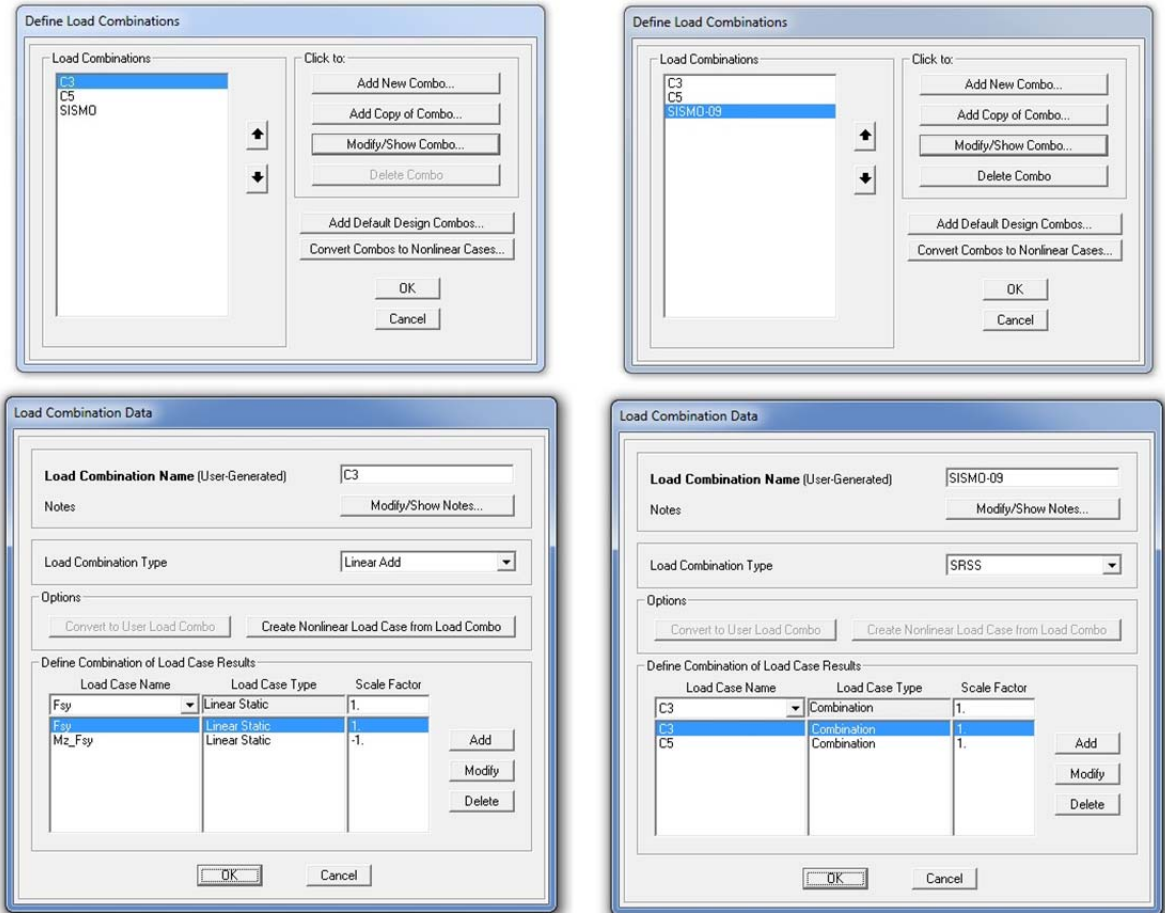
efectos (Desplazamientos, fuerzas, momentos, ect) debido a la fuerza “Fsy” y al momento producido por el desplazamiento de esta fuerza, es decir “Mz_Fsy”, estas cargas se agregan en *Load Case Name* con un *Scale Factor* igual a “1”. Además como en el capítulo 4.10 (Efectos ortogonales) se llegó a la conclusión que era necesario tener en cuenta los efectos ortogonales, los cuales se tendrán en cuenta como “la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente en las dos direcciones ortogonales”, es necesario crear una COMBINACIÓN “SISMO-09” donde en el cuadro de *Load Combination Data* el tipo de combinación de *Load combination Type* se define como *SRSS*, es decir raíz cuadrada de la suma de los cuadrado de los efectos producidos por la combinación “C3” y “C5”

NOTA: 1^o: El combo “SISMO-09” es la combinación de los combos C3-C5, los cuales generan las derivas más crítica según el anexo 8– Efecto ortogonal y máximo desplazamiento; 2^{do}: En el anexo acabado de mencionar se profundiza sobre las combinaciones entre la fuerza y el momento debido al desplazamiento de las fuerzas. Lo anterior produce ocho

combinaciones (del C1 al C8) donde los primeros cuatro es debido a interacción de la fuerza y el momento en X “F_{sx} y M_z_F_{sx}”, y los demás en la dirección Y, además se menciona la interacción entre

las combinaciones interacción de la fuerza y el momento en X y en Y, lo cual genera 16 posibles combinaciones que van desde SISMO-01 al SISMO-16, siendo el SISMO-09 el más crítico.

Fig. 35. Definición de combinaciones de carga



COMBINACION "C3"

COMBINACION "SISMO-09"

Fuente Sap2000 "Define Load Combinations"

4.6.7 DIBUJO DEL MODELO EN SAP2000

Teniendo dispuesto la configuración del archivo sap2000 se continúa con el dibujo

del modelo para después asignarle las cargas.

En sap2000 es posible importar puntos y líneas de un archivo de AutoCAD con extensión *.dxf. Para hacer esto se dirige a

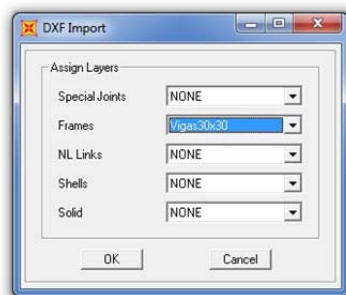
File – Import – AutoCAD .dxf file, selecciona el archivo de interés *.dxf y si el dibujo del archivo es coplanar al plano XY, el cuadro de *import Information* que aparece en la Fig. 36 se deja como se ilustra, por último en el cuadro *DXF Import*, Fig. 37, se selecciona el *layer* de AutoCAD que contiene los objetos (puntos, líneas, área, solidos) que se quiere importar.

Como ejemplo, en la Fig. 37 se importa unas líneas de *layer* “Vigas30x30” de AutoCAD como *frame* en Sap2000

Fig. 36. Importación de datos



Fig. 37. Definición de elementos importados



En la Fig. 38 es posible ver el modelamiento de la edificación en el programa sap2000, se puede notar el

muro de contención perimetral a la estructura tal como se mencionó al principio del capítulo 4.6 (Modelamiento de la estructura), Una forma de no tener en cuenta el muro en el modelo sería diseñándolo como tipo voladizo, para lo cual habría una separación de este con la edificación, esto generaría además que el nivel de base fuera el mismo que nivel de cimentación.

NOTA: Para el modelamiento en sap2000 se tomó como punto de origen el centro de la columna A-1 en el nivel de vía.

4.6.8 CARGAS “DEAD” Y “F” SOBRE EL MODELO

Siguiendo el orden con los que se ha desarrollado el proyecto, las primeras cargas que se asignaron en el modelo fueron las cargas debido a las escaleras y rampas. Estas cargas se definieron como cargas de tipo “DEAD” y fueron utilizadas en el capítulo 4.3.3 (Calculo) para el cálculo del peso de la edificación.

Habiendo terminado el cálculo del peso del edificio se prosiguió cargando el modelo con las demás cargas sobre impuestas indicadas en el capítulo 4.3.1.4 (Cargas por zonas), haciendo la diferencia que la fuerza debido a fluidos con densidad definida se aplica en el caso de carga “F” y las demás, ya que son producidas por el

peso sobre-impuesto se aplica en el caso de carga "DEAD".

Para facilitar la asignación de las cargas a la estructura se modela las viguetas, por lo tanto solo es necesario multiplicar las densidades de cargas anteriormente mencionadas por la distancia entre ejes de las viguetas, es decir 0.8m. Ver capítulo 4.3.1.1 (Peso Muerto del aligeramiento y tortas de la losa).

➤ Zonas de Parqueadero o Garaje

$$2.82 \text{ KN/m}^2 * 0.80\text{m} = 2.26 \text{ KN/m}$$

➤ Zonas residencial con mampostería

$$6.22 \text{ KN/m}^2 * 0.80\text{m} = 4.98 \text{ KN/m}$$

Estas cargas se asignan distribuidamente sobre las viguetas según la zona en que se encuentran.

Debido en que el área donde se encuentra la zona social y de la piscina es muy pequeña, se procede a dividir el peso de estas zonas calculadas en el Capítulo 4.3.1.4 (Cargas por zonas) sobre la longitud de las viguetas y las vigas en los cuales se apoyan, luego se asigna estas cargas como distribuidas sobre los elementos de apoyos.

Para asignar las cargas se selecciona los elementos que se quieren cargar y se dirige *Assign – Frame Load – Distributed*.

4.6.9 ORIGEN DE MASAS

En *define – Mass source* es posible definir los casos de carga de donde se sustraerá el cálculo de la masa, dependiendo del tipo del análisis que se desee. Como ejemplo, en este proyecto, al inicio se necesitó calcular el peso causado por los elementos que componen la estructura más las cargas debida a las escaleras y rampas, para esto se definió como orígenes de carga, las cargas "PP" y "DEAD". Pero a continuación es necesario hacer el cálculo del centro de masa, para esto es necesario definir como "orígenes de carga" además de las cargas mencionadas anteriormente el caso de carga "F", debido a que la piscina genera una masa considerable y que tiene una gran probabilidad de encontrarse presente en el momento de un sismo.

En la Fig. 39 se muestra el cuadro de *Define mass source* con los casos de carga que intervendrán para el cálculo del centro de masa "PP", "DEAD" y "F".

NOTA: Para el cálculo del centro de masa es necesario asignar las cargas sobre impuesta "DEAD" y las cargas debido a fluidos con densidad definida "F" en las viguetas y vigas según sea el caso, tal y como se menciona en el capítulo 4.6.8 (Cargas "DEAD" Y "F" sobre el modelo).

Fig. 38. Modelo en sap2000

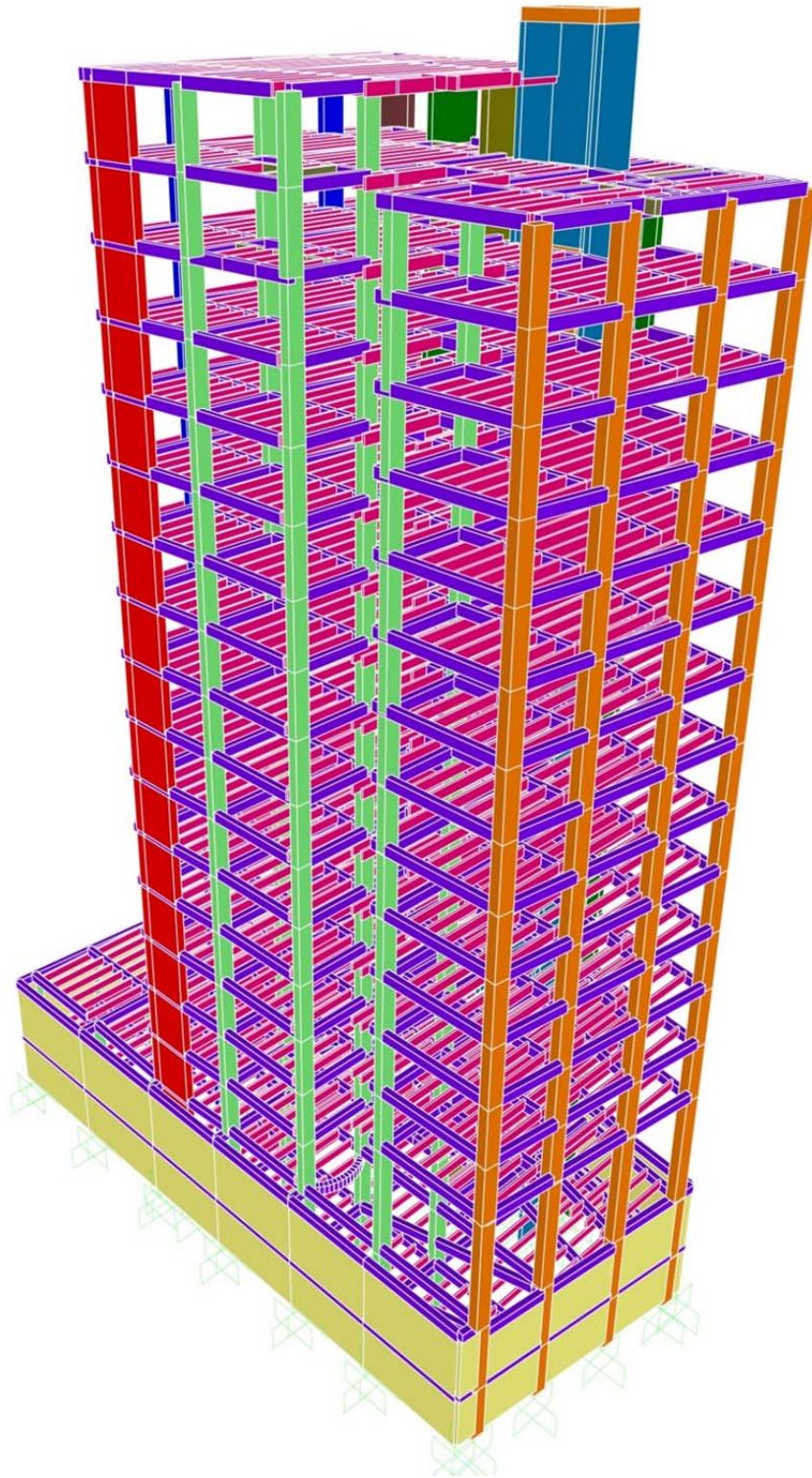
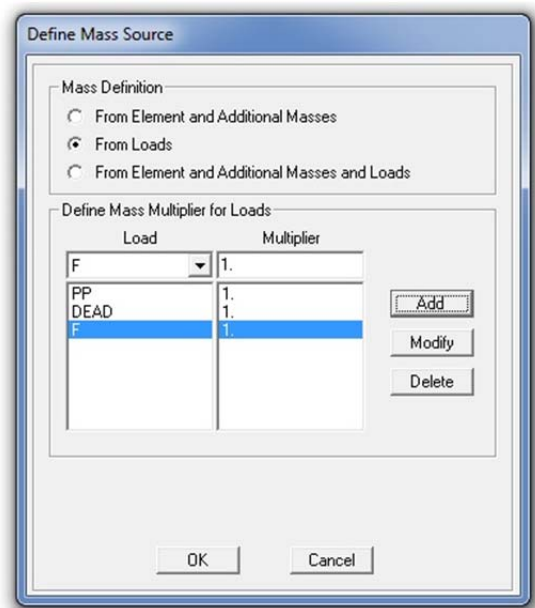


Fig. 39. Origen de Masa



Fuente Sap2000 "define Mass Source"

4.6.10 UBICACIÓN DEL CENTRO DE MASA (C.M)

Para la ubicación del centro de masa se plantea en el anexo 6 del presente libro cuatro metodologías de cálculo, el escoger entre las metodologías depende de la precisión y del criterio del diseñador. Para este proyecto se tomaron los valores arrojados por el programa Etabs debido a que este es un programa especializado en edificaciones.

En la Tabla 4 se muestra la ubicación de los centro de masas por medio Etabs, tomando como punto de origen el centroide de la columna A-1 dado que con base a este eje se modelo la estructura tanto en Sap2000 como en Etabs.

4.6.11 ASIGNACIÓN DE LAS FUERZAS ARBITRARIAS

Para asignar las cargas horizontales en los *joints* ubicados en el centro de masa se dirige a *Asign - Join Load - Force* y se carga las fuerzas según la dirección de análisis, las fuerza en dirección X se asigna al caso de carga *Fsx_arb*, y las fuerzas en la dirección Y se asigna al caso de carga *Fsy_arb*.

En la Fig. 40 se puede ver las fuerzas arbitrarias de la Tabla 3 aplicadas en el centro de masa del nivel N+39.80 (Pent House), en la direcciones principales de análisis X y Y.

Tabla 4. Ubicación del centro de masa por nivel

Descripcion	Nivel j	X	Y
Cubiert Asc	N+47.4	10.17	6.75
Cubierta G	N+45.4	6.93	14.38
Zona Social	N+42.6	6.96	9.81
Pent House	N+39.8	6.67	10.45
P13	N+37.0	6.68	10.43
P12	N+34.2	6.68	10.43
P11	N+31.4	6.68	10.43
P10	N+28.6	6.68	10.43
P9	N+25.8	6.68	10.43
P8	N+23.0	6.68	10.43
P7	N+20.2	6.68	10.43
P6	N+17.4	6.68	10.43
P5	N+14.6	6.68	10.43
P4	N+11.8	6.68	10.43
P3	N+9.0	6.68	10.43
P2	N+6.2	6.68	10.43
Mezanine	N+3.4	6.87	12.93
Parq	N+0.6		

Fig. 40. Asignación de fuerzas arbitrarias N+39.00

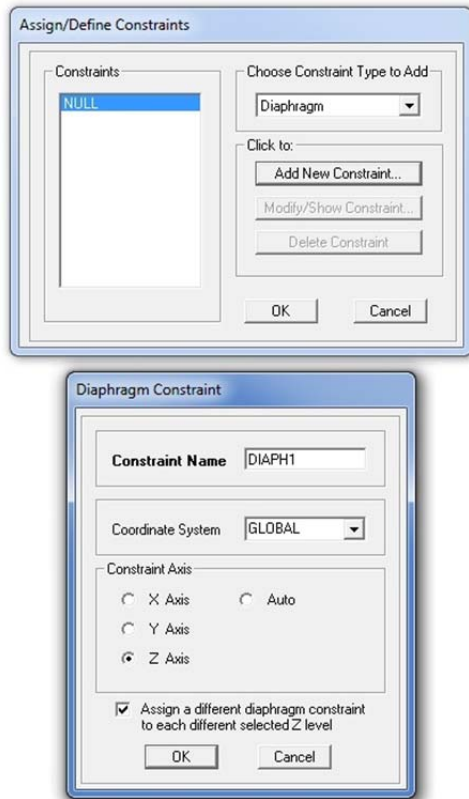


4.6.12 ASIGNACIÓN DEL DIAFRAGMA RÍGIDO

Para que los pisos se comporten como un diafragma rígido, es decir se muevan como una placa sólida, se selecciona todos los *joints* de los entre pisos ubicados encima del nivel base hasta el nivel de cubierta del ascensor y se dirige a *Asign – Joint – Constrains*. En el cuadro de *Assign/Define constrains* se selecciona en la lista de *Choose constrains Type to Add*: un

Diaphragm, y se agrega el nuevo tipo de diafragma en *Add New Constraint*; En el cuadro de *Diaphragm constrain* se activa la opción de *Assign a different diaphragm constrain to each different select level*, el cual indica al programa que asigne a los *joints* de cada nivel a un diferente *constrain*, lo demás se deja según lo predeterminado, tal y como se muestra la Fig. 41. Si existe *joints* ubicados en medio de dos entre pisos deben ser eliminados en *Define – Joint Constrain*.

Fig. 41. Asignación de Diafragma – a) Assign/Define Constraint; b) Diaphragm Constraint.



Fuente Sap2000 “Assign/Define Constraints”

4.7 DESPLAZAMIENTOS DEBIDO A LAS FUERZAS ARBITRARIAS

Después de haber asignado las fuerzas arbitrarias en el modelo se extrae la tabla de desplazamientos de la siguiente manera:

Se selecciona los *joints* del centro de masa, luego se dirige al menú *Display - Show table* y se selecciona todos los casos que aparecen en el cuadro *select Load Cases* (cuadro 1), y en los que se

interese conocer los desplazamiento en el cuadro de *Select Output cases* (Cuadro 2), en este caso “Fsx_Arb y Fsy_Arb”, por último se activa en *Analysis Results – Joint Output – Desplacements* la opción *Table: Joint Displacement*. Y se pulsa Ok. Tal y como muestra en la Fig. 42

En la Tabla 5 y Tabla 6 se muestra los desplazamientos y rotaciones extraídos de sap2000 producido por las fuerzas arbitrarias “Fsx_arb” y “Fsy_arb”, los cuales han sido ordenados por medio del programa Excel (versión 2010)

Tabla 5. Desplazamientos Fsx_arb

text	m	m	Radians	Radians
Z	U1 = δX	U2 = δY	R3	$\Theta_i - \Theta_{i-1}$
N+47.4	0.5094	-0.002	-0.0099	0
N+45.4	0.5676	0.0317	-0.0099	-0.0004
N+42.6	0.4981	0.0301	-0.0095	-0.0005
N+39.8	0.4781	0.0317	-0.0090	-0.0006
N+37.0	0.4495	0.0301	-0.0084	-0.0006
N+34.2	0.4186	0.0284	-0.0078	-0.0007
N+31.4	0.3851	0.0264	-0.0071	-0.0007
N+28.6	0.3494	0.0242	-0.0064	-0.0008
N+25.8	0.3117	0.0216	-0.0056	-0.0008
N+23.0	0.2725	0.0189	-0.0048	-0.0008
N+20.2	0.2324	0.0160	-0.0040	-0.0008
N+17.4	0.1919	0.0130	-0.0032	-0.0008
N+14.6	0.1519	0.0100	-0.0024	-0.0007
N+11.8	0.1132	0.0070	-0.0017	-0.0007
N+9.0	0.0771	0.0044	-0.0010	-0.0006
N+6.2	0.0449	0.0022	-0.0004	-0.0003
N+3.4	0.0191	0.0007	-0.0001	-0.0001
N+0.60	0	0	0	0

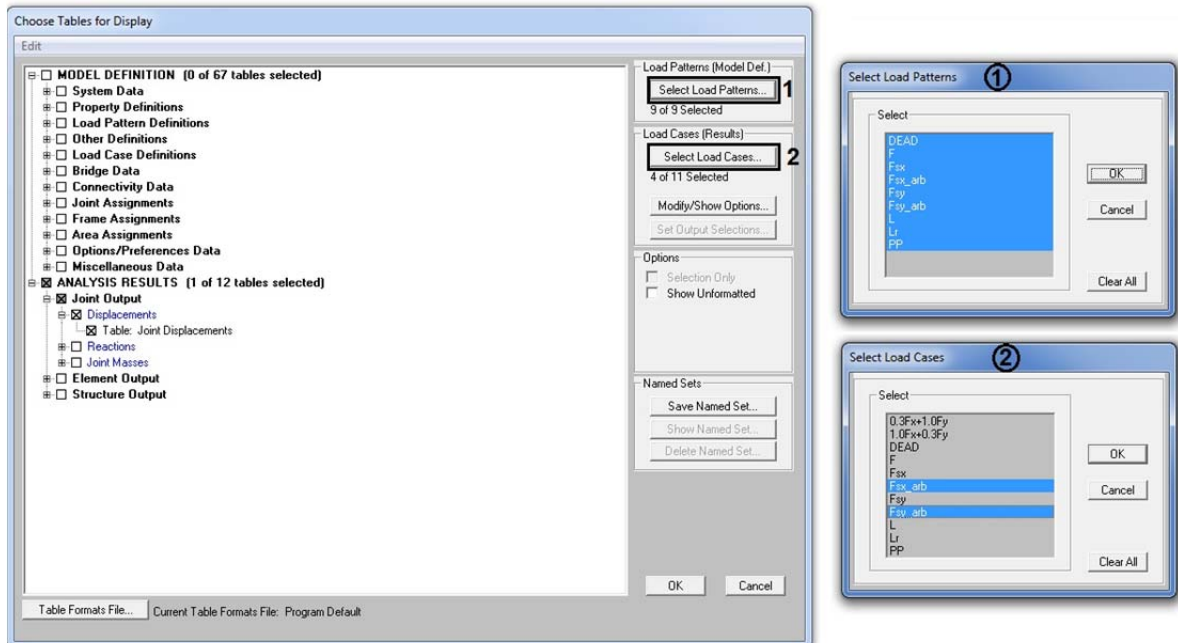
Tabla 6. Desplazamientos Fsy_arb

text	m	m	Radians	Radians
Z	U1 δX	U2 δY	R3	$\Theta_i - \Theta_{i-1}$
N+47.4	0.0184	0.4671	-0.0037	0.0004
N+45.4	0.0478	0.4597	-0.0041	0.0000
N+42.6	0.0282	0.4357	-0.0041	0.0001
N+39.8	0.0296	0.4111	-0.0042	0.0000
N+37.0	0.0282	0.3837	-0.0042	0.0000
N+34.2	0.0266	0.3545	-0.0042	-0.0001
N+31.4	0.0248	0.3237	-0.0041	-0.0002
N+28.6	0.0226	0.2914	-0.0039	-0.0003
N+25.8	0.0203	0.2579	-0.0036	-0.0003
N+23.0	0.0177	0.2236	-0.0033	-0.0004
N+20.2	0.0150	0.1890	-0.0029	-0.0004
N+17.4	0.0122	0.1545	-0.0025	-0.0005
N+14.6	0.0093	0.1210	-0.0020	-0.0005
N+11.8	0.0066	0.0891	-0.0015	-0.0005
N+9.0	0.0042	0.0598	-0.0010	-0.0004
N+6.2	0.0021	0.0340	-0.0006	-0.0004
N+3.4	0.0011	0.0138	-0.0002	-0.0002
N+0.60	0	0	0	0

4.8 PERIODO FUNDAMENTAL DE DISEÑO

Con los desplazamientos arrojados por sap2000 en el centro de masa, el Peso de la edificación tomado de la Tabla 2, las fuerzas arbitrarias de la Tabla 3 Y utilizando la Ec. 6 del presente libro, numeral A.4.2.1. De la norma NSR-10, Se procede a calcular el periodo fundamental de la edificación. Debido a que se ha calculado anteriormente el peso de la edificación, es posible trabajar la fórmula de la Ec. 6 con base al peso W_i en vez de la masa m_i .

Fig. 42. Resultado de desplazamientos por las fuerzas arbitrarias



Fuente Sap2000 "Choose Tables for Display"

$$\text{Ec. 6. } = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}} = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i \delta_i^2)}{g \cdot \sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

Donde δ_i corresponde a los desplazamientos horizontales absolutos del nivel i , calculados con respecto a la base, causados por la aplicación de las fuerzas horizontales arbitrarias f_i . (Estos desplazamientos se calculan con base a la Ec. 7). W_i Corresponde al peso del entrepiso en el nivel i .

$$\text{Ec. 7. } \delta_i = \sqrt{\delta_{ix}^2 + \delta_{iy}^2}$$

Donde δ_{ix} es el desplazamiento en la dirección X y δ_{iy} es el desplazamiento en la dirección Y.

El cálculo del periodo fundamental de la edificación puede verse en la Tabla 7 para el periodo en la dirección X y la Tabla 8 para el periodo en la dirección Y.

Tabla 7. Periodo Fundamental en dirección x

Descripcion	Nivel i	Peso (W) [KN]	F (Fsx_arb) [KN]	δ_i	$W \cdot \delta_i^2$	$g \cdot (F_{sx_arb}) \cdot \delta_i$
Cubierta Asc	N+47.4	117.6	61.8	0.509	30.516	308.501
Cubierta G	N+45.4	1694.5	833.4	0.568	547.627	4646.033
Zona Social	N+42.6	3308.9	1477.5	0.499	823.915	7229.480
Pent House 1	N+39.8	3151.5	1269.0	0.479	723.630	5962.670
P13	N+37.0	3091.6	1114.0	0.451	627.502	4921.433
P12	N+34.2	3091.6	988.1	0.420	544.162	4064.969
P11	N+31.4	3091.6	867.3	0.386	460.703	3283.048
P10	N+28.6	3091.6	751.9	0.350	379.165	2581.988
P9	N+25.8	3091.6	642.1	0.312	301.767	1967.017
P8	N+23.0	3091.6	538.2	0.273	230.649	1441.438
P7	N+20.2	3091.6	440.6	0.233	167.688	1006.167
P6	N+17.4	3091.6	349.7	0.192	114.359	659.531
P5	N+14.6	3091.6	266.1	0.152	71.613	397.140
P4	N+11.8	3091.6	190.5	0.113	39.772	211.844
P3	N+9.0	3091.6	123.8	0.077	18.411	93.658
P2	N+6.2	3168.2	69.1	0.045	6.413	30.477
Mezanine	N+3.4	2234.9	17.2	0.019	0.818	3.236
Parq	N+0.6					
		47682.93	10000		5088.71	38808.63
Tx	2.275					

Tabla 8. Periodo fundamental en dirección y

Descripcion	Nivel i	Peso (W) [KN]	F (Fsy_arb) [KN]	δ_i	$W \cdot \delta_i^2$	$g^*(Fsy_arb) \cdot \delta_i$
Cubierta Asc	N+47.4	117.6	61.8	0.467	25.700	283.113
Cubierta G	N+45.4	1694.5	833.4	0.462	361.922	3777.004
Zona Social	N+42.6	3308.9	1477.5	0.437	630.787	6325.680
Pent House 1	N+39.8	3151.5	1269.0	0.412	535.478	5129.244
P13	N+37.0	3091.6	1114.0	0.385	457.579	4202.590
P12	N+34.2	3091.6	988.1	0.356	390.783	3444.777
P11	N+31.4	3091.6	867.3	0.325	325.861	2761.105
P10	N+28.6	3091.6	751.9	0.292	264.108	2154.918
P9	N+25.8	3091.6	642.1	0.259	206.897	1628.732
P8	N+23.0	3091.6	538.2	0.224	155.522	1183.630
P7	N+20.2	3091.6	440.6	0.190	111.063	818.848
P6	N+17.4	3091.6	349.7	0.155	74.280	531.541
P5	N+14.6	3091.6	266.1	0.121	45.526	316.648
P4	N+11.8	3091.6	190.5	0.089	24.678	166.871
P3	N+9.0	3091.6	123.8	0.060	11.097	72.711
P2	N+6.2	3168.2	69.1	0.034	3.683	23.097
Mezanine	N+3.4	2234.9	17.2	0.014	0.427	2.337
Parq	N+0.6					
		47682.93	10000		3625.39	32822.85
Tx	2.088					

4.9 CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS HORIZONTALES EQUIVALENTES

La norma en el numeral A.4.2.1. Especifica que el periodo fundamental T de la edificación no puede ser mayor a $C_u T_a$. Donde T_a es el periodo aproximado calculado en el capítulo 4.1 ($T_a = 1.497$) y C_u es dado en la ecuación A.4.2-2 de la NSR-10, Ec. 8 del presente Libro

$$\text{Ec. 8. } C_u = 1.75 - 1.2A_v F_v$$

Los coeficientes A_v y A_a se encuentra en el apéndice A-4 de la norma NSR-10 y sus valores depende de la ubicación geográfica del proyecto, como el edificio se encuentra en Barrancabermeja - Santander según el capítulo 3.1 Presentación del proyecto arquitectónico los valores correspondientes son:

$$A_v = 0.15 \text{ y } A_a = 0.15$$

El valor de Coeficiente de amplificación del suelo para la zona de periodos cortos del espectro (F_a) y el coeficiente de amplificación del suelo para la zona de periodos intermedios del espectro (F_v) se calculan con base a las figuras A.2.4-1 y A.2.4-2 del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. En el presente libro corresponden a la Fig. 43.

Los valores de F_a y F_v para un tipo de suelo D (Según lo especificado por el geotecnista en el Anexo 3 – Conclusiones y recomendaciones del geotecnista), y los valores de $A_v = 0.15$ y $A_a = 0.15$ son:

$$F_a = 1.50 \text{ y } F_v = 2.20$$

Por lo tanto la Ec. 8 da como resultado que $C_u = 1.354$.

NOTA: El valor de C_u no puede ser menor a 1.20, si se presenta este caso se toma el mínimo valor permitido (1.20).

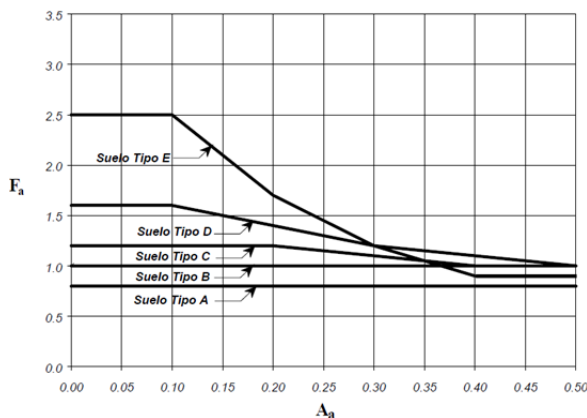
El máximo valor del periodo fundamental (T) es entonces igual a:

$$T = 1.354 * 1.497 = 2.027$$

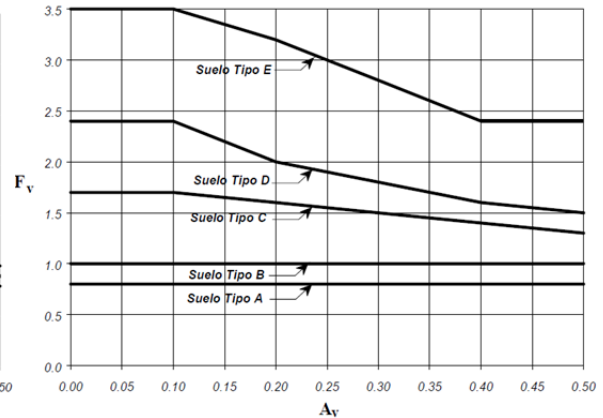
En el caso de que el periodo calculado (T_x , T_y) sea mayor que el máximo valor del periodo fundamental (T) el periodo de diseño se toma como (T). Por esta razón los periodos de diseño que se utilizarán para el cálculo del espectro elástico de aceleraciones (ver Fig. 44) son:

$$T_x = 2.027 \text{ y } T_y = 2.027$$

Fig. 43. Coeficientes de amplificación F_a y F_v

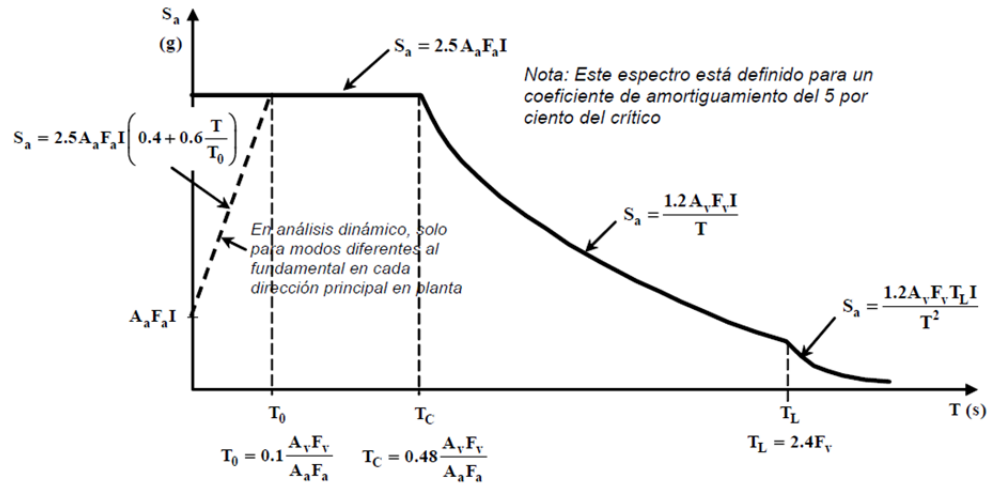


Fuente NSR-10 Figura A.2.4-1 - Coeficiente de amplificación F_a del suelo para la zona de periodos cortos del espectro.



Fuente NSR-10 Figura A.2.4-2 - Coeficiente de Amplificación F_v del suelo para zonas de periodos intermedios del espectro.

Fig. 44. Espectro elástico de Aceleraciones de Diseño



Fuente NSR-10 figura A.2.6-1

4.9.1 VALOR DE ACELERACIÓN S_a .

En la Fig. 44 se puede ver las variables para el cálculo del valor de aceleración S_a según el rango en que se encuentra el periodo.

Los valores de A_v , A_a , F_v , F_a y T ya han sido calculados con anterioridad y el factor I es el coeficiente de importancia definido en el numeral A.2.5 y su respectivo valor se encuentra en la tabla A.2.5-1 de la norma. Como nuestro proyecto es para uso residencial, el coeficiente de importancia está definida en el grupo I y su valor es 1.00.

Para encontrar el valor S_a se calcula primero los periodos límites T_0 , T_c y T_L :

$$T_0 = 0.1 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} = 0.1 \frac{0.15 * 2.20}{0.15 * 1.50} = 0.1467$$

$$T_c = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} = 0.48 \frac{0.15 * 2.20}{0.15 * 1.50} = 0.704$$

$$T_L = 2.4 F_v = 2.4 * 2.20 = 5.28$$

Ahora, como los periodos de diseño T_x y T_y se encuentran entre T_c y T_L la formula para el cálculo de S_a es igual a:

$$S_a = \frac{1.2 A_v F_v I}{T}$$

Debido a que los periodos T_x y T_y son iguales no es necesario calcular los valores de S_a en las dos direcciones

$$S_{ax} = S_{ay} = \frac{1.2 * 0.15 * 2.20 * 1.0}{2.027} = 0.1953$$

4.9.2 DISTRIBUCIÓN DEL CORTANTE SÍSMICO DE LA BASE

El cortante sísmico en la base V_s es la totalidad de los efectos inerciales en la

base producido por los movimientos sísmicos de diseño y se obtiene con la ecuación A.4.3-1 de la norma NSR-10. Ec. 9 del presente libro.

$$\text{Ec. 9. } V_s = S_a g M = S_a W$$

Donde W es el peso total del edificio calculado en la Tabla 2.

$$V_{sx} = V_{sx} = 0.1953 * 47682.93 = 9312.48$$

Los cortantes basales o cortante sísmico en la base se deben distribuir en cada piso según la Ec. 2 y Ec. 3 del capítulo 4.4 (Cálculo de las fuerzas arbitrarias). A continuación se muestra las formulas por la pertinencia que tiene en este capítulo.

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (W_i h_i^k)} ; F_x = C_{vx} V_s$$

El exponente k se calcula según el rango de los periodos de diseño T_x y T_y . A continuación se muestra la fórmula de k para el rango en que se encuentran.

$$\text{➤ } k_x = k_y = 0.75 + 0.5T$$

$$0.75 + 0.5 * 2.027 = 1.7635$$

Dado que los periodos de diseño son iguales en X y Y, las fuerzas sísmicas serán también iguales en las direcciones principales. En Tabla 9 se muestra la distribución del cortante por piso.

4.10 EFECTOS ORTOGONALES

Para la dirección y la aplicación de las fuerzas sísmicas se debe cumplir el numeral A.3.6.3 del anexo de modificaciones técnicas y científicas de la NSR-10 aprobado el 13 de febrero de 2012 el cual modifica las disposiciones del numeral A.3.6.3 de la NSR-10.

En el numeral A.3.6.3 de la adenda específica que *“con excepción a lo dispuesto en el numeral A.3.6.3.1 de la misma, puede suponerse que el efecto crítico sobre la edificación, causado por la dirección de la aplicación de las fuerzas sísmicas se ha tomado en cuenta si todos los elementos se diseñan para el 100% de las fuerzas sísmicas actuando no simultáneamente en las dos direcciones principales”*. Luego en el numeral A.3.6.3.1 de la Adenda se menciona que *“debe tenerse en cuenta los efectos ortogonales en zonas de amenazas sísmicas intermedias y altas, de acuerdo con el numeral A.3.6.3.2 de la Adenda, en los siguientes casos: a). En estructuras que tengan irregularidades en planta de tipo 1aP, 1bP o 5P. b). En las columnas que hagan parte del sistema de resistencia sísmica de la estructura.”* Por último, en el numeral A.3.6.3.2 de la adenda específica que *“Los efectos ortogonales pueden tenerse en cuenta*

suponiendo la concurrencia simultanea del 100% de las fuerzas sísmicas en una dirección y el 30% de las fuerzas sísmicas en la dirección perpendicular, Debe utilizarse la combinación que requiera la mayor resistencia del elemento” Además “Los efectos ortogonales pueden calcularse como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente en las dos direcciones ortogonales, asignándole el signo que conduzca al resultado más conservador”.

Ahora, teniendo en cuenta lo especificado en la norma NSR-10 sobre los efectos ortogonales y sabiendo que la edificación se encuentra en zona de amenaza sísmica intermedia y que presenta irregularidad de tipo 5P (Ver fila 5P de la Tabla A.3-6 de la NSR-10) se concluye que es necesario tener en cuenta los efectos ortogonales en la estructura.

En esta ocasión los efectos ortogonales se calcularán como “la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente”

Tabla 9. Distribución de las fuerzas sísmicas en las direcciones de diseño

Descripcion	Nivel j	hj	Wj	wj*(hj)^k	Cvj	Fj	Tx=Ty
							2.027
Cubiert Asc	N+47.4	46.80	117.62	103744.9	0.007	64.16	k
Cubierta G	N+45.4	44.80	1694.46	1383758.8	0.092	855.72	1.7635
Zona Social	N+42.6	42.00	3308.92	2411495.3	0.160	1491.27	
Pent House 1	N+39.8	39.20	3151.51	2033664.4	0.135	1257.62	
P13	N+37	36.40	3091.58	1750580.7	0.116	1082.56	
P12	N+34.2	33.60	3091.58	1520124.5	0.101	940.05	
P11	N+31.4	30.80	3091.58	1303884.2	0.087	806.32	
P10	N+28.6	28.00	3091.58	1102155.9	0.073	681.57	
P9	N+25.8	25.20	3091.58	915271.0	0.061	566.01	
P8	N+23	22.40	3091.58	743604.9	0.049	459.85	
P7	N+20.2	19.60	3091.58	587588.7	0.039	363.37	
P6	N+17.4	16.80	3091.58	447726.5	0.030	276.87	
P5	N+14.6	14.00	3091.58	324621.0	0.022	200.75	
P4	N+11.8	11.20	3091.58	219016.0	0.015	135.44	
P3	N+9	8.40	3091.58	131870.1	0.009	81.55	
P2	N+6.2	5.60	3168.19	66106.0	0.004	40.88	
Mezanine	N+3.4	2.80	2234.89	13734.7	0.001	8.49	
Parq	N+0.6						
				47682.9	15058947.7	1.0	9312.5

4.11 UBICACIÓN DEL CENTRO DE RIGIDEZ (C.R)

Con la ubicación del C.R es posible plantear la dirección de desplazamiento de las fuerzas sísmicas, esto es necesario para tener en cuenta los efectos torsionales mencionados en el capítulo 5.2 (los cuales se hablara más adelante), lo cual genera desplazamientos más críticos.⁶

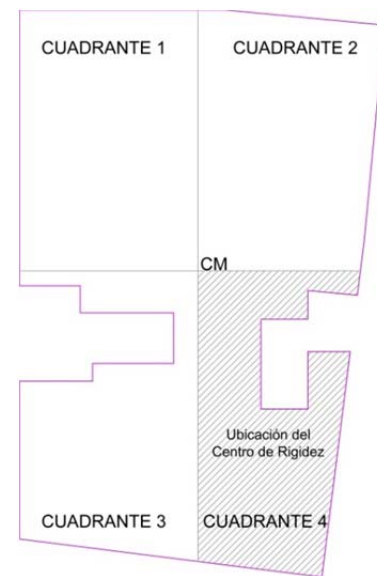
El centro de rigidez es el punto donde se encuentra concentrada la rigidez de un piso, dicho de otra forma es el punto donde al aplicar las fuerzas horizontales, la losa no rota con respecto a la anterior, por lo tanto si el piso presenta rotación será con respecto al C.R. Es posible entonces deducir el cuadrante en el que se encuentra el C.R. tomando como referencia el centro de masa al aplicar fuerzas arbitrarias en este último punto y ver su rotación.

Con base a lo anterior y teniendo en cuenta que el edificio BARRANCA

⁶ También es posible conocer la dirección de desplazamientos de las fuerzas sísmicas, debido los efectos torsionales, a través de la definición del centro de corte (centro de rotación) y centro de giro, los cuales se hace mención en el glosario del presente proyecto. Para mayor información en el libro *Análisis Sísmico de Edificación*, capítulo 5-7, de los autores Esperanza Maldonado y Gustavo Chio se encuentra un ejemplo del cálculo del centro de cortante.

presenta gran similitud en la geometría de sus pisos y que además las densidades de carga no varían significativamente en las placas, ni entre las placas, es posible determinar con base a las rotaciones relativas de los diafragmas al aplicar las fuerzas arbitrarias en el centro de masa el centro de rigidez de cada piso. Esto se muestra con más detalle, en el Anexo 7 (Ubicación relativa del centro de rigidez).

Fig. 45. Ubicación del C.R con respecto al C.M en el piso Tipo



Con base a lo expuesto y a las rotaciones relativas mostradas en las Tabla 5 y Tabla 6 se concluyó que el centro de rigidez se encuentra a la derecha y abajo del centro de masa, es decir en el cuadrante 4. En la Fig. 45 se muestra la ubicación del centro de rigidez.

5. ANÁLISIS DE DERIVAS

Según la definición de la norma NSR-10 en el numeral A.6.1.1 La deriva es el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación.

La deriva debe calcularse como la suma absoluta de los tres siguientes efectos:

5.1 DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN EL CENTRO DE MASA

Este desplazamiento es ocasionado por la aplicación de las fuerzas sísmica en el centro de masa, en numeral A.6.2.1 de la norma NSR-10 es definido como $\delta_{cm,j}$

5.2 DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL CAUSADO POR EFECTOS TORSIONALES

En el numeral A.6.2.2 de la NSR-10 se define a los desplazamientos causados por los efectos torsionales como $\delta_{t,j}$, y según el numeral A.3.6.7 se deben analizar debido a la incertidumbre en la localización de la masa dentro del piso, lo cual conduce a una torsión accidental, y debido a la excentricidad entre el centro de la masa y el centro de la rigidez cuando

el diagrama se considera rígido en su propio plano.

La incertidumbre del centro de masa surge debido a que en muchos casos, para agilizar el cálculo de este punto se supone una distribución homogénea de las cargas y por ende se calcula el centroide de la losa, pero esta suposición puede conllevar a errores pequeños o grandes según la distribución de las cargas en los pisos y al armado de la misma, tal como se muestra en el anexo 6 (Calculo del centro de masa) y se profundiza en el capítulo 4.6.10 del presente libro. Cabe mencionar que para tener en cuenta este fenómeno la NSR-10 en el numeral A.3.6.7.1 lo denomina *torsión accidental* y especifica que se debe desplazar el centro de aplicación de la fuerza un 5% la dimensión perpendicular a la dirección de aplicación de la fuerza, pero si se presenta irregularidad en planta de tipo 1P debe multiplicarse la torsión accidental por un coeficiente amplificador A_x el cual se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Ec. 10. } A_x = \left[\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{prom}} \right]^2 \leq 3.0$$

Sobre la excentricidad debido a la no coincidencia del centro de masa con

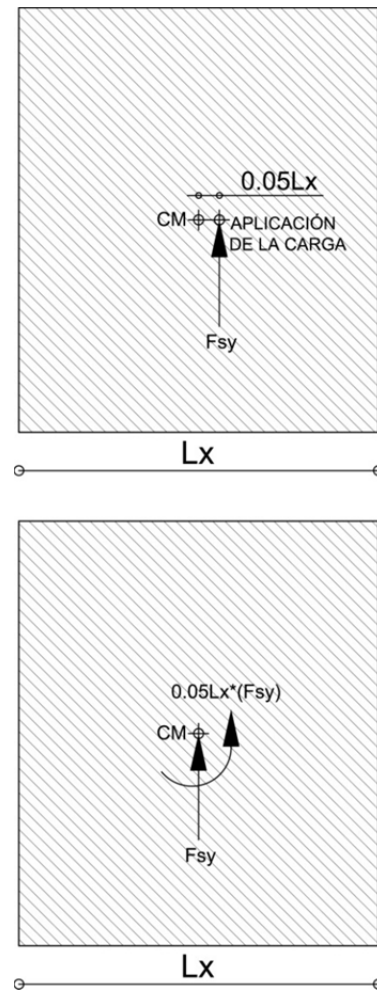
respecto al centro de rigidez el programa intrínsecamente tiene en cuenta este efecto, lo anterior se puede observar cuando al aplicar las fuerzas sísmicas en el centro de masa la edificación rota. En el anexo 7 se muestra un procedimiento para ubicar con respecto al centro de masa el centro de rigidez de un piso y en el capítulo 4.11 del presente libro se profundiza sobre este tema.

5.2.1 REDUCCIÓN DE SISTEMA DE FUERZAS A UNA FUERZA Y UN PAR

Para evaluar el efecto de la torsión accidental no es necesario desplazar las fuerzas si se utiliza el principio de reducción de un sistema de fuerzas a una fuerza y un par⁷, es decir, según este concepto son iguales los efectos externos al desplazar las fuerzas sísmicas un 5%, que aplicar las fuerzas horizontales en el Centro de masa y además considerar un momento "torsor", por así llamarlo, causado por el desplazamiento de estas fuerzas. Como ejemplo, en el Fig. 46 en la parte superior puede verse el desplazamiento de la fuerza sísmica en Y, mientras que en la parte inferior se muestra el mismo efecto pero aplicando una fuerza en el centro de masa y un momento torsor.

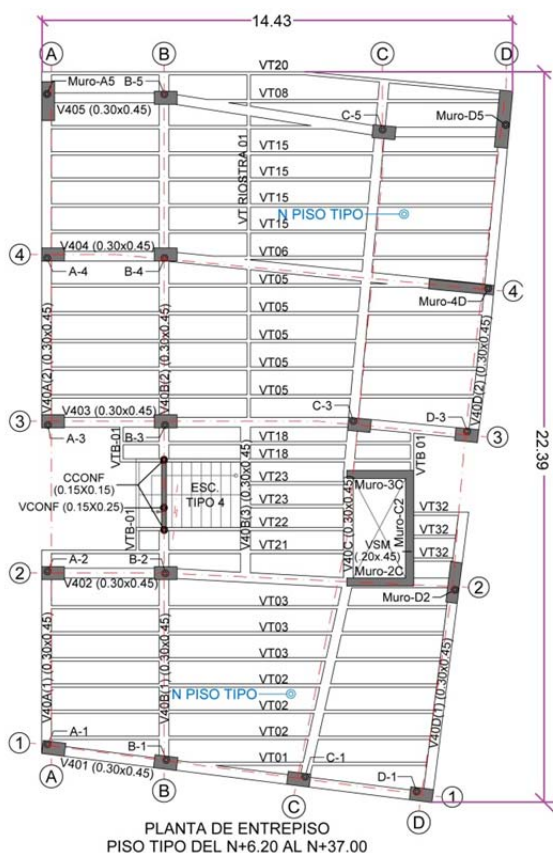
⁷ HIBELER, R.C. *Mecánica vectorial para ingenieros*. Ed 10°. Mexico, DF. 2004. P 115

Fig. 46. Torsión accidental



El cálculo del momento torsor Mz_{Fx} es igual al 5% la longitud en Y por la fuerza en X; y el momento torsor Mz_{Fy} es igual al 5% la longitud en X por la fuerza en Y; Donde las longitudes se toman como la dimensión proyectada del piso del eje perpendicular a la dirección bajo estudio. En la Fig. 47 se muestra como se midieron estas longitudes para el piso Tipo y en la Tabla 10 se muestra el cálculo de los momentos torsores

Fig. 47. Dimensión del Piso Tipo



5.2.2 IRREGULARIDAD TORSIONAL Y ASIGNACIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS

Para saber si es necesario multiplicar el coeficiente amplificador A_x al efecto torsional accidental, es imprescindible conocer si en el edificio "BARRANCA" existe irregularidad en planta de tipo 1aP o 1bP

El cálculo de la irregularidad en planta de tipo torsional (1aP) o torsional extrema (1bP) se describe en la Tabla A.3-6 de la NSR-10, en donde se especifica que el

cálculo de la deriva debe realizarse teniendo en cuenta la torsión accidental y debe medirse perpendicularmente a un eje determinado, (en el edificio "BARRANCA" será medido con base al el eje A. Ver Fig. 47); además de lo anterior, en la Figura A.3-1 de la NSR-10 se muestra las ecuaciones con los límites de irregularidades, en el presente libro las ecuaciones se muestran en la Fig. 48.

Es importante aclarar que el autor realizará el análisis teniendo en cuenta el efecto ortogonal, por ende y según lo dispuesto en el anexo 8 (Efecto ortogonal y máximo desplazamiento debido a este efecto) se tomará como la combinación más crítica el "Sismo-09".

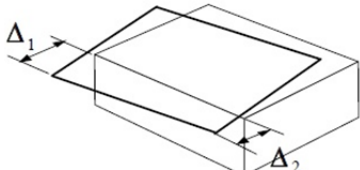
Para realizar el análisis de irregularidades el modelo debe tener definido:

1. Los materiales, las barras y los muros que se muestran en los capítulos 4.6.1 - 4.6.2 - 4.6.3 respectivamente;
2. los casos de cargas "F_{sx}", "F_{sy}", "M_{z_Fsx}" y "M_{z_Fsy}" que se muestra el capítulo 4.6.4,
3. Las combinación de carga crítica "sismo-09", la cual se describe en el capítulo 4.6.6
4. El dibujo de la estructura, de acuerdo al capítulo 4.6.7;

Tabla 10. Momentos producidos por el desplazamiento de las fuerzas sísmicas

Descripción	Nivel j	Fj	Long. X	Long. Y	Exc. X	Exc. Y	Mz_Fx	Mz_fy
Cubierta Asc	N+47.4	64.16	2.05	3.55	0.1025	0.1775	11.39	6.58
Cubierta G	N+45.4	855.72	14.43	12.36	0.7215	0.618	528.83	617.40
Zona Social	N+42.6	1491.27	14.43	22.39	0.7215	1.1195	1669.48	1075.95
Pent House 1	N+39.8	1257.62	14.43	22.39	0.7215	1.1195	1407.91	907.37
P13	N+37	1082.56	14.43	22.39	0.7215	1.1195	1211.93	781.07
P12	N+34.2	940.05	14.43	22.39	0.7215	1.1195	1052.39	678.25
P11	N+31.4	806.32	14.43	22.39	0.7215	1.1195	902.68	581.76
P10	N+28.6	681.57	14.43	22.39	0.7215	1.1195	763.02	491.75
P9	N+25.8	566.01	14.43	22.39	0.7215	1.1195	633.65	408.38
P8	N+23	459.85	14.43	22.39	0.7215	1.1195	514.80	331.78
P7	N+20.2	363.37	14.43	22.39	0.7215	1.1195	406.79	262.17
P6	N+17.4	276.87	14.43	22.39	0.7215	1.1195	309.96	199.76
P5	N+14.6	200.75	14.43	22.39	0.7215	1.1195	224.74	144.84
P4	N+11.8	135.44	14.43	22.39	0.7215	1.1195	151.63	97.72
P3	N+9	81.55	14.43	22.39	0.7215	1.1195	91.30	58.84
P2	N+6.2	40.88	14.43	22.39	0.7215	1.1195	45.77	29.49
Mezanine	N+3.4	8.49	14.43	16.81	0.7215	0.8405	7.14	6.13
Parq	N+0.60							

Fig. 48. Irregularidad Torsional

Tipo 1aP — Irregularidad torsional $\phi_p = 0.9$	Tipo 1bP — Irregularidad torsional extrema $\phi_p = 0.8$
$1.4 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right) \geq \Delta_1 > 1.2 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$	$\Delta_1 > 1.4 \left(\frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2} \right)$
	

Fuente NSR-10 Figura A.3-1

5. Los *joints*, los cuales se ubican en el centro de masa de cada piso según la tabla 4 del capítulo 4.6.10.
6. Los diafragmas rígido, los cuales se asignan en cada entre piso según se muestra en el capítulo 4.6.11
7. Y asignar a los *joints* del centro de masa las fuerzas sísmicas según la Tabla 9. (Distribución de las fuerzas sísmicas) y los momentos torsores calculados en la Tabla 10 (Momentos producidos por el desplazamiento de

las fuerzas sísmicas). Cabe mencionar que las fuerzas en X “F_{sx}” y Y “F_{sy}” y los momentos torsores de las fuerzas X “M_{z_Fsx}” y Y “M_{z_Fsy}” se asignan con valores positivos.

NOTA: En el Anexo 8 del presente libro se asignó al modelo las fuerzas sísmicas para conocer la combinación más crítica en la estructura. El anexo 8 no lleva el orden del libro sino que es un soporte para el buen desarrollo del tema de efectos ortogonales.

Tabla 11. Deriva de la Columna A-1 y muro A-5

X	0	COLUMNA A-1			X	-0.172	MURO A5		
Y	0				Y	20.432			
Nivel	U1=δx	U2 = δy	Δ1	Nivel	U1=δx	U2 = δy	Δ2		
42.6	0.34136	0.49354	0.03198	42.6	0.65000	0.49551	0.04268		
39.8	0.32343	0.46705	0.03473	39.8	0.61658	0.46898	0.04682		
37	0.30412	0.43819	0.03773	37	0.57976	0.44005	0.05124		
34.2	0.28322	0.40677	0.04065	34.2	0.53935	0.40854	0.05548		
31.4	0.26072	0.37292	0.04325	31.4	0.49548	0.37458	0.05923		
28.6	0.23676	0.33692	0.04538	28.6	0.44854	0.33845	0.06232		
25.8	0.21156	0.29917	0.04694	25.8	0.39907	0.30056	0.06459		
23	0.18545	0.26017	0.04783	23	0.34770	0.26140	0.06593		
20.2	0.15878	0.22047	0.04796	20.2	0.29519	0.22152	0.06619		
17.4	0.13194	0.18072	0.04721	17.4	0.24240	0.18160	0.06519		
14.6	0.10540	0.14169	0.04540	14.6	0.19032	0.14238	0.06266		
11.8	0.07969	0.10426	0.04229	11.8	0.14020	0.10477	0.05817		
9	0.05547	0.06959	0.03745	9	0.09363	0.06993	0.05100		
6.2	0.03362	0.03918	0.03031	6.2	0.05281	0.03935	0.04010		
3.4	0.01508	0.01520	0.02141	3.4	0.02077	0.01525	0.02577		

Teniendo definido lo anterior se procede a extraer los valores de desplazamientos del centroide de la columna A-1 (que se denominará $\Delta 1$) y el centro del muro ubicado en el extremo superior del muro A-5 (el cual se llamara $\Delta 2$) para el cálculo de las derivas. En la Tabla 11 se muestra las derivas para la columna y el muro

Para el análisis de la irregularidad torsional se calcula los límites descritos en la Figura A.3-1 de la NSR-10 con las derivas de cada nivel, se toma como la deriva de comparación o de análisis la que mayor desplazamiento relativo presente, en este caso el eje del muro A5 y por último se comprará entre que límites esta la deriva del muro A5. Como en el

proyecto barranca los desplazamientos máximos relativos (Muro A5) son menores que 1.2 por el promedio de las derivas de los extremos de la edificación (Columna A1 y muro A5) se concluye que no existe irregularidad torsional. En la Tabla 12 se muestra el respectivo análisis de irregularidad torsional.

NOTA: Para el ordenamiento de los datos y los cálculos fue necesario que en la tabla de "Joint Displacements" se insertaran la posición en X, Y y Z de todos los joints, los cuales aparecen en la tabla de "Joint Coordinates" y después utilizar una tabla dinámica con la tabla modificada de "Joint Displacements"

Tabla 12. Irregularidad Torsional

Nivel	$1.2 * [(\Delta 1 + \Delta 2) / 2]$	$1.4 * [(\Delta 1 + \Delta 2) / 2]$	Deriva Max $\Delta 2$	Condición
42.6	0.0447952	0.05226111	0.042676	No hay Irregularidad
39.8	0.0489302	0.057085282	0.046824	No hay Irregularidad
37	0.0533854	0.062282944	0.051244	No hay Irregularidad
34.2	0.0576738	0.067286046	0.055475	No hay Irregularidad
31.4	0.0614873	0.071735125	0.059232	No hay Irregularidad
28.6	0.0646214	0.075391607	0.062320	No hay Irregularidad
25.8	0.0669200	0.078073303	0.064594	No hay Irregularidad
23	0.0682562	0.079632243	0.065932	No hay Irregularidad
20.2	0.0684872	0.079901676	0.066189	No hay Irregularidad
17.4	0.0674398	0.078679807	0.065193	No hay Irregularidad
14.6	0.0648371	0.075643282	0.062658	No hay Irregularidad
11.8	0.0602762	0.070322214	0.058167	No hay Irregularidad
9	0.0530692	0.061914062	0.051000	No hay Irregularidad
6.2	0.0422454	0.049286306	0.040095	No hay Irregularidad
3.4	0.0283033	0.033020542	0.025765	No hay Irregularidad

5.3 DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL CAUSADOS POR EFECTOS P-DELTA

Según la NSR-10 estos desplazamientos corresponden a los efectos de segundo orden causados por la acción de las cargas verticales de la edificación al verse desplazadas horizontalmente. Estos efectos son definidos como $\delta_{pd,j}$ y debe ser analizado siempre y cuando el índice de estabilidad (Q_i) sea mayor de 0.1. Además de lo anterior, si Q_i llega ser mayor a 0.30 la estructura es potencialmente inestable y debe rigidizarse a menos que cumpla los requisitos del numeral C.10.11.6.2 (b) de la norma NSR-10.

Para calcular el índice de estabilidad utilizamos la ecuación A.6.2-2 de la norma sismo resistente NSR-10. Ec. 11 del presente libro.

$$\text{Ec. 11. } Q_i = \frac{P_i \Delta_{cm}}{V_i h_{pi}}$$

Para el cálculo del Q_i , es necesario asignar al modelo las cargas horizontales, las cuales fueron calculadas en la Tabla 9 (Distribución de las fuerzas sísmicas en las direcciones de diseño) y las verticales viva, viva en la cubierta, muerta y debido a fluidos con densidad definida, estas dos últimas ya han sido asignadas para el

cálculo del centro de masa del capítulo 4.6.10. Y las fuerzas horizontales se asignaron para calcular la irregularidad torsional.

5.3.1 CÁLCULO DE LAS CARGAS VIVAS

El cálculo de estas cargas es simple, dado que ya se encuentran estipuladas en la norma en la Tabla B.4.2.1-1 de la NSR-10, La cual se muestra en la Fig. 49

La discretización de las cargas vivas es diferente al de las cargas sobrepuestas, las cuales fueron analizadas en el capítulo 4.3.1.2. Esto se debe a que por ejemplo, dentro del uso, residencial existen diferentes sub-zonas tales como balcones, cuartos privados y corredores y escaleras.

➤ Zonas residencial

- *Balcones:* En la Fig. 50. En la zona de color rojo se puede observar la ubicación de los balcones en el piso Tipo, la carga uniforme en esta zona es de 5.0 kN/m^2
- *Cuartos privados y corredores:* En la Figura acabada de mencionar puede verse además la ubicación de las habitaciones, cuartos, salas y corredores, las cuales se cargaran con una densidad de 1.8 KN/m^2

- *Escaleras:* Trayendo a memoria el procedimiento mostrado en el capítulo 4.3.3.1 (Calculo manual de las Reacciones de la rampa sobre los apoyos), lo que se procede para estas zonas es a calcular a mano las reacciones de las escaleras y luego se asignan estas reacciones a las vigas de apoyo del modelo de Sap2000, teniendo en cuenta que la carga viva mínima en las escalares es de 3.0 kN/m²
- Zonas de Parquadero o Garaje
 - *Garaje para automóvil de pasajeros:* Para esta zona que comprende los niveles N-2.80 y N+0.60 la densidad de carga es de 2.5 KN/m². Para las rampas se calculan las reacciones de las mismas y se asignan a las vigas de apoyo tal y como se ilustra en el capítulo 4.3.3.1 (Calculo manual de las Reacciones de la rampa sobre los apoyos).

Fig. 49. Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga uniforme (kgf/m ²) m ² de área en planta
<i>Reunión</i>	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestibulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
<i>Oficinas</i>	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
<i>Educativos</i>	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
	Estanterías	7.0	700
<i>Fábricas</i>	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
<i>Institucional</i>	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
<i>Comercio</i>	Minorista	5.0	500
	Mayorista	6.0	600
<i>Residencial</i>	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
<i>Almacenamiento</i>	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
<i>Garajes</i>	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500

Fuente NSR-10 Tabla B.4.2.1-1

Fig. 50. Ocupación de uso Piso Tipo



NOTA: 1^o Aunque los pisos de parqueo en el Edificio "BARRANCA" no se analizarán para el cálculo de la inestabilidad Q_i , por estar debajo del nivel de base se hace necesario asignar estas cargas para el diseño de los elementos que componen estas zonas; 2^{do} Cabe mencionar que en presente proyecto no se tratará los temas de combinaciones de diseño ni del diseño de los elementos.

➤ Zona social

- La zona recreativa del Edificio BARRANCA está ubicada, como se mencionó anteriormente, en el nivel N+42.60 y va desde el Eje 1 al eje 3. En toda esta área la densidad de carga es de 5KN/m^2

➤ Cubierta

- Según la nota de la Tabla B.4.2.1-2 la carga viva sobre la cubierta no puede ser menor que el máximo valor de las cargas vivas utilizada en el resto de la edificación. El máximo valor se encuentra en los balcones, por lo cual la carga de la cubierta corresponde a 5 KN/m^2 .

5.3.2 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD Q_i Y ASIGNACIÓN DE LAS CARGAS VIVAS

Para el cálculo de Q_i utilizamos la Ec. 11. Donde V_i es la fuerza sísmica aplicada el 100% en la dirección de estudio desde el piso i y todos los niveles ubicados encima de él; Δ_{cm} es el desplazamiento horizontal del piso i menos el del piso $i-1$ en dirección de estudio medido en el centro de masa y producido por la acción de V_i ; h_{pi} es la altura del piso i , medido desde la superficie del diafragma del piso i hasta la superficie del diafragma del piso

inmediatamente inferior i-1; y por ultimo P_i es la suma de la carga vertical total, incluyendo la muerta y viva, que existe en el piso i y todos los niveles localizados por encima.

Para hallar el peso acumulado se eliminaron como orígenes de masa los casos “PP”, “DEAD” y “F” y se definieron como nuevos orígenes los casos “L” y “Lr”, los cuales son las cargas vivas y la viva en la cubierta; luego se le asignaron a las viguetas y las vigas de apoyo de las rampas, escaleras y pasarela de la zona

social las cargas vivas calculadas en el capítulo 5.3.2 teniendo en cuenta que estas cargas deben multiplicarse por la separación entre ejes de las viguetas.

En la Tabla 13 y Tabla 14 se muestra el cálculo de Q_i y como se puede apreciar, en ningún nivel el índice de estabilidad es mayor a 0.1, por lo tanto no se hace necesario el análisis del efecto P-DELTA. También se puede apreciar que en la dirección X el edificio presenta mayor inestabilidad, lo cual indica que las derivas críticas se presentarán en esta dirección.

Tabla 13. Cálculo del índice de estabilidad Q_i eje x

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Descripción	Nivel j [m]	h_{pi}	muerta	viva	P_i	F_{sx}	V_i	Δ_{cm}	Q_i
Cubiert Asc	47.4	2	117.6	30.9	148.5	64.16	64.16	-0.0568	-0.066
Cubierta G	45.4	2.8	1694.5	739.0	2581.9	855.72	919.88	0.0681	0.068
Zona Social	42.6	2.8	3308.9	748.5	6639.3	1491.27	2411.15	0.0197	0.019
PentHouse	39.8	2.8	3151.5	489.8	10280.7	1257.62	3668.77	0.0281	0.028
P13	37	2.8	3091.6	469.1	13841.3	1082.56	4751.33	0.0303	0.032
P12	34.2	2.8	3091.6	469.1	17402.0	940.05	5691.38	0.0327	0.036
P11	31.4	2.8	3091.6	469.1	20962.6	806.32	6497.7	0.0348	0.040
P10	28.6	2.8	3091.6	469.1	24523.3	681.57	7179.27	0.0366	0.045
P9	25.8	2.8	3091.6	469.1	28083.9	566.01	7745.28	0.0378	0.049
P8	23	2.8	3091.6	469.1	31644.6	459.85	8205.13	0.0386	0.053
P7	20.2	2.8	3091.6	469.1	35205.2	363.37	8568.5	0.0387	0.057
P6	17.4	2.8	3091.6	469.1	38765.9	276.87	8845.37	0.0382	0.060
P5	14.6	2.8	3091.6	469.1	42326.5	200.75	9046.12	0.0367	0.061
P4	11.8	2.8	3091.6	469.1	45887.2	135.44	9181.56	0.0342	0.061
P3	9	2.8	3091.6	469.1	49447.8	81.55	9263.11	0.0303	0.058
P2	6.2	2.8	3168.2	469.1	53085.1	40.88	9303.99	0.0243	0.049
Mezanine	3.4	2.8	2234.9	339.9	55659.9	8.49	9312.48	0.0179	0.037
Parq	0.6								

Tabla 14. Cálculo del índice de estabilidad Q_i eje y

11	12	33	14	15	16	17	18	19	20
Descripción	Nivel j [m]	h_{pi}	muerta	viva	Pi	Fsy	Vi	Δ_{cm}	Qi
Cubiert Asc	47.4	2	117.62	30.89	148.51	64.16	64.16	-0.0278	-0.032
Cubierta G	45.4	2.8	1694.46	738.98	2581.95	855.72	919.88	0.0186	0.019
Zona Social	42.6	2.8	3308.92	748.48	6639.35	1491.27	2411.15	-0.0013	-0.001
PentHouse	39.8	2.8	3151.51	489.83	10280.69	1257.62	3668.77	0.0014	0.001
P13	37	2.8	3091.58	469.07	13841.34	1082.56	4751.33	0.0016	0.002
P12	34.2	2.8	3091.58	469.07	17401.99	940.05	5691.38	0.0018	0.002
P11	31.4	2.8	3091.58	469.07	20962.64	806.32	6497.70	0.0021	0.002
P10	28.6	2.8	3091.58	469.07	24523.29	681.57	7179.27	0.0023	0.003
P9	25.8	2.8	3091.58	469.07	28083.94	566.01	7745.28	0.0025	0.003
P8	23	2.8	3091.58	469.07	31644.59	459.85	8205.13	0.0026	0.004
P7	20.2	2.8	3091.58	469.07	35205.24	363.37	8568.50	0.0027	0.004
P6	17.4	2.8	3091.58	469.07	38765.89	276.87	8845.37	0.0027	0.004
P5	14.6	2.8	3091.58	469.07	42326.54	200.75	9046.12	0.0026	0.004
P4	11.8	2.8	3091.58	469.07	45887.19	135.44	9181.56	0.0023	0.004
P3	9	2.8	3091.58	469.07	49447.84	81.55	9263.11	0.0019	0.004
P2	6.2	2.8	3168.19	469.07	53085.10	40.88	9303.99	0.0009	0.002
Mezanine	3.4	2.8	2234.89	339.86	55659.85	8.49	9312.48	0.0010	0.002
Parq	0.6								

5.4 DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES TOTALES

Según se indica en el numeral A.6.2.4 de la NSR-10 los desplazamientos totales horizontales, $\delta_{tot,j}$ en cualquiera de las direcciones principales, j se obtiene de la suma de los valores absolutos de:

$$\text{Ec. 12. } \delta_{tot,j} = |\delta_{cm,j}| + |\delta_{t,j}| + |\delta_{pd,j}|$$

Donde $\delta_{cm,j}$ corresponde al desplazamiento horizontal en el centro de masa, j; $\delta_{t,j}$ al desplazamiento adicional

causado por los efectos torsionales en la dirección bajo estudio. J; y $\delta_{pd,j}$ al desplazamiento horizontal causado por los efectos P-Delta en la dirección bajo estudio. Donde este último no se analiza según lo dispuesto en el capítulo 5.3

5.5 DERIVA MÁXIMA

Dependiendo de la irregularidad de tipo torsional 1aP o 1bP la norma NSR-10 en el numeral A.6.3.1 indica cómo calcular las derivas en la edificación. En esta ocasión debido a la ausencia de irregularidad

torsional es posible utilizar el cálculo indicado en el numeral A.6.3.1.1 de la NSR-10, en donde se especifica que: “la deriva máxima para el piso i , Δ_{max}^i , corresponde a la mayor deriva de las direcciones principales en planta, j , calculada como el valor absoluto de la diferencia algebraica de los desplazamientos horizontales del centro de masa del diafragma i , $\delta_{cm,j}$, en la dirección principal bajo estudio con respecto a los del diafragma del piso inmediatamente inferior ($i-1$) en la misma dirección, incluyendo los efectos P-Delta”. Para esto, se extrae los desplazamientos

debido a la combinación “sismo-09” de los *joints* ubicados en el centro de masa.

En la Tabla 15 y Tabla 16, columnas 6 y 9 se muestra los desplazamientos arrojados por Sap2000. El cálculo de las derivas en cada piso, i , en las dos direcciones bajo estudio, j , se calcula como la diferencia entre los desplazamiento del piso i menos el piso $i-1$ (Columnas 7 y 10) en cada dirección j de estudio. También se muestra el cumplimiento de los límites de las derivas el cual se especifica en el numeral A.6.4.1 de la NSR-10 (columnas 8 y 11).

Tabla 15. Derivas en la dirección X

1	2	3	4	5	6	7	8
m	Text	Text	Text	m	m	m	Text
Z	OutputCase	CaseType	StepType	Limite Deriva	U1	Δ_{max}^i	condición Deriva en X
47.4	SISMO-09	Combination	Max	0.02	0.4769	0.1049	No cumple
45.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.5817	0.0975	No cumple
42.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4843	0.0162	Cumple
39.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4681	0.0287	No cumple
37	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4393	0.0309	No cumple
34.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4084	0.0333	No cumple
31.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3751	0.0355	No cumple
28.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3396	0.0373	No cumple
25.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3023	0.0386	No cumple
23	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2637	0.0394	No cumple
20.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2243	0.0395	No cumple
17.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1847	0.0390	No cumple
14.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1458	0.0375	No cumple
11.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1083	0.0349	No cumple
9	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0734	0.0308	No cumple
6.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0426	0.0241	Cumple
3.4	SISMO-09	Combination	Max	0.034	0.0185	0.0185	Cumple

Tabla 16. Derivas en la dirección Y

1	2	3	4	5	9	10	11
m	Text	Text	Text	m	m	m	Text
Z	OutputCase	CaseType	StepType	Limite Deriva	U2	Δ_{max}^i	condición Deriva en X
47.4	SISMO-09	Combination	Max	0.02	0.4398	0.0066	Cumple
45.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4464	0.0236	Cumple
42.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4228	0.0227	Cumple
39.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4001	0.0269	Cumple
37	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3731	0.0286	No cumple
34.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3446	0.0302	No cumple
31.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3143	0.0317	No cumple
28.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2827	0.0328	No cumple
25.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2499	0.0335	No cumple
23	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2164	0.0338	No cumple
20.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1826	0.0335	No cumple
17.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1492	0.0325	No cumple
14.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1166	0.0309	No cumple
11.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0858	0.0283	No cumple
9	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0574	0.0248	Cumple
6.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0326	0.0195	Cumple
3.4	SISMO-09	Combination	Max	0.034	0.0131	0.0131	Cumple

6. ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO CON EL PROGRAMA SAP2000

En el presente capítulo se mostrará que mediante el uso del programa sap2000 es posible optimizar tiempo en el análisis sísmico, debido a la versatilidad que tiene el programa para la inclusión de los datos y también debido a que el programa cuenta con cálculos automáticos que facilitan este análisis.

Para realizar las diferentes metodologías de análisis sísmicos mostrada en este capítulo es indispensable que el modelo del edificio “BARRANCA” cuente inicialmente con:

1. Los materiales, Barras y Muros, los cuales deben estar configurados según se indican los capítulos 4.6.1, 4.6.2 y 4.6.3
2. Los casos de carga “PP”, “DEAD”, “F”, que se mencionaron en el capítulo 4.6.4. Los casos de carga “L”, “Lr” y “Fs_arb” ya no son necesario debido a que los dos primeros se utilizaron para conocer el índice de inestabilidad (capítulo 5.3.2), y el ultimo se utilizó para conocer el periodo fundamental de la edificación (capitulo 4.8). De los casos “Fs” que son “Fsx, Fsy, Mz_Fsx y Mz_Fsy se hablará más adelante.

3. El dibujo del modelo sap2000 mencionado en el capítulo 4.6.7
4. Las cargas asignadas en los *Frame* según se menciona en el capítulo 4.6.8
5. Y la asignación de los diafragmas rígidos, los cuales se menciona en el capítulo 4.6.12

6.1 METODOLOGÍA 1: ASIGNAR CARGAS Y EL CENTRO DE APLICACIÓN DE LAS FUERZAS.

Para comenzar se asignarán las cargas sísmicas y el punto de aplicación de las mismas a través de los casos de carga, en vez de gastar tiempo creando *joints* en el centro de masa de cada entre piso y aplicando las fuerzas en estos, es importante mencionar que este último procedimiento, el cual es el más utilizado, puede conllevar a errores al ubicar los *joints* en el centro de masa o al aplicar las fuerzas en estos.

Para hacer esta metodología se dirige a *define – Load patterns* y se crea los casos de carga “Fsx” y “Fsy” en *Type* como “*Quake*” y en *Auto Lateral Load Pattern* como “*User Load*” tal como aparece en la Fig. 51.

Después de creados los casos de carga se da clic en *Modify Lateral Load Patterns* para asignar las fuerzas y el punto de aplicación de las mismas, tal como se muestra en la Fig. 52 en donde se puede ver los diafragmas asignados (columna *Diaphragm*) en su respectivo nivel (Columna *Diaphragm Z*) y con las fuerzas y momentos aplicados (columnas *Fx*, *Fy*, *Mz*). Por último, si la opción de *user specified Application point* está activado, como en este caso puede ubicarse la posición del centro de masa.

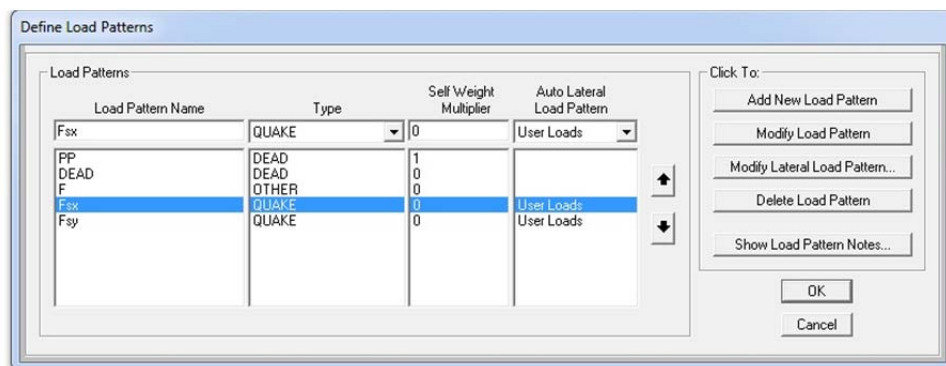
Como el lector se podrá darse cuenta se eliminó los casos de carga “Mz_Fsx” y Mz_Fsy” para aplicar los momentos producidos por las fuerzas X “Mz_Fsx” al caso de carga “Fsx” y lo mismo en la dirección Y. También en la Fig. 52 Se puede notar que los momentos Mz en los dos casos de carga “Fsx” y “Fsy” tienen signo negativo, esto es debido a que

según se analizó en el anexo 8 (efecto ortogonal y máximo desplazamiento debido a este efecto) la combinación crítica se presenta cuando en la dirección X, la fuerza es positiva y el momento es sentido horario (valor negativo) y en la dirección Y, la fuerza es positiva y el momento es sentido horario (Valor negativo).

Para calcular las derivas teniendo en cuenta el efecto ortogonal (La raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos en las direcciones X y Y), se define en *Define – Load Combinations* un combo tal como se muestra en la Fig. 53

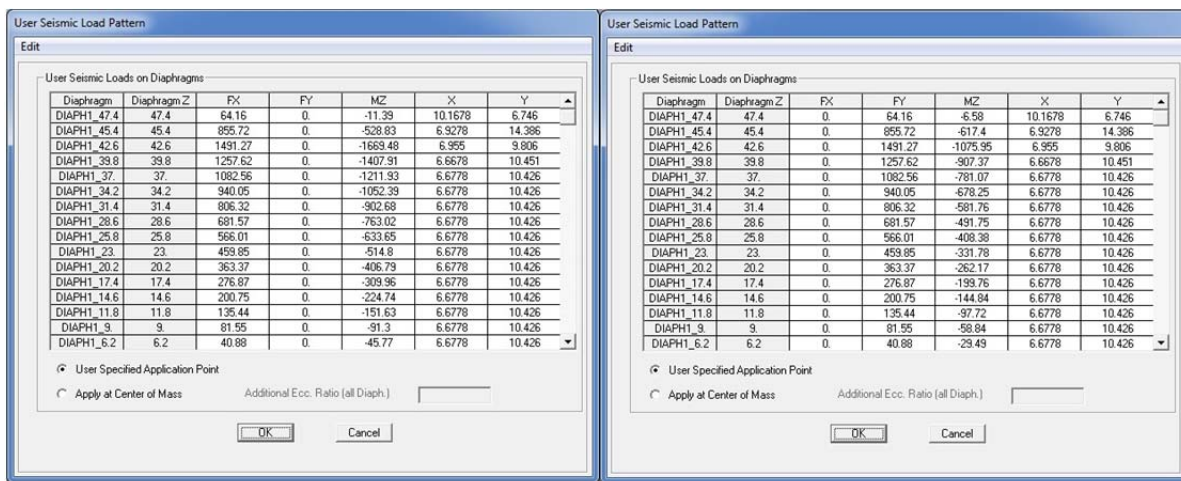
Nota: Para realizar el análisis sísmico se tomaron los valores de la Tabla 9 Distribución de las fuerzas sísmicas en las direcciones de diseño, la Tabla 10 Momentos producidos por el desplazamiento de las fuerzas sísmicas y la Tabla 4 se encuentra la Ubicación del centro de masa por nivel.

Fig. 51. Definición caso de carga Fsx y Fsy para “User Load”



Fuente Sap2000 “Define Load Patterns”

Fig. 52. Asignación de las fuerzas sísmicas y el punto de aplicación

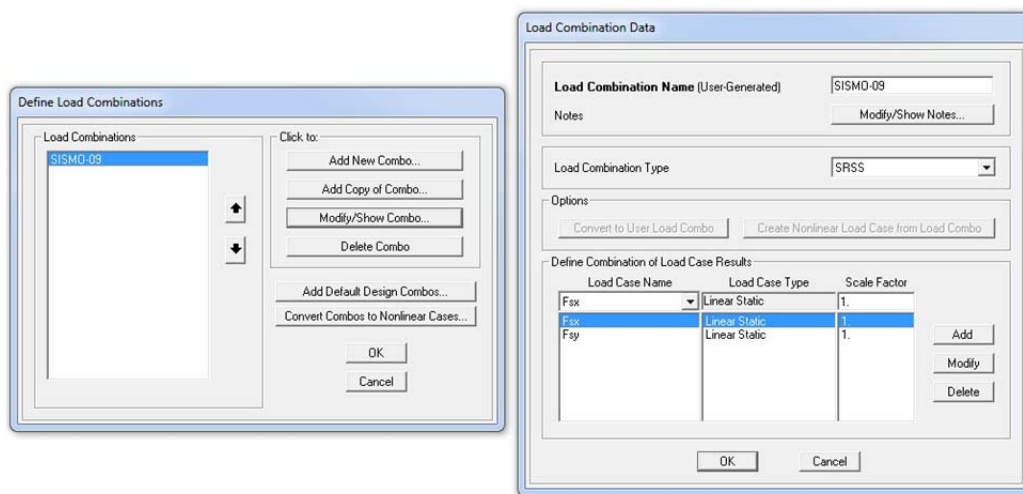


CASO DE CARGA "Fsx"

CASO DE CARGA "Fsy"

Fuente Sap2000 "User Seismic Load Pattern"

Fig. 53. Combinación SRSS (Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados)



Para el análisis de las derivas se tendrá en cuenta los Desplazamiento horizontal en el centro de masa y Desplazamiento horizontal causado por efectos torsionales los cuales se hace referencia en los capítulos 5.1 y 5.2 respectivamente, los Desplazamiento horizontal causados por efectos p-delta del capítulo 5.3 no se

analizan debido a que el índice de estabilidad de cada piso es menor al máximo permitido por la norma NSR-10.

Por último en la Tabla 17 se muestra el resultado de las derivas asignando las fuerzas sísmicas y el punto de aplicación de las mismas a través de los caso de carga "Fsx" y "Fsy".

Tabla 17. Derivas asignando las fuerzas sísmicas y el punto de aplicación

1	2	3	4	5	6	7	8
m	Text	Text	Text	m	m	m	Text
Z	OutputCase	CaseType	StepType	Limite Deriva	U1	Δ_{max}^i	condición Deriva en X
47.4	SISMO-09	Combination	Max	0.02	0.4769	0.1049	No cumple
45.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.5817	0.0975	No cumple
42.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4843	0.0162	Cumple
39.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4681	0.0287	No cumple
37	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4393	0.0309	No cumple
34.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4084	0.0333	No cumple
31.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3751	0.0355	No cumple
28.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3396	0.0373	No cumple
25.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3023	0.0386	No cumple
23	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2637	0.0394	No cumple
20.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2243	0.0395	No cumple
17.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1847	0.0390	No cumple
14.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1458	0.0375	No cumple
11.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1083	0.0349	No cumple
9	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0734	0.0308	No cumple
6.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0426	0.0241	Cumple
3.4	SISMO-09	Combination	Max	0.034	0.0185	0.0185	Cumple

1	2	3	4	5	9	10	11
m	Text	Text	Text	m	m	m	Text
Z	OutputCase	CaseType	StepType	Limite Deriva	U2	Δ_{max}^i	condición Deriva en Y
47.4	SISMO-09	Combination	Max	0.02	0.4398	0.0066	Cumple
45.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4464	0.0236	Cumple
42.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4228	0.0227	Cumple
39.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4001	0.0269	Cumple
37	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3731	0.0286	No cumple
34.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3446	0.0302	No cumple
31.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3143	0.0317	No cumple
28.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2827	0.0328	No cumple
25.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2499	0.0335	No cumple
23	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2164	0.0338	No cumple
20.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1826	0.0335	No cumple
17.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1492	0.0325	No cumple
14.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1166	0.0309	No cumple
11.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0858	0.0283	No cumple
9	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0574	0.0248	Cumple
6.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0326	0.0195	Cumple
3.4	SISMO-09	Combination	Max	0.034	0.0131	0.0131	Cumple

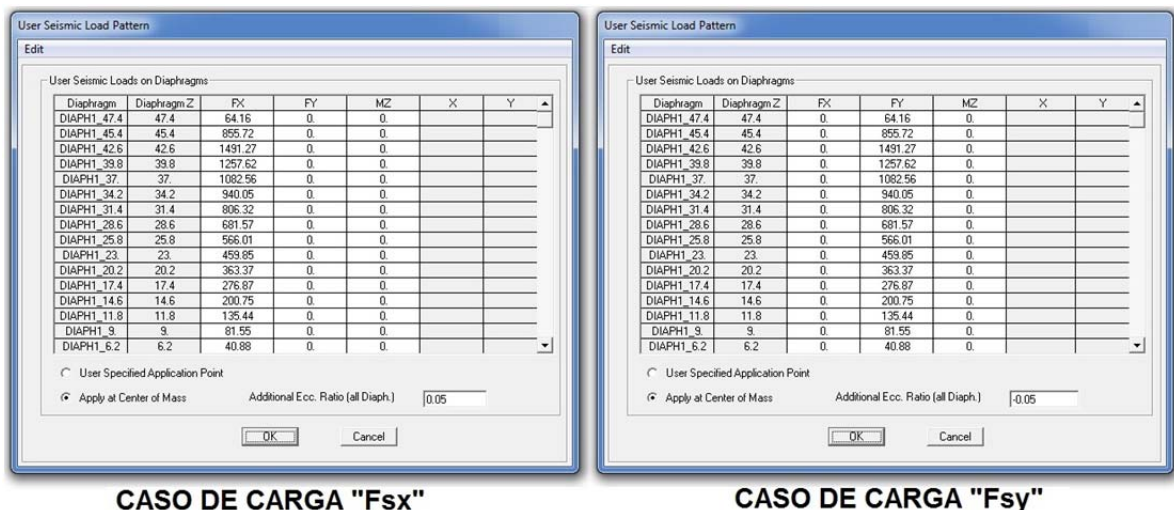
6.2 METODOLOGÍA 2: ASIGNAR CARGAS SIN EL CENTRO DE APLICACIÓN DE LAS FUERZA

Este procedimiento es similar al acabado de mencionar (Metodología 1: Asignar cargas y el centro de aplicación de las fuerzas), en lo que difiera en comparación al anterior es: primero, que el programa calculará por si solo el centro de aplicación de las fuerzas sísmicas y segundo, realizará el cálculo del momento torsor.

Para hacer el análisis con este procedimiento en *define – Load patterns*, los casos de carga “*Fsx*” y “*Fsy*” se dejan tal y como se muestra en la Fig. 51. Pero después de dar clic en el botón *Modify lateral Load pattern* del cuadro *Define Load Patterns*, en el cuadro *User seismic load Pattern* se selecciona la opción de

Apply at Center of mass (Para que el programa ubique las fuerzas en el centro de masa automáticamente), además de esto, si se desea, en la opción de *Additional Ecc. Ratio* se asigna un valor de 0.05 (5% de excentricidad) para que el programa calcule los momentos torsores. Sobre esto último cabe mencionar que el programa asume para valores positivos de excentricidad, un desplazamiento hacia la derecha y arriba, por esta razón si se dese que para el caso de carga “*Fsx*” la rotación producida por esta fuerza sea horaria (negativa) la excentricidad debe ser positiva, mientras que para el caso “*Fsy*” la excentricidad debe ser negativa. En la Fig. 54 puede verse la asignación de las fuerzas sísmicas, y la configuración para el cálculo automático del centro de masa y el momento torsor.

Fig. 54. Asignación de las fuerzas sísmicas, Calculo automático del C.M



Fuente Sap2000 “User seismic Load Pattern”

Antes de mostrar los resultados del análisis sísmico mediante esta alternativa, se analizará la ubicación donde el programa aplicará las fuerzas sísmicas y los momentos torsores.

6.2.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL AUTO SISMO CON "USER LOAD"

El programa sap2000 en *Display – show table* es posible seleccionar la opción *Load patterns definitions – Auto seismic load – table: auto seismic loads to Horizontal Diaphragms* para ver la tabla donde aparece la ubicación del centro de masa, las fuerzas sísmicas, y los momentos torsores calculados para cada diafragma, los cuales son mostrados en la Fig. 55 del presente libro.

Con base a la figura mencionada anteriormente es posible conocer el porcentaje de error debido al cálculo del momento torsor de forma automática, además es posible comprobar la correcta ubicación del centro de masa.

Como se podrá notar en la Tabla 18, se calculó el porcentaje de error entre el momento torsor calculado de forma manual, el cual se puede ver en la Tabla 10 (Momentos producidos por el desplazamiento de las fuerzas sísmicas) y el calculado de forma automática (Fig. 55). Este cálculo se realizó para los niveles de

piso tipo N+37.00, pent-House N+39.80 y zona social N+42.60 y para las dos direcciones principales de análisis, dando como resultado que la diferencia de los datos no supera el 3%. Este error es debido a que cuando el programa sustrae la longitud de la edificación lo hace tomando la distancia entre el punto que se encuentra más a la izquierda al punto más a la derecha, para el eje X y lo mismo sucede para el sentido vertical que corresponde al eje Y, esto último en sí mismo no produce el error, sino la modelización de la edificación, dado que cuando se crea el modelo se ubica los "Frames" de las columnas en el centroide de estas y por ende la longitud entre los extremos de la edificación es un poco más pequeña en comparación a cuando se mide en el plano constructivo.

Por último en la Tabla 19 se comparó el punto de aplicación de las fuerzas sísmicas arrojadas por la tabla "*table: auto seismic loads to Horizontal Diaphragms*" Fig. 55 del presente libro, con los valores arrojados por el archivo "MF2.OUT", el cual se referencia en el Anexo 6 capítulo 4 (Centro de masa con el programa Sap2000). El análisis del cuadro comparativo mostró que el Sap2000 aplica las fuerzas sísmicas en el centroide de la edificación, en vez del centro de masa,

esto es debido a que el software toma como punto de aplicación de la fuerza la ubicación de la masa en la dirección U3 del archivo MF2.OUT, el cual hace referencia al centroide de la edificación. Esto último, por consiguiente, genera que

los resultados del análisis sísmico que se muestran en la Tabla 20 tengan cierto desvío o error, el cual es significativo si la distribución de la masa en los entresijos no es uniforme o si se presenta alguna carga concentrada.

Fig. 55. Ubicación del C.M y calculo automatico del momento torsor para los casos de carga “Fsx” y “Fsy” con la metodología “User Load”

The figure displays two screenshots of the 'Auto Seismic Loads To Horizontal Diaphragms' software interface. Both screenshots show a table with columns for LoadPat Text, AutoLdType Text, Diaphragm Text, DiaphragmZ m, FX KN, FY KN, FZ KN, MX KN-m, MY KN-m, MZ KN-m, X m, and Y m. The top screenshot shows results for 'Fsx' user loads, and the bottom screenshot shows results for 'Fsy' user loads. The tables list diaphragm levels from 47.4 m to -2.8 m, along with their respective forces and moments.

LoadPat Text	AutoLdType Text	Diaphragm Text	DiaphragmZ m	FX KN	FY KN	FZ KN	MX KN-m	MY KN-m	MZ KN-m	X m	Y m
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_47.4	47.4	64.16	0	0	0	0	-10.4177	10.11963	6.7478
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_45.4	45.4	855.72	0	0	0	0	-528.8364	6.6405	14.38835
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_42.6	42.6	1491.27	0	0	0	0	-1651.5231	6.79746	9.1019
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_39.8	39.8	1257.62	0	0	0	0	-1392.7649	6.75479	10.1027
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_37	37	1082.56	0	0	0	0	-1198.8928	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_34.2	34.2	940.05	0	0	0	0	-1041.0686	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_31.4	31.4	806.32	0	0	0	0	-892.9678	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_28.6	28.6	681.57	0	0	0	0	-754.8121	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_25.8	25.8	566.01	0	0	0	0	-626.8339	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_23	23	459.85	0	0	0	0	-509.2659	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_20.2	20.2	363.37	0	0	0	0	-402.418	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_17.4	17.4	276.87	0	0	0	0	-306.6227	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_14.6	14.6	200.75	0	0	0	0	-222.3228	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_11.8	11.8	135.44	0	0	0	0	-149.9945	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_9	9	81.55	0	0	0	0	-90.3134	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_6.2	6.2	40.88	0	0	0	0	-45.273	6.78358	9.86954
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_3.4	3.4	8.49	0	0	0	0	-3.4023	6.65292	12.29539
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	6.72132	15.28863
Fsx	USER LOADS	DIAPH1_-2.8	-2.8	0	0	0	0	0	0	6.83222	14.89976

LoadPat Text	AutoLdType Text	Diaphragm Text	DiaphragmZ m	FX KN	FY KN	FZ KN	MX KN-m	MY KN-m	MZ KN-m	X m	Y m
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_47.4	47.4	0	64.16	0	0	0	-6.0952	10.11963	6.7478
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_45.4	45.4	0	855.72	0	0	0	-600.2024	6.6405	14.38835
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_42.6	42.6	0	1491.27	0	0	0	-1045.9774	6.79746	9.1019
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_39.8	39.8	0	1257.62	0	0	0	-882.0952	6.75479	10.1027
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_37	37	0	1082.56	0	0	0	-759.308	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_34.2	34.2	0	940.05	0	0	0	-659.3515	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_31.4	31.4	0	806.32	0	0	0	-565.5532	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_28.6	28.6	0	681.57	0	0	0	-478.0535	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_25.8	25.8	0	566.01	0	0	0	-396.9996	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_23	23	0	459.85	0	0	0	-322.539	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_20.2	20.2	0	363.37	0	0	0	-254.8679	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_17.4	17.4	0	276.87	0	0	0	-194.1967	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_14.6	14.6	0	200.75	0	0	0	-140.8061	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_11.8	11.8	0	135.44	0	0	0	-94.9977	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_9	9	0	81.55	0	0	0	-57.1992	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_6.2	6.2	0	40.88	0	0	0	-28.6732	6.78358	9.86954
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_3.4	3.4	0	8.49	0	0	0	-5.9549	6.65292	12.29539
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	6.72132	15.28863
Fsy	USER LOADS	DIAPH1_-2.8	-2.8	0	0	0	0	0	0	6.83222	14.89976

Fuente Sap2000 Tabla “Auto Seismic Load to Horizontal Diaphragms”

Tabla 18. Porcentaje de error de la magnitud del Momento torsor con método “user Load”

Caso de Carga	Nivel [m]	Momento Torsor [Calculo Manual]	Momento torsor [Calculo de sap2000]	% Error
Fsx	42.6	1669.48	1651.52	1.076
Fsx	39.8	1407.91	1392.76	1.076
Fsx	37	1211.93	1198.89	1.076
Fsy	42.6	1075.95	1045.98	2.786
Fsy	39.8	907.37	882.1	2.786
Fsy	37	781.07	759.31	2.786

Tabla 19. Comparación del centro de masa automático y el real

	Table: Auto Seismic loads to Horizontal Diaphragms		Dirección U1 - U2 del archivo “MF2.OUT” [Centro de masa]		Dirección U3 del archivo “MF2.OUT” [Centro geométrico]	
	X	Y	X	Y	X	Y
42.6	6.80	9.10	6.986	9.79	6.80	9.10
39.8	6.76	10.10	6.667	10.49	6.76	10.10
37	6.78	9.87	6.674	10.45	6.78	9.87

NOTA: A) La inconsistencia al configurar al programa sap2000 para que la ubique el centro de masa en el diafragma de los entresijos automáticamente se encontró en las versiones V12 al V14, para la versión V15 esta falla se corrigió. B) El combo usado para el cálculo de las derivas es el mismo que se presentó en el capítulo 6.1. (Metodología 1: Asignar cargas y el centro de aplicación de las fuerzas.) El cual hace referencia al Combo “Sismo-09”

En la Tabla 20, columnas 6 y 9 se muestra los desplazamientos absolutos arrojados por Sap2000. El cálculo de las derivas en cada piso, i, en cada dirección bajo

estudio, j, se calcula como la diferencia entre los desplazamiento del piso i menos el piso i-1 (Columnas 7 y 10) para cada dirección j. En la tabla mencionada también se muestra el límite de la deriva para cada piso (columnas 5 y 6) y con base a esto se analiza el cumplimiento de los límites de las derivas el cual se especifica en el numeral A.6.4.1 de la NSR-10 (columnas 8 y 11). Todo se realiza con los valores máximos de la combinación “sismo-09”, los cuales se concluyó que son los efectos más críticos según el Anexo 8 (efecto ortogonal y máximo desplazamientos debido a este efecto) del presente libro.

Tabla 20. Derivas asignando las fuerzas sísmicas y Calculo Automático del C.M

1	2	3	4	5	6	7	8
m	Text	Text	Text	m	m	m	Text
z	OutputCase	CaseType	StepType	Limite Deriva	U1	Δ_{max}^i	Condición deriva en X
47.4	SISMO-09	Combination	Max	0.02	0.483054	-0.084363	Cumple
45.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.567417	0.085211	No cumple
42.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.482206	0.017697	Cumple
39.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.464509	0.028472	No cumple
37	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.436037	0.030651	No cumple
34.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.405386	0.033063	No cumple
31.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.372323	0.035223	No cumple
28.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.337100	0.037004	No cumple
25.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.300096	0.038315	No cumple
23	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.261781	0.039081	No cumple
20.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.222700	0.039222	No cumple
17.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.183478	0.038636	No cumple
14.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.144842	0.037178	No cumple
11.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.107664	0.034622	No cumple
9	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.073042	0.030611	No cumple
6.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.042431	0.024184	Cumple
3.4	SISMO-09	Combination	Max	0.034	0.018247	0.018247	Cumple

1	2	3	4	5	9	10	11
m	Text	Text	Text	m	m	m	Text
z	OutputCase	CaseType	StepType	Limite Deriva	U1	Δ_{max}^i	Condición deriva en Y
47.4	SISMO-09	Combination	Max	0.02	0.439686	-0.006484	Cumple
45.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.44617	0.023626	Cumple
42.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.422544	0.022789	Cumple
39.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.399755	0.026964	Cumple
37	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.372791	0.028603	No cumple
34.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.344188	0.030232	No cumple
31.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.313956	0.031652	No cumple
28.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.282304	0.032762	No cumple
25.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.249542	0.033476	No cumple
23	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.216066	0.03372	No cumple
20.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.182346	0.033417	No cumple
17.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.148929	0.032488	No cumple
14.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.116441	0.030827	No cumple
11.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.085614	0.028293	No cumple
9	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.057321	0.024758	Cumple
6.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.032563	0.01948	Cumple
3.4	SISMO-09	Combination	Max	0.034	0.013083	0.013083	Cumple

6.3 METODOLOGÍA 3: ASIGNAR COEFICIENTES

Para esta metodología se plantea el uso del coeficiente del cortante basal y el del periodo fundamental de diseño para el análisis sísmico.

Para realizar esta metodología de análisis se dirige a *define – Load patterns* y en el caso de carga “F_{sx}” y “F_{sy}” en *Type* se configura el tipo de carga como “*Quake*” y en *Auto Lateral Load Pattern* como “*User coefficient*” tal como aparece en la Fig. 56. Después de configurar los casos de carga en el cuadro *Define Load Patterns* se da clic en *Modify Lateral Load Patterns*.

En el siguiente cuadro *User Define Seismic Load Pattern* se configura:

1. En *Load direction and diaphragm eccentricity* la dirección de análisis (en “*Global X direction*” para el caso de carga “F_{sx}” y en “*Global Y direction*” para el caso de carga “F_{sy}”) y el valor de la excentricidad en “*Ecc Ration (All diaph)*”, que como se mencionó anteriormente corresponde a un desplazamiento de la fuerza sísmica un 5%, es decir 0.05;
2. En “*Lateral load elevation range*” se especifica los niveles del análisis sísmico, los cuales corresponde del

nivel de base hasta el nivel más alto de la edificación, donde el nivel de base es la losa donde mueren los muros de contención (Ver la nota del capítulo 4.4 - Cálculo de las fuerzas arbitrarias);

3. en “*Other factors*” se debe definir en “*Base shear coefficient, C*” el cortante basal, calculado en el capítulo 4.9.1 (Valor de aceleración SA.) que para este caso el valor es igual para las dos direcciones principales de análisis, y en “*Building height exp, K*” se define el exponente k, el cual está relacionado con el periodo fundamental T de la edificación, Este coeficiente se encuentra en el numeral A.4.3.2 de la norma sismo resistente y se calcula según el rango del periodo fundamental. Para este caso como los periodos T_x y T_y son iguales, por ende, el rango de T y el exponente k serán los mismo:

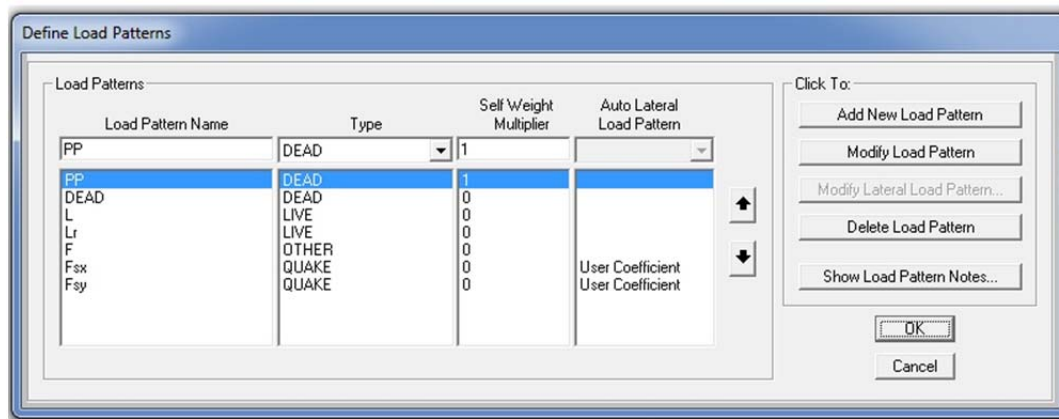
$$\text{➤ } T \leq 0.5 \text{ seg.} \quad k = 1.0$$

$$\text{➤ } 0.5 < T \leq 2.5 \text{ Seg.} \quad k = 0.75 + 0.5T$$

$$\text{➤ } T > 2.5 \text{ seg.} \quad k = 2.0$$

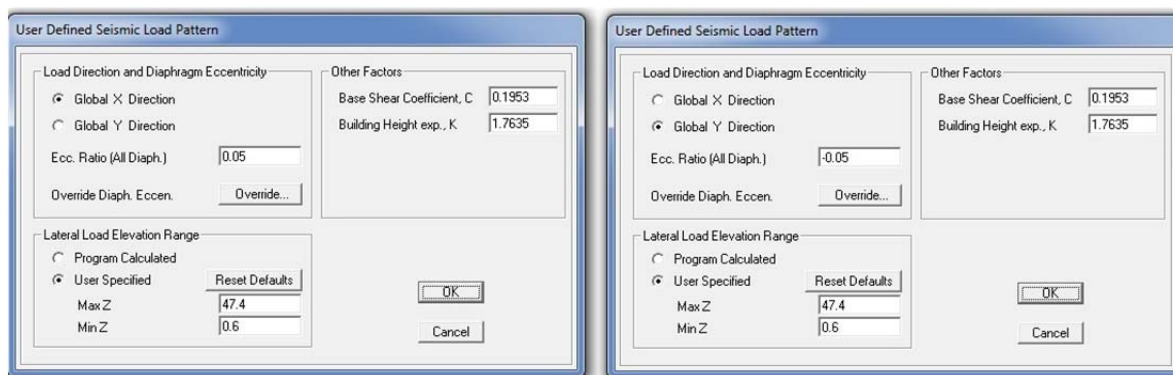
NOTA: En este proyecto en particular los periodos, los exponentes k y los coeficientes basales son iguales en las dos direcciones principales de diseño, pero esto no siempre ocurre.

Fig. 56. Definición de casos de carga “Fsx” y “Fsy” para “User coefficient”



Fuente Sap2000 “Define load Patterns”

Fig. 57. Asignación de los coeficientes para el análisis sísmico



CASO DE CARGA "Fsx"

CASO DE CARGA "Fsy"

Fuente Sap2000 “User Defined Seismic Load Pattern”

Antes de ejecutar el modelo en Sap2000 se debe asegurar que el programa tome como origen de masa (en “Define -Mass source”) los casos de cargas debido al peso muerto “PP”, sobre impuesto “DEAD” y debido a fluidos con densidad y altura definida “F”, los cuales se ven configurados en Fig. 39 y se hace mayor referencia en el capítulo 4.6.9. La correcta configuración del origen de masa define el

peso muerto total de la edificación y con base a la cual se distribuye las fuerzas sísmicas de forma automática.

6.3.1 ANÁLISIS DE LOS DATOS DEL AUTO SISMO CON “USER COEFFICIENT”

Debido a que para esta metodología de análisis sísmico no es necesario distribuir, ubicar, ni asignar las fuerzas horizontales

a los entresijos de forma manual, es importante comparar los datos con los que el programa realizará el cálculo de los desplazamientos con los hallados manualmente, para hacer este análisis en la Fig. 58 se muestra la hoja de *Display – show table - Load patterns definitions – Auto seismic load – table: auto seismic*

loads to Horizontal Diaphragms arrojada por sap2000. Además en la Tabla 21 se calcula el porcentaje de error al programa distribuir las fuerzas sísmicas entre los niveles de la edificación y en la Tabla 22 se calcula el porcentaje de error al programa calcular el momento torsor.

Fig. 58. cálculo de las fuerza sísmicas para “Fsx” y “Fsy” con “User Coefficient”

The figure displays two screenshots of the 'Auto Seismic Loads To Horizontal Diaphragms' software interface. Both screenshots show a table of results for different diaphragm levels, comparing 'Fsx' and 'Fsy' load patterns. The tables include columns for LoadPat Text, AutoLdType Text, Diaphragm Text, DiaphragmZ (m), and various force and moment components (FX, FY, FZ, MX, MY, MZ, X, Y) in KN and KN-m. The top screenshot shows results for 'Fsx' and the bottom screenshot shows results for 'Fsy'. The tables are identical in structure and data, with the only difference being the load pattern name and the corresponding force/moment values.

LoadPat Text	AutoLdType Text	Diaphragm Text	DiaphragmZ m	FX KN	FY KN	FZ KN	MX KN-m	MY KN-m	MZ KN-m	X m	Y m
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_47.4	47.4	69.44	0	0	0	0	3.9324	10.11963	6.7478
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_45.4	45.4	878.623	0	0	0	0	-880.8311	6.6405	14.38835
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_42.6	42.6	1529.767	0	0	0	0	-2667.074	6.79746	9.1019
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_39.8	39.8	1273.447	0	0	0	0	-1898.4813	6.75479	10.1027
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_37.	37	1094.625	0	0	0	0	-1846.8503	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_34.2	34.2	950.522	0	0	0	0	-1603.7207	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_31.4	31.4	815.309	0	0	0	0	-1375.5887	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_28.6	28.6	689.17	0	0	0	0	-1162.7667	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_25.8	25.8	572.312	0	0	0	0	-965.6045	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_23.	23	464.97	0	0	0	0	-784.4979	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_20.2	20.2	367.415	0	0	0	0	-619.9019	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_17.4	17.4	279.96	0	0	0	0	-472.3483	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_14.6	14.6	202.983	0	0	0	0	-342.4729	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_11.8	11.8	136.949	0	0	0	0	-231.0603	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_9.	9	82.457	0	0	0	0	-139.122	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_6.2	6.2	40.749	0	0	0	0	-66.6783	6.78358	9.86954
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_3.4	3.4	8.945	0	0	0	0	-17.0927	6.65292	12.29539
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	6.72132	15.28863
Fsx	USER CDEFF	DIAPH1_-2.8	-2.8	0	0	0	0	0	0	6.83222	14.89976

LoadPat Text	AutoLdType Text	Diaphragm Text	DiaphragmZ m	FX KN	FY KN	FZ KN	MX KN-m	MY KN-m	MZ KN-m	X m	Y m
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_47.4	47.4	0	69.44	0	0	0	5.7561	10.11963	6.7478
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_45.4	45.4	0	878.623	0	0	0	-500.0249	6.6405	14.38835
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_42.6	42.6	0	1529.767	0	0	0	-808.7453	6.79746	9.1019
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_39.8	39.8	0	1273.447	0	0	0	-1004.847	6.75479	10.1027
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_37.	37	0	1094.625	0	0	0	-887.6754	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_34.2	34.2	0	950.522	0	0	0	-770.8169	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_31.4	31.4	0	815.309	0	0	0	-661.1669	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_28.6	28.6	0	689.17	0	0	0	-558.8755	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_25.8	25.8	0	572.312	0	0	0	-464.1109	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_23.	23	0	464.97	0	0	0	-377.0633	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_20.2	20.2	0	367.415	0	0	0	-297.9514	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_17.4	17.4	0	279.96	0	0	0	-227.0308	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_14.6	14.6	0	202.983	0	0	0	-164.6071	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_11.8	11.8	0	136.949	0	0	0	-111.0575	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_9.	9	0	82.457	0	0	0	-66.868	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_6.2	6.2	0	40.749	0	0	0	-32.334	6.78358	9.86954
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_3.4	3.4	0	8.945	0	0	0	-5.2112	6.65292	12.29539
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_0.6	0.6	0	0	0	0	0	0	6.72132	15.28863
Fsy	USER CDEFF	DIAPH1_-2.8	-2.8	0	0	0	0	0	0	6.83222	14.89976

Tabla 21. Porcentaje de error de las fuerzas horizontales de diseño con el método “User coefficient”

Caso de Carga	Nivel [m]	Fuerza horizontal [Calculo Manual]	Fuerza sismica [Calculo de sap2000]	% Error
"Fsx" y "Fsy"	42.6	1491.27	1529.77	-2.58
"Fsx" y "Fsy"	39.8	1257.62	1273.45	-1.26
"Fsx" y "Fsy"	37	1082.56	1094.63	-1.11

Tabla 22. Porcentaje de error de la magnitud del Momento torsor con método “user coefficient”

Caso de Carga	Nivel [m]	Momento Torsor [Calculo Manual]	Momento torsor [Calculo de sap2000]	% Error
Fsx	42.6	1669.48	2667.07	-59.755
Fsx	39.8	1407.91	1898.48	-34.844
Fsx	37	1211.93	1846.85	-52.389
Fsy	42.6	1075.95	808.75	24.834
Fsy	39.8	907.37	1004.85	-10.743
Fsy	37	781.07	887.68	-13.649

Como se puede apreciar en la Tabla 21 (Porcentaje de error de las fuerzas horizontales de diseño con el método “User coefficient”) el programa distribuye con gran aproximación las fuerzas sísmicas en los entre pisos de la edificación. El porcentaje de error entre el método manual y el método automático se debe básicamente a la diferencia entre el peso calculado manualmente y el hallado por el programa, lo cual es debido a las idealizaciones del diseñador, como por ejemplo, al asumir que la carga sobre impuesta esta distribuida uniformemente, mientras que al asignarla al programa se aplica a sobre las viguetas.

Sobre la Tabla 22 (Porcentaje de error de la magnitud del Momento torsor con método “user coefficient”) no se pudo concluir el motivo por el cual se presenta un porcentaje de error tan elevado.

En la Tabla 23, columnas 6 y 9 se muestra los desplazamientos absolutos arrojados por Sap2000. El cálculo de las derivas se calcula como la diferencia entre los desplazamiento del piso i menos el piso i-1 (Columnas 7 y 10) para cada dirección j, también se muestra el límite de la deriva para cada piso (columnas 5 y 6) y el cumplimiento de los límites de las derivas. Todo se realiza con los valores máximos de la combinación “sismo-09”.

Tabla 23. Derivas asignando coeficientes

1	2	3	4	5	6	7	8
m	Text	Text	Text	m	m	m	Text
Z	OutputCase	CaseType	StepType	Limite Deriva	U1	Δ_{\max}^i	Condición deriva en X
47.4	SISMO-09	Combination	Max	0.02	0.4769	0.1049	No cumple
45.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.5817	0.0975	No cumple
42.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4843	0.0162	Cumple
39.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4681	0.0287	No cumple
37	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4393	0.0309	No cumple
34.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4084	0.0333	No cumple
31.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3751	0.0355	No cumple
28.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3396	0.0373	No cumple
25.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3023	0.0386	No cumple
23	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2637	0.0394	No cumple
20.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2243	0.0395	No cumple
17.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1847	0.0390	No cumple
14.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1458	0.0375	No cumple
11.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1083	0.0349	No cumple
9	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0734	0.0308	No cumple
6.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0426	0.0241	Cumple
3.4	SISMO-09	Combination	Max	0.034	0.0185	0.0185	Cumple
1	2	3	4	5	9	10	11
m	Text	Text	Text	m	m	m	Text
Z	OutputCase	CaseType	StepType	Limite Deriva	U2	Δ_{\max}^i	Condición deriva en Y
47.4	SISMO-09	Combination	Max	0.02	0.4398	0.0066	Cumple
45.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4464	0.0236	Cumple
42.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4228	0.0227	Cumple
39.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.4001	0.0269	Cumple
37	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3731	0.0286	No cumple
34.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3446	0.0302	No cumple
31.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.3143	0.0317	No cumple
28.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2827	0.0328	No cumple
25.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2499	0.0335	No cumple
23	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.2164	0.0338	No cumple
20.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1826	0.0335	No cumple
17.4	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1492	0.0325	No cumple
14.6	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.1166	0.0309	No cumple
11.8	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0858	0.0283	No cumple
9	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0574	0.0248	Cumple
6.2	SISMO-09	Combination	Max	0.028	0.0326	0.0195	Cumple
3.4	SISMO-09	Combination	Max	0.034	0.0131	0.0131	Cumple

6.4 PORCENTAJE DE ERROR ENTRE LOS DIFERENTES MÉTODOS

Con las derivas de cada metodología, Columnas 7 y 10 de la tabla 17 (Derivas asignando las fuerzas sísmicas y el punto de aplicación), tabla 20 (Derivas asignando las fuerzas sísmicas y Calculo Automático del C.M) y tabla 23 (Derivas asignando coeficientes) se calculan en la Tabla 24 y Tabla 15 el porcentaje de error de cada metodología, en cada nivel, basándose en las derivas halladas de forma manual de la

tablas 15 y 16 (Derivas en la dirección X y Derivas en la dirección Y)

Para hallar el porcentaje de error se utilizó la siguiente Ecuación:

$$\text{Ec. 13. } \text{Porcentaje de error} = \left[\frac{Vt - Ve}{Vt} \right] * 100$$

Donde Vt es el valor teórico, el cual corresponde a las derivas calculadas en el capítulo 5 (análisis de derivas); Ve es el valor experimental, el cual concierne a las derivas calculada en el capítulo 6 (alternativas metodológicas para el análisis sísmico con el programa sap2000).

Tabla 24. Porcentaje de error de las diferentes metodologías de análisis sísmico para la dirección X

Z [m]	Normal	Metodología 1		Metodología 2		Metodología 3	
	[m]	Δ_{\max}^i [m]	% error	Δ_{\max}^i [m]	% error	Δ_{\max}^i [m]	% error
45.4	0.09747	0.09747	0.00	0.08521	12.58	0.10023	-2.83
42.6	0.01622	0.01622	0.00	0.01770	-9.11	0.01645	-1.42
39.8	0.02874	0.02874	0.00	0.02847	0.92	0.02932	-2.01
37	0.03088	0.03088	0.00	0.03065	0.74	0.03148	-1.95
34.2	0.03332	0.03332	0.00	0.03306	0.77	0.03395	-1.89
31.4	0.03550	0.03550	0.00	0.03522	0.78	0.03616	-1.84
28.6	0.03730	0.03730	0.00	0.03700	0.80	0.03797	-1.80
25.8	0.03863	0.03863	0.00	0.03832	0.81	0.03931	-1.77
23	0.03940	0.03940	0.00	0.03908	0.81	0.04009	-1.74
20.2	0.03955	0.03955	0.00	0.03922	0.82	0.04022	-1.71
17.4	0.03895	0.03895	0.00	0.03864	0.81	0.03961	-1.69
14.6	0.03748	0.03748	0.00	0.03718	0.80	0.03811	-1.68
11.8	0.03489	0.03489	0.00	0.03462	0.77	0.03547	-1.66
9	0.03083	0.03083	0.00	0.03061	0.71	0.03134	-1.65
6.2	0.02410	0.02410	0.00	0.02418	-0.36	0.02448	-1.57
3.4	0.01849	0.01849	0.00	0.01825	1.30	0.01880	-1.67

Tabla 25. Porcentaje de error de las diferentes metodologías de análisis sísmico para la dirección Y

Z [m]	Normal	Metodología 1		Metodología 2		Metodología 3	
	[m]	Δ_{\max}^i [m]	% error	Δ_{\max}^i [m]	% error	Δ_{\max}^i [m]	% error
45.4	0.02362	0.0236	0.00	0.02363	-0.01	0.02408	-1.93
42.6	0.02266	0.0227	0.00	0.02279	-0.56	0.02311	-1.98
39.8	0.02695	0.0269	0.00	0.02696	-0.07	0.02746	-1.90
37	0.02859	0.0286	0.00	0.02860	-0.05	0.02912	-1.86
34.2	0.03023	0.0302	0.00	0.03023	-0.01	0.03078	-1.81
31.4	0.03166	0.0317	0.00	0.03165	0.03	0.03222	-1.77
28.6	0.03278	0.0328	0.00	0.03276	0.05	0.03335	-1.74
25.8	0.03350	0.0335	0.00	0.03348	0.08	0.03407	-1.70
23	0.03375	0.0338	0.00	0.03372	0.10	0.03432	-1.68
20.2	0.03346	0.0335	0.00	0.03342	0.12	0.03401	-1.66
17.4	0.03254	0.0325	0.00	0.03249	0.14	0.03307	-1.64
14.6	0.03088	0.0309	0.00	0.03083	0.16	0.03138	-1.63
11.8	0.02834	0.0283	0.00	0.02829	0.18	0.02880	-1.61
9	0.02480	0.0248	0.00	0.02476	0.19	0.02520	-1.60
6.2	0.01952	0.0195	0.00	0.01948	0.20	0.01983	-1.59
3.4	0.01310	0.0131	0.00	0.01308	0.10	0.01330	-1.59

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al analizar el porcentaje de error de las diferentes metodologías para análisis sísmico (Capítulo 6: Alternativas metodológicas para el análisis sísmico por medio del programa Sap2000) con respecto al análisis manual (Capítulo 3: Cálculo de las fuerzas sísmicas y Capítulo 4: Análisis de deriva) se puede llegar a la conclusión:

1. Que en la metodología 1, al asignar las cargas y la ubicación del centro de masa, y además los momentos torsores en el caso de carga “F_{sx}” y “F_{sy}” la diferencia entre los resultados de este procedimiento y el manual es nulo.
2. En cambio en la metodología 2 (Asignando cargas sísmicas en los casos de carga F_{sx}” y “F_{sy}” pero con cálculo automático del centro de masa y los momentos torsores), se presenta una diferencia ocasionada:
 - a. A que el programa sap2000 en las versiones V12 al V14 toma como centro de masa el centro geométrico del entrepiso, la magnitud de la diferencia entre los resultados del cálculo manual y automático dependerá entonces de la diferencia entre la ubicación del centro de masa y el centro geométrico;
 - b. y a la diferencia entre el momento torsor calculado manualmente y el calculado por el software, el cual es debido a que el modelamiento de una estructura EN Sap2000 es mediante *frame* y por ende algunas distancias o longitudes difieren a los planos constructivos.

Aun con esto, la diferencia de la metodología 2 con respecto al cálculo manual es insignificante a lo que respecta al análisis de las derivas. Se debe mencionar que esta metodología está limitada a que el centro de masa sea similar al centro geométrico en los entrepisos, o sino, se presentará una gran diferencia entre esta metodología con el cálculo manual

3. Para el caso de la metodología 3 (Asignando coeficientes, el cortante basal S_a y el exponente del periodo fundamental k) el porcentaje de error es la suma:
 - a. De lo causante en la metodología 2 (De que el programa sap2000 en las versiones V12 al V14 toma como centro de masa el centro geométrico del

entrepiso y la diferencia entre el momento torsor calculado manualmente y el calculado por el software)

- b. y a la diferencia entre el peso total muerto calculado manualmente y el calculado por programa, esto se debe a que en el primer caso se asume una carga uniformemente distribuida en la placa mientras que a la hora de asignar estas cargas al programa se hace a través de asignar las cargas sobre las viguetas.

Aun con todo esto, se puede decir que siempre y cuando el centro de masa este cercano al centro geométrico la diferencia entre los resultados de esta metodología y el cálculo manual estará dentro del 3%, lo cual para el diseño de estructuras es una diferencia aceptable.

CONCLUSIONES DE LOS ANEXOS

- A través del programa sap2000 es posible calcular de una forma rápida y sencilla el peso propio de una edificación con un porcentaje de error menor al 5%. También, de la misma manera, es posible calcular el peso sobre-impuesto de esta manera se ahorrará tiempo en el proceso del análisis sísmico
- El porcentaje de error modelando las viguetas en la edificación con respecto a no modelándolas es nulo siempre y cuando se configure correctamente el material de las viguetas, esto quiere decir que modelar las viguetas es cien por ciento fiable dado que estos elementos no modifica la rigideces de los pisos. Esto trae como beneficio una mayor rapidez en el cálculo del peso propio de la edificación y además, estos elementos pueden servir como transmisores de fuerzas verticales a los elementos de resistencia sísmica.
- La diferencia del cálculo del centro de masa entre Sap2000 y Etabs son insignificante, puede ser producido por la forma en que cada programa da entrada a los datos, esto da la seguridad de que el programa sap2000 es capaz de calcular el centro de masa.

Es posible conocer la ubicación del centro de rigidez tomando como referencia el centro de masa y aplicando en este punto fuerzas sísmicas arbitrarias para después observar sus rotaciones relativas. Lo anterior es válido para estructuras que presenten

una tipología de piso y gran similitud en la densidad de carga sus entre entrepisos, si esto no se cumple puede presentarse rotaciones relativas de diferentes signos de un piso a otro, lo cual no permitiría tener claridad de la ubicación del centro de rigidez en los pisos.

BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA; Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Tomo 1 y 2. Santafé de Bogotá D.C - Colombia. worldcolor, 2010.

BERR, Ferdinand P. y JOHNSTON, E. Russell. Mecanica vectorial para ingenieros – Estatica. Madrid – España. McGRAW-HILL. 1997

COMPUTERS AND STRUCTURES, Inc. CSI Analysis reference manual for Sap2000®, Etabs®, and Safe®. University Avenue Berkeley, California USA. 1995

COMPUTERS AND STRUCTURES, Inc. Sap2000® basic Analysis reference manual – Linear and Nonlinear static and Dynamic analysis and Design of Three-Dimensional structures. University Avenue Berkeley, California USA. 1995

LAMBE, T. William y WHITMAN, Robert V. Mecánica de suelos. Mexico, D.F. – Mexico. Editorial LIMUSA S.A. de C.V 2009

MALDONADO RONDON, esperanza y CHIO CHO, Gustavo. Análisis de estructura 1. Bucaramanga – Colombia. Universidad industrial de Santander. 1995

MALDONADO RONDON, esperanza y CHIO CHO, Gustavo. Análisis sísmico de edificaciones. Bucaramanga – Colombia. Universidad industrial de Santander. 2004

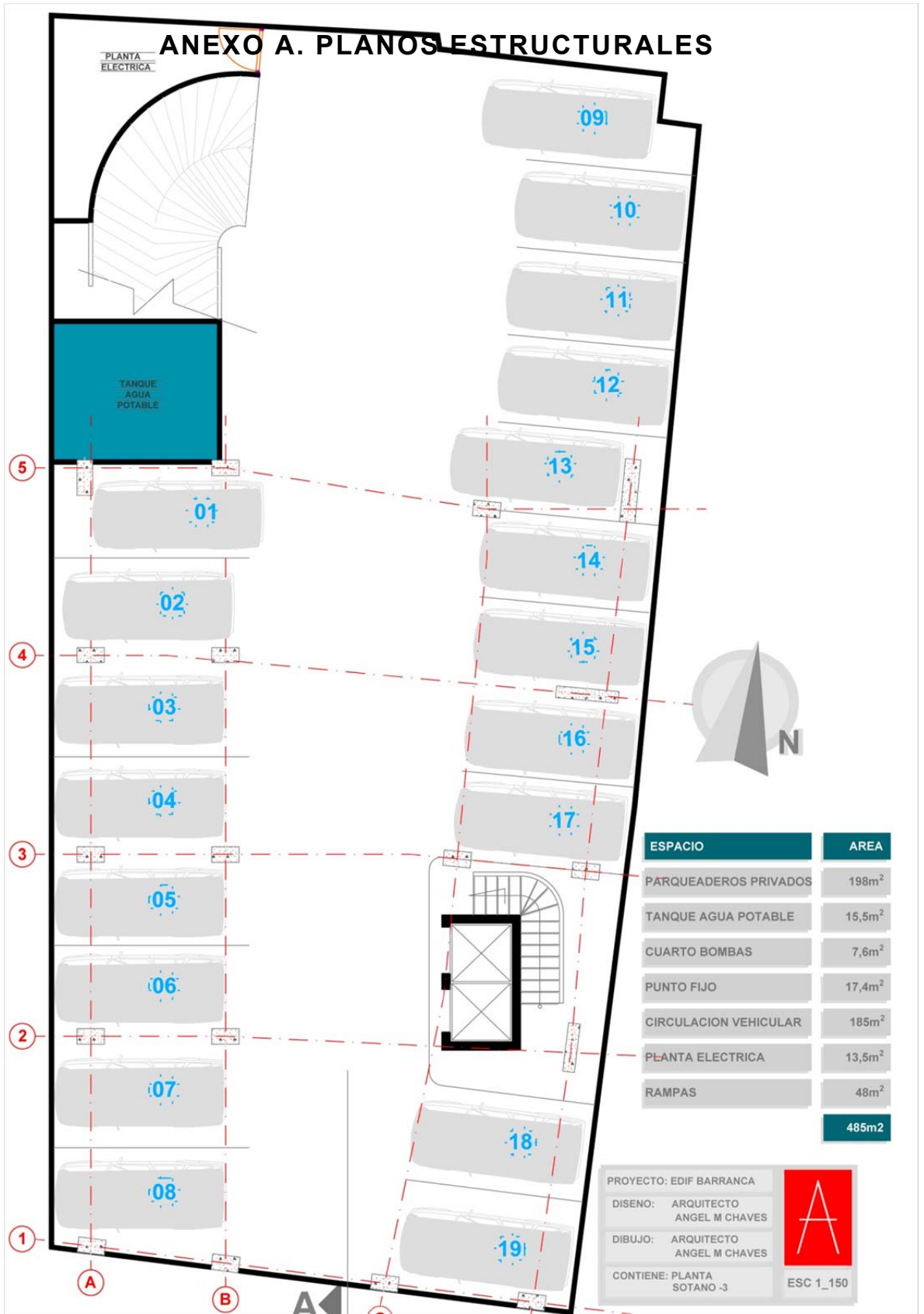
McCORMAN, Jack C. Diseño de concreto reforzado. Quinta edición. Mexico, DF - Mexico. Alfaomega Grupo Editor, S.Z. de C.V. 2005.

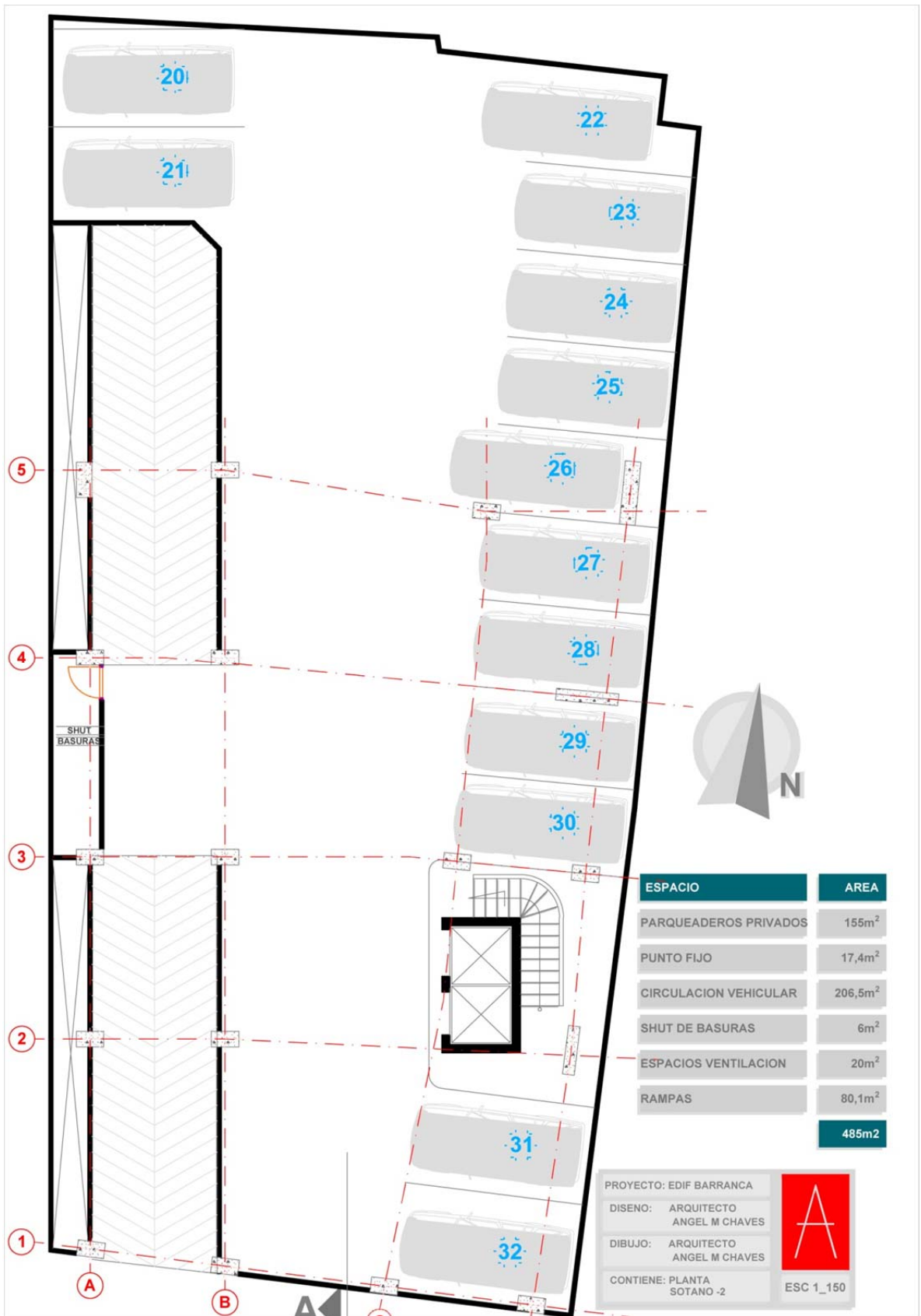
NILSON, Arthur H. y DARWIN David. Diseño de estructuras de concreto. Duodécima edición. Santafé de Bogotá D.C. – Colombia. Emma Ariza H. 1990

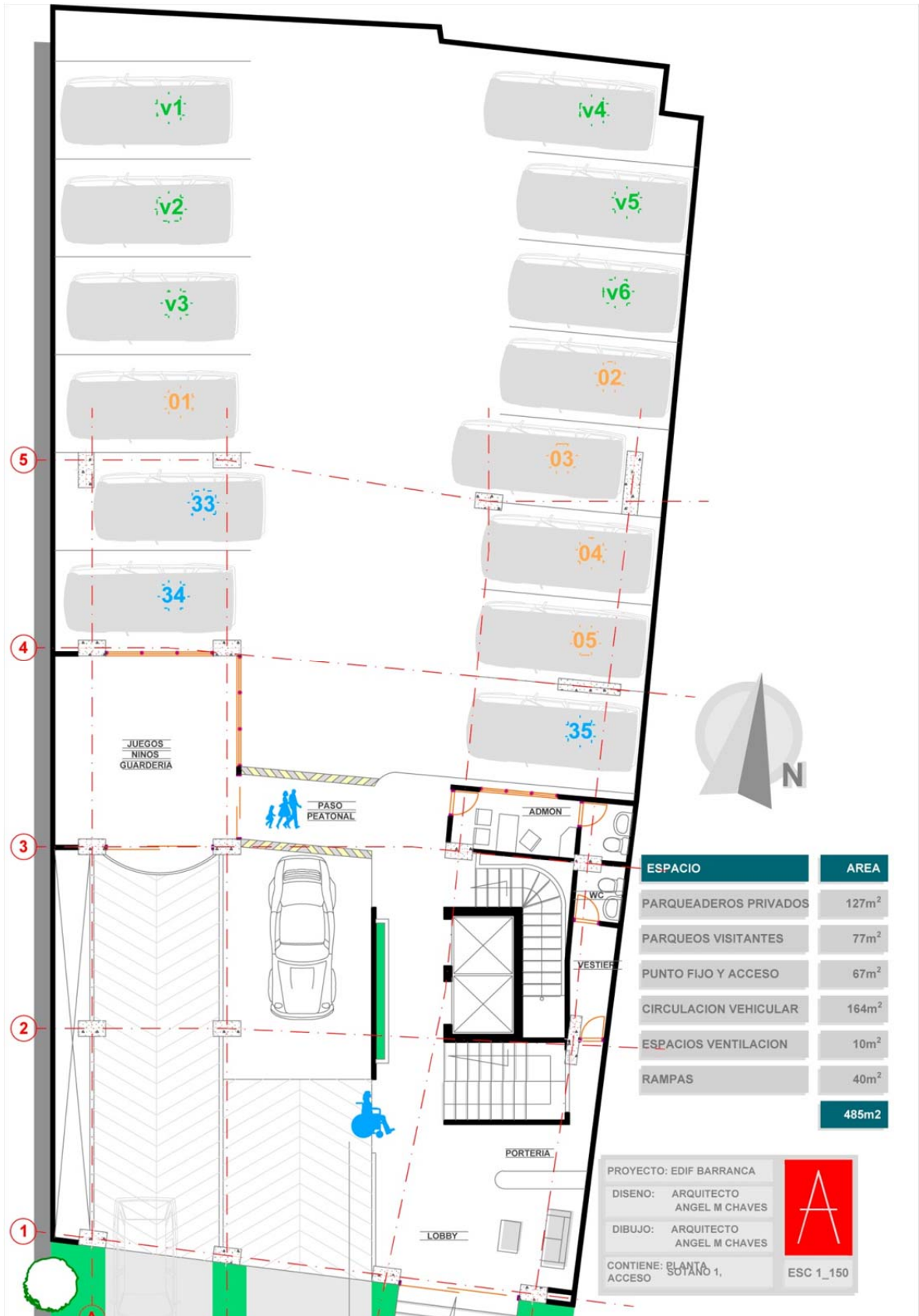
WILSON, Edwar L. Three-Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures – A physical Approach with emphasis on earthquake Engineerin. University Avenue Berkeley, California USA. 1995, Capítulos 8-10

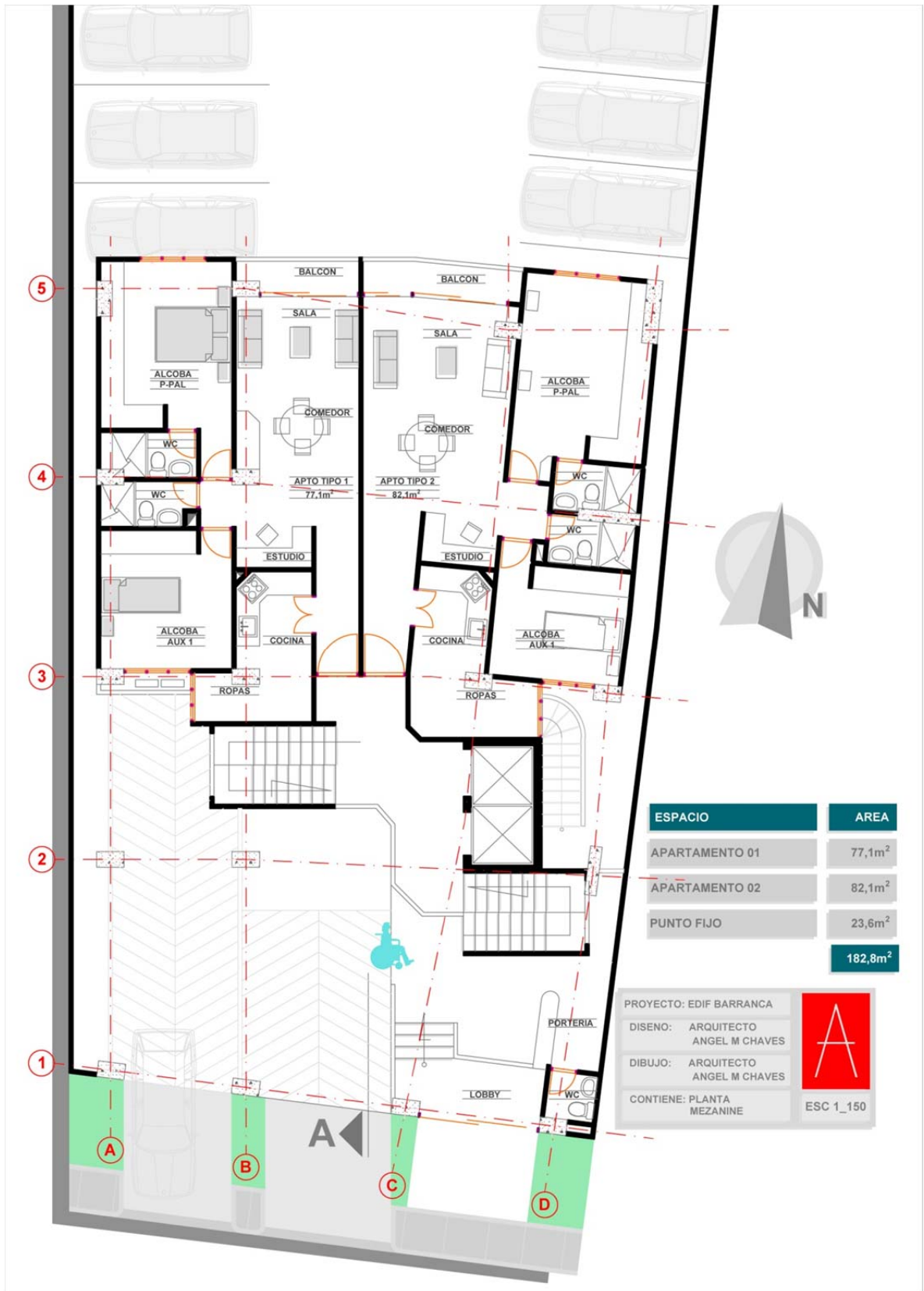
NORMA TECNICA COLOMBIANA. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación, Sexta actualización. Bogotá: Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC), 2008.

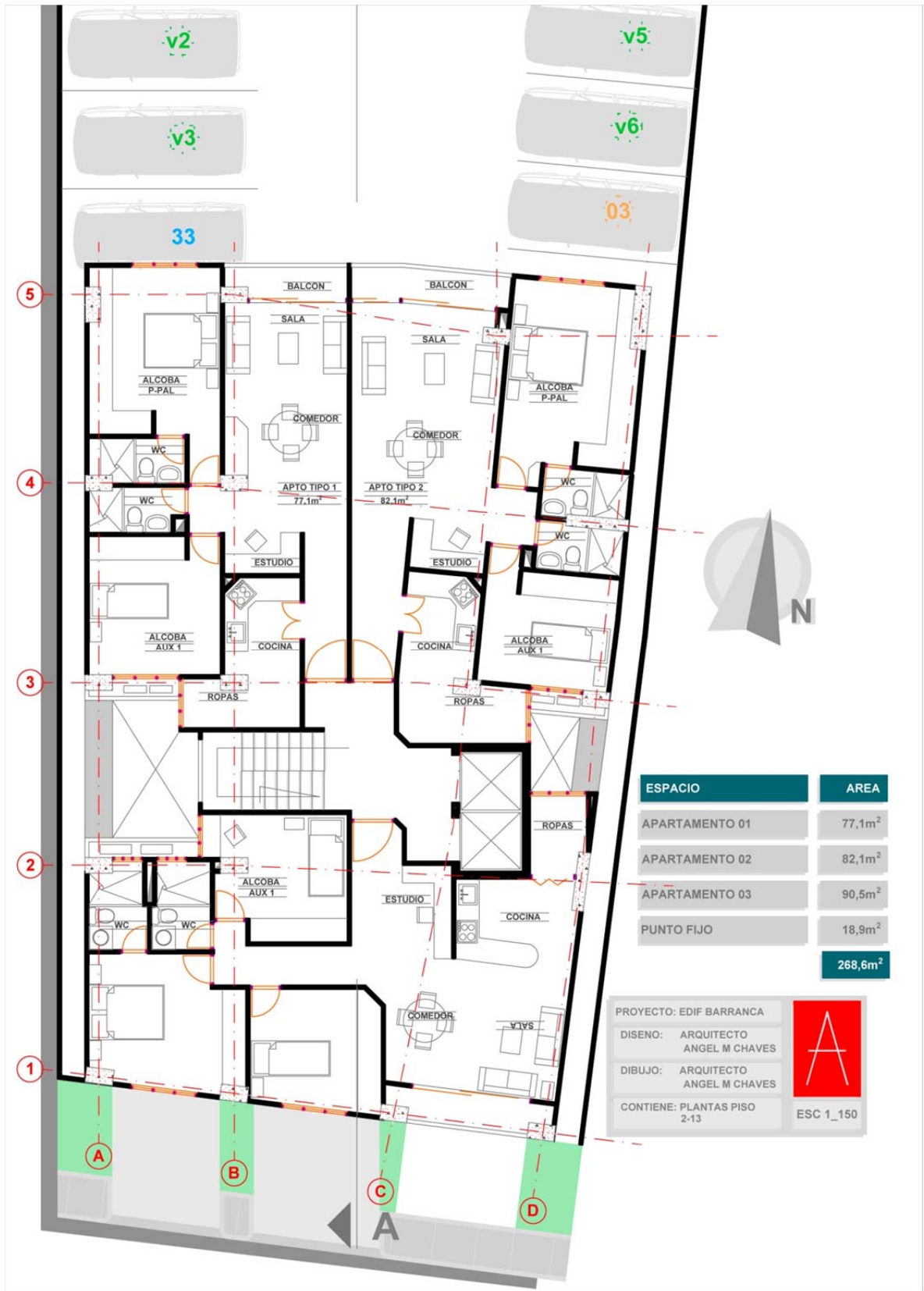
ANEXOS





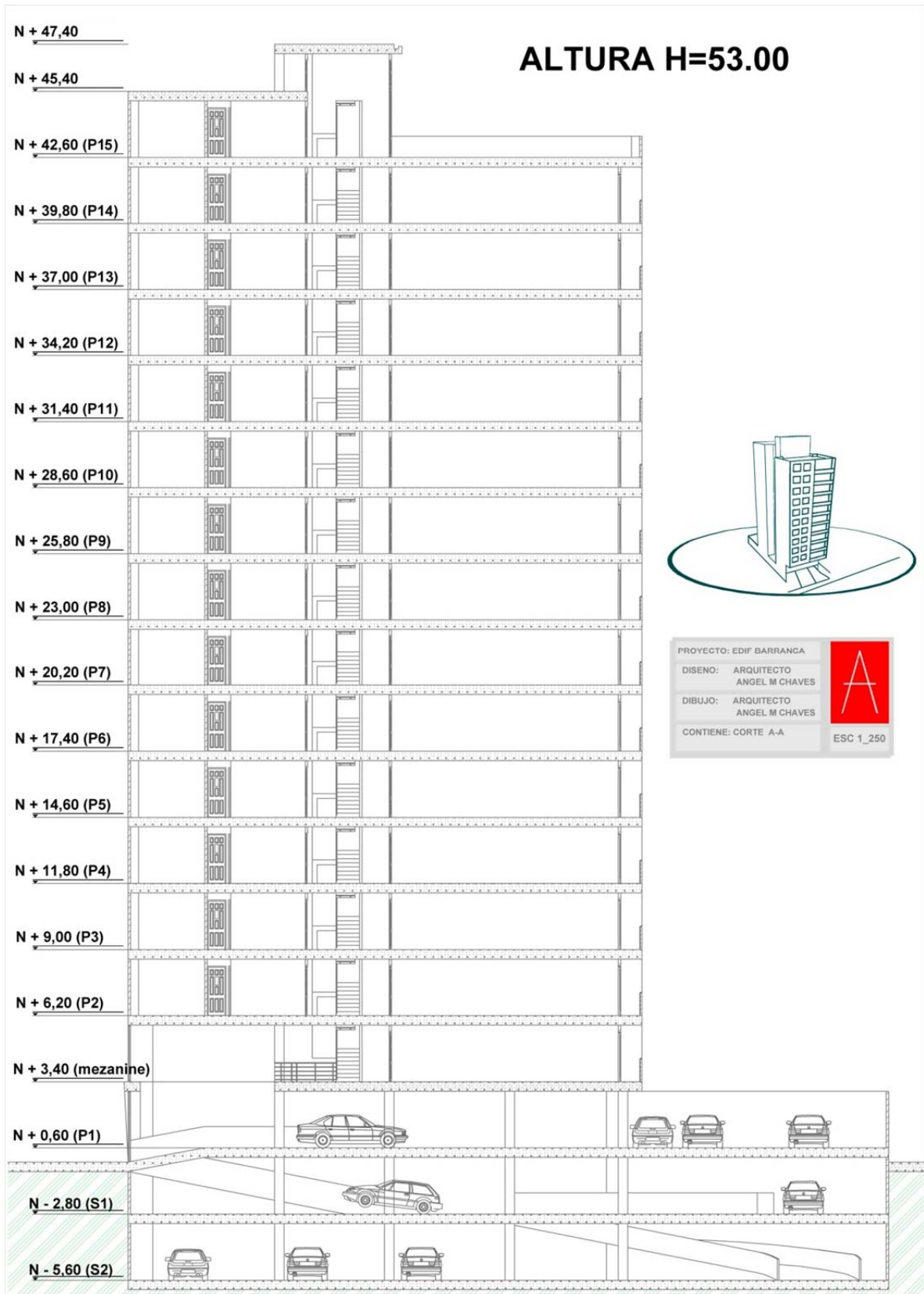












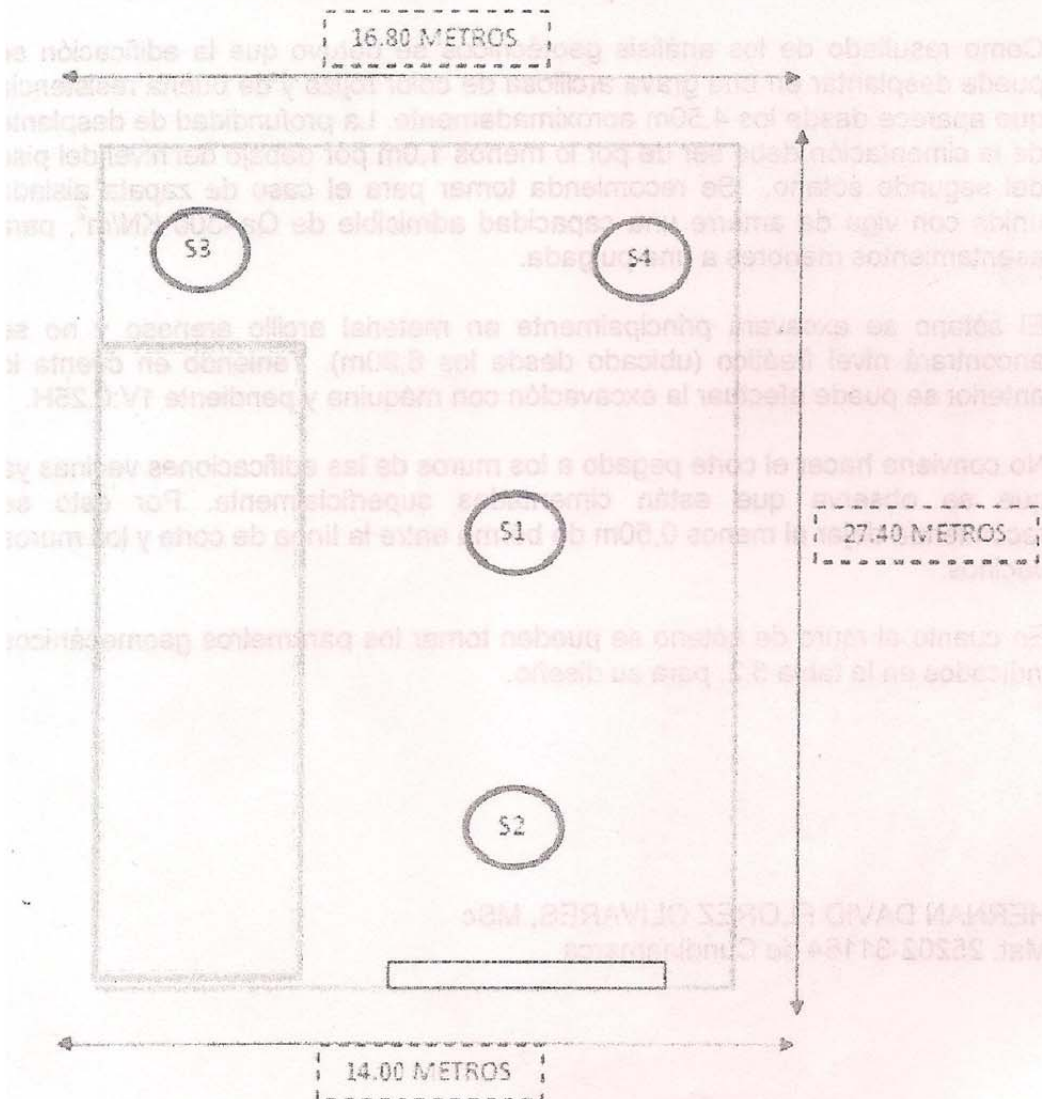
ANEXO B. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL GEOTECNISTA

INMOBILIARIA BARRANCABERMEJA	EDIFICACIÓN DE 11 PISOS + 2 SÓTANOS AV 25 DE AGOSTO No 24-39 BARRIO LA LIBERTAD	HERNAN DAVID FLOREZ OLIVARES
---------------------------------	---	---------------------------------

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXO 1

LOCALIZACION SONDEOS



INMOBILIARIA BARRANCABERMEJA	EDIFICACIÓN DE 11 PISOS + 2 SÓTANOS AV 25 DE AGOSTO No 24-39 BARRIO LA LIBERTAD	HERNAN DAVID FLOREZ OLIVARES
---------------------------------	---	---------------------------------

4. CONDICIONES ESPECIALES DEL SUBSUELO

En el desarrollo del presente estudio, se estudiaron condiciones especiales del subsuelo, como sismicidad y parámetros sísmicos para el diseño de fundaciones. Otras condiciones especiales como presencia de suelos, dispersivos, erodables, expansivos y colapsables no fueron detectadas.

4.1 SISMICIDAD

4.1.1 Amenaza sísmica según la Norma Sismo Resistente NSR-2010. Barrancabermeja se encuentra definida en una zona de amenaza sísmica intermedia.

4.1.2. Movimiento sísmico de diseño. El movimiento sísmico de diseño, se define para una probabilidad de excedencia del 10 % en un lapso de 50 años. El coeficiente de aceleración pico esperada A_a es de 0.15 g, el coeficiente de aceleración horizontal pico A_v es 0.15, el coeficiente de aceleración pico A_e es 0.06 y el coeficiente A_d es de 0.04.

4.1.3 Perfil del terreno para Efectos locales. Considerando la geología de la zona del proyecto y el número de golpes/pie promedio por debajo del área de influencia de la fundación, se recomienda trabajar con el Perfil de terreno D.

Los factores de amplificación del espectro por efecto de sitio F_a y F_v se pueden tomar como $F_a=1.5$ y $F_v=2.2$ para el perfil D recomendado.

INMOBILIARIA BARRANCABERMEJA	EDIFICACIÓN DE 11 PISOS + 2 SÓTANOS AV 25 DE AGOSTO N° 24-39 BARRIO LA LIBERTAD	HERNAN DAVID FLOREZ OLIVARES
---------------------------------	---	---------------------------------

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

HERNAN DAVID FLOREZ OLIVARES, elaboró para la inmobiliaria Martha Hernández, el estudio de suelos para una edificación de hasta 11 pisos con sótano y semisótano que se proyecta construir en el Barrio La Libertad.

Como resultado de los análisis geotécnicos se obtuvo que la edificación se puede desplantar en una grava arcillosa de color rojizo y de buena resistencia que aparece desde los 4,50m aproximadamente. La profundidad de desplante de la cimentación debe ser de por lo menos 1,0m por debajo del nivel del piso del segundo sótano. Se recomienda tomar para el caso de zapata aislada unida con viga de amarre una capacidad admisible de $Q_a=300 \text{ KN/m}^2$, para asentamientos menores a una pulgada.

El sótano se excavará principalmente en material arcillo arenoso y no se encontrará nivel freático (ubicado desde los 6,90m). Teniendo en cuenta lo anterior se puede efectuar la excavación con máquina y pendiente 1V:0,25H.

No conviene hacer el corte pegado a los muros de las edificaciones vecinas ya que se observa que están cimentadas superficialmente. Por esto se recomienda dejar al menos 0,50m de berma entre la línea de corte y los muros vecinos.

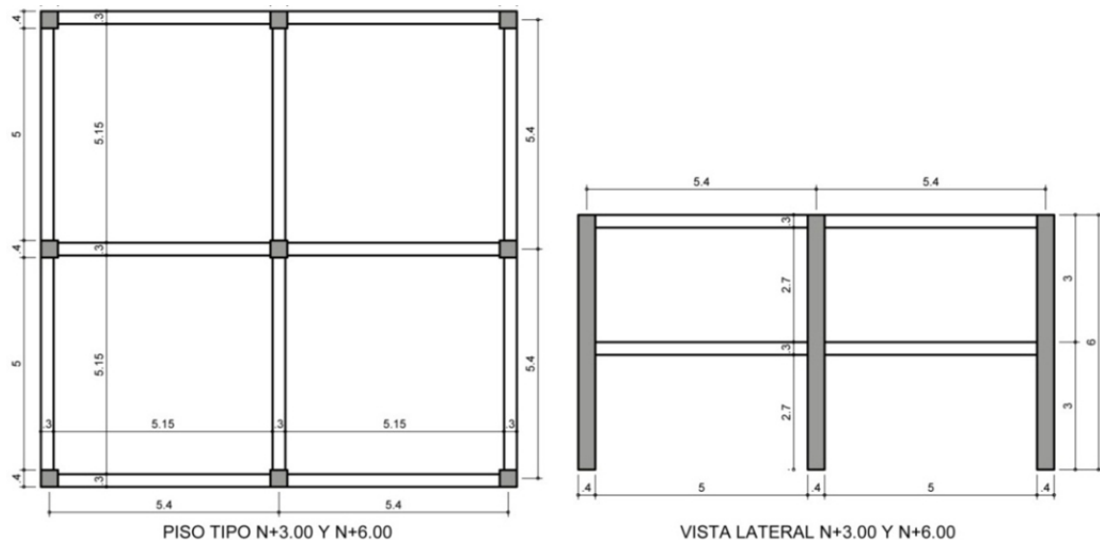
En cuanto al muro de sótano se pueden tomar los parámetros geomecánicos indicados en la tabla 5.2, para su diseño.

HERNAN DAVID FLOREZ OLIVARES, MSc
 Mat. 25202-31164 de Cundinamarca.

ANEXO C. PORCENTAJE DE ERROR DEL CÁLCULO DEL PESO PROPIO DE SAP2000 CON RESPECTO AL MANUAL

A continuación se muestra una edificación de pórticos resistentes a momentos, de 2 niveles con altura libre entre placa de 2.7m; en planta consta de 2 luces de 5m, luz libre en cada dirección; Las dimensiones de las columnas son 0.40X0.40m y el de las vigas de 0.30X0.30m; La densidad del concreto es de 24 kN/m³

Fig. 1. Vistas edificación - a) Piso Tipo; b) Vista Lateral



Se calculará el porcentaje de error del cálculo del peso de la edificación según el análisis del programa sap2000 con respecto al cálculo realizado manualmente.

CALCULO MANUAL

Para este método se procede en primera medida a calcular el volumen de las columnas y vigas, después se calcula el peso de cada placa y por último el peso total de la edificación.

1. Volumen de Columna – luz libre

$$Area_{/cada\ col.} * Altura * Cantidad = 0.16 * 2.70 * 9 = 3.89m^3$$

2. Volumen de Columna – Placa (Área de la columnas que se encuentra entre la placa)

$$Area_{planta} * Altura_{placa} = 0.09 * 0.3 = 0.027m^3$$

3. Volumen de Vigas

$$Area_{en\ planta} * Altura_{vigas} = 19.35 * 0.30 = 5.81m^3$$

Nota: El área de las columnas en la placa y de las vigas en planta se calcula con ayuda del programa Autocad. Para esto es necesario que las líneas se han convertidas en regiones.

4. Peso de la placa del N+3.00 y N+6.00

$$N+3.00 \quad (V_{Col-Luz\ libre} + V_{Col-placa} + V_{vigas}) * \delta_{conc.} = (3.89 + 0.027 + 5.81) * 24 = 233.45kN$$

$$N+6.00 \quad \left(\frac{V_{Col-Luz\ libre}}{2} + V_{Col-placa} + V_{vigas} \right) * \delta_{conc.} = \left(\frac{3.89}{2} + 0.027 + 5.81 \right) * 24 = 186.77kN$$

El volumen producido por los elementos verticales como las columnas, se distribuye equitativamente entre la placa inmediatamente superior e inferior del elemento; Por esta razón en este ejemplo se observa que en el nivel N+3.00 se carga el volumen completo de las columnas ubicada en la luz libre, mientras que en el N+6.00 solo se carga por la mitad del volumen de las columnas ubicada en la luz libre.

Nota: El peso en la cimentación producida por las columnas no se tiene en cuenta; en el Capítulo 4.3.2.3 (Observaciones) del presente proyecto se hace más énfasis al respecto.

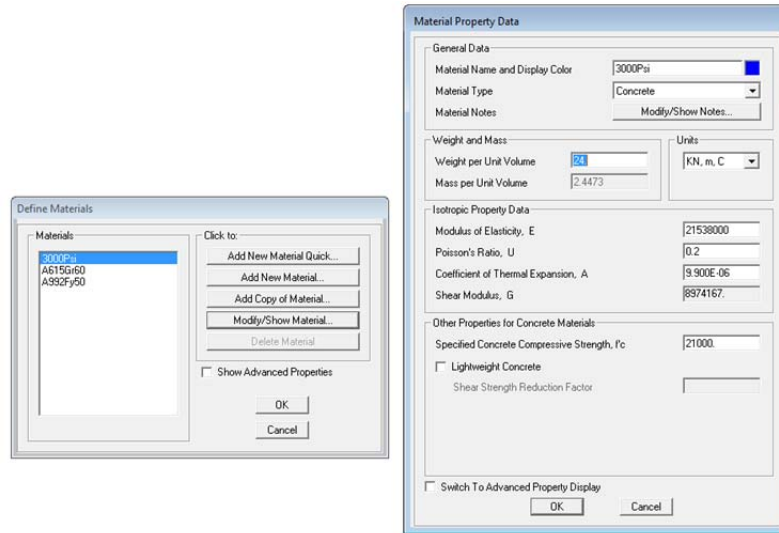
$$\text{Peso de la edificación} \quad Peso_{N+3.00} + Peso_{N+6.00} = 233.45 + 186.77 = \mathbf{420.22kN}$$

CALCULO CON EL PROGRAMA SAP2000

El procedimiento para el cálculo del peso consiste en que el programa sap2000 con los parámetros indicados al inicio de este anexo arroje la masa de la edificación producida por los elementos de la misma y además convierta las fuerzas puntuales y/o distribuidas en masas adicionales. La masa total hallada se multiplica por la gravedad para que de esta manera se obtenga el peso de la estructura.

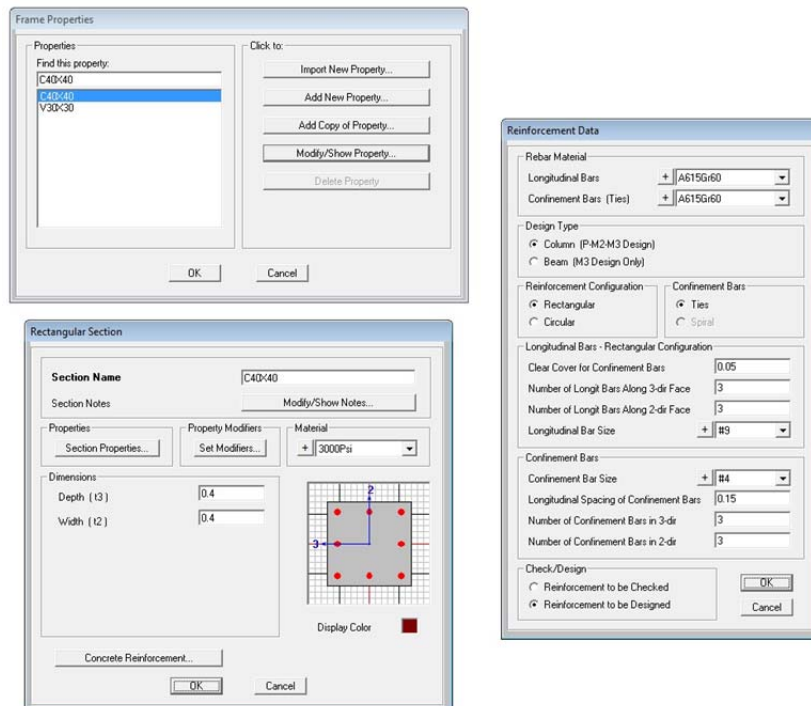
1. Material “3000psi” – Es importante que el peso por unidad de volumen del nuevo material concuerde con la densidad del concreto que se utilizó para el análisis manual, dado que esta diferencia podría resultar en un porcentaje de error equivoco.

Fig. 2. Materials “3000psi” - a) Define Materials; b) Material Property Data



2. Elemento “C40X40” – A continuación se muestra la configuración de un elemento vertical (Columna), el cual tiene las dimensiones descritas al inicio del anexo y el material configurado en el párrafo anterior “3000psi”; Su tipo de diseño es el de una columna.

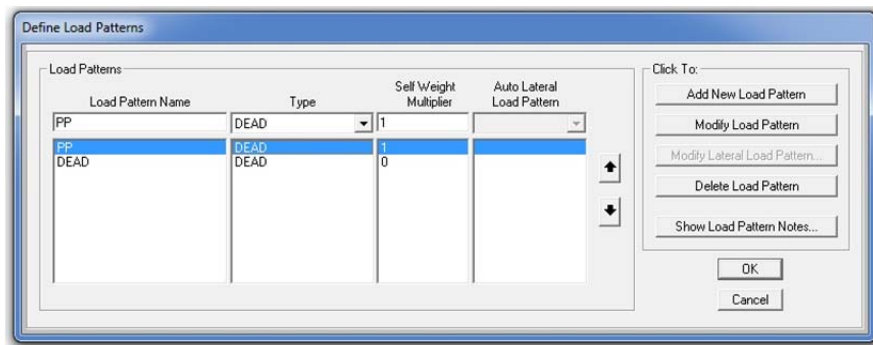
Fig. 3. Frames Column - a) Frame Properties; b) Regular Section; c) Reinforcement Data



Fuente Sap2000 “Frame properties”

3. Caso de Carga “PP” – Para el cálculo de la masa se debe tener cuidado que el caso de carga “PP” tenga configurado en *Self Weight Multiplier* un valor de 1, este valor indica al programa que el “peso por unidad de volumen” de cada material se multiplique por el “volumen” que este modelado de ese material y por el valor del “factor del peso propio”. Se hace la aclaración que si dos casos de carga tienen como *Self Weight Multiplier* un valor de 1, el peso propio entonces calculara dos veces

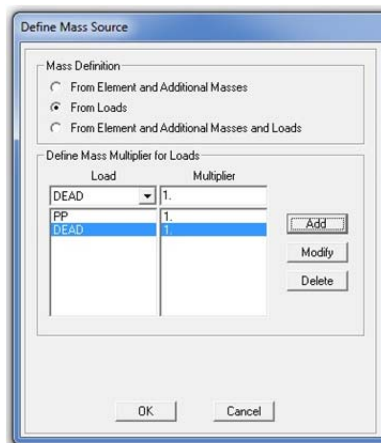
Fig. 4. Define Load Patterns



Fuente Sap2000 “Define Load Patterns”

4. Origen de Masa “PP - DEAD” - Por último, para que el programa realice el cálculo de la masa de la edificación se debe configurar en *define - Mass source* la opción de *From Load* con los casos de carga que intervienen, tal y como se muestra a continuación.

Fig. 5. Define Mass Source



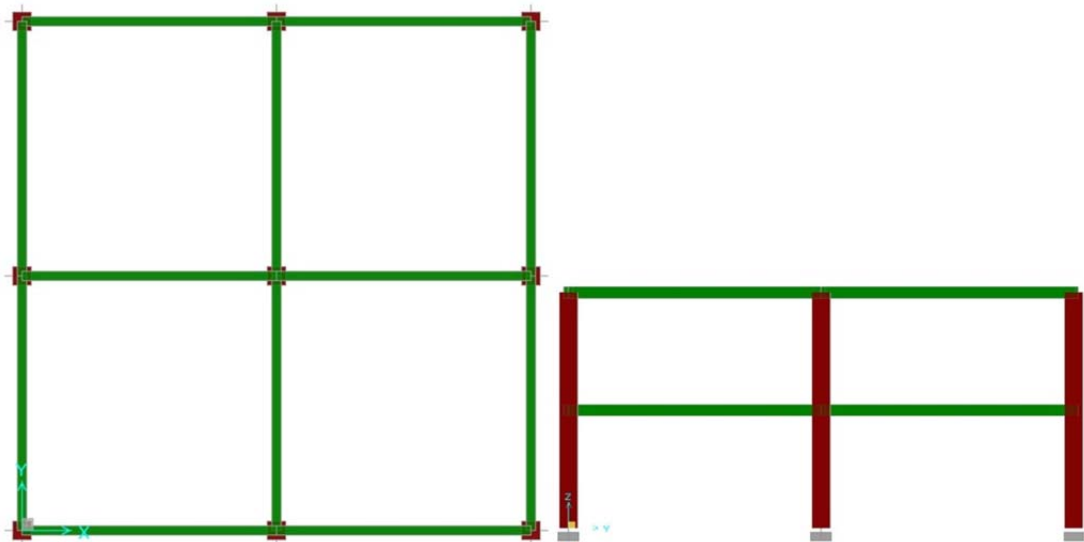
Fuente Sap2000 “Define Mass Source”

Esta opción configura al programa para que todo el peso aplicado sobre los *joint*, *frame* y *shells* del caso de carga “DEAD”, se conviertan en masa y se tengan en cuenta junto con la masa propia de todos los elementos del caso de carga “PP”. Como no se aplica ninguna carga en el caso “DEAD”, puede asegurarse que la masa arrojada por sap2000 es la masa de los elementos estructurales de la edificación que tengan configurado un peso por unidad de volumen.


Nota: El programa sap2000 distribuye equitativamente la masa de los frame y shells en los joint de estos elementos, por lo tanto, la masa de cada nivel es la suma de la masa de todos los joint en ese nivel.

5. Modelamiento – Con el uso de los elementos de la barra de dibujo se modela la estructura, quedando el modelo como se muestra a continuación.

Fig. 6. Modelo sap2000 – a) Piso Tipo; b) vista Lateral

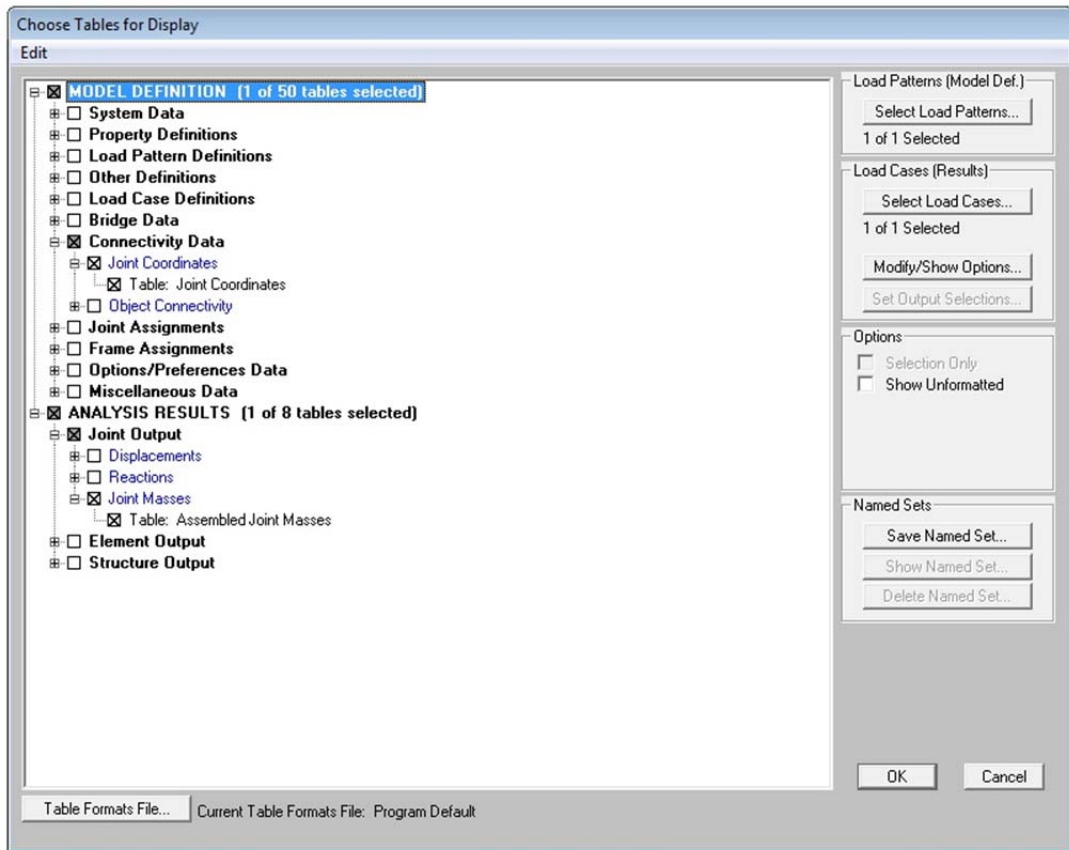


Nota: Como se podrá notar, existe una pequeña diferencia en la posición de las columnas entre el ejercicio planteado (Fig. 1) y el modelamiento (Fig. 6) lo cual puede producir una diferencia de resultado entre los dos métodos de cálculo de peso.

6. Tabla de masa - Después de pedirle al programa que ejecute la modelación de la edificación () y de seleccionar los joint del N+3.00 y N+6.00, se dirige a *Display – show table* y se configura el cuadro de dialogo como aparece en la Fig. 7:

7. Ventana de Tablas – En esta ventana se configura al programa para que arroje las dos tablas seleccionadas a Excel; Para esto se dirige a la barra de menús y en *file* – *Export All Table – To Excel*, Y con una tabla dinámica se puede hallar el peso por nivel tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Fig. 7. Choose Table for Display



Fuente Sap2000 Tabla “Choose Tables for Display”

Tabla 1. Peso de la edificación

Nivel	Suma de masa	9.806*Masa
3	24.83	243.483
6	19.57	191.903
Total general	44.4	435.386

Nota: La masa arrojada por el programa sap2000 debe multiplicarse por la gravedad para el cálculo del peso. El peso producido por las columnas en los joint de la cimentación no se tiene en cuenta por la misma razón que por el caso manual. Ver Capítulo 4.3.2.3 (Observaciones) del presente libro.

PORCENTAJE DE ERROR

Teniendo el peso de la edificación por los dos métodos se procede a calcular el porcentaje de error de la metodología con el programa Sap2000

$$\%ERROR = \frac{Valor\ Teorico - Valor\ Experimental}{Valor\ Teorico} * 100 = \frac{420.22 - 435.39}{420.22} * 100$$

$$\%ERROR = -3.61\%$$

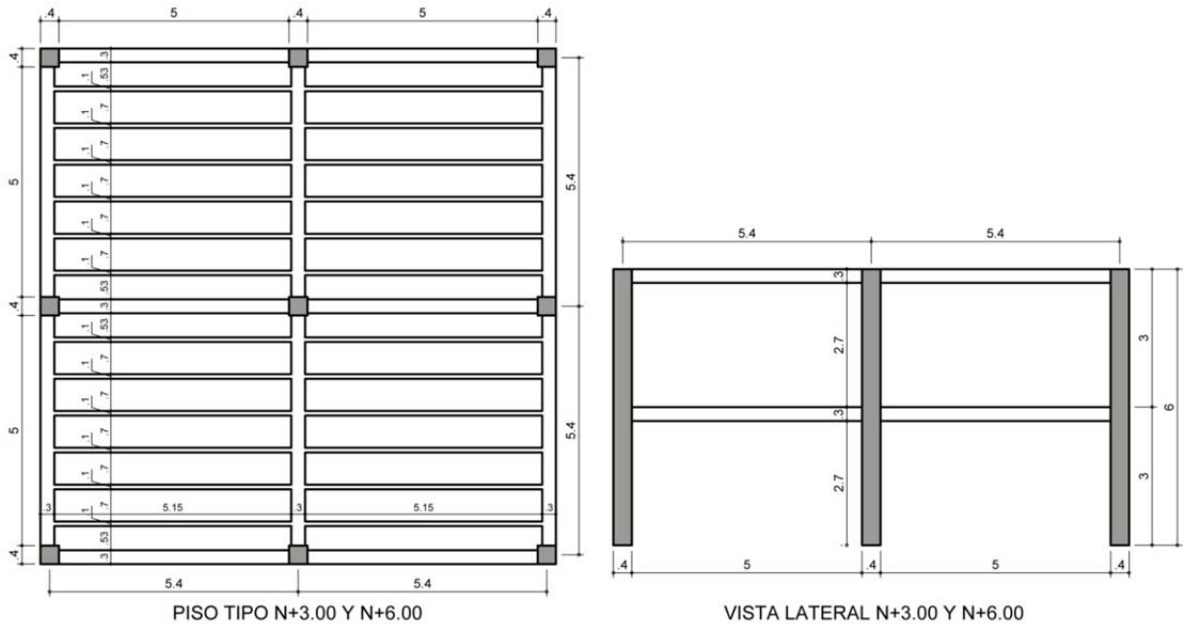
CONCLUSIONES

1. Se puede concluir que el error entre los dos métodos es producido, primero: Por cuanto existe una pequeña variación entre el problema planteado y el modelamiento en sap2000, y segundo: Dado que el programa calcula el volumen como el área transversal por la distancia entre los *joint* del elemento, esto induce a que exista un doble calculo en la zona cercana a los nodos.
2. El Peso producido por el programa sap2000 siempre estará por encima al calculado manualmente, lo que da fiabilidad que utilizando método de análisis para el cálculo de las fuerzas sísmicas se estará haciendo de manera segura y que el porcentaje se aproxima a la realidad.

ANEXO D. PORCENTAJE DE ERROR DE DERIVAS DE MODELO CON VIGUETAS CON RESPECTO A MODELO SIN VIGUETAS.

Siguiendo con la edificación modelada en el Anexo C, se agregará a la estructura una losa nervada con altura de 0.30m, armada en la dirección X, y se analizará los desplazamientos producidos por las cargas horizontales y los momentos torsores. Estos resultados se compararán con el análisis del modelo sin la losa nervada, para conocer si es posible modelar la losa nervada en una edificación sin incumplir la norma sismo resistente colombiana.

Fig. 1. Vistas edificación a) Piso Tipo; b) Vista Lateral



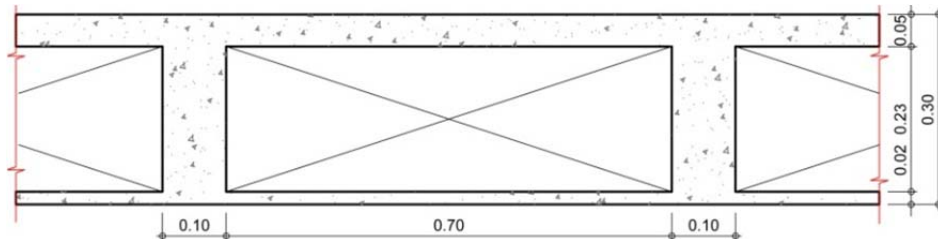
- Para el análisis de las derivas en los diferentes modelos de sap2000 se asignara los siguientes combos

Tabla 1. Combinaciones de Fuerzas y Momento

	Fuerza sísmica (Fx, Fy)	Momento torsor	Nivel	Combo 1	Combo 2
			Fx	100%	30%
N+3	100	72.80	Fy	30%	100%
N+6	200	145.60	Mz	100%	100%

- Las dimensiones de la losa nervada se mostraran a continuación.

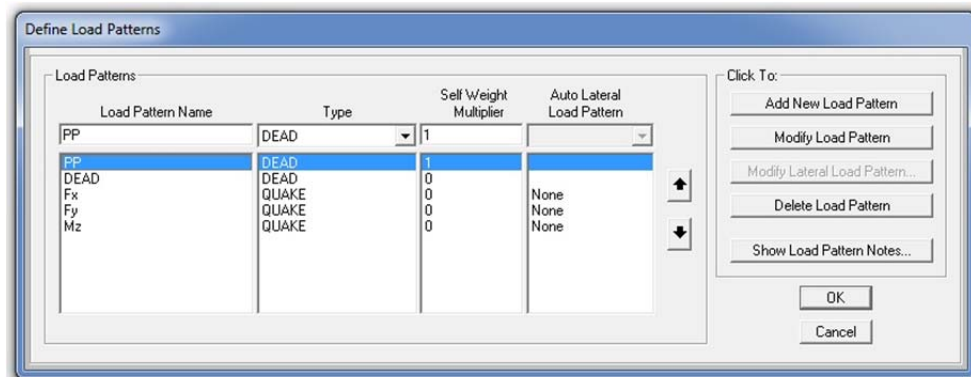
Fig. 2. Sección de la Losa nervada e=0.30m



MODELO SIN VIGUETAS

1. Caso de Carga “Fx - Fy - Mz” - Para el análisis de derivas se agrega a los casos de carga “PP” y “DEAD” los casos de cargas de tipo sismo “Fx - Fy - Mz”, con un multiplicador de peso propio igual a 0, tal y como se muestra a continuación.

Fig. 3. Load Patterns



Fuente Sap2000 “Define Load Patterns”

2. Asignación de cargas - Se carga en el centro de masa, que en esta edificación concuerdan con los *joints* de la columna central, las fuerzas y los momentos de la Tabla 1 (Combinaciones de Fuerzas y Momento) Ver Fig. 4
3. Combinaciones de cargas “COMBO2” - Para realizar las respectivas combinaciones de cargas ilustradas en la tabla anterior se dirige a *define* –

combination y se configura el porcentaje de las fuerzas y el momento según el combo. Ver Fig. 5

Fig. 4. Asignación de Cargas en el modelo Sap2000 – a) Fuerzas Fx; b) Fuerzas Fy; c) Momento Mz

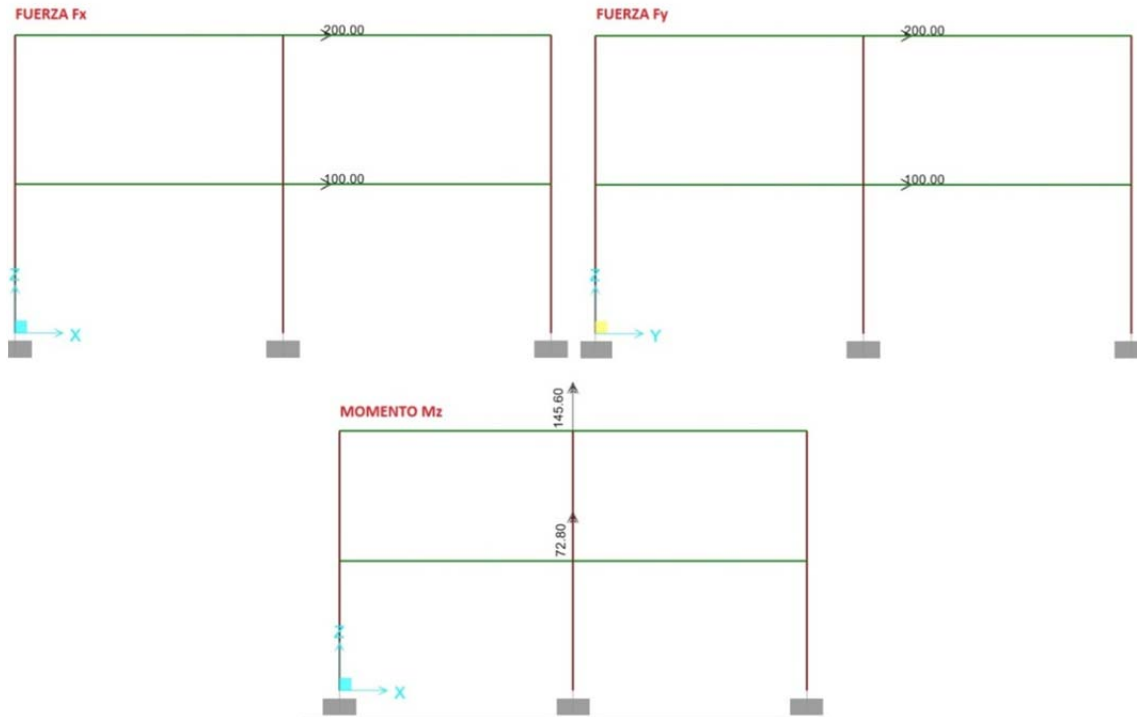
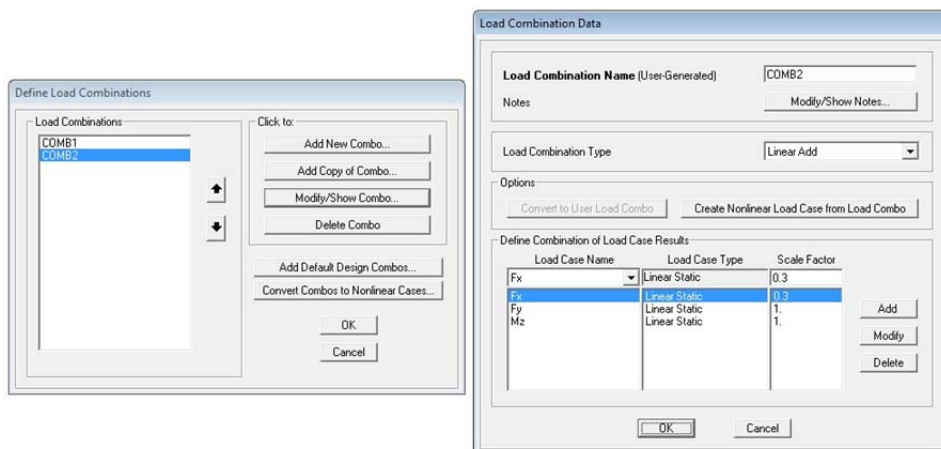


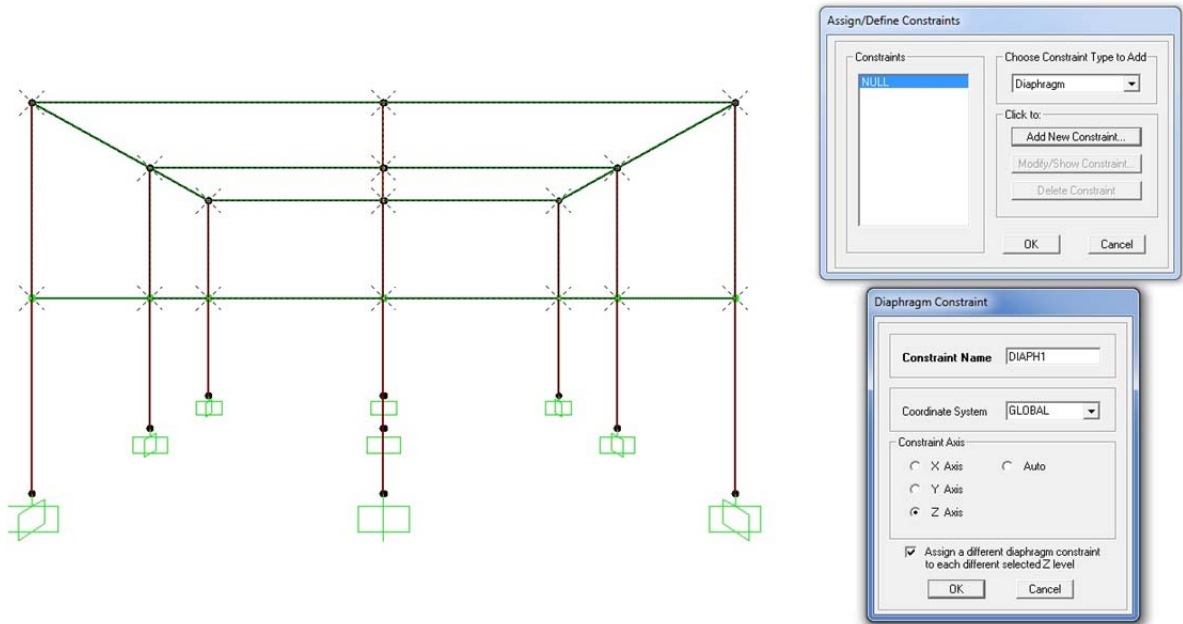
Fig. 5. Combos - a) Define Load Combination; b) Load Combination Data



Fuente Sap2000 "Define Load Combinations"

4. Diafragma rígido – Para que las placas de una estructura se comporten como un diafragma rígido, se debe seleccionar las placas interesadas y se dirige a *Assign – Joint – Constrain*, se selecciona un nuevo tipo de *constrains* de tipo *diaphragm* y se configura el cuadro “*Diaphragm Constraint*” tal como se indica a continuación

Fig. 6. Diaphragm – a) Selección de joint; b) Asign/Define Constrains; c) Diaphragm Constrains



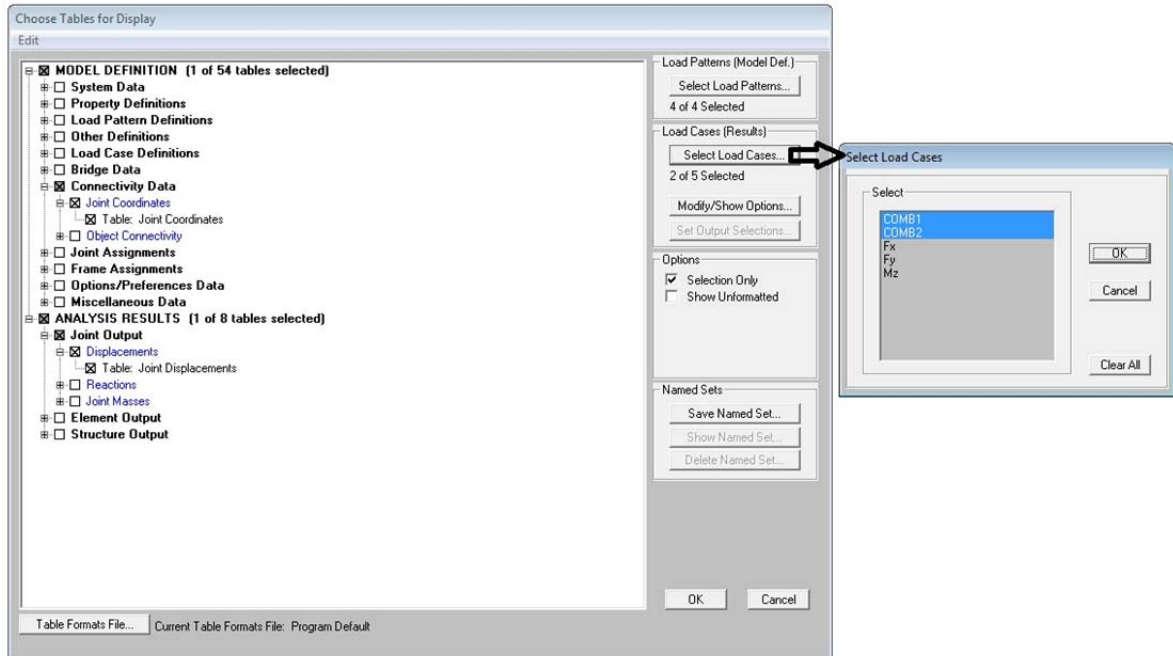
Fuente Sap2000 “Assign/Define Constraints”

NOTA: Es importante activar la opción de “Assign a different diaphragm constrains to each different selected Z level” para que a cada nivel de la estructura el programa le asigne su propio Diafragma.

5. Tabla de desplazamientos - Después de pedirle al programa que ejecute la modelación de la edificación () y de seleccionar los *joint* con los que se analizará las derivas (*Joint* de centro de masa), se dirige a *Display – show table* y se configura el cuadro de diálogo como aparece en Fig. 7
6. Ventana de Tablas – En esta ventana se configura al programa para que arroje las dos tablas seleccionadas a Excel. Para esto se dirige a la barra de menús y en *file – Export All Table – To Excel*.

7. Deriva/ Δ max - Con una tabla dinámica se extraen los desplazamientos absolutos en las dos direcciones principales de estudio " $\delta [U1], \delta [U2]$ " para cada combinación de carga y con estos valores se calcula la Deriva/ Δ max.

Fig. 7. Show Tables – a) Choose Table for Display; b) Select Load Cases



Fuente Sap2000 Tabla "Choose Tables for Display"

Tabla 2. Deriva/ Δ max Modelo sin Viguetas

OutputCase	COMB1
------------	-------

Nivel	$\delta [U1]$	$\delta [U2]$	Deriva	Δ max	Deriva/ Δ max
6	0.0121	0.0036	0.0075	0.0300	0.2492
3	0.0050	0.0015	0.0052	0.0300	0.1726

OutputCase	COMB2
------------	-------

Nivel	$\delta [U1]$	$\delta [U2]$	Deriva	Δ max	Deriva/ Δ max
6	0.0036	0.0121	0.0075	0.0300	0.2492
3	0.0015	0.0050	0.0052	0.0300	0.1726

NOTA: Los valores Deriva/ Δ max serán los datos utilizados para comparar el procedimiento de modelado con viguetas y sin viguetas. Se utiliza estos valores dado que

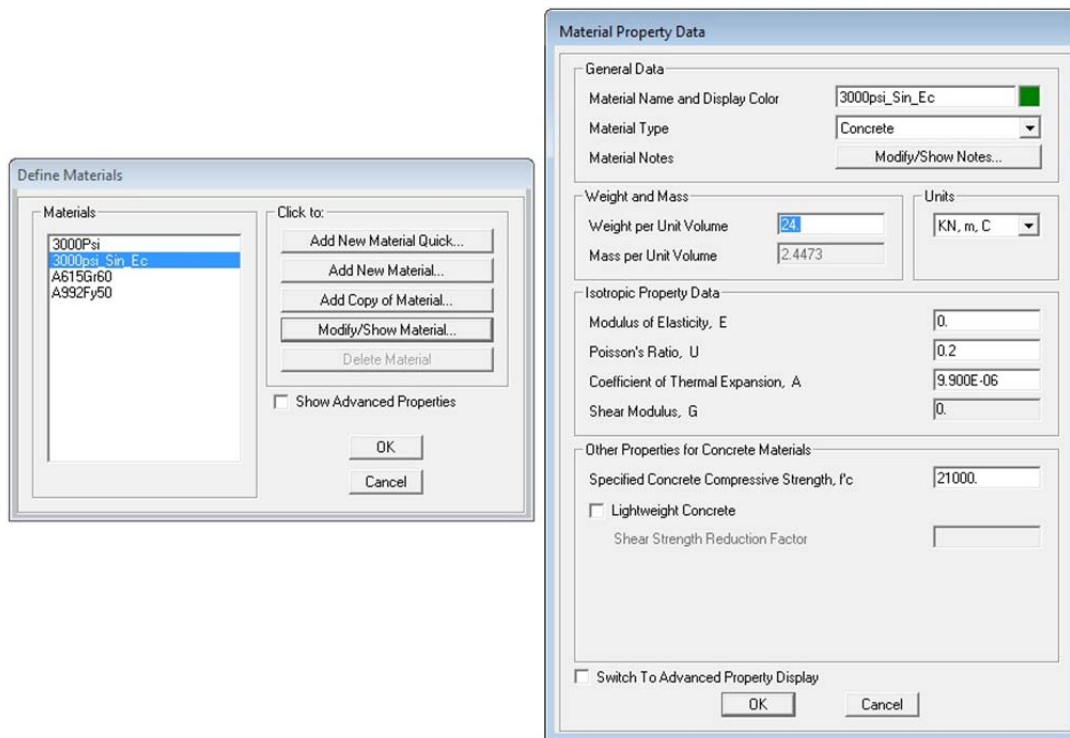
nos indican la deriva en cada piso (Desplazamiento relativo de un piso con respecto al piso inmediatamente inferior medido desde un mismo eje vertical) con respecto a la deriva máxima según la norma sismo resistente colombiana NSR-10.

MODELO CON VIGUETAS

Para modelar las viguetas en la edificación sin afectar la rigidez de los piso se debe nuevo tipo de material.

1. Material “3000psi_Sin_Ec” - Para que el programa sap2000 desprecie la rigidez producida por la viguetas el módulo de elasticidad del nuevo material con el que se configurará las viguetas debe tener un valor de 0.

Fig. 8. Materials – a) Define Materials; b) Materials Property Data

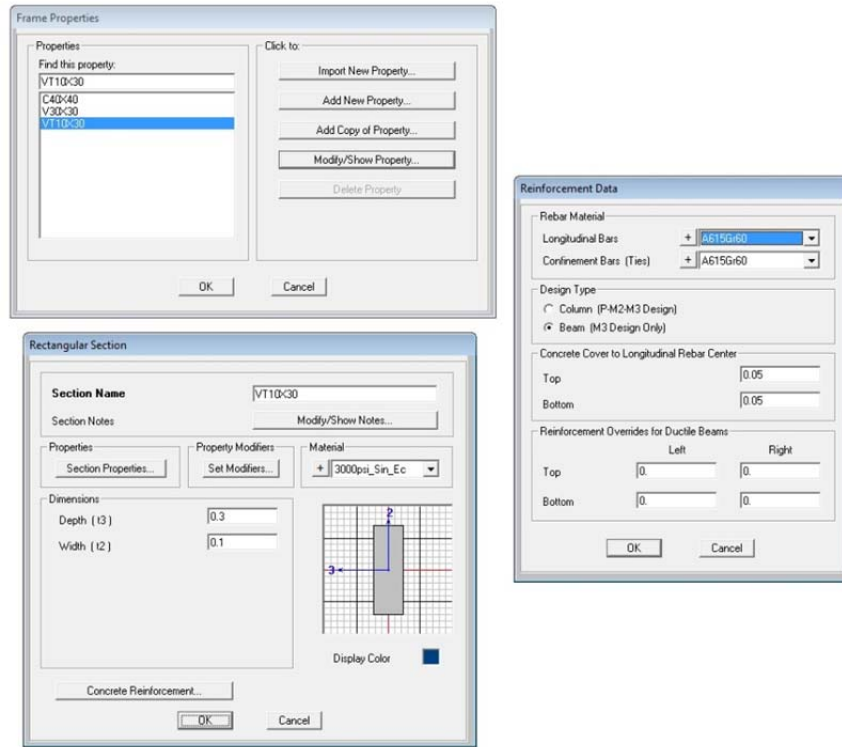


Fuente Sap2000 “Define Materials”

2. Elemento “VT10X30” – En la Fig. 9 se crea una vigueta con las dimensiones establecidas al inicio de este anexo, con el material “3000psi_Sin_Ec” y propiedades de diseño tipo viga.

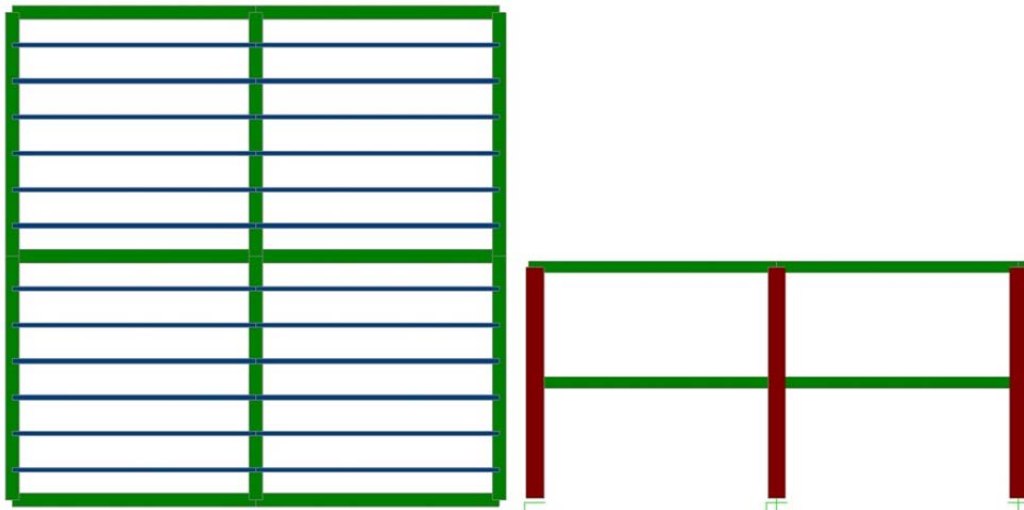
3. Modelamiento – En la Fig. 10 se muestra una vista en planta y una vista lateral del modelo con viguetas.

Fig. 9. Frames Beam - a) Frame Properties; b)Regular Section; c)Reinforcement Data



Fuente Sap2000 “Frame properties”

Fig. 10. Modelo sap2000 – a) Piso Tipo; b) vista Lateral



4. Casos, Asignación y Combinaciones de Cargas – Los Casos, la Asignación y las Combinaciones de Cargas son las mismas a las realizadas en la metodología de modelo sin viguetas.
5. Asignación del Diafragma Rígido - Para la asignación del diafragma rígido se selecciona todos los *joint* de las viguetas, vigas y columnas en los niveles interesados y se sigue el procedimiento del “modelo sin viguetas”.
6. Tabla de desplazamientos y Ventana de Tablas – Los *joint* con los que se analizará las derivas son los mismos a los de la metodología de “modelo sin viguetas” y el procedimiento para extraer los datos del programa sap2000 es igual.
7. Deriva/ Δ max - Con una tabla dinámica se extrae los desplazamientos absolutos en las dos direcciones principales de estudio “ δ [U1], δ [U2]” para cada combinación de carga y con estos valores se calcula la Deriva/ Δ max.

Tabla 3. Deriva/ Δ max Modelo con Viguetas

OutputCase	COMB1
------------	-------

Nivel	δ [U1]	δ [U2]	Deriva	Δ max	Deriva/ Δ max
6	0.0121	0.0036	0.0075	0.0300	0.2492
3	0.0050	0.0015	0.0052	0.0300	0.1726

OutputCase	COMB2
------------	-------

Nivel	δ [U1]	δ [U2]	Deriva	Δ max	Deriva/ Δ max
6	0.0036	0.0121	0.0075	0.0300	0.2492
3	0.0015	0.0050	0.0052	0.0300	0.1726

PORCENTAJE DE ERROR

Con base a Deriva/ Δ max de las dos metodologías producido por las dos combinaciones, se calculara el porcentaje de error producido a la metodología de modelo con viguetas en relación a la metodología de modelo sin vigueta.

$$\%ERROR = \frac{Valor\ Teorico - Valor\ Experimental}{Valor\ Teorico} * 100$$

Tabla 4. Porcentaje de error de Deriva/ Δ max Modelo sin Viguetas

COMBO 1 Deriva/ Δ max			
Nivel	Sin Vigueta	con Vigueta	% Error
6	0.249249	0.249249	0.000000
3	0.172613	0.172613	0.000000

COMBO 1 Deriva/ Δ max			
Nivel	Sin Vigueta	con Vigueta	% Error
6	0.249249	0.249249	0.000000
3	0.172613	0.172613	0.000000

CONCLUSIONES

1. Como se puede apreciar en la tabla anterior, el porcentaje de error modelando las viguetas en la edificación con respecto a no modelándolas, da como resultado cero por ciento, esto quiere decir que modelar las viguetas es cien por ciento fiable o dicho de otra forma, estos elementos no modifica la rigideces de los pisos.
2. En la primera parte del párrafo del numeral C.8.13.1 De la Norma sismo resistente NSR-10, especifica que *“Los nervios principales y los nervios transversales o riostras, de losas nervadas en una dirección, no deben tenerse en cuenta para efectos de rigidez ante fuerzas horizontales del sistema de resistencia sísmica”*. Lo que significa que las viguetas se pueden modelar mientras no afecte la rigideces de los pisos.
3. El modelamiento de las viguetas en la edificación trae como beneficio una mayor rapidez en el cálculo del peso propio de la edificación y además, estos elementos pueden servir como transmisores de fuerzas verticales a los elementos de resistencia sísmica.

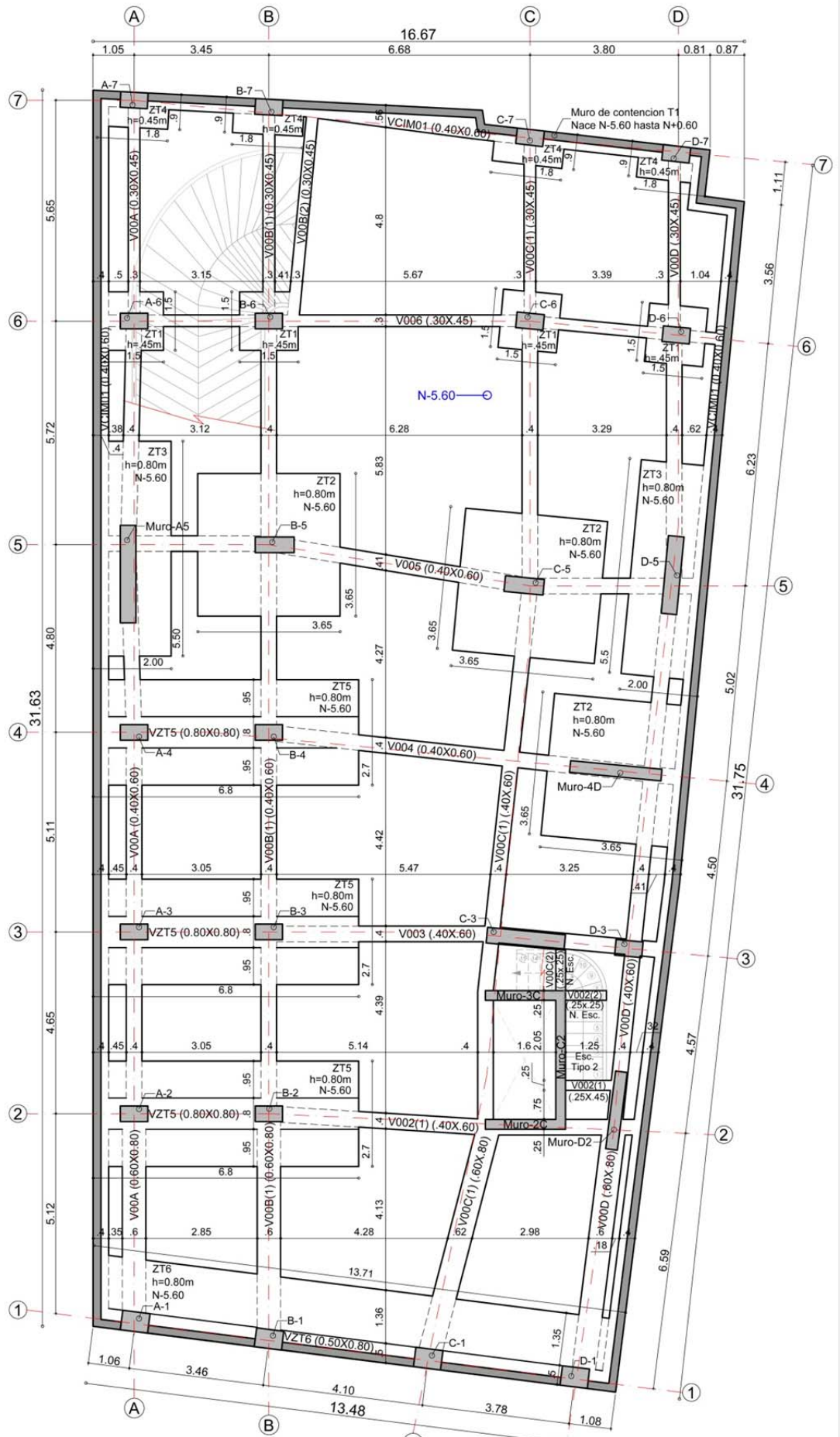
ANEXO E. PLANOS ESTRUCTURALES

A continuación se muestra una tabla con la nomenclatura asignada a cada elemento vertical, sus dimensiones transversales, rotaciones y niveles de inicio y final, la cuales fueron usadas para el cálculo del peso de la edificación con ayuda del programa sap2000.

Tabla 1. Nomenclatura de los Elementos Verticales

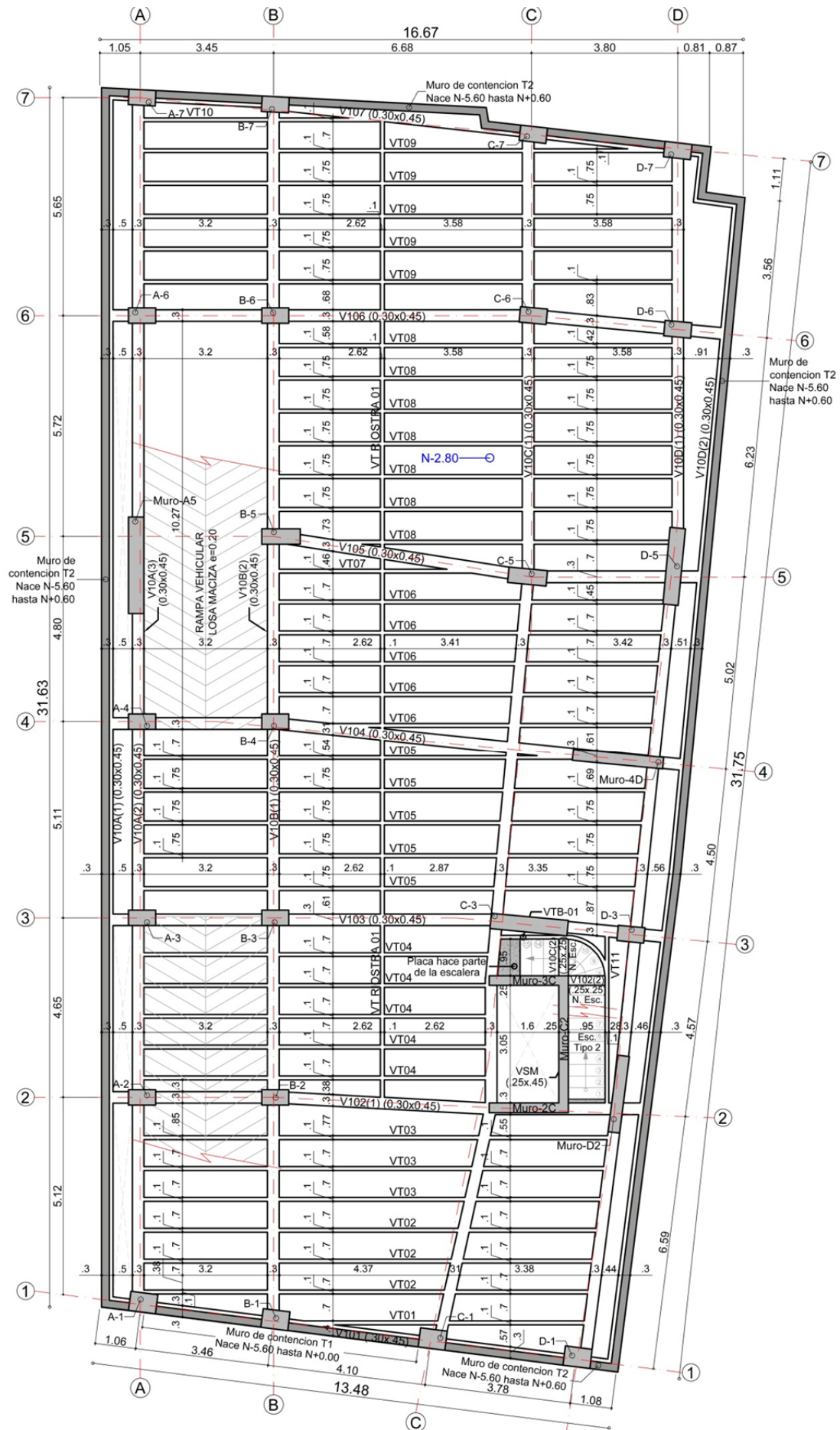
ELEMENTO	NOMBRE	DIMENSIONES [m]	ROTACION [grados °] [Sentido Horario positivo]	NIVEL DE INICIO	NIVEL FINAL
Columna	D-5	0.40x2.00	5.41	-5.80	45.40
Columna	A-6; B-6	0.70x0.40	0	-5.80	0.60
Columna	A-2; B-2	0.70x0.40	0	-5.80	42.60
Columna	A-3; B-3; A-4; B-4	0.70x0.40	0	-5.80	45.40
Columna	A-7; B-7	0.70x0.40	2.94	-5.80	0.60
Columna	C-6; D-6	0.70x0.40	5.41	-5.80	0.60
Columna	D-3	0.70x0.40	5.41	-5.80	45.40
Columna	C-7; D-7	0.70x0.40	6.45	-5.80	0.60
Columna	A-1; B-1; C-1; D-1	0.70x0.50	7.18	-5.80	42.60
Columna	B-5	1.00x0.40	0	-5.80	45.40
Columna	C-5	1.00x0.40	5.41	-5.80	45.40
Columna	C-3	2.00x0.40	5.41	-5.80	45.40
Muro Estructural	M-C2	0.25x3.55	0	-5.80	47.40
Muro Estructural	M-D2	0.30x2.00	7.18	-5.80	42.60
Muro Estructural	M-A5	0.40x2.50	0	-5.80	45.40
Muro Estructural	M-2C; M-3C	2.05x0.25	0	-5.80	47.40
Muro Estructural	M-4D	2.30x0.40	5.41	-5.80	45.40
Muro de Contención	MC-Tipo 1	0.20	-	-5.8	0.00
Muro de Contención	MC-Tipo 2	0.20	-	-5.80	0.60

Las dimensiones de las Viguetas, Vigas, Columnas y muros mostrados en los siguientes planos estructurales son preliminares, por lo tanto no se han diseñado estos elementos frente a las combinaciones de cargas especificadas en la Norma NSR-10



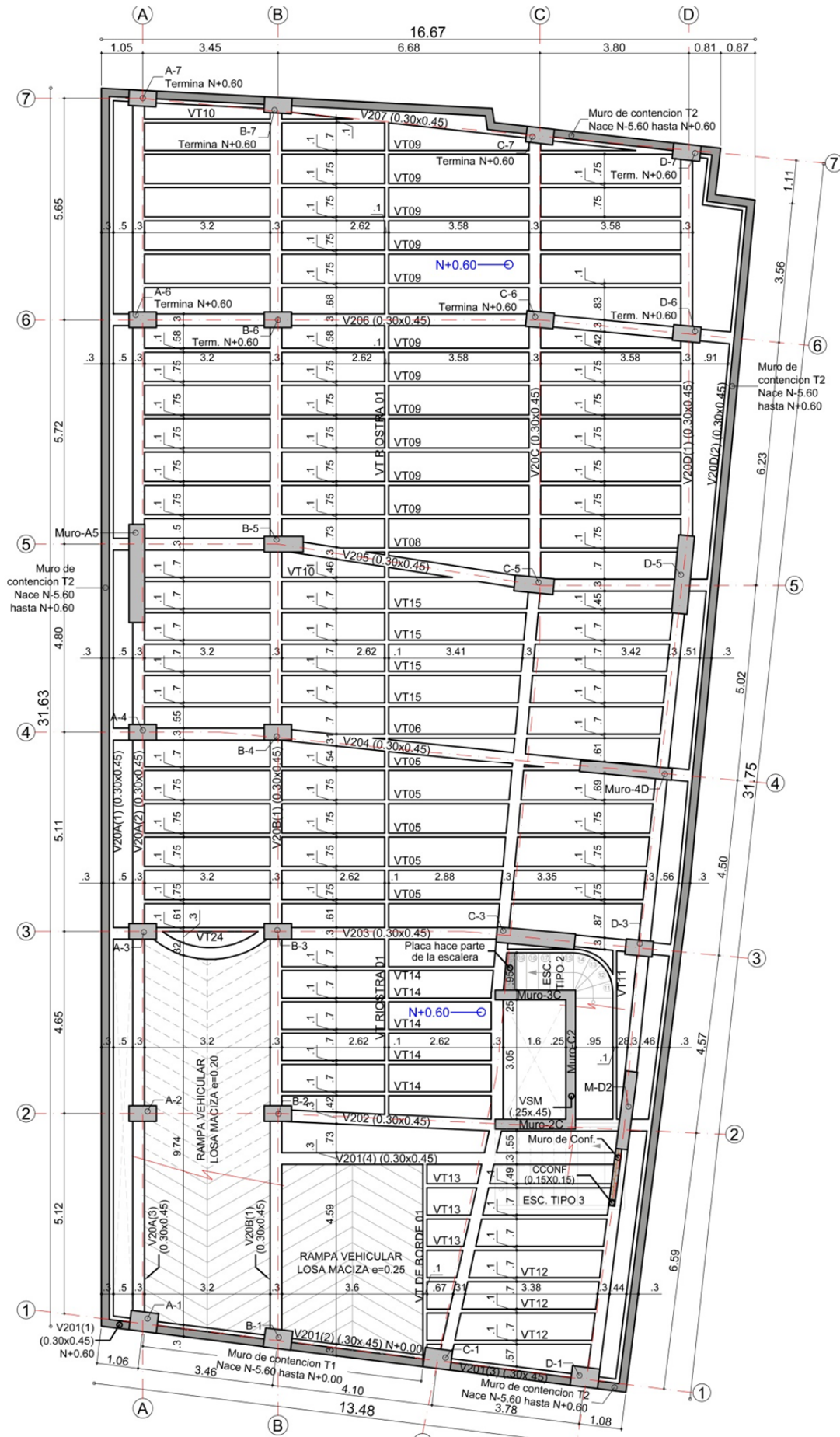
PLANTA DE CIMENTACIÓN N-5.60

ESCALA 1:150



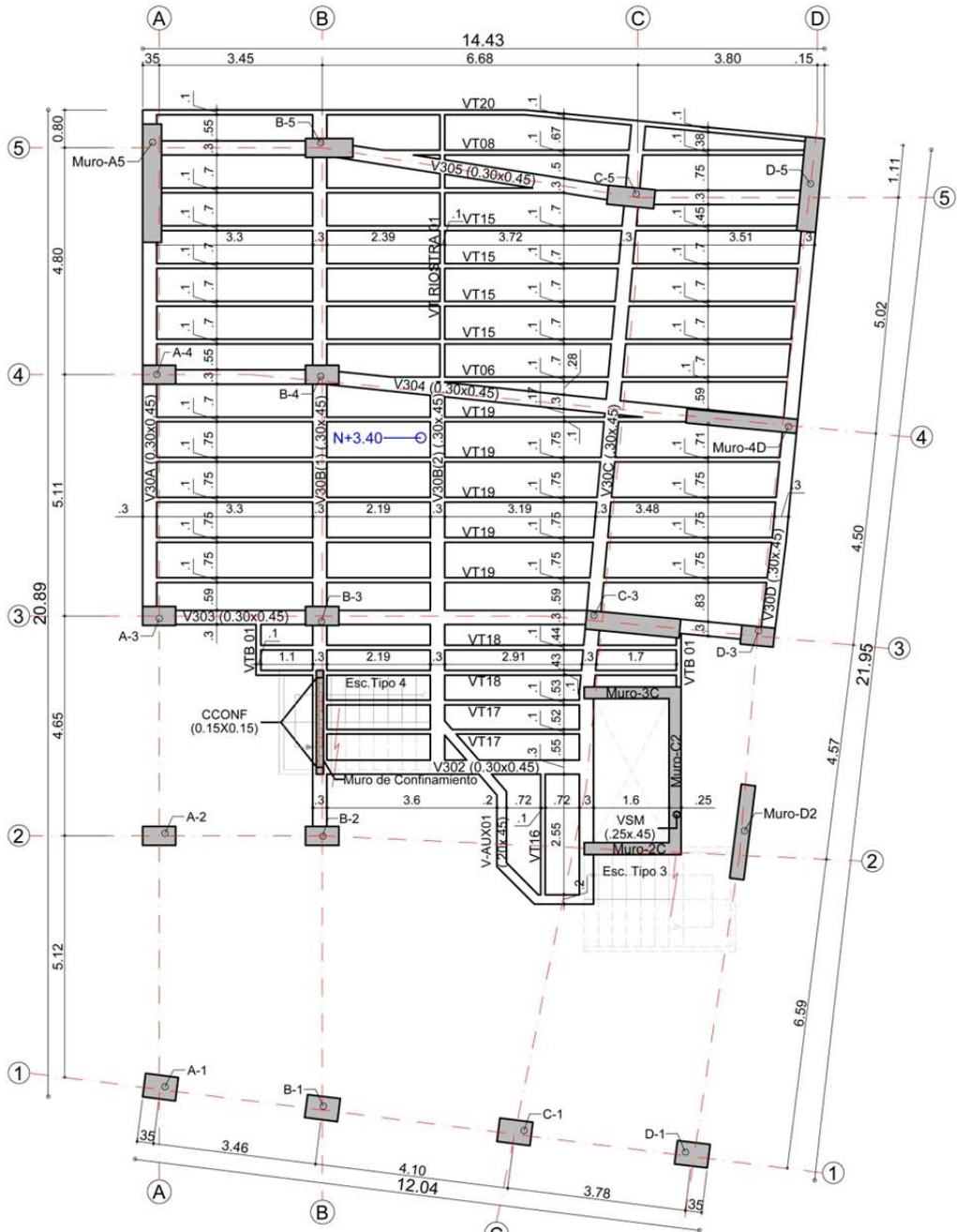
PLANTA DE ENTREPISO N-2.80

ESCALA 1:150

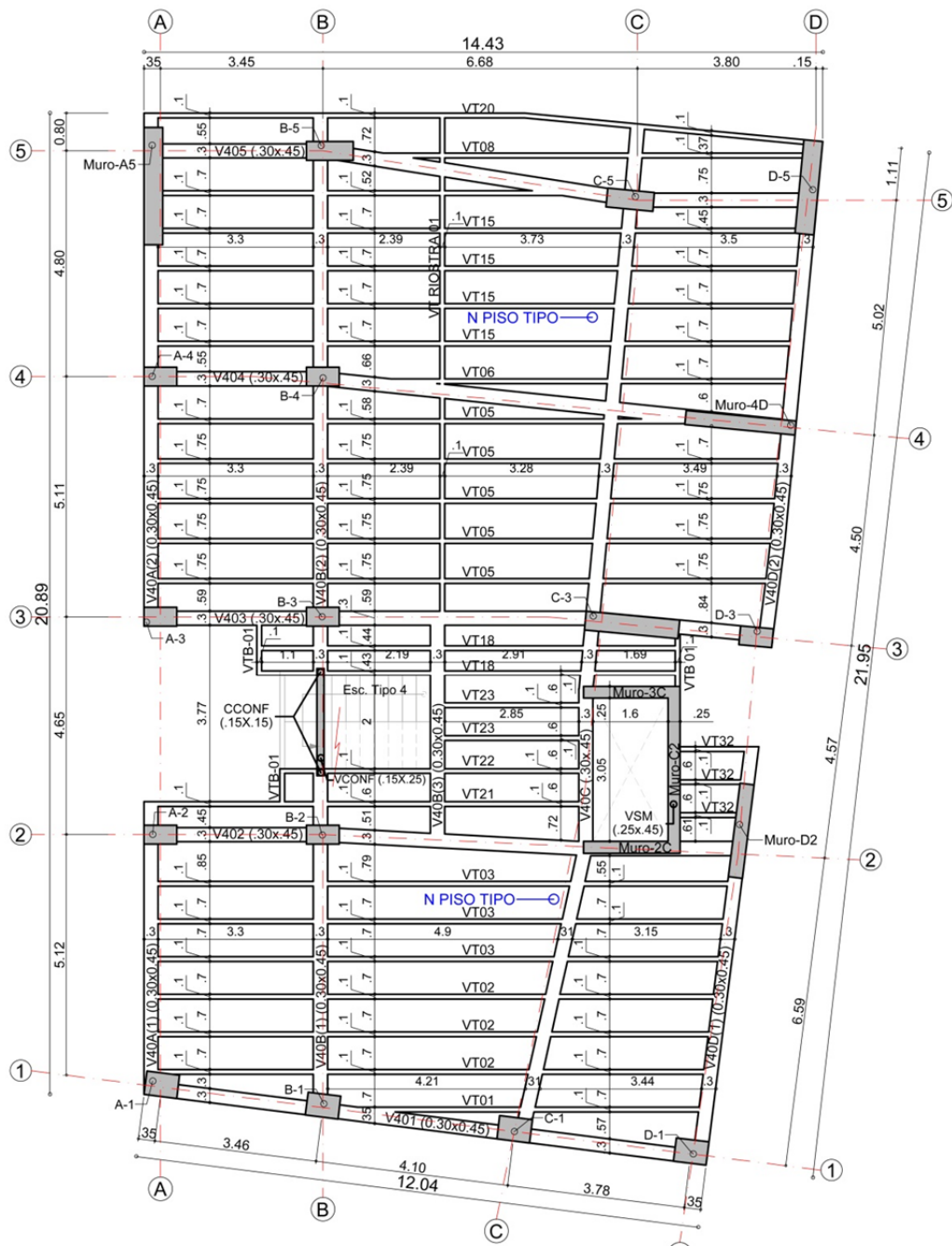


PLANTA DE ENTREPISO N+0.60

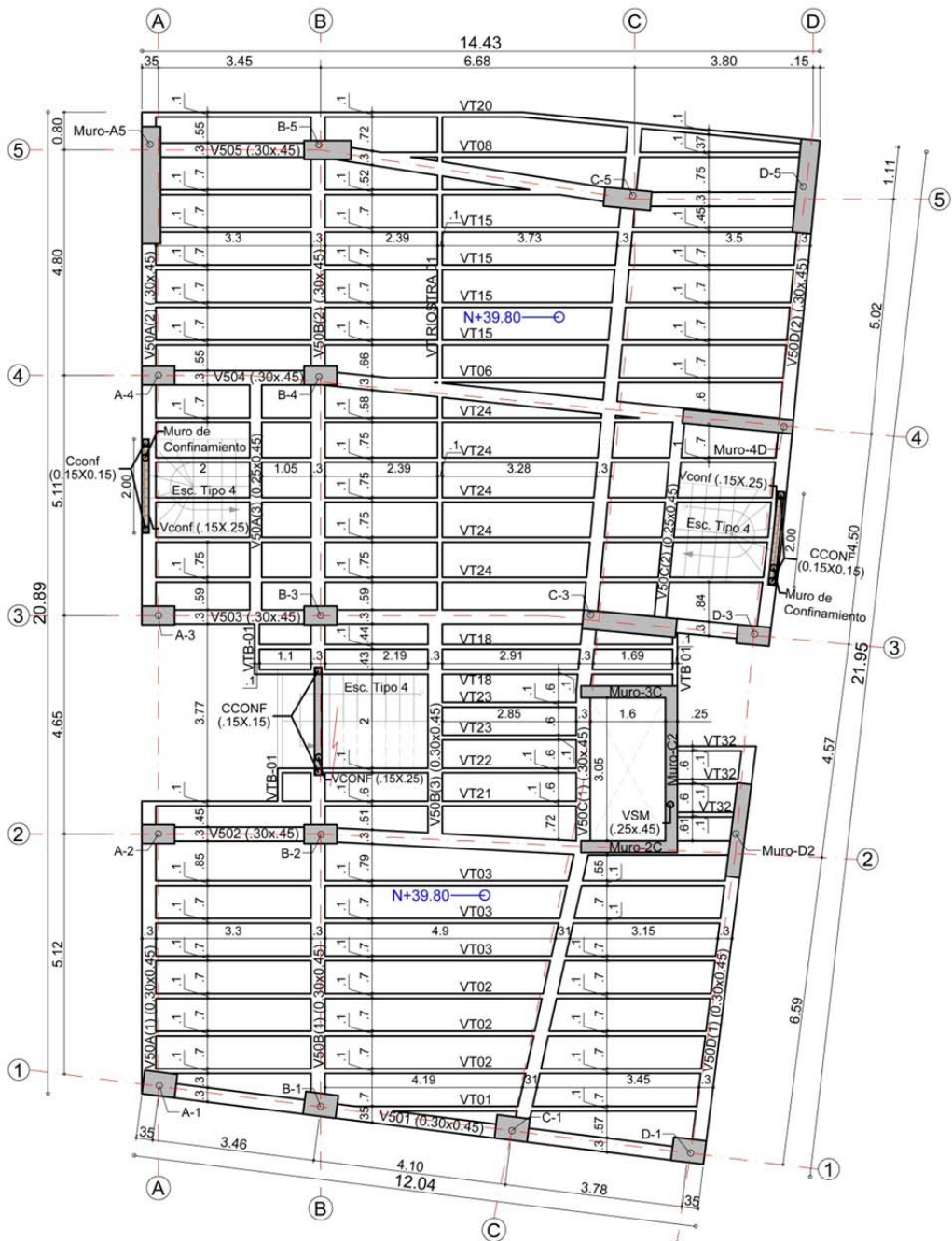
ESCALA 1:150



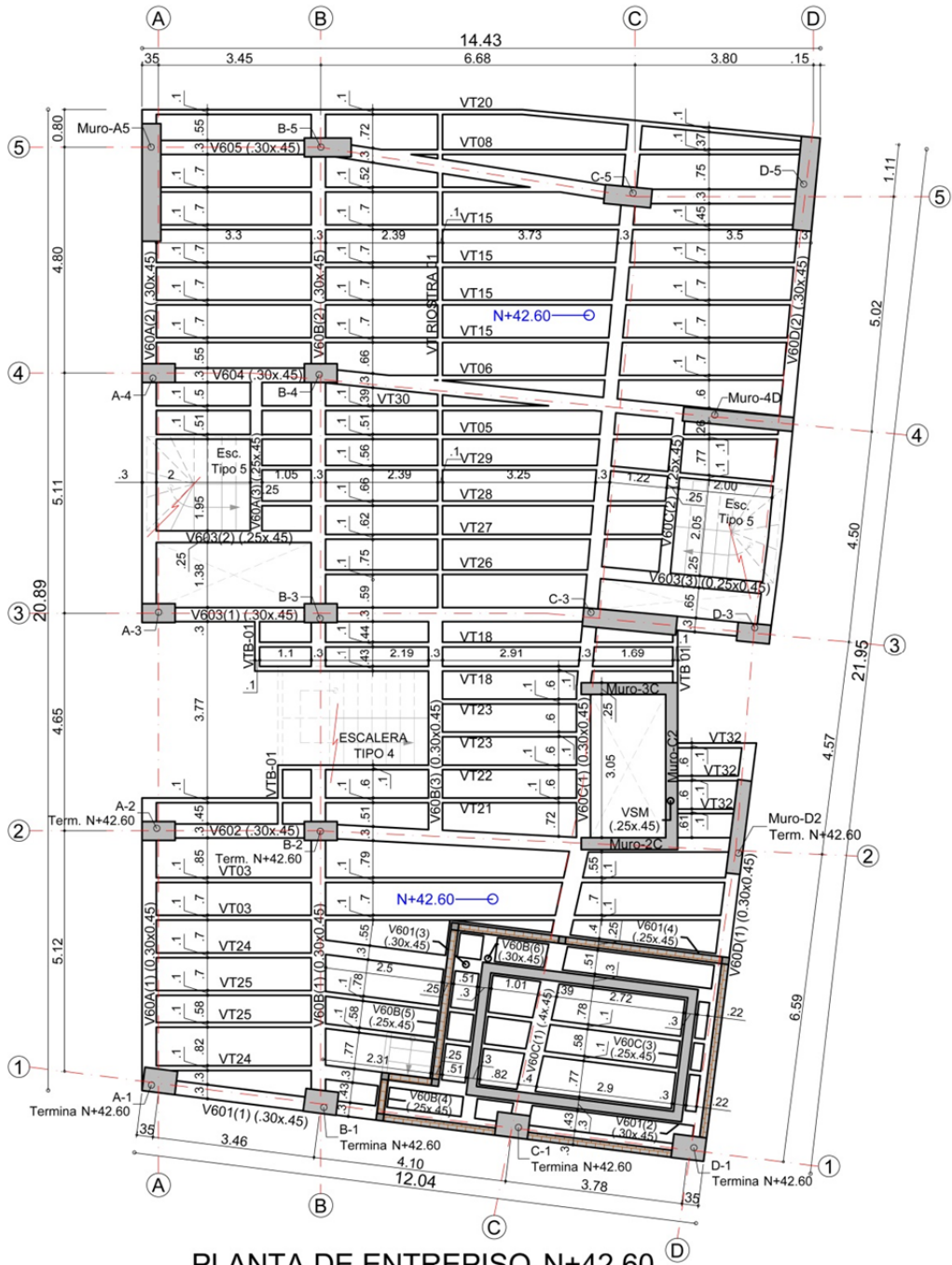
PLANTA DE ENTREPISO N+3.40
 ESCALA 1:150



PLANTA DE ENTREPISO
 PISO TIPO DEL N+6.20 AL N+37.00
 ESCALA 1:150

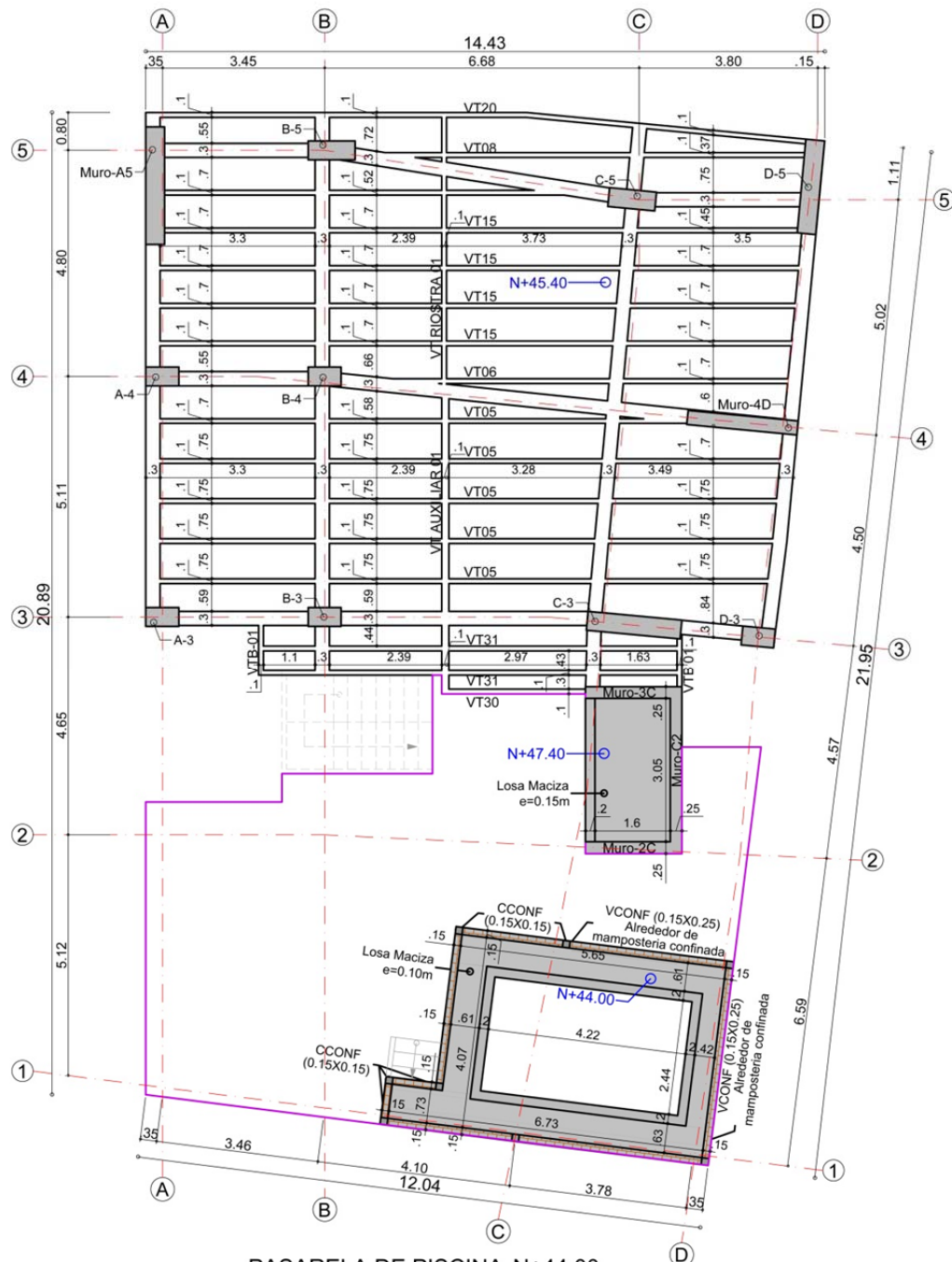


PLANTA DE ENTREPISO N+39.80
 ESCALA 1:150



PLANTA DE ENTREPISO N+42.60

ESCALA 1:150



PASARELA DE PISCINA N+44.00
 PLANTA DE CUBIERTAS N+45.40 Y N+47.40
 ESCALA 1:150

ANEXO F. CALCULO DEL CENTRO DE MASA

El centro de masa es utilizado para aplicar las fuerzas sísmicas arbitrarias (Para el cálculo del periodo), reales (Para el cálculo de derivas) y de diseño (Para el diseño de los elementos que componen el sistema de resistencia sísmica).

Existen varias maneras de calcular el centro de masa, escoger la metodología de cálculo depende del criterio y la exactitud que el ingeniero estructural quiera tener.

En la Fig. 1 y Fig. 2 se muestra los niveles Piso Tipo, N+39.80 y N+42.60 de la edificación que se ha trabajado en el presente libro, con los cuales se mostrará las diferentes metodologías para el cálculo del centro de masa, para hallar este punto se utilizará la ayuda de programas de dibujo y de diseño como lo son AutoCAD, Sap2000 y Etabs.

Fig. 1. Vista Estructural. – a) Piso Tipo; b) Pent House N+39.80

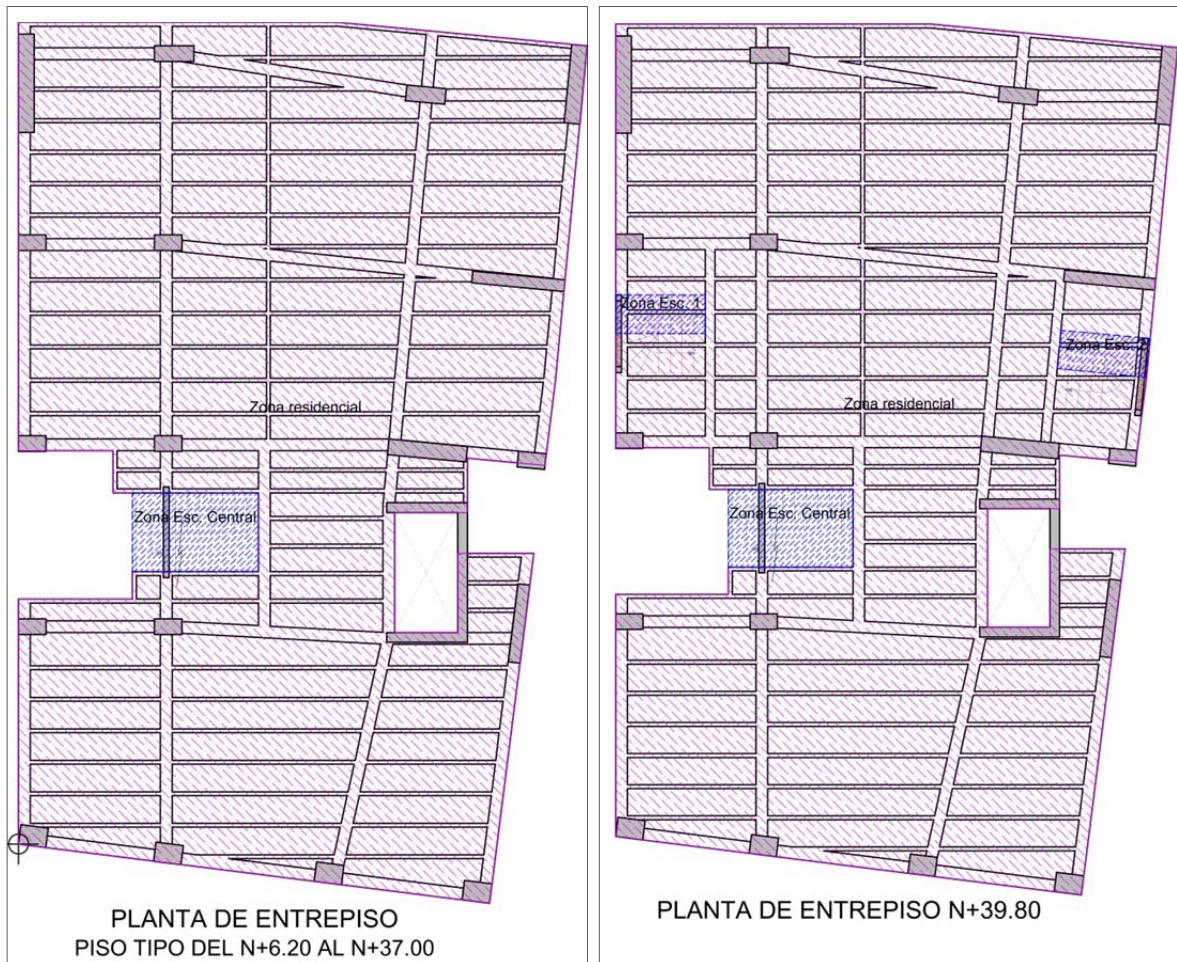
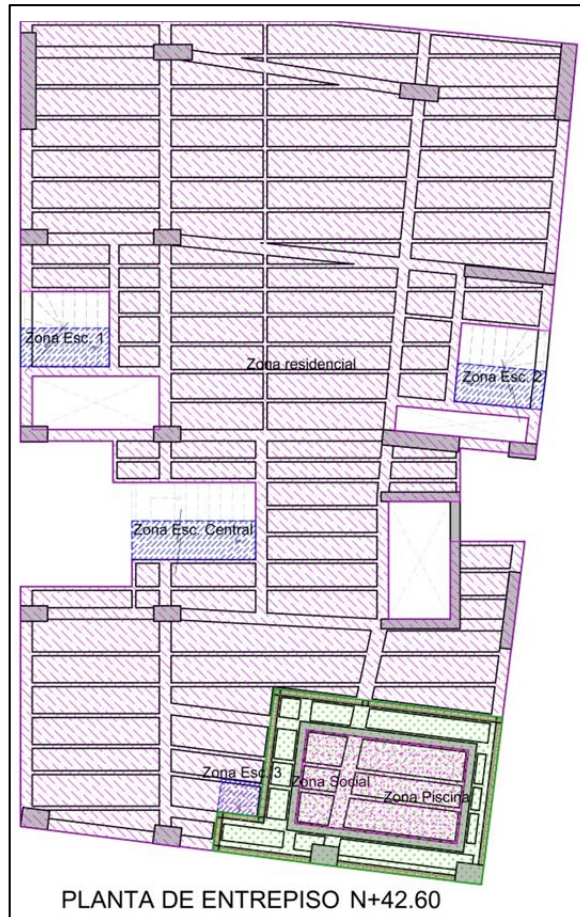


Fig. 2. Vista Estructural. - Zona Social N+42.60



CENTRO DE GRAVEDAD Y CENTRO DE MASA

Antes de comenzar el cálculo se deba hacer la aclaración de que en términos correctos lo que se calculará a continuación es el Centro de gravedad (C.G.) y no el centro de masa (C.M.), la diferencia entre las dos radica, en que en el primer caso se tiene en cuenta el efecto de la gravedad en la masa, mientras que en el segundo caso solo se tiene en cuenta la propia masa.

Debido a que en el presente proyecto la fuerza gravitacional sobre la masa no varía significativamente de un punto a otro, se puede decir que el centro de masa es igual al centro de gravedad, por lo tanto se tendrá en cuenta el efecto de las fuerzas gravitacionales sobre los elementos, es decir se calculará este punto a partir del peso de

los elemento. Para no crear confusión en el lector referente a lo definido en la norma, se seguirá llamando al punto de aplicación de las fuerzas centro de masa (C.M.)

CENTRO DE MASA CON EL PROGRAMA AUTOCAD

Para calcular el Centro de masa en la placa debe tenerse en cuenta además del peso propio y sobre impuesto en la misma, el peso causado por la mitad de las columnas ubicadas en la parte superior e inferior del piso bajo estudio. Con base a lo anterior, el procedimiento que se realizará para el cálculo del C.M. será:

1. Ubicar un punto de origen.
2. Multiplicar las áreas por sus respectivas densidad de carga, para tener el peso de cada zona,
3. el valor hallado en el punto 2 se multiplica por la distancia entre el punto de origen y la posición del centroide de su respectiva zona
4. Multiplicar el área transversal de todos los muros y columnas por la densidad de carga de la misma correspondiente al piso inferior, para de esta manera tener el peso de los elementos verticales. Este mismo procedimiento se realiza para el peso de las columnas superiores.
5. Los dos valores hallados en el punto 4 (Peso de las columnas inferiores y el de las superiores) se multiplica por la distancia entre el punto de origen y la posición del centroide de sus respectivas áreas.
6. Por último, se suman todos los valores del punto 3 y 5, y se dividen por el peso de los elementos hallado en los puntos 2 y 4

El procedimiento mencionado anteriormente es basado en el concepto de *Fuerzas distribuidas* mostrado en el *capítulo 5 del libro de Estática de Ferdinand P. Beer y E. Russell Johnston* que concluye con la Ec.1.

$$\text{Ec. 1. } \bar{X} = \frac{\sum(x*w)}{w} ; \bar{Y} = \frac{\sum(y*w)}{w}$$

Para obtener los valores de las áreas, de los centroides y de las distancia el procedimiento se ayuda con el programa AutoCAD.

DENSIDADES DE CARGAS

Las densidades de cargas que se muestran a continuación tienen en cuenta el peso propio y sobre impuesta en las zonas especificadas. Ver Fig. 1 y Fig. 2:

- Zonas residencial con mampostería **6.22 KN/m²** – Hatch Morado
- Zonas social **11.34 KN/m²** – Hatch Verde
- Zona Piscina **14.00 KN/m²** – Hatch Magenta
- Zona de escaleras **7.40 KN/m²** – Hatch Azul

Para Columnas se tomará como densidad de carga la multiplicación densidad del concreto por la mitad de la altura libre entre placas

$$\gamma_c * \frac{h_n}{2} = 24 * \frac{2.35}{2} = \mathbf{28.2KN/m^2}$$
 - Hatch Gris

AYUDA DE AUTOCAD PARA EL CALCULO DEL CENTRO DE MASA

Para hallar la ubicación del C.M. con el programa AutoCAD (Versión en Inglés):

1. se convirtió las líneas del contorno de las zonas a regiones con el comando “Region”, (Para el caso de las columnas y muros, las regiones de estos elementos se unieron con el comando “UNI”, para crear una sola región que abarcara las columnas y muros),
2. se sustrajo la información del área y del centroide de cada zona con el comando “Massprop”,
3. Basado en la ubicación del centroide para cada zona (sustraído en el punto 2) se ubicó en estos lugares un punto con el comando “PO”,
4. se definió como origen el punto más izquierdo y abajo en la losa,
5. se trazó una línea entre el origen (punto 4) y el centroide de cada zona (punto 3),
6. con el comando “LI” se extrajo la información de la distancia en X y Y para cada línea de cada zona,
7. Se realizó el cálculo del centro de masa con base a la Ec. 1 y los datos del área y de la distancia X y Y, sustraídos de AutoCAD (Ver los cálculos en la Tabla 1).

8. Y por último se ubicaron en el dibujo la posición del C.M. tal y como se puede ver en las Fig. 3 y Fig. 4

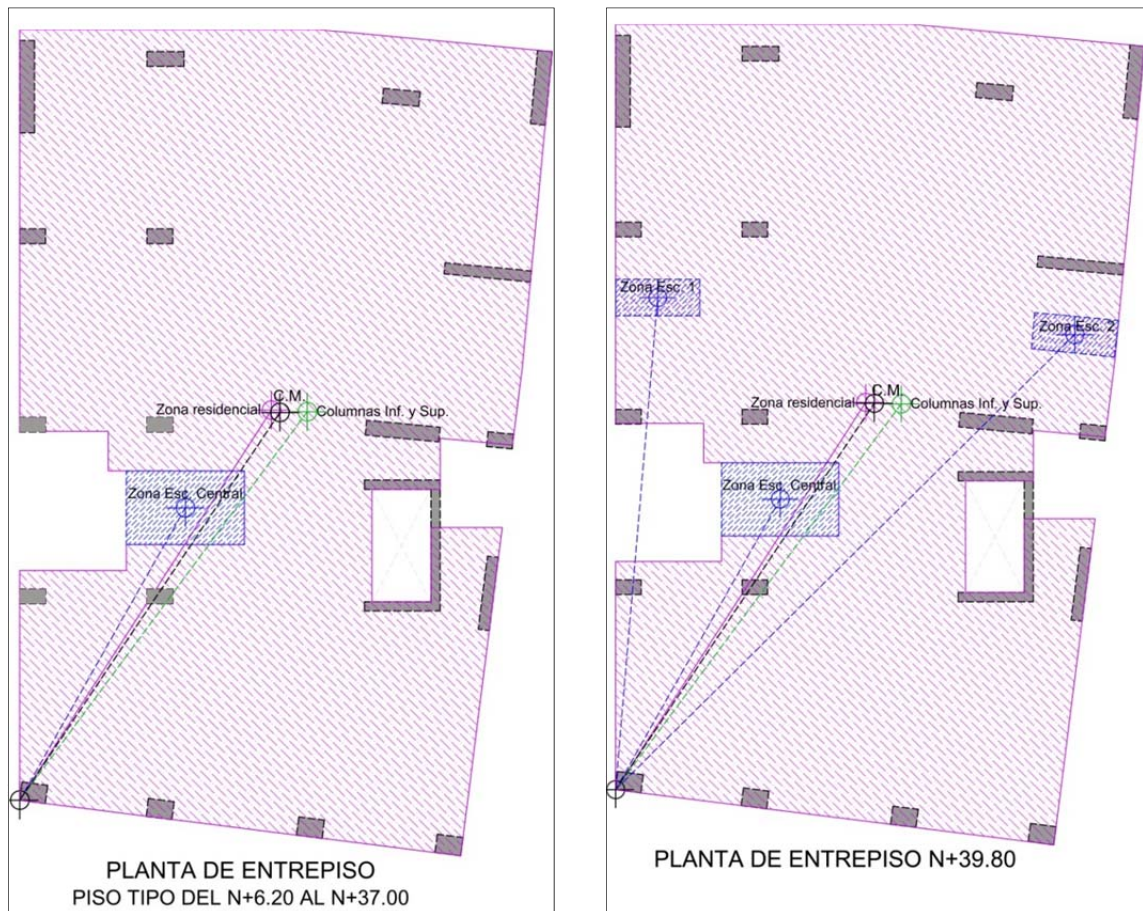
Tabla 1. Calculo del Centro de Masa con el programa Autocad

ZONA SOCIAL - N+42.60							
	Área	D.S.	Peso	x	y	Peso*x	Peso*y
Col. y Muros Inferiores	9.84	28.20	277.5	7.79	10.53	2161.6	2921.9
Col. y Muros Superiores	7.29	28.20	205.6	8.18	13.42	1681.6	2758.9
Zona residencial	217.72	6.22	1354.2	6.6	11.7	8937.8	15844.4
Zona Esc. Central	3.20	7.40	23.7	4.5	7.4	106.6	175.2
Zona Esc. 1	2.30	7.40	17.0	1.2	12.4	20.4	211.0
Zona Esc. 2	2.30	7.40	17.0	12.4	11.4	211.0	194.0
Zona Esc. 3	0.91	7.40	6.7	5.7	0.8	38.4	5.4
Zona social	27.12	11.34	307.5	9.1	1	2798.6	307.5
Zona Piscina	10.29	14.00	144.1	9.4	1	1354.2	144.1
			2353.3			17310.3	22562.5
X		Y					
7.36		9.59		Centro de Masa		col: Columna; DS: densidad de carga	

PENT HOUSE - N+39.80							
	Área	D.S.	Peso	x	y	Peso*x	Peso*y
Col. y Muros Inferiores	9.84	28.20	277.5	7.79	10.53	2161.6	2921.9
Col. y Muros Superiores	9.84	28.20	277.5	7.79	10.53	2161.6	2921.9
Zona residencial	260.79	6.22	1622.1	6.8	10.6	11030.4	17194.4
Zona Esc. Central	6.40	7.40	47.4	4.5	7.9	213.1	374.1
Zona Esc. 1	2.30	7.40	17.0	1.2	13.4	20.4	228.1
Zona Esc. 2	2.30	7.40	17.0	12.5	12.4	212.8	211.0
			2258.5			15799.9	23851.6
X		Y					
7.00		10.56		Centro de Masa		col: Columna; DS: densidad de carga	

PISO TIPO							
	Área	D.S.	Peso	x	y	Peso*x	Peso*y
Col. y Muros Inferiores	9.84	28.20	277.5	7.79	10.53	2161.6	2921.9
Col. y Muros Superiores	9.84	28.20	277.5	7.79	10.53	2161.6	2921.9
Zona residencial	260.79	6.22	1622.1	6.82	10.57	11062.8	17145.7
Zona Esc. Central	6.40	7.40	47.4	4.49	7.93	212.6	375.6
			2224.4			15598.7	23365.2
X		Y					
7.01		10.50		Centro de Masa		col: Columna; DS: densidad de carga	

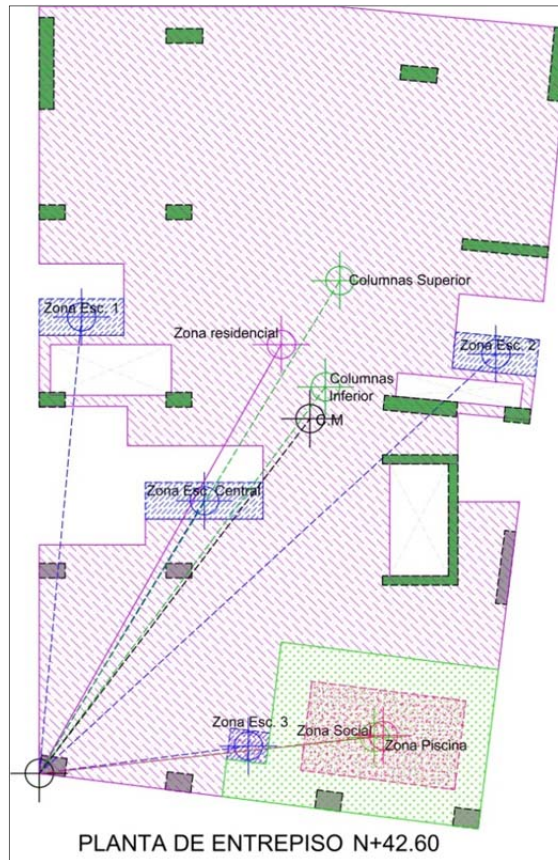
Fig. 3. Posición del Centro de masa del piso Tipo y del N+39.80



OBSERVACIONES

1. El peso de las escaleras se dividen equitativamente entre las plantas que conecta, esto se puede ver con claridad en el N+39.80 donde se tiene en cuenta la mitad del área de la escalera y en el N+42.60 se tiene en cuenta el resto del área.
2. Si se presenta el caso en el cual existe placa por debajo de la escalera como ocurre en el N+39.80, se debe tener en cuenta el área por la densidad de carga del entre piso y el área por la densidad de carga ubicada encima de la placa debido a la escalera.
3. Los vacíos producido por entra de luz o foso del ascensor no se tienen en cuenta.
4. Las densidades de carga no tienen en cuenta el peso de las viguetas y vigas tal como se puede ver en el capítulo 4.3.1. esto se debe a que el peso de estos elementos se analizan en el Calculo del capítulo 4.3.2

Fig. 4. Posición del centro de masa zona social



CENTROIDE CON EL PROGRAMA AUTOCAD

Con base a la teoría de Fuerzas distribuidas de Ferdinand P. Beer, se expone que si un área cuenta con una densidad de carga distribuida del mismo valor, el centroide del área es igual al centro de masa.

Para calcular el centroide se obvian las densidades de cargas y solo se tiene en cuenta el área en planta de las zonas cargadas, por ende esto incluye las escaleras. Para realizar este cálculo con el programa AutoCAD (Versión en Inglés) se debe hacer el siguiente procedimiento:

1. se convierte las líneas del contorno de la zona a regiones con el comando "Region",
2. se sustrae la información del centroide y se crea un punto en esta ubicación con el comando "PO",

3. se define como origen el punto más izquierdo y abajo en la losa,
4. se traza una línea entre el origen hasta el centroide con el comando "LI"
5. y se extrae la información de la distancia en X y Y.

En la Fig. 5 y Fig. 6 se muestra el área tomada para el cálculo del centroide y en la Tabla 2 se muestra la distancia en X y Y desde el punto de origen hasta el centroide de la placa.

OBSERVACIONES

1. El área de la escalera debe repartirse equitativamente entre la losa de inicio como de llegada. Si el área de una escalera esta sobre la losa, como en el caso del N+39.80, esta área se obvia.
2. Los vacíos en la placa debido a la entrada de luz y el foso del ascensor no se tienen en cuenta. Además no se tiene en cuenta las columnas para el cálculo del centroide

Fig. 5. Posición del centroide Piso tipo y N+39.80



Fig. 6. Posición del centroide de la zona social

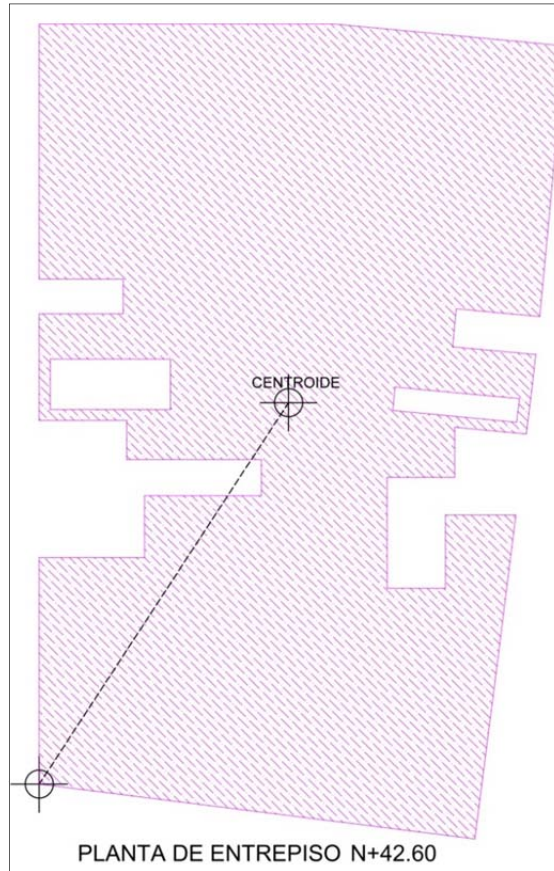


Tabla 2. Ubicación del Centroide con el programa Autocad

	X	Y
Zona Social N+42.60	6.83	10.48
Pent House N+39.80	6.77	10.51
Piso Tipo	6.77	10.51

CENTRO DE MASA CON EL PROGRAMA SAP2000

Para realizar el cálculo de la masa con el programa sap2000 se debe tener configurado:

1. Los materiales, las barras y los muros, los cuales se mencionan en los capítulos 4.6.1, 4.6.2 y 4.6.3;
2. Los casos de cargas "PP", "DEAD" y "F" definidos en el capítulo 4.6.4,
3. La estructura de acuerdo al capítulo 4.6.7 (Dibujo del modelo en sap2000);

4. Las cargas debido al peso propio de la estructura “PP”, debido a cargas sobre impuestas “DEAD” (incluye los efectos por el peso propio y sobre-impuesto de las escaleras) y por fluidos con densidad definida “F”, según el capítulo 4.6.8
5. Los orígenes de masa, las cuales para este análisis corresponde a los casos de carga “PP”, “DEAD” y “F” tal y como muestra el capítulo 4.6.9
6. Y por último el diafragma rígido (el programa sap2000 calcula el C.M. con base a los diafragmas definidos), el cual debe ser asignado en cada entre piso según se muestra el capítulo 4.6.12.

NOTA: Los capítulos mencionados en los anteriores numerales hacen referencia al cuerpo (marco referencial) del proyecto de grado.

ARCHIVO .OUT

Para que el programa Sap2000 calcule el centro de masa es necesario ejecutar el programa, luego de haber hecho esto, en la carpeta donde está el modelo principal con extensión *.SDB, se encuentra un archivo con el mismo nombre a este pero con extensión *.OUT, el cual puede abrirse con el bloc de nota y en el que se encuentra la ubicación de los centro de masa y geométrico de todos los diafragmas rígidos definidos.

Debido a que para el modelamiento de Sap2000 se tomó como punto de origen el centroide de la columna A-1 (Ver Nota del capítulo 4.6.7) los valores mostrados en la Fig.7 se les deben incrementar en X: 0.372 y en Y: 0.155, para de esta manera definir como origen el mismo punto que el utilizado en “C.M. con el programa AutoCAD” y “cálculo de centroide con AutoCAD”. En la Tabla 3 se muestra los valores corregidos

Cabe mencionar que el nombre del modelo en Sap2000 se denominó “MF2”, por esta razón el nombre del archivo con extensión *.OUT corresponde a “MF2” el cual se abrió como bloc de nota, como se puede ver en la Fig. 7 - número 1. Además, los valores enmarcados en rojo de la Fig. 7 - número 2, son los valores del centro de masa correspondiente a los ejes principales X y Y (nombrados en sap2000 como U1 y U2), los cuales serán los valores que se compararán. Los valores enmarcados de color azul de la Fig. 7 - número 3, hacen referencia al centro geométrico de la estructura analizada en la dirección Z (U3).

NOTA: En la Fig. 7 Se puede apreciar que para cada diafragma el programa calcula la masa traslacional e inercial según los grados de libertad del diafragma rígido, es decir, se realiza el cálculo de la masa traslacional en U1 (X) y U2 (Y), y la masa inercia en R3 (Z) debido a que el diafragma rígido solo se desplaza y rota con respecto a estas direcciones. Además estos valores se calculan con base a los orígenes de masa definidos en el Capítulo 4.6.10 del cuerpo del libro, mencionado en el anexo 6.4 numeral 5.

Fig. 7. Ubicación del centro masa y centro geométrico con el archivo “*.OUT”

MF2.OUT: Bloc de notas ①

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

CONSCDIAPH1_ ===== TYPE = RIGID, DOF = U1 U2 R3

GLOBAL	U1	U2	U3	R1	R2	R3
X	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
Y	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000
Z	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000

TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA

U1	U2	U3	R1	R2	R3
294.637046	294.637046	.000000	.000000	.000000	18186.457

② CENTER OF MASS ③

GLOBAL	U1	U2	U3
X	6.674043	6.674043	6.783583
Y	10.449280	10.449280	9.869541
Z	37.000000	37.000000	37.000000

PISO TIPO

CONSCDIAPH1_ ===== TYPE = RIGID, DOF = U1 U2 R3

GLOBAL	U1	U2	U3	R1	R2	R3
X	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
Y	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000
Z	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000

TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA

U1	U2	U3	R1	R2	R3
300.777459	300.777459	.000000	.000000	.000000	18351.328

CENTER OF MASS

GLOBAL	U1	U2	U3
X	6.667110	6.667110	6.754786
Y	10.486057	10.486057	10.102599
Z	39.800000	39.800000	39.800000

PENT HOUSE

CONSCDIAPH1_ ===== TYPE = RIGID, DOF = U1 U2 R3

GLOBAL	U1	U2	U3	R1	R2	R3
X	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000
Y	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000	.000000
Z	.000000	.000000	1.000000	.000000	.000000	1.000000

TRANSLATIONAL MASS AND MASS MOMENTS OF INERTIA

U1	U2	U3	R1	R2	R3
317.818878	317.818878	.000000	.000000	.000000	20137.263

CENTER OF MASS

GLOBAL	U1	U2	U3
X	6.986316	6.986316	6.796855
Y	9.792288	9.792288	9.103661
Z	42.600000	42.600000	42.600000

ZONA SOCIAL

OBSERVACIONES

Es importante mencionar que en ciertas ocasiones el archivo con extensión *.OUT no muestra el cálculo de los centro de masa, ni la masa en los entresijos debido a fallas del programa de sap2000 en la versión V14, pero estos errores fueron solucionados en la versión V15

Tabla 3. Ubicación del centro de masa con Sap2000

CENTRO DE MASA				
NIVEL	GLOBAL	Z	X	Y
ZONA SOCIAL	U1	42.6	7.36	9.95
PENT HOUSE	U1	39.8	7.04	10.64
PISO TIPO	U1	37	7.05	10.60

CENTRO DE MASA CON EL PROGRAMA ETABS

A diferencia de sap2000, Etabs es un programa especializado en el análisis y diseño de edificios. La estructura que se ha mostrado a lo largo del proyecto se ha modelado también en este último programa teniendo en cuenta que los muros, columnas, vigas y viguetas, sus respectivas dimensiones y ubicaciones sean iguales a la estructura de sap2000, esto quiere decir que se realizó una copia exacta del modelo. Además, los casos de cargas, la asignación de las cargas sobre los elementos y el origen de las masas se hicieron según lo especificado en el capítulo 4.6 (Modelamiento de la estructura) del presente libro.

A continuación se muestra el cuadro con el cálculo del centro de masa

Tabla 4. Ubicación de centro de masa con Etabs

Story	Level	Diaphragm	XCCM	YCCM
ZONA SOCIAL	N+42.60	D17	7.33	9.96
PENTHOUSE	N+39.80	D16	7.04	10.61
PISO TIPO	N+37.00	D15	7.05	10.59

NOTA: para el modelamiento de Etabs se tomó como punto de origen el centroide de la columna A-1 tal como en sap2000, por tal razón los valores del centro de masa mostrados en la tabla 3 se incrementaron en X: 0.372 y en Y: 0.155.

CONCLUSIONES

En la Tabla 5 se muestra los resultados del cálculo del centro de masa de los métodos anteriormente mencionados. A continuación se compararán las diferentes metodologías tomando como valor real los datos arrojados por el programa Etabs debido a que este es un programa especializado en el cálculo de edificaciones.

Tabla 5. Cuadro comparativo de cálculo del centro de masa

	C.M. Etabs	C.M. AutoCAD		Centroide AutoCAD		C.M. Sap2000	
		Posición X	% error	Posición X	% error	Posición X	% error
Zona Social N+42.60	7.33	7.36	-0.41	6.83	6.82	7.36	-0.40
Pent House N+39.80	7.04	7.00	0.57	6.77	3.84	7.04	0
Piso Tipo	7.05	7.01	0.57	6.77	3.97	7.05	0

	C.M. Etabs	C.M. AutoCAD		Centroide AutoCAD		C.M. Sap2000	
		Posición Y	% error	Posición Y	% error	Posición Y	% error
Zona Social N+42.60	9.96	9.59	3.71	10.48	-5.22	9.95	0.10
Pent House N+39.80	10.61	10.56	0.47	10.51	0.94	10.64	-0.28
Piso Tipo	10.59	10.50	0.85	10.51	0.76	10.60	-0.09

Del cuadro comparativo se puede observar que:

1. El cálculo del centro de masa con ayuda del programa AutoCAD es cercano a los valores de Etabs, pero existe un porcentaje de error debido a que en el primer caso se tiene en cuenta la masa de las viguetas y de vigas y la configuración de estas en el entrepiso mientras en el segundo caso se asume una densidad de carga uniforme.
2. El cálculo del centro de masa a partir del centroide es válido siempre y cuando la densidad de carga en la placa sea uniforme o no presente grandes variaciones entre las diferentes densidades de carga del mismo piso, lo anterior se puede observar en los niveles del piso tipo y del N+39.80, donde el porcentaje de error es menor del 5%, mientras que en la zona social supera este valor. La norma NSR-10 en el numeral

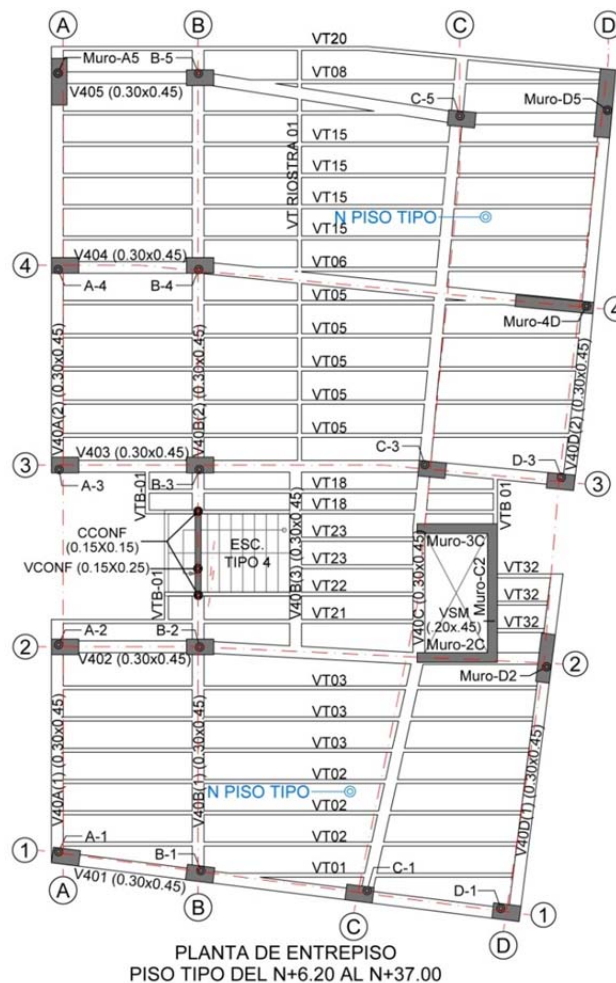
A.3.6.7.1 cubre la incertidumbre de la localización del centro de masa con el concepto de torsión accidental.

3. Por último, la diferencia entre los valores de Sap2000 y Etabs son insignificante y puede ser producido por la forma en que cada programa da entrada a los datos.

ANEXO G. UBICACIÓN RELATIVA DEL CENTRO DE RIGIDEZ

En este anexo se muestra que a través de las rotaciones del centro de masa (C.M.) debido a la aplicación de fuerzas arbitrarias es posible ubicar el centro de rigidez (C.R.), para realizar esto se analizará el piso tipo del edificio "BARRANCA" el cual se puede ver en la Fig. 1. Las dimensiones de las viguetas, vigas, columnas y muros ya han sido tratado en el capítulo 4.6 del presente libro (Modelamiento de la estructura), además en el capítulo mencionado se encuentra la información necesaria para ubicar el centro de rigidez utilizando el programa sap2000, como son: los materiales, el modelamiento, la ubicación del centro de masa, la aplicación de las fuerzas arbitrarias y la asignación del diafragma rígido.

Fig. 1. Vista en Planta de Piso Tipo



CENTRO DE RIGIDEZ Y UBICACIÓN TOMANDO COMO REFERENCIA EL CENTRO DE MASA

El Centro de Rigidez es el punto donde se pueden considerar concentradas la rigidez de un piso, dicho de otra forma es el punto donde al aplicar las fuerzas horizontales la losa no rota con respecto al nivel anterior, por lo tanto si el piso presenta rotación esta será con respecto a este punto.

Con base a lo anterior, es posible deducir el cuadrante en que se encuentra el centro de rigidez tomando como referencia al centro de masa, debido a que al aplicar fuerzas arbitrarias en este último punto el piso va a rotar en sentido horario o anti horario dependiendo del cuadrante en el que se encuentre el centro de rigidez

Fig. 2. Cuadrante del Centro de Rigidez

Rotacion de la placa en sentido horario producido por la excentricidad entre el C.M. y el C.R.

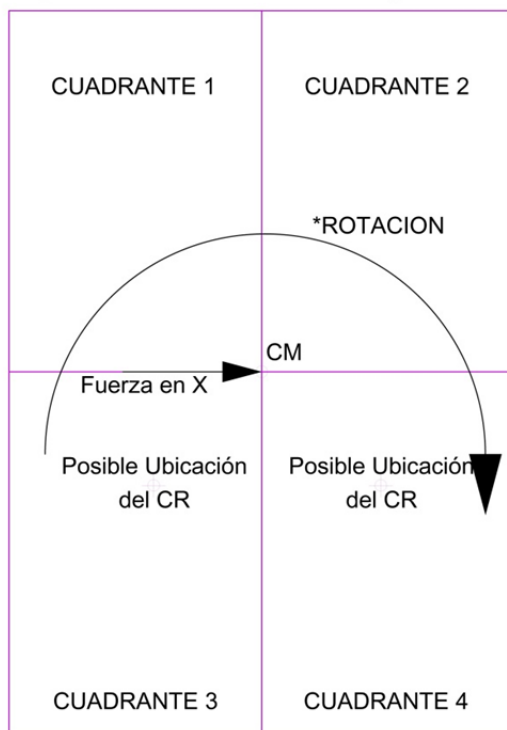


Figura 2a

Rotacion de la placa en sentido anti horario producido por la excentricidad entre el C.M. y el C.R.

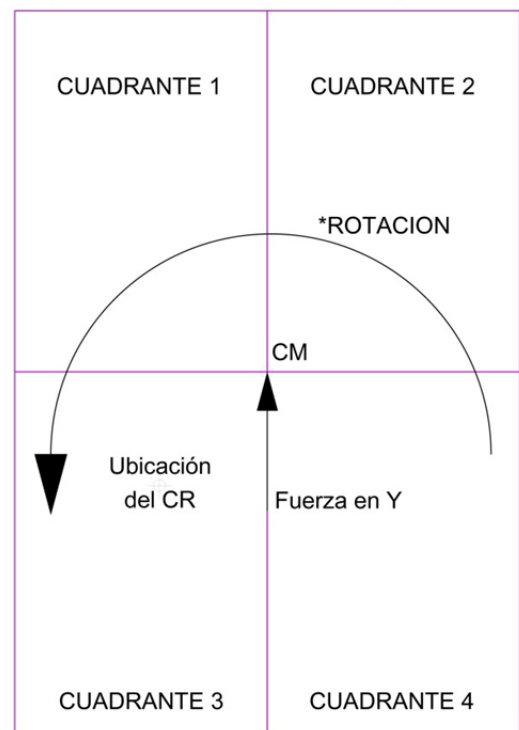


Figura 2b

Lo anterior se explicara mejor tomando como ejemplo una edificación de un piso de forma rectangular donde el centro de masa coincide con el centro geométrico pero donde no se tiene conocimiento donde se encuentra el Centro de rigidez.

Para ubicar el centro de rigidez con respecto al centro de masa el lector debe aplicar en este último punto una fuerza arbitraria en dirección X, si en consecuencia la placa rota en sentido horario, se deduce que el C.R. se encuentra en cuadrante 3 o 4, tal como muestra en la Fig. 2ª. Ahora, para definir el cuadrante se debe aplicar una fuerza arbitraria en dirección Y, si en consecuencia la placa rota en sentido anti horario, el C.R. se encontrar en el cuadrante 3, dado que este es el único cuadrante que produce la rotación horaria y anti horaria al aplicar en el centro de masa una fuerza arbitraria en X después en Y respectivamente.

CENTRO DE RIGIDEZ CON SAP2000

Para ubicar el centro de rigidez con respecto al centro de masa en la edificación “BARRANCA” con ayuda del programa Sap2000 el modelo debe contar con:

1. Los materiales, las barras y los muros que se muestra en los capítulos 4.6.1, 4.6.2 y 4.6.3;
2. Los casos de cargas “Fsx_arb” y “Fsy_Arb” definidos en el modelo según lo muestra el capítulo 4.6.4,
3. La estructura modelada de acuerdo al capítulo 4.6.7 (Dibujo del modelo en sap2000);
4. Los *joints* ubicados en el centro de masa de cada piso según la Tabla 4 del capítulo 4.6.10 (Tabla 1 del presente anexo).
5. Las fuerzas arbitrarias, calculadas en la Tabla 3, y asignadas en el centro de masa de cada nivel según el capítulo 4.6.11 (En la Tabla 2 del presente anexo puede encontrarse las fuerzas arbitrarias calculadas en la Tabla 3 del cuerpo del libro);
6. Y con el diafragma rígido asignado en cada entre piso según se muestra en el capítulo 4.6.12

NOTA: a) Los capítulos y las tablas mencionados en los anteriores numerales, a excepción que se mencione lo contrario, se encuentran en el cuerpo (marco referencial) del proyecto de grado. b) La ubicación del centro de masa en la Tabla 1 es medida desde el centroide de la columna A-1 dado que con base a este punto es que se modelo la estructura.

Tabla 1. Ubicación del centro de masa

Descripción	Nivel j	X	Y
P13	N+37.0	6.67	10.45
P12	N+34.2	6.68	10.43
P11	N+31.4	6.68	10.43
P10	N+28.6	6.68	10.43
P9	N+25.8	6.68	10.43
P8	N+23.0	6.68	10.43
P7	N+20.2	6.68	10.43
P6	N+17.4	6.68	10.43
P5	N+14.6	6.68	10.43
P4	N+11.8	6.68	10.43
P3	N+9.0	6.68	10.43
P2	N+6.2	6.68	10.43

Tabla 2. Distribución de fuerza Arbitraria

Descripción	Nivel j	F_arb
P13	N+37.0	1114.0
P12	N+34.2	988.1
P11	N+31.4	867.3
P10	N+28.6	751.9
P9	N+25.8	642.1
P8	N+23.0	538.2
P7	N+20.2	440.6
P6	N+17.4	349.7
P5	N+14.6	266.1
P4	N+11.8	190.5
P3	N+9.0	123.8
P2	N+6.2	69.1

Ahora, el último paso es extraer los desplazamientos debido a las fuerzas arbitrarias, en el cuerpo del libro se muestra en la Tabla 5 y Tabla 6 los desplazamientos por las fuerza “F_{sx_arb}” y por las fuerzas “F_{sy_arb}” respectivamente, en el presente anexo se puede ver en la Tabla 3

Tabla 3. Desplazamientos debido a Fuerzas arbitraria

1	Fuerza arbitraria en X				Fuerza arbitraria en Y			
	2	3	4	5	6	7	8	9
text	m	m	Radians	Radians	m	m	Radians	Radians
Z	U1	U2	R3	$\Theta_i - \Theta_{i-1}$	U1	U2	R3	$\Theta_i - \Theta_{i-1}$
N+37.0	0.4495	0.0301	-0.00841	-0.00063	0.0282	0.3837	-0.00423	-0.00005
N+34.2	0.4186	0.0284	-0.00778	-0.00069	0.0266	0.3545	-0.00418	-0.00013
N+31.4	0.3851	0.0264	-0.00709	-0.00073	0.0247	0.3237	-0.00405	-0.00020
N+28.6	0.3494	0.0242	-0.00636	-0.00077	0.0226	0.2914	-0.00385	-0.00026
N+25.8	0.3117	0.0216	-0.00559	-0.00079	0.0202	0.2579	-0.00359	-0.00032
N+23.0	0.2725	0.0189	-0.00480	-0.00081	0.0177	0.2236	-0.00327	-0.00038
N+20.2	0.2323	0.0160	-0.00399	-0.00081	0.0150	0.1889	-0.00290	-0.00042
N+17.4	0.1919	0.0130	-0.00319	-0.00079	0.0121	0.1545	-0.00247	-0.00046
N+14.6	0.1519	0.0100	-0.00240	-0.00075	0.0093	0.1210	-0.00201	-0.00049
N+11.8	0.1132	0.0070	-0.00165	-0.00067	0.0066	0.0891	-0.00152	-0.00050
N+9.0	0.0770	0.0044	-0.00098	-0.00055	0.0041	0.0598	-0.00102	-0.00046
N+6.2	0.0449	0.0022	-0.00043		0.0021	0.0340	-0.00056	

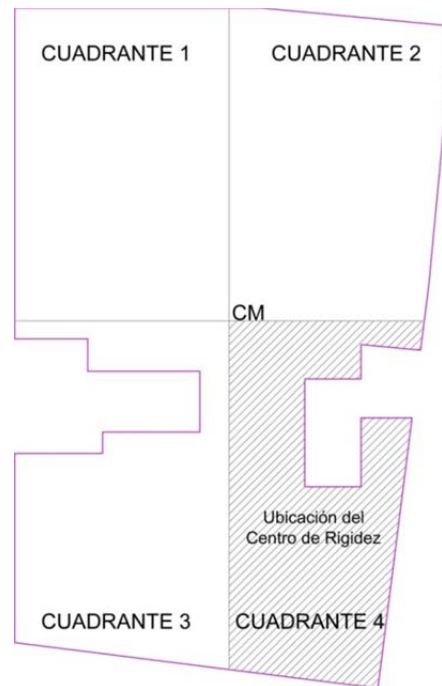
Donde Θ_i es la rotación en el nivel bajo estudio i y Θ_{i-1} es la rotación en el piso inmediatamente inferior al nivel bajo estudio

CONCLUSIÓN

Para ubicar el centro de rigidez se debe observar las rotaciones relativas $\Theta_i - \Theta_{i-1}$, las cuales se encuentran en la Tabla 3 Columnas 5 y 9 del presente anexo. Ahora, como se podrá notar en la columna 5 las rotaciones relativas producidas por la aplicación de las fuerzas arbitrarias “Fsx_arb” (sentido positivo) en los centros de masa de los entrepisos son de valor negativo, por tal motivo el sentido del giro es horario, esto indica que el centro de rigidez puede estar ubicado en los cuadrante 3 o 4. Para concluir la ubicación del C.R. se observa que las rotaciones relativas de la columna 9 las cuales son producidas por las fuerzas arbitrarias “Fsy_arb” (sentido positivo) en los centros de masa son de valor negativo, por tal motivo el sentido de giro es horario, lo cual concluye que en los pisos tipos el centro de rigidez se encuentra a la derecha y abajo del centro de masa, es decir en el cuadrante 4.

Como observación, esta metodología es útil y efectiva en estructuras que presenten gran similitud en la densidad de carga en los entrepisos y que presenten una tipología de piso, esto debido a que si lo anterior no se cumple puede presentarse rotaciones relativas de diferentes signos de un piso a otro, lo cual no permitiría tener claridad de la ubicación del centro de rigidez en los pisos.

Fig. 3. Cuadrante de centro de rigidez para el modelo



CENTRO DE RIGIDEZ CON ETABS

Para demostrar que la ubicación del centro de rigidez con respecto al centro de masa analizado en el capítulo anterior es correcta se utilizó el modelo de la edificación de Etabs, el cual se creó en el anexo 6 para el cálculo del centro de masa. Cabe mencionar que en el programa Etabs no es necesario aplicar las fuerzas arbitrarias debido a que cuando se asigna los diafragmas en los entre pisos y se corre el programa, este software calcula el centro de masa y el centro de rigidez automáticamente.

A continuación se muestra en la Tabla 4 la ubicación del Centro de masa y del Centro de rigidez tomando como origen al centroide de la columna A-1 (Ver Nota del capítulo 4.6.7 del cuerpo del libro)

Tabla 4. Ubicación del Centro de rigidez con el programa Etabs

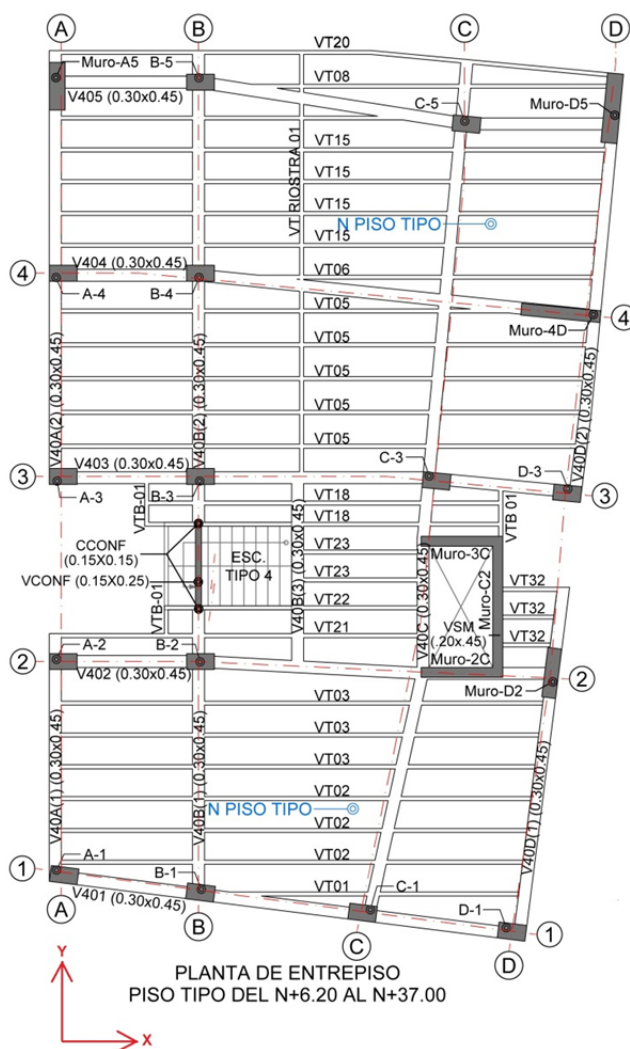
Story	Diaphragm	XCCM	YCCM	XCR	YCR
P13	D13	6.68	10.43	8.22	9.62
P12	D12	6.68	10.43	8.22	9.62
P11	D11	6.68	10.43	8.22	9.62
P10	D10	6.68	10.43	8.22	9.62
P9	D9	6.68	10.43	8.22	9.62
P8	D8	6.68	10.43	8.22	9.62
P7	D7	6.68	10.43	8.22	9.62
P6	D6	6.68	10.43	8.22	9.62
P5	D5	6.68	10.43	8.22	9.62
P4	D4	6.68	10.43	8.22	9.62
P3	D3	6.68	10.43	8.22	9.62
P2	D2	6.68	10.43	8.27	9.62

Como se puede notar en la Tabla 4, en los pisos tipo de la edificación el centro de rigidez se encuentra a la derecha y abajo del centro de masa, lo cual ubica este punto en el cuadrante 4, esto ratifica que el procedimiento mostrado anteriormente es congruente.

ANEXO H. EFECTO ORTOGONAL Y MÁXIMO DESPLAZAMIENTOS DEBIDO A ESTE EFECTO

Debido a que en el presente proyecto se presenta irregularidad de tipo 5P, el cual es producido por la no ortogonalidad de los elementos verticales con respecto a los ejes principales (ver fig. 1), es necesario según el numeral A.3.6.3 para zonas de amenazas intermedias tener en cuenta los efectos ortogonales para el análisis sísmico. Estos efectos, según lo mencionado en el capítulo 4.10 (Efectos Ortogonales) se tendrán en cuenta calculando “la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente”

Fig. 1. Vista en Plante de piso Tipo



Teniendo en cuenta lo anterior y lo dispuesto en el capítulo 5.2 (Desplazamiento horizontal causado por efectos torsionales), es necesario entonces desplazar las fuerzas sísmicas del centro de masa un 5% en la dirección perpendicular a la aplicación de la fuerza o en su defecto aplicar en este punto la fuerza sísmica y el momento torsor producido si se desplazará el 5% que especifica la norma. Lo anterior parte de la teoría de “reducción de un sistema de fuerzas a una fuerza y un par”, lo cual se encuentra en el libro de Ferdinand. p. Beer de estática para ingenieros. En el proyecto BARRANCA se trabajará con las fuerzas en el centro de masa y un momento torsor debido a que el análisis resulta más sencillo y conveniente.

Si se analiza con detenimiento lo anterior el lector podrá darse cuenta que existe dos posibles formas de desplazar las fuerzas horizontales, para la fuerza en X, por ejemplo, es posible desplazarla hacia arriba o abajo, pero debido a que el análisis se hará en el centro de masa, al trasladar la fuerza a este punto se generará un momento, sentido horario si la fuerza en X se desplaza hacia arriba o sentido anti-horario si al contrario se desplaza hacia abajo, este análisis debe hacerse también en el caso que la fuerza sea negativa, en consecuencia, para la fuerza en dirección X es posible encontrar cuatro combinaciones entre el sentido de la fuerza sísmica y el sentido del momento. En la Fig. 2 y Fig. 3 puede verse las combinaciones de la fuerza y momento para cada dirección principal de estudio.

La pregunta que surge es ¿En qué dirección debe desplazarse las fuerzas sísmicas para que al trasladar esta fuerza al centro de masa, el momento generado sea el más crítico para la estructura?

Para resolver esto es posible a través de la observación analizar cual combinación de fuerzas sísmicas generaría más torsión en la estructura y por ende mayor deriva, siempre que se conozca la ubicación del centro de rigidez con respecto al centro de masa y además este punto se encuentre en la mayoría de los pisos en la misma zona o cuadrante. Esto se explicará mejor poniendo como ejemplo el piso tipo del proyecto “BARRANCA” donde el centro de rigidez según el Anexo G se encuentra a la derecha y abajo del centro de masa, es decir en el cuadrante 4.

Fig. 2. Desplazamientos de las fuerzas sísmicas en Y

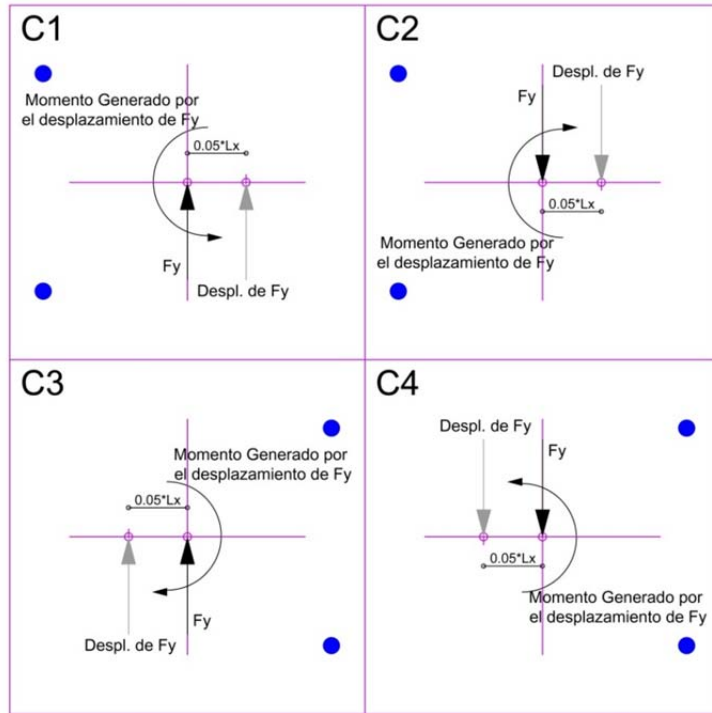
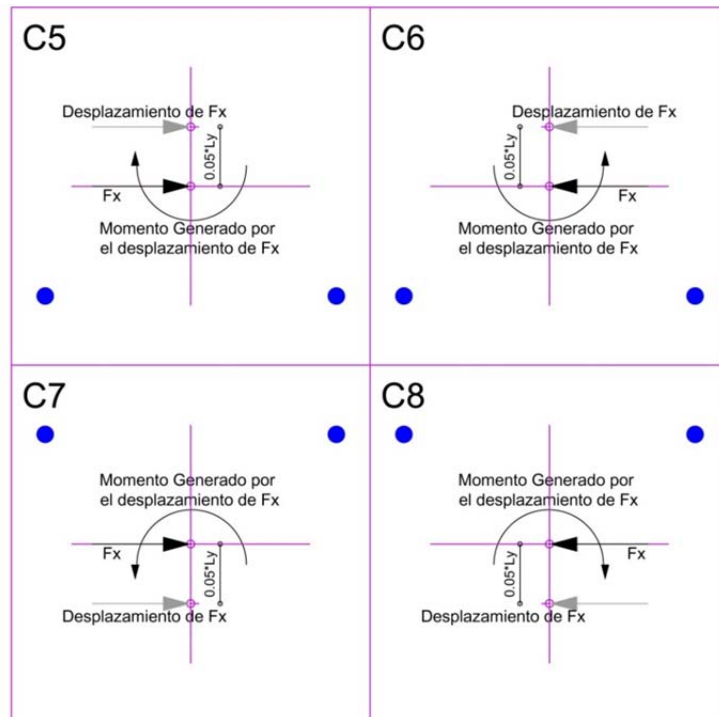


Fig. 3. Desplazamientos de las fuerzas sísmicas en X



DESPLAZAMIENTO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS A TRAVÉS DE LA OBSERVACIÓN

El análisis parte de la observación de las Fig. 2 y Fig. 3 donde se muestra todos los posibles desplazamientos de las fuerzas sísmicas y los momentos generados al trasladar estas fuerzas de nuevo al centro de masa. Como se podrá notar en los cuadros se encuentra dos puntos azules, estos puntos representan la ubicación en que debería estar el centro de rigidez para que al trasladar las fuerzas sísmicas al centro de masa el momento generado tengan el mismo sentido que la torsión ocasionada por la no coincidencia del centro de masa y de torsión. Como ejemplo en el cuadro C1 se observa el desplazamiento de la fuerza F_y a la derecha un 5% la Longitud en X, Esto como se ve en la Fig. 2 genero un momento positivo, ósea sentido anti horario, al mismo tiempo al aplicar la fuerza sísmica en el centro de masa y debido a la no coincidencia del centro de masa con el centro de torsión se va a presentar si este último punto está a la izquierda del C.M. una torsión en sentido anti-horario, En conclusión la rotación producida por la torsión accidental y por la no coincidencia del C.R con el C.M. se suman.

Ahora, debido a que se tiene conocimiento que el centro de rigidez se encuentra a la derecha y abajo del centro de masa es posible eliminar las combinaciones C1-C2 para las fuerzas en Y y C7-C8 para las fuerzas en X debido a que el momento producido por la torsión accidental no se sumará con la torsión a causa de la no coincidencia del centro de rigidez con el centro de masa. Por último, debido a que el análisis del efecto ortogonal se debe realizar teniendo en cuenta la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos de las fuerzas sísmicas actuando 100% independientemente, es importante que estos efectos se sumen entre sí, por esta razón se concluye que la combinación que generará la mayor torsión es la causada por C3-C5 y C4-C6, donde en el primer caso los desplazamientos serian de abajo a arriba y de izquierda a derecha y la torsión en sentido horario, mientras que en el segundo caso los desplazamientos serian de arriba abajo y de derecha a izquierda con rotación en sentido anti horario. Cabe resaltar que las magnitudes de los desplazamientos de estas dos combinaciones son iguales pero sentido contrario.

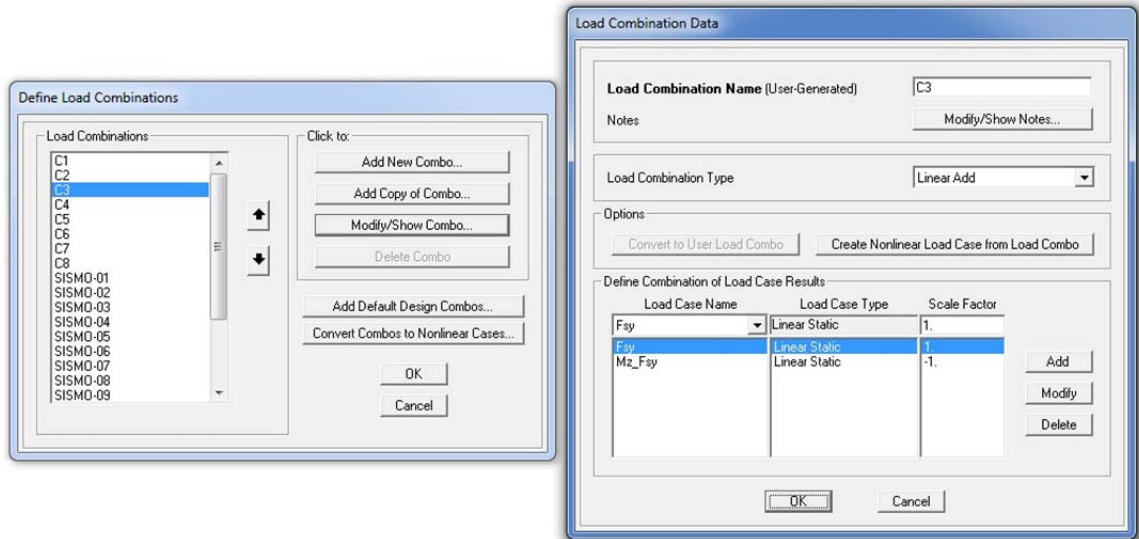
ANÁLISIS EN SAP2000

Para corroborar lo anterior se procederá a definir en el modelo de Sap2000:

1. Los materiales, las barras y los muros que se muestran en los capítulos 4.6.1, 4.6.2 y 4.6.3;
2. los casos de cargas “Fsx”, “Fsy”, “Mz_Fsx” y “Mz_Fsy” definidos en el modelo según lo muestra el capítulo 4.6.4,
3. La estructura de acuerdo al capítulo 4.6.7 (Dibujo del modelo en Sap2000);
4. Los *joints*, los cuales se ubican en el centro de masa de cada piso según la Tabla 4 del capítulo 4.6.10
5. Las fuerzas sísmicas, según la Tabla 9 (Distribución de las fuerzas sísmicas en las direcciones de diseño). y los momentos torsores de la Tabla 10 (Momentos producidos por el desplazamiento de las fuerzas sísmicas), los cuales se asignan a los *joints* de los centro de masa de cada nivel. Cabe mencionar que las fuerzas en X “Fsx” y Y “Fsy” y los momentos torsores de las fuerzas X “Mz_Fsx” y Y “Mz_Fsy” se asignan con valores positivos.
6. Los diafragmas rígido, los cuales se asignan en cada entre piso según se muestra en el capítulo 4.6.12
7. Y las combinaciones de carga, esto último se hace de la siguiente manera:
 - a. Las combinaciones básicas comprenden los combos C1 a C4 para las fuerzas y los momentos torsores en la dirección X (Ver Fig 2.) y los combos C5 a C8 para las fuerzas y los momentos torsores en la dirección Y (Ver Fig. 3). Estos combos se configuran en el cuadro de *Load Combination data* en *Load combination Type* como *Linear Add*. En la Fig. 4 Se tomó como muestra el caso C3
 - b. Las combinaciones entre los efectos producidos por las fuerzas y los momentos en la dirección de análisis X y Y se denominan “Sismo-xx” y se configuran en el cuadro de *Load Combination data* en *Load combination Type* como *SRSS*, el cual calcula la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de

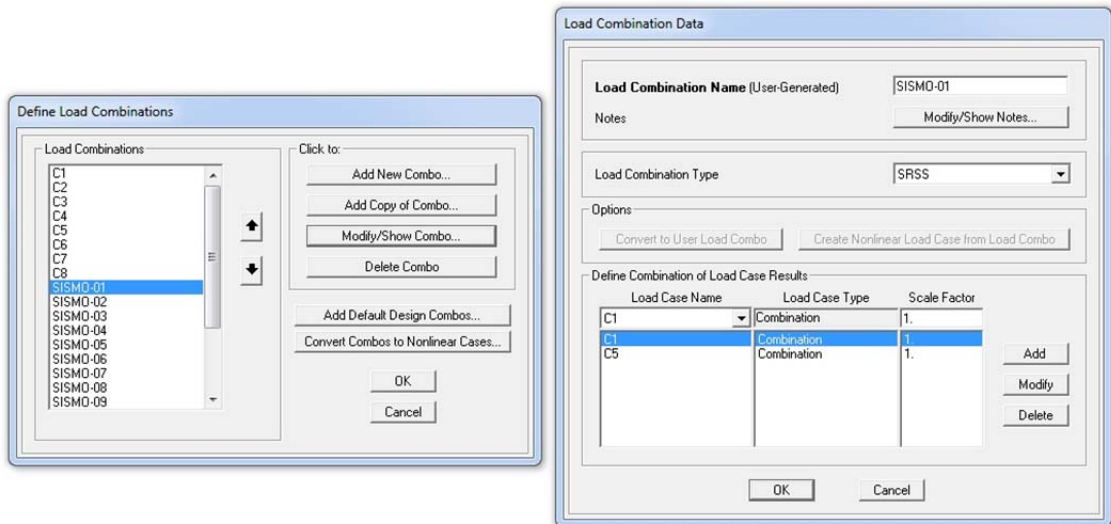
los combinaciones indicadas en *Define combination of Load Case Results*. En la Fig. 5 se muestra como ejemplo el combo “Sismo-01”. Lo anterior es para tener en cuenta los efectos ortogonales tal y como se mencionó al principio del anexo, lo cual se indica también en el capítulo 4.11 (Efecto ortogonal) Del presente libro.

Fig. 4. Combinaciones entre Fuerzas y momentos



Fuente Sap2000 “Define Load Combinations”

Fig. 5. Combinaciones entre efectos del sismo en X y Y



Fuente Sap2000 “Define Load Combinations”

NOTA: como se mencionó anteriormente los combos “Sismo-xx” combinan los casos de Y con los de X de la siguiente manera: Sismo-01 para C1-C5, Sismo-02 para C1-C6 así sucesivamente hasta terminar las combinaciones con los casos C1, luego se sigue con Sismo-05 para C2-C5, Sismo-06 para C2-C6 y se continua para todos los posibles combinaciones entre los efectos del sismo en X y Y. Lo anterior concluye en 16 posibles combos de sismos

CALCULO DEL MOMENTO TORSOR

El momento producido por la torsion accidental se calcula tomando la dimensión proyectada del eje perpendicular bajo estudio, el cual se ve en la siguiente tabla como Long. X y Long. Y

Tabla 1. Calculo de los momentos torsores

Descripción	Nivel j	Fj	Long. X	Long. Y	Exc. X	Exc. Y	Mz_Fx	Mz_fy
Cubierta Asc	N+47.4	64.16	2.05	3.55	0.1025	0.1775	11.39	6.58
Cubierta G	N+45.4	855.72	14.43	12.36	0.7215	0.618	528.83	617.40
Zona Social	N+42.6	1491.27	14.43	22.39	0.7215	1.1195	1669.48	1075.95
Pent House 1	N+39.8	1257.62	14.43	22.39	0.7215	1.1195	1407.91	907.37
P13	N+37	1082.56	14.43	22.39	0.7215	1.1195	1211.93	781.07
P12	N+34.2	940.05	14.43	22.39	0.7215	1.1195	1052.39	678.25
P11	N+31.4	806.32	14.43	22.39	0.7215	1.1195	902.68	581.76
P10	N+28.6	681.57	14.43	22.39	0.7215	1.1195	763.02	491.75
P9	N+25.8	566.01	14.43	22.39	0.7215	1.1195	633.65	408.38
P8	N+23	459.85	14.43	22.39	0.7215	1.1195	514.80	331.78
P7	N+20.2	363.37	14.43	22.39	0.7215	1.1195	406.79	262.17
P6	N+17.4	276.87	14.43	22.39	0.7215	1.1195	309.96	199.76
P5	N+14.6	200.75	14.43	22.39	0.7215	1.1195	224.74	144.84
P4	N+11.8	135.44	14.43	22.39	0.7215	1.1195	151.63	97.72
P3	N+9	81.55	14.43	22.39	0.7215	1.1195	91.30	58.84
P2	N+6.2	40.88	14.43	22.39	0.7215	1.1195	45.77	29.49
Mezanine	N+3.4	8.49	14.43	16.81	0.7215	0.8405	7.14	6.13
Parq	N+0.6							

NOTA: Mz_{Fx} es igual al 5% la longitud en Y por la fuerza en X y Mz_{Fy} es igual al 5% la longitud en X por la fuerza en Y; Las cargas horizontales se asignan a los casos de carga "Fsx y Fsy" según la dirección de análisis y los momentos producidos por las cargas horizontales se asignan a los casos de carga " Mz_{Fx} y Mz_{Fy} ".

RESULTADOS

Para que el programa sap2000 arroje los resultados de los desplazamientos y las rotaciones de las combinaciones de sismo se sigue el mismo procedimiento que el mostrado en el capítulo 4.7 (Desplazamientos debido a las fuerzas arbitrarias) del cuerpo del proyecto, pero en vez de seleccionar en el cuadro *Select Output cases* (Cuadro 2) los casos "Fsx_Arb y Fsy_Arb" se selecciona todo los tipos "Sismos-xx" del 01 al 16

A continuación se muestra la Tabla 2 con todas las combinaciones sísmicas

Tabla 2. Desplazamiento y rotaciones de los joint del centro de masa debido al sismo

TABLE: Joint Displacements								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	OutputCase	CaseType	U1	U2	Deriva	Condicion deriva	R3	Condicion Torsion
47.4	SISMO-01	Combination	0.47764	0.46188	5.14%	FALSO	0.01562	FALSO
45.4	SISMO-01	Combination	0.57845	0.44189	3.48%	FALSO	0.01536	FALSO
42.6	SISMO-01	Combination	0.48399	0.41839	1.07%	FALSO	0.01478	FALSO
39.8	SISMO-01	Combination	0.46748	0.39354	1.40%	FALSO	0.01403	FALSO
37	SISMO-01	Combination	0.43878	0.36671	1.50%	FALSO	0.01319	FALSO
34.2	SISMO-01	Combination	0.40794	0.3838	1.60%	FALSO	0.01226	FALSO
31.4	SISMO-01	Combination	0.37466	0.30828	1.69%	FALSO	0.01124	FALSO
28.6	SISMO-01	Combination	0.33921	0.27697	1.76%	FALSO	0.01015	FALSO
25.8	SISMO-01	Combination	0.30196	0.24461	1.81%	FALSO	0.00899	FALSO
23	SISMO-01	Combination	0.26339	0.21161	1.84%	FALSO	0.00779	FALSO
20.2	SISMO-01	Combination	0.22405	0.17843	1.83%	FALSO	0.00656	FALSO
17.4	SISMO-01	Combination	0.18456	0.14559	1.80%	FALSO	0.00533	FALSO
14.6	SISMO-01	Combination	0.14567	0.11373	1.72%	FALSO	0.00410	FALSO
11.8	SISMO-01	Combination	0.10824	0.08356	1.59%	FALSO	0.00293	FALSO
9	SISMO-01	Combination	0.07340	0.05593	1.40%	FALSO	0.00185	FALSO
6.2	SISMO-01	Combination	0.04260	0.03178	1.09%	FALSO	0.00093	FALSO
3.4	SISMO-01	Combination	0.01847	0.01289	0.66%	FALSO	0.00027	FALSO

Tabla 2. Continuación

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	OutputCase	CaseType	U1	U2	Deriva	Condicion deriva	R3	Condicion Torsion
47.4	SISMO-02	Combination	0.47764	0.46188	5.14%	FALSO	0.01562	FALSO
45.4	SISMO-02	Combination	0.57845	0.44189	3.48%	FALSO	0.01536	FALSO
42.6	SISMO-02	Combination	0.48399	0.41839	1.07%	FALSO	0.01478	FALSO
39.8	SISMO-02	Combination	0.46748	0.39354	1.40%	FALSO	0.01403	FALSO
37	SISMO-02	Combination	0.43878	0.36671	1.50%	FALSO	0.01319	FALSO
34.2	SISMO-02	Combination	0.40794	0.33826	1.60%	FALSO	0.01226	FALSO
31.4	SISMO-02	Combination	0.37466	0.30828	1.69%	FALSO	0.01124	FALSO
28.6	SISMO-02	Combination	0.33921	0.27697	1.76%	FALSO	0.01015	FALSO
25.8	SISMO-02	Combination	0.30196	0.24461	1.81%	FALSO	0.00899	FALSO
23	SISMO-02	Combination	0.26339	0.21161	1.84%	FALSO	0.00779	FALSO
20.2	SISMO-02	Combination	0.22405	0.17843	1.83%	FALSO	0.00656	FALSO
17.4	SISMO-02	Combination	0.18456	0.14559	1.80%	FALSO	0.00533	FALSO
14.6	SISMO-02	Combination	0.14567	0.11373	1.72%	FALSO	0.00410	FALSO
11.8	SISMO-02	Combination	0.10824	0.08356	1.59%	FALSO	0.00293	FALSO
9	SISMO-02	Combination	0.07340	0.05593	1.40%	FALSO	0.00185	FALSO
6.2	SISMO-02	Combination	0.04260	0.03178	1.09%	FALSO	0.00093	FALSO
3.4	SISMO-02	Combination	0.01847	0.01289	0.66%	FALSO	0.00027	FALSO
47.4	SISMO-03	Combination	0.50432	0.46172	1.19%	FALSO	0.00380	FALSO
45.4	SISMO-03	Combination	0.51669	0.44143	1.70%	FALSO	0.00388	FALSO
42.6	SISMO-03	Combination	0.47517	0.41794	1.21%	OK	0.00374	FALSO
39.8	SISMO-03	Combination	0.45233	0.39278	1.37%	FALSO	0.00350	FALSO
37	SISMO-03	Combination	0.42480	0.36595	1.47%	FALSO	0.00324	FALSO
34.2	SISMO-03	Combination	0.39496	0.33750	1.57%	FALSO	0.00298	FALSO
31.4	SISMO-03	Combination	0.36280	0.30754	1.66%	FALSO	0.00270	FALSO
28.6	SISMO-03	Combination	0.32855	0.27625	1.73%	FALSO	0.00241	FALSO
25.8	SISMO-03	Combination	0.29258	0.24395	1.78%	FALSO	0.00211	FALSO
23	SISMO-03	Combination	0.25535	0.21100	1.80%	FALSO	0.00181	FALSO
20.2	SISMO-03	Combination	0.21738	0.17789	1.79%	FALSO	0.00150	FALSO
17.4	SISMO-03	Combination	0.17926	0.14514	1.76%	FALSO	0.00119	FALSO
14.6	SISMO-03	Combination	0.14171	0.11337	1.68%	FALSO	0.00089	FALSO
11.8	SISMO-03	Combination	0.10555	0.08329	1.55%	FALSO	0.00061	FALSO
9	SISMO-03	Combination	0.07184	0.05576	1.37%	FALSO	0.00036	FALSO
6.2	SISMO-03	Combination	0.04195	0.03170	1.10%	FALSO	0.00020	FALSO
3.4	SISMO-03	Combination	0.01747	0.01287	0.64%	FALSO	0.00011	FALSO

Tabla 2. Continuación

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	OutputCase	CaseType	U1	U2	Deriva	Condicion deriva	R3	Condicion Torsion
47.4	SISMO-04	Combination	0.50432	0.46172	1.19%	FALSO	0.00380	FALSO
45.4	SISMO-04	Combination	0.51669	0.44143	1.70%	FALSO	0.00388	FALSO
42.6	SISMO-04	Combination	0.47517	0.41794	1.21%	OK	0.00374	FALSO
39.8	SISMO-04	Combination	0.45233	0.39278	1.37%	FALSO	0.00350	FALSO
37	SISMO-04	Combination	0.42480	0.36595	1.47%	FALSO	0.00324	FALSO
34.2	SISMO-04	Combination	0.39496	0.33750	1.57%	FALSO	0.00298	FALSO
31.4	SISMO-04	Combination	0.36280	0.30754	1.66%	FALSO	0.00270	FALSO
28.6	SISMO-04	Combination	0.32855	0.27625	1.73%	FALSO	0.00241	FALSO
25.8	SISMO-04	Combination	0.29258	0.24395	1.78%	FALSO	0.00211	FALSO
23	SISMO-04	Combination	0.25535	0.21100	1.80%	FALSO	0.00181	FALSO
20.2	SISMO-04	Combination	0.21738	0.17789	1.79%	FALSO	0.00150	FALSO
17.4	SISMO-04	Combination	0.17926	0.14514	1.76%	FALSO	0.00119	FALSO
14.6	SISMO-04	Combination	0.14171	0.11337	1.68%	FALSO	0.00089	FALSO
11.8	SISMO-04	Combination	0.10555	0.08329	1.55%	FALSO	0.00061	FALSO
9	SISMO-04	Combination	0.07184	0.05576	1.37%	FALSO	0.00036	FALSO
6.2	SISMO-04	Combination	0.04195	0.03170	1.10%	FALSO	0.00020	FALSO
3.4	SISMO-04	Combination	0.01747	0.01287	0.64%	FALSO	0.00011	FALSO
47.4	SISMO-05	Combination	0.47764	0.46188	5.14%	FALSO	0.01562	FALSO
45.4	SISMO-05	Combination	0.57845	0.44189	3.48%	FALSO	0.01536	FALSO
42.6	SISMO-05	Combination	0.48399	0.41839	1.07%	FALSO	0.01478	FALSO
39.8	SISMO-05	Combination	0.46748	0.39354	1.40%	FALSO	0.01403	FALSO
37	SISMO-05	Combination	0.43878	0.36671	1.50%	FALSO	0.01319	FALSO
34.2	SISMO-05	Combination	0.40794	0.33826	1.60%	FALSO	0.01226	FALSO
31.4	SISMO-05	Combination	0.37466	0.30828	1.69%	FALSO	0.01124	FALSO
28.6	SISMO-05	Combination	0.33921	0.27697	1.76%	FALSO	0.01015	FALSO
25.8	SISMO-05	Combination	0.30196	0.24461	1.81%	FALSO	0.00899	FALSO
23	SISMO-05	Combination	0.26339	0.21161	1.84%	FALSO	0.00779	FALSO
20.2	SISMO-05	Combination	0.22405	0.17843	1.83%	FALSO	0.00656	FALSO
17.4	SISMO-05	Combination	0.18456	0.14559	1.80%	FALSO	0.00533	FALSO
14.6	SISMO-05	Combination	0.14567	0.11373	1.72%	FALSO	0.00410	FALSO
11.8	SISMO-05	Combination	0.10824	0.08356	1.59%	FALSO	0.00293	FALSO
9	SISMO-05	Combination	0.07340	0.05593	1.40%	FALSO	0.00185	FALSO
6.2	SISMO-05	Combination	0.04260	0.03178	1.09%	FALSO	0.00093	FALSO
3.4	SISMO-05	Combination	0.01847	0.01289	0.66%	FALSO	0.00027	FALSO

Tabla 2. Continuación

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	OutputCase	CaseType	U1	U2	Deriva	Condicion deriva	R3	Condicion Torsion
47.4	SISMO-06	Combination	0.47764	0.46188	5.14%	FALSO	0.01562	FALSO
45.4	SISMO-06	Combination	0.57845	0.44189	3.48%	FALSO	0.01536	FALSO
42.6	SISMO-06	Combination	0.48399	0.41839	1.07%	FALSO	0.01478	FALSO
39.8	SISMO-06	Combination	0.46748	0.39354	1.40%	FALSO	0.01403	FALSO
37	SISMO-06	Combination	0.43878	0.36671	1.50%	FALSO	0.01319	FALSO
34.2	SISMO-06	Combination	0.40794	0.33826	1.60%	FALSO	0.01226	FALSO
31.4	SISMO-06	Combination	0.37466	0.30828	1.69%	FALSO	0.01124	FALSO
28.6	SISMO-06	Combination	□	0.27697	1.76%	FALSO	0.01015	FALSO
25.8	SISMO-06	Combination	0.30196	0.24461	1.81%	FALSO	0.00899	FALSO
23	SISMO-06	Combination	0.26339	0.21161	1.84%	FALSO	0.00779	FALSO
20.2	SISMO-06	Combination	0.22405	0.17843	1.83%	FALSO	0.00656	FALSO
17.4	SISMO-06	Combination	0.18456	0.14559	1.80%	FALSO	0.00533	FALSO
14.6	SISMO-06	Combination	0.14567	0.11373	1.72%	FALSO	0.00410	FALSO
11.8	SISMO-06	Combination	0.10824	0.08356	1.59%	FALSO	0.00293	FALSO
9	SISMO-06	Combination	0.07340	0.05593	1.40%	FALSO	0.00185	FALSO
6.2	SISMO-06	Combination	0.04260	0.03178	1.09%	FALSO	0.00093	FALSO
3.4	SISMO-06	Combination	0.01847	0.01289	0.66%	FALSO	0.00027	FALSO
47.4	SISMO-07	Combination	0.50432	0.46172	1.19%	FALSO	0.00380	FALSO
45.4	SISMO-07	Combination	0.51669	0.44143	1.70%	FALSO	0.00388	FALSO
42.6	SISMO-07	Combination	0.47517	0.41794	1.21%	OK	0.00374	FALSO
39.8	SISMO-07	Combination	0.45233	0.39278	1.37%	FALSO	0.00350	FALSO
37	SISMO-07	Combination	0.42480	0.36595	1.47%	FALSO	0.00324	FALSO
34.2	SISMO-07	Combination	0.39496	0.33750	1.57%	FALSO	0.00298	FALSO
31.4	SISMO-07	Combination	0.36280	0.30754	1.66%	FALSO	0.00270	FALSO
28.6	SISMO-07	Combination	0.32855	0.27625	1.73%	FALSO	0.00241	FALSO
25.8	SISMO-07	Combination	0.29258	0.24395	1.78%	FALSO	0.00211	FALSO
23	SISMO-07	Combination	0.25535	0.21100	1.80%	FALSO	0.00181	FALSO
20.2	SISMO-07	Combination	0.21738	0.17789	1.79%	FALSO	0.00150	FALSO
17.4	SISMO-07	Combination	0.17926	0.14514	1.76%	FALSO	0.00119	FALSO
14.6	SISMO-07	Combination	0.14171	0.11337	1.68%	FALSO	0.00089	FALSO
11.8	SISMO-07	Combination	0.10555	0.08329	1.55%	FALSO	0.00061	FALSO
9	SISMO-07	Combination	0.07184	0.05576	1.37%	FALSO	0.00036	FALSO
6.2	SISMO-07	Combination	0.04195	0.03170	1.10%	FALSO	0.00020	FALSO
3.4	SISMO-07	Combination	0.01747	0.01287	0.64%	FALSO	0.00011	FALSO

Tabla 2. Continuación

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	OutputCase	CaseType	U1	U2	Deriva	Condicion deriva	R3	Condicion Torsion
47.4	SISMO-08	Combination	0.50432	0.46172	1.19%	FALSO	0.00380	FALSO
45.4	SISMO-08	Combination	0.51669	0.44143	1.70%	FALSO	0.00388	FALSO
42.6	SISMO-08	Combination	0.47517	0.41794	1.21%	OK	0.00374	FALSO
39.8	SISMO-08	Combination	0.45233	0.39278	1.37%	FALSO	0.00350	FALSO
37	SISMO-08	Combination	0.42480	0.36595	1.47%	FALSO	0.00324	FALSO
34.2	SISMO-08	Combination	0.39496	0.33750	1.57%	FALSO	0.00298	FALSO
31.4	SISMO-08	Combination	0.36280	0.30754	1.66%	FALSO	0.00270	FALSO
28.6	SISMO-08	Combination	0.32855	0.27625	1.73%	FALSO	0.00241	FALSO
25.8	SISMO-08	Combination	0.29258	0.24395	1.78%	FALSO	0.00211	FALSO
23	SISMO-08	Combination	0.25535	0.21100	1.80%	FALSO	0.00181	FALSO
20.2	SISMO-08	Combination	0.21738	0.17789	1.79%	FALSO	0.00150	FALSO
17.4	SISMO-08	Combination	0.17926	0.14514	1.76%	FALSO	0.00119	FALSO
14.6	SISMO-08	Combination	0.14171	0.11337	1.68%	FALSO	0.00089	FALSO
11.8	SISMO-08	Combination	0.10555	0.08329	1.55%	FALSO	0.00061	FALSO
9	SISMO-08	Combination	0.07184	0.05576	1.37%	FALSO	0.00036	FALSO
6.2	SISMO-08	Combination	0.04195	0.03170	1.10%	FALSO	0.00020	FALSO
3.4	SISMO-08	Combination	0.01747	0.01287	0.64%	FALSO	0.00011	FALSO
47.4	SISMO-09	Combination	0.47696	0.43979	5.25%	OK	0.01732	OK
45.4	SISMO-09	Combination	0.58178	0.44639	3.58%	OK	0.01721	OK
42.6	SISMO-09	Combination	0.48433	0.42277	1.00%	FALSO	0.01664	OK
39.8	SISMO-09	Combination	0.46810	0.40010	1.41%	OK	0.01593	OK
37	SISMO-09	Combination	0.43937	0.37316	1.50%	OK	0.01510	OK
34.2	SISMO-09	Combination	0.40849	0.34457	1.61%	OK	0.01415	OK
31.4	SISMO-09	Combination	0.37517	0.31434	1.70%	OK	0.01308	OK
28.6	SISMO-09	Combination	0.33966	0.28268	1.77%	OK	0.01190	OK
25.8	SISMO-09	Combination	0.30236	0.24990	1.83%	OK	0.01063	OK
23	SISMO-09	Combination	0.26373	0.21640	1.85%	OK	0.00929	OK
20.2	SISMO-09	Combination	0.22433	0.18264	1.85%	OK	0.00790	OK
17.4	SISMO-09	Combination	0.18478	0.14918	1.81%	OK	0.00648	OK
14.6	SISMO-09	Combination	0.14583	0.11665	1.73%	OK	0.00506	OK
11.8	SISMO-09	Combination	0.10835	0.08577	1.61%	OK	0.00367	OK
9	SISMO-09	Combination	0.07345	0.05743	1.41%	OK	0.00238	OK
6.2	SISMO-09	Combination	0.04262	0.03262	1.11%	FALSO	0.00125	OK
3.4	SISMO-09	Combination	0.01851	0.01310	0.67%	OK	0.00038	OK

Tabla 2. Continuación

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	OutputCase	CaseType	U1	U2	Deriva	Condicion deriva	R3	Condicion Torsion
47.4	SISMO-10	Combination	0.47696	0.43979	5.25%	OK	0.01732	OK
45.4	SISMO-10	Combination	0.58178	0.44639	3.58%	OK	0.01721	OK
42.6	SISMO-10	Combination	0.48433	0.42277	1.00%	FALSO	0.01664	OK
39.8	SISMO-10	Combination	0.46810	0.40010	1.41%	OK	0.01593	OK
37	SISMO-10	Combination	0.43937	0.37316	1.50%	OK	0.01510	OK
34.2	SISMO-10	Combination	0.40849	0.34457	1.61%	OK	0.01415	OK
31.4	SISMO-10	Combination	0.37517	0.31434	1.70%	OK	0.01308	OK
28.6	SISMO-10	Combination	0.33966	0.28268	1.77%	OK	0.01190	OK
25.8	SISMO-10	Combination	0.30236	0.24990	1.83%	OK	0.01063	OK
23	SISMO-10	Combination	0.26373	0.21640	1.85%	OK	0.00929	OK
20.2	SISMO-10	Combination	0.22433	0.18264	1.85%	OK	0.00790	OK
17.4	SISMO-10	Combination	0.18478	0.14918	1.81%	OK	0.00648	OK
14.6	SISMO-10	Combination	0.14583	0.11665	1.73%	OK	0.00506	OK
11.8	SISMO-10	Combination	0.10835	0.08577	1.61%	OK	0.00367	OK
9	SISMO-10	Combination	0.07345	0.05743	1.41%	OK	0.00238	OK
6.2	SISMO-10	Combination	0.04262	0.03262	1.11%	FALSO	0.00125	OK
3.4	SISMO-10	Combination	0.01851	0.01310	0.67%	OK	0.00038	OK
47.4	SISMO-11	Combination	0.50367	0.43962	0.89%	FALSO	0.00840	FALSO
45.4	SISMO-11	Combination	0.52041	0.44593	1.81%	FALSO	0.00867	FALSO
42.6	SISMO-11	Combination	0.47551	0.42232	1.15%	FALSO	0.00851	FALSO
39.8	SISMO-11	Combination	0.45298	0.39936	1.38%	FALSO	0.00832	FALSO
37	SISMO-11	Combination	0.42540	0.37241	1.48%	FALSO	0.00804	FALSO
34.2	SISMO-11	Combination	0.39553	0.34382	1.58%	FALSO	0.00767	FALSO
31.4	SISMO-11	Combination	0.36332	0.31361	1.67%	FALSO	0.00721	FALSO
28.6	SISMO-11	Combination	0.32902	0.28198	1.74%	FALSO	0.00666	FALSO
25.8	SISMO-11	Combination	0.29300	0.24924	1.79%	FALSO	0.00605	FALSO
23	SISMO-11	Combination	0.25571	0.21580	1.81%	FALSO	0.00537	FALSO
20.2	SISMO-11	Combination	0.21767	0.18212	1.81%	FALSO	0.00464	FALSO
17.4	SISMO-11	Combination	0.17949	0.14874	1.77%	FALSO	0.00387	FALSO
14.6	SISMO-11	Combination	0.14187	0.11629	1.70%	FALSO	0.00309	FALSO
11.8	SISMO-11	Combination	0.10566	0.08551	1.57%	FALSO	0.00229	FALSO
9	SISMO-11	Combination	0.07189	0.05726	1.39%	FALSO	0.00153	FALSO
6.2	SISMO-11	Combination	0.04197	0.03254	1.12%	OK	0.00085	FALSO
3.4	SISMO-11	Combination	0.01751	0.01309	0.64%	FALSO	0.00029	FALSO

Tabla 2. Continuación

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	OutputCase	CaseType	U1	U2	Deriva	Condicion deriva	R3	Condicion Torsion
47.4	SISMO-12	Combination	0.50367	0.43962	0.89%	FALSO	0.00840	FALSO
45.4	SISMO-12	Combination	0.52041	0.44593	1.81%	FALSO	0.00867	FALSO
42.6	SISMO-12	Combination	0.47551	0.42232	1.15%	FALSO	0.00851	FALSO
39.8	SISMO-12	Combination	0.45298	0.39936	1.38%	FALSO	0.00832	FALSO
37	SISMO-12	Combination	0.42540	0.37241	1.48%	FALSO	0.00804	FALSO
34.2	SISMO-12	Combination	0.39553	0.34382	1.58%	FALSO	0.00767	FALSO
31.4	SISMO-12	Combination	0.36332	0.31361	1.67%	FALSO	0.00721	FALSO
28.6	SISMO-12	Combination	0.32902	0.28198	1.74%	FALSO	0.00666	FALSO
25.8	SISMO-12	Combination	0.29300	0.24924	1.79%	FALSO	0.00605	FALSO
23	SISMO-12	Combination	0.25571	0.21580	1.81%	FALSO	0.00537	FALSO
20.2	SISMO-12	Combination	0.21767	0.18212	1.81%	FALSO	0.00464	FALSO
17.4	SISMO-12	Combination	0.17949	0.14874	1.77%	FALSO	0.00387	FALSO
14.6	SISMO-12	Combination	0.14187	0.11629	1.70%	FALSO	0.00309	FALSO
11.8	SISMO-12	Combination	0.10566	0.08551	1.57%	FALSO	0.00229	FALSO
9	SISMO-12	Combination	0.07189	0.05726	1.39%	FALSO	0.00153	FALSO
6.2	SISMO-12	Combination	0.04197	0.03254	1.12%	OK	0.00085	FALSO
3.4	SISMO-12	Combination	0.01751	0.01309	0.64%	FALSO	0.00029	FALSO
47.4	SISMO-13	Combination	0.47696	0.43979	5.25%	OK	0.01732	OK
45.4	SISMO-13	Combination	0.58178	0.44639	3.58%	OK	0.01721	OK
42.6	SISMO-13	Combination	0.48433	0.42277	1.00%	FALSO	0.01664	OK
39.8	SISMO-13	Combination	0.46810	0.40010	1.41%	OK	0.01593	OK
37	SISMO-13	Combination	0.43937	0.37316	1.50%	OK	0.01510	OK
34.2	SISMO-13	Combination	0.40849	0.34457	1.61%	OK	0.01415	OK
31.4	SISMO-13	Combination	0.37517	0.31434	1.70%	OK	0.01308	OK
28.6	SISMO-13	Combination	0.33966	0.28268	1.77%	OK	0.01190	OK
25.8	SISMO-13	Combination	0.30236	0.24990	1.83%	OK	0.01063	OK
23	SISMO-13	Combination	0.26373	0.21640	1.85%	OK	0.00929	OK
20.2	SISMO-13	Combination	0.22433	0.18264	1.85%	OK	0.00790	OK
17.4	SISMO-13	Combination	0.18478	0.14918	1.81%	OK	0.00648	OK
14.6	SISMO-13	Combination	0.14583	0.11665	1.73%	OK	0.00506	OK
11.8	SISMO-13	Combination	0.10835	0.08577	1.61%	OK	0.00367	OK
9	SISMO-13	Combination	0.07345	0.05743	1.41%	OK	0.00238	OK
6.2	SISMO-13	Combination	0.04262	0.03262	1.11%	FALSO	0.00125	OK
3.4	SISMO-13	Combination	0.01851	0.01310	0.67%	OK	0.00038	OK

Tabla 2. Continuación

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	OutputCase	CaseType	U1	U2	Deriva	Condicion deriva	R3	Condicion Torsion
47.4	SISMO-14	Combination	0.47696	0.43979	5.25%	OK	0.01732	OK
45.4	SISMO-14	Combination	0.58178	0.44639	3.58%	OK	0.01721	OK
42.6	SISMO-14	Combination	0.48433	0.42277	1.00%	FALSO	0.01664	OK
39.8	SISMO-14	Combination	0.46810	0.40010	1.41%	OK	0.01593	OK
37	SISMO-14	Combination	0.43937	0.37316	1.50%	OK	0.01510	OK
34.2	SISMO-14	Combination	0.40849	0.34457	1.61%	OK	0.01415	OK
31.4	SISMO-14	Combination	0.37517	0.31434	1.70%	OK	0.01308	OK
28.6	SISMO-14	Combination	0.33966	0.28268	1.77%	OK	0.01190	OK
25.8	SISMO-14	Combination	0.30236	0.24990	1.83%	OK	0.01063	OK
23	SISMO-14	Combination	0.26373	0.21640	1.85%	OK	0.00929	OK
20.2	SISMO-14	Combination	0.22433	0.18264	1.85%	OK	0.00790	OK
17.4	SISMO-14	Combination	0.18478	0.14918	1.81%	OK	0.00648	OK
14.6	SISMO-14	Combination	0.14583	0.11665	1.73%	OK	0.00506	OK
11.8	SISMO-14	Combination	0.10835	0.08577	1.61%	OK	0.00367	OK
9	SISMO-14	Combination	0.07345	0.05743	1.41%	OK	0.00238	OK
6.2	SISMO-14	Combination	0.04262	0.03262	1.11%	FALSO	0.00125	OK
3.4	SISMO-14	Combination	0.01851	0.01310	0.67%	OK	0.00038	OK
47.4	SISMO-15	Combination	0.50367	0.43962	0.89%	FALSO	0.00840	FALSO
45.4	SISMO-15	Combination	0.52041	0.44593	1.81%	FALSO	0.00867	FALSO
42.6	SISMO-15	Combination	0.47551	0.42232	1.15%	FALSO	0.00851	FALSO
39.8	SISMO-15	Combination	0.45298	0.39936	1.38%	FALSO	0.00832	FALSO
37	SISMO-15	Combination	0.42540	0.37241	1.48%	FALSO	0.00804	FALSO
34.2	SISMO-15	Combination	0.39553	0.34382	1.58%	FALSO	0.00767	FALSO
31.4	SISMO-15	Combination	0.36332	0.31361	1.67%	FALSO	0.00721	FALSO
28.6	SISMO-15	Combination	0.32902	0.28198	1.74%	FALSO	0.00666	FALSO
25.8	SISMO-15	Combination	0.29300	0.24924	1.79%	FALSO	0.00605	FALSO
23	SISMO-15	Combination	0.25571	0.21580	1.81%	FALSO	0.00537	FALSO
20.2	SISMO-15	Combination	0.21767	0.18212	1.81%	FALSO	0.00464	FALSO
17.4	SISMO-15	Combination	0.17949	0.14874	1.77%	FALSO	0.00387	FALSO
14.6	SISMO-15	Combination	0.14187	0.11629	1.70%	FALSO	0.00309	FALSO
11.8	SISMO-15	Combination	0.10566	0.08551	1.57%	FALSO	0.00229	FALSO
9	SISMO-15	Combination	0.07189	0.05726	1.39%	FALSO	0.00153	FALSO
6.2	SISMO-15	Combination	0.04197	0.03254	1.12%	OK	0.00085	FALSO
3.4	SISMO-15	Combination	0.01751	0.01309	0.64%	FALSO	0.00029	FALSO

Tabla 2. Continuación

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Z	OutputCase	CaseType	U1	U2	Deriva	Condicion deriva	R3	Condicion Torsion
47.4	SISMO-16	Combination	0.50367	0.43962	0.89%	FALSO	0.00840	FALSO
45.4	SISMO-16	Combination	0.52041	0.44593	1.81%	FALSO	0.00867	FALSO
42.6	SISMO-16	Combination	0.47551	0.42232	1.15%	FALSO	0.00851	FALSO
39.8	SISMO-16	Combination	0.45298	0.39936	1.38%	FALSO	0.00832	FALSO
37	SISMO-16	Combination	0.42540	0.37241	1.48%	FALSO	0.00804	FALSO
34.2	SISMO-16	Combination	0.39553	0.34382	1.58%	FALSO	0.00767	FALSO
31.4	SISMO-16	Combination	0.36332	0.31361	1.67%	FALSO	0.00721	FALSO
28.6	SISMO-16	Combination	0.32902	0.28198	1.74%	FALSO	0.00666	FALSO
25.8	SISMO-16	Combination	0.29300	0.24924	1.79%	FALSO	0.00605	FALSO
23	SISMO-16	Combination	0.25571	0.21580	1.81%	FALSO	0.00537	FALSO
20.2	SISMO-16	Combination	0.21767	0.18212	1.81%	FALSO	0.00464	FALSO
17.4	SISMO-16	Combination	0.17949	0.14874	1.77%	FALSO	0.00387	FALSO
14.6	SISMO-16	Combination	0.14187	0.11629	1.70%	FALSO	0.00309	FALSO
11.8	SISMO-16	Combination	0.10566	0.08551	1.57%	FALSO	0.00229	FALSO
9	SISMO-16	Combination	0.07189	0.05726	1.39%	FALSO	0.00153	FALSO
6.2	SISMO-16	Combination	0.04197	0.03254	1.12%	OK	0.00085	FALSO
3.4	SISMO-16	Combination	0.01751	0.01309	0.64%	FALSO	0.00029	FALSO

Nivel	Deriva Max	R3 Max
47.4	5.25%	0.01732
45.4	3.58%	0.01721
42.6	1.21%	0.01664
39.8	1.41%	0.01593
37	1.50%	0.01510
34.2	1.61%	0.01415
31.4	1.70%	0.01308
28.6	1.77%	0.01190
25.8	1.83%	0.01063
23	1.85%	0.00929
20.2	1.85%	0.00790
17.4	1.81%	0.00648
14.6	1.73%	0.00506
11.8	1.61%	0.00367
9	1.41%	0.00238
6.2	1.12%	0.00125
3.4	0.67%	0.00038

CONCLUSIONES

1. Como se mencionó en el presente anexo, título 0 (Desplazamiento de las fuerzas sísmicas a través de la observación), se puede confirmar en la Tabla 2 que las derivas (Columna 6) y rotaciones (Columna 8) máximas son producidos por la combinación de los efectos C3-C5 y C4-C6 representados en los “Sismo-09” y “sismo-14” respectivamente.
2. Aun así, estas combinaciones no presentan los máximos valores en todos los pisos, esto puede verse a que por ejemplo en el N+42.60 (Zona social) se presenta una gran masa a una esquina del edificio, lo que produce que la ubicación del centro de masa de este piso con respecto a los niveles de piso Tipo sea diferente, lo anterior puede traer como consecuencia que el centro de rigidez este ubicado en otro sector con respecto al centro de masa y por ende en este piso la deriva máxima se presente con otro combo como “sismo-04” y “Sismo-08”. Algo similar pasa en el piso tipo del nivel N+6.20, el cual puede estar afectado debido a que en el mezanine N+3.40 el centro de masa se ubica más arriba y a la derecha que en el piso tipo.
3. Ahora, como se notará en la Tabla 2, a parte de la combinación C3-C5 y C4-C6 representados en los “Sismo-09” y “sismo-14” existe otras dos combinaciones que dan los mismos resultados, estos son la combinación C3-C6 y C4-C5 representados en los “Sismo-10 y “Sismo-13”. Esto se explica mejor si se analiza el “sismo-14” donde los valores arrojados por los desplazamientos en X (columna 4) y Y (Columna 5) y la torsion (Columna 8) según la explicación dada en el título 8.1 (Desplazamiento de las fuerzas sísmicas a través de la observación) deberían ser de valor contraria al del “sismo-09”. Esto último no se da debido a que se está calculando la raíz cuadrada de los efectos al cuadrado, los valores por ende, al elevarse al cuadrado siempre serán positivos y los efectos de las combinaciones se sumaran, dando así el mismo valor con el mismo signo para los desplazamientos y las rotaciones en las cuatro combinaciones mencionadas.

ANEXO I. MEJORAMIENTO DE LOS FORMATOS DE LA EMPRESA ALEXIS VEGA INGENIEROS

El mejoramiento de los formatos de la Empresa Alexis Vega Ingenieros se realizó debido a la necesidad de ir mejorando la presentación de las hojas de cálculo, dado que estas hojas de cálculo son las memorias de cálculo, las cuales se presentan a la Curaduría y a los clientes

Una hoja de cálculo bien organizada permite mostrar de forma más clara y sencilla el procedimiento utilizado para el análisis y diseño del elemento estructural, por otra parte, pero no menos importante, el mejoramiento de una hoja de cálculo puede significar la posibilidad de interactuar con las diferentes variables que afectan al diseño del elemento estructural, permitiendo de este modo al ingeniero diseñador observar el comportamiento del elemento a diseñar.

Lo anterior permite un diseño más económico, seguro y óptimo, sin desprenderse claro está de un menor tiempo a la hora de realizar el análisis y diseño del elemento.

En las siguientes páginas se muestra los formatos tres formatos utilizados en la empresa ALEXIS VEGA INGENIEROS y sus respectivas mejoras, los cuales corresponden: 1) al análisis de carga y diseño de las losas nervadas con base a la norma NSR-10, 2) el cálculo de las dimensiones y refuerzos de las zapatas centradas y 3) excéntricas.

Antes de mostrar los formatos se aclara que los cálculos que se exponen a continuación hacen referencia a este proyecto, pero el análisis y diseño de los elementos se realizó con las hojas de cálculo antes de las modificaciones. También se aclara que los cuadros con fondo Azul son las variables utilizadas para el análisis y diseño.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOSA NERVADAS – FORMATO INICIAL

Alexis Vega Arguello

MEMORIAS DE CÁLCULO

Ingeniero Civil UIS
Especialista en Estructuras UIS

1. EVALUACION DE CARGAS: GARAJE

DISEÑO ESTRUCTURAL PLACA $e=45m$

ESPECIFICACIONES:

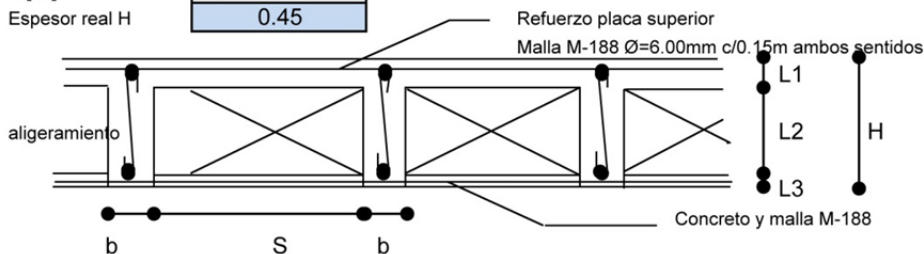
CONCRETO: $f'c=21$ Mpa a los 28 días
 $E=2E7$ KN/m²

ACERO: $f_y= 420$ Mpa Diámetro $\geq 3/8''$ corrugado
 $f_y=420$ Mpa Diámetro $1/4''$ solo para estribos de viguetas



ESPESOR DE LA PLACA:

Tipo de apoyo	ambos extremos continuos	
Luz de diseño[m]	8.60	$H=L/21$
H[m]	0.41	
Espesor real H	0.45	



L1[m]=	0.050	
L2[m]=	0.380	
L3[m]=	0.020	
H[m]=	0.450	OK
b[m]=	0.10	
S[m]=	0.70	

CARGAS MUERTAS

Viguetas	1.20	KN/m ²
Placa superior	1.20	KN/m ²
Aligeramiento	0.30	KN/m ²
Torta inferior	0.35	KN/m ²
Acabados	1.00	KN/m ²
Muros divisorios	0.20	KN/m ²

W_d 4.3 KN/m² factor de carga 1.35

CARGA VIVA

W_i 2.5 KN/m²

CARGA ULTIMA 9.10 KN/m² 0.91 T/m²


DE ACUERDO CON CON EL REGLAMENTO DE CONSTRUCCION SISMO RESITENTE NSR-10

Centro Comercial Cabecera III Etapa Oficina 318
Tel: (7)6435712 Celular: 3006038599 Bucaramanga
e-mail: avega@intercable.net.co; avegax@hotmail.com

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LOSA NERVADAS – FORMATO MEJORADO

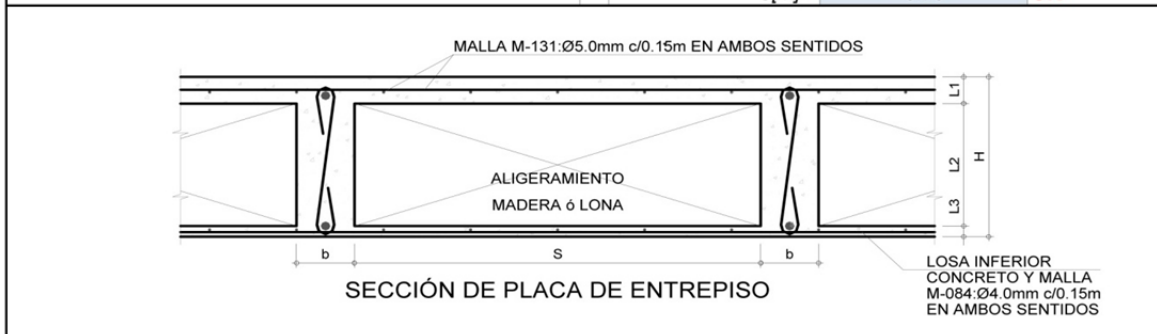
Alexis Vega Arguello
Ingeniero Civil UIS
Especialista en Estructuras UIS

Centro Comercial Cabecera III Etapa Oficina 318
Tel: (7)6435712 Celular: 3006038599 Bucaramanga
e-mail: avega@intercable.net.co; avegax@hotmail.com

EDIFICIO BARRANCA BARRANCABERMEJA-SANTANDER	
GARAJE	
DISEÑO ESTRUCTURAL PLACA e=45cm	

ESPECIFICACIONES:	
CONCRETO:	ACERO:
f'c=21 Mpa a los 28 días E=2E7 KN/m2	fy= 420 Mpa Diámetro >= 3/8" corrugado fy=420 Mpa Diám 1/4" solo para estribos de viguetas

DATOS DE ENTRADA			
ESPESOR DE LA PLACA:		DIMENSIONES DE LA PLACA	
Tipo de apoyo=	ambos extremos continuos	L1[m]=	0.050 OK
Luz de diseño[m]=	8.60 H=L/21	L2[m]=	0.380
H teorica [m]=	0.41	L3[m]=	0.020
H Real [m]=	0.450	H[m]=	0.450 OK
		b[m]=	0.10 OK
		S[m]=	0.70 OK



DISTRIBUCIÓN DE CARGAS			
CARGAS MUERTAS		CARGA VIVA	
Viguetas	1.20 KN/m ²	W _L	2.50 KN/m ²
Placa superior	1.20 KN/m ²		
Aligeramiento	0.30 KN/m ²		
Torta inferior	0.35 KN/m ²		
Acabados	1.00 KN/m ²		
Muros divisorios	0.20 KN/m ²		
W _d	4.3 KN/m ²	W _L	2.5 KN/m ²

CARGA ULTIMA		CARGA SOBRE VIGUETAS	
KN/m ²	T/m ²	MUERTA	VIVA
9.1 KN/m ²	0.91 T/m ²	3.4 KN/m	2 KN/m

**DE ACUERDO CON CON EL REGLAMENTO DE CONSTRUCCION SISMO RESITENTE
NSR-10**

DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE REFUERZO PARA ZAPATAS CÉNTRICAS – FORMATO INICIAL

1. DIMENSIONAMIENTO DE LA ZAPATA ZT1

CONDICIONES DE CIMENTACIÓN	
Pu (KN):	807
Factor de carga:	1.34
Capacidad portante del suelo (KN/m ²) qa	280
Profundidad de cimentación (m):	0.45

MATERIALES (PESO ESPECIFICO EN KN/m ³)			
Concreto de la zapata:	24	Pedraplezn:	21

DIMENSIONES DE LA COLUMNA.:			
base (m):	0.4	altura (m):	0.6

RESISTENCIA DE LOS MATERIALES	
f'c (KN/m ²):	21000
fy /(KN/m ²):	420000

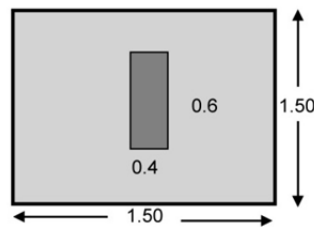
DATOS DEL PERFIL	
d (m):	0.38
h (m):	0.45
hs1 (m):	0

PROFUNDIDAD DE CIMENTACIÓN (m)
0.45

RECUBRIMIENTO (m)
0.07

Esf. Admisible en el suelo (KN/m ²):	269.2
Área requerida (m ²):	2.24

ZAPATA CUADRADA			
base (m):	1.50	altura (m):	1.50



2. DISEÑO DE LA ZAPATA

DIMENSIONES DE LA ZAPATA			
base (m):	1.5	altura (m):	1.5 OK

CONDICIONES DE CARGA:	
Pu (KN):	807
qun (KN/m ²):	358.67
Wu (KN/m):	358.67

2.1 CORTANTE A d DEL BORDE DEL APOYO

Fuerza cortante Vu (KN):	60.97
φ cortante	0.75
v (KN/m ²):	213.94
vc (KN/m ²):	768.04
Verificación:	OK

2.2 CORTANTE POR PERFORACIÓN (PUNZONAMIENTO)

bo (m):	0.78
ho (m):	0.98
Perímetro para punzonamiento (m):	3.52
Área para punzonamiento (m ²):	0.76
Vup (KN):	532.84
vup (KN/m ²):	531.14
vcp (KN/m ²):	1594.05
Verificación:	OK

2.3 FLEXIÓN

Momento último Mu (KN.m)	54.25
φ flexión:	0.90
γ:	0.86
Área de acero (cm ²):	3.82
Cuantía de acero p:	0.001006
Verificación:	MEJOR QUE LA MÍNIMA

CÁLCULO DEL NÚMERO DE BARRAS	
Área (cm ²):	11.40
Barras No:	5
Diámetro de barra (cm):	1.5625
Número de barras	6

Separación entre barras	26
Verificación:	OK

DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE REFUERZO PARA ZAPATAS CÉNTRICAS – FORMATO MEJORADO

DISEÑO DE ZAPATAS CÉNTRICAS			
TIPO DE DISEÑO DE ZAPATA		Cargas verticales	
NOMBRE DEL PROYECTO			
NOMBRE DE LA ZAPATA		ZT1	
ENTRADA DE DATOS			
CARGAS		PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS	
Carga Vertical D+L [KN]	601	Densidad del concreto [KN/m ³]	24.5
Carga Vertical Wu [KN]	807	Densidad del ciclopeo [KN/m ³]	23
Factor de Carga	1.34	Densidad del suelo [KN/m ³]	19
Diseño del Caso1		Resistencia Concreto f'c [Mpa]	28
		Resistencia Acero fs [Mpa]	420
DATOS DE ENTRADA		FACTORES DE REDUCCIÓN	
Prof. hasta nivel de Zapata [mm]	0	Por Cortante	0.75
Altura propuesta Zapata (H) [mm]	450	Por Traccion	0.9
Altura del concreto Ciclopeo [mm]	0		
Recubrimiento [mm]	70		
Capacidad Portante (Qa) [KN/m ²]	280	ρ_{min}	0.0033
CASO 1			
DIMENSIONES DE LAS ZAPATAS PROPUESTAS		DIMENSIONES DE LAS COLUMNAS	
Long. En X [m]	1.5	Long. En X [m]	0.6
Long. En Y [m]	1.5	Long. En Y [m]	0.4
Altura efectiva (d) [mm]	380	Area requerida	2.23
Capacidad efectiva (Qe) [KN/m ²]	269.0	Area propuesta	2.25
Capacidad ultima (Qu) [KN/m ²]	358.7	OK	
DISEÑO DE ZAPATA CASO 1			
CORTANTE DIRECTO		Direccion Critica de Analisis	
ϕV_c	377.02 OK	Vu1	91.46
CORTANTE POR PUNZAMIENTO		Vu2	532.84
ϕV_{c1} (Resistencia a la Penetración)	1769.48	b0 [mm]	3520
ϕV_{c2} (Rel. de dimensiones de ZT.)	No Aplica	β_c	1.00
ϕV_{c3} (Relacion de perimetros de Col.)	2794.97	α zapatas centricas	40

Alexis Vega Arguello

Ingeniero Civil UIS
Especialista en Estructuras UIS

MOMENTO			Direccion de Analisis X	
Mu	54.47	$\rho < \rho_{min}$	Separacion entre barras [mm]	150
ρ	0.00067		As requerido c/150 [mm ² /mm]	190
Designacion de Barra	N5		1N5c/150mm	
MOMENTO			Direccion de Analisis Y	
Mu	81.3725	$\rho < \rho_{min}$	Separacion entre barras [mm]	150
ρ	0.0010027		As requerido c/150 [mm ² /mm]	190
Designacion de Barra	N5		1N5c/150mm	



Centro Comercial Cabecera III Etapa Oficina 318
 Tel: (7)6435712 Celular: 3006038599 Bucaramanga
 e-mail: avega@intercable.net.co; avegax@hotmail.com

DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE REFUERZO PARA ZAPATAS EXCÉNTRICAS – FORMATO INICIAL

Alexis Vega Argüello

Ingeniero Civil UIS

DISEÑO DE ZAPATA CON VIGA DE ENLACE ZT4

EJE B

DATOS:

Pu2 (KN)	807	COLUMNA INTERNA	Nombre
Pu1 (KN)	578	COLUMNA EXTERNA	B-6
qa (KN/m ²)	280	SUELO	B-7
fc	1.3428	FACTOR DE CARGA	
t (m)	0.6	DIMENSION COLUMNA	
L (m)	4.9	DISTANCIA ENTRE EJES	Hz(m)= 0.45

PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONES:

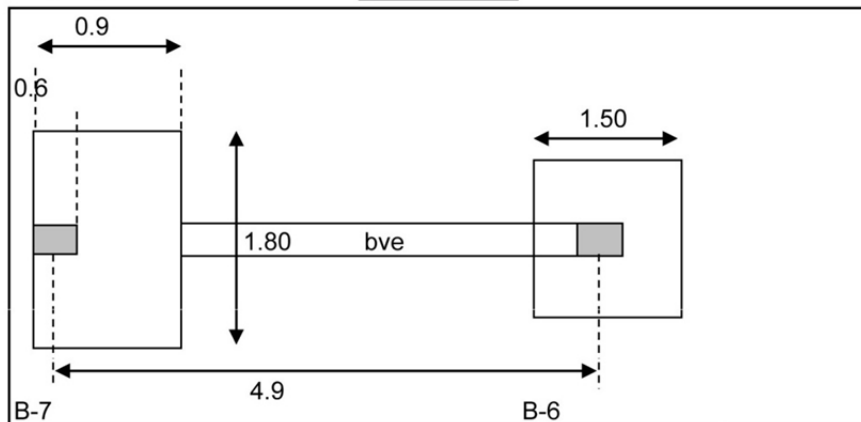
L1 (m)	0.9	ASUMIDO
d (m)	0.6	
L2 (m)	1.87	1.80 REDONDEADO
L3 (m)	0.00	1.50 REDONDEADO
e (m)	0.15	EXCENRICIDAD
Delta R (KN)	19.35	
qu Neto int	350.07	(KN/m ²) OK
qu Neto ext	368.73	(KN/m ²) OK
diferencia q's	18.67	Verificacion

VIGA DE ENLACE:

Md (KN-m)	83.20
Vd (KN)	-72.45

Datos viga de contrapeso(35x45)

b(m)	0.30
d(m)	0.38
k(T-cm)	0.0192
Ro	0.0054
As(cm ²)	6.19 2N7



DIMENSIONAMIENTO Y CÁLCULO DE REFUERZO PARA ZAPATAS EXCÉNTRICAS – FORMATO MEJORADO

Alexis Vega Arguello

Ingeniero Civil UIS
Especialista en Estructuras UIS

DISEÑO DE ZAPATAS EXCÉNTRICAS			
TIPO DE EXCENRICIDAD		Sencilla	
NOMBRE DEL PROYECTO		EDIFICIO BARRANCA	
NOMBRE DE LA ZAPATA		ZT4	
ENTRADA DE DATOS			
CARGAS		PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS	
	NOM.	CARGA	
Columna Exterior D+L [KN]	B-7	430.00	Densidad del concreto [KN/m ³]
Columna Exterior Wu [KN]		578.00	24
			Densidad del ciclopeo [KN/m ³]
			23
			Densidad del suelo [KN/m ³]
			19
			Resistencia Concreto f'c [Mpa]
			28
			Resistencia Acero fs [Mpa]
			420
DATOS DE ENTRADA		FACTORES DE REDUCCIÓN	
Prof. hasta nivel de Zapata [mm]	0	Por Cortante	0.75
Altura propuesta Zapata (H) [mm]	450	Por Traccion	0.9
Altura del concreto Ciclopeo [mm]	0		
Recubrimiento zapata y viga[mm]	70		
Capacidad Portante (Qa) [KN/m ²]	280		
		CUANTIAS	
L1 - MENOR DIMENSION DE LA ZAPATA		ρ_{min}	0.0033
L2 - MAYOR DIMENSION DE LA ZAPATA		ρ_{max}	0.025
DISEÑO DE ZAPATA SENCILLA			
DIMENSIONES DE LAS ZAPATAS PROPUESTAS		DIMENSIONES DE LAS COLUMNAS	
Longitud 1 [m]	0.90	Long. 1 Columna [m]	0.60
Longitud 2 [m]	1.80	Long. 2 Columna [m]	1.00
Altura efectiva (d) [mm]	380	Area requerida	1.60
Capacidad efectiva (Qe) [KN/m ²]	269.2	Area propuesta	1.62
Capacidad ultima (Qu) [KN/m ²]	356.8	OK	

DISEÑO DE ZAPATA SENCILLA					
CORTANTE DIRECTO			Direccion Critica de Analisis		Dir. 2
ϕV_c	226.21	OK	Vu1	6.42	
CORTANTE POR PUNZAMIENTO			Vu2	189.03	
ϕV_{c1} (Resistencia a la Penetración)	2181.69	OK	b0 [mm]	4340	
ϕV_{c2} (Rel. de dimensiones de ZT.)	No Aplica		β_c	2.00	
ϕV_{c3} (Relacion de perimetros de Col.)	2523.52		α zapatas centricas	30	
MOMENTO			Direccion de Analisis Long. 1		
Mu	-	$\rho < \rho_{min}$	Separacion entre barras [mm]	150	
ρ	0.00333		As requerido c/150 [mm ² /mm]	190	
Designacion de Barra	N5		1N5c/150mm		
MOMENTO			Direccion de Analisis Long. 2		
Mu	25.69	$\rho < \rho_{min}$	Separacion entre barras [mm]	150	
ρ	0.00053		As requerido c/150 [mm ² /mm]	190	
Designacion de Barra	N5		1N5c/150mm		
DISEÑO VIGA DE CONTRAPESO BwL2					
Ancho minimo Bw L2 [mm]	1000	300			
Ancho maximo Bw L2 [mm]	1380				
Altura Viga (H) [mm]	450				
Distancia entre columnas L1 [mm]	4900				
Altura efectiva de la Viga [mm]	380				
Wu [KN/m]	642.2				
	x	Fuerza			
Ra [KN]	0.00	560.31			
Carga puntual (Wu*L1) [KN]	0.15	578.00			
Rb [KN]	4.90	17.69			
DISEÑO A CORTANTE			Vu	ϕV_c	ϕV_s
Cortante a "d" de la Col.			17.69	75.40	-43.28
Cortante a "2d" de la Col.			17.69	75.40	-43.28
DISEÑO A CORTANTE			Dist desde eje col	# de Barras	Diametro de Estribo
Cortante a "d" de la columna			680	2	N3
Cortante a "2d" de la columna			1060	2	N3
MOMENTO			Analisis Momento Critico L=0.57		
Mu Critico	76.33	ρ	Diametro de Barra	N6	
ρ	0.0049		Cantidad de Barras	2	
Acero Requerido [mm ²]	5.55		Longitud de la barra +Gancho	2.72	
MOMENTO			Analisis Momento Punto D L=2.17		
Mu Critico	48.26	$\rho < \rho_{min}$	Diametro de Barra	N5	
ρ	0.0030		Cantidad de Barras	2	
Acero Requerido [mm ²]	4				

RESUMEN DE DISEÑO DE ZAPATA Y VIGA DE CONTRAPESO BwL2			
Direccion de Analisis Long. 1	1N5c/150mm	Reaccion Rb	17.69
Direccion de Analisis Long. 2	1N5c/150mm		
CORTANTE A "d" DEL APOYO	2N3c/100[mm]	Analisis Momento Critico L=0.57	2N6
CORTANTE A "2d" DEL APOYO	2N3c/200[mm]	Analisis Momento Punto D L=2.17	2N5



Centro Comercial Cabecera III Etapa Oficina 318
Tel: (7)6435712 Celular: 3006038599 Bucaramanga
e-mail: avega@intercable.net.co; avegax@hotmail.com

ANEXO J. CALCULO DE LAS CARGAS MUERTAS SOBRE IMPUESTAS EN LA PLACA

En el capítulo B.3 de la norma NSR-10 es posible encontrar los valores mínimos de carga muerta para los entre pisos y cubierta (tabla B.3.4.3-1), pero también es posible con base a este capítulo calcular manualmente los valores mínimos de carga muerta en los entre pisos.

En este anexo se tomará como ejemplo el piso tipo para el cálculo de las cargas muertas sobre impuestas y se compararán con los valores utilizados en el libro.

Fig. 1. Calculo de cargas muertas sobre-impuesta – Piso Tipo



CARGAS MUERTAS MÍNIMAS

Lo que a continuación se calculará es el peso de los elementos no estructurales en la placa, es decir, el peso de los muros, cerámica de los pisos, morteros, ect. Este cálculo se divide en dos partes, 1ro) el cálculo de los elementos estructurales horizontales y 2do) el cálculo de los elementos estructurales verticales.

CALCULO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES HORIZONTALES

Los elementos no estructurales horizontales son aquellos cuya dimensión vertical es sustancialmente menor que sus dimensiones horizontales, y están aplicados, soportados, fijados o anclados a las losas o cubierta de la edificación.

En las páginas B-10 y B-11 de la NSR-10 es posible encontrar cuatro tablas, las cuales corresponden según el orden a: cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales - Cielos rasos; rellenos de pisos; pisos; cubiertas. Dado que el ejemplo ilustrado anteriormente corresponde a un entre-piso, se utiliza la tabla B.3.4.1-3 (Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos), la cual se muestra a continuación.

Fig. 2. Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – pisos

Componente	Carga (kN/m ²) m ² de área en planta	Carga (kgf/m ²) m ² de área en planta
Pisos y acabados		
Acabado de piso en concreto	0.0200 (por mm de espesor)	20 (por cm de espesor)
Afinado (25 mm) sobre concreto de agregado pétreo	1.50	150
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 12 mm de mortero.	0.80	80
Baldosa cerámica (20 mm) sobre 25 mm de mortero.	1.10	110
Baldosa sobre 25 mm de mortero	1.10	110
Bloque de asfalto (50 mm), sobre 12 mm de mortero	1.50	150
Bloque de madera (75 mm) sin relleno	0.50	50
Bloque de madera (75 mm) sobre 12 mm de mortero	0.80	80
Durmientes de madera, 20 mm	0.15	15
Madera densa, 25 mm	0.20	20
Mármol y mortero sobre concreto de agregado pétreo	1.60	160
Piso asfáltico o linóleo, 6 mm	0.05	5
Pizarra	0.030 (por mm de espesor)	30 (por cm de espesor)
Terrazzo (25 mm), concreto 50 mm	1.50	150
Terrazzo (40 mm) directamente sobre la losa	0.90	90
Terrazzo (25 mm) sobre afinado en concreto	1.50	150

Según las especificaciones del arquitecto para el proyecto se utilizaran baldosas en cerámica, por ende y por seguridad, se utilizará para el análisis “baldosa cerámica (20mm) sobre 25mm de mortero”, el cual tiene una carga de 1.10 KN/m²

CALCULO DE LOS ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES VERTICALES.

Los elementos no estructurales verticales son aquellos cuya dimensión vertical es sustancialmente mayor que su mínima dimensión horizontal y se encuentran erguidos libremente o soportados por elementos horizontales verticales o fijados a ellos o anclados solamente a losas de entrepisos.

En las páginas B-12 y B-13 de la NSR-10 se encuentran cinco tablas, las cuales corresponden según el orden a: cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – recubrimiento de muros; particiones livianas; enchapes; muros; ventanas.

Ahora, según las especificaciones del arquitectos los muros se revocarán (pañetar) y se pintarán, por ende las tablas correspondientes al “recubrimiento de muros” y “enchapes” no son necesarios para este cálculo; lo mismo pasa para las tablas de “particiones livianas”, dado se utilizará mampostería de arcilla (este material impide que el ruido de un apartamento afecte al continuo), y “ventanas” dado que el efecto más crítico ocurre cuando se asume que todo el muro no tiene ventana.

Fig. 3. Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales horizontales – muros

Componente	Carga (kN/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)	Carga (kgf/m ²) por m ² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)
Muros		
Exteriores de paneles (postes de acero o madera):		
Yeso de 15 mm, aislado, entablado de 10 mm	1.00	100
Exteriores con enchape en ladrillo	2.50	250
Mampostería de bloque de arcilla:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Pañetado en ambas caras	1.80 2.50 3.10 3.80 4.40	180 250 310 380 440
Sin pañetar	1.30 2.00 2.60 3.30 3.90	130 200 260 330 390
Mampostería de bloque de concreto:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Sin relleno	1.40 1.45 1.90 2.25 2.60	140 145 190 225 260
Relleno cada 1.2 m	1.70 2.25 2.70 3.15	170 225 270 315
Relleno cada 1.0 m	1.80 2.30 2.80 3.30	180 230 280 330
Relleno cada 0.8 m	1.80 2.40 3.00 3.45	180 240 300 345
Relleno cada 0.6 m	2.00 2.60 3.20 3.75	200 260 320 375
Relleno cada 0.4 m	2.20 2.90 3.60 4.30	220 290 360 430
Todas las celdas llenas	3.00 4.00 5.00 6.10	300 400 500 610
Mampostería maciza de arcilla:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Sin pañetar	1.90 2.90 3.80 4.70 5.50	190 290 380 470 550
Mampostería maciza de concreto:	<i>Espesor del muro (en mm)</i> 100 150 200 250 300	<i>Espesor del muro (en cm)</i> 10 15 20 25 30
Sin pañetar	2.00 3.10 4.20 5.30 6.40	200 310 420 530 640

En conclusión para el cálculo de las cargas mínimas de los elementos no estructurales verticales se utilizará la tabla B.3.4.2-4 referente a “muros”, en donde como se mencionó anteriormente se trabajará con mampostería de bloque de arcilla, pañetada en ambas caras y con un espesor del muro de 100mm. Con base a lo anterior se puede observar en la Fig. 3 que la carga por metro cuadrado de superficie vertical es de 1.8KN/m²

Es importante enfatizar que la carga de 1.8 KN/m² está dada por m² de superficie vertical del muro, por esta razón si desea utilizar este valor para el diseño de los elementos estructurales es necesario multiplicarlo por la altura del muro y aplicarlo linealmente en los elementos de apoyo, tal como especifica la norma en la nota del numeral B.3.4.2.

Debido a que en este anexo se desea comparar las cargas muertas mínimas expuestas en la Tabla B.3.4.3-1 de la norma y las calculadas manualmente. Lo que se hará a continuación para lograr este fin, es convertir la carga de 1.8 KN/m² en una carga superficial horizontal, es decir, que se multiplicará este valor por la longitud y la altura de todos los muros del piso tipo para convertirlo en carga concentrada y después se dividirá por el área de la placa. Para hacer este procedimiento es necesaria la ayuda del programa AutoCAD, en la Tabla 1 se muestra lo expuesto anterior.

Tabla 1. Calculo de la carga superficial horizontal debido a fachadas y particiones

ÍTEM	Long. del muro	Altura del muro	Área muro (Área vertical)	Carga (superficie vertical)	Carga concentrada	Área de la placa	Carga (superficial horizontal)
	[m]	[m]	[m ²]	[KN/m ²]	[KN]	[m ²]	[KN/m ²]
Muro alto	145.3	2.35	341.5	1.8	614.6		
Muro bajo	10.3	0.5	5.2	1.8	9.3		
TOTAL					623.9	259.36	2.41

DIFERENCIA ENTRE LOS VALORES MÍNIMOS DE CARGA MUERTA ESPECIFICADO EN LA TABLA B.3.4.3-1 DE LA NSR-10 Y EL CALCULO MANUAL.

Con base a los cálculos realizados anteriormente es posible saber cuántas veces son mayores las cargas muertas mínimas especificadas en la tabla B.3.4.3-1 de la NSR-10 en comparación a las calculadas manualmente.

Tabla 2. Amplitud del cálculo de los valores de cargas muertas mínimas Tabla B.3.4.3-1 de la NSR-10

	A	B	A/B
Zona residencial con fachadas y particiones de mampostería	Tabla B.3.4.3-1 de la NSR-10	Calculo manual con base al capítulo B.3 de la NSR-10	Amplitud de veces mayor de los valores de la columna A
AFINADO DE PISO Y CUBIERTA	1.6	1.1	1.45
FACHADAS Y PARTICIONES	3	2.41	1.24

CONCLUSIONES.

Como se puede observar en la tabla anterior, si el procedimiento para el cálculo de las cargas muertas mínimas se basa en la Tabla B.3.4.3-1 de la NSR-10 el diseño de los elementos estructurales serán sustancialmente mayor a que si el diseñador se toma el tiempo de hacer el análisis manual de las cargas sobre-impuestas en las placas a diseñar.