Análisis y comparación económica de estructuras diseñadas por análisis dinámico elástico y por cargas gravitacionales con variación en los sistemas de entrepisos

JOHANN RENE MEDINA FAGUA

FABIAN LEONARDO RODRIGUEZ SORACÁ

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUÍNO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2014

Análisis y comparación económica de estructuras diseñadas por análisis dinámico elástico y por cargas gravitacionales con variación en los sistemas de entrepisos

JOHANN RENE MEDINA FAGUA

3072255

FABIAN LEONARDO RODRIGUEZ SORACÁ

3072159

Tesis de grado

Director de tesis:

Ing. Wilson Medina Sierra

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DE AQUÍNO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TUNJA

2014

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Presidente del Jurado

_____

Jurado

_____

Jurado

Tunja, julio de 2014

RESUMEN

A partir de un análisis estructural por cargas estáticas y haciendo uso del método de análisis dinámico elástico espectral, mediante modelaciones en un software especializado en el diseño estructural de edificaciones como lo es el ETABS, y realizando variaciones en los sistemas de entrepiso (losas macizas en dos direcciones, y losas aligeradas dos direcciones), en este libro se encuentra el análisis y diseño de cuatro estructuras con sistema de pórticos resistentes a momentos, cada una con las variaciones anteriormente mencionadas, con el fin de realizar un análisis comparativo de la eficiencia de cada estructura de acuerdo con cada sistema adoptado, teniendo en cuenta consideraciones como masa total de la edificación, capacidad de controlar derivas (cuando se requiera), cantidades de concreto y acero requerido en cada edificación.

Así mismo se efectúa una evaluación económica de cada una de las estructuras consideradas, teniendo como base los precios vigentes en el mercado, para cada uno de los sistemas a utilizar dentro del proceso constructivo de este tipo de obra.

Para el desarrollo de este documento se toma la arquitectura de una edificación conformado por seis pisos y un altillo, con una altura total de 20,77m y un área total y un área total de piso medida entre ejes de 868,02m^2 de uso multifamiliar.

ABSTRACT

From an structural analysis by static loads and using the method of spectral elastic dynamic analysis, using a specialized modeling in structural design of buildings such as the ETABS software, in addition to variations in slabs systems (solid slabs in two directions, and lightened slabs in two directions), in this book the analysis and design of four structures with porches resistant system moments are found, each with variations above , in order to make a comparative analysis of efficiency of each structure adopted according to each system , taking into account considerations such as total mass of the building, ability to control drifts (when required), amounts of concrete and steel required for each building , as well as an economic evaluation of the structures with respect to the cost of systems with prices currently prevailing in the market . The building that was taken as basis for architectural structural design consists of six floors and a loft, with a total height of 20.77 m and a total floor area measuring 868.02 m2 wheelbase multifamily uses.

INTRODUCCIÓN

En la realización de proyectos de construcción, es necesario tener en cuenta todos los factores que puedan afectar aspectos importantes del edificio como lo son las cantidades de material utilizado, que en este caso es concreto y acero, además del costo que se genera por utilizar diferentes elementos estructurales, diferentes métodos en el diseño y la geometrías propia de cada edificio. Antes de dar comienzo a erigir el edificio se debe haber contemplado varias opciones de lo que sería más adecuado para las condiciones del lugar, duración del proyecto y de los recursos con que se cuenta; se puede elegir entre un sistema estructural aporticado, que es uno de los más comunes, dual, combinado y muros de carga. Las decisiones que adopte el diseñador debe tomarlas teniendo en cuenta las prescripciones de la NSR-10, además es necesario revisar si se puede diseñar el edificio por el método escogido pues cada opción tiene sus excepciones, dichos métodos tienen limitaciones en su mayoría por las propiedades geométricas, el sistema estructural y el periodo correspondiente del edificio, sin embargo el comportamiento de la construcción sería distinto al esperado al no tener en cuenta la norma y por tanto mostraría falencias en su diseño.

Al hacer este trabajo se tuvieron en cuenta entrepisos como: losas aligeradas en dos direcciones, y losas macizas en dos direcciones, que son las más comunes pero no las únicas en el mercado, que el diseñador escoge dependiendo del proyecto a realizar; a continuación en los capítulos de esta tesis se hace un análisis y una comparación económica con el fin de servir de punto de referencia, pero es claro que aunque dos proyectos de edificación sean similares al modelo utilizado, cada proyecto es distinto y por ende sus elementos estructurales y las cantidades que de estos se calculan.

Comentado [ING.WM1]: Titulo??????????????????

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 15

2 OBJETIVOS 17

2.1 OBJETIVO GENERAL 17

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17

3 JUSTIFICACIÓN 19

4 MARCO TEÓRICO 20

4.1 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO. 20

4.1.1 Aproximación al concepto de análisis dinámico 20

4.1.2 Aproximación al concepto de sismo 20

4.1.3 Aproximación al concepto de movimiento sísmico en edificaciones 20

4.1.4 Aproximación al concepto de losas aligeradas. 21

4.1.5 Aproximación al concepto de losa maciza 21

4.1.6 Aproximación al concepto de concreto simple 22

4.1.7 Aproximación al concepto de concreto reforzado 22

4.1.8 Aproximación al concepto de método de la resistencia última. 22

5 ESTADO DEL ARTE 23

5.1 IMPLICACIONES DE LAS ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA EN LA CANTIDAD DE MATERIALES ESTRUCTURALES PARA UN EDIFICIO DE 5 PISOS SEGÚN NSR-98. 23

5.2 ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO ECONÓMICO DE LA ESTRUCTURA APORTICADA CON TECNOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN LIVIANA EN SECO. 23

5.3 FLEXIÓN DE PLACAS ALIGERADAS CON BLOQUE DE ARCILLA Y COMPUESTAS POR PERFIL METÁLICO Y PLACA DE CONCRETO.24

5.4 ANÁLISIS DINÁMICO DE UN EDIFICIO USANDO EL PROGRAMA SAP 2000. 25

5.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS IMPLICACIONES ECONÓMICAS ENTRE LANSR-98 Y NSR-10..... 25

5.6 COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE EDIFICIOS DE CINCO PISOS CON SÓTANO CON LA NSR -98 Y NNSR-10 PARA LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ 27

6 MATERIALES Y MÉTODOS.....29

7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN 32

7.1 PREDIMENSIONAMIENTO..... 33

7.1.1 Losas Macizas.....33

7.1.1.1 Losas Macizas en dos direcciones 33

7.1.1.3 Escaleras 34

7.1.2 LOSAS ALIGERADAS..... 36

7.1.2.1 LOSAS ALIGERADAS EN DOS DIRECCIONES 36

7.1.3 Vigas 38

7.1.3.1 Predimensionamiento de vigas para análisis gravitacional 38

7.1.4 COLUMNAS 39

7.1.4.1 Predimensionamiento de columnas para análisis gravitacional ..39

7.1.4.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE COLUMNAS PARA ANÁLISIS DINÁMICO..... 39

7.2 EVALUACION DE CARGAS..... 40

7.2.1 Cargas Muertas (D) 40

7.2.1.2 Cubierta. 40
7.2.1.3 Muros 40
7.6 DISEÑO DE LOSAS 55
7.6.1.2 Losas en una dirección 56
7.7 CONSIDERACIONES GENERALES DE MODELACION 57
7.8 MODELO 1 DISEÑO GRAVITACIONAL CON LOSAS ALIGERADAS 58
7.8.1 EVALUACIÓN DE DISEÑO 58
7.8.2 Diseño de vigas 59
7.8.2.1 Refuerzo a flexión 60
7.8.2.2 REFUERZO A CORTANTE 60
7.8.3 DISEÑO DE COLUMNAS 61
7.8.3.1 Refuerzo a Flexión 62
7.8.3.2 Refuerzo a cortante 62
7.9 MODELACION 2 DISEÑO GRAVITACIONAL CON LOSAS MACIZAS 63
7.9.1 EVALUACIÓN DE DISEÑO 63
7.9.2 DISEÑO DE VIGAS 64
7.9.2.1 Refuerzo a flexión 64
7.9.2.2 Refuerzo a cortante 65
7.9.3 DISEÑO DE COLUMNAS 65
7.9.3.1 Refuerzo a Flexión 65
7.9.3.2 Refuerzo a cortante 66
7.10 MODELACIÓN 3 DISEÑO DINÁMICO CON LOSAS ALIGERADAS 67
7.10.1 ANÁLISIS DINÁMICO. 67

7.10.2 DISEÑO DE VIGAS 70
7.10.2.1 Refuerzo a flexión 71
7.10.2.2 Refuerzo a cortante 71
7.10.3 DISEÑO DE COLUMNAS 72
7.10.3.1 Refuerzo a flexión 72
7.10.3.2 Refuerzo a cortante 72
7.11 MODELACIÓN 4 DISEÑO DINÁMICO CON LOSAS MACIZAS 73
7.11.1 ANÁLISIS DINÁMICO 73
7.11.2 VERIFICACIÓN Y AJUSTE DE DERIVAS 74
7.11.3 DISEÑO DE VIGAS 75
7.11.3.1 Refuerzo a flexión 76
7.11.3.2 Refuerzo a cortante 76
7.11.4 Diseño de columnas 76
7.11.4.1 Refuerzo a flexión 76
7.12 Refuerzo a cortante. 77
7.14 PRESUPUESTO 78
GLOSARIO 88
BIBLIOGRAFÍA 93

Comentado [ING.WM2]: Alinear!!!!!!!!!.

Anexos?????

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1 Planta típica edificio ATRIUM....29
Gráfica 2 Esquema general planta estructural....32
Gráfica 3 Tanque de Almacenamiento....42
Gráfica 4 Espectro de aceleraciones....51
Gráfica 5 Propiedades de los materiales (kN.m) - ETABS....58
Gráfica 6 Vista en planta modelo 3 para revisión de derivas....69
Gráfica 7Costo total por modelo en millones de pesos....83
Gráfica 8 Presupuesto Modelo #1....84
Gráfica 9 Presupuesto modelo#2....85
Gráfica 10 Presupuesto modelo#3....85
Gráfica 11 Presupuesto modelo#4....87

LISTA DETABLAS

Pág.

Tabla 1. Carga muerta de muros para placas de piso. 41
Tabla 2. Carga muerta de muros para vigas exteriores 41
Tabla 3. Evaluación de carga muerta losa maciza E=0.25 43
Tabla 4. Evaluación de carga muerta losa maciza E=0.20 43
Tabla 5. Evaluación de carga muerta losa maciza E=0.15 44
Tabla 6. Evaluación de carga muerta losa maciza ascensor 44
Tabla 7. Evaluación de carga muerta losa maciza tanque elevado 44
Tabla 8. Resumen dimensionamiento de escaleras 45
Tabla 9. Evaluación de carga muerta escaleras 45
Tabla 10. Evaluación de carga muerta losa aligerada E=0.25.....46
Tabla 11. Evaluación de carga muerta losa aligerada E=0.2.....46
Tabla 12. Cargas vivas para uso residencial 47
Tabla 13. Valores de S_a respecto al periodo T.....50
Tabla 14. Combos de diseño para análisis gravitacional 52
Tabla 15. Combinaciones de diseño a flexión para análisis dinámico 53
Tabla 16. Combinaciones de diseño a cortante en vigas para análisis dinámico ..53
Tabla 17. Combinaciones de diseño a cortante en columnas para análisis dinámico. 54
Tabla 18. Combinaciones de verificación de derivas.....54
Tabla 19. Participación de masa por piso diseñogravitacional con losas aligeradas 59
Tabla 20. Separaciones máximas para cortante en vigas 61
Tabla 21. Separaciones máximas para cortante en columnas 62
Tabla 22. Participación de masa por piso diseño gravitacional con losas macizas63
Tabla 23. Momentos de vigas, pórticos 2 al 5 ejes B-C E-F 64
Tabla 24. Refuerzo longitudinal en vigas modelo 02 65

Tabla 25. Refuerzo longitudinal columnas modelo 02 66
Tabla 26. Verificación de derivas modelo 3, punto 23 69
Tabla 27. Separaciones máximas de estribos de confinamiento para vigas.....72
Tabla 28. Ajuste de resultados Análisis dinámico losas macizas.....74
Tabla 29. Verificación de deriva modelo 4, punto 23 74
Tabla 30. Refuerzo longitudinal para vigas modelo 04 76
Tabla 31. Refuerzo longitudinal para columnas modelo 04 77
Tabla 32. Presupuesto total modelo 01-Analisis Gravitacional con losas aligeradas 79
Tabla 33. Presupuesto total modelo 02 - Análisis gravitacional con losas macizas 80
Tabla 34. Presupuesto total modelo 03 - Análisis dinámico con losas aligeradas .81
Tabla 35. Presupuesto total modelo 04 - Análisis dinámico con losas macizas. ...82

LISTA DE ANEXOS

A. Muros
A.1 Densidad de muros
A.2 Peso de muros por superficie de área
A.3 Peso de muros externos por metro lineal
B. Losas
B.1 Distribución de paneles en planta
B.2 Refuerzo de losas por piso
B.2.1 Losas macizas
B.2 Losas aligeradas
C. Diseño manual
C.1 Losas
C.2 Vigas
C.3 Columnas
C.4 Zapatas
D. Summary report
D.1 Análisis dinámico losas aligeradas
D.2 Análisis dinámico losas maciza
E. Derivas
F. APU
G. Planos

1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Comentado [ING.WM3]: 2 Espacios

El diseño y construcción de las edificaciones que actualmente se desarrollan en Colombia se basan en los requerimientos mínimos exigidos por la Norma Sismo Resistente Colombiana Vigente, la cual determina los parámetros para que las estructuras soporten las cargas gravitacionales a las que llegaría a estar sometidas, así como las cargas adicionales que podrían presentarse sobre la edificación, como lo son fuerzas provenientes de movimientos sísmicos, fuerzas de viento, empujes del suelo, entre otros.

Además de definir parámetros concernientes a las cargas, la NSR10 aprueba y enuncia una cierta cantidad de métodos por los cuales una estructura se diseña, garantizando confiabilidad en cuanto a las seguridad de la población que resida dentro de las edificaciones.

Durante un largo tiempo se han venido desarrollando procesos constructivos en búsqueda de optimizar el costo de construcción de edificaciones, teniendo en cuenta que el método por el cual se realiza el análisis estructural de una edificación, incide directamente en la cantidad de refuerzo que llegase a necesitar una estructura, Así mismo del sistema estructural que se maneje, como también del sistema de entrepiso y del sistema constructivo en que se haga. Todo esto teniendo en cuenta como prioridad salvaguardar por sobre todo la vida humana.

Teniendo en cuenta que la utilización de un método de diseño u otro varia el reforzamiento de la estructura y en algunos casos en el predimensionamiento de las secciones a utilizar (vigas y columnas), es importante determinar qué diferencia radica en cuanto a costos económicos, sin dejar de lado la garantía de seguridad para los residentes de la edificación.

2 OBJETIVOS

Comentado [ING.WM4]: 2 Espacios

2.1 OBJETIVO GENERAL

Mediante el uso del método de Análisis dinámico elástico espectral de la NSR-10, además de un análisis teniendo en cuenta fuerzas gravitacionales en un suelo tipo C, diseñar cuatro (4) estructuras de 5 pisos, localizadas en la ciudad de Tunja en Zona sísmica intermedia, haciendo la comparación de las estructuras diseñadas mediante la utilización de cargas verticales y fuerzas sísmicas con la variación en el sistema de losas de entre piso.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar cuatro (4) diseños estructurales en una edificación de Cinco (5) pisos, mediante la utilización del método de análisis dinámico elástico espectral y Fuerzas gravitacionales, utilizando diferentes sistemas de losas de entrepiso (losas aligeradas en dos direcciones, losas macizas en dos direcciones).

- Realizar los planos estructurales correspondientes a cada diseño que se dispone a realizar, incluyendo despieces de vigas, columnas y losas de entre piso, con sus respectivos refuerzos.

- Elaborar un análisis de las Cuatro (4) estructuras a diseñar teniendo en cuenta las modificaciones anteriormente mencionadas.

- Realizar los presupuestos de obra correspondientes a cada edificio que está dispuesto para este proyecto.

- Comparar los costos correspondientes a la estructura a diseñar con respecto a sus variaciones y de esta manera determinar la eficiencia de cada tipo de diseño.

3 JUSTIFICACIÓN

Comentado [ING.WM5]: Nueva hoja….capitulo aparte

Es importante la realización de proyectos como este, que permitirá determinar las diferencias del diseño por cargas gravitacionales y un diseño sísmico, teniendo en cuenta algunos entrepisos usuales en construcciones, como lo son losas macizas en una y dos direcciones y losas aligeradas en una y dos direcciones.

También cabe resaltar que al construir un edificio se busca que sea eficiente, que se disminuyan los costos y la cantidad de tiempo empleado; los diseñadores tienen en cuenta estudios o su experiencia para la elección de las características de la construcción y al hacer una comparación minuciosa de los presupuestos correspondientes a los diferentes opciones para la realización del proyecto, se puede tomar una decisión antes de la ejecución de dicho proyecto.

Por último la elección de los diferentes tipos de entrepiso, los sistemas de entrepisos afecta de manera directa la cantidad de material utilizado y por consiguiente en el costo total de la edificación y a su vez en la cantidad de personal empleado; pero lo más importante es que estos estudios previos se hagan de la mejor manera para que los diferentes recursos alcancen para finalizar en su totalidad la obra y no se vea afectada la comunidad ni el diseñador.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 APROXIMACIÓN AL CONCEPTO.

4.1.1 Aproximación al concepto de análisis dinámico. Las estructuras, cuando están bajo la acción de cargas o desplazamientos en la base, desarrollan acciones opuestas al movimiento impuesto por tales cargas. Si éstos son aplicados muy lentamente, las fuerzas de inercia producto de la masa del edificio, son bastante pequeñas (al ser las aceleraciones muy bajas) por lo cual se realiza un análisis del tipo estático.

La masa del sistema estructural es concentrada en los nudos o a nivel de los centros de masa de cada piso, según el modelo utilizado. También si los análisis se realizan considerando que el material estructural tendrá un comportamiento elástico y lineal, las propiedades de rigidez de la estructura pueden aproximarse con un alto grado de confiabilidad, con ayuda de información experimental; además lo mismo puede asumirse para las propiedades de amortiguamiento.

4.1.2 Aproximación al concepto de sismo. Se denomina sismo a los movimientos o desplazamientos bruscos del terreno producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra como consecuencia de la tectónica de placas. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones; el punto en que se origina el terremoto se llama foco o hipocentro; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 km hacia el interior terrestre. El epicentro de un sismo es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco donde se originó el movimiento.

4.1.3 Aproximación al concepto de movimiento sísmico en edificaciones. Este movimiento depende de la situación de la edificación con respecto a las zonas de actividad sísmica en el mundo o en cada país. Los movimientos del

terreno le transmiten a las construcciones aceleraciones, que producen en las estructuras reacciones de inercia y su distribución en la estructura. La fuerza total de inercia correspondiente al edificio es igual al "cortante de base", el cual es un porcentaje del peso total de la construcción.

4.1.4 Aproximación al concepto de losas aligeradas. Las losas aligeradas son utilizadas para salvar luces más grandes que las losas macizas. Este sistema remplaza parte de la sección de concreto por material aligerante el cual puede ser de cajones de madera, casetones de esterilla de guadua, ladrillos o bloques.

Los componentes de una losa aligerada generalmente son:

- La placa inferior: La placa inferior se construye con un mortero de arena y cemento con una dosificación mínima de una parte de cemento por tres de arena.
- Los elementos aligerantes: Estos elementos se colocan de tal manera que formen las cavidades entre viguetas.
- Placa superior: es un concreto fundido monolíticamente con el sistema de piso.
- Las viguetas: Son los elementos que contienen el refuerzo principal de la losa.

4.1.5 Aproximación al concepto de losa maciza. Las losas macizas están conformadas por una sola sección de concreto, el cual se encuentra reforzado en ambas direcciones. La losa debe tener por lo menos dos muros de apoyo y estos siempre deben ser opuestos, para losas apoyadas en sus cuatro lados la dirección principal será la del sentido más corto.

4.1.6 Aproximación al concepto de concreto simple. Concreto simple es una mezcla de un conjunto de agregados, agua y material cementante, los cuales de acuerdo a su respectiva dosificación en la mezcla determinan la resistencia del concreto; el cual conforme a sus características posee una gran capacidad a resistir esfuerzos sometidos a compresión, pero no posee propiedades para resistir los esfuerzos a flexión, por ello se hace necesario el uso de otros elementos que tengan mayor resistencia a flexión como lo es el caso del acero.

4.1.7 Aproximación al concepto de concreto reforzado. Teniendo en cuenta que el concreto por si solo tiene dificultades para resistir esfuerzos a tensión, se hace necesario combinarlo con otro elemento que complemente su resistencia como lo es el acero, de esta manera el concreto y el acero conforman un elemento compuesto adecuado que soporta esfuerzos tanto a tensión como a compresión. Además de esta cualidad que presenta el concreto reforzado en cuanto a resistencia, tiene algunas ventajas que hacen que este material sea eficiente como elemento estructural, como lo son la resistencia a altas y bajas temperaturas; la vida útil de este es bastante amplia y su mantenimiento es muy poco, además que al usar agregados, agua y material cementante hacen de este material un elemento estructural económico.

4.1.8 Aproximación al concepto de método de la resistencia última. Se denomina método de la resistencia última a un método de diseño de elementos estructurales, que tiene como base el análisis de la estructura en el instante de falla, es decir teniendo en cuenta los esfuerzos resistentes máximos de los componentes de cada elemento a diseñar, como lo es el caso del concreto y el acero. Para este caso en elementos que se diseñen a flexión se considera se debe obtener una falla sub-reforzada, causando que el acero entre en fluencia primero que el concreto, previniendo de esta manera una falla súbita sobre cualquier elemento estructural.

5 ESTADO DEL ARTE

5.1 IMPLICACIONES DE LAS ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA EN LA CANTIDAD DE MATERIALES ESTRUCTURALES PARA UN EDIFICIO DE 5 PISOS SEGÚN NSR-98.[1]

En esta Tesis se tomó como unidad de análisis una edificación de 5 pisos con sistema estructural pórticos, losa aligerada en una dirección, de uso multifamiliar y con acero de 420MPa y concreto de 28MPa; en la cual se tomó cuatro valores de Aa y al aplicar el método de fuerza horizontal equivalente y posteriormente comprobar derivas se optó por cambiar el sistema estructural teniendo que cambiar el sistema estructural a dual. Al finalizar el análisis se encontró que la zona sísmica incrementa el refuerzo en los muros estructurales y cantidades de material como 14.12kg/m2 de acero en la placa, 201.6kg/m2 de acero en columnas para DMO y como 15.78kg/m2 de acero en la placa, 220.8kg/m2 de acero en columnas adicionalmente se encontró que el cambio más significativo es el aumento de concreto.

5.2 ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO ECONÓMICO DE LA ESTRUCTURA APORTICADA CON TECNOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN LIVIANA EN SECO.[2]

En este trabajo se utilizaron dos modelos, uno con mampostería tradicional y en otro se utilizó drywall en muros y entrepiso, se idealizo un colegio situado en la ciudad de Duitama con tres módulos en los cuales al utilizar el drywall, se

[1]MUÑOZ BUITRAGO. Álvaro Javier, VILLAMIL MORA. Jorge Alberto. Implicaciones de las zonas de amenaza sísmica en la cantidad de materiales estructurales para un edificio de 5 pisos según NSR-98. Tunja. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia. Facultad de Ingeniería.

[2]MORENO TORRES. Miyer Manuel, PINTO MONTAÑEZ. Rodolfo Guillermo. Análisis comparativo técnico económico de la estructura aporticada con tecnología de construcción liviana en seco. Tunja, 2007. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia. Facultad de Ingeniería.

obtuvieron unos pesos de 166.82kN, 1727.89kN, 281.12kN con una reducción del 50%. Al hacer la estructura más ligera el cortante sísmico disminuye y a su vez las derivas, las zapatas disminuyeron entre 5-10cm y el acero en las columnas disminuyo 1,4cm2 lo que equivale a un 25%, también se constató la diferencia de precios al comparar que un muro tradicional tenía un precio de materiales de $39.076 y el liviano $35.274 por metro cuadrado lo que se traduce en un ahorro del 10 % igualmente se comparó los costos de toda la edificación donde se ve un ahorro del 23%.

5.3 FLEXIÓN DE PLACAS ALIGERADAS CON BLOQUE DE ARCILLA Y COMPUESTAS POR PERFIL METÁLICO Y PLACA DE CONCRETO.[3]

Se evaluó el sistema de entrepiso denominado “placa fácil”, bajo la Norma NSR-98 en su etapa de construcción y de servicio, dando como resultado datos que se podrían comparar con los sistemas tradicionales; el sistema de entrepiso con el que se trabajó está compuesto por un perfil de acero formado en frio que trabaja estructuralmente con concreto normal y posee aligeramiento en bloques de arcilla los cuales a su vez pueden ser usados como formaleta inferior. Se llevó a cabo la revisión de la etapa de construcción del diseño, se revisaron parámetros como lo son esfuerzo máximo, momento último, y las deflexiones para la sección con y sin puntal; además para la etapa de servicio se revisó el diseño a flexión y el momento en el que empieza la fluencia, se verificaron las deflexiones y el diseño a cortante. Se construyeron dos placas de 2.76m*3m para cargarlas y corroborar el comportamiento con el esperado en base a la teoría y finalmente se llevó a cabo una comparación de una losa maciza de las mismas dimensiones con la ya mencionada que se construyó y así mostrar la viabilidad de la “placa fácil” con respecto a otro tipo de placa en el mercado.

3CONTRERAS ROJAS, Camilo Andrés. Flexión de placas aligeradas con bloque de arcilla y compuestas por perfil metálico y placa de concreto. Universidad Nacional de Colombia. 2003.

5.4 ANÁLISIS DINÁMICO DE UN EDIFICIO USANDO EL PROGRAMA SAP 2000[4].

Se llevó a cabo el análisis dinámico de un edificio en concreto, de cinco pisos, en sistema de pórticos resistentes a momentos mediante la utilización del programa SAP 2000, de propiedad de la Universidad Nacional de Colombia; como datos de entrada se usaron los espectros de diseño de la Norma Colombiana de Construcción y Diseño Sismo Resistente NSR-98 y de la microzonificación de Bogotá MSB. Mediante la NSR-98 el edificio se localizó en la zona sísmica intermedia, y según la MSB en la zona lacustre 3-A. Los resultados obtenidos fueron combinados modalmente con los métodos de combinación cuadrática completa, raíz cuadrada de la suma de los cuadrados y absolutos. Se entregó un tutorial que ilustra el uso de la parte dinámica del programa SAP 2000.

5.5 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS IMPLICACIONES ECONÓMICAS ENTRE LA NSR-98 Y NSR-10.[5]

Se hizo un análisis comparativo de la variación de los aspectos económicos de la construcción en Bogotá, debido al cambio en la normatividad sismo resistente y que genera algunas modificaciones en los parámetros que se utilizan para el diseño; determinó la variación de parámetros relacionados con el análisis, diseño y características de la configuración estructural que afectan el costo de la edificación. La variación del costo con relación a las dos normas tenidas en cuenta, NSR-98 y NSR-10, se ve afectado especialmente por las modificaciones en los parámetros sísmicos y la configuración de la edificación aunque se encontró que la variación final no es significativa.

[4]ACUÑA ESPINOSA, Jhermain Alexander. Análisis dinámico de un edificio usando el programa SAP 2000. Bogotá, 2002. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.
[5]SEDANO, Andrea Aranguren. Análisis comparativo de las implicaciones económicas entre la NSR-98 y laNSR-10. Bogotá, 2011. . Trabajo de grado. Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.

El objetivo general de esta tesis fue analizar el impacto económico del cambio en la norma sismo resistente en edificios de concreto reforzado con sistemas combinados de resistencia sísmica ubicados en la ciudad de Bogotá y fueron analizadas mediante el método de la fuerza horizontal equivalente. Para identificar el impacto de la variación de parámetros correspondientes a las dos normas se determinaron de manera teórica las cantidades de acero y de concreto, se realizó el diseño de las edificaciones cumpliendo con los requerimientos de cada una de las normas, se tuvieron en cuenta los costos de materiales, equipo y mano de obra en el país para el momento.

Para el proyecto se escogieron tres edificios que tenían diseño arquitectónico y estudio de suelo, además su ubicación fue planteada en la ciudad de Bogotá en una de las diferentes zonas establecidas por la microzonificación realizada en 1997 en la ciudad; adicionalmente se tuvieron como principales parámetros de variación entre la norma NSR-98 y la NSR10, contemplados en el análisis y diseño de las estructuras seleccionadas en el estudio, la microzonificación sísmica de Bogotá, el módulo de elasticidad, la irregularidad y ausencia de redundancia que se tomaron en cuenta por su incidencia directa en el coeficiente de capacidad de disipación de energía y por último las combinaciones de carga y coeficientes de reducción de resistencia.

5.6 COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE EDIFICIOS DE CINCO PISOS CON SÓTANO CON LA NSR -98 Y NNSR-10 PARA LA MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ.[6]

Este proyecto fue encaminado a determinar y evaluar las implicaciones económicas y así conocer los impactos de la solución de vivienda sismo resistente del país; se compararon las exigencias técnicas de la NSR-10 y la NSR-98 a partir de los costos de estructuras diseñadas según dichas normas en cinco diferentes zonas de la ciudad de Bogotá adicionalmente los diseños se realizaron para una estructura conformada por pórticos con muros de cortante y que arquitectónicamente se escogió pensando en las estructuras típicas de todas las zonas, y por consiguiente escogieron un modelo con cuatro apartamentos por piso, cinco pisos en total y un sótano; el edificio se modelo en el software SAP2000 para las cinco respectivas zonas de cada norma y utilizando el método dinámico que emplea un espectro de pseudoaceleración siendo este método más aproximado al comportamiento al que sufre una estructura al ser sometida a las demandas de un sismo.

En los modelos las dimensiones de las columnas y las vigas se mantienen constantes, con el fin de que cada edificio cumpla con los desplazamientos exigidos por los reglamentos, para dar mayor rigidez se les coloca muros de carga variando sus dimensiones. Se encontró que el modelo dinámico es más económico el método de la fuerza horizontal equivalente pues los esfuerzos de modelo dinamo van a ser el 80% del otro método; a su vez los cortantes sísmicos en las bases de los edificios son superiores en la NSR-98 que en la norma vigente NSR-10.

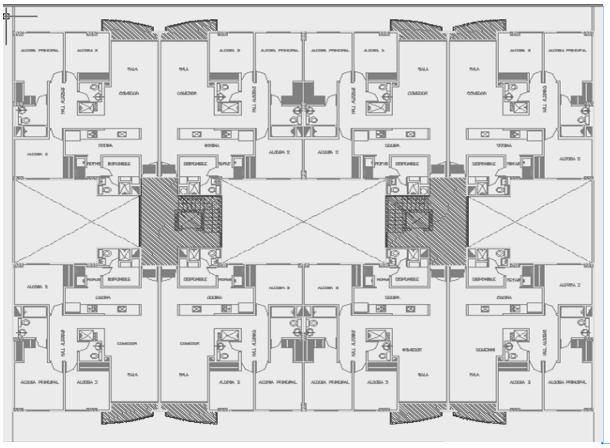
[6] González Muñoz Comparación técnica y económica de edificios de cinco pisos con sótano con la NSR -98 y NSR-10 para la microzonificación sísmica de Bogotá. José Alex. Universidad Militar Nueva Granada

Se puede observar al finalizar este trabaja que la NSR-98 es más conservadora, además la microzonificación para Bogotá da resultados diferente, lo que afecta directamente a los modelos; la diferencia de concreto usado en las respectivas normas es notorio.

6 MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo fue necesario en primera instancia establecer las características del modelo, el cual fue escogido de manera que no presentara mayores irregularidades y que presentara ciertas facilidades para su modelación; el edificio tiene 6 pisos más un altillo ubicado en la ciudad de Tunja y por consiguiente pertenece al grupo DMO (Capacidad de disipación de energía moderada);se tendrán en cuenta para las secciones de las vigas y columnas una resistencia de 21MPa y para las zapatas de 28MPa. Al tener los planos arquitectónicos de la edificación se pudo hacer el análisis de las cargas que presentaba, como lo son las cargas de muros de fachada interiores, al ascensor, las escaleras, tanques; luego se hizo su correspondiente distribución en los elementos afectados por dichas cargas ya que serán tenidas en cuenta en el momento del diseño.

Gráfica 1 Planta típica edificio ATRIUM



Fuente: CONSTRUCTORA MARCA

Comentado [ING.WM6]: Mejorar imagen

Comentado [ING.WM7]: centrado

Se hace uso del método dinámico elástico espectral para analizar la estructura además en otro modelo se utilizan únicamente las cargas gravitacionales, en los cuales se emplean losas macizas y aligeradas; lo primero que se hizo fue tener un punto de partida de las secciones de los elementos para lo cual se hizo el predimensionamiento respectivo teniendo en cuenta las exigencias que plantea la NSR-10 en el Título C, para el diseño de los elementos de un método a otro varían las cargas pero es indispensable tener como referencia las mostradas en la NSR-10[7], posteriormente se realizó el diseño de las losas en dos direcciones por el método de los coeficientes, el cual tiene en cuenta la proporción que guardan los lados y los diferentes casos que se presentan dependiendo de la localización y los apoyos que la losa tenga, utilizando algunas tablas que la NSR-10 proporciona para que el cálculo de los momentos tanto en la dirección corta como en la dirección larga; además es posible obtener la carga que se distribuye en el elemento con lo cual es posible diseñarla a cortante; las losas en una dirección se calcula mediante el momento resultante de la combinación de cargas y depende de las características de dichas losas.

Para el análisis dinámico primero se deben tener en cuenta parámetros como los son el coeficiente de disipación de energía, el espectro de aceleraciones (a su vez se consideran el lugar en el cual está localizado, los materiales, las diferentes cargas que se van a asignar; para este caso sismo, empozamiento, carga viva, carga muerta, carga por los muros, las cargas de las escaleras y las cargas de la cubierta), los modos de vibración que dependen de la cantidad de pisos, que son necesarios para que en la modelación se utilice casi la totalidad de la masa del edificio; para este análisis se utilizó un coeficiente de amortiguamiento de 0.05 además que se utilizó un valor de excentricidad de 0.05 para tomar en cuenta los efectos torsionales que puedan producirse.

[7]TÍTULO B. Combinaciones de cargas. NSR10, B.2.3.

Una vez verificadas las derivas que para este caso al ser un sistema aporticado deben ser menores al 1% de altura total del piso, se puede diseñar los elementos mediante el software ETABS, en el cual se hace un modelo, con base en los planos arquitectónicos; en el que se representan los elementos que van a suplir la demanda del sismo aunque en este caso las losas no se tuvieron en cuenta. Se hacen las correspondientes combinaciones de diseño y se aplican al modelo con lo cual se hace una revisión de los elementos que soportan las cargas, siguiendo los requerimientos de diseño de elementos de concreto y más específicamente para DMO[8]. Se debe revisar el periodo de cada modelo pues es necesario hacer una corrección, que depende de si la estructura es irregular o regular y de los cortantes tanto estático como dinámico.

Para calcular las cantidades de concreto y acero se toman los resultados de los análisis y se obtienen para cada elemento, y luego se toman para cada modelo, con el fin de realizar las distintas comparaciones que se quieran realizar, con anterioridad se consiguieron algunos precios correspondientes a la región, que fueron utilizados para la realización de los APU necesarios para el análisis de los costos y la posterior comparación de los resultados de cada uno de los modelos. En general las cantidades de concreto y acero pueden disminuir debido a que se les aplica una fuerza menor, además la rigidez puede variar al cambiar las secciones de las vigas y las columnas, como consecuencia del cumplimiento de los requerimientos de las derivas; los principales factores que pueden cambiar estas cantidades son: las irregularidades y la ausencia de redundancia que afectan directamente a R y por consiguiente a la fuerza sísmica utilizada en el diseño. Las cantidades son sacadas del modelo tanto de las secciones que son tomadas de a eje a eje, como de los cálculos del acero correspondiente a cada uno de los elementos producto de la resistencia a las solicitudes de las cargas y su posterior despiece correspondiente.

[8]TÍTULO C. Concreto Estructural. NSR10, C.21.3

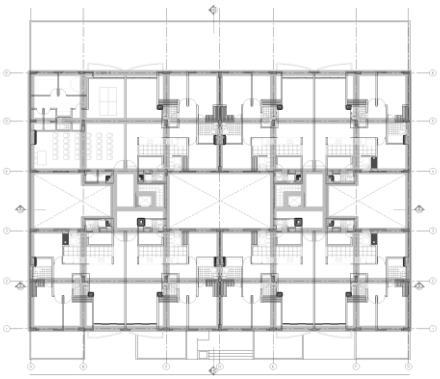
7 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Para el diseño estructural de la edificación que se desarrolla en el presente libro, se toma como referencia el diseño arquitectónico del edificio ATRIUM de la constructora MARCA ubicado en la ciudad de Tunja, el cual consta de seis pisos además de un altillo, tiene un área por piso de 772.50 m2 y para el altillo de 310.69 m2 en cuanto a las especificaciones para el diseño de la estructura se adoptó el suelo TIPO C, así como también el sistema estructural de diseño, que para este caso es sistema de pórticos resistentes a momentos.

.

Para el análisis de la edificación se determina elaborar el diseño de las losas aparte del modelo desarrollado en ETABS, siguiendo las recomendaciones de diseño de la NSR-10. Esto debido a que las losas no participan en la respuesta sísmica de la edificación, y para evitar alguna interferencia en el análisis por

Gráfica 2 Esquema general planta estructural



Fuente: CONSTRUCTORA MARCA

ETTABS, en el modelo del programa se determinan las losas con un espesor despreciable ya que solo transmiten las fuerzas a los elementos “frame”.

.

7.1 PREDIMENSIONAMIENTO

7.1.1 Losas Macizas. En este numeral se encuentran los dimensionamientos de diferentes tipos de losas que se adoptan en la edificación, por otra parte se hace referencia específica de la ubicación de cada losa dentro de la estructura se encuentra dentro de los anexos del presente libro.

7.1.1.1 Losas Macizas en dos direcciones. Teniendo en consideración las recomendaciones de la NSR-10, en el numeral C.9.5 se presentan los requerimientos mínimos para espesores de losas cuya relación de lados es menor de dos, para lo cual se determina en este caso como espesor mínimo 125 mm; no obstante es necesario cumplir con las estipulaciones dadas en la tabla C.9.5(c) del mismo numeral, para lo cual se establece la siguiente condición:

Espesor mínimo de losas sin ábacos = $h = \frac{ln}{33}$

- Tipo 1 (Placa superior cuarto de máquinas)

$$h = \frac{ln}{33} = \frac{3{,}77}{33} = 0.11 \text{ m} \quad \text{(Espesor adoptado = 0.15 m)}$$

- Tipo 2 (Losa típica de piso)

Para la determinación del **ln** se adopta la longitud mayor de entre todas las losas, para que el espesor sea igual en todos los paneles en los que se aplique el sistema de dos direcciones, esto con el fin de facilitar el proceso constructivo y por la estética de la edificación. Así mismo se adopta como **ln** la distancia entre ejes del panel debido a que no se conoce el ancho definitivo de las vigas, igualmente al hacer esto se tomaría como un diseño más conservador.

$$ln = 7.54\ m \qquad h = \frac{ln}{33} = \frac{7.54}{33} = 0.228\ m \text{ Espesor adoptado} = 0.25\ m$$

7.1.1.2 Losas macizas en una dirección. Debido a las dimensiones dealgunas de las losas y por las consideraciones dadas en la NSR-10, se determina elaborar el diseño de losas en una dirección cuando se requiriera de acuerdo a la condición dada en el numeral C.13.1.6.

En la tabla CR.9.5 de la NSR-10, se adoptan una serie de valores que determinan los espesores mínimos para lozas macizas en una dirección, para cuando existen muros divisorios en mampostería, de acuerdo a la condición de los apoyos; para los cuales sus valores son:

- Tipo 1

(Losa A-2)

Espesor mínimo para elementos simplemente apoyados= $\frac{l}{14} = \frac{2.15}{14} = 0.15\ m$

(Losa A-3)

Espesor mínimo para elementos en voladizo = $\frac{l}{7} = \frac{1.205}{7} = 0.17\ m$

Espesor Adoptado = 0.20 m

- Tipo 2

(Losa A-11)

Espesor mínimo para elementos en voladizo = $\frac{l}{7} = \frac{0.95}{7} = 0.14\ m$

Espesor Adoptado = 0.15 m

7.1.1.3 Escaleras. A pesar de que el diseño de la escalera se adopta como una losa maciza en una dirección, es preciso apartarlo de las diferentes losas por lo menos en lo que se refiere al predimensionamiento y evaluaciones de carga. En

esta edificación se presentan dos tipos de escalera, una típica en los pisos del dos al seis, y otra existente únicamente como acceso del sexto piso al altillo.

➢ **Tipo 1 L= 4.9 m H = 2.83 m.** Para poder empezar con el diseño de la escalera es necesario realizar un cálculo para determinar la cantidad de escalones que va a tener la escalera y sus dimensiones, así mismo el espesor de la losa y la inclinación en la que va a estar ubicada la escalera.

Huella. Para el cálculo de la dimensión de la huella se da un valor estimativo del espacio que se quiere adoptar para la huella, teniendo en cuenta las consideraciones que se enuncian en el titulo K de la norma sismo resiste NSR-10, referentes al ancho de la huella.

Ancho de la huella tipo adoptado = 0.3 m
Ancho de la huella de escalones para cambio de dirección = 0.42 m

Contrahuella. De la misma forma como se realizó el dimensionamiento de la huella se adopta un valor que cumpla con los criterios referidos en la NSR-10 de la altura de la contrahuella, teniendo en cuenta que el valor adoptado sea acorde a obtener una inclinación adecuada de la escalera.

Altura de la contrahuella tipo adoptado = 0.177 m
Altura de la contrahuella de escalones para cambio el dirección = 0.177m

Espesor de la losa. Para el espesor de la losa se determina teniendo en cuenta la escalera como una losa maciza en una dirección, simplemente apoyada. Entonces, t = l/20 = 4.9/20 = 0.245 m ≈ 0.25 m.

Inclinación.

$$\text{Tan}\theta = 0.177 / 0.30$$

$$\theta = \tan^{-1} 0.177/0.30 = 30.54°$$

- **Tipo 2 L = 5.54 m H = 2.83 m.** De igual manera como se dimensiona la tipo 1, se obtienen los siguientes resultados:

Huella.
Ancho de la huella tipo adoptado = 0.28 m
Ancho de la huella de escalones para cambio de dirección = 0.41 m

Contrahuella.
Altura de la contrahuella tipo adoptado = 0.16 m
Altura de la contrahuella de escalones para cambio de dirección = 0.16 m

Espesor de la losa. t= l/20 =5.54/20 = 0.277 m ≈0.28 m
Inclinación.

$$\text{Tan}\theta = 0.16/0.28$$

$$\theta = \tan^{-1} 0.16/0.28 = 29.745°$$

7.1.2 Losas Aligeradas

7.1.2.1 Losas Aligeradas en dos direcciones. Para el predimensionamiento se tiene en cuenta la exigencia de la NSR-10 en C.8.13.2 en el cual se expresa que "El ancho de las nervaduras no debe ser menor de 100 mm en su parte superior y su ancho promedio no puede ser menor de 80 mm; y debe tener una altura no mayor de 5 veces su ancho promedio. Así que se utiliza el valor de 100mm exigido que se puede subir dependiendo las exigencias del diseño pero en este caso se diseñó con dicho valor.

Ancho de las nervaduras adoptado = <u>100 mm</u>

En cuando al espesor de la losa, se adoptan los mismos dimensionamientos que en las losas macizas en dos direcciones, los cuales fueron enunciados anteriormente por lo tanto el espesor adoptado de la losa será de:

- Tipo 1 $h = \frac{ln}{5} = \frac{0.93}{5} = 0.18$ m

Espesor adoptado = 0.20 m

- Tipo 2 (Losa típica de piso) ln = 7.54 m $h = \frac{ln}{33} = \frac{7.54}{33} = 0.228$ m

Espesor adoptado = 0.25 m

Según C.8.13.3 es necesario tener en cuenta para losas nervadas en dos direcciones, que la separación máxima entre nervios, medida centro a centro, no puede ser mayor que 3.5 veces el espesor total de la losa, sin exceder 1.5 m.

- Tipo 1 Separación máxima viguetas = 3,5 x 0,25 = 0,875 m.

Separación Adoptada = 0,8 m

- Tipo 2 Separación máxima viguetas = 3,5 x 0,25 = 0,875 m.

Separación Adoptada = 0,8 m

Además se debe cumplir con C.8.13.5.2 en el cual se exige que la porción vaciada en sitio de la loseta superior debe tener al menos 45 mm de espesor, pero esta no debe ser menor de 1/20 de la distancia libre entre nervios.

Espesor mínimo loseta superior = 1/20*0,8 m = 0,04 m

Espesor loseta superior adoptado =0,05 m

7.1.2.2 Losas aligeradas en una dirección. Referente a la base de las viguetas se tiene en cuenta la misma consideración adoptada anteriormente para losas aligeradas en dos direcciones, por lo cual la base adoptada será de 100 mm.

Teniendo en cuenta la tabla 9.5 de la NSR-10, se puede obtener el espesor de la losa aligerada en una dirección, además con relación a los apoyos y a su vez existan muros divisorios de mampostería.

- Tipo 1h = $\frac{ln}{11} = \frac{2.03}{11} =$ 0.184 m (Espesor adoptado = 0.20 m)

h = $\frac{ln}{5} = \frac{0.95}{5} =$ 0.19 m (Espesor adoptado = 0.20 m)

- Tipo 2 h = $\frac{ln}{5} = \frac{1.25}{5} =$ 0.24 m (Espesor adoptado = 0.25 m)

Referente a la separación entre nervios, para las losas aligeradas en una dirección la separación máxima entre viguetas medida entre ejes no puede ser mayor de 2.5 veces el espesor total de la losa sin sobrepasar 1.2m.

- Tipo 1Separación máxima = 2.5 x 0.2 = 0.5 m

- Tipo 2 Separación máxima = 2.5 x 0.25 = 0.625 m

7.1.3 Vigas

7.1.3.1 Predimensionamiento de vigas para análisis gravitacional. De acuerdo a la NSR-10, en la tabla C.9.5(a), se determinan una serie de alturas mínimas para vigas no pre-esforzadas, de acuerdo a la condición que este más acorde, de las cuales se adoptan las vigas simplemente apoyadas, debido a que es el espesor más conservador ya que no se conocerán las condiciones de en las que se procedería a construir el edificio. La altura adoptada se toma de acuerdo a la longitud total que tuviera cada viga, de la siguiente manera:

Altura mínima = l/16

En cuanto a la base mínima que debe tener una viga, la NSR-10 solamente determina un ancho mínimo para vigas, en el titulo C.21, en el cual se definen los

requerimientos para el diseño sísmico de acuerdo a la zona sísmica de la edificación, sin embargo este requisito queda excluido debido a que este diseño no incluye ninguna clase de asignación de carácter sísmico por tratarse de un diseño por gravedad.

7.1.3.2 Predimensionamiento de vigas para análisis dinámico. En cuanto a la determinación de la altura mínima de vigas se tiene en cuenta el mismo criterio que se enuncia en el numeral anterior referente al predimensionamiento para un análisis por gravedad, por lo tanto la altura mínima está definida por h = l/33.

Por otra parte de acuerdo al título C.21 de la NSR-10, en la sección de referencia para vigas con capacidad moderada de energía (DMO), determina que el ancho de la base de la sección de viga no debe ser menor a 200 mm.

Base mínima = 0.2 m

7.1.4 Columnas

7.1.4.1 Predimensionamiento de columnas para análisis gravitacional. De igual manera a las especificaciones dadas para alturas de vigas, la NSR-10 únicamente presenta un dimensionamiento de columnas en el titulo C.21, por lo cual no se tomara en cuenta para el diseño por gravedad, por lo cual se define como sección mínima de columnas 0.20 m x 0.20 m.

7.1.4.2 Predimensionamiento de columnas para análisis dinámico. De acuerdo al título C.21 de la NSR-10, para columnas de disipación de energía moderada (DMO), “la dimensión menor de la sección transversal, medida desde una línea recta que pasa a través del cancroide geométrico, no debe ser menor de 250 mm. Las columnas en forma de T, C o I pueden tener una dimensión mínima de 0.20 m pero su área no puede ser menor de 0.0625 m^2”. De acuerdo a lo anterior se adopta la siguiente consideración.

Base y altura de columna = $\sqrt{0.0625\ m^2}$ = 0.25 m

7.2 EVALUACION DE CARGAS

A continuación se encuentra la descripción y asignación de las cargas que se adoptan para el diseño de placas de entrepiso, así como también para el desarrollo de la modelación de cada una de las cuatro estructuras.

7.2.1 Cargas Muertas (D)

7.2.1.1 Ascensor. La carga que se determina para el ascensor es de 1 Tonelada la cual va soportada en una placa de piso en el altillo con una área bruta de 2.4 m^2 por lo cual la carga muerta del ascensor será.

Carga por peso de ascensor = 1000kg x 9.8 m/s^2= 9800N = 9.8 KN / 2.4 m^2 = 4.08 KN/m^2

7.2.1.2 Cubierta. De acuerdo a las recomendaciones dadas en el titulo B de la NSR-10, el valor adoptado para cubiertas corrugadas de asbesto cemento es de 0.2 kN/m2.

7.2.1.3 Muros. Para la evaluación del peso en los muros por cada piso, se elabora un análisis de acuerdo a la distribución arquitectónica de la edificación y de esta manera ser más asertivo en lo que se refiere a la carga muerta proveniente de los muros y distribuida en las losas, así como también para los muros exteriores, los cuales van apoyados sobre vigas. A continuación se encuentra las cargas determinadas por piso y la evaluación de las cargas para los muros externos, sin embargo en el Anexo 1 del presente libro se encuentra una descripción más detallada del cálculo de estas cargas.

Tabla 1. Carga muerta de muros para placas de piso.

Piso	Carga	
2	2.18	KN/m^2
3, 4, 5	2.24	KN/m^2
6	2.67	KN/m^2
Altillo	2.2	KN/m^2

Fuente: Autores

Tabla 2. Carga muerta de muros para vigas exteriores

DISTRIBUCION DE CARGA LINEAL POR PORTICO		
PORTICO 1 Y 6		
Localización		Peso (KN/m)
Piso	Entre ejes	
2, 3, 4, 5, 6	A-B	2.68
ALTILLO	A-B	1.65
2, 3, 4, 5, 6	F-G	2.68
ALTILLO	F-G	1.65
2, 3, 4, 5	B-C	1.51
6	B-C	1.09
ALTILLO	B-C	0.83
2, 3, 4, 5	E-F	1.51
6	E-F	1.09
ALTILLO	E-F	0.83
2, 3, 4, 5	C-D	2.13
2, 3, 4, 5	D-E	2.13
PORTICO 3 Y 4		
Localización		Peso (KN/m)
Piso	Entre ejes	
2, 3, 4, 5, 6	A-B	3.30
ALTILLO	A-B	1.65
2, 3, 4, 5, 6	F-G	3.30
ALTILLO	F-G	1.65
2, 3, 4, 5, 6, ALTILLO	C-D	3.32
2, 3, 4, 5, 6, ALTILLO	D-E	3.32
PORTICO A Y G		

PORTICO B2 Y E1		
Localización		Peso (KN/m)
Piso	Entre ejes	
ALTILLO	1-3	4.26
ALTILLO	4-6	4.26
ALTILLO	3-4	1.77
PORTICO B Y F		
Localización		Peso (KN/m)
Piso	Entre ejes	
2, 3, 4, 5, 6	3-4	4.26
ALTILLO	3-4	1.65
PORTICO B1 Y E2		
Localización		Peso (KN/m)
Piso	Entre ejes	
2,3,4,5,6	3-4	2.30
ALTILLO	3-4	1.65
PORTICO C-E		

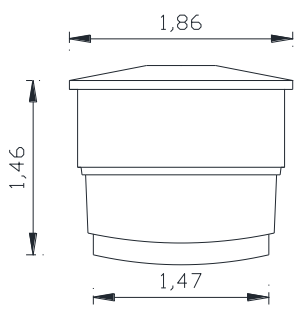
Localización		Peso (KN/m)
Piso	Entre ejes	
2, 3, 4, 5, 6	1-3 y 4-6	4.26
ALTILLO	1-3 y 4-6	1.65

Localización		Peso (KN/m)
Piso	Entre ejes	
2, 3, 4, 5, 6, ALTILLO	3-4	3.36

Fuente: Autores

7.2.1.4 Tanques de almacenamiento. Para la determinación del peso propio de los tanques se toma a consideración que para esta edificación se van a utilizar 4 tanques de almacenamiento cada uno con capacidad de 3000 L, cuyas especificaciones se encuentran a continuación, divididos en dos placas de piso con un área bruta de 11.89 m cada una.

Gráfica 3 Tanque de Almacenamiento



Comentado [ING.WM8]: y la figura ####???????????

- Peso del Agua por placa

$$3000\ L = 3\ m^3\ 3\ m^3 \times 2\ \text{Tanques por placa} = 6\ m^3$$

$$\text{Peso específico del agua} = \frac{W}{V} = 10\ \frac{KN}{m^3}$$

$$\text{Peso Total del Agua} = 10\ \frac{KN}{m^3} \times 6\ m^3 = 60\ KN$$

- Peso Propio del tanque. De acuerdo a las especificaciones dadas por Ajover para tanques multiusos doble capa de 3000 L el peso de cada tanque es de 72.3 Kg.

Peso propio tanque vacío = 72.3 Kg x 2 Tanques = 144.6 Kg x 9.8 m/s^2 = 1417.08 N = 1.41 KN

Entonces,

Peso total tanque por placa = 60KN + 1.41KN = 61.41 KN/ 11.89 m^2 = 5.16 KN/m^2

7.2.1.5 Losas macizas. De acuerdo a las evaluaciones mencionadas en este capítulo del libro, además de ciertas consideraciones adoptadas de acuerdo a la NSR-10, las cargas muertas adoptadas en el diseño de las losas y en las modelaciones 02 y 04, que corresponden a el análisis gravitacional y dinámico con losas macizas, se encuentran a continuación, a excepción de la escalera y el tanque elevado las cuáles serán las mismas en los cuatro modelos.

Tabla 3. Evaluación de carga muerta losa maciza E=0.25

LOSA MACIZA E=0.25					
Piso	Baldosa cerámica 20 mm sobre 15 mm de mortero	Afinado inferior 15 mm	Muro en bloque	Peso propio de la losa	PESO TOTAL
	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2
Altillo	0.86	0.32	2.2	6	9.38
6	0.86	0.32	2.67	6	9.85
3, 4, 5	0.86	0.32	2.24	6	9.42
2	0.86	0.32	2.18	6	9.36

Fuente: Autores

Tabla 4. Evaluación de carga muerta losa maciza E=0.20

LOSA MACIZA E=0.2					
Piso	Baldosa cerámica 20 mm sobre 15 mm de mortero	Afinado inferior 15 mm	Muro en bloque	Peso propio de la losa	PESO TOTAL
	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2
6	0.86	0.32	2.67	4.8	8.65

3, 4, 5	0.86	0.32	2.24	4.8	8.22
2	0.86	0.32	2.18	4.8	8.16

Fuente: Autores

Tabla 5. Evaluación de carga muerta losa maciza E=0.15

LOSA MACIZA E=0.15			
Piso	Baldosa cerámica 20 mm sobre 15 mm de mortero	Peso propio de la losa	PESO TOTAL
	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2
Altillo	0.86	3.6	4.46
6	0.86	3.6	4.46
3, 4, 5	0.86	3.6	4.46
2	0.86	3.6	4.46

Fuente: Autores

Comentado [ING.WM9]: Unificar posición

Tabla 6. Evaluación de carga muerta losa maciza ascensor

LOSA MACIZA E=0.25 ASCENSOR				
Piso	Afinado de piso 20mm	Peso propio de la losa	Peso propio de ascensor	PESO TOTAL
	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2
Altillo	0.42	6	4.06	10.48

Fuente: Autores

Tabla 7. Evaluación de carga muerta losa maciza tanque elevado

LOSA MACIZA E=0.20 TANQUE ELEVADO			
Piso	Peso propio de la losa	Peso propio del tanque	PESO TOTAL
	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2
	4.8	5.16	9.96

Fuente: Autores

7.2.1.6 Escalera. De acuerdo a los dimensionamientos anteriormente enunciados referente a las escaleras la evaluación de cargas de las escaleras se elabora de la siguiente manera.

Tabla 8. Resumen dimensionamiento de escaleras

	TIPO 1		TIPO 2		
Huella	0.3	0.42	0.28	0.41	m
Contrahuella	0.177	0.177	0.16	0.16	m
Espesor losa	0.25		0.28		m
Longitud escalera	4.9		5.54		m
Altura escalera	2.83		2.83		m
Inclinación	30.54		29.74		°

Fuente: Autores

- Peso propio de la losa: $\frac{\text{espesor de la losa} * \text{peso específico concreto}}{\cos \alpha}$

- Peldaños: $\frac{\text{área de peldaño} * \text{peso específico concreto}}{\text{separación peldaños}}$

- Acabado de peldaños:

$$\frac{\text{perímetro peldaño}*\text{espesor acabado}*\text{peso específico concreto pobre}}{\text{separación peldaños}}$$

- Afinado inferior en pañete: $\frac{\text{espesor pañete}*\text{peso específico concreto pobre}}{\cos\alpha}$

Tabla 9. Evaluación de carga muerta escaleras

Comentado [ING.WM10]: Unificar posicion

	TIPO 1	TIPO 2	
Peso Propio losa =	6.966	7.740	KN/m^2
De peldaños =	2.124	1.920	KN/m^2

Acabado en granito peldaños =	0.668	0.660	KN/m^2
Afinado inferior en pañete =	0.488	0.488	KN/m^2
TOTAL CARGA MUERTA	**10.246**	**10.804**	**KN/m^2**

Fuente: Autores

Comentado [ING.WM11]: unifiacar

7.2.1.7 Losas aligeradas. Teniendo en cuenta consideraciones que se enunciaron anteriormente, así como también siguiendo algunas estipulaciones dadas en la NSR-10, a continuación se encuentra el consolidado de cargas muertas concernientes a cada tipo de losa las cuales son utilizadas en la modelación 01 y 03 que pertenecen a el análisis gravitacional y el análisis dinámico de losas aligeradas.

Tabla 10. Evaluación de carga muerta losa aligerada E=0.25

LOSA ALIGERADA E=0.25							
Piso	Baldosa cerámica 20 mm sobre 15 mm de mortero	Cielo raso Drywall 12.5 mm	Muro en bloque	Peso casetón	Peso propio losa	Peso propio vigueta	PESO TOTAL
	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2
Altillo	0.86	0.1	2.2	0.35	1.2	0.75	5.46
6	0.86	0.1	2.67	0.35	1.2	0.75	5.93
3, 4, 5	0.86	0.1	2.24	0.35	1.2	0.75	5.5
2	0.86	0.1	2.18	0.35	1.2	0.75	5.44

Fuente: Autores

Tabla 11. Evaluación de carga muerta losa aligerada E=0.2

LOSA ALIGERADA E=0.2							
Piso	Baldosa cerámica 20 mm sobre 15 mm de mortero	Cielo raso Drywall 12.5 mm	Muro en bloque	Peso casetón	peso propio losa	peso propio vigueta	PESO TOTAL
	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2	kN/m^2
Altillo	0.86	0.1	2.2	0.35	1.2	0.6	5.31

6	0.86	0.1	2.67	0.35	1.2	0.6	5.78
3, 4, 5	0.86	0.1	2.24	0.35	1.2	0.6	5.35
2	0.86	0.1	2.18	0.35	1.2	0.6	5.29
Balcones	0.86	0.1		0.35	1.2	0.6	3.11

Fuente: Autores

7.2.2 Cargas Vivas

7.2.2.1 Carga Viva (L). Las cargas vivas a utilizar para uso residencial según las recomendaciones de la NSR-10 serán de:

Tabla 12. Cargas vivas para uso residencial

CARGAS VIVAS USO RESIDENCIAL		
Balcones	5	kN/m^2
Cuartos privados y sus corredores	1.8	kN/m^2
Escaleras	3	kN/m^2

Fuente: NSR-10

7.2.2.2 Ascensor. La capacidad del ascensor que se adoptó para el diseño es para seis personas con un peso máximo total de 450 kg, es decir que para la placa de soporte del ascensor con un área bruta de 2.4 m^2, la carga viva será de 1.84 kN/m^2, sin embargo se adoptó el valor de carga viva de balcones 5 kN/m^2, que está estipulado en la NSR-10. Además de esto, la norma exige que se le adicione a la carga viva un factor de impacto igual al 100% de la misma. Entonces el valor de carga viva para la placa del ascensor será de 10 kN/m^2.

7.2.2.3 Carga De Granizo (G). De acuerdo a las recomendaciones de la NSR-10 para lugares que se encuentren ubicados a más de 2000 metros de altura sobre el nivel del mar, se debe tener en cuenta los efectos de granizo, para lo cual su valor es de 1 kN/m^2.

7.2.2.4 Carga de empozamiento (Le). La carga de empozamiento de agua se determinó para una lámina de agua igual a 0.05 m, por lo cual la carga será de 10 kN/m^3 x 0.05 m = 0.5 kN/m^2.

7.2.2.5 Carga viva de cubierta (Lr). De acuerdo a la NSR-10 para cubiertas inclinadas con pendientes de 15° o menos, el valor adoptado de carga viva es de 0.5 kN/m^2.

7.3 COEFICIENTE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

Para la edificación que se utiliza en la realización de este trabajo como cualquier otra en la que se haga necesario un análisis sísmico, las fuerzas sísmicas obtenidas del análisis se reducen dividiéndolas por el coeficiente de capacidad de energía correspondiente al sistema estructural de resistencia sísmica. El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño y está conformado por el coeficiente de disipación básico, Ro, al cual luego es necesario multiplicarlo por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades tanto en altura como en planta y por ausencia de redundancia del sistema estructural de resistencia $R=(\phi a, \phi p, \phi r R_o)$ El diseño de los elementos y de la conexiones se realiza cumpliendo los requerimientos para el grado de capacidad de disipación de energía correspondiente al material. Estas fuerzas obtenidas siguiendo el procedimiento son fuerzas de diseño que corresponden a fuerzas mayoradas que ya han sido multiplicados por su respectivo factor.

En primera instancia se observa que el sistema es redundante ya que tiene varios ejes con elementos estructurales que hacen más rígido el edificio y por tanto el valor de ϕr es de 1. Otro parámetro es ϕp para el cual uno de los criterios a revisar

es que no hallan excesivos retrocesos en estas esquinas lo cual en la edificación no pasa, también se debe constatar que no hallan irregularidades en lo que respecta al diafragma uno de los casos se puede descartar pues las plantas no tienen dicha forma, pero el segundo es necesario constatarlo con la siguiente expresión.$C * D + C * E > 0{,}5 * A * B$, por ende,

$$6.0728 + 72.1456 + 52.864 = 161.082 < 901.043$$

Por lo cual no cumple con este parámetro ya que el área total es de 901,0431mpara el segundo piso; aunque con una simple inspección se puede observar que los vanos no son mayores a la mitad del área de la planta completa y por tanto ϕp=1 Así se siguieron comprobando los casos recomendados por la NSR-10 para tener en cuenta que casos se cumplen y se encontró que solo cumple con la irregularidad en altura debido a las características que tiene el altillo de sus longitudes.

Luego falta buscar el coeficiente R_o que se le asigna a cada tipo de sistema estructural y las combinaciones que se pueden hacer; por tal motivo se tomó de la NSR-10 en la tabla A-3-3 el valor correspondiente a Ro que es de 5 para pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía

Posteriormente se hizo el cálculo de R = $(\emptyset a, \emptyset p, \emptyset r\ Ro) = (0.9 * 1 * 1 * 5) = 4.5$

Por lo cual el valor de fuerzas sísmicas reducidas de diseño (E=Fs/R) es igual a 0,22E.Este valor se usa en el modelo dinámico para reducir las fuerzas de los combos de diseños en un sentido se utiliza el 100% de las fueras y en el otro el 30% suponiendo que el sismo no llega totalmente en una dirección.

7.4 ESPECTRO DE DISEÑO

Para el desarrollo del proyecto por el método de Análisis Dinámico Elástico Espectral, se requiere el desarrollo del espectro elástico de aceleraciones de diseño, para así determinar el valor de Sa correspondiente para el periodo fundamental de la edificación, con el fin de calcular el cortante sísmico en la base.

De acuerdo a las consideraciones iníciales del proyecto en lo que referencia a tipo de suelo TIPO C, al grupo de uso I y la ciudad Tunja, se determinaron los siguientes valores para el espectro de diseño, acorde a lo enunciado en la NSR-10.

- Zona de amenaza sísmica: INTERMEDIA (DMO).
- Coeficiente de importancia: 1.00
- Aa: 0.20Av: 0.2
- Fa: 1.2Fv: 1.6

De acuerdo a lo anterior los valores de corte de To, Tc, Tl

$$T0 = 0.1\frac{Av * Fv}{Aa * Fa} = 0.1\frac{0.2 * 1.6}{0.2 * 1.2} = 0.133\ s$$

$$Tc = 0.48\frac{Av * Fv}{Aa * Fa} = 0.48\frac{0.2 * 1.6}{0.2 * 1.2} = \ 0.64\ s$$

$$TL = 2.4 * Fv = 2.4 * 1.6 = \ 3.84\ s$$

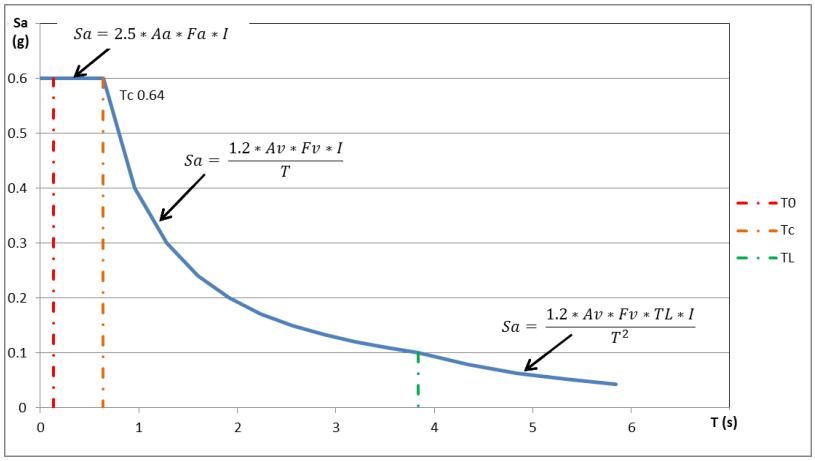
Tabla 13. Valores de S_a respecto al periodo T

T (s)	Sa (g)
To= 0,133	0,600
Tc = 0,64	0,600
0,65	0,591
0,8	0,480
1	0,384
1,5	0,256
3	0,128

TL = 3,84	0,100
3,9	0,097
4,4	0,076
4,8	0,064
5	0,059

Fuente: Autores

Gráfica 4 Espectro de aceleraciones



Fuente: NSR-10

7.5 COMBINACIONES DE CARGA

7.5.1 Combinaciones de diseño para losas de entrepiso. De acuerdo a la NSR-10, La resistencia requerida U debe tenerse en cuenta para la mayoración de las cargas, de acuerdo a la que se adecue al tipo de diseño a realizar, por ello al ser un diseño de losas solamente para que soporten cargas gravitacionales, se establecieron dos combinaciones de diseño.

U = 1.4 (D+F) **y** **U = 1.2 (D+F+T) + 1.6 (L+H)**

7.5.2 Combinaciones para análisis gravitacional. A partir de las combinaciones encontradas en el titulo B.2.4.2 de la NSR-10, para el diseño por análisis gravitacional se definieron los siguientes combos:

Tabla 14. Combos de diseño para análisis gravitacional

Asignación	Combo
DISEÑO 1	1.2D + 1.6L + 0.5Lr
DISEÑO 2	1.2D + 1.6L + 0.5G
DISEÑO 3	1.2D + 1.6L + 0.5Le
DISEÑO 4	1.2D +1L+ 1.6Lr
DISEÑO 5	1.2D + 1L + 1.6 Le
DISEÑO 6	1.2D + 1L + 1.6G
DISEÑO 7	1.4 D
DISEÑO 8	1.2D + 1L + 0.5G
DISEÑO 9	1.2D + 1L + 0.5Lr
DISEÑO 10	1.2D + 1L + 0.5Le
DISEÑO 11	1.2D + 1L
DISEÑO 12	1.2D
DISEÑO 13	0.9D

Fuente: Autores

7.5.3 Combinaciones de diseño para análisis dinámico. De igual manera de las combinaciones de análisis gravitacional, se tienen en cuenta las combinaciones básicas enunciadas en el titulo B de la NSR-10, en este caso tomando a consideración los efectos sísmicos sobre la estructura y cada una de sus variaciones incluyendo efectos ortogonales, a continuación se encuentran los combos aplicables para diseño de cortante y flexión de cada uno de los elementos estructurales, así como también para revisión de derivas.

Tabla 15. Combinaciones de diseño a flexión para análisis dinámico

Asignación	Combo	Asignación	Combo
DISFLEX1	1.4D	DISFLEX15	1.2D +1 L + 0.066Ex + 0.22Ey
DISFLEX2	1.2D +1.6L + 0.5Lr	DISFLEX16	1.2D +1 L - 0.066Ex + 0.22Ey
DISFLEX3	1.2D +1.6L + 0.5G	DISFLEX17	1.2D +1 L - 0.066Ex - 0.22Ey
DISFLEX4	1.2D +1.6L + 0.5Le	DISFLEX18	1.2D +1 L + 0.066Ex - 0.22Ey
DISFLEX5	1.2D +1 L + 1.6Le	DISFLEX19	0.9D + 0.22Ex + 0.066Ey
DISFLEX6	1.2D + 1 L + 1.6G	DISFLEX20	0.9D - 0.22Ex + 0.066Ey
DISFLEX7	1.2D + 1 L + 1.6Lr	DISFLEX21	0.9D - 0.22Ex - 0.066Ey
DISFLEX8	1.2D + 1 L + 0.5Le	DISFLEX22	0.9D + 0.22Ex - 0.066Ey
DISFLEX9	1.2D + 1 L + 0.5G	DISFLEX23	0.9D + 0.066Ex + 0.22Ey
DISFLEX10	1.2D + 1 L + 0.5Lr	DISFLEX24	0.9D - 0.066Ex + 0.22Ey
DISFLEX11	1.2D +1 L - 0.22Ex+ 0.066Ey	DISFLEX25	0.9D - 0.066Ex - 0.22Ey
DISFLEX12	1.2D +1 L - 0.22Ex+ 0.066Ey	DISFLEX26	0.9D + 0.066Ex - 0.22Ey
DISFLEX13	1.2D +1 L - 0.22Ex – 0.066Ey	DISFLEX27	0.9D
DISFLEX14	1.2D +1 L + 0.22Ex – 0.066Ey		

Fuente: Autores

Tabla 16. Combinaciones de diseño a cortante en vigas para análisis dinámico

Asignación	Combo	Asignación	Combo
CORTVIG1	1.4D	CORTVIG15	1.2D +1 L + 0.132Ex + 0.44Ey
CORTVIG2	1.2D +1.6L + 0.5Lr	CORTVIG16	1.2D +1 L - 0.132Ex + 0.44Ey
CORTVIG3	1.2D +1.6L + 0.5G	CORTVIG17	1.2D +1 L - 0.132Ex - 0.44Ey
CORTVIG4	1.2D +1.6L + 0.5Le	CORTVIG18	1.2D +1 L + 0.132Ex - 0.44Ey
CORTVIG5	1.2D + 1 L + 1.6Le	CORTVIG19	0.9D + 0.44Ex + 0.132Ey
CORTVIG6	1.2D + 1 L + 1.6G	CORTVIG20	0.9D - 0.44Ex + 0.132Ey
CORTVIG7	1.2D + 1 L + 1.6Lr	CORTVIG21	0.9D - 0.44Ex - 0.132Ey
CORTVIG8	1.2D + 1 L + 0.5Le	CORTVIG22	0.9D + 0.44Ex - 0.132Ey
CORTVIG9	1.2D + 1 L + 0.5G	CORTVIG23	0.9D + 0.132Ex + 0.44Ey

CORTVIG10	1.2D + 1 L + 0.5Lr	CORTVIG24	0.9D - 0.132Ex + 0.44Ey
CORTVIG11	1.2D +1 L - 0.44Ex+ 0132Ey	CORTVIG25	0.9D - 0.132Ex - 0.44Ey
CORTVIG12	1.2D +1 L - 0.44Ex+ 0.132Ey	CORTVIG26	0.9D + 0.132Ex - 0.44Ey
CORTVIG13	1.2D +1 L - 0.44Ex - 0.132Ey	CORTVIG27	0.9D
CORTVIG14	1.2D +1 L + 0.44Ex - 0.132Ey		

Fuente: Autores

Tabla 17. Combinaciones de diseño a cortante en columnas para análisis dinámico.

Asignación	Combo	Asignación	Combo
CORTCOL1	1.4D	CORTCOL15	1.2D +1 L + 0.198Ex + 0.66Ey
CORTCOL2	1.2D +1.6L + 0.5Lr	CORTCOL16	1.2D +1 L - 0.198Ex + 0.66Ey
CORTCOL3	1.2D +1.6L + 0.5G	CORTCOL17	1.2D +1 L - 0.198Ex - 0.66Ey
CORTCOL4	1.2D +1.6L + 0.5Le	CORTCOL18	1.2D +1 L + 0.198Ex - 0.66Ey
CORTCOL5	1.2D + 1 L + 1.6Le	CORTCOL19	0.9D + 0.66Ex + 0.198Ey
CORTCOL6	1.2D + 1 L + 1.6G	CORTCOL20	0.9D - 0.66Ex + 0.198Ey
CORTCOL7	1.2D + 1 L + 1.6Lr	CORTCOL21	0.9D - 0.66Ex - 0.198Ey
CORTCOL8	1.2D + 1 L + 0.5Le	CORTCOL22	0.9D + 0.66Ex - 0.198Ey
CORTCOL9	1.2D + 1 L + 0.5G	CORTCOL23	0.9D + 0.198Ex + 0.66Ey
CORTCOL10	1.2D + 1 L + 0.5Lr	CORTCOL24	0.9D - 0.198Ex + 0.66Ey
CORTCOL11	1.2D +1 L - 0.66Ex+ 0.198Ey	CORTCOL25	0.9D - 0.198Ex - 0.66Ey
CORTCOL12	1.2D +1 L - 0.66Ex+ 0.198Ey	CORTCOL26	0.9D + 0.198Ex - 0.66Ey
CORTCOL13	1.2D +1 L - 0.66Ex - 0.198Ey	CORTCOL27	0.9D
CORTCOL14	1.2D +1 L + 0.66Ex - 0.198Ey		

Fuente: Autores

Tabla 18. Combinaciones de verificación de derivas

Asignación	Combo	Asignación	Combo
DERIVA1	1.2D + 1.6L + 0.5Lr	DERIVA11	1.2D + 1L + Ex
DERIVA2	1.2D + 1.6L + 0.5G	DERIVA12	1.2D + 1L– Ex

DERIVA3	1.2D+ 1.6L + 0.5Le	DERIVA13	1.2D + 1L + Ey
DERIVA4	1.2D +1L+ 1.6Lr	DERIVA14	1.2D + 1L – Ey
DERIVA5	1.2D + 1L + 1.6 Le	DERIVA15	0.9D
DERIVA6	1.2D + 1L + 1.6G	DERIVA16	0.9D+Ex
DERIVA7	1.4 D	DERIVA17	0.9D-Ex
DERIVA8	1.2D + 1L + 0.5G	DERIVA18	0.9D + Ey
DERIVA9	1.2D + 1L + 0.5Lr	DERIVA19	0.9 – Ey
DERIVA 10	1.2D + 1L + 0.5Le		

Fuente: Autores

7.6 DISEÑO DE LOSAS

El diseño de las losas se basa en las consideraciones dadas en la NSR-10, que es la normatividad vigente en nuestro país en materia de diseño de estructuras; en esta sección del libro se proporcionan las especificaciones generales de diseño para losas macizas en una y dos direcciones, así como para losas aligeradas en una y dos direcciones. Dentro del anexo 2.1 que se incluye dentro de este documento se encuentra el procedimiento de diseño de una losa de cada tipo, ya que el diseño de las demás se basa en los mismos criterios, así mismo se encuentra, la tipificación de las losas para la distribución en planta, con sus respectivas cargas de diseño, resultados de refuerzo y despieces típicos de las losas.

7.6.1 Procedimiento de diseño

7.6.1.1 Losas en dos direcciones. El diseño de las losas de entrepiso se realiza mediante el procedimiento dado en la Norma Colombiana de Sismo Resistencia (NSR-10), en el capítulo C.9.13 – Losas en dos direcciones apoyadas sobre muros o vigas rígidas, por el método de los coeficientes.

Como primera medida se determina el caso al que corresponde la losa y se calcula la relación de sus lados **m,** para así determinar los coeficientes que pertenecen a la losa para momento negativo, momento positivo para carga viva, momento negativo para carga muerta y cortante (Tablas C.13.9-1, C.13.9-2 y C.13.9-3 C.13.9-4 NSR-10, respectivamente).

Al obtener los coeficientes se continua calculando el respectivo momento, de acuerdo al C.13.9.6 para la franja central y C.13.9.7 para franjas de columna.

Conforme a la NSR-10, los momentos de diseño en la franja central deben calcularse utilizando las tablas C.13.9-1 a C.13.9-3, utilizando las siguientes ecuaciones y los momentos de diseño en la franja de columnas debe reducirse gradualmente de su valor total **M_{as}**o **M_{bs}** en el límite de la franja central a 1/3 de estos valores en el borde del panel.

$$M_{as} = C_{a,j} q_j l_{na}^2 M_{bs} = C_{b,j} q_j l_{nb}^2$$

Asi mismo, la fuerza cortante se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Vu = q_a * W_a * \frac{l_a}{2} \qquad Vu = q_b * W_b * \frac{l_b}{2}$$

La resistencia del concreto de acuerdo a la NSR-10 en el numeral C.11.2.1.1, para elementos sometidos únicamente a cortante y flexión.

$$\phi Vc = \phi * 0.17 * \sqrt{F'c} * b * d$$

La resistencia del acero de acuerdo al numeral C.11.1.1 de la NSR-10:

$$\phi \mathrm{Vn} \geq \mathrm{Vu}$$

$$\phi Vn = \phi Vc + \phi Vs \qquad \phi Vs = Vu - \phi Vc$$

7.6.1.2 Losas en una dirección. De acuerdo con las longitudes de las losas es necesario en ocasiones diseñarlas con características diferentes a las anteriormente mencionadas, por ende dichas losas se diseñaran de forma distinta

ya que la distribución de las cargas se realiza en una sola dirección de acuerdo a las condiciones dadas en el numeral C.13.1.6 de la NSR-10. En el anexo 2.1 se encuentra el diseño detallado de una losa maciza y una aligerada en una dirección, teniendo a consideración que los criterios de diseño son los mismos para las diferentes losas que hacen parte de la estructura de este tipo.

Comentado [ING.WM12]: ¿????

7.7 CONSIDERACIONES GENERALES DE MODELACION

Teniendo los diseños de las placas, además del predimensionamiento de las vigas y las columnas, se procede a elaborar el diseño por cargas gravitacionales en un modelo en ETABS, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- MATERIALES Y SECCIONES

Fy = 420 MPa

F'c = 21 MPa

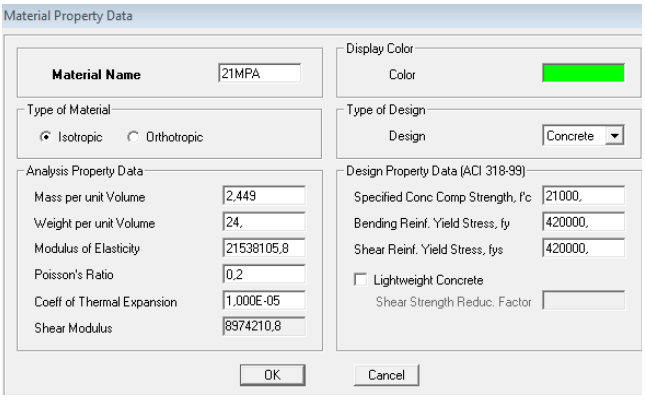
$Ec = 4700 * \sqrt{F'c}$ = 21,538 MPa

Sección Viga = l/16

Sección de Columna = 0.25 X 0.25 m

Espesor Losas = Despreciable

Gráfica 5 Propiedades de los materiales (kN.m) - ETABS



Fuente: ETABS

Una vez establecidos todos los criterios de diseño se procede a efectuar la modelación con veraz a verificar si el diseño propuesto acoge todos los ítems amparados por ley, para el efecto del ejercicio de diseño.

A excepción de las losas, las vigas y columnas se diseñaron por medio de este software, las losas dentro de la modelación en ETABS, se adoptan con un espesor despreciable para que no aporten a la resistencia sísmica de la estructura, el peso propio y las demás pesos que hagan parte de la losa se asignaran por medio de cargas dentro del software.

La asignación de recursos de masa se adopta de las cargas asignadas y del peso propio de la edificación. Por otro lado en sectores como en voladizos, los elementos “frame” se liberan de torsión.

7.8 MODELO 1 DISEÑO GRAVITACIONAL CON LOSAS ALIGERADAS

7.8.1 Evaluación de diseño. El fin de elaborar un diseño por cargas gravitacionales, es el de determinar qué proporción de carga determina las dimensiones de la edificación y que tan afectado se muestra, comparado con el

diseño sísmico que se encuentra en los siguientes apartes de este libro. Para ello se usa la modelación en ETABS, aplicando los combos y cargas anteriormente mencionadas.

La masa total de la edificación para este caso es de 3,557.86 KN.s^2/m, así mismo el piso con la carga de mayor aporte es el sexto con una masa de 654.3 KN.s^2/m. A continuación se presenta las masas aportadas por cada uno de los pisos.

Tabla 19. Participación de masa por piso diseño gravitacional con losas aligeradas

Piso	Masa kN.s^2/m	% de participación
Tanque	31.94	0.90
Cubierta	86.56	2.43
Altillo	387.2	10.88
Piso 6	**654.3**	**18.39**
Piso 5	594	16.70
Piso 4	594.7	16.72
Piso 3	596.8	16.77
Piso 2	595.4	16.73
Base	16.96	0.48
TOTAL	3557.86	100

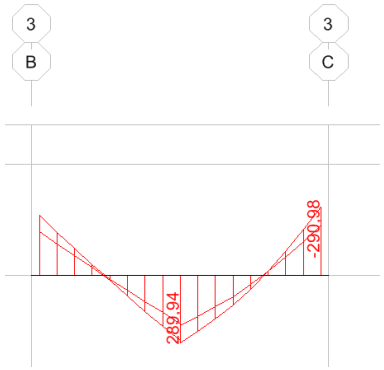
Fuente: ETABS

7.8.2 Diseño de vigas. A partir de la modelación de la edificación por cargas gravitacionales se establece unas dimensiones mínimas de vigas de 0.20x0.30m y máximas de 0.30x0.50m, en donde el mayor porcentaje de vigas cumple con sus predimensionamientos mínimos sin embargo, en sectores como en las vigas que soportan balcones, se presenta un esfuerzo cortante considerable lo que dimensiona las vigas a secciones de 30x50, así mismo en el caso de vigas que soportan cargas de vigas secundarias, como se presenta en el altillo, específicamente en el panel donde se encuentra el ascensor, la cual recibe dos cargas puntuales de vigas en voladizo y dos cargas puntuales de vigas de soporte

del ascensor. Al terminar la modelación se obtiene como peso total de las vigas 5,432.039kN y un volumen de 226,33m^3

7.8.2.1 Refuerzo a flexión. En el refuerzo a flexión que se adopta para las vigas, el diámetro mínimo de refuerzo que se utiliza es de barras No. 4 y máximo de No. 10. Sin embargo esta barra solamente se aplica para las vigas con la longitud más larga en los pórticos 3 y 4 en el altillo, en donde las cuantías de acero son de 2035 mm^2 de refuerzo superior y 2028 mm^2 de refuerzo inferior, para una sección de viga de 0.25x0.50m. Esto debido a que esta viga está cargada por una carga puntual en el centro de la luz proveniente de la carga axial que transmite la columna que soporta la carga de la cubierta generando los siguientes momentos.

Grafica 1. Momentos de viga sexto piso, pórtico 3 entre ejes B y C



Fuente: ETABS

7.8.2.2 Refuerzo a cortante. Para el refuerzo a cortante se define la barra No. 3 para el refuerzo transversal que se requiera en las vigas, además de esto en el criterio de separación máxima se adopta lo estipulado en el numeral C.11.4.5.1 en donde determina que la separación máxima permisible para elementos no

preesforzado es d/2. En este sentido no se adopta ninguna otra consideración adicional ya que se trata de un diseño por cargas gravitacionales.

De acuerdo a la consideración anterior se verifica las condiciones de las vigas las cuales satisfacen la resistencia a cortante con una separación máxima entre estribos de d/2, a continuación se presentan las separaciones determinadas de acuerdo a la sección de viga.

Tabla 20. Separaciones máximas para cortante en vigas

Sección	Separación mm
20x30	130
30x45	205
25x35	155
25x50	230
30x50	230
30x55	255

Fuente: Autores

De acuerdo a lo anterior se obtiene un total de 55485,98m longitudinales de varilla No. 3 para refuerzo a cortante con un peso total de 31072,15kg. En los planos anexos a este documento se encuentra la distribución de refuerzo correspondiente a cada viga.

7.8.3 Diseño de columnas. De acuerdo a la modelación de la estructura se obtuvieron unas dimensiones mínimas de columnas de 0.25m x 0.25m correspondientes a columnas que soportan las cargas de cubierta, y máximas de 0.4 x 0.4 m que corresponden a columnas de primer piso. Al finalizar esta modelación se encontró que las columnas tienen un peso de 1920.06kN y un volumen total de 80m^3

7.8.3.1 Refuerzo a Flexión. Las consideraciones para refuerzo a flexión en columnas están definidas de acuerdo a las estipulaciones de la NSR-10 en donde la cuantía de refuerzo debe estar entre el 1 y el 4%. De acuerdo a las dimensiones mínimas y máximas de columnas, las cuantías mínimas de columnas de 0.25m x 0.25m correspondientes a columnas que soportan las cargas de cubierta, están establecidas entre el 1 y 2.5% con áreas de acero entre 625 mm^2 y 1562.5 mm^2, y máximas de 0.40 x 0.40 m que corresponden a columnas de primer piso con cuantías entre 1.68 y 3.87% y por ende áreas de acero entre 2688 mm^2 y 6192 mm^2. Dentro de los planos anexos a este documento se encuentran las dimensiones y distribución de refuerzo de cada una de las columnas concernientes a este diseño, sin embargo a continuación se encuentra una recopilación de la totalidad del refuerzo a utilizar clasificado de acuerdo a la referencia de barra utilizada.

7.8.3.2 Refuerzo a cortante. Referente al refuerzo a cortante en columnas, debido a que el diseño es por cargas gravitacionales, el criterio de separación máxima adoptada para este modelo es d/2. Definiéndose de igual manera que para las vigas para los estribos refuerzo de varilla No.3. A continuación se muestra las separaciones máximas adoptadas de acuerdo a la dimensión de la sección de columna.

Tabla 21. Separaciones máximas para cortante en columnas

Sección	Separación
	mm
25x25	100
30x30	125
35x35	150
40x40	175
45x45	200

Fuente: Autores

De acuerdo a lo anterior se obtiene un total de 5102,8 m longitudinales de varilla No. 3 para refuerzo a cortante con un peso total de 2857,56kg.En los planos anexos a este documento se encuentra la distribución de refuerzo correspondiente a cada columna.

7.9 MODELACION 2 DISEÑO GRAVITACIONAL CON LOSAS MACIZAS

7.9.1 Evaluación de diseño. Al igual que en la modelación 1 diseño por cargas gravitacionales con losas aligeradas las condiciones iníciales de la estructura además de las combinaciones de diseño y cargas se encuentran especificadas en los anteriores apartes de este libro.

Referente a la estructura se encuentra una masa total para este caso de 5090.62 KN.s^2/m, de igual manera que en el modelo 1 el piso con la carga de mayor aporte es el sexto con una masa de 934.9 KN.s^2/m. A continuación se presenta las masas aportadas por cada uno de los pisos.

Tabla 22. Participación de masa por piso diseño gravitacional con losas macizas

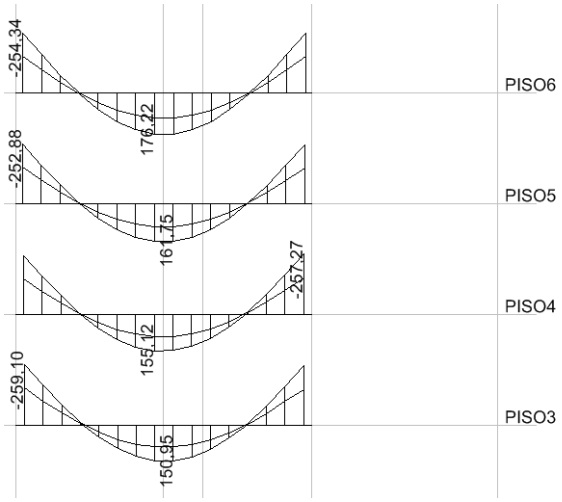
Piso	Masa kN.s^2/m	% de participación
Tanque	31.82	0.63
Cubierta	89.86	1.76
Altillo	477.8	9.39
Piso 6	**934.9**	**18.36**
Piso 5	878.9	17.26
Piso 4	881.5	17.32
Piso 3	886.8	17.42
Piso 2	887.2	17.42
Base	22.34	0.44
TOTAL	5090.62	100.00

Fuente: ETABS

7.9.2 Diseño de vigas. De acuerdo a la modelación de la edificación con estas condiciones, las dimensiones mínimas de vigas adoptadas son de 0.2x0.3m y las máximas de 0.3x0.55m, esta última correspondiente a las vigas de soporte de balcones.

7.9.2.1 Refuerzo a flexión. El refuerzo mínimo adoptado para vigas es de barras No. 4 y el máximo al igual que en el modelo 1 de No. 10. Por otra parte, esta última se utiliza en las vigas de los pórticos 2 al 5 entre ejes B-C y E-F, las cuales son las vigas con la luz más larga de toda la edificación.

Tabla 23. Momentos de vigas, pórticos 2 al 5 ejes B-C E-F



Fuente: ETABS

De acuerdo al diseño de la edificación el refuerzo longitudinal que corresponde a las vigas se presenta en la siguiente tabla clasificada de acuerdo al número de barra que corresponda, los detalles específicos de cada viga se encuentran dentro de los planos de despieces incluidos en los anexos a este documento.

Tabla 24. Refuerzo longitudinal en vigas modelo 02

REFERENCIA DE BARRA	LONGITUD TOTAL	PESO TOTAL
	m	kg
4	5,536.7	5,503.48
5	5,230.85	8,118.28
6	2,922	6,530.67
7	2,971	9,046
8	1,102.7	4,381.03
9	669.9	3,389.69
10	234	1,498.54
	TOTAL	38,467.69

FUENTE: Autores

7.9.2.2 Refuerzo a cortante. De igual manera que el modelo 1 el No de refuerzo para estribos transversales es de No. 3, así mismo la separación adoptada para este diseño es de d/2. No se adopta ninguna otra consideración aparte de las anteriormente mencionadas. De acuerdo a esto las separaciones máximas para el cortante en vigas serán las mismas que se presentan en la Tabla 41. Separación máxima para cortante en vigas. Definiéndose así que las todas las vigas cumplen con separación máxima, de esta manera las longitudes totales de varilla No. 3 para refuerzo a cortante son de 19,084.34 m con un peso total de 10,687.23. Del modelo se obtuvo el peso total de las vigas que corresponde a 5588.68kN y un volumen de 232.86m^3.

7.9.3 Diseño de columnas. A partir de la modelación las secciones mínimas y máximas de columnas son de 0.25x0.25 m y 0.45x0.45m respectivamente.

7.9.3.1 Refuerzo a Flexión. Los límites de refuerzo longitudinal para columnas están establecidos de acuerdo a la NSR-10, con valores entre el 1 y el 4% del

área bruta de la sección**.** De esta manera teniendo en cuenta estas consideraciones las cuantías de acero para las columnas de 0.25x0.25m están entre el 1 y 3.26% con áreas de acero entre 625 mm^2 y 2037 mm^2, y acero de columnas de 0.45x0.45m para los cuales las cuantías se encuentran entre el 1 y 3.8% con áreas de acero de 2025 mm^2 y 7695 mm^2 respectivamente. En la siguiente tabla se encuentra la totalidad del refuerzo que se requiere para las columnas clasificadas de acuerdo al número de barra.

Tabla 25. Refuerzo longitudinal columnas modelo 02

REFERENCIA DE BARRA	LONGITUD TOTAL	PESO TOTAL
	m	kg
4	318.88	316.9667
5	496.8	771.0336
6	1742.95	3895.493
7	1202.84	3662.648
8	1581.9	6284.889
9	1003.5	5077.71
10	224	1433.6
	TOTAL	21442.34

FUENTE: Autores

7.9.3.2 Refuerzo a cortante. Para el cálculo del refuerzo a cortante de igual manera como se hizo con el modelo 1, se adoptó una separación máxima de d/2, con refuerzo de acero No. 3, para las cuales las separaciones máximas adoptadas son las mismas que se encuentran en la Tabla 42.

En este caso las separaciones requeridas superan las indicadas anteriormente por lo cual se adoptan separaciones máximas en todas las columnas de acuerdo a sus secciones. Para cuyo caso se obtiene un total de 6,136.6 m longitudinales de varilla No. 3 para refuerzo a cortante con un peso total de 3,436.5kg. De acuerdo a

este modelo se observa que el peso de las columnas es de un total de 2,238.05kN y de un volumen de 93.25m^3.

7.10 MODELACION 3 DISEÑO DINAMICO CON LOSAS ALIGERADAS

7.10.1 Análisis dinámico. A partir del espectro se procede a implantarlo dentro de la modelación de la edificación y así proceder con el ajuste de cortante en la base, que se requiere dentro del diseño por el método de análisis dinámico elástico espectral.

De acuerdo a la modelación de la edificación, en la cual los periodos de la estructura se encuentran en el modo 1 para Tx, y en el modo 3 para Ty. Entonces los periodos serán[9]: $Tx = 0.871\,s \;\; y \;\; Ty = 0.789\,s$.

Sin embargo de acuerdo a la NSR-10, los periodos de diseño no deben ser mayores a CuTa.

$$Cu = 1.75 - 1.2 * Av * Fv > 1.2$$

$$Cu = 1.75 - 1.2 * 0.2 * 1.6 = 1.37$$

El valor de $Ta = Ct * h^{\alpha}$, donde h es la altura total de la edificación y $Ct \; y \; \alpha$ de acuerdo a la NSR-10, para pórticos resistentes a momentos en concreto reforzado son:

$$Ct = 0.047 \;\; \alpha = 0.9 \qquad Ta = 0.047 * 20.77^{0.9} = 0.72\,s$$

Entonces el periodo límite será,

$$Cu * Ta = 1.37 * 0.72 = \mathbf{0.99\,s}$$

De acuerdo a lo anterior los periodos de la edificación Tx y Ty, son menores a los permitidos por la NSR-10, por ello se adoptan los periodos iníciales, $Tx = 0.87\,s$ y

[9]Valores extraídos en base a la modelación en ETABS, los cuales se encuentran dentro de los anexos en el "summary report" de Análisis Dinámico de losas macizas en dos direcciones sin ajustar Vs.

$Ty = 0.79\,s$. A partir de estos periodos se calcula el valor de Sa y el cortante en la base para su respectivo valor.

$$Sax = \frac{1.2 * Av * Fv * I}{T} = \frac{1.5 * 0.2 * 1.6 * 1}{0.87} = 0.44\,(g)$$

$$Say = \frac{1.2 * Av * Fv * I}{T} = \frac{1.5 * 0.2 * 1.6 * 1}{0.79} = 0.49\,(g)$$

La masa total de la edificación de acuerdo a los análisis realizados anteriormente y al modelo realizado en ETABS, el valor total de la masa es de 4,001kN.s^2/m.[10]

$$Vsx = Sa * g * M = 0.44 * 9.81 * 4{,}001 = 17{,}279\,KN$$

$$Vsy = Sa * g * M = 0.49 * 9.81 * 4{,}001 = 19{,}085\,KN$$

Para realizar el ajuste de los resultados se extraen los cortantes en la base arrojados por el ETABS, que para el sentido en X será Vx = 15,160kN y para Y, Vy = 13,600kN.

Para estructuras irregulares,

$$Sentido\ X = 0.9\frac{Vs}{Vcj} = 0.9\frac{15{,}160}{17{,}279} = 1.026$$

$$Sentido\ Y = 0.9\frac{Vs}{Vcj} = 0.9\frac{13{,}600}{19{,}085} = 1.263$$

Este ajuste se aplica en el modelo en el factor multiplicador del espectro de diseño para lo cual quedaría.

$$Spectro\ x = 9.8 * 1.026 = 10.053$$

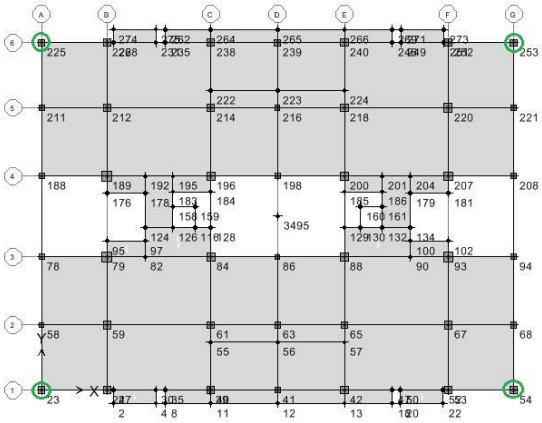
$$Spectro\ y = 9.8 * 1.263 = 12.377$$

[10]Valores extraídos en base a la modelación en ETABS, los cuales se encuentran dentro de los anexos en el "summary report" de Análisis Dinámico de losas macizas en dos direcciones sin ajustar Vs.

Verificación y ajuste de derivas. A partir de lo anterior se procede a verificar el diseño y las derivas de la edificación las cuales se tomaron en los siguientes puntos 23, 54, 225 y 253 para lo cual se tiene que ajustar la edificación para cumplir con el requerimiento de la norma de ser menor o igual al 1% de la altura de piso; a continuación se presenta la verificación de derivas del punto 23 con los combos más críticos, la revisión total de derivas de los puntos asignados a verificación se encuentran como anexo en este documento.

.

Gráfica 6 Vista en planta modelo 3 para revisión de derivas



Fuente: ETABS

Tabla 26. Verificación de derivas modelo 3, punto 23

Piso	Punto	Combo	Desplaza-miento en X	Desplaza-miento en Y	Deriva en X	Deriva en Y	Deriva Total	% Deriva	Verifi-cación
			m	m	m	m	m		
PISO7	23	DERIVA18 MAX	0,012	0,146	0,002	0,027	0,027	0,95%	ok
PISO6	23	DERIVA18 MAX	0,010	0,119	0,002	0,026	0,026	0,93%	ok
PISO5	23	DERIVA18 MAX	0,008	0,092	0,001	0,023	0,023	0,82%	ok

PISO4	23	DERIVA18 MAX	0,007	0,069	0,002	0,024	0,024	0,83%	ok
PISO3	23	DERIVA18 MAX	0,005	0,046	0,003	0,027	0,027	0,95%	ok
PISO2	23	DERIVA18 MAX	0,002	0,019	0,002	0,019	0,019	0,67%	ok
BASE	23	DERIVA18 MAX	0,000	0,000					
PISO7	23	DERIVA18 MIN	-0,012	-0,145	-0,002	-0,027	0,027	0,95%	ok
PISO6	23	DERIVA18 MIN	-0,010	-0,119	-0,002	-0,026	0,026	0,93%	ok
PISO5	23	DERIVA18 MIN	-0,009	-0,092	-0,002	-0,023	0,023	0,82%	ok
PISO4	23	DERIVA18 MIN	-0,007	-0,069	-0,002	-0,024	0,024	0,83%	ok
PISO3	23	DERIVA18 MIN	-0,005	-0,046	-0,003	-0,027	0,027	0,95%	ok
PISO2	23	DERIVA18 MIN	-0,002	-0,019	-0,002	-0,019	0,019	0,67%	ok
BASE	23	DERIVA18 MIN	0,000	0,000					
PISO7	23	DERIVA19 MAX	0,012	0,146	0,002	0,027	0,027	0,95%	ok
PISO6	23	DERIVA19 MAX	0,010	0,119	0,002	0,026	0,026	0,93%	ok
PISO5	23	DERIVA19 MAX	0,008	0,092	0,001	0,023	0,023	0,82%	ok
PISO4	23	DERIVA19 MAX	0,007	0,069	0,002	0,024	0,024	0,83%	ok
PISO3	23	DERIVA19 MAX	0,005	0,046	0,003	0,027	0,027	0,95%	ok
PISO2	23	DERIVA19 MAX	0,002	0,019	0,002	0,019	0,019	0,67%	ok
BASE	23	DERIVA19 MAX	0,000	0,000					
PISO7	23	DERIVA19 MIN	-0,012	-0,145	-0,002	-0,027	0,027	0,95%	ok
PISO6	23	DERIVA19 MIN	-0,010	-0,119	-0,002	-0,026	0,026	0,93%	ok
PISO5	23	DERIVA19 MIN	-0,009	-0,092	-0,002	-0,023	0,023	0,82%	ok
PISO4	23	DERIVA19 MIN	-0,007	-0,069	-0,002	-0,024	0,024	0,83%	ok
PISO3	23	DERIVA19 MIN	-0,005	-0,046	-0,003	-0,027	0,027	0,95%	ok
PISO2	23	DERIVA19 MIN	-0,002	-0,019	-0,002	-0,019	0,019	0,67%	ok
BASE	23	DERIVA19 MIN	0,000	0,000					

Fuente: Autores

7.10.2 Diseño de vigas. El diseño de vigas esta fundamentalmente basado en las consideraciones dadas en el numeral C.21 de la NSR-10, la cual da las estipulaciones de condiciones como lo son las dimensiones mínimas, separaciones máximas, longitudes de confinamiento, además de afectaciones en los combos de diseño, como se mostró anteriormente en la sección de combinaciones de diseño. Teniendo en cuenta estas consideraciones, a partir de la modelación se obtienen vigas con dimensiones mínimas de 0.20x0.30 correspondiente a los pisos superiores y vigas con dimensiones máximas de 0.35x0.55 las cuales corresponden a vigas que soportan los voladizos.

Al terminar la modelación se logra como resultado el peso total de las vigas y el volumen total que respectivamente son 7,395.8kN y 308.16m^3

7.10.2.1 Refuerzo a flexión. Para el refuerzo a flexión en vigas de acuerdo a la NSR-10, se determina que deben haber dos barras No. 4 como mínimo a lo largo de la luz del elemento para el refuerzo superior e inferior, así mismo la cuantía de refuerzo debe ser mayor a 1,4/fy y menor a 0.025. Además de esto no se permiten empalmes por traslapo en los nudos.

Las cuantías de refuerzo que se presentan en la estructura para las vigas de menor tamaño que son las de 0.2x0.3 m, oscilan entre 194 mm^2 y 917mm^2, y para las vigas de mayor dimensión 0.35x0.55 m se encuentran entre 668 mm^2 y 2040 mm^2.

7.10.2.2 Refuerzo a cortante. Referente al refuerzo a cortante en las vigas en el titulo C.21 de la NSR-10 se definen ciertos criterios de separaciones máximas y longitudes de confinamiento para las cuales se adoptan las siguientes condición es:

En los dos extremos del elemento se deben incluir estribos de confinamiento por una longitud igual a 2h, en donde el primer estribo debe estar localizado a 50 mm de la cara del elemento de apoyo, el espaciamiento debe ser menor a la menor condición presentada a continuación.

- d/4
- 8db. Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal más pequeña
- $24d_{st}$. 24 veces el diámetro de la barra de estribo de confinamiento
- 300 mm

Para lo cual se establece la siguiente tabla de separaciones en confinamiento.

Tabla 27. Separaciones máximas de estribos de confinamiento para vigas

Referencia de Barra	Separación Máxima						
	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10
Altura de viga	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
30	65	65	65	65	65	65	65
35	77,5	77,5	77,5	77,5	77,5	77,5	77,5
40	90	90	90	90	90	90	90
45	101,6	102,5	102,5	102,5	102,5	102,5	102,5
50	101,6	115	115	115	115	115	115
55	101,6	127,2	127,5	127,5	127,5	127,5	127,5
60	101,6	127,2	140	140	140	140	140
65	101,6	127,2	152,5	152,5	152,5	152,5	152,5

Fuente: Autores

Comentado [ING.WM13]: ¿??????????

7.10.3 Diseño de columnas. Las consideraciones adoptadas para este diseño al igual que en las vigas, están basadas en el Titulo C.21 de la NSR-10. A partir del diseño y modelación de la estructura se obtiene que el peso total de las columnas correspondientes a este modelo es de 5449.054 y el volumen de 227.044m^3.

7.10.3.1 Refuerzo a flexión. Las cuantías volumétricas de acero de refuerzo longitudinal deben estar entre el 1 y el 4% del área bruta de la sección de columna a diseñar. En la modelación de la estructura se determinaron secciones mínimas de columnas de 0.3 x 0.3m con cuantías de acero entre el 1.14 y 1.30%, así mismo unas secciones máximas de columna de 0.70 x 0.70m con cuantías de acero entre el 1 y 2.47%.

7.10.3.2 Refuerzo a cortante. De acuerdo a la NSR-10, la separación de estribos para la zona de confinamiento no debe ser mayor que la menor de las dos:

Sin embargo la norma exige que la separación no debe exceder el menor de las siguientes:

- 8db de la barra longitud más pequeña
- 16db de la barra de estribo de confinamiento
- 1/3 de la dimensión más corta de la columna
- 150 mm

Por lo anterior se estipula que debido a que la barra para estribos de confinamiento adoptada es de No. 3 cuyo diámetro es 9.5mm, la consideración de 16db da como resultado 152 mm, por lo cual no se tiene en cuenta ya que es mayor de 150 mm.

En cuanto a la longitud de confinamiento es la mayor de las siguientes consideraciones:

- La máxima dimensión de la sección de columna
- 1/6 de la luz libre de la columna
- 500 mm

A partir de lo anterior se define que la segunda consideración no se tiene en cuenta ya que 1/6 de la luz libre de la columna da como resultado 430 mm lo cual es menor de 500 mm.

Así mismo en la cara del nudo el primer estribo de confinamiento debe estar a una separación no mayor a s/2. Para el restante de longitud que no esté dentro del confinamiento, la separación de los estribos se aplica dos veces la separación de confinamiento adoptada.

7.11 MODELACION 4 DISEÑO DINAMICO CON LOSAS MACIZAS

7.11.1 Análisis dinámico. Adoptando el mismo procedimiento descrito en el numeral 7.10 del presente libro, el cual corresponde al diseño dinámico con losas aligeradas, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 28. Ajuste de resultados Análisis dinámico losas macizas

	Sentido x	Sentido y	Unidades
Masa Total de la edificación (M)	5683		$kN.s^2/m$
Periodo de la estructura (T)	0.824	0.828	s
Cortante dinámico de la estructura ETABS (Vs)	20,550	20,630	kN
Periodo limite CuTa	0.99		s
Periodos Adoptados (T)	0.824	0.828	s
Aceleración Pico efectiva (Sa)	0.467	0.464	
Cortante sísmico en la base (Vs)	25,954.2	25,828.8	kN
Ajuste de resultados	1.137	1.127	
Factor multiplicador del espectro	11.13	11.04	

Fuente: Autores

Comentado [ING.WM14]: La 3ra columna que es??????????????????????

7.11.2 Verificación y ajuste de derivas. Los puntos designados para la verificación de derivas de igual manera para el modelo 3 son el 23, 54, 225 y 253, los cuales corresponden a las esquinas de la estructura, la ubicación en planta de los puntos designados se encuentran señalados en la gráfica 14 del presente libro. La tabla a continuación presenta la verificación de derivas del punto 23, en sus combos más críticos, sin embargo la verificación completa de este punto y los demás puntos designados se encuentran incluidos dentro de los anexos de este documento.

Tabla 29. Verificación de deriva modelo 4, punto 23

Piso	Punto	Combo	Desplaza-miento en X	Desplaza-miento en Y	Deriva en X	Deriva en Y	Deriva Total	% Deriva	Verifi-cación
			m	M	m	m	m		
PISO7	23	DERIVA18 MAX	0.012	0.139	0.001	0.019	0.019	0.66%	ok

PISO6	23	DERIVA18 MAX	0.010	0.121	0.002	0.022	0.022	0.79%	ok
PISO5	23	DERIVA18 MAX	0.009	0.098	0.002	0.025	0.025	0.89%	ok
PISO4	23	DERIVA18 MAX	0.006	0.073	0.002	0.027	0.027	0.96%	ok
PISO3	23	DERIVA18 MAX	0.004	0.046	0.002	0.028	0.028	0.99%	ok
PISO2	23	DERIVA18 MAX	0.002	0.018	0.002	0.018	0.018	0.65%	ok
BASE	23	DERIVA18 MAX						0.00%	ok
PISO7	23	DERIVA18 MIN	-0.012	-0.139	-0.001	-0.019	0.019	0.66%	ok
PISO6	23	DERIVA18 MIN	-0.010	-0.120	-0.002	-0.022	0.022	0.79%	ok
PISO5	23	DERIVA18 MIN	-0.009	-0.098	-0.002	-0.025	0.025	0.88%	ok
PISO4	23	DERIVA18 MIN	-0.006	-0.073	-0.002	-0.027	0.027	0.96%	ok
PISO3	23	DERIVA18 MIN	-0.004	-0.046	-0.002	-0.028	0.028	0.99%	ok
PISO2	23	DERIVA18 MIN	-0.002	-0.018	-0.002	-0.018	0.018	0.65%	ok
BASE	23	DERIVA18 MIN						0.00%	ok
PISO7	23	DERIVA19 MAX	0.012	0.139	0.001	0.019	0.019	0.66%	ok
PISO6	23	DERIVA19 MAX	0.010	0.121	0.002	0.022	0.022	0.79%	ok
PISO5	23	DERIVA19 MAX	0.009	0.098	0.002	0.025	0.025	0.89%	ok
PISO4	23	DERIVA19 MAX	0.006	0.073	0.002	0.027	0.027	0.96%	ok
PISO3	23	DERIVA19 MAX	0.004	0.046	0.002	0.028	0.028	0.99%	ok
PISO2	23	DERIVA19 MAX	0.002	0.018	0.002	0.018	0.018	0.65%	ok
BASE	23	DERIVA19 MAX						0.00%	ok
PISO7	23	DERIVA19 MIN	-0.012	-0.139	-0.001	-0.019	0.019	0.66%	ok
PISO6	23	DERIVA19 MIN	-0.010	-0.120	-0.002	-0.022	0.022	0.79%	ok
PISO5	23	DERIVA19 MIN	-0.009	-0.098	-0.002	-0.025	0.025	0.88%	ok
PISO4	23	DERIVA19 MIN	-0.006	-0.073	-0.002	-0.027	0.027	0.96%	ok
PISO3	23	DERIVA19 MIN	-0.004	-0.046	-0.002	-0.028	0.028	0.99%	ok
PISO2	23	DERIVA19 MIN	-0.002	-0.018	-0.002	-0.018	0.018	0.65%	ok
BASE	23	DERIVA19 MIN						0.00%	ok

Fuente: Autores

7.11.3 Diseño de vigas. A partir de la modelación las dimensiones mínimas de vigas que se obtiene son de 0.20x0.30m., las cuales hacen parte de los pisos superiores, así mismo se obtienen vigas con dimensiones máximas de 0.4 x 0.6m los cuales hacen parte de las vigas que soportan vigas secundarias provenientes de voladizos, también se obtiene el peso de las vigas correspondientes a este modelo que es de 8,029.14kN y el volumen respectivo de 334.54m^3.

7.11.3.1 Refuerzo a flexión. Las cuantías que se presentan en las vigas de menor tamaño están entre 120 mm^2 y 1124 mm^2, y para las vigas con mayor sección transversal entre 751 mm^2 y 2284 mm^2. A continuación se presenta un compilado de las cantidades totales de refuerzo longitudinal para vigas clasificado por el diámetro de varilla.

Tabla 30. Refuerzo longitudinal para vigas modelo 04

REFERENCIA DE BARRA	LONGITUD TOTAL	PESO TOTAL
	M	kg
4	4333.9	4,307.897
5	2517.9	3,907.781
6	4069.8	9,096.003
7	2856.74	8,698.773
8	2602.7	10,340.53
9	3161.8	15,998.71
10	1969.8	12,606.72
	TOTAL	64,956.41

Fuente: Autores

7.11.3.2 Refuerzo a cortante. A partir de las consideraciones anteriormente mencionadas y de acuerdo a la tabla 46 del presente documento, el refuerzo transversal total para vigas del modelo 04 son 41,546.38 m con un peso total de 23,265.97 kN.

7.11.4 Diseño de columnas. De igual forma que el diseño de las vigas el diseño de las columnas adoptan el mismo criterio definido anteriormente para el modelo 4 en el numeral 7.10.Además se obtiene el peso de las columnas correspondientes a este modelo que es de 5,486.71kN y el volumen respectivo de 228.613m^3.

7.11.4.1 Refuerzo a flexión. Las dimensiones mínimas y máximas de columnas que se adoptan en este diseño son de 0.30 x 0.3 m cuantías de acero entre 1% y 2.15%, y 0.65 x 0.65 m con cuantías de acero entre 1% y 2.66%. A continuación

se encuentra la distribución total de acero para columnas clasificadas de acuerdo al número de la barra.

Tabla 31. Refuerzo longitudinal para columnas modelo 04

REFERENCIA DE BARRA	LONGITUD TOTAL	PESO TOTAL
	M	kg
4	376.80	374.54
5	1,028.20	1,595.77
6	4,087.20	9,134.89
7	3,038.80	9,253.15
8	1,973.60	7,841.11
9	1,090.20	5,516.41
10	685.23	4,385.46
	TOTAL	38,101.33

Fuente: Autores

7.12 Refuerzo a cortante. De acuerdo a la revisión requerida a cortante por parte de las columnas, definiendo el refuerzo de 3/8" en estribos para todas las columnas, la longitud total requerida para satisfacer el cortante en todas las columnas del modelo 04 es de 28,417.4 m con un peso total respectivo de 15,913.74 kN.

7.13 ZAPATAS

Para el desarrollo de cada una de las estructuras a diseñar se adopta el sistema de zapatas aisladas cuadradas, las cuales son diseñadas tomando como referencia el procedimiento descrito en el libro de ESTRUCTURAS DE CONCRETO I del ingeniero Jorge Segura Franco, así mismo se toman a consideración las recomendaciones y exigencias estipuladas en la NSR-10. No obstante en el anexo 2 del presente libro se encuentra el procedimiento de diseño de una zapata tipo, y en los planos anexos se encuentra el despiece y tipificación

de las zapatas respectivas para cada modelo. Sin embargo en las tablas presentadas a continuación se muestra de forma general las dimensiones resultantes de las zapatas de cada modelo así como también su respectivo refuerzo.

7.14 PRESUPUESTO

La evaluación de los costos de las edificaciones a analizar, se determina únicamente de los elementos que hacen parte del sistema estructural de cada una (vigas, columnas y zapatas). En los cuales se incluirán materiales, equipos y rendimientos de personal, evaluados por metro cubico en los APUS (Análisis de precios unitarios) que están propuestos en los anexos a este documento.

Comentado [ING.WM15]: ¿???????????????

Para efectuar el análisis de precios unitarios se toma en consideración los precios actualmente vigentes en la Gobernación de Boyacá, así como cotizaciones y criterios propios. A continuación se presentan los presupuestos totales de cada modelación, teniendo en cuenta sus respectivas variaciones.

Tabla 32. Presupuesto total modelo 01-Analisis Gravitacional con losas aligeradas

PRESUPUESTO DE OBRA					
CAPITULO. ESTRUCTURAS					
CODIGO CUBS	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
1	COLUMNAS EN CONCRETO 21MPa(3000 PSI), ALTURA MENOR A TRES METROS	M³	81	742,194	60,117,714.00
2	VIGA DE AMARRE 21MPa (3000PSI)	M³	37.50	575,628	21,587,768.13
3	VIGA AMARRE SOBRE MURO 21MPa(3000 PS)I	M³	226	692,832	156,580,032.00
4	ESCALERA MACIZA 21 MPa (3000 PSI)	M³	3.84	761,210	2,923,046.40
5	ACERO DE REFUERZO fy 420 MPa	KG	66,177	3,298	218,251,746.00
6	PLACA ENTREPISO ALIGERADA CASETON DE GUADUA E=0.15 m	M²	25.60	179,494.00	4,594,759.21
7	PLACA ENTREPISO ALIGERADA CASETON DE GUADUA E=0.20 m	M²	398.70	204,813.00	81,659,659.95
8	PLACA ENTREPISO ALIGERADA CASETON DE GUADUA E=0.25 m	M²	3,648.61	230,132.00	839,662,883.07
9	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.20 m	M²	23.84	191,813.00	4,573,589.17
10	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.25 m	M²	44.30	217,132.00	9,618,426.48
6	CONCRETO DE ZAPATAS 28 MPa(4000 PSI)	M³	113	571,917	64,559,706.71
Valor total					**1,464,129,331.1**
VALOR TOTAL (COSTO DIRECTO + INDIRECTO) AIU = 30% - (A = 20%, I = 5%, U = 5%)					439,238,799.00
VALORT TOTAL DEL PROYECTO					1,903,368,130.13

FUENTE: Autores

Tabla 33. Presupuesto total modelo 02 - Análisis gravitacional con losas macizas

PRESUPUESTO DE OBRA					
CAPITULO. ESTRUCTURAS					
CODIGO CUBS	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
1	COLUMNAS EN CONCRETO 3000 PSI, ALTURA MENOR A TRES METROS	M³	93.30	742,194.00	69,246,700
2	VIGA AMARRE 21 MPa (3000 PSI)	M³	3.84	575,628.00	2,210,412
3	VIGA AMARRE SOBRE MURO 3000 PSI	M³	233.00	692,832.00	161,429,856
4	ESCALERA MACIZA 21 MPa (3000 PSI)	M³	3.84	761,210.00	2,923,046
5	ACERO DE REFUERZO fy 420 MPa	KG	110,750	3,298.00	365,253,500
6	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.15 m	M²	149.30	166,494.00	24,857,554
7	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.2 m	M²	301.10	191,813.00	57,754,894
8	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.25 m	M²	3,630.00	217,132.00	788,189,160
9	CONCRETO DE ZAPATAS 28 MPa(4000 PSI)	M³	171	571,917.00	97,797,807
				Valor total	**1,569,662,929.0**
VALOR TOTAL (COSTO DIRECTO + INDIRECTO) AIU = 30% - (A = 20%, I = 5%, U = 5%)					470,898,879.00
VALOR TOTAL DEL PROYECTO					2,040,561,808.00

FUENTE: Autores

Tabla 34. Presupuesto total modelo 03 - Análisis dinámico con losas aligeradas

PRESUPUESTO DE OBRA					
CAPITULO. ESTRUCTURAS					
CODIGO CUBS	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
1	COLUMNAS EN CONCRETO 3000 PSI, ALTURA MENOR A TRES METROS	M³	227.00	742,194.00	168,478,038.00
2	VIGA AMARRE 3000 PSI	M³	37.50	575,628.00	21,587,776.88
3	VIGA AMARRE SOBRE MURO 3000 PSI	M³	308.00	692,832.00	213,392,256.00
4	ESCALERA MACIZA 21 MPa (3000 PSI)	M³	3.84	761,210.00	2,923,046.40
5	ACERO DE REFUERZO fy 420 MPa	KG	140,110.83	3,298.00	462,085,525.76
6	PLACA ENTREPISO ALIGERADA CASETON DE GUADUA E=0.15 m	M²	25.60	179,494.00	4,594,759.21
7	PLACA ENTREPISO ALIGERADA CASETON DE GUADUA E=0.20 m	M²	398.70	204,813.00	81,659,659.95
8	PLACA ENTREPISO ALIGERADA CASETON DE GUADUA E=0.25 m	M²	3,648.61	230,132.00	839,662,883.07
9	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.20 m	M²	23.84	191,813.00	4,573,589.17
10	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.25 m	M²	44.30	217,132.00	9,618,426.48
11	CONCRETO DE ZAPATAS 28 MPa(4000 PSI)	M³	136.92	571,917.00	78,309,163.31
				Valor total	**1,886,885,124**
VALOR TOTAL (COSTO DIRECTO + INDIRECTO) AIU = 30% - (A = 20%, I = 5%, U = 5%)					566,065,537
VALORT TOTAL DEL PROYECTO					2,452,950,662

FUENTE: Autores

Tabla 35. Presupuesto total modelo 04 - Análisis dinámico con losas macizas.

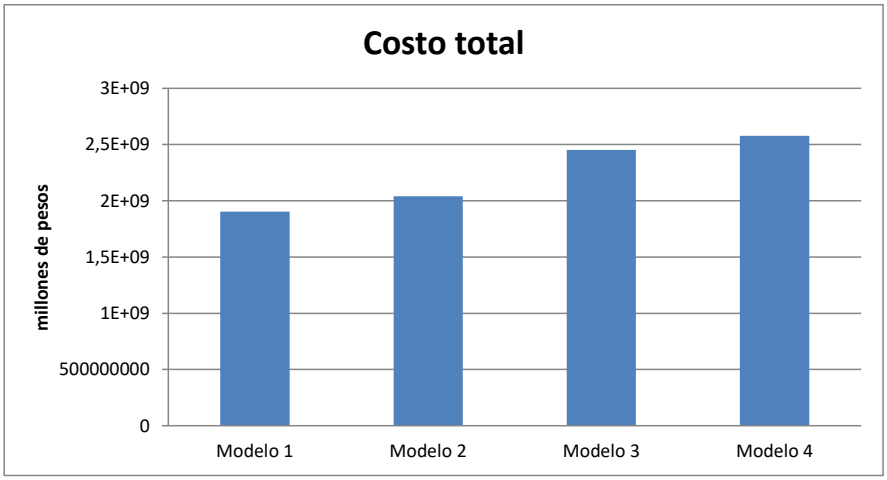
PRESUPUESTO DE OBRA					
CAPITULO. ESTRUCTURAS					
CODIGO CUBS	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VR UNITARIO	VR PARCIAL
1	COLUMNAS EN CONCRETO 3000 PSI, ALTURA MENOR A TRES METROS	M³	228.60	742,194.00	169,665,548.00
2	VIGA AMARRE 3000 PSI	M³	37.50	575,628.00	21,587,777.00
3	VIGA AMARRE SOBRE MURO 3000 PSI	M³	334.60	692,832.00	231,821,587.00
4	ESCALERA MACIZA 21 MPa (3000 PSI)	M³	3.84	761,210.00	2,923,046.00
5	ACERO DE REFUERZO fy 420 MPa	KG	176,168.00	3,298.00	581,002,064.00
6	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.15 m	M²	149.30	166,494.00	24,857,554.00
7	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.2 m	M²	301.10	191,813.00	57,754,894.00
8	PLACA MACIZA 3000 PSI E=0.25 m	M²	3,630.00	217,132.00	788,189,160.00
9	CONCRETO DE ZAPATAS 28 MPa (4000 PSI)	M³	184.50	571,917.00	105,518,687.00
				Valor total	**1,983,320,317.0**
VALOR TOTAL (COSTO DIRECTO + INDIRECTO) AIU = 30% - (A = 20%, I = 5%, U = 5%)					594,996,095.00
VALOR TOTAL DEL PROYECTO					2,578,316,412.00

FUENTE: Autores

7.15 COMPARACIÓN

En este trabajo se tuvieron en cuenta cuatro modelos los cuales se analizaron por cargas gravitacionales (2) y por cargas sísmicas (2), en los cuales se hizo una adecuado diseño siguiendo la norma sísmica vigente la NSR-10 la cual da parámetros para que se haga la modelación de los cuatro casos de una manera idónea; al finalizar dicho proceso con ayuda del software ETABS se encontraron diferentes resultados, que suplen las solicitaciones de la estructura.

Gráfica 7 Costo total por modelo en millones de pesos

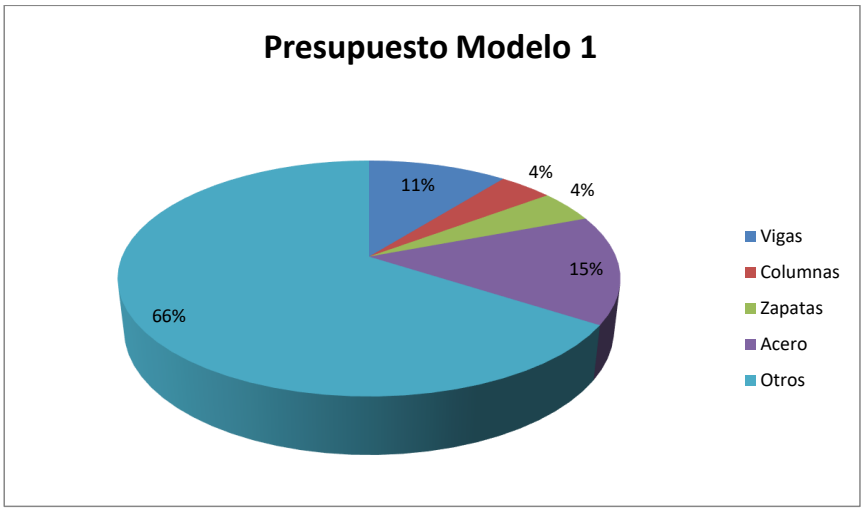


Fuente: Autores

La gráfica 7 contiene los diferentes costos de cada modelo y en la cual se comprueba que los modelos gravitacionales tienen un costo mucho menor que los modelos analizados mediante el método dinámico, además esto tiene que ver directamente con la masa del edificio ya que en los modelos donde se utilizan las cargas sísmicas se observa una afectación directa por parte de parámetros como el coeficiente de capacidad de disipación de energía, y los parámetros sísmicos

del espectro de diseño que a su vez afectan el cortante basal y por consiguiente las secciones de la edificación.

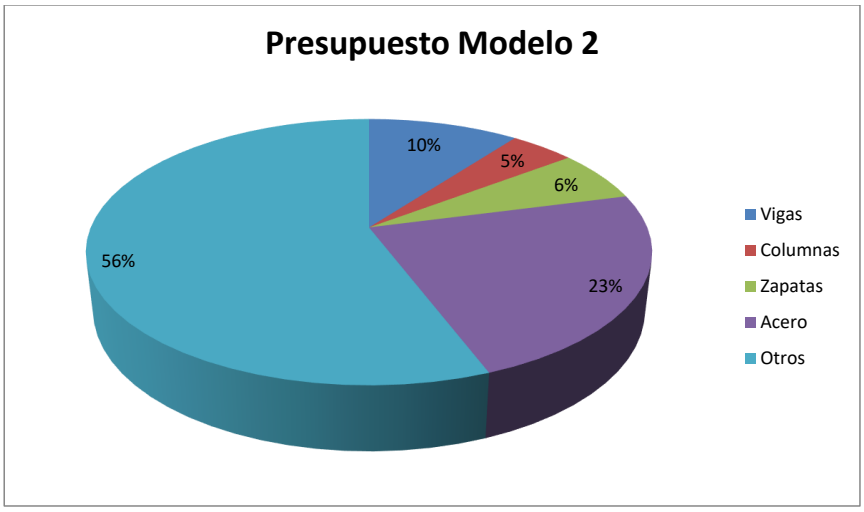
Gráfica 8 Presupuesto Modelo 1



Fuente: Autores

En la gráfica 8 se muestra la participación de algunos de los ítems correspondientes al presupuesto del modelo#1 y en el cual se observa que las vigas son las que tienen mayor incidencia en el costo total de la edificación además se muestra el porcentaje que tienen la escalera, la placa aligerada, y la viga de amarre que están resumidas en la sección de la gráfica correspondiente a otros.

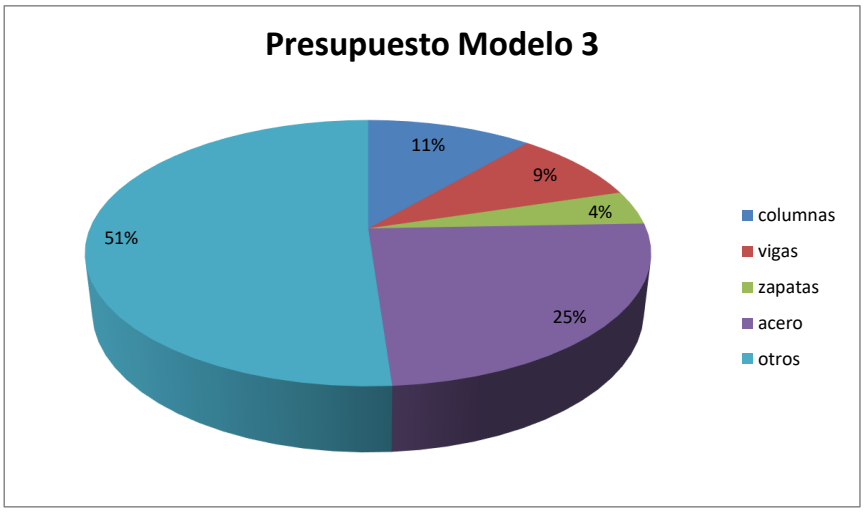
Gráfica 9 Presupuesto modelo2



Fuente: Autores

También se puede observar que en el modelo gravitacional con losas macizas correspondiente a la grafica10 tiene muchas similitudes con el modelo#1 ya que ambos son analizadas por cargas gravitacionales, y por tal motivo la participación de los elementos estructurales como columnas, vigas y zapatas es muy semejante pero la participación de otros se ve aumentada por la participación de las losas macizas.

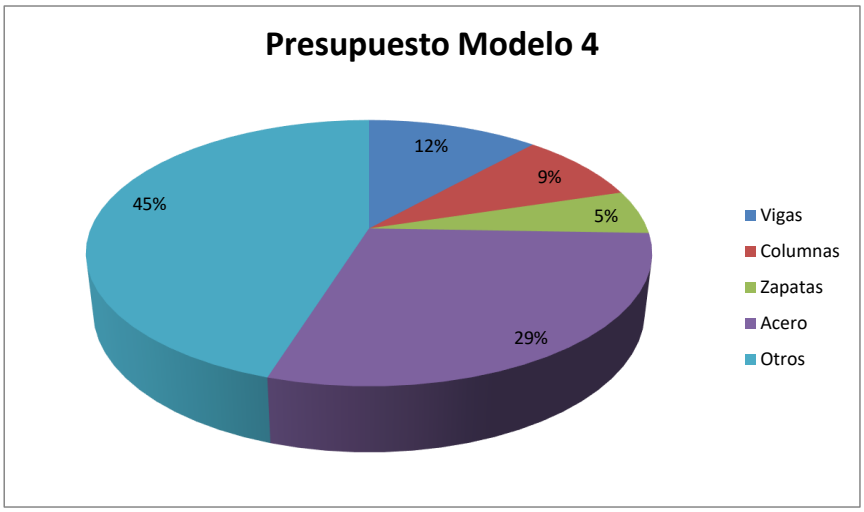
Gráfica 10 Presupuesto modelo 3



Fuente: Autores

En lo que respecta al modelo dinámico con losas aligeradas en la gráfica #10 se observa que el porcentaje de participación que tienen las columnas aumenta entre un 5% y un 6% con respecto a los modelos gravitacionales ya que al hacer el diseño sísmico las solicitudes aumentan y las columnas al soportar la estructura crecen en dimensiones mientras que el porcentaje de las vigas disminuye se mantiene casi constante con variaciones de 1% con respecto a los modelos 1y2 además el porcentaje de los otros ítems permanece sin mucha variación con relación al modelo# 1 puesto que tanto las placas como las vigas de amarre son las mismas aunque las zapatas si se ven afectadas por el incremento de las cargas que hacen que tanto su refuerzo como sus dimensiones aumenten.

Gráfica 11 Presupuesto modelo4



Fuente: Autores

El presupuesto del modelo#4 muestra un incremento considerable en la participación de las columnas ya que al ser diseñado cumpliendo con los requerimientos que la NSR-10 establece para el diseño mediante un método dinámico y el aumento de la masa total de la edificación, además del respectivo control por derivas que afecta tanto a las vigas como a las columnas y el diseño correspondiente al esfuerzo córtate que demandan secciones más grandes en este trabajo el aumento es proporcional en ambos sentidos en las columnas ya que se establecieron de forma cuadrada, las vigas cambian principalmente su altura y especialmente en las luz más grande la cual es de 7.55m.

CONCLUSIONES

- La diferencia en costos de las estructuras diseñadas por cargas gravitacionales y las estructuras diseñadas por análisis dinámico es de $549'582,531.00 para los diseños con losas aligeradas y de $537'754,604.00 en los diseños con losas macizas, costos que son considerables teniendo en cuenta que este costo sería el punto de partida para el posible reforzamiento de una estructura que se tenga que regir por la normatividad vigente en materia de estructuras sismo resistentes, ya que como se ha venido haciendo durante años se ha querido convertir a las edificaciones en estructuras seguras, mediante diferentes parámetros, que han aparecido en las diferentes normas; a su vez es de vital importancia el tener en cuenta lo relacionado con las cuantías de refuerzo que se obtienen mediante cada uno de los resultados obtenidos de cada uno de los métodos y programas utilizados y existentes principalmente en lo económico, funcionalidad, eficacia y eficiencia tanto para el constructor como para el proyecto en sí.

- Este tipo de trabajo es importante para tener un punto de referencia con el cual tomar una decisión acerca de cuál sistema es mejor para un determinado proyecto, en este trabajo se encontró que el modelo con mayores costos es el correspondiente al analizado mediante el método dinámico y que tiene el sistema de entrepisos con losas macizas con un costo total de $2'578,316,412.00 pesos, a su vez el modelo que representa menos costos es el correspondiente al modelo gravitacional con losas aligeradas con un costo total de $1'903,368,130.00 pesos, valor que es menor en un 26%, esto considerando las mismas condiciones, materiales y especificaciones existentes para este tipo de proyectos.

- El presente trabajo se puede tomar como base para algunos proyectos, que se desarrollen en esta zona, ya que, durante los diferentes procesos de análisis y diseños, se utilizaron parámetros sísmicos de la ciudad de Tunja y un tipo de suelo

tipo C, igualmente para la realización de los presupuestos y evaluaciones, se referenciaron los precios que se tienen y manejan en la región, con lo cual el presente trabajo cobra más importancia y relevancia para su aplicabilidad en la ciudad de Tunja.

- Después de realizar los diferentes cálculos y despieces se evidencia la necesidad de aplicar de manera adecuada las normas sísmicas, que en el caso de Colombia es la NSR10, ya que se ve la gran diferencia entre un modelo que solo tiene aplicadas cargas gravitacionales y que por consiguiente esta por fuera de la norma vigente y un modelo que cumple con todos los requisitos, además es necesario hacer un modelo que sea rentable, que genere confiabilidad y garantice y brinde seguridad y estabilidad a las construcciones que se diseñen bajo estas condiciones.

- En este trabajo se logra observar el comportamiento de una edificación con solicitaciones de un edificio típico y se obtuvo resultados que son similares a los que cualquier proyecto con características semejantes en la región podría obtener, además se observa que el modelo con losas aligeradas tiene menor masa y por lo tanto menor cortante basal a su vez el periodo es un poco mayor. Condiciones que se ven reflejadas en el presupuesto en el cual las edificaciones diseñadas con losas aligeradas tienen menor costo que las diseñadas con losas macizas, demostrando que una estructura con sistema de entrepisos aligerado con casetón de guadua es mucho más eficiente en cuanto al comportamiento sísmico y por ende en el costo total de la edificación.

GLOSARIO

ACELERACIÓN PICO EFECTIVA: Es un parámetro propio de cada lugar que se utiliza para la creación del espectro de diseño.

AGREGADO: Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno empleado con un medio cementante para formar concreto o morteros hidráulicos.

ANÁLISIS DINÁMICO ELÁSTICO: Tipo de análisis dinámico en el cual la rigidez y resistencia de la estructura permanecen dentro del rango elástico.

CAPACIDAD DE DISIPACIÓN DE ENERGIA: Es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural o una sección de dicho elemento estructural, de trabajar dentro de un rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia.

CARGA GRAVITACIONAL O PESO: Es el efecto vertical de la aceleración debida a la gravedad sobre la masa de la edificación, dicha masa es igual a la masa de la estructura más la masa de los elementos como muros divisorios y particiones, equipos permanentes, tanques y sus contenidos, etc. En depósitos y bodegas debe además utilizarse el 25% de la masa que produce la carga viva.

CARGA: Son las fuerzas externas que actúan sobre una estructura, estas son catalogadas como cargas muertas, vivas, dinámicas y estáticas.

CIMENTACIÓN: Conjunto de los elementos estructurales destinados a trasmitir las cargas de una estructura a el suelo o roca de apoyo.

COLUMNA: Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral mayor de 3 utilizado principalmente para resistir la carga axial a compresión. Para

un elemento de área variable, la menor dimensión lateral puede ser calculada como el promedio de las dimensiones superior e inferior del lado menor.

CONCRETO REFORZADO: Concreto que combina la resistencia compresión de l concreto con la resistencia a tensión propia de elementos de acero como por ejemplo las varillas.

CONCRETO: Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico con agregado fino, agregado grueso, y agua ya sea con la utilización de aditivos o la ausencia de estos.

DERIVA DE PISO DE DISEÑO: Diferencia relativa del desplazamiento de diseño entre la parte superior e inferior de un piso, dividido por la altura del piso.

DMO: Significa capacidad de disipación de energía moderada.

ENTREPISO: Elementos rígidos que separan un piso de otro, construidos monolíticamente o en forma de vigas sucesivas apoyadas sobre los muros estructurales.

ESFUERZO: Fuerza interna ocasionada por la cohesión de partículas que conforman un cuerpo y que se oponen a la deformación que ocasionan las fuerzas externas.

MÓDULO DE ELASTICIDAD: Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material.

PÓRTICOS: Elemento conformado por la conjugación de columnas y vigas. El sistema estructural de pórticos permite una gran libertad en los espacios, ya que las columnas están aisladas en sentido longitudinal.

VIGAS: Elementos lineales horizontales que ayudan a la transmisión de cargas monolíticamente unidas a la columna, de esta forma funcionan como un pórtico y actúan generalmente bajo cargas verticales a flexión.

VIGUETA: Elemento estructural que forma parte de una losa aligerada, el cual trabaja principalmente a esfuerzo de tensión.

BIBLIOGRAFIA

Comentado [ING.WM16]: Organizar por orden alfabetico

- ACUÑA ESPINOSA, Jhermain Alexander. Análisis dinámico de un edificio usando el programa SAP 2000. Bogotá, 2002. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería.

- Apuntes de clase, Diseño asistido por computador, Ingeniero Wilson Medina Sierra, 2012.

- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10. Decreto 926 del 19 de marzo de 2010.

- BHATT Prab, NELSON Hugh, Estructuras.

- COMPUTERS AND STRUCTURES, Manual Introductorio, Etabs, 2005.

- CONTRERAS ROJAS, Camilo Andrés. Flexión de placas aligeradas con bloque de arcilla y compuestas por perfil metálico y placa de concreto, Universidad Nacional de Colombia. 2003.

- FRANCO, Jorge Segura. Estructuras de concreto I, Bogotá, 2011.

- GONZÁLEZ MUÑOZ, José Alex. Comparación técnica y económica de edificios de cinco pisos con sótano con la NSR -98 y NSR-10 para la microzonificación sísmica de Bogotá. Universidad Militar Nueva Granada

- M. BOZZ, Luis. BARBAT Alex H. Diseño sismo resistente de edificios.

- MORENO TORRES. Miyer Manuel, PINTO MONTAÑEZ. Rodolfo Guillermo. Análisis comparativo técnico económico de la estructura aporticada con tecnología de construcción liviana en seco. Tunja, 2007. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia. Facultad de Ingeniería.

- MUÑOZ BUITRAGO. Álvaro Javier, VILLAMIL MORA. Jorge Alberto. Implicaciones de las zonas de amenaza sísmica en la cantidad de materiales estructurales para un edificio de 5 pisos según NSR-98. Tunja. Trabajo de grado (Ingeniero Civil). Universidad Tecnológica y Pedagógica de Colombia. Facultad de Ingeniería.

- NILSON, Arthur H; Darwin Dolan, Diseño de estructuras de concreto, Mc Graw Hill, Bogotá, 1999.

- SEDANO ARANGUREN, Andrea. Análisis comparativo de las implicaciones económicas entre la NSR-98 y laNSR-10. Bogotá, 2011.Trabajo de grado. Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería.