	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>10-04-2012</b>	<b>A</b>
Dependencia	Aprobado		Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>	<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>		<b>ii(132)</b>	

<b>AUTOR</b>	<b>JUAN DAVID CALDERÓN VELANDIA</b>		
<b>FACULTAD</b>	<b>INGENIERIAS</b>		
<b>PLAN DE ESTUDIOS</b>	<b>INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>DIRECTOR</b>	<b>HAROLD ALONSO QUINTERO PINEDA</b>		
<b>TÍTULO DE LA TESIS</b>	<b>DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMATICA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS DE PISO POR MEDIO DEL MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO</b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL PRESENTE PROYECTO TIENE COMO OBJETIVO PRINCIPAL DESARROLLAR UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS DE PISO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO, UTILIZANDO EL MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE, DESCRITO EN EL CAPÍTULO A.4 DE LA NSR-10.</p> <p>LA HERRAMIENTA CUENTA CON UNA BASE DE DATOS DE LOS COEFICIENTES SÍSMICOS DE ACELERACIÓN Y VELOCIDAD PICO EFECTIVA <math>A_a</math> Y <math>A_v</math>, LA CUAL SE PUEDE ACTUALIZAR DE ACUERDO A LAS MODIFICACIONES MÁS VIGENTES QUE TENGA LA NSR-10.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
<b>PÁGINAS: 132</b>	<b>PLANOS:</b>	<b>ILUSTRACIONES:19</b>	<b>CD-ROM:1</b>



VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL. OCAÑA N. DE S.  
 Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088  
[www.ufpso.edu.co](http://www.ufpso.edu.co)



DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA OBTENCIÓN DE  
LAS FUERZAS SÍSMICAS DE PISO POR MEDIO DEL MÉTODO DE LA FUERZA  
HORIZONTAL EQUIVALENTE EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO  
REFORZADO

AUTOR:

JUAN DAVID CALDERÓN VELANDIA

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

DIRECTOR

ING. HAROLD ALONSO QUINTERO PINEDA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE INGENIERIAS

INGENIERIA CIVIL

Ocaña, Colombia

Mayo del 2016

## Dedicatoria

Este logro no sería posible sin Dios, pues me brinda una motivación día a día y un apoyo incondicional en cada momento de mi vida, es por eso que dedico principalmente el cumplimiento de esta meta a Él, pues aun en los días más difíciles siempre estuvo presente, siendo también El, la fuerza que me impulsa a seguir adelante. Y aunque la vida no ha sido fácil, siempre me ha brindado su espalda para cubrir los problemas que se me presentan.

A mis padres, pues aunque mi vida desde niño no fue fácil, ellos siempre dieron todo por mí, tratando de que tuviera lo suficiente para salir adelante. Hoy soy un hombre, a un paso de ser profesional y todo se lo debo Dios primeramente y a ellos por su esfuerzo diario al luchar contra los problemas y dificultades que surgen al querer mejorar mi estilo de vida y la de mis hermanos. En especial a mi madre Yudy Aleida Velandia, por darlo todo cada segundo desde el momento de mi nacimiento, porque nunca ha bajado las manos sin importar aun su salud. Ella siempre busca lo mejor para mí aun cuando le he fallado y es por eso que tengo una vida completa para agradecerle, aunque sé que no bastara.

A mi hermano, Jonathan Díaz, por ser más que un hermano, me enseñó las cosas maravillosas de la vida, porque gracias a él tuve una infancia inolvidable y su ejemplo de hermano mayor me dio cualidades importantes para ser lo que hoy soy. A mi abuela, por esos consejos que me brinda en cada charla, porque gracias a ellos he logrado mejorar muchos defectos, como hijo, hermano, amigo y estudiante. Gracias a ella aprendí a ver los errores de una manera diferente y me enseñó que los problemas siempre tienen solución. A mi familia en general, por su apoyo incondicional

en cada momento difícil de la vida. A esa persona especial y maravillosa que hace 7 años llegó a mi vida y aunque ya no está conmigo, siempre me brindó su completo apoyo cuando creía que todo estaba mal, porque me impulsó a estudiar esta carrera y me dio esas palabras de aliento que tanto necesitaba para no desvanecer en tiempos difíciles, también le agradezco por tratar de siempre sacarme una sonrisa cuando no había razón para hacerlo.

Por último, a mis amigos y consejeros de la vida, que aunque siento que no he compartido lo suficiente con ellos, he aprendido cosas valiosas y agradezco también su apoyo que siempre tuve cuando más lo necesitaba.

Juan David Calderón Velandia

## **Agradecimientos**

El autor del proyecto expresa su agradecimiento en primer lugar a Dios, por ser el motivo principal a querer dar cada vez más un paso adelante y haciendo que todo sea posible, al Ingeniero Civil Harold Alonso Quintero Pineda, por su acompañamiento y apoyo incondicional en este proyecto, pues estuvo en cada momento difícil de este recorrido, siendo más que un director, un amigo y motivador excepcional, además también fue de gran importancia para que se esto fuera realidad. A la familia y amigos, en especial a Leidy Matsury Plata Pérez, por el apoyo brindado a lo largo de la carrera en momentos difíciles.

Juan David Calderón Velandia

## Índice

	Pág.
<b>Capítulo 1: Desarrollo de una herramienta informática para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso por medio del método de la fuerza horizontal equivalente en estructuras de concreto reforzado .....</b>	<b>16</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	16
1.2 Formulación del problema .....	18
1.3 Objetivos.....	19
1.3.1 Objetivo general .....	19
1.3.2 Objetivos específicos.....	19
1.4 Justificación .....	19
1.5 Delimitaciones.....	22
1.5.1. Geográfica.....	22
1.5.2. Temporales.....	22
1.5.3. Conceptual.....	22
1.5.4. Operativas.....	22
<b>Capítulo 2: Marco referencial .....</b>	<b>24</b>
2.1 Marco histórico .....	24
2.2 Marco conceptual .....	27
2.2.1. Periodo fundamental.....	27
2.2.2. Aceleración pico.....	27
2.2.3. Velocidad pico.....	28
2.2.4. Tipo de perfil de suelo.....	28
2.2.5. Coeficiente de importancia.....	30
2.2.6. Cortante basal.....	27
2.2.7. Irregularidad en planta.....	30
2.2.8. Irregularidad torsional.....	28
2.2.9. Irregularidad torsional extrema.....	31
2.2.10. Retrocesos excesivos en las esquinas .....	32
2.2.11. Discontinuidades en el diafragma.....	32
2.2.12. Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales.....	33
2.2.13. Sistemas no paralelos.....	34
2.2.14. Irregularidad en altura.....	34

2.2.15. Piso flexible.....	34
2.2.16. Irregularidad en la distribución de las masas.....	35
2.2.17 Irregularidad geométrica:.....	36
2.2.18 Desplazamiento dentro del plano de acción.....	36
2.2.19. Piso débil.....	37
2.2.20. Concreto reforzado.....	37
2.2.21 Grados de libertad.....	38
2.3 Marco teórico.....	38
2.3.1. Método de la Fuerza Horizontal Equivalente.....	40
2.4 Marco contextual.....	46
2.5 Marco legal.....	47
<b>Capítulo 3: Diseño metodológico.....</b>	<b>48</b>
3.1 Tipo de Investigación.....	48
3.2 Población y muestra.....	48
3.3 Técnicas de recolección de información.....	48
3.4 Metodología.....	49
<b>Capítulo 4: Presentación de resultados.....</b>	<b>51</b>
4.1 Desarrollar una herramienta informática para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso por medio del método de la Fuerza Horizontal Equivalente en estructuras de concreto reforzado.....	51
4.1.1. Establecer los requerimientos mínimos de la herramienta informática.....	52
4.1.2 Desarrollar las diferentes clases y módulos que conforman la herramienta informática, así como la respectiva base de datos que esta contendrá, haciendo uso de la Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-10 y del programa Microsoft Access.....	60
4.1.3. Elaborar el respectivo manual de usuario de la aplicación.....	69
<b>Capítulo 5: Conclusiones.....</b>	<b>70</b>
<b>Capítulo 6: Recomendaciones.....</b>	<b>72</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>73</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>76</b>

## Tabla de figuras

	Pág.
Figura 1. Irregularidad.....	28
Figura 2. Retrocesos excesivos en las esquinas.....	29
Figura 3. Discontinuidades en el diafragma .....	30
Figura 4. Desplazamiento de los planos de acción. ....	30
Figura 5. Sistemas no paralelos .....	31
Figura 6. Piso flexible .....	32
Figura 7. Irregularidad en la distribución de las masas.....	32
Figura 8. Irregularidad Geométrica.....	33
Figura 9. Desplazamiento dentro del plano de acción. ....	34
Figura 10. Piso débil. ....	34
Figura 11. Vista general del módulo Uso_BD.....	57
Figura 12. Variables públicas usadas para la conexión a la base de datos.....	58
Figura 13. Métodos públicos para consulta y actualización de la base de datos.....	58
Figura 14. Módulo para validación de los pesos discriminados.....	60
Figura 15. Módulo para espectro elástico de aceleraciones .....	61
Figura 16. Módulo para obtención y verificación del periodo fundamental. ....	62
Figura 17. Módulo para bloqueo/desbloqueo menú de herramientas funcionales .....	63
Figura 18. Clase para los niveles de la educación (alturas por piso). ....	64
Figura 19. Clase para los niveles de la educación (alturas por piso). ....	65



## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los perfiles de suelos .....	25
Tabla 2. Valores del coeficiente de importancia, I .....	27
Tabla 3. Valor de los parámetros $C_t$ y $\alpha$ para el cálculo del período aproximado $T$ .....	40

## Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice 1. Ejemplo de aplicación para comprobar la funcionalidad de la herramienta informática.....	73
Apéndice 2. Solución del ejercicio anterior en la herramienta informática fhe-soft. ....	102
Apéndice 3. Presupuesto del proyecto. ....	127
Apéndice 4. Cronograma de actividades. ....	128
Apéndice 5. Manual de usuario FHE.....	129

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo principal desarrollar una herramienta informática para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso en estructuras de concreto reforzado, utilizando el método de la Fuerza Horizontal Equivalente, descrito en el Capítulo A.4 de la NSR-10.

La herramienta informática denominada **FHE-Soft**, está limitada sólo a estructuras de concreto reforzada y cuenta con una base de datos de los coeficientes sísmicos de aceleración y velocidad pico efectiva **A<sub>a</sub>** y **A<sub>v</sub>**, la cual se puede actualizar en cualquier momento de acuerdo a las modificaciones más vigentes que tenga la NSR-10, si el usuario así lo desea.

Este programa se desarrolló en la herramienta Microsoft Visual Studio Express 2010, con uso del lenguaje de programación Visual Basic, de uso gratuito, además se implementó Microsoft Access, como alojamiento de la base de datos que dispone la herramienta **FHE-Soft**.

## Introducción

Anteriormente, en los proyectos de ingeniería, específicamente de la rama de ingeniería civil, el proceso mediante el cual se realizaba cada uno de los cálculos matemáticos que intervenían en el análisis particular de una estructura, era de forma manual, lo cual hacía engorroso el proceso y era muy probable caer en errores que terminaban alargando más el proceso. En algunos casos, los errores pasaban desapercibidos, lo que hacía que la estabilidad de las estructuras estuviera en riesgo. Estos cálculos por lo general demoraban mucho tiempo, dificultando el proceso de análisis y documentación del proyecto, a la empresa encargada de la consultoría.

Hoy en día, la tecnología ha avanzado a pasos agigantados, involucrándose en todas las partes de la industria en general, incluso en el desarrollo de nuestra vida personal. Gracias a esto, se facilitó un poco el cumplimiento los objetivos de un proyecto de ingeniería en particular, solucionando problemas de tiempo, de personal trabajador y de costos, ya que son los factores más importantes a tener en cuenta en todo proyecto de construcción. Tomando como ejemplo la construcción de una edificación. Pues uno de los pasos más importantes para poner en ejecución, es el de los diseños estructurales, y es quizás allí, donde la tecnología influye de manera total, pues dicha actividad, requiere hoy en día un uso total de la tecnología, y es ahí, donde el ingeniero va implementando programas computacionales que facilitan y acortan el tiempo de análisis, cálculos y diseño de la superestructura.

Por lo anteriormente mencionado, se ha pensado en la creación de una herramienta informática de uso libre, que brinde la posibilidad de realizar el análisis sísmico de una estructura, teniendo como limitante la aplicación de la misma en cualquier municipio de Colombia y finalmente dar la posibilidad de calcular las Fuerzas sísmicas que se generan a través de un sismo, implementando el Método de la Fuerza Horizontal Equivalente, pero restringiendo dichos cálculos a estructuras netamente diseñadas en concreto reforzado.

# **Capítulo 1: Desarrollo de una herramienta informática para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso por medio del método de la fuerza horizontal equivalente en estructuras de concreto reforzado**

## **1.1 Planteamiento del problema**

Años atrás, cuando la tecnología no se encontraba con el auge actual, los ingenieros realizaban sus procesos de forma manual, por lo cual, los proyectos requerían mucho más tiempo de dedicación, pues sin la ayuda de la programación y la computadora, los procedimientos necesarios para el análisis y diseño de estructuras se convertían en una larga, tediosa y abultada labor, que muchas veces se volvía un ciclo, debido a los errores de procedimiento que se cometían de manera reiterativa.

Actualmente, con el avance significativo y auge de la tecnología, se ha convertido en algo imprescindible en cualquier área de la ingeniería, es por esta razón que hoy en día las herramientas computacionales, específicamente el uso de las herramientas informáticas de toda índole, se han desarrollado con el fin de facilitar, mejorar y agilizar los procesos y actividades que conllevan la academia y el campo profesional (Claudia P, 2013, p.2).

Si bien ya sabemos, hoy en día existe gran variedad de herramientas informáticas en el mercado destinados al área de estructuras como SAP2000, ETABS, CYPECAD, entre otros, que incluyen la posibilidad de realizar el análisis sísmico estático lineal, pero estos se encuentran a precios muy altos y por ende no están al alcance de muchos estudiantes y profesionales, además,

la mayor parte de estos son difíciles de usar y se hace necesario realizar una capacitación para entenderlos y usarlos de manera eficaz; igualmente los resultados que arrojan son muy generales, por lo que no permite obtener valores específicos que para el caso de los estudiantes, se hacen necesarios para comprobar los resultados obtenidos de forma manual.

Es preciso resaltar que buscando en la web, no se encontró un programa comercial, desarrollado específicamente para este tipo de análisis, que involucre: el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, haciendo uso del título A en especial el capítulo A-4 (Método de la Fuerza Horizontal Equivalente) y el título B (Cargas).

Además, algunos programas no comerciales encontrados en la web, fueron desarrollados para funcionar con limitaciones como la cantidad de pisos y número de pórticos a trabajar, el tipo de irregularidad que posee la estructura y el tipo de suelo a trabajar. Otra limitación importante es el obligado uso de internet, por lo cual, muchas personas que no cuenten con esta comodidad, no podrán hacer uso de ellos. Así mismo, no cuentan con las actualizaciones de la NSR-10, tampoco permiten modificar sus datos con las actualizaciones que realiza la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

Cabe resaltar que la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, no cuenta con un programa computacional propio que permita realizar el análisis sísmico de estructuras en concreto reforzado, utilizando el método de la Fuerza Horizontal Equivalente.

En razón de lo expuesto, se plantea desarrollar una herramienta informática eficiente y aplicable para estudiantes y profesionales sin necesidad de recurrir a los tediosos y largos manuales de usuario, debido a la facilidad de uso que este brinda por medio de ayudas instantáneas. Además se creará una base de datos de los coeficientes sísmicos para cada municipio de Colombia establecidos en el Apéndice A-4 de la NSR-10 y sus respectivas actualizaciones hasta la fecha de los valores de  $A_a$  y  $A_v$ . Dicha base de datos estará directamente conectada al programa, además dispondrá de la opción de actualizar dichos coeficientes de acuerdo a la reformas realizadas a la NSR-10. También, el usuario podrá realizar un análisis sísmico para cualquier cantidad de pisos sin importar la configuración en planta y altura (dentro de los límites establecidos por el capítulo A-4 de la NSR-10), obtener las fuerzas y cortantes de piso en estructuras de concreto reforzado, realizar la revisión final del periodo fundamental, y se contempla la posibilidad de que el programa logre realizar un chequeo de las derivas de la estructura con ayuda de los resultados obtenidos por medio de softwares tales como SAP2000, ETABS, CYPECAD, etc. Por último, la herramienta brindará al usuario la opción de generar un reporte de resultados, con los datos obtenidos en el proceso de análisis.

## 1.2 Formulación del problema

¿Cómo a través de una herramienta informática basada en el Método de la Fuerza Horizontal Equivalente, se podrá obtener las fuerzas sísmicas de piso en una estructura de concreto reforzado?



### 1.3 Objetivos

**1.3.1 Objetivo general.** Desarrollar una herramienta informática para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso por medio del método de la fuerza horizontal equivalente en estructuras de concreto reforzado.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Establecer los requerimientos mínimos de la herramienta informática.
- Desarrollar las diferentes clases y módulos que conforman la herramienta informática, así como la respectiva base de datos que esta contendrá, haciendo uso de la Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-10 y del programa Microsoft Access.
- Elaborar el respectivo manual de usuario de la aplicación.

### 1.4 Justificación

Dado que la ingeniería civil, es en una de las carreras profesionales más complejas, donde el uso y aplicación de las matemáticas en todas las áreas del conocimiento, se enfatizan significativamente a través de cálculos extensos, que al hacerlos manualmente requieren de mucho tiempo y cuidado, dado a la posible ocurrencia de errores de cálculo. En razón de lo anterior, la implementación de herramientas computacionales hoy en día, específicamente las herramientas informáticas, se han convertido en algo esencial para la optimización de las actividades y procesos que demanda la academia y el campo profesional, en el área de la ingeniería en general.

Debido a lo anteriormente expuesto, se hace necesario desarrollar una herramienta informática que permita obtener las fuerzas sísmicas de piso por medio del método de la Fuerza Horizontal Equivalente en estructuras de concreto reforzado. Éste, tendrá la capacidad de analizar una gran cantidad de pisos, sin importar la configuración estructural de la edificación en planta y en altura, ya que permite discriminar los elementos estructurales y no estructurales de la edificación, con el fin de poder determinar el peso por piso de la misma.

Además, la herramienta se enfocará para estudiantes y profesionales de la ingeniería civil, esto debido a que la interfaz gráfica será detallada y explícita, con ayudas instantáneas, permitiendo el fácil manejo y entendimiento de los datos que se solicitan. Así mismo, el reporte del programa, se diseñará de manera que se puedan visualizar todos los resultados de los cálculos necesarios para obtener las fuerzas de piso.

Respecto de la aplicación, y con el fin de reducir procesos de ingreso de datos por parte del usuario final, manejará una base de datos integrada a la misma de los coeficientes sísmicos para todos los municipios de Colombia estipulados en el Apéndice A.4, al igual que los de las tablas A.2.4.3 y A.2.4.4, descritos en la NSR-10. De igual forma, el programa contará con la posibilidad de actualizar dicha base de datos directamente por el usuario final, la cual es la otra razón principal de que la herramienta cuente con ésta.

El programa graficará el espectro elástico de aceleraciones de acuerdo a la figura A.2.6.1 de la NSR-10, pues este permite visualizar y obtener la aceleración espectral  $S_a$ , para diferentes valores del periodo  $T_a$  de la estructura, además que, como propósito final, mostrará el valor

específico del periodo de la estructura y su correspondiente valor de la aceleración espectral de diseño.

En cuanto a los cálculos y resultados, el programa maneja un grado de precisión con un total de veinte ocho cifras decimales, aunque sus resultados serán mostrados como aproximados. Mencionando esto a modo de comparación, la cantidad de cifras que normalmente se utilizan en los cálculos y resultados manuales con respecto a los arrojados por esta herramienta informática, puesto que manualmente se utilizan un máximo de 5 cifras decimales y debido a esto los resultados finales difieren un poco.

Finalmente, es preciso mencionar la importancia que tiene para mí este proyecto, pues al ser de tipo multidisciplinar, reúne saberes de la ingeniería civil, con la creación de programas computacionales, envolviéndolas en una sistematización del conocimiento para el apoyo de un problema en particular. Esto me ayuda a ver los problemas de ingeniería de una manera diferente, llevándolo a una solución que no solo me brinda un beneficio propio, sino que además, puedo usarlo para generar un apoyo en diferentes campos como la academia, la ingeniería y la comunidad en general.

En este proyecto, puedo aprender a agilizar procesos que contiene un problema en general, pues el crear herramientas y softwares, hacen más rápido y eficaz la resolución de un problema en particular.

## 1.5 Delimitaciones

**1.5.1. Geográfica.** Es aplicable para cualquier municipio de Colombia.

**1.5.2. Temporales.** Este proyecto se desarrollará durante un periodo de 6 meses, desde septiembre de 2015 a febrero del año 2016.

**1.5.3. Conceptual.** Para avanzar en el desarrollo de la herramienta informática enfocada en la obtención de las fuerzas sísmicas de piso de una estructura, es necesario revisar los siguientes conceptos:

- Método de la Fuerza Horizontal Equivalente definido en el Capítulo A.4 de la NSR-10.
- Propiedades mecánicas del concreto, así mismo como su comportamiento estructural.
- Tipos de cargas definidas en el Título B de la NSR-10.

Características físicas y mecánicas del suelo, según los parámetros empleados en la definición del tipo de perfil del mismo, para su clasificación de acuerdo a las tablas A.2.4.1 y A.2.4.2 de la NSR-10.

**1.5.4. Operativas.** Durante el desarrollo de la herramienta informática para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso, por medio del Método de la Fuerza Horizontal Equivalente en estructuras de concreto reforzado, se tendrá en cuenta:

- Uso del programa Microsoft Visual Studio Express 2010, por lo que es necesario tener conocimientos en programación, específicamente en el lenguaje Visual Basic.
- Uso de las herramientas informáticas Excel y Access, por esta razón, se hace necesario tener conocimientos intermedios en estas aplicaciones.
- Conocimiento del lenguaje de programación SQL, con fines de conectar el programa con la base de datos desarrollada en Access y las regresiones calculadas en Excel.

## Capítulo 2: Marco referencial

### 2.1 Marco histórico

Al iniciar este recorrido histórico es importante mencionar los datos investigativos más relevantes del concreto como material de construcción, debido a la gran importancia que toma éste en el desarrollo del presente proyecto titulado: Desarrollo de una herramienta informática para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso por medio del método de la fuerza horizontal equivalente en estructuras de concreto reforzado. Resaltando como dato, que años atrás, cuando aún no se conocía el concreto armado, los pórticos se constituían de grandes rocas monolíticas y ladrillos trabados, construyendo con estos materiales elementos como columnas, dinteles o arquivadas. Posteriormente, dichos materiales fueron reemplazados por el concreto debido a su comportamiento mecánico ante las diferentes fuerzas que actúan en las estructuras, permitiendo la construcción de elementos más esbeltos en altura y una reducción del volumen en su sección transversal (Romero Martínez, 2005,p.8), disminuyendo de esta manera el peso propio de cada elemento y de la estructura en general, así como también las limitantes en cuanto a diseños arquitectónicos que se tenían en esa época.

Además, es preciso resaltar como dato principal en la evolución del concreto como material de construcción, la creación de la primera comisión "Joint Comite" en Norte América 1904, para el estudio del concreto. A partir de esta fecha se comenzaron a realizar estudios rigurosos para reglamentar el uso del concreto armado, dando lugar a la Norma Norteamericana que se publicó por primera vez en (Marín J., 1971, p.10). Con la implementación de esta norma las construcciones tomaron un cambio drástico, revolucionando la industria constructora, dado a

que el concreto se convirtió en el material más utilizado para la construcción de estructuras que resistieran las fuerzas sísmicas y demás cargas que le impusiera la naturaleza.

Como se mencionó anteriormente, el concreto como material de construcción de tipo estructural, posee además de un fácil manejo constructivo, una gran resistencia a la compresión y a la temperatura. Pero este material por sí solo, no es capaz soportar las fuerzas sísmicas y demás cargas que se le impongan, y es por esta razón que fue necesario reforzarlo con barras de acero de tipo estructural, pues este material brinda un comportamiento ideal ante las fuerzas de tracción que se originan con la aplicación de cargas de carácter vertical y horizontal, lo que convierte esta combinación de concreto reforzado en una buena opción a la hora de construir una edificación sismo resistente ( Hurtado Santiago,2010,p.20).

En la actualidad, cuando se desea construir una edificación sismo resistente, se toman como referencia las normativas que rigen a la industria de la construcción, tanto de manera local como global. Estos reglamentos establecen recomendaciones y exigen el obligatorio cumplimiento en algunos de sus capítulos, basándonos particularmente para este proyecto en el título A del Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 y sus diferentes capítulos, el cual establece, que la estructura de la edificación debe diseñarse para que tenga resistencia y rigidez adecuadas ante las cargas mínimas de diseño prescritas en el reglamento, y debe, además, verificarse que dispone de rigidez adecuada para limitar la deformabilidad ante las cargas de servicio, de tal manera que no se vea afectado el funcionamiento de la edificación y cumpliendo siempre el objeto de reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del estado y de los ciudadanos.

Para ir un poco más a fondo, es necesario mencionar algunos de los eventos sísmicos más relevantes en la historia de Colombia, iniciando con el sismo que se presentó en Tumaco el 12 de diciembre de 1979, pues la intensidad de este movimiento telúrico fue tan grande que estuvo acompañado de un tsunami. Este sismo tuvo una intensidad de 7,9 grados en la escala de Richter, dejando un saldo de 259 muertos, 98 heridos y 95 desaparecidos, afectando además, a los municipios de El Charco, Mosquera y Salahonda en Nariño. Resaltando como anexo a este sismo, el 23 de noviembre del mismo año, un sismo de 6,7 grados en la escala de Richter había sacudido la zona de Tumaco y otras poblaciones costeras, dejando un saldo de 44 muertos (Aranguren Sedano, 2010, p.10).

Otro evento que alertó a la ingeniería colombiana fue el sismo de Popayán en el año 1983, con una intensidad de 5,5 grados en la escala de Richter, dicho sismo causó la muerte a 197 personas y destruyó 15.000 casas aproximadamente. A raíz de esto, surgió la necesidad de expedir una normatividad para construcciones sismo resistente, el cual sería el CCCSR-84, que incluiría el primer estudio general de amenaza sísmica del país (Gonzales, 2014, p. 83).

Por los motivos mencionados anteriormente, fue que se adoptaron medidas que dieron lugar a la primera reglamentación sismo resistente de Colombia, expedida por el Gobierno Nacional por medio del Decreto 1400 del 7 de junio de 1984 y que años después, se actualizaría por primera vez al Reglamento NSR-98, esta fue expedida por medio del Decreto 33 del 9 de enero de 1998 luego de que el Congreso de la República en el año 1997 expidiera la Ley 400 de 1997. Posteriormente llegó la segunda actualización, correspondiente al Reglamento NSR-10,



expedida por medio del Decreto 926 del 19 de marzo de 2010 y que hasta el día de hoy rige a las construcciones sismo resistente en Colombia. (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial de Colombia, 2010, p.)

## **2.2 Marco conceptual**

A continuación se enmarcan algunos de los conceptos más importantes, utilizados para el desarrollo del presente proyecto titulado: Desarrollo de una herramienta informática para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso por medio del método de la fuerza horizontal equivalente en estructuras de concreto reforzado.

**2.2.1. Periodo fundamental.** En una estructura el tiempo que requiere para completar un ciclo de vibración es llamado periodo fundamental, y su cálculo se realiza a partir de las propiedades de su resistencia sísmica utilizando los conceptos de la dinámica estructural. Su determinación es primordial porque de él depende la magnitud de la fuerza sísmica que experimentará la estructura. (Herrera Martínez, 2015, p.24) Cada estructura posee un único periodo natural o fundamental de vibración, el cual es el tiempo requerido para completar un ciclo de vibración libre. La rigidez, la altura de la estructura son factores que determinan o influyen en el periodo fundamental, y éste puede variar desde 0.1 [s], para sistemas simples, hasta varios segundos para sistemas de varios niveles. Como primera aproximación el periodo fundamental puede ser asumido igual al número de niveles dividido por 10.

**2.2.2. Aceleración pico.** Es la medida más común de la amplitud de un movimiento particular de tierra es la aceleración horizontal pico (PHA). El PHA de un componente de

movimiento es simplemente el valor de aceleración horizontal más grande o absoluta obtenido de los acelerogramas del componente. (Morales Ramírez, 2011, p.20)

**2.2.3. Velocidad pico.** La velocidad horizontal pico (PHV) es otro parámetro útil para la caracterización de la amplitud de movimiento del suelo. Desde que la velocidad sea menos sensible a una frecuencia alta los componentes del movimiento de tierra mostrado en la Figura 5, El PHV es más probable a utilizar que el PHA para caracterizar la amplitud del movimiento del suelo con precisión en frecuencias intermedias. (Morales Ramírez, 2011, p.20)

**2.2.4. Tipo de perfil de suelo.** El procedimiento que se emplea para definir el tipo de perfil de suelo, según la NSR-10, se basa en los valores de los parámetros del suelo de los 30 metros superiores del perfil, medidos en el sitio que se escriben en el A.2.4.3 de la misma norma. La clasificación se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 1.***Clasificación de los perfiles de suelos*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\tilde{V}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \tilde{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de la onda de cortante, o	$760 > \tilde{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\tilde{N} \geq 50$ , o $\hat{S}_u \geq 100 \text{ Kpa}$ ( $\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$ )
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \tilde{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con cualquiera de las dos condiciones	$50 > \tilde{N} \geq 15$ , o $100 \text{ Kpa}$ ( $\approx 1 \text{ kgf/cm}^2$ ) $> \hat{S}_u \geq 50 \text{ Kpa}$ ( $\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ )
E	Perfil que cumpla con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \tilde{V}_s$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $W \geq 40\%$ $50 \text{ Kpa}$ ( $\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2$ ) $> \hat{S}_u$
F	<p>Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases :</p> <p>F1 – Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.</p> <p>F2 – Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H &gt; 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).</p> <p>F3 – Arcillas de muy alta plasticidad (H &gt; 7.5 m con índice de plasticidad IP &gt; 75)</p> <p>F4 – Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H &gt; 36 m)</p>	

Nota fuente: NSR-10 Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.5. Coeficiente de importancia.** Según la NSR-10, el coeficiente de importancia I, modifica el espectro, y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo con el grupo de uso a que esté asignada la edificación para tomar en cuenta que para edificaciones de los grupos II, III y IV establecidos en la misma norma, deben considerarse los valores de aceleración con una probabilidad menor de ser excedidos que aquella del diez por ciento en un lapso de cincuenta años considerada en el numeral A.2.2.1 de la NSR-10.

A continuación se muestran los valores del coeficiente de importancia según cada grupo de uso establecido en la norma.

**Tabla 2.**

*Valores del coeficiente de importancia, I*

Grupo de uso	Coeficiente de importancia
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.6. Cortante basal.** El cortante basal o cortante base se calcula como un factor multiplicador de la gravedad por la masa de la estructura, o lo que es igual el producto del peso de la estructura por la máxima aceleración horizontal resultante del análisis en el espectro elástico de diseño.

**2.2.7. Irregularidad en planta.** La irregularidad estructural o en planta se puede dividir en varios tipos como lo describe la Norma Sismo Resistente de Colombia NSR10

**2.2.8. Irregularidad torsional.** La irregularidad torsional existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.2 y menor o igual a 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.

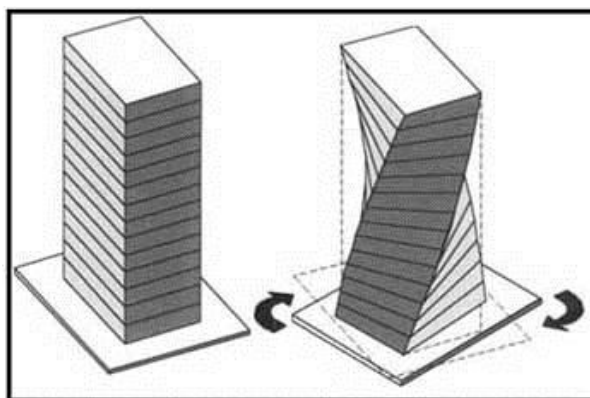


Figura 1. Irregularidad.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.9. Irregularidad torsional extrema.** La irregularidad torsional extrema existe cuando en una edificación con diafragma rígido, la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura, calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es más de 1.4 veces la deriva promedio de los dos extremos de la estructura, con respecto al mismo eje de referencia.

**2.2.10. Retrocesos excesivos en las esquinas.** La configuración de una estructura se considera irregular cuando ésta tiene retrocesos excesivos en sus esquinas. Un retroceso en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del retroceso, son mayores que el 15 por ciento de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del retroceso.

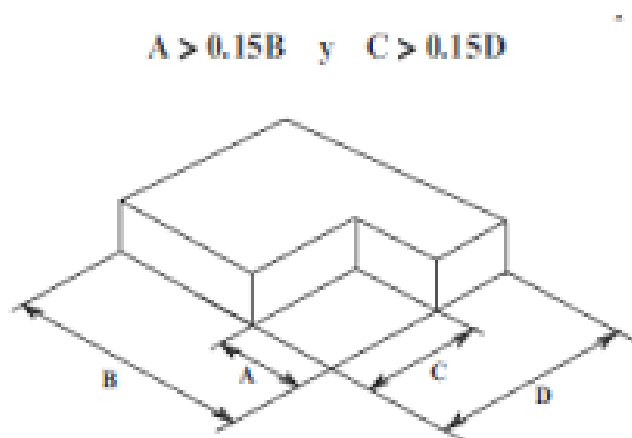


Figura 2. Retrocesos excesivos en las esquinas.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.11. Discontinuidades en el diafragma.** Cuando el diafragma tiene discontinuidades apreciables o variaciones en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entradas, retrocesos o huecos con áreas mayores al 50 por ciento del área bruta del diafragma o existen cambios en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50 por ciento, entre niveles consecutivos, la estructura se considera irregular.

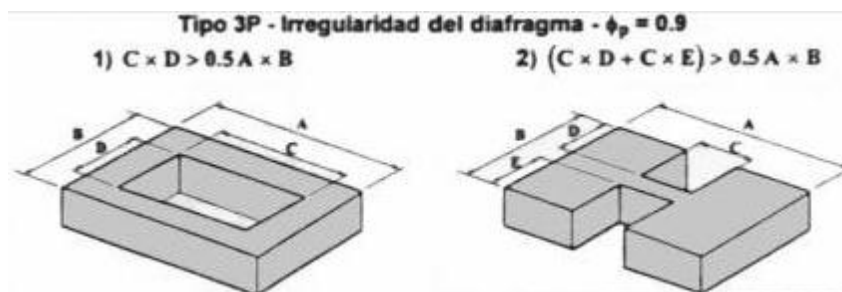


Figura 3. Discontinuidades en el diafragma.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.12. Desplazamientos del plano de acción de elementos verticales.** La estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en las trayectorias de las fuerzas inducidas por los efectos sísmicos, tales como cuando se traslada el plano que contiene a un grupo de elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, en una dirección perpendicular a él, generando un nuevo plano. Los altillos o manzardas de un solo piso se eximen de este requisito en la consideración de irregularidad.



Figura 4. Desplazamiento de los planos de acción.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.13. Sistemas no paralelos.** Cuando las direcciones de acción horizontal de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica no son paralelas o simétricas con respecto a los ejes ortogonales horizontales principales del sistema de resistencia sísmica, la estructura se considera irregular.

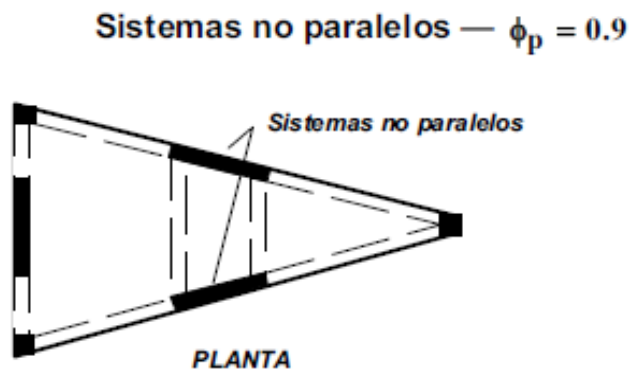


Figura 5. Sistemas no paralelos.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.14. Irregularidad en altura.** Se considera que hay irregularidad en altura, cuando ocurre uno, o varios, de los casos descritos a continuación.

**2.2.15. Piso flexible.** Cuando la rigidez ante fuerzas horizontales de un piso es menor del 70 por ciento pero superior o igual al 60 por ciento de la rigidez del piso superior o menor del 80 por ciento pero superior o igual al 70 por ciento del promedio de la rigidez de los tres pisos superiores, la estructura se considera irregular. Se puede apreciar a continuación este caso en el piso C el cual es piso flexible.



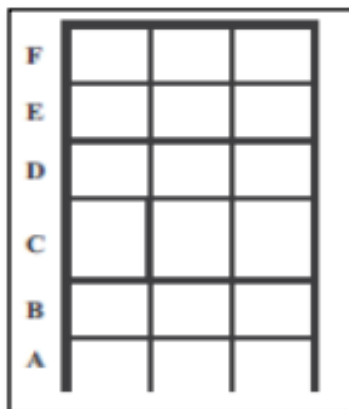


Figura 6. Piso flexible.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.16. Irregularidad en la distribución de las masas.** Cuando la masa, de cualquier piso es mayor que 1.5 veces la masa de uno de los pisos contiguos, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de cubiertas que sean más livianas que el piso de abajo.

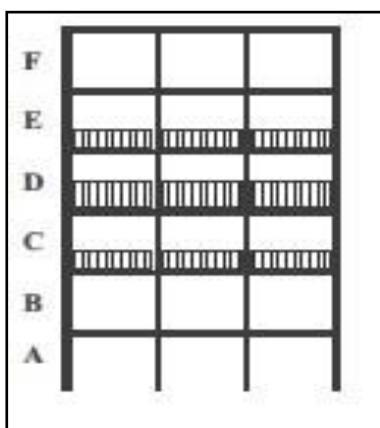


Figura 7. Irregularidad en la distribución de las masas.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.17 Irregularidad geométrica.** Cuando la dimensión horizontal del sistema de resistencia sísmica en cualquier piso es mayor que 1.3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, la estructura se considera irregular. Se exceptúa el caso de los altillos solo en un piso.

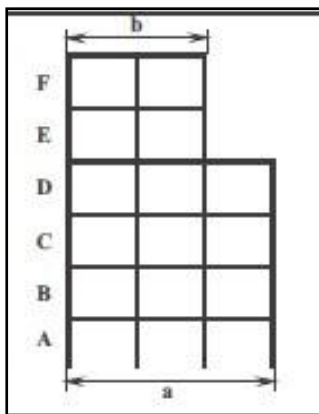


Figura 8. Irregularidad geométrica.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.18 Desplazamiento dentro del plano de acción.** La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica, dentro del mismo plano que los contiene, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos, se eximen de esta consideración de irregularidad.

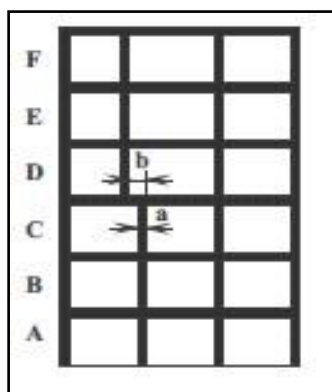


Figura 9. Desplazamiento dentro del plano de acción.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.19. Piso débil.** Cuando la resistencia del piso es menor del 80 por ciento de la del piso inmediatamente superior o igual al 65 por ciento, entendiendo la resistencia del piso como la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada irregular.

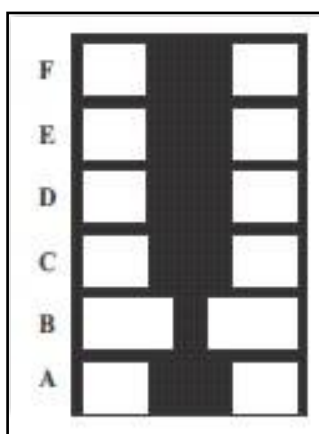


Figura 10. Piso débil.

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

**2.2.20. Concreto reforzado.** Es una combinación de concreto y acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia a la tensión de que carece el concreto. El acero de refuerzo es también capaz de resistir fuerzas de compresión y se usa en columnas, así como en otros miembros estructurales. Es probablemente el material disponible más importante para la construcción. Puede usarse en una u otra forma para casi todas las estructuras, grandes o pequeñas en edificios, puentes, pavimentos, presas, muros de retención, túneles, instalaciones de drenaje e irrigación, tanques, etcétera. (Mc Cormac y Brown, 2011)

**2.2.21 Grados de libertad.** Número de grados de libertad en ingeniería se puede conceptualizar como el número mínimo de parámetros necesarios para determinar completamente la velocidad de un mecanismo o el número de reacciones de una estructura. (Gonzales M., 2012)

### **2.3 Marco teórico**

Actualmente, la construcción y remodelación de edificaciones en Colombia, se rigen a través de la Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-10, la cual recomienda, en el título A, aplicar un método de análisis sísmico en la estructura a trabajar, teniendo en cuenta parámetros como la irregularidad en planta y en altura, cantidad de pisos, el grupo de uso, el nivel de amenaza sísmica al que estará sometida la estructura, etc. Los métodos de análisis a trabajar según la NSR-10, teniendo en cuenta los parámetros anteriormente mencionados, son, el método de la fuerza horizontal equivalente, método de análisis dinámico elástico, método de análisis

dinámico inelástico y/o métodos de análisis alternos, los cuales deben ser de aceptación general en la ingeniería.

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos decir que, actualmente en los procesos de análisis se están implementando ayudas sistematizadas como software y herramientas computacionales para ayudar a corregir los problemas más comunes que son: la rapidez, la precisión y la eficacia en general a la hora de presentar un proyecto de ingeniería. Es por esta razón que hace algunos años, se ha venido trabajando en programas computacionales que ayudan a realizar el análisis sísmico de una estructura, utilizando los diferentes métodos que ha brindado la investigación. En este caso particular, se trabajara en el método de la Fuerza Horizontal Equivalente, no sin antes hablar un poco de los trabajos realizados sobre este tema.

En junio de 2013, Carlos Mario Piscal Arévalo, Fabián Augusto Lamus Báez y Laura Vanessa Araque Lavallo de la Universidad de la Salle Colombia, desarrollaron una herramienta computacional para el cálculo de fuerzas sísmicas usando el método de la fuerza horizontal equivalente, usando la plataforma Java para su desarrollo. Según explican, El software consta de tres módulos; el primero le permite al usuario calcular espectros de aceleración, velocidad, desplazamiento, umbral de daño o seguridad limitada, discriminado aquellas zonas que cuentan con microzonificación sísmica. En el segundo módulo, el usuario puede calcular las fuerzas sísmicas para cada uno de los niveles de la estructura. En el módulo final, el usuario puede calcular el periodo dinámico usando el método de Rayleigh, realizar el ajuste a dicho periodo y finalmente realizar el ajuste del cortante dinámico obtenido por análisis modal espectral u otro método de análisis dinámico.

En el año 2014, Álvaro Salamanca y Brayner Fuentes de la Universidad Francisco de Paula Santander de la ciudad de Cúcuta (Norte de Santander, Colombia), desarrollaron un software para el cálculo de fuerzas horizontales equivalentes basado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), a través de programación extrema que se muestra por medio de una plataforma web. Para trabajar con el software es necesario tener acceso a internet y de un navegador como Internet Explorer. En este programa, el usuario debía ingresar el Nombre Proyecto, Ubicación, Dirección, Propietario, Número placas, Número Pórticos Eje X, Número Pórticos Eje Y, Número Columnas Eje X y Número Columnas Eje Y, para poder proseguir y trabajar en base a estos datos.

En nuestro caso, el programa será creado con uso del lenguaje de programación VB.NET. La herramienta se diseñará de tal manera, que el usuario tenga la facilidad de entender las opciones plasmadas en este y de obtener resultados en el menor tiempo posible, haciendo que disminuya el tiempo de los cálculos en un proyecto de ingeniería, además, este dará comparaciones y recomendaciones según la Norma de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). La herramienta calculará las fuerzas sísmicas por piso en estructuras de concreto reforzado, basado en el método de la Fuerza Horizontal Equivalente. A continuación, daremos una definición clara de lo que es el Método de la Fuerza Horizontal Equivalente, según la NSR-10.

**2.3.1. Método de la Fuerza Horizontal Equivalente.** El Método de la Fuerza Horizontal Equivalente está basado en la suposición de estructuras elásticas con diafragmas rígidos. (Poveda Salamaca, 2013, p.18) El método de la Fuerza Horizontal Equivalente es el más utilizado y abarca gran parte de las estructuras que se diseñan en el país. Consiste en simplificar el

comportamiento dinámico de la estructura a la consideración únicamente del modo de vibración fundamental. De esta forma se reemplaza la magnitud de la fuerza sísmica por un conjunto de fuerzas horizontales equivalentes aplicadas en los niveles de los pisos del edificio que equilibran el cortante de base. (Arenga Sedano, 2011, p.21)

Según la NSR-10, Puede utilizarse el método de la fuerza horizontal equivalente en las siguientes edificaciones:

- Todas las edificaciones, regulares e irregulares, en las zonas de amenaza sísmica baja.
- Todas las edificaciones, regulares e irregulares, pertenecientes al grupo de uso I, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia.
- Edificaciones regulares, de 20 niveles o menos y 60 m de altura o menos medidos desde la base, en cualquier zona de amenaza sísmica, exceptuando edificaciones localizadas en lugares que tengan un perfil de suelo tipo D, E o F, con periodos de vibración mayores de  $2T_C$ .
- Edificaciones irregulares que no tengan más de 6 niveles ni más de 18 m de altura medidos a partir de la base.
- Estructuras flexibles apoyadas sobre estructuras más rígidas que cumplan los requisitos de A.3.2.4.3 de la NSR-10.

El método lleva implícitas ciertas aproximaciones:

- i. Limita la respuesta sísmica al primer modo de vibración.
- ii. Iguala la masa efectiva del primer modo (modo fundamental) a la masa de la estructura, para compensar la ausencia de los otros modos.

iii. El periodo de vibración fundamental aproximado con el cual se determina el valor de la aceleración espectral (en fracción de la gravedad) se calcula de acuerdo con la expresión A.4.2-1 de la NSR10:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}} \quad \text{A.4.2-1}$$

En una estructura el tiempo que requiere para completar un ciclo de vibración es llamado periodo fundamental, y su cálculo se realiza a partir de las propiedades de su resistencia sísmica utilizando los conceptos de la dinámica estructural como lo indica la anterior ecuación.

El valor de **T** no puede exceder **Cu\*Ta**, **Cu** se calcula por medio de la ecuación A.4.2-2.

$$Cu = 1.75 - 1.2Av Fv \quad \text{A.4.2-2}$$

Pero **Cu** no debe ser menor de 1.2.

Alternativamente el valor de **T** puede ser igual al período fundamental aproximado, **Ta**, que se obtenga por medio de la ecuación A.4.2-3 de la NSR10.

$$Ta = Ct h^\alpha \quad \text{A.4.2-3}$$

Donde **Ct** y  $\alpha$  tienen los valores dados calculados en la siguiente tabla 3:



**Tabla 3.**

*Valor de los parámetros  $C_t$  y  $\alpha$  para el cálculo del periodo aproximado  $T$*

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

Nota fuente: Norma sismo resistente (2010)

El valor de  $T$  obtenido al utilizar las ecuaciones en los literales A.4.2-1, A.4.2-3 de la NSR10 es un estimativo inicial razonable del período estructural para predecir las fuerzas a aplicar sobre la estructura con el fin de dimensionar su sistema de resistencia sísmica. Sin embargo, una vez dimensionada la estructura, debe calcularse el valor ajustado de  $T$  mediante la aplicación de análisis modal o de la ecuación A.4.2-1 para compararlo con el estimado inicial; si el periodo de la estructura diseñada difiriera en más del 10% con el periodo estimado inicialmente, debe repetirse el proceso de análisis, utilizando el último periodo calculado como nuevo estimado, hasta que se converja en un resultado dentro de la tolerancia del 10% señalada.

**2.3.1.1. Fuerzas Sísmicas Horizontales Equivalentes.** El cortante sísmico en la base,  $V_s$ , equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección en estudio, se obtiene por medio de la ecuación A.4.3-1 de la NSR10:

$$V_s = S_a g M \quad \text{A.4.3-1}$$

El valor de  $S_a$  en la ecuación anterior corresponde al valor de la aceleración, como fracción de la de la gravedad, leída en el espectro definido en A.2.6 de la NSR10, para el período  $T$  de la edificación.

La fuerza sísmica horizontal,  $F_x$ , en cualquier nivel  $x$ , para la dirección en estudio, debe determinarse usando las siguientes ecuaciones:

$$F_x = C_{vx} V_s \quad \text{A.4.3-2}$$

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)} \quad \text{A.4.3-3}$$

Donde  $k$  es un exponente relacionado con el período fundamental,  $T$ , de la edificación de la siguiente manera:

- (a) Para  $T$  menor o igual a **0.5** segundos,  $k = 1.0$ ,
- (b) Para  $T$  entre **0.5** y **2.5** segundos,  $k = 0.75 + 0.5T$ , y
- (c) Para  $T$  mayor que **2.5** segundos,  $k = 2.0$ .

**2.3.1.2. Análisis de la estructura.** El efecto de las fuerzas sísmicas, obtenidas de acuerdo con los requisitos de A.4.3, correspondientes a cada nivel, debe evaluarse por medio de un análisis realizado utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura, que represente adecuadamente las características del sistema estructural. El análisis, realizado de acuerdo con los principios de la mecánica estructural, debe tenerse en cuenta, como mínimo:

- Las condiciones de apoyo de la estructura, especialmente cuando se combinen elementos verticales de resistencia sísmica con diferencias apreciables en su rigidez.
- El efecto de diafragma, rígido o flexible, de los entrepisos de la edificación, en la distribución del cortante sísmico del piso a los elementos verticales del sistema estructural de resistencia sísmica.
- Las variaciones en las fuerzas axiales de los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica causadas por los momentos de vuelco que inducen las fuerzas sísmicas.
- Los efectos torsionales prescritos en A.3.6.7 de la NSR-10.
- Los efectos de la dirección de aplicación de la fuerza sísmica prescritos en A.3.6.3 de la NSR-10.
- En estructuras de concreto reforzado y mampostería estructural, a juicio del ingeniero diseñador, consideraciones acerca del grado de fisuración de los elementos, compatibles con las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía prescrito para el material estructural.
- Deben consultarse lo requisitos de A.3.4.3 de la NSR-10.

Como resultados del análisis se deben obtener, como mínimo:

- Los desplazamientos horizontales de la estructura, incluyendo los efectos torsionales, que se emplean para evaluar si las derivas de la estructura cumplen los requisitos dados en el Capítulo A.6 de la NSR-10.
- La distribución del cortante de piso, incluyendo los efectos torsionales, a todos los elementos verticales del sistema de resistencia sísmica.
- Los efectos de las fuerzas sísmicas en la cimentación de la edificación.
- Las fuerzas internas (momentos flectores, fuerzas cortantes, fuerzas axiales y momentos de torsión) correspondientes a cada elemento que haga parte del sistema de resistencia sísmica.

#### **2.4 Marco contextual**

Existen muchas herramientas informáticas dirigidos al cálculo de fuerzas sísmicas que son indispensables para el análisis y diseño de estructuras en concreto reforzado, pero estos tienen alto valor económico, por tanto no están al alcance de muchos estudiantes y de algunos profesionales de la ingeniería civil.

Por lo anterior se decide enfocar este proyecto a la creación de una herramienta informática en el área de estructuras, para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso en estructuras de concreto reforzado, implementando el método de la Fuerza Horizontal Equivalente. Teniendo en cuenta que la academia se ha basado por mucho tiempo en enseñar los diferentes procesos físicos y matemáticos de manera manual, lo cual es indispensable para el buen entendimiento de una temática en general, también es importante mencionar que la enseñanza de software aplicados a los diferentes saberes de la ingeniería, deben adquirir una gran

importancia, ya que permiten complementar la academia y preparar a los estudiantes para una vida profesional de manera más completa.

Con este proyecto se espera motivar a los estudiantes a mejorar sus capacidades académicas implementando el uso de herramientas tecnológicas, y de esta manera logren afianzar sus conocimientos en la programación, y puedan contribuir a la academia con la sistematización de conocimientos.

## 2.5 Marco legal

Norma Técnica Colombiana de Diseño y Construcción Sismo-Resistente 2010 (NSR-10)

Los resultados arrojados por esta herramienta informática debido al análisis y proceso de datos que ingresará el usuario, se complementan con los requisitos de la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-10), creada por la ley 400 de 1997 (modificada Ley 1229 de 2008) y el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010.

Licencia de Software. Ley 603 del 2000 sobre legalización del software. Con el fin de hacer uso legal de software, este proyecto de grado al tratarse del desarrollo de un programa, ha utilizado una herramienta de desarrollo denominada Microsoft Visual Studio Express 2010, la cual por parte de la compañía Microsoft la pone a disposición de forma gratuita, para que estudiantes y/o profesionales que no puedan pagar por una licencia, puedan usar esta herramienta informática para desarrollar software sin ningún tipo de percance legal.

## **Capítulo 3: Diseño metodológico**

### **3.1 Tipo de Investigación**

Aplicada; se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren, en la mayoría de los casos, en provecho de la sociedad. Además es de tipo cuantitativa, porque abarca el estudio de datos de forma numérica.

### **3.2 Población y muestra**

Para este trabajo de grado no aplica la selección de una población y muestra, ya que no se basa en un tipo de investigación experimental y esta es enfocada al uso de la programación e investigaciones realizadas, para aplicarlo al desarrollo de una herramienta informática.

### **3.3 Técnicas de recolección de información**

Las técnicas de recolección de información utilizadas para desarrollar este proyecto, se hace básicamente mediante la inspección de registros en fuentes primarias, como lo son los Journals y revistas virtuales de ingeniería. También se utilizara el método de observación para aprender técnicamente algunos de los conocimientos en desarrollo de programas computacionales adquiridos por el director de tesis en el transcurso de su carrera.

Como fuente secundaria, se tomarán en cuenta proyectos de investigación, la Norma Sismo Resistente Colombiana en su Título A- Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo

Resistente, documentos y guías de internet, así como textos especializados y documentación de las aplicaciones a utilizar.

### 3.4 Metodología

El objetivo principal de este proyecto está enfocado en elaborar una herramienta computacional utilizando el lenguaje de programación VB.NET, para el análisis y procesamientos de datos, y de esta manera determinar las fuerzas sísmicas de piso por medio del método de la fuerza horizontal equivalente en estructuras de concreto reforzado.

Para llegar a cabo lo anterior, se realizará el siguiente procedimiento:

- Identificar y aplicar la teoría referente al método de la fuerza horizontal equivalente establecida en capítulo A-4 de la Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-10.
- Investigar de diferentes fuentes primarias y secundarias, los procedimientos y consideraciones a tener en cuenta para el cálculo de las fuerzas sísmicas de piso utilizando el método de la fuerza horizontal equivalente.
- Realizar la respectiva base de datos de los valores de  $A_a$  y  $A_v$  descritos en la NSR-10, para cada municipio de Colombia, y elaborar las regresiones de las gráficas de  $F_a$  y  $F_v$ , necesarias para la programación, con el fin de obtener las ecuaciones de factores y coeficientes relacionados con los procedimientos de cálculo del programa.
- Pre-desarrollo de interfaz gráfica general del programa.

- Creación y diseño de los diferentes formularios que integran el software, para lograr una conexión de datos de manera eficiente y ordenada.
- Conectar la base de datos creadas en Access al programa a través del lenguaje de programación SQL.
- Programación del código y creación de las diferentes funciones, métodos, módulos, clases y objetos que integran el software, en la herramienta de desarrollo Microsoft Visual Studio Express 2010, así como el diseño de imágenes e iconos que conforman la interfaz y las guías visuales de la herramienta informática.
- Prueba y depuración de la herramienta, haciendo uso de diferentes ejemplos.
- Establecer los requerimientos mínimos de la herramienta informática.
- Creación de las respectivas ayudas de la herramienta informática, así como el manual de usuario.



## Capítulo 4: Presentación de resultados

### 4.1 Desarrollar una herramienta informática para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso por medio del método de la Fuerza Horizontal Equivalente en estructuras de concreto reforzado.

La programación de la herramienta informática se realizó teniendo en cuenta que su interfaz de usuario fuera consecuente con el procedimiento de la Fuerza Horizontal Equivalente descrito en el Capítulo A.4 de la NSR-10. Por tal motivo, su desarrollo se estructuró en dos pasos generales, el primero de ellos consistía en determinar los requerimientos mínimos de la herramienta y, el otro, programar cada una de las clases y módulos necesarios para poder determinar las fuerzas sísmicas de piso en estructuras de concreto reforzado, desarrollando un módulo específico para la conexión y gestión de la base de datos alojada en Microsoft Access, donde se encuentran cada uno de los coeficientes sísmicos de aceleración y velocidad pico efectiva  $A_a$  y  $A_v$ , para cada uno de los municipios estipulados en el Apéndice A.4 de la NSR-10. Aclarando, que no fue necesario utilizar el programa Microsoft Excel, debido a que se programaron las tablas de los coeficientes de amplificación sísmica directamente en la herramienta para evitar realizar una segunda conexión.

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a mostrar la solución o la forma en cómo se dieron cumplimiento a los objetivos planteados en el presente proyecto:

#### **4.1.1. Establecer los requerimientos mínimos de la herramienta informática.**

Normalmente, un tema de la Ingeniería de Software tiene diferentes significados. De las muchas muchas definiciones que existen para requerimiento mínimo, a continuación se presenta la definición que aparece en el glosario de la IEEE.

- Una condición o necesidad de un usuario para resolver un problema o alcanzar un objetivo.
- Una condición o capacidad que debe estar presente en un sistema o componentes de sistema para satisfacer un contrato, estándar, especificación u otro documento formal.
- Una representación documentada de una condición o capacidad como en las anteriores.

Los requerimientos pueden dividirse en requerimientos funcionales y requerimientos no funcionales. Los requerimientos funcionales definen las funciones que el sistema será capaz de realizar. Describen las transformaciones que el sistema realiza sobre las entradas para producir salidas.

A continuación se muestran los requisitos funcionales que tendrá la herramienta informática. Para este caso particular, no hay requisitos no funcionales.

- Interfaz de usuario

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF01</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Interfaz de usuario
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción__
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe deberá contar con una interfaz de usuario sencilla e intuitiva que permita al usuario utilizar la misma de manera fácil.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial__ Media/Deseado__ Baja/Opcional <input checked="" type="checkbox"/>

- Descripción del proyecto

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF02</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Descripción
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción__
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario ingresar la descripción del proyecto, ingresando: Nombre del proyecto, Arquitecto, Número matrícula profesional del arquitecto, Calculista, Número de matrícula profesional del calculista.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial__ Media/Deseado__ Baja/Opcional <input checked="" type="checkbox"/>

- Configuración de coeficientes

<i>identificación de requisitos</i>	<b>RF03</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Configuración de los coeficientes
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción __
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario, realizar la modificación y/o actualización de los coeficientes sísmicos que se encuentran en la base de datos.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial __ Media/Deseado <input checked="" type="checkbox"/> Baja/Opcional __

- Acerca de la herramienta

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF04</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Acerca de
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe mostrar al usuario la información referente al programa, así como la de los autores.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input checked="" type="checkbox"/>

- Opción de bloquear y desbloquear

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF05</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Bloquear/ Desbloquear
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario la opción de Bloquear los datos ingresados para que no se puedan modificar luego de hacer el cálculo respectivo.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input type="checkbox"/> Media/Deseado <input checked="" type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Reporte de resultados

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF06</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Reportes
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario generar el reporte de los cálculos, así como la opción de imprimir o exportar la gráfica del espectro elástico de aceleraciones y la tabla de las fuerzas de piso.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input type="checkbox"/> Media/Deseado <input checked="" type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Ayudas

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF07</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Ayudas
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe mostrarle al usuario una opción de ayudas, la cual contendrá al manual de usuario.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input type="checkbox"/> Media/Deseado <input checked="" type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Parámetros sísmicos

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF08</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Parámetros sísmicos
<i>Tipo</i>	Requisito Restricción <input checked="" type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario ingresar los datos de parámetros sísmicos como: coeficientes sísmicos y el grupo de uso.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Coeficientes sísmicos

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF09</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Coeficientes sísmicos
<i>Tipo</i>	Requisito Restricción <input checked="" type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario escoger el departamento y municipio a trabajar, así como el perfil de suelo para calcular los parámetros. Además, debe permitir ingresar los valores de los coeficientes de amplificación Fa y Fv de manera manual, en caso de tener una microzonificación sísmica.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Grupo de uso

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF10</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Grupo de uso
<i>Tipo</i>	Requisito <span style="float: right;">Restricción <u>X</u></span>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario seleccionar el grupo de uso, el cual depende del uso que tendrá la edificación.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <u>X</u> Media/Deseado__      Baja/Opcional __

- Estructura

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF11</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Estructura
<i>Tipo</i>	Requisito <span style="float: right;">Restricción <u>X</u></span>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir ingresar los valores funcionales tales como: Los parámetros de la estructura, alturas de pisos y el peso de la edificación.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <u>X</u> Media/Deseado__      Baja/Opcional __

- Parámetros de la estructura

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF12</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Parámetros de la estructura
<i>Tipo</i>	Requisito <span style="float: right;">Restricción <u>X</u></span>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario ingresar datos necesarios para el cálculo de las fuerzas horizontales, tales como: cantidad de pisos, altura desde la base, irregularidad y restricciones.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <u>X</u> Media/Deseado__      Baja/Opcional __

- Altura por piso

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF13</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Alturas por piso
<i>Tipo</i>	Requisito <input type="checkbox"/> Restricción <input checked="" type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario ingresar las alturas de cada piso de la estructura.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Peso de la edificación

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF14</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Peso de la edificación
<i>Tipo</i>	Requisito <input type="checkbox"/> Restricción <input checked="" type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario realizar un cálculo de pesos de manera discriminada por piso, dándole la opción de escoger variedad de secciones por elemento, pero también para otros casos ingresar el peso directo del elemento. Igualmente, debe permitir al usuario ingresar los pesos por piso de forma directa de la edificación, en caso de haberlos calculado de manera manual
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Tipo de análisis

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF15</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Análisis
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario escoger el tipo de análisis a emplear, ya sea por rigidez o resistencia.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Calcular fuerzas sísmicas

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF17</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Calcular
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario calcular las fuerzas sísmicas a partir de los datos previamente ingresados.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Espectro elástico de aceleraciones

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF18</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Espectro elástico de aceleraciones
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe generar la gráfica del espectro elástico de aceleraciones con base a los valores ingresados por el usuario.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Fuerza y cortantes de piso

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF19</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Fuerza y cortantes de piso
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe generar al usuario una tabla de resultados donde se muestra los valores de las fuerzas sísmicas obtenidas. Dicha tabla debe contener los siguientes datos y resultados: piso, altura desde la base del nivel, peso del piso, factor Cv, fuerza de piso, cortante de piso.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>



- Verificación con periodo aproximado  $T_a$

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF20</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Primera verificación
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario realizar una verificación del periodo fundamental de la estructura con respecto al valor del periodo inicial aproximado $T_a$ , así como la opción de recalculer las fuerzas con el nuevo periodo fundamental. Permite verificar la variación porcentual de los periodos y si este excede o no del 10% máximo permitido en la NSR-10.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

- Verificación con otro periodo anterior (Opcional)

<i>Identificación de requisitos</i>	<b>RF21</b>
<i>Nombre del requisito</i>	Verificación final (Opcional)
<i>Tipo</i>	Requisito <input checked="" type="checkbox"/> Restricción <input type="checkbox"/>
<i>Descripción del requisito</i>	La herramienta debe permitir al usuario realizar una verificación final del periodo fundamental de la estructura, permitiendo conocer, si el periodo fundamental encontrado en la primera verificación cumple o no con el requisito del 10% máximo de variación. Así mismo, debe permitir calcular las fuerzas sísmicas ajustadas al periodo fundamental definitivo.
<i>Prioridad del requisito</i>	Alta/ Esencial <input checked="" type="checkbox"/> Media/Deseado <input type="checkbox"/> Baja/Opcional <input type="checkbox"/>

**4.1.2. Desarrollar las diferentes clases y módulos que conforman la herramienta informática, así como la respectiva base de datos que esta contendrá, haciendo uso de la Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-10 y del programa Microsoft Access.** Este

objetivo corresponde a la programación del código de la aplicación. El lenguaje de programación utilizado fue Visual Basic .NET, con uso de Microsoft Access, como el sistema gestor de la base de datos que contiene la herramienta informática.

En total se programaron 2 clases y 5 módulos, donde se engloba todo el código de cálculo base de la herramienta. La aplicación aproximadamente cuenta con 19000 líneas de código programadas, incluyendo métodos privados, manejo de eventos en cada uno de los 15 formularios que ostenta la aplicación. Con el fin de no mostrar muchas imágenes comprobatorias del código de programación escrito utilizados para cada una de las clases y módulos elaborados en la herramienta, como ejemplar se tomará el módulo llamado *Uso\_BD* para mostrar la estructura general usada para cada módulo y clase. A continuación se procede entonces a describir cada una de las clases y módulos, elaborados con fines de cálculo en el programa:

***4.1.2.1 Módulos.***

- **Uso\_BD** Este módulo se programó específicamente para conectarse con la base de datos de la herramienta informática, hacer consultas en la misma y las respectivas modificaciones y/o actualizaciones. En la figura 1,2 y 3 se muestra apartados del código con el que cuenta dicho módulo.

```

8
9  Module Usos_BD
10
11  Variables BD
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25  Métodos privados
26
27
28
29  Métodos públicos
30
31
32
33
34
35
36
37
38

```

Figura 11. Vista general del módulo Usos\_BD.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

```

8
9  Module Usos_BD
10
11  #Region "Variables BD"
12
13      'Variable que sirve para crear la conexión a la Base de Datos
14      Public Mi_conexión As New OleDbConnection
15      'Variable para almacenar una instrucción SQL que se va a ejecutar
16      Private Mi_comando As New OleDbCommand
17
18      'Variable que representa un conjunto de datos y representa la conexión a la base de datos, que se
19      'utiliza para rellenar un DataSet y actualizar el origen de datos.
20      Private Mi_adaptador As New OleDbDataAdapter
21      'Variable para almacenar la lectura de datos desde la base de datos de cada registro
22      Private Mi_datareader As OleDbDataReader
23
24  #End Region
25
26  Métodos privados
27
28
29  Métodos públicos
30
31
32
33
34
35
36
37
38

```

Figura 12. Variables públicas usadas para la conexión a la base de datos.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

```

28
29 #Region "Métodos públicos"
30
31 Conexión a base de datos
67
68 Mostrar base de datos en Form
217
218 Actualizar base de datos en Form
319
320 <summary>
321 <<summary>
322 <<summary>
323 <param name="txt_mcpio">Municipio del cual se desea buscar la información en la base de datos.</param>
324 <param name="txt_dpto">Departamento del cual se desea buscar la información en la base de datos.</param>
325 <param name="txt_Aa">Control de tipo TextEdit donde se desea mostrar el valor de Aa.</param>
326 <param name="txt_Av">Control de tipo TextEdit donde se desea mostrar el valor de Av.</param>
327 <param name="lc_amenaza">Control de tipo LabelControl donde se desea mostrar el valor de la Amenaza sísmica.</param>
328 </remarks></remarks>
329 Public Sub consultar_Aa_Av(ByVal txt_mcpio As String, ByVal txt_dpto As String, ByVal txt_Aa As TextEdit, ByVal txt_Av As TextEdit,
ByVal lc_amenaza As LabelControl)
330
331 'Llamo al método encargado de conectar la base de datos.
332 Conectarse()
333
334 'Creo un nuevo DataReader para la conexión y lectura de datos.
335 Dim DR_mcpios As OleDbDataReader
336
337 'Asigno al comando la creación de una instrucción de la conexión(Mi_conexión).
338 Mi_comando = Mi_conexión.CreateCommand
339
340 'Selecciono los campos Aa,Av y Amenaza sísmica de la Tabla Municipios, cuando el campo Id_dpto
341 'es igual al seleccionado en el LookUpEdit y el campo Municipio

```

Figura 13. Métodos públicos para consulta y actualización de la base de datos.

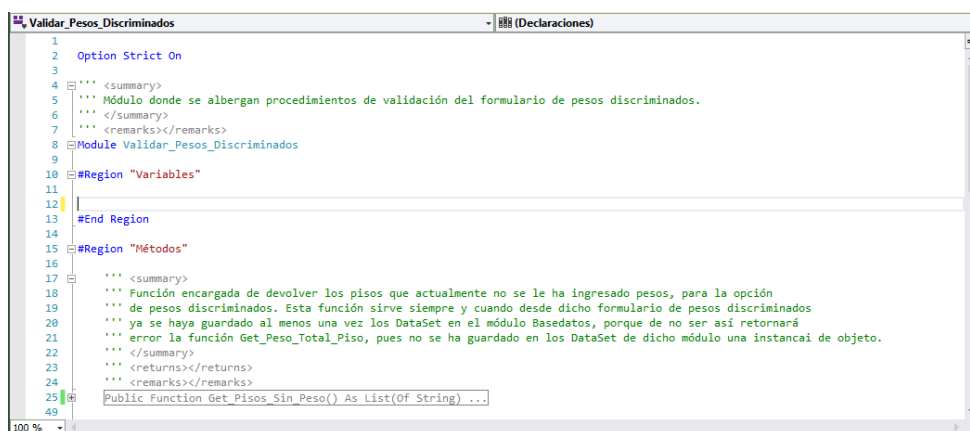
Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

- **Validar\_Pesos\_Discriminados.** El programa cuenta con la posibilidad para el caso de ingresar el peso de la edificación, digitarlos de forma directa o discriminada. Para el caso de ingreso de forma directa, no se hizo necesario programar un código, pues su programación no contemplaba muchas dificultades.

Este módulo se encarga de validar todos los datos que se digitan en cada uno de los campos del formulario elaborado para este fin, como los es el piso donde se ingresará un elemento en particular (*vigas, columnas, losas, escaleras u otros pesos*), es decir, que los valores sean correctos, que al editar algún dato ya ingresado a cada una de las tablas con las que cuenta dicho formulario, sea del mismo tipo. Si se detecta alguna irregularidad por parte del usuario a la

hora de digitar los datos o editar el mismo, se mostrarán mensajes indicando el error cometido e indicando la forma de solucionarlo.

Finalmente, ya que es necesario hacer una sumatoria de pesos por cada uno de los pisos de la estructura, dispone de dos métodos encargados de devolver el peso total para cada piso y el total de la edificación.



```

1
2 Option Strict On
3
4 <summary>
5     Módulo donde se albergan procedimientos de validación del formulario de pesos discriminados.
6 </summary>
7 <remarks></remarks>
8 Module Validar_Pesos_Discriminados
9
10 #Region "Variables"
11
12
13 #End Region
14
15 #Region "Métodos"
16
17 <summary>
18     Función encargada de devolver los pisos que actualmente no se le ha ingresado pesos, para la opción
19     de pesos discriminados. Esta función sirve siempre y cuando desde dicho formulario de pesos discriminados
20     ya se haya guardado al menos una vez los DataSet en el módulo Basedatos, porque de no ser así retornará
21     error la función Get_Peso_Total_Piso, pues no se ha guardado en los DataSet de dicho módulo una instancia de objeto.
22 </summary>
23 <returns></returns>
24 <remarks></remarks>
25 Public Function Get_Pisos_Sin_Peso() As List(Of String) ...
49
  
```

Figura 14. Módulo para validación de los pesos discriminados.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

- **Calculos\_Espectro.** El método de la Fuerza Horizontal Equivalente, para la obtención de las fuerzas sísmicas de piso, necesita datos tales como el periodo de vibración de la estructura **T**, y el valor de la aceleración máxima horizontal **Sa**, datos necesarios para calcular el cortante sísmico en la base **Vs**, y finalmente distribuir dicho valor en cada uno de los pisos de la edificación.

Por los motivos dados anteriormente, se hizo necesario programar un módulo específico encargado de calcular cada uno de los datos necesarios para graficar el *Espectro elástico de aceleraciones* dado en la figura A.2.6.1 de la NSR-10. En dicha gráfica se traza el valor del periodo de vibración de la estructura con el fin de obtener la aceleración espectral **Sa**, explicada anteriormente.

```

1  Option Strict On
2  Option Explicit On
3
4
5  Module Calculos_Espectro
6
7      *** <summary>
8      *** Devuelve un valor tipo Decimal del periodo To del Espectro Elástico de Aceleraciones.
9      *** </summary>
10     *** <param name="Aa">Valor del coeficiente sísmico de aceleración Aa.</param>
11     *** <param name="Av">Valor del coeficiente sísmico de velocidad Av.</param>
12     *** <param name="Fa">Valor del coeficiente sísmico para periodos cortos Fa.</param>
13     *** <param name="Fv">Valor del coeficiente sísmico para periodos largos Fv.</param>
14     *** <returns></returns>
15     *** <remarks></remarks>
16     Public Function Value To(ByVal Aa As Decimal, ByVal Av As Decimal, ByVal Fa As Decimal, ByVal Fv As Decimal) As Decimal ...
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30     *** <summary>
31     *** Devuelve un valor tipo Decimal del periodo Tc del Espectro Elástico de Aceleraciones.
32     *** </summary>
33     *** <param name="Aa">Valor del coeficiente sísmico de aceleración Aa.</param>
34     *** <param name="Av">Valor del coeficiente sísmico de velocidad Av.</param>
35     *** <param name="Fa">Valor del coeficiente sísmico para periodos cortos Fa.</param>
36     *** <param name="Fv">Valor del coeficiente sísmico para periodos largos Fv.</param>
37     *** <returns></returns>
38     *** <remarks></remarks>

```

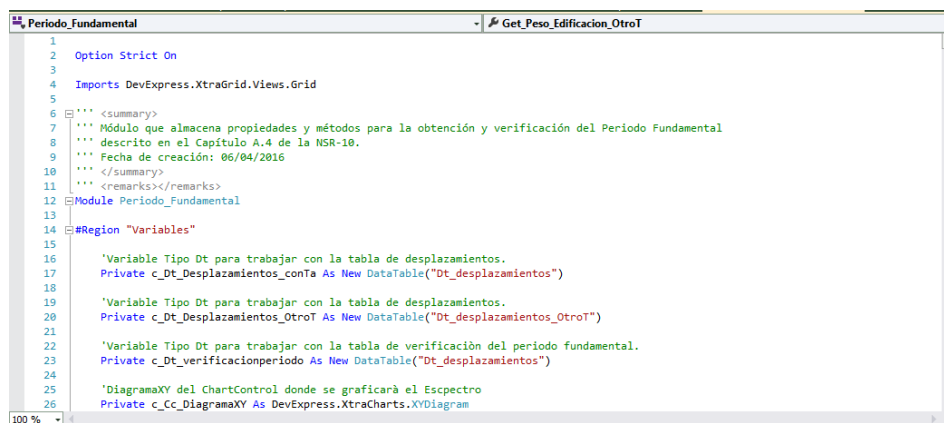
Figura 15. Módulo para espectro elástico de aceleraciones

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

- Periodo Fundamental.** Ya que el programa cuenta con la posibilidad de obtener el periodo fundamental para una estructura de acuerdo a lo descrito en el Capítulo A.4 de la NSR-10, entendiendo que inicialmente la herramienta computacional halla el valor del periodo de vibración de acuerdo a la ecuación A.4.2-3 de la Norma, luego el valor del cortante basal y, finalmente, la distribución de las fuerzas sísmica por piso en la altura de la edificación, se hizo necesario programar un módulo el cual permitiera de acuerdo a los formularios destinados para tal verificación, realizar la obtención del periodo fundamental para cada una de las direcciones

principales en planta de la estructura( X-X y Y-Y), y comprobar que estos nuevos valores no difieran en más del 10% del hallado inicialmente.

Además, se programó para que graficara los nuevos valores de los periodos hallados en cada dirección en planta, con su correspondiente valor de **Sa**, en el espectro elástico de aceleraciones, para finalmente, calcular de nuevo las fuerzas sísmicas por piso, pero en este caso discriminadas por dirección de análisis.



```

1
2 Option Strict On
3
4 Imports DevExpress.XtraGrid.Views.Grid
5
6 ''' <summary>
7 ''' Módulo que almacena propiedades y métodos para la obtención y verificación del Periodo Fundamental
8 ''' descrito en el Capítulo A.4 de la NSR-10.
9 ''' Fecha de creación: 06/04/2016
10 ''' </summary>
11 ''' <remarks></remarks>
12 Module Periodo_Fundamental
13
14 #Region "Variables"
15
16 'Variable Tipo Dt para trabajar con la tabla de desplazamientos.
17 Private c Dt_Desplazamientos_conta As New DataTable("Dt_desplazamientos")
18
19 'Variable Tipo Dt para trabajar con la tabla de desplazamientos.
20 Private c Dt_Desplazamientos_OtroT As New DataTable("Dt_desplazamientos_OtroT")
21
22 'Variable Tipo Dt para trabajar con la tabla de verificación del periodo fundamental.
23 Private c Dt_verificacionperiodo As New DataTable("Dt_desplazamientos")
24
25 'DiagramaXY del ChartControl donde se graficará el Espectro
26 Private c_Cc_DiagramaXY As DevExpress.XtraCharts.XYDiagram

```

Figura 16. Módulo para obtención y verificación del periodo fundamental.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

• **Bloquear\_Desbloquear.** Cuando el usuario a través del menú de herramientas de la aplicación hace clic en el botón *Calcular*, se bloquean o inhabilitan todas las opciones funcionales de la aplicación, con el fin de que no pueda editarlos, pues se supone que ya ha obtenido los resultados. Si el usuario quiere volver a editar los datos necesarios para cada uno de los cálculos que realiza el programa, deberá desbloquear cada una de las opciones del menú de

herramientas del programa, para que así pueda editar cada uno de los datos en cada uno de los formularios. Por tales razones, se desarrolló un módulo específico encargado de manejar esta serie de eventos que se producen en la interacción aplicación-usuario.

- 

```

1
2 Option Strict On
3
4 ''' <summary>
5     Módulo donde se guardan los procedimientos encargados de Bloquear y Desbloquear los controles
6     de la aplicación en el momento que se calcula.
7 ''' </summary>
8 ''' <remarks></remarks>
9 Module Bloquear_Desbloquear
10
11 #Region "Variables"
12
13     'Recibe un DIAGRAMXY del ChartControl de Espectro de Aceleraciones
14     Public Diagram_XY As DevExpress.XtraCharts.XYDiagram
15
16 #End Region
17
18
19
20 ''' <summary>
21     Procedimient encargao de bloquear la mayoría de los controles del formulario
22     principal, con el fin de que el usuario no pueda realizar cambios que induza
23     que se tenga que realizar de nuevo los cálculos.
24 ''' </summary>
25 ''' <remarks></remarks>
26 Public Sub Bloquear_Controles()

```

Figura 17. Módulo para bloqueo/desbloqueo menú de herramientas funcionales

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

#### 4.1.2.2. Clases

- **Clase\_niveles\_edificación.** Esta clase construye el formulario destinado para ingresar cada una de las alturas de piso, para el total de la edificación. Además, comprueba que cada uno de los datos digitados sean valores numéricos válidos, es decir, números reales positivos.

Debido a que depende del número de pisos que el usuario haya digitado en la aplicación, siempre adiciona o elimina los pisos que sean necesarios, para poder mostrarlos en el control destinado para este fin, que para este caso corresponde a una tabla. Finalmente, comprueba que



la cota del último piso de la estructura sea igual a la altura total de la edificación ingresada por el usuario en otro formulario denominado *Parámetros*.

```

1 Option Strict On
2
3 Public Class Niveles_Edificación
4
5 #Region "Constructor"
6
7     <<summary>
8     Constructor predeterminado de la clase.
9     </summary>
10    <<remarks></remarks>
11    Public Sub New()
12
13    End Sub
14
15    Public Sub New(ByVal piso As Integer, ByVal alturapiso As Decimal, ByVal alturabase As Decimal, ByVal pesopiso As Decimal)
16
17        'Asigno a las propiedades de la clase los valores de los parámetros del constructor.
18        Me.Piso = piso
19        Me.Alturapiso = alturapiso
20        Me.Alturabase = alturabase
21        Me.Pesopiso = pesopiso
22
23    End Sub
24
25 #End Region
26

```

Figura 18. Clase para los niveles de la edificación (alturas por piso).

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

- **Datos generales.** Debido a que la herramienta informática no se elaboró pensando en fines de que ésta contara con su propio formato (*extensión*), lo cual se logra a través del concepto denominado “serialización”, se realizó un módulo donde de manera global y actualizada se guardará cada uno de los datos que el usuario digitara o ingresara en la herramienta. Esto se logra haciendo clic en los botones *aceptar* o *cancelar* en cada uno de los formularios de la herramienta. En total este módulo cuenta con 17 regiones organizadas, una para cada formulario de la aplicación.

Igual que pasa con los métodos constructores *New* usados en las *clases*, para como su nombre lo indica *construir* la clase programada, que en términos más simples, dar valores por defecto o iniciales cuando se cree una nueva instancia de una *clase* cualquiera; este módulo

cuenta con valores por defecto para cada tipo de datos, los cuales se pueden apreciar cada vez que se cargue por primera vez cada uno de los formularios de la herramienta informática.

```

1
2 Option Strict On
3
4 Public Class Datos_generales
5
6     [Formulario Descripción]
7
8
9     #Region "Formulario Coeficientes Sísmicos"
10
11
12     #Region "Variables"
13
14         Private Shared _coeficienteAa As Decimal
15         Private Shared _coeficienteAv As Decimal
16         Private Shared _departamento As Integer = -1
17         Private Shared _municipio As Integer = -1
18         Private Shared _name_departamento As String = "Amazonas"
19         Private Shared _name_municipio As String = "El Encanto"
20         Private Shared _perflsuelo As Integer = -1
21         Private Shared _perflsuelo_name As String = "C"
22         Private Shared _tipoFaFv_Automatico As Integer = -1
23         Private Shared _tipoFaFv_Manual As Integer = -1
24         Private Shared _coeficienteFa As Decimal
25         Private Shared _coeficienteFv As Decimal
26
27     #End Region
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112

```

Figura 19. Clase para los niveles de la educación (alturas por piso).

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

A continuación se ilustra el diagrama de la estructura de la base de datos realizada en Microsoft Access y que se conectó al programa por medio del lenguaje de conexión SQL. En la cual se observa que para un departamento pueden existir varios municipios, así mismo la tabla correspondiente a cada departamento, con los datos de cada uno de los municipios estipulados en la NSR-10 como la identificación correspondiente a cada municipio, Aa, Av y zona sísmica.

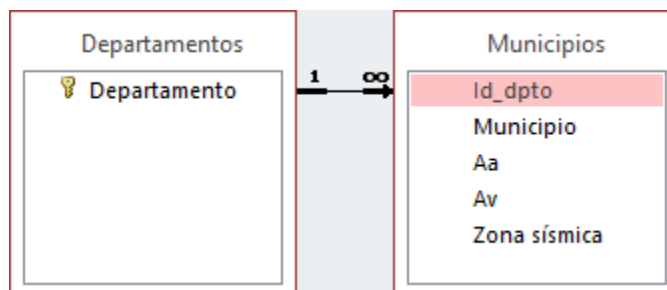


Figura 20. Diagrama de la estructura de la base de datos

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**4.1.3. Elaborar el respectivo manual de usuario de la aplicación**. El manual de usuario de esta herramienta, fue realizado satisfactoriamente, explicando detalladamente cada uno de los menús, ítems y datos utilizados para el desarrollo del análisis. Además, el manual se incluirá dentro del menú Ayudas del programa.

El manual de usuario se encuentra en el **Apéndice 5** del presente proyecto.

## Capítulo 5: Conclusiones

Para elaborar la especificación de los requerimientos mínimos de la herramienta informática, fue necesario recolectar la información referente al Método de la Fuerza Horizontal Equivalente que describe la Norma Sismo Resistente Colombiana, debido a que el programa se basa en este método paso a paso para obtener los resultados deseados, así como en las restricciones que dicha Norma maneja para el Método. Además se toma a manera de conclusión, que al elaborar los requerimientos del sistema para la herramienta, se tiene una manera más clara, en cuanto a la hora de crear la interfaz gráfica, puesto a que es más fácil seguir una planeación. Aunque también se debe mencionar, que a medida que se van creando los códigos y los diferentes menús e ítems, van surgiendo nuevas ideas, así como también problemas, aún después, de pensar haber terminado la totalidad del programa y hacer las pruebas.

La herramienta informática FHE-Soft se desarrolló satisfactoriamente, incluyendo en él, los diferentes módulos y clases necesarios para el correcto funcionamiento de la misma, cumpliendo con el objetivo principal del Método de la Fuerza Horizontal Equivalente establecido en el Capítulo A.4 de la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10, que es el de obtener las fuerzas sísmicas ajustadas al periodo fundamental de la estructura, y para ello fue necesario programar las respectivas verificaciones del periodo fundamental. Además, fue posible crear la respectiva base de datos con la que cuenta el programa, incluyendo en ella los coeficientes sísmicos  $A_a$  y  $A_v$  establecidos en el apéndice A.4 de la NSR-10 con las modificaciones realizadas en el Decreto 092 de 2011, para cada uno de los municipios de Colombia.

El manual de usuario se elaboró de manera muy detallada, pues este brinda la posibilidad de resolver las dudas que surgen a medida que se van ingresando los datos y/o analizando la estructura. Esto debido a que se explicó detalladamente cada una de las opciones y menús que la herramienta contiene.

## Capítulo 6: Recomendaciones

Es de gran importancia tener claro, que la herramienta se basa completamente en el Capítulo A.4 Método de la Fuerza Horizontal Equivalente, descrito en la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10. Por lo tanto, el usuario final debe conocer las restricciones que tiene el método según la norma mencionada, para poder deducir según los parámetros de la estructura que desea analizar, si es posible o no aplicar el método. La herramienta permite entonces, calcular las fuerzas sísmicas por piso, independientemente si cumple o no con los requisitos dados en la NSR-10, pues será el usuario final que deberá verificar previamente si es aplicable o no para la estructura que analiza.

Además de lo anteriormente mencionado, el usuario deberá tener plena confianza en los datos que va a digitar, puesto que los resultados arrojados se reflejan en la calidad de la información ingresada al programa, así mismo, se recomienda revisar el manual de usuario siempre que exista una duda sobre algún ítem o dato que se desconozca, o en su defecto, el total desconocimiento de la herramienta.

La herramienta se creó sin programación de serialización de datos (no permite guardar los datos ingresados en disco, es decir, no posee su propio formato), por lo cual, el usuario final, deberá tener precaución total a la hora de utilizar el programa, puesto que en ningún caso, se deberá cerrar la aplicación pretendiendo continuar posteriormente con el análisis. Es decir, que se deberá realizar un análisis continuo de la estructura sin cerrar el programa.

## Referencias

Aranguren Sedano, Andrea. (2011). *Análisis Comparativo de las Implicaciones Económicas entre la NSR-98 y NSR-10* (Caso de Estudio en la Ciudad de Bogotá).P.10.

Aranguren Sedano, Andrea. (2011). *Análisis Comparativo de las Implicaciones Económicas entre la NSR-98 y NSR-10* (Caso de Estudio en la Ciudad de Bogotá). P.21.

Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Ley 400 (19, agosto, 1997). *Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Asociación colombiana de ingeniería sísmica. Bogotá, 2010. Prefacio

Gonzales, Ana Luisa. (2014). *La historia no contada del primer código de construcción en Colombia—30 años*. En: *Revista de Ingeniería Universidad de Los Andes Colombia* [Online], enero-junio no. 40, p. 82-84. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121031489011>

Gonzales M, José A. (2012). *Ensayo: grados de libertad*. Desarrollo. Universidad Alfonso Reyes, Colombia. S.p.

Herrera Martínez, Juan Carlos. (2015). et al. *Guía para el cálculo de la fuerza horizontal equivalente y derivas según título A4-A6 NSR-10*.

Marín J. (1971). *Comportamiento del Concreto Armado en Flexo compresión*, Publicaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela

Morales Ramírez, Ivonn Yamile. (2011). *Factores de amplificación de ondas sísmicas en cenizas volcánicas*. Pontificia Universidad Javeriana. Colombia.P.20

MC Cormac, Jack C Y Brown, Russell. (2011). *Diseño de concreto reforzado. Introducción*. Octava edición. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México. p 1. ISBN: 978-607-707-231-7

Piscal Arévalo, C. M.; Lamus Báez, F. A. Y Araque Lavalle, L. V. (2013). *Herramienta computacional para el cálculo de fuerzas sísmicas usando el método de la fuerza horizontal equivalente*. .Resumen. Épsilon (20), 215-235.

Poveda Salamanca, Carlos Eduardo. (2013). *Efectos de la relación largo/ancho del diafragma en la determinación de la sísmica en edificaciones regulares de pórticos y muros portantes*. Tesis Doctoral. P.18. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

RETAMOSO, Claudia P. (2013). *Aplicaciones de herramientas computacionales en el proceso de enseñanza, en el análisis de estructuras, en ingeniería civil*. Universidad Pontificia Bolivariana Bucaramanga, Colombia. P.2



Romero Martínez, Alonso. (2005). *Evolución de los métodos de cálculo en las estructuras diseñadas con pórticos de concreto armado para edificios en el área norte de Latinoamérica. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*

Santiago Hurtado, Griselda. (2010). *Determinación del nivel de corrosión y perfil de carbonatación en vigas de concreto reforzado con 3 años de exposición al medio ambiente de la Cd. de Xalapa, Ver. Tesis Doctoral.*

Salamanca, Álvaro y Fuentes, Brayner. (2014). *Desarrollo de un Software para el cálculo de Fuerzas Horizontales Equivalentes basado en El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Cúcuta, Producciones UFPS.*

[http://prezi.com/oh3cmx\\_2zfe1/?utm\\_campaign=share&utm\\_medium=copy&rc=ex0share](http://prezi.com/oh3cmx_2zfe1/?utm_campaign=share&utm_medium=copy&rc=ex0share)

# Apéndices

## **Apéndice 1. Ejemplo de aplicación para comprobar la funcionalidad de la herramienta informática**

A continuación se realiza una comparación, a manera de ejemplo, de los cálculos de las fuerzas horizontales equivalentes realizadas de manera manual y sistematizada por medio de la herramienta informática desarrollada en el presente proyecto, la cual fue titulada FHE-Soft.

El ejemplo es el de una edificación de 5 pisos, de uso residencial, ubicado en la ciudad de Ocaña (Norte de Santander).

### **Datos generales del proyecto:**

Número de pisos: 5

Altura de entrepiso: 3.00 m

Total altura: 15.00 m

Ancho típico de la planta dirección X: 29.00 m

Ancho típico de la planta dirección Y: 18.00 m

Uso: Residencial

### **Materiales:**

#### Hormigón

Resistencia a la compresión,  $f'_c = 21 \text{ Mpa}$

Módulo elasticidad  $E_c = 3900 \sqrt{f'_c}$

Peso específico del hormigón  $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$

Acero

Módulo elasticidad del acero  $E_s = 20000 \text{ Mpa}$

Límite de fluencia  $f_y = 420 \text{ Mpa}$

En la **tabla 1** se encuentra las dimensiones y nomenclaturas de columnas establecidas en la configuración estructural del proyecto. Estas se mantendrán en la totalidad de la altura de la estructura.

**Tabla 1.**

*Nomenclatura y dimensiones de columnas*

COLUMAS		
DIMENSIONES( m )	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
0,50x0,50	CT1	15.00
0.60x0.60	CT2	12.00
(0.60x0.60)-(0.35x0.35)	CT3	1.00
$\Phi$ 0.60	CT4	2.00

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

En las **tabla 2** y **3** se observa las dimensiones y nomenclaturas de las vigas establecidas para cada una de las dos configuraciones (losa de entrepiso y cubierta), vale la pena aclarar que las dimensiones de las vigas (sección) se calcularon por medio de las tablas C.9.5(a) y CR.9.5 de la NSR-10.

**Tabla 2.**

*Nomenclatura y dimensiones vigas de entrepiso (pisos 1-2-3-4)*

VIGAS( LOSAS ENTREPISO )	
DIMENSIONES( m )	EJES
0,35x0,50	Alfabéticos
0,35x0,50	Numéricos

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**Tabla 3.***Nomenclatura y dimensiones de vigas de cubierta*

<b>VIGAS( CUBIERTA )</b>	
<b>DIMENSIONES( m )</b>	<b>EJES</b>
0,25x0,35	Alfabéticos
0,25x0,35	Numéricos

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

En las **tabla 4** y **5** se observa las dimensiones de la losa aligeradas para cada una de las configuraciones en planta de la estructura (losa de entrepiso y cubierta), vale la pena aclarar que su altura se calculó por medio de las tablas C.9.5(a) y CR.9.5, y verificadas con los requisitos de la sección C.8.13 de la NSR-10.

**Tabla 4.***Dimensiones de la losa aligerada de entrepiso (pisos 1-2-3-4)*

<b>DATOS LOSA ALIGERADA( PISOS 1-2-3-4)</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Espesor de losa( m )	0.50
Loseta superior( m )	0.05
Loseta inferior( m )	0.02
Ancho de vigueta( m )	0.10
Altura de vigueta( m )	0.45
Ancho aligeramiento( m )	0.80
Ancho aferente( m )	0.90

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**Tabla 5.***Dimensiones de la losa aligerada de entrepiso (cubierta)*

<b>DATOS LOSA ALIGERADA( CUBIERTA )</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
Espesor de losa( m )	0.35
Loseta superior( m )	0.05
Loseta inferior( m )	0.02
Ancho de vigueta( m )	0.10
Altura de vigueta( m )	0.30
Ancho aligeramiento( m )	0.80
Ancho aferente( m )	0.90

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

En las figuras mostradas en las **figuras 1 y 2** se puede apreciar las configuraciones de planta estructural para cada uno de los dos tipos de losa; planta estructural de losa de entrepiso y planta estructural de cubierta.

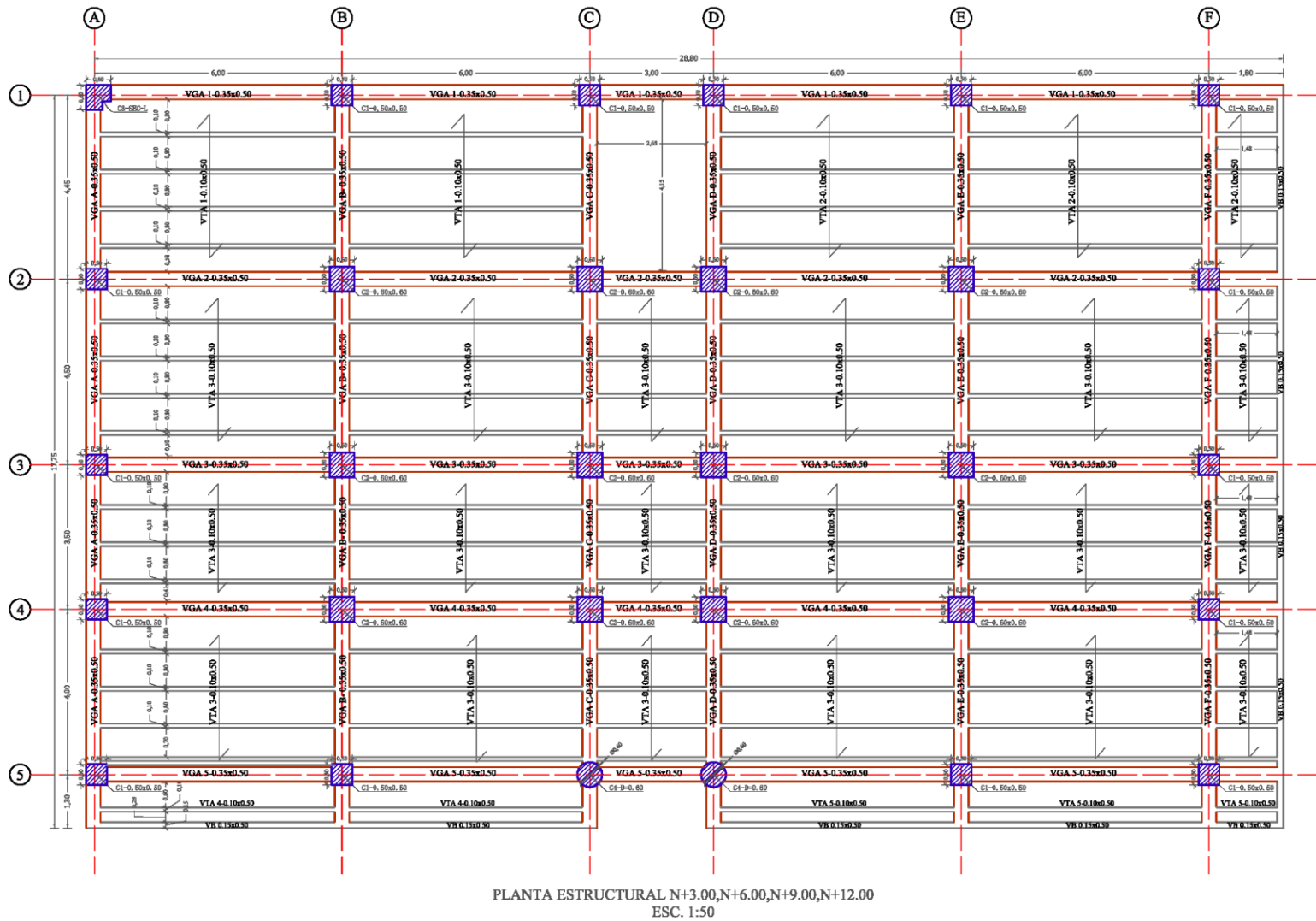


Figura 1. Planta estructural de losa de entrepiso (pisos 1-2-3-4).

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

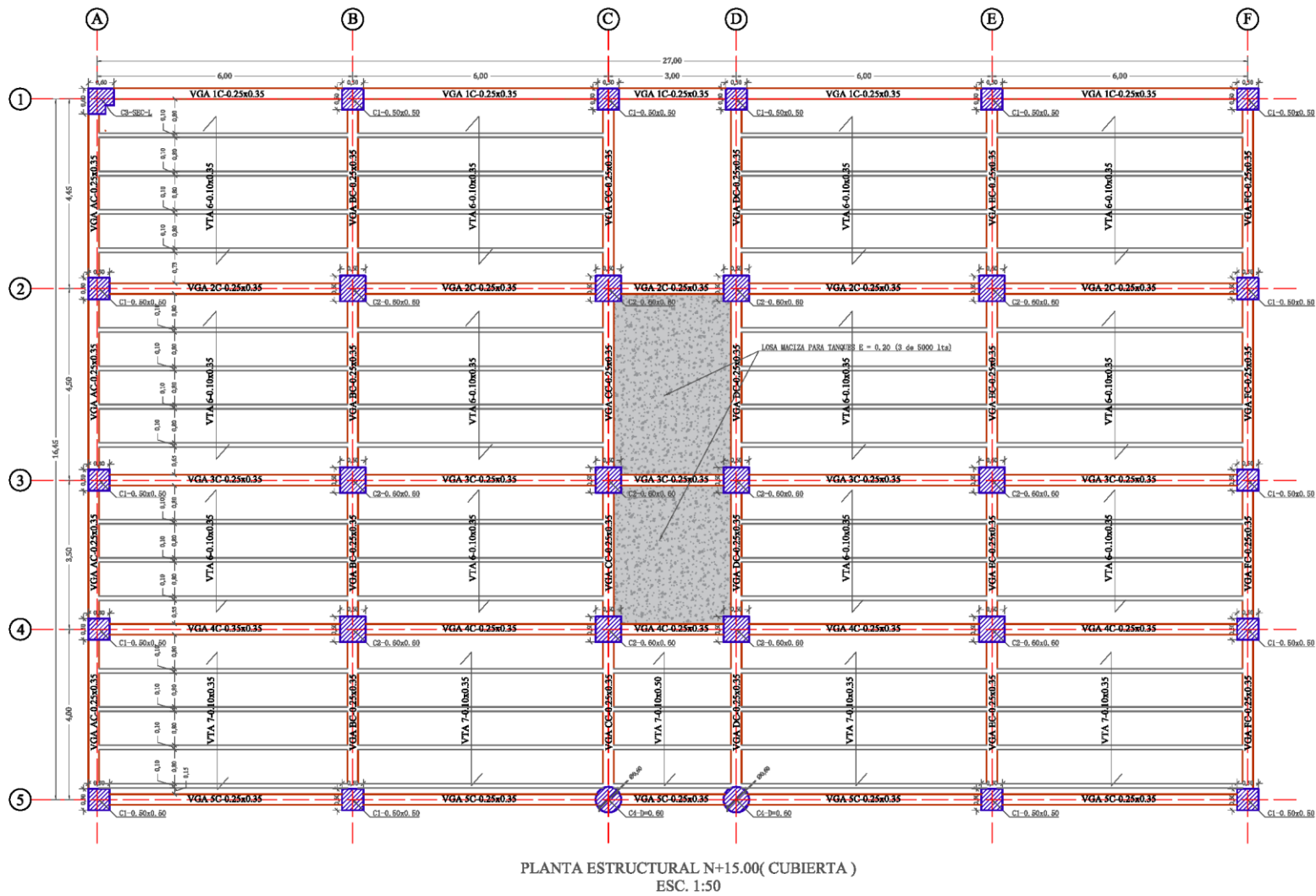


Figura 2. Planta estructural de cubierta.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)



En las figuras mostradas en las **figuras 3 y 4** se muestra los detalles típicos de las losas aligeradas para cada una de las configuraciones estructurales, losa de entrepiso y de cubierta.



Figura 3. Detalle losa aligerada de entrepiso (pisos 1-2-3-4).

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)



Figura 4. Detalle losa aligerada de cubierta.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

En la figura mostrada en las **figura 5**, se aprecia las secciones de todos los tipos de columnas de la edificación.

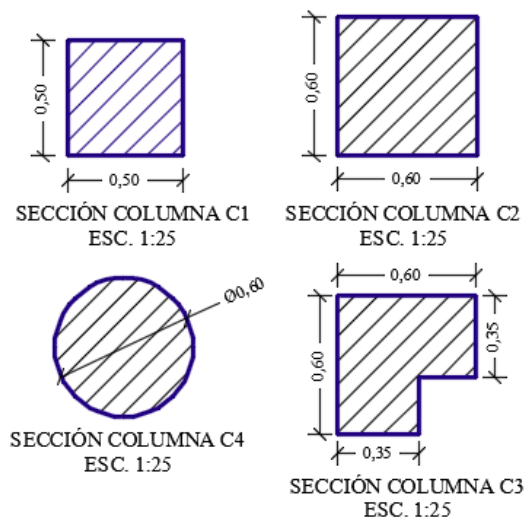


Figura 5. Secciones de columnas.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

El detalle de la escalera se muestra en la **figura 6**. Esta se repite en todos los pisos de la edificación.

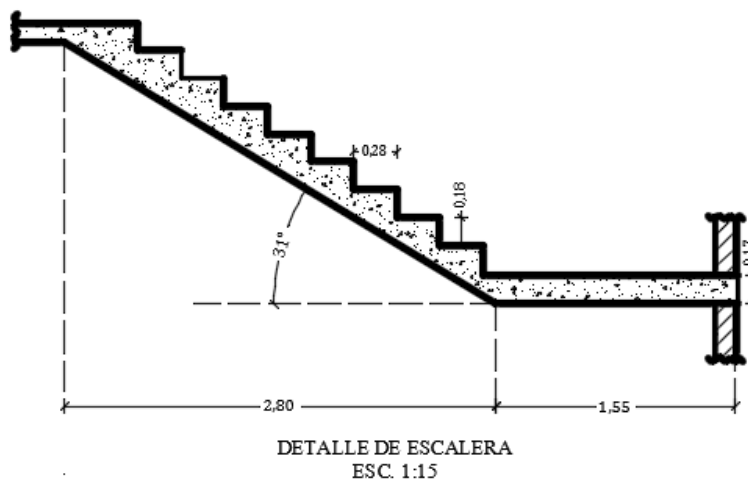


Figura 6. Detalle de escalera.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

## Solución manual

Los parámetros sísmicos de la estructura y sitio donde se construirá, se muestran en la **tabla 6**, destacando que todos los datos son extraídos de la NSR-10, excepto la altura total de la edificación y el perfil de suelo, este último depende del sitio y la tabla A.2.4-1 de la NSR-10.

**Tabla 6.**

*Parámetros sísmicos*

<b>PARÁMETROS SÍSMICOS</b>		
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DATO</b>	<b>REFERENCIA</b>
Nombre del proyecto	Edificio residencial de 5 pisos	Proyecto
Ubicación	Ocaña (Norte de Santander)	Proyecto
Altura	15.00 m	Proyecto
Aa	0.20	Apéndice A.4 NSR-10
Av	0.15	Apéndice A.4 NSR-10
Perfil de suelo	C	Tabla A.2.4-1 NSR-10
Fa	1.20	Tabla A.2.4-3 NSR-10
Fv	1.65	Tabla A.2.4-4 NSR-10
Coefficiente Ct	0.047	Tabla A.4.2-1 NSR-10
Exponente $\alpha$	0.90	Tabla A.4.2-1 NSR-10
Ta	0.54	Ecuación A.4.2-3 NSR-10
To	0.10	Ecuación A.2.6-6 NSR-10
Tc	0.47	Ecuación A.2.6-2 NSR-10
TL	3.96	Ecuación A.2.6-4 NSR-10
Aceleración máxima( Sa )	0.55	Figura A.2.6-1 NSR-10
Grupo de Uso	I	Sección A.2.5-1 NSR-10
Coefficiente de Imprtancia( I )	1.00	Tabla A.2.5-1 NSR-10

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

## Espectros de diseño

Las construcciones no pueden diseñarse para resistir solo un terremoto en particular en una zona dada, puesto que el próximo terremoto probablemente presentará características

diferentes. Por esta razón, el diseño o verificación sismoresistente se realiza a partir de espectros que son suavizados y que consideran el efecto de varios sismos. Los espectros describen la máxima respuesta expresada en términos de aceleración absoluta, desplazamiento relativo y velocidad relativa.

### **Espectro de Aceleraciones**

Para poder determinar el espectro de diseño sísmico se relacionan dos coeficientes de amplificación  $F_a$  para aceleración en la zona de periodos cortos y  $F_v$  para aceleración de periodos largos, que dependen de la clasificación del suelo y de la aceleración y velocidad pico efectiva para el sismo de diseño  $A_a$  y  $A_v$ , respectivamente. Se puede decir entonces que para determinar el espectro de aceleraciones, lo primero que se debe hacer es obtener los coeficiente  $A_a$  y  $A_v$ , que corresponde a la zona donde se va a construir la edificación, seguidamente para el perfil del suelo se obtiene  $F_a$  y  $F_v$ .

En la **Figura 7** se observa el espectro de diseño que se utiliza en el método de fuerza horizontal equivalente según los parámetros mencionados, dado en la figura A.2.6-1 de la NSR-10.

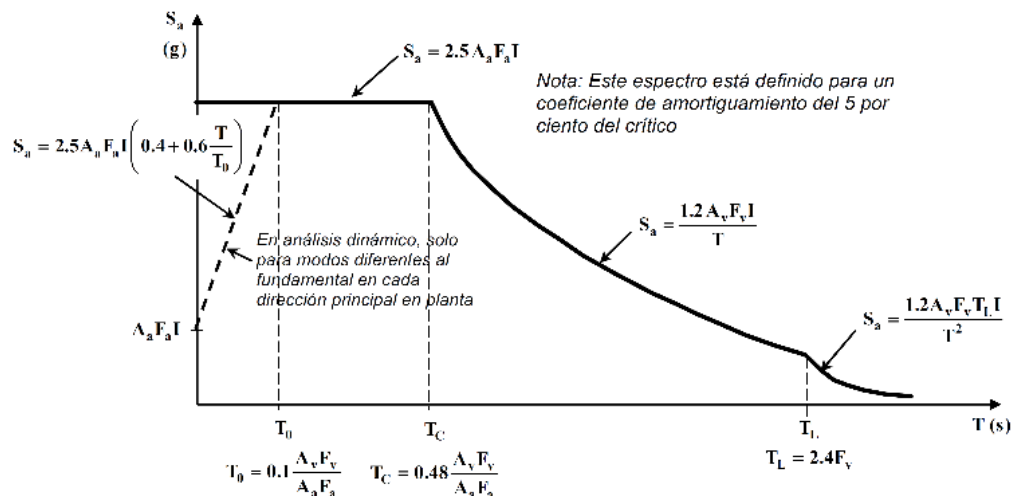


Figura 7. Espectros de respuesta elásticos, a nivel de la superficie del terreno, para el cinco por ciento (5%) de amortiguamiento estructural respecto al crítico.

Nota fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10.

### Dónde:

**Aa** = Aceleración horizontal pico efectiva de diseño.

**Av** = Aceleración que representa la velocidad horizontal pico efectiva de diseño

**Fa** = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos cortos

**Fv** = Coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de períodos intermedios

**I** = Coeficiente de importancia

**Sa** = Aceleración espectral (g)

**T** = Período de vibración (s)

**To** = Periodo para la zona de aceleración constante(s)

**Tc** = Período para punto de quiebre de aceleración constante y variable descendiente (s)

**Tl** = Período correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de diseño (s)

Para calcular el valor del espectro de aceleraciones para un periodo de vibración dado con un coeficiente de amortiguamiento de 5% en una edificación, se toma la sección A.2.6 de la NSR-10. El valor de la máxima aceleración espectral dependerá del valor del periodo de vibración de la estructura, de la siguiente forma:

- Para periodos de vibraciones menores de  $T_C$ , el valor de  $S_a$  es igual a:

$$S_a = 2.5 * A_a * F_a * I \quad (T < T_C) \quad \text{Ecu. A.2.6-3 NSR-10}$$

- Para periodos de vibración mayores o iguales de  $T_C$  y menores o iguales que  $T_L$ , el valor de  $S_a$  es igual a:

$$S_a = \frac{1.2 * A_v * F_v * I}{T} \quad (T_C \leq T \leq T_L) \quad \text{Ecu. A.2.6-1 NSR-10}$$

- Para periodos de vibración  $T_a$  mayores a  $T_L$ , el valor de  $S_a$  es igual a:

$$S_a = \frac{1.2 * A_v * F_v * T_L * I}{T^2} \quad (T > T_L) \quad \text{Ecu. A.2.6-5 NSR-10}$$

Para calcular el periodo de la estructura, se hace uso de la ecuación A.4.2-4 de la NSR-10, el cual corresponde a un periodo inicial de la edificación. El valor de dicho periodo es:

$$T_a = Ct * h^\alpha \quad \text{Ecu. A.2.6-5 NSR-10}$$

$$T_a = 0.047 * 15.00^{0.90}$$

$$T_a = 0.54 \text{ seg}$$

El valor de la máxima aceleración horizontal  $S_a$ , para el periodo de vibración anterior es:

$$S_a = \frac{1.2 * 0.15 * 1.65 * 1.00}{0.54}$$

$$S_a = 0.55$$

Con los datos de la **tabla 6** y la figura mostrada en la **ilustración 7**, se procede a construir la gráfica del espectro elástico de aceleraciones. Dicha espectro elástico se muestra en la **Figura 8**.

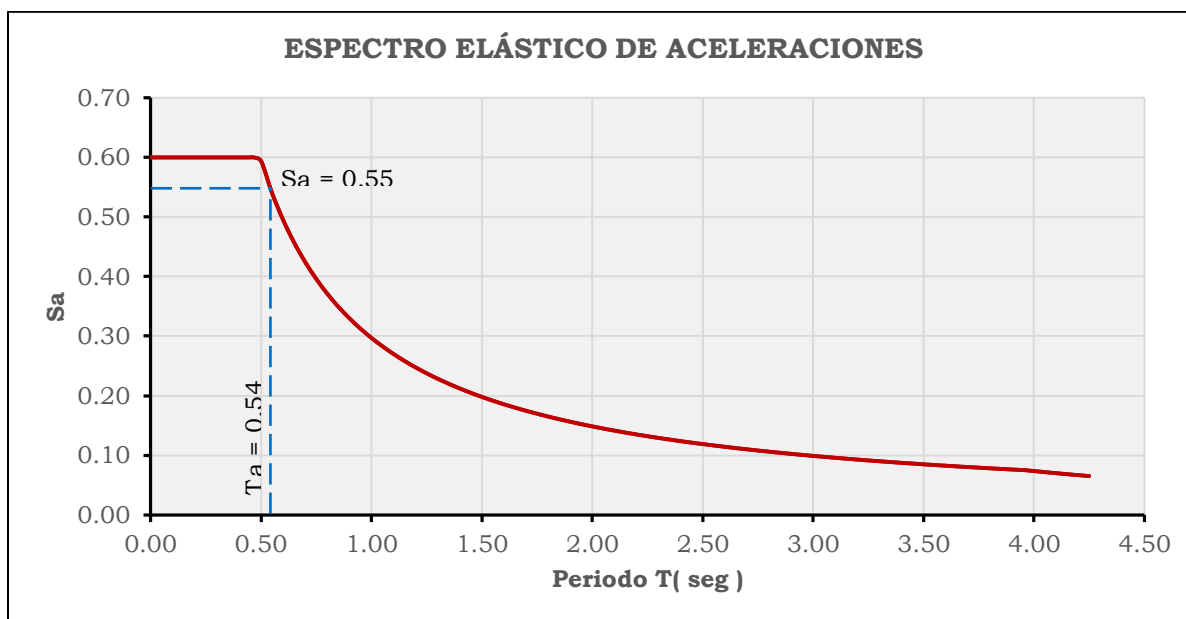


Figura 8. Espectro elástico de aceleraciones para Ocaña (NTS) y uso de edificación residencial

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

## Evaluación cargas de losa

La carga muerta (D) de la losa aligerada, corresponde a su peso propio, el aligerante (casetones de madera) y cargas adicionales denominadas *supermuertas* del inglés *superdead* (SD), las cuales corresponden a pesos distribuidos de los acabados y mamposterías, estos dos últimos datos la NSR-10 en su Capítulo B.3 Cargas Muertas, Tabla B.3.4.3-1, dispone de valores usuales para estas cargas, cuando no se realiza un análisis más detallado, en función de su uso, en este caso residencial.

En las **tablas 7 y 8**, se encuentran los valores de la carga muerta de losa, la primera de ellas corresponde a la losa típica de entrepiso (pisos 1-2-3-4) y la otra a la de cubierta.

**Tabla 7.**

*Carga muerta losa de entrepiso (pisos 1-2-3-4)*

<b>ELEMENTO</b>	<b>CARGA SUPERMUERTA SD( kN/m<sup>2</sup> )</b>
	<b>PISOS 1-2-3-4</b>
Acabados	1,60
Particiones	3,00
<b>TOTAL SD</b>	<b>4,00 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>CARGA MUERTA LOSA ALIGERADA( PISOS 1-2-3-4)( kN/m<sup>2</sup> )</b>	
Loseta sup	1,20
Viguetas	1,20
Loseta inf	0,48
Aligeramiento	0,04
Carga supermuerta SD	4,00
<b>CARGA MUERTA( D )</b>	<b>D = 6,92 kN/m<sup>2</sup></b>

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)



**Tabla 8***Carga muerta losa de cubierta*

<b>ELEMENTO</b>	<b>CARGA SUPERMUERTA SD( kN/m<sup>2</sup> ) CUBIERTA</b>
Imperbeabilizante	0,10
<b>TOTAL SD</b>	<b>0,10 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>CARGA MUERTA LOSA ALIGERADA( PISOS 1-2-3-4)( kN/m<sup>2</sup> )</b>	
Loseta sup	1,20
Viguetas	0,80
Loseta inf	0,48
Aligeramiento	0,04
Carga supermuerta SD	0,10
<b>CARGA MUERTA( D )</b>	<b>D = 2,62 kN/m<sup>2</sup></b>

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**Peso del edificio para el análisis sísmico**

El peso total del edificio se calcula con la suma del peso de cada piso, los cuales corresponden al peso propio de la losa, columnas, vigas, escaleras, y en general cualquier peso muerto adicional.

A continuación se muestra, el respectivo cálculo de pesos muertos para cada tipo de planta estructural, en este caso, los pisos 1, 2, 3 y 4, tienen la misma configuración estructural, y por lo tanto el mismo peso por piso, finalmente el de la cubierta.

Tabla 8.

Peso por nivel, pisos 1-2-3-4

PISOS 1-2-3-4						
ELEMENTO	LONGITUD( m )	ANCHO ( m )	ALTURA( m )	ÁREA( m <sup>2</sup> )	PESO/UNIDAD	PESO( kN )
Viga 1	25,90	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	108,78
Viga 2	25,90	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	108,78
Viga 3	25,90	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	108,78
Viga 4	25,90	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	108,78
Viga 5	25,90	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	108,78
Viga A	15,40	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	64,68
Viga B	15,40	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	64,68
Viga C	15,40	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	64,68
Viga D	15,40	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	64,68
Viga E	15,40	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	64,68
Viga F	15,40	0,35	0,50	0,18	24,00 kN/m <sup>3</sup>	64,68
Panel 1	-	-	-	23,63	6,92 kN/m <sup>2</sup>	163,52
Panel 2	-	-	-	23,53	6,92 kN/m <sup>2</sup>	162,83
Panel 3	-	-	-	23,53	6,92 kN/m <sup>2</sup>	162,83
Panel 4	-	-	-	23,53	6,92 kN/m <sup>2</sup>	162,83
Panel 5	-	-	-	6,14	6,92 kN/m <sup>2</sup>	42,49
Panel 6	-	-	-	23,47	6,92 kN/m <sup>2</sup>	162,41
Panel 7	-	-	-	23,36	6,92 kN/m <sup>2</sup>	161,65
Panel 8	-	-	-	10,92	6,92 kN/m <sup>2</sup>	75,57
Panel 9	-	-	-	23,36	6,92 kN/m <sup>2</sup>	161,65
Panel 10	-	-	-	23,36	6,92 kN/m <sup>2</sup>	161,65
Panel 11	-	-	-	6,10	6,92 kN/m <sup>2</sup>	42,21
Panel 12	-	-	-	17,82	6,92 kN/m <sup>2</sup>	123,31
Panel 13	-	-	-	17,73	6,92 kN/m <sup>2</sup>	122,69
Panel 14	-	-	-	8,29	6,92 kN/m <sup>2</sup>	57,37
Panel 15	-	-	-	17,73	6,92 kN/m <sup>2</sup>	122,69
Panel 16	-	-	-	17,73	6,92 kN/m <sup>2</sup>	122,69
Panel 17	-	-	-	4,64	6,92 kN/m <sup>2</sup>	32,11
Panel 18	-	-	-	20,67	6,92 kN/m <sup>2</sup>	143,04
Panel 19	-	-	-	20,58	6,92 kN/m <sup>2</sup>	142,41
Panel 20	-	-	-	9,64	6,92 kN/m <sup>2</sup>	66,71
Panel 21	-	-	-	20,58	6,92 kN/m <sup>2</sup>	142,41
Panel 22	-	-	-	20,59	6,92 kN/m <sup>2</sup>	142,48
Panel 23	-	-	-	5,37	6,92 kN/m <sup>2</sup>	37,16
Panel 24	-	-	-	5,54	6,92 kN/m <sup>2</sup>	38,34
Panel 25	-	-	-	5,53	6,92 kN/m <sup>2</sup>	38,27
Panel 27	-	-	-	5,53	6,92 kN/m <sup>2</sup>	38,27
Panel 28	-	-	-	5,52	6,92 kN/m <sup>2</sup>	38,20
Panel 29	-	-	-	1,44	6,92 kN/m <sup>2</sup>	9,96
Columna A1	3,00	-	-	0,32	24,00 kN/m <sup>3</sup>	23,04
Columna B1	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna C1	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna D1	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna E1	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna F1	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna A2	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna B2	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna C2	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna D2	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna E2	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna F2	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna A3	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna B3	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna C3	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna D3	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna E3	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna F3	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna A4	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna B4	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna C4	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna D4	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna E4	3,00	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	25,92
Columna F4	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna A5	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna B5	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna C5	3,00	-	-	0,28	24,00 kN/m <sup>3</sup>	20,36
Columna D5	3,00	-	-	0,28	24,00 kN/m <sup>3</sup>	20,36
Columna E5	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Columna F5	3,00	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	18,00
Viga borde X-X	24,25	0,15	0,50	0,08	24,00 kN/m <sup>3</sup>	43,65
Viga borde Y-Y	14,60	0,15	0,50	0,08	24,00 kN/m <sup>3</sup>	26,28
Escalera	-	-	-	-	24,00 kN/m <sup>3</sup>	75,45
<b>PESO POR PISO</b>						<b>4599,90 kN</b>

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Tabla 9.

## Peso cubierta

PESO CUBIERTA						
ELEMENTO	LONGITUD( m )	ANCHO ( m )	ALTURA( m )	ÁREA( m <sup>2</sup> )	PESO/UNIDAD	PESO( kN )
Viga 1	24,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	51,14
Viga 2	24,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	51,14
Viga 3	24,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	51,14
Viga 4	24,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	51,14
Viga 5	24,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	51,14
Viga A	14,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	30,14
Viga B	14,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	30,14
Viga C	14,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	30,14
Viga D	14,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	30,14
Viga E	14,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	30,14
Viga F	14,35	0,25	0,35	0,09	24,00 kN/m <sup>3</sup>	30,14
Panel 1	-	-	-	25,02	2,62 kN/m <sup>2</sup>	65,55
Panel 2	-	-	-	24,75	2,62 kN/m <sup>2</sup>	64,85
Panel 3	-	-	-	24,75	2,62 kN/m <sup>2</sup>	64,85
Panel 4	-	-	-	24,75	2,62 kN/m <sup>2</sup>	64,85
Panel 5	-	-	-	24,63	2,62 kN/m <sup>2</sup>	64,53
Panel 6	-	-	-	24,32	2,62 kN/m <sup>2</sup>	63,72
Panel 7	-	-	0,20	11,57	24,00 kN/m <sup>3</sup>	56,69
Panel 8	-	-	-	24,32	2,62 kN/m <sup>2</sup>	63,72
Panel 9	-	-	-	24,32	2,62 kN/m <sup>2</sup>	63,72
Panel 10	-	-	-	18,81	2,62 kN/m <sup>2</sup>	49,28
Panel 11	-	-	-	18,57	2,62 kN/m <sup>2</sup>	48,65
Panel 12	-	-	0,20	8,82	24,00 kN/m <sup>3</sup>	43,22
Panel 13	-	-	-	18,57	2,62 kN/m <sup>2</sup>	48,65
Panel 14	-	-	-	18,57	2,62 kN/m <sup>2</sup>	48,65
Panel 15	-	-	-	21,73	2,62 kN/m <sup>2</sup>	56,93
Panel 16	-	-	-	21,49	2,62 kN/m <sup>2</sup>	56,30
Panel 17	-	-	-	10,25	2,62 kN/m <sup>2</sup>	26,86
Panel 18	-	-	-	21,49	2,62 kN/m <sup>2</sup>	56,30
Panel 19	-	-	-	21,49	2,62 kN/m <sup>2</sup>	56,30
Columna A1	1,50	-	-	0,32	24,00 kN/m <sup>3</sup>	11,52
Columna B1	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna C1	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna D1	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna E1	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna F1	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna A2	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna B2	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna C2	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna D2	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna E2	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna F2	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna A3	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna B3	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna C3	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna D3	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna E3	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna F3	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna A4	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna B4	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna C4	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna D4	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna E4	1,50	0,60	0,60	0,36	24,00 kN/m <sup>3</sup>	12,96
Columna F4	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna A5	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna B5	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna C5	1,50	-	-	0,28	24,00 kN/m <sup>3</sup>	10,18
Columna D5	1,50	-	-	0,28	24,00 kN/m <sup>3</sup>	10,18
Columna E5	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Columna F5	1,50	0,50	0,50	0,25	24,00 kN/m <sup>3</sup>	9,00
Escalera	-	-	-	-	24,00 kN/m <sup>3</sup>	37,74
Tanques( 3 )	-	-	-	-	10,00 kN/m <sup>3</sup>	15,00
Antepecho	86,90	0,10	1,20	8,69	18,00 kN/m <sup>3</sup>	27,00
<b>PESO DE LA CUBIERTA</b>						<b>1902,24 kN</b>

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Finalmente, en la **tabla 10** se muestra el peso total por piso de la edificación, recordando que para los pisos 1, 2,3 y 4 es el mismo.

**Tabla 10.**

*Peso total de la edificación*

<b>PESO DE LA ESTRUCTURA</b>	
Piso 1	4599,90
Piso 2	4599,90
Piso 3	4599,90
Piso 4	4599,90
Cubierta	1902,24
<b>TOTAL PESO</b>	<b>20301,86 kN</b>

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

### **Centro de masa**

El centro de masa de un diafragma de piso, corresponde aquel punto donde se supone se concentra toda la masa del piso. Este punto geométrico es esencial para el análisis sísmico de una edificación, pues en él donde se aplican las fuerzas horizontales equivalente obtenidas, incluyendo unos momentos accidentales torsionales descrito en la sección A.3.6.7-1 de la NSR-10.

En las **tablas 11 y 12**, se muestra los respectivos valores de los centro de masa obtenidos, considerando que para los pisos 1, 2, 3 y 4, es el mismo.

**Tabla 11.***Centro de masa pisos 1, 2,3 y 4*

<b>CENTRO DE MASA PISOS 1,2,3,4</b>					
<b>ELEMENTO</b>	<b>PESO( kN )</b>	<b>X( m )</b>	<b>Y( m )</b>	<b>W*X( kN.m)</b>	<b>W*Y( kN.m )</b>
Viga 1	108,78	14,50	0,18	1577,31	19,04
Viga 2	108,78	14,50	4,70	1577,31	511,27
Viga 3	108,78	14,50	9,20	1577,31	1000,78
Viga 4	108,78	14,50	12,70	1577,31	1381,51
Viga 5	108,78	14,50	16,70	1577,31	1816,63
Viga A	64,68	0,18	9,00	11,32	582,12
Viga B	64,68	6,20	9,00	401,02	582,12
Viga C	64,68	12,20	9,00	789,10	582,12
Viga D	64,68	15,20	9,00	983,14	582,12
Viga E	64,68	21,20	9,00	1371,22	582,12
Viga F	64,68	27,20	9,00	1759,30	582,12
Panel 1	163,52	3,25	2,54	531,44	415,34
Panel 2	162,83	9,20	2,54	1498,01	413,58
Panel 3	162,83	18,20	2,54	2963,46	413,58
Panel 4	162,83	24,20	2,54	3940,43	413,58
Panel 5	42,49	28,16	2,54	1196,48	107,92
Panel 6	162,41	3,25	6,95	527,84	1128,77
Panel 7	161,65	9,20	6,96	1487,19	1125,09
Panel 8	75,57	13,70	6,96	1035,26	525,94
Panel 9	161,65	18,25	6,96	2950,13	1125,09
Panel 10	161,65	24,25	6,95	3920,04	1123,48
Panel 11	42,21	28,19	6,95	1189,96	293,37
Panel 12	123,31	3,25	10,95	400,77	1350,29
Panel 13	122,69	9,20	10,95	1128,76	1343,47
Panel 14	57,37	13,70	10,95	785,93	628,17
Panel 15	122,69	18,25	10,95	2239,12	1343,47
Panel 16	122,69	24,25	10,95	2975,27	1343,47
Panel 17	32,11	28,19	10,95	905,15	351,59
Panel 18	143,04	3,25	14,70	464,87	2102,64
Panel 19	142,41	9,20	14,70	1310,21	2093,48
Panel 20	66,71	13,70	14,70	913,91	980,62
Panel 21	142,41	18,25	14,70	2599,05	2093,48
Panel 22	142,48	24,25	14,70	3455,21	2094,50
Panel 23	37,16	28,19	14,70	1047,55	546,26
Panel 24	38,34	3,25	17,40	124,59	667,06
Panel 25	38,27	9,20	17,40	352,06	665,86
Panel 27	38,27	18,25	17,40	698,38	665,86
Panel 28	38,20	24,25	17,40	926,31	664,65
Panel 29	9,96	28,19	17,40	280,91	173,39
<b>Σ</b>	<b>3809,7312</b>			<b>55049,93041</b>	<b>34415,93178</b>
<b>CENTRO DE MASA</b>				<b>Xcm = 14,45 m</b>	<b>Ycm = 9,03 m</b>

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**Tabla 12.***Centro de masa cubierta*

<b>CENTRO DE MASA CUBIERTA</b>					
<b>ELEMENTO</b>	<b>PESO( kN )</b>	<b>X( m )</b>	<b>Y( m )</b>	<b>W*X( kN.m)</b>	<b>W*Y( kN.m )</b>
Viga 1	51,14	13,78	0,13	704,38	6,39
Viga 2	51,14	13,78	4,70	704,38	240,33
Viga 3	51,14	13,78	9,20	704,38	470,44
Viga 4	51,14	13,78	12,70	704,38	649,41
Viga 5	51,14	13,78	16,70	704,38	853,95
Viga A	30,14	0,13	8,53	3,77	257,05
Viga B	30,14	6,20	8,53	186,84	257,05
Viga C	30,14	12,20	8,53	367,65	257,05
Viga D	30,14	15,20	8,53	458,05	257,05
Viga E	30,14	21,20	8,53	638,86	257,05
Viga F	30,14	27,20	8,53	819,67	257,05
Panel 1	65,55	3,25	2,54	213,05	166,50
Panel 2	64,85	9,20	2,54	596,57	164,71
Panel 3	64,85	18,20	2,54	1180,18	164,71
Panel 4	64,85	24,20	2,54	1569,25	164,71
Panel 5	64,53	3,25	6,95	209,72	448,49
Panel 6	63,72	9,20	6,96	586,21	443,48
Panel 7	56,69	13,70	6,96	776,69	394,58
Panel 8	63,72	18,25	6,96	1162,86	443,48
Panel 9	63,72	24,25	6,95	1545,17	442,84
Panel 10	49,28	3,25	10,95	160,17	539,64
Panel 11	48,65	9,20	10,95	447,61	532,75
Panel 12	43,22	13,70	10,95	592,09	473,24
Panel 13	48,65	18,25	10,95	887,92	532,75
Panel 14	48,65	24,25	10,95	1179,84	532,75
Panel 15	56,93	3,25	14,70	185,03	836,91
Panel 16	56,30	9,20	14,70	517,99	827,67
Panel 17	26,86	13,70	14,70	367,91	394,77
Panel 18	56,30	18,25	14,70	1027,54	827,67
Panel 19	56,30	24,25	14,70	1365,37	827,67
<b>Σ</b>	<b>1500,11</b>			<b>20567,95257</b>	<b>12922,1593</b>
	<b>CENTRO DE MASA</b>			<b>Xcm = 13,71 m</b>	<b>Ycm = 8,61 m</b>

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**Cortante sísmico de la base**

El cortante sísmico en la base  $V_s$ , es el resultado de la fuerza lateral total de los efectos de las fuerzas de inercia horizontales que se induce a un sistema estructural de un número de grados de libertad, para distribuirlo luego en los diferentes pisos de la estructura.

$$V_s = S_a g M$$

Ecu. (A.4.2-3) NSR-10

Dónde:

**Sa** = Máxima aceleración horizontal tomada del espectro de diseño (*ver gráfica 1*) expresada en fracción de la gravedad para un periodo de vibración dado.

**g** = Gravedad

**M** = Masa total de la edificación

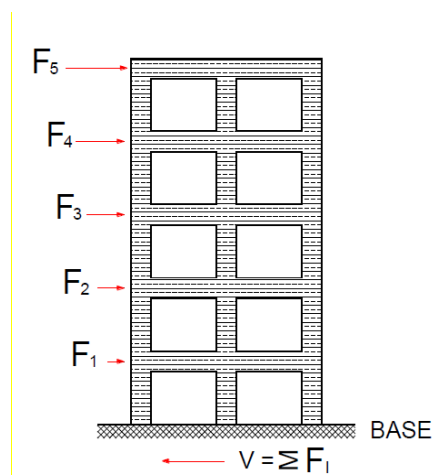


Figura 9. Cortante sísmico en la base y distribución de fuerzas por piso

Nota fuente: <http://portales.puj.edu.co/javevirtual/Proyecto%20Estructuras/html/2clasificaion.htm>

El cortante de la base depende del peso de la edificación y la máxima aceleración horizontal  $S_a$ . El valor de la máxima aceleración espectral es  $S_a = 0.55$  y el peso total de la edificación es  $W = 20301,86 \text{ kN}$ , por lo que el cortante sísmico en la base es:

$$V_s = S_a * g * M = S_a * W$$

$$V_s = 0.55 * 20301,86 \text{ kN}$$

$$V_s = 11212,76 \text{ kN}$$

## Distribución fuerzas sísmicas

Para la distribución del cortante en la base obtenido, en cualquier nivel  $x$ , para la dirección de análisis correspondiente, debe determinarse de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$F_x = C_{vx} * V_s \quad \text{Ecu.A.4.3-2 NSR-10}$$

$$C_{vx} = \frac{m_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^{i=n} (m_i * h_i^k)} \quad \text{Ecu.A.4.3-2 NSR-10}$$

Dónde:

**$C_{vx}$ :** Coeficiente de repartición de la fuerza sísmica en la altura de la edificación; para periodos cortos la fuerza horizontal es equivalente a una fuerza uniforme, de tipo triangular con valor 0 en la base; para periodos largos, la forma es parabólica

**$V_s$ :** Cortante sísmico en la base

**$m_x$ :** Masa del piso de análisis

**$m_i$ :** Masa particular de cada uno de los pisos de la edificación

**$h_x$ :** Altura desde la base del pisos de análisis

**$h_i$ :** Altura particular de cada uno de los pisos de la edificación

**$k$ :** Exponente relacionado con el periodo de vibración de la edificación



El valor del **exponente k** se determina de acuerdo a la sección A.4.3 de la NSR-10, de acuerdo al periodo de vibración de la edificación (T), así:

- a) Para T menor o igual a 0.50 segundos ,  $k = 1.0$
- b) Para T entre 0.50 y 2.50 segundos,  $k = 0.75 + 0.50T$
- c) Para T mayor que 2.50 segundos ,  $k = 2.0$

Teniendo en cuenta cada uno de los pasos anteriormente descritos, se elabora una tabla como la que se muestra en la **tabla 13**, donde se muestra el valor de cada una de las fuerzas sísmicas por piso. En este caso, al obtenerse estos valores con un periodo inicial aproximado (*solo depende del sistema estructural y de la altura total e la edificación*), el valor de las fuerzas sísmicas son iguales para cada uno de las direcciones de análisis de la edificación. Por lo tanto, deberá verificarse el periodo inicial con el **periodo fundamental de la edificación**, con el fin de compararlo inicial y determinar si es o no necesario repetir el análisis.

**Tabla 13.**

*Distribución de las fuerzas sísmicas por piso*

DISTRIBUCIÓN FUERZAS POR PISO						<b>k = 1,02</b>
<b>Piso</b>	<b>h (m)</b>	<b>W (kN)</b>	<b>W*h<sup>k</sup></b>	<b>Cv</b>	<b>F (kN)</b>	<b>V (kN)</b>
1	3,00	4599,90	14088,85	0,08	909,63	11212,76
2	6,00	4599,90	28548,78	0,16	1843,22	10303,12
3	9,00	4599,90	43152,15	0,25	2786,07	8459,91
4	12,00	4599,90	57849,47	0,33	3734,98	5673,84
5	15,00	1902,24	30030,02	0,17	1938,85	1938,85
<b>SUMATORIA</b>		<b>20301,86</b>	<b>173669,3</b>	<b>1,00</b>	<b>11212,76</b>	

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

### Verificación periodo fundamental

El periodo de vibración inicial  $T_a = 0.54$  seg, como se mencionó en el párrafo anterior, es un estimativo inicial, por lo que se hace necesario hallar los correspondientes desplazamientos en los centros de masa de cada uno de los pisos con las fuerzas sísmicas dadas en la **tabla 13**. Luego se halla el **periodo fundamental** de la edificación,  $T$ , para cada dirección de análisis en planta (x-x, y-y), y se comprueba que el nuevo valor del periodo hallado, que en esta caso corresponde al fundamental, no difiera en más del 10% del periodo aproximado,  $T_a$  ( $T_a = 0.54$  seg), con el que se hallaron previamente las fuerzas de piso (Sec. A.4.2.3, NSR-10).

Para hallar el valor del periodo fundamental  $T$ , se utiliza la ecuación A.4.2.1 de la NSR-10, la cual se modifica para dejarlas en términos de pesos  $W$ :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (W_i * \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^{i=n} (F_i * \delta_i) * g}} \quad \text{Ecu. A.4.2-1 NSR-10}$$

Además, la NSR-10 en su sección A.4.2.1, especifica que el periodo fundamental  $T$ , debe cumplir el siguiente requisito:

$$T \leq C_u * T_a$$

Donde:

$$C_u = 1.75 - 1.2 * A_v * F_v, \text{ pero } C_u \text{ no debe ser menor de } 1.20 \text{ (} C_u \geq 1.20 \text{)}$$

$$T_a = \text{Periodo fundamental aproximado inicial}$$

Ya que para obtener los desplazamientos para cada piso en su centro de masa, es necesario analizar tridimensionalmente la estructura, se modeló en el programa **SAP2000** la estructura. En las **figura 8, 9 y 10** se muestra el modelo realizado.

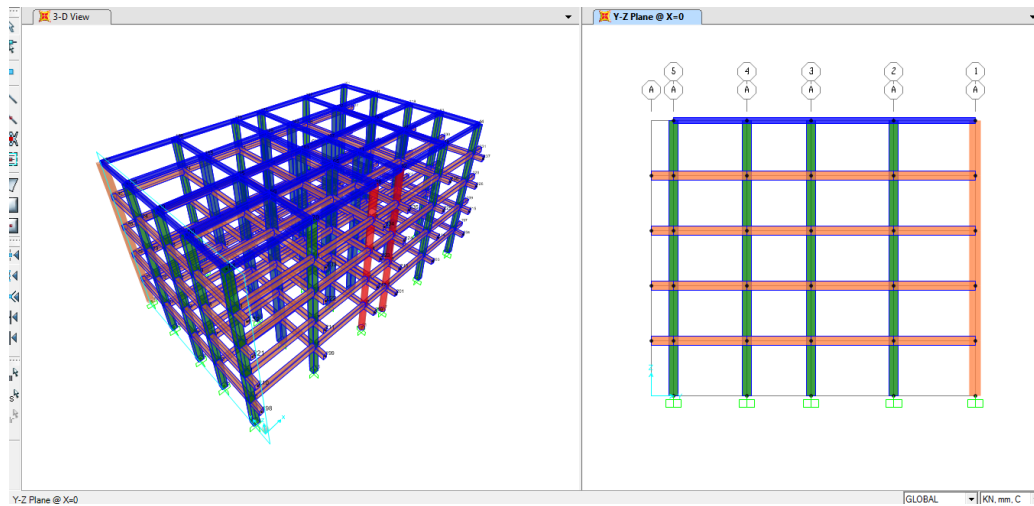


Figura 8. Modelo estructural de la edificación

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

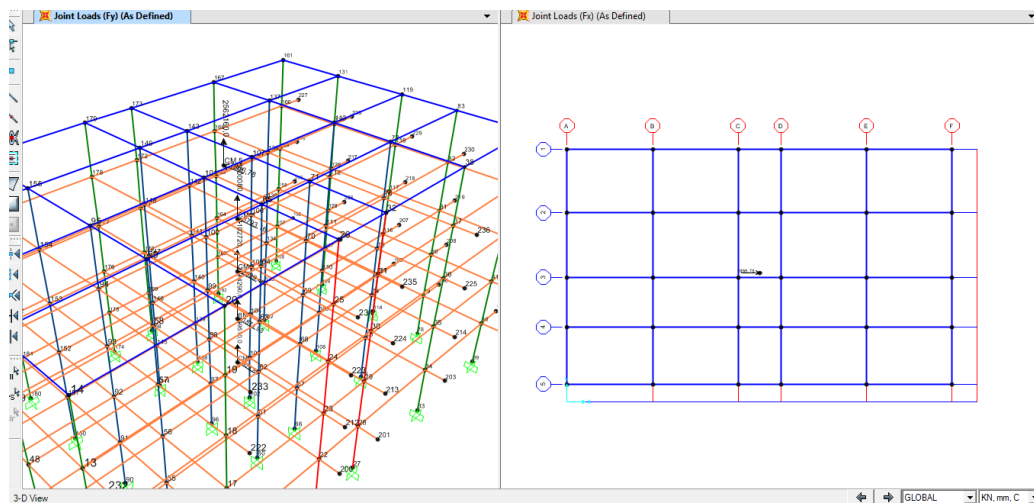


Figura 9. Aplicación de las fuerzas sísmicas de piso en su centro de masa

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

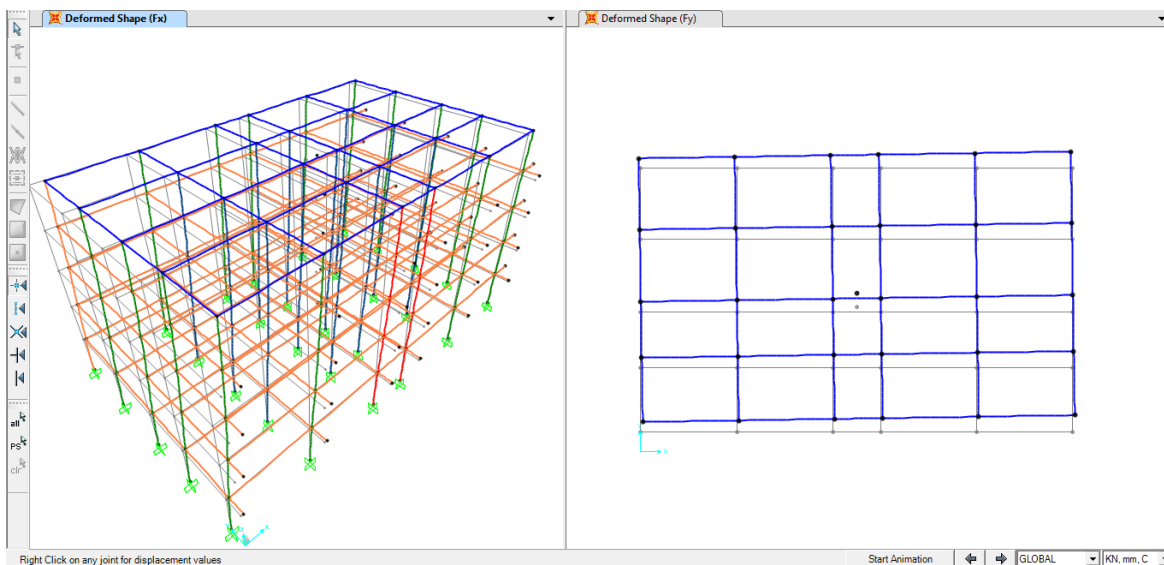


Figura 10. Desplazamientos de la estructura ante la sollicitación sísmica

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Del análisis del modelo estructural se obtuvieron desplazamientos en el centro de masa para cada una de las direcciones en planta. En la **tabla 14** se muestran datos necesarios para la obtención del periodo fundamental, dentro de la cual se encuentran los desplazamientos obtenidos en el programa SAP2000.

**Tabla 14.**

*Distribución de las fuerzas sísmicas por piso*

DESPLAZAMIENTOS EN CENTRO DE MASA				
PISO	PESO W ( kN )	Fp( kN )	DESPLAZAMIENTO $\Delta x$ ( mm )	DESPLAZAMIENTO $\Delta y$ ( mm )
1	4599,90	909,63	15,9364	14,9489
2	4599,90	1843,22	41,4901	38,1688
3	4599,90	2786,07	64,7224	58,9504
4	4599,90	3734,98	81,7010	73,8779
5	1902,24	1938,85	93,3398	82,7584

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Con los datos de la **tabla 14** se procede a obtener y verificar el nuevo valor ajustado del periodo, que corresponde al periodo fundamental. Ambos periodos obtenidos no exceden el valor de  $C_u \cdot T_a$  (0.648 seg), descrito en la ecuación A.4.2-2 de la NSR-10. En la **tabla 15** se aprecia dicho análisis realizado.

**Tabla 15.**

*Obtención y verificación periodo fundamental*

<b>OBTENCIÓN Y VERIFICACIÓN PERIODO FUNDAMENTAL</b>			
<b>DIRECCIÓN DE ANÁLISIS</b>	<b>PERIODO T ( seg )</b>	<b>VARIACIÓN T/TA ( % )</b>	<b>VERIFICACIÓN</b>
DIRECCIÓN X-X	0,63	17,91	NO CUMPLE
DIRECCIÓN Y-Y	0,60	12,15	NO CUMPLE

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

La verificación del periodo fundamental de la estructura con el valor estimado inicial  $T_a = 0.54$  seg, arrojó como resultados variaciones porcentuales mayores al 10% en las dos direcciones en planta, por lo que de acuerdo al requisito de la sección A.4.2.3 de la NSR10, se debe de tomar los nuevos periodos de vibración obtenidos, y repetirse de nuevo el proceso de análisis, hasta que converja en un resultado dentro de la tolerancia admitida (10%). Con el fin de no repetir todos los pasos realizados hasta llegar a este punto, se procede solo a mostrar los datos generales para cada dirección de análisis, hasta obtener las nuevas fuerzas horizontales por piso.

En las **tablas 16 y 17** se muestra los nuevos datos obtenidos, tales como la máxima aceleración horizontal  $S_a$ , cortante sísmico en la base y distribución en cada uno de los pisos de la edificación de dicho cortante, todo esto para cada una de las direcciones en planta.

**Tabla 15.***Cortante basal y distribución de las nuevas fuerzas de piso, dirección X-X*

<b>FUERZAS SÍSMICAS CALCULADAS POR MEDIO DEL PERIODO FUNDAMENTAL-DIR X-X</b>						
<b>PERIODO( seg )</b>	0,63	<b>Sa</b>	0,47	<b>CORTANTE BASAL( Vs )</b>	9509,76 kN	
						<b>k = 1,07</b>
<b>Piso</b>	<b>h (m)</b>	<b>W (kN)</b>	<b>W*h<sup>k</sup></b>	<b>Cv</b>	<b>F (kN)</b>	<b>V (kN)</b>
1	3,00	4599,90	14854,18	0,08	730,56	9509,76
2	6,00	4599,90	31121,11	0,16	1530,61	8779,20
3	9,00	4599,90	47967,69	0,25	2359,16	7248,59
4	12,00	4599,90	65202,08	0,34	3206,79	4889,43
5	15,00	1902,24	34212,44	0,18	1682,65	1682,65
<b>SUMATORIA</b>		<b>20301,86</b>	<b>193357,5</b>	<b>1,00</b>	<b>9509,76</b>	

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**Tabla 16.***Cortante basal y distribución de las nuevas fuerzas de piso, dirección Y-Y*

<b>FUERZAS SÍSMICAS CALCULADAS POR MEDIO DEL PERIODO FUNDAMENTAL-DIR Y-Y</b>						
<b>PERIODO( seg )</b>	0,60	<b>Sa</b>	0,49	<b>CORTANTE BASAL( Vs )</b>	9997,79 kN	
						<b>k = 1,05</b>
<b>Piso</b>	<b>h (m)</b>	<b>W (kN)</b>	<b>W*h<sup>k</sup></b>	<b>Cv</b>	<b>F (kN)</b>	<b>V (kN)</b>
1	3,00	4599,90	14854,18	0,08	768,05	9997,79
2	6,00	4599,90	31121,11	0,16	1609,16	9229,74
3	9,00	4599,90	47967,69	0,25	2480,23	7620,58
4	12,00	4599,90	65202,08	0,34	3371,35	5140,35
5	15,00	1902,24	34212,44	0,18	1769,00	1769,00
<b>SUMATORIA</b>		<b>20301,86</b>	<b>193357,5</b>	<b>1,00</b>	<b>9997,79</b>	

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Con las nuevas fuerzas horizontales obtenidas, se procede a realizar nuevamente el análisis tridimensional de la estructura en el programa de SAP2000, para determinar las deflexiones horizontales en cada uno de los centros de masa. Se obvian las figuras del proceso realizado, pues es idéntico al descrito anteriormente. Los desplazamientos por piso se muestran en la **tabla 17**.

**Tabla 17.***Desplazamientos en centro de masa para cada piso*

<b>DESPLAZAMIENTOS EN CENTRO DE MASA</b>					
<b>PISO</b>	<b>PESO W( kN )</b>	<b>Fp-X( kN )</b>	<b>Fp-Y( kN )</b>	<b>DESPLAZAMIENTO <math>\Delta x</math>( mm )</b>	<b>DESPLAZAMIENTO <math>\Delta y</math>( mm )</b>
1	4599,90	730,56	768,05	13,3656	13,0751
2	4599,90	1530,61	1609,16	34,9380	33,5194
3	4599,90	2359,16	2480,23	54,7007	51,9576
4	4599,90	3206,79	3371,35	69,3081	65,3548
5	1902,24	1682,65	1769,00	79,5780	74,2036

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Finalmente, se procede a realizar de nuevo la verificación de los periodos de vibración calculados para el presente análisis, dando como resultado periodos casi idénticos con los predecesores, variando solo desde la tercera décima en adelante, por lo que dichos valores obtenidos comparándolo con el inicial, da como resultado cumplimiento con el requisito dado en la sección A.4.2.3 de la NSR-10, pues la diferencia porcentual de variación se encuentra dentro del límite del 10%. En la **tabla 18** se aprecia a manera de resumen las verificaciones realizadas.

**Tabla 18.***Obtención y verificación periodo fundamental*

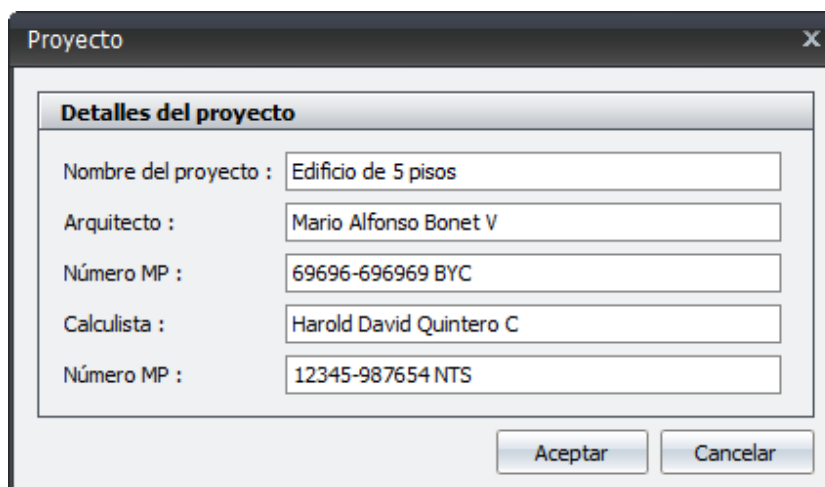
<b>OBTENCIÓN Y VERIFICACIÓN PERIODO FUNDAMENTAL</b>			
<b>DIRECCIÓN DE ANÁLISIS</b>	<b>PERIODO T( seg )</b>	<b>VARIACIÓN T/T ( % )</b>	<b>VERIFICACIÓN</b>
DIRECCIÓN X-X	0,63	0,39	CUMPLE
DIRECCIÓN Y-Y	0,60	0,71	CUMPLE

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

## Apéndice 2. Solución del ejercicio anterior en la herramienta informática FHE-Soft.

Para solucionar el anterior problema haciendo uso de “FHE-Soft”, fue necesario realizar el procedimiento que se describe paso a paso a continuación:

Al ingresar al programa, nos dirigimos al menú **proyecto**, donde al dar clic, se abrirá la ventana de los **Detalles del proyecto**. Para este ejercicio en particular, se tomaron datos a manera de ejemplo en forma aleatoria como se observa en la **figura 11**.



Detalles del proyecto	
Nombre del proyecto :	Edificio de 5 pisos
Arquitecto :	Mario Alfonso Bonet V
Número MP :	69696-696969 BYC
Calculista :	Harold David Quintero C
Número MP :	12345-987654 NTS

Figura 11. Detalles del proyecto

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

En el siguiente paso, nos dirigimos al menú **Parámetros sísmicos** y buscamos el ítem **Coefficientes sísmicos**. Al abrir la ventana, se digitaron y/o seleccionaron los datos requeridos por el programa para realizar posteriormente el análisis. Dichos datos se tomaron para este ejemplo en particular, como un proyecto que se realizará a manera en la ciudad de Ocaña (Norte de Santander). Como se observa en la **figura 2**, los valores de los coeficientes sísmicos **Aa** y **Av**



toman un valor de 0,20 y 0,15, respectivamente, y, cabe resaltar que dichos valores fueron tomados directamente desde la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10, que la clasifica así mismo como una zona de amenaza sísmica intermedia. El perfil de suelo escogido para este ejemplo es el de un suelo muy común en la ciudad donde se construirá (Ocaña). Este es categorizado por la Norma como un perfil de suelo C.

Debido a que no se tuvo en cuenta la aplicación de un estudio geotécnico, para hallar valores de  $F_a$  y  $F_v$  de la zona en particular (*estudio de microzonificación*), se realizó un cálculo automático de los coeficientes de amplificación sísmica, esto de acuerdo a la Tabla A.4.2.4 de la NSR-10. Finalmente, se dio clic en **aceptar** y se prosigue con el análisis.

**Coeficientes sísmicos**

**Coeficientes**

**Parámetros Aa y Av**

Seleccione el Departamento y Municipio donde se encuentra la estructura.

Departamento : Norte de Santander

Municipio : Ocaña

Los valores para dicho Municipio de la aceleración Aa y velocidad Av son :

**Aa :** 0,20

**Av :** 0,15

**Amenza sísmica :** Intermedia

**Parámetros Fa y Fv**

Perfil de suelo : C

Eliga la forma en como desea diligenciar los valores de los coeficiente de amplificación Fa y Fv:

Automático

**Fa :** 1,20 **Fv :** 1,65

Manual

Digite los valores de los coeficientes Fa y Fv :

**Fa :**  **Fv :**

Aceptar Cancelar

Figura 12. Coeficientes sísmicos.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Continuando con el ingreso de datos, se prosiguió a seleccionar el **Grupo de uso** de la estructura, que para este ejemplo, fue el grupo de uso I, ya que corresponde a un edificio destinado para uso residencial. **Ver figura 13.**

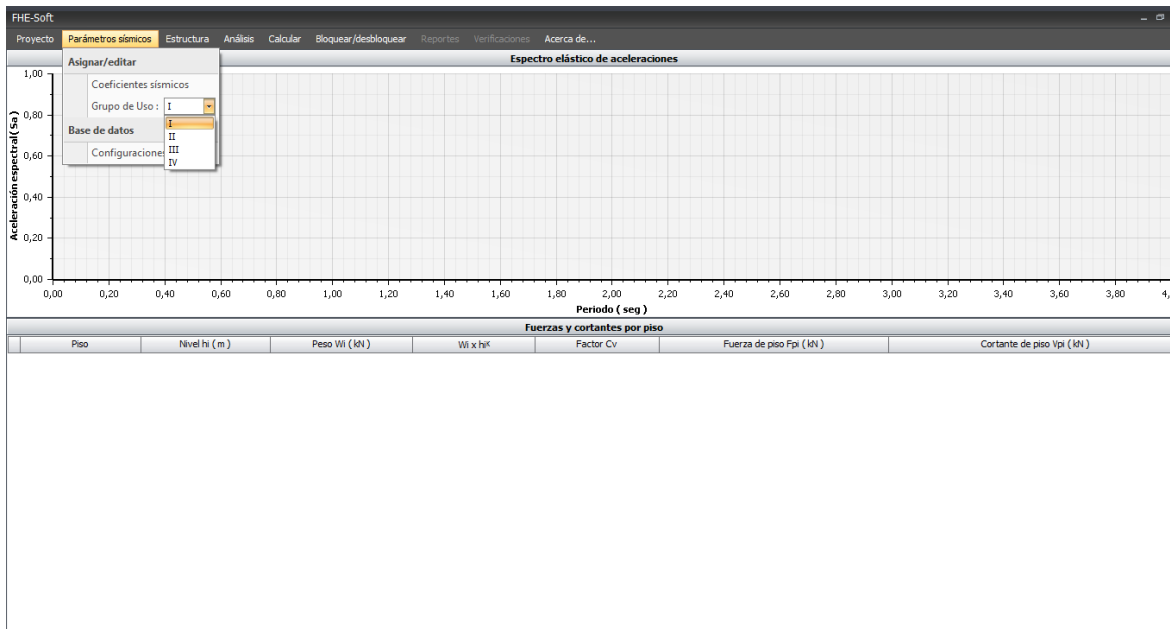


Figura 13. Grupo de uso.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Habiendo ingresado los datos sísmicos, se prosigue al menú **Estructura**, y allí ingresamos al ítem **Parámetros sísmicos**, en el cual se indicó el número de pisos, que en este caso es de 5 niveles con una altura total de 15 metros, medidos desde la base del edificio, teniendo en cuenta, que en el análisis sísmico no se tiene en cuenta los sótanos o demás elementos que se encuentren bajo el nivel 0.

En esta ventana también es posible indicar si la estructura posee irregularidades en altura o en planta, así como restricciones por rigidez. Para este ejemplo, no se tuvieron irregularidades ni restricciones, por lo tanto las casillas se mantienen sin chequear. En el lado derecho, se muestran los datos necesarios para determinar, si es posible aplicar el Método de la Fuerza Horizontal Equivalente a esta estructura, y para ello, en la parte inferior, se encuentran citadas además los requisitos que exige el Método para su aplicación, tal como se aprecia en la **figura 14**. La estructura cumple sin problemas los requisitos, por lo tanto se prosigue a dar clic en **aceptar** y se continúa con el análisis. Se menciona que independientemente si cumple o no con los requisitos normativos para poder aplicar el método, el programa realizará los cálculos, por lo que queda a potestad del usuario final si realiza el análisis o no.

**Parámetros de la estructura**

**Niveles Estructura**  
 Ingrese los pisos de la estructura y su altura total medida desde la base :  
 Cantidad de pisos : 5  
 Altura desde la base(ht) : 15,00 (m)

**Irregularidades**  
 Seleccione los tipos de irregularidades presentes en la estructura :  
 Irregularidad en planta  
 Irregularidad en altura

**Restricción de rigidez**  
 Seleccione los tipos de irregularidades presentes en la estructura :  
 La estructura es flexible y se apoya sobre una con mayor rigidez?

**Datos previos**  
 Amenaza sísmica : Intermedia  
 Perfil de suelo : C  
 Grupo de uso : I  
 ZTc : 0,99 seg

*Los datos que se muestran en este grupo en conjunto con los de la izquierda, sirven para poder verificar los requisitos descritos en la Sección A.3.4.2 de la NSR-10, para el uso de método de la Fuerza Horizontal Equivalente. Ver la sección de Notas.*

**Notas**  
**REQUISITOS NORMATIVOS**  
 Puede utilizarse el método de la fuerza horizontal equivalente en las siguientes edificaciones :  
 (a) Todas las edificaciones, regulares e irregulares, en las zonas de amenaza sísmica baja,  
 (b) Todas las edificaciones, regulares e irregulares, pertenecientes al grupo de uso I, localizadas en zonas de amenaza sísmica intermedia,  
 (c) Edificaciones regulares, de 20 niveles o menos y 60 m de altura o menos medidos desde la base, en

Aceptar Cancelar

Figura 14. Parámetros de la estructura.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Teniendo los parámetros de altura de la edificación, nos dirigimos al ítem **Alturas por piso**, que se encuentra ubicado en el menú **Estructura**. En esta ventana, se observa que el sistema toma valores de alturas por piso predeterminadas de 3.00 metros, y aunque dichos valores son modificables, en este ejemplo particular se tomaron alturas predeterminadas de 3.00 metros. (Ver figura 6). Aun así, el programa toma como requisito ingresar dichas alturas, y es por esta razón, que se hace necesario ingresar a esta ventana y a continuación dar clic en **aceptar**.

Niveles edificación		
Nivel	Altura de piso(m)	Cota de piso(m)
> 5	3,00	15,00
4	3,00	12,00
3	3,00	9,00
2	3,00	6,00
1	3,00	3,00

La **cota de piso** del último nivel debe ser igual a la **altura total(ht)**.

Figura 15. Alturas por piso.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Uno de los pasos más importantes y cuidadosos que existen en la herramienta informática “FHE-Soft”, es el ingreso de los pesos de la edificación, y aunque al ingresar los pesos de manera directa no es una tarea difícil, al ingresarlos de manera discriminada es donde se vuelve una labor de mucho cuidado. Es por esta razón que se decidió ingresar los pesos de manera

discriminada, para ilustrar al usuario la manera correcta de hacerlo, para cada uno de los elementos que contiene la estructura. Para ingresar a la ventana de **Pesos discriminados**, primero nos dirigimos nuevamente al menú **Estructura**, y seleccionamos el ítem **Peso edificación**, al abrirse la ventana, seleccionamos la opción de **Discriminado por piso**, y seguidamente damos clic en el botón **Ingresar pesos**. Ver figura 16.

Piso	Altura entrepiso ( m )	Nivel a base ( m )	Peso Wi ( kN )
5	3,00	15,00	
4	3,00	12,00	
3	3,00	9,00	
2	3,00	6,00	
1	3,00	3,00	

Figura 16. Pesos discriminados.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Estando ya en la ventana de **Pesos discriminados**, observamos que el programa nos brinda la opción de realizar un cálculo directo para varios tipos de sección por elemento. Dentro de ellos encontramos elementos como vigas, columnas, losas, escaleras y la opción de ingresar otros pesos, que no fueron tenidos en cuenta de manera predeterminada, debido a la gran

variedad que existe, como lo son los tanques, antepechos, máquinas, muros de ascensor, entre otros.

A continuación se explica detalladamente el ingreso de los elementos pertenecientes al presente ejemplo que son:

- **Vigas:** En las vigas, se manejan dos secciones diferentes a manera de ejemplo para este ejercicio, estas tienen dimensiones diferentes debido al uso que tienen cada una. En el presente ejercicio se manejaron secciones rectangulares con dimensiones de 0.35x0.50 y 0.25x0.35 para los pisos 1, 2, 3 y 4, y la cubierta, respectivamente. Además se tuvieron en cuenta las vigas borde que se encuentran en cada piso del 1 al 4 en dirección X-X y Y-Y con dimensiones de 0.15x0.50, respectivamente.

Para ingresar los respectivos pesos de cada viga, primero debemos seleccionar el tipo de sección a trabajar, en este caso, como se mencionó, serán de tipo **rectangular**. Posteriormente, se debe llenar cada uno de los campos requeridos para el cálculo tales como : el **piso** al cual será adicionada, el código de **Identificación**, el **Ancho**, **Alto** y **Longitud** expresada en metros, además del **Gama del concreto**, que será de  $24 \text{ kN/m}^3$  para todos los elementos de este ejemplo. Habiendo ingresado los datos solicitados, se da clic en **ingresar** e inmediatamente el sistema anexará el elemento al piso seleccionado. **Ver figura 17.**

Como se puede observar en la **figura 18**, se encuentra agregada la totalidad de las vigas.

Piso	Cantidad de elementos	Peso total(kN)
1	0	0,00
2	0	0,00
3	0	0,00
4	0	0,00
5	0	0,00

Figura 17. Añadir peso de vigas.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Piso	Cantidad de elementos	Peso total(kN)
1	13	1.001,91
2	13	1.001,91
3	13	1.001,91
4	13	1.001,91
5	11	436,49

Figura 18. Pesos de vigas agregadas.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

• **Columnas:** En este ejemplo, se optó por trabajar cuatro secciones diferentes para llevar un poco más la utilización de la opción de ingreso de pesos de manera discriminada. Dichas secciones son la sección circular, sección rectangular y sección en L, con dimensiones de 0.60 metros de diámetro, 0.50x0.50 y 0.60x0.60, y (0.6x0.6-0.4x0.4), respectivamente.

Para ingresar los respectivos pesos de cada columna, primero debemos seleccionar el tipo de sección a trabajar, que a manera de ilustración se mostrara el proceso de cada uno mediante las **figuras 10, 10.1 y 10.2**, las cuales representan a las vigas cuadradas, circulares y de sección en “L”, respectivamente. Posteriormente, se debe llenar cada uno de los campos requeridos para el cálculo los cuales son: el **piso** al cual será adicionada, el código de **Identificación**, **Ancho** y **Longitud** expresada en metros, además del **Gama del concreto** (columnas cuadradas). Habiendo ingresado los datos solicitados, se da clic en **ingresar** e inmediatamente el sistema anexara el elemento al piso seleccionado.

El proceso es similar para el ingreso de las otras columnas a la tabla de pesos, teniendo como cambios en los datos requeridos, el campo de **Diámetro** en las columnas circulares, y los datos de **Dimensión (a)**, **Dimensión (b)**, **Espesor (c)**, **Espesor (d)**, en cuanto a las columnas de sección en “L”, pues estas tienen un cálculo de peso diferente.

Piso	Cantidad de elementos	Peso total (kN)
1	27	581,04
2	27	581,04
3	27	581,04
4	27	581,04
5	27	290,52

Figura 19. Peso de columnas cuadradas.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)



Piso	Cantidad de elementos	Peso total(kN)
1	2	40,72
2	2	40,72
3	2	40,72
4	2	40,72
5	2	20,36

Figura 19.1. Pesos de columnas circulares.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Piso	Cantidad de elementos	Peso total(kN)
1	1	23,04
2	1	23,04
3	1	23,04
4	1	23,04
5	1	11,52

Figura 19.2. Pesos de columnas en “L”

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Es de aclarar que, en el presente ejemplo no se tuvo en cuenta continuidad de las columnas en la cubierta, por esta razón, la longitud respectiva para cada columna en el piso 5 es la mitad de las tomadas en los pisos inferiores, es decir 1.50 metros.

• **Losas:** En el presente ejemplo se hace uso de dos tipos de losas de las existentes en la lista de elementos para cálculo discriminado por peso. Dichas losas son la aligerada en una dirección y la losa maciza. Los datos necesarios para el cálculo de cada una de ellas corresponden a los siguientes:

En las losas macizas, se requiere conocer los datos de **Piso** al cual será añadido el elemento, el **Espesor (h)**, el **Área en planta** del panel representada en  $m^2$ , la **carga adicional Súper muerta (SD)**, y el **Gama del concreto**. Ver figura 20.

Al igual que en los anteriores elementos el proceso es dar clic en **Ingresar**. En este ejemplo, se tendrá como dato un espesor de 0.20 metros en la losa maciza que solamente estará ubicado en dos paneles del quinto piso del edificio para soportar el peso de los tres tanques de almacenamiento de agua.

Piso	Cantidad de elementos	Peso total(kN)
1	0	0,00
2	0	0,00
3	0	0,00
4	0	0,00
5	2	98,07

Figura 20. Pesos de losas macizas.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

En el ingreso de pesos discriminados para las losas aligeradas en una y dos direcciones, el proceso es un poco más cuidadoso, debido a la cantidad de datos que este requiere para calcular. Quizás uno de los cuidados más importantes se presenta cuando se hace uso de la loseta inferior, pues la altura **H** cambia y se debe tomar como la sumatoria de la loseta superior + altura del nervio + loseta inferior. En este caso, la altura estructural de la losa aligerada de los pisos 1, 2, 3 y 4 es de 0.50 metros, pero debido a que se decidió utilizar loseta inferior de 2 centímetros, la altura **H** quedó de 0.52 metros para uso del programa, y 0.37 metros para la losa aligerada del piso 5. Para completar satisfactoriamente el ingreso de los elementos de losa, se deben digitar los datos tales como el **piso**, el **Código de identificación** del elemento, el **Ancho (bw)** inferior de la vigueta, **Ancho (bf)** superior de la vigueta, la **Altura (H)** de la losa, la altura de la **Loseta superior (t1)**, altura de la **Loseta inferior (t2)**, la **Separación libre (SL)** entre viguetas, **Área en planta** del panel, la **Carga adicional súper muerta (SD)** y el **Gama de concreto**. Habiendo ingresado cada uno de los datos anteriormente mencionados, procedemos a dar clic en **ingresar** y continuamos con el ingreso de los pesos de las escaleras. **Ver figura 21.**

En el ejemplo que se desarrolló, se utilizaron los datos para losa aligerada en una dirección, que se observan en la siguiente **figura 21.**

The screenshot shows a software interface for defining slab weights. It includes a reference diagram of a slab with dimensions:  $h_f$  (slab height),  $h$  (total height),  $bw$  (width between beams),  $sl$  (slab length), and  $t_1$ ,  $t_2$  (top and bottom slab thicknesses). The input fields are as follows:

- Gama concreto ( $\gamma_{con}$ ): 24,00 (kN/m<sup>3</sup>)
- Piso: 1
- Identificación: PANEL 19C
- Ancho ( $bw$ ): 0,10 (m)
- Ancho ( $bf$ ): 0,10 (m)
- Altura ( $h$ ): 0,37 (m)
- Loseta inferior ( $t_2$ ): 0,02 (m)
- Sep.libre (SL): 0,80 (m)
- Área en planta: 21,49 (m<sup>2</sup>)
- Carga adicional (SD): 0,10 (kN/m<sup>2</sup>)
- Loseta superior ( $t_1$ ): 0,05 (m)

Below the input fields is a table titled 'Tabla de elementos':

	Piso	Cantidad de elementos	Peso total(kN)
>	1	28	2.877,75
⊗	2	28	2.877,75
⊗	3	28	2.877,75
⊗	4	28	2.877,75
⊗	5	17	963,71

Figura 21. Pesos de losas aligeradas.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

• **Escaleras:** En el cálculo de pesos discriminados para las escaleras se debe tener como datos principales el **Ancho (B)** de la escalera, el **Largo (L)**, **Espesor de la losa (t)**, la **Huella (H)**, la dimensión de la **Contrahuella (CH)**, el **Número de peldaños** y el **Peso del descanso**, este último en caso de tener la estructura. Los campos que faltan son aquellos que contienen cada uno de los otros elementos, estos son el **Piso**, **Identificación del elemento** y el **Gama del concreto**. Posteriormente se da clic en **Ingresar** y se continúa con el análisis. **Ver figura 22.**

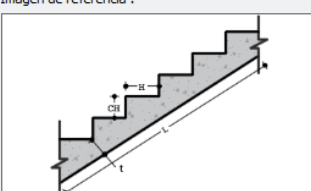
Cabe recordar que el peso de la escalera en el último piso equivale a la mitad de los utilizados en los demás pisos, debido a que esta se toma como la mitad de cada piso y debido a que no hay continuidad en el piso 5, se asume como la mitad de la escalera correspondiente a dicho piso.

Pesos discriminados por piso

Vigas | Columnas | Losas | Escaleras | Otros pesos

Datos escalera

Imagen de referencia :



Piso : 1

Identificación : ESCALERA

Ancho (B) : 1,50 (m)

Largo (L) : 6,56 (m)

Espesor losa (t) : 0,17 (m)

Huella (H) : 0,28 (m)

Gama concreto (ycon.): 24,00 (kN/m<sup>3</sup>)

Contrahuella (CH) : 0,18 (m)

Número de peldaños : 18

Peso de descanso : 18,97 (kN)

Ingresar

Tabla de elementos

Piso	Cantidad de elementos	Peso total(kN)
1	1	75,45
2	1	75,45
3	1	75,45
4	1	75,45
5	1	37,73

Aceptar Cancelar

Figura 22. Pesos de escalera.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**Otros pesos:** Esta opción fue pensada para cubrir las necesidades de ingresar los pesos que no son posibles de calcular con las opciones anteriores como tanques de almacenamiento, antepechos, elementos con secciones irregulares u otros tipos de elementos. Para ello, es necesario realizar un cálculo manual y de esta manera agregar dicho peso por medio del campo **Peso** que se encuentra en esta opción, además se deberá digitar el nombre o código de **Identificación** y el **Piso** para el cual se desea anexar el elemento, finalmente se procede al igual que en los anteriores pasos. En este caso particular, se hizo uso de dos pesos diferentes que son el **antepecho** y **tres tanques de almacenamiento**, ambos tipos de elementos ubicados en el piso 5 de la estructura. **Ver figura 23.**

Piso	Cantidad de elementos	Peso total (kN)
1	0	0,00
2	0	0,00
3	0	0,00
4	0	0,00
5	2	42,00

Figura 23. Otros pesos adicionales.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Una vez ingresados la totalidad de los pesos de la estructura, se procede a dar clic en **Aceptar**, para poder continuar con el siguiente paso, el cual corresponde al tipo de análisis que se realizará a la estructura, y para ello solo basta, dirigirnos al menú **Analizar** y seleccionar el tipo de análisis a trabajar, que en este caso es por **Rigidez**, debido a que la Norma permite utilizar el coeficiente de importancia  $I$  igual a la unidad ( $I = 1.0$ ), independientemente del uso que tenga la edificación. Finalmente, damos clic en el botón **Calcular**, que se encuentra al lado derecho de **Análisis**, para de esta forma obtener las fuerzas sísmicas aproximadas por piso de la estructura. **Ver figura 24.**

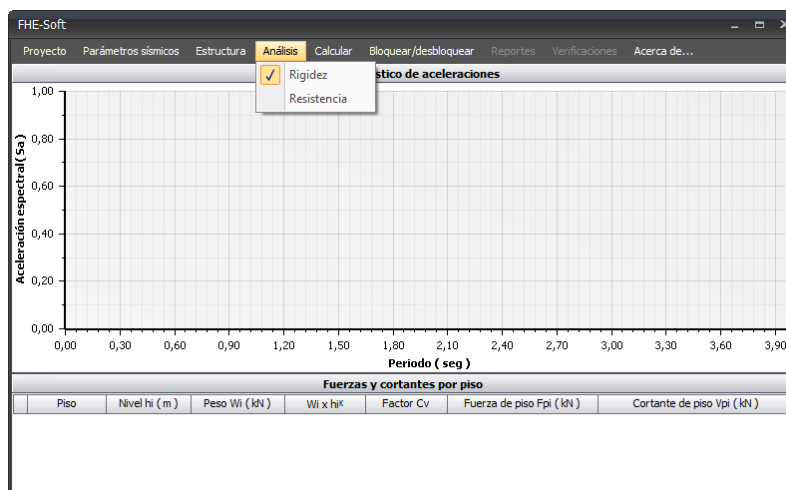


Figura 24. Calculo de fuerzas sísmicas aproximadas

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Una vez realizado el cálculo, los datos previamente ingresados se bloquearan para proteger la información, y sobre la pantalla inicial del programa se podrán observar la gráfica del espectro elástico de aceleraciones con los valores calculados de aceleración espectral  $S_a$ , con su respectivo periodo aproximado  $T_a$ , así como la tabla de las fuerzas sísmicas en la parte inferior de la ventana como se observa en la **figura 25**.

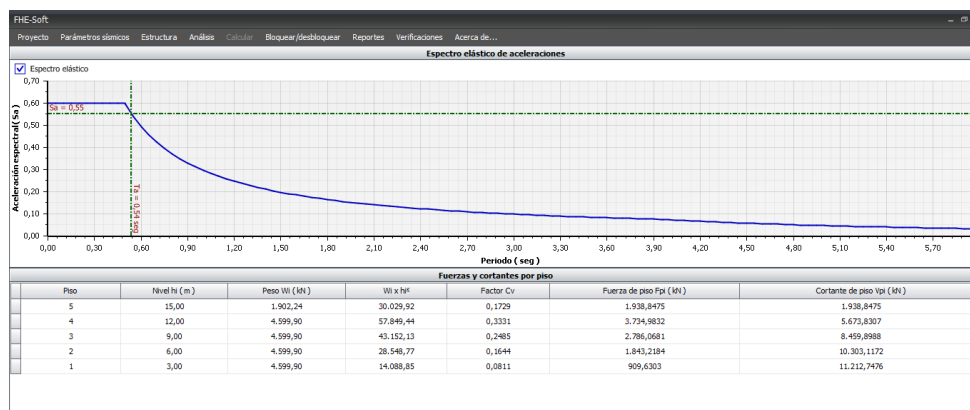


Figura 25. Calculo de fuerzas sísmicas

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

El proceso no sería completo, si no se realiza la respectiva verificación del periodo fundamental, tal y como lo exige la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10 en su Capítulo A.4. Esta verificación permite saber si el periodo aproximado inicial  $T_a$  se ajusta al fundamental de la estructura, a lo cual entre el periodo fundamental y el aproximado, no debe existir un porcentaje de variación mayor al 10%. Para realizar esta verificación se hace necesario obtener los desplazamientos que se generan al aplicar las fuerzas sísmicas aproximadas. En este ejemplo, se modeló la estructura en el programa computacional para cálculos estructurales **SAP2000**, pues este se encuentra en versión paga en la Universidad a la cual pertenece este proyecto. En el análisis que se realizó, se obtuvieron los desplazamientos que se requerían, y así mismo, se ingresaron a la herramienta “FHE-Soft”. **Ver figura 26.**

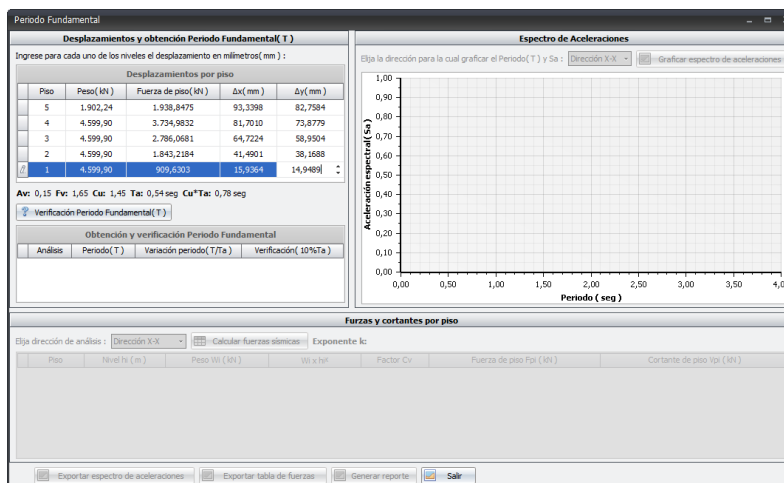


Figura 26. Ingreso de desplazamientos al programa.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)



Una vez ingresados los desplazamientos, procedemos a realizar la respectiva revisión del periodo fundamental dando clic en el botón **Verificación periodo fundamental (T)**. Esta acción generará una serie de cálculos que se ilustran en la tabla **Obtención y verificación del Periodo Fundamental** que se encuentra en la misma ventana, de los cuales, nos interesa saber el resultado final de la verificación que indica si cumple o no cumple. En el ejemplo, la verificación del periodo arroja como resultado que no cumple, por lo cual, se hace necesario recalcular las fuerzas sísmicas ajustadas a través del periodo fundamental. Ver figura 27.1.

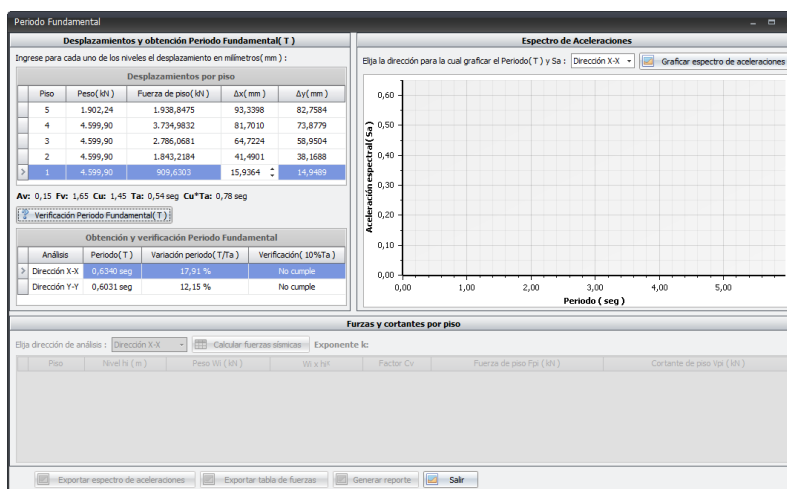


Figura 27.1. Verificación del periodo fundamental.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Para calcular nuevamente las fuerzas sísmicas utilizando el periodo fundamental, el programa tiene la opción directa de recalcular la gráfica del **espectro elástico de aceleraciones** para mostrar el valor del nuevo periodo(T) y su valor de aceleración espectral **Sa**, así como las fuerzas y cortantes ajustados por piso. Lo anterior se obtiene dirigiéndonos a la parte superior de la misma ventana, seleccionando la dirección para la cual se desea calcular y, a continuación, dar

clic en el botón **Graficar espectro de aceleraciones**. Inmediatamente, se genera la gráfica para la dirección deseada habilitando la opción de calcular las fuerzas sísmicas por piso para cada dirección como se observa en las **figuras 27.2 y 27.3**

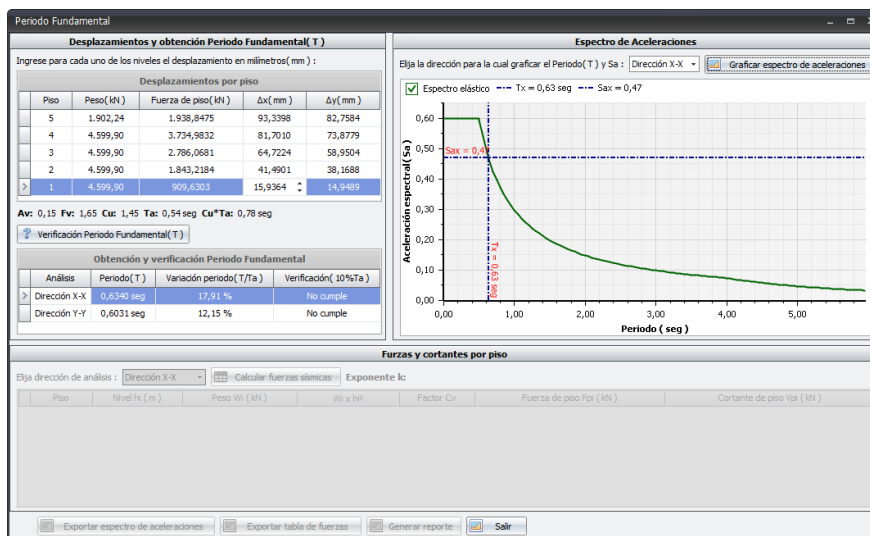


Figura 27.2. Gráfica del espectro elástico de aceleración con el periodo fundamental dirección X.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

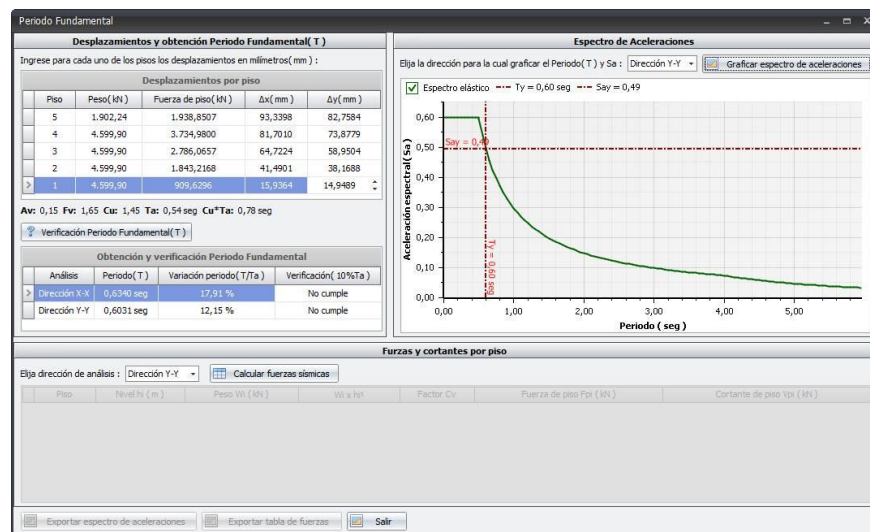


Figura 27.3. Gráfica del espectro elástico de aceleración con el periodo fundamental dirección Y.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Teniendo la gráfica, procedemos a calcular las fuerzas y cortantes por piso para el periodo fundamental, dando clic en el botón **Calcular fuerzas sísmicas**. Inmediatamente, se mostrará la tabla de resultados, en la que observaremos las **Fuerzas de piso  $F_{pi}$**  y **Cortantes de piso  $V_{pi}$** , que se consideran como las fuerzas sísmicas ajustadas con el periodo fundamental, tal como se observa en las figuras 27.4 y 27.

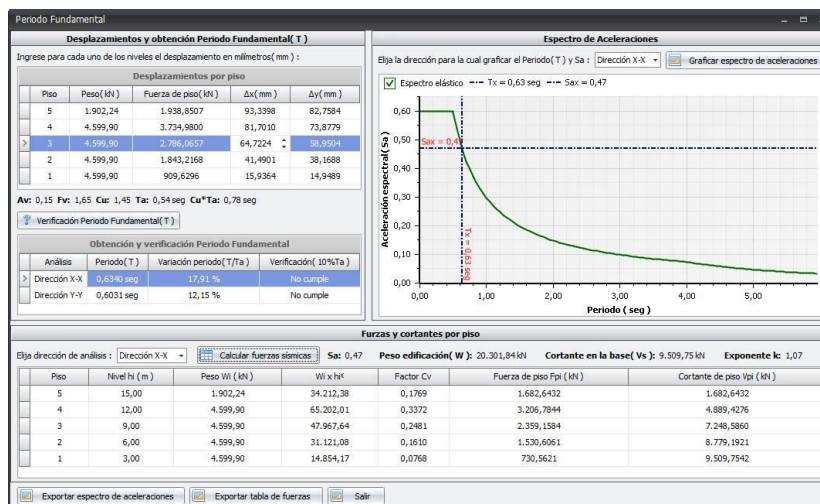


Figura 27.4. Resultados parciales de las fuerzas sísmicas ajustadas dirección X-X.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

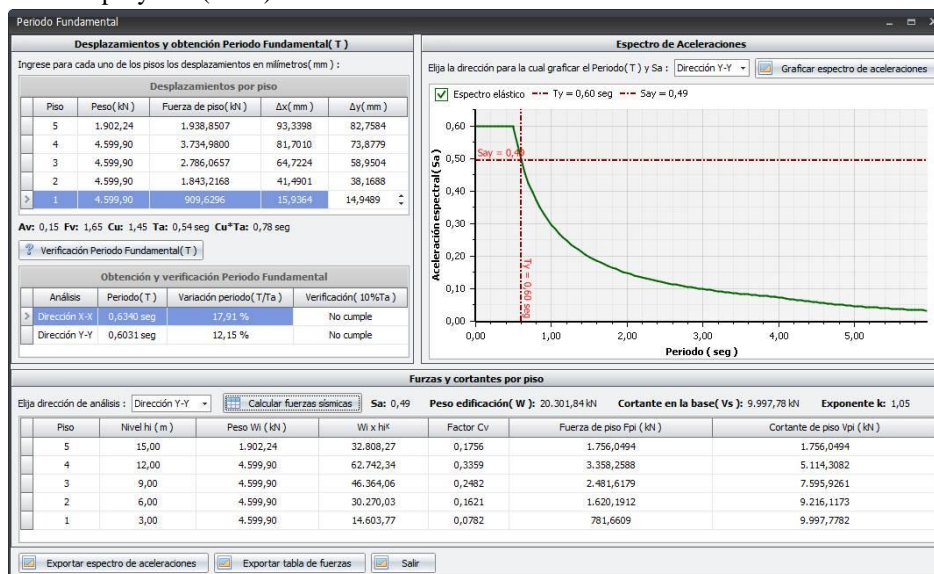


Figura 27.5. Resultados parciales de las fuerzas sísmicas ajustadas dirección Y-Y.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Aun así, es necesario volver a verificar el periodo fundamental con las fuerzas sísmicas ajustadas, esto debido a que el periodo fundamental no cumple, debido a que existe un porcentaje de variación mayor al 10% nuevamente entre periodos. Es por esto que se debió volver a hacer uso de la herramienta computacional SAP2000 para calcular los nuevos desplazamientos con las fuerzas sísmicas ajustadas encontrada en la primera verificación. Dichos valores fueron digitados en la tabla de datos iniciales de la opción con la que cuenta la herramienta denominada **Periodo fundamental con otro anterior**, del menú **Verificaciones**, junto con los valores de las fuerzas sísmicas en cada dirección, calculados en la primera verificación, y su correspondiente valor del periodo fundamental calculado para cada dirección, como se observa en la siguiente **figura 28**.

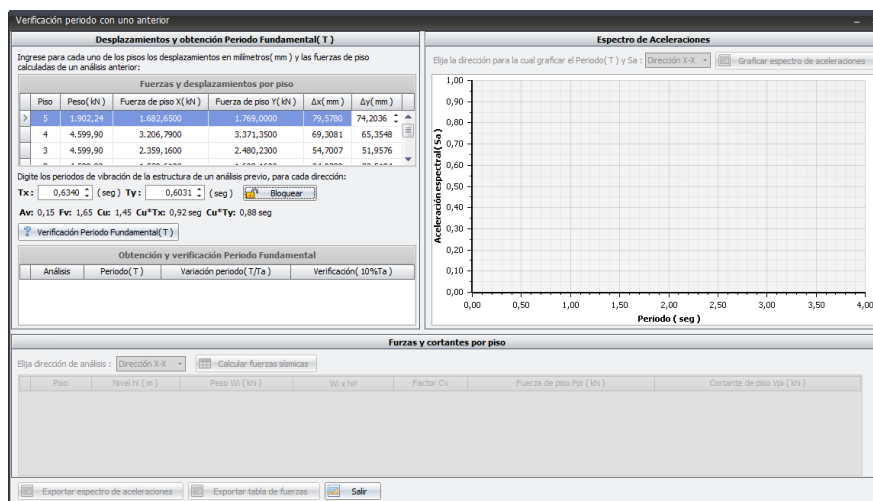


Figura 28. Ingreso de datos para la segunda verificación.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Una vez se ingresaron los datos requeridos para calcular la segunda verificación se procedió a verificar el periodo fundamental, arrojando como dato que el periodo fundamental finalmente cumplió. **Ver figura 29**.

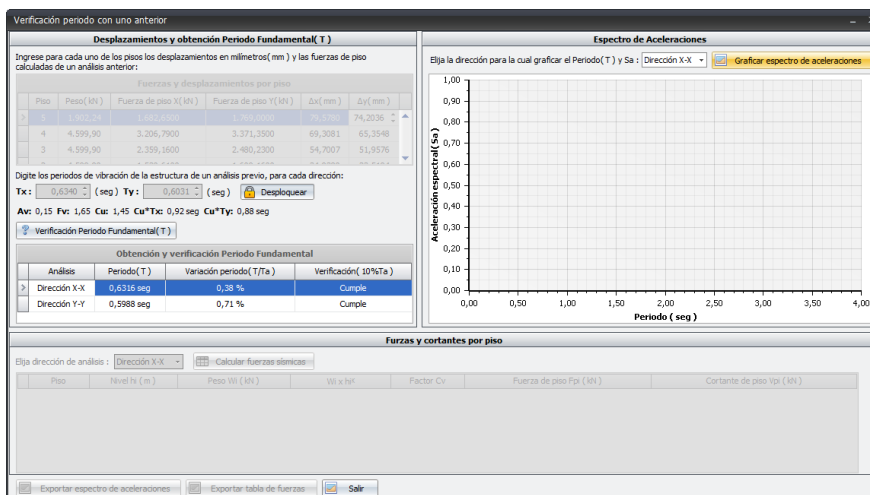


Figura 29. Ingreso de datos para la segunda verificación.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Posteriormente se calcularon las gráficas del espectro elástico de aceleraciones y fuerzas sísmicas ajustadas al periodo fundamental para cada dirección, arrojando los resultados mostrados en las **figuras 30 y 31**, igualmente en las **tablas 19 y 20**, respectivamente.

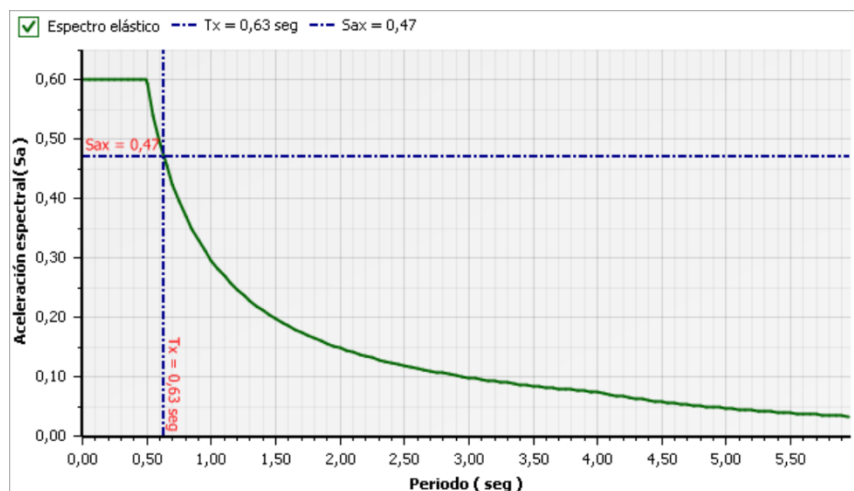


Figura 30. Resultado del espectro elástico de aceleraciones en la dirección X-X.

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

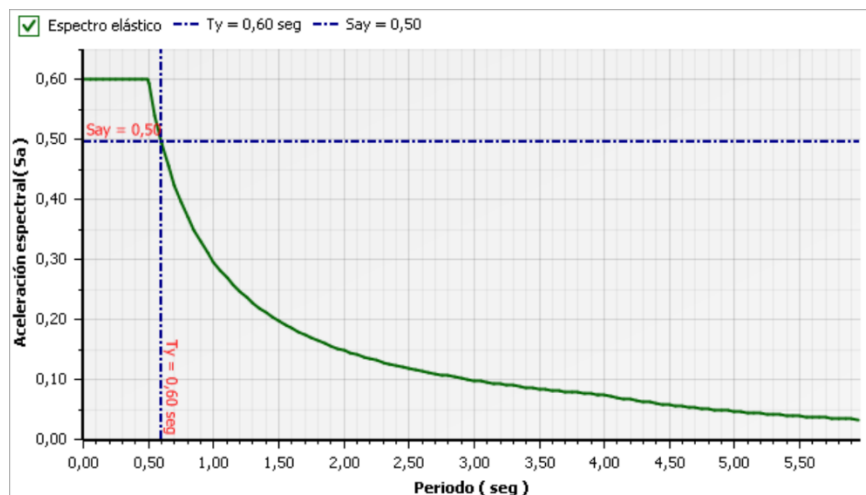


Figura 31. Resultado del espectro elástico de aceleraciones en la dirección Y-Y.

Fuente: Autor del proyecto

### Tabla 19.

*Resultados finales de las fuerzas sísmicas en dirección X-X.*

Piso	Nivel hi ( m )	Peso Wi ( kN )	Wi x hi <sup>K</sup>	Factor Cv	Fuerza de piso Fpi ( kN )	Cortante de piso Vpi ( kN )
5	15,00	1.902,24	34.098,80	0,1768	1.688,2045	1.688,2045
4	12,00	4.599,90	65.003,37	0,3371	3.218,2649	4.906,4694
3	9,00	4.599,90	47.838,40	0,2481	2.368,4408	7.274,9101
2	6,00	4.599,90	31.052,69	0,1610	1.537,3937	8.812,3038
1	3,00	4.599,90	14.834,14	0,0769	734,4266	9.546,7305

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

### Tabla 20.

*Resultados finales de las fuerzas sísmicas en dirección Y-Y.*

Piso	Nivel hi ( m )	Peso Wi ( kN )	Wi x hi <sup>K</sup>	Factor Cv	Fuerza de piso Fpi ( kN )	Cortante de piso Vpi ( kN )
5	15,00	1.902,24	34.098,80	0,1768	1.688,2045	1.688,2045
4	12,00	4.599,90	65.003,37	0,3371	3.218,2649	4.906,4694
3	9,00	4.599,90	47.838,40	0,2481	2.368,4408	7.274,9101
2	6,00	4.599,90	31.052,69	0,1610	1.537,3937	8.812,3038
1	3,00	4.599,90	14.834,14	0,0769	734,4266	9.546,7305

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Al observar los resultados obtenidos por medio manual y los que genera la herramienta informática FHE Soft, están muy cercanos, teniendo en cuenta que el ejercicio realizado por medio manual se la herramienta Microsoft Excel para los cálculos, por lo tanto se concluye que sus valores son muy similares, debido a la cantidad de cifras significativas que manejan ambas herramientas, Sin embargo, aunque la diferencia sería muy mínima, al realizar los cálculos con calculadora, los valores diferirían un poco. Aun así lo dicho anteriormente indica que el software está funcionando de acuerdo a los objetivos planteados en el proyecto.

**Tabla 21.**

*Comparación de resultados (pesos)*

COMPARACION DE RESULTADOS (PESOS)			
PISO	PESO CON EL PROGRAMA	PESO DE MANERA MANUAL	PORCENTAJE DE VARIACION
1	4599,90	4599,90	0%
2	4599,90	4599,90	0%
3	4599,90	4599,90	0%
4	4599,90	4599,90	0%
5	1902,24	1902,24	0%
<b>Total</b>	<b>20301,84</b>	<b>20301,84</b>	<b>0%</b>

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**Tabla 22.**

*Comparación de resultados (Fuerzas de piso)*

COMPARACION DE RESULTADOS (FUERZAS DE PISO)						
PISO	FUERZA DE PISO X CON EL PROGRAMA	FUERZA DE PISO X DE MANERA MANUAL	PORCENTAJE DE VARIACION	FUERZA DE PISO Y CON EL PROGRAMA	FUERZA DE PISO Y DE MANERA MANUAL	PORCENTAJE DE VARIACION
1	734,43	730,56	0,53%	734,43	768,05	-4,58%
2	1537,39	1530,61	0,44%	1537,39	1609,16	-4,67%
3	2368,44	2359,16	0,39%	2368,43	2480,23	-4,72%
4	3218,26	3206,79	0,36%	3218,26	3371,35	-4,76%
5	1688,2045	1682,65	0,33%	1688,203	1769,00	-4,79%
<b>Total</b>	<b>9546,73</b>	<b>9509,77</b>	<b>0,39%</b>	<b>9546,71</b>	<b>9997,79</b>	<b>-5%</b>

*Apéndice 3. Presupuesto del proyecto.*

<b>PROPUESTA GENERAL PARA TRABAJO DE GRADO</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>FINANCIACION-ESTUDINATE (SMLDV)</b>	<b>TOTAL (SMLDV)</b>
Recursos Humanos		
Director	120.0	120.0
Estudiante	60.0	60.0
Recursos Tecnológicos		
Adquisición del programa Visual Studio Express 2010	0.0	0.0
Microsoft Office 2010	0.0	0.0
Recursos financieros		
Aporte Científico	0.0	0.0
Otros Aportes	0.0	0.0
Costos y aportes de los autores		
Papelería y CDs	2.5	2.5
Transporte	7.0	7.0
Impresiones	5.5	5.5
Empaste	1.5	1.5
<b>Total</b>		<b>196.5</b>

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

Los recursos tecnológicos que se emplearon para el desarrollo del proyecto, no tendrán costo alguno, puesto que se hará uso de herramientas de Microsoft Office 2010 como Access, Excel y Word, las cuales se encuentran como versión paga en la Universidad sobre la cual reposa el presente proyecto. Además, se implementó en el desarrollo de la programación el programa



Microsoft Visual Estudio Express 2010, que se presenta como versión gratuita por la empresa Microsoft.

#### Apéndice 4. Cronograma de actividades.

ACTIVIDAD	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Establecer los requerimientos mínimos de la herramienta informática.	■	■																		
Pre-desarrollo de interfaz gráfica general del software	■	■																		
Crear una base de datos en Access de los coeficientes de aceleración y velocidad pico efectiva descritos en la NSR-10, para cada uno de los municipios de Colombia.			■	■	■															
Generar regresiones en Excel para el cálculo de los coeficientes de amplificación sísmica Fa y Fv.					■															
Conectar la base de datos creadas en Access al programa a través del lenguaje de programación SQL.						■	■	■												
Comprobar y corregir la conexión al programa de la base de datos creada en Access									■											
Crear diagramas de flujo para cada uno de los formularios.										■	■	■								
Desarrollar la programación de cada una de las clases a usar en la aplicación.											■	■	■	■	■					
Desarrollo y programación de cada uno de los formularios de la herramienta informática.													■	■	■	■	■			
Verificación de la programación elaborada, para control de errores de sintaxis y depuración del código en general.																	■	■		
Comprobar la herramienta informática a través de ejemplos elaborados manualmente.																	■	■		
Elaborar el respectivo manual de usuario de la herramienta informática.																				■

Nota fuente: Autor del proyecto (2016)

**Apéndice 5.** Manual de usuario FHE. (Ver archivo adjunto)