

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MUESTRA
DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA**

**EDWARD FABIÁN QUINTANILLA DÍAZ
KAREN LIZBETH RUIZ PINEDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MUESTRA
DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA**

**EDWARD FABIÁN QUINTANILLA DÍAZ
KAREN LIZBETH RUIZ PINEDA**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título
de Ingeniero Civil**

**Director
PhD. GUSTAVO CHIO CHO
Docente de la Escuela de Ingeniería Civil-UIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2011

DEDICATORIA

Dedicado a Dios, quien me da la fuerza cada día para ser mejor y me guía por el buen camino, quien me convirtió en su consentida y me acompaña en cada uno de mis pasos.

A mi padre LUIS ALBERTO RUIZ TORRES, mi ejemplo a seguir, el motor de mi vida y mi más grande orgullo.

A mi madre ANALOURDES PINEDA PINZÓN, la fuente de tenacidad y fortaleza siempre que lo necesito, mi razón y mi consejo.

A mis hermanos LUDWIM ALBERTO RUIZ por su confianza, LILIANARUIZ por su nobleza y sustento, STIK RUIZ por su tranquilidad y sonrisa, LUIS FERNANDO RUIZ por su compañía, por ser la voz de aliento en momentos difíciles y JUAN CARLOS RUIZ por su empeño, y a todos en general por ser quienes siempre estuvieron ahí para apoyarme y brindarme amor y cariño en todo momento.

A mis tíos SALVADOR PINEDA, REINALDO PINEDA, MARTHA PINEDA, ORIOL RUIZ y a mi abuelita MARTHA PINZON, por creer en mí, por apoyarme siempre y por ser incondicionales. También a mis amigos ANDREA RUBIANO, ASTRID MORENO, LINA E IVAN TIBADUIZA, ANA YIBE BARRAGAN Y CATALINA CASTILLA, por acompañarme en el transcurso de mi vida y principalmente en este, por permitirme conocerlos y compartir con ellos, por ser incondicionales y poner su granito de arena para que esto sea posible. Necesitaría más de una página para nombrar a todas las personas que me han acompañado, aunque no los nombres los tengo presentes y agradezco por pasar por mi vida.

Karen L Ruiz.

DEDICATORIA

“Agradezco por este anhelado triunfo a:

Mimadre Astrid Helena Díaz, que me enseñó que los sueños se pueden hacer realidad y que la realidad se puede vivir como si fuera un verdadero sueño.

Ami padre José Joaquín Quintanilla(QEDP), que me mostro el mundo como verdaderamente es, nunca me oculto la realidad y me enseñó a vivir cada día como si fuera el último.

A mi padrastro Luzardo Ortiz, que lo quiero como mi a mi propio padre, le agradezco infinitamente por exigirme siempre la educación, por sus sabios consejos, por el apoyo incondicional y desinteresado que siempre nos brinda.

A mis hermanitas hermosas Mayerly Andrea, Dayra Patricia y Diana Marcela que con su cariño y apoyo siempre me hicieron levantar la mirada y seguir mi camino por el lugar correcto.

A mis hermanos Freddy Joaquín, Jefferson Yamid y Wilmer Quintanilla, que con sus consejos me enseñaron que no existen metas imposibles sino hombres poco soñadores.

A mi familia que siempre me apoyo y confió ciegamente en mí. Por último y no menos importante, agradezco a mi amigos, mis colegas, mis camaradas, que siempre confiaron en mí, nunca me desanimaron y con su compañía compartí los mejores años de mi vida y siempre los llevare en el corazón.

Edward Fabián Quintanilla.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a nuestro director Gustavo Chio Cho, por brindarnos su confianza, tiempo y apoyo, así como sus orientaciones y recomendaciones que hicieron posible este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander, institución educativa que ayudo a nuestra formación profesional y como personas integras capaces de alcanzar cualquier reto.

Al ingeniero Jorge Gelvez, quien con sus consejos y enfoque hizo posible la culminación de este proyecto.

A nuestros compañeros y amigos por conducirnos y brindarnos apoyo, animo en cada momento, y hacer de cada instante algo inolvidable.

A todas aquellas personas que siempre estuvieron hay ofreciendo sus palabras y gestos de solidaridad, por su confianza y ser un impulso para conseguir este logro.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	24
1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	24
1.2. ESTADO DEL ARTE	25
1.2.1 Antecedentes	25
1.3 OBJETIVOS	26
1.3.1 Objetivo General	26
1.3.2 Objetivos Específicos	26
1.4 JUSTIFICACIÓN	27
1.5 VIABILIDAD DEL PROYECTO	29
2. MARCO TEÓRICO	30
2.1 SISTEMA ESTRUCTURAL	30
2.1.1 Mampostería Confinada	30
2.1.2 Mampostería Reforzada Interiormente	31
2.1.2.1 Cuantías de acero de refuerzo horizontal y vertical	32
2.1.2.2 Tamaño, colocación y separación del refuerzo	32
2.1.2.3 Mortero y concreto de relleno	35
2.1.2.4 Muros transversales	35
2.1.2.5 Muros con aberturas	36
2.1.2.6 Espesor y relación altura a espesor de los muros	36
2.1.3 Mampostería no reforzada	36
2.2 ANÁLISIS	38
2.2.1 Análisis por carga vertical	39
2.2.2 Análisis por cargas laterales	40
2.2.2.1 Método simplificado de análisis	40
2.2.2.2 Método de análisis estático	41
2.2.2.3 Método de análisis dinámico	42

2.3ANÁLISIS DINÁMICODE ESTRUCURAS	43
2.3.1 Ecuaciones de movimiento	44
2.3.1.1 Método de Solución paso a paso	46
2.3.1.2 Método de Superposición Modal	47
2.3.1.3 Análisis Modal Espectral	48
2.3.1.4 Análisis en el Dominio de Frecuencias	48
2.4 RIGIDEZLATERAL DE PÓRTICOS	49
2.4.1 Rigidez lateral de un pórtico simple	50
2.4.2 Matriz de rigidez lateral de un pórtico de varios pisos	52
2.5 RESPUESTA AL MOVIMIENTO DE LA BASE	53
2.5.1 Método de superposición modal a lo largo del tiempo	53
2.6 DEFINICIÓN DE LAS MASAS EFECTIVAS	59
2.7 INFORMACIÓN INELUDIBLE DE LA NORMA	60
3. PLAN DE TRABAJO	66
3.1 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO	66
3.1.1 Montaje en SAP	68
3.1.2 Asignación de cargas	73
3.1.3 Análisis modal	74
4. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS	77
4.1METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL ANÁLISIS	77
4.1.1 Método dinámico modal	77
5. ANÁLISIS DE DATOS	80
5.1 ANÁLISIS	80
5.1.1 Análisis de requerimientos	80
5.2TABULACIÓN DE RESULTADOS	80
5.2.1 Casa 1	81
5.2.2 Casa 2	82
5.2.3 Casa 3	84
5.2.4 Casa 4	86
5.2.5 Casa 5	88

5.2.6 Casa 6	90
5.2.7 Casa 7	92
5.2.8 Casa 8	94
5.2.9 Casa 9	96
5.2.10 Casa 10	98
5.2.11 Casa 11	100
5.2.12 Casa 12	102
5.2.13 Casa 13	104
5.2.14 Casa 14	106
5.2.15 Casa 15	108
5.2.16 Casa 16	110
6. PRUEBAS Y PROBLEMAS DEL DESARROLLO	113
6.1 PRUEBAS DEL MODELAMIENTO	113
6.2 PROBLEMAS DURANTE EL DESARROLLO	113
6.2.1 Cambio de la metodología a utilizar	113
6.2.2 Adquirir y reconocer las muestras	113
6.2.3 Participación de masa	114
7. CONCLUSIONES	115
BIBLIOGRAFÍA	117
ANEXOS	118

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características	81
Tabla 2. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	81
Tabla 3. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	82
Tabla 4. Características	82
Tabla 5. Módulo de elasticidad de la mampostería vs período de vibración (Y)	83
Tabla 6. Módulo de elasticidad de la mampostería vs período de vibración (Z)	
¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 7. Características	84
Tabla 8. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	84
Tabla 9. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	85
Tabla 10. Características	86
Tabla 12. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	87
Tabla 13. Características	88
Tabla 14. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	88
Tabla 15. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	89
Tabla 16. Características	90
Tabla 17. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	90
Tabla 18. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	91
Tabla 19. Características	92
Tabla 21. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	93
Tabla 22. Características	94
Tabla 24. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	95
Tabla 26. Características	96
Tabla 27. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	96
Tabla 28. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	97
Tabla 29. Características	98
Tabla 30. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	98

Tabla 31. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	99
Tabla 32. Características	100
Tabla 34. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	
	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 35. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	
	101
Tabla 36. Características	102
Tabla 38. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (Y)	103
Tabla 39. Características	104
Tabla 40. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	104
Tabla 41. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (Y)	105
Tabla 42. Características	106
Tabla 43. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	106
Tabla 44. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	107
Tabla 45. Características	108
Tabla 46. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	108
Tabla 47. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (Y)	109
Tabla 48. Características	110
Tabla 49. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	110
Tabla 50. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (Y)	111

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	81
Gráfico 2. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	82
Gráfico 3. Módulo de elasticidad de la mampostería vs período devibración (Y)	83
Gráfico 4. Módulo de elasticidad de la mampostería vs período devibración (Z)	84
Gráfico 5. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	85
Gráfico 6. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	86
Gráfico 7. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	87
Gráfico 8. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (Y)	88
Gráfico 9. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	89
Gráfico 10. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	90
Gráfico 11. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período devibración (X)	91
Gráfico 12. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	92
Gráfico 13. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	93
Gráfico 14. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	94
Gráfico 15. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	95
Gráfico 16. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	96
Gráfico 17. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	97
Gráfico 18. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	98
Gráfico 19. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	99

Gráfico 20. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	100
Gráfico 21. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	101
Gráfico 22. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	102
Gráfico 23. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	103
Gráfico 24. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	104
Gráfico 25. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	105
Gráfico 26. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	106
Gráfico 27. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	107
Gráfico 28. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	108
Gráfico 29. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	109
Gráfico 30. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	110
Gráfico 31. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (X)	111
Gráfico 32. Módulo de elasticidad de la mampostería vs. período de vibración (Y)	112

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mampostería confinada	31
Figura 2. Mampostería con refuerzo en muros	34
Figura 3. Requisitos para mampostería con refuerzo interior	34
Figura 4. Muros transversales	36
Figura 5. Mampostería no reforzada	38
Figura 6. Pórtico plano simple de una crujía	50
Figura 7. Pórtico de varios pisos	52
Figura 8. Edificio con estructura simple	54
Figura 9. Fuerzas en la estructura	57
Figura 10. Modelado de las viviendas	67
Figura 11. Levantamiento de las viviendas en AUTOCAD	67
Figura 12. Archivado del trabajo en AUTOCAD	69
Figura 13. Definición de materiales a utilizar	70
Figura 14. Creación de columnas y vigas	71
Figura 15. Uso de comandos para el dibujo de las estructuras	72
Figura 16. Estructura en 3D	72
Figura 17. Introducción de los patrones y multiplicadores de carga	73
Figura 18. Asignación de cargas	74
Figura 19. Análisis modal	74
Figura 20. Información Modal	75
Figura 21. Elaboración de tabla "Modal Load Participation Ratios"	75
Figura 22. Tabla de períodos	76

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A.Desarrollo del proceso de cada una de las viviendas utilizadas como muestra de mampostería en el proyecto	118
Anexo B. Datos de Propietarios de las Viviendas	143

RESUMEN

Título: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE UNA MUESTRA DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA*

Autores: QUINTANILLA DÍAZ, Edward Fabián
RUIZ PINEDA, Karen Lizbeth**

Palabras Clave: Período, Modal, Análisis, Dinámico, Estructura, Mampostería

Descripción:

Con el presente proyecto se pretende estudiar el comportamiento dinámico de algunas estructuras de mampostería sobre determinados sectores de la ciudad. Para realizar este alcance, se tomaron muestras estructurales de mampostería en diferentes lugares del municipio de Bucaramanga, con el fin de obtener edificaciones con diferentes sistemas constructivos que cuenten con: mampostería confinada, mampostería inconfínada, sistema porticado, para verificar la influencia que tiene la mampostería sobre el análisis dinámico de dichas estructuras.

Para el presente proyecto de grado se llevó a cabo un trabajo de campo, el cual consistió en realizar el levantamiento de las plantas de las edificaciones utilizando cinta métrica y plomadas, para luego realizar los planos arquitectónicos utilizando el programa de dibujo AUTOCAD, después se realizó el montaje estructural de las edificaciones teniendo en cuenta sus muros de mampostería en el software SAP donde se observó el respectivo análisis dinámico estructural.

En este documentos se encuentra una evaluación de la influencia de los muros de mampostería sobre los períodos de vibración de las diferentes construcciones tomadas como muestra sobre el municipio de Bucaramanga y se pretende determinar en qué porcentaje varían estos períodos si se toman en cuenta sobre los modelos los muros de mampostería, finalmente se realizaron variaciones en el módulo de elasticidad de los muros de mampostería y se estudió el comportamiento dinámico de las estructuras.

* Proyecto de Grado.

** Facultad de físico mecánicas. Escuela de ingeniería civil. Director: Gustavo Chio Cho

SUMMARY

Title: STUDY OF THE DYNAMIC BEHAVIOUR OF A SAMPLE OF MASONRY STRUCTURES*

Authors: DÍAZ QUINTANILLA, Edward Fabian
RUIZ PINEDA, Karen Lizbeth**

Keywords: Period, Modal Analysis, Dynamic Structure, Masonry

Description:

This project aims to study the dynamic behavior of some masonry structures on certain sectors of the city. To this extent, different structural masonry were sampled around the city of Bucaramanga, in order to get buildings with different construction systems that have: confined masonry, masonry inconfined, gallery and porticosystems to verify the influence that masonry has on the dynamic analysis of these structures.

To this degree project, fieldwork was carried out and its goal was to perform the lifting of the plant buildings using measuring tape and plumb, in order to carry out the architectural drawings using AUTOCAD drawing program, then made the structural assembly of buildings taking into account the masonry walls in the SAP software which noted the respective structural dynamic analysis.

This document is an evaluation of the influence of the masonry walls on the periods of vibration of the different constructs selected as sample on the town of Bucaramanga and aims to determine what percentage of these periods vary if you take into account masonry walls on the models.

The document is a detailed analysis variation of periods of vibration when the elastic modulus varies from the masonry, the changes that occur and the contribution they can get.

* Graduation Project.

** Faculty of physical mechanics. School of Civil Engineering. Director: Gustavo Chio Cho

INTRODUCCIÓN

El análisis dinámico es el primer estudio estructural que se realiza a una edificación que se pretenda construir ó analizar, de este análisis se derivan los demás procesos estructurales y por ende es importante realizar estudios en esta rama para mejorar los modelos matemáticos usados y asemejarlos lo más posible a la realidad, ya que un modelo mal planteado representa pérdidas monetarias. El trabajo de un ingeniero consiste en realizar proyectos que sean eficientes y eficaces, ósea, proyectos que sean capaces de resistir las solicitaciones que son impuestas por origen natural y/ó inotrópico al mínimo costo posible.

Los períodos de vibración son los principales parámetros obtenidos en un análisis dinámico de las estructuras. Partiendo de estos períodos se puede determinar el comportamiento de las estructuras ante fuerzas horizontales (fuerzas sísmicas, fuerzas de viento, vibraciones de origen natural, etc.) y hallar los desplazamientos laterales

En el modelamiento de obras de tipo estructural, el objetivo del Ingeniero Civil es realizar los modelos matemáticos lo más simple posibles, pero que se adecuen a la realidad, con el fin que los cálculos no sean complejos y demorados. Debido a esto se han despreciado algunos elementos en los modelos como los muros de mampostería y otro elementos denominados no estructurales, sin embargo estos elementos aportan rigidez a las estructuras y no se tienen en cuenta, lo que significa que se está sobre diseñando las estructuras. Debido a que se vio la necesidad de uniformizar las construcciones en el país, se creó la norma sismo resistente colombiana NSR, la cual representa los requerimientos mínimos con que deben contar las estructuras que se pretenden construir para que sean seguras y no representen un peligro para la sociedad. Esta norma se ha modificado, siendo más precisa en sus estudios y resultados. Partiendo del hecho

que las estructuras que se construyeron antes de las normas diseño o sus modificaciones, no cumplen muchas veces con la nueva normatividad, se debe demostrar si dicha estructura está cumpliendo los requerimientos mínimos, de lo contrario se debe tomar las medidas pertinentes para que la estructura se adapte a la norma.

En este proyecto se pretende realizar un análisis dinámico de estructuras de mampostería de dos o más pisos, que cuenten con diferentes sistemas estructurales (mampostería inconfiada, confiada, sistema pórtico y semipórtico), esto con el fin de determinar la influencia de la mampostería sobre los períodos de vibración de las estructuras y concluir en que porcentaje varían estos períodos realizando variaciones en el modulo de elasticidad de las mampostería.

No es aceptable que para las acciones de diseño de estas obras se produzcan movimientos grandes o deformaciones irreversibles y, sin embargo, un cálculo riguroso exige aplicar las técnicas del análisis lineal para la obtención de la respuesta. Antesituacionesdeestetipoelcriteriodelanalistaconducehabitualmentea simplificaciones que tienden a linealizar el problema sin que se alteren demasiado los resultados.

El acontecimiento de los computadores (los PC cada vez más poderosos) al mundo del trabajo profesional diario sumado al desarrollo de programas con posibilidades de modelación cada vez más avanzadas, que llegan al asombro, parecería que permite eliminarlas dificultades del análisis estructural. Sin embargo no es así. El computador y los programas sólo descargan al usuario de la tarea del trabajo rutinario de cálculo, pero dejan inmune la tarea de representar la construcción y las acciones con un modelo teórico confiable y la tarea aún más exigente de interpretar los resultados del análisis que eventualmente puede llevar pocos segundos a la máquina. Por esto es importante un examen riguroso de

datos y resultados sin dejar de lado a las maquinas que han sido arranque y la fuerza de este proyecto.

El presente proyecto de grado expone material de inicio sobre la resistencia que pueden tener las edificaciones en la ciudad, todo esto apoyado de los equipos y materiales (computadores, metros electrónicos, cinta métrica, etc.), sin dejar de lado la interpretación que tiene que tener el estudio de datos y la tabulación de resultados.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La población mundial crece a un ritmo excesivamente fulminante, cada vez somos más los pobladores de la tierra que es sin lugar a duda es nuestra madre, la que todos nos aguanta, la que nos castiga cuando es necesario, la que nos cuida. Pero como hijos desagradecidos que somos la maltratamos y ella de una u otra forma nos cobra el daño que le hacemos.

Cada vez escuchamos de mas terremotos, cada día tiembla más y en más lugares sin poder saber a ciencia cierta cuando viene la catástrofe, las causas cuantitativas las sabemos todos (calentamiento global, mayor contaminación de la atmosfera, menos agua pura, mayor erosión en los terrenos, etc.).

En un país como Colombia donde la cultura y educación es para unos pocos, donde hace unos años la construcción de viviendas la hacían sin un reglamento y la edificación era ejercida sin alguna autorización o sin un ente de vigilancia sobre el tema, si aún hoy en día cuando ya hay una norma sismo resistente pero que tampoco se cumple a cabalidad la mayoría de veces por motivos económicos, tenemos que crear conciencia del daño que puede darse en caso de una calamidad ya sea deslizamientos, inundaciones o sismos en su grado más fuerte y destructivo un terremoto.

¿Qué tan preparados estamos para una catástrofe? ¿Qué pasaría con nuestras construcciones?... ¿Y las personas están seguros en sus casas en tal caso?, si nos remitimos a nuestra ciudad Bucaramanga, uno de los nidos sísmicos del mundo, y hacemos las mismas preguntas que contestaríamos.

Una respuesta a estos interrogantes es lo que se busca con este proyecto de grado, que tan preparadas están las edificaciones de la ciudad, que pasaría con ellas, que va a pasar con zonas o barrios donde hay grandes masas de gente de como lo son Real de minas y mutis, San Alonso, San francisco por ejemplo. Definir en qué tan buena es la resistencia de las estructuras en la ciudad y para que no estemos listos, para que es necesario una mejor educación, cuales son los temas a discutir con la comunidad y lo más importante que es importante que se divulgue, de que es indispensable sembrar conciencia y que es preciso mejorar.

1.2. ESTADO DEL ARTE

1.2.1 Antecedentes. Durante la realización del proceso de búsqueda, encaminado a encontrar trabajos o herramientas relacionadas con el problema que se va abordar y que sirvan de guías para el desarrollo del proyecto planteado, se obtuvieron como resultado que aunque el enfoque es diferente, porque las zonas tomadas son más en sitios relegados de la ciudad, el funcionamiento y el fin es el mismo.

Se encontraron análisis similares al proyecto en curso pero de distinta forma de hacerlo por ejemplo: INFLUENCIA DE LA MAMPOSTERÍA NO REFORZADA EN EL COMPORTAMIENTO INELÁSTICO DE PÓRTICOS DE CONCRETO, el cual es un análisis no lineal que incorpora directamente el análisis inelástico del material, es desplazado hasta un “desplazamiento objetivo” para revisar los resultados de las fuerzas internas y las deformaciones que se presentan. En este caso el modelo matemático de la estructura se somete a un aumento monolítico de fuerzas o desplazamientos laterales, hasta que el “desplazamiento objetivo” es excedido la estructura sufra el colapso.

También se encontró el artículo ANÁLISIS NO LINEAL DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA SUJETOS A CARGAS LATERALES, En este

artículo se presenta un modelo no lineal de elementos finitos de interés en el análisis de muros de relleno de mampostería sometidos a cargas laterales como las inducidas por sismo, se describen brevemente los modelos constitutivos utilizados para los materiales. La validez del modelo se muestra mediante un ejemplo ilustrativo cuyos resultados reproducen satisfactoriamente a los experimentales. Como aplicación práctica de este estudio se dan las bases para el desarrollo de una herramienta simplificada de análisis de marcos rellenos, útil en el diseño sísmico de edificios.

Estas y otras aplicaciones fueron encontradas y desarrolladas conociendo la importancia del análisis de estructuras de mampostería y todas ellas concuerdan en lo relevante, que es brindar información real, oportuna y eficiente a la hora de tomar decisiones.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Cuantificar la sensibilidad de los períodos principales de vibración de una muestra de estructuras de mampostería con diferentes sistemas constructivos (mampostería confinada, inconfineda, sistema porticado y semiporticado), al realizar una variación del módulo de elasticidad de la mampostería, mediante el modelamiento dinámico estructural de las edificaciones.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Visitar las estructuras y realizar el levantamiento topográfico del sistema estructural y sus muros de mampostería.
- Realizar las plantas arquitectónicas de las viviendas con base a las medidas tomadas en campo. para esto se requiere utilizar el software AUTOCAD.

- Llevar a cabo el montaje de las estructuras en el software SAP, para realizar el análisis dinámico de la estructura.
- Hallar los períodos de vibración de las estructuras mediante análisis modal, realizando variaciones en el modulo de elasticidad de la mampostería.
- Analizar en que porcentaje varia el período cuando se realizan variaciones al modulo de elasticidad de los muros de mampostería y examinar su comportamiento.
- Aportar el modelamiento de las estructuras al grupo de investigación INME, para seguir realizando estudios detallados del comportamiento de la mampostería sobre las edificaciones tomadas como muestras.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Es importante destacar que ya se han realizado diferentes estudios de dinámicos en el territorio santandereano y en especial en la ciudad de Bucaramanga debido a su alta amenaza sísmica, ya que en el departamento de Santander es el segundo nido sísmico del mundo, sumándole a este problema también se cuenta con una geología brusca, donde se pueden apreciar dos fallas geológicas rodeando el territorio santandereano que definen el escenario, las fallas de Bucaramanga-santa marta y Suárez, el choque de estas fallas se puede considerar como un detonate de terremotos. También cuenta con una geomorfología irregular, donde se pueden apreciar estoraques y taludes con pendientes considerables sobre el municipio de Bucaramanga.

La Universidad Industrial De Santander está preparando futuros ingenieros civiles que se encuentren en capacidad de resolver cualquier problema que se presente en su vida profesional. Algunos problemas se presentan en el planteamiento de

obras civiles, pero otros y tal vez los más complejos son los que cuentan con soluciones a problemas en obras ya construidas que presenta un mal diseño o se requiere de una optimización para que queden en capacidad de soportar las condiciones que se presenten ante eventos críticos. Para realizar estos análisis es indispensable utilizar software que nos permitan modelar la estructura y analizarla, en estos programas se puede identificar las causas de la falencia de las estructuras y también permite realizar la optimización de éstas.

En Colombia actualmente se está presentando una problemática realmente preocupante, debido a que las estructuras que se construían en épocas pasadas, no se les realizaba un diseño sismo resistente. Por este motivo, gran parte de las estructuras existentes en el territorio se encuentran en un peligro inminente ante un evento crítico de origen telúrico. Ya que es imposible detener un sismo, es indispensable construir estructuras que se encuentren en capacidad de disipar las fuerzas que este le genera a las estructuras, esta es una función que cumple el ingeniero civil.

Lo que se busca con este proyecto de grado es complementar los estudios de sismicidad, aplicando los conocimientos de diseño y análisis de estructuras para reconocer el aporte de los análisis dinámicos a estudios de sismicidad entre otros realizando un razonamiento detallado de la correlación entre mampostería y rigidez que es aportada a un sistema estructural.

1.5 VIABILIDAD DEL PROYECTO

TECNICO	ECONOMICO	SOCIAL
<p>Este proyecto es viable, dada la capacidad adquirida para llevar a cabo este plan. Se cuenta con un gran recurso humano integrada por su director, quien su experiencia y conocimiento orienta el desarrollo del mismo, también se cuenta con un trabajo de campo y de investigación detallado, para que sea posible se tenga la mayor información posible para llevar a cabo este proyecto.</p>	<p>La inversión económica del proyecto es aceptable dada que muchas de las herramientas utilizadas son de fácil adquisición.</p>	<p>La evaluación sobre las estructuras de mampostería que se hizo, es una forma de crear conciencia para los futuros ingenieros que son las personas que se encargaran del crecimiento urbanístico. Los futuros ingenieros tienen que tener claro que en sus manos hay muchas vidas humanas y que de ellos depende que las pérdidas humanas en caso de una catástrofe sean pocas.</p>

2. MARCO TEÓRICO

Citando al autor R. JEANJ.A. PÉREZ y su Análisis, Revisión y Detallado de Estructuras de Mampostería, se obtuvo la siguiente información:

2.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

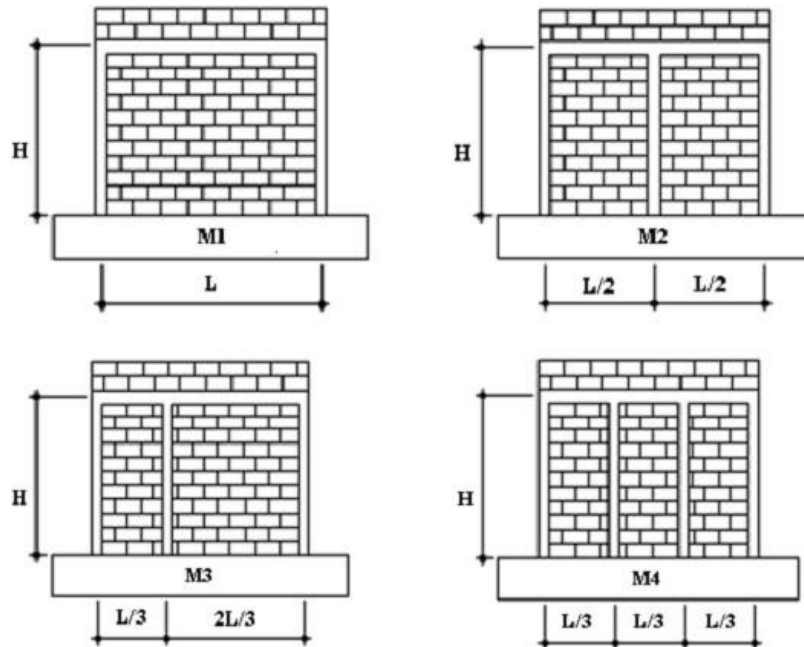
Los procedimientos estructurales de mampostería pueden ser de cualquiera de los siguientes tipos:

- Mampostería confinada, con o sin refuerzo horizontal.
- Mampostería reforzada interiormente.
- Mampostería no reforzada

La mampostería confinada y/o reforzada interiormente ha demostrado tener un sublime desempeño estructural y no precisamente más costosa. En las Reglas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería NSR-10, se pueden consultar los requisitos para cada uno de los sistemas de mampostería; a continuación se definen los más importantes:

2.1.1 Mampostería Confinada. La mampostería confinada es aquella que está reforzada con vigas y columnas. En las siguientes figuras se definen los requisitos de sus formas:

Figura 1. Mampostería confinada



Es un sistema sobre el cual existe amplia experiencia constructiva en Colombia y cuenta con un buen soporte experimental y analítico. La mayor parte de las ventajas y desventajas relativas frente a sistemas constructivos diferentes, son compartidas con la mampostería estructural. Es apta para construcciones en altura hasta unos seis pisos.

Entre los dos sistemas de mampostería, reforzada y de muros confinados, diferentes características y apreciaciones de constructores y diseñadores han terminado favoreciendo la estructural sobre la de muros confinados.

2.1.2 Mampostería Reforzada Interiormente. La mampostería reforzada interiormente es aquella con muros reforzados con barras o alambres corrugados de acero, horizontales y verticales, colocados en las celdas de las piezas, en ductos o en las juntas. El acero de refuerzo, tanto horizontal como vertical, se

distribuirá a lo alto y largo del muro. Para que un muro pueda considerarse como reforzado deberán cumplirse los siguientes requisitos:

Para diseño por sismo se usará $Q=1.5$.

2.1.2.1 Cuantías de acero de refuerzo horizontal y vertical. La suma de la cuantía de acero de refuerzo horizontal, p_h , y vertical, p_v , no será menor que 0.002 y ninguna de las dos cuantías será menor que 0.0007, es decir:

$$P_h + P_v \geq 0.002$$

$$P_h \geq 0.0007; P_v \geq 0.0007$$

$$\text{Donde } P_h = \frac{A_{sh}}{s_h t}; P_v = \frac{A_{sv}}{s_v t}$$

A_{sh} =área del acero del refuerzo horizontal que se colocara a una separación vertical S_h

A_{sv} = área de acero de refuerzo vertical que se colocara a una separación S_v

Cuando se emplee acero de refuerzo con esfuerzo de fluencia especificado mayor que 412 MPa (4200 kg/cm²), las cuantías de refuerzo calculadas en el inciso 2.1.2.1 se podrán reducir multiplicándolas por 412 / f_y , en MPa (4200 / f_y , en kg/cm²).

2.1.2.2 Tamaño, colocación y separación del refuerzo

- **Refuerzo vertical.** El refuerzo vertical en el interior del muro tendrá una separación no mayor de seis veces el espesor del mismo ni mayor de 800 mm

- **Refuerzo en los extremos de muros.** Existirá una dala en todo extremo horizontal de muro, a menos que este último esté ligado a un elemento de concreto reforzado con un peralte mínimo de 100 mm.

Aún en este caso, se deberá colocar refuerzo longitudinal y transversal.

El refuerzo longitudinal de la dala deberá dimensionarse para resistir la componente horizontal del puntal de compresión que se desarrolle en lamampostería para resistir las cargas laterales y verticales. En cualquier caso, estará formado por lo menos de tres barras, cuya área total sea al menos igual a la obtenida.

$$A_s = 0.2 \frac{f'_c}{f_y} t^2$$

El refuerzo transversal de la dala estará formado por estribos cerrados y con un área, A_{sc} , al menos igual a la calculada con la ecuación.

$$A_{sc} = \frac{10000s}{f_y * hc}; \text{ si se usan } M \text{ pay } mm$$

$$A_{sc} = \frac{1000s}{f_y * hc}; \text{ si se usan } \frac{Kg}{cm^2} \text{ y } Cm$$

Donde hc es la dimensión de la dala en el plano del muro. La separación de los estribos, S , no excederá de $1.5t$ ni de 200 mm .

Figura 2. Mampostería con refuerzo en muros

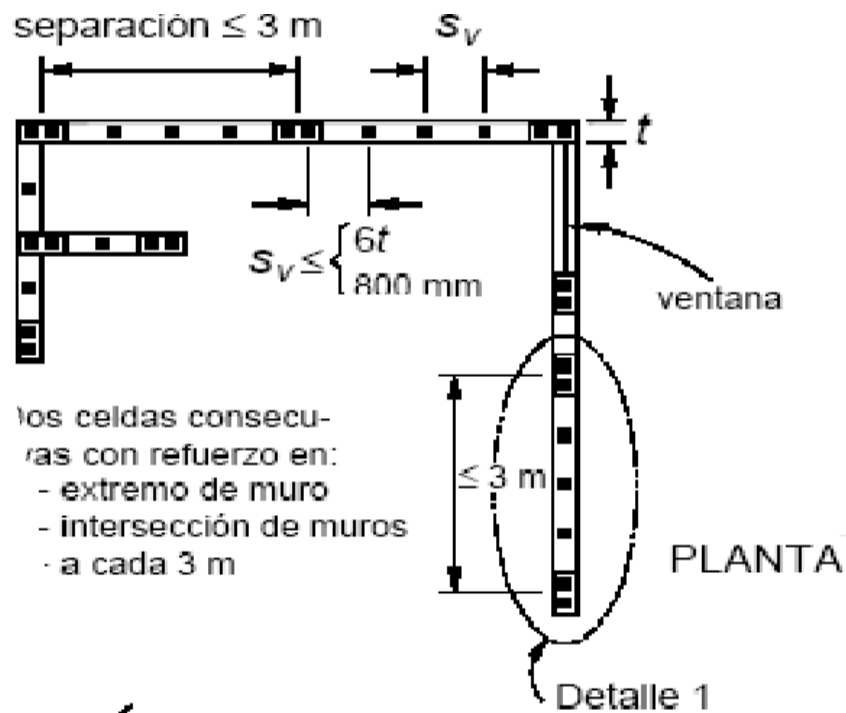
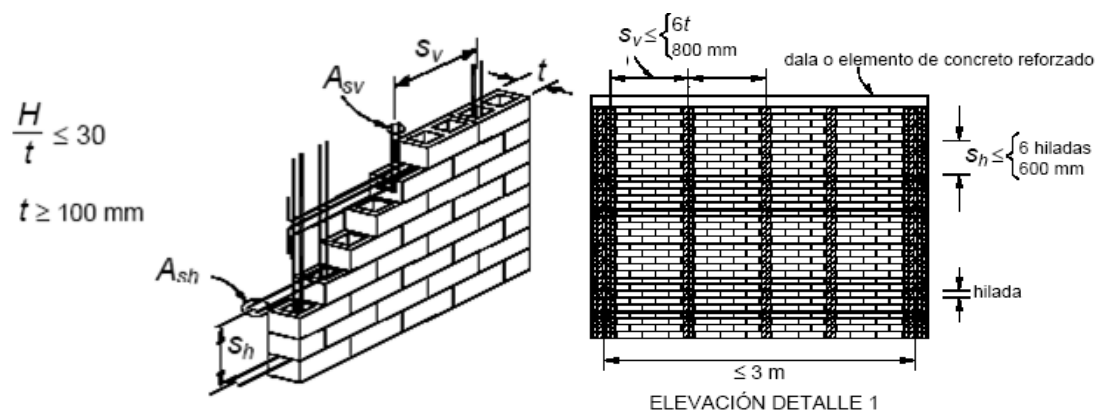


Figura 3. Requisitos para mampostería con refuerzo interior



Deberá colocarse por lo menos una barra No. 3 (9.5 mm de diámetro) con esfuerzo especificado de fluencia de 412 MPa (4 200 kg/cm²), o refuerzo de otras

características con resistencia a tensión equivalente, en cada una de dos celdas consecutivas, en todo extremo de muros, en las intersecciones entre muros o a cada 3 m.

2.1.2.3 Mortero y concreto de relleno. Para el colado de las celdas donde se aloje el refuerzo vertical podrán emplearse los morteros y concretos de relleno o el mismo mortero que se usa para pegar las piezas. El hueco de las piezas (celda) tendrá una dimensión mínima mayor de 50 mm y un área no menor de 3000 mm².

2.1.2.4 Muros transversales. Cuando los muros transversales sean de carga y lleguen a tope, sin traslape de piezas, será necesario unirlos mediante dispositivos que aseguren la continuidad de la estructura. Los dispositivos deberán ser capaces de resistir 1.33 veces la resistencia de diseño a fuerza cortante del muro transversal dividida por el factor de resistencia correspondiente. En la resistencia de diseño se incluirá la fuerza cortante resistida por la mampostería y, si aplica, la resistida por el refuerzo horizontal.

Alternativamente, el área de acero de los dispositivos o conectores, A_{st} , colocada a una separación s en la altura del muro, se podrá calcular mediante la expresión siguiente:

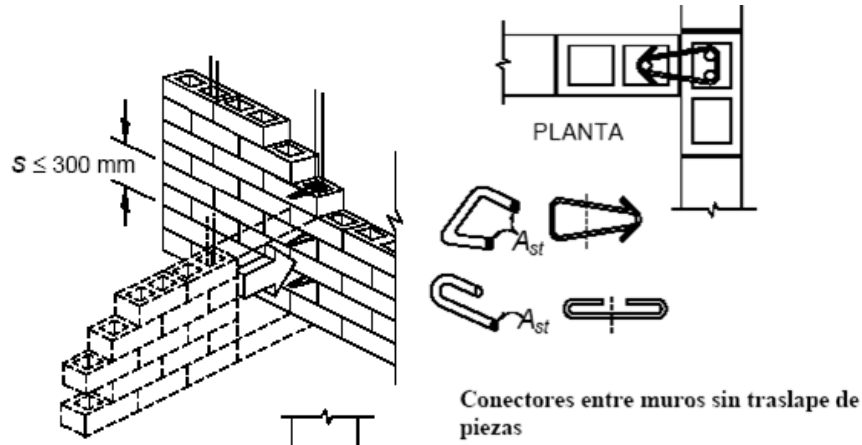
$$A_{st} = \frac{2.5(V_{mR} + V_{sR}) t s}{FR L f_y}$$

$$\left(A_{st} = \frac{V_{mR} + V_{sR} t s}{4FR L f_y} \right)$$

Donde A_{st} está en mm² (cm²), V_{mR} y V_{sR} , en N (kg), son las fuerzas cortantes resistidas por la mampostería y el refuerzo horizontal, si aplica, FR se tomará igual a 0.7, t y L son el espesor y longitud del muro transversal en mm (cm), y f_y es el

refuerzo especificado de fluencia de los dispositivos o conectores, en MPa (kg/cm²). La separación s no deberá exceder de 300 mm.

Figura 4. Muros transversales



2.1.2.5 Muros con aberturas. Existirán elementos de refuerzo vertical y horizontal en el perímetro de toda abertura cuya dimensión exceda de la cuarta parte de la longitud del muro, de la cuarta parte de la distancia entre intersecciones de muros o de 600 mm, o bien en aberturas con altura igual a la del muro.

Los elementos de refuerzo vertical y horizontal serán como los señalados en la sección 2.1.2.

2.1.2.6 Espesor y relación altura a espesor de los muros. El espesor de la mampostería de los muros, t , no será menor que 100 mm y la relación altura a espesor de la mampostería del muro, H / t , no excederá de 30.

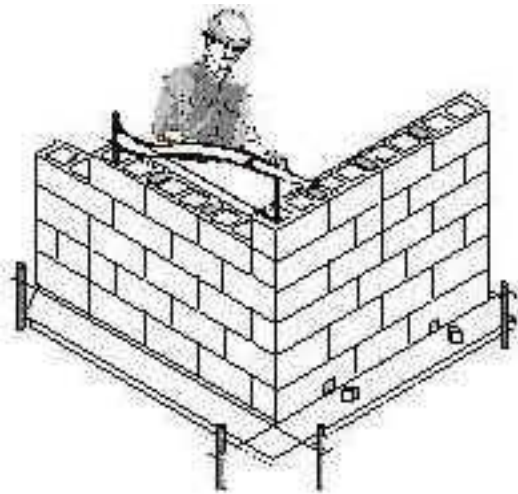
2.1.3 Mampostería no reforzada. Está conformada por muros construidos con ladrillos huecos pegados con mortero de cemento; esto la clasifica como un sistema artesanal. La mampostería reforzada se arma con ladrillos, mortero de pega, mortero de inyección y barras de acero de refuerzo. La mampostería se

arma de tal manera que se forman celdas verticales por las cuales van las barras de refuerzo y las instalaciones menores. Es un sistema sobre el cual existe amplia experiencia constructiva en Colombia, cuenta con un excelente soporte experimental y analítico y un buen resultado observado en el comportamiento frente a los sismos de Popayán en 1983 y Eje Cafetero en 1999. Está certificado frente a la NSR-98.

El sistema permite una reducción en los desperdicios de los materiales empleados y genera fachadas portantes; es apta para construcciones en altura hasta unos seis pisos. La mayor parte de la construcción es estructural. Las instalaciones sanitarias y eléctricas e hidráulicas se pueden desarrollar por las celdas de la mampostería lo cual es ventajoso en muchos casos. Se considera que la mampostería estructural conforma un sistema con un buen aislamiento relativo desde el punto de vista térmico y acústico.

La mampostería reforzada conduce a edificaciones poco aptas para lograr una amplia variedad de estilos desde el punto de vista arquitectónico, al mismo tiempo que no es flexible para hacer modificaciones una vez habitada puesto que la mayoría de los muros son estructurales.

Figura 5. Mampostería no reforzada



2.2 ANÁLISIS

El análisis de estructuras a base de mampostería sujetas a fuerzas verticales y horizontales es complejo dado que:

- Los materiales son diversos.
- Los fragmentos son inconsistentes.
- No es fácil conocer los valores del módulo de elasticidad E_m
- El comportamiento a tensión y compresión de la mampostería es diferente.
- La conducta inelástica comienza a partir de distorsiones muy pequeñas, del orden de 0.001 y 0.002.
- El comportamiento en el rango inelástico dependerá del sistema seleccionado, del tipo de refuerzo y del preciso estudio.

La estimación de las fuerzas, tanto gravitacionales como sísmicas, generalmente se hace por medio de un análisis elástico, por lo tanto es necesario tener presente las restricciones de los métodos elásticos para este fin. Es usual, que el objetivo

primordial es el de establecer, de manera racional, la dimensión y distribución de fuerzas, principalmente las causadas por sismo.

En la determinación de las propiedades elásticas de muros se debe reflexionar que lamampostería no resiste tensiones en la dirección normal a las juntas y emplear, por lo tanto, las propiedades de las secciones agrietadas y transformadas cuando dichas tensiones aparezcan.

2.2.1 Análisis por carga vertical. En las NSR-10 se establece que para el análisis por cargas verticales se tomará en cuenta que en las juntas de los muros y en los elementos de piso ocurren rotaciones locales debidas al aplastamiento del mortero. Para el diseño sólo se tomarán en cuenta los momentos debidos a los efectos siguientes:

- Los momentos que deben ser resistidos por condiciones de estática y que no pueden ser redistribuidos por la rotación del nudo, como son los momentos debidos a un voladizo que se empotre en el muro y los debidos a empujes, de viento o sismo, normales al plano del muro.
- Los momentos debidos a la excentricidad con la que se transmite la carga de la losa del piso inmediatamente superior en muros extremos; tal excentricidad se tomará igual a:

$$ec = \frac{t}{2} - \frac{b}{3}$$

Donde t es el espesor del muro, b es la porción de apoyo de la losa en el muro.

2.2.2 Análisis por cargas laterales. Para la determinación de las fuerzas y momentos que actúan en los muros, las estructuras se podrán analizar por medio de métodos estáticos o dinámicos, o bien empleando el método simplificado de análisis descrito más adelante.

En las NSR-10 se establece que el análisis por sismo se hará con base en las rigideces relativas de los distintos muros, determinándolas tomando en cuenta las deformaciones por cortante y por flexión, debiéndose considerar la sección transversal agrietada del muro cuando la relación de carga vertical a momento flexionante produce tensiones verticales. Además se deberá tomar en cuenta la restricción que impone a la rotación de los muros, la rigidez de los sistemas de piso y techo, el efecto de las aberturas, pretilas, etc. en la rigidez y resistencia lateral.

Estructuras de mampostería ante fuerzas laterales:

- Método simplificado
- Método estático.
- Método análisis dinámico.

2.2.2.1 Método simplificado de análisis. El método simplificado es un método de análisis sísmico simple, que para estructuras que cumplen con los requisitos que exige dicho esto se va a verificar que en cada entrepiso la suma de las resistencias al corte de los muros de carga en la dirección de análisis, sea igual ó mayor a la fuerza cortante sísmica total que actúa sobre dicho entrepiso. En dicho método se hace caso omiso de los desplazamientos y momentos de volteo de la estructura. Para el cálculo de las fuerzas sísmicas se utiliza un método de análisis estático, empleando coeficientes sísmicos reducidos.

Básicamente en el requisito de verificar la distribución simétrica de los muros respecto a los ejes principales al solicitar que se calcule la excentricidad torsional

es en cada dirección y se limite al 10% de la dimensión en planta del entrepiso paralela a dicha excentricidad.

La excentricidad torsional se define como el cociente del valor absoluto de la suma algebraica del momento de las áreas efectivas de los muros respecto al centro de cortante del entrepiso, entre el área efectiva total de los muros orientados en la dirección de análisis (Figura 7.4). El área efectiva es el producto del área bruta de la sección transversal del muro, A_T y el factor FAE definido a continuación:

$$F_{AE} = 1 \quad \text{si } \frac{H}{L} \leq 1.33$$
$$F_{AE} = \left[1.33 \frac{L}{H} \right]^2 \quad \text{si } \frac{H}{L} > 1.33$$

H= altura del entrepiso

L =longitud efectiva del muro

2.2.2.2 Método de análisis estático. En este método la rigidez a flexión y a cortante de los muros se considera como columnas en voladizo, despreciando el acoplamiento de las losas, antepechos o pretilas que existen entre los huecos de puertas y ventanas. Para muros con una relación altura/longitud pequeña (menor a 2) esta hipótesis es adecuada, sin embargo para muros con relaciones grandes (mayores a 2), por ejemplo, donde se ubican barandas y puertas, la hipótesis es conservadora ya que para este caso las losas logran acoplar su comportamiento.

Para la obtención de fuerzas por sismo se realiza un análisis estático obteniendo finalmente la distribución de fuerzas cortantes distribuyéndolas en función a la rigidez de cada muro, incluyendo los efectos de torsión. Se permite hacer una reducción de las fuerzas sísmicas calculando en forma aproximada el período fundamental. Cuando los espectros de diseño tienen rama ascendente esta reducción puede ser importante.

Una vez obtenidos los cortantes actuantes en cada muro, se comparan con el cortante resistente de acuerdo con la siguiente expresión:

$$VmR = FR(0,5vm * AT0,3P) \leq 1,5FRvm * AT$$

Donde:

FR= factor de reducción de resistencia;

vm*= resistencia de diseño a compresión diagonal de la mampostería;

AT =área bruta de la sección transversal del muro que incluye a las columnas;

P= carga axial mínima probable que obra sobre el muro;

VmR= fuerza cortante de diseño que toma cada muro.

A partir del momento flexionante se determina la cantidad de acero necesaria en las edificaciones. De igual forma se puede incluir refuerzo horizontal en los muros.

2.2.2.3 Método de análisis dinámico. Una estructura de mampostería se puede modelar por medio de la analogía de columna ancha que consiste básicamente en sustituir los muros de mampostería por una columna en el centro geométrico y asignarle la sección transversal del muro considerando la sección transformada, esto es, sustituyendo las áreas de concreto de los edificios por la relación modular “n” ($n = E_c / E_m$). Por lo que respecta a las trabas el segmento que intercepta al muro se le asigna una rigidez infinita y las partes donde no hay muro se deberán tomar en cuenta la contribución del patín de la losa a la rigidez de la viga aplicando el ancho equivalente, así como las recomendaciones para incorporar la contribución del patín de la losa a la rigidez de la viga.

El método dinámico modelando a la mampostería por medio de la columna ancha puede ser un método adecuado para la determinación de las fuerzas, sin embargo, se requiere hacer la calibración del modelo a través de una solución conocida (viga en voladizo) y de respuestas experimentales para este tipo de estructuras. Adicionalmente el método no puede utilizarse de manera generalizada, la uniformidad y simetría de los muros en elevación (aberturas

ubicadas en la misma posición en los diferentes niveles) es una condición necesaria. Evidentemente existen otros métodos cuya aplicación puede tener ventajas y desventajas.

2.3ANÁLISIS DINÁMICODE ESTRUCURAS¹

Los análisis dinámicos se dividen usualmente en tres grandes grupos:

- Análisis Modal Espectral, de uso ingenieril más común.
- Análisis Tiempo-Historia.
- Análisis en el dominio de las frecuencias.

Los análisis pueden realizarse considerando un comportamiento lineal fuerza-desplazamiento del material; eventualmente pueden considerarse comportamientos no lineales para los análisis tiempo-historia. Los programas de análisis estructurales más comunes no realizan análisis incluyendo efectos de segundo orden (denominado también no linealidad geométrica), es decir, la consideración de esfuerzos adicionales debidos a la modificación de los ejes causada por las deformaciones.

Las oscilaciones se producen en los elementos o sistemas estructurales debido a que tienen masas, elasticidad y una capacidad de amortiguamiento manifestado en diversas formas. Para realizar un análisis de la respuesta de estos sistemas se parte de algunas simplificaciones, con las que se aborda el problema de manera más sencilla y a menudo suficiente para fines prácticos de ingeniería. Sin embargo, deben comprenderse las hipótesis iniciales de cada tipo de análisis, pues en ellas están contenidas sus limitaciones y contribuyen a establecer sus campos de aplicación.

¹ SALINAS, Rafael. Fundamentos del análisis dinámico de estructuras.

Las estructuras, cuando están sujetas a cargas o desplazamientos en la base, en realidad actúan dinámicamente, es decir, desarrollan acciones opuestas al movimiento impuesto por tales cargas o desplazamientos. Si éstos son aplicados muy lentamente, las fuerzas de inercia son bastante pequeñas (al ser las aceleraciones muy bajas) y por lo tanto se puede justificar un análisis de tipo estático. Por otro lado, las estructuras son un continuo y tienen un infinito número de grados de libertad. Se han tratado anteriormente las formas de concentrar la evaluación en puntos (nudos o pisos) que son suficientes para determinar el comportamiento de la estructura y calcular sus fuerzas internas. La masa del sistema estructural es concentrada en los nudos o a nivel de los centros de masa de cada piso, según el modelo utilizado. Asimismo, si los análisis se realizan considerando que el material estructural tendrá un comportamiento elástico y lineal, las propiedades de rigidez de la estructura pueden aproximarse con un alto grado de confiabilidad, con ayuda de información experimental. Lo mismo puede asumirse para las propiedades de amortiguamiento. Las cargas dinámicas y las condiciones en la base de la cimentación suelen ser difíciles de estimar, sobre todo en el caso de cargas sísmicas.

2.3.1 Ecuaciones de movimiento. La ecuación fundamental de movimiento de un sistema de múltiples grados de libertad, de masas concentradas, puede ser expresada como una función del tiempo de la forma:

$$F(t)_i + F(t)_D + F(t)_S = F(t) \quad (1)$$

Donde los vectores de fuerza, variables en el tiempo t , son:

$F(t)_i$: vector de acciones de inercia en las masas concentradas

$F(t)_D$: vector de fuerzas por amortiguamiento, supuesto como de tipo viscoso

$F(t)_S$: vector de fuerzas por deformación de la estructura

$F(t)$: vector de cargas aplicadas externamente

La ecuación (1) es válida tanto para sistemas lineales como no lineales, si el equilibrio dinámico se plantea con respecto a la geometría deformada de la estructura. En caso de un análisis lineal la ecuación se puede escribir, en términos de los desplazamientos (nodales o de piso), de la siguiente forma:

$$MU(t)_a + C\dot{U}(t)_a + K\ddot{U}(t)_a = F(t) \quad (2)$$

Donde M es la matriz de masas (concentradas), C es la matriz de amortiguamiento viscoso (definido para considerar la energía de disipación en la estructura real) y K es la matriz de rigidez para el sistema estructural. Los vectores dependientes del tiempo $U(t)_a$, $\dot{U}(t)_a$, $\ddot{U}(t)_a$; son los desplazamientos, velocidades y aceleraciones absolutas (nodales o de piso), respectivamente.

En el caso de una acción sísmica, las cargas externas $F(t)$ se consideran iguales a cero. Los movimientos sísmicos básicos son las tres componentes de desplazamiento de la base $U(t)_{ig}$, que son conocidos en los puntos que se encuentran al nivel de la cimentación. Es usual puede plantear la ecuación (1) en términos relativos a los desplazamientos de la base, es decir, los desplazamientos relativos $U(t)$, las velocidades relativas $\dot{U}(t)$ y las aceleraciones relativas $\ddot{U}(t)$.

En consecuencia, los desplazamientos, velocidades y aceleraciones absolutas pueden eliminarse de la ecuación (2) mediante las siguientes ecuaciones:

$$u(t)_a = u(t) + 1_x u(t)_{xg} + 1_y u(t)_{yg} + 1_z u(t)_{zg} \quad (3a)$$

$$\dot{u}(t)_a = \dot{u}(t) + 1_x \dot{u}(t)_{xg} + 1_y \dot{u}(t)_{yg} + 1_z \dot{u}(t)_{zg} \quad (3b)$$

$$\ddot{u}(t)_a = \ddot{u}(t) + 1_x \ddot{u}(t)_{xg} + 1_y \ddot{u}(t)_{yg} + 1_z \ddot{u}(t)_{zg} \quad (3c)$$

Donde:

1_i es un vector con unos (1) en las posiciones correspondientes a los grados de libertad en la dirección "i" y ceros (0) en las otras posiciones. Sustituyendo las ecuaciones (3) en la ecuación (2), las ecuaciones de movimiento son reescritas como sigue:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + K\ddot{u}(t) = -M_x\ddot{u}(t)_{xg} - M_y\ddot{u}(t)_{yg} - M_z\ddot{u}(t)_{zg} \quad (4)$$

La forma simplificada de la ecuación (4) es posible dado que los desplazamientos y las velocidades de cuerpo rígido asociados con los movimientos de la base no causan fuerzas restauradoras elásticas o de disipación adicionales.

Desde el punto de vista ingenieril, los desplazamientos más importantes son los desplazamientos relativos, proporcionados por los programas de cómputo en sus archivos de resultados. Debe entenderse que la sollicitación sísmica en la estructura se debe a los desplazamientos en su base y no a cargas puntuales aplicadas en la estructura. Sin embargo, se considera suficiente un análisis con cargas estáticas equivalentes en casos relativamente simples, de edificios con pocos pisos y ciertas condiciones de regularidad en la distribución de sus masas y de sus elementos que le brindan rigidez; estas condiciones son especificadas en los códigos de diseño sismo-resistente.

- **Ecuaciones de Movimiento.** Existen diversos métodos propuestos para ser empleados para la solución de la ecuación (1). Cada método tiene ventajas y desventajas, de acuerdo al tipo de estructura y la carga. Los métodos numéricos de solución pueden clasificarse del siguiente modo:

2.3.1.1 Método de Solución paso a paso. El método de solución más completo para el análisis dinámico en un método incremental en el cual las ecuaciones van siendo resueltas en los tiempos Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$, etc. Hay un gran número de métodos de solución incremental. En general, estos métodos involucran una solución de todo el conjunto de ecuaciones (1) en cada incremento de tiempo. En el caso de un análisis no lineal, puede ser necesario reformular la matriz de rigidez de todo el sistema estructural para cada paso. Además, se efectuarán iteraciones dentro de cada incremento de tiempo, para satisfacer las condiciones de equilibrio. Como los

requerimientos de cómputo son significativos, estos métodos pueden emplearse para resolver sistemas estructurales con pocos cientos de grados de libertad.

Adicionalmente, en estos métodos de solución, el amortiguamiento numérico o artificial debe ser incluido, con el propósito de obtener soluciones estables. En ciertos casos de estructuras con comportamiento no lineal sujetas a movimientos en la base, es indispensable el empleo de los métodos de solución incremental. En sistemas estructurales muy grandes, se ha encontrado que la combinación de los métodos incrementales y de superposición modal ha sido eficiente para sistemas con un pequeño número de elementos no lineales.

2.3.1.2 Método de Superposición Modal. Es el método más común y efectivo de los procedimientos para el análisis sísmico de sistemas estructurales lineales. Este método, luego de evaluar un conjunto de vectores ortogonales, reduce el gran conjunto de ecuaciones generales de movimiento a un pequeño número de ecuaciones diferenciales desacopladas de segundo orden. La solución numérica de estas ecuaciones implica una gran reducción del tiempo de cómputo.

Con este método se obtiene la respuesta completa, en su variación en el tiempo, de los desplazamientos de los nudos y fuerzas en los elementos debidos a un movimiento determinado en la base.

Se ha demostrado que los movimientos sísmicos excitan a la estructura principalmente en sus frecuencias más bajas. Por lo general, las aceleraciones del terreno son registradas, en los acelerogramas digitales, con intervalos a razón de 100 o 200 puntos por segundo. De manera que la información de las acciones sísmicas no contiene frecuencias por encima de los 50 ciclos por segundo. En consecuencia, si no se consideran las frecuencias altas y las correspondientes formas de modo en la respuesta de un sistema, no se introducirán errores.

El método tiene dos desventajas. En primer lugar, se produce una gran cantidad de información, la cual requiere un enorme esfuerzo computacional, donde se consideren todas las posibilidades de la verificación del diseño como una función de tiempo. En segundo lugar, el análisis debe repetirse para diferentes registros sísmicos - frecuentemente tres registros como mínimo - con el propósito de asegurar que todos los modos significativos sean excitados.

2.3.1.3 Análisis Modal Espectral. El análisis modal espectral (o método de la respuesta espectral) es un método ventajoso para estimar los desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural. El método implica el cálculo solamente de los valores máximos de los desplazamientos - y las aceleraciones - en cada modo usando un espectro de diseño, el mismo que representa el promedio o la envolvente de espectros de respuesta para diversos sismos, con algunas consideraciones adicionales expuestas en los códigos de diseño. Luego se combinan estos valores máximos, por ejemplo mediante un promedio ponderado entre la media y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de tales valores máximos; otro método es el de la combinación cuadrática completa (método CQC), que considera además una correlación entre los valores modales máximos. De este modo, se obtienen los valores más probables de desplazamientos y fuerzas.

2.3.1.4 Análisis en el Dominio de Frecuencias. Este procedimiento es empleado para resolver las ecuaciones de movimiento en el dominio de frecuencias. Para ello, las fuerzas externas $F(t)$ son expresadas en una expansión de términos de series de Fourier o integrales de Fourier. La solución está dada en números complejos, cubriendo el espacio de $-\infty$ a ∞ . Este procedimiento es muy efectivo para cargas periódicas como en vibración de maquinarias, problemas de acústica, efectos de las olas de mar y de viento. Sin embargo, el uso de este método para resolver problemas de ingeniería sísmica tiene las siguientes desventajas:

- Por lo general, el entendimiento de las matemáticas involucradas en el método puede ser difícil de entender para los ingenieros. La verificación de las soluciones también podría ser difícil.
- Las acciones sísmicas no son periódicas. Sin embargo, los registros sísmicos del terreno – el movimiento de la base - pueden ser transformados al dominio de frecuencias con algoritmos especiales y, luego de realizar los análisis y las operaciones involucradas, volver a ser transformados para obtener la respuesta del sistema en el tiempo.
- Para acciones sísmicas, el método no es numéricamente eficiente.
- El método es aplicable a sistemas estructurales lineales

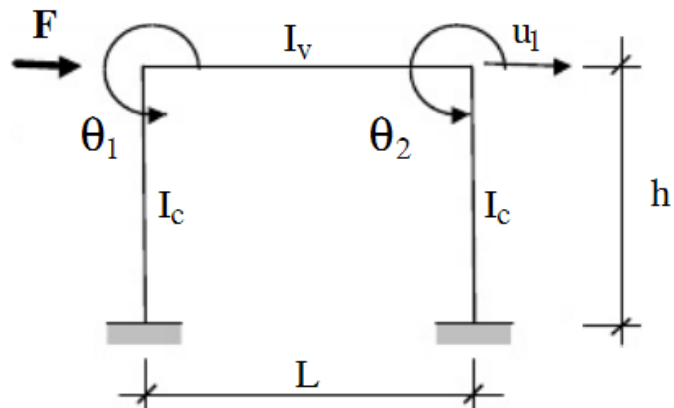
2.4 RIGIDEZ LATERAL DE PÓRTICOS

Durante el movimiento de una edificación por la acción sísmica, las solicitaciones sobre aquella son realmente de dirección diversa. Se ha llegado a considerar que el movimiento del suelo tiene seis componentes de movimiento independientes, tres traslacionales y tres rotacionales. Dentro de estas componentes, las traslacionales en las direcciones horizontales suelen ser tomadas en cuenta, en forma independiente, para fines de tener condiciones de carga en los análisis, dado que por lo general son los más importantes.

En el caso de un pórtico plano, la sola consideración de un movimiento traslacional de la base implicaría la aparición de acciones de inercia traslacionales y rotacionales. Sin embargo, los giros ocasionados son relativamente pequeños, por lo que las acciones rotacionales también lo son y prácticamente no influyen en los efectos finales sobre la estructura, tanto a nivel de desplazamientos como de fuerzas internas. Por esta razón, se considera una acción de inercia traslacional, por lo que la "fuerza" sísmica tiene, para fines de análisis, un sentido horizontal.

2.4.1 Rigidez lateral de un pórtico simple. Sea el pórtico plano simple, de una cruja, mostrado en la Figura 5, sometido a la acción de una fuerza horizontal F , que representa la acción sísmica. La deformación axial de los elementos no se considera apreciable, de modo que los tres grados de libertad del sistema consisten en un desplazamiento lateral y dos giros en los nudos superiores.

Figura 6. Pórtico plano simple de una cruja



La ecuación básica de análisis matricial de estructuras es la siguiente:

$$\begin{Bmatrix} F \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 24 \frac{EI_c}{h^3} & 6 \frac{EI_c}{h^2} & 6 \frac{EI_c}{h^2} \\ 6 \frac{EI_c}{h^2} & 4 \frac{EI_c}{h} + 4 \frac{EI_v}{L} & 2 \frac{EI_v}{L} \\ 6 \frac{EI_c}{h^2} & 2 \frac{EI_v}{L} & 4 \frac{EI_c}{h} + 4 \frac{EI_v}{L} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} U_1 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix}$$

Denotando $\gamma = \frac{EI_v/L}{EI_c/h}$

La matriz adopta la forma:

$$\begin{Bmatrix} F \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \frac{EI_c}{h} \begin{bmatrix} \frac{24}{h^2} & \frac{6}{h} & \frac{6}{h} \\ \frac{6}{h} & 4(1+\gamma) & 2\gamma \\ \frac{6}{h} & 2\gamma & 4(1+\gamma) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ \theta_1 \\ \theta_2 \end{Bmatrix}$$

La ecuación puede ser representada de la forma:

$$\begin{Bmatrix} F \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} U \\ \theta \end{Bmatrix}$$

K_{11} : submatriz con traslaciones originadas por los grados de libertad de traslación

K_{22} : submatriz con rotaciones originadas por los grados de libertad de rotación

K_{12} : submatriz contraslaciones originadas por los grados de libertad de rotación

K_{21} : submatriz con rotaciones originadas por los grados de libertad de traslación

Desarrollando las ecuaciones:

$$F = K_{11}U + K_{12}\theta \quad 0 = K_{21}U + K_{22}\theta$$

De la segunda ecuación se despeja θ

$$\theta = -K_{22}^{-1}K_{21}U$$

Reemplazando la expresión θ en la ecuación se obtiene:

$$F = K_{11}U - K_{12}K_{22}^{-1}K_{21}U$$

$$F = (K_{11} - K_{12}K_{22}^{-1}K_{21})U \quad K_L = K_{11} - K_{12}K_{22}^{-1}K_{21}$$

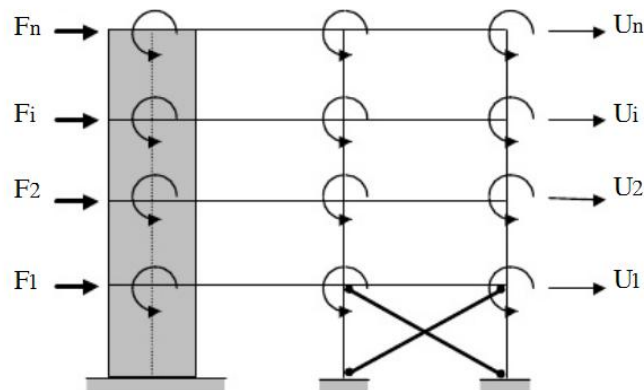
Finalmente se obtiene para el pórtico:

$$K_L = 12 \frac{EI_c}{h^3} \left(\frac{1+6\gamma}{2+3\gamma} \right)$$

La operación realizada se denomina Condensación Estática. Tiene por objeto reducir la matriz de rigidez con los términos asociados exclusivamente a las fuerzas actuantes sobre la estructura. De esta manera se concentra la labor en la obtención de ciertos desplazamientos para, a partir de éstos, calcular los desplazamientos restantes, sin los cuales no podrían calcularse las fuerzas internas completamente. En este caso, mediante una condensación estática la matriz de rigidez original fue reducida a una matriz de rigidez lateral (de un término) para obtener el desplazamiento lateral de piso causado por una fuerza horizontal.

2.4.2 Matriz de rigidez lateral de un pórtico de varios pisos. En un pórtico de varios pisos, la matriz de rigidez total es una operación repetitiva de ensambles de matrices de los elementos, sean estas vigas, columnas, muros o arriostres, como se muestra en la Figura 6. Para obtener la matriz de rigidez lateral se harán las mismas suposiciones que en la situación anterior, por ejemplo, los desplazamientos laterales son iguales a nivel de cada piso (deformaciones axiales no consideradas) y las acciones de inercia rotacionales no son tomadas en cuenta, solamente las acciones horizontales. Además, el modelo sería más apropiado para edificios de baja a mediana altura, en los cuales los efectos de las deformaciones axiales son poco considerables.

Figura 7. Pórtico de varios pisos



La matriz de rigidez total es representada por una serie de submatrices, que tienen el mismo significado que en el numeral 2.4.1

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \dots \\ U_N \\ \theta_1 \\ \theta_2 \\ \dots \\ \dots \end{Bmatrix} \quad \left\{ \begin{matrix} F \\ 0 \end{matrix} \right\} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{bmatrix} * \left\{ \begin{matrix} U \\ \theta \end{matrix} \right\}$$

Desarrollando matricialmente las particiones (efectuando la condensación estática)

$$F = (K_{11} - K_{12}K_{22}^{-1}K_{21})UF = K_L U$$

Luego, la rigidez lateral está dada por la expresión matricial:

$$K_L = K_{11} - K_{12}K_{22}^{-1}K_{21}$$

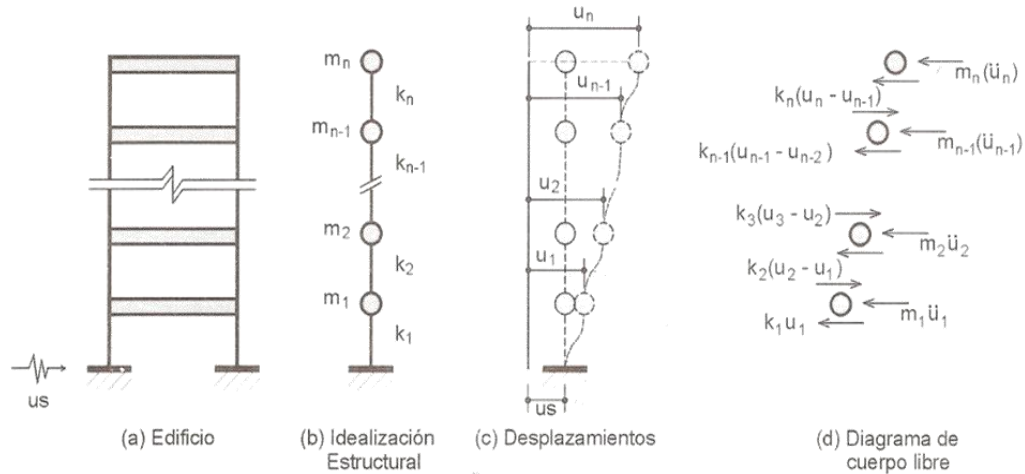
Citando al autor CHIO CHO GUSTAVO Y MALDONADO ESPERANZA y su Análisis, Análisis Sísmico de Edificaciones, obtuvimos la siguiente información:

2.5 RESPUESTA AL MOVIMIENTO DE LA BASE

Un sistema puede estar sometido a un movimiento en la base, como es el caso de una edificación bajo la acción de un sismo. En dichas circunstancias, la respuesta del sistema puede evaluarse representando la acción por medio de un acelerograma, o mediante un espectro de respuesta. En la primera opción la respuesta se podrá evaluar a lo largo del tiempo, pero en la segunda la respuesta corresponderá a los valores máximos. A continuación se expone en detalle cada una de estas opciones.

2.5.1 Método de superposición modal a lo largo del tiempo. Un edificio, modelado como una estructura simple de n pisos, excitado en su base se representa como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Edificio con estructura simple



Las ecuaciones de equilibrio sin tener en cuenta el amortiguamiento son:

Piso

$$m_1 \ddot{u}_1 k_1 (u_1 - u_s) - k_2 (u_2 - u_1) = 0 \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{u}_2 k_2 (u_2 - u_1) - k_3 (u_3 - u_2) = 0 \quad (2)$$

$$m_n \ddot{u}_n + k_n (u_n - u_{n-1}) = 0 \quad (n)$$

Reemplazando los desplazamientos por expresiones en función del desplazamiento del suelo u_s tenemos:

$$y_i = u_i - u_s \quad (\text{siendo } i = 1, 2, 3 \dots n) \quad u_i = y_i + u_s$$

Donde y_i corresponde al desplazamiento relativo a la base de la estructura.

Luego, despejando ecuaciones se obtiene:

Piso

$$m_1 \ddot{y}_1 k_1 - k_2 (y_2 - y_1) = -m_1 \ddot{u}_s \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 k_2 (y_2 - y_1) - k_3 (y_3 - y_2) = -m_2 \ddot{u}_s \quad (2)$$

$$m_n \ddot{y}_n + k_n (y_n - y_{n-1}) = -m_n \ddot{u}_s \quad (n)$$

Las anteriores ecuaciones pueden ser escritas en la forma

$$[M] \{\ddot{y}\} + [K] \{y\} = [M] \{\gamma\} + \ddot{u}_s(t)$$

En donde:

$\{\gamma\}$ es la matriz cuyo tamaño depende de las componentes del acelerograma $\ddot{u}_s(t)$; es decir, si este tiene 2 componentes (x,y), el vector γ tendrá un tamaño de $2 \times n$, siendo n los grados de libertad de la estructura. En otras palabras, sus términos son iguales a 1 si la aceleración del terreno es colineal con la aceleración del grado de libertad que representa la matriz. Si no es colineal, se coloca 0 a la componente correspondiente.

$\ddot{u}_s(t)$ es la aceleración aplicada a la fundación del edificio, representada por un acelerograma.

Determinando la matriz modal $[\varphi]$ de la solución del problema característico.

$$[K] - \omega^2 [M] \{y\} = \{0\} \quad (3)$$

Introduciendo la transformación

$$\{y\} = [\Phi] \{z\} \quad (4)$$

Y derivando dos veces contra el tiempo, tenemos

$$\{\ddot{y}\} = [\Phi] \{\ddot{z}\} \quad (5)$$

Reemplazando las ecuaciones 3 y 4 en las ecuaciones diferenciales 1,2 y multiplicando por Φ_i^T , se llega a:

$$[\Phi]_i^T [M] [\Phi] \{\ddot{z}\} + [\Phi]_i^T [K] [\Phi] \{z\} = -[\Phi]_i^T [M] \{\gamma\} \ddot{u}_s(t) \quad (6)$$

Aplicando la propiedad de ortogonalidad de los modos normales, obtenemos:

$$\underbrace{[\Phi]_i^T [M] [\Phi]}_{[I]} \{\ddot{z}\} + \underbrace{[\Phi]_i^T [K] [\Phi]}_{[\omega^2]} \{z\} = -\underbrace{[\Phi]_i^T [M] \{\gamma\}}_{[\Gamma]} \ddot{u}_s(t) \quad (6a)$$

Donde Γ corresponde a los factores de participación o coeficientes de participación.

Por consiguiente, se obtienen n ecuaciones independientes de un grado de libertad del tipo.

$$\ddot{Z}_i + \omega_i^2 Z_i = \Gamma_i \ddot{u}_s(t) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

Donde Γ_i es el factor de participación del modo i , y corresponde a la fila i de la matriz $[\Gamma]$ obtenida, como se mencionó anteriormente, por medio de

$$\Gamma = -[\Phi]^T [M] \{\gamma\} \quad (8)$$

La solución de las ecuaciones 7 se realiza por medio de la integral de Duhamel o por métodos numéricos (García, 1998; Oller, 1997). Una vez se obtienen los valores de z_i , para cualquier tiempo t , se pueden obtener los desplazamientos de la estructura para ese instante. Luego la respuesta total es la superposición de las respuestas individuales de cada uno de los modos:

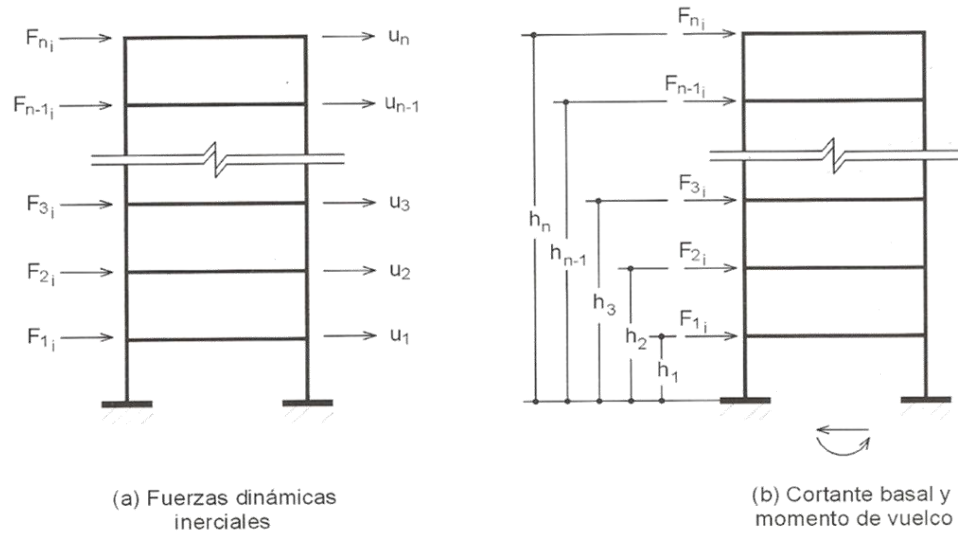
$$\{y\} = [\Phi] \{z\} = \sum_{i=1}^n \{\varphi\}_i z_i(t) \quad (9)$$

Las fuerzas dinámicas inerciales que se producen en la estructura, en cada modo de vibración, pueden obtenerse multiplicando los desplazamientos de cada modo por la matriz de rigidez de la estructura:

$$\{F\}_i = [k] \{y\}_i \quad (10)$$

Luego, para el modo i las fuerzas en la estructura corresponden a la indicada en la Figura 9.

Figura 9. Fuerzas en la estructura



Con las fuerzas dinámicas inerciales se define el cortante basal del modo i en el instante t_i como

$$V_i = \sum_{j=1}^n F_{ji} M_i = \sum_{j=1}^n h_j F_{ji}$$

Ahora, si se retoma el concepto de coeficiente de participación $\{\Gamma\}$ y si lo multiplicamos por $[\Phi]^T$, se obtiene:

$$[\Phi]^T \{\Gamma\} = [\Phi]^T [\Phi]^T [M] \{\gamma\} \quad (11)$$

Aplicando el principio de $([A][B])^T$ a $([\Phi]^T [M])$, se obtiene $[M]^T [\Phi] = [M][\Phi]$, dado que $[M]$ es simétrica, con lo cual la ecuación 11 se puede expresar como:

$$[\Phi]^T \{\Gamma\} = \underbrace{[\Phi]^T [M] [\Phi]}_{[I]} \{\gamma\} = \{\gamma\} \quad (12)$$

[I]

A su vez, la masa total de la estructura está dada por la contribución de cada masa individual:

$$[M]_{TOTAL} = [\gamma]^T [M] [\gamma] \quad (13)$$

Reemplazando $[\gamma]$ en la ecuación anterior, se obtiene

$$[M]_{TOTAL} = ([\Phi]^T [\Gamma]^T [M] [\Phi]^T [\Gamma]) \quad (14)$$

Nuevamente, aplicando el principio de $([A][B])^T = ([B][A])^T$

$$[M]_{TOTAL} = ([\Gamma]^T [\Phi]^T [M] [\Phi]^T [\Gamma]) \quad (15)$$

[I]

Luego

$$[M]_{TOTAL} = [\Gamma]^T [I] [\Gamma] = [\Sigma \Gamma_i^2] \quad (16)$$

Entonces, la masa total en cada dirección principal corresponde a la suma de los cuadrados de los coeficientes de participación modal, Γ_i , en esa dirección. El valor de Γ^2 de cada modo es llamada la *masa efectiva modal*, y puede entenderse como la fracción de la masa total que se activa en ese modo al vibrar debido a la excitación en la base.

En los casos donde los modos de vibración no son ortogonales, los coeficientes de participación se definen de la siguiente manera:

$$\Gamma_i = - \frac{\{\Phi^i\}^T [M] \{\gamma\}}{\{\Phi^i\} [M] \{\Phi^i\}} = \frac{\sum_{j=1}^n (\Phi_j^i m_j)}{\sum_{j=1}^n m_j (\Phi_j^i)^2} \quad (18)$$

$$\Gamma_i = - \frac{(\{\Phi^i\}^T [M] \{\gamma\})^2}{\{\Phi^i\} [M] \{\Phi^i\}} = \frac{[\sum_{j=1}^n (\Phi_j^i m_j)]^2}{\sum_{j=1}^n m_j (\Phi_j^i)^2} \quad (19)$$

2.6 DEFINICIÓN DE LAS MASAS EFECTIVAS

Con los coeficientes de participación se obtienen las masas efectivas, m_{ij} (masa efectiva del piso i en la dirección j):

$$m_{ij} = \Gamma_{ij}^2 \quad (19)$$

Con base en la norma NSR-10(norma sismo resistente-2010), tenemos que:

2.7 INFORMACIÓN INELUDIBLE DE LA NORMA

A.5.1.1 — Los métodos de análisis dinámico deben cumplir los requisitos de este Capítulo y los demás del presente título del Reglamento.

A.5.1.2 — Los métodos de análisis dinámico pueden utilizarse en el diseño sísmico de todas las edificaciones cubiertas por este Reglamento y deben utilizarse en el diseño de las edificaciones indicadas en A.3.4.2.2.

A.5.1.3 — Los resultados obtenidos utilizando los métodos de análisis dinámico deben ajustarse a los valores mínimos prescritos en este Capítulo para cada uno de ellos. Los valores mínimos a los cuales deben ajustarse están referidos a los valores que se obtienen utilizando el método de la fuerza horizontal equivalente presentado en elCapítulo A.4. (Véase A.5.4.5).

A.5.1.4 — Todas las metodologías de análisis dinámico que se utilicen deben estar basadas en principios establecidos de la mecánica estructural, que estén adecuadamente sustentados analítica o experimentalmente.

A.5.1.5 — El ingeniero diseñador debe asegurarse que los procedimientos de análisis dinámico, manuales o A-68 electrónicos, que utilice, cumplen los principios de la mecánica estructural y en especial los requisitos del presente Capítulo. El Reglamento no exige un procedimiento determinado y deja en manos del diseñador su selección y por ende la responsabilidad de que se cumplan los principios enunciados aquí. Es responsabilidad del diseñador garantizar que los procedimientos electrónicos, si son utilizados, describan adecuadamente la respuesta dinámica dela estructura tal como la prescriben los requisitos del presente Capítulo.

A.5.2 — MODELO MATEMÁTICO

A.5.2.1 — MODELO MATEMÁTICO A EMPLEAR — El modelo matemático de la estructura debe describir la distribución espacial de la masa y la rigidez de toda la estructura, de tal manera que sea adecuado para calcular las características relevantes de la respuesta dinámica de la misma. Como mínimo debe utilizarse uno de los siguientes procedimientos:

A.5.2.1.1 — Modelo tridimensional con diafragma rígido — En este tipo de modelo los entrepisos se considera diafragmas infinitamente rígidos en su propio plano. La masa de cada diafragma se considera concentrada en su centro de masa. Los efectos direccionales pueden ser tomados en cuenta a través de las componentes apropiadas de los desplazamientos de los grados de libertad horizontales ortogonales del diafragma. Este procedimiento debe utilizarse cuando se presentan irregularidades en planta del tipo 1aP, 1bP, 4P o 5P, tal como las define

A.3.3.4 (tabla A.3-6), y en aquellos casos en los cuales, a juicio del ingeniero diseñador, este es el procedimiento más adecuado.

A.5.2.1.2 — Modelo tridimensional con diafragma flexible — En este tipo de modelo se considera que las masas aferentes a cada nudo de la estructura pueden desplazarse y girar en cualquier dirección horizontal o vertical. La rigidez de los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica se describe tridimensionalmente. El diafragma se representa por medio de elementos que describan adecuadamente su flexibilidad. Este procedimiento debe utilizarse cuando no existe un diafragma propiamente dicho, cuando el diafragma es flexible en comparación con los elementos estructurales verticales del sistema estructural de resistencia sísmica, o cuando se presentan irregularidades en planta del tipo 2P o 3P, tal como las define A.3.3.4 (tabla A.3-6), y en aquellos casos en los cuales, a juicio del ingeniero diseñador, éste es el procedimiento más adecuado.

A.5.2.1.3 — Modelos limitados a un plano vertical — En este tipo de modelo la respuesta de la estructura se limita a movimientos horizontales en una sola dirección. Este modelo se permite en todos los casos que no están cubiertos por A.5.2.1.1. y A.5.2.1.2. Los efectos torsionales de los pisos deben evaluarse independientemente y adicionarse a los valores obtenidos del análisis en un plano cuando el diafragma es rígido y pueden despreciarse cuando el diafragma es flexible. De igual manera los efectos producidos por la dirección de incidencia de los movimientos sísmicos del terreno deben evaluarse por separado y adicionarse a los valores obtenidos del análisis dinámico.

A.5.2.1.4 — Otros modelos — Si a juicio del ingeniero diseñador las características de rigidez o de masa de la estructura lo requieren, se permite el uso de modelos de análisis inelástico dinámico o de métodos alternos, tal como lo indica A.3.4.1.

A.5.2.2 — MASA DE LA EDIFICACIÓN — Las masas de la edificación que se utilicen en el análisis dinámico deben ser representativas de las masas que existirán en la edificación cuando ésta se vea sometida a los movimientos sísmicos de diseño. Para efectos de los requisitos de este Reglamento, la masa total de la edificación se puede tomar como M . La distribución de la masa de la edificación debe representar la distribución real de las distintas masas de la edificación.

A.5.2.3 — RIGIDEZ EN LOS MÉTODOS DINÁMICOS ELÁSTICOS — La rigidez que se utilice en los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica cuando se empleen métodos dinámicos elásticos, debe seleccionarse cuidadosamente y debe ser representativo de la rigidez cuando éstos se vean sometidos a los movimientos sísmicos de diseño. En las estructuras de concreto y mampostería, la rigidez que se asigne debe ser consistente con el grado de

fisuración que puedan tener los diferentes elementos al verse sometidos a las deformaciones que imponen los movimientos sísmicos de diseño. Cuando haya variaciones apreciables en la rigidez de los diferentes elementos verticales del sistema de resistencia sísmica que contribuyen a la resistencia de las mismas componentes del movimiento, la rigidez que se le asigne a cada uno de ellos debe ser consistente con los niveles de deformación.

A-69

A.5.2.4 — RIGIDEZ EN LOS MÉTODOS DINÁMICOS INELÁSTICOS — Los modelos matemáticos utilizados para describir la rigidez de los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica, cuando se empleen métodos dinámicos inelásticos, deben ser consistentes con el grado de capacidad de disipación de energía del material, con los niveles esperados de deformación y con las secuencias de esfuerzos y deformaciones que se presenten durante la respuesta, a través de modelos histeréticos que describan la degradación de rigidez y resistencia, los efectos de estrangulamiento de las formas histeréticas, y los efectos del endurecimiento por deformación del acero. Los modelos de rigidez utilizados deben estar adecuadamente sustentados analítica o experimentalmente.

A.5.4.2 — NÚMERO DE MODOS DE VIBRACIÓN — Deben incluirse en el análisis dinámico todos los modos de vibración que contribuyan de una manera significativa a la respuesta dinámica de la estructura. Se considera que se ha cumplido este requisito cuando se demuestra que, con el número de modos empleados, p , se ha incluido en el cálculo de la respuesta, de cada una de las direcciones horizontales de análisis, j , por lo menos el 90 por ciento de la masa participante de la estructura. La masa participante, M_j , en cada una de las direcciones de análisis, j , para el número de modos empleados, p , se determina por medio de las siguientes ecuaciones:

$$M_j = \sum_{m=1}^p M_{mj} \geq 0.90 M \quad (\text{A.5.4-1})$$

$$M_{mj} = \frac{(\sum_{i=1}^n m_j \phi_{ij}^m)^2}{\sum_{i=1}^n m_i (\phi_{ij}^2)} \quad (\text{A.5.4-2})$$

A.5.4.3 — CÁLCULO DEL CORTANTE MODAL EN LA BASE — La parte del cortante en la base contribuida por el modo m en la dirección horizontal j, V_{mj} , debe determinarse de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{mj} = S_{am} g M_{mj} \quad (\text{A.5.4-3})$$

Donde M_{mj} está dado por la ecuación A.5.4-2, y S_{am} es el valor leído del espectro elástico de aceleraciones, S_a , para el período de vibración T_m correspondiente al modo de vibración m. El cortante modal total en la base, V_{tj} , en la dirección j se obtiene combinando los cortantes contribuidos por cada modo, V_{mj} , en la misma dirección de acuerdo con el procedimiento de A.5.4.4.

A.5.4.4 — COMBINACIÓN DE LOS MODOS — Las respuestas máximas obtenidas para cada modo, m, de las deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos, deben combinarse utilizando métodos apropiados y debidamente sustentados, tales como el de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados u otros. Debe tenerse especial cuidado cuando se calculen las combinaciones de las derivas, calculando la respuesta máxima de la deriva causada por cada modo independientemente y combinándolas posteriormente. No es permitido obtener las derivas totales a partir de deflexiones horizontales que ya han sido combinadas. Cuando se utilicen modelos matemáticos de análisis tridimensional deben tenerse en cuenta los efectos de interacción modal, tales como la combinación cuadrática total.

A-1.2 — PERÍODO FUNDAMENTAL DE LA ESTRUCTURA

A-1.2.1 — El valor del período fundamental de la estructura, T, debe obtenerse a partir de las propiedades de su sistema de resistencia sísmica, en la dirección bajo consideración, de acuerdo con los principios de la dinámica estructural, utilizando

un modelo matemático linealmente elástico de la estructura. Este requisito puede suplirse por medio del uso de la ecuación A.4.2-1.

A.4.2 — PERÍODO FUNDAMENTAL DE LA EDIFICACIÓN

A.4.2.1 — El valor del período fundamental de la edificación, T, debe obtenerse a partir de las propiedades de su sistema de resistencia sísmica, en la dirección bajo consideración, de acuerdo con los principios de la dinámica estructural, utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura. Este requisito puede suplirse por medio del uso de la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i \delta_i)}}$$

- **Definición del modulo de elasticidad de la mampostería.** Para la definición de los parámetros de la mampostería, se realizó una investigación en diferentes trabajos realizados y se encontró el rango de variación del modulo de elasticidad, siendo este entre 3000000 y 5000000 KN/m, del cual se asumió un modulo equivalente a 3000000 siendo conservadores. En cuanto al peso específico de la misma se asumió 14.715 KN/m³ aproximando este valor de los diferentes pesos específicos encontrados en diferentes investigaciones realizadas

3. PLAN DE TRABAJO

3.1 ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO

La primera etapa del proyecto consistió en conseguir las casas que cumplieran con los requerimientos necesarios, para llevar a cabo el proceso. Las viviendas tenían que cumplir con lo siguiente:

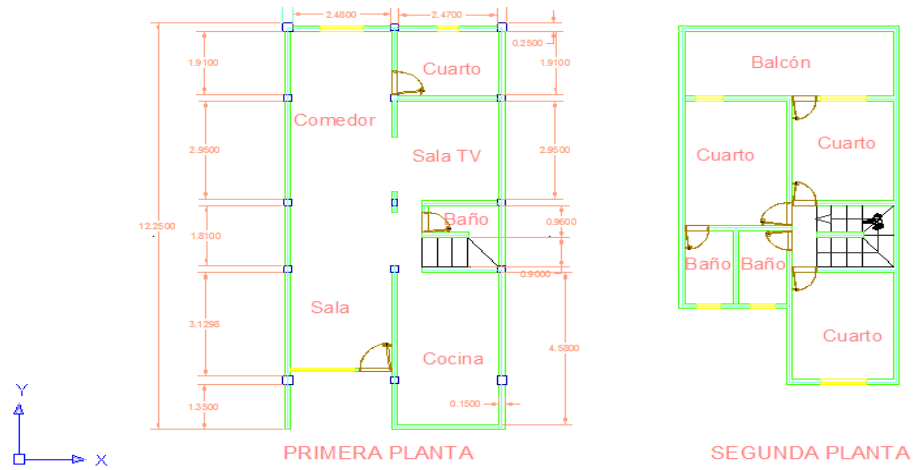
- Edificaciones de más de dos plantas.
- Construcciones de mampostería confinada o sin confinamiento.
- Viviendas en sistemas aporticados o semiaporticados

Consecutivamente se hace la visita a las viviendas donde se lleva a cabo el levantamiento arquitectónico y estructural teniendo en cuenta ciertos requisitos de suma importancia para el momento de hacer el modelamiento el margen de error sea mínimo. Las exigencias son las siguientes:

- Sistema constructivo que tiene la vivienda.
- Altura de cada una de sus plantas
- Tipo de placa(aligerada o maciza)
- Ancho de los muros de mampostería
- Continuidad de los muros en la totalidad de la construcción.
- Ancho y alto de las columnas y vigas.

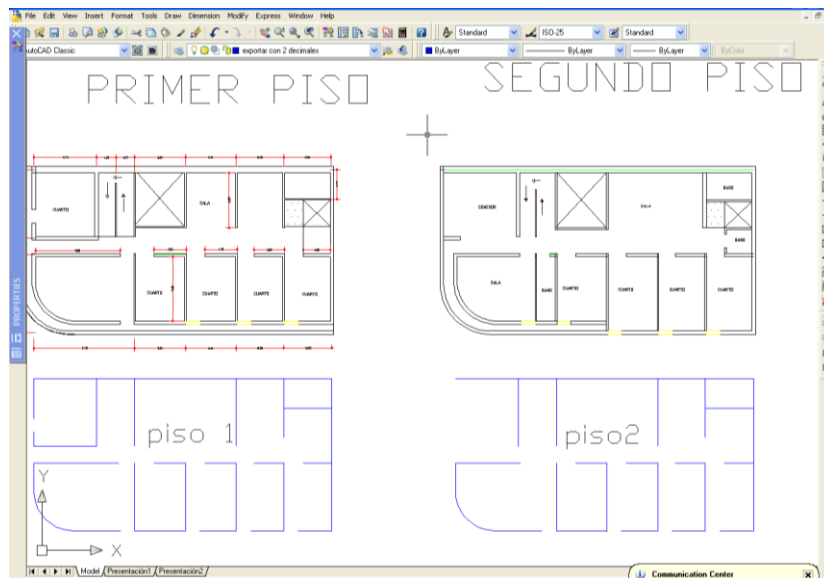
Continuamente se procede hacer el modelamiento en AUTOCAD de cada una de las viviendas.

Figura 10. Modelado de las viviendas



En el levantamiento de AUTOCAD es muy importante porque de este depende el modelamiento en SAP 2000, ya que se creó una capa especial llamada "exportar" que va hacer la que se va llevar a SAP para agilizar el trabajo y tener menos complicaciones en la realización del modelo.

Figura 11. Levantamiento de las viviendas en AUTOCAD

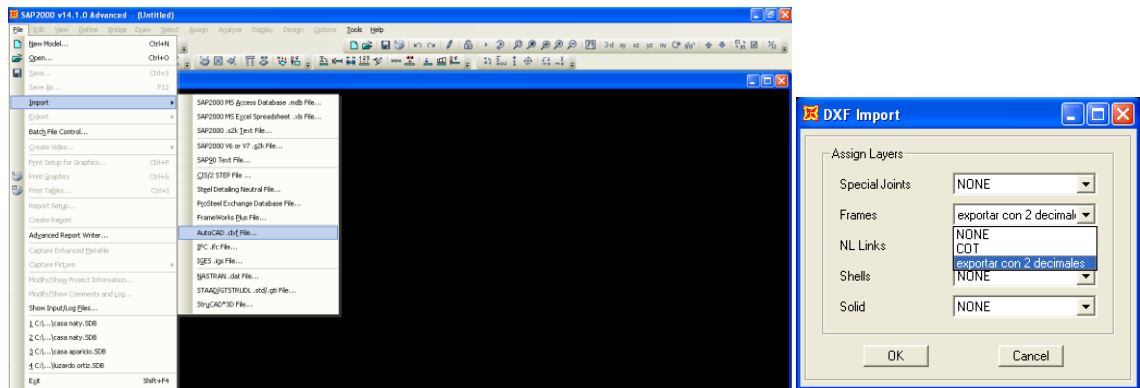


3.1.1 Montaje en SAP. La metodología utilizada para el montaje de las estructuras en el software SAP 2000 V 14 se describe a continuación:

- Con base en los planos arquitectónicos donde se obtiene la información geométrica del sistema estructural y sus muros de mampostería, se procedió a introducir esta geometría en forma de líneas al programa SAP 2000 v14. Para realizar este procedimiento se tuvo en cuenta que los muros que no iniciaran desde el primer piso, no se tomaban en cuenta en el modelo de la estructura, debido a que al correr el programa, estos muros presentan problemas de inestabilidad inmediatamente, por esta razón se permitió despreciar estos muros de mampostería para efectos prácticos.
- Para agilizar el montaje de las estructuras en el programa. SAP 2000 v 14 se procedió a realizar una importación de datos desde el software AUTOCAD . En el archivo de dibujo, se tomaron solamente los muros de mampostería que se iban a tomar en cuenta en los modelos para cada piso y se dibujaron como líneas en una capa (layer) que se llamó exportar, también se tomaron los puntos donde se encontraban las columnas para que el documento de dibujo quedara con muros y columnas. Después de tener terminado el plano en planta de cada piso, se procedió a ubicar estas plantas en diferentes hojas de AUTOCAD (guardadas con los nombres de cada piso) y se le asignó la altura del piso a todas las hojas (esto escogiendo todos los elementos y con clic derecho en la opción propiedades y se cambia el valor de altura z).
- Luego se guardó el archivo en formato dxf. Este es el archivo que SAP va a reconocer y permite la importación de datos.
- Con el archivo en formato dxf, se procedió a abrir el software SAP 2000V 14 y se importaron datos. Para realizar este procedimiento se despliega en la barra de tareas el comando file, se busca la opción import, allí se escoge AutoCAD.dxf (file).

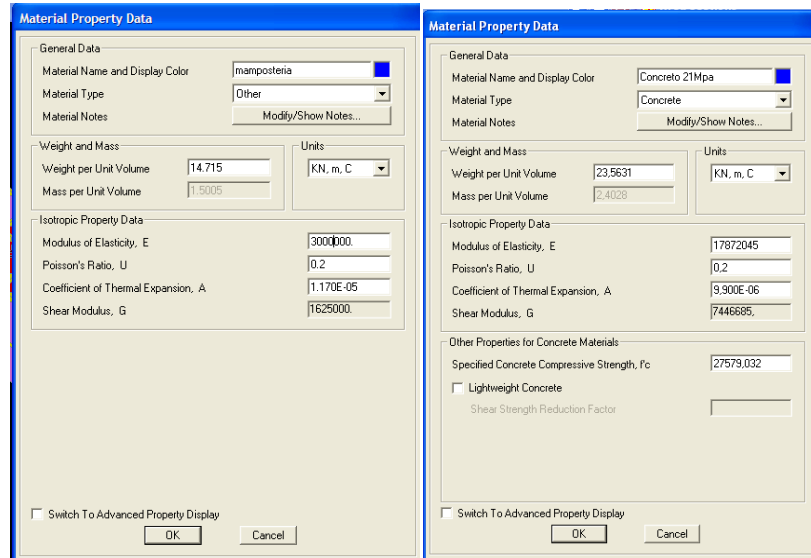
Y se importan las plantas como elementos tipo frames asignando la capa a exportar en el box frame.

Figura 12. Archivar el trabajo en AUTOCAD



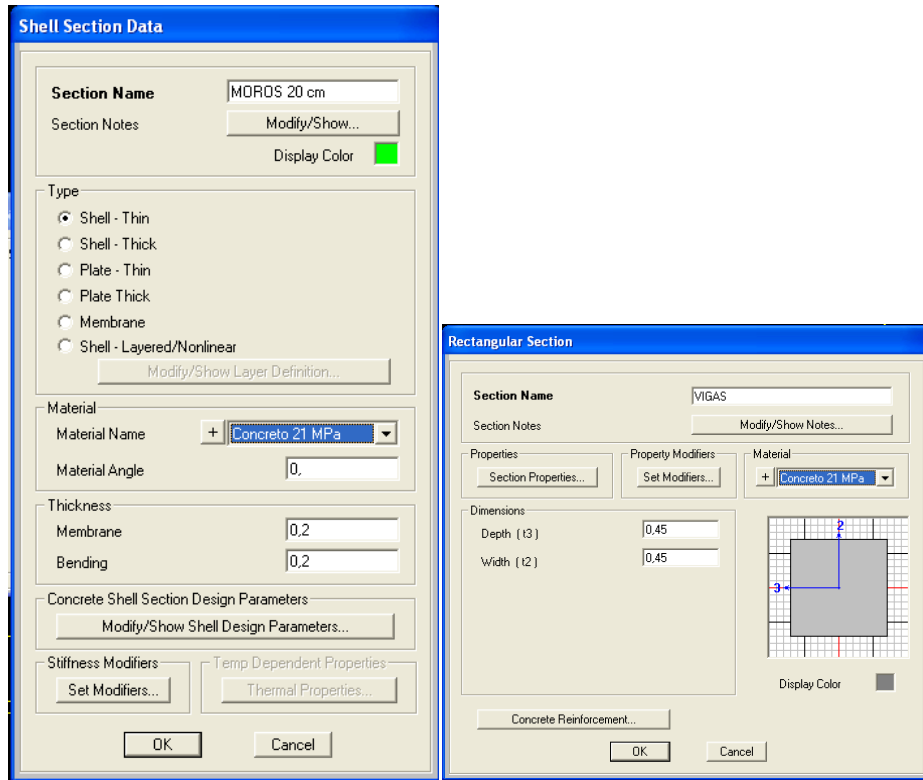
- Luego se definieron los materiales que se van a utilizar en las vigas, columnas y muros de mampostería. Para ejecutar esta acción se ubicó el comando define – material y se adicionaron dos materiales, uno para los muros de mampostería y el otro para las columnas y las vigas (concreto 21 MPa), en las opciones que aparecen en la ventana, se introdujolas propiedades de los materiales previamente investigadas y se guardaron los cambios realizados.

Figura 13. Definición de materiales a utilizar



Después de tener los materiales definidos, se procedió a crear las secciones transversales de los elementos, tanto “frames” (vigas y columnas) como “shells” (muros de mampostería) con sus respectivos materiales. Para esto se realizó la siguiente operación. En barra de herramientas- “define-sectionproperties-framesection” (para vigas y columnas) ó “área section“(para los muros de mampostería). Luego se crearon las secciones transversales del sistema estructural y los muros de mampostería.

Figura 14. Creación de columnas y vigas



- Con las secciones definidas se procedió a dibujar la estructura en 3 dimensiones. Para dibujar los muros se utilizó el comando “extrude line” esto área sobre los elementos tipo “frame” importados y se asignó la altura del muro. Para crear las columnas se escogieron los puntos donde van las columnas y se les aplicó el comando “extrude pointstoframes” y se asignó la altura de las columnas.

Figura 15. Uso de comandos para el dibujo de las estructuras

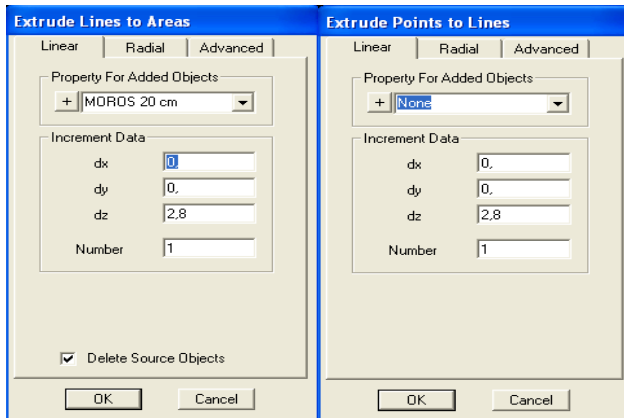
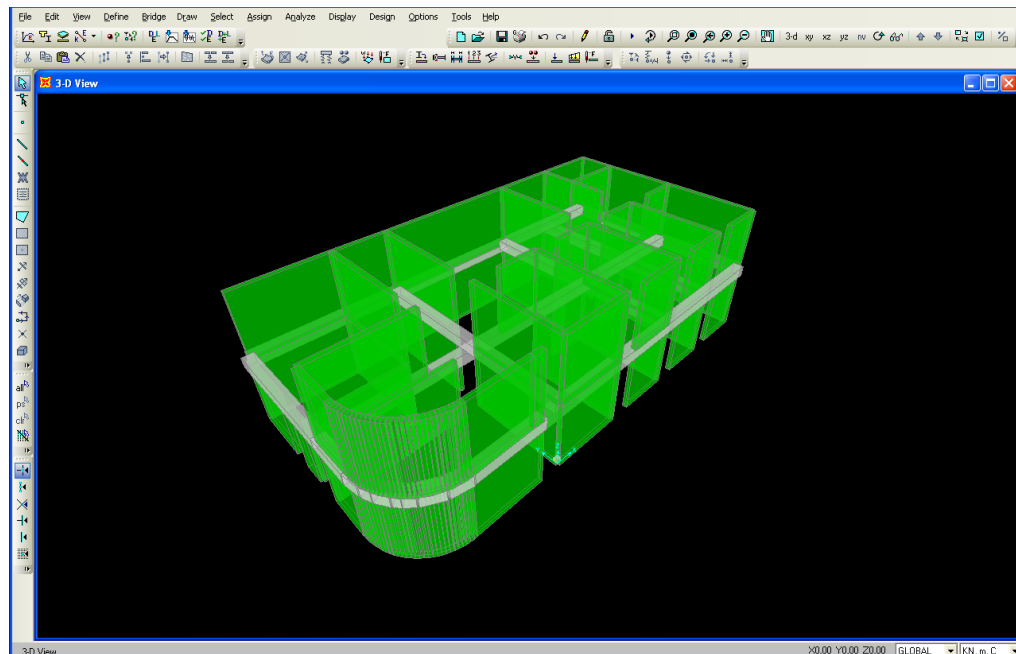
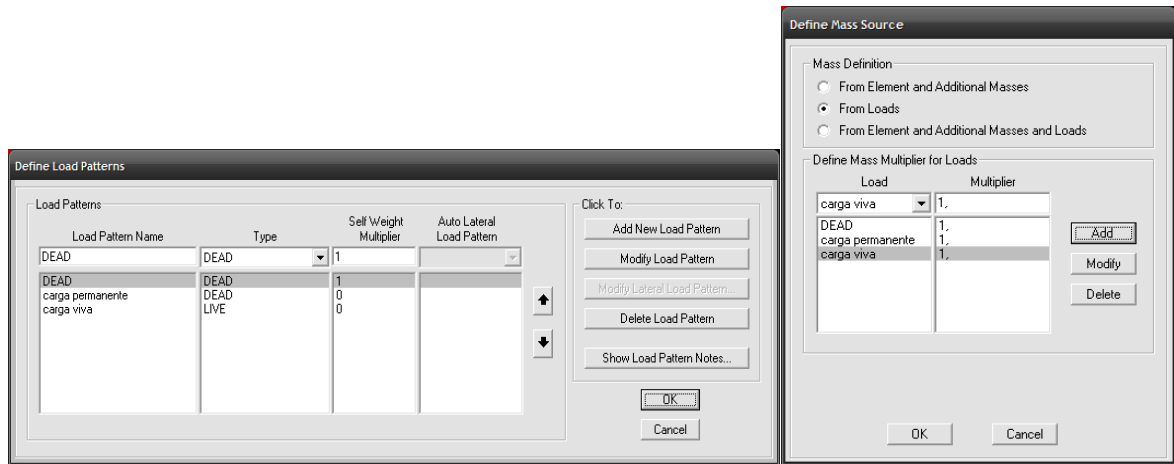


Figura 16. Estructura en 3D



- Luego de tener la estructura en 3D se procedió a introducir los patrones de carga con sus respectivos factores multiplicadores.

Figura 17. Introducción de los patrones y multiplicadores de carga

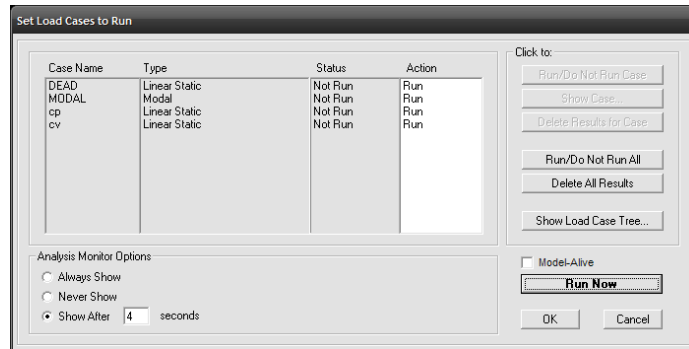


3.1.2 Asignación de cargas. Después de haber definido cada una de las propiedades de nuestros modelos, el siguiente paso es la asignación de cargas correspondiente a cada una de las muestras obtenidas, se llevo a cabo teniendo en cuenta el tipo de placa que tenia la vivienda y la cantidad de muros que no se habían puesto en el modelamiento de SAP (debido a que el programa solo analiza modelos que tengan continuidad en este caso de la mampostería).

En el caso de los muros que no se habían tomado en la programación del modelo, se hallaron por medio del volumen de cada muro, que multiplicado por la densidad de la mampostería se obtiene el valor de la masa ya teniendo la masa se obtiene la carga que aporta los muros a la placa, consecutivamente se halló la carga de cada placa (maciza o aligerada), con sus respectiva normativa y con el mayor cuidado de no causar alteraciones a la muestra y se termina transmitiendo las cargas a los pórticos, que se encuentran listos finalmente para su análisis y tabulación de resultados.

- El programase encuentra preparado para realizar el análisis modal.

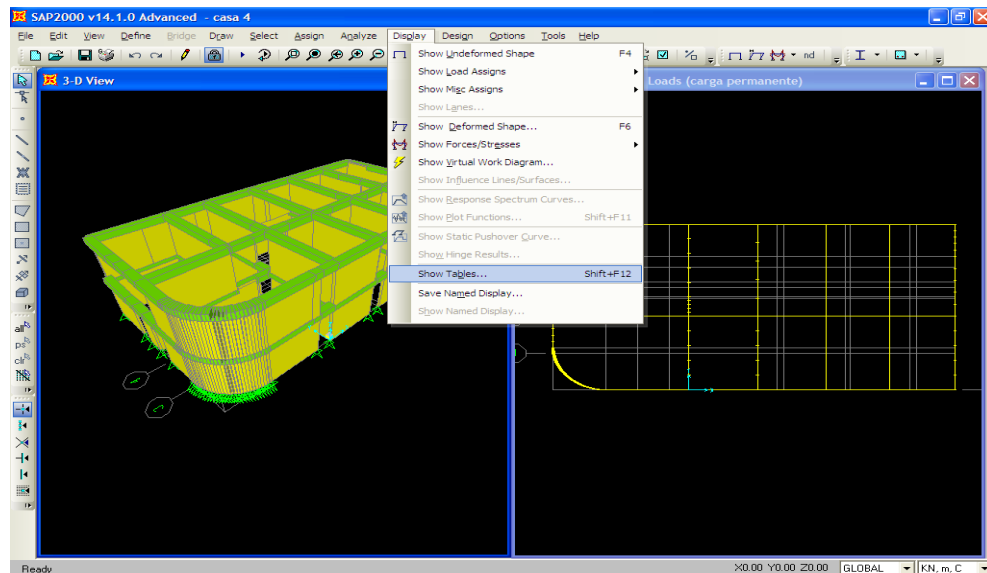
Figura 18. Asignación de cargas



3.1.3 Análisis modal. En este paso se remite a la depuración del programa, para después obtener los efectos, del programa es importante hallar los períodos para llevar a cabo la tabulación de resultados.

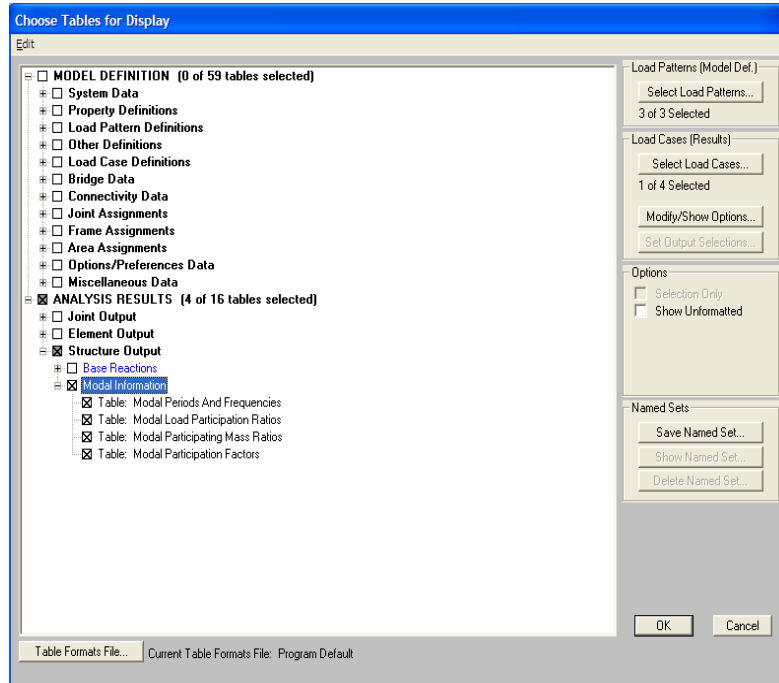
Después de depurado el programa se va a obtener las tablas del análisis modal, para ello se va a “display” – “show tables”.

Figura 19. Análisis modal



Seguidamente se va a “modal information”.

Figura 20. Información Modal



Después se procede a buscar la tabla que se llama “modalload participation ratios”, donde se observa si cumple con que la participación de la masa sea por lo menos el 90%.

Figura 21. Elaboración de tabla “Modal Load Participation Ratios”

Modal Load Participation Ratios					
File View Format-Filter-Sort Select Options					
Units: As Noted				Modal Load Participation Ratios	
	OutputCase Text	ItemType Text	Item Text	Static Percent	Dynamic Percent
▶	MODAL	Acceleration	UX	99.9745	99.5302
	MODAL	Acceleration	UY	99.9943	99.8239
	MODAL	Acceleration	UZ	98.444	91.2912

Posteriormente se busca la tabla de los períodos que se encuentra como “modal participatingmass ratios”.

Figura 22. Tabla de períodos

Modal Participating Mass Ratios

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Modal Participating Mass Ratios

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0.078857	0.00447	0.75354	0.00472	0.00447	0.75354
	MODAL	Mode	2	0.072764	0.02655	0.07841	0.01978	0.03102	0.83195
	MODAL	Mode	3	0.064534	0.58881	0.02007	0.00107	0.61983	0.85201
	MODAL	Mode	4	0.059671	0.26266	0.02759	0.000007744	0.8825	0.87961
	MODAL	Mode	5	0.042906	0.00334	0.01496	0.18786	0.88583	0.89457
	MODAL	Mode	6	0.037826	0.000003131	0.01169	0.0843	0.88584	0.90626
	MODAL	Mode	7	0.032575	0.01114	0.04487	0.00144	0.89698	0.95113
	MODAL	Mode	8	0.031499	0.0115	0.03441	0.13459	0.90848	0.98554
	MODAL	Mode	9	0.030407	0.00042	0.00334	0.00949	0.9089	0.98888
	MODAL	Mode	10	0.02879	0.00921	0.00437	0.09165	0.91811	0.99325
	MODAL	Mode	11	0.028439	0.03367	0.00003664	0.05243	0.95178	0.99329
	MODAL	Mode	12	0.027052	0.00123	0.00012	0.04953	0.95301	0.99341
	MODAL	Mode	13	0.026168	0.00744	0.0001	0.04569	0.96045	0.99351
	MODAL	Mode	14	0.025775	0.00004982	0.0000535	0.062	0.9605	0.99357
	MODAL	Mode	15	0.024674	0.00096	0.00013	0.07773	0.96146	0.9937
	MODAL	Mode	16	0.024117	0.00181	0.00152	0.00147	0.96327	0.99522
	MODAL	Mode	17	0.023609	0.02294	0.00059	0.0185	0.98622	0.99581
	MODAL	Mode	18	0.022737	0.00035	0.00081	0.00381	0.98656	0.99662
	MODAL	Mode	19	0.021715	0.00497	0.00059	0.0142	0.99154	0.9972
	MODAL	Mode	20	0.020628	0.00059	0.00004754	0.00019	0.99212	0.9975

Record: 1 of 30 Add Tables... Done

Con esta tabla finaliza la utilización del software se cursa a la tabulación de resultados y respectivas conclusiones.

De la presente tabla se verifica la participación de la masa paracada eje y se toma el período en cada dirección que contenga la mayor participación de esta.

Consecutivamente se varía el modulo de elasticidad en intervalos del 10% para cuantificar la sensibilidad de los períodos devibración de la mampostería.

Finalmente se realiza las graficas de variación del modulo de elasticidad vs el período principal de vibración en cada eje.

4. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EL ANÁLISIS

4.1 METODOLOGÍA Y DESARROLLO DEL ANÁLISIS

La metodología y desarrollo de este estudio define la manera como se realizara la construcción de herramientas para el análisis de estructuras de mampostería, es importante al momento de elegir la metodología con la que se va a trabajar tener claro los requerimientos del interesado y el factor tiempo en el desarrollo del proceso.

4.1.1 Método dinámico modal. La atención de técnicas más refinados como el estático y dinámico modal con métodos de espectro de respuesta, se demuestra ampliamente en construcciones de tipo residencial por su forma iterativa, pero se enfrentan a dificultades en el momento de llevar a cabo el modelado de la estructura especialmente por la irregularidad de la distribución de muros en planta, lo que no permite la definición de ejes y entorpece la subdivisión de marcos.

Un instrumento suficiente y estrecho se logra mediante marcos equivalentes, en que los muros se idealizan como columnas anchas, que son columnas equivalentes en el centro de los muros cuyas propiedades de inercia y área de cortante representan las deformaciones de flexión y cortante del muro.

El ajuste entre muros se produce mediante vigas equivalentes, que tienen una rigidez la flexión infinita en el tramo que queda dentro de la longitud del muro y el momento de inercia de la viga y la losa en cierto ancho equivalente ubicada en los tramos entre muros. se debe tener en cuenta la carga de balcones a la rigidez de la viga equivalente.

Mediante la utilización de programas de cómputo como el SAP, es posible resolver con cierta facilidad modelos refinados que consideren estos aspectos. Los

resultados de este análisis de este tipo han sido comprobados con aquellos obtenidos experimentalmente con pruebas de vibración ambiental y con la evidencia real del comportamiento ante sismos moderados. Los resultados en general son satisfactorios.

- **Ventaja.**El procedimiento puede emplearse en marcos planos o bien a un tipo tridimensional. Con este último se pueden concentrar muchos de los elementos que actúan en la respuesta sísmica como: balcones, vacíos, rampas de escaleras, sistema de piso, masas concentradas, etc. El método tolera hacer la distribución de fuerzas tomando en cuenta los efectos de torsión por rigidez y masa. Debido a que las deformaciones por cortante y por flexión favorecen a la contestación.

Hacia la determinación de las fuerzas por sismo se podrá ejecutar un análisis dinámico modal espectral, tomando en cuenta los efectos de torsión ocasionados por la excentricidad en rigidez y masa.

- **Desventaja.**Para la apropiada atención del procedimiento es importante tener presente sus restricciones, las cuales se describen a continuación:

-Excentricidad accidental reglamentaria. Si se procesa un patrón tridimensional la excentricidad accidental es arduo de tomarla en cuenta, solicita de un contiguo análisis haciendo variar un porcentaje de la masa que no está reglamentado. Como elección se puede añadir un equivalente en los entrepisos.

-Módulo de elasticidad E_m . La determinación incorrecta de las cuantificaciones E_m , módulo de elasticidad, logra llevar a una apreciación errada de la respuesta sísmica.

- Modelo. Teniendo en cuenta que un porcentaje de estructuras de mampostería, de 3 a 6 niveles, tienen períodos de vibración que conciernen a la rama subida de los espectros de diseño para la ciudad, es significativo hacer un patrón apropiado

que junte todos aquellos elementos que median en la respuesta, como es el caso de balcones, sistemas de piso.

5. ANÁLISIS DE DATOS

5.1 ANÁLISIS

5.1.1 Análisis de requerimientos. Para llevar a cabo este proceso es necesario que los modelos se encuentren perfectamente montados en el software SAP, es decir que el programa los depure correctamente y que se cumpla a cabalidad con el proceso, tenemos en cuenta lo siguiente:

- Los muros de mampostería deben ser continuos, es decir ir desde el primer piso.
- Los períodos deben ser coherentes, ósea que no sean negativos ni exageradamente grandes.
- La participación de la masa sea por lo menos un 90% como lo indica la norma NSR-10
- Para elegir correctamente el período representativo en cada dirección se escoge aquel donde la participación de masa del eje en estudio sea la mayor.

5.2 TABULACIÓN DE RESULTADOS

Para la tabulación de resultados se realizó graficas del modulo de elasticidad de La mampostería vs período principal de vibración en las direcciones “x” y “y”. En estas graficas se pretende cuantificar la variación del período de la estructura, en el modo donde la participación de la masa es mayor al realizar variaciones porcentuales sobre el modulo de elasticidad de la mampostería.

A continuación se presentan las graficas de las estructuras especificando su sistema constructivo.

5.2.1 Casa 1

Tabla 1. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	pórtico
ALTURA DE PISO	2.35m
TIPO DE PLACA	aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.25m
ESPESOR DE MUROS	0.15m

Tabla 2. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARTICIPACION DE LA MASA	% VARIACIÓN TX
0	0.8817	0.45	
70	0.0694	0.34	14.5
80	0.0658	0.30	8.55
90	0.0615	0.25	1.41
100	0.0606	0.30	0
110	0.0569	0.33	6.05
120	0.0550	0.31	9.21
130	0.0534	0.26	11.8

Gráfico1. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

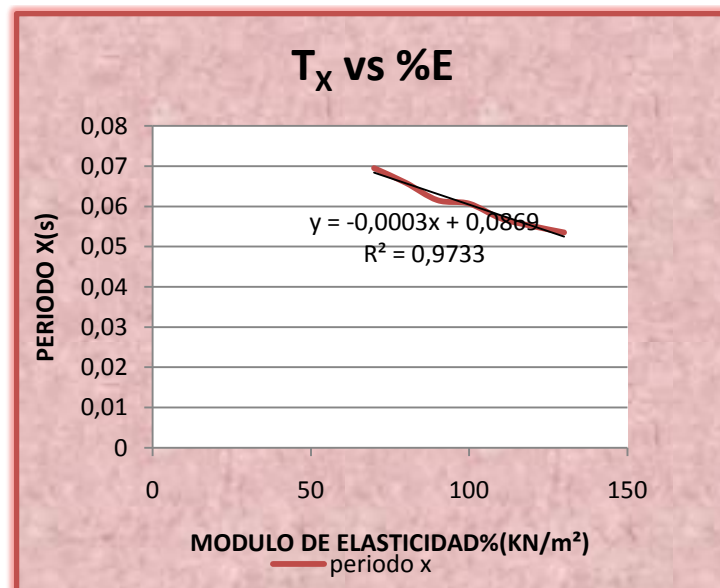
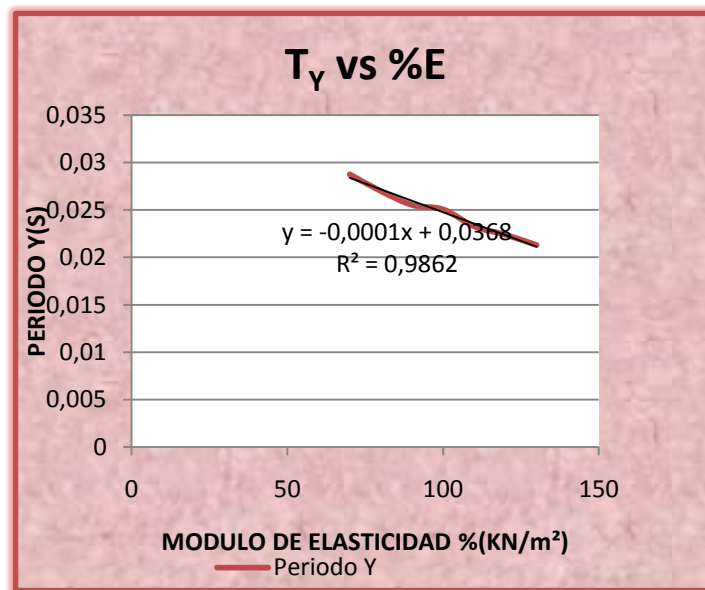


Tabla3. Período de vibración (Y) vs.Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARTICIPACION DE LA MASA	% VARIACIÓN TY
0	0.8817	0.37	
70	0.0287	0.42	14.7
80	0.0269	0.40	7.69
90	0.0255	0.38	1.85
100	0.0250	0.42	0
110	0.0232	0.29	7.18
120	0.0223	0.21	10.6
130	0.0212	0.23	15.03

Gráfico2. Período de vibración (Y) vs Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.2 Casa 2

Tabla 4. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	semi-pórtico
ALTURA DE PISO	2.42m
TIPO DE PLACA	maciza
ESPESOR DE PLACA	0.15m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla5. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARTICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TX
0	0.8713	0.62	
70	0.0775	0.46	12.8
80	0.0742	0.48	7.91
90	0.0713	0.49	3.68
100	0.0687	0.49	0
110	0.0665	0.49	3.21
120	0.0646	0.48	6.05
130	0.0629	0.46	8.55

Gráfico3. Período de vibración (X) Módulo de elasticidad de la mampostería.

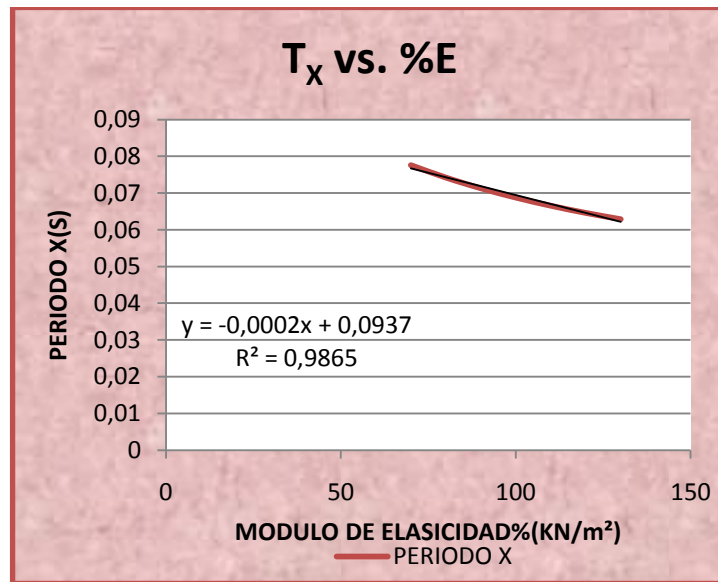
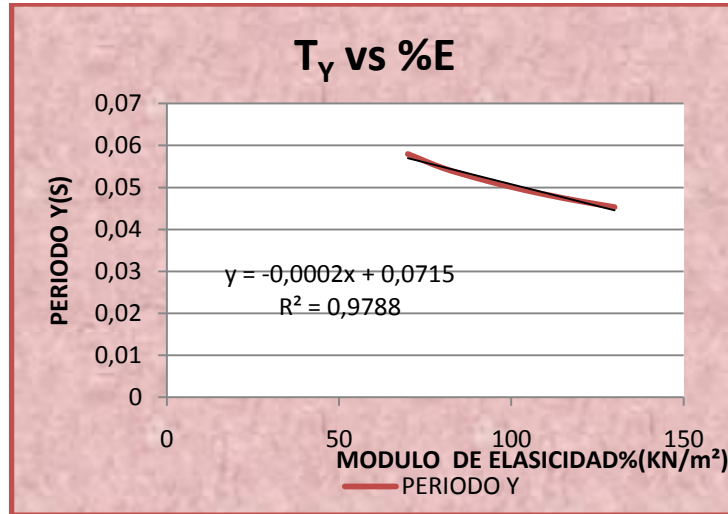


Tabla6. Período de vibración (Y) Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARTICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TY
0	0.5469	0.98	
70	0.0579	0.57	15.7
80	0.0546	0.54	9.13
90	0.0522	0.55	4.21
100	0.0501	0.52	0
110	0.0483	0.49	3.63
120	0.0467	0.46	6.80
130	0.0453	0.43	9.60

Gráfico4. Período de vibración (Y) Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.3 Casa 3

Tabla 7. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	pórtico
ALTURA DE PISO	2.35
TIPO DE PLACA	aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.20m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla 8. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TX
0	0.9907	0.96	
70	0.0733	0.49	14.9
80	0.0698	0.53	9.41
90	0.0666	0.54	4.42
100	0.0638	0.54	0
110	0.0613	0.54	3.92
120	0.0590	0.54	7.41
130	0.0570	0.53	10.5

Gráfico 5. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

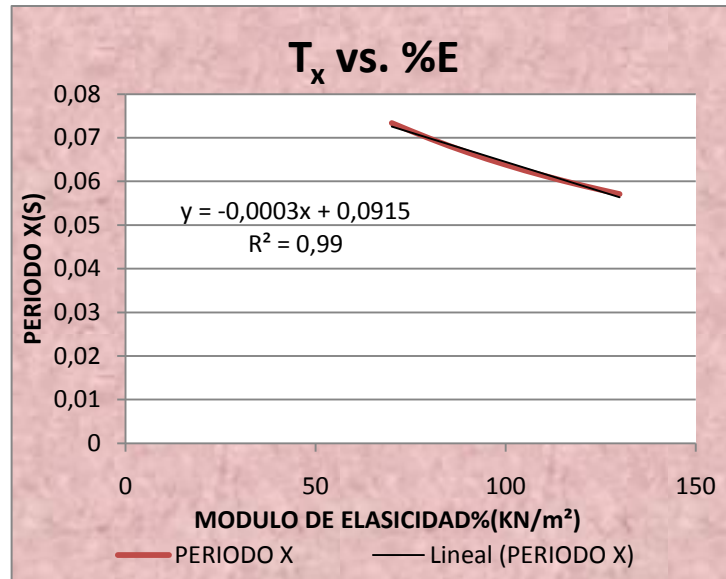
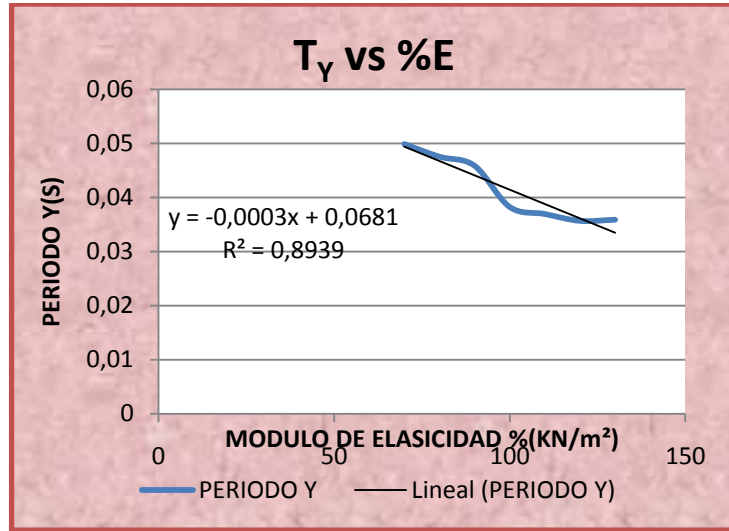


Tabla 9. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TY
0	1.0175	0.99	
70	0.0498	0.60	30.3
80	0.0475	0.53	24.2
90	0.0458	0.43	19.8
100	0.0382	0.38	0
110	0.0369	0.35	3.41
120	0.0356	0.30	6.72
130	0.0359	0.37	6.16

Gráfico 6. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.4 Casa 4

Tabla 10. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	mampostería inconfínada
ALTURA DE PISO	2.6
TIPO DE PLACA	aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.35m
ESPESOR DE MUROS	0.15m

Tabla 11. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TX
0	0	0	
70	0.0871	0.57	21.5
80	0.0822	0.53	14.6
90	0.0785	0.41	9.53
100	0.0717	0.37	0.0
110	0.0692	0.50	3.45
120	0.0667	0.56	6.86
130	0.0645	0.58	10.0

Gráfico 7. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

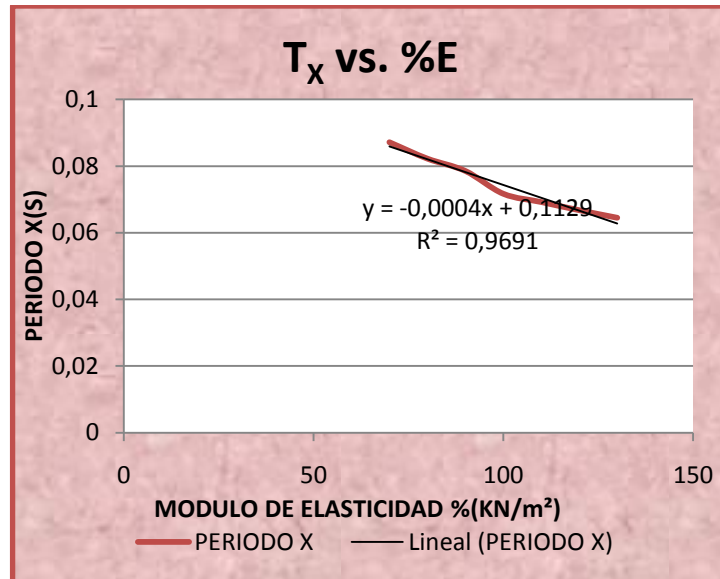
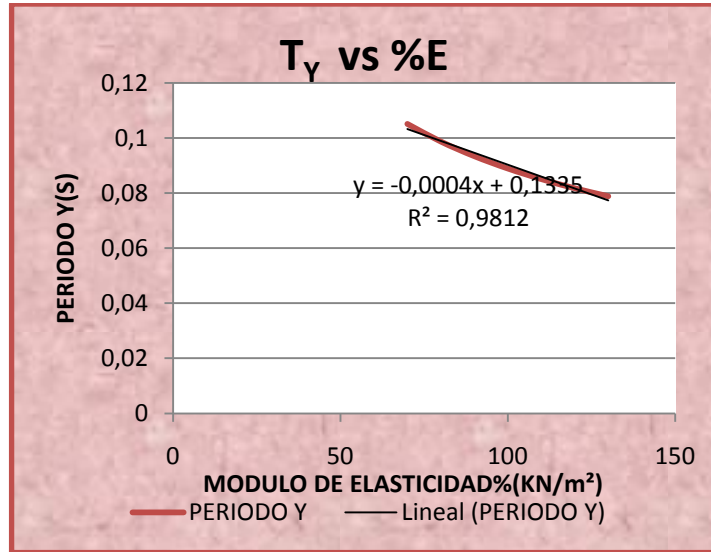


Tabla 12. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACIONTY
0	0	0	
70	0.1051	0.82	18.2
80	0.0987	0.82	11.0
90	0.0933	0.81	5.04
100	0.0889	0.81	0
110	0.0850	0.80	4.31
120	0.0817	0.78	8.06
130	0.0788	0.75	11.3

Gráfico 8. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.5 Casa 5

Tabla 13. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Pórtico
ALTURA DE PISO	2.38
TIPO DE PLACA	aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.27m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla 14. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION T X
0	0.5855	0.88	
70	0.1361	0.60	16.9
80	0.1278	0.53	9.85
90	0.1218	0.64	4.66
100	0.1164	0.64	0
110	0.1116	0.64	4.07
120	0.1074	0.63	7.66
130	0.1040	0.33	10.6

Gráfico 9. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

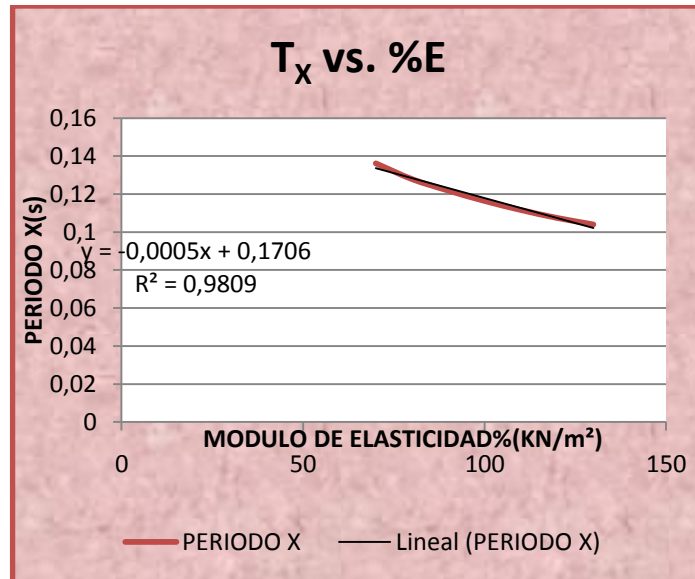
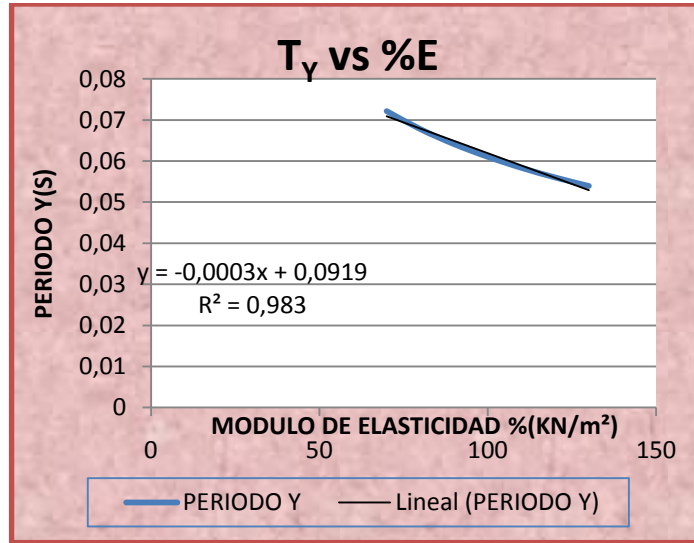


Tabla 15. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION T Y
0	0.65976	0.96	
70	0.0721	0.89	18.2
80	0.0677	0.89	11.0
90	0.0641	0.89	5.08
100	0.0610	0.89	0
110	0.0583	0.88	4.39
120	0.0560	0.88	8.23
130	0.0539	0.88	11.6

Gráfico 10. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.6 Casa 6

Tabla 16. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Pórtico
ALTURA DE PISO	2.35
TIPO DE PLACA	aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.25m
ESPESOR DE MUROS	0.15m

Tabla 17. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TX
0	1.1134	0.60	
70	0.1278	0.41	12.9
80	0.1223	0.42	7.99
90	0.1174	0.43	3.73
100	0.1132	0.43	0
110	0.1094	0.43	3.33
120	0.1060	0.41	6.34
130	0.1029	0.10	9.10

Gráfico 11. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

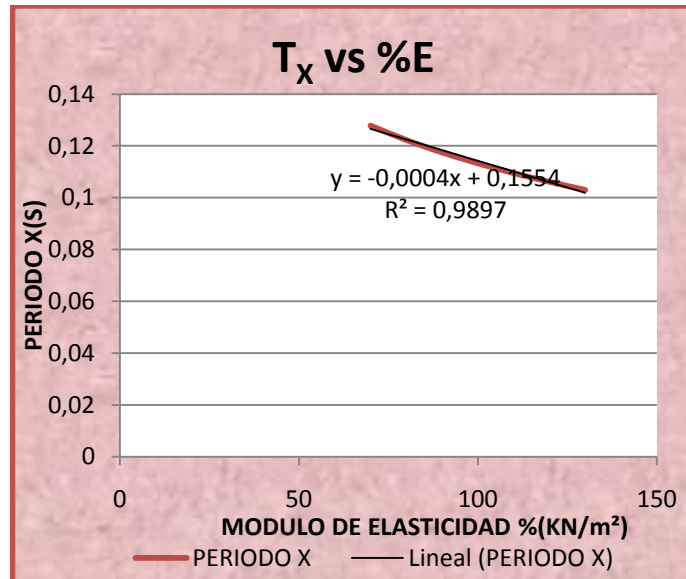
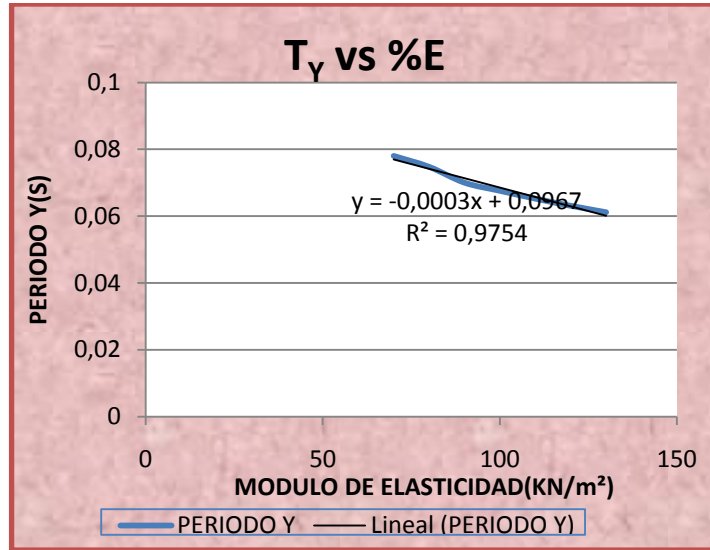


Tabla 18. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TY
0	1.0741	0.75	
70	0.0780	0.45	15.5
80	0.0747	0.36	10.6
90	0.0700	0.40	3.60
100	0.0675	0.50	0
110	0.0652	0.53	3.46
120	0.0630	0.54	6.63
130	0.0611	0.54	9.49

Gráfico 12. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.7 Casa 7

Tabla 19. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Pórtico
ALTURA DE PISO	2.4
TIPO DE PLACA	aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.35m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla 20. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TX
0	0.6870	0.93	
70	0.1221	0.29	14.0
80	0.1165	0.33	8.75
90	0.1115	0.35	4.09
100	0.1071	0.35	0
110	0.1033	0.35	3.58
120	0.0999	0.34	6.74
130	0.0969	0.32	9.52

Gráfico13. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

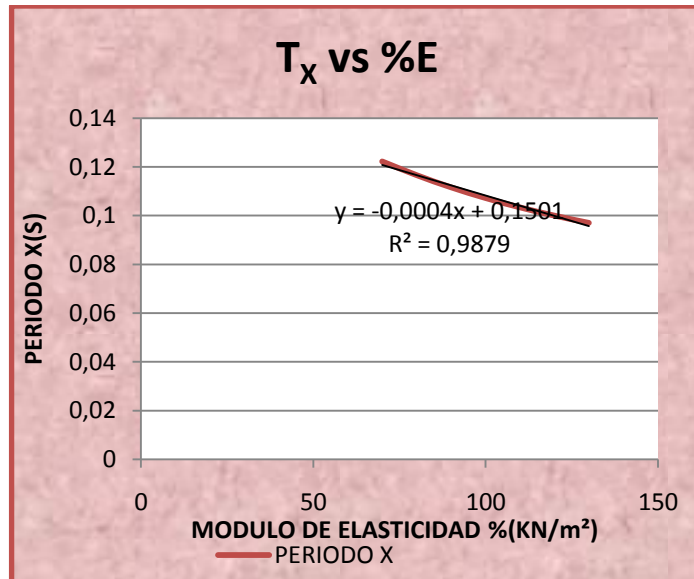
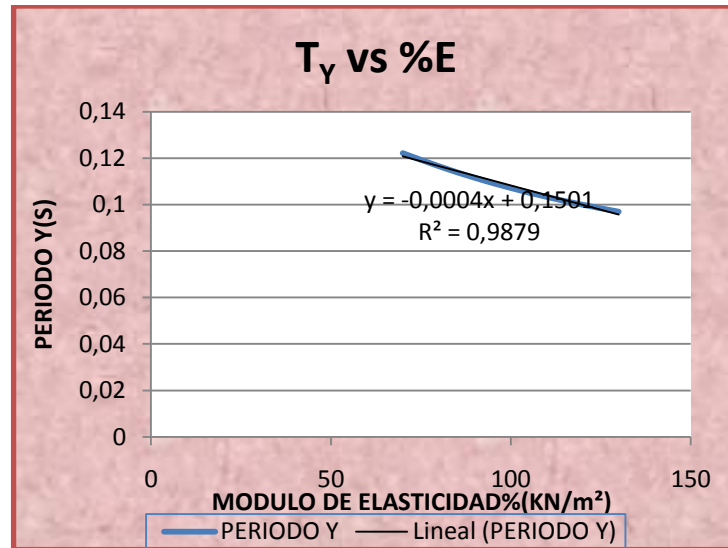


Tabla 21. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TY
0	0.9219	0.95	
70	0.1221	0.28	14.0
80	0.1165	0.29	8.75
90	0.1115	0.28	4.09
100	0.1071	0.28	0
110	0.1033	0.27	3.58
120	0.0999	0.26	6.74
130	0.0969	0.25	9.52

Gráfico14. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.8 Casa 8

Tabla 22. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Semipórtico
ALTURA DE PISO	2.4
TIPO DE PLACA	Maciza
ESPESOR DE PLACA	0.15m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla23. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TX
0	0.6769	0.97	
70	0.0700	0.63	17.0
80	0.0661	0.81	10.5
90	0.0627	0.79	4.95
100	0.0598	0.78	0
110	0.0573	0.80	4.11
120	0.0551	0.80	7.74
130	0.0532	0.79	10.9

Gráfico 15. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

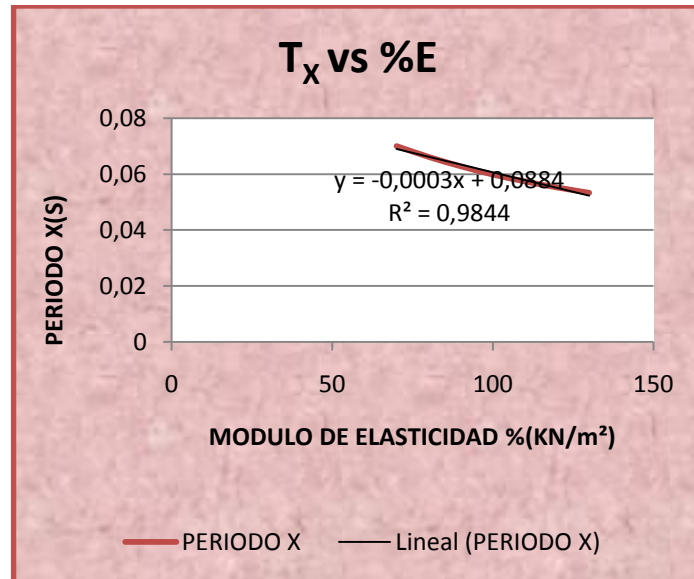
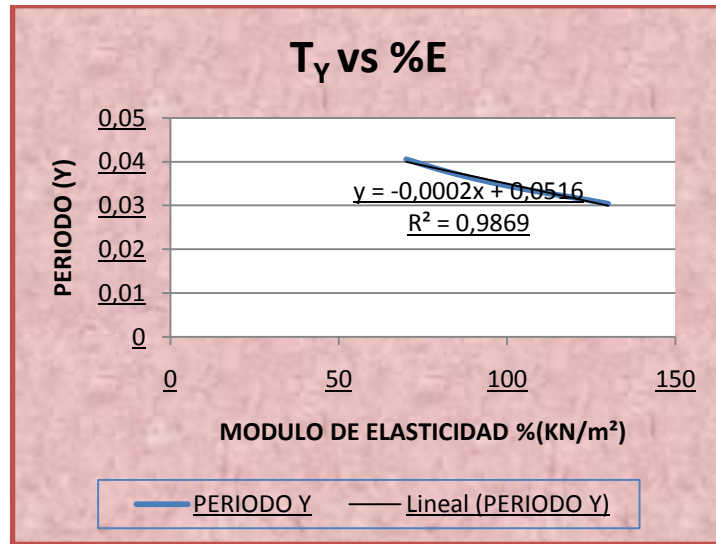


Tabla24. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería .

%E	PERIODO Y	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TY
0	0.5954	0.98	
70	0.0405	0.46	17.6
80	0.0382	0.47	10.7
90	0.0362	0.48	4.93
100	0.0345	0.49	0
110	0.0330	0.49	4.26
120	0.0317	0.48	7.96
130	0.0303	0.43	12

Gráfico 16. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.9 Casa 9

Tabla 26. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Pórtico
ALTURA DE PISO	2.5
TIPO DE PLACA	aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.3m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla 27. Período de vibración (X) de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TX
0	1.0730	0.93	
70	0.1647	0.54	11.9
80	0.1578	0.52	7.21
90	0.1520	0.49	3.29
100	0.1472	0.46	0
110	0.1430	0.43	2.82
120	0.1394	0.40	5.28
130	0.1362	0.36	7.47

Gráfico 17. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

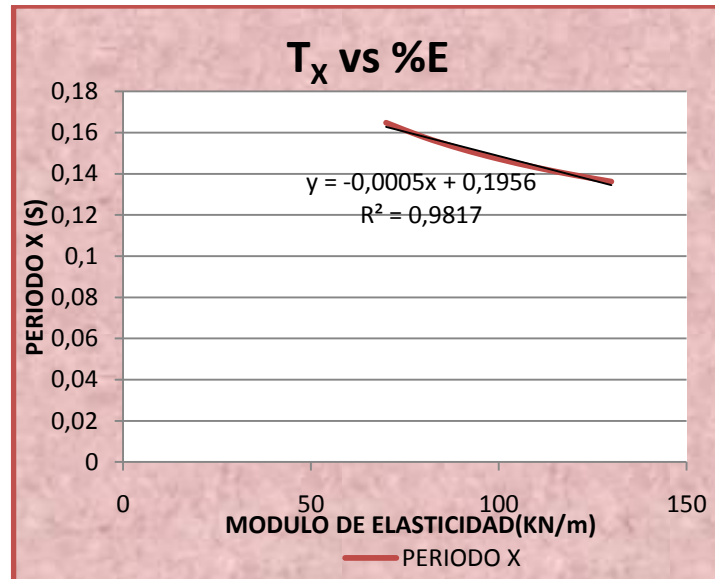


Tabla28. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TY
0	0.8904	0.93	
70	0.0927	0.82	16.5
80	0.0876	0.81	10.0
90	0.0832	0.81	4.65
100	0.0795	0.80	0
110	0.0763	0.80	4.04
120	0.0735	0.79	7.61
130	0.0710	0.79	10.8

Gráfico 18. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.10 Casa 10

Tabla 29. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Pórtico
ALTURA DE PISO	2.5
TIPO DE PLACA	aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.3m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla 30. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TX
0	1.155814	0.96182	
70	0.158082	0.50449	12.6
80	0.151433	0.55502	7.93
90	0.145541	0.58787	3.73
100	0.140305	0.60988	0
110	0.135624	0.62518	3.33
120	0.131413	0.63617	6.33
130	0.127598	0.6443	9.05

Gráfico 19. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

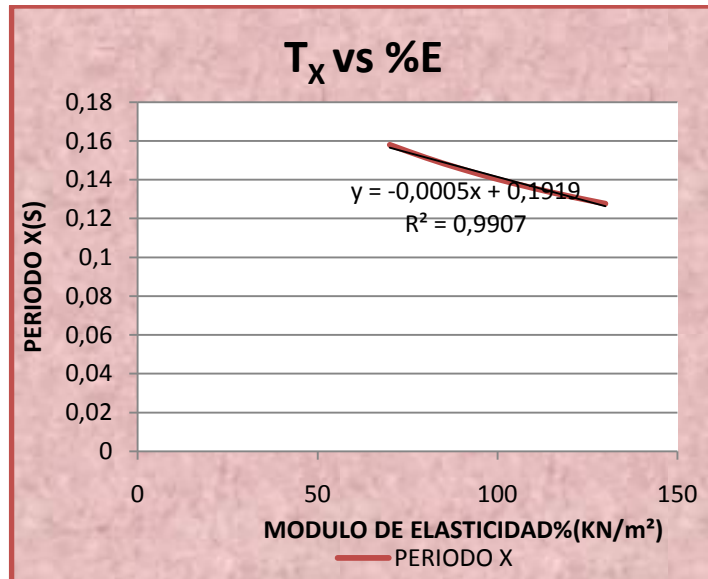
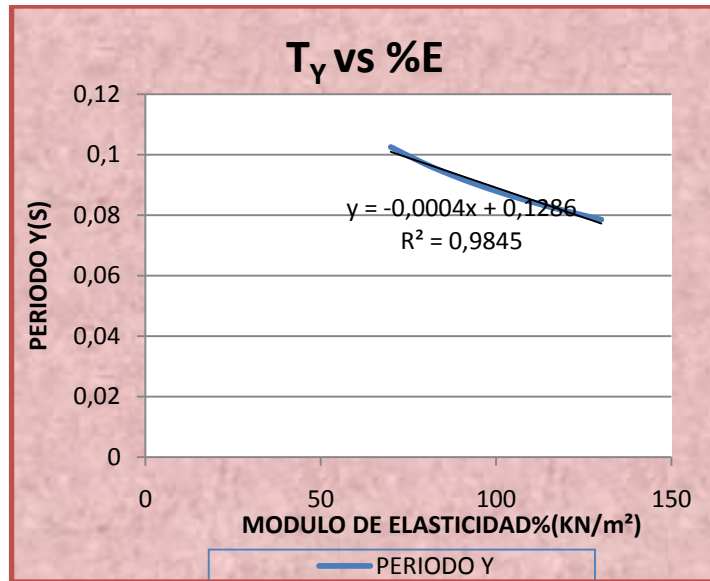


Tabla31. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TY
0	1.0474	0.97	
70	0.1025	0.79	16.5
80	0.0968	0.79	10.0
90	0.0920	0.78	4.63
100	0.0879	0.78	0
110	0.0844	0.77	4.02
120	0.0813	0.75	7.54
130	0.0785	0.72	10.7

Gráfico 20. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.11 Casa 11

Tabla 32. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Semi-Pórtico
ALTURA DE PISO	2.35
TIPO DE PLACA	maciza
ESPESOR DE PLACA	0.15m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla 34. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARICIPACIONDE LA MASA	VARIACION TX %
0	0.5323	0.99	
70	0.0693	0.69	17.9
80	0.0652	0.69	10.8
90	0.0617	0.69	5.00
100	0.0588	0.69	0
110	0.0562	0.69	4.32
120	0.0540	0.68	8.11
130	0.0520	0.68	11.4

Gráfico 21. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

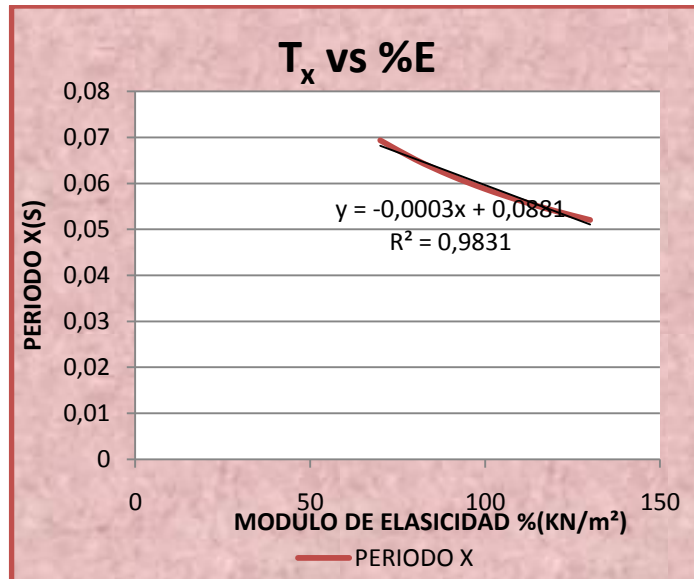
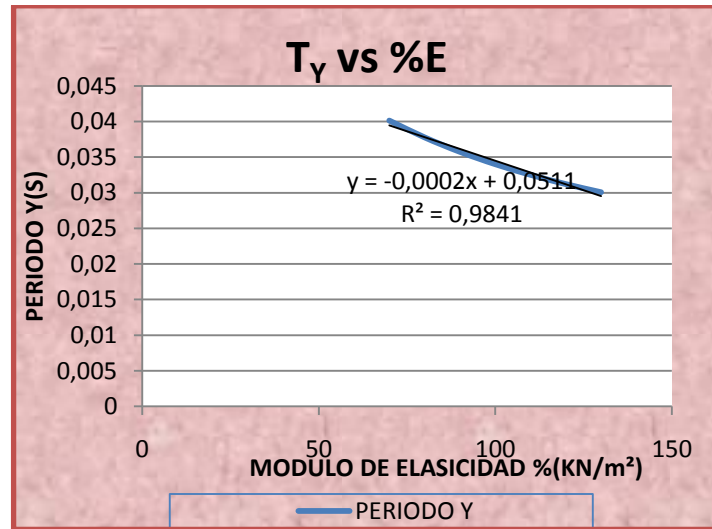


Tabla35. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARICIPACIONDE LA MASA	VARIACION TY%
0	0.6004	0.99	
70	0.0401	0.53	17.9
80	0.0377	0.58	11.0
90	0.0357	0.58	5.08
100	0.0340	0.57	0
110	0.0325	0.54	4.38
120	0.0312	0.51	8.20
130	0.0300	0.45	11.5

Gráfico 22. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.12 Casa 12

Tabla 36. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Semipórtico
ALTURA DE PISO	2.35
TIPO DE PLACA	maciza
ESPESOR DE PLACA	0.15m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla 37. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TX
0	0.4756	0.82	
70	0.0803	0.39	16.9
80	0.0748	0.70	9.11
90	0.0714	0.69	4.03
100	0.0686	0.50	0
110	0.0648	0.59	5.57
120	0.0626	0.70	8.79
130	0.0605	0.73	11.8

Gráfico 23. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

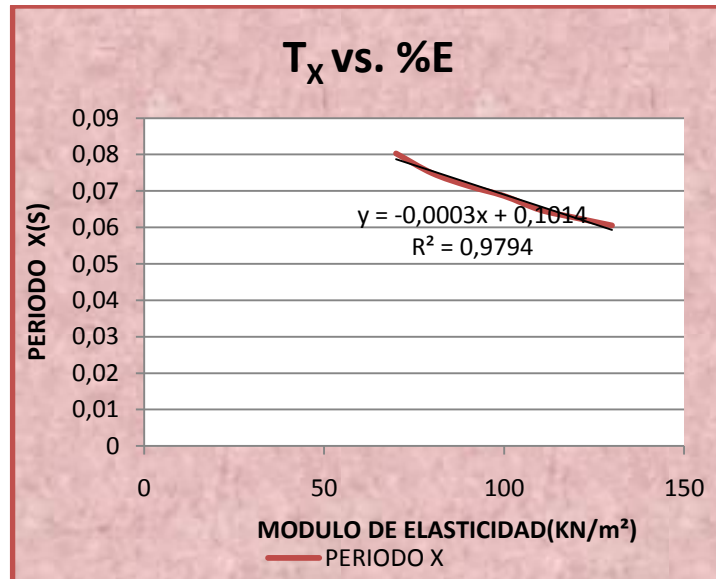
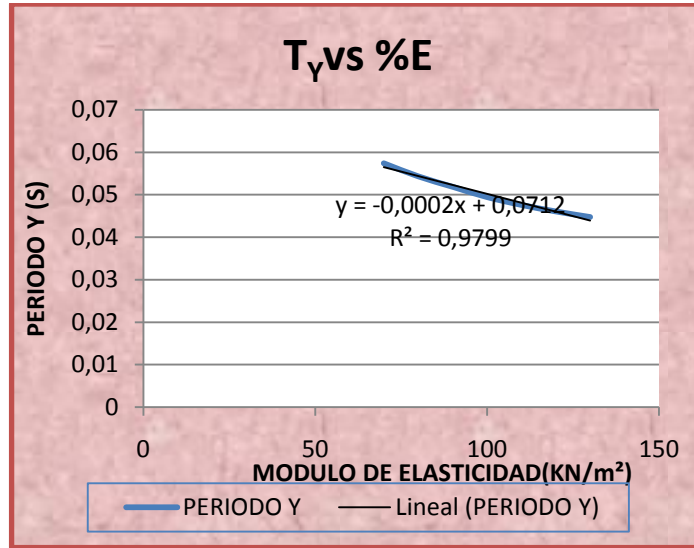


Tabla 38. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TY
0	0.4809	0.90	
70	0.0574	0.75	16.0
80	0.0543	0.72	9.87
90	0.0518	0.62	4.89
100	0.0494	0.46	0
110	0.0476	0.64	3.74
120	0.0460	0.62	6.84
130	0.0447	0.57	9.51

Gráfico 24. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.13 Casa 13

Tabla 39. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Semipórtico
ALTURA DE PISO	2.4
TIPO DE PLACA	maciza
ESPESOR DE PLACA	0.15m
ESPESOR DE MUROS	0.15m

Tabla 40. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TX
0	0.4102	0.81	
70	0.0397	0.57	18.5
80	0.0372	0.55	11.2
90	0.0352	0.52	5.16
100	0.0335	0.51	0
110	0.0320	0.49	4.45
120	0.0307	0.48	8.34
130	0.0295	0.46	11.8

Gráfico 25. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

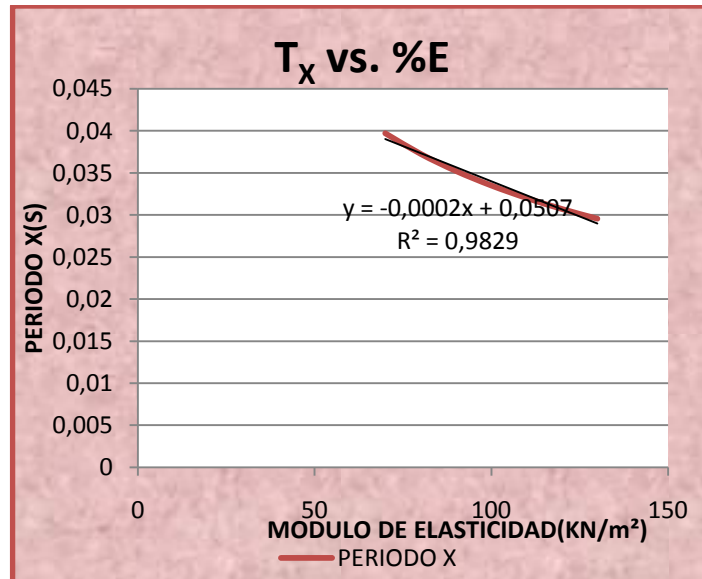
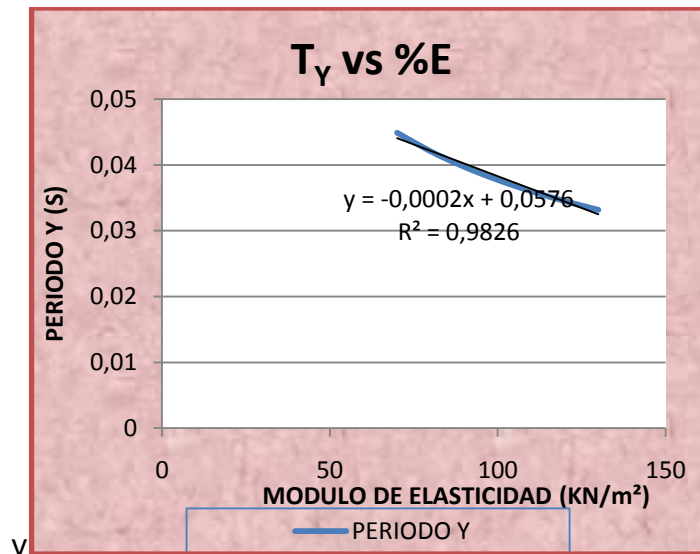


Tabla 41. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARTICIPACION DE LA MASA	%VARIACION TY
0	0.3563	0.86	
70	0.0448	0.42	19.0
80	0.0420	0.43	11.5
90	0.0397	0.44	5.28
100	0.0377	0.44	0
110	0.0359	0.45	4.55
120	0.0344	0.45	8.53
130	0.0331	0.46	12.0

Gráfico 26. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.14 Casa 14

Tabla 42. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Pórtico
ALTURA DE PISO	2.63
TIPO DE PLACA	Aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.20m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla 43. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TX
0	0.8594	0.93	
70	0.0803	0.39	16.9
80	0.0748	0.70	9.11
90	0.0714	0.69	4.03
100	0.0686	0.50	0
110	0.0648	0.59	5.58
120	0.0626	0.70	8.79
130	0.0605	0.73	11.8

Gráfico 27. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

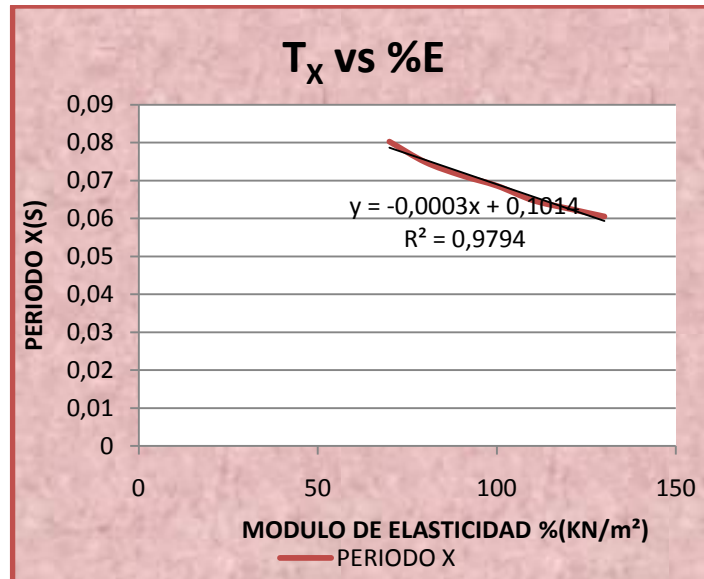
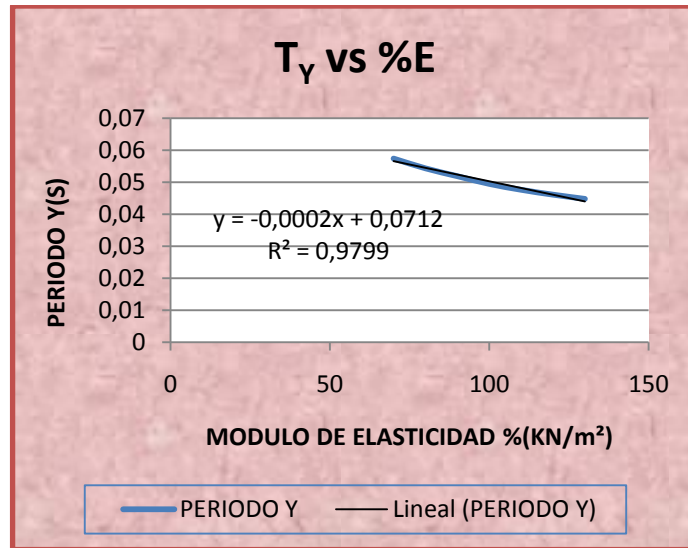


Tabla 44. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TY
0	1.1351	0.96	
70	0.0574	0.75	16.0
80	0.0543	0.73	9.87
90	0.0518	0.62	4.89
100	0.0494	0.46	0
110	0.0476	0.64	3.74
120	0.0460	0.62	6.84
130	0.0447	0.57	9.51

Gráfico28. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.15 Casa 15

Tabla 45. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Pórtico
ALTURA DE PISO	2.35
TIPO DE PLACA	Aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.15m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla46.Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARTICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TX
0	0.1794	0.99	
70	0.0838	0.46	13.6
80	0.0800	0.47	8.45
90	0.0767	0.48	3.95
100	0.0738	0.49	0
110	0.0712	0.49	3.50
120	0.0689	0.49	6.63
130	0.0668	0.50	9.45

Gráfico 29. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

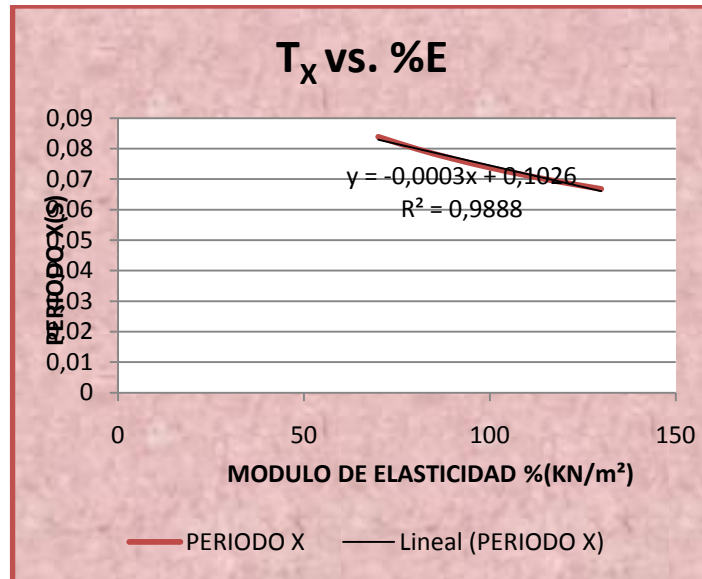
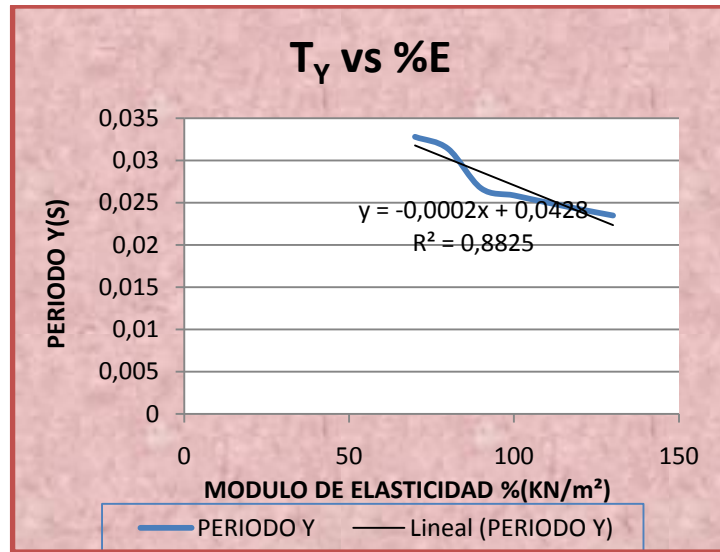


Tabla 47. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARTICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TY
0	0.1509	0.75	
70	0.0328	0.43	26.8
80	0.0313	0.38	21.3
90	0.0267	0.31	3.27
100	0.0258	0.42	0
110	0.0250	0.49	3.26
120	0.0242	0.54	6.34
130	0.0234	0.56	9.21

Gráfico30. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



5.2.16 Casa 16

Tabla 48. Características

SISTEMA CONSTRUCTIVO	Pórtico
ALTURA DE PISO	2.35
TIPO DE PLACA	Aligerada
ESPESOR DE PLACA	0.20m
ESPESOR DE MUROS	0.10m

Tabla 49. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO X	PARICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TX
0	1.0558	0.68	
70	0.0760	0.70	17.5
80	0.0717	0.66	10.9
90	0.0677	0.61	4.69
100	0.0647	0.70	0
110	0.0620	0.71	4.18
120	0.0596	0.71	7.87
130	0.0575	0.71	11.1

Gráfico 31. Período de vibración (X) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

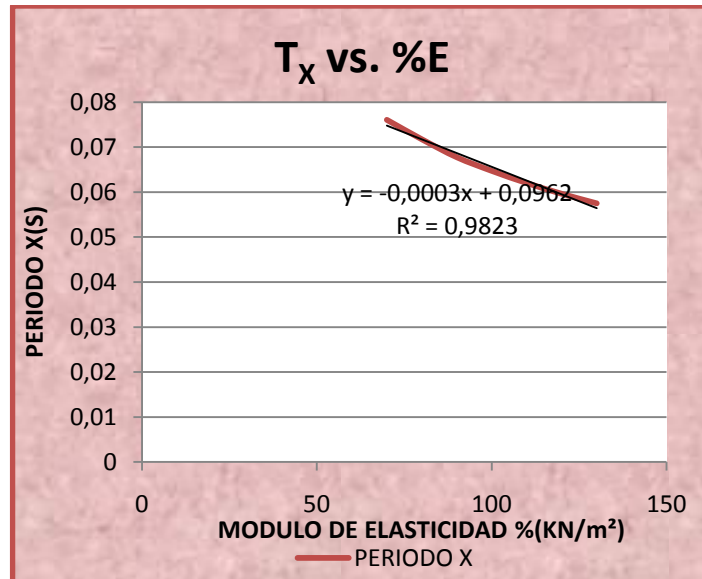
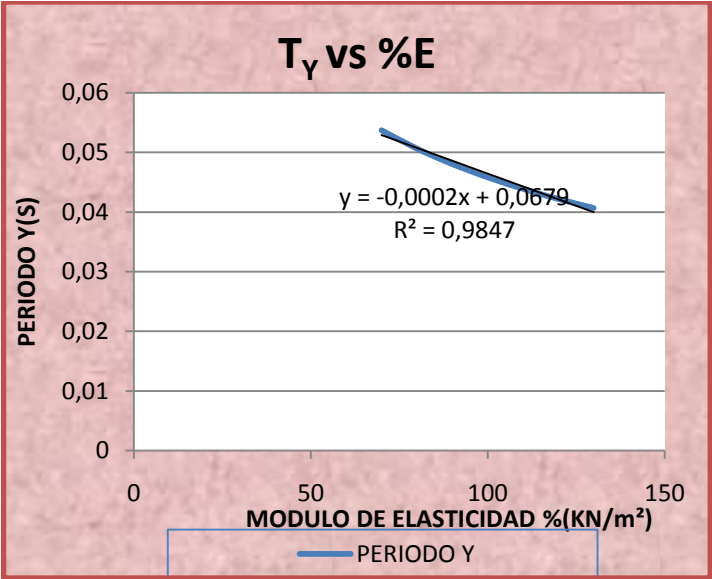


Tabla 50. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.

%E	PERIODO Y	PARICIPACION DE LA MASA	% VARIACION TY
0	1.0187	0.89	
70	0.0537	0.47	17.2
80	0.0506	0.45	10.5
90	0.0480	0.44	4.85
100	0.0458	0.42	0
110	0.0439	0.41	4.22
120	0.0422	0.40	7.93
130	0.0406	0.38	11.2

Gráfico32. Período de vibración (Y) vs. Módulo de elasticidad de la mampostería.



6. PRUEBAS Y PROBLEMAS DEL DESARROLLO

6.1 PRUEBAS DEL MODELAMIENTO

Se realizaron pruebas al modelamiento, para garantizar que el proceso cumpliera con todos los requisitos, se tomaron primero las pruebas del modelamiento incluyendo muros discontinuos y se observa que el modelo depura bien pero los periodos que proporciona son negativos o salidos de contexto (exageradamente altos).

Se probó también las muestras con diferentes módulos de elasticidad, finalmente se decidió manejar el módulo de 3000000 KN/m^2 , ya que los módulos encontrados en ensayos pasados variaban entre 3000000 - 5000000 KN/m^2 . Se trabajó con el mínimo variándolo en intervalos del 10% (se tomaron 6 datos, teniendo como referencia el 3000000 , 3 ascendiendo y viceversa), ya que se efectuó con el mínimo y su respuesta es satisfactoria, indiscutiblemente cumplirá con los demás valores incluidos en el rango.

6.2 PROBLEMAS DURANTE EL DESARROLLO

6.2.1 Cambio de la metodología a utilizar. Inicialmente el proyecto tenía una finalidad enfocada hacia la sismicidad, pero se dio un cambio debido a que la herramienta principal a utilizar fue de difícil acceso ya que en el tiempo en el que el proyecto se llevó a cabo, el acelerógrafo K2 no se pudo configurar, en ese momento se cambió el objetivo del proyecto llevándolo hacia una visión más encaminada hacia el aporte que produce la mampostería en el análisis estructural y los beneficios que brinda la misma.

6.2.2 Adquirir y reconocer las muestras. El recurso principal del proyecto era conseguir cierto número de viviendas, que fueran de mampostería, y demás

requerimientos, cuando se lleva a cabo el primer paso que es encontrar las edificaciones se conto con varios inconvenientes como:

- Permiso de acceso a la vivienda
- Encontrar varias viviendas en un mismo sector
- En el caso de arrendamientos hablar con el dueño y el arrendatario para poder acceder a todas las plantas de la casa

En el momento del reconocimiento de la vivienda fue difícil acceder a todos los lugares de la vivienda, por motivos como que habían utensilios muy grandes y se intentaba incomodar lo menos posible a las personas que amablemente permitieron la entrada a sus viviendas para eso se obtuvo un metro electrónico que pudiera llegar medir todos los sitios de difícil acceso.

También se obstaculizo la toma exacta de muros, columnas y vigas, tipos de placa ya que en varias viviendas no estaban a la vista o tenían grandes recubrimientos. En estos casos se hizo la búsqueda de los elementos estructurales más compleja y tomo más tiempo hacer el levantamiento que en las demás muestras.

6.2.3 Participación de masa. En el momento de llevar a cabo el modelamiento de las estructuras, el programa trae una configuración en MODAL para que revele 12 periodos, se exige que la participación de la masa sea de por lo menos el 90%, pero con 12 periodos no se lograba esta participación. Para lograr que la participación sea la necesaria se tomaron de 30 periodos mínimo y un máximo de 50 para que cumplieran todas las edificaciones.

7. CONCLUSIONES

- Se realizó satisfactoriamente la visita a las edificaciones, donde se tomó los datos de su geometría.
- Se realizaron los planos arquitectónicos de las viviendas, utilizando el programa AUTOCAD.
- Se modelaron las edificaciones en el software SAP.
- Se ejecutó el análisis modal de las estructuras, donde se verificó los períodos de vibración de éstas, teniendo en cuenta la cantidad de modos de vibración que me representen una participación de masa superior al 90%, como lo exige la norma sismo resistente colombiana NSR 10.
- Se hallaron los períodos principales sobre el eje X y el eje Y, partiendo de la participación de masa que se presenta en cada eje, para alcanzar este objetivo, se identificó en las tablas de participación de masa que el software SAP nos facilita.
- Se realizó una variación en el módulo de elasticidad de la mampostería y se estudio el comportamiento mediante graficas de modulo de elasticidad vs, período principal de vibración en el eje X y en el eje Y. los datos arrojados, nos permitieron concluir que el comportamiento de la mampostería sobre los períodos se pueden linealizar arrojando valores del factor de regresión muy cercanos a 1.
- Se cuantificó la variación del período en cada estructura como se muestra en las tablas de los períodos de cada estructura.
- Se pudo concluir que si se realiza un proceso constructivo adecuado y siguiendo los planteamientos de la norma sismo resistente colombiana NSR10, se

podrían disminuir considerablemente los períodos de vibración de las estructuras, significando esto una disminución considerable en las derivas de la estructura. Este estudio también pretende resaltar la importancia de realizar estudios detallados de cada elemento que conforma una estructura, ya que en los modelos estructurales que se realizan actualmente se desprecian algunos parámetros que aportan resistencia a las estructuras, como la mampostería en este caso, esto conlleva a un sobre diseño de las edificaciones, que significa pérdidas de dinero debido al sobre diseño estructural.

- Se resalta la importancia de realizar estudios de las propiedades de los materiales utilizados en la construcción, para caracterizarlos, comprender su comportamiento y aprovechar sus propiedades físicas y mecánicas en los modelos utilizados en el análisis de estructuras. Con estos estudios, se podrían replantear los factores de seguridad que se muestran en la norma sísmica resistente Colombiana NSR 10, disminuyendo los valores, debido a que se tiene un modelo matemático más parecido a la realidad
- Se logró realizar la primera fase del estudio detallado de la mampostería sobre edificaciones construidas, y se aportó los modelos al grupo de investigación INME para futuros estudios sobre el comportamiento de la mampostería sobre estas estructuras.

BIBLIOGRAFÍA

Análisis sísmico de edificios [en línea]. [Quito-Ecuador]: análisis dinámico [consultado el 02 de abril 2011]. Disponible en [www.espe.edu.ec/portal/files/libros/ANALISIS SISMICO DE EDIFICIOS.pdf](http://www.espe.edu.ec/portal/files/libros/ANALISIS_SISMICO_DE_EDIFICIOS.pdf)/>. Brinda documentación sobre el análisis modal, periodo fundamental.

Análisis, revisión y detallado de estructuras de mampostería [en línea]. [México, D.F]: clasificación de muros de mampostería [consultado el 11 de marzo 2011].disponible en www.capac.org/web/porals/0/biblioteca_virtual/doc002/>. Ofrece información acerca de los muros de mampostería su clasificación y métodos que pueden ser utilizados para su análisis.

Fundamentos del análisis dinámico de estructuras [en línea]. [Lima-Perú]: Principios computacionales [consultado el 06 de mayo 2011].Disponible en http://www.google.com/#sclient=psy&hl=es&source=hp&q=universidad+nacional+d+d+ingenieria+del+peru&aq=4&aqi=g5&aql=f&oq=&pbx=1&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.&fp=8f26c22545d96c55&biw=1280&bih=603/>. Aporta datos de marices de rigidez, análisis dinámicos, análisis modal entre otros.

MALDONADO RONDÓN, Esperanza; CHIO CHIO, Gustavo.Análisis sísmico de edificaciones. Ediciones universidad industrial de Santander. Colombia, 2004.
SÁNCHEZ, Tomás.Diseño y construcción de estructuras de mampostería. Centro nacional de prevención de desastres. México, D.F, 1994

ANEXOS

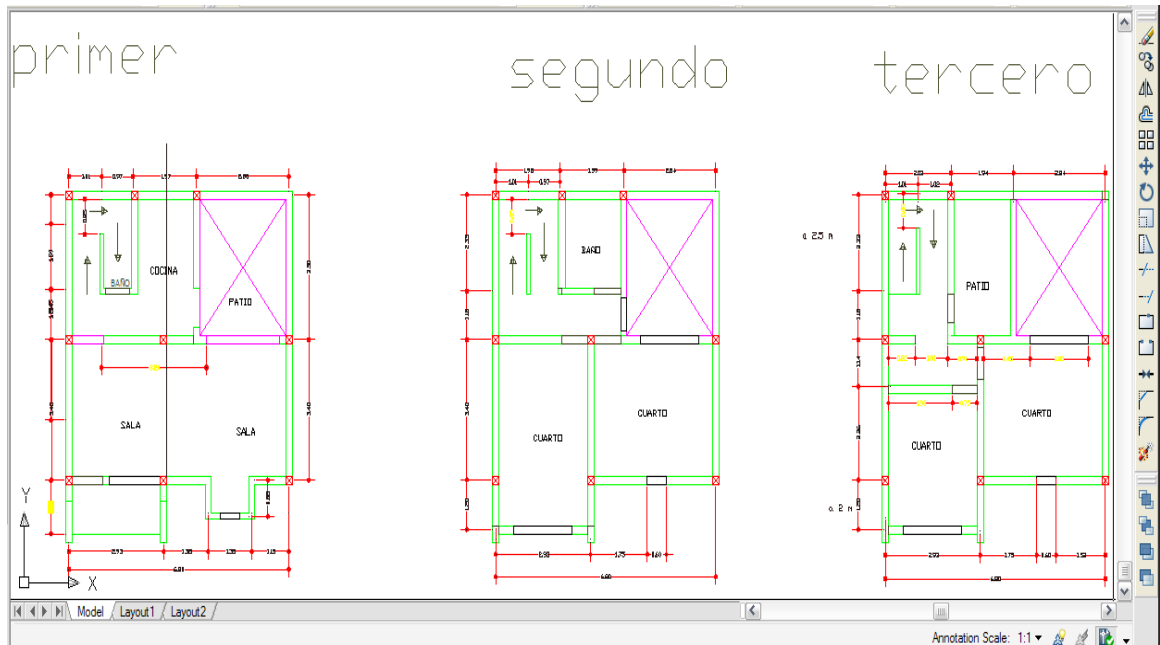
Anexo A.Desarrollo del proceso de cada una de las viviendas utilizadas como muestra de mampostería en el proyecto

CASA 1

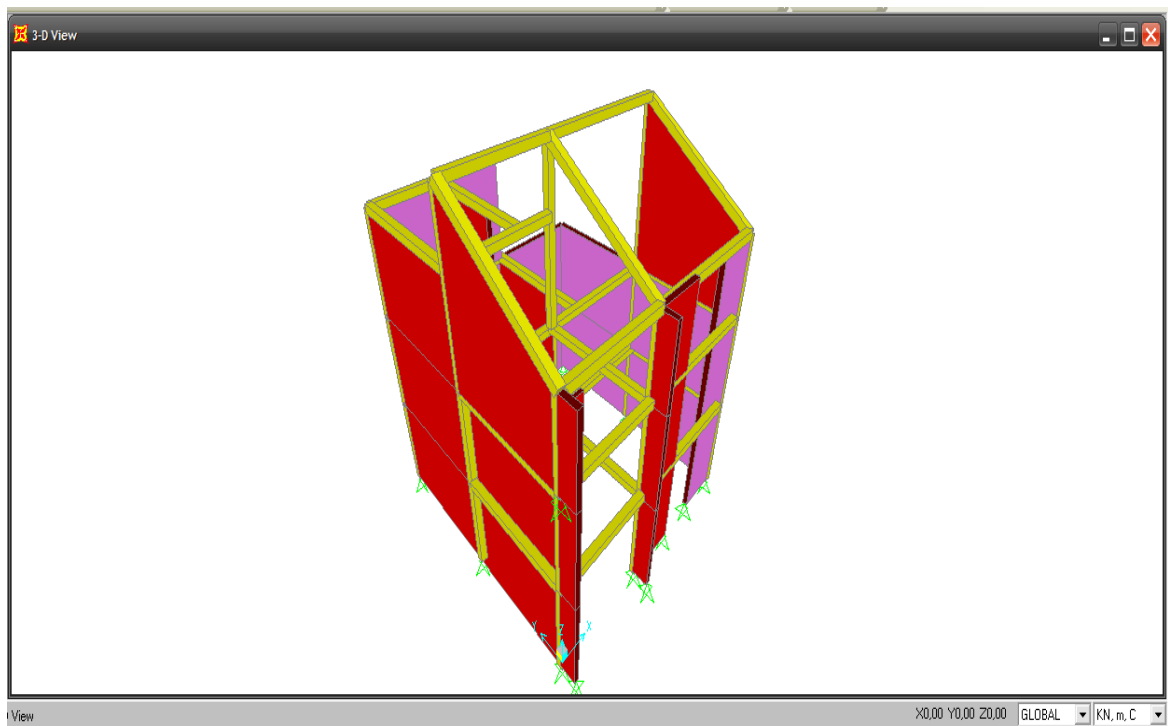
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

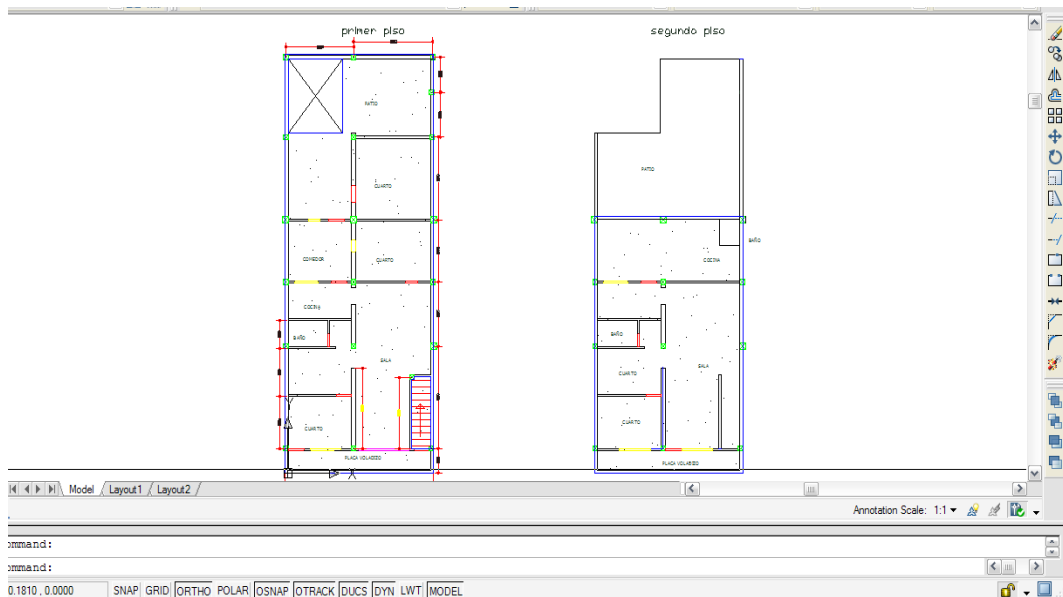


CASA 2

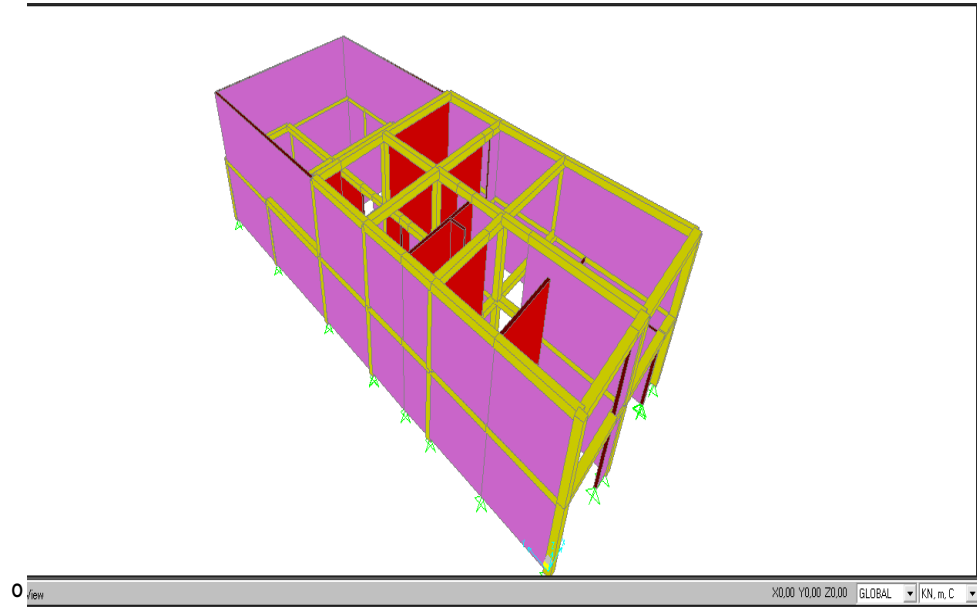
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

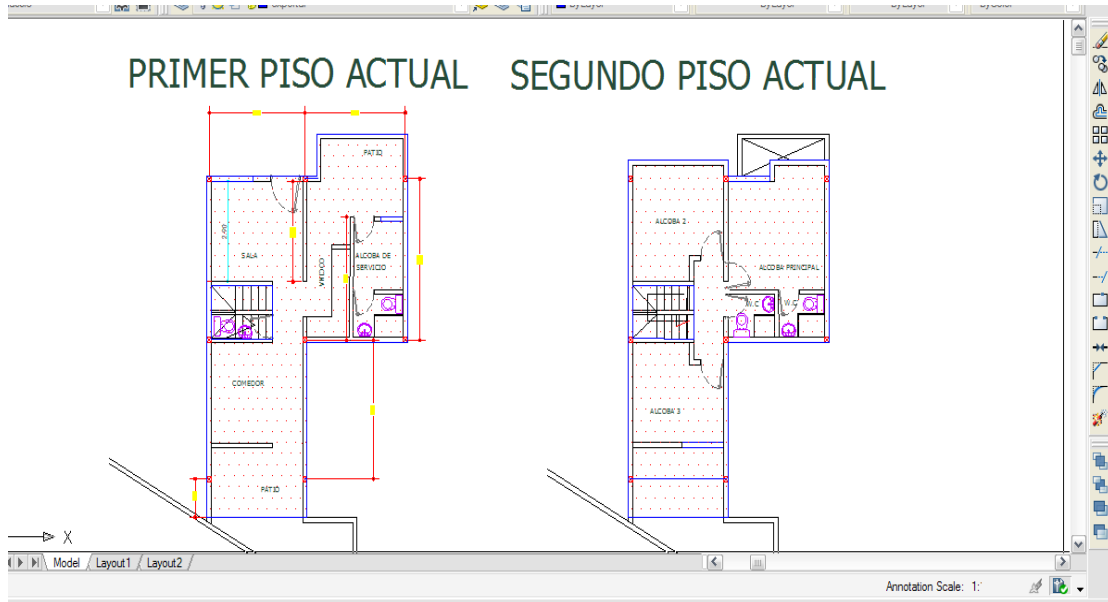


CASA 3

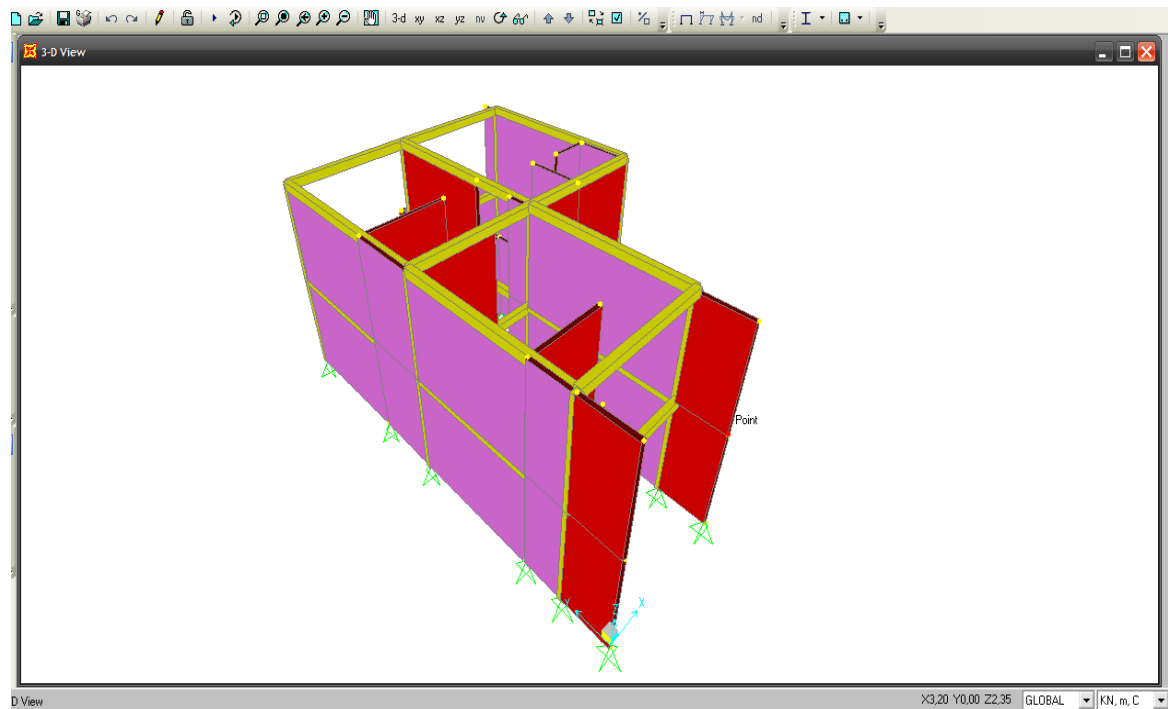
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

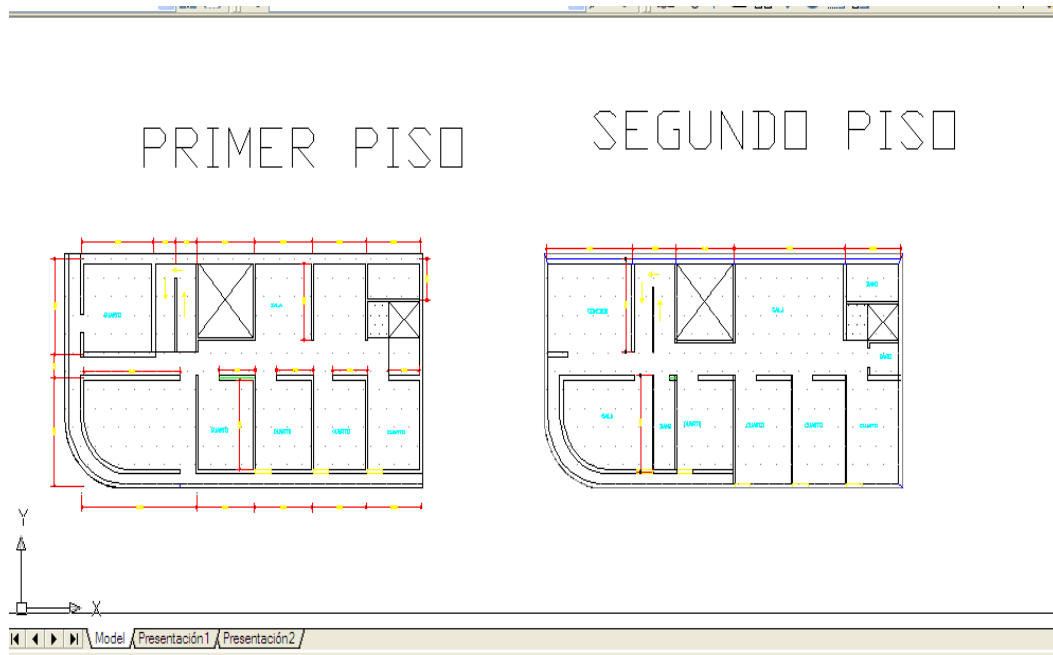


CASA 4

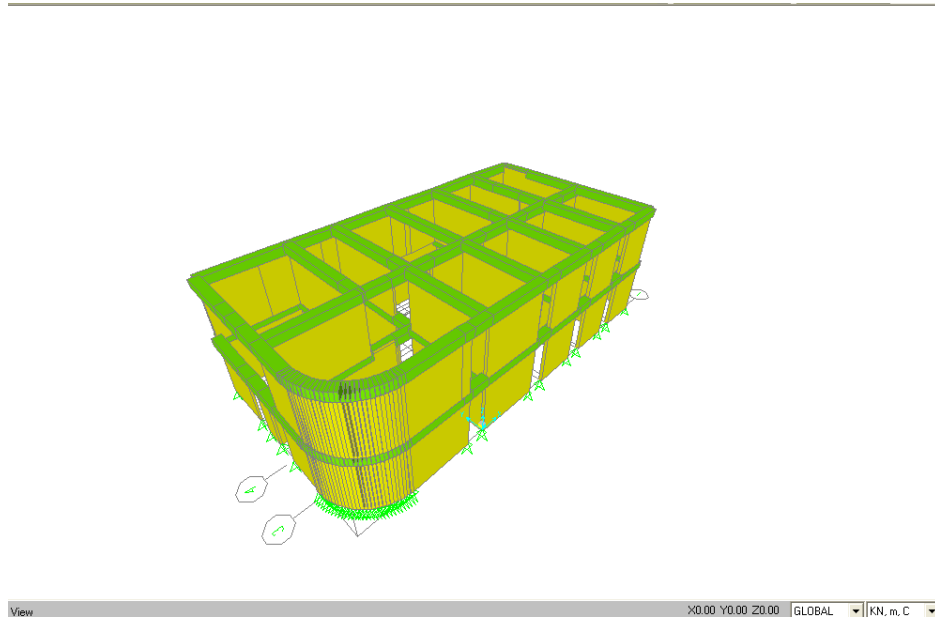
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

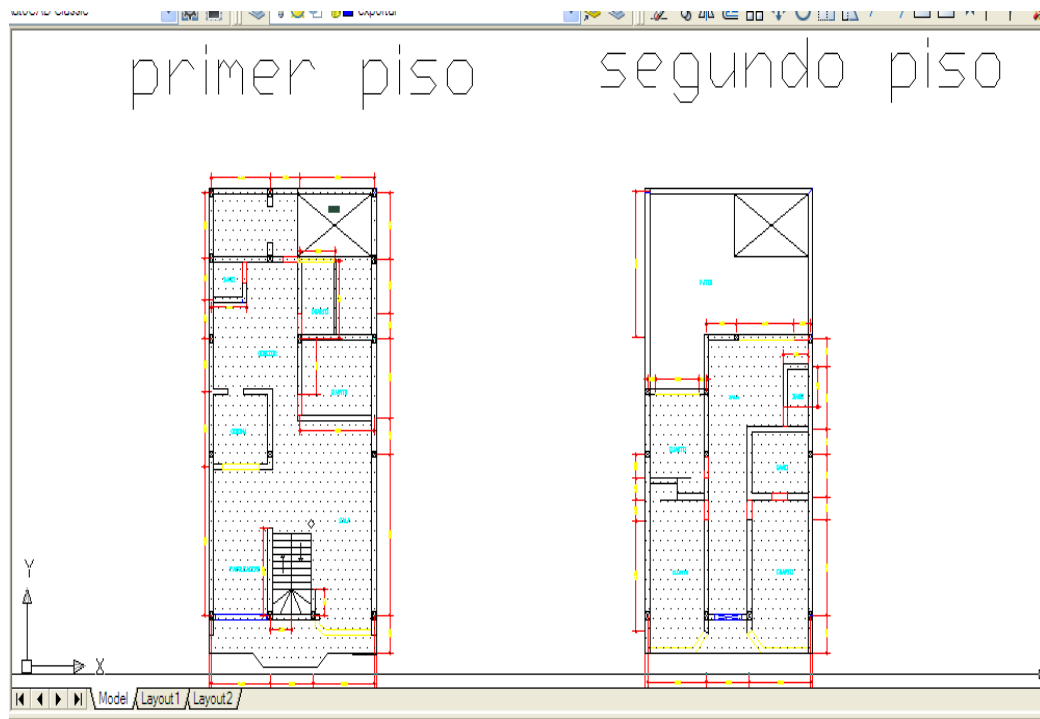


CASA 5

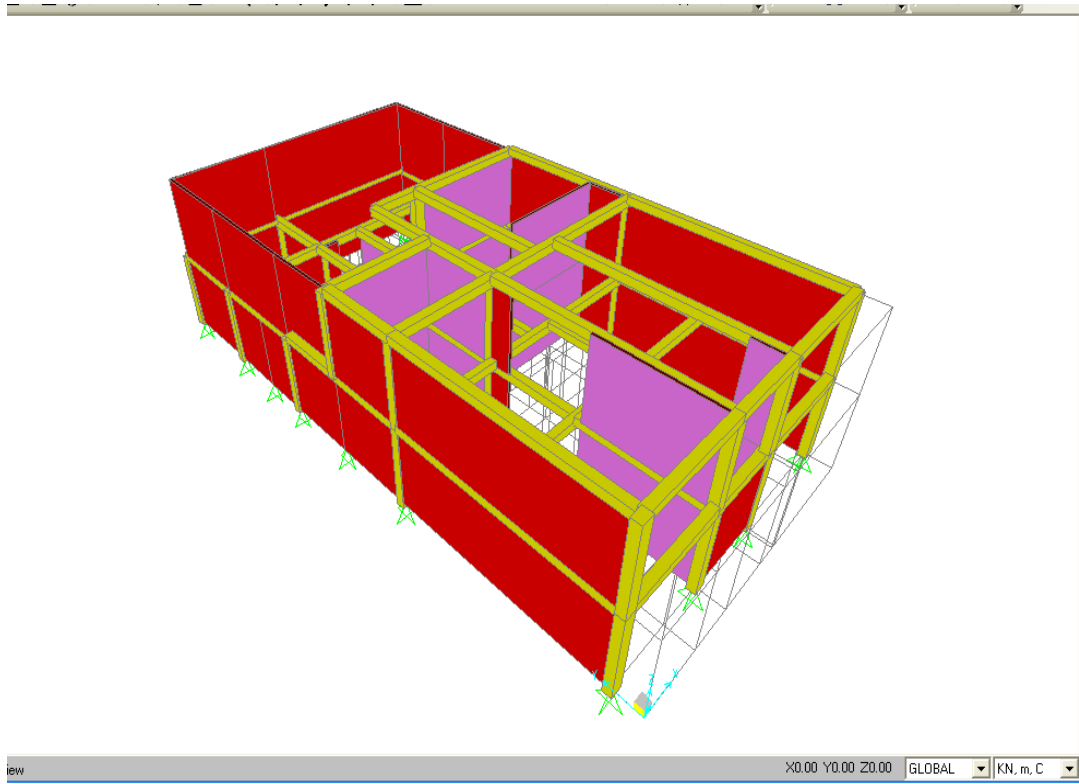
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD

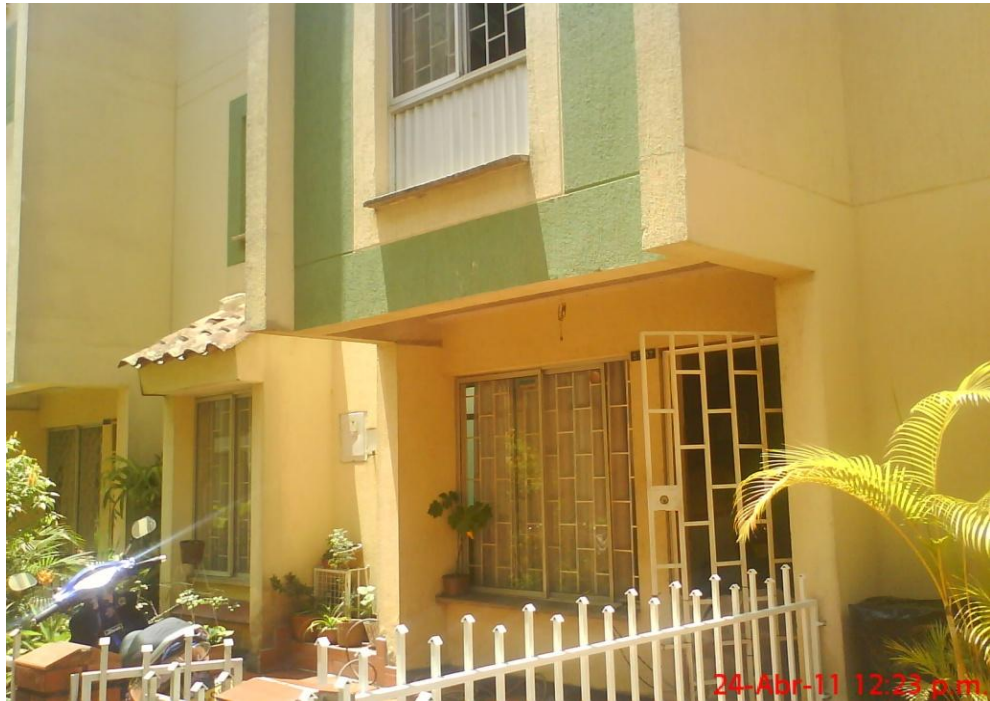


Ensamble de la construcción en SAP

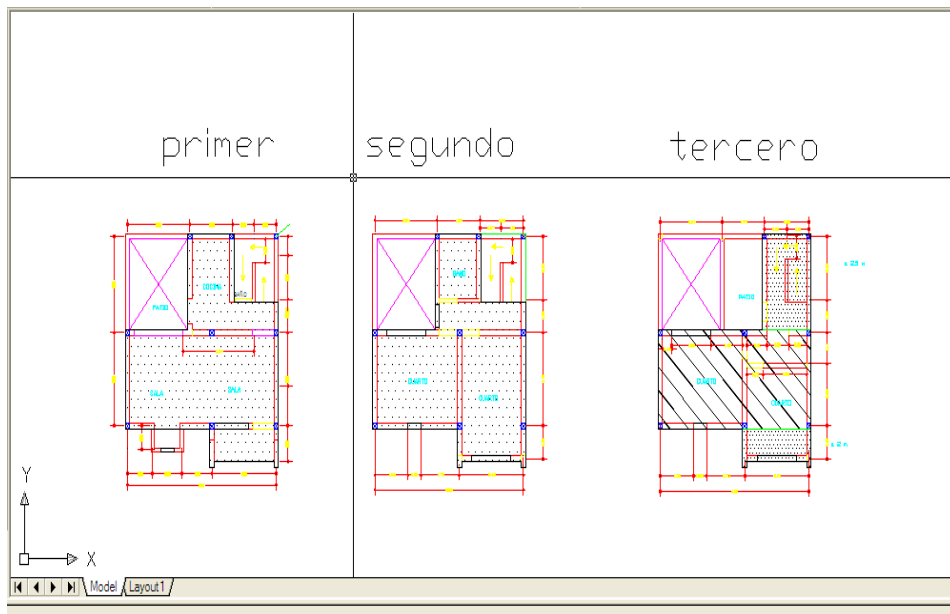


CASA 6

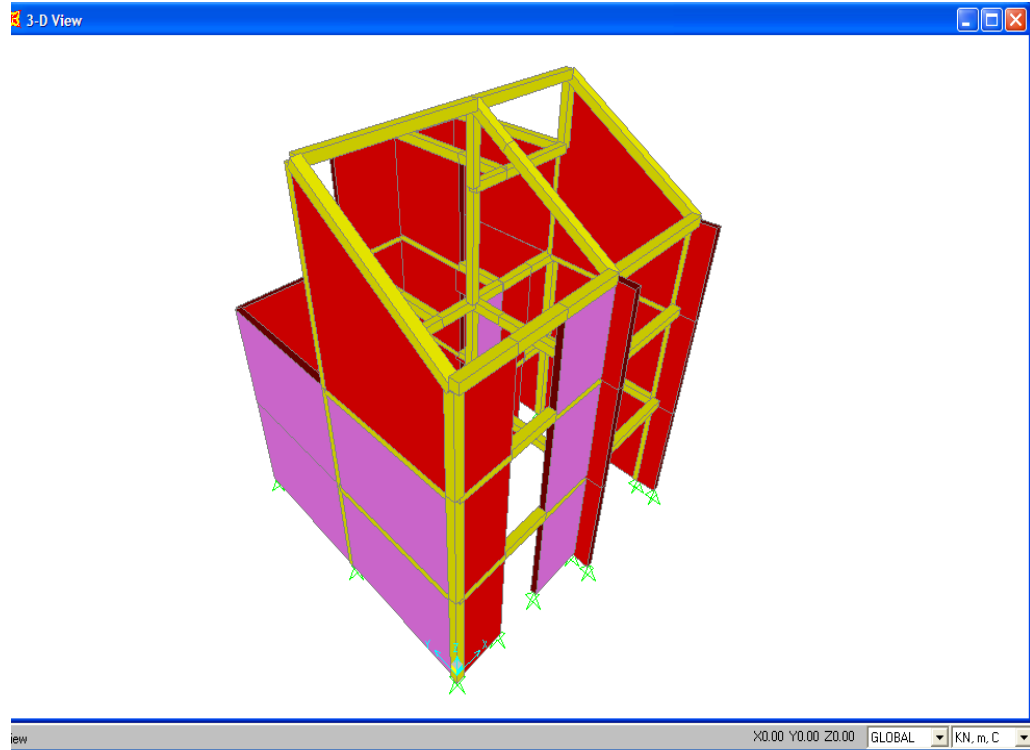
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

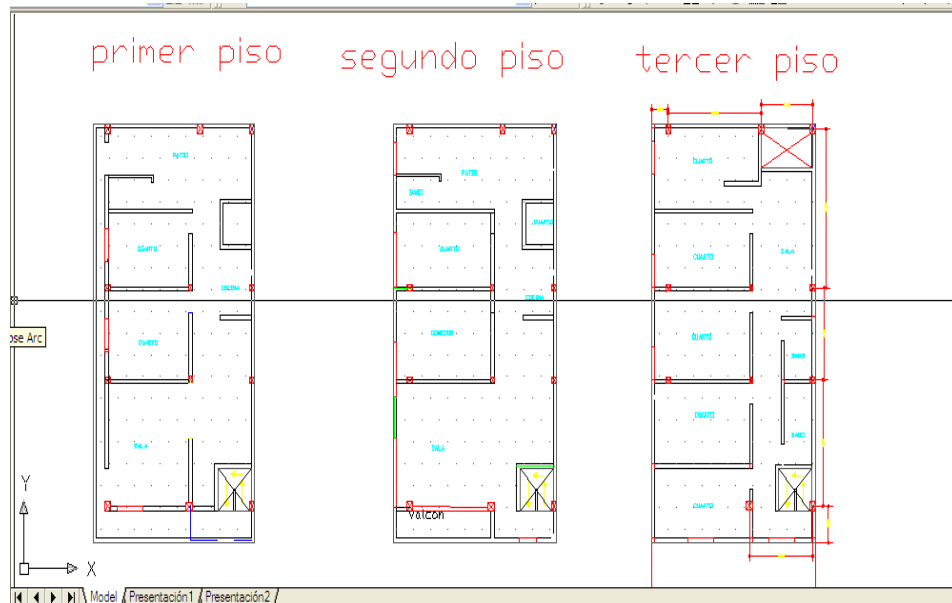


CASA 7

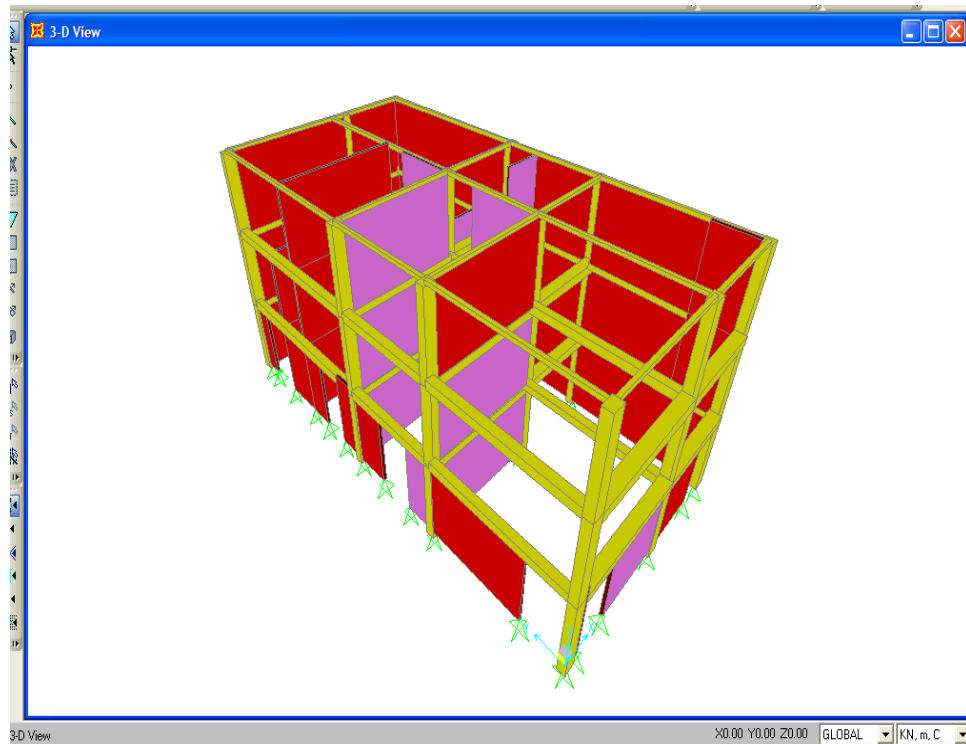
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

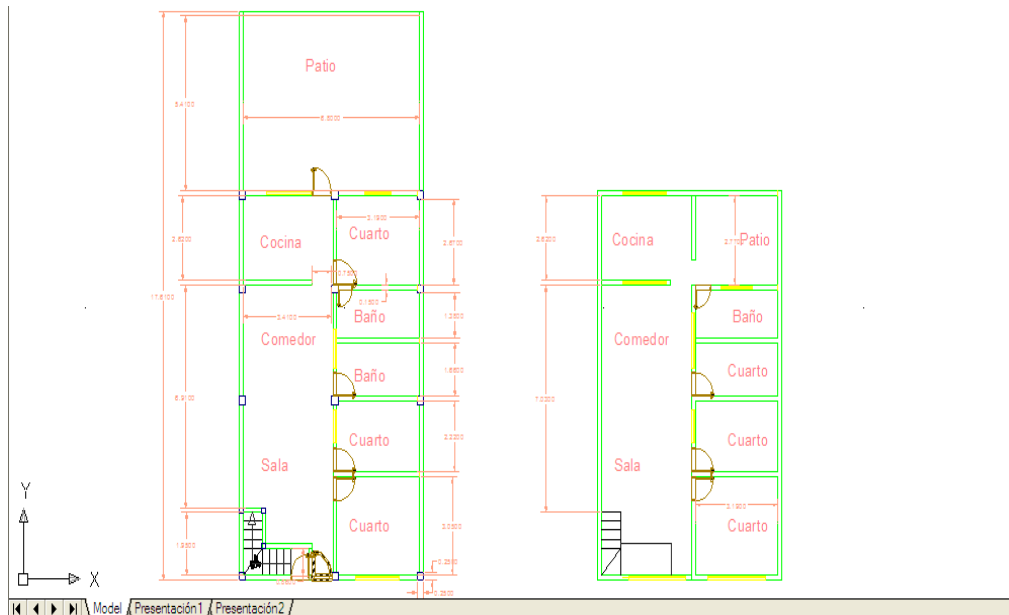


CASA 8

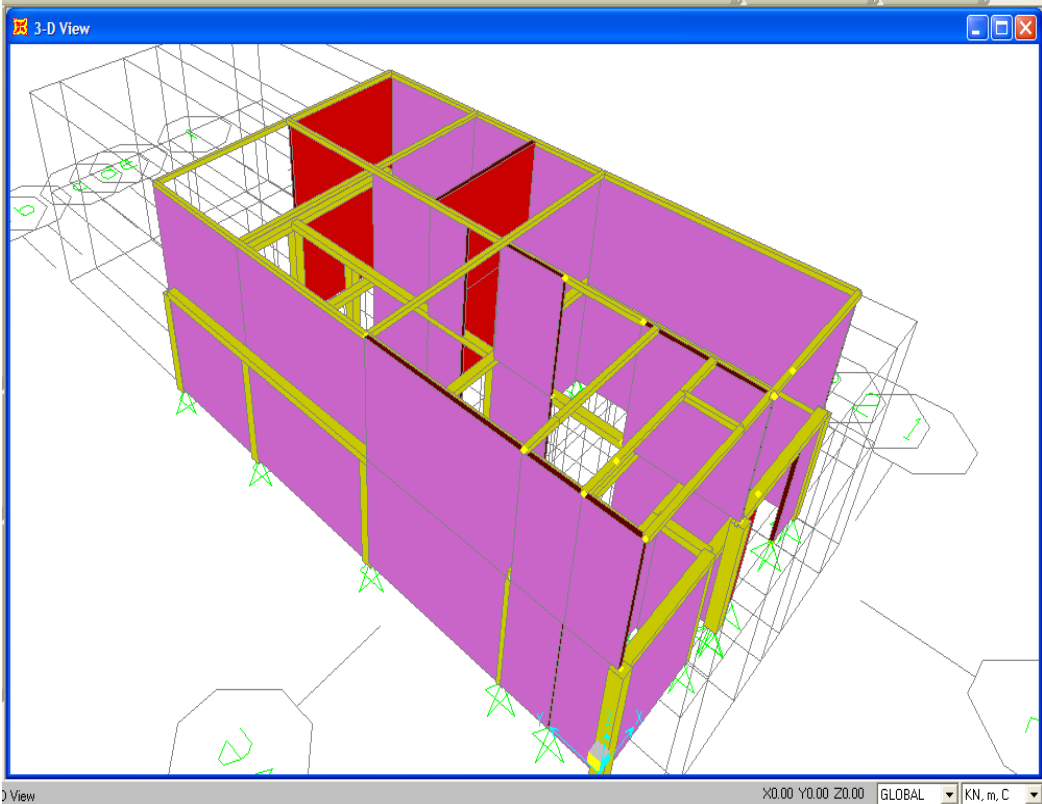
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

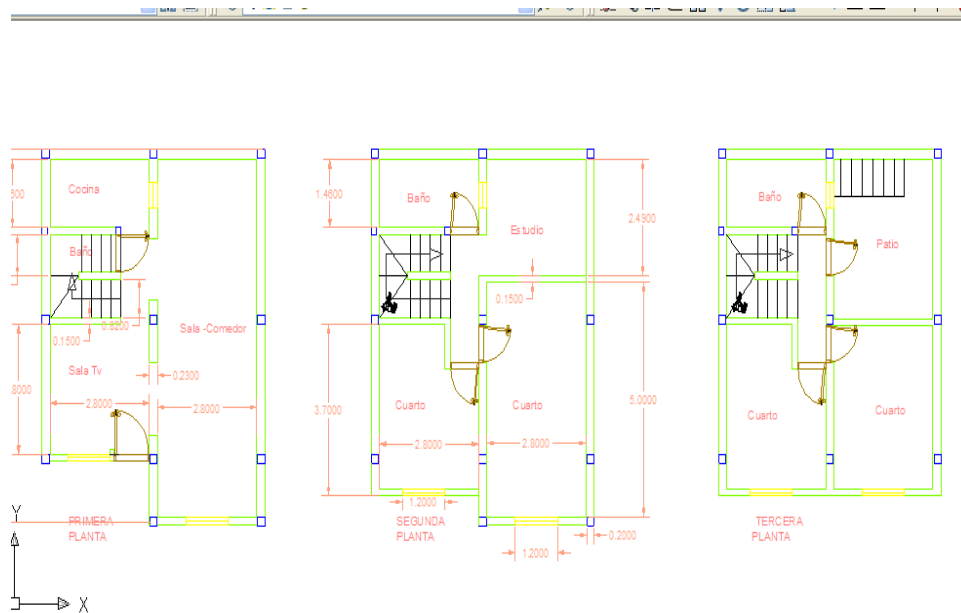


CASA 9

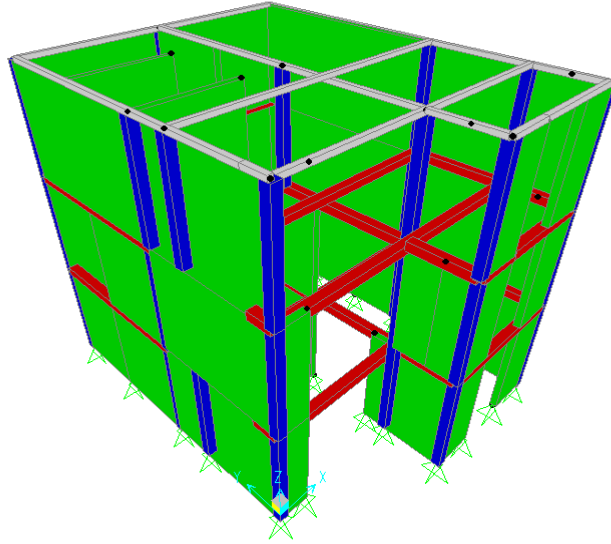
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

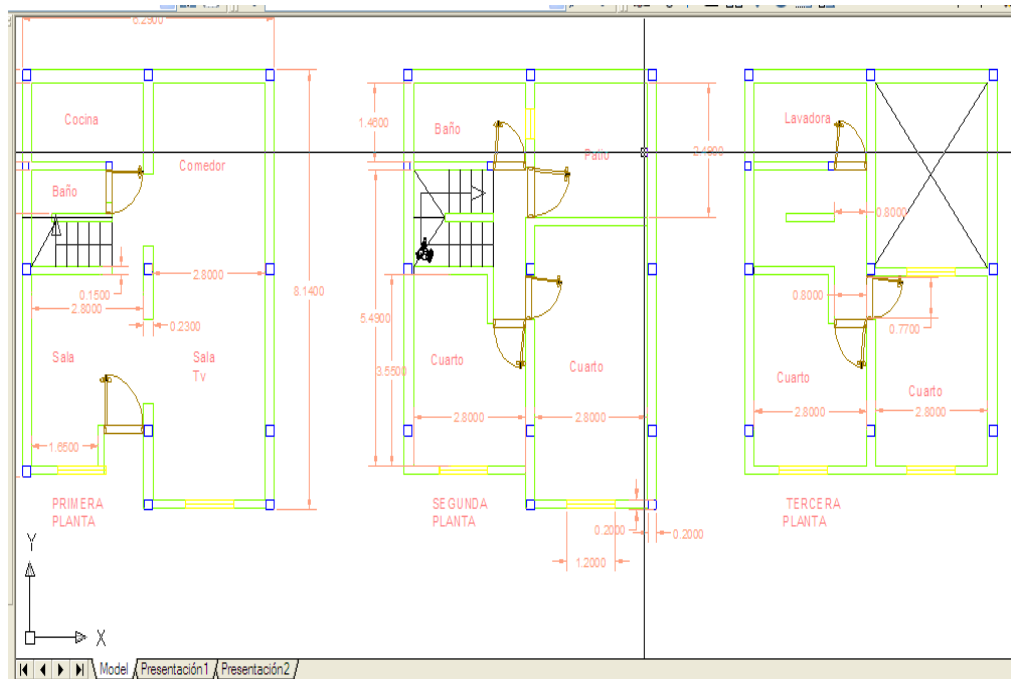


CASA 10

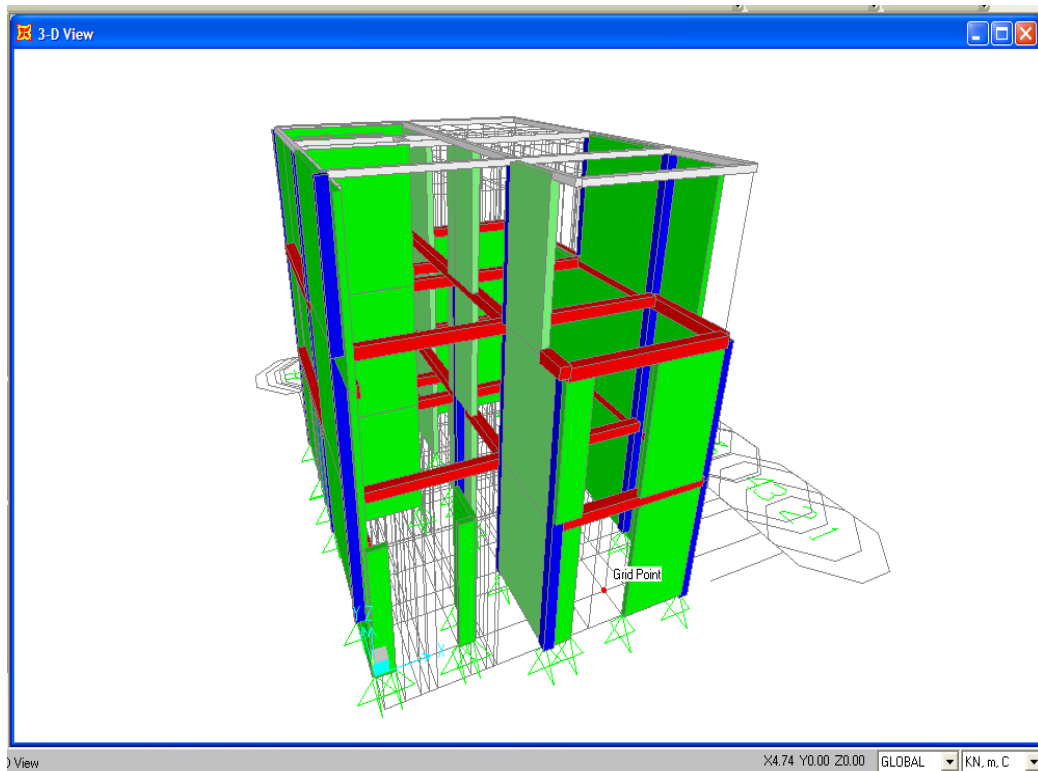
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

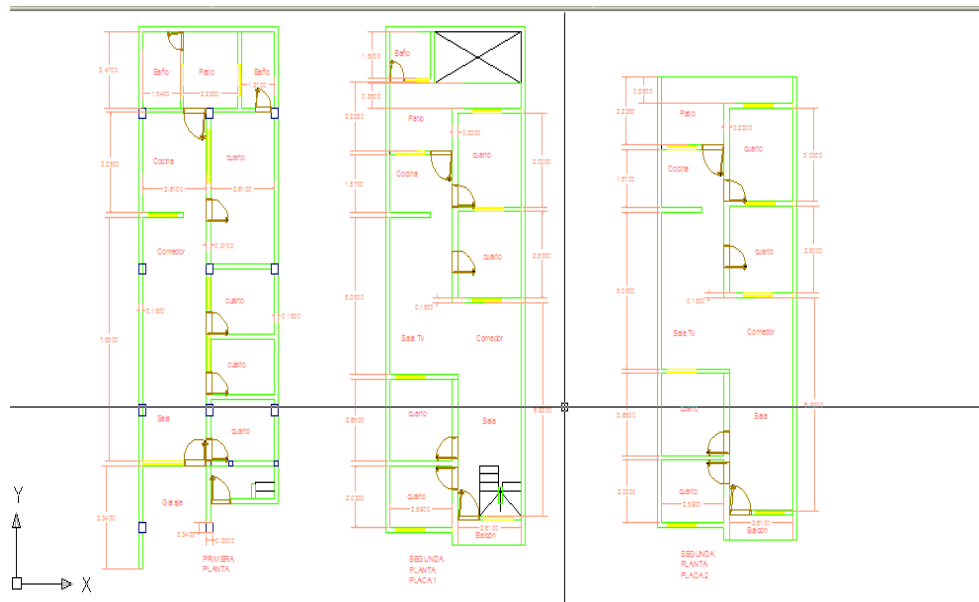


CASA 11

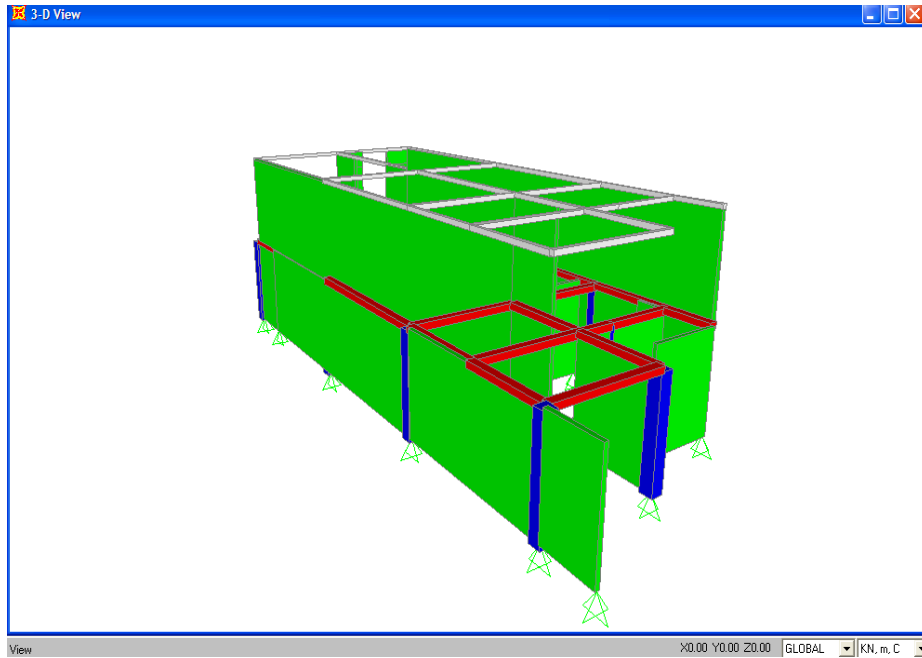
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

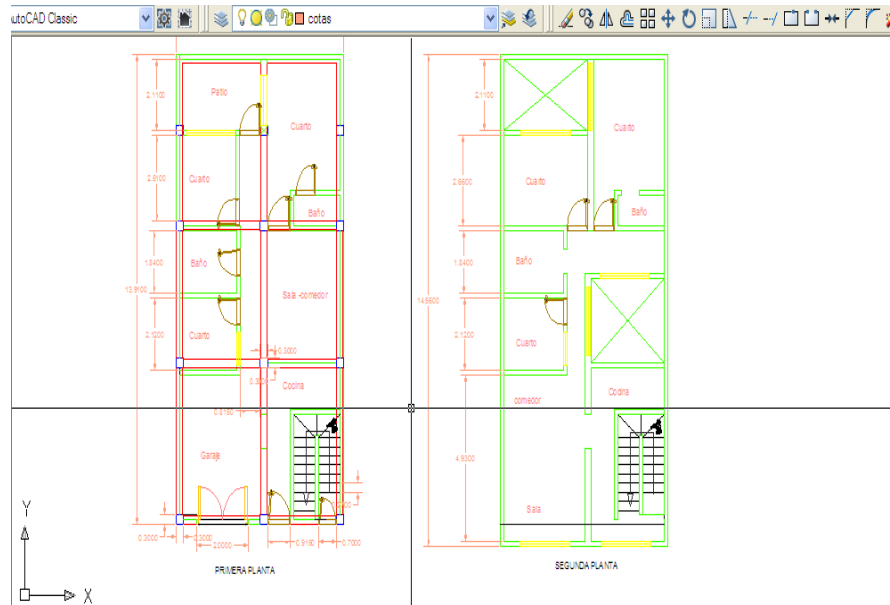


CASA 12

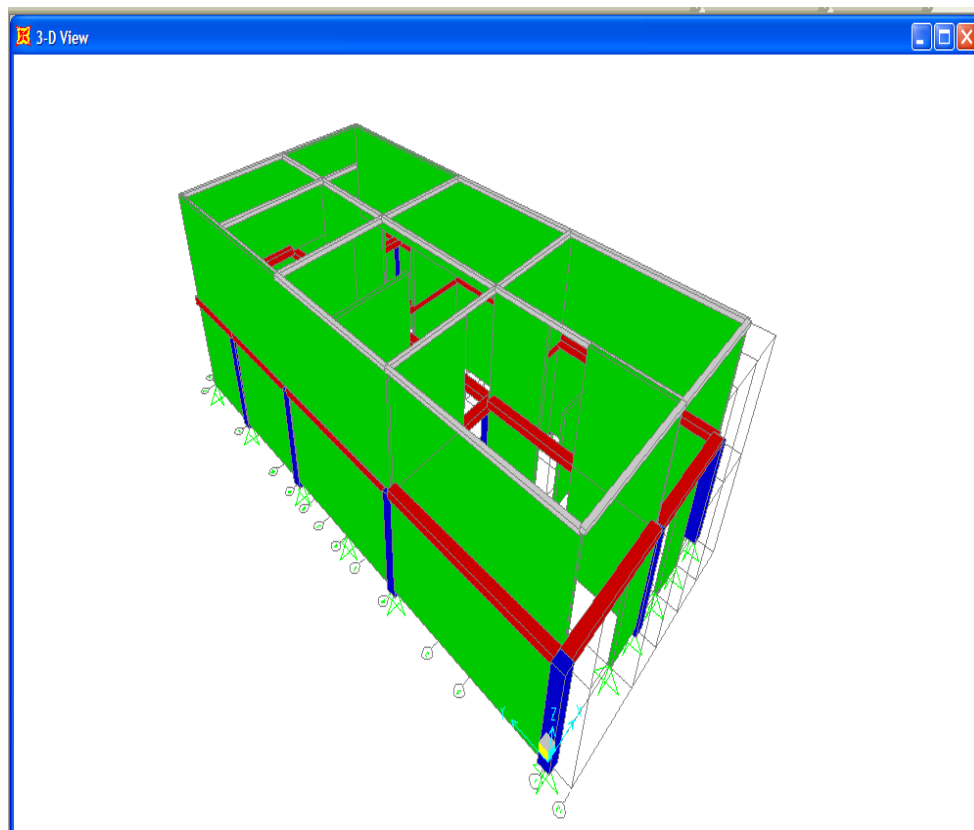
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

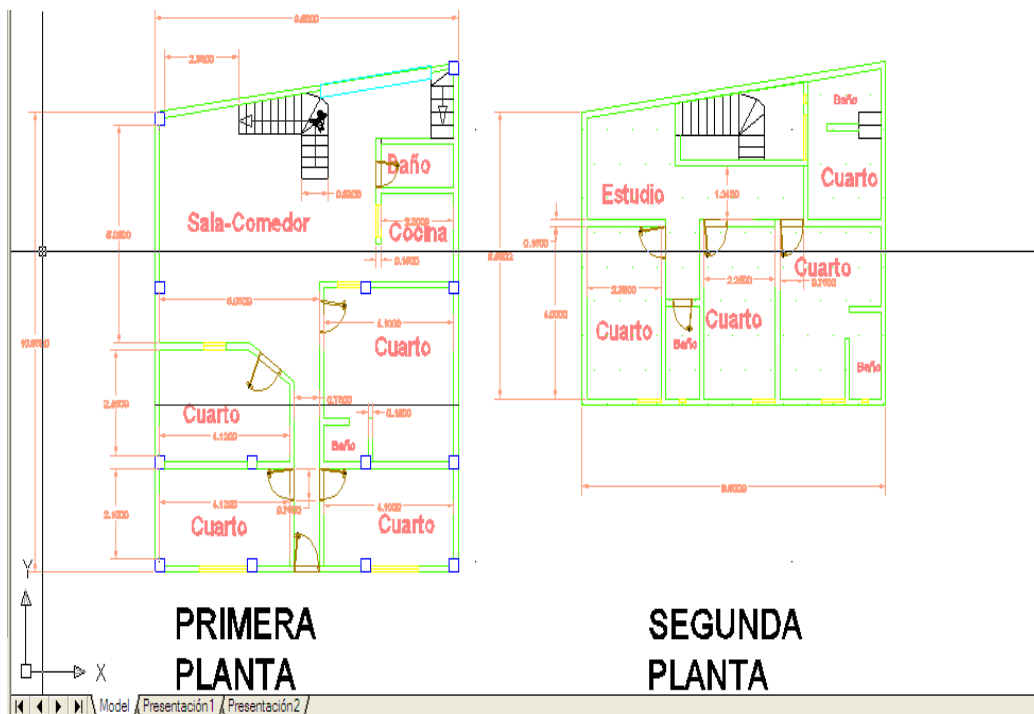


CASA 13

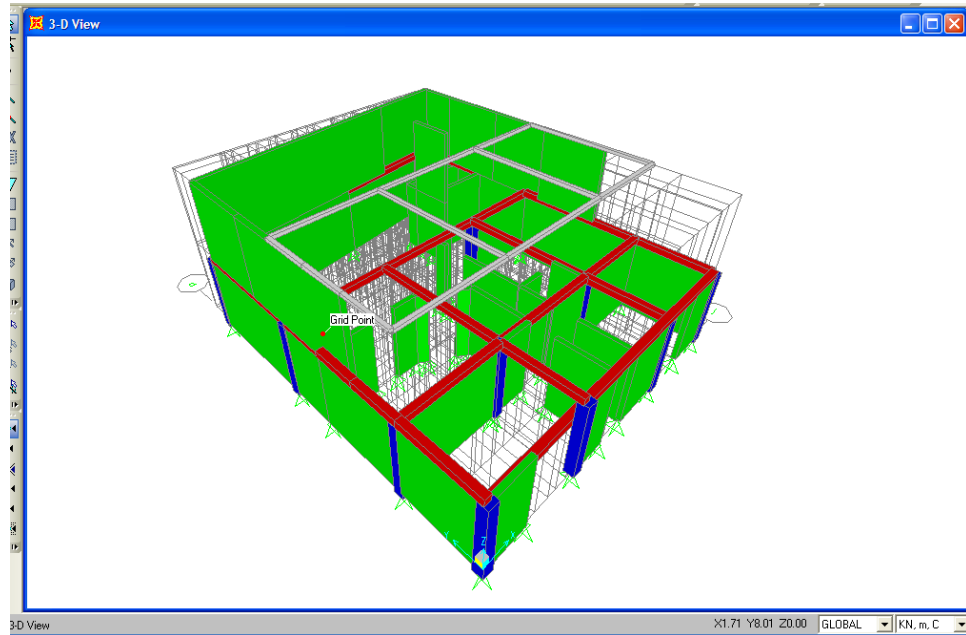
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

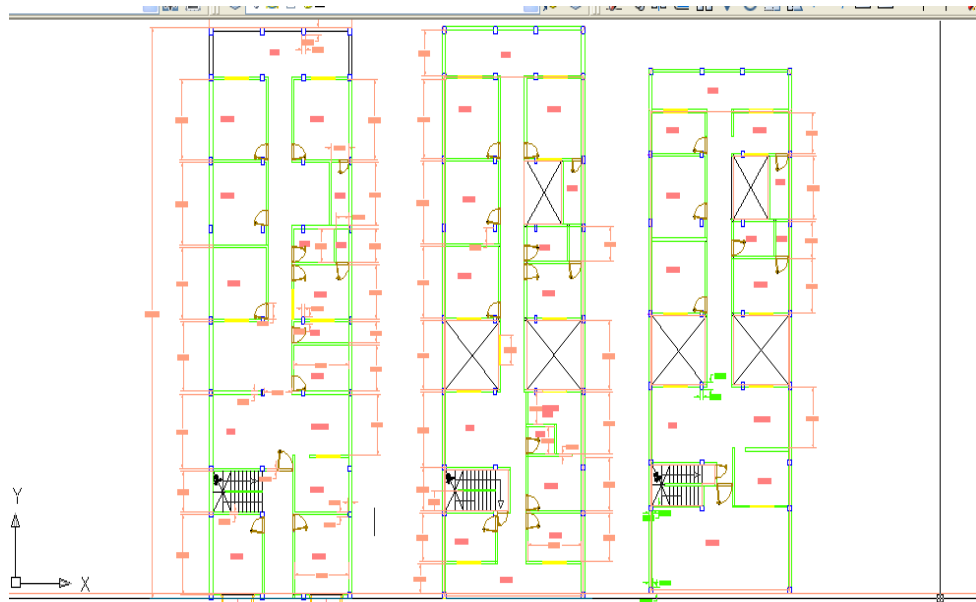


CASA 14

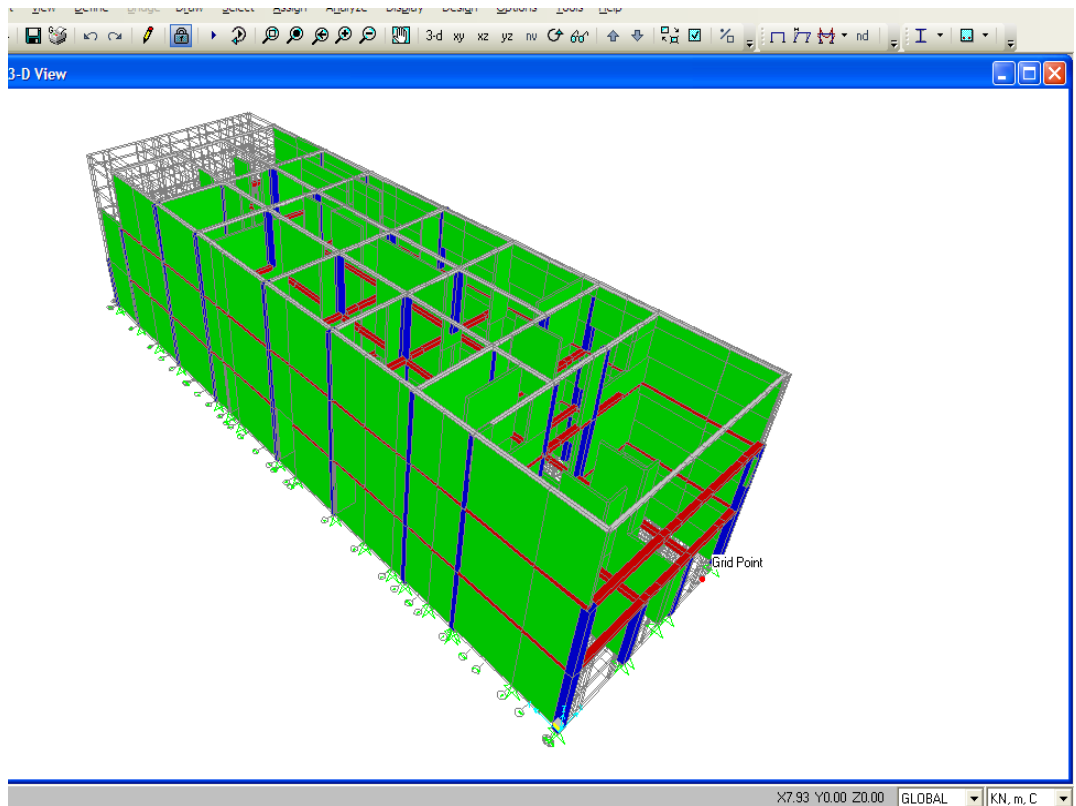
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

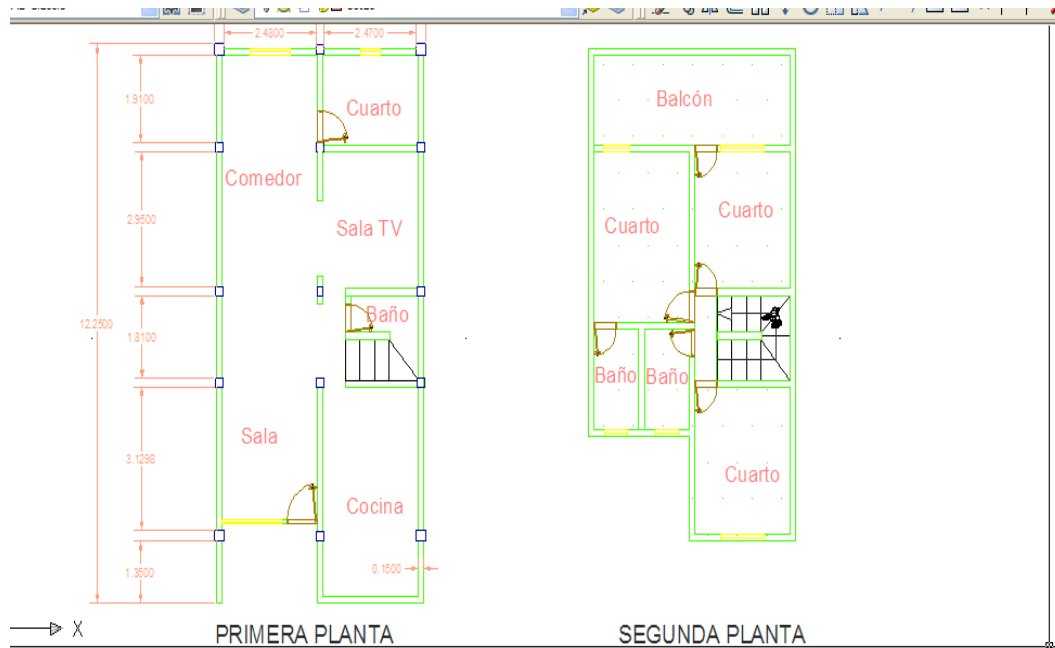


CASA 15

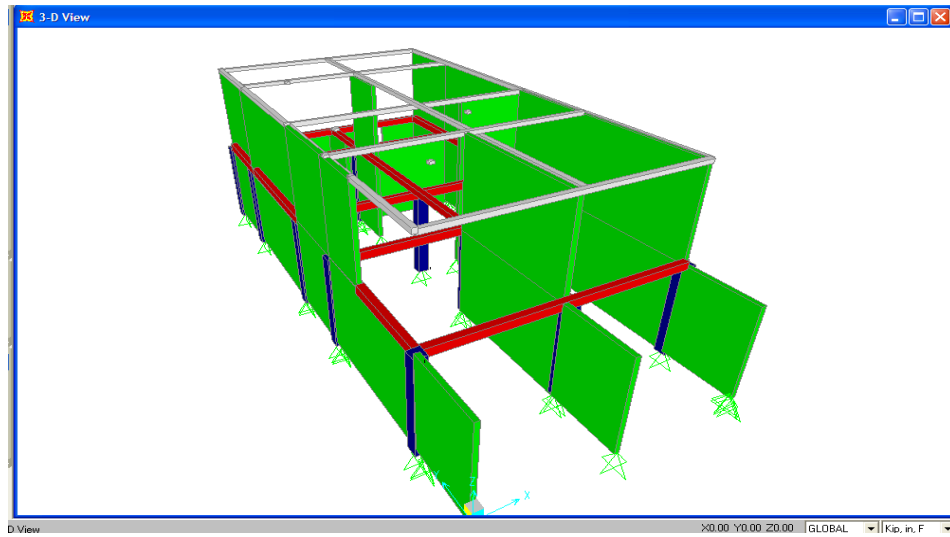
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP

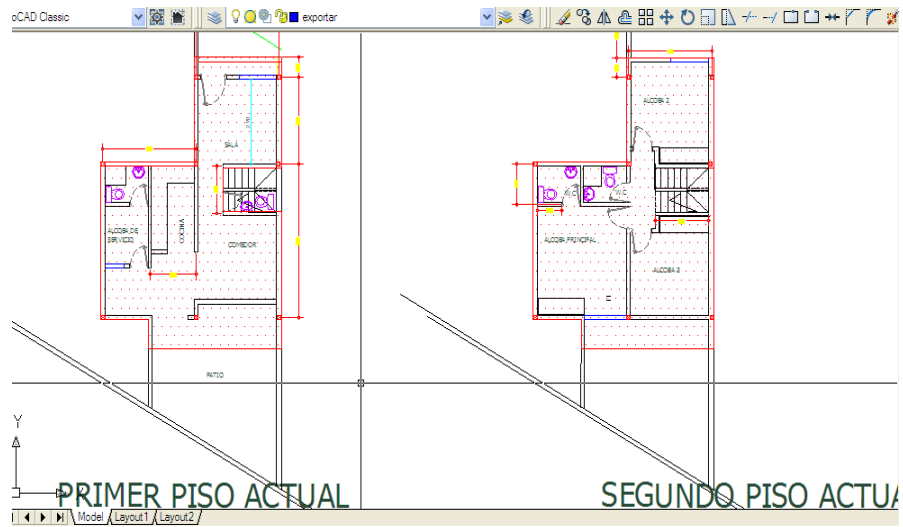


CASA 16

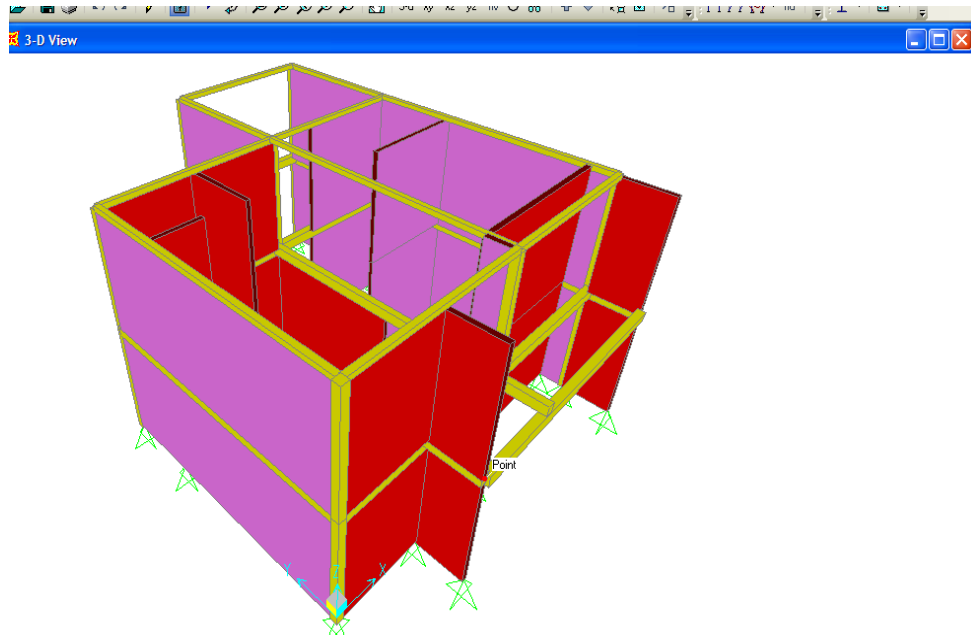
Registro fotográfico de la vivienda



Montaje estructural de la vivienda en AUTO CAD



Ensamble de la construcción en SAP



Anexo B. Datos de Propietarios de las Viviendas

En este anexo se da los nombres de los propietarios de las viviendas sus respectivas direcciones y el número de casa que le fue asignada para el proceso.

CASA No.	NOMBRE PROPIETARIO	DIRECCIÓN
1	Rodrigo Rueda	Cra 3#57-29
2	Luz Mila Galeano	Cll 65#2w-45 Mutis
3	Álvaro Castellanos	Cll 61#1w-35 Mutis
4	Carlos Aparicio	Cll 9A #23-75 San Francisco
5	Lucio Merchán	La Victoria, al frente de la Salle
6	Luzardo Ortiz	Cra 4#57-47
7	Naty Murcia	Cra 9A#24-03 San Francisco
8	Andrés Daniel García	Cll 64#2aw-72 Barrio Mutis
9	Betina Duarte	Cll 64B #8B-09 Conjunto Los Almendros
10	Edilia Rodríguez	Cll 61 Conjunto Los Naranjos
11	Elisa Rodríguez	Cll 58#1w-71 Barrio Mutis
12	Jully Arciniegas	Cll 16 #30-10 San Alonso
13	María Guevara	Cra 26#15-45 San Francisco
14	Ana Yibe Barragán	Cll 17#32-11 San Alonso
15	Sara Rodríguez	Cra 8#61-151 Casa 24 parque San Remo
16	Diana Castellanos	Cll 61#1w-35 Mutis

Anexo C. Caracterización de las Viviendas conteniendo el periodo de referencia

Casa	Número de pisos	Tipo	Tx 100 E%	Ty 100 E%	H(m)
1	2	Sistema pórtico	0,0606	0,0250	2,35
2	2	Sistema Semi pórtico	0,0501	0,0256	2,42
3	2	Sistema Pórtico	0,0638	0,0382	2,35
4	2	Mampostería Inconfinada	0,0717	0,0889	2,6
5	2	Sistema Pórtico	0,1164	0,0610	2,38
6	2	Sistema Pórtico	0,11326	0,0676	2,35
7	3	Sistema Pórtico	0,1071	0,1072	2,4
8	2	Sistema Semi pórtico	0,0598	0,0345	2,4
9	3	Sistema Pórtico	0,1472	0,0796	2,5
10	3	Sistema Pórtico	0,1403	0,0879	2,5
11	2	Sistema Semi pórtico	0,0588	0,0340	2,35
12	2	Sistema Semi pórtico	0,0686	0,0494	2,5
13	2	Sistema Semi pórtico	0,0335	0,0377	2,4
14	3	Sistema pórtico	0,0686	0,0494	2,63
15	2	Sistema Semi pórtico	0,0738	0,0258	2,35
16	2	Sistema Pórtico	0,0647	0,0458	2,35