



Universidad
del Cauca

**PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE CASAS DE UNO Y DOS
PISOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA UTILIZANDO LA NSR-10**

ANDRÉS FELIPE CORAL VARGAS

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN
2017**



Universidad
del Cauca

**PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE CASAS DE UNO Y DOS
PISOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA UTILIZANDO LA NSR-10**

ANDRÉS FELIPE CORAL VARGAS

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**DIRECTOR
JUAN MANUEL MOSQUERA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
POPAYÁN
2017**



NOTA DE ACEPTACIÓN

El presente trabajo de grado fue aprobado por el director del Programa Académico, los jurados y el director de investigación.

JUAN MANUEL MOSQUERA
Profesor y director de investigación.

Jurado 1

Jurado 2

Ciudad y Fecha

AGRADECIMIENTOS

Gratitud a la Universidad del Cauca que me recibió y me permitió un proceso de formación de calidad, a sus miembros por su calidez humana, en especial a los profesores de la facultad de Ingeniería Civil con quienes compartí. Quiero expresar mis agradecimientos a:

El profesor Juan Manuel Mosquera por su disposición, paciencia y todos sus valiosos comentarios que hicieron posible la culminación de este documento.

El profesor Carlos Ariel Hurtado, sus consejos y ayuda en mi formación profesional, sus valiosas enseñanzas e incentivar me a seguir por el camino de las estructuras

Mis familiares, que siempre estuvieron apoyándome con sus palabras y oraciones en mi caminar por la Universidad

FICHA DEL PROYECTO

TÍTULO: PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE CASAS DE UNO Y DOS PISOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA UTILIZANDO LA NSR-10

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil.

MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO: Trabajo de investigación

UNIDAD ACADÉMICA: Departamento de Estructuras.

PROGRAMA ACADÉMICO: Ingeniería Civil

ESTUDIANTE: Andrés Felipe Coral Vargas.

DIRECTOR: Juan Manuel Mosquera.

PALABRAS CLAVE: Ingeniería Estructural, muros de mampostería, análisis de muros de mampostería, diseño de muros de mampostería

DURACIÓN: 8 meses.

FUENTE DE FINANCIACIÓN: Propia



CONTENIDO

	pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1 EL PROBLEMA	10
1.2 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	11
2. MARCO DE REFERENCIA	12
2.1 ANTECEDENTES	12
2.2 MARCO TEÓRICO.....	12
3. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA	18
4. ENTRADA DE DATOS - PREPROCESADOR	19
4.1. PROYECTO	19
4.2. CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA.....	19
4.2.1. CARGA VERTICAL	20
4.2.2. CARGAS LATERALES POR SISMO	24
4.3. EJES DE MUROS	31
4.4. LOSA DE ENTREPISO Y VACIOS	33
4.5. PROPIEDADES DE MUROS	34
5. ANÁLISIS.....	34
5.1. INTRODUCCIÓN	34
5.2. LA RIGIDEZ DEL MURO	38
5.3. CENTRO DE RIGIDEZ	44
5.4. CENTRO DE MASAS	45
5.5. DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS	46
6. DISEÑO	50
6.1. INTRODUCCIÓN A LA MAMPOSTERÍA	50
6.1.1 MATERIALES EN LA MAMPOSTERÍA.....	51
6.2 . DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA A LA COMPRESIÓN F´M ..	53
6.3. PROPIEDADES GENERALES DEL DISEÑO.....	57
6.4. MAMPOSTERÍA CONFINADA	60
6.4.1. DISEÑO A FLEXOCOMPRESIÓN DEL MURO EN LA DIRECCIÓN PARALELA A SU PLANO ..	62



6.4.2 REQUISITOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO	64
6.4.3. DISEÑO POR CORTANTE PARALELO AL PLANO	65
6.4.4 VERIFICACIÓN POR APLASTAMIENTO DEL MURO (BIELA DE COMPRESIÓN).....	66
6.4.6. DISEÑO DEL ACERO LONGITUDINAL DE LA VIGA DE CONFINAMIENTO	68
7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	69
8. ANEXO A: CODIGO DEL PROGRAMA	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71



TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Estructura del programa.....	18
Ilustración 2 Menú inicial	19
Ilustración 3 Coeficiente de disipación de energía	29
Ilustración 4 Ejemplo de espectro elástico	30
Ilustración 5 Parámetros sísmicos.....	31
Ilustración 6 Longitudes para excentricidad accidental	31
Ilustración 7 Ejemplo de introducción de muros	32
Ilustración 8 Modelo del muro	32
Ilustración 9 Identificación de muros continuos	33
Ilustración 10 Representación gráfica del centro de rigidez	45
Ilustración 11 Representación gráfica del centro de masas	46
Ilustración 12 Captura chequeo rigidez en planta	51

REFERENCIA DE TABLAS

Tabla 1 Densidad de materiales más usados.....	21
Tabla 2 Carga muerta superficial para elementos.....	21
Tabla 3 Ejemplo de carga viva mínima según norma.....	23
Tabla 4 Ejemplo de cálculo de cargas.....	23
Tabla 5 Clasificación de morteros de pega-Tabla D.3.4-1 NSR-10.....	52
Tabla 6 Resistencia de unidades de mampostería-Tabla D.3.4-1 NSR-10	53

RESÚMEN

Esta investigación tiene el propósito de desarrollar un programa computacional para el análisis y diseño de casas de uno y dos pisos aplicando el capítulo D del reglamento Colombiano de Construcción sismorresistente NSR-10.

El diseño estructural es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en las edificaciones debido a que estas se ven sometidas a fuerzas sísmicas u otras impuestas por la naturaleza o el uso. Su diseño se realiza para que la estructura sea capaz de resistir todas las posibles combinaciones de carga con la rigidez, resistencia y ductilidad adecuada.

La mampostería es uno de los principales sistemas utilizados en la solución a los problemas de vivienda actuales. Las viviendas son diseñadas y construidas en su gran mayoría en mampostería debido a su costo y al amplio conocimiento generalizado que se tiene de este sistema en nuestro medio.

Revisando las memorias de cálculo de distintos proyectos de vivienda en las curadurías urbanas de Popayán, se encuentra que la mayoría del sustento teórico estructural está realizado manualmente, lo cual da pie a vislumbrar la necesidad de un software específico y apropiado para el diseño de edificaciones en mampostería.

Palabras clave: Ingeniería Estructural, muros de mampostería, análisis de muros de mampostería, diseño de muros de mampostería

1. INTRODUCCIÓN

1.1 EL PROBLEMA

1.1.1 Descripción.

A lo largo de la historia, la mampostería estructural ha sido un sistema constructivo ampliamente usado, a pesar de la llegada de nuevos sistemas constructivos, la mampostería sigue siendo empleada por sus ventajas económicas y constructivas, ésta sirve a su vez como sistema estructural y como elemento de división de espacios.

A pesar de lo anterior, las herramientas computacionales para el análisis y diseño de este sistema estructural se han visto rezagadas, hay pocos programas comerciales que analicen en forma específica este tipo de sistemas, por lo cual surge la necesidad de investigar y desarrollar aplicaciones sobre esta línea.

Existen dos posibilidades para realizar un proyecto estructural en casas de uno y dos pisos, mediante la aplicación de criterios del capítulo E en el cual las construcciones presentan un grado de incertidumbre y es probable que sea más costosa su construcción debido a que los criterios del capítulo E son usualmente conservadores y no se hace un análisis mediante modelos matemáticos a la estructura, por lo que no evalúan la resistencia ante cargas horizontales o verticales y derivas. Debido a lo anterior surge la necesidad de aplicar los criterios de diseño del Título D del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), bajo un modelo matemático que nos permita diseñar de manera segura y confiable este tipo de estructura

1.1.2 Formulación

¿Cómo desarrollar un programa computacional para el análisis y diseño de edificaciones de uno y dos pisos de muros en mampostería?

1.1.3 Objetivo

Desarrollar una herramienta computacional para analizar y diseñar casas de uno y dos pisos de muros en mampostería.

1.1.4 Objetivos específicos

- Desarrollar un programa computacional para el análisis sísmico de sistemas de mampostería en edificaciones de uno y dos pisos.
- Realizar una aplicación para el diseño de muros en mampostería confinada, aplicando criterios del Título D del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10)

1.1.5 Justificación

Revisando las memorias de cálculo de distintos proyectos de vivienda en las curadurías urbanas de Popayán, se encuentra que la mayoría del sustento teórico estructural esta realizado manualmente, lo cual da pie a vislumbrar la necesidad de un software específico y apropiado para el diseño de edificaciones en mampostería. La elaboración de esta herramienta beneficiará a los diseñadores estructurales al tener una aplicación efectiva y rápida que les permitirá diseñar y comprobar este tipo de estructuras, además incentivará el desarrollo de más proyectos utilizando este tipo de sistema. Finalmente, la sociedad en general podrá verse beneficiada por este software, ya que la mampostería es uno de los principales sistemas utilizados en la solución de construcción de vivienda actual.

1.2 ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO

Este documento está conformado por ocho capítulos. En el capítulo 1, se encuentra la introducción en la cual se describe el problema, la formulación, los objetivos y la justificación de la investigación. El capítulo 2 desarrolla el marco de referencia en dos ejes: Los antecedentes y el marco teórico. El capítulo 3 describe la estructura del programa. El capítulo 4 Describe la concepción de la entrada de datos (preprocesador) del programa. El capítulo 5 El análisis que se desarrolló en el procesador. El capítulo 6 La formulación y concepción del diseño y la aplicación en el programa. El capítulo 7 se presenta las conclusiones y trabajos futuros. Finalmente, el capítulo 8 presenta los anexos.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 ANTECEDENTES

•PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE EDIFICACIONES EN MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL Y SU DISEÑO DE ACUERDO A LAS NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR-98: METODOLOGÍA DE DISEÑO POR EL ESTADO LÍMITE DE RESISTENCIA. GONZALEZ, Juan y MADARIAGA, Gustavo. Trabajo de grado. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Cali. Colombia. 2000. Programa desarrollado para diseñar muros en mampostería estructural utilizando la metodología LRFD de la NSR-98 pero manteniendo el modelo de análisis y cálculo de carga sísmica por Fuerza Horizontal equivalente derivado del ejemplo de diseño de la CCCSR-84.

CASAS, DESARROLLADO ENTRE EL 1980 Y EL 1990, Desarrollado en la Universidad del Cauca, Juan Manuel Mosquera

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 La estructura

Las estructuras que se van a tratar son las comúnmente denominadas como estructuras de pequeña altura, son usualmente construcciones individuales o urbanizaciones en la forma de casas de uno y dos pisos soportada sobre muros. En las pequeñas poblaciones esta solución representa prácticamente el 100% de las viviendas, reduciéndose para las ciudades intermedia, estando todo este tipo de estructuras expuestas a gran amenaza sísmica dependiendo del territorio.

En Colombia una muy buena cantidad de soluciones de vivienda han sido y están siendo desarrolladas como casas de tipo bajo menores o iguales a dos pisos, en contraposición a la otra forma común de vivienda que hace uso de edificios de mediana a gran altura, usualmente con un sistema estructural diferente siendo el pórtico en concreto reforzado o el pórtico más muros en concreto reforzado los más comunes, dependiendo básicamente de la altura del miso. El tipo de solución tiene que ver con una condición económica que relaciona el valor del terreno con el número de pisos para que la construcción sea rentable, como también con la tradición histórica. En ciudades donde el confinamiento generado por los recintos amurallados acondiciona la zona a construir, el perímetro urbano es pequeño históricamente y por lo tanto el valor de la tierra es alto, este es el caso de las poblaciones europeas donde es más común la construcción en altura

independientemente del tamaño de las mismas y ciudades de muy pocos habitantes tienen edificios de varios pisos como la solución común para las viviendas. Por el contrario, en América el perímetro urbano es más grande y la solución de vivienda son generalmente las casas. Un costo que usualmente no se considera en este tipo de análisis económico es el desarrollo de los servicios de las nuevas zonas del perímetro urbano las cuales están a cargo del estado, hay en nuestra región sectores con servicios que no están dentro de la zona urbana y otros que estando no tienen servicios.

Este tipo de soluciones bajas la forma más común de estructura se genera cuando los muros divisorios, que en otros sistemas estructurales cumplen funciones únicamente de particiones, toman las cargas inducidas por los pisos superiores y las llevan al suelo de fundación, convirtiéndose así en la estructura.

Los muros más comunes en nuestro medio son los de mampostería en sus múltiples formas, recientemente se ha hecho popular el uso de los muros de concreto, pero estos son más comunes en edificaciones de mayor número de pisos, especialmente por el costo asociado a las formaletas. Las unidades de mampostería (mampuesto), son piezas en forma de paralelepípedo en arcilla cocida, o concreto, sílice-cal o piedra que cumplen requisitos de dimensiones y de resistencia para ser utilizados como las componentes básicas.

En nuestro medio hoy en día tenemos una serie de mampuestos denominados comúnmente como ladrillo, bloque, bocadillo, tolete, prensado farol etc. Estas unidades de mampostería se ligan por medio de los morteros, y con la adición de acero interno o externo, para tomar los esfuerzos de tensión, nos dan el conjunto de la mampostería. Los muros son elementos bidimensionales con largo y ancho como dimensiones fundamentales, las cuales generan el plano sobre el que va a trabajar el muro, teniendo el espesor como la dimensión menor y se asume que la rigidez y la resistencia son despreciables en esta dirección. Hoy en día los muros tienden a ser modulares, es decir que haya la menor fabricación de piezas en obra, reduciendo el trabajo al montaje de las unidades en sus correspondientes conjunto o elementos funcionales, el sistema en síntesis se industrializa.

2.2.2 Características de una estructura sismo resistente

Las estructuras localizadas en regiones sísmicas como las nuestras, deben diseñarse para resistir fuerzas horizontales grandes. El diseño de tales estructuras requiere un balance entre resistencia, rigidez y disipación de energía, lo que nos lleva a buscar estructuras que posean simplicidad, regularidad y simetría tanto en planta como en elevación. Las cargas gravitacionales (vivas y muertas) constituyen la razón de ser de las edificaciones, pero al utilizar sistemas estructurales eficientes, se disminuye el peso propio y con él los efectos causados por los sismos. El sistema

estructural más eficiente suele ser el que resiste las fuerzas horizontales de sismo con el menor incremento de material, por encima del necesario para soportar las imprescindibles cargas gravitacionales, en este sentido la estructura sobre muros para vivienda cumple muy satisfactoriamente. La solución de un sistema estructural parte de la identificación clara y precisa de todos los estados límite de servicio y de falla a los que está sometida. Los diseños sísmicos involucran la ductilidad como característica fundamental del sistema estructural para los sismos, la respuesta inelástica de una estructura en su conjunto depende de las propiedades de los elementos estructurales que la componen, y estos a su vez del comportamiento de las secciones transversales y de los materiales correspondientes. La mampostería simple (sin refuerzo de acero) no tiene ductilidad ya que no puede tomar las tensiones inducidas por las fuerzas horizontales, por lo tanto, no es una estructura recomendable en zonas sísmicas. El acero de refuerzo se ha involucrado dentro de los muros de mampostería de múltiples formas para lograr ductilidad. La sección de los muros puede tener el refuerzo interno en el muro, dando la mampostería reforzada, o el refuerzo puede ser externo para la mampostería confinada, que son los dos sistemas estructurales en mampostería a tratar en este trabajo. Aun con la presencia del acero de refuerzo la ductilidad de la mampostería no es muy alta, por esto las casas han de tomar mayor cantidad de la carga sísmica en estado elástico, en edificaciones bajas en muchos casos las cargas horizontales pueden ser tomada en su totalidad elásticamente sin requerir de ductilidad.

2.2.3 Reseña histórica de la mampostería

Por milenios la humanidad ha construido toda clase de estructuras utilizando mampuestos de piedra, tierra, arcilla cocida y más recientemente bloques de cemento. Desde la prehistoria se apilaban piedras pegadas con barro para protegerse del frío y de los animales, también se formaban unidades de barro amasado y secadas al sol con formas irregulares. En Sumeria (4000 AC.) se producían adobes de barro con paja elaborados en moldes de madera y secadas al sol, como también a partir de estos se producen los primeros ladrillos (adobe al horno), procedimiento que todavía es utilizado artesanalmente en nuestro medio. En Egipto se construyen mamposterías de piedra (mármoles, calizas, Granitos), asentadas con morteros de yeso y cal. En Roma se mejora en procedimiento utilizando morteros con base en cal y cenizas del Vesubio, que dan mayores resistencias y a edades más tempranas, también se inventa el concreto (mortero de cal, cenizas del Vesubio y piedras). En la edad media es notorio el trabajo de mampostería de los árabes y dentro este las obras de los Moros en mampostería de la península Ibérica. Mucho más reciente es el trabajo industrializado de la época moderna, en 1824 se patenta el cemento Portland, como también se inventa la máquina de extruir ladrillos, un poco más tarde se patenta el bloque de cemento, es también de este siglo el horno de producción continua para el cemento. Ya en el

siglo 20 se hacen ensayos a escala natural como también se implementan los métodos de análisis y diseño de la mampostería.

En Colombia la construcción de la mampostería se ha aplicado durante siglos de manera empírica, pero en 1984 aparece la norma colombiana con las recomendaciones para el diseño y en los años 1998 y 2010 se actualiza y complementa en el título D la norma.

2.2.4 Evaluación funcional del sistema de muros.

En el sistema de muros portantes, los muros que hacen de estructura se utilizan también como particiones y las fachadas reduciendo considerablemente el costo de la construcción en la medida de que no hay duplicidad de elementos. Este sistema es muy funcional en casas con luces cortas (del orden de 3 metros), las losas tienen para estas luces un menor peso del que es frecuente en las estructuras aporricadas, la cimentación al igual que la losa es más simple y de menor costo, además para el cimientamiento las cargas llegan más distribuidas al terreno de fundación. La economía de materiales es notable entre estos dos sistemas tan difundidos en nuestro medio, por las luces pequeñas asociadas a las viviendas actuales el refuerzo horizontal en la losa es del orden de los 6 Kgf/m² de losa, para 15 Kgf/m² en el caso del pórtico, esta gran diferencia está básicamente asociada a las dimensiones mínimas y cuantías mínimas de las secciones de vigas en el sistema pórtico, al mismo tiempo el refuerzo de los elementos verticales es bastante mayor en el sistema pórtico, del orden de 9 Kgf/m² a 5 Kgf/m² en el sistema de muro, como conclusión el acero de refuerzo en el sistema muros es del orden de la mitad de lo requerido en el sistema pórtico, esto sin contar el refuerzo de los elementos no estructurales que es muy importante en nuestra norma. Hoy es un hecho que la mampostería ha sobrevivido al lado de los materiales modernos, como el concreto reforzado y presforzado y el acero, esto se debe en parte a que se han desarrollado una buena cantidad de accesorios para reforzar y anclar elementos. Se ha incorporado acero para tomar los esfuerzos de tensión en la mampostería, como también para controlar la fisuración por retracción y temperatura.

2.2.5 Análisis estructural.

El código colombiano de construcciones sísmo resistente NSR-10, dedica el título E a casas de uno y dos pisos, en él se establecen los requisitos mínimos de construcciones sísmo resistentes de viviendas de uno y dos pisos de mampostería confinada, con los cuales se espera un comportamiento adecuado de la vivienda por la acción de un sismo. Estos requisitos mínimos se expresan por medio de una serie de mecanismos empíricos, como la simetría, la distribución de los muros en planta, una longitud mínima de estos en cada dirección, un sistema de diafragma

que obligue a estos a trabajar en conjunto y otros, disposiciones que para muchos proyectos arquitectónicos no pueden satisfacerse completamente.

Un caso típico de comportamiento no regular es el de tantas casas en las cuales la fachada tiene muy poca rigidez como también en general la rigidez de los muros en la dirección paralela a la fachada es muy poca comparada con la rigidez perpendicular. El hecho que una determinada casa no cumpla con los requisitos mínimos del título E no implica que vaya a tener un comportamiento inadecuado por la acción de las cargas, y en especial por la carga sísmica, ya que estos requisitos son de índole general y usualmente son muy conservadores por lo tanto resulta más conveniente analizar la estructura como se hace con tantas otras para poder confirmar el estado de todos y cada uno de los elementos estructurales.

Es preciso considerar la estructura como un conjunto espacial cuya estabilidad debe estar garantizada totalmente. En general para el análisis, la estructura espacial se puede modelar como un conjunto de muros trabajando en su propio plano y en dos direcciones mutuamente perpendiculares unidos por diafragmas o losas horizontales. La rigidez y resistencia de la estructura está dada para cada piso por los muros. La unión de estos muros y su trabajo en conjunto recae sobre los diafragmas horizontales, estos se deben disponer de tal forma que tengan, de ser posible, las condiciones de un diafragma rígido o sea aproximadamente indeformable en su propio plano horizontal. El análisis básico para el estudio de las cargas laterales de la estructura, se limita por el modelo, al estudio de una secuencia de dos pisos, entrepiso y cubierta.

El diafragma conformado por la losa o las vigas de amarre es el elemento plano horizontal de la estructura, cuyo espesor es pequeño comparado con las otras dos dimensiones. Con este diafragma los desplazamientos de los muros se emparejan y la torsión en planta es la de un cuerpo rígido. El piso es el modelo para cada nivel de la estructura, conformado por la losa o el sistema de vigas de amarre en la cubierta y los muros aportando la rigidez. El modelo permite distribuir las fuerzas horizontales y calcular los desplazamientos lineales y los de torsión en planta. Este modelo aunque simplificado de los muros más diafragma rígido es una muy buena aproximación al comportamiento espacial de la estructura y tiene las ventajas inherentes de la simplicidad del modelo, que nos permite estudiar con confianza los estados últimos y el comportamiento progresivo de daño de la estructura como también los efectos globales y de segundo orden en una forma unificada. Calculadas las cargas verticales sobre cada muro y repartidas las cargas laterales, la estructura se descompone en dos familias de muros, con cada muro analizado como un sistema plano soportado por los muros normales. La diferencia sustancial con el modelo espacial es la torsión que se puede generar sobre el muro mismo, pero este por ser un elemento lineal de espesor tan pequeño se deforma fácilmente y esta pequeña rigidez es despreciable comparada con la capacidad torsional del

sistema, representada por una suma de las fuerzas axiales sobre cada muro, multiplicadas por la distancia de cada uno de ellos al centro de torsión. EL modelo de piso funciona para varios sistemas estructurales ya que para el reparto de las cargas laterales y el cálculo de los desplazamientos intervienen solamente la losa rígida y las rigideces de piso de los componentes estructurales. Los componentes estructurales pueden ser pórticos o pórticos más muros de cortante, o solo muros.

Con la estructura inicial propuesta y determinadas las acciones exteriores, se procede a formular un modelo matemático relativamente sencillo, para lo cual se adoptan simplificaciones e idealizaciones que reduzcan la complejidad del problema. El modelo matemático está representado por los ejes centroidales de los miembros de la estructura, soportado por medio de apoyos idealizados y sometido a cargas simbólicas que representan las acciones externas. Con el modelo se hace el análisis que es la investigación metódica de la estabilidad, resistencia y rigidez de la estructura y termina cuando se logra, una estructura geoméricamente estable con comportamiento de los materiales dentro de los parámetros proyectados. El análisis puede hacerse en el campo lineal – elástico, en el cual las deformaciones son lineales con respecto a la carga, reversibles y muy pequeñas para no alterar significativamente la geometría inicial de la estructura. En este análisis el principio de superposición es válido, lo que permite obtener efectos totales como la suma de efectos parciales provenientes de diferentes cargas y de diferentes análisis.

2.2.6 Diseño estructural.

Después del análisis se toma cada uno de los elementos de la estructura (detallado), para proveer la resistencia necesaria que demandan las acciones externas y proporcionar el nivel específico de ductilidad. Todos los elementos que hacen parte de la resistencia sísmica de la estructura se deben diseñar para que tengan capacidad de respuesta dúctil, evitándose en todos ellos la falla frágil. Es común el suponer para el diseño las siguientes hipótesis fundamentales:

- las secciones inicialmente planas permanecen planas después de la aplicación de las cargas
- la mampostería no resiste esfuerzos de tracción, debe existir como consecuencia del análisis compatibilidad de deformaciones
- la resistencia proporcionada por el diseño para los elementos estructurales debe exceder los efectos o sollicitaciones de las cargas, a semejanza del concreto la deformación unitaria de la mampostería en la fibra extrema en compresión debe ser 0.003.
- Todos los elementos que hacen parte de la estructura deben estar amarrados entre sí.

3. ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

Se estructuró el programa en tres divisiones principales: Preprocesador, Procesador y post-procesador, en cada uno se hicieron innovaciones y soluciones en busca de hacer un programa sencillo de utilizar.

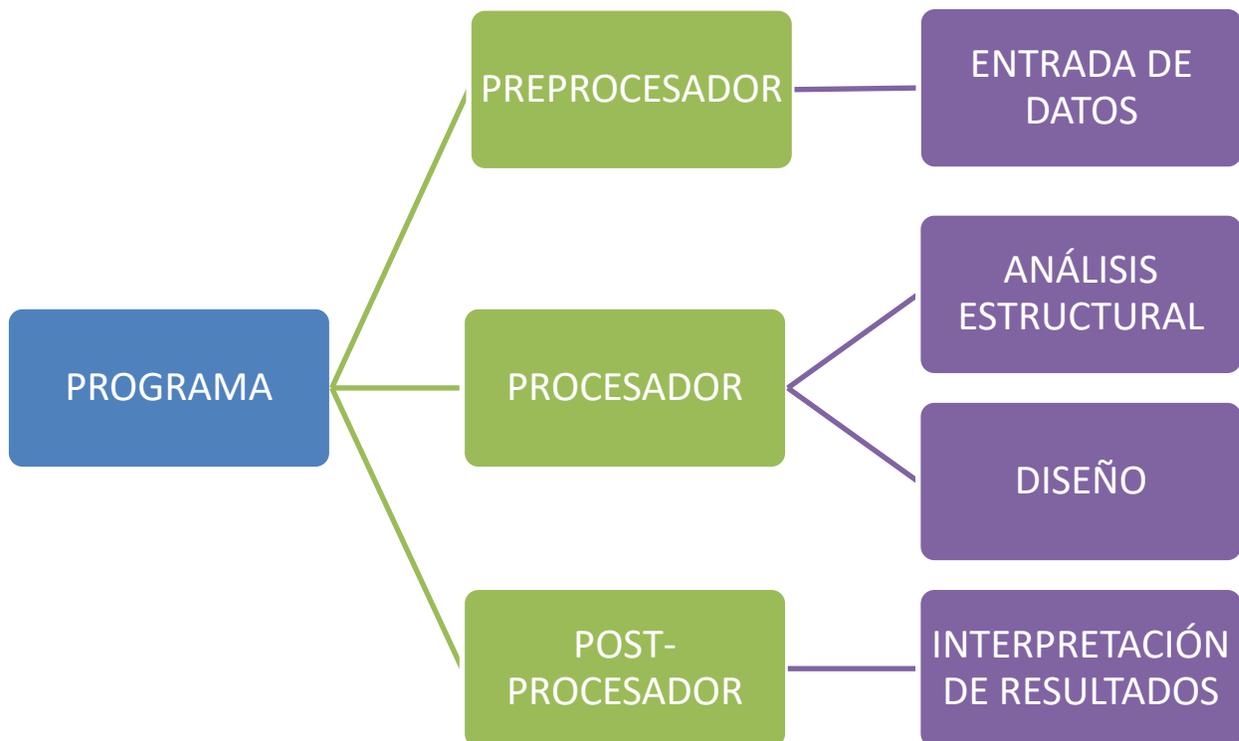


Ilustración 1 Estructura del programa

El software fue desarrollado en el entorno de programación de visual basic.net; en el anexo A, se encuentra el código y el instalador del programa.

4. ENTRADA DE DATOS - PREPROCESADOR

4.1. PROYECTO

La entrada de datos se estructuró de manera sencilla y con una interfaz gráfica.

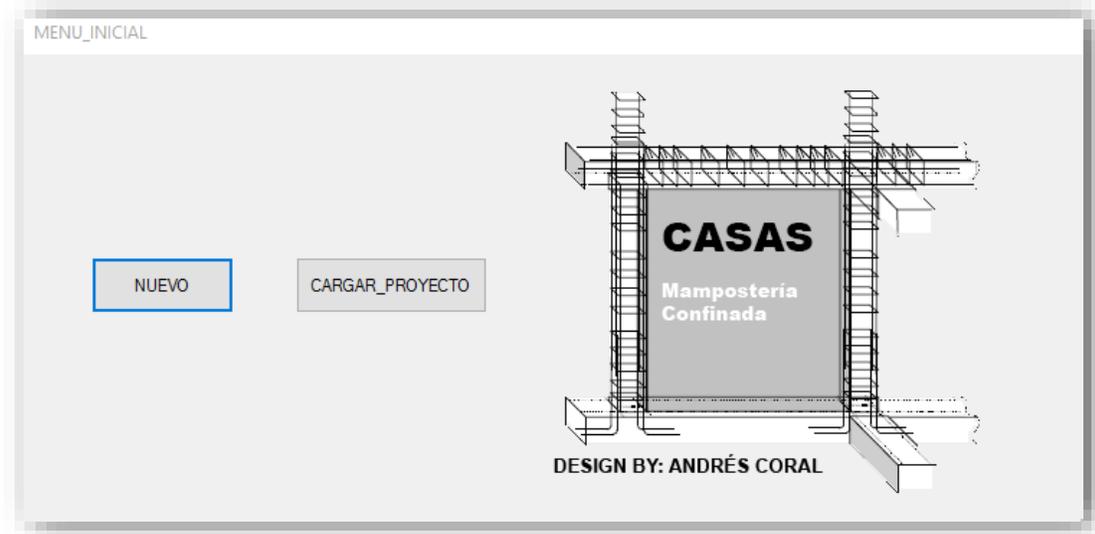


Ilustración 2 Menú inicial

Se planteó el problema inicial de introducción de datos el cual permite crear un proyecto nuevo, además la posibilidad de guardar los datos para su posterior revisión; este problema fue abordado mediante la serialización binaria de datos en archivos de texto para su posterior lectura.

4.2. CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA.

Para que una estructura cumpla adecuadamente con su objetivo debe ser capaz de **resistir** todas las cargas que sobre ella actúen, por lo tanto la estructura de la edificación y todas sus partes deben diseñarse y construirse para que los materiales utilizados en la construcción de los elementos puedan soportar con seguridad las **cargas impuestas**, y a su vez que tengan la rigidez adecuada que limite las deflexiones, derivas laterales y vibraciones que afecten el normal funcionamiento de la estructura. El sistema estructural debe concebirse para que las cargas puedan seguir una trayectoria limpia al suelo de fundación, de esta forma deben diseñarse para ser capaz de resistir adecuadamente las fuerzas desde su aplicación hasta la cimentación y a través de los elementos en su camino. La determinación de las cargas que se aplican en una estructura es compleja a pesar de que existen códigos, normas y muchas guías para la valoración y distribución de las mismas. El

juicio y la experiencia del ingeniero desempeñan una función muy significativa para definir la intensidad y distribución de las cargas que debe soportar la estructura.

Dependiendo de la trayectoria de las cargas se pueden clasificar en dos grupos: El primero aquel que tiene la dirección de la gravedad como trayectoria de la carga, o sea cargas comúnmente denominadas verticales, en este grupo lo integran la carga muerta y la carga viva. El segundo cuya dirección de aplicación es perpendicular a la gravedad, lo integran las fuerzas de viento, sismo, empuje lateral y otras, que proviene en su mayoría de fenómenos naturales, Estas fuerzas que tienen que ver con la naturaleza tienen un carácter espacial.

4.2.1. CARGA VERTICAL.

CARGA MUERTA.

La carga muerta está representada por el peso de la estructura y de todos aquellos elementos que están adosados a la misma, por lo tanto, cubre todas las cargas de los elementos permanentes y propios de la construcción, los muros, columnetas, pisos, cubiertas cielo-rasos, escaleras etc. Las cargas muertas obran en forma permanente sobre la estructura y su magnitud, normalmente no varía con el tiempo, por lo tanto, son cargas de carácter estático.

La determinación de las cargas muertas se basa en conocimiento de las densidades específicas de los materiales que componen la estructura y en las dimensiones de los elementos utilizados, para poder valorar su peso como el producto del volumen por la densidad. Si se conocen con precisión las dimensiones de los componentes estructurales y no estructurales, entonces la determinación de las cargas muertas es inmediata. Pero pueden existir diferencias significativas entre las dimensiones del cálculo y las dimensiones finales de la construcción, lo que genera incertidumbre en la evaluación de las cargas y que amerita el buen criterio del diseñador. Se presentan a continuación algunos de las densidades más representativas del proceso constructivo de estructuras de uno y dos pisos

Material	Densidad(kg/m3)	Densidad(KN/m3)
Acero	7800	78
Agua	1000	10
Arena	1700	17
Concreto simple	2200	22
Concreto reforzado	2400	24
Grava	1600	16
Latón	8430	84.3
Madera	450-750	4.5-7.5
Mampostería en concreto	2150	21.5
Mampostería en ladrillo macizo	1850	18.5
Mampostería en piedra	2200	22
Mortero de pega	2100	21
Mortero de inyección	2250	22.5
Arcilla	1750	17.5
Arcilla y Grava	1600	16

Tabla 1 Densidad de materiales más usados

El reglamento pide que al calcular las cargas muertas se utilicen las masas reales de los materiales, en especial cuando estas son representativas. Para el cálculo de las cargas de los elementos no estructurales el reglamento presenta las siguientes tablas por unidad de superficie:

ELEMENTO	PESO SUPERFICIAL
Cielo-rasos.	kN/m ²
Pañete en Yeso o concreto	0.25
Pañete en entramado de madera	0.80
Entramado metálico con cemento	0.70
Entramado metálico con Yeso	0.50
Pisos	
Baldosa cerámica (20mm) sobre mortero (12mm)	0.8
Baldosa cerámica (20mm) sobre mortero (25mm)	1.1
Bloque de asfalto (50mm) sobre mortero (12mm)	1.5
Bloque de madera (75mm) sobre mortero (12mm)	0.8
Cubiertas	
Teja de arcilla con mortero	0.8
Tablillas de madera (singles)	0.1
Marquesina marco de acero más vidrio	0.4
Asbesto cemento	0.2

Tabla 2 Carga muerta superficial para elementos

Los elementos verticales no estructurales son aquellos cuya dimensión vertical es sustancialmente menor a su mínima dimensión horizontal. El elemento fundamental de este tipo presente en la mayoría de las estructuras son los muros, los cuales en una edificación tipo pórtico serían no estructurales. Para las casas diseñadas y construidas en mampostería, la mayoría de los muros serían estructurales.

Carga viva.

La carga viva es aquella que se genera por el uso de la edificación, debe incluir todos los pesos de elementos que no estén fijos a la estructura, las cargas vivas que se utilicen en el diseño de la estructura deben ser las máximas cargas que se espera ocurran en la vida útil de la edificación.

El término de carga viva proviene de la vivencia de esta carga, a diferencia de la muerta, es decir que cambia con el tiempo. Las cargas vivas cambian con el tiempo. En algunas circunstancias estas fluctuaciones se producen lo suficientemente rápido como para generar efectos de naturaleza dinámica.

La determinación de la carga viva apropiada para un sistema estructural es complicada debido a la incertidumbre de la magnitud de la carga y el lugar de aplicación. **Las casas** en nuestro medio sirven para propósitos tan diversos y es tan larga la vida útil de las mismas, como también presentan arreglos de mobiliario y personal tan variados, que dificultan la estimación de las cargas de diseño. Usualmente se clasifican según su uso como: edificaciones residenciales, para oficinas, industria, etc. Debido a que las cargas de uso son tan aleatorias en su naturaleza, no hay forma precisa para aplicar las cargas reales a un área dada, por esta razón, dichas cargas son especificadas por los códigos como cargas uniformes sobre el área total. Estas cargas deben ser extremadamente conservadoras debido a la incertidumbre acerca de cómo pueden distribuirse las cargas reales, es decir, debe cubrir la posibilidad de falla por sobrecarga.

Ocupación	Carga uniforme (KN/m ²)
Oficinas	2.00
Viviendas	1.80
Restaurantes	5.00
Comercio Mayorista	6.00
Escaleras (Para todas las ocupaciones)	3.00
Balcones (para toda ocupación)	5.00

Tabla 3 Ejemplo de carga viva mínima según norma

A continuación, se presenta el cálculo de la carga vertical por metro cuadrado para los casos de entresijos típicos como cubierta.

Losa de entresijo, aligerada, con muros.

Losa aligerada con casetón, cielo-raso de malla y pañete. Se consideran muros sobre la losa de entresijo.

ITEM	PESO SUPERFICIAL(KN/m ²)
CARGAS MUERTAS:	
- Losa de Compresión: 0.05 * 24.00	= 1.20 KN/m ²
- Nervio: 0.1*0.25*24.00/0.60	= 1.00
- Casetón:	= 0.30
- Cielo-raso:	= 0.80
- Piso:	= 1.00
- Muros:	= 3.00
	CM= 7.30 KN/m²
CARGAS VIVAS:	CV = 1.80 KN/m²
CARGA TOTAL:	CT = 9.10 KN/m²
CARGA ÚLTIMA:	CU = 1.2 CM + 1.6 CV= 11.64 KN/m²
	CU = 1.4 D = 10.22 KN/m²

Tabla 4 Ejemplo de cálculo de cargas

En el software desarrollado, se planteó la introducción de la carga muerta y viva superficial calculada en el siguiente formulario, limitando el número de pisos a edificaciones de 1 y dos pisos.

Numero de pisos	<input type="text" value="2"/>		
	Entrepiso	Cubierta	
Cargas y alturas			
Altura Entrepiso (m)	<input type="text" value="2.8"/>	<input type="text" value="2.8"/>	
Carga Muerta (KN/m ²)	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="1"/>	
Carga Viva (KN/m ²)	<input type="text" value="1.8"/>	<input type="text" value="0.5"/>	

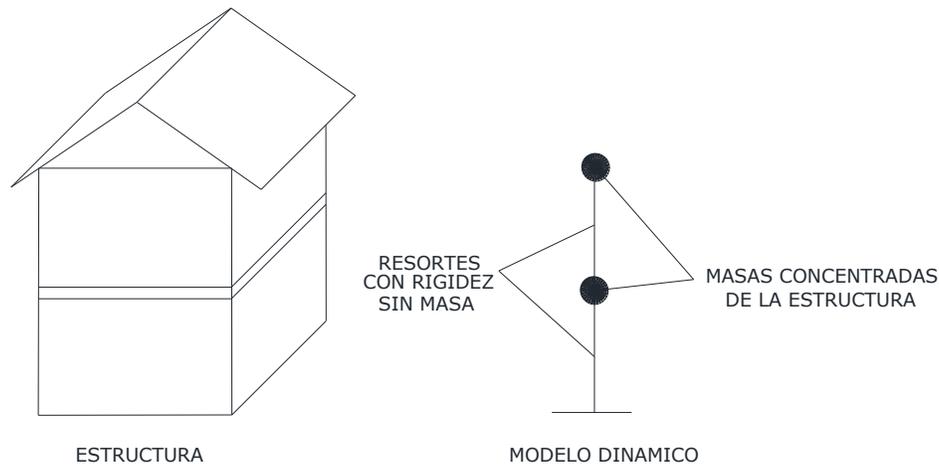
Ilustración 3 Ventana de asignación de cargas y altura de pisos

Estas cargas son usadas posteriormente en el procesador para el análisis y diseño de la estructura

4.2.2. CARGAS LATERALES POR SISMO

4.2.2.1 INTRODUCCIÓN

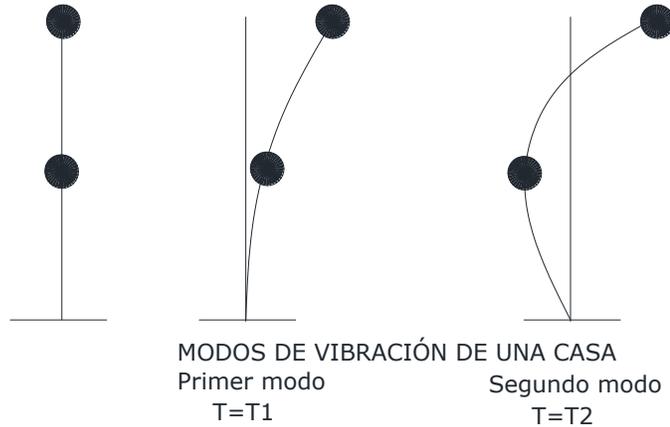
Todo cuerpo que tiene masa y rigidez es susceptible de vibrar y generar fuerzas inerciales. El estudio de las vibraciones o de las fuerzas inerciales de la estructura se conoce como análisis dinámico y proporciona la solución en cada instante de tiempo o historia de respuesta de la estructura. Debe adoptarse, por lo tanto, un modelo dinámico de la estructura que tenga las características mecánicas de masa, de rigidez y adicionalmente de amortiguamiento. Calcular la respuesta dinámica de una estructura implica establecer dicha solución en cada uno de los puntos de la estructura, es decir, en una infinidad de puntos. Para facilitar el cálculo numérico de la respuesta es usual preestablecer un número finito de puntos, en donde se supone que actúan masas concentradas elegidos de tal forma, que el modelo que resulta tenga un comportamiento dinámico lo más próximo al comportamiento real de la estructura.



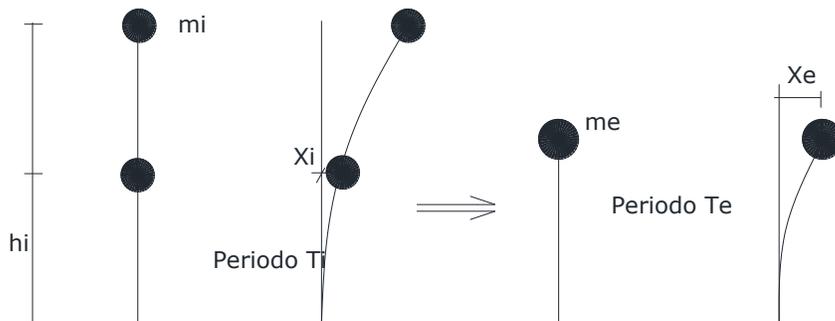
El modelo dinámico de la edificación convencional las masas se concentran usualmente a nivel de la losa de piso y de las vigas de amarre de cubierta estando unidas por resortes, los cuales aportan rigidez, pero carecen de masa. Estos resortes representan los elementos verticales y el valor numérico de la rigidez total está dado por la suma de las rigideces de piso de los muros. Normalmente las losas de los pisos se consideran rígidas en su propio plano y todos los miembros conectados a ella están geoméricamente relacionados por el movimiento de la losa, representado por una translación más rotación. El número mínimo de desplazamientos generalizados que hay que conocer para definir por completo la posición de la estructura en cada instante de tiempo durante las vibraciones son los grados de libertad, se tienen tres grados de libertad por piso, dos desplazamientos horizontales y un giro.

En el modelo dinámico se puede simplificar más al separar la respuesta en cada una de las direcciones principales, y adicionar el efecto de torsión posteriormente; así las “ecuaciones de movimiento”, que son las expresiones matemáticas que definen las características de la respuesta dinámica, dan la solución en cada una de las direcciones principales de la estructura. Para el estudio de estos modelos, es común usar la forma geométrica del péndulo invertido como representación de la estructura, que es el sistema más sencillo que tiene masa y rigidez. Al vibrar la estructura adopta una configuración de desplazamientos que se denomina forma modal, con un periodo de vibración particular de cada modo, definido como el tiempo que tarda el sistema en dar una oscilación completa. Existen tantos modos como número de grados de libertad tiene el sistema. El primer modo o modo fundamental

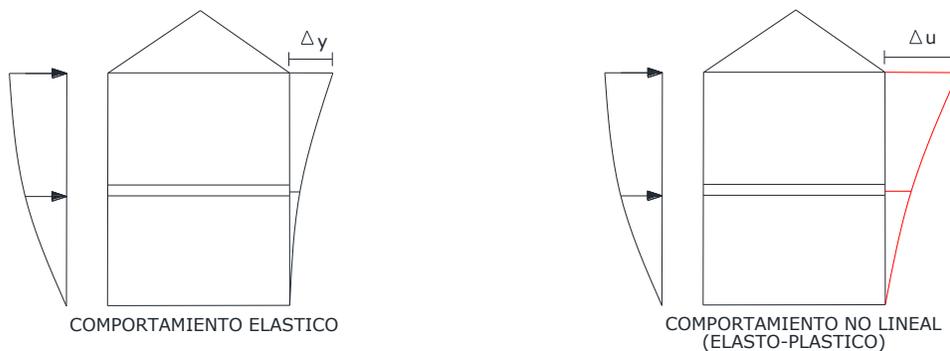
se caracteriza por no mostrar puntos de inflexión y por tener la frecuencia más baja o el periodo más largo. Al pasar a los modos superiores, la configuración presenta cada vez un nuevo punto de inflexión y el período natural va disminuyendo.



Para cada masa se establece una ecuación de movimiento la cual involucra la fuerza inercial y las fuerzas elásticas producidas por los desplazamientos de las masas. Al plantear todas las ecuaciones, resulta un sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas acopladas cuya solución da el desplazamiento de cada masa como función del tiempo. El sistema de n ecuaciones diferenciales acopladas se transforma en n ecuaciones independientes, donde cada una corresponde a un modo de vibración caracterizado por un periodo equivalente y una masa participativa. La solución total es la suma ponderada de los modos. Reducir las estructuras con n grados de libertad dinámica a n sistemas de un solo grado de libertad es de gran importancia para poder calcular directamente la respuesta máxima. El problema general es calcular el valor de la masa equivalente para determinar la fuerza cortante en la base para cualquier modo de vibración.

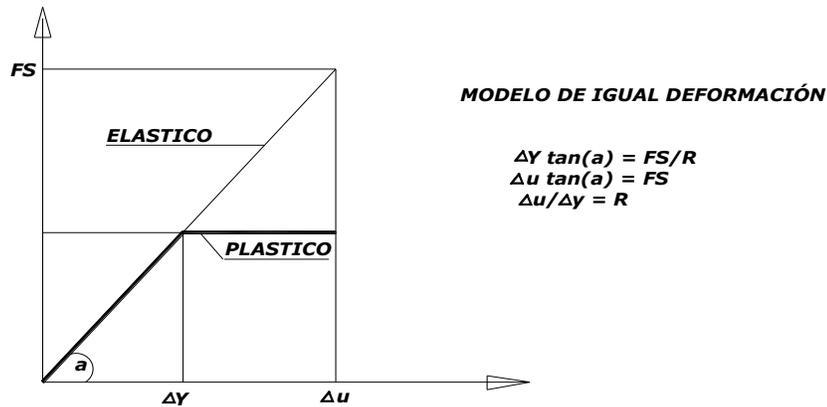


El concepto fundamental es que en un instante de tiempo dado, los desplazamientos de las masas de un sistema de varios grados de libertad puedan expresarse como la suma de los desplazamientos debidos a la participación de cada uno de los modos naturales. Para fines de diseño interesa determinar la respuesta total máxima de la estructura, como la participación de todos los modos. Un límite superior es la suma de las respuestas modales máximas, ya que las respuestas máximas de los modos no ocurren simultáneamente. Para edificios de pocos pisos la contribución de los modos superiores es pequeña, por lo que el análisis teniendo en cuenta solo el primer modo de vibración es buena solución, esta aproximación es denominada fuerza lateral equivalente. En General, la carga sísmica elásticas de diseño que recomiendan las normas sísmicas son cargas estáticas equivalentes obtenidas de los espectros de diseño para sistemas de un grado de libertad, sobre estructuras idealizadas (modelos) elásticas.



Toda estructura puede desarrollar alguna ductilidad según su detallado del refuerzo, porcentajes de refuerzo longitudinal y refuerzo de confinamiento. Una medida de ductilidad de una estructura es el factor de ductilidad de desplazamiento, definido como $U = \Delta u / \Delta y$. Ante la dificultad de calcular Δu , que se determina a partir del comportamiento inelástico de la estructura real, los códigos proponen un modelo elástico de igual deformación que involucra una estructura elástica ideal y la estructura elástica real (hasta Δy). Las fuerzas sísmicas totales actuando sobre la estructura elástica ideal produce Δu , mientras que estas mismas fuerzas divididas por coeficiente de ductilidad "R" actuando sobre la estructura real produce Δy , donde "R" es un parámetro para simular la ductilidad en los diferentes sistemas estructurales. La relación entre las fuerzas sísmicas y las fuerzas de diseño es R, llamado coeficiente de reducción de fuerza sísmica. (Para un determinado R para el modelo el código exige ciertos porcentajes de refuerzo longitudinal y aceros de

confinamiento para la estructura real). Si la estructura sólo puede alcanzar el comportamiento elástico, las fuerzas de diseño son las mismas fuerzas sísmicas, $R = 1$. Si la estructura tiene comportamiento inelástico, las fuerzas laterales son $E = F$ sísmicas/ R



Para desarrollar la ductilidad, $R > 1.0$, la estructura tiene que agotar su capacidad elástica, lo que ocurre cuando al aumentar la excitación aplicada se generan cambios en las propiedades de los elementos que alteran su respuesta, el comportamiento deja de ser lineal, la rigidez disminuye y el amortiguamiento aumenta. Los elementos de concreto reducen su rigidez cuando los esfuerzos de compresión sobrepasan el 50% de la resistencia y sigue disminuyendo por el agrietamiento de las secciones sometidas a flexión. Los elementos no estructurales pueden contribuir grandemente a la rigidez de la estructura para solicitaciones bajas, pero terminan agrietándose o separándose de la estructura.

En el software desarrollado el usuario debe analizar las anteriores condiciones y basándose en los coeficientes dados en el capítulo A de la norma NSR-10, definir el coeficiente de disipación energía básico de la estructura. Como ejemplo se presenta la ventana de datos de disipación de energía con un $R=2$ el cual la norma asigna para estructuras de mampostería confinada (DMO)

Disipación de energía	
R0X: Coeficiente de disipación de energía básico (X) (NSR-10, A.3)	<input type="text" value="2"/>
R0Y: Coeficiente de disipación de energía básico (Y) (NSR-10, A.3)	<input type="text" value="2"/>
Φ_a : Coeficiente de irregularidad en altura (NSR-10, A.3.3.5)	<input type="text" value="1"/>
Φ_p : Coeficiente de irregularidad en planta (NSR-10, A.3.3.4)	<input type="text" value="1"/>
Φ_rX : Coeficiente por ausencia de redundancia (X) (NSR-10, A.3.3.8)	<input type="text" value="1"/>
Φ_rY : Coeficiente por ausencia de redundancia (Y) (NSR-10, A.3.3.8)	<input type="text" value="1"/>

Ilustración 4 Coeficiente de disipación de energía

4.2.2.2 ESPECTRO DE DISEÑO ELÁSTICO DEL REGLAMENTO NSR-10.

La norma colombiana de construcciones sismo-resistentes NSR-10, define los movimientos sísmicos de diseño en función de la aceleración pico efectivo (A_a) y de la velocidad pico efectiva (A_v), como base fundamental para el cálculo del espectro de diseño sísmico. El coeficiente de aceleración y velocidad fluctúan entre 0.50-0.05 de la aceleración de la gravedad, dependiendo de la localización específica del lugar. Estos valores según el código tienen una probabilidad de un diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años.

Los efectos de ampliación por el suelo de cimentación se introducen en la valoración del espectro por medio de los factores F_a y F_v , los cuales afectan la zona del espectro de periodos cortos o periodos largos, estos deben ser determinados por el ingeniero geotecnista a partir de los perfiles de suelo propuestos por la norma.

Finalmente, el espectro de diseño de la norma es afectado por un coeficiente que tiene en cuenta la importancia de la edificación, fluctuando desde 1.5 para edificaciones de funcionamiento indispensables durante y después del sismo, hasta 1.0 para aquellas de ocupación normal. El coeficiente de importancia (I) modifica el espectro linealmente de acuerdo al grupo de uso asignado a la edificación.

El espectro de diseño (S_a) definido como la máxima aceleración horizontal, expresada como una fracción de la gravedad, que experimenta la masa de un sistema de un grado de libertad para un periodo de vibración dado, con un coeficiente de amortiguamiento del 0.05% de valor del amortiguamiento crítico, está dada por:

Para periodos cortos: $Sa = 2.5 * Aa * Fa * I$ $T < Tc$
 $Tc = 0.48(Av * Fv)/(Aa * Fa)$

Para periodos medios $Sa = 1.2 * Av * I * Fv/T$ $Tc < T < Tl$

Para periodos Largos $Sa = 1.2 * Av * Fv * Tl * I / T^2$ $T > Tl$
 $Tl = 2.40 * Fv$

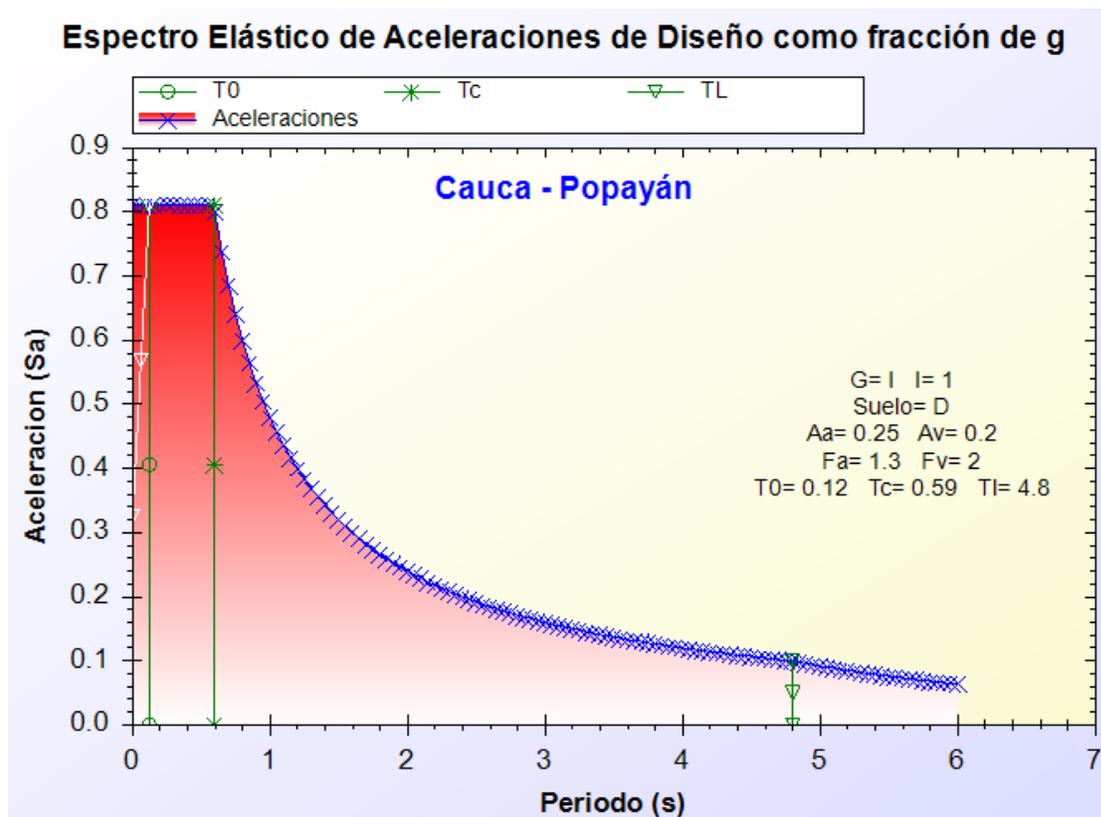


Ilustración 5 Ejemplo de espectro elástico

Las Estructuras de baja altura y en muros de mampostería se ubican siempre en la zona de periodos cortos debido a que este sistema estructural posee gran rigidez, por lo que si el periodo es mayor a Tc sería una estructura inestable en un evento sísmico.

En el programa se ingresan los parámetros sísmicos en la siguiente ventana, teniendo en cuenta los valores de aceleraciones y factores por norma dependiendo del lugar y el suelo, o por un estudio de microzonificación sísmica.

Parámetros Sísmicos

Aa	<input type="text" value="0.25"/>	Av	<input type="text" value="0.20"/>
Fa	<input type="text" value="1.3"/>	Fv	<input type="text" value="2"/>
Coeficiente de importancia (I)		<input type="text" value="1"/>	

Ilustración 6 Parámetros sísmicos

Además, se deben definir longitudes para hallar las excentricidades accidentales para sumarlas con las naturales y encontrar las fuerzas torsionales en nuestra estructura

Longitudes para excentricidad

En dirección X	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="8"/>
En dirección Y	<input type="text" value="12"/>	<input type="text" value="12"/>

Ilustración 7 Longitudes para excentricidad accidental

4.3. EJES DE MUROS

Los muros son el sistema de resistencia sísmica de este tipo de estructuras

El modelo se basa en la introducción de los muros definiendo los ejes, con ayuda de plugins y dlls de programación se llevó a cabo una solución para este problema; se definen los ejes gráficamente con ayuda de una plantilla guía de dibujo DWG o DXF, así queda definida las coordenadas de los ejes de los muros, sus abscisas u ordenadas, la orientación (X ó Y) y las longitudes de los muros.(Ver subrutina Leer_Muros() del Anexo A)

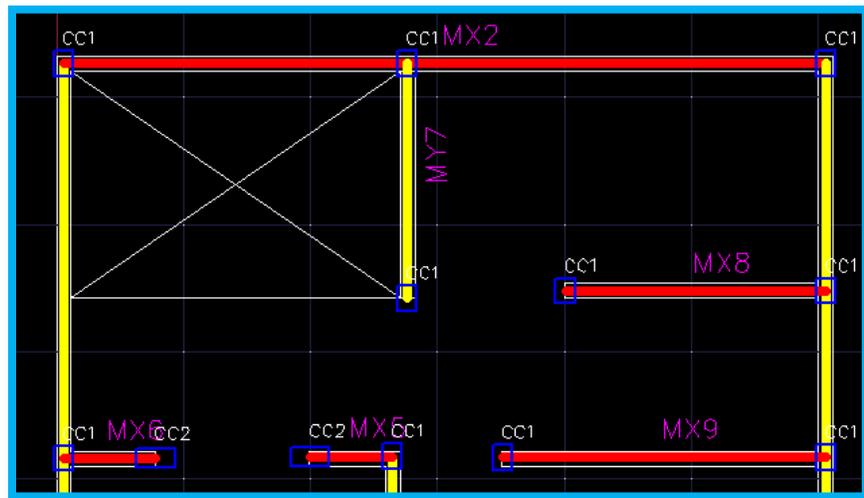


Ilustración 8 Ejemplo de introducción de muros

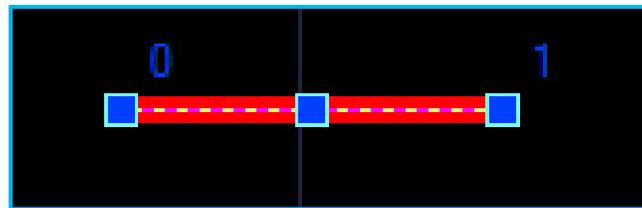


Ilustración 9 Modelo del muro

Cada muro en el sentido que se dibuja se asigna un punto inicial (0) y un punto final (1) cada punto tiene coordenadas (X0, Y0) y (X1, Y1) respectivamente, obteniendo así la ubicación de los ejes de los muros en un sistema de coordenadas cartesiano.

MUROS CONTÍNUOS EN SEGUNDO PISO

En base a la necesidad de identificar los muros o parte de estos que son continuos en el segundo piso, por medio de el mismo procedimiento anterior con la plantilla guía se identifica la continuidad de estos. Se programó la subrutina Leer_muros_continuos () (ver anexo A), con la cual se identifica la longitud que es continua en el modelo.

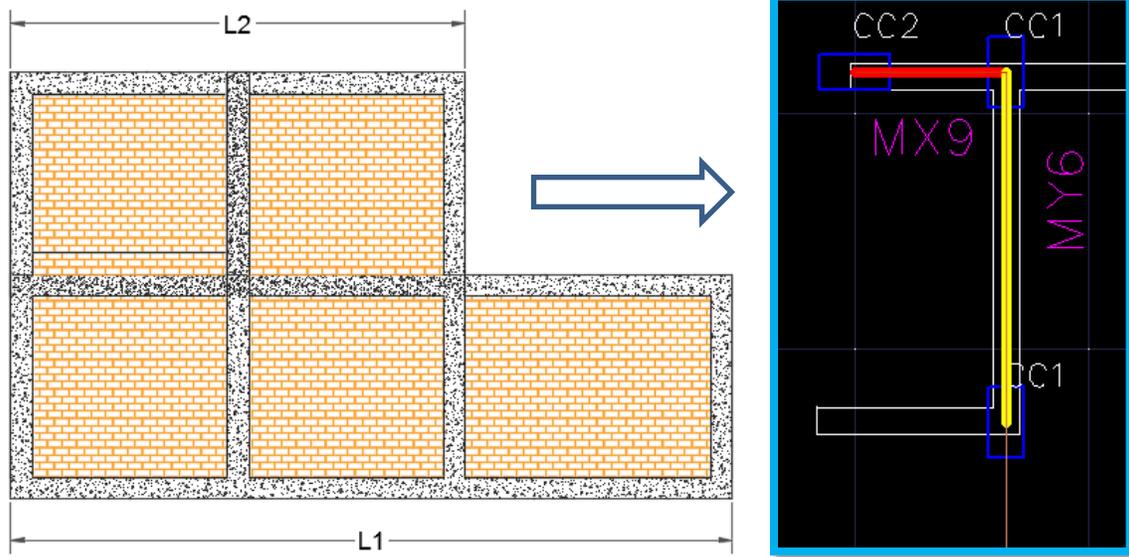


Ilustración 10 Identificación de muros continuos

4.4. LOSA DE ENTREPISO Y VACIOS

La losa o vacíos se define como una poli-línea cerrada, con la plantilla DWG o DXF guía se dibuja o introducen las coordenadas del contorno de estas.

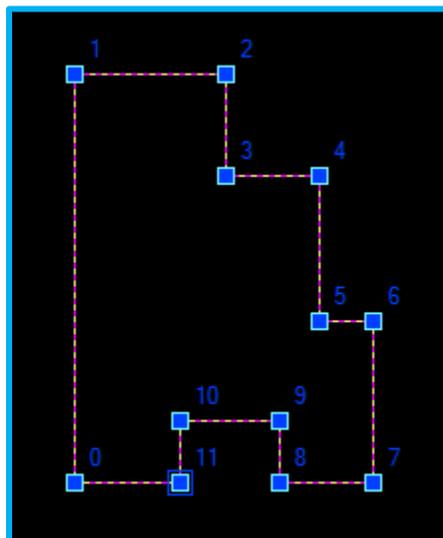


Ilustración 11 Representación de los nudos de la losa

En base al contorno descrito por la poli-línea se halla su respectiva área y posición de cada punto de esta en el sistema de coordenadas cartesiano.

4.5. PROPIEDADES DE MUROS

En el formulario de propiedades de muros se definen para el cálculo de rigidez lateral, el espesor de los muros y el módulo de elasticidad.

Espesor inicial (m)	<input type="text" value="0.15"/>	
Modulo Elasticidad (KN/m2)		
Mampostería en concreto	<input type="text" value="8100000"/>	Para mampostería en concreto $E_m = 900 * f'_m \leq 20000 \text{ MPa}$ (D.5.2-2)
Mampostería en Arcilla	<input type="text" value="5827500"/>	Para mampostería en arcilla $E_m = 750 * f'_m \leq 20000 \text{ MPa}$ (D.5.2-3)

Ilustración 12 Ventana de las Propiedades de muros

5. ANÁLISIS

5.1. INTRODUCCIÓN

En el análisis de las casas de uno y dos pisos el primer problema a plantear es la **rigidez del muro**, la cual relaciona la fuerza aplicada con la deformación. Las deformaciones de los muros deben calcularse con los métodos y teorías de la elasticidad, usando las propiedades elásticas de los materiales (Módulos de elasticidad, cortante y relaciones de Poisson), siguiendo la hipótesis de comportamiento elástico lineal o elástico-plástico para unas magnitudes y distribuciones de las fuerzas variables.

Existen soluciones analíticas para ciertos casos sencillos, siendo la más representativa la de los muros de sección rectangular empotrados en su base y sujetos a una carga lateral "**F**" en su extremo superior,

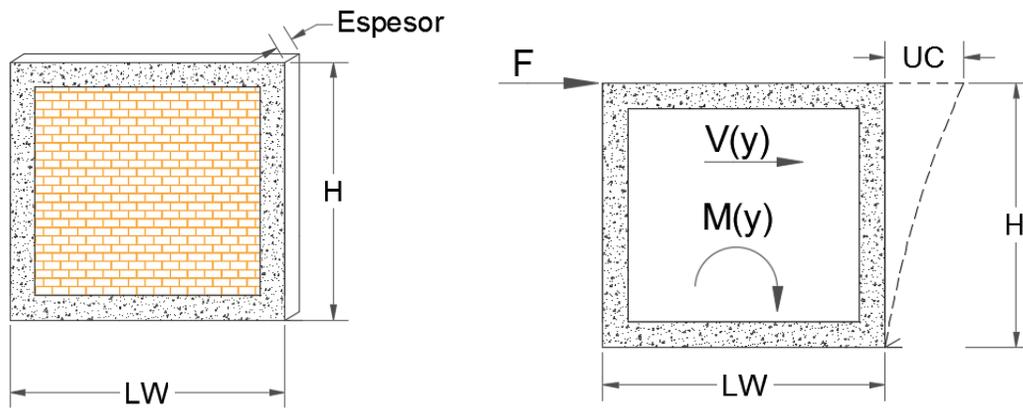


Ilustración 13 Desplazamientos y efectos en el muro

Superponiendo los efectos de flexión y cortante:

$$\text{Desplazamiento} = \left(\frac{FH^3}{3EI} + \frac{FH}{GA} \right).$$

Donde **F** es la Carga lateral, **H** es la altura del muro, **I** y **A** es el momento de inercia y el área de la sección transversal, **E** es el módulo de elasticidad y **G** es el módulo de cortante. Los valores generados por la fórmula no difieren en más de un 4% de los obtenidos por el método de los elementos finitos. Por lo cual para fines prácticos es **suficiente** calcular los desplazamientos laterales de muros aislados con los procedimientos de resistencia de materiales que tienen en cuenta tanto el efecto de flexión como de cortante.

En muros bajos de sección rectangular cuya altura total no exceda de un tercio de la longitud y cuya base se halla aproximadamente empotrada, los desplazamientos por flexión pueden ser del orden de un 10% a 15% del total o aun menores, así es aceptable despreciar esta contribución y calcular la rigidez de entrepiso tomando en cuenta solamente las deformaciones debidas a cortante. La rigidez **Kp** es la razón del cortante horizontal al desplazamiento lateral, siendo **e** el espesor del muro. $Kp = \frac{eGL}{h}$.

En muros **altos** tiene importancia la deformación por **flexión**, por lo cual las rigideces de piso dependen de la distribución de la fuerza lateral en altura. Así, las fuerzas en cada piso dependen de las rigideces y estas a su vez dependen de las fuerzas por lo que se hace indispensable un proceso iterativo. Cuando las fuerzas laterales se distribuyen proporcionalmente a la rigidez de cada muro, calculada por un desplazamiento unitario de su extremo superior, es decir aplicando una fuerza en dicho extremo y dividiéndola entre el desplazamiento que esta produce, el error cometido es tolerable. Alternativamente, las rigideces de los diferentes pisos en los sistemas estructurales de muros altos pueden ser calculadas suponiendo una

distribución de fuerzas en cada muro, semejante a las cargas globales de la edificación.

Para cada muro y con la ayuda de la resistencia de materiales, pueden determinarse los desplazamientos debidos tanto a flexión y cortante y la rigidez del muro, si la distribución en altura de las fuerzas se conoce. Por ejemplo si se tiene una edificación de dos pisos, en la cual la masa del piso inferior es mayor que la masa del piso superior o cubierta (losa de entrepiso en concreto y cubierta en asbesto cemento), la razón de las fuerzas externas globales de la edificación es aproximadamente de 1.0 a 0.5, por cada unidad de fuerza en el primer piso se tiene media unidad de fuerza lateral en el segundo piso. Adoptada esta razón de fuerzas en altura las rigideces para los dos pisos son:

$$Kp1 = \frac{(e * E)}{\left(3 \left(\frac{h}{l}\right) + 6 \left(\frac{h}{l}\right)^3\right)} \quad \therefore \quad Kp2 = \frac{(e * E)}{\left(3 \left(\frac{h}{l}\right) + 32 \left(\frac{h}{l}\right)^3\right)}$$

Si por el contrario se tiene una edificación de dos pisos, en la cual la masas de pisos inferior y superior o cubierta sean iguales (losa de entrepiso en concreto y cubierta en concreto), la razón de las fuerzas externas globales de la edificación es aproximadamente de 1.0 a 2.0) por cada unidad de fuerza en el primer piso se tienen dos unidades de fuerza lateral en el segundo piso. Las rigideces son:

$$Kp1 = \frac{(e * E)}{\left(3 \left(\frac{h}{l}\right) + 8 \left(\frac{h}{l}\right)^3\right)} \quad Kp2 = \frac{e * E}{\left(3 \left(\frac{h}{l}\right) + 25 \left(\frac{h}{l}\right)^3\right)}$$

Donde **e** es el espesor del muro, **E** el módulo de elasticidad de la mampostería y h/l la razón de la altura del muro en el entrepiso en estudio a la longitud del muro. Cabe advertir sin embargo que este criterio no es aplicable si las variaciones de las propiedades geométricas de las secciones transversales de los muros en altura no son aproximadamente proporcionales.

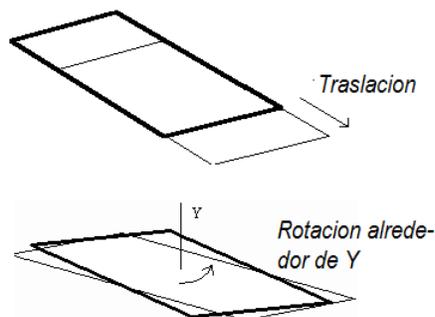
Comentario sobre muros con elementos finitos

En la actualidad, el método del elemento finito constituye una poderosa herramienta para el análisis de estructuras complejas como ciertos muros compuestos y de geometría complicada. Para fines prácticos, las soluciones obtenidas mediante la aplicación adecuada del método a problemas elásticos lineales pueden considerarse como exactas. Básicamente, la aplicación del método consiste en dividir la estructura en subregiones denominadas elementos finitos, dentro de las

cuales se prescribe la forma en que varían los desplazamientos en función de los valores correspondientes a ciertos puntos denominados nudos. Con base en las leyes constitutivas del material, sea las relaciones que existen entre los esfuerzos y las deformaciones, por ejemplo, la ley de Hooke, se determina la matriz de rigidez del elemento, por el principio del trabajo virtual. Estas matrices están referenciadas a los grados de libertad de los nudos. La matriz de rigidez de la estructura se obtiene sumando en donde corresponda los términos de las matrices elementales en donde corresponda. Los desplazamientos de los nudos u , ante un sistema de cargas dadas P aplicadas en los mismos, se obtiene resolviendo el sistema de ecuaciones lineales: $Ku = P$. Conocidos los valores de u , se pueden calcular los esfuerzos y deformaciones en cualquier punto del elemento, en cualquier punto de interés. El caso de los muros se puede modelar adecuadamente considerando que se trata de un problema de esfuerzos planos, o sea, aceptado que los esfuerzos fuera del plano del muro son nulos. La forma geométrica más común del elemento finito para modelar los muros es el elemento rectangular, aunque en algunos casos también suelen usarse elementos triangulares. Existen programas generales que permiten aplicar el método de los elementos finitos a diversos tipos de estructuras. Estos programas se consiguen comercialmente en el medio.

5.1.1.1 La losa.

El entrepiso debe diseñarse para cumplir con las cargas verticales. Debe poseer suficiente rigidez en su propio plano para garantizar su trabajo como **diafragma**. Los sistemas de entrepiso que trabajan como diafragma deben estar construidos **monóticamente** ya que este debe garantizar arriostramiento lateral a los muros.



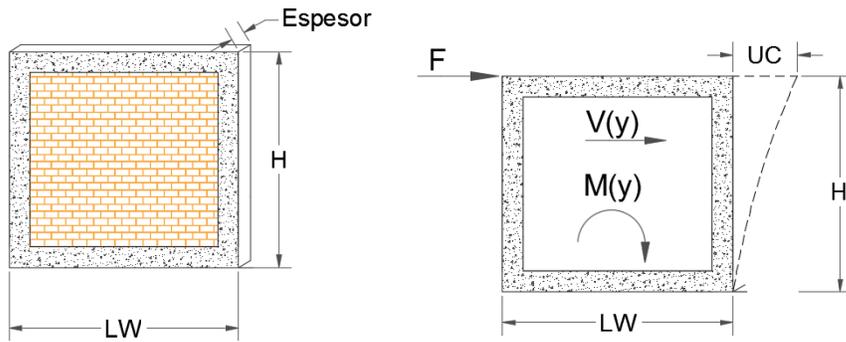
5.1.1.2 La cubierta

Los elementos portantes de cubierta, de cualquier material, deben conformar un conjunto estable para cargas laterales. Por lo tanto, se deben disponer sistemas de anclaje en los apoyos y suficientes elementos de arrojamiento como tirantes, contravientos, riostras, etc. que garanticen la estabilidad del conjunto. Las correas o los elementos que transmitan las cargas de cubierta a los muros estructurales de carga, deben diseñarse para que puedan transferir las cargas tanto verticales como horizontales y deben anclarse en la solera que sirve de amarre al muro confinado (viga o cinta de amarre). Cuando la cubierta sea construida en concreto reforzado deben tomarse precauciones para evitar que la exposición directa a la radiación solar produzca expansiones y contracciones que lesionen la integridad de los muros estructurales por efectos térmicos.

5.2. LA RIGIDEZ DEL MURO

Asumiendo el muro como elemento en voladizo empotrado en su base con sección y espesor constante sometido a la acción de una carga lateral concentrada actuante en el extremo superior, el desplazamiento de la corona puede ser evaluado analíticamente por el método de la doble integración como se mostrará a continuación. En el muro por la acción de la carga lateral se inducen esfuerzos de flexión y de cortante, los cuales deben ser considerados en la valoración del desplazamiento ya que los dos, dependiendo de las condiciones geométricas, pueden ser prioritarios. Con el valor del desplazamiento de corona la rigidez del muro puede ser valorada como la razón de la carga aplicada al desplazamiento

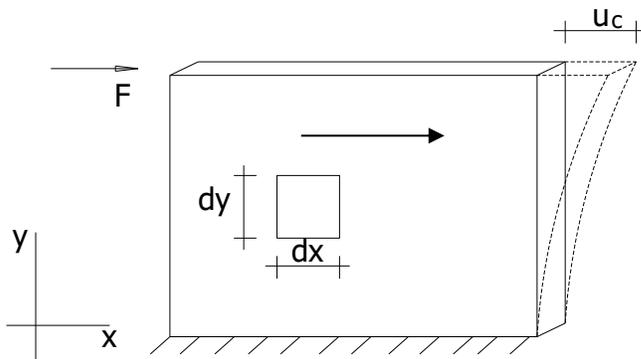
Como ya se dijo las fuerzas horizontales generan cortantes y momentos, efectos que se estudian independientemente, considerando las propiedades geométricas del muro longitud, altura y espesor y las propiedades del material a través de sus constantes elásticas módulo de elasticidad, módulo de cortante y relación de Poisson. Los resultados de cada efecto se pueden superponer, debido a que se hace un análisis lineal, con lo que se considera el efecto a flexión, luego el efecto a cortante, y finalmente se superponen estos dos efectos.

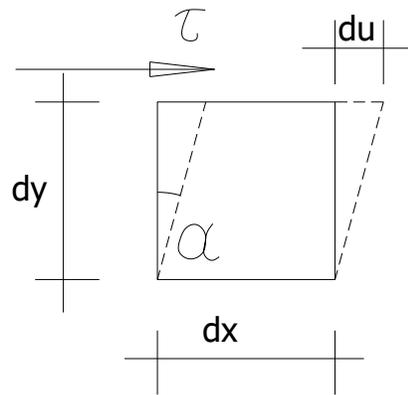


Muro de 1 piso
 Longitud = L
 Altura = H
 Espesor = e
 Fuerza lateral = F
 Desplazamiento lateral de corona = μ

$\mu = \mu_c + \mu_f$ = el desplazamiento superior o de corona del muro se debe a los efectos de la fuerza cortante del momento flector

5.1.1.3 Comportamiento a fuerza cortante.





α = deformación cortante, la cual para ángulos pequeños

$$\tan \alpha = \text{sen} \alpha = \alpha = \frac{du}{dy}$$

Por la formulación de la ley de Hooke se tiene que: $\alpha = \frac{du}{dy} = \frac{\bar{\tau}}{G}$

donde $\bar{\tau}$ es el esfuerzo cortante y G el módulo elástico de cortante.

Este esfuerzo expresado en términos del esfuerzo promedio, por un factor de forma β , que para el muro (sección rectangular) es de 1.2

$$\rightarrow \tau = \bar{\tau} \beta = \frac{F\beta}{A}$$

$$\text{Así: } \alpha = \frac{du}{dy} = \frac{\tau}{G} = \frac{\bar{\tau}\beta}{G} = \frac{F\beta}{GA} \Rightarrow \frac{du}{dy} = \frac{F\beta}{GA}$$

La integración de esta ecuación diferencial e imponiendo la condición de frontera $U_{(y=0)} = 0$

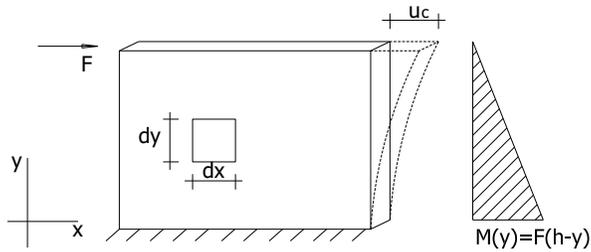
$$\mu = \frac{\beta y F}{GA} ; \quad \text{Para la cual el desplazamiento en la corona del muro por la}$$

acción de la fuerza cortante, haciendo uso de la transformación de módulo ($G=0.4E$) se tiene:

$$\mu_c = \left(\frac{3}{E \cdot e} \right) \cdot \left(\frac{h}{l} \right) \cdot F$$

5.1.1.4 Comportamiento a momento flector.

El momento al que está sometido el muro expresado con respecto a la Coordenada y y que nace en la base



$$\text{Curvatura} = \frac{1}{\delta} = \frac{M(y)}{EI}$$

$$\boxed{\frac{d^2 \cdot \mu}{dy^2} = \frac{F(h-y)}{EI}}$$

Ecuación diferencial del muro para flexión

$$\frac{du}{dy} = \frac{Fhy - Fhy^2/2}{EI} + c1$$

$$u = \frac{Fhy^2/2 - Fy^3/2}{EI} + c1 \cdot y + c2$$

Por lo tanto

$$u = \frac{F}{2EI} \left[hy^2 - y^3/3 \right]$$

Condiciones de borde

$$\mu = 0 \quad ; \quad \frac{du}{dy} = 0$$

$$y = 0$$

$$c2 = 0 \quad c1 = 0$$

$$\mu_f = \mu_y = h \quad \Rightarrow \quad \mu_f = \frac{F}{2EI} \cdot \left(h^3 - \frac{h^3}{3} \right) = \frac{F}{3EI} \cdot h^3$$

$$I = \frac{1}{12} \cdot C \cdot L^3 \quad \Rightarrow \quad \frac{4h^3 F}{E \cdot e \cdot e^3} = \frac{4}{E \cdot e \cdot e^3} = \frac{4}{E \cdot e} \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^3 F$$

5.1.1.5 Desplazamiento de la corona.

Si $m(x) = v(h-y)$

$$\frac{du}{dy} = vhy - \frac{vy^2}{2} + c1$$

$$u = 0 \quad \text{cuando} \quad y = 0 \quad c1 = 0$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{vhy^2}{2} - \frac{vy^3}{6} + c1 \cdot y + c2 \quad ; \quad \frac{du}{dy} = 0 \quad \text{cuando} \quad y = 0$$

$$\frac{du}{dy} = vhy - \frac{vy^2}{3} + c1 = c1 = 0$$

$$u = \frac{v}{2EI} \cdot \left(h^3 - \frac{h^3}{3}\right) = \frac{vh^3}{3EI} \quad \Rightarrow \quad uf = \frac{vh^3}{3E \cdot \frac{1}{2}eh^3}$$

$$uf = \frac{4v}{E \cdot e} \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^3$$

$$u_r = uf + uc = \left[\frac{3}{E \cdot e} \cdot \left(\frac{h}{L}\right) + \frac{4}{E \cdot e} \cdot \left(\frac{h}{L}\right)^3 \right] \cdot v$$

La rigidez a flexión + cortante

$$v = \left[\frac{E \cdot e}{3 \cdot \left(\frac{h}{l}\right) + 4 \left(\frac{h}{l}\right)^3} \right] \cdot u$$

Rigidez del muro

Con lo que al final se puede encontrar una expresión para la rigidez del muro dada por:

$$K = \frac{Ee}{3\left(\frac{h}{L}\right) + 4\left(\frac{h}{L}\right)^3}$$

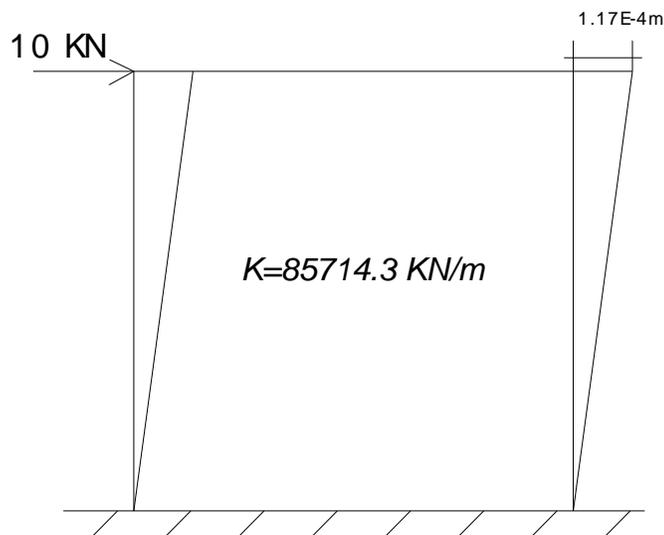
E= Módulo de elasticidad

e=espesor del muro

h=Altura del muro

L=longitud del muro

A manera de ejemplo, numéricamente para un muro de 3m de longitud con altura también de 3m y un espesor de .15m, considerando un módulo de elasticidad de la mampostería de $0.4 \times 10^7 \text{ KN/m}^2$, una relación de Poisson de 0.3 y factor de forma para una sección rectangular de 1.2 se obtiene una rigidez de 85714KN/m, la cual ante una carga aplicada de 10KN da un desplazamiento de $1.17 \times 10^{-4} \text{ m}$



Según el capítulo D.1.4.2:

“Se puede utilizar para el análisis estructural el modelo de muros en voladizo empotrados en la base y arriostrados lateralmente por los diafragmas de piso. En su defecto, puede Utilizarse cualquier modelo estructural alternativo compatible con el funcionamiento real de la construcción ante la solicitación analizada, siempre que se garantice por evidencia experimental o teórica la mejor precisión de la respuesta determinada con el modelo alternativo”

En el programa se efectúa esta condición al realizar un modelo de muros en voladizo empotrados en su base.

5.3. CENTRO DE RIGIDEZ

Con las ecuaciones de rigidez demostradas anteriormente, para cada muro según su continuidad, longitud, espesor y masas en los pisos se halla la rigidez de cada muro.

Hallamos el centro de rigidez (XR, YR):

$$X_R = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * K_{y_i}}{\sum_{i=1}^n K_{y_i}}, \quad Y_R = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i * K_{x_i}}{\sum_{i=1}^n K_{x_i}}$$

En donde:

X_i = abscisa al muro con i en dirección Y

Y_i = ordenada al muro i en dirección X

K_{xi} = Rigidez del muro i en dirección X

K_{yi} = Rigidez del muro i en dirección Y

El centro de rigidez se halla para los dos pisos (ver subrutina `Calcular_Rigidez ()` del Anexo A) y se muestra gráficamente, obteniendo de manera clara la ubicación de este.

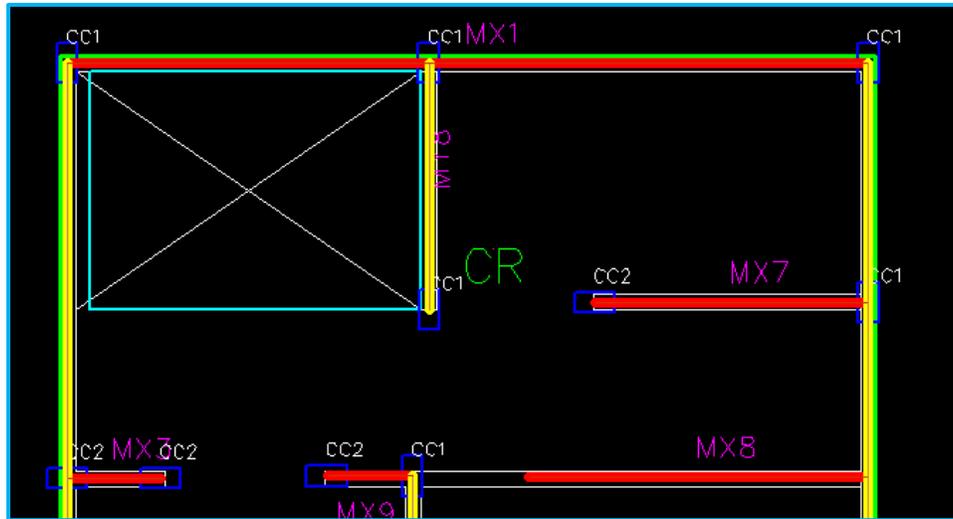


Ilustración 14 Representación gráfica del centro de rigidez

5.4. CENTRO DE MASAS

El área de cada losa o vacíos es hallada con la fórmula de área de Gauss, la cual usa en forma sucesiva los puntos de la poli-línea cerrada definida en la introducción de datos de este documento, donde:

$$\text{AREA} = \left| \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \det \begin{pmatrix} x_i & x_{i+1} \\ y_i & y_{i+1} \end{pmatrix} \right|$$

Mediante programación usando ciclos con “for”, se leen todos los puntos de la poli línea y sus respectivas coordenadas para hallar el área de cada contorno.

Bajo el criterio de solo un peso superficial de carga viva y muerta distribuida en la losa se calcula el centro de masa (X_c , Y_c) de los contornos definidos, en base a

las ecuaciones de momento estático de áreas. (Ver subrutina Centro de masas () del Anexo A).

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot X_{ci}}{A_{total}}, \quad Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot y_{ci}}{A_{total}}$$

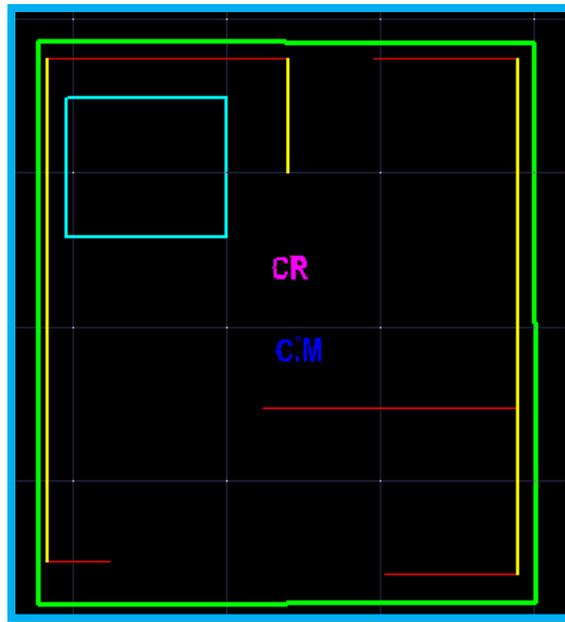


Ilustración 15 Representación gráfica del centro de masas

5.5. DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS SÍSMICAS

Fuerzas sísmicas de piso

El reparto de las fuerzas sísmicas se llevó a cabo mediante el método de fuerza lateral equivalente.

Método de la FH3-Capítulo A.4-A.4.3 de la norma NSR-10

Se calcula la fuerza sísmica total “Vs” que afectará la estructura, la cual es equivalente a la reacción que esta presentará en su base al oponerse a dicha fuerza. Posteriormente se distribuye la fuerza en cada piso “Fx”

- El cortante sísmico en la base “Vs”, será:

$$V_s = S_a \cdot g \cdot M \text{ (Cortante basal)}$$

Donde

S_a = es la pseudo aceleración obtenida del espectro de diseño como fracción de la gravedad, para el periodo T .

g = Aceleración de la gravedad, 9.81 m/s^2

M = Masa total de la edificación [kg]. A.4.0 Es la masa de la estructura más la de todos los elementos anclados o fijados a ella (Carga muerta). En depósitos o bodegas debe incluirse un 25% de la masa correspondiente a la carga viva.

✓ La fuerza horizontal sísmica (F_x) en cualquier nivel x , se define mediante:

$$F_x = C_{vx} * V_s$$

Donde C_{vx} es el coeficiente de distribución que está dado por la ecuación

$$C_{vx} = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i * h_i^k)}$$

K depende del periodo:

- $K=1$ para $T \leq 0.5$ seg.
- $K=0.75 + 0.5T$ para $0.5 \leq T \leq 2.5$ seg.
- $K=2$ para $T > 2.5$ seg.

Para estructuras de 2 pisos en muros estructurales siempre el periodo será menor a 0.5 seg.

Derivas:

Para el cálculo de deriva de piso:

$$D_{cmx} = \frac{V_x}{K(i)}$$

D_{cmx} = Deriva en el centro de masa en el sentido de estudio

$$V_x = \text{cortante de piso}, V_x = \sum_{i=1}^n F_i$$

$K(i)$ = Suma de rigideces de los muros en el sentido de estudio

Se halla la deriva torsional para cada muro.

$$D_{tx} = Y_x(1, i) * \Theta$$

Donde,

D_{tx} = Deriva torsional.

Y_x = distancia o brazo desde el centro de rigidez al muro. $Y_x = Y - Y_{cr}$

Θ = giro (radianes)

$$\Theta = \frac{Mt}{Kt(x)}$$

$Mt = V_x * E_x$, Momento torsor de piso en el sentido de estudio, E_x = excentricidad

$Kt = \sum(K_{ix} * (Y_x)^2 + K_{iy} * (X_y)^2)$, Rigidez torsional de piso.

Así la deriva para cada muro es:

$$D = D_{cmx} + D_{tx}$$

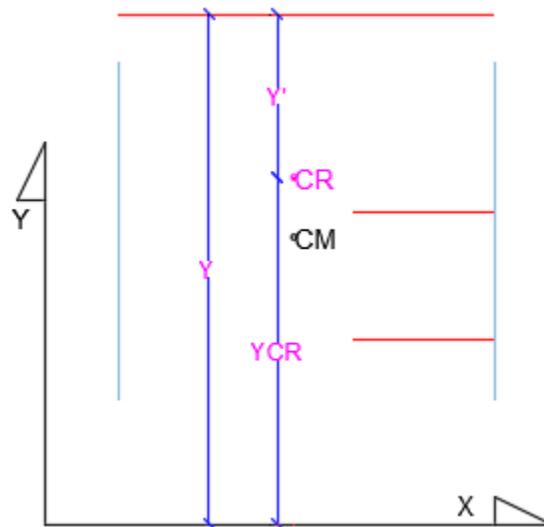


Ilustración 16 Representación de distancias

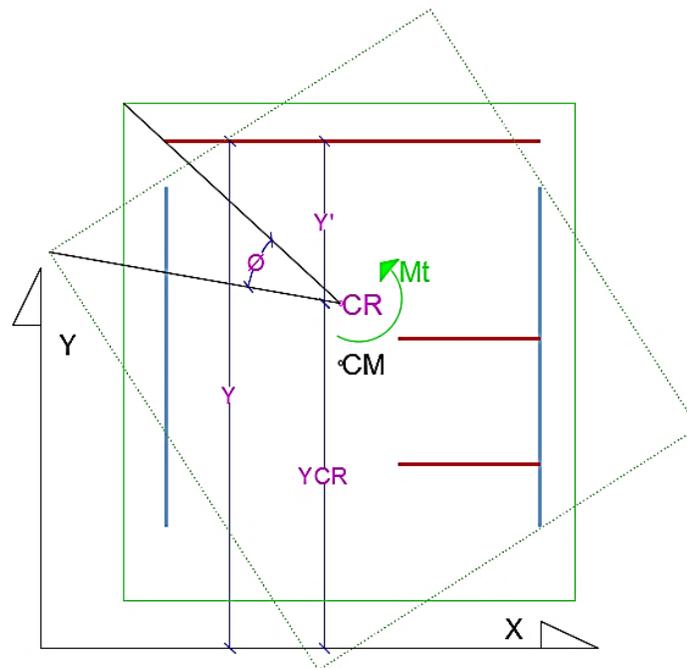


Ilustración 17 Representación del giro

Fuerzas en los muros

$$V_{xd} = D_{cmx} * R_x$$

V_{xd} = Cortante directo en el muro

R_x = Rigidez del muro

$$V_{xt} = D_{tx} * R_x$$

V_{xt} = Cortante torsor del muro

$V_{total} = V_{xd} + V_{xt}$, Cortante total del muro

La distribución de fuerzas sísmicas en los pisos y en los muros está programada en la subrutina Calcular () del anexo A.

6. DISEÑO

6.1. INTRODUCCIÓN A LA MAMPOSTERÍA

Las estructuras de mampostería deben tener un nivel de seguridad comparable a las estructuras de otros materiales. En el **titulo D** de nuestra norma se emiten los requisitos para que las construcciones en mampostería tengan un comportamiento adecuado y una integridad estructural bajo las condiciones de **carga vertical** permanente o transitoria y bajo condiciones de **fuerza lateral** del sismo.

El tipo de diseño de la mampostería empleado en el programa es el método del estado límite de resistencia (**LRFD**), utilizando las combinaciones de carga apropiadas. Los muros estructurales son elementos de gran rigidez para fuerzas aplicadas en su plano y de baja rigidez y resistencia cuando se aplican fuerzas perpendiculares a su plano. Por tal razón, toda estructura conformada por muros estructurales debe tener componentes en las dos direcciones ortogonales principales de la edificación, mediante la disposición de muros en las direcciones

apropiadas o por medio del uso de elementos compuestos cuya geometría en planta genere rigidez en dos direcciones principales. En cualquiera de los dos pisos de la casa de mampostería estructural la rigidez aportada por el conjunto de elementos estructurales existentes en una dirección, no puede ser inferior al **10%** de la rigidez existente en la dirección ortogonal.

Se programó esta condición calculando las rigideces de los muros en las dos direcciones, posteriormente se obtiene la rigidez mayor en el piso dado y se compara con la rigidez ortogonal a esta:

$$\frac{\sum K_{menor}}{\sum K_{mayor}} * 100$$

MUROS PISO 1

DIRECCIÓN X			DIRECCIÓN Y		
ID	KX(KN/m)		ID	KY(KN/m)	
1	197600		1	410140	
2	92137		2	368066	
3	7395		3	113581	
4	29131		4	55503	
*			5	239414	
ΣKX			ΣKY		
326263			1186704		
ΣKmenor/ΣKmayor*100			27.5		
CUMPLE ΣKmenor/ΣKmayor*100 >10%					

Ilustración 18 Captura chequeo rigidez en planta

6.1.1 MATERIALES EN LA MAMPOSTERÍA.

6.1.1.1 Morteros de pega.

Los morteros de pega utilizados en construcciones de mampostería deben cumplir la norma NTC 3329 (ASTM C270) y con lo especificado en la Tabla D.3.4-1. El mortero premezclado para pega de unidades de mampostería debe cumplir con la norma NTC 3356 (ASTM C1142). Los morteros de pega deben tener buena plasticidad, consistencia y ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento y, además, garantizar su adherencia con las unidades de mampostería para desarrollar su acción cementante.

Clasificación de los morteros de pega por propiedad o por proporción

Mortero tipo	Especificación de los morteros por propiedad ⁽¹⁾			Especificación de los morteros por proporción				
	Resistencia mínima a la Compresión f'_{cp} MPa ⁽²⁾	Flujo en (%) ⁽³⁾	Retención Mínima de Agua	Cemento Portland	Cal hidratada ⁽⁴⁾	Cemento para Mampostería ⁽⁷⁾	Arena/Material Cementante ⁽⁵⁾	
							Mín.	Máx.
H	22.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.00	2.5
M	17.5	115-125	75%	1	0.25	no aplica	2.25	3.0
				1	no aplica	1	2.25	2.5
S	12.5	110-120	75%	1	0.25 a 0.50	no aplica	2.50	3.5
				0.5	no aplica	1	2.50	3.0
N⁽⁶⁾	7.5	105-115	75%	1	0.50 a 1.25	no aplica	3.00	4.5
				0	no aplica	1	3.00	4.0

Notas:

1. Solo para el diseño de mezclas de morteros en laboratorio, con base en los materiales que van a ser utilizados en obra. El control de morteros en obra se debe realizar de acuerdo con la norma NTC 3546 (ASTM C780).
2. Ensayo de resistencia a la compresión a 28 días en cubos de 50 mm de lado
3. Ensayo realizado según NTC 4050 (ASTM C91)
4. Se puede utilizar cal hidratada en polvo tipo N o S.
5. Para este cálculo no se incluye como cementante la cal.
6. El mortero tipo N solo se permite en sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI)
7. El tipo de cemento para mampostería (M, S o N) será el mismo que el tipo de mortero de pega.

Tabla 5 Clasificación de morteros de pega-Tabla D.3.4-1 NSR-10

6.1.1.2 Morteros de relleno.

Los morteros de relleno utilizados en construcciones de mampostería deben cumplir la norma NTC 4048 (ASTM C476). Deben ser de buena consistencia y con fluidez suficiente para penetrar en las celdas de inyección sin segregación. La dosificación de los componentes de los morteros de relleno debe basarse en ensayos previos de laboratorio o con experiencia de campo en obras similares y su clasificación se debe basar en la dosificación mínima.

6.1.1.3 Unidades de mampostería

Las unidades de mampostería que se utilicen en las casas pueden ser de concreto, cerámica (arcilla cocida), sílico-calcáreas o de piedra. Según el tipo del mampuesto pueden ser de perforación vertical, de perforación horizontal o sólida, de acuerdo con la posición normal de la pieza en el muro. Las unidades sólidas son aquellas cuyas cavidades ocupan menos de un 25% del volumen de la pieza.

Como ejemplo se expone la tabla D.10.3-1, en la cual indica la resistencia mínima de las unidades de mampostería confinada

**Resistencia mínima de las unidades
para muros de mampostería confinada**

Tipo de unidad	f'_{cu} (MPa)
Tolete de arcilla	15
Bloque de perforación horizontal de arcilla	3
Bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla (sobre área neta)	5

Tabla 6 Resistencia de unidades de mampostería-Tabla D.3.4-1 NSR-10

6.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA MAMPOSTERÍA A LA COMPRESIÓN $f'm$

El valor especificado para la resistencia a la compresión de la mampostería $f'm$ se debe determinar por medio de registros históricos, por determinación experimental sobre muretes de prueba o finalmente por medio de ensayos sobre materiales individuales, este último procedimiento solo se puede utilizar en el diseño previo a la construcción y no para control de calidad.

Cuando $f'm$ no se seleccione mediante ensayos de muretes preliminares o históricos, su valor puede determinarse con base en una correlación apropiada de la calidad de los materiales empleados. En ausencia de tal correlación, el valor de $f'm$, se puede determinar mediante la siguiente expresión del capítulo D de la norma NSR-10:

$$R_m = \frac{2h}{75+3h} * f'_{cu} + \frac{50kp}{75+3h} * f'_{cp} \leq 0.8f'_{cu}$$

$$f'm = 0.75R_m$$

- Donde f'_{cu} es la resistencia especificada a la compresión de la unidad de la mampostería medida en MPa,
- f'_{cp} resistencia especificada a la compresión del mortero de pega, en MPa, h es la altura de la unidad de la mampostería en mm.
- kp es el factor de correlación por absorción igual 1.4 para unidades de concreto e igual a 0.8 para unidades de arcilla.

Cuando las celdas se inyectan con mortero de relleno, en la mampostería de perforación vertical, inyectada con mortero de relleno, el valor de $f'm$ puede determinarse por

$$f'm = 0.75(r * Rm + 0.9(1 - r) * f'cr) \leq 0.94Rm$$

r es la relación del área neta al área bruta de la unidad de mampostería. $f'cr$ es la resistencia específica del mortero de repello.

Se presentan a continuación la determinación de algunos valores de la resistencia de la mampostería, para materiales típicos de nuestra zona.

Ejemplo de determinación de $f'm$

- Capacidad a compresión de la Mampostería en función de los materiales.

$$Rm = \frac{2h}{75 + 3h} * f'cv + \frac{50kp}{75 + 3h} * f'cp \leq 0.8f'cv$$

Propiedades supuestas de los materiales

$h = 210$ mm (Unidad de CEMENTO)

$kp = 1.4$

$f'cu = 17$ MPa. (Capacidad a compresión de la mampostería)

$f'cp = 12.5$ Mpa. (Capacidad del mortero de pega Tipo S)

$$Rm = \frac{2 * 210}{75 + 3 * 210} * 17 + \frac{50 * 1.4}{75 + 3 * 210} * 12.5$$

$$Rm = 11.4 \text{ MPa} \leq 0.8 * 17$$

$$f'm = 0.75 Rm = 8.55 \text{ MPa}$$

$$E = \text{Módulo de Elasticidad} = 900 f'm$$

$$E = 7695 \text{ MPa}$$

- Capacidad a compresión de la mampostería en función de la calidad de los materiales con celdas inyectadas de concreto.

$$f'm = 0.75(r * Rm + 0.9(1 - r) * f'cr) \leq 0.94Rm$$

$r =$ Relación entre área neta y área bruta de la unidad de mampostería

$$r = \frac{22.0}{14.4 * 29.8} = 0.513 \geq 0.45 \rightarrow ok$$

$$R_m = 7.07 \text{ Mpa}$$

$$f'_{cr} = 1.5 f'_m = 18.7 \text{ MPa}$$

$$f'_m = 0.75(0.513 * 16.7 + 0.9(1 - 0.513) * 18.7) = 12.6 \text{ MPa}$$

$$R_m = 12.6 \text{ MPa} \leq 0.94 R_m = 15.7 \text{ MPa}$$

- Capacidad a compresión de la Mampostería en función de los materiales.

$$R_m = \frac{2h}{75 + 3h} * f'_{cu} + \frac{50k_p}{75 + 3h} * f'_{cp} \leq 0.8 f'_{cu}$$

Propiedades supuestas de los materiales

$$h = 75 \text{ mm}$$

$$k_p = 0.8 \text{ (Unidad de arcilla)}$$

$$f'_{cu} = 21 \text{ MPa (Capacidad a compresión de la mampostería)}$$

$$f'_{cp} = 17.5 \text{ Mpa (Capacidad del mortero de pega Tipo M)}$$

$$R_m = \frac{2 * 75}{75 + 3 * 75} * 21 + \frac{50 * 0.8}{75 + 3 * 75} * 17.5$$

$$R_m = 12.9 \text{ MPa} \leq 0.8 * 21$$

$$f'_m = 0.75 R_m = 9.7 \text{ MPa}$$

$$E = \text{Modulo de Elasticidad} = 750 f'_m$$

$$E = 7275 \text{ MPa}$$

DETERMINACIÓN DE f'_m

Capacidad a compresión de la Mampostería en función de los materiales.

$$R_m = \frac{2h}{75 + 3h} * f'_{cv} + \frac{50k_p}{75 + 3h} * f'_{cp} \leq 0.8 f'_{cv}$$

Propiedades supuestas de los materiales

$$h = 95 \text{ mm}$$

$k_p = 0.8$ (Unidad de arcilla)
 $f'_{cu} = 17$ MPa (Capacidad a compresión de la mampostería)
 $f'_{cp} = 12.5$ Mpa (Capacidad del mortero de pega Tipo S)

$$R_m = \frac{2 \cdot 95}{75 + 3 \cdot 95} \cdot 17 + \frac{50 \cdot 0.8}{75 + 3 \cdot 95} \cdot 12.5$$

$R_m = 10.4$ MPa $\leq 0.8 \cdot 17$
 $f'_m = 0.75 R_m = 7.8$ MPa
 $E = \text{Modulo de Elasticidad} = 750 f'_m$
 $E = 5850$ MPa

DETERMINACIÓN DE f'_m

Capacidad a compresión de la Mampostería en función de los materiales.

$$R_m = \frac{2h}{75 + 3h} \cdot f'_{cu} + \frac{50k_p}{75 + 3h} \cdot f'_{cp} \leq 0.8 f'_{cu}$$

Propiedades supuestas de los materiales

$h = 65$ mm
 $k_p = 0.8$ (Unidad de arcilla)
 $f'_{cu} = 15$ MPa (Capacidad a compresión de la mampostería)
 $f'_{cp} = 12.5$ Mpa (Capacidad del mortero de pega Tipo S)

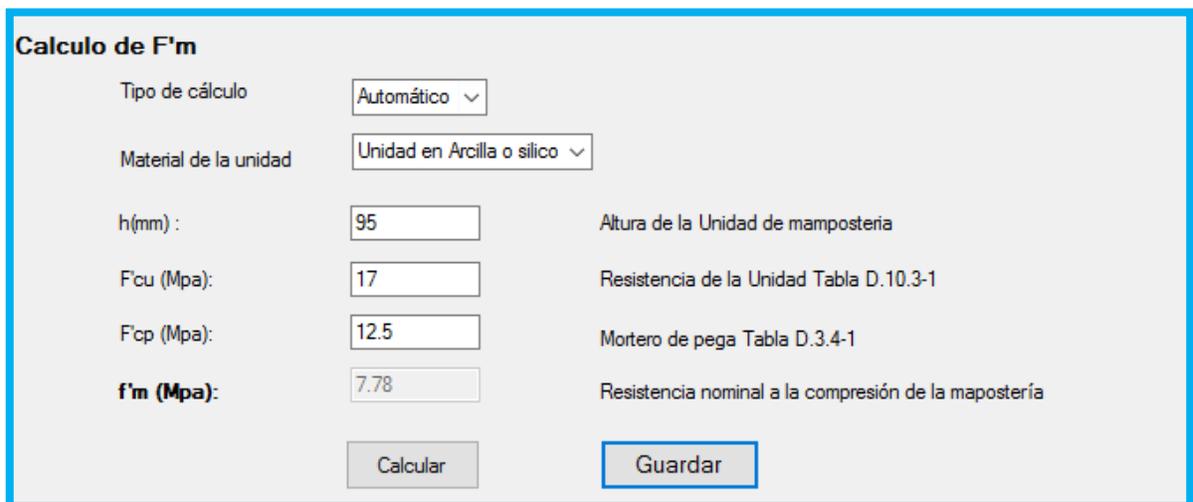
$$R_m = \frac{2 \cdot 65}{75 + 3 \cdot 65} \cdot 15 + \frac{50 \cdot 0.8}{75 + 3 \cdot 65} \cdot 12.5$$

$R_m = 9.1$ MPa $\leq 0.8 \cdot 15.0$
 $f'_m = 0.75 R_m = 6.8$ MPa
 $E = \text{Modulo de Elasticidad} = 500 f'_m$
 $E = 3400$ MPa

A los materiales que conforman la mampostería se les debe hacer un seguimiento para que se cumplan con la capacidad especificada en el diseño. Para el mortero de pega se debe realizarse por lo menos un ensayo de resistencia a la compresión (promedio de 3 probetas) por cada doscientos (200) metros cuadrados de muro o

por cada día de pega. Igualmente se debe verificar con frecuencias semanales las condiciones de plasticidad y retención de agua de los morteros de pega usados en la obra. Para el mortero de relleno se debe realizar al menos un ensayo de resistencia a la compresión (promedio de 3 probetas) por cada diez (10) metros cúbicos de mortero inyectado o por cada día de inyección. Para las unidades de mampostería se deben realizar los ensayos establecidos de absorción inicial, absorción total, estabilidad dimensional y resistencia a la compresión de por lo menos cinco (5) unidades por cada lote de producción hasta de 5000 unidades o menos, y no menos de una unidad por cada doscientos (200) metros cuadrados de muro construido.

En el programa a través del siguiente formulario se puede calcular de forma automática el valor de $f'm$ o introducir manualmente este dato de gran relevancia dentro del diseño.



Calculo de F'm		
Tipo de cálculo	Automático	
Material de la unidad	Unidad en Arcilla o silico	
h(mm) :	95	Altura de la Unidad de mampostería
F'cu (Mpa):	17	Resistencia de la Unidad Tabla D.10.3-1
F'cp (Mpa):	12.5	Mortero de pega Tabla D.3.4-1
f'm (Mpa):	7.78	Resistencia nominal a la compresión de la mampostería
<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Guardar"/>		

Ilustración 19 Ventana para el calculo de $f'm$

6.3. PROPIEDADES GENERALES DEL DISEÑO.

Según nuestra norma el diseño de la mampostería estructural debe hacerse utilizando métodos racionales basados en principios aceptados por la buena práctica de la ingeniería y que reflejen las características y propiedades de los materiales componentes, los métodos constructivos utilizados y el comportamiento individual y en conjunto del sistema estructural. El diseño se basa en el método del estado límite de resistencia, utilizando las combinaciones de carga apropiadas, como alternativa se permite el método por cargas de servicio. La resistencia requerida para los elementos de mampostería estructural se obtiene como el valor

máximo, expresado en términos de carga o momentos a la estructura por las diferentes cargas tales como muertas, vivas, sísmicas combinadas y mayoradas acorde con los estados básicos de carga.

La resistencia de diseño que tiene un elemento, sus conexiones con otros elementos y cualquier parte o sección de él, en términos de momentos flectores, carga axial, cortantes y torsión, debe ser igual a su resistencia nominal, multiplicada por un coeficiente de reducción de resistencia.

El **diseño** de mampostería estructural por el método del estado límite de resistencia se basa en las siguientes suposiciones:

- La mampostería no resiste esfuerzos de tracción.
- El refuerzo está totalmente rodeado y adherido a los materiales de la mampostería de una manera tal, que trabajan como un material homogéneo.
- Las deformaciones unitarias en el refuerzo y en la mampostería deben suponerse proporcionales a la distancia al eje neutro de la sección.
- La resistencia nominal de las secciones de muros de mampostería para las condiciones de flexo-compresión se debe obtener de la aplicación de los principios de equilibrio y compatibilidad de deformaciones.
- Los esfuerzos en el acero, para valores menores que el esfuerzo de fluencia, deben considerarse linealmente proporcionales a la deformación unitaria multiplicada por el módulo de acero, para valores superiores de deformación unitaria correspondiente al esfuerzo de fluencia, el esfuerzo en el acero se debe considera constante, el material fluye.
- La máxima deformación unitaria en la fibra extrema en compresión de la mampostería es 0.003.
- En el diseño por el método de resistencia puede considerarse una distribución rectangular de esfuerzos de compresión en la mampostería definida de la siguiente forma: Se puede suponer un esfuerzo uniforme de compresión en la mampostería con intensidad de $0.80f_m$ sobre una zona equivalente limitada por los bordes de la sección efectiva y una línea recta paralela al eje neutro de la sección. La dimensión de la zona equivalente de compresión a , medida en dirección perpendicular al eje neutro a partir de la fibra de máxima compresión, debe ser el 85% de la dimensión comprimida, de la sección en esa dirección

Módulos de elasticidad y de cortante

El valor para el módulo de elasticidad del acero de refuerzo
 $E_s = 200000 \text{ MPa}$

El valor para el módulo de elasticidad mampostería en concreto
 $E_m = 900f'_m \leq 20000 \text{ Mpa}$.

El valor para el módulo de elasticidad mampostería en concreto
 $E_m = 750f'_m \leq 20000 \text{ Mpa}$.

El valor para el módulo de elasticidad mortero de relleno
 $E_r = 2500\sqrt{f'_{cr}} \leq 20000 \text{ Mpa}$.

El valor del módulo de cortante para la mampostería
 $G_m = 0.5E_m = 360f'_m$ (concreto)

El valor del módulo de cortante para la mampostería
 $G_m = 0.5E_m = 300f'_m$ (arcilla)

Combinaciones de Cargas

Las estructuras de mampostería deben diseñarse para los efectos de las cargas combinadas. Así mismo en la evaluación de los esfuerzos de diseño, se deben tener en cuenta los efectos de las cargas sobre los desplazamientos. Las diferentes solicitaciones que deben ser tenidas en cuenta, se combinan para obtener las fuerzas internas de diseño de la estructura, de acuerdo con el método del estado límite de resistencia. En cada una de las combinaciones de carga requeridas, las solicitaciones se multiplican por el coeficiente de carga prescrito para esa combinación.

$$\begin{aligned} &1.4(D+F) \\ &1.2(D+F+T)+1.6(L+H)+0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) \\ &1.2D+1.6(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)+(L \text{ ó } 0.8W) \\ &1.2D+1.6W+1.0L+0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) \\ &1.2D+1.0E+1.0L \\ &0.9D+1.6W+1.6H \\ &0.9D+1.0E+1.6H \end{aligned}$$

D es la carga muerta, L la carga viva, F cargas debidas a la presión de fluidos, T efectos debidos a cambios térmicos, H cargas por empuje lateral del suelo, L_r carga viva sobre la cubierta, G carga debida al Granizo, L_e carga de empozamiento de agua. E carga del sismo, W carga de viento.

Para la evaluación de las cargas muerta y viva el usuario debe introducir a su criterio el **área aferente** en cada muro, el programa calcula las cargas **Pu** para el diseño con este parámetro, si no se tiene en cuenta, simplemente se estaría omitiendo la carga gravitacional sobre el muro y el diseño sería más conservador, ya que son efectos estabilizantes y se aumenta la resistencia a flexión y cortante paralela al plano del muro.

A continuación, se observa la ventana para ingresar el área aferente a cada muro.

Muros_X		Muros_Y						
ID	ABSCISA(m)	L(m)	e(m)	Material	Tipo	Continuidad	Area aferente(m2)	
1	8.63	3.51	0.15	M		1		
2	3.62	2.44	0.15	M		1		
3	6.31	0.93	0.15	M		1		
4	8.28	1.53	0.15	M		1		

Ilustración 20 Ventana para el área aferente al muro

En los efectos causados por el sismo se tiene en cuenta la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, lo cual se logra empleando unos efectos sísmicos reducidos de diseño E, obtenidos dividiendo las fuerzas sísmicas F_s , por el coeficiente de capacidad de disipación de energía R, $E=F_s/R$. El coeficiente de capacidad de disipación de energía R, es función del sistema de resistencia sísmica, del grado de irregularidad de la edificación y de los requisitos de diseño y detallado de cada tipo de mampostería estructural, para el grado de capacidad de disipación de energía correspondiente (*DMI*, *DMO*, o *DES*).

El usuario debe evaluar las irregularidades con criterios dados en el capítulo A e ingresarlos en el menú de parámetros sísmicos

Disipación de energía

R0X: Coeficiente de disipación de energía básico (X) (NSR-10, A.3)

R0Y: Coeficiente de disipación de energía básico (Y) (NSR-10, A.3)

Φa: Coeficiente de irregularidad en altura (NSR-10, A.3.3.5)

Φp: Coeficiente de irregularidad en planta (NSR-10, A.3.3.4)

ΦrX: Coeficiente por ausencia de redundancia (X) (NSR-10, A.3.3.8)

ΦrY: Coeficiente por ausencia de redundancia (Y) (NSR-10, A.3.3.8)

Ilustración 21 Ventana del coeficiente de disipación de energía

6.4. MAMPOSTERÍA CONFINADA

Se define como mampostería confinada aquella que se construye utilizando muros de mampostería rodeados con bandas de concreto reforzado, vaciados posteriormente a la ejecución del muro y que actúan monolíticamente con éste. La resistencia ante todas las cargas se obtiene por medio de los muros estructurales, los cuales deben ser confinados. Para que un muro confinado se considere como muro estructural debe ser continuo desde la cimentación hasta su nivel superior y

no puede tener ningún tipo de aberturas. La norma NSR-10 permite el uso de la mampostería solamente para casas de 1 y dos pisos y tan solo para uso de vivienda.

La mampostería de muros confinados se construye con unidades de concreto, de arcilla cocida o sílico-calcáreas. Las unidades de mampostería pueden ser de perforación vertical, de perforación horizontal o maciza. Las unidades de mampostería que se empleen en la construcción de muros de mampostería confinada deben tener como resistencia mínima los siguientes valores, para tolete de arcilla 15 MPa, en nuestro medio está parece ser una limitante al uso del ladrillo artesanal, Bloque de perforación horizontal 3 MPa, y para el bloque de perforación vertical de concreto o de arcilla 5 MPa. Los muros de mampostería confinada en ningún caso pueden tener una la relación entre la altura libre del muro y su espesor mayor de 25 y deben tener un espesor nominal no menor de 110 mm. El área mínima de muros confinados por nivel en cada dirección principal está dada por:

$$A_m = (N * A_a * A_p) / 20$$

Está área es mucho menor que el requerimiento del título E. Si A_m (es área mínima de muros requeridos que es igual a una longitud mínima de muros por el espesor, N es el número de niveles por encima del piso en estudio, para la casa de dos niveles es máximo igual a 2, y A_a la aceleración pico efectiva que para Popayán tomaríamos como 0.25, la expresión la transformamos en:

$$L_{mim} = 0.025 * A_p / t$$

Tanto las columnas como las vigas de confinamiento se deben construir utilizando concreto cuya resistencia mínima a la compresión debe ser 17.5 MPa medida a los 28 días. Todo refuerzo debe ir colocado dentro de las columnas y vigas de confinamiento, no se permite colocar los refuerzos de confinamiento dentro de unidades de perforación vertical.

Las columnas de confinamiento son los elementos de concreto reforzado que se colocan en los dos bordes del muro que confinan y en puntos intermedios dentro del muro. Las columnas de confinamiento deben ser continuas desde la cimentación hasta la parte superior del muro y se deben vaciar directamente contra el muro con posterioridad al alzado de los muros estructurales de cada piso. Las dimensiones mínimas para los elementos de confinamiento debe ser del espesor del muro confinado y el área mínima de la sección transversal de los elementos de confinamiento es de 200 cm².

Deben colocarse columnas de confinamiento:

- en los extremos de todos los muros estructurales, en las intersecciones con otros muros estructurales y en los lugares intermedios a distancias no mayores de 35 veces el espesor efectivo del muro, 1.5 veces la distancia vertical entre elementos horizontales de confinamiento ó 4 m.

En el programa, con la ubicación de muros y columnetas dadas en el pre-procesador comprueba los anteriores criterios.

Comprobaciones_Geometricas

MUROS_X_P1	MUROS_Y_P1	MUROS_X_P2	MUROS_Y_P2	ID	L(m)	e(m)	LC(m)	IC_Max(m)	Chequeo LC	Cheq Confinamiento
				1	0.6	0.15	0.6	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				2	6	0.15	3.3	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				3	1	0.15	1	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				4	0.7	0.15	0.7	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				5	0.6	0.15	0.6	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				6	0.7	0.15	0.7	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				7	0.8	0.15	0.8	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				8	2.1	0.15	2.1	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				9	2.5	0.15	2.5	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				10	2.5	0.15	2.5	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				11	1.6	0.15	1.6	4	CUMPLE	OK-MURO CONFINADO
				*						

Aceptar

Ilustración 22 Ventana de comprobaciones geométricas

6.4.1. DISEÑO A FLEXOCOMPRESIÓN DEL MURO EN LA DIRECCIÓN PARALELA A SU PLANO

El diseño a flexo-compresión de los muros de mampostería confinada sometidos a cargas horizontales paralelas al plano del muro y fuerzas verticales que actúan sobre él, puede realizarse bien despreciando la contribución de la mampostería o teniendo en cuenta la misma. En el primer procedimiento se desprecia la

contribución de la mampostería a la resistencia a flexo-compresión del muro.
Deben calcularse las fuerzas axiales solicitadas máximas, de compresión P_{uc} y de tracción P_{ut} sobre cada una de las columnas de confinamiento:

$$P_{uc} = (A_{ci}/A_{ct})P_u + \Delta P_{ui}$$

$$P_{ut} = (A_{ci}/A_{ct})P_u - \Delta P_{ui} \leq 0$$

Donde P_u y ΔP_{ui} son siempre positivos en compresión.

$$\Delta P_{ui} = \frac{M_u A_{ci} (x_i - x_p)}{I_{ct}}$$

$$A_{ct} = \sum A_{ci}; \quad x_p = \frac{\sum (A_{ci} x_i)}{A_{ct}}; \quad I_{ct} = \sum A_{ci} (x_i - x_p)^2$$

En donde $P_{uc} \leq \Phi P_{nc}$ y $P_{ut} \geq \Phi P_{nt}$, en cada una de las columnas de confinamiento del muro.

Cuando se trata de un muro confinado que únicamente tiene dos columnas de confinamiento iguales en sus

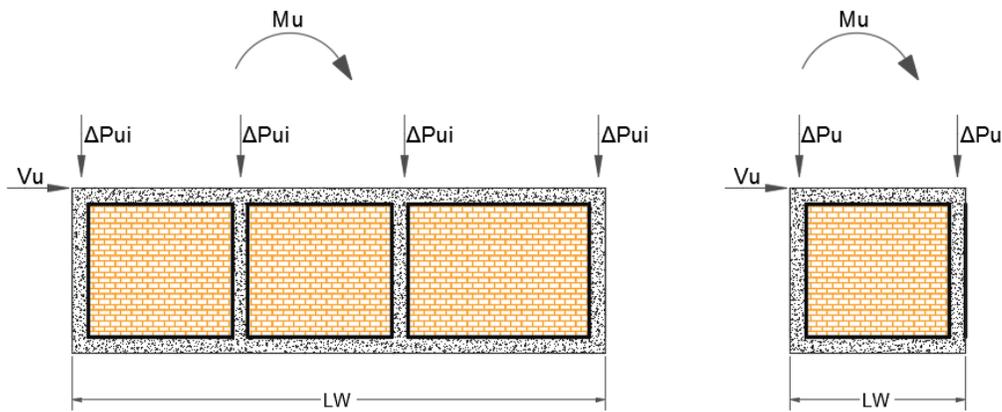
$$P_{uc} = P_u/2 + \Delta P_u$$

$$P_{ut} = P_u/2 - \Delta P_u \leq 0$$

Donde P_u y ΔP_{ui} son siempre positivos en compresión.

$$\Delta P_u = M_u/l_w$$

Para el programa se contemplan los dos casos, dando solución a esta comprobación, debido a que las columnetas se ingresan en el modelo



La Resistencia a flexo-compresión teniendo en cuenta la contribución de la mampostería el momento de diseño solicitado, M_u , que acompaña la carga axial P_u , debe cumplir la condición que $M_u \leq \Phi M_n$, donde M_n se obtiene teniendo en cuenta la interacción entre momento y carga axial, de acuerdo con los principios básicos que permiten calcular un diagrama de interacción del muro, empleando el coeficiente de reducción de resistencia $\Phi=0.65$

$$\Delta P_{ui} = \left| \frac{M_u A_{ci} (x_i - \bar{x})}{I_{ct}} \right|$$

$$\Delta P_u = \frac{M_u}{l_w}$$

Los objetos marcados en azul son columnetas que el usuario introduce en el modelo en planta de la estructura, luego el programa detecta en qué punto con respecto al muro está ubicada la columneta, abarcando todos los posibles casos de manera sencilla,

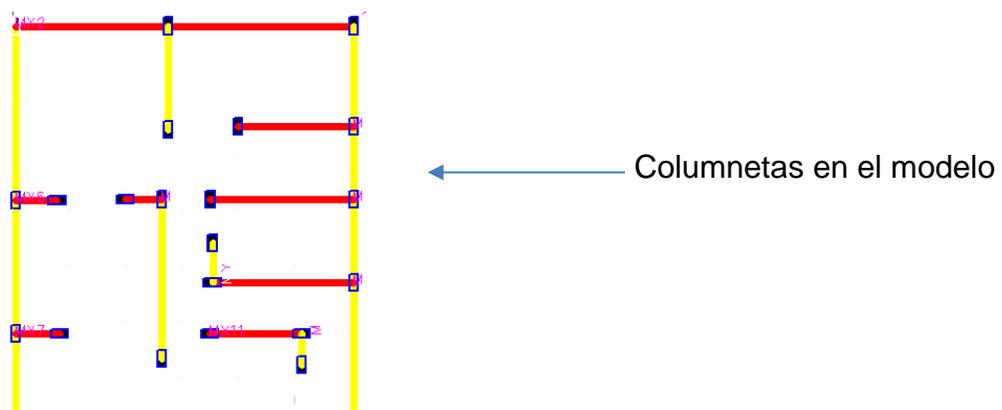


Ilustración 23 Representación de columnetas en el modelo

6.4.2 REQUISITOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO

El diseño se debe realizar de acuerdo con el método de diseño por estados límites de resistencia. Los valores de los coeficientes de reducción de respuesta para las siguientes sollicitaciones son:

(a) Carga axial de compresión, con o sin flexión	0.65
(b) Carga axial de tracción	0.85
(c) Flexión sin carga axial	0.85
(d) Cortante	0.50

Debe considerarse, en el caso de mampostería de muros confinados, que el muro es un elemento homogéneo que incluye la porción de mampostería y los elementos de confinamiento. Las propiedades mecánicas del muro, como conjunto, se describen a través de las de la mampostería.

El muro, globalmente, debe verificarse para las cargas axiales de compresión, el área de refuerzo corresponde a la del acero longitudinal de las columnas de confinamiento. Cuando los procedimientos de diseño requieren que se verifiquen las resistencias axiales de los elementos de confinamiento, pueden emplearse las siguientes resistencias nominales a compresión axial P_{nc} , y tracción axial, respectivamente P_{nt}

$$P_{nc} = 0.80 * (0.85f'c * (A_{ci} - A_{st}) + f_y A_{st}).$$

$$P_{nt} = -f_y * A_{st}.$$

La resistencia nominal a la compresión de la mampostería sola, P_{nd} , sin contribución de los elementos de confinamiento es:

$$P_{nd} = 0.80 * (0.80 * f'_m * A_{md}) * Re.$$

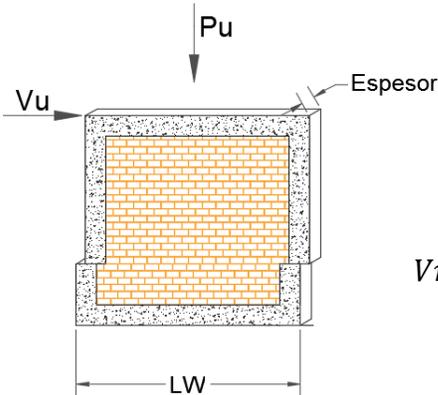
donde A_{md} es el área de la sección de mampostería, y Re se obtiene por medio de:

$$Re = 1 - (h'/42t)^2 \text{ para } h'/t \leq 30$$

$$Re = (21t/h')^2 \text{ para } h'/t \geq 30$$

6.4.3. DISEÑO POR CORTANTE PARALELO AL PLANO

En la mampostería de muros confinados toda la fuerza cortante sobre el muro debe ser resistida por la mampostería, y se supone que no hay contribución a la resistencia a cortante por parte de los elementos de confinamiento. La resistencia de diseño solicitada, V_u , debe cumplir la siguiente condición:



$$V_u \leq \Phi V_n, \text{ donde } \Phi = 0.5$$

$$V_n = (A_{mv} * \sqrt{f'_m}) / 6$$

$$V_n = \left(\frac{1}{12} * \sqrt{f'_m} + \frac{P_u}{3A_c} \right) A_{mv} \leq \frac{1}{6} * \sqrt{f'_m} * A_{mv} \text{ (D.10.7-18) NSR-10}$$

El área A_{mv} es el área de la mampostería más el área de los elementos de confinamiento.

En la ecuación D.10.7-18, $P_u / (3A_c)$ es evaluada con el área aferente calculada por el usuario, si se desprecia esta área sería un diseño conservador ya que entre más carga gravitacional actúe sobre el muro su resistencia a la fuerza cortante es mayor



MUROS_X		MUROS_Y								
ID	ABSCISA(m)	L(m)	e(m)	Material	Tipo	Continuidad	Area aferente(m ²)	Rigidez(KN/m)	CORTANTE(KN)	
1	10.92	6.96	0.15	M		1	5	595723	674	
2	5.1	3.3	0.15	M		1	1	175216	295	

Si se decide tener en cuenta esta área se aplicarán las combinaciones de carga crítica para esta condición que para este caso sería $0.9D+1.0E+1.6H$

6.4.4 VERIFICACIÓN POR APLASTAMIENTO DEL MURO (BIELA DE COMPRESIÓN)

Debe verificarse que el paño de muro enmarcado por las vigas y columnas de confinamiento, no falle por aplastamiento. Para el efecto se considera una biela de compresión en la diagonal del muro, la cual tiene un ancho efectivo igual a un quinto de la longitud de la diagonal. Debe cumplirse la condición:

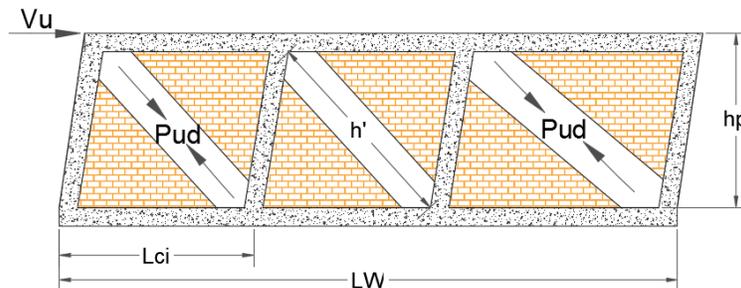
$$P_{ud} \leq \Phi P_{nd}$$

La fuerza axial que actúa en la diagonal, P_{ud} , se obtiene por medio de:

$$P_{ud} = \frac{h'}{l_w} V_u$$

Donde h' es la longitud de la diagonal del paño de muro entre elementos de confinamiento, l_w es la longitud total del muro sobre el cual actúa el cortante horizontal de diseño solicitado V_u . La resistencia nominal al aplastamiento se obtiene por medio de la ecuación:

$$P_{nd} = 0.80 * (0.80 * f'_m * A_{md}) * Re.$$



Las distancias L_{ci} son halladas por la ubicación de la columneta con respecto al muro, donde hay que emplear una longitud para evaluación de pandeo h' igual a la dimensión de la diagonal del muro en el paño en estudio, y un espesor efectivo para pandeo t , igual al espesor del muro. El área de la biela de compresión A_{md} es igual al ancho efectivo de la biela, $h' / 5$, multiplicada por el espesor efectivo del muro, b , el cual está dado como el área efectiva del muro multiplicada dividida por la longitud del muro.

6.4.5. VERIFICACIÓN A CORTANTE DE ELEMENTOS DE CONFINAMIENTO

Los elementos de confinamiento reciben la fuerza de la biela de compresión en la esquina de intersección entre vigas y columnas de confinamiento, deben tener la

capacidad de resistir la fuerza cortante aplicada, que se toma al menos como una fuerza cortante igual a la mitad de la componente correspondiente de la fuerza de compresión que actúa sobre la biela.

La fuerza cortante actuante, **V_{uc}** , sobre la columna de confinamiento es:

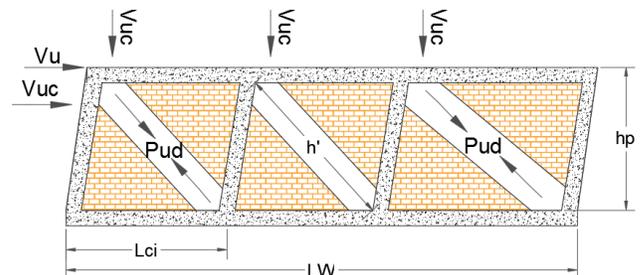
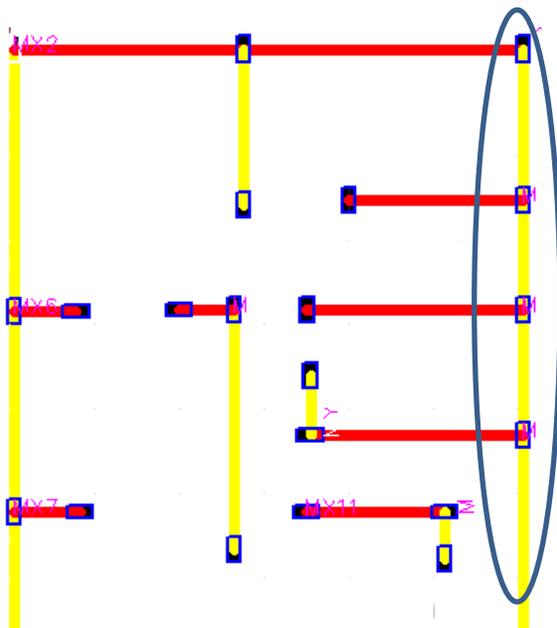
$$V_{uc} = l_c * \frac{V_u}{2l_w}$$

y la fuerza cortante actuante, **V_{uc}** , sobre la viga de confinamiento es:

$$V_{uc} = h * \frac{V_u}{2l_w}$$

Siendo l_c la distancia entre columnetas de confinamiento, y h la altura de entrespiso

El usuario introduce la posición de las columnetas en un modelo en planta de la estructura, facilitando la ubicación de estas con respecto al muro, para luego hallar las respectivas longitudes entre columnetas (L_c) a usar en las ecuaciones anteriores.



6.4.6. DISEÑO DEL ACERO LONGITUDINAL DE LA VIGA DE CONFINAMIENTO

La componente horizontal de la biela de compresión que actúa en la diagonal del muro debe ser resistida como fuerza de tracción en la viga de confinamiento que llega a la misma esquina del paño del muro donde actúa la biela de compresión. Esta fuerza de tracción es igual a la fuerza cortante que lleva el paño de muro. Por lo tanto:

$$P_{ut} = l_c * \frac{V_u}{l_w}$$

El usuario ingresa los datos de la viga de confinamiento asumiendo que la altura de esta será igual en toda la estructura y el espesor será igual al espesor del muro

Viga de Confinamiento

Altura(m) :	<input type="text" value="0.3"/>	Acero	Cantidad	Diámetro	f'c(Mpa)	Recubrimiento (m)
		Acero en esquinas	4	#3 ▾	<input type="text" value="21"/>	<input type="text" value="0.025"/>
Ancho: igual al espesor del muro		Estribo	Separación(m)	#2 ▾	Fy(Mpa) (Longitudinales)	Fy(Mpa) (Transversales)
			<input type="text" value="0.15"/>		<input type="text" value="420"/>	<input type="text" value="420"/>

Ilustración 24 Ventana para vigas de confinamiento

La fuerza axial de tracción sobre la viga de confinamiento debe ser resistida en su totalidad por el acero de refuerzo longitudinal de la viga:

$$-P_{ut} = -\phi P_{nt}$$

$$P_{nt} = -f_y * A_{st}$$

7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se desarrolló un programa para análisis de estructuras en mampostería en edificaciones de uno y dos pisos.

El software se elaboró para diseñar muros en mampostería confinada de acuerdo a los criterios del capítulo D de la norma NSR-10.

El software elaborado es una herramienta que de manera eficaz y eficiente permite realizar un proyecto estructural en mampostería confinada, sin embargo, los resultados obtenidos dependen de la idoneidad y el buen criterio del calculista.

Como trabajo futuro se sugiere investigar y desarrollar el diseño de otros tipos de mampostería con la ayuda de la aplicación realizada en este trabajo.

8. ANEXO A: CODIGO DEL PROGRAMA

En el soporte magnético se adjunta el código del programa y su ejecutable

BIBLIOGRAFÍA

- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes (NSR-10). Colombia. 2010.
- MASONRY STANDARDS JOINT COMMITTEE. Building Code Requirements for Masonry Structures. USA. 2008.
- COLOMBIA. ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. Ley 400 de 1997. Decreto 926 del 19 de Marzo de 2010. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Título D. Bogotá. 2010.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE. Decreto 1400 (7 de Junio de 1984). Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes. CCCSR-84. Título D. Bogotá. Colombia. 1984.
- ALVAREZ, Gustavo y CORENA, Julio. Guía para el diseño de edificaciones en mampostería estructural reforzada: Metodología de diseño por estados límites de resistencia. Universidad del Valle. Cali. Colombia. 1999.
- GONZALEZ, Juan y MADARIAGA, Gustavo. Programa para el análisis de edificaciones en mampostería estructural y su diseño de acuerdo a las normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-98: Metodología de diseño por el estado límite de resistencia. Universidad del Valle. Cali. Colombia. 2000.
- KLINGNER, Richard. Masonry Structural Design. New York. USA. 2010.