

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE
"ARRIOSTRAMIENTO CON RODILLA (KNEE BRACING)"
PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE MUROS
DE MAMPOSTERÍA.**



JUAN GUILLERMO LONDOÑO LOZANO

**Universidad
Industrial de
Santander**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2007

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE
"ARRIOSTRAMIENTO CON RODILLA (KNEE BRACING)"
PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE MUROS
DE MAMPOSTERÍA.**

JUAN GUILLERMO LONDOÑO LOZANO

**Trabajo de Grado para optar al título
de Ingeniero Civil**

**Director:
GUSTAVO CHIO CHO
Ingeniero Civil, PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2007**

A DIOS TODOPODEROSO

AGRADECIMIENTOS

A Dios por sus bendiciones.

A mis padres y hermanas por ser mi apoyo incondicional en toda la vida.

A mis amigos por su continuo respaldo.

Al Ing. Gustavo Chio, director del proyecto, por su confianza, su gran apoyo y ayuda incondicional.

A la Universidad Industrial de Santander y todos los docentes que me brindaron sus conocimientos para formarme como excelente profesional.

A los que de alguna forma contribuyeron a la realización de éste proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
OBJETIVOS.....	14
INTRODUCCIÓN.....	15
1. METODOLOGÍA	17
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 SISTEMAS DE CONTROL PASIVO	20
2.1.1 “Arriostramiento con rodilla (knee bracing)”.....	21
› Recomendaciones.....	24
2.2 COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA ..	28
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	32
3.1 ANÁLISIS ELÁSTICO	32
3.2 NECESIDAD DE CONFINAMIENTO	32
3.3 RELACIÓN ÁREA - FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA KBF	34
4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS	35
4.1 ELEMENTOS DE CONCRETO	35
4.1.1 <i>Requisitos y características seleccionadas.</i>	35
› Resistencia del concreto, d.10.4.1.....	35
› Dimensiones mínimas.	35
› Refuerzo mínimo, D.10.5.4 (Columnas) y D.10.6.4 (Vigas).....	36
› Anclaje del refuerzo, D.10.5.5 (Columnas) y D.10.6.5 (Vigas).	36
4.2 MAMPOSTERÍA	36
4.2.1 <i>Características seleccionadas.</i>	37
› Espesor del muro.....	37
› Modulo de Elasticidad, Em y Resistencia de la mampostería f´m.	40
4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS PERFILES	41
5. VALORES LÍMITES	43
5.1 ELEMENTOS DE CONCRETO (COLUMNAS Y VIGA)	44
5.1.1 <i>Angulo de giro elástico y plástico en la viga y columna.</i>	44
5.2 MAMPOSTERÍA	50
5.2.1 <i>Carga axial a compresión.</i>	51
5.2.2 <i>Fuerza cortante resistida.</i>	52
5.3 ELEMENTOS METÁLICOS (RODILLA Y DIAGONAL).....	54
5.3.1 <i>Momentos límites en la rodilla.</i>	55
5.3.2 <i>Fuerza axial admisible para la diagonal.</i>	57
6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	60

6.1	ANÁLISIS PARAMÉTRICO	63
6.1.1	<i>Variación del tipo de perfil utilizado.</i>	64
6.1.2	<i>Variación de la fuerza horizontal.</i>	68
6.1.3	<i>Variación de la relación L/H.</i>	70
6.2	COMPARACIÓN DE LOS MODELOS CON Y SIN ARRIOSTRAMIENTO	71
6.2.1	<i>Comparación en los elementos de concreto.</i>	72
6.2.2	<i>Comparación en los esfuerzos de la mampostería.</i>	73
6.2.3	<i>Comparación de los desplazamientos.</i>	74
6.2.4	<i>Comparación de las reacciones en los apoyos.</i>	74
6.2.5	<i>Comparación de los factores de carga.</i>	75
6.2.6	<i>Comparación general promedio.</i>	75
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	79
	BIBLIOGRAFIA	80

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. a) Sistemas de resistencia de cargas laterales. b) Comparación de los sistemas de resistencia, Curvas: Fuerza lateral vs. Desplazamiento lateral.....	21
FIGURA 2. Sistema de arriostramiento con Rodilla KBF	23
FIGURA 3. Curva de fuerza lateral vs. Desplazamiento.....	23
FIGURA 4. Comparación entre las zonas de plastificación realizada por análisis de elementos finitos de una viga fluyendo por a) flexión y b) por cortante.	25
FIGURA 5. Elementos geométricos del KBF.	25
FIGURA 6. a) Curva de Carga vs. Desplazamiento superior del sistema para diferentes longitudes de "rodilla", b) Curva de disipación de energía contra longitud de la "rodilla".	27
FIGURA 7. Curva de Carga lateral vs. Desplazamiento lateral del sistema en sistemas con diferente carga vertical.....	27
FIGURA 8. Falla de la mampostería por aplastamiento en las esquinas y agrietamiento diagonal.....	30
FIGURA 9. Falla de la mampostería por aplastamiento en las esquinas y agrietamiento diagonal.....	31
FIGURA 10. a) y b) Diagramas de fuerza axial y momento en los elementos de arriostramiento respectivamente, c) Diagrama de esfuerzos máximos (S_{max}) en el muro sin confinamiento.....	33
FIGURA 11. Grafico de Relación Momento desarrollado Vs. Área de la sección de los elementos del sistema de arriostramiento con rodilla (KBF) aplicado en muros de mampostería.....	34
FIGURA 12. Cantidad encontrada de de muro espesores máximos y mínimos en las viviendas de la encuesta.	38
FIGURA 13. a) y b) Porcentajes de espesor de muro mínimos y máximos según encuesta.	38

FIGURA 14. a) Idealización del comportamiento de la rodilla, b) diagrama de momentos de la rodilla, encontrado en los modelos.	55
FIGURA 15. Planta del primer piso de una vivienda estudiada en la investigación realizada por <i>Alfonso E. y Percovich C., (2006)</i>	61
FIGURA 16. a) Modelo del muro sin los apoyos sometidos a tracción en la mampostería, b) Dirección de las reacciones en los apoyos en el muro con el sistema KBF.....	62
FIGURA 17. Modelo del muro en mampostería con el sistema KBF.	63
FIGURA 18. Esquema de funcionamiento de la hoja de verificación de los modelos	64
FIGURA 19. Factores de Carga en los elementos para diferentes perfiles en el arriostramiento.....	66
FIGURA 20. Detalle de los factores de carga para los diferentes perfiles en el arriostramiento.....	67
FIGURA 21. Variación del factor de carga con la carga lateral aplicada sobre el muro.....	69
FIGURA 22. Detalle de la variación del factor de carga con la carga lateral aplicada sobre el muro.....	70
FIGURA 23. Variación de los factores de carga al variar la relación L/H del muro.	71
FIGURA 24. Puntos de comparación en los elementos de concreto.	72
FIGURA 25. Puntos de Verificación en la mampostería.	73
FIGURA 26. Porcentajes promedio de comparación de entre el muro con y sin el KBF.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Espesores máximos y mínimos encontrados en el estudio de caracterización dinámica. Alfonso E. y Percovich C. (2006).....	37
Tabla 2. Orden de uso de los espesores de muro.	39
Tabla 3. Resultados de ensayos a compresión en laboratorio para unidades de mampostería H-10.	40
Tabla 4. Ingreso de los datos de la sección en la hoja de calculo programada.	47
Tabla 5. Ingreso de los datos de del refuerzo de la sección en la hoja de calculo programada.....	47
Tabla 6. Deformación máxima en el concreto ϵ_{cu} , ingreso del valor z.....	48
Tabla 7. Momento elástico de las sección de concreto, M_y	48
Tabla 8. Momento elástico de las sección de concreto, M_n	48
Tabla 9. Cálculo de curvaturas elásticas ϕ_y y plásticas, ϕ_p	49
Tabla 10. Calculo de las rotaciones límites para la viga del modelo con perfiles L2x2x1/8 en el KBF.....	49
Tabla 11. Calculo de las rotaciones límites para las columnas del modelo con perfiles L2x2x1/8 en el KBF.	50
Tabla 12. Ingreso de las características de la mampostería del modelo.	52
Tabla 13.Verificación global del muro según D.5.5.....	52
Tabla 14.Calculo de la resistencia a compresión según D.10.7.4.....	53
Tabla 15.Calculo de la resistencia a compresión de la mampostería según D.10.7.4	53
Tabla 16. Características físicas y geométricas del perfil utilizado para la rodilla. .	58
Tabla 17. Calculo de los valores Límites de la rodilla.	58

Tabla 18. Características físicas y geométricas del perfil utilizado para la diagonal.	59
Tabla 19. Calculo de los valores Límites de la diagonal.	59
Tabla 20. Tabla de cálculo y comparación de los factores de carga para cada elemento del sistema KBF.	65
Tabla 21. Perfiles utilizados en los modelos en busca del tipo de perfil con mejor desempeño.	65
Tabla 22. Relación entre los factores de carga del cortante en la mampostería y el de Momento por flexión en la rodilla.	68
Tabla 23. Dimensiones y relaciones L/H del muro utilizadas en los modelos.	70
Tabla 24. Porcentajes de comparación en los elementos de concreto.	73
Tabla 25. Porcentajes de comparación en los esfuerzos encontrados en los modelos de muros con y sin arriostramiento.	74
Tabla 26. Porcentajes de disminución de las deflexiones en la mampostería.	74
Tabla 27. Porcentajes comparación en las fuerzas encontradas en los apoyos de la mampostería para los modelos con y si el arriostramiento.	75
Tabla 28. Porcentajes de comparación entre los factores de carga de de los muros con y sin arriostramiento.	75

RESUMEN

TITULO:

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL SISTEMA DE "ARRIOSTRAMIENTO CON RODILLA (KNEE BRACING)" PARA MEJORAR EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE MUROS DE MAMPOSTERÍA.*

AUTOR:

Juan Guillermo Londoño Lozano.**

PALABRAS CLAVES:

Mampostería, KBF, Arriostramiento con rodilla, DKB, Knee Bracing Frame.

DESCRIPCIÓN: Este proyecto de Investigación surge ante la necesidad de desarrollar nuevas alternativas para el mejoramiento sísmico de las viviendas del Área Metropolitana de Bucaramanga con pobres características de diseño y construcción. Para lograr esto se plantea analizar el sistema de arriostramiento con rodilla (KBF), un tipo de sistema de control pasivo, cuya ventaja principal es la de enfocar la disipación de energía o ductilidad de la estructura en un elemento de sacrificio llamado rodilla, el cual debe desarrollar una plastificación ante la ocurrencia de un evento sísmico severo. Este sistema aplicado a los muros de mampostería, principal elemento estructural de las viviendas objetivo, debe permitir un mejor comportamiento del muro ante cargas laterales y al producir la disipación de energía, al plastificarse el elemento rodilla, este elemento pueda ser remplazado con facilidad y a un bajo costo. Para verificar la efectividad del sistema se realiza un análisis del sistema aplicado a muros de mampostería buscando garantizar que el primer elemento del muro en presentar cualquier grado de plastificación o daño sea el elemento rodilla; además se realiza la comparación del comportamiento de muros de mampostería con y sin el sistema de arriostramiento KBF. La verificación de la efectividad del sistema se evalúa realizando múltiples variaciones en los parámetros del sistema de arriostramiento, como tipo de perfiles metálicos utilizados, magnitud de la carga horizontal aplicada y relación longitud – altura del muro. Finalmente, aunque se observa una mejoría en las solicitaciones y comportamiento general del muro al utilizar el sistema de arriostramiento con rodilla KBF, no se puede garantizar que el primer elemento del muro en plastificarse y fallar sea el elemento rodilla, lo cual impide que la ventaja energética que ofrece el sistema sea aprovechada.

* Proyecto de Grado: Modalidad Investigación.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Ing. Gustavo Chio Cho.

SUMMARY

TITLE:

KNEE BRACING SYSTEM STRUCTURAL ANALYSIS TO IMPROVE THE MASONRY WALLS SEISMIC BEHAVIOR*

AUTHOR:

Juan Guillermo Londoño Lozano**

KEY WORDS:

Masonry, KBF, Knee Bracing Frame, DKB.

DESCRIPTION:

This research project issues from the need to develop new alternatives for the seismic improvement of the typical Bucaramanga Metropolitan Area houses with poor design and construction characteristics. To overlook this need it is planned to analyze the knee bracing frame system, a type of passive control system, which main advantage is to focus the structure energy dissipation or ductility in a sacrifice element called "knee"; this knee has to develop a plastification in front of the occurrence of a severe seismic event. This system applied to the masonry walls, objective houses main structural element, must allow a better wall behavior in front of lateral loads and when the energy dissipation is produced by the knee element plastification, this element can be replaced easily and at a low cost. In order to verify the effectiveness of the system, an analysis of the system applied to the masonry walls is carried out looking to guarantee that the first element of the wall in presenting any damage or plastification degree be the knee element; besides, the comparison between the masonry walls with and without the KBF system is performed. The verification of the system effectiveness is evaluated by performing multiple variations in the bracing system parameters, like metallic profiles, applied horizontal load magnitude, and wall height/length relation. Ultimately, although it is observed an enhancement in the walls requests and general behavior by the usage of the KBF system, cannot be guaranteed that the first element of the wall in getting plastification and failure be the knee element, what prevents from being proficient the energetic advantage that the system offers.

* Degree Project. Modality: Research

** Physical-Mechanical engineering Faculty. Civil Engineering School, Eng. Gustavo Chio Cho.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Analizar los sistemas de arriostramiento con “rodilla” en muros de mampostería.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las aplicaciones que se han planteado para el sistema de arriostramiento con “rodilla” y extraer las características geométricas y de modelamiento que puedan ser utilizadas en muros de mampostería.
- Comparar el comportamiento de modelos de muros en mampostería que utilicen un sistema diferente de rigidez lateral y modelos que utilicen el sistema de arriostramiento con “rodilla”.
- Determinar la efectividad del sistema de arriostramiento con “rodilla” aplicado a muros en mampostería como sistema propuesto para mejorar la capacidad de resistencia sísmica de viviendas ya construidas en mampostería.

INTRODUCCIÓN

A partir de los estudios adelantados en la región se han encontrado grandes problemas de diseño y construcción en las viviendas, principalmente ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico del Área Metropolitana de Bucaramanga. En busca de la solución a esta situación, se han planteado diversas investigaciones que busquen la aplicación de nuevos sistemas fáciles de colocar, económicos de construir y de implementar, con soluciones reales y menos traumáticas para los afectados.

Por lo tanto, en el grupo de Investigación de Nuevos Materiales y Estructuras, INME, de la Universidad Industrial de Santander, se ha planteado como una de las posibles alternativas, analizar el sistema de arriostramiento con rodilla (**Knee Bracing**), como sistema de control pasivo, en el principal elemento estructural de las viviendas analizadas, los muros de mampostería.

A pesar de que este sistema de arriostramiento ha sido medianamente estudiado por los ingenieros en el mundo, principalmente en marcos de acero, las ventajas que se han observado de este son muy prometedoras.

La idea inicial de la configuración del sistema surgió del Ingeniero Colombiano Jose Darío Aristizabal Ochoa en 1986, desde la cual, se han planteado diversas teorías, fruto de múltiples investigaciones, las cuales han descrito cada vez con mayor precisión y enfoque, el comportamiento óptimo de los elementos y algún grado de parametrización.

Hasta el momento no se ha conocido de edificaciones reales en las cuales se halla implementado el sistema de arriostramiento, ni siquiera en marcos de acero en donde su avance ha sido más evidente. Las consideraciones o recomendaciones encontradas de los investigadores en el mundo fueron analizadas y así, en el mayor grado posible, poder extraer las similitudes que pudieran ser aplicadas a los muros de mampostería.

Las ventajas que plantea el sistema de arriostramiento para ser aplicado en las viviendas de mampostería se basan principalmente en mejorar su capacidad de disipación de energía o ductilidad de la estructura al introducir un elemento metálico de sacrificio llamado rodilla o “**knee**”, el cual actúa como un fusible estructural, que se plastifica ante la ocurrencia de un evento severo.

La energía sobre el sistema es utilizada en la plastificación del elemento, evitando que afecte a los otros elementos estructurales y su reparación pueda ser rápida, sencilla y económica.

Para poder aprovechar la ventaja energética que plantea el sistema de arriostramiento sobre los muros en mampostería debe verificarse en primer lugar que la primera plastificación sobre los elementos de la estructura ocurra en la rodilla y no en otro punto de la estructura. En segundo lugar se debe verificar que el fenómeno que produzca la plastificación en la rodilla sea aquel que trabaje sobre un mayor porcentaje de la sección del perfil utilizado en la rodilla, lo cual aumenta el potencial de energía a ser disipado.

Una comparación final entre los muros de mampostería con y sin el sistema de arriostramiento es realizado, lo que concluiría parcialmente con una de las etapas de investigación que conlleven a la implementación final del modelo.

La implementación de ideas innovadoras que permitan plantear desde la academia soluciones a los problemas reales de las personas de la región permite que el gran porcentaje de viviendas en situaciones críticas puedan tener alternativas viables de solución, haciendo importante el desarrollo de proyectos de investigación como el que se presenta.

1. METODOLOGÍA

Inicialmente la investigación se basó en el análisis y discusión que han hecho distintos investigadores y que han sido difundidas en publicaciones científicas de circulación mundial y proyectos de investigación académicos.

Para la investigación se buscaron una amplia cantidad de publicaciones en revistas científicas que trataban el tema del sistema de arriostramiento con rodilla. Las publicaciones encontradas fueron leídas y analizadas permitiendo extraer de allí las recomendaciones que hacían los autores para las características de los elementos.

Los investigadores, hasta ahora, han enfocado sus esfuerzos en la aplicación del sistema KBF en *marcos de acero* y en la descripción del comportamiento de estos. Las recomendaciones encontradas describen algunas de las características geométricas, mecánicas, de distribución o relaciones entre elementos y los tipos de solicitaciones deseadas para los elementos que conforman el sistema. Aunque en este último punto se han propuesto teorías diferentes, las publicaciones más recientes coinciden en el tipo de solicitación que debe predominar en los elementos del arriostramiento.

De allí se tomaron las recomendaciones que podían ser aplicadas a las características del modelo que se está investigando, es decir a muros en mampostería. Modelos iniciales del sistema en muros de mampostería no reforzada mostraron la necesidad de elementos de confinamiento en los muros para poder aplicar el sistema KBF satisfactoriamente, facilitando además su implementación constructiva.

Luego de haber analizado la literatura encontrada, se seleccionaron las características de los materiales a utilizar en el modelo. Las características geométricas y de carga vertical de la mampostería se tomaron teniendo en cuenta los resultados de proyectos de investigación anteriores (*Alfonso E. y Percovich C., 2006*) desarrollados en el Municipio de Floridablanca con el grupo de Investigación INME de la Universidad Industrial de Santander, y las características mecánicas de la mampostería fueron tomadas de resultados de laboratorio para unidades de mampostería de la geometría seleccionada.

Para verificar la funcionalidad del sistema se realizaron principalmente dos estudios:

- Consiste en desarrollar un modelo, adaptándose en lo más posible a las recomendaciones dadas por los investigadores encontrados, en el cual se pudiera garantizar que en la ocurrencia de un evento sísmico importante sea el elemento rodilla o **knee**, el primero en desarrollar deformaciones plásticas.
- Una vez se haya encontrado la configuración que cumpla con las condiciones planteadas, se procede a comparar el desempeño entre el muro de mampostería que tiene el sistema y el que no lo tiene.

El primero de estos análisis es bastante importante debido a que evidencia la factibilidad del sistema bajo estas nuevas condiciones de aplicación y el segundo muestra las ventajas o superioridad que puede lograr la implementación del sistema.

Para desarrollar el primero de estos análisis se realiza el cálculo de los valores límites para cada uno de los elementos del sistema, esto es, el valor de la sollicitación a partir del cual el elemento analizado empieza a tener un comportamiento plástico.

La característica de este valor, depende de la sollicitación que se consideró crítica para cada elemento. Por ejemplo, para la vigueta en concreto se tomo como valor limite el ángulo de giro (θ_y) que produce la fluencia en ella, y para la mampostería se tomaron los valores de fuerzas cortantes (V_u) y de compresión (P_u).

Para poder determinar con seguridad cual elemento es el que va a desarrollar en primer lugar el comportamiento plástico, se realiza la comparación de lo que aquí se llamó *factor de carga*.

Este factor de carga se refiere a la cantidad de veces que hay que aumentar las sollicitaciones en el elemento para producir el comportamiento plástico en este. Esto quiere decir que aquel elemento que tenga un menor factor de carga será el que desarrolle primero las deformaciones plásticas.

El elemento que tenga el siguiente valor de factor de carga significa posiblemente que será el segundo elemento en desarrollar las deformaciones plásticas, lo cual deberá ser verificado en su momento haciendo las debidas correcciones al modelo en las que se modifiquen las características del elemento que falló primero y se encuentre los valores de solicitaciones en el elemento según la nueva distribución de fuerzas.

La verificación de la efectividad del sistema KBF se verifica al realizar un estudio paramétrico que permita encontrar el tipo de perfil que mejor comportamiento le dé a la estructura y que garantice la fluencia primera en la rodilla. Esto se realiza comparando los valores de factor de carga encontrados en los modelos para los distintos elementos del sistema

Una vez encontrado el perfil mas adecuado, se realiza entonces una verificación del comportamiento del muro variando la fuerza horizontal o carga lateral aplicada sobre el muro y observando el comportamiento de los factores de carga de cada elemento.

Además de esto, se realiza un estudio en el cual se analice el comportamiento de la estructura cuando se utiliza el sistema KBF en muros con diferentes relaciones de longitud – altura.

Una vez se encuentre esta configuración, se pasa entonces al segundo punto de estudio: comparar el comportamiento de un muro de iguales características y geometría con y sin el sistema de arriostramiento

Esta comparación se realiza tomando los valores de las diferentes solicitaciones a las que están sometidos todos los elementos en los puntos mas importantes de la estructura en cada modelo.

Una vez se ha cumplido con el desarrollo de estos dos puntos, se realiza un análisis final de los resultados, incluyendo algunas observaciones para futuras investigaciones, recomendaciones y conclusiones de la investigación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE CONTROL PASIVO

Los sistemas de control pasivo son sistemas que buscan mejorar la capacidad de resistencia sísmica de las estructuras controlando los efectos que se producen en ella, como desplazamientos, debido a la aplicación de cargas o eventos especiales como los movimientos telúricos (principal evento en nuestra región). Una de las características más importantes de estos sistemas es que pueden operar sin la necesidad de utilización de una fuente de energía externa.

Los Sistemas de Control Pasivo se plantean como una alternativa al diseño sismorresistente convencional, basado en la ductilidad y el hiperestatismo estructural. (*Bonnet R., 2005*)

Los sistemas sismorresistentes avanzados tiene por objetivo el control de los desplazamientos de una estructura haciendo uso de alguno (o varios) de los siguientes recursos:

- Modificaciones de las propiedades dinámicas del edificio, de forma que éste reduzca su impacto energético o evite efectos de resonancia
- Disipación de energía introducida al sistema a partir de dispositivos mecánicos
- Control con dispositivos que ejerzan fuerzas que contrarresten la acción sísmica.

Estos sistemas son eficientes para disipar la energía producida por eventos especiales, reducir las derivas producidas en la estructura y por lo tanto proteger todos los componentes de la edificación, tanto los estructurales como no estructurales.

Estos sistemas en su mayoría, están compuestos de amortiguadores, aisladores y otros dispositivos, cuyos materiales o equipo mismo pueden ser encontrados en el mercado e implantarse con relativa facilidad.

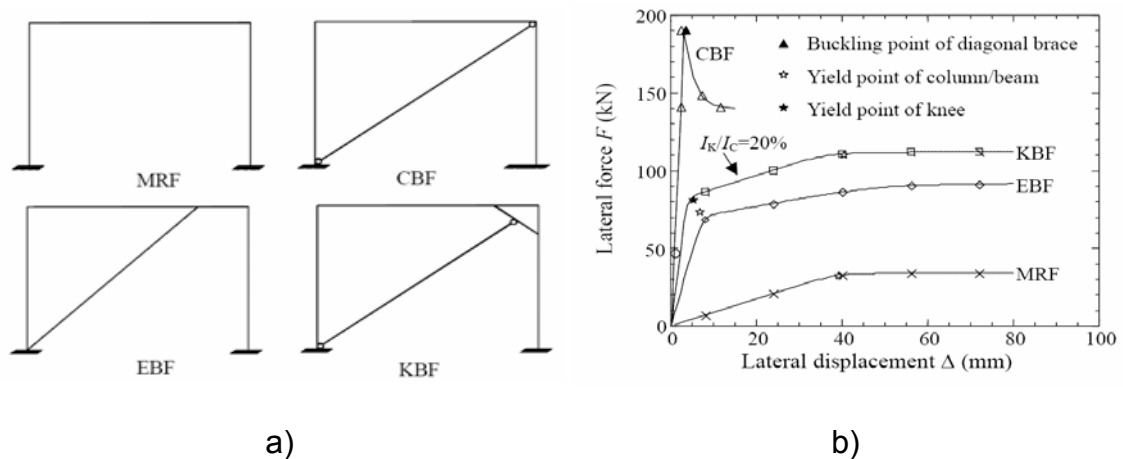
Por otro lado, el costo de este tipo de sistemas es mucho mas reducido que los sistemas de control activo, tanto en su inversión inicial como en su costo de mantenimiento, además que pueden ser implementados tanto en estructuras antiguas como nuevas.

2.1.1 “Arriostramiento con rodilla (knee bracing)”.

El sistema de arriostramiento con rodilla KBF (**Knee Bracing Frame**), o también llamado DKB (**Disposable Knee Bracing**), cuya configuración original fue planteada por el Ingeniero Colombiano *J. Darío Aristizabal Ochoa (1986)*, es el resultado o la evolución de múltiples investigaciones que se han llevado a cabo en el mundo para desarrollar los sistemas de control pasivo.

El proceso de desarrollo de este sistema partió desde el comportamiento de la configuración porticada y ha venido sufriendo cambios hasta llegar al sistema que hoy se conoce.

Figura 1. a) Sistemas de resistencia de cargas laterales. b) Comparación de los sistemas de resistencia, Curvas: Fuerza lateral vs. Desplazamiento lateral.



Fuente: *Huang, Z. et al. (2004)*

En la figura 1-a, se puede apreciar cada uno de los distintos sistemas que hicieron parte del proceso de desarrollo del sistema KBF.

A continuación se hace una brevemente explicación de algunas características de los sistemas: (*Baledra T. et al, 1997*)

MRF (Moment Resistent Frame):

- Usado en edificios de bajo-medio riesgo sísmico.
- Su diseño se basa en la relación, columna fuerte-viga débil.
- Presenta derivas excesivas y para edificios de alto riesgo se requieren diseños poco económicos.

CBF (Concentricalli Brace Frame):

- Tiene rigidez lateral.
- Poca capacidad de disipación de energía, porque la riostra (**brace**) puede pandearse repetidas veces. (*Popov y Black, 1981*)

EBF (Eccentrically Brace Frame), propuesto por Roeder y Popov (1977-1978)

- Se espera que la sección corta de la viga sea la que disipe la energía, fluyendo ante un sismo fuerte como un fusible.
- Esta zona de fluencia a cortante pertenece a los elementos principales estructurales, por lo que su reposición es costosa.

KBF (Knee Bracing Frame), propuesto por Aristizabal Ochoa (1986) *solo tensión*, Baledra (1990) *flexión y cortante*

- La diagonal llega a un pequeño elemento en vez de al nodo de la unión viga-columna.
- El pequeño elemento, llamado rodilla (**knee**), es diseñado para que fluya a cortante ante una excitación severa.*

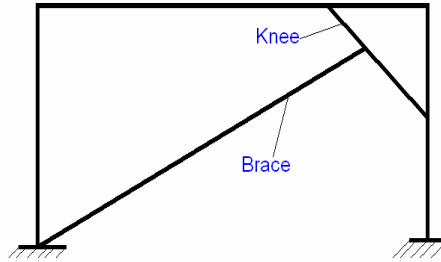
El comportamiento de cada uno de estos sistemas ante cargas horizontales puede ser analizado en las curvas Fuerza Lateral vs. Desplazamiento de la Figura 1-b. En esta figura se observa el desempeño sobresaliente que tiene este sistema con respecto a los otros sistemas.

A diferencia de los sistemas de arriostramiento tradicionales, el sistema de arriostramiento con rodilla (KBF), figura 2, utiliza un segundo elemento estructural (rodilla) el cual funciona como un “Fusible estructural” para asegurar la ductilidad, pero aportando una excelente rigidez lateral a través de la configuración del arriostramiento diagonal. Debido a que las rotulas plásticas son formadas en el elemento “rodilla” únicamente, la mayor parte de la estructura estará segura, y la rehabilitación será entonces mas sencilla y económica.

* Según el estudio de BALEDRA T. (1994) la rodilla debe fluir por esfuerzos cortantes y según el estudio de ARISTIZABAL OCHOA (1986) debería fluir por tensión.

Tal y como se encuentra planteado, y como se han encontrado en los distintos estudios, el sistema ha sido desarrollado para utilizarse en estructuras metálicas porticadas.

Figura 2. Sistema de arriostramiento con Rodilla KBF

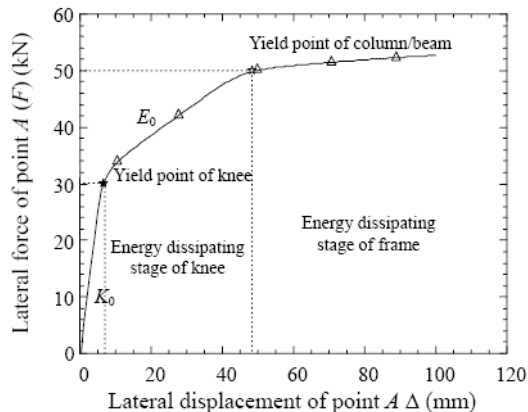


Fuente: Bonnet, R. (2005)

Como se puede ver en la Figura 3. el proceso de fluencia puede ser dividido en dos fases: En la primera, la fluencia ocurre en el elemento “rodilla” bajo la acción de la fuerza lateral F . Desde este punto, la estructura está en la fase de disipación de energía de la rodilla, lo cual significa que el sistema de arriostramiento ha encontrado su capacidad última de soporte y la carga excedente debe ser llevada a los elementos, hasta que las rotulas plásticas ocurran en las columnas o en las vigas, después de lo cual ocurrirá la segunda fase de disipación de energía.

Evidentemente, haciendo un mayor uso de la primera fase de disipación de energía, la mayoría de los miembros estructurales puede sobrevivir a un evento severo sin recibir un daño permanente, por lo tanto un suficiente almacenamiento de ductilidad y seguridad de la estructura puede ser esperada. (HUANG Zhen \dagger , LI Qing-song, CHEN Long-zhu, 2004)

Figura 3. Curva de fuerza lateral vs. Desplazamiento.



Fuente: Huang, Z. et al. (2004)

► **Recomendaciones.**

A lo largo del desarrollo del sistema de arriostramiento con “rodilla”, los investigadores han llegado a algunas recomendaciones de diseño de los diferentes elementos, geometrías y demás configuración que conforman el sistema.

Teniendo en cuenta que la respuesta lateral del sistema depende de las siguientes características:

1. Configuración del sistema.
2. Posición del **knee**.
3. Tamaño de los elementos: **knee**, diagonal, viga, columna.
4. Longitud del **knee**.
5. Tipo de conexión.

Algunas de esas recomendaciones encontradas son las siguientes:

Requerimientos del **Knee**: (Clement D. E, 2002)

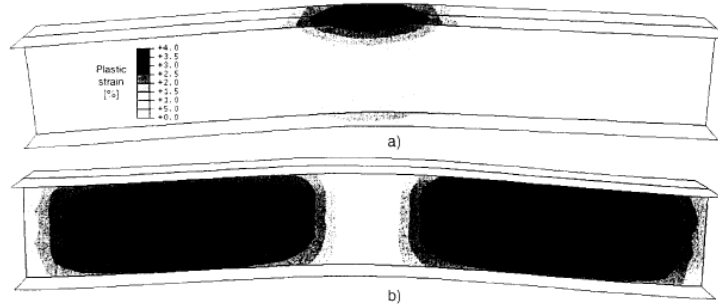
- No debe fluir bajo las cargas de servicio o pequeños sismos.
- Fluir al primer pico importante de aceleración de un sismo moderado. En este caso, la rodilla debe tomar todo el daño para que el resto de la estructura no sufra. Si la rodilla no fluye, entonces puede ocurrir daño en los elementos principales de la estructura y perderse los beneficios económicos que el sistema ofrece.
- Resistir ciclos de histéresis largos y severos sin falla ante bajos ciclos por fatiga. Como el punto anterior se refería a la resistencia, este punto de refiere a la duración.
- No sufrir pandeo lateral torsional o local del alma o de las aletas. El pandeo es un fenómeno no disipativo de energía, el cual debe evitarse.
- Tener una alta rigidez inicial.

Modo de fluencia: (Clement D. E, 2002)

El estudio y diseño del elemento rodilla es preferiblemente para que fluya por cortante. Esto es debido a:

- El área en la curva de disipación de energía es mayor y más homogénea, lo cual mejora la resistencia a la fatiga ante ciclos bajos.
- La fluencia ocurre entre las conexiones, así las fallas por conexiones es evitada.
- La carga de fluencia no depende de las condiciones de borde.
- La carga de fluencia es mas fácil de estimar que la carga de fluencia de las conexiones.
- La carga de fluencia no depende de la carga axial.

Figura 4. Comparación entre las zonas de plastificación realizada por análisis de elementos finitos de una viga fluyendo por a) flexión y b) por cortante.

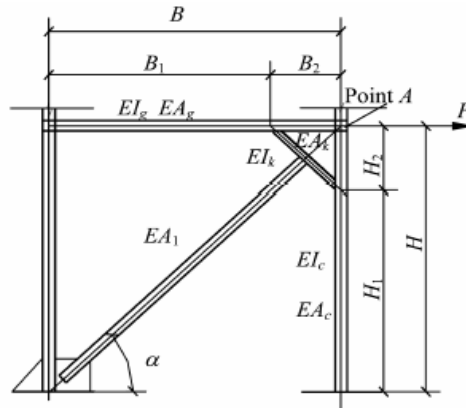


Fuente: (Clement D. E, 2002)

Posición del Knee: (Mofid y Khosravid 2000).

- Se puede encontrar un máximo valor de resistencia sísmica si el elemento rodilla y la riostra diagonal son paralelas a la diagonal del elemento, lo cual significa que “ $B_2/B = H_2/H$ ”, y el parámetro dimensional “ x ”, se encuentra entre 0,15~0,2. ($x = B_2/B = H_2/H$).

Figura 5. Elementos geométricos del KBF.



Fuente: Huang, Z. et al. (2004)

Tamaño de los elementos (rodilla).

Para encontrar el mejor comportamiento de los elementos, se hicieron ensayos con diferentes tipos de secciones y encontraron lo siguiente:

$$L_{\max} = \frac{4\sqrt{3}}{c_f} \cdot \frac{S_y}{A_s} \quad ; \text{Clement D. E, 2002}$$

Donde L_{max} corresponde a la longitud máxima de la rodilla para producir la falla por cortante, S_y es el modulo elástico del perfil utilizado, A_s es el área del perfil sometida al esfuerzo cortante y c_f el valor de sobre-resistencia del acero (relación f_u/f_y).

- La capacidad última del pórtico se reduce cuando la capacidad de la rodilla disminuye.
- Cuando el área del elemento rodilla es similar al área de la columna, ambos elementos ceden de forma simultánea.

Tamaño de los Elementos (diagonal). (Aristizabal Ochoa, 1986)

- La riostra diagonal no puede ser muy grande ya que puede ocasionar pandeo en la columna más comprimida y activar prematuramente la fluencia en la rodilla.
- El tamaño y capacidad será elegido de tal forma que su comportamiento permanezca en el rango elástico

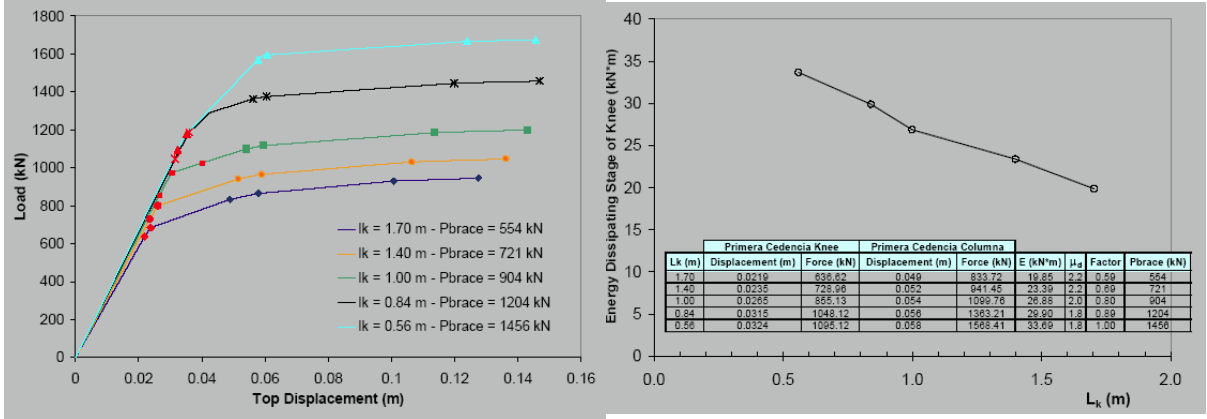
Tamaño de los Elementos (Viga). (Aristizabal Ochoa, 1986)

- La rigidez inicial del pórtico se incrementa levemente al aumentar la sección de la viga.
- Después de la cedencia de la rodilla, la rigidez del pórtico se ve muy afectada por el tamaño de las vigas
- Se debe conservar la relación viga débil-columna fuerte para garantizar que el próximo elemento que ceda sea la viga

Influencia Longitud de la rodilla.

Según el estudio paramétrico realizado por *Bourahla (1990)*, se encontró que la longitud óptima para un elemento rodilla, con un tamaño medio de la diagonal, está entre 0,2 y 0,35 veces la altura del entrepiso. Para su estudio *Bourahla* idealiza la rodilla con conexiones empotradas, y aunque se basa en la fluencia de la rodilla por pandeo, se espera que la longitud óptima sea similar para la fluencia por cortante debido a que se obtienen curvas de histéresis similares.

Figura 6. a) Curva de Carga vs. Desplazamiento superior del sistema para diferentes longitudes de "rodilla", b) Curva de disipación de energía contra longitud de la "rodilla".



a)

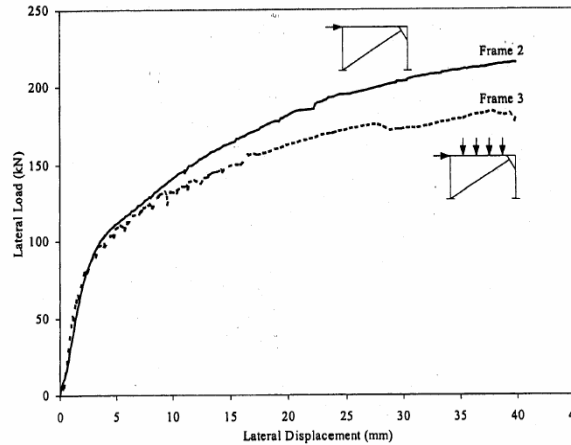
b)

Fuente: Bonnet, R. (2005)

Efecto de la carga vertical.

- La resistencia del sistema con arriostramiento KBF se disminuye cuando está sometido a carga vertical debido al efecto P-D.

Figura 7. Curva de Carga lateral vs. Desplazamiento lateral del sistema en sistemas con diferente carga vertical.



Fuente: Bonnet, R. (2005)

2.2 COMPORTAMIENTO DINÁMICO DE EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA

La mampostería es uno de los materiales que se han utilizado con más fines dentro de obras civiles. El uso de éste material se ha usado desde las primeras construcciones hechas por el hombre. Las ruinas de Jericó (Medio Oriente, 7350 a.C.), las pirámides de Egipto (2500 a.C.), la gran muralla China (200 a.C. a 220 d.C.), las pirámides de Yucatán en México (500 d.C.), son ejemplos que dan testimonio del uso y durabilidad de este material. Todas las construcciones en mampostería en el pasado, se realizaron a partir de leyes de observación, es decir, para construir una obra se basaban en estructuras existentes y de las cuales se podía inferir un buen comportamiento antes las diferentes cargas. No es hasta mediados del siglo XX, que aparecen las primeras normativas y reglamentaciones de diseño.

El comportamiento dinámico de las edificaciones de mampostería, es un poco difícil de predecir ya que depende no sólo de la resistencia, la rigidez y la ductilidad de los paneles de mampostería, sino también, del tipo de diafragma de piso, de sus conexiones y por último de la magnitud de las cargas verticales de compresión a las que se encuentra sometida. (*Tique J. A.; Yamín L. E y Reyes J. C.*)

Las fallas en la mampostería son de tipo frágil y por lo general explosivas, además, hay que tener en cuenta que cada panel de mampostería en una edificación tendrá un comportamiento dinámico un poco distinto, lo anterior debido a los materiales, a la mano de obra y al estado de esfuerzos verticales. Por ejemplo un panel del último nivel está sometido a esfuerzos verticales pequeños, lo que reduce drásticamente su capacidad de experimentar grandes deformaciones una vez producido el agrietamiento. (*Tique J. A.; Yamín L. E y Reyes J. C.*)

Los métodos de análisis elásticos lineales, en general, no proporcionan la información necesaria para el diseño, por lo tanto deben ser sustituidas por técnicas y programas de análisis no lineal.

Los muros de “relleno” incrementan sustancialmente la rigidez de los marcos, esto reduce los periodos naturales de vibración y se modifica las acciones sísmicas a las que estará sujeto.

También pueden incrementar significativamente la resistencia a cargas laterales de la estructura y pueden contribuir a la disipación de la energía durante un sismo.

Comportamiento de los muros de mampostería (Orduña, A. y Ayala, A. G.)

Podemos considerar desde un punto de vista macroscópico la mampostería como un material homogéneo debido a la forma rectangular y prismática de las piezas, su colocación en patrones generalmente rectangulares y la presencia de las juntas de mortero actúan como planos de debilidad en direcciones bien definidas.

Esto sugiere que la mampostería es un material ortótropo con direcciones principales normal y paralela a las juntas horizontales.

El comportamiento no lineal de la mampostería como material proviene de dos fuentes principales.

1. Comportamiento no lineal que presentan todos los materiales a partir de cierto nivel de deformaciones. El comportamiento no lineal de las piezas y del mortero son cualitativamente similares a las del concreto, sin embargo, cuantitativamente las propiedades mecánicas, tanto lineales como no lineales de las piezas, pueden ser muy distintas.
2. El comportamiento de no linealidad debido a la superficie de unión entre piezas y mortero, en donde ocurre agrietamiento por tensión (o separación) y deslizamiento debido a esfuerzos tangenciales.

En muros diafragma sujetos a carga horizontal, la carga vertical sobre el muro se incrementa conforme aumenta la carga horizontal debido al efecto confinante del marco.

La distribución de esfuerzos de contacto entre el muro y el marco depende de la rigidez relativa entre estos, y la relación de aspecto del muro.

Tipo de solicitaciones

Cuando la mampostería es sometida a cargas de sismo se pueden presentar en ella fallas que en general se pueden clasificar en fallas fuera del plano o fallas en el plano.

▪ *Falla fuera del plano*

Este tipo de falla es bastante común en las estructuras de mampostería no reforzada o mal confinada, incluso para movimientos sísmicos de magnitud moderada. La falla fuera del plano es explosiva y pone en peligro la capacidad resistente ante cargas gravitatorias, lo que se traduce en un colapso total de la edificación.

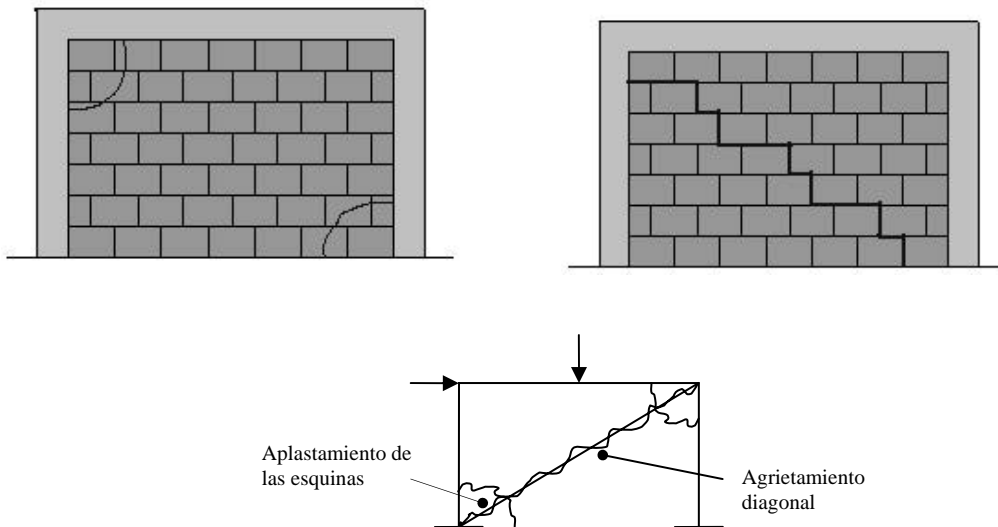
▪ *Falla en el plano*

Las fallas que se presentan en el plano pueden ser producto de esfuerzos excesivos de cortante o de flexión. Este tipo de falla depende de la relación longitud / altura del panel de mampostería. Por lo tanto, para una relación baja, la falla es producida por

flexión, para valores medios de esta relación, la falla es producida por cortante. La falla por cortante causa un tipo de agrietamiento diagonal que en general es doble en forma de equis (x). Este tipo de falla, ha sido identificada como una de las principales causas del colapso de las estructuras.

Cuando la relación altura-ancho es grande y con ella la pendiente de la diagonal en compresión, se desarrolla una fuerza vertical alta sobre el muro, por ello son comunes en estos casos las fallas por aplastamiento de las esquinas.

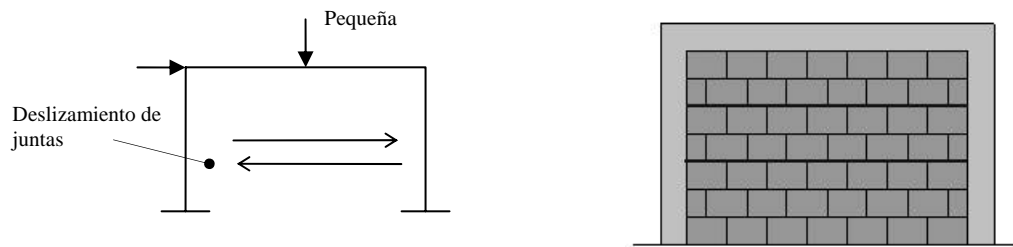
Figura 8. Falla de la mampostería por aplastamiento en las esquinas y agrietamiento diagonal.



Fuente: (Tique J. A.; Yamín L .E y Reyes J. C.)

Con la relación altura ancho pequeñas, las fuerzas horizontales se transmiten principalmente por cortante con fuerzas verticales pequeñas sobre el muro, en estos casos son comunes las fallas por deslizamiento a través de juntas.

Figura 9. Falla de la mampostería por aplastamiento en las esquinas y agrietamiento diagonal.



Fuente: (Tique J. A.; Yamín L. E y Reyes J. C.)

Los muros presentan un comportamiento no lineal ante cargas laterales debido a efectos geométricos de separación o contacto, que se produce en la interfaz entre el muro y el marco que lo confina.

El comportamiento ante cargas laterales de marcos de concreto o de acero con muros de diafragma de mampostería, se puede describir por medio de las siguientes etapas o modos de falla:

- 1) Separación: A niveles bajos de carga ocurre separación entre el muro y el marco en las esquinas alejadas de la diagonal en compresión (esto sucede en todos los casos)
- 2) Aplastamiento de esquina: en caso que el marco sea muy flexible los esfuerzos de compresión en las esquinas cargadas se concentran en una superficie muy pequeña y ocurre aplastamiento de la mampostería en esta zona. A medida que el muro sea más rígido y pueda por lo tanto distribuir mejor los esfuerzos, la zona de aplastamiento se extiende hacia el centro de muro.
- 3) Agrietamiento inclinado: Si el marco es suficientemente rígido para evitar el aplastamiento del muro, entonces ocurre agrietamiento a lo largo de la diagonal en compresión, a causa de los esfuerzos principales a tensión en la dirección perpendicular.
- 4) Falla de la columna en tensión: la combinación de esfuerzos de tensión y de cortante en una de las columnas puede producir su falla principalmente si es de concreto y no tiene el suficiente refuerzo transversal y/o longitudinal.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.1 ANÁLISIS ELÁSTICO

El análisis estructural de los modelos será realizado en el programa de análisis matricial SAP 2000[®], el cual se hará basando en el comportamiento elástico de los materiales.

Para el análisis este rango de uso es totalmente válido, debido a que el comportamiento que se está asumiendo en los materiales es en todos los casos un comportamiento antes del desarrollo de deformaciones plásticas, lo cual permite que el primer elemento en desarrollarlos sea el elemento rodilla.

3.2 NECESIDAD DE CONFINAMIENTO

Al realizarse algunos modelos del sistema, se ha encontrado que la aplicación del sistema de arriostramiento con rodilla en muros de mampostería sin ningún grado de confinamiento, no evidencia alguna mejoría en el desempeño del muro. Esto se puede evidenciar por lo siguiente:

- Fuerzas internas en los elementos:

Al colocar el sistema de arriostramiento en el muro sin confinamiento se puede observar que la rodilla solo afecta localmente al muro en las regiones cercanas a los puntos de apoyo de la rodilla sobre este, además el único elemento del arriostramiento que está trabajando es la rodilla, lo cual, sin el trabajo de la diagonal no produce una mejoría en la rigidez lateral del muro.

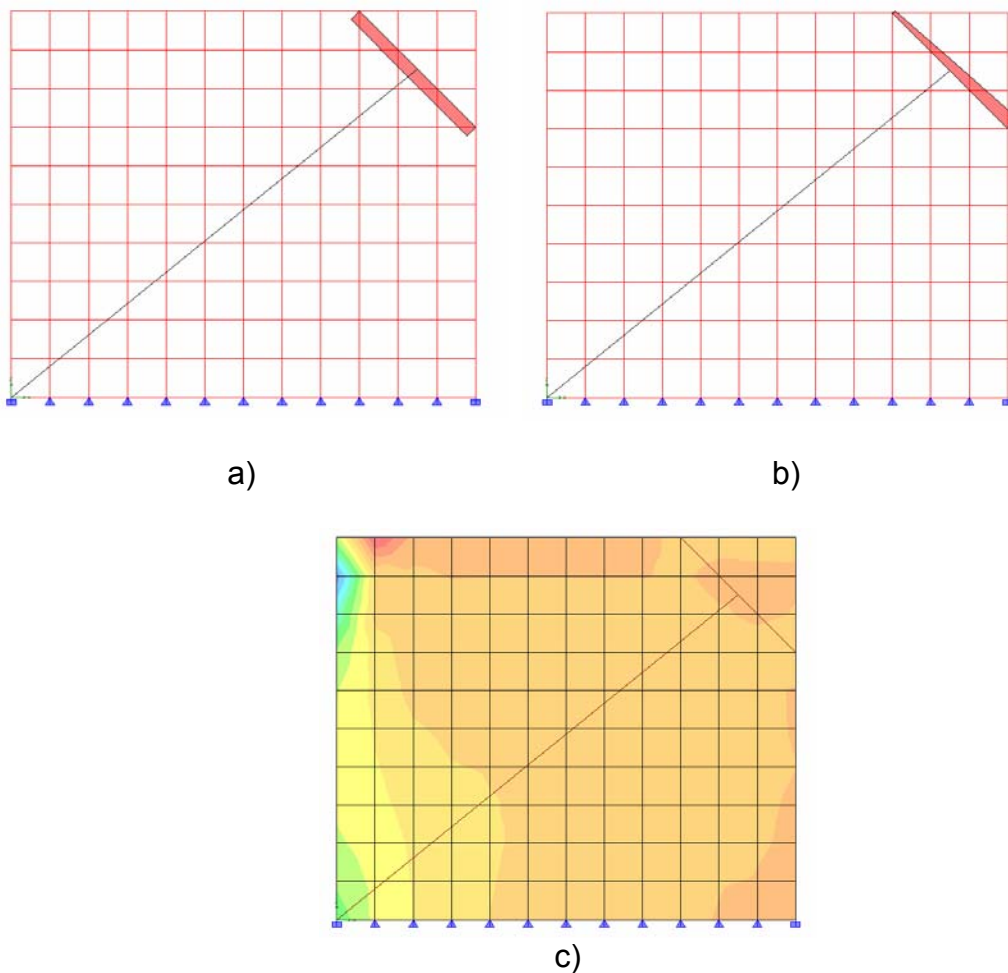
Este comportamiento puede verse en los siguientes diagramas de los efectos internos en los elementos obtenidos en el programa SAP2000[®].

[®] SAP 2000. Es un producto de Computer and Structures, Inc. 1995 University Ave. Berkeley, CA 94704

- **Ventaja constructiva:**

La implementación del sistema de arriostramiento en el muro sin confinamiento evidencia la necesidad de elementos adicionales al sistema, que permitan que los efectos del sistema de arriostramiento sean aprovechados en toda la extensión del muro, evitando producir puntos críticos al generar concentraciones de esfuerzos sobre la estructura.

Figura 10. a) y b) Diagramas de fuerza axial y momento en los elementos de arriostramiento respectivamente, c) Diagrama de esfuerzos máximos (S_{max}) en el muro sin confinamiento.



Para esto se debe hacer un estudio de modelamiento, diseño y verificación de los elementos de apoyo del sistema de arriostramiento sobre el muro, que garanticen la efectividad de la conexión.

Así, el hecho de tener elementos de confinamiento, como vigas de amarre y columnetas, los cuales son elementos más resistentes a cargas puntuales, y con la posibilidad de anclarse a los aceros de refuerzo de ese confinamiento con relativa facilidad, hace más práctica la aplicación del sistema.

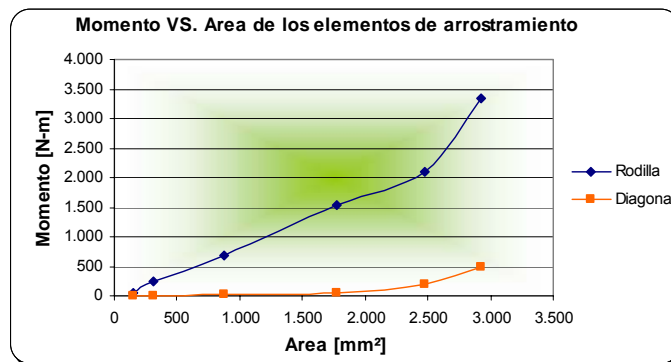
3.3 RELACIÓN ÁREA - FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA KBF.

Al realizar los distintos modelos del sistema de arriostramiento sobre muros de mampostería se encontró una clara relación entre el área de los perfiles que conforman el sistema de arriostramiento y la magnitud de los momentos encontrados sobre estos elementos.

Esto es un claro indicador de que al aplicar el sistema de arriostramiento sobre el muro, los dos estarán trabajando como un conjunto estructural, es decir, que el muro sí se ve afectado por la utilización del sistema.

La siguiente grafica se obtiene al variar sobre el modelo del muro la sección de los perfiles que forman el sistema de arriostramiento:

Figura 11. Grafico de Relación Momento desarrollado Vs. Área de la sección de los elementos del sistema de arriostramiento con rodilla (KBF) aplicado en muros de mampostería.



Los perfiles utilizados para este análisis son en orden de mayor a menor área los siguientes: UC152x152x23, W 4x13, L3x3x1/2, L2x2x3/8, L2x2x1/8, L1x1x1/8.

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS

4.1 ELEMENTOS DE CONCRETO

Los elementos de Concreto que hacen parte del sistema son los elementos de confinamiento, es decir, la viga y las columnas que están en los bordes del muro de mampostería.

4.1.1 Requisitos y características seleccionadas.

La selección de las características de estos elementos se basa en las recomendaciones dadas en el Título D.10 de la Norma Colombiana de diseño Sismorresistente NSR-98, en la cual se dan los requisitos mínimos que deben tener estos elementos. Algunos de estos requisitos son los siguientes:

➤ **Resistencia del concreto, D.10.4.1.**

La resistencia mínima a compresión del concreto de las vigas y columnas debe ser de 17.5MPa a los 28 días.

Para el modelo se utilizó una resistencia de 21 MPa.

➤ **Dimensiones mínimas.**

Las dimensiones mínimas para los elementos de confinamiento (vigas y columnas) deben ser las siguientes:

Espesor mínimo, D.10.5.2.1 (Columnas) y D.10.6.2.1 (Vigas): El espesor mínimo de los elementos de confinamiento debe ser el mismo del muro confinado.

Área mínima, D.10.5.2.2 (Columnas) y D.10.6.2.2 (Vigas): El área mínima de la sección transversal de los elementos de confinamiento es de 20000 mm² (200 cm²).

La sección escogida para las columnas de confinamiento es de 10 x 20 cm, cumpliendo con los anteriores requisitos.

➤ **Refuerzo mínimo, D.10.5.4 (Columnas) y D.10.6.4 (Vigas).**

El refuerzo mínimo de los elementos de confinamiento debe ser el siguiente:

(a) *Refuerzo longitudinal (vigas y columnas)*: El refuerzo longitudinal no debe ser inferior a 3 barras N° 3 (3/8") ó 10M (10 mm) o una cuantía menor de 0.0075. En ningún caso, el refuerzo longitudinal puede ser menos que el requerido para atender los esfuerzos de diseño.

Para el refuerzo longitudinal en el modelo se escogió, tanto para vigas como para columnas, cuatro barras numero 4 (1/2") en los cuatro extremos de la sección. Lo cual garantiza una cuantía de acero de 0.0149.

(b) *Refuerzo transversal (vigas y columnas)*: Debe utilizarse refuerzo transversal consistente en estribos cerrados mínimo de diámetro N° 2 (1/4") ó 6M (6 mm), espaciados a una separación no mayor de 1.5 veces la menor dimensión del elemento, o 200 mm. En ningún caso, el refuerzo transversal puede ser menos que el requerido para atender los esfuerzos de diseño.

Para el refuerzo transversal en el modelo se escogió, tanto para vigas como para columnas, estribos cerrados de acero de barras N° 2, que envuelven las barras longitudinales, separados cada 10 cm y distribuidos en toda la longitud de los elementos.

➤ **Anclaje del refuerzo, D.10.5.5 (Columnas) y D.10.6.5 (Vigas).**

El refuerzo de las vigas y columnas de confinamiento debe anclarse en los extremos terminales con ganchos de 90° dentro de un elemento de confinamiento transversal a su dirección.

4.2 MAMPOSTERÍA

Para buscar una aplicación del sistema a las condiciones estructurales y constructivas de la región, el modelo realizado se basó en el estudio de caracterización dinámica desarrollado por *Alfonso E. y Percovich C.* en el año 2006 para escoger el espesor del muro de mampostería.

El valor de la resistencia a compresión de la mampostería f_m se calculó según las recomendaciones de la NSR98 basado en la calidad de los materiales.

4.2.1 Características seleccionadas.

➤ Espesor del muro.

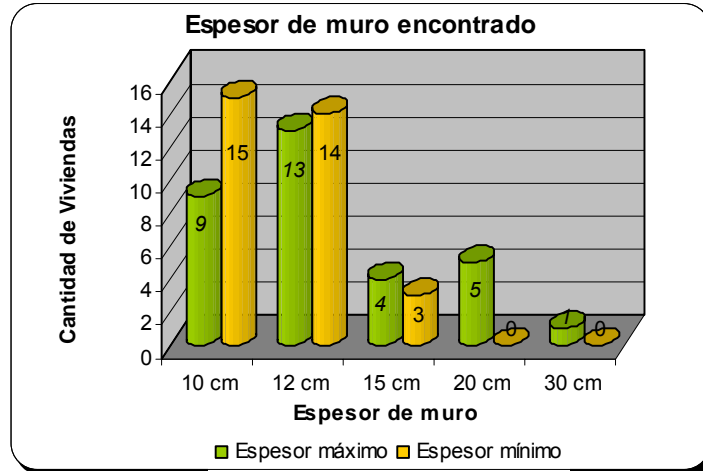
Se tomaron las 32 encuestas realizadas por *Alfonso E. y Percovich C. (2006)* que se encuentran consignadas en el proyecto, y de allí se extrajeron los siguientes resultados de los espesores de muros:

Tabla 1. Espesores máximos y mínimos encontrados en el estudio de caracterización dinámica. *Alfonso E. y Percovich C. (2006)*

Encuesta N°	Valor Máximo [m]	Valor Mínimo [m]	Encuesta N°	Valor Máximo [m]	Valor Mínimo [m]
1	0.15	0.12	17	0.10	0.10
2	0.20	0.10	18	0.20	0.10
3	0.12	0.12	19	0.10	0.10
4	0.10	0.10	20	0.10	0.10
5	0.10	0.10	21	0.12	0.12
6	0.12	0.10	22	0.12	0.12
7	0.12	0.12	23	0.12	0.12
8	0.12	0.10	24	0.12	0.12
9	0.20	0.10	25	0.12	0.12
10	0.15	0.12	26	0.20	0.12
11	0.20	0.10	27	0.12	0.12
12	0.10	0.10	28	0.12	0.12
13	0.10	0.10	29	0.10	0.15
14	0.12	0.12	30	0.15	0.15
15	0.12	0.12	31	0.10	0.10
16	0.30	0.10	32	0.15	0.15

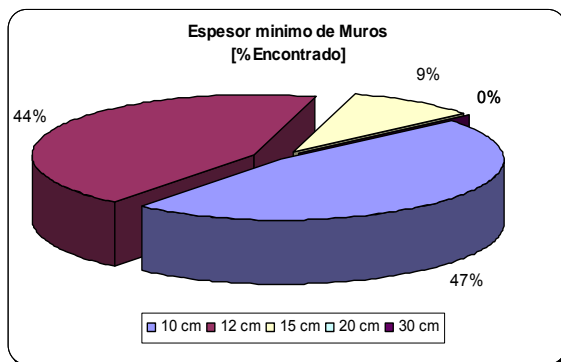
Agrupando los valores similares se encuentra de la encuesta se obtiene:

Figura 12. Cantidad encontrada de espesores de muro máximos y mínimos en las viviendas de la encuesta.

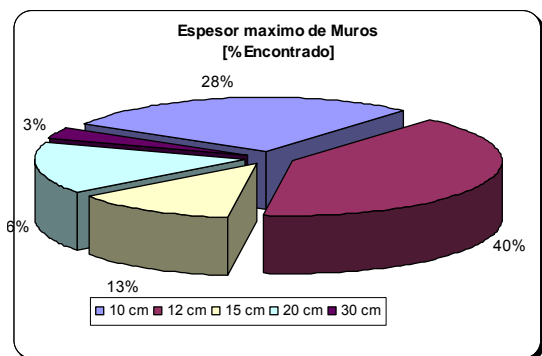


Para escoger el espesor de muro para hacer el modelo hacemos una comparación entre los espesores máximos y mínimos encontrados:

Figura 13. a) y b) Porcentajes de espesor de muro mínimos y máximos según encuesta.



a)



b)

Por lo tanto, se podría plantear un orden significativo que represente la utilización de los distintos espesores de muros en la región estudiada:

Tabla 2. Orden de uso de los espesores de muro.

Orden significativo de espesores	
1	0.12 m
2	0.10 m
3	0.15 m
4	0.20 m
5	0.30 m

Con estos resultados se puede concluir que el espesor de muro seleccionado debe ser 12 cm o 10 cm.

Para el modelo se va a utilizar un espesor de muro 10 cm; esto debido a que se observa que aunque tenga un porcentaje de utilización menor que el de 12 cm su utilización es aceptablemente similar pero con la desventaja de presentar una sección menor, la cual lo hace mas vulnerable.

Con este espesor de muro definido, se calcula el valor de f'_m y de E_m (esfuerzo a compresión y modulo de elasticidad de la mampostería respectivamente) con los cuales se definen las características de los materiales a ser utilizados en el modelo.

El valor de f'_m se calcula a partir de las características de los materiales según las recomendaciones del titulo D de la NSR-98.

Los valores de resistencia a compresión de las unidades de mampostería son tomados de ensayos a compresión realizados en el "Laboratorio de Hormigón Simple" de la "Universidad Industrial de Santander" realizados según la norma ICONTEC 4205.

Los resultados para el ladrillo H-10 son los siguientes:

Tabla 3. Resultados de ensayos a compresión en laboratorio para unidades de mampostería H-10.

Identificación	Área Total [cm ²]	Área útil [cm ²]	Carga [Kg]	Esfuerzo Sec. Total [Kg/cm ²]	Esf. Sección útil [Kg/cm ²]
H-10	300	300	26500	88.33	88.33
H-10	300	300	27300	91.00	91.00
H-10	300	300	28500	95.00	95.00
H-10	300	300	26000	86.67	86.67
H-10	300	300	27000	90.00	90.00

Para el cálculo del valor de la resistencia nominal a la compresión de la mampostería f'_m es tomado el valor promedio de los ensayos de las unidades de mampostería, el cual es 90.20 Kg/cm²; y es a partir de este valor de f'_m de donde se determina el modulo de elasticidad de la mampostería E_m .

➤ **Modulo de Elasticidad, E_m y Resistencia de la mampostería f'_m .**

Para mampostería en arcilla:

$$E_m = 500 * f'_m \leq 10\ 000 \text{ Mpa}$$

Valor de resistencia nominal a la compresión de la mampostería, f'_m , basado en la calidad de los materiales

$$f'_m = 0.75 * R_m$$

$$R_m = \left(\frac{2h}{75 + 3h} \right) * f'_{cu} + \left(\frac{50 * K_p}{75 + 3h} \right) f'_{cp} \leq 0.8 f'_{cu}$$

Siendo:

f'_m = resistencia nominal a la compresión de la mampostería, MPa.

f'_{cu} = resistencia especificada a la compresión de la unidad de mampostería medida sobre el área neta, MPa.

f'_{cp} = resistencia especificada a la compresión del mortero de pega, MPa.

K_p = factor de corrección por absorción de la unidad, adimensional.
= 0.8 para mampostería de arcilla o sílico calcáreas

h = altura de la unidad de mampostería en mm.

El valor de f'_{cu} fue tomado como el valor promedio de los resultados de ensayos de laboratorio sobre unidades de mampostería tipo H-10 mencionados anteriormente.

$$f'_{cu} = 90.2 \text{ Kg/cm}^2 = 9.02 \text{ MPa}$$

La norma presenta dos tipos de mortero que pueden ser preparados, Tipo S y Tipo M, los cuales presentan distintos valores de resistencia que afectan la capacidad de los muros de mampostería.

Sus valores de resistencia son:

$$\begin{array}{l} \textit{Tipo M} \\ f'_{cp} = 17.5 \text{ MPa} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \textit{Tipo S} \\ f'_{cp} = 12.5 \text{ MPa} \end{array}$$

Utilizando el mortero Tipo S debido a que su utilización es más crítica y la altura de las unidades de mampostería $h = 200 \text{ mm}$. y se realiza el cálculo de R_m :

$$R_m = \left(\frac{2 * 200}{75 + 3 * 200} \right) * 9.02 + \left(\frac{50 * 0.8}{75 + 3 * 200} \right) * 12.5$$

$$R_m = 6.09 \text{ MPa}$$

Se debe cumplir además que:

$$R_m \leq 0.8 * f'_{cu}$$

$$\text{Así:} \quad 0.8 * f'_{cu} = 0.8 * 9.02 = 7.22 \quad \text{OK}$$

Por lo tanto el valor de la resistencia de la mampostería f'_m y el modulo de Elasticidad, E_m , con el cual se van a realizar los modelos son:

$$\begin{array}{l} \underline{f'_m = 0.75 \times 6.09 = 4.57 \text{ MPa}} \\ \underline{E_m = 500 \times f'_m = 2\,283.75 \text{ MPa} = 22\,837.5 \text{ Kg/cm}^2} \\ \underline{\text{Masa por unidad de Volumen} = 1300 \text{ Kg/m}^3} \\ \underline{\text{Peso por unidad de Volumen} = 12700 \text{ Kg/m}^3} \end{array}$$

4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS PERFILES

Los perfiles utilizados en el modelo son perfiles de acero con modulo de elasticidad de 200 000 Mpa, esfuerzo de fluencia, $f_y = 250 \text{ MPa}$ y esfuerzo ultimo de $f_u = 400 \text{ MPa}$.

Para verificar el funcionamiento del sistema se utilizaron perfiles de varias características, como son Columnas Universales (UC) y perfiles del Instituto Americano de Construcción en Acero (AISC) del tipo W, WT, C, ángulos dobles y sencillos.

Según las recomendaciones de *Baledra et al (1986)*, altas relaciones de Modulo de sección – área a cortante para los perfiles metálicos utilizados en la rodilla sería beneficioso, debido a que esto favorece que el perfil llegue a su estado de plastificación debido a los esfuerzos cortantes. El tipo de perfiles que mejor se acomoda a esta características son los perfiles tipo I o W.

El tipo de perfil que se utilice, es tal vez el elemento que mayor efecto tenga sobre el muro para lograr una primera plastificación en la rodilla, esto además de ser un razonamiento lógico, se debe también principalmente a que las características de los otros elementos del sistema no son tan flexibles a ser modificados, debido a las limitaciones que existen de geometría, distribución y propiedades de los materiales utilizados.

Los siguientes son algunos de los perfiles utilizados en la rodilla y en la diagonal para verificar los diferentes comportamientos del sistema de arriostramiento:

- UC 152 x 152 x 23
- W 4 x 13
- WT4x14
- WT2x6.5
- C3x6
- 2L3x2x3/8LLBB (LLBB = Aleta Larga Espalda con Espada)
- L2-1/2x2-1/2x1/4
- L 2x2x1/8
- L1x1x1/8

5. VALORES LÍMITES

Como se mencionó anteriormente, la efectividad y la superioridad del sistema KBF radica en la posibilidad, no solo de brindar una mejoría en la capacidad resistir fuerzas laterales (principalmente sísmicas) sino en poder enfocar el posible daño que le suceda a la estructura ante la ocurrencia de un evento moderado o severo en un elemento “de sacrificio” que evite que los daños sean causados en el resto de elementos de la estructura y que una vez este sufra el daño pueda ser remplazado con facilidad por otro que continúe realizando el trabajo. El elemento que cumple con esta función en el sistema KBF es el elemento rodilla o **knee**.

Para poder garantizar que el primer elemento que va a alcanzar las deformaciones plásticas es el **knee**, es necesario verificar que en los otros elementos del sistema, las solicitaciones que puedan alcanzarse bajo la acción de un evento importante no lleguen a producir deformaciones plásticas o colapso, es decir, que estas solicitaciones o efectos se mantengan por debajo de los **valores límites** de cada elemento.

Las características del valor límite varían según cual sea considerado el efecto más crítico en cada elemento. Para la verificación de cual elemento es el que alcanzará la plastificación en primer lugar, se realiza una comparación de lo que aquí se ha llamado, *factor de carga*.

Este factor de carga se refiere la relación que hay entre el valor límite que produce la plastificación y la magnitud de la solicitación desarrollada bajo las cargas y consideraciones del modelo. Es decir, este valor me da la cantidad de veces que se debe aumentar las solicitaciones en el elemento (las cuales aumentan principalmente al aumentar las cargas laterales), para lograr que en este se alcance el comportamiento plástico.

El elemento que tenga la menor relación o el menor factor de carga será el elemento que desarrolle primero el comportamiento plástico. A continuación se realiza el cálculo de los valores límites para cada uno de los elementos que conforman el sistema:

5.1 ELEMENTOS DE CONCRETO (COLUMNAS Y VIGA)

Para realizar el cálculo de los valores límites para los elementos de concreto se hace hincapié en la teoría de Análisis Limite planteada en el libro de Nilson (1999).

La filosofía de diseño de esta teoría se basa en el conocimiento del comportamiento de la estructura en todo momento, hasta que se produzca el colapso. Este conocimiento incluye, la trayectoria de la línea de falla u orden de falla de los elementos, lo cual hace que cada vez que un elemento falle, o alcance su comportamiento plástico, su resistencia se disminuya sustancialmente y las cargas sean redistribuidas a los elementos que no han fallado.

El conocimiento de este comportamiento permite tener una aproximación más realista de la capacidad verdadera de la estructura para resistir las cargas, lo cual conduce a un aumento en la economía. Así, al conocer el comportamiento real de la estructura, se puede hacer que los valores de diseño sean modificados deliberadamente para poder inducir las plastificaciones o líneas de falla en elementos determinados y reducir en algunos casos, la congestión de acero que se presenta en las zonas de grandes momentos o cargas como en las uniones entre columnas y vigas.

La utilización de esta teoría para el diseño implica necesariamente un estudio mucho mas detallado del comportamiento de los elementos de concreto y así conocer el verdadero estado limite de los elementos.

Para los elementos de concreto del modelo analizado, se plantea como estado limite la *rotación o ángulo de giro* de las secciones.

5.1.1 Ángulo de giro elástico y plástico en la viga y columna.

A continuación se realiza el esquema de cálculo del ángulo de giro plástico, θ_p y el ángulo de giro elástico, θ_y que describen el comportamiento de los elementos de concreto:

El ángulo de giro elástico y plástico están definidos como la longitud de la articulación o rotula producida l_p por la curvatura o rotación unitaria Ψ_y e Ψ_p respectivamente.

$$\theta_y = \Psi_y * l_p \qquad \theta_p = \Psi_p * l_p$$

La rotación unitaria elástica está definida como:

$$\psi_y = \frac{\varepsilon_y}{d(1-k)}$$

En donde:

d = altura efectiva de la sección.

K = valor que establece la profundidad del eje neutro

$$k = \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} - \rho n \qquad n = \frac{E_s}{E_c}$$

n = la relación entre los módulos de elasticidad del acero y del concreto

$$= 29000/3600 = 8.056$$

ε_y = Deformación unitaria del acero cuando alcanza la fluencia.

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{60.000}{29'000.000} = 0.0021$$

La rotación unitaria plástica está definida como:

$$\psi_p = \psi_u - \psi_y \frac{M_n}{M_y}$$

En donde:

ψ_u = Curvatura ultima de la sección de concreto.

$$\psi_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{c}$$

c = distancia desde la cara a compresión hasta el eje neutro = $a / 0.85$.

$$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b}$$

ε_u = Capacidad de deformaciones últimas del concreto.

f'_c = esfuerzo resistente a compresión del concreto

b = ancho de la sección.

A_s = área de las barras de acero utilizadas

$$\varepsilon_{cu} = 0.003 + 0.002 * \frac{b}{z} + \left(\frac{\rho' * f_y}{14.5} \right)^2$$

z = distancia entre el punto de momento máximo del elemento y el punto de momento cero mas cercano.

f_y = esfuerzo de fluencia del acero

ρ'' = Relación entre el Volumen del estribo mas el Volumen del acero a compresión tributario al estribo y el Volumen de concreto aferente al estribo.

M_n = Momento nominal resistido por la sección de viga o columna

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

M_y = Momento que produce la fluencia en el elemento de concreto,

$$M_y = A_s f_y \left(d - \frac{kd}{3} \right)$$

Los ángulos de giro limite para las secciones de concreto podrían ser definidos según la sección y características de los elementos que se definió anteriormente para el muro, excepto el valor de z para el calculo de ϵ_u , ya que este valor debe ser encontrado para cada modelo según el resultado que se obtenga de los diagramas de momentos para la viga y la columna.

Para facilitar el cálculo se realizo la programación de una hoja de calculo que permita encontrar fácilmente los valores límites para los elementos de concreto, viga y columna por separado, debido a que cada uno tiene valores de z diferentes.

El valor de z encontrado para las dos columnas es ligeramente diferente debido a el punto de aplicaron de la carga y a la posición de la rodilla, por lo tanto se toma el valor de z mas pequeño encontrado entre las columnas, el cual representa el valor mas crítico.

Se debe tener especial atención a la toma de este parámetro en cada modelo realizado, debido a que se observa que los valores limites encontrados para los elementos de concreto son bastante sensibles a la magnitud de este valor.

El cálculo numérico se presenta a continuación en los esquemas de las tablas de la hoja de cálculo programada. Los valores que aparecen en rojo son los valores que deben ingresarse para realizar el cálculo.

Características de la sección:

Tabla 4. Ingreso de los datos de la sección en la hoja de calculo programada.

Sección		
b	10	cm
h	20	cm
d	17	cm
f'c	210	Kg/cm ²

Características del Refuerzo:

Tabla 5. Ingreso de los datos de del refuerzo de la sección en la hoja de calculo programada.

Refuerzo		
f _y	60	Ksi
f _y	4200	Kg/cm ²
<i>Longitudinal</i>		
Descripción:	4 barras # 4	
A _{st} =	2,53	cm ²
A _{sc} =	2,53	cm ²
ρ =	0,0149	
<i>Transversal</i>		
Descripción:	1#2 cerrado	
A _{sv} =	0,32	cm ²
Separación, S =	10	cm
Longitud estribo =	36	cm

Deformación unitaria del concreto, ϵ_{cu}

Tabla 6. Deformación máxima en el concreto ϵ_{cu} , ingreso del valor z.

Deformación máxima del concreto, ϵ_{cu}	
$\epsilon_{cu} = 0.003 + 0.002 * \frac{b}{z} + \left(\frac{\rho'' * f_y}{14.5} \right)^2$	
Distancia del punto de máx. momento al punto de momento cero mas cercano, z	
z =	146 cm.
$\rho'' = \frac{Vol \text{ ..estribo} + Vol \text{ .acero}_{compresion}}{Vol \text{ .concreto}_{tributario \text{ estribo}}}$	
$\rho'' =$	0,0184
$\epsilon_{cu} =$	0,00891

Calculo de M_y

Tabla 7. Momento elástico de las sección de concreto, M_y

Momento elástico, M_y	
$M_y = A_s f_y \left(d - \frac{kd}{3} \right)$	
$k = \sqrt{(\rho n)^2 + 2\rho n} - \rho n \quad n = \frac{E_s}{E_c}$	
n =	8,056
k =	0,384
$M_y =$	157713,19 Kg - cm

Momento nominal, M_n

Tabla 8. Momento elástico de las sección de concreto, M_n

Momento nominal, M_n	
$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$	
$a = \frac{A_s * f_y}{0.85 * f'_c * b}$	
a =	5,96 cm
$M_n =$	149178,09 Kg-cm

Curvaturas o rotaciones unitarias, Ψ

Tabla 9. Cálculo de curvaturas elásticas Ψ_y y plásticas, Ψ_p

Curvaturas o giros unitarios, Ψ	
Curvatura ultima, Ψ_u	$\Psi_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{c}$
$\Psi_u =$	0,001271
Curvatura elástica, Ψ_y	$\Psi_y = \frac{\varepsilon_y}{d(1-k)}$ $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{60.000}{29000000} = 0.0021$
$\varepsilon_y =$	0,0021
$\Psi_y =$	0,000198
Curvatura Plástica, Ψ_p	$\Psi_p = \Psi_u - \Psi_y \frac{M_n}{M_y}$
$\Psi_p =$	0,001084

Cálculo de las rotaciones límites, θ

Tabla 10. Calculo de las rotaciones límites para la viga del modelo con perfiles L2x2x1/8 en el KBF.

Rotación límite plástica θ_p y elástica θ_y		
Longitud de la articulación, l_p	$l_p = 0.5d + 0.05z$	
$l_p =$	15,8	cm.
Rotación Elástica θ_y :	$\theta_y = \Psi_y * l_p$	
$\theta_y =$	0,00312	0
Rotación plástica θ_p :	$\theta_p = \Psi_p * l_p$	
$\theta_p =$	0,01713	0

Los datos registrados en las tablas anteriores son los valores encontrados para la viga del modelo seleccionado con perfiles L2x2x1/8 en el sistema de arriostamiento.

Este análisis se lleva a cabo idénticamente para las columnas pero ingresando los datos directamente de estas en la hoja de calculo programada para las columnas.

A continuación se muestra la tabla final del cálculo de las columnas que muestra las rotaciones límites encontradas en el mismo modelo:

Tabla 11. Calculo de las rotaciones límites para las columnas del modelo con perfiles L2x2x1/8 en el KBF.

Rotación límite plástica θ_p y elástica θ_e		
Longitud de la articulación, l_p $l_p = 0.5d + 0.05z$		
$l_p =$	10,6	cm.
Rotación Elástica θ_y : $\theta_y = \psi_y * l_p$		
$\theta_y =$	0,00210	°
Rotación plástica θ_p : $\theta_p = \psi_p * l_p$		
$\theta_p =$	0,01200	°

5.2 MAMPOSTERÍA

La verificación de los elementos de la mampostería se realiza calculando los valores de fuerzas límites permitidos para el sistema de mampostería confinada según el capítulo D.5 y D.10 de la NSR98.

Para realizar el cálculo de los valores límites, y debido a que los valores van a variar según sean las características de cada uno de los modelos analizados, nuevamente se programó una hoja de cálculo para realizar las modificaciones fácilmente.

Igualmente que en los valores límites para los elementos de concreto primero se mostrará el procedimiento de cálculo para hallar estos valores y finalmente se incluirán las tablas de cálculo programadas. El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Inicialmente se realiza calculo de las verificaciones generales dadas según el capítulo D.5.5. luego se realiza el cálculo de la fuerza a compresión resistente del muro según D.10.7.4.

Una vez encontrado este valor se calcula la fuerza cortante resistida por el muro, el cual será el valor que se va a comparar con los valores encontrados en los modelos.

5.2.1 Carga axial a compresión.

Según D.10.7.4 el muro debe verificarse globalmente para las cargas axiales a compresión de acuerdo con lo indicado en D.5.5

$$P_o = 0.85 f'_m (A_e - A_{st}) + A_{st} f_y \leq f'_m A_e$$

En donde:

P_o = Máxima resistencia axial teórica.

f'_m = Resistencia a compresión de la mampostería.

A_e = Área efectiva de la sección de mampostería en mm²

A_{st} = área de acero longitudinal de las columnas de confinamiento.

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

Luego se realiza el cálculo de la resistencia nominal a la compresión sin aporte de los elementos de confinamiento según D,10,7,4

$$P_{nd} = 0.8(0.85 f'_m A_{md}) R_e$$

En donde:

f'_m = Resistencia a compresión de la mampostería.

A_{md} = Área de la sección de mampostería.

R_e = Reducción de la resistencia axial por carga axial.

$$R_e = 1 - \left[\frac{h'}{40t} \right]^3$$

h' = Altura efectiva del elemento para los efectos de pandeo, mm.

t = espesor efectivo de la sección para evaluar los efectos de pandeo, mm.

Este valor de P_n se compara con la fuerza a compresión encontrada en la mampostería del modelo para $\phi = 0.7$:

$$P_u \leq \phi P_n$$

5.2.2 Fuerza cortante resistida.

Luego se realiza el cálculo de la fuerza cortante resistida por la mampostería según D10.7.7

$$V_n = \left(\frac{1}{12} \sqrt{f'_m} + \frac{P_u}{3A_e} \right) A_{mv} \leq \frac{1}{16} \sqrt{f'_m} A_{mv}$$

En donde:

A_{mv} = Área efectiva para determinar esfuerzos cortantes, mm².

P_u = Carga axial a compresión encontrada en el muro.

Este valor de P_u es el valor de la fuerza a compresión encontrada en el modelo, el cual debe ser modificado en cada uno de los modelos según se encuentre el valor de compresión en la mampostería.

Características del modelo

Tabla 12. Ingreso de las características de la mampostería del modelo.

Características del modelo		
Ae =	310000	mm ²
As =	506,71	mm ²
fy =	420	MPa
f'm =	4,57	MPa
Lw =	3000	mm

Verificación del muro

Tabla 13. Verificación global del muro según D.5.5.

Verificación global del muro (D.5.5)		
$P_o = 0.85 f'_m (A_e - A_{st}) + A_{st} f_y \leq f'_m A_e$		
Po =	1415043,84	KN
$f'_m A_e$	= 1416700 KN	
$P_o \leq f'_m A_e$	Verificación: OK	

Fuerza resistente a compresión axial de la mampostería

Tabla 14. Calculo de la resistencia a compresión según D.10.7.4

Resistencia a compresión sin aporte de los elementos de confinamiento (D,10,7,4)		
$P_{nd} = 0.8(0.85 f'_m A_{md}) R_e$		
Amd =	300000	mm ²
$R_e = 1 - \left[\frac{h'}{40t} \right]^3$		
h' =	2500	mm
t =	100	mm
Re =	0,756	
Pnd =	704672,58	KN
$P_u \leq \phi P_n$		
Φ =	0,7	
Pu ≤	493270,80	KN

Fuerza cortante resistente de la mampostería

Tabla 15. Calculo de la resistencia a compresión de la mampostería según D.10.7.4

Fuerza cortante que resiste el muro (D.10.7.7)		
$V_n = \left(\frac{1}{12} \sqrt{f'_m} + \frac{P_u}{3A_e} \right) A_{mv} \leq \frac{1}{16} \sqrt{f'_m} A_{mv}$		
Pu =	12,86	KN
A_{mv} =	300000	mm ²
V_n =	53448,04	KN
$\frac{1}{16} \sqrt{f'_m} A_{mv} = 106887,79 \text{ KN}$		
$V_n \leq \frac{1}{16} \sqrt{f'_m} A_{mv}$	Verificación: OK	
Φ =	0,6	
$V_u \leq \phi V_n$		
Vu ≤	32068,83	KN

En la tabla anterior el valor de P_u no debe ser ingresado debido a que este se toma de los valores encontrados en el modelo que se colocan en la hoja de verificación.

5.3 ELEMENTOS METÁLICOS (RODILLA Y DIAGONAL)

Las características del valor límite de los elementos metálicos se basan principalmente en la verificación de la falla por flexión y por cortante para la rodilla, y de fuerza axial para la diagonal.

Como se menciona anteriormente la falla por cortante sería la condición preferible para la rodilla, y su desarrollo depende principalmente de las características de la sección escogida y el tipo de apoyo de los elementos.

Para calcular el valor límite a tracción de la diagonal se calcula simplemente la fuerza axial admisible, f_y , en el perfil:

$$F_y = 0.6 \cdot A_s \cdot f_y$$

A_s = área total de la sección del perfil de la diagonal.

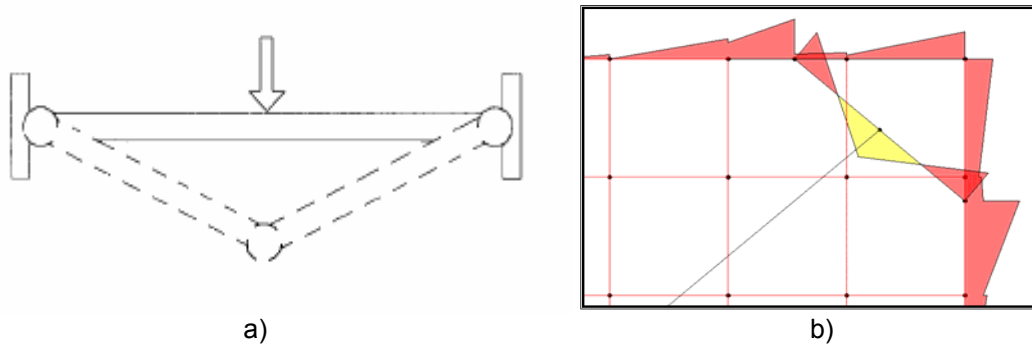
F_y = esfuerzo de fluencia del acero del perfil.

Para los dos tipos de falla en la rodilla (flexión y cortante), la verificación con los resultados en el modelo se realiza haciendo la comparación en los momentos encontrados en los elementos.

El estudio de investigación realizado por Dennis E. Clement en el año 2002 muestra en sus modelos un beneficioso comportamiento de los elementos de la diagonal y de la rodilla cuando se utilizan apoyos rígidos (empotrados).

Esta consideración puede verificarse al observar el diagrama de momentos encontrado en la rodilla al realizar los modelos, la cual tiene una forma similar al diagrama de una viga empotrada con una carga puntual en la mitad.

Figura 14. a) Idealización del comportamiento de la rodilla, b) diagrama de momentos de la rodilla, encontrado en los modelos.



5.3.1 Momentos límites en la rodilla.

Para la falla por cortante, el valor límite se calcula como el momento (M_{su}) producido por la carga (P_{su}) que hace que el elemento falle por cortante (Clément D. E., 2002).

Según las condiciones de borde escogidas, el momento producido en el elemento por la carga P_{su} está definido por:

$$M_{su} = \frac{P_{su} * L}{8}$$

Donde L corresponde a la longitud de la viga.

La carga P_{su} se obtiene haciendo la siguiente suposición:

$$\frac{P_{su}}{P_{sy}} \approx \frac{f_u}{f_y} = c_f \Rightarrow P_{su} \approx c_f \cdot P_{sy}$$

Según lo definido en las características de los materiales seleccionados el valor de c_f será entonces:

$$c_f = \frac{f_u}{f_y} = \frac{400MPa}{250MPa} = 1.6$$

Así, para calcular el valor de P_{SY} tenemos entonces:

$$P_{SY} = 2 \cdot S_Y = 2 \cdot A_S \cdot \tau_Y = 2 \cdot A_S \cdot \frac{f_Y}{\sqrt{3}}$$

En donde A_S corresponde al área perfil de acero, sometida a esfuerzos cortantes; y el valor de f_Y corresponde a la resistencia a tensión del acero.

Para perfiles, tipo UC o W, según la tabla 5.16 del Eurocódigo-3 (1993), el área sometida a esfuerzos cortantes puede ser calculada por medio de la siguiente ecuación:

$$A_S = c_A \cdot A_W$$

En donde A_W corresponde al área del alma de los perfiles y c_A al porcentaje de contribución de las aletas al trabajo de la sección.

Para perfiles laminados en caliente el valor de c_A es de 1.04, así el área para perfiles tipo UC y W sería:

$$A_S = 1.04 \cdot D \cdot t$$

En donde D corresponde a la altura y t al ancho del alma del perfil.

De forma general entonces, y reemplazando los valores encontrados anteriormente, el momento límite producido por la carga que produce la falla en el perfil está definido como:

$$M_{SU} = \frac{c_f \cdot L \cdot A_S \cdot f_Y}{4\sqrt{3}}$$

El momento que produce la fluencia en el perfil M_{MY} , y el momento último soportado por la sección M_{MU} , pueden ser descritos como:

$$M_{MY} = S_y \cdot f_y \quad \text{y} \quad M_{MU} = Z_y \cdot f_y$$

Si se desea que los efectos límites en la sección de la rodilla sean debido a esfuerzos cortantes, la siguiente ecuación debe ser satisfecha:

$$M_{SU} < M_{MY}$$

Remplazando en la anterior desigualdad:

$$M_{SU} = \frac{c_f * L * A_s * f_y}{4\sqrt{3}} < S_Y \cdot f_Y = M_{MY}$$

Así, despejando el valor de la longitud de la rodilla se puede obtener la longitud máxima que puede tener la rodilla para que la falla se desarrolle, y por lo tanto la disipación de la energía sea debido a los esfuerzos cortantes:

$$L_{\max} = \frac{4\sqrt{3}}{c_f} \cdot \frac{S_Y}{A_s}$$

5.3.2 Fuerza axial admisible para la diagonal.

Para la diagonal se consideró que la fuerza axial limite sería calculada según la teoría de esfuerzos admisibles para elementos metálicos, en la cual la fuerza admisible F_y es calculada así:

$$F_y = 0.6 \cdot A_s \cdot f_y$$

En donde:

F_y = fuerza axial admisible para la rodilla

A_s = Área del perfil de acero sometida a tensión.

f_y = esfuerzo de fluencia del acero.

Nuevamente, igual que en el cálculo de los valores límites de los elementos anteriores, se ha desarrollado una hoja de cálculo para facilitar su análisis y comparación con los valores encontrados en el modelo.

Las siguientes son las tablas de cálculo programadas para los elementos metálicos:

Calculo de los valores Límites para la Rodilla.

Descripción del perfil utilizado:

Tabla 16. Características físicas y geométricas del perfil utilizado para la rodilla.

Características del elemento seleccionado		
Descripción:	L2*2*1/8	
fy =	250	MPa
fu =	400	MPa
Sy =	2.146,71	mm ³
Zy =	3.850,96	mm ³
cf =	1,6	
CA =	1,04	
Lrodilla =	468,61	mm
A's =	312,26	mm ²
As =	312,26	mm ²
D =	100	mm
t =	10	mm

Calculo de los valores Límites:

Tabla 17. Calculo de los valores Límites de la rodilla.

Valores Límites		
<i>Longitud máxima para que falle por cortante</i>		
Lmax =	29,77	mm
<i>Momento de fluencia por flexión</i>		
$M_{MY} = S_y \cdot f_y$		
Mmy =	536676,346	N-mm
Mmy =	536,68	N-m
<i>Momento ultimo por flexión</i>		
$M_{MU} = Z_y \cdot f_y$		
Mmu =	962740,01	N-mm
Mmu =	962,74	N-m
<i>Momento de fluencia por cortante</i>		
$M_{SU} = \frac{c_f * L * A_s * f_y}{4\sqrt{3}}$		
Msu =	8448260,18	N-mm
Msu =	8448,26	N-m

Calculo de los valores Límites para la Diagonal

Descripción del perfil utilizado:

Tabla 18. Características físicas y geométricas del perfil utilizado para la diagonal.

Características del elemento seleccionado		
Descripción:	L1X1X1/8	
$f_y =$	250	MPa
$A_s =$	312,26	mm ²

Calculo de los valores Límites:

Tabla 19. Calculo de los valores Límites de la diagonal.

Fuerza Axial Límite		
$F_y = 0.6 \cdot A_s \cdot f_y$		
F_y	46839	N
F_y	46,84	KN

6. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis del sistema KBF se realiza en un modelo bidimensional en el plano del muro. Este se llevó a cabo en el programa SAP 2000 ® Non linear, versión 8.3.3 desarrollado por Computers and Structures, Inc.

Las características de los materiales ingresadas para el modelo son las que se han definido anteriormente para las características de los materiales.

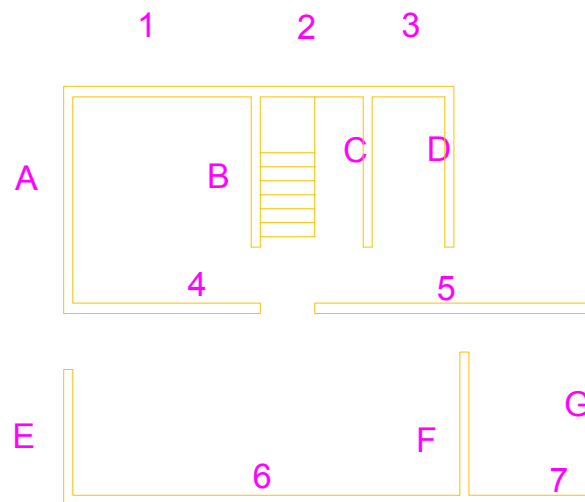
Los elementos que conforman el confinamiento (la viga y las columnas), y los que conforman el sistema de arriostramiento (diagonal y rodilla), son modelados como elementos **Frame** en el software.

La mampostería es modelada como un elemento tipo **Membrane** con divisiones cada 0.25 m en ambas direcciones para obtener con mayor detalle los resultados locales de los efectos en el muro.

Las cargas verticales sometidas sobre el muro se obtuvieron de la investigación realizada por *Alfonso E. y Percovich C., (2006)* en el análisis que hacen para la casa de dos pisos, del cual se tomo el valor de cargas verticales para el muro G ubicado en el primer piso de la vivienda.

La carga vertical sometida al modelo es una carga de 1940.25 KN distribuidos sobre la longitud del muro en la parte superior.

Figura 15. Planta del primer piso de una vivienda estudiada en la investigación realizada por *Alfonso E. y Percovich C.*, (2006).



Fuente. *Alfonso E. y Percovich C.*, (2006).

Las cargas sobre el muro fueron calculadas por *Alfonso E. y Percovich C.* según el procedimiento que se encuentra en el libro “Análisis Sísmico de Edificaciones” de los Ingenieros Esperanza Maldonado R. y Gustavo Chio Cho.

Debido a que las cargas aplicadas sobre el modelo son cargas de servicio los casos de análisis en el programa se simplifican y solo se incluye un caso de análisis del muro que incluye, sin ninguna mayoración adicional, la carga horizontal y vertical.

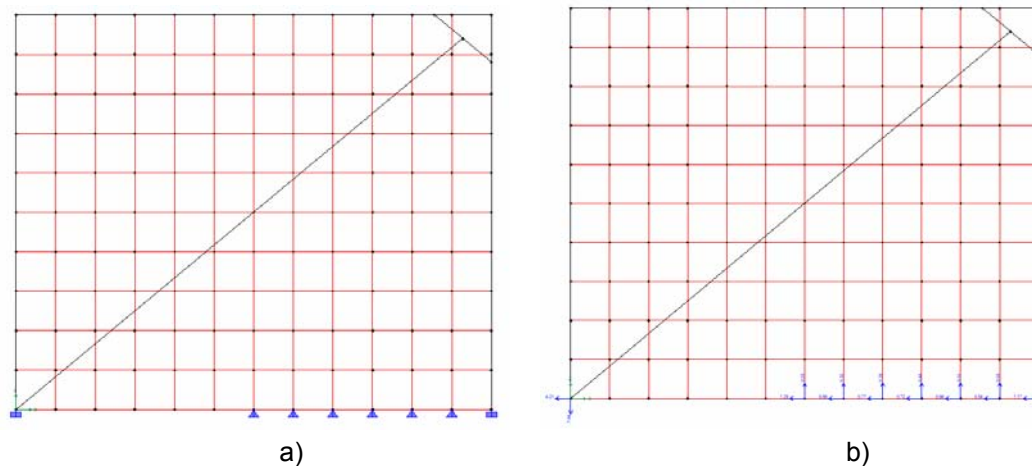
Los apoyos del muro se idealizaron de la siguiente manera: Los apoyos de los elementos de confinamiento como empotrados y los apoyos de la mampostería entre las dos columnas se tomaron como apoyos articulados.

Buscando que las características del modelo sean lo mas parecido a las condiciones reales del muro, al analizar los modelos fue necesario retirar los apoyos articulados que mostraran fuerzas de tracción sobre la mampostería, esto debido a que la mampostería no posee acero de refuerzo dentro de las unidades, y su resistencia a la tracción es muy baja, lo cual ante la aparición de esfuerzos de tracción se produce un agrietamiento en el apoyo y dejan de trabajar.

Además, en las zonas en donde se encuentran valores de esfuerzos a tracción en la mampostería en la unión con los elementos de confinamiento, la idealización de estos elementos se modificó, pasando de ser elementos unidos en cada una de las divisiones de la mampostería a idealizarse como unidos entre los puntos que permanezcan con esfuerzos a compresión.

Esta corrección puede verse en el siguiente gráfico en donde los apoyos y las uniones con los elementos de confinamiento sometidas a tracción han sido eliminadas.

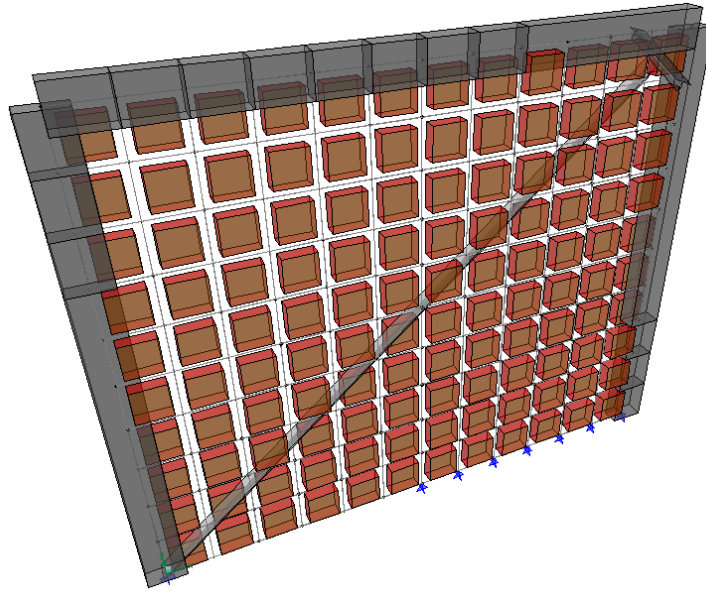
Figura 16. a) Modelo del muro sin los apoyos sometidos a tracción en la mampostería, b) Dirección de las reacciones en los apoyos en el muro con el sistema KBF.



Como carga horizontal para el análisis del modelo se tomó el valor de 100 KN. Este valor se encuentra muy cerca del valor de fuerza horizontal encontrada en el muro seleccionado para el análisis (113.6 KN), el cual es uno de los valores más altos encontrados en la vivienda.

Este valor de 100KN simplifica el análisis del muro, debido a que es mucho más fácil encontrar la carga aproximada que produce la plastificación en el primer elemento del sistema al multiplicarlo por el factor de carga del elemento.

Figura 17. Modelo del muro en mampostería con el sistema KBF.



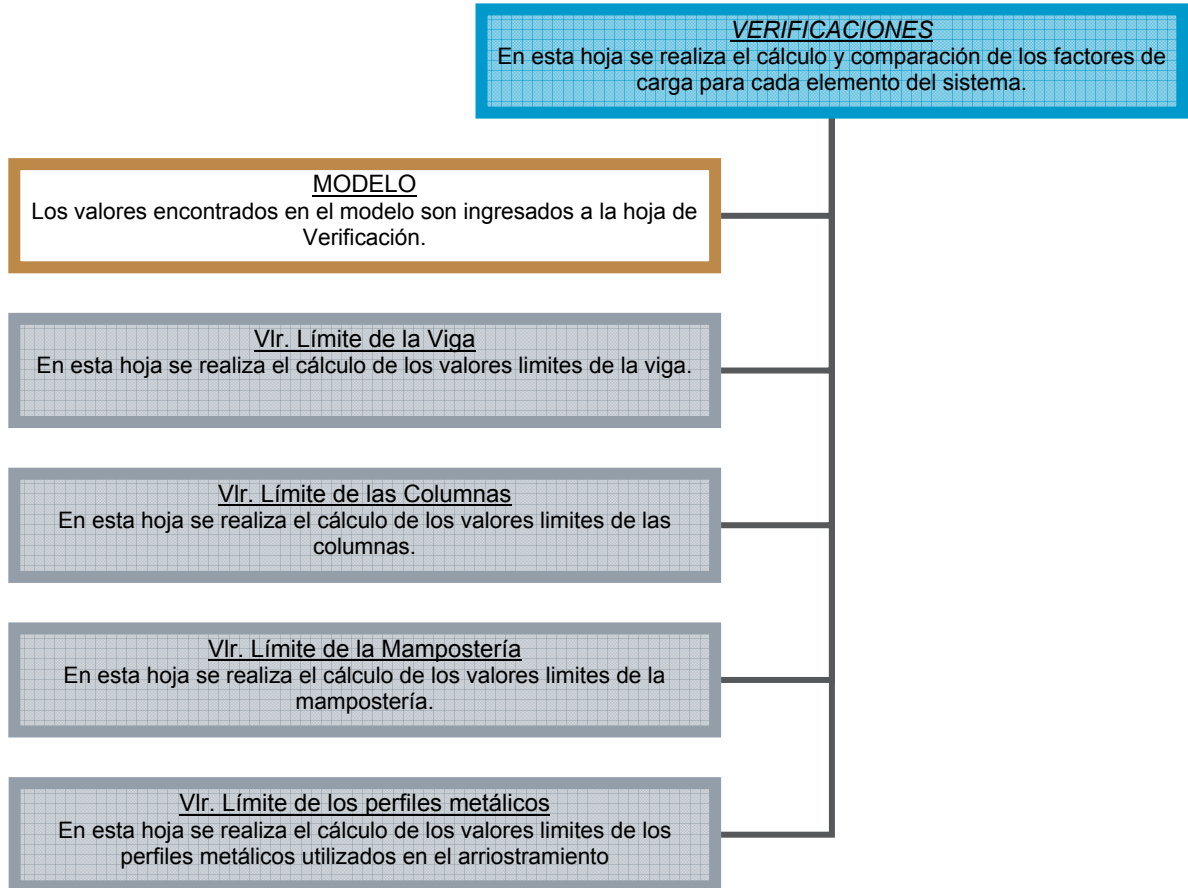
6.1 ANÁLISIS PARAMÉTRICO

Un largo proceso de prueba y error modificando las características de los modelos para buscar que el primer elemento en fallar sea la rodilla es llevado a cabo.

El cálculo del factor de carga para cada elemento fue programado en una hoja de calculo, la cual se encuentra vinculada con las hojas donde se encuentra el calculo de los valores limites de los elementos. Aquí se ingresan la magnitud de las solicitaciones encontradas en los elementos, se realiza la comparación y se encuentra el factor de carga de cada elemento.

El esquema de funcionamiento de la hoja de cálculo es el siguiente:

Figura 18. Esquema de funcionamiento de la hoja de verificación de los modelos



A continuación se muestra la tabla de cálculo y comparación de los factores de carga de los elementos. Nuevamente los valores que se encuentran en rojo son los que deben ser llenados por el usuario con los valores que se encuentren en el modelo realizado.

6.1.1 Variación del tipo de perfil utilizado.

Para realizar un estudio más amplio del sistema de arriostamiento KBF se realizaron modelos en los cuales se utilizaron varios tipos de perfiles conocidos buscando la sección que mejor desempeño tenga en la utilización del arriostamiento.

Tabla 20. Tabla de cálculo y comparación de los factores de carga para cada elemento del sistema KBF.

ELEMENTOS DE CONCRETO						
Criterio	Nomenclatura	Valor Limite	Valor Encontrado	Unidades	Elemento Critico	Factor de Carga
<i>Columna</i>						
Angulo de giro Plastico	θ_p	0,01200	5,25E-04	°		22,9
Angulo de giro Elastico	θ_y	0,00210	0,000525	°		4,0
<i>Viga</i>						
Angulo de giro Plastico	θ_p	0,01713	5,25E-04	°		32,6
Angulo de giro Elastico	θ_y	0,00312	0,000525	°		6,0
MURO EN MAMPOSTERIA						
Fuerza cortante	V_u	37,27	42,31	KN	1ª FALLA	0,9
Fuarza de compresión	P_u	493,27	26,87	KN		18,4
ELEMENTOS METALICOS						
<i>Rodilla</i>						
Momento de Fluencia por flexion	M_{my}	22368,34	2416,61	N-m		9,3
Momento ultimo por cortante	M_{su}	21144,77	2416,61	N-m		8,7
Momento ultimo por fexion.	M_{mu}	25727,69	2416,61	N-m		10,6
<i>Diagonal</i>						
Fuerza Axial	F_y	46,84	11,81	KN		4,0

Este desempeño fue medido en función del factor de carga para el modelo de muro de longitud 3.0 m y altura de 2.5 m, fuerza horizontal de 100 KN, y carga vertical de 6.47 KN/m.

Los perfiles utilizados en los modelos son los siguientes:

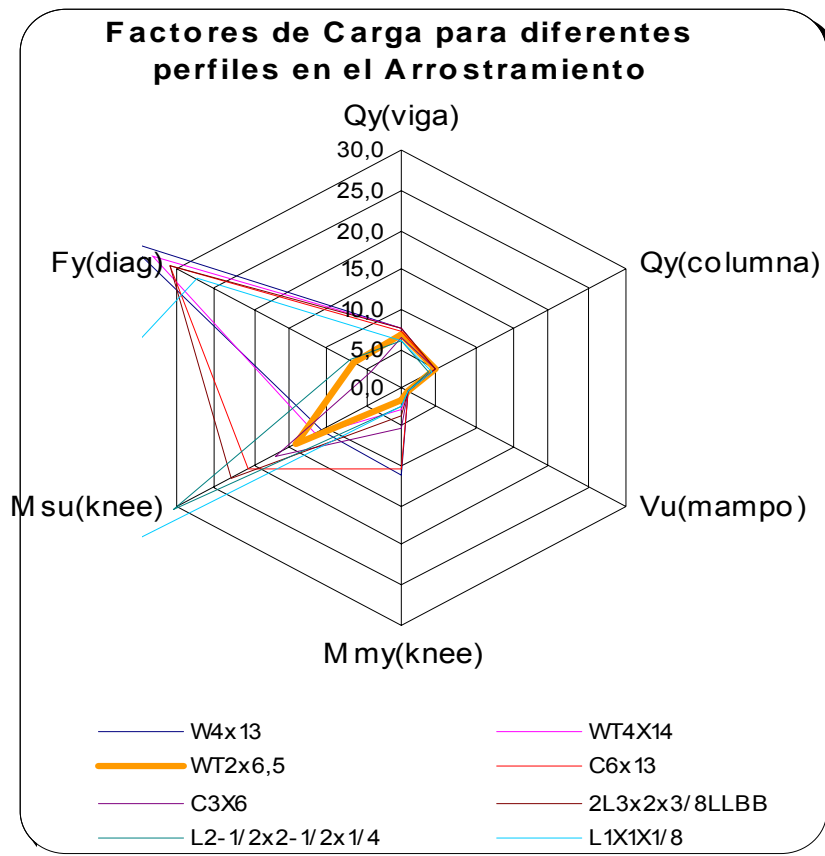
Tabla 21. Perfiles utilizados en los modelos en busca del tipo de perfil con mejor desempeño.

Perfiles utilizados	
1	W4x13
2	WT4x14
3	WT2x6,5
4	C6x13
5	C3x6
6	2L3x2x3/8LLBB
7	L2-1/2x2-1/2x1/4
8	L1x1x1/8

Se tomaron los factores de carga encontrados para cada modelo y se realizó una grafica tomando los estados límites más importantes significativos de cada elemento. La siguiente figura muestra los factores de carga con los diferentes perfiles en el arriostramiento para los estados límites de:

- Rotación Elástica de la viga, Q_y
- Rotación Elástica de la columna, Q_y
- Fuerza cortante en la mampostería, V_u
- Momento de fluencia por flexión en la rodilla, M_{my}
- Momento de fluencia por cortante en la rodilla, M_{su}
- Fuerza de fluencia en la diagonal, F_y

Figura 19. Factores de Carga en los elementos para diferentes perfiles en el arriostramiento.

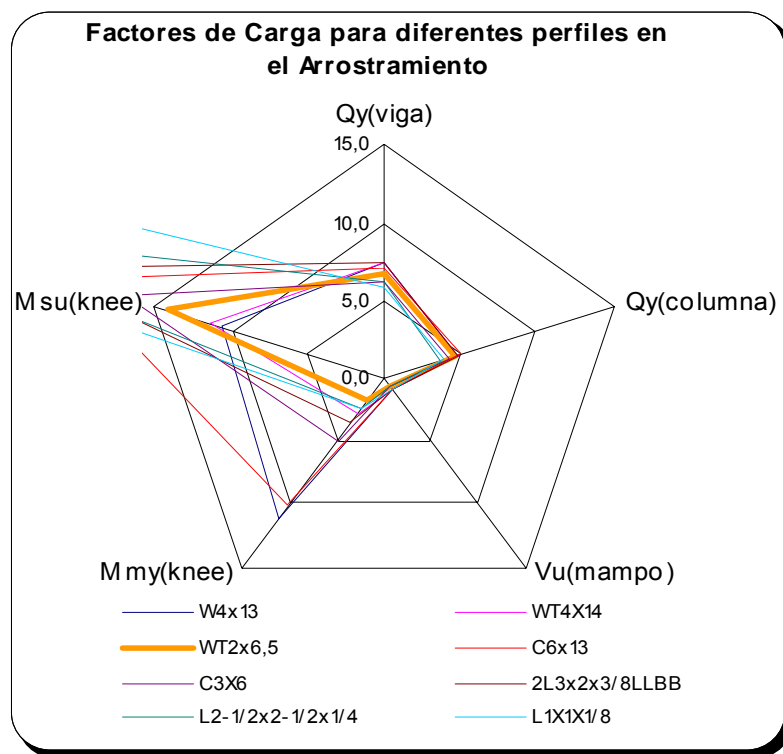


Se puede observar en la anterior grafica que en promedio entre los diferentes factores limites evaluados, el que produce el mayor factor de carga es el de fluencia de la diagonal.

Además se puede observar que existe una clara tendencia en los perfiles seleccionados que el estado limite con menor factor de carga es el de fuerza cortante en la mampostería.

Para observar mejor este hecho, se ha eliminado de la anterior grafica el estado de fluencia de la diagonal y se ha hecho un acercamiento a la zona central de la grafica.

Figura 20. Detalle de los factores de carga para los diferentes perfiles en el arriostramiento.



Aquí se puede observar claramente la tendencia de todos los modelos de encontrar un valor mucho mas bajo en el factor de carga para la fuerza cortante del muro en mampostería que los demás estados límites analizados.

Además, se puede observar que en el caso en que la rodilla llegará a fallar primero, lo cual ocurriría si tuviera un factor de carga menor que la mampostería (que no esta ocurriendo), esta fallaría por flexión y no por cortante, lo cual *no* es el estado de falla que, como se explicó anteriormente, produce la mayor disipación de energía.

A partir de la comparación anterior se seleccionó el perfil WT2x6.5, el cual, presenta un buen comportamiento en todos los factores de carga analizados.

Además teniendo en cuenta que de ocurrir una falla en la rodilla esta ocurriría debido a la flexión, se realiza una comparación con el único factor de carga (FC) que está dando menor que el de la rodilla, el de cortante de la mampostería.

Tabla 22. Relación entre los factores de carga del cortante en la mampostería y el de Momento por flexión en la rodilla.

$FC_{M_{my}} / FC_{V_u}$	
W4x13	12,47
WT4X14	3,15
WT2x6,5	2,27
C6x13	11,10
C3X6	6,35
2L3x2x3/8LLBB	4,13
L2-1/2x2-1/2x1/4	3,02
L1X1X1/8	2,71

Como se puede observar es con el perfil WT2x6.5 que se logra alcanzar, de los perfiles ensayados, la condición mas cercana a una falla de la rodilla primero que el de la mampostería.

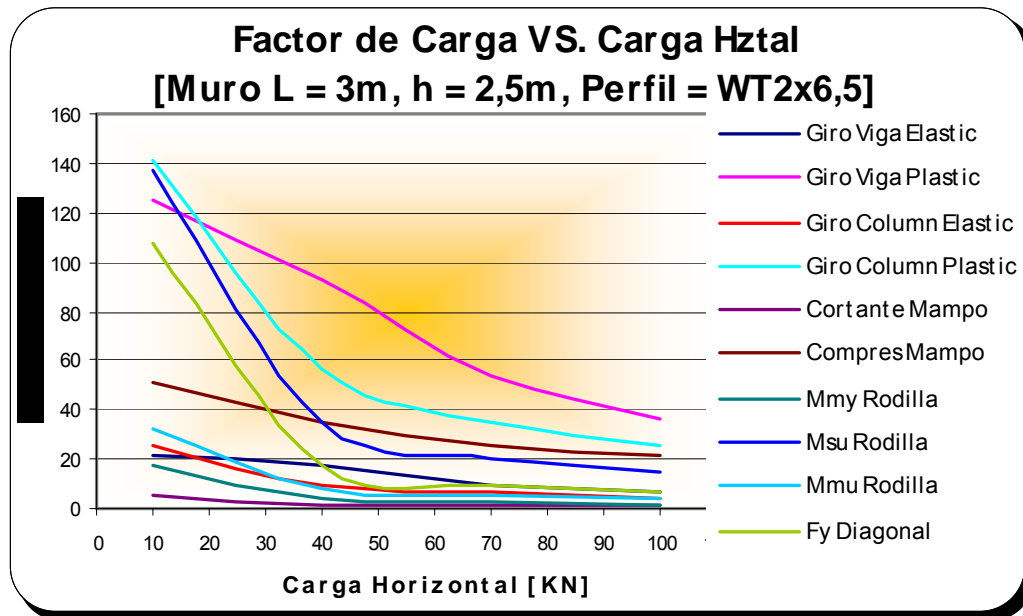
6.1.2 Variación de la fuerza horizontal.

Ya definido el perfil con que se esperan las mejores condiciones para la falla de la rodilla se utiliza este para conocer mejor el comportamiento del muro con la aplicación del sistema KBF variando la carga lateral aplicada al modelo. Nuevamente aquí el criterio de comparación será el factor de carga de los elementos.

Se utilizaron distintas magnitudes de la fuerza horizontal aplicada al modelo, las cuales fueron: 10, 40, 70, y 100 KN, aplicadas en el extremo superior izquierdo del modelo en el plano del muro.

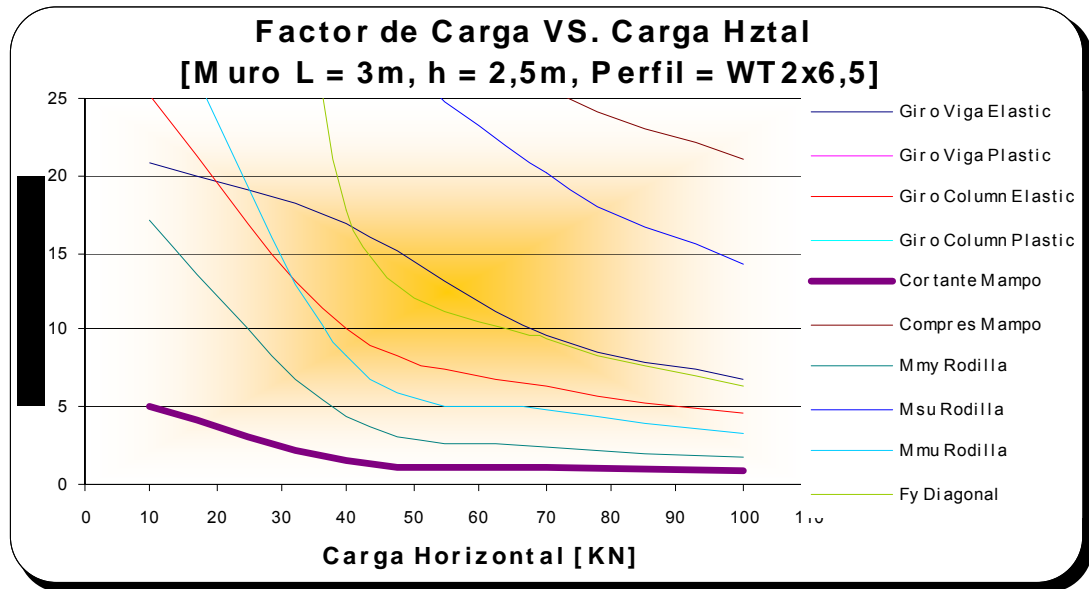
Cada uno de los modelos realizados se corrigió de igual manera que los modelos anteriores para simular las condiciones más reales del muro. A partir del análisis de estos modelos se obtuvo la siguiente información:

Figura 21. Variación del factor de carga con la carga lateral aplicada sobre el muro.



Un detalle de los factores de carga más relávenles para los modelos en los que se ha variado la carga lateral o fuerza horizontal aplicada se muestra a continuación, aquí se puede observar claramente el predominio del factor de carga del cortante en la mampostería con respecto a los factores de carga de los otros elementos.

Figura 22. Detalle de la variación del factor de carga con la carga lateral aplicada sobre el muro.



6.1.3 Variación de la relación L/H.

Para conocer más ampliamente el comportamiento del KBF se realizaron modelos variando las dimensiones del muro para distintas relaciones de longitud - altura.

A los modelos se les aplicó una carga horizontal en el plano del muro de 100 kN en la parte superior izquierda. En estos modelos se utilizó nuevamente el perfil que de los perfiles analizados demostró ser el que mejor comportamiento tiene en los muros de mampostería para producir la falla en la rodilla, el perfil WT2x6.5.

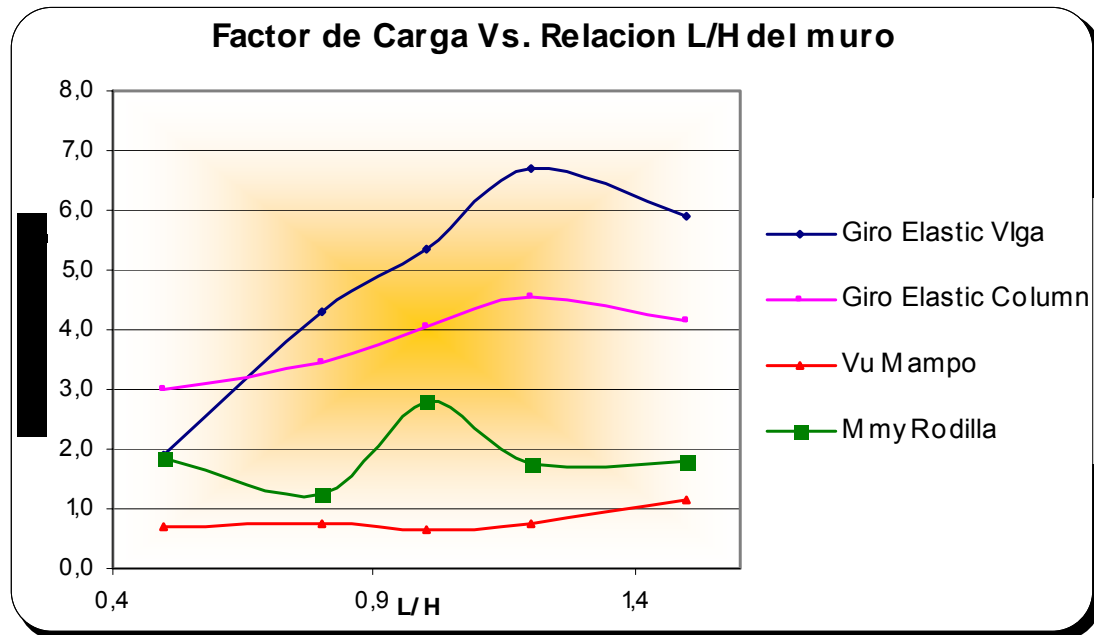
Se utilizaron las siguientes dimensiones en los muros:

Tabla 23. Dimensiones y relaciones L/H del muro utilizadas en los modelos.

L [m]	H [m]	L/H
3	2	1,5
3	2,5	1,2
2	2	1
2	2,5	0,8
1,25	2,5	0,5

Los resultados de este estudio se consignaron en la siguiente gráfica que muestra nuevamente la tendencia del comportamiento que se observó en los estudios anteriores de este libro:

Figura 23. Variación de los factores de carga al variar la relación L/H del muro.



Los estados limite que se estuvieron en cuenta esta vez son los de la rotación de la viga y la columna, el Momento de fluencia por flexión en la rodilla, y el cortante en la mampostería, los cuales han sido los que han obtenido los menores valores de factor de carga en los modelos.

6.2 COMPARACIÓN DE LOS MODELOS CON Y SIN ARRIOSTRAMIENTO

Como análisis final se realiza la comparación entre el muro en mampostería con el sistema de arriostramiento y otro sin el sistema.

Para esto se realizaron modelos con cada una de las condiciones, tomando, al igual que antes, al muro arriostrado con el perfil WT2x6.5.

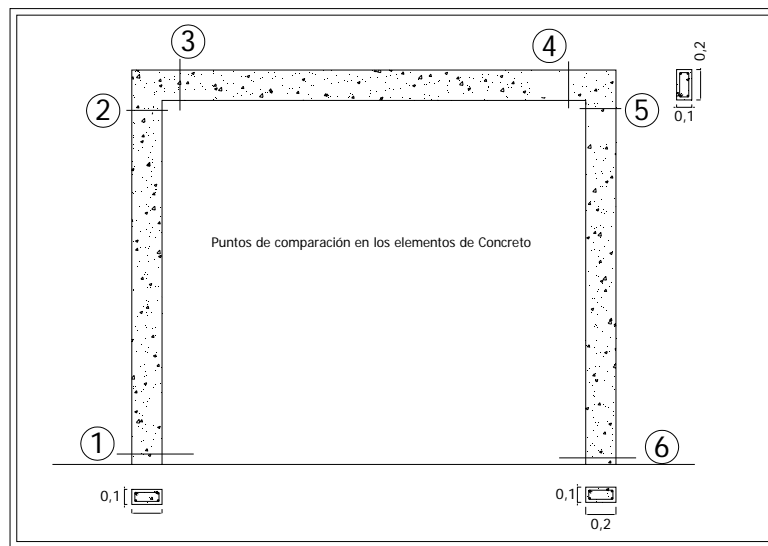
Para esta comparación se tomaron los valores de fuerzas y sollicitaciones más importantes en cada uno de los elementos, es decir, para los elementos de confinamiento en concreto, se tomaron las fuerzas cortantes, momento y fuerzas axiales en los puntos más importantes de la estructura.

Para la mampostería se tomaron los valores de esfuerzos máximos, mínimos y de Von Mises* en puntos distribuidos a lo largo del muro. Además se compararon los factores carga encontrados en los elementos y los valores de fuerza cortante y carga axial en las reacciones del muro.

6.2.1 Comparación en los elementos de concreto.

Los puntos en donde se realizó la comparación de los elementos de concreto son los siguientes:

Figura 24. Puntos de comparación en los elementos de concreto.



Los resultados de este estudio fueron tomados para ambos muros y se compararon los resultados. Esta comparación se muestra en la siguiente tabla en donde se muestra el porcentaje en que se disminuyeron las sollicitaciones al utilizar el sistema de arriostramiento con rodilla. Los valores que se encuentran en rojo son en los que el muro sin el arriostramiento obtuvo valores menores.

* Teoría de esfuerzos en donde los esfuerzos principales se combinan para encontrar los valores máximos.

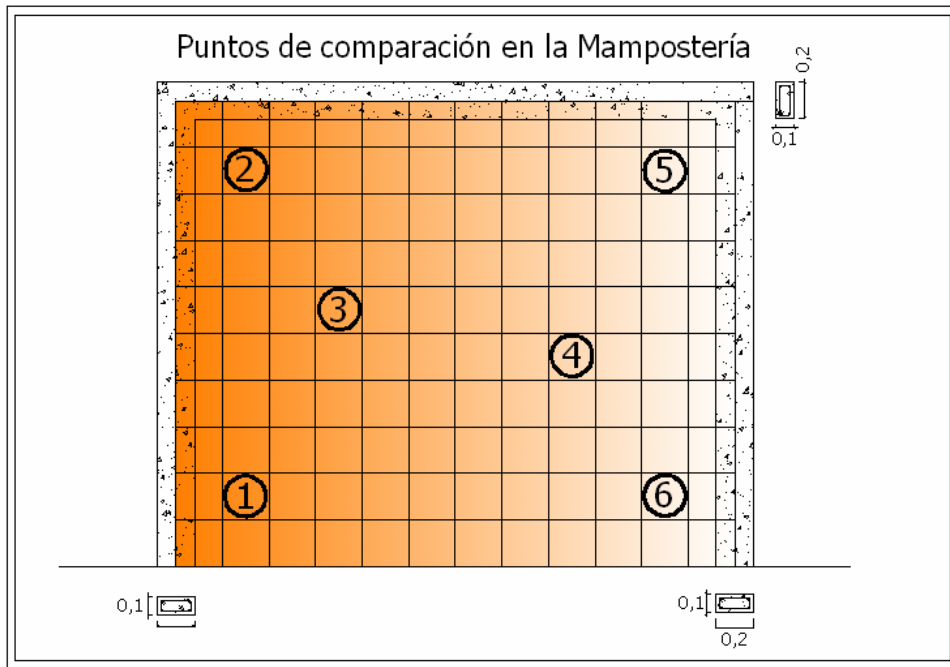
Tabla 24. Porcentajes de comparación en los elementos de concreto.

CONCRETO						
PUNTO	V	Unid	M	Unid	Faxial	Unid
1	54,03	%	50,07	%	15,20	%
2	1,68	%	3,71	%	3,15	%
3	3,28	%	3,70	%	-0,32	%
4	30,89	%	50,09	%	47,65	%
5	57,67	%	50,02	%	34,22	%
6	50,10	%	45,74	%	8,63	%

6.2.2 Comparación en los esfuerzos de la mampostería.

De la misma forma se realizó el análisis para la mampostería. Los puntos en donde se realizó la verificación son los siguientes:

Figura 25. Puntos de Verificación en la mampostería.



Los valores encontrados en los modelos se compararon y se obtuvo los siguientes resultados como porcentajes en los que se disminuyó los esfuerzos encontrados en el muro con el arriostramiento con respecto al muro no arriostrado.

Tabla 25. Porcentajes de comparación en los esfuerzos encontrados en los modelos de muros con y sin arriostramiento.

MAMPOSTERÍA						
PUNTO	Svm	Unid	Smax	Unid	Smin	Unid
1	40,08	%	64,23	%	12,79	%
2	6,59	%	9,47	%	4,29	%
3	14,82	%	28,99	%	6,57	%
4	17,69	%	9,80	%	23,20	%
5	14,12	%	18,56	%	15,23	%
6	37,05	%	22,36	%	43,46	%

6.2.3 Comparación de los desplazamientos.

Se realizó la comparación entre los desplazamientos encontrados en los dos modelos en los puntos superior izquierdo (A) y superior derecho (B) de la del muro. Los porcentajes de disminución en las deflexiones están consignados en la siguiente tabla.

Tabla 26. Porcentajes de disminución de las deflexiones en la mampostería.

Desplazamientos	%	Dirección
A	19,57	Eje x
B	26,55	Eje x

6.2.4 Comparación de las reacciones en los apoyos.

En los modelos se observó también que los apoyos articulados de la mampostería que debían ser retirados por tener valores a tracción eran, en el muro sin arriostramiento tres veces más que en los del muro con arriostramiento, es decir, mientras que en el muro con arriostramiento los apoyos articulados que mostraban fuerzas resultantes a compresión fueron seis (6), en el muro sin el arriostramiento fueron tan solo (2).

Esto necesariamente se traduce en un valor menor de fuerzas cortantes y cargas axiales totales tomadas por los apoyos del muro, como se observa en la siguiente tabla de comparación:

Tabla 27. Porcentajes comparación en las fuerzas encontradas en los apoyos de la mampostería para los modelos con y si el arriostramiento.

MAMPOSTERÍA	Vdesarrollado	Unid	Pdesarrollado	Unid
Apoyos	-26,76	%	-198,98	%

Esto no se puede confundir con un resultado benéfico, debido a que esto no solo significa que el muro en su mayoría ha fallado y ha dejado de trabajar, sino que la fuerza que no es tomada por la mampostería debe ser asumida por los elementos de confinamiento, aumentando significativamente solicitaciones en estos.

Este aumento en las solicitaciones del confinamiento es evidente al observar los porcentajes de comparación encontrados en los puntos 1 y 6 de los elementos de concreto que alcanzan valores hasta del 54%.

6.2.5 Comparación de los factores de carga.

La comparación se realizó también entre los factores de carga, en los cuales se evidencia nuevamente las consideraciones anteriores:

Tabla 28. Porcentajes de comparación entre los factores de carga de de los muros con y sin arriostramiento.

Factores de Carga		
Viga (θ_y)	15,52	%
Columna (θ_y)	15,38	%
Mampostería (V_u)	-11,11	%
Mampostería (P_u)	-66,56	%

6.2.6 Comparación general promedio.

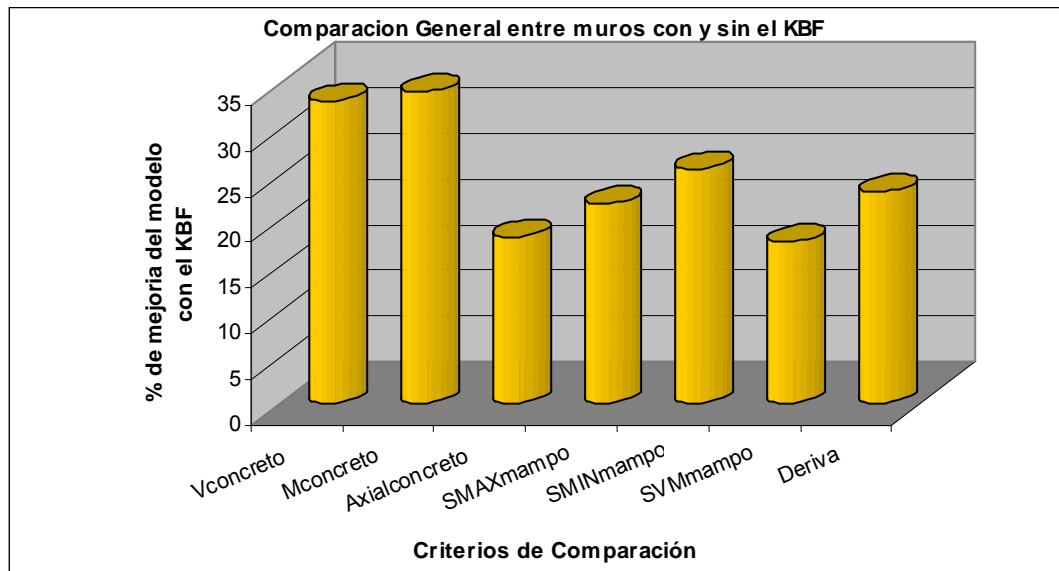
Una comparación final de los modelos se hace tomando los porcentajes promedio obtenidos para cada característica de los materiales en todos los puntos analizados. Estos porcentajes se refieren a cuanto se disminuyo en promedio, cada solicitación analizada, cuando se utilizó el sistema KBF con respecto al muro sin el arriostramiento.

Los criterios de comparación son los siguientes:

- Fuerzas cortantes en los elementos de concreto, $V_{concreto}$.
- Momentos en los elementos de concreto, $M_{concreto}$.

- Fuerza axial en los elementos de concreto, Axialconcreto
- Esfuerzos máximos en la mampostería, SMAXmampo
- Esfuerzos mínimos en la mampostería, SMINmampo
- Esfuerzos de Von Mises en la mampostería, SVMmampo
- Desplazamiento en el extremo superior del muro, Deriva.

Figura 26. Porcentajes promedio de comparación de entre el muro con y sin el KBF.



Los anteriores resultados evidencian la mejoría que presentan los muros de mampostería cuando se le aplica el arriostamiento con rodilla KBF.

CONCLUSIONES

- Según los estudios realizados, al aplicar el sistema de arriostramiento con rodilla KBF en muros de mampostería, se puede lograr un mejor comportamiento del sistema estructural ante la aplicación de cargas laterales, como cualquier arriostramiento diagonal utilizado, pero no se puede garantizar que el primer elemento que alcance la plastificación sea el elemento rodilla para lo cual fue construido.
- De forma general el factor de carga mas crítico para todos los elementos y criterios de falla en los muros con el arriostramiento KBF es el de la falla por cortante en la mampostería, lo cual impide utilizar el beneficio que brinda el sistema KBF para enfocar la falla en un punto específico que pueda ser reparado con facilidad.
- La mejoría que se busca en los muros de mampostería con la utilización del sistema KBF además de un mejor comportamiento ante cargas laterales, es la de mejorar la ductilidad o disipación de energía en la estructura, la cual no puede garantizarse debido a que la falla que ocurriría en la rodilla de los sistemas analizados siempre ocurren debido a la flexión de los elementos y no a los efectos cortantes producidos en la rodilla.
- Al aplicar el sistema de arriostramiento con rodilla, el muro de mampostería evidencia una mejoría en su comportamiento, tanto en las solicitaciones como en los desplazamientos.
- El arriostramiento con rodilla KBF, como sistema de control pasivo, se encuentra en las estructuras para ser activados ante la ocurrencia de un evento que altere las condiciones de uso normales de la estructura. Esto representa una desventaja para ser utilizado en estructuras de mampostería debido a que la mampostería no permite grandes deflexiones o variaciones de la estructura o características normales de uso, por su tipo de comportamiento frágil, lo cual impide que el sistema de arriostramiento, y en especial para el sistema KBF, la fluencia, pueda ocurrir en los perfiles antes que en la mampostería.

- La necesidad de confinamiento en la estructura limita considerablemente la utilización del sistema KBF en muros de mampostería como solución para mejorar la capacidad de resistencia sísmica de las viviendas construidas que presentan problemas de diseño o construcción de las zonas de alta vulnerabilidad.
- Cuando se realizó la variación de las relaciones L/H del muro, se encontró que en la gran mayoría de los casos obtuvo menores factores de carga para la falla de la rodilla que para los elementos del confinamiento, lo cual confirma los resultados de los investigaciones realizadas en el mundo para la aplicación del sistema en estructuras aporticadas.

RECOMENDACIONES

- Un análisis no lineal, y experimental con modelos de laboratorio adecuados debería ser llevado a cabo para confirmar:
 - La línea u orden de falla planteada primer elemento en fallar en el sistema
 - Un mejor detallamiento de las condiciones de borde entre los elementos como las que se encuentran a tracción en los apoyos y en las conexiones con el confinamiento
 - La verificación que los estados limites considerados para los elementos del sistema son los que realmente están produciendo los efectos mas críticos
 - Analizar el efecto que puede tener en la estabilidad del muro el hecho de aplicar el sistema KBF sobre una sola cara del muro produciendo posibles efectos torsionales
 - Estudiar las condiciones de apoyo que realmente podrían garantizarse a los perfiles del arriostramiento.

- Es necesario continuar con estudios de investigación que busquen nuevas alternativas de construcción y rehabilitación de edificaciones para ser aplicadas a viviendas construidas sin apoyo técnico que permitan mejorar el comportamiento ante los altos eventos sísmicos de nuestra región y que puedan ser adoptadas con facilidad.

- Motivar académicamente el desarrollo de nuevas ideas que se enfoquen en generar soluciones reales a las problemáticas que se observan en la región y en el país. Lo cual solo se logra con la conciencia y el respaldo que debe tener el estado en los grupos de investigación.

BIBLIOGRAFIA

- ALFONSO, Eduar W. y PERCOVICH, Christian A. Caracterización Dinámica de las edificaciones del sector Cumbre, Santana, El Carmen, Altos de Villabel y Zapamanga, Proyecto de Grado, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, (2006)
- ARISTIZABAL OCHOA, J. Darío. The Disposable **Knee**-Bracing Technique in Steel Frames. En: AISC Engineering Journal, 2nd. Quarter. Vol. 23, No. 2 (1986); p. 49-54.
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA, Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente NSR-98. 2^a Edición. Bogotá. Colombia. ISBN 958-8017-41-6
- BALEDRA, T.; FELLOW; ASCE; LIM, E. L. y LIAW, C. Y. Large Scale Seismic Testing of **Knee** Brace Frame. En: Journal of Structural Engineering, (enero 1997); p. 11-19
- BONNET, D. Ricardo. Sistemas de Control Pasivo para Estructuras Porticadas sometidas a Movimientos Sísmicos Severos. En: SEMANA TÉCNICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL 40 AÑOS, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER (2005)
- BOURAHLA, N. **Knee** bracing system for earthquake resisting steel frame. PhD-thesis. Department of Civil Engineering, University of Bristol, UK, (1990) Citado por: CLÉMENT, Denis Emile. Seismic design of **knee** elements for steel frames. PhD Thesis. Lincoln College, University of Oxford, UK (2002)
- CLÉMENT, Denis Emile. Seismic design of **knee** elements for steel frames. PhD thesis, Lincoln College, University of Oxford, UK (2002)

- HUANG Zhen †, LI Qing-song, CHEN Long-zhu †. Elastoplastic analysis of **knee** bracing frame. En: Journal of Zhejiang University Science. (2004) ISSN 1009-3095

- MOFID, M. y KHOSRAVI, P. Non-linear analysis of disposable **knee** bracing. En: Computers & Structures, 75. (2000) p.65-72. Citado por: HUANG Zhen †, LI Qing-song, CHEN Long-zhu †. Elastoplastic analysis of **knee** bracing frame. En: Journal of Zhejiang University Science. (2004) ISSN 1009-3095

- NILSON, ARTHUR H. Diseño de Estructuras de Concreto: análisis de vigas y pórticos indeterminados. Duodécima edición, Bogotá, McGraw Hill, (1999) p. 352-359. ISBN: 958-600-983-X.

- ORDUÑA, Agustín y AYALA, A. Gustavo. Análisis no lineal de muros de mampostería confinada sujetos a cargas laterales. Engenharia Civil · UM, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Número 11, (2001)

- POPOV, E. P. y BLACK, R. Steel struts severe cyclic loadings. J. Struct. Div., ASCE, 107(9), (1981) Citado por: BALEDRA, T. et al. Large Scale Seismic Testing of **Knee** Brace Frame. En: Journal of Structural Engineering, (enero 1997). p. 11

- TIQUE, J. A.; YAMÍN L. E. y REYES J. C., Comportamiento sísmico de muros de mampostería con refuerzo exterior estudiados en modelos a escala en la mesa vibratoria, Universidad de los Andes, Bogotá. Colombia.

- WILLIAM, M.S.; BLAKEBOROUGH, A.; CLEMENT, D.; BOURAHLA, N. Seismic behaviour of **knee** braced frames. En: Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Structures and Buildings, 152(2) p.147-155, (2002) Citado en: HUANG Zhen †, LI Qing-song, CHEN Long-zhu †. Elastoplastic analysis of **knee** bracing frame. En: Journal of Zhejiang University Science. (2004) ISSN 1009-3095