

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS
EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL GRUPO III y IV EN EL MUNICIPIO DE
VITERBO, CALDAS**

Investigador principal

ALEJANDRO ALZATE BUITRAGO

Auxiliares de investigación

**ALEJANDRO OSORIO GAVIRIA
ANDRÉS FELIPE OSORIO RAMÍREZ**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA/RISARALDA
MARZO DE 2017**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LAS
EDIFICACIONES INDISPENSABLES DEL GRUPO III y IV EN EL MUNICIPIO DE
VITERBO, CALDAS**

Investigador Principal

ALEJANDRO ALZATE BUITRAGO

Auxiliares de investigación

**ALEJANDRO OSORIO GAVIRIA
ANDRÉS FELIPE OSORIO RAMÍREZ**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL
Línea de investigación: Gestión del riesgo y desarrollo sostenible**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
PEREIRA/RISARALDA
MARZO DE 2017**

CONTENIDO

	Pág.
1	INTRODUCCIÓN.....9
2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN..... 11
3	JUSTIFICACIÓN..... 13
4	OBJETIVOS 14
4.1	OBJETIVO GENERAL..... 14
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 14
5	MARCO DE REFERENCIA 15
5.1	MARCO TEÓRICO..... 15
5.1.1	Comportamiento Estructural de Edificaciones..... 15
5.1.2	Definición de Pórticos..... 15
5.1.3	Principales elemento de un pórtico..... 16
5.1.4	Muros..... 17
5.1.5	Modelación Estructural..... 18
5.1.6	Vulnerabilidad 19
5.1.7	Riesgos sísmicos 20
5.1.8	Efectos de un Sismo..... 21
5.1.9	Irregularidades: 22
5.2	MARCO DE ANTECEDENTES..... 30
5.2.1	Antecedentes nacionales..... 30
5.2.2	Antecedentes internacionales..... 34
5.3	MARCO CONCEPTUAL..... 38
5.3.1	Conceptos principales: 38
5.3.2	Definición De Sismo 41
5.3.3	Amenaza 41
5.3.4	Riesgo..... 41
5.4	MARCO LEGAL..... 42
6	METODOLOGÍA..... 43
6.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN 43
6.2	ETAPAS DEL PROYECTO..... 43
6.2.1	Etapa 1: recolección de información..... 43
6.2.2	Etapa 2: Clasificación y selección de las estructuras a evaluar..... 44
6.2.3	Etapa 3: Medición y cuantificación estructural de las edificaciones. .. 44
6.2.4	Etapa 4: Análisis de la información..... 45
6.2.5	Etapa 5: Elaboración y presentación de recomendaciones técnicas. 45
6.2.6	Etapa 6. Elaboración y presentación del documento final. 45
7	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN 46
7.1	CLASIFICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES INDISPENSABLES..... 46
7.2	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL..... 46

7.2.1	Descripción de la ficha de evaluación de estructuras.	47
7.2.2	Interpretaciones del formato de captura.	48
7.3	INFORMACIÓN ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICA	53
7.3.1	Limitación de los resultados.	53
7.3.2	Inconvenientes por inexistencia de planos estructurales.	53
7.3.3	Descripción de la Actividad realizada	54
7.3.4	Visualización del plano de la Plaza de Mercado	55
7.3.5	Información de los planos.....	57
7.3.6	Verificación de las condiciones estructurales.	57
7.3.7	Análisis según el sistema constructivo.	62
7.4	MODELACIÓN ESTRUCTURAL	63
7.5	PROCEDIMIENTO DE MODELACIÓN EN ETABS.	64
7.5.1	Resultado de las modelaciones	65
7.5.2	Diagnostico en conformidad con el total de chequeos.	67
7.6	MEDIDAS PROXIMALES	68
7.6.1	Alternativas de solución Plaza de Mercado.	68
7.6.2	Alternativas de solución Hospital San José.	69
7.6.3	Alternativa de solución estación de Bomberos.	70
7.6.4	Alternativa de solución Palacio Municipal.	72
7.6.5	Alternativa de solución Colegio La Milagrosa.	74
7.6.6	Resumen de medidas proximales	75
8	CONCLUSIONES	76
9	RECOMENDACIONES	78
10	BIBLIOGRAFÍA	79

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1.	Técnicas tradicionales de refuerzo.	28
Cuadro 2.	Técnicas modernas de refuerzo.	29
Cuadro 3.	Normas.	42
Cuadro 4.	Clasificación general de las edificaciones estudiadas.	46
Cuadro 5.	Detalle de planos.....	53
Cuadro 6.	Métodos de análisis de vulnerabilidad según NSR-10.....	54
Cuadro 7.	características Relevantes	57
Cuadro 8.	Indicador de amenaza sísmica NSR-10	58
Cuadro 9.	Criterios de construcción para muros de carga NSR-10.....	59
Cuadro 10.	Lista de chequeo de la NSR-10 estación de Bomberos.	60
Cuadro 11.	Lista de chequeo de la NSR-10, Plaza de Mercado.	60
Cuadro 12.	Lista de chequeo de la NSR-10, colegio La Milagrosa.	61
Cuadro 13.	Lista de chequeo de la NSR-10, Palacio Municipal.	61
Cuadro 14.	Lista de chequeo de la NSR-10, Hospital San Jose.	62
Cuadro 15.	Chequeo Pórticos	63
Cuadro 16.	Chequeo Muros Estructurales.....	63
Cuadro 17.	Desplazamientos estación de Bomberos resultados ETABS.....	65
Cuadro 18.	Desplazamientos Plaza de Mercado resultados ETABS	66
Cuadro 19.	Derivas y deformaciones en las edificaciones modeladas.....	67
Cuadro 20.	Resumen Resultados Chequeo Estructuras.....	68
Cuadro 21.	Presupuesto para el reforzamiento del Hospital San José.	70
Cuadro 22.	Presupuesto para el reforzamiento Estación de Bomberos.	72
Cuadro 23.	Presupuesto de reforzamiento Palacio Municipal.	74
Cuadro 24.	Medidas recomendadas y costo aproximado.	75

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	Irregularidades en planta.....	22
Figura 2.	Irregularidades en altura.....	23
Figura 3.	Formato de captura de datos para evaluación estructural.	48
Figura 4.	Irregularidad en planta.	49
Figura 5.	Irregularidad en altura.	49
Figura 6.	Comparación de irregularidades.....	50
Figura 7.	Conformación de la cubierta.....	51
Figura 8.	Nivel de vulnerabilidad.	51
Figura 9.	Cuantificación de habitantes.	52
Figura 10.	Tipología constructiva.	52
Figura 11.	Plano isométrico Plaza de Mercado.	56
Figura 12.	Modelo deformado de la estación de Bomberos actual.	65
Figura 13.	Modelo deformado de la Plaza de Mercado	66

Figura 14. Modelo estructural de la propuesta de reforzamiento del Hospital San José	69
Figura 15. Modelo estructural de la propuesta de reforzamiento de la Estación de Bomberos.	71
Figura 16. Modelo estructural de la propuesta de reforzamiento del Palacio Municipal.	73

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO A. FICHAS DE CARACTERIZACIÓN DE LAS EDIFICACIONES

ANEXO B. REGISTRO FOTOGRÁFICO

ANEXO C. CHEQUEO DE NORMA Y MODELACIÓN ESTRUCTURAL (DIGITAL)

ANEXO D. LOCALIZACIÓN EDIFICACIONES.

ANEXO E. PRESUPUESTOS DE PROPUESTA DE REFORZAMIENTO

ANEXO F. PLANOS.

RESUMEN

Evaluar la condición estructural de las edificaciones indispensables de los grupos III y IV de la NSR-10, en municipios no capitales que cuentan con limitadas capacidades técnicas, financieras y logísticas para dar respuesta a todos los requerimientos de la Ley 1523 de 2012; el decreto 1807 de 2014 y la NSR-10, sugiere el despliegue de esfuerzos técnicos capaces de confrontar, diagnosticar y abordar las limitaciones propias de procesos constructivos que, en el mejor de los casos cumplieron los estándares de la NSR-98, y que por el paso del tiempo, la pérdida de funcionalidad y resistencia/durabilidad de materiales, las hacen hoy por hoy edificaciones con algún grado de vulnerabilidad frente a la potencial ocurrencia de eventos sísmicos.

El ejercicio investigativo desarrollado en el municipio de Viterbo partió de la identificación y caracterización estructural de las edificaciones consideradas indispensables. Una vez visitadas en campo para evaluar su condición estructural y estado, se procedió a levantar la planta de los elementos estructurales de interés, con el objeto de modelar su condición de vulnerabilidad mediante el software ETABS. Finalmente, identificadas las deficiencias estructurales, a la luz de la NSR-10, se propusieron las medidas de mitigación requeridas para que dichas edificaciones se ajustaran a la norma y de esta manera se atenuara su vulnerabilidad y extensivamente, se garantizará su ocupación segura.

En el municipio de Viterbo, una vez concluido el proceso investigativo, se pudo diagnosticar y confirmar las deficiencias constructivas (vulnerabilidad estructural) de la Alcaldía Municipal, el Hospital San José, La Institución Educativa La Milagrosa y el Cuerpo de Bomberos, con evidentes limitaciones estructurales, que configuran en el municipio un escenario de riesgo bastante complejo. La única edificación que satisfizo los requerimientos de norma fue la Plaza de Mercado, no obstante su época de construcción remontarse al año 1978.

ABSTRACT

To evaluate the structural condition of the indispensable buildings of groups III and IV of the NSR-10, in non-capital municipalities that have limited technical, financial and logistic capacities to respond to all the requirements of Law 1523 of 2012; Decree 1807 of 2014 and NSR-10 suggest the deployment of the efforts of those able to confront, diagnose, and address the constraints of constructive processes that, at best, met NSR-98 standards, and that By the passage of time, the loss of functionality and the durability / durability of materials, are made today by buildings with a class of vulnerability to the potential opportunity of seismic events.

The investigative exercise carried out in the municipality of Viterbo started from the identification and structural characterization of the buildings considered indispensable. Once visited in the field to evaluate its structural state and state, the plant was removed from the structural elements of interest, in order to model its condition of vulnerability in ETABS software. Finally, in the light of the NSR-10, the structural deficiencies were identified, the mitigation measures required for which they are built are adjusted to the norm and this way their vulnerability is attenuated and extensively, we guarantee their safe occupation.

In the municipality of Viterbo, once the research process is completed, the constructive deficiencies (structural vulnerability) of the City Hall, the San José Hospital, the La Milagrosa Educational Institution and the Fire Department are confirmed, with evident limitations which make up a rather complex risk scenario in the municipality. The only building that met the requirements of standard was the Market Square, although its construction dates back to 1978.

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto investigativo en cuestión, no sólo pretende evaluar la condición estructural de las edificaciones indispensables del municipio de Viterbo, sino que además busca evaluar las posibles intervenciones que, a la luz de la NSR-10, debe implementar la Administración municipal para atenuar y mitigar la condición de amenaza y vulnerabilidad de su infraestructura indispensable, frente a la potencial ocurrencia de un evento sísmico.

El proyecto parte de la información con la que en la actualidad cuenta la administración municipal, atinente a planos, diseños estructurales, arquitectónicos, suelos y otros de interés, de cada una de las edificaciones objeto de estudio. Una vez evaluada la calidad, actualidad y pertinencia de la información se procederá a diagnosticar la condición estructural y estado de las edificaciones indispensables del municipio de Viterbo: Alcaldía municipal, Hospital San José, Institución Educativa La Milagrosa, Cuerpo de Bomberos y Plaza de Mercado. Realizada dicha actividad, cada edificación indispensable será evaluada a la luz de la NSR-10 mediante el software ETABS y de esta manera poder evaluar las deficiencias estructurales de los diferentes elementos que componen cada edificación y su consecuente vulnerabilidad. Adicionalmente, una vez definida la vulnerabilidad de cada edificación, se formularán los presupuestos proximales necesarios de ejecutarse, para que cada construcción satisfaga los requerimientos de norma y de esta manera la administración municipal esté al día con las recomendaciones y exigencias de la NSR-10 y la Ley 1523 de 2012.

La evaluación de la vulnerabilidad estructural y estado de cada una de las edificaciones, inicialmente se evalúa mediante la aplicación de encuesta (ficha) técnica que permite diagnosticar aspectos como el uso, la cimentación, la tipología estructural, los daños apreciables, la irregularidad en planta y en altura, la estructura del techo y las dimensiones de las secciones de los diferentes elementos estructurales. Toda esta información se complementa con el levantamiento en planta de la distribución de los elementos estructurales y se modela su condición estructural mediante software de estructuras.

Es importante notar que ante las precariedades técnicas, logísticas y de recursos del municipio de Viterbo, el apoyo que se pueda recibir desde los espacios

académicos resulta fundamental, toda vez que el diagnóstico y evaluación de la condición estructural de las edificaciones indispensables resultaría oneroso económicamente para las autoridades locales.

El ejercicio investigativo se presenta de manera secuencia, y en él se pueden apreciar los siguientes apartes:

En los capítulos del I al IV se puede comprobar la condición problemática que motiva la investigación y los propósitos de la misma, haciendo énfasis en que en el marco de la prevención y gestión del riesgo de desastres, los entes territoriales tienen una gran y especial responsabilidad, aunque para muchos de ellos y desde sus realidades técnicas y financieras, dicho reto sea superior a sus capacidades.

En los capítulos siguientes, del V al VI, se hace un breve recuento del estado del arte del tema y se enfatiza sobre la condición estructural y de riesgo a la que eventualmente se pueden ver sometidas muchas de las edificaciones consideradas como indispensables en algunos territorios de nuestro país.

Ya en los capítulos finales, se muestran y evidencian los resultados de los hallazgos más sobresalientes de la investigación y se presentan las conclusiones de mayor interés para que las autoridades locales, y de carácter regional, puedan emprender las acciones concretas que les permita avanzar en la gestión del riesgo de desastres y en la reducción de los actores generadores de riesgo.

El proyecto en cuestión se convierte en un importante insumo para las autoridades municipales, en virtud de que a partir de dicho diagnóstico se mejorará el conocimiento de los factores generadores de riesgo en el territorio municipal y ello redundará en un mejor nivel de preparación y respuesta frente a los potenciales impactos que se podrían derivar de la ocurrencia de un evento sísmico en la región.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad, el municipio de Viterbo, departamento de Caldas, ubicado en la región andina¹, está expuesto a fuertes movimientos telúricos, producto de encontrarse en la falla tectónica de Mistrató. Al hacer un análisis de las rocas que conforman el territorio del municipio de Viterbo, registra rocas volcánicas de la era mesozoica, metamórficas y complejos metasedimentarios, que se ubican particularmente en el flanco oriental de la cordillera occidental. La zona sedimentaria adyacente al río Risaralda corresponde al periodo cuaternario con depósitos de materiales erodados de la cordillera. Por tanto, las fallas se originan por los movimientos de diastrofismo que fracturan las duras estructuras geológicas²

Por lo mencionado anteriormente, la probabilidad de un movimiento sísmico fuerte en el municipio de Viterbo es en esencia alta, por consiguiente la norma es muy estricta en cuanto a las características mínimas para las edificaciones localizadas en zona de amenaza sísmica alta, esto lleva a hacer un análisis de todas aquellas estructuras que en caso de un sismo, deben permanecer en condiciones aptas para prestar servicio a comunidad y posibles víctimas, denominadas por la NSR-10 como edificaciones indispensables.

Por parte del gobierno se incorpora en la lista de edificaciones indispensables hospitales, estaciones de policía, de Bomberos, centros de prevención de desastres, prestadores de servicios públicos, instituciones educativas y centros de locución.

La normatividad ha venido evolucionando a la par con los avances técnicos en el sector de la construcción, ampliando las exigencias en pro de un desarrollo urbano responsable. Aún con la existencia de estos adelantos normativos, en referencia a sismo resistencia en Colombia (NSR-10 y normas precedentes), se puede inferir que, acorde con la antigüedad de las construcciones, el cumplimiento de los estándares normativos actuales en el municipio de Viterbo es crítico y sensible.

Cabe destacar que el Hospital San José, cuya construcción data del año 1946³, donde se representa un diseño arquitectónico de estilo colonial, se considera hoy por hoy una de las construcciones de mayor importancia para el municipio. De

¹ Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. Caldas, Características geográficas, 1989

² *Ibíd.*, p. 11.

³ MONTOYA, Omar. Apuntes para la historia de Viterbo, 2010.

igual forma la Institución Educativa La Milagrosa, fue fundada en el año 1952⁴ gracias a la iniciativa del presbítero Elías Duque H Enker, construida en bahareque y posteriormente remodelado en sistema combinado. En cuanto a los Organismos de Socorro, la actual Estación de Bomberos fue fundada a mediados del año 1954 y por último, en el sector administrativo, la Alcaldía Municipal, funciona con dos tipos diferentes de entepiso, placa aligerada y madera, hechos éstos que confirman complejidades estructurales necesarias de ser diagnosticadas con especial rigor y cuidado.

Abordar este tipo de ejercicios investigativos contribuirá de manera notoria en el mejoramiento de las condiciones diagnósticas de edificaciones que, al momento de ocurrencia de un evento catastrófico, no pueden perder su funcionalidad, y por el contrario, deben garantizar la continuidad de la prestación de servicios para superar y afrontar los retos de un post-desastre. El municipio de Viterbo, a través de la Secretaría de Planeación, y los servicios de salud y atención y prevención de desastres, recibirán una herramienta de toma de decisiones y de impulso en el fortalecimiento de los mecanismos e instrumentos de gestión del riesgo de desastres.

Con fundamento en las anteriores consideraciones, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los elementos estructurales condicionantes de la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables de los Grupos III y IV, según la NSR-10, del municipio de Viterbo.?

⁴. MONTOYA. Óp. cit., p. 12.

3 JUSTIFICACIÓN

Con el propósito de avanzar en un requisito de grado, se dio inicio a este proyecto investigativo, donde se buscó unificar una necesidad académica junto con una necesidad social, incorporando criterios técnicos recientes en el tema de diagnóstico de edificaciones respecto a la obligación presente por parte de las autoridades del municipio de Viterbo en dar cumplimiento de ley con todas las edificaciones indispensable. El cumplimiento de esta normatividad es compleja en cuanto a que la disposición de recursos para proyectos de diagnósticos y valoraciones estructurales son restringidos por múltiples factores, como la limitación de recursos económicos, la limitación en resolver varias edificaciones simultáneamente y el aumento de necesidades básicas de la sociedad, lo que desplaza rápidamente otras necesidades, entre otros factores que hacen de este proyecto una necesidad oportuna, es por esta razón que es indispensable el desarrollo de este proceso de diagnóstico, en donde se determine el estado de vulnerabilidad al que se exponen diariamente los habitantes del municipio.

Este proyecto genera altas expectativas, especialmente porque en la historia de este municipio no se ha adelantado un proyecto que argumente técnicamente el estado general de las edificaciones indispensables (Grupos III y IV de la NSR-10), considerando que las edificaciones tienen más de 50 años de construcción y es por esta razón que el desarrollo de esta investigación le ofrece la Administración municipal de Viterbo, la oportunidad de hacer uso de este estudio para gestionar los recursos económicos para garantizar la mitigación de las condiciones de riesgo evaluadas en las edificaciones objeto de estudio, además de cumplir con los requerimientos de norma en cuanto a sismo resistencia y gestión del riesgo de desastres.

4 OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones indispensables de los Grupos III y IV, según la NSR-10, localizadas en el perímetro urbano del municipio de Viterbo

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Evaluar la condición constructiva de 5 edificaciones indispensables del municipio de Viterbo, mediante los instrumentos técnicos pertinentes.

Levantar la información estructural y arquitectónica de las edificaciones que no cuentan con dichos soportes técnicos y/o verificar las condiciones estructurales de campo de aquellas que cuenten con los mismos.

Modelar mediante software especializado (ETABS), la condición estructural y vulnerabilidad de las edificaciones objeto de estudio, según los estándares de las NSR-10.

Establecer de manera proximal las medidas de mitigación requeridas para el cumplimiento de los mínimos establecidos en la NSR-10 para edificaciones indispensables de los Grupos III y IV ene l municipio de Viterbo.

5 MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEÓRICO.

El desarrollo de este trabajo investigativo se soportó en los fundamentos técnicos y teóricos del comportamiento estructural y respuesta de edificaciones ante sollicitaciones sísmicas. En razón a dicha premisa se refieren los siguientes elementos teóricos, a saber:

5.1.1 Comportamiento Estructural de Edificaciones.

Según la Arquitecta Gloria Díaz (2005) se entiende por comportamiento estructural al funcionamiento de una estructura o edificación bajo cierto estado de cargas dependiente de su configuración, sistema estructural, localización, entre otros aspectos propios de la edificación.

El comportamiento de una estructura debe estar bajo las diferentes acciones para las que se postule o establezca que debe tener capacidad de respuesta.

Sobre una estructura pueden actuar diferentes tipos de acciones exteriores que también deben ser tenidas en cuenta las cuales son:

- Acción gravitatoria: peso propio, carga permanente, sobrecargas, movimientos forzados.
- Acciones térmicas: flujo de calor por conducción, convección o radiación, transitorios térmicos.
- Acciones Teológicas: retracción, fluencia.
- Acción del terreno: empujes activos, asentamientos

5.1.2 Definición de Pórticos.

Según Bozzo y Barbat (2005) los pórticos están formados por vigas y columnas, conectados entre sí por medio de nodos rígidos, lo cual permite la transferencia de los momentos flectores y las cargas axiales hacia las columnas.

La resistencia a las cargas laterales de los pórticos se logra principalmente por la acción de flexión de sus elementos.

Ventajas:

- Permite más distribuciones en los espacios internos del edificio.
- Son estructuras muy flexibles que atraen pequeñas solicitaciones sísmicas.
- Disipan grandes cantidades de energía gracias a la ductilidad que poseen los elementos y la gran hiper-elasticidad del sistema.

Desventajas.

- El sistema en general presenta una baja resistencia y rigidez a las cargas laterales.
- Su gran flexibilidad permite grandes desplazamientos lo cual produce daños en los elementos no estructurales.
- Es difícil mantener las derivas bajo los requerimientos normativos.
- Por su alta flexibilidad, el sistema da lugar a períodos fundamentales largos, lo cual no es recomendable en suelos blandos.
- El uso de este sistema estructural está limitado a estructuras bajas o medianas. Ya que a medida que el edificio tenga más pisos, mayores tendrían que ser las dimensiones de las columnas, lo cual puede hacer el proyecto inviable económica y arquitectónicamente.
- Para los edificios con sistemas de pórticos rígidos se estima que en zonas poco expuestas a sismos el límite puede estar alrededor de 20 pisos, Y para zonas de alto riesgo sísmico alrededor de 10 pisos.

5.1.3 Principales elemento de un pórtico

Tipo Columna: “Es un elemento con dos dimensiones pequeñas comparadas con la tercera dimensión. Las cargas principales actúan paralelas al eje del elemento y

por lo tanto trabaja principalmente a compresión. También puede verse sometido a esfuerzos combinados de compresión y flexión”⁵.

Tipo viga: Es “un elemento que tiene dos de sus dimensiones mucho menores que la otra y recibe cargas en el sentido perpendicular a la dimensión mayor. Estas características geométricas y de carga hacen que el elemento principalmente esté sometido a esfuerzos internos de flexión y de cortante. Es un elemento que debe tener la suficiente **I** (inercia transversal) y **A** (área transversal) para soportar estos tipos de esfuerzos”⁶

5.1.4 Muros

Elementos tipo muro: “Estos elementos se caracterizan por tener dos de sus dimensiones mucho más grandes que la tercera dimensión y porque las cargas actuantes son paralelas a las dimensiones grandes. Debido a estas condiciones de geometría y carga, el elemento trabaja principalmente a cortante por fuerzas en su propio plano. Adicionalmente a esta gran rigidez a corte los muros también son aptos para soportar cargas axiales siempre y cuando no se pandeen”⁷.

Muros Estructurales Según Bozzo y Barbat (2005) los muros estructurales también llamado como sistema tipo túnel se conoce a los arreglos entre placas verticales (muros), las cuales funcionan como paredes de carga, y las placas horizontales (losas).

Este sistema genera gran resistencia y rigidez lateral, pero si la disposición de los muros se hace en una sola dirección o se utiliza una configuración asimétrica en la distribución de los muros, se generan comportamientos inadecuados que propician la posibilidad del colapso.

Ventajas.

- Es un sistema que constructivamente es rápido de ejecutar, es decir tiene un alto rendimiento.

⁵Escuela de ingeniería de Antioquia, Estructuras.

⁶ Ibíd., p. 17.

⁷ Ibíd., p. 17.

- Comparado a un sistema porticado tradicional, el sistema Tipo Túnel puede costar entre un 25 a 30% menos. Además de su rápida ejecución, el hecho de ya tener muros permite un ahorro en costos en la construcción de las paredes de bloques y el precio de las mismas.
- Es un sistema que bien configurado es poco propenso al colapso, ya que ofrece gran resistencia a los esfuerzos laterales.
- Como es un sistema muy rígido, donde casi no se producen desplazamientos laterales, los elementos no estructurales no sufren daños considerables.
- Termina siendo una estructura mucho más liviana que el sistema a porticado, y gracias a su rigidez lateral se pueden llegar a construir edificios de más de 30 pisos de altura.

Desventajas.

- Por ser un sistema que posee gran rigidez, estará expuesto a grandes esfuerzos sísmicos, los cuales tienen que ser disipados por las fundaciones, esto significa que debe estar sustentado por un suelo con gran capacidad portante.
- Por poseer losas de delgado espesor, la longitud de los ramales de instalaciones de aguas servidas es limitada. En algunos casos se tiene que llegar a aumentar el espesor de la losa donde van ubicados los baños para poder cumplir con las pendientes.
- Ya que los muros son continuos dificulta la distribución de los espacios internos. Generalmente se requiere en la planta baja mayores espacios libres, ya sea para estacionamientos o en el caso de un hotel para el lobby.
- Puede llegar a ser un sistema muy vulnerable si la configuración estructural no posee líneas de resistencias en las dos direcciones ortogonales. Por lo cual es muy importante que exista una interacción entre Arquitecto-Ingeniero al momento de realizar el proyecto.

5.1.5 Modelación Estructural.

“El modelado es la abstracción de lo real al papel de tal manera que me permita analizarlo y diseñarlo.

En el modelado se debe tener bastante cuidado para que la representación del sistema sea lo más parecido a la realidad; la ubicación y determinación de los apoyos, la selección del tipo de elemento, la combinación de estos y sus uniones juegan un papel primordial en esta etapa.

En este curso trabajaremos principalmente con estructuras reticulares, aquellas cuyos elementos tienen una de sus dimensiones mucho más grande que las otras dos. El modelado de este tipo de estructuras se hace por medio de líneas que representan el eje centroidal de la sección de los elementos”⁸.

5.1.6 Vulnerabilidad

Según la Corporación Autónoma Regional de Risaralda [CARDER] (2013) la vulnerabilidad es la exposición, debilidad o incapacidad de resistencia frente a las amenazas que presenta una comunidad, persona o elemento que es considerado de valor para el hombre, también se refiere a la incapacidad para recuperarse de los efectos de un desastre, lo cual no sólo depende de la convivencia con la amenaza, sino de múltiples factores presentes en la localidad, a continuación se presentan algunos factores.

Las clases de vulnerabilidad sísmica que existen son:

- **Vulnerabilidad Estructural**

Se refiere a que tan susceptibles a ser afectados o dañados son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ella y actuando en conjunto con las demás cargas habidas en dicha estructura.

Los elementos estructurales son aquellas partes que sostienen la estructura de una edificación, encargados de resistir y transmitir a la cimentación y luego al suelo; las fuerzas causadas por el peso del edificio y su contenido, así como las cargas provocadas por los sismos. Entre estos elementos se encuentran las columnas, vigas, placas de concreto, muros de albañilería de corte, entre otros.

Debido a ello como se dirá que un buen diseño estructural es la clave para que la integridad del edificio sobreviva aún ante desastres naturales severos como lo son los terremotos.

- **Vulnerabilidad No Estructural**

⁸ Escuela de ingeniería de Antioquia. Op. cit., p. 19.

Un estudio de vulnerabilidad no estructural busca determinar la susceptibilidad a daños que estos elementos puedan presentar. Sabemos que al ocurrir un sismo la estructura puede quedar inhabilitada debido a daños no estructurales, sean por colapso de equipos, elementos arquitectónicos, etc., mientras que la estructura permanece en pie.

Dentro del sistema electromecánico podríamos mencionar las líneas tuberías, apoyos de equipos, la conexión de los equipos, etc. De igual forma, dentro de los elementos arquitectónicos tenemos las fachadas, vidrios, tabiques, mamparas, puertas, ventanas, escaleras, etc.

- **Vulnerabilidad Funcional**

Un estudio de la vulnerabilidad funcional busca determinar la susceptibilidad de una estructura a sufrir un “colapso funcional” como consecuencia de un sismo. Esto es sólo visible en el momento en que ocurre una emergencia. A fin de determinar en esta tercera etapa la vulnerabilidad funcional, se evalúa lo referente a la infraestructura. En primer lugar, el sistema de suministro de agua y de energía eléctrica, que son las partes más vulnerables. También son afectadas por los sismos las tuberías de alcantarillado, gas y combustibles, para lo cual se realizan investigaciones sobre su resistencia y flexibilidad.

Estos aspectos funcionales incluyen también un análisis detallado de las áreas externas, vías de acceso a exteriores y su conexión con el resto de la ciudad; las interrelaciones, circulaciones primarias y secundarias, privadas y públicas y los accesos generales y particulares de las áreas básicas en que se subdivide la estructura. Se analiza la posibilidad de inutilización de ascensores, acumulación de escombros en escaleras y pasillos, como así también el atascamiento de puertas

5.1.7 Riesgos sísmicos

Es la probabilidad de que las consecuencias sociales o económicas producidas por un terremoto igualen o excedan valores predeterminados, para una localización o área geográfica dada.

Según la definición propuesta en 1980 por la U.N.E.S.C.O. en la publicación "Terremotos", se expresa según la siguiente expresión: (Seismic Risk):

$$\text{RIESGO SÍSMICO} = \text{PELIGROSIDAD} ** \text{VULNERABILIDAD} ** \text{COSTO}$$

5.1.8 Efectos de un Sismo.

Según Falconí (2008) el efecto de los sismos sobre las estructuras depende de las características dinámicas tanto de la estructura como del movimiento. El problema es sumamente complejo, pues las características dinámicas del movimiento son variables tanto durante un mismo temblor, como de uno a otro temblor, dependiendo de la distancia epicentral, profundidad focal y magnitud del sismo, así como del tipo de terreno en que estén desplantadas las estructuras.

Las características de interés del movimiento son la duración, la amplitud y la frecuencia, refiriéndose la amplitud a los máximos valores que se alcanzan durante el sismo, ya sea de desplazamiento, velocidad o aceleración del suelo y la frecuencia al número de ciclos de oscilación del movimiento por unidad de tiempo.

Por otro lado, las características dinámicas de las estructuras no son fáciles de estimar correctamente, debido a las incertidumbres existentes en la determinación de las propiedades elástico-geométricas de los elementos que conforman las estructuras, a la variación de las propiedades al presentarse comportamiento inelástico, así como a incertidumbres en cuanto a la colaboración a la resistencia y rigidez de elementos no estructurales, que suelen participar en la respuesta sísmica debido a que es difícil desligarlos adecuadamente de la estructura. También es poco frecuente incluir la participación de la cimentación y del suelo circundante en la determinación de las propiedades dinámicas de un edificio.

La rigidez, tanto de entrepiso como angular o lineal, depende del tamaño de la sección transversal de los elementos estructurales. con lo que se calculan las propiedades geométricas: áreas y momentos de inercia, de su longitud, de la forma en que están conectados a otros elementos y del material con que están hechos, lo que define las propiedades elásticas como módulo de elasticidad, módulo de Poisson y módulo de cortante.

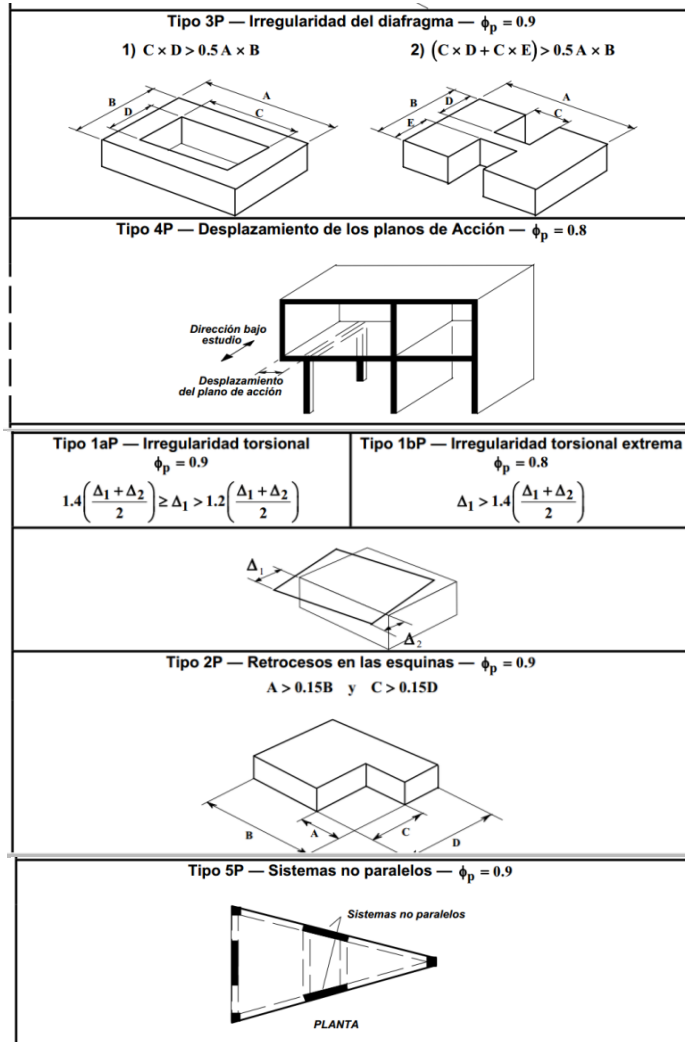
Debido a lo anterior, en general se elaboran modelos matemáticos elásticos muy simplificados de las estructuras, pues aún con ayuda de las computadoras, el problema dista de ser manejable. Entre las características más importantes que pueden obtenerse de los modelos están los periodos de oscilación de cada uno de los distintos modos en que pueden vibrar y las formas de estos modos, entendiéndose por periodo el tiempo que tarda en ocurrir una oscilación completa.

En conclusión los efectos de un sismo dependen de cada sistema estructural, las características de cada edificio y de cada sismo ya que son muchas variables las que actúan en el momento de producirse un sismo.

5.1.9 Irregularidades:

- **CONFIGURACIÓN EN PLANTA** La edificación se considera irregular cuando ocurra, como aparece en la figura A.3-1 de la NSR-10. Ver figuras 1 y 2.

Figura 1. Irregularidades en planta.



Fuente: NSR-10.

- **Irregularidad en altura:** Una edificación se clasifica como irregular en planta y altura, véase la figura A.3-2 tomada de la NSR-10.

Figura 2. Irregularidades en altura.

NSR-10 — Capítulo A.3 — Requisitos generales de diseño sismo resistente

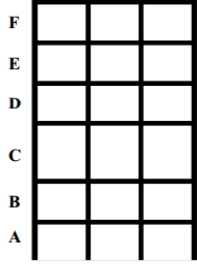
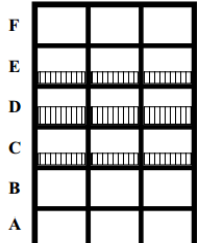
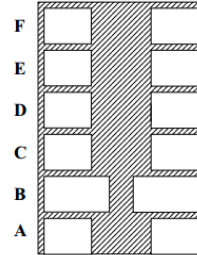
<p>Tipo 1aA — Piso flexible $\phi_a = 0.9$ $0.60 \text{ Rigidez } K_D \leq \text{Rigidez } K_C < 0.70 \text{ Rigidez } K_D$ o $0.70 (K_D + K_E + K_F) / 3 \leq \text{Rigidez } K_C < 0.80 (K_D + K_E + K_F) / 3$</p>	
<p>Tipo 1bA — Piso flexible extremo $\phi_a = 0.8$ $\text{Rigidez } K_C < 0.60 \text{ Rigidez } K_D$ o $\text{Rigidez } K_C < 0.70 (K_D + K_E + K_F) / 3$</p>	
<p>Tipo 2A — Distribución masa — $\phi_a = 0.9$ $m_D > 1.50 m_E$ o $m_D > 1.50 m_C$</p>	
<p>Tipo 5aA — Piso débil $\phi_a = 0.9$ $0.65 \text{ Resist. Piso C} \leq \text{Resist. Piso B} < 0.80 \text{ Resist. Piso C}$</p>	
<p>Tipo 5bA — Piso débil extremo $\phi_a = 0.8$ $\text{Resistencia Piso B} < 0.65 \text{ Resistencia Piso C}$</p>	

Figura A.3-2 — Irregularidades en la altura

Fuente: NSR-10.

Estructuras indispensables según la NSR-10

A.2.5.1.2. — Grupo III — Edificaciones de atención a la comunidad — Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el grupo IV. Este grupo debe incluir:

- (a) Estaciones de Bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres,
- (b) Garajes de vehículos de emergencia.

(c) Estructuras y equipos de centros de atención de emergencias.

(d) Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza,
(e) Aquellas del grupo II para las que el propietario desee contar con seguridad adicional.

(f) Aquellas otras que la administración municipal, distrital, departamental o nacional designe como tales.

A.2.5.1.3. — Grupo IV Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno. Este grupo debe incluir:

(a) Todas las edificaciones que componen hospitales clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía, salas de cuidados intensivos, salas de neonatos y/o atención de urgencias

(b) Todas las edificaciones que componen aeropuertos, estaciones ferroviarias y de sistemas masivos de transporte, centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión,

(c) Edificaciones designadas como refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de servicios de emergencia,

(d) Edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos,

(e) Edificaciones que contengan agentes explosivos, tóxicos y dañinos para el público, y

(f) En el grupo IV deben incluirse las estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares de las edificaciones tipificadas en los literales a, b, c, d y e del presente numeral.(NSR - 10 literal A.2.5.1.1)

Esta agrupación de sectores según el uso obedece a que no todas las edificaciones deben de cumplir con los mismos requisitos por razones como lo son el área total de construcción, altura de entresijos, altura final, presupuesto disponible y la tipología estructural. Para entender este concepto de tipología

constructiva, la escuela de ingeniería de Antioquia, dispuso en su página web un programa de estructuras, donde describe que “La composición estructural como un ensamblaje de miembros o elementos independientes para conformar un cuerpo único y cuyo objetivo es darle solución (cargas y forma) a un problema civil determinado”⁹.

La manera de ensamblaje y el tipo de miembro ensamblado definen el comportamiento final de la estructura y constituyen diferentes sistemas estructurales.

En algunos casos los elementos no se distinguen como individuales sino que la estructura constituye en sí un sistema continuo como es el caso de domos, losas continuas o macizas y muros, y se analizan siguiendo los conceptos y principios básicos de la mecánica.

El sistema estructural constituye el soporte básico, el armazón o esqueleto de la estructura total y él transmite las fuerzas actuantes a sus apoyos de tal manera que se garantice seguridad, funcionalidad y economía.

En una estructura se combinan y se juega con tres aspectos:

- FORMA
- MATERIALES Y DIMENSIONES DE ELEMENTOS
- CARGAS

Según el autor, existen dos tipos de estructuras, reticulares (frame) Se componen por barras rectas o curvas unidos en sus extremos por pasadores o soldadura y estructuras tipo placa o cascaron (Shell). Se construye de losas continuas curvas o planas con apoyos por lo general en forma continua en sus bordes.

Principales sistemas estructurales:

- Cerchas
- Armaduras planas y espaciales
- Marcos o pórticos planos y espaciales
- Sistemas combinados o duales
- Sistemas de muros.

Lo explicado anteriormente, obedece a estudios, pericia y criterios condicionados a la presente década, donde estos avances forman parte de una batalla en contra del tiempo y la naturaleza en donde la comprensión de estos factores reducen el riesgo al cual estamos expuestos, en pocas palabras, obedece a las

⁹ Escuela de ingeniería de Antioquia. Op. cit., p. 25.

condiciones intrínsecas de la zona habitada integrando a esta ecuación una vulnerabilidad a causa de un sismo que trae daño y muerte sin distinguir de clase social.

Según Melone (2002) se denomina vulnerabilidad al grado de daño que sufre una estructura debido a un evento sísmico de determinadas características. Estas estructuras se pueden calificar en “más vulnerables” o “menos vulnerables” ante un evento sísmico.

“Se debe de tener en cuenta que la vulnerabilidad sísmica de una estructura es una propiedad intrínseca a sí misma y además es independiente de la peligrosidad del lugar ya que se ha observado en sismos anteriores que edificaciones de un tipo estructural similar sufren daños diferentes, teniendo en cuenta que se encuentran en la misma zona sísmica. En otras palabras una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar con un determinado peligro sísmico o amenaza sísmica. Es preciso resaltar que no existen metodologías estándares para estimar la vulnerabilidad de las estructuras. El resultado de los estudios de vulnerabilidad es un índice de daño que caracteriza la degradación que sufriría una estructura de una tipología estructural dada, sometida a la acción de un sismo de determinadas características”¹⁰.

La vulnerabilidad es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención y mitigación, y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado elevado. De aquí se desprende que la tarea prioritaria para definir una política preventiva es reducir la vulnerabilidad, pues no es posible enfrentarse a las fuerzas naturales con el objeto de anularlas. Por lo tanto se debe de evaluar de manera acertada la composición estructural para cada caso.

Ahora bien el desarrollo de una ciudad es acelerado, de mayor velocidad en proporción con los avances en materia de vulnerabilidad y metodologías constructivas, la norma NSR-10 dio un gran salto en su entrada en vigencia, declarando obsoletas a un gran número de edificaciones indispensables, no obstante, la legislación es consciente de que no todos los sectores pueden atender a estas exigencias y pocas de estas podían disponer de un capital, tal que pudieran demoler e iniciar una nueva obra cumpliendo con lo exigida, entonces, para darle un manejo a este contratiempo, se tiene la opción de reforzar una estructura y así disminuir la vulnerabilidad de sus ocupantes, otorgando un tiempo prudente para el cumplimiento del ciclo de tales edificaciones.

¹⁰ VIZCONDE CAMPOS, Adalberto. Tesis, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Programa Académico de Ingeniería Civil, 2004.

En nuestro caso, Fernando Peña Mondragón y Paulo B. Lourenço en su artículo Criterios para el refuerzo antisísmico de estructuras históricas, encontramos una serie de conceptos en tema de reforzamiento muy interesantes, donde los autores en su vasta experiencia, argumentan en cuales casos específicos se deben de intervenir una estructura, porque, y las técnicas disponibles para lograr excelentes resultados. En primera instancia se debe de reforzar en los casos donde se presenten las siguientes circunstancias:

“

- Aumento en la capacidad portante
- Mejoramiento en el desempeño sísmico de edificios vulnerables
- Cambio de uso
- Modificación de sistema estructural
- Daños por corrosión o ataque químico
- Incendio
- Otros

Para lo cual el autor plantea las siguientes soluciones:

- Sistema convencional de recrecimiento de elemento (por ejemplo: encamisados)
- Muros de cortante sobre y dentro de marcos existentes
- Elementos metálicos sobre y dentro de marcos existentes
- Adición de contrafuertes
- Adición de muros laterales
- Reforzamiento con estructuras metálicas
- Reforzamiento con fibras de carbono “

De acuerdo con las recomendaciones ISCARSAH de ICOMOS (2003b) un trabajo de intervención se puede dividir en cuatro aspectos principales que son:

- Adquisición de datos
- Comportamiento estructural
- Diagnóstico y seguridad
- Medidas de intervención

En donde se ilustra a manera de cuadro comparativo dos técnicas normalmente usadas, técnicas tradicionales en comparación con las modernas:

Cuadro 1. **Técnicas tradicionales de refuerzo.**

Técnica	Descripción
Conexiones locales	Esta técnica permite, de modo sencillo, dar continuidad a diversas partes de la estructura mediante el uso de diferentes dispositivos, como por ejemplo grapas.
Confinamiento de columnas y muros	El confinamiento de elementos permite incrementar su capacidad para resistir compresión, su capacidad de deformación e incrementar su rigidez. Esta técnica incrementa la capacidad del elemento, pero tiene poca influencia en la capacidad global de la estructura. El confinamiento de columnas se da principalmente con placas de acero colocadas en las zonas críticas del elemento. Mientras que el confinamiento de muros se hace, principalmente, mediante barras de acero inoxidable colocadas transversalmente.
Contrafuertes	La colocación de contrafuertes en las zonas críticas de la estructura ayuda a incrementar la capacidad lateral de la estructura. El papel que juega este tipo de elementos consiste en impedir los mecanismos de falla relacionados con las deformaciones laterales, al tomar parte de las fuerzas horizontales.
Reconstrucción local	La mampostería dañada es retirada y reemplazada por mampostería nueva que tenga propiedades mecánicas similares a la original. Esta técnica contribuye a preservar las propiedades mecánicas originales y a dar continuidad a la estructura. Esta técnica puede considerarse parcialmente reversible.
Rejunteo	Consiste en remover el mortero dañado y degradado de las juntas y sustituirlo con mortero nuevo que cumpla con las características de compatibilidad (preferentemente con mejores propiedades mecánicas) y durabilidad. Esta técnica se puede considerar como parcialmente reversible.
Substitución de elementos	Esto es la sustitución completa de un elemento estructural. Los materiales y tecnologías utilizadas deben ser similares a los originales o si se utilizan soluciones alternativas (modernas) deben de cumplir con los requisitos de diseño. El objetivo principal de esta técnica es que el elemento recupere tanto su función original como la corrección de algunos defectos. Un ejemplo típico es la sustitución de pisos y techos.
Tensores	Los tensores son barras o cables de acero que trabajan a tensión y se encuentran anclados a la estructura mediante placas u otros dispositivos. Tienen diferentes aplicaciones pero todas tienen la función de dar estabilidad o continuidad entre diferentes partes de la estructura, por lo que son usados para mejorar el comportamiento global del edificio. Esta técnica no es invasora y puede ser fácilmente removida.

Fuente: EECCP, 2006.

Cuadro 2. Técnicas modernas de refuerzo.

Tabla 2. Técnicas modernas de refuerzo (EECCP, 2006b)

Técnica	Descripción
Anclajes	El anclaje de un elemento, mediante barras o cables de acero, ayuda a mejorar la estabilidad de la estructura o impedir deformaciones excesivas.
Costuras armadas	Esta técnica se basa en la realización de oquedades en los elementos a reforzar, en donde se introducen barras de metal (acero inoxidable, titanio, etc.), las cuales son después inyectadas, generalmente con mortero. Esta técnica no es muy recomendable, debido a que es altamente invasora y no es reversible.
Encamisados de concreto	En caso de que un elemento presente altos niveles de esfuerzos de compresión, una excesiva deformación lateral o se requiera mejorar la continuidad de los elementos, se puede construir una estructura de concreto armado que recubre al elemento original. Se ha observado que para obtener un trabajo eficiente de los elementos de concreto, éstos se deben colocar a ambos lados del muro, así como que tengan una buena conexión entre ellos mediante la distribución de varios conectores. Esta técnica se recomienda principalmente para reforzar cimentaciones, ya que es altamente invasora, pues al recubrir el elemento original se pierde parte de la identidad arquitectónica del inmueble. Obviamente, esta técnica no se puede aplicar cuando el elemento contenga pinturas murales u otro tipo de adorno arquitectónico o artístico.
Inyección	El objetivo de esta técnica consiste en inyectar mortero o resinas epóxicas a través de grietas o agujeros previamente realizados, para rellenar las cavidades y vacíos al interior de los elementos tratados; así como para rellenar grietas. Esto permite mejorar las características mecánicas del material. Sin embargo, esta técnica no es reversible y debería realizarse con materiales que hayan mostrado su compatibilidad con los materiales originales, como el mortero de cal y arena. Cabe recordar que no se debe utilizar esta técnica cuando el elemento presente frescos u otro tipo de pintura mural, pues el material de inyección puede llegar a dañarlos irremediablemente.
Refuerzo externo	La aplicación de refuerzo en las caras externas de los elementos utilizando material de alto rendimiento (como son las FRP, mallas de acero, polímeros, etc.) permite incrementar su capacidad. Este refuerzo se une con el elemento original mediante resinas epóxicas, morteros o pegamentos. Para que este tipo de refuerzo tenga un buen rendimiento es necesario que la superficie en la que se aplique sea regular. Sin embargo esta técnica no es reversible y obviamente no se puede aplicar en superficies que deban ser conservadas en su forma original (pinturas murales, frescos, adornos, etc.).

Fuente: EECCP, 2006.

5.2 MARCO DE ANTECEDENTES.

5.2.1 Antecedentes nacionales.

5.2.1.1 Estimación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación indispensable mediante confiabilidad estructural.

“En el presente trabajo se resumen los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica del sistema estructural de una edificación indispensable usando las técnicas de confiabilidad estructural. El proyecto de investigación se basó en recopilación de información existente, estudios de patología, levantamiento estructural y la evaluación de amenaza sísmica local. Para evaluar la capacidad a cortante de la estructura se realizó un análisis estático no lineal de pushover de tres modelos estructurales del edificio, variando su rigidez en función de cien datos del módulo de elasticidad y las resistencias a la compresión del concreto. El primer modelo es el original sin refuerzo, el segundo es rehabilitado con diagonales concéntricas de acero y el tercero consiste en un muro en concreto reforzado”¹¹. Encontrándose como resultado de dicha investigación que:

“Para el análisis de los resultados se calificó el nivel de seguridad de las edificaciones en función del índice de confiabilidad, empleando los límites generales recomendados por varios autores los cuales definen el valor objetivo de la probabilidad de falla.

La estructura existente sin refuerzo tiene un índice de confiabilidad de 1.6, correspondiente a una probabilidad de falla anual de 0.05480, la cual representan un riesgo inminente y niveles de seguridad inadecuada. Es necesario tomar acciones urgentes considerando que es una edificación indispensable. Al reforzar la edificación mediante diagonales de acero, se tienen un índice de confiabilidad de 2.9, lo cual representan una seguridad aceptable, que implica medidas de prevención a mediano plazo. Reforzada dicha edificación mediante un muro cortina en concreto reforzado, se tienen un índice de confiabilidad de 3.6, lo que representa también una seguridad aceptable.

Teniendo en cuenta únicamente los costos de materiales, la rehabilitación con un muro de concreto es 11% mayor que la rehabilitación con diagonales de acero. Adicionalmente al tener en cuenta el costo de la cimentación, la rehabilitación con muros es 24% más costosa que la rehabilitación con diagonales”¹².

¹¹ MUÑOZ E, Edgar. RUIZ, Daniel M, PRIETO, Javier A. Ramos, Ana. Bogotá, 2006.

¹² Ibid., p. 30

5.2.1.2 Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Escuelas Públicas de Cali.

“En este trabajo se evalúa el grado de vulnerabilidad sísmica de una muestra representativa de escuelas públicas de la ciudad de Cali, cuyo estudio se consideró significativo debido a las inadecuadas condiciones que estos establecimientos presentan actualmente, a su importancia dentro de la comunidad y a los antecedentes de daños por sismo en este tipo de edificaciones, estableciendo los aspectos que influyen en su estado actual y, por lo tanto, en su vulnerabilidad sísmica, constituyéndose en una herramienta para el desarrollo de planes de prevención y mitigación de riesgos en las escuelas”¹³. Encontrándose como resultado de dicha investigación que:

“El desarrollo de un procedimiento de evaluación de la vulnerabilidad sísmica a gran escala, adecuado a las características particulares de las escuelas, permitió identificar condiciones que lo constituyen en un problema complejo. Por un lado, la existencia de varias edificaciones en un mismo establecimiento, con tipologías estructurales, aspectos constructivos y edades distintas, plantea la necesidad de formular evaluaciones distintas para cada tipología y por el otro, para obtener un estimativo total de la vulnerabilidad de la escuela, se hace necesario definir criterios para hacer una ponderación de lo que se observó en las diferentes edificaciones evaluadas. Uno de los criterios definidos en este estudio para hacer la ponderación, fue multiplicar la calificación de vulnerabilidad de cada edificación por su área en planta, en proporción con el área total construida de la escuela.

Por medio de la aplicación y validación de los dos procedimientos desarrollados se contribuyó a demostrar que, para evaluaciones cualitativas de la vulnerabilidad sísmica de un número considerable de edificaciones escolares, no se requieren ni se justifican refinamientos o análisis detallados.

El aporte de este estudio a la caracterización del problema de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali se constituye en una herramienta para emprender la Intervención de estos establecimientos, enfatizando en los aspectos identificados como los más vulnerables de sus edificaciones”¹⁴.

¹³ LLANOS LÓPEZ, Lina Fernanda y VIDAL GÓMEZ, Lina María. Santiago de Cali, 2003

¹⁴ *Ibíd.*, p 31.

5.2.1.3 Vulnerabilidad sísmica de la infraestructura escolar urbana en Girardot- Cundinamarca.

“El presente artículo exhibe un análisis de la vulnerabilidad sísmica en la estructura de 36 instituciones educativas públicas del sector urbano del municipio de Girardot – Cundinamarca. La metodología para este análisis está basada en la propuesta de Cardona y Hurtado, y en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10; permitiendo evaluar cualitativamente las estructuras. Para este análisis, se realizó una caracterización y una modelación numérica de las estructuras, logrando el cálculo de las solicitaciones sísmicas, los índices de sobreesfuerzo y flexibilidad, para establecer una estimación del nivel de vulnerabilidad de las estructuras¹⁵”. Encontrándose en la investigación que:

“Si bien desde el punto de vista cualitativo la estructura de las instituciones presenta una vulnerabilidad baja, estos resultados pueden estar generados porque en su totalidad se tratan de edificaciones de baja altura, sin masas de entrepiso que se aceleren, lo que lleva a otorgar calificaciones de buen comportamiento.

La anterior calificación contrasta con la evaluación de las estructuras seleccionadas, la cual arrojó que muchas de ellas a pesar de ser de un solo nivel tienen grandes fallas, llegando a sugerir la inviabilidad de su rehabilitación.

Una extrapolación de los resultados de la evaluación a todo el conjunto sugiere un nivel de vulnerabilidad diferente. Por lo anterior la evaluación cualitativa se le debe otorgar un margen de error y considerar su calificación con tendencia a un nivel intermedio de vulnerabilidad.

Las modelaciones numéricas de las estructuras seleccionadas muestran correspondencia con el nivel de resistencia, en comparación con una estructura nueva en cuanto a resistencia por cargas verticales y se alejan de los requisitos de flexibilidad ante cargas horizontales, influenciadas tal vez por los cambios en los requisitos de sismo resistencia realizados en las distintas versiones de la normalidad.

Por ejemplo la modelación del sismo de diseño varió drásticamente pasándose de modelar en promedio aceleraciones de 40% de la gravedad en la norma 84 hasta 87.5% de aceleración de la gravedad como es el caso de las estructuras modeladas¹⁶.

¹⁵ GOLFO MENDOZA, Aldemar. SERNA HERNÁNDEZ, Luis Fernando. Girardot-Cundinamarca, 2009

¹⁶ *Ibíd.*, p 32.

5.2.1.4 Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de experto

“En este trabajo se presenta un modelo rápido y sencillo de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería a escala regional. El modelo fue construido de forma que puede ser aplicado especialmente a zonas donde no se cuenta con información de daños sísmicos reales. El método se basa en la identificación de las características más relevantes e influyentes en el daño que sufrirá una edificación de mampostería bajo la acción de un sismo. La valoración de estas características se realizó mediante la determinación de once parámetros, a los cuales se les asignó un grado de vulnerabilidad y un valor de importancia relativa con base en la opinión de expertos”¹⁷. Encontrándose como resultado que:

“Hoy en día, la necesidad de realizar estudios de vulnerabilidad ante las diferentes amenazas a las que están sometidas las ciudades conlleva aplicar modelos propuestos en otros contextos o construir los propios. Al utilizar modelos construidos con datos de otros lugares donde las características estructurales son diferentes a las nuestras, se corre el riesgo de utilizar modelos inadecuados y, por consiguiente, obtener valores incorrectos.

En el caso de la vulnerabilidad sísmica de ciudades como Bucaramanga y Floridablanca, donde no se cuenta con registros de daños en edificaciones de mampostería, ni se dispone de datos experimentales, el modelo propuesto mostró su sencillez y viabilidad en su aplicación, por lo cual es ideal su uso en estudios a gran escala. Se espera que en la medida en que se cuente con mayor información se desarrollen otros modelos.

La metodología propuesta se fundamenta en la evaluación de los parámetros que más influyen en la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, que corresponden al sistema estructural, a la calidad del sistema resistente, a la posición de la cimentación, al tipo de suelo y pendiente del terreno, al tipo de diafragma horizontal, a la configuración en planta y elevación, a la distancia máxima entre los muros, al tipo de cubierta y al estado de conservación de la edificación.

En la construcción del modelo se contó con opiniones de expertos nacionales e internacionales de México, Chile, Perú, Venezuela y Puerto Rico, los cuales

¹⁷MALDONADO RONDÓN, Esperanza. CHIO CHO. Gustavo, GÓMEZ ARAUJO, Iván. Santander, 2007.

consideraron que los parámetros más relevantes corresponden al sistema estructural y la calidad del sistema resistente”¹⁸.

5.2.2 Antecedentes internacionales.

5.2.2.1 Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales, análisis de su contribución al riesgo sísmico.

“Este trabajo se dedica al estudio de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificaciones esenciales, orientado al análisis del sistema sanitario como paradigma de edificios y sistemas esenciales en caso de desastre. Se destaca la relevante función que las edificaciones esenciales desempeñan en la atención y gestión de la emergencia debido a sismos. Además se resalta la necesidad de crear un cuerpo de prescripciones específicas que permita adecuar las edificaciones existentes y construir las nuevas con requisitos compatibles a su nivel de importancia”¹⁹.

5.2.2.2 Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios, aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada.

“Gran parte de la presente investigación sigue una nueva filosofía de diseño que se fundamenta, principalmente, en que el desempeño sísmico de un edificio, estructura o infraestructura ante diferentes niveles del movimiento sísmico, debe cumplir con los objetivos básicos del diseño. Los niveles de desempeño o estados de daño admisibles serán claramente distintos, por ejemplo, para un hospital sometido a una acción sísmica frecuente, que para un edificio de uso esporádico u ocasional sometido a una acción sísmica que, aunque severa, es poco frecuente. Estos niveles de desempeño admisibles deben ser verificados durante el diseño. En la actualidad existen varias propuestas para la evaluación del punto de desempeño, cada una de ellas presenta ventajas y limitaciones que deben ser evaluadas, para orientar la elección del método que mejor permita predecir el comportamiento del edificio o tipo de edificios”²⁰.

¹⁸ MALDONADO. Op. cit., p. 34

¹⁹ MELONE SALVADOR, Safina. Barcelona, 2002

²⁰ BONETT DÍAZ, Ricardo León. Barcelona, 2003

5.2.2.3 Método avanzado para la evaluación de la vulnerabilidad y el Riesgo sísmico aplicado a la ciudad de Barcelona.

La evaluación determinista de la peligrosidad sísmica en términos de Intensidad macro sísmica da lugares a valores parecidos a los obtenidos por estudios anteriores. La evaluación determinista en términos de valores espectrales de aceleración ha dado lugar a estimaciones más bajas que las correspondientes al análisis probabilista para un período de retorno de 475 años. Los factores de amplificación espectral correspondientes a los distintos suelos presentes en la ciudad son comparables a los propuestos en el Euro código 8. Por otro lado no se esperan efectos inducidos, como fenómenos de licuefacción, debido a los bajos valores de las velocidades del suelo calculados, confirmado por la ausencia de registros históricos de tales fenómenos en la ciudad.

El parque de edificios de Barcelona está principalmente compuesto por edificios de mampostería y de hormigón, que constituyen un 79% y 18% respectivamente del total de edificios existentes. La evaluación de la vulnerabilidad de los edificios de vivienda ha mostrado que los edificios de mampostería son más antiguos y más vulnerables que los de hormigón. Se han generado curvas de capacidad y de fragilidad, específicas para ambas tipologías, propias de la ciudad de Barcelona.

Resumiendo, los escenarios considerados dan las estimaciones de daño siguientes:

- entre 1.500 y 6.500 víctimas mortales si el terremoto ocurre de noche.
- unos 10.000 millones de toneladas de escombros,
- alrededor de 13.000 Ms de pérdidas totales²¹

5.2.2.4 Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas.

Sin duda, los estudios de Riesgo Sísmico son un tema delicado por las graves consecuencias que realmente conllevan las catástrofes sísmicas, ya que no sólo afecta al comportamiento de las estructuras, sino que causan la pérdida de vidas humanas, la paralización de la actividad normal de la ciudad y una gran cantidad de efectos colaterales. Por tal motivo, los resultados obtenidos en este trabajo se deben analizar cuidadosamente antes de tomar cualquier decisión, para evitar que los resultados que sobrestimen el daño induzcan a considerarlos exagerados mientras que resultados que subestimen conduzcan a una falsa confianza, con las consecuentes medidas de emergencia que pueden llegar inclusiva a ser nulas²².

²¹ ROCA J, Irizarry A. N. BARBAT, Lantada A. Goula, PUJADES T. Susana, Barcelona, 2006.

²²BONETT DÍAZ, Ulises X. Barcelona, 2005

5.2.2.5 Vulnerabilidad sísmica de centros poblados, un caso de estudio: sector Pan de Azúcar, Mérida, Venezuela.

La metodología cualitativa propuesta, empleada en el presente estudio, basada en la aplicación de la Escala Macro sísmica Europea de Intensidades, representa una técnica rápida, sencilla, versátil, económica y eficiente para realizar la evaluación, a gran escala, de la vulnerabilidad sísmica potencial de centros poblados ante la eventual ocurrencia de escenarios sísmicos moderados a severos, ya que está sustentada en la aplicación de una moderna Escala Macro sísmica que, a su vez, está fundamentada sobre la base de experiencias acumuladas y documentadas, observaciones y lecciones aprendidas a partir del comportamiento de las diferentes tipologías constructivas, y los daños ocasionados sobre ellas durante la ocurrencia de eventos sísmicos de diferentes magnitudes y potenciales de daños.

Los resultados muestran que los daños que pudieran ocasionarse y/o esperarse sobre las edificaciones más numerosas de la zona de estudio, durante la ocurrencia de un evento sísmico con características moderadas a severas, y cuya tipología constructiva es altamente vulnerable, serían cuantiosos. Hecho resaltado por los elevados porcentajes obtenidos de edificaciones que colapsarían o serían seriamente dañadas durante los escenarios sísmicos más críticos. El impacto socioeconómico que esta situación representaría para una zona popular deprimida como ésta, es de pronóstico reservado, por no decir, catastrófico²³.

5.2.2.6 Metodología de modelación de escenarios de riesgo sísmico en Managua, Nicaragua.

La investigación Metodología de Modelación de Escenarios de Riesgo Sísmico en Managua, Nicaragua fue ejecutada por el proyecto REDUCCION DEL RIESGO SISMICO EN CENTROAMERICA en su fase II, bajo el auspicio del Centro de Prevención de Desastres en América Central, del cual la Universidad Nacional de Ingeniería. Dicha investigación presenta los análisis y resultados de la actualización de la amenaza sísmica, zonificación tectónica y aceleraciones espectrales esperadas de Centroamérica y en particular de Managua, Nicaragua. Se presentan formatos de recopilación de información y también algunos ejemplos de los resultados obtenidos de los datos de campo levantados directamente de las edificaciones de viviendas de un barrio de Managua, así como de una extrapolación lograda sobre la base de datos catastrales de la ciudad de Managua. A partir de una muestra de viviendas típicas se establece una clasificación o tipología por cada sistema constructivo a los cuales se les aplico el

²³ MONTILLA MORENO, Pedro José. y CASTILLO GANDICA, Argimiro. Estado Mérida-Venezuela, 2011.

Método de Análisis Estático No Lineal de Estructuras generándose un análisis de la capacidad de la estructura acorde con una demanda y por ende el punto de desempeño, el cual representa el Máximo Desplazamiento Estructural esperado para un sismo dado y así reflejar el grado de vulnerabilidad²⁴.

5.2.2.7 Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios, aplicado a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada, España.

Las nuevas tendencias en la ingeniería sísmica, reconocen la necesidad de evaluar la vulnerabilidad de los edificios en entornos urbanos. De hecho, es allí donde se concentra la mayor parte de la población mundial, las infraestructuras y los servicios. Así pues, el comportamiento de los edificios ante la ocurrencia de los sismos intensos, es el responsable de evitar verdaderas catástrofes sísmicas, como lo que hasta la fecha, continua dejando pérdidas económicas millonarias y un número inaceptable de víctimas mortales.

De lo anterior, se deduce la motivación del presente trabajo, que ha sido estructurado en tres grandes bloques. En el primero de ellos, se ha analizado los aspectos conceptuales y metodológicos relacionados con la evolución de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de edificaciones en entornos urbanos. En la segunda parte, se ha analizado detalladamente, el comportamiento sísmico esperado de los edificios porticados de hormigón armado, situados en la ciudad de Manizales (Colombia), caracterizados por una amenaza sísmica alta. El desarrollo y aplicación de métodos y técnicas avanzadas de análisis del desempeño, vulnerabilidad y fragilidad de las edificaciones, ha permitido establecer, de forma cuantitativa, la importancia que, para la minoración del riesgo sísmico, tiene el diseño y construcción sismo-resistente. La tercera parte, se ha dedicado al análisis de riesgo sísmico en la ciudad de Barcelona (España), que por hallarse situada en un entorno de amenaza sísmica entre moderada y baja, no ha incorporado en sus costumbres y hábitos constructivos, ninguna conciencia ni precaución sísmica, lo que ha resultado en una elevada vulnerabilidad y fragilidad de sus edificios y, por lo tanto, en un considerable riesgo²⁵.

5.2.2.8 Evaluación probabilística del riesgo sísmico en zonas urbanas, España.

En el artículo se desarrolla, dentro de un marco probabilista, un método para la evaluación del riesgo sísmico de los edificios existentes en una zona urbana. El

²⁴ UGARTE, Alexander. Nicaragua, Managua, 2009

²⁵ BONETT. Op. cit., p 37.

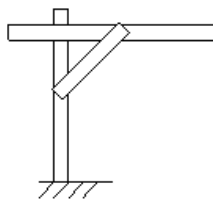
método utiliza un procedimiento de análisis del comportamiento sísmico no lineal de estructuras, métodos de muestre optimizados y modelos probabilistas, con lo cual permite determinar la probabilidad de ocurrencia de diferentes niveles de daño en las estructuras en riesgo, correspondientes a diferentes períodos de exposición. Desde un punto de vista económico, permite evaluar tasas mínimas de seguros de terremotos. El método propuesto se aplica a una zona central de la ciudad de Barcelona, España, en la cual los principales tipos de edificios son los de mampostería no reforzada y los de hormigón armado, porticados o con forjados reticulares. El método ha sido integrado en un Sistema de Información Geográfica con el objeto de desarrollar escenarios de riesgo sísmico.

Generalmente, los edificios estudiados en el distrito del ejemplo tienen una forma regular desde el punto de vista de su geometría, por lo cual el cálculo de los parámetros fue relativamente sencillo. El uso de ARC/INFO hizo posible obtener y procesar los datos necesarios para la evaluación del índice de vulnerabilidad. una vez que el índice de vulnerabilidad se evaluó, se aplicaron las funciones de vulnerabilidad obtenidas previamente para los diferentes tipos de estructuras para obtener los escenarios de daño. Los resultados filiales obtenidos para el área estudiada, fueron representados gráficamente en forma de mapas.²⁶

5.3 MARCO CONCEPTUAL

5.3.1 Conceptos principales:

ARMADURAS: “En este sistema se combinan elementos tipo cercha con elementos tipo viga o columna unidas por articulaciones”²⁷.

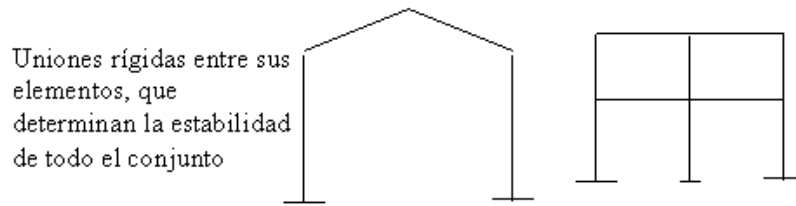


MARCOS O PÓRTICOS: “Este sistema conjuga elementos tipo viga y columna. Su estabilidad está determinada por la capacidad de soportar momentos en sus uniones. Pueden ser planos y espaciales”²⁸

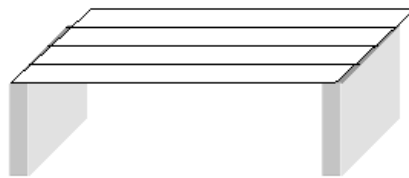
²⁶ BARBAT, Alex h. BARBAT, Ulises X. YÉPEZ, Fabricio. Cataluña, 2009

²⁷ Escuela de ingeniería de Antioquia, Op. cit., p. 38

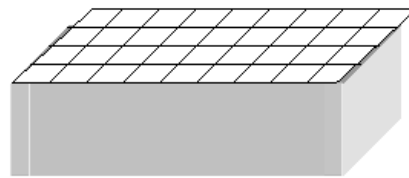
²⁸ Ibid., p. 38



SISTEMAS DE PISOS: “Consiste en una estructura plana conformada por la unión varios elementos (cáscara, viga, cercha) de tal manera que soporte cargas perpendiculares a su plano. Se clasifican por la forma en que transmiten la carga a los apoyos en bidireccionales y unidireccionales”²⁹.

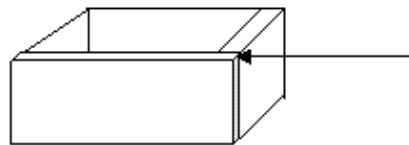


Sistema unidireccional, solo apoyo en dos extremos



Sistema bidireccional, apoyo en sus cuatro extremos

SISTEMAS DE MUROS: “Es un sistema construido por la unión de muros en direcciones perpendiculares y presenta gran rigidez lateral. Este sistema es uno de los más usados en edificaciones en zonas sísmicas”³⁰.

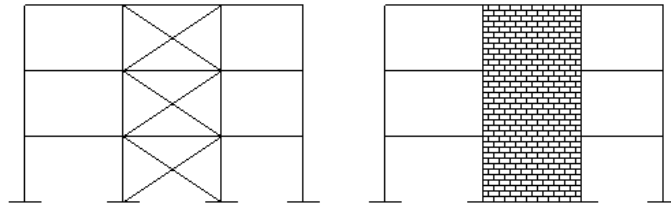


SISTEMAS COMBINADOS PARA EDIFICACIONES: “Se aprovechan las cualidades estructurales de los elementos tipo muro con las cualidades arquitectónicas de los sistemas de pórticos. Las características de rigidez lateral también se pueden lograr por medio de riostras que trabajan como elementos tipo cercha. (Ver figura)”³¹.

²⁹ Escuela de ingeniería de Antioquia, Op. cit., p. 39

³⁰ Ibid., p. 39

³¹ Ibid., p. 39



MATERIALES

“El tipo de material usado en la estructura define la resistencia, la flexibilidad, la durabilidad y muchas otras características de la estructura. Entre los materiales más comunes están el hormigón, acero, madera, piedra, unidades de arcilla cocida, plástico, etc. Como se mencionaba al principio en la definición de ingeniería estructural, el avance en el conocimiento de las propiedades de los materiales nos permite que nuestro análisis se acerque más a la realidad”³².

Es parte de nuestra labor seleccionar adecuadamente los materiales para lograr que nuestra estructura sea segura, económica y factible. Tengamos en cuenta que el seleccionar presupone un buen conocimiento de las propiedades mecánicas del material elegido.

PRINCIPIO DE SUPERPOSICIÓN

“La respuesta de una estructura debida a un numero de cargas aplicadas simultáneamente es la suma de las respuestas de las cargas individuales, aplicando por separado cada una de ellas a la estructura; siempre y cuando para todas las cargas aplicadas y para la suma total de ellas los desplazamientos y esfuerzos sean proporcionales a ellas.

Esto implica que para aplicar el principio de superposición necesitamos trabajar con materiales elásticos, que cumplan la ley de Hooke. Si la estructura a analizar cumple con estos requisitos podemos usar la teoría elástica en su estudio”³³.

³² Escuela de ingeniería de Antioquia, Op. cit., p. 40

³³ *Ibíd.*, p. 40.

5.3.2 Definición De Sismo

“denomina sismo o terremoto a las sacudidas o movimientos bruscos del terreno producidos en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra o a la tectónica de placas. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. El punto en que se origina el terremoto se llama foco o hipocentro; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 km hacia el interior terrestre. El epicentro es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del terremoto³⁴”.

5.3.3 Amenaza

Según la Corporación Autónoma Regional de Risaralda [CARDER] (2013) amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno peligroso de origen natural o antrópico en un tiempo dado y en una localidad no adaptada para afrontarlo sin traumatismos. Las amenazas se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Amenazas Naturales:** Son aquéllas que tienen su origen en la dinámica propia del Planeta Tierra.
- **Amenazas Socio - Naturales:** Son aquéllas que se expresan a través de fenómenos que parecen ser productos de la dinámica de la naturaleza, pero que en su ocurrencia o en la agudización de sus efectos interviene la acción humana.

5.3.4 Riesgo

Según la Corporación Autónoma Regional de Risaralda [CARDER] (2013) el riesgo es la probabilidad de que ocurra un desastre. Se obtiene de relacionar la amenaza, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, con la vulnerabilidad de los elementos expuestos.

Piso débil: Planta cuya rigidez lateral es inferior a la de las plantas superiores.

Torsión: Solicitación mecánica a la que se haya sometido un cuerpo cargado con 2 pares de fuerzas opuestos y situados en planos normales a su eje.

K: Rigidez de cada piso.

³⁴ Análisis sísmico de Edificios, XVI Curso Internacional de Estructuras, Quito-Ecuador, Universidad Católica de Perú, Departamento de Ingeniería, 2003.

\emptyset_a = coeficiente de reducción de la capacidad de disipación de energía causado por irregularidades en altura de la edificación. Véase A.3.3.3. De la NSR-10.

5.4 MARCO LEGAL

El marco legal que regirá la investigación está basado en la norma encargada de controlar la construcción sismo resistente en Colombia llamada Norma de Sismo Resistencia del 2010 (NSR-10).

Cuadro 3. **Normas.**

NORMA	DESCRIPCION	ALCANE
Decreto Legislativo 919 de 1989	Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres SNAPAD	Aplica al manejo de la prevención ya utilizado por otras entidades y tomar una referencia de estas.
Ley 388 de 1997 - POT	Plan de Ordenamiento Territorial el cual es el encargado del desarrollo de la ciudad.	Es de vital importancia saber cómo funciona el desarrollo de la ciudad para saber qué áreas tendrán prioridad en estos planes.
Ley 400 de 1997	Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo-Resistentes.	Establece los criterios mínimos de diseño, construcción y supervisión técnica de las construcciones.
Decreto 033 de 1998	Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-98.	Implica los requisitos mínimos de construcción de edificaciones sismo resistente.
NSR-10	Es el reglamento sismo resistente de Colombia el cual indica lo que se debe hacer en las estructuras.	Aplica a todos los chequeos pertinentes que se realizaran de las comprobaciones estructurales.
Ley 1523 de 2012	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de	El saber la política de Gestión del Riesgo y las diferentes aplicaciones de este y las formas de que estos trabajan las amenazas da importancia y acompañamiento al ejercicio

Fuente: Los autores.

6 METODOLOGÍA

6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación que se desarrolla a lo largo es de carácter descriptivo ya que el enfoque de este proyecto busca interactuar con las estructuras fundamentales del municipio de Viterbo, estudiar sus condiciones, edad de construcción, métodos constructivos, en pocas palabras, la descripción general enfocado en parámetros estructurales a la luz de la NSR-10 de estas edificaciones, siendo este el objetivo del documento y final del proyecto.

6.2 ETAPAS DEL PROYECTO

A continuación se describen las actividades y el cronograma necesarios para el desarrollo de este proyecto:

6.2.1 Etapa 1: recolección de información

Actividad 1. Información primaria: Con el fin de conocer personalmente la zona de estudio, se programan dos visitas al municipio de Viterbo para recolectar información de tipo social, económica, cultural así como inspeccionar y clasificar las estructuras que se incluirán en los estudios. En consecuencia a que muchas estructuras objeto de estudio tienen pocas décadas de existencia, se busca adquirir información aportada por la población nativa del municipio.

Actividad 2. Información secundaria: Recolección de información de segunda mano obedeciendo a la necesidad de cifras exactas, información histórica, antecedentes constructivos y antecedentes sísmicos de la región.

Visitar la biblioteca municipal, donde reposan los libros guía para la caracterización general del municipio.

Actividad 3. Visitar la secretaria de planeación del municipio de Viterbo y recolectar información técnica como lo son planos, tipología constructiva, irregularidades en planta, irregularidad en altura etc.

6.2.2 Etapa 2: Clasificación y selección de las estructuras a evaluar.

Actividad 1. Clasificación de las edificaciones fundamentales ubicadas en el municipio de Viterbo según los grupos III y IV contemplados por los numerales A.2.5.1.2 y A.2.5.1.1 de la NSR-10 respectivamente.

Actividad 2. Con base en lo especificado anteriormente seleccionar 5 edificaciones inscritas en los parámetros dados por los numerales mencionados de la NSR-10, las mismas que serán objeto de estudio.

6.2.3 Etapa 3: Medición y cuantificación estructural de las edificaciones.

Actividad 1. Visitar cada una de las edificaciones objeto de estudio y hacer las mediciones geométricas pertinentes con el fin de obtener la información suficiente para remitirse al trabajo de oficina y poder materializar gráficamente todas sus condiciones geométricas y estructurales.

Actividad 2. Con base en las mediciones realizadas dibujar los planos estructurales de las edificaciones medidas.

Actividad 3. Proceder a hacer la simulación estructural de las edificaciones por medio del software Etabs.

6.2.4 Etapa 4: Análisis de la información.

Actividad 1. Recoger la información suministrada por medio del software de los elementos estructurales de cada una de las edificaciones.

Actividad 2. Determinar a cada edificación y cada uno de sus elementos estructurales el cumplimiento o no de la Norma de Sismo Resistencia Colombiana, NSR-10.

6.2.5 Etapa 5: Elaboración y presentación de recomendaciones técnicas.

Actividad 1. Elaborar un documento que contenga algunas recomendaciones para el municipio y sus entes de control.

Actividad 2. Presentar ante el secretario de planeación del municipio de Viterbo, las recomendaciones técnicas para disminuir la vulnerabilidad de las edificaciones estudiadas.

6.2.6 Etapa 6. Elaboración y presentación del documento final.

Actividad 1. Elaborar el documento final que contenga las especificaciones técnicas tanto de la recolección de información como de su procesamiento, así como sus memorias técnicas y anexos correspondientes.

Actividad 2. Presentar ante la Universidad Libre de Pereira los resultados obtenidos de la investigación.

7 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

7.1 CLASIFICACIÓN DE LAS EDIFICACIONES INDISPENSABLES

Para el desarrollo de esta actividad se evaluaron edificaciones en conformidad con el literal A.2.5.1.2 de la NSR-10 donde se buscaron los grupos de edificaciones indispensables presentes en la zona urbana del municipio de Viterbo con el requisito de que estuviesen a cargo de entidades gubernamentales, luego se clasificaron las edificaciones pertenecientes a los grupos de salud, educación, centros sociales, centros de respuesta a emergencias y entidades del gobierno, en donde se eligió una edificación por cada uno de estos grupos como se ilustra en la siguiente imagen.

Cuadro 4. **Clasificación general de las edificaciones estudiadas.**

Instalacion	Localizacion	Año de construccion	Numero de personas	Sistema constructivo	Tipo de uso
Palacio municipal	CR 8 # 7-63	1963	70	Muros en adobe	Acaldia
I.E. La Milagrosa	Cll 11 7-42	1952	719	Porticos	Colegio
Hospital San Jose	CR 10 N° 3 - 45	1958	250	Muros en adobe	Hospital
Estacion de Bomberos	Cr 8 9-17	1954	36	Porticos	Cuerpo de bomberos
Plaza de Mercado	CR 12 # 7a-1	1978	150	Porticos	Centro de comercio

Fuente: Los autores.

7.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

Para lograr una clasificación que arrojara datos confiables y en concordancia con el tipo de estudio aquí desarrollado, se tomó la decisión de hacer uso de tres formas diferentes de recolectar información con el fin de relacionar varios aspectos relevantes involucrados durante un evento sísmico, precisamente, se acudió en primera instancia al uso de un formato de captura de datos para evaluación de estructuras desarrollado por la Red Nacional de Evaluadores, donde se recolecto información acorde a la vulnerabilidad de las edificaciones, luego se procedió a crear una tabla con los parámetros puntuales que debe de poseer una edificación indispensable indicado en la norma NSR-10 edificaciones indispensables capitulo A.2.5.1.2 y A.2.5.1.1.

Posteriormente se modelaron en un software de diseño, Etabs, las edificaciones indispensables en las cuales su método constructivo y sus materiales tienen propiedades estructurales cuantificables como lo son: la Plaza de Mercado y la estación de Bomberos, siendo estas las edificaciones que cumplieron con los mínimos requerimientos para dicha modelación.

7.2.1 Descripción de la ficha de evaluación de estructuras.

El formato de captura de datos para evaluación estructural consiste en una lista de chequeo de aspectos relevantes al momento de analizar una edificación con parámetros que indagan sobre la tipología constructiva, composición del suelo, existencia de todo tipo de diseños, entre otros aspectos importantes en la recolección de datos no invasivos o destructivos

7.2.1.1 Elementos Fichas de Caracterización

Teniendo en cuenta la existencia de dos formatos o ficha de evaluación, para el fin de este documento se hace uso del formato simplificado puesto que no hay forma de acceder a muchos de los interrogantes de la ficha completa.

Información General del Inmueble: Se digitan los datos de presentación de la edificación como los son: Nombre, Nombre del cuerpo o área, Dirección, Coordenadas, entre otros.

Sistema Estructural: Se ingresan los datos referente a al tipo de construcción usada, aquí se distribuye la edificación en dos ejes y se incorporan datos por cada eje buscando asimetrías y la vulnerabilidad presente.

Evaluación de Daños: se registran todas las afectaciones que presenta cada edificación, de todo tipo, de tal manera que se pueda argumentar la gravedad o levedad de los daños estructurales.

7.2.1.2 Ficha de evaluación de estructuras.

Figura 3. Formato de captura de datos para evaluación estructural.

Formato de captura de datos para evaluación estructural																																	
Nombre del evaluador:		<input type="checkbox"/> Ingeniero o arquitecto <input type="checkbox"/> Estudiante Ing/Arq. <input type="checkbox"/> Otro																															
INFORMACIÓN GENERAL Fecha: _____ Coordenadas: (_____ N, _____ O, _____ msnm)																																	
Nombre del inmueble:																																	
Calle y número:		Colonia:	Código postal:																														
Pueblo o ciudad:		Delegación/Municipio:	Estado:																														
Referencias: _____ (entre calles "A" y "B", un sitio notable, etc.)																																	
Persona contactada/propietario:			Teléfono: +(_____) _____																														
Uso: <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Hospital <input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Iglesia <input type="checkbox"/> Comercio <input type="checkbox"/> Reunión (cine/estadio/salón) <input type="checkbox"/> Escuela <input type="checkbox"/> Industrial (fábrica/bodega) <input type="checkbox"/> Otro: _____ <input type="checkbox"/> Desocupada	No. niveles, n = _____ No. sótanos: _____ No. ocupantes: _____ Dimensiones: Frente X = _____ m Fondo Y = _____ m	Topografía: <input type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera de cerro <input type="checkbox"/> Rivera riolago <input type="checkbox"/> Fondo de valle <input type="checkbox"/> Depósitos lacustres <input type="checkbox"/> Costa																															
SISTEMA ESTRUCTURAL																																	
La dirección X es paralela a la fachada, indicar X,Y en el croquis																																	
Dirección X <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin vigas) <input type="checkbox"/> Uso de contravientos	<input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Muros de carga de mampostería <input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma <input type="checkbox"/> Muros de adobe o bahareque <input type="checkbox"/> Muros de madera, lámina, otros	Dirección Y <input type="checkbox"/> Marcos de acero <input type="checkbox"/> Marcos de concreto <input type="checkbox"/> Columnas y losa plana (sin vigas) <input type="checkbox"/> Uso de contravientos	<input type="checkbox"/> Muros de concreto <input type="checkbox"/> Muros de carga de mampostería <input type="checkbox"/> Marcos y muros diafragma <input type="checkbox"/> Muros de adobe o bahareque <input type="checkbox"/> Muros de madera, lámina, otros																														
Muros de mampostería <input type="checkbox"/> Confinada <input type="checkbox"/> Refuerzo interior <input type="checkbox"/> Simple	<input type="checkbox"/> Bloque concreto 20x40 cm <input type="checkbox"/> Tabique arcilla (ladrillo) <input type="checkbox"/> Tabique hueco de arcilla <input type="checkbox"/> Tabicón de concreto	Sistema de piso <input type="checkbox"/> Losa maciza <input type="checkbox"/> Losa reticular <input type="checkbox"/> Vigüeta y bovedilla <input type="checkbox"/> No se sabe	Sistema de techo <input type="checkbox"/> Igual al de piso <input type="checkbox"/> Lámina <input type="checkbox"/> Teja <input type="checkbox"/> Otro: _____																														
VULNERABILIDAD Irregular en Planta <input type="checkbox"/> Asimetría por muros, cubos, cargas <input type="checkbox"/> Grandes aberturas, entrantes/salientes <input type="checkbox"/> Geometría irregular en planta "L", "T", "H"		Irregular en Elevación <input type="checkbox"/> Planta baja de doble altura <input type="checkbox"/> Muros no llegan a cimentación <input type="checkbox"/> Planta baja flexible <input type="checkbox"/> Columna corta	Cimentación <input type="checkbox"/> Zapatas aisladas <input type="checkbox"/> Zapatas corridas <input type="checkbox"/> Cimiento de piedra <input type="checkbox"/> Losa de cimentación																														
		Posición en manzana: <input type="checkbox"/> Esquina <input type="checkbox"/> Medio <input type="checkbox"/> Aislado Separación edif vecino: _____ cm																															
EVALUACIÓN DE DAÑOS																																	
Geotécnicos: <input type="checkbox"/> Grietas en el terreno <input type="checkbox"/> Hundimientos <input type="checkbox"/> Inclinación del edificio: _____ % Losas: <input type="checkbox"/> Colapso <input type="checkbox"/> Grietas máx: _____ mm <input type="checkbox"/> Flecha máx: _____ cm Conexiones: <input type="checkbox"/> Falla	<table border="1"> <tr> <td>Columnas</td> <td>Trabes</td> <td>Muro</td> <td>Concreto</td> <td>Mampost.</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Columnas	Trabes	Muro	Concreto	Mampost.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ancho máximo de grieta (mm) _____ Separación de estribos (cm) _____ Sección o espesor de muro (cm) _____	Entrepiso crítico (más débil y/o más dañado): No. de columnas (o muros) daño severo = _____ (colapso, aplastamiento, pandeo, grietas > 3 mm) Total de columnas (muros) en el entrepiso = _____ NIVEL DE DAÑO DE LA ESTRUCTURA <input type="checkbox"/> Colapso total <input type="checkbox"/> Daño severo <input type="checkbox"/> Daño medio <input type="checkbox"/> Daño ligero
Columnas	Trabes	Muro	Concreto	Mampost.																													
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																													
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																													
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																													
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																													
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																													
Otros daños: <input type="checkbox"/> Vidrios <input type="checkbox"/> Acabados <input type="checkbox"/> Plafones <input type="checkbox"/> Fachadas <input type="checkbox"/> Bardas y pretiles <input type="checkbox"/> Cubos (escalera/elevador) <input type="checkbox"/> Instalaciones																																	

Fuente: CENAPRED Red Nacional de Evaluadores

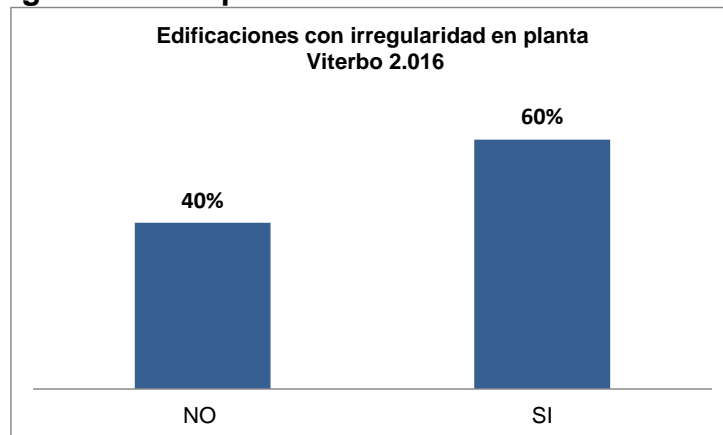
7.2.2 Interpretaciones del formato de captura.

Considerando la influencia que tiene la composición geométrica en el comportamiento estructural de las edificaciones, notándose de forma precisa, en momentos en los cuales se va a encontrar sometida a fuerzas externas,

generadas por los movimientos sísmicos, y teniendo en cuenta la naturaleza sísmica del lugar objeto de estudio, mencionada con anterioridad en el documento; en las siguientes figuras se evidencia que el 60% de las edificaciones indispensables diagnosticadas, presentan irregularidades geométricas, tanto en planta como en altura.

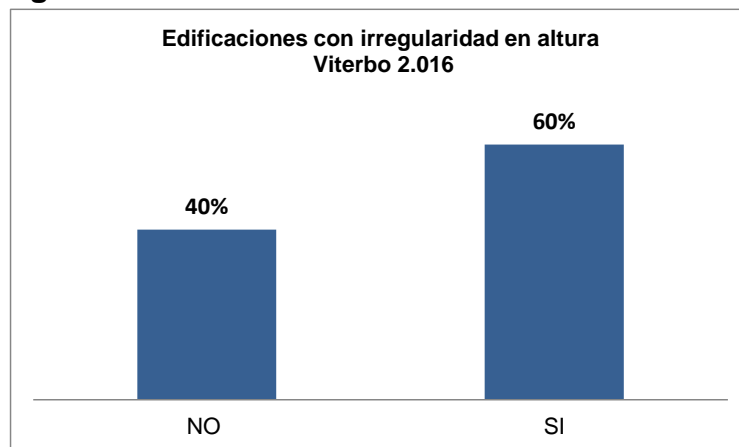
De esto se puede deducir que ante la ocurrencia de un sismo de magnitud media o alta, su riesgo de sufrir daños severos o su colapso, es elevado debido a la falta de características estructurales especiales, que tengan la capacidad de contrarrestar su inadecuada composición geométrica.

Figura 4. **Irregularidad en planta.**



Fuente: Los autores.

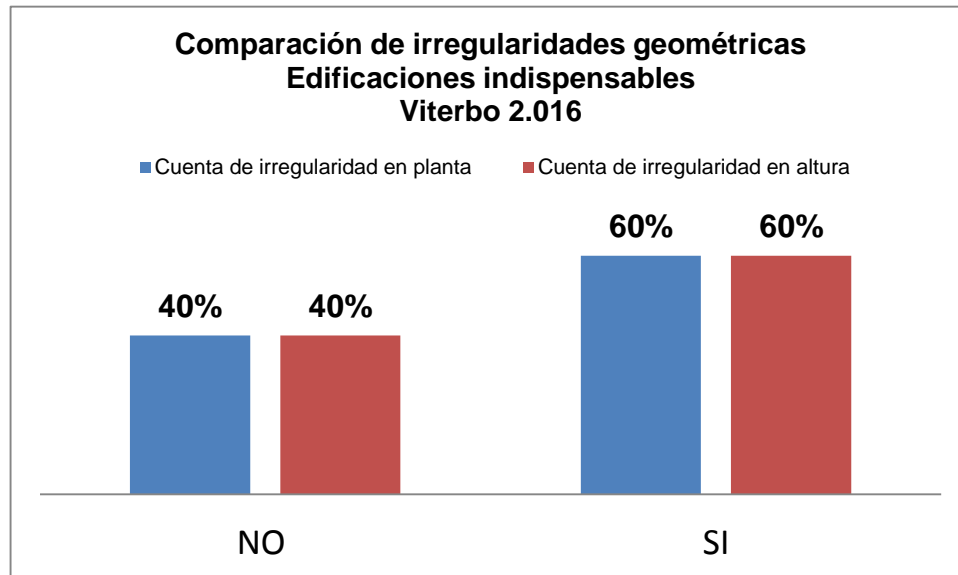
Figura 5. **Irregularidad en altura.**



Fuente: Los autores

Además de lo anteriormente mencionado, se presenta en la siguiente figura, que las mismas edificaciones que presentan irregularidad en planta, también tienen irregularidad en altura, siendo esto un agravante a su condición de vulnerabilidad.

Figura 6. **Comparación de irregularidades.**

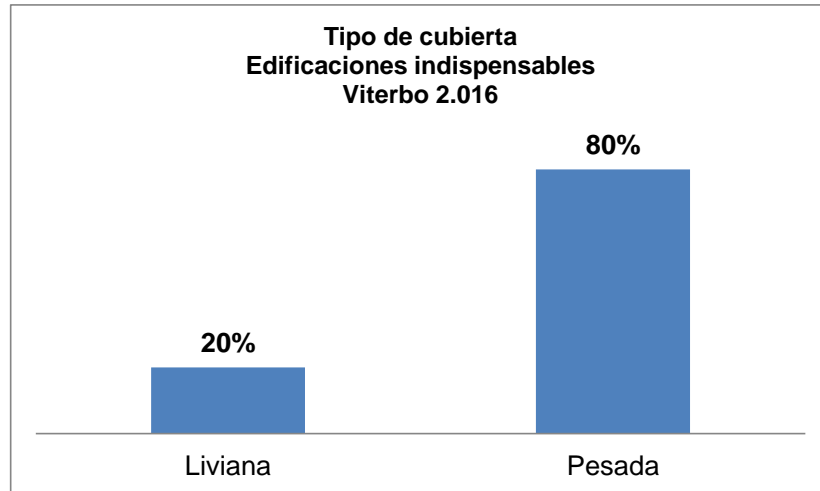


Fuente: Los autores

Entre los criterios de importancia al momento de adelantar un estudio de vulnerabilidad, es determinar el tipo de cubierta, esto como efecto de que anteriormente se disponía del uso de tejas de barro, estas generan un efecto físico negativo en una estructura por su masa, al momento de un sismo, la acumulación de grandes masas en el último nivel generan un momento y desplazamiento horizontal muy alto, además, a la acción de un desprendimiento pueden lesionar o afectar físicamente a alguna persona que se encuentre transitando la zona en la cual se presenta la caída de estos elementos.

Dicho esto, se observa en la siguiente figura que el 80% de las edificaciones estudiadas poseen cubierta de tipo pesada (Teja de barro), presentando un alto nivel de riesgo en general.

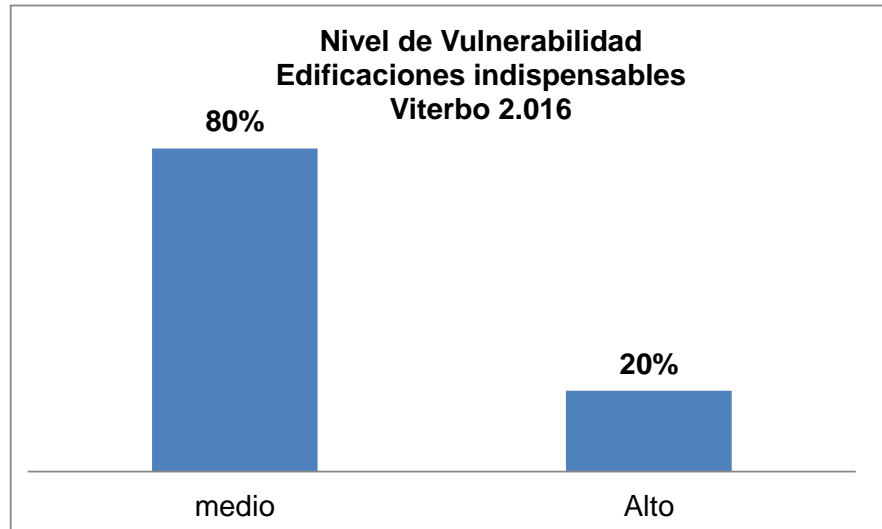
Figura 7. **Conformación de la cubierta.**



Fuente: Los autores

Para la interpretación de la siguiente grafica se puede visualizar que el total de las edificaciones eventualmente presentan una vulnerabilidad ante la ocurrencia de un sismo, pero es preciso aclarar que en proporción, la institución educativa La Milagrosa ya presenta un riesgo representado por su uso sin la ocurrencia de un sismo.

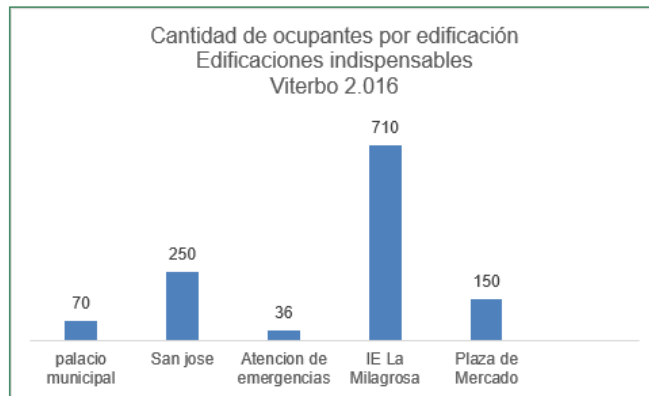
Figura 8. **Nivel de vulnerabilidad.**



Fuente: Los autores

Consecuente con la figura anterior, se resalta una preocupación en efecto de que la edificación con mayor vulnerabilidad, es la que mayor cantidad de ocupantes contiene y de resaltar es una población conformada por menores de edad.

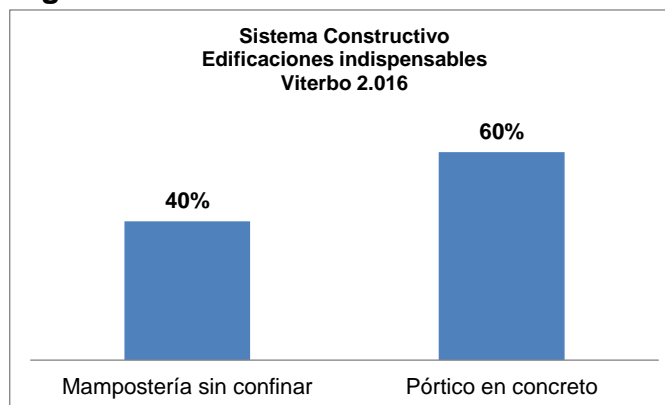
Figura 9. **Cuantificación de habitantes.**



Fuente: Los autores

La Norma Colombiana de Sismo Resistencia NSR-10, es clara al indicar que edificaciones indispensables de los grupos III y IV, en ningún caso pueden ser construidas en sistema de mampostería, ya sea confinada o sin confinar, aun así se encontró que un 40% de las estructuras diagnosticadas, presentan esta tipología constructiva, siendo como tal, un claro incumplimiento a la Norma.

Figura 10. **Tipología constructiva.**



Fuente: Los autores

Aunque en la figura anterior se muestra que el 60% de las edificaciones estudiadas presentan sistema constructivo de Pórtico en concreto, el cual según la NSR-10 es aceptable para su uso, según las modelaciones que se realizaron, y se entregan como anexo digital del documento, dichas edificaciones presentan deformaciones que sobrepasan los límites permitidos por la Norma.

7.3 INFORMACIÓN ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICA

En el Cuadro 5 se muestran las características más relevantes de las cinco edificaciones

Cuadro 5. **Detalle de planos.**

Instalacion	Planos existentes			Datos del suelos	
	Arquitectonicos	Estructurales	Hidrosanitarios	Diseño de cimentacion	Estudio de suelos.
Palacio municipal	Si	No	No	No	No
I.E. La Milagrosa	No	No	No	No	No
Hospital San Jose	Si	No	No	No	Si
Estacion de Bomberos	No	No	No	No	No
Plaza de Mercado	No	No	No	No	No

Fuente: Los autores.

7.3.1 Limitación de los resultados.

Debido a la naturaleza del estudio, se adelantó una metodología evaluativa no destructiva, en donde la recolección de datos fue acorde a la medición, visualización, uso de ferro scanner y esclerómetro, además de suponer una cimentación acorde a los métodos contractivos de cada época.

7.3.2 Inconvenientes por inexistencia de planos estructurales.

Al momento de generar la modelación de las edificaciones en un software de diseño, este solicita datos relevantes como lo son la densidad del concreto, sección de los elementos estructurales, área de refuerzo entre otros.

7.3.3 Descripción de la Actividad realizada

La NSR-10 establece los parámetros relevantes al momento analizar una estructura indispensable concebida antes de las actualizaciones de la norma.

Cuadro 6. **Métodos de análisis de vulnerabilidad según NSR-10.**

<p>A.10.5 — ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD</p> <p>A.10.5.1 — GENERAL — El análisis de vulnerabilidad sísmica de una edificación existente consiste en los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none">(a) Determinación de los índices de sobreesfuerzo individual de todos los elementos estructurales de la edificación, considerando las relaciones entre la demanda sísmica de esfuerzos y la capacidad de resistirlos,(b) Formulación de una hipótesis de secuencia de falla de la edificación con base en la línea de menor resistencia, identificando la incidencia de la falla progresiva de los elementos, iniciando con aquellos con un mayor índice de sobreesfuerzo,(c) Definición de un índice de sobreesfuerzo general de la edificación, definido con base en los resultados de (b). El inverso del índice de sobreesfuerzo general expresa la vulnerabilidad de la edificación como una fracción de la resistencia que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento, y(d) Obtención de un índice de flexibilidad general de la edificación, definido con base en el procedimiento definido en A.10.4.3.5. El inverso del índice de flexibilidad general expresa la vulnerabilidad sísmica de la edificación como una fracción de la rigidez que tendría una edificación nueva construida de acuerdo con los requisitos de la presente versión del Reglamento.
<p>A.10.5.2 — EDIFICACIONES INDISPENSABLES — En la verificación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones indispensables existentes se debe incluir, además de lo indicado en A.10.5.1, al menos los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none">(a) Identificar la influencia de los movimientos sísmicos de diseño de Capítulo A.2, y de los movimientos sísmicos correspondientes al umbral de daño del Capítulo A.12,(b) Determinar el cortante basal resistente de la edificación en su totalidad, ya sea por flexión o por esfuerzos cortantes, teniendo en cuenta los diferentes mecanismos de colapso posibles. Esta evaluación puede realizarse utilizando el procedimiento definido en el Apéndice A-3. Esta verificación puede realizarse para la distribución, en la altura de la edificación, de las fuerzas sísmicas horizontales que prescribe el método de la fuerza horizontal equivalente, Capítulo A.4, o el método del análisis dinámico, Capítulo A.5, y(c) Debe, por medio de metodologías inelásticas adecuadamente sustentadas como la presentada en el Apéndice A-3, llevar a cabo la identificación del modo de falla prevaleciente, ya sea por flexión o por cortante. El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía R' a emplear, debe ser concordante con la sustentación indicada, con la secuencia de degradación de rigidez y resistencia esperadas, y con su influencia en la vulnerabilidad sísmica de la edificación.

Fuente: NSR-10.

Para lo anterior se debe de poseer planos arquitectónicos, estructurales, de cimentación y estudios de suelos. En este caso se debió de proceder además a la recolección de información de la siguiente manera:

- recorrer presencialmente cada una de las edificaciones, recolectado los datos relevantes a la tipología constructiva en medio escrito.
- Se tomó apunte y registro fotográfico de las inconsistencias encontradas.

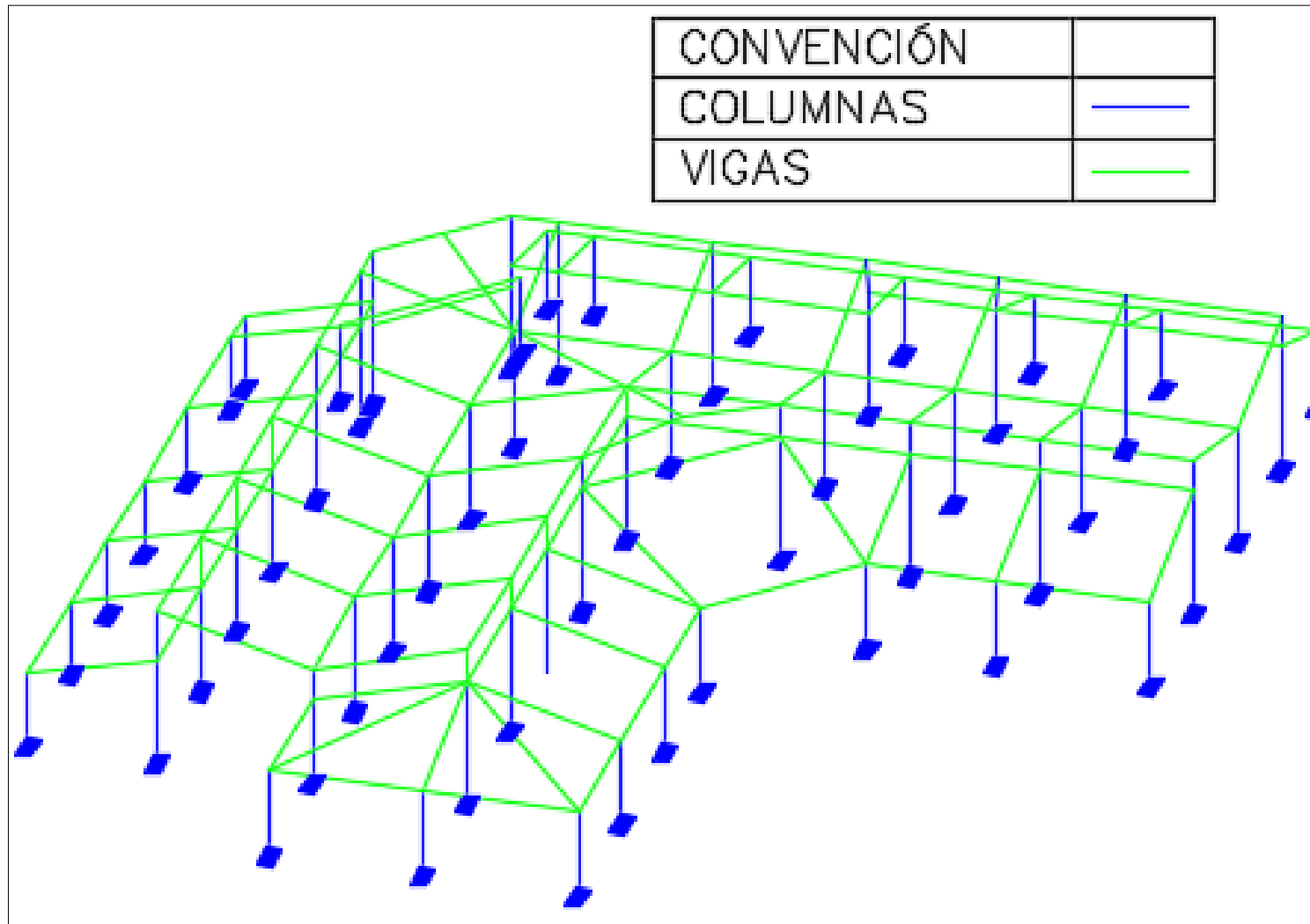
- Se incorporó esta información en un software de dibujo, en este caso AutoCAD.
- Se procede a la presentación oficial de cada plano.

7.3.4 Visualización del plano de la Plaza de Mercado

Debido a la ausencia total de planos estructurales se debió de hacer varios recorridos por las edificaciones objeto de estudio y alimentar en el software de AutoCAD con medidas y la figura de cada edificación, creando planos arquitectónicos.

A continuación se muestra el plano correspondiente a la Plaza de Mercado en una vista isométrica. El total de los planos se encuentran como anexo. (Anexo E - Planos)

Figura 11. Plano isométrico Plaza de Mercado.



Fuente: Los autores

7.3.5 Información de los planos.

En el Cuadro 7 se muestran las características más relevantes de las cinco edificaciones en conformidad con el formato de captura de datos para evaluación estructural.

Cuadro 7. características Relevantes

Instalacion	Planos estructurales	Numero de pisos	Diseñado para el uso actual	Posee refuerzo	Posee intervenciones	Presenta daños estructurales
Palacio municipal	No	2	No	No	Si	No
I.E. La Milagrosa	No	3	No	varilla lisa	Si	Si
Hospital San Jose	No	1	Si	No	No	No
Estacion de Bomberos	No	4	No	varilla lisa	No	Si
Plaza de Mercado	No	1	Si	Si	No	No

Fuente: Los autores.

7.3.6 Verificación de las condiciones estructurales.

Evaluación en cumplimiento de los requisitos de estructuras indispensables conforme NSR-10

Para este punto se genera una lista de chequeo con los literales relevantes en cada estructura en relación con el uso que desempeñan, además se muestra la clasificación del municipio de Viterbo en cuanto al grado de amenaza y las especificaciones constructivas para su clasificación.

Nota: en la tabla donde se visualiza ***, se entiende que no fue posible alimentar con datos reales el literal.

Cuadro 8. Indicador de amenaza sísmica NSR-10

Departamento de Caldas						
Municipio	Código Municipio	A _a	A _v	Zona de Amenaza Sísmica	A _e	A _d
Manizales	17001	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Aguadas	17013	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Anserma	17042	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Aranzazu	17050	0.25	0.25	Alta	0.19	0.09
Belalcázar	17088	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Chinchiná	17174	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Filadelfia	17272	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
La Dorada	17380	0.15	0.20	Intermedia	0.11	0.06
La Merced	17388	0.25	0.25	Alta	0.21	0.10
Manzanares	17433	0.20	0.20	Intermedia	0.20	0.10
Marmato	17442	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Marquetalia	17444	0.20	0.20	Intermedia	0.17	0.08
Marulanda	17446	0.20	0.25	Alta	0.18	0.09
Neira	17486	0.25	0.25	Alta	0.19	0.10
Norcasia	17495	0.15	0.20	Intermedia	0.15	0.07
Pácora	17513	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Palestina	17524	0.25	0.25	Alta	0.20	0.10
Pensilvania	17541	0.20	0.20	Intermedia	0.18	0.09
Riosucio	17614	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Risaralda	17616	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Salamina	17653	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Samaná	17662	0.20	0.20	Intermedia	0.19	0.09
San José	17665	0.25	0.30	Alta	0.20	0.10
Supía	17777	0.15	0.30	Alta	0.20	0.10
Victoria	17867	0.25	0.20	Alta	0.13	0.06
Villamaría	17873	0.25	0.25	Alta	0.18	0.09
Viterbo	17877	0.25	0.30	Alta	0.23	0.10

Fuente: NSR-10.

Cuadro 9. Criterios de construcción para muros de carga NSR-10

Tabla A.3-1 Sistema estructural de muros de carga (Nota 1)									
A. SISTEMA DE MUROS DE CARGA		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_0 (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			alta		intermedia		Baja	
				uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	Altura máx.
1. Paneles de cortante de madera	muros ligeros de madera laminada	3.0	2.5	si	6 m	si	9 m	si	12 m
2. Muros estructurales									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
b. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	4.0	2.5	no se permite		si	50 m	si	Sin límite
c. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	el mismo	2.5	2.5	no se permite		no se permite		si	50 m
d. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	el mismo	3.5	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
e. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	el mismo	2.5	2.5	si	30 m	si	50 m	si	Sin límite
f. Muros de mampostería parcialmente reforzada de bloque de perforación vertical	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	si	12 m	si	18 m
g. Muros de mampostería confinada	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	Grupo I	12 m	Grupo I	18 m
h. Muros de mampostería de cavidad reforzada	el mismo	4.0	2.5	si	45 m	si	60 m	si	Sin límite
i. Muros de mampostería no reforzada (no tiene capacidad de disipación de energía)	el mismo	1.0	2.5	no se permite		no se permite		Grupo I (Nota 3)	2 pisos
3. Pórticos con diagonales (las diagonales llevan fuerza vertical)									
a. Pórticos de acero estructural con diagonales concéntricas (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	24 m	si	30 m	si	Sin límite
b. Pórticos con diagonales de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
c. Pórticos de madera con diagonales	el mismo	2.0	2.5	si	12 m	si	15 m	si	18 m

Fuente: NSR-10.

En los siguientes cuadros se presenta la lista de chequeo de cada edificación conforme a los requisitos mínimos que exige la NSR-10 para el tipo de uso de las estructuras evaluadas.

Cuadro 10. Lista de chequeo de la NSR-10 estación de Bomberos.

Edificación	NUMERAL	REQUISITO	¿CUMPLE?
Estacion de Bomberos	A.1.3.10	Las edificaciones indispensables, pertenecientes al grupo de uso IV, tal como las define A.2.5.1.1, y las incluidas en los literales (a), (b), (c) y (d) del grupo de uso III, tal como las define A.2.5.1.2, deben diseñarse y construirse cumpliendo los requisitos presentados en el procedimiento de diseño definido en A.1.3.2 a A.1.3.8 , y además los requisitos adicionales dados en el Capítulo A.12 .	NO CUMPLE LOS REQUISITOS DE EDIFICACION INDISPENSABLE.
	A.1.3.2	Estudios geotécnicos en el sub suelo.	NO
	A.1.3.3	Diseño arquitectonico	NO
	A.1.3.4	Diseño estructural	NO
	A.1.3.5	Diseño de la cimentación	NO
	A.1.3.6	Diseño sísmico de los elementos no estructurales	NO
	A.1.3.7	Revisión de los diseños	NO
	A.1.3.8	Construcción supervisada por un ing civil	***
A.12	Requisitos especiales de diseño y verificación para edificaciones indispensables.	NO	

Fuente: Los autores.

Como se observa en la evaluación de los requisitos mínimos que exige la norma, la construcción de la estación de Bomberos no cumple lo exigido para su tipo de uso.

Cuadro 11. Lista de chequeo de la NSR-10, Plaza de Mercado.

Edificación	NUMERAL	REQUISITO	¿CUMPLE?
PLAZA DE MERCADO	A.1.3.10	Las edificaciones indispensables, pertenecientes al grupo de uso IV, tal como las define A.2.5.1.1, y las incluidas en los literales (a), (b), (c) y (d) del grupo de uso III, tal como las define A.2.5.1.2, deben diseñarse y construirse cumpliendo los requisitos presentados en el procedimiento de diseño definido en A.1.3.2 a A.1.3.8 , y además los requisitos adicionales dados en el Capítulo A.12 .	NO CUMPLE LOS REQUISITOS DE EDIFICACION INDISPENSABLE.
	A.1.3.2	Estudios geotécnicos en el sub suelo.	***
	A.1.3.3	Diseño arquitectonico	***
	A.1.3.4	Diseño estructural	***
	A.1.3.5	Diseño de la cimentación	***
	A.1.3.6	Diseño sísmico de los elementos no estructurales	***
	A.1.3.7	Revisión de los diseños	***
	A.1.3.8	Construcción supervisada por un ing civil	***
A.12	Requisitos especiales de diseño y verificación para edificaciones indispensables.	NO	

Fuente: Los autores.

Como se observa en la evaluación de los requisitos mínimos que exige la norma, la construcción para la Plaza de Mercado no cumple lo exigido para su tipo de uso, además de carecer de información de diseños para alimentar la lista de chequeo.

Cuadro 12. Lista de chequeo de la NSR-10, colegio La Milagrosa.

Edificacion	NUMERAL	REQUISITO	¿CUMPLE?
COLEGIO LA MILAGROSA	A.1.3.10	Las edificaciones indispensables, pertenecientes al grupo de uso IV, tal como las define A.2.5.1.1, y las incluidas en los literales (a), (b), (c) y (d) del grupo de uso III, tal como las define A.2.5.1.2, deben diseñarse y construirse cumpliendo los requisitos presentados en el procedimiento de diseño definido en A.1.3.2 a A.1.3.8 , y además los requisitos adicionales dados en el Capítulo A.12 .	NO CUMPLE LOS REQUISITOS DE EDIFICACION INDISPENSABLE.
	A.1.3.2	Estudios geotécnicos en el sub suelo.	NO
	A.1.3.3	Diseño arquitectonico	NO
	A.1.3.4	Diseño estructural	NO
	A.1.3.5	Diseño de la cimentación	NO
	A.1.3.6	Diseño sísmico de los elementos no estructurales	NO
	A.1.3.7	Revisión de los diseños	NO
	A.1.3.8	Construcción supervisada por un ing civil	***
A.12	Requisitos especiales de diseño y verificación para edificaciones indispensables.	NO	

Fuente: Los autores.

Como se observa en la evaluación de los requisitos mínimos que exige la norma, la construcción del colegio La Milagrosa, no cumple lo exigido para su tipo de uso como institución educativa.

Cuadro 13. Lista de chequeo de la NSR-10, Palacio Municipal.

Edificacion	NUMERAL	REQUISITO	¿CUMPLE?
PALACIO MUNICIPAL	A.1.3.10	Las edificaciones indispensables, pertenecientes al grupo de uso IV, tal como las define A.2.5.1.1, y las incluidas en los literales (a), (b), (c) y (d) del grupo de uso III, tal como las define A.2.5.1.2, deben diseñarse y construirse cumpliendo los requisitos presentados en el procedimiento de diseño definido en A.1.3.2 a A.1.3.8 , y además los requisitos adicionales dados en el Capítulo A.12 .	NO CUMPLE LOS REQUISITOS DE EDIFICACION INDISPENSABLE.
	A.1.3.2	Estudios geotécnicos en el sub suelo.	NO
	A.1.3.3	Diseño arquitectonico	NO
	A.1.3.4	Diseño estructural	NO
	A.1.3.5	Diseño de la cimentación	NO
	A.1.3.6	Diseño sísmico de los elementos no estructurales	NO
	A.1.3.7	Revisión de los diseños	NO
	A.1.3.8	Construcción supervisada por un ing civil	***
	A.12	Requisitos especiales de diseño y verificación para edificaciones indispensables.	NO
E.1.1.1.1	Construcciones en mampostería confinada o <u>bahareque encementado</u> unicamente para edificaciones de <u>tipo I (Vivienda)</u>	SI	

Fuente: Los autores.

En cuanto al cumplimiento de la norma por parte del Palacio Municipal, se tiene que además de que no cumple los requisitos mínimos, su método constructivo,

compuesto por muros de mampostería confinada, únicamente se pueden usar en edificaciones destinadas a uso como vivienda.

Cuadro 14. **Lista de chequeo de la NSR-10, Hospital San Jose.**

Edificacion	NUMERAL	REQUISITO	¿CUMPLE?
HOPITAL SAN JOSE	A.1.3.10	Las edificaciones indispensables, pertenecientes al grupo de uso IV, tal como las define A.2.5.1.1, y las incluidas en los literales (a), (b), (c) y (d) del grupo de uso III, tal como las define A.2.5.1.2, deben diseñarse y construirse cumpliendo los requisitos presentados en el procedimiento de diseño definido en A.1.3.2 a A.1.3.8 , y además los requisitos adicionales dados en el Capítulo A.12 .	NO CUMPLE LOS REQUISITOS DE EDIFICACION INDISPENSABLE.
	A.1.3.2	Estudios geotécnicos en el sub suelo.	SI
	A.1.3.3	Diseño arquitectonico	SI
	A.1.3.4	Diseño estructural	NO
	A.1.3.5	Diseño de la cimentación	NO
	A.1.3.6	Diseño sísmico de los elementos no estructurales	NO
	A.1.3.7	Revisión de los diseños	NO
	A.1.3.8	Construcción supervisada por un ing civil	***
	A.12	Requisitos especiales de diseño y verificación para edificaciones indispensables.	NO
E.1.1.1.1	Construcciones en mampostería confinada o <u>bahareque encementado</u> únicamente para edificaciones de <u>tipo I (Vivienda)</u>	SI	

Fuente: Los autores.

En cuanto al cumplimiento de la norma por parte del Hospital San José, se tiene que además de que no cumple la mayoría de los requisitos mínimos, su método constructivo, compuesto por muros de mampostería confinada, únicamente se pueden usar en edificaciones destinadas a uso como vivienda.

7.3.7 Análisis según el sistema constructivo.

Se clasificaron las edificaciones indispensables y se evaluó cada una de estas según las especificaciones y características relevantes correspondientes al sistema constructivo.

7.3.7.1 Sistema porticado.

Cuadro 15. **Chequeo Pórticos**

EDIFICACION	NIVELES	IRREGULARIDAD			SECCIONES MINIMAS	
		PLANTA	ALTURA	LOG DE LUCES	COLUMNAS 30*30	VIGAS 25*30
ESTACION DE BOMBERO	1	SI	2.6 m	7.0 m	si (30*30)cm	si (30*30)cm
	2	SI	3.5 m	7.0 m	si (30*30)cm	si (30*30)cm
	3	SI	3.0 m	7.0 m	si (30*30)cm	si (30*30)cm
PLAZA DE MERCADO	1	SI	columna corta	6.0m	SI (40*40)	si (35*30)
COLEGIO LA MILAGROSA	1	si	si	6.5m	si (35*35)cm	si (30*30)cm
	2	si	si	6.5m	si (35*35)cm	si (30*30)cm
	3	si	si	6.5m	No (25*25)cm	si (30*30)cm

Fuente: Los autores.

7.3.7.2 Sistema de muros de carga.

La verificación de las estructuras en el sistema de muros se analizara por medio del formato de recolección de datos en campo y el levantamiento de planos con lo indicado en la NSR-10 para edificaciones indispensables, donde e hace alusión en el Cuadro 16.

Cuadro 16. **Chequeo Muros Estructurales**

EDIFICACION	NIVELES	IRREGULARIDAD		LONG MIN DE MUROS	
		PLANTA	ALTURA	EJE X	EJE Y
PALACIO MUNICIPAL	1	No	No	MUROS NO ESTRUCTURALES	
	2	No	No	MUROS NO ESTRUCTURALES	
HOSPITAL SAN JOSE	1	No	No	MUROS NO ESTRUCTURALES	

Fuente: Los autores.

7.4 MODELACIÓN ESTRUCTURAL

Para la modelación estructural se tuvo en cuenta las estructuras que no presentan grados muy altos de incertidumbre respecto a los datos necesarios para dicha

modelación. En este caso, la Plaza de Mercado y la estación de Bomberos presentan condiciones óptimas para ser sometidas a esta modelación.

Se entregara como anexo el chequeo norma y la modelación estructural en medio magnético, ver Anexo C – Chequeo Norma y Modelación Estructural.

7.5 PROCEDIMIENTO DE MODELACIÓN EN ETABS.

ETABS es un sistema completamente integrado. Detrás de una interfase intuitiva y simple, se encajan poderosos métodos numéricos, procedimientos de diseño y códigos internacionales de diseño que funcionan juntos desde una base de datos, lo cual permite la incorporación de datos estructurales, para con estos, evaluar en un plano digital el correcto desempeño de una estructura en condiciones extremas, como la acción de un sismo, fuerzas de vientos, cargas propias, etc.

El uso de esta herramienta ilustra los errores de diseño, asimetrías, fallas del material utilizado, entre otros factores indispensables a la hora de diagnosticar un diseño mediante un análisis dinámico de las edificaciones, a continuación se presentan los pasos relevantes para evaluar una edificación.

- a)** Se debe crear un proyecto en el programa, en donde se incorpora las medidas respectivas a la altura, ancho y largo de la edificación.
- b)** Se alimenta el proyecto con el tipo de material presente en la estructura, para este caso se define el uso de concreto de 21 MPa
- c)** Se ubican las columnas y la sección de cada una.
- d)** Se definen las vigas con las respectivas secciones.
- e)** Se definen las áreas donde van entrepisos y las características de este.
- f)** Se asignan los diafragmas a cada piso.
- g)** Se ingresa el espectro de diseño.
- h)** Se asignan los diferentes casos de carga para el bloque.
- i)** Se definen las combinaciones de carga según las exigencias de la NSR-10.
- j)** Se asignan las cargas al entrepiso, según las disposiciones de la NSR-10 para cada tipo de edificación.
- k)** Se procede a correr el modelo de la estructura.
- l)** Por último se revisan las derivas e índice de sobre esfuerzo y en caso de no cumplir con estas características se reporta que la estructura no es apta para soportar sus cargas de servicio o fuerzas horizontales producidas por el efecto de un movimiento sísmico.

7.5.1 Resultado de las modelaciones

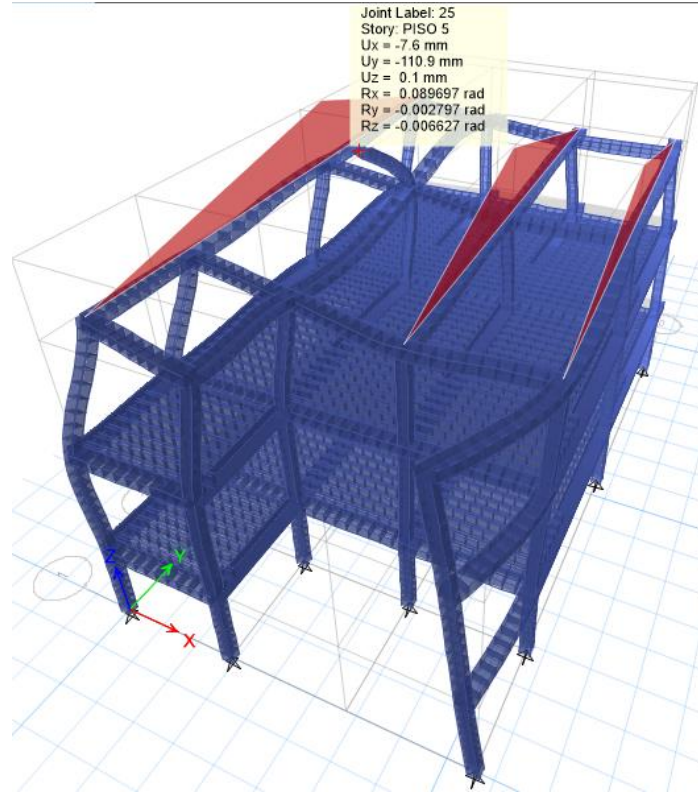
Como se ilustra a continuación, La Estación de Bomberos al tener elementos columnas que no conectan con vigas al finalizar en la parte superior, presentan deformaciones muy altas, ya que dichas columnas se comportan como elementos aislados del resto de la estructura.

Cuadro 17. Desplazamientos estación de Bomberos resultados ETABS

Joint Displacements					
Story	Label	UniqueNam	CaseCombo	UX	UY
PISO 5	26	120	DERX Max	14115126889.5781	4.44769864748388E-02
PISO 5	26	120	DCon26 Max	14115126889.4644	-0.902949081466451
PISO 5	26	120	DCon22 Max	14115126889.3507	-1.85037514940774
PISO 5	26	120	DCon18 Max	14115126889.3071	-2.15652978769106
PISO 5	24	124	DCon22 Max	45.212626375105	-2.11266839652705

Fuente: Los autores por medio de ETABS.

Figura 12. Modelo deformado de la estación de Bomberos actual.



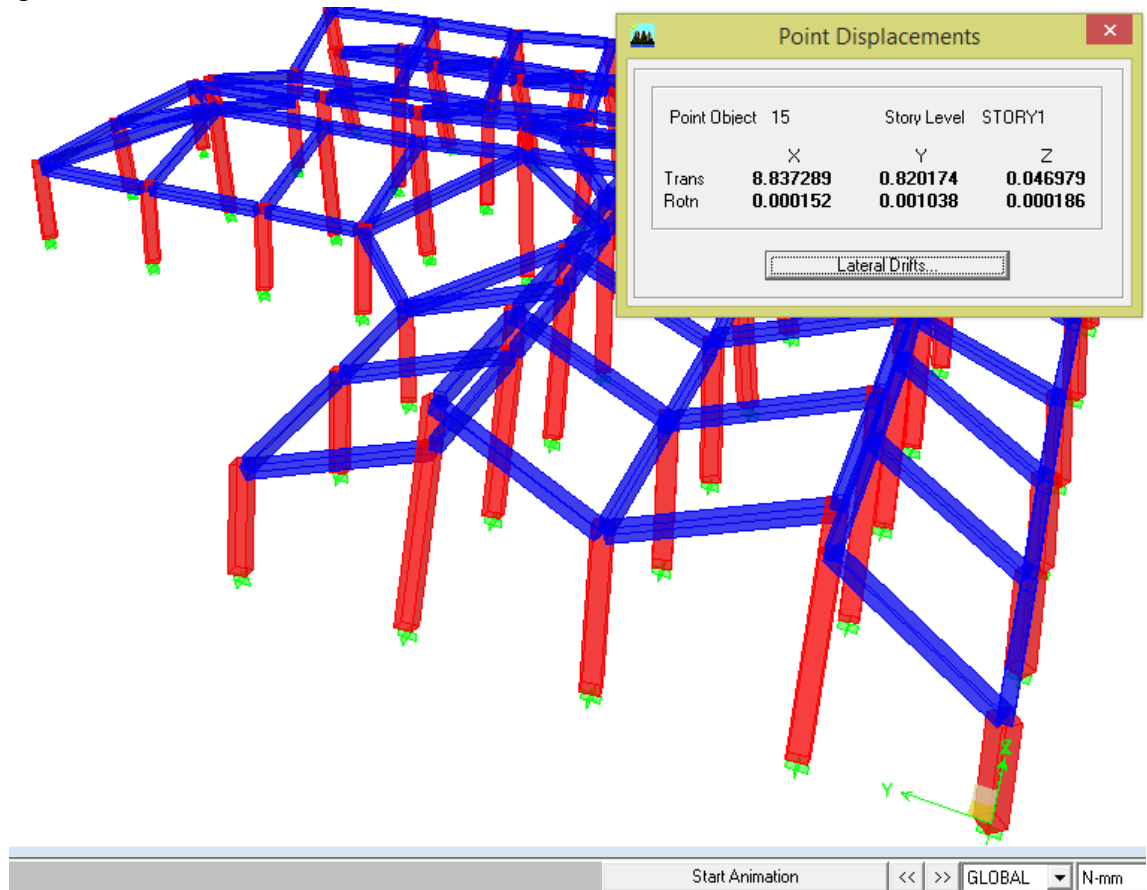
Fuente: Los autores por medio de ETABS.

Cuadro 18. Desplazamientos Plaza de Mercado resultados ETABS

Story	Label	UniqueNam	CaseCombo	UX	UY
STORY1	5	121	DERX Max	8.86158887356336	0.804024625340691
STORY1	4	122	DERX Max	8.76176629012187	1.2985594357695
STORY1	3	123	DERX Max	8.6874003939509	1.81638788365989
STORY1	62	124	DERX Max	8.67681023644913	3.32273708312555
STORY1	64	125	DERX Max	8.67529055384932	3.33710200734084
STORY1	15	119	DERX Max	8.61452251469218	0.908868129078911

Fuente: Los Autores por medio de ETABS.

Figura 13. Modelo deformado de la Plaza de Mercado



Fuente: Los autores por medio de ETABS.

Cuadro 19. **Derivas y deformaciones en las edificaciones modeladas.**

Edificación	CUMPLE CON DERIVA MAX (1% de la altura)		Deformación máx.
Estación de Bomberos	NO	Permisible 11mm	14115126889 mm
Plaza de Mercado	NO	Permisible 6.5mm	Presenta 8.86 mm

Fuente: Los autores.

Es de resaltar que en la estación de Bomberos se tienen desplazamientos horizontales exagerados debido a que sus elementos columna del último piso se encuentran completamente sin vigas o placa que den un amarre estructural, por lo tanto todas las cargas tanto verticales como horizontales que allí se apliquen se encargarán de deformar y fallar estos componentes de la edificación.

7.5.2 Diagnostico en conformidad con el total de chequeos.

Para el siguiente cuadro resumen, se tiene en consideración las anteriores tablas, además de los elemento recolectados visualmente, es decir, aunque unas secciones estructurales aparentar tener las dimensiones apropiadas, se pudo constatar en algunos sectores la composición interna de dichas secciones, donde se observó el uso de varilla lisa y agregados de canto rodado.

Indicador del nivel de amenaza:

A continuación se genera una lista de colores en donde se representa el índice de amenaza al que se está expuesta cada estructura, para la clasificación se tuvo en cuenta el total de resultados expuestos en los diferentes mecanismos de evaluación.

Cuadro 20. **Resumen Resultados Chequeo Estructuras**

Edificación	Porcentaje de Cumplimiento de la Norma				porcentaje de daños estructurales	vulnerabilidad
	Columnas	Vigas	Irregularidad	Muros		
Estación de bomberos	70	50	20		7	<i>Naranja</i>
Colegio la milagrosa	30	25	60		40	ROJO
Plaza de Mercado	100	100	30		0	<i>Naranja</i>
Palacio Municipal			0	0	0	<i>Naranja</i>
Hospital San José			10	0	0	<i>Naranja</i>

Fuente: Los autores.

Azul: Cumple a cabalidad la norma en el total de la edificación

Verde: Presenta agrietamiento superficial en algunos sectores de la edificación

Naranja: Presenta secciones en buen estado pero no cumplen con los mínimos requerimientos de la NSR-10

Magenta: Presenta sesiones no permisibles y con agrietamientos en algunos sectores

ROJO: Presenta fallas estructurales comprometedoras.

7.6 MEDIDAS PROXIMALES

Se presenta de manera individual las alternativas posibles para resolver en forma general las inconsistencias presentes en las edificaciones indispensables, con la intención de generar el cumplimiento de la NSR-10, haciendo claridad a que se requieren estudios invasivos para conocer la realidad del material estructural con el fin de definir un comportamiento más cercano a la realidad.

7.6.1 Alternativas de solución Plaza de Mercado.

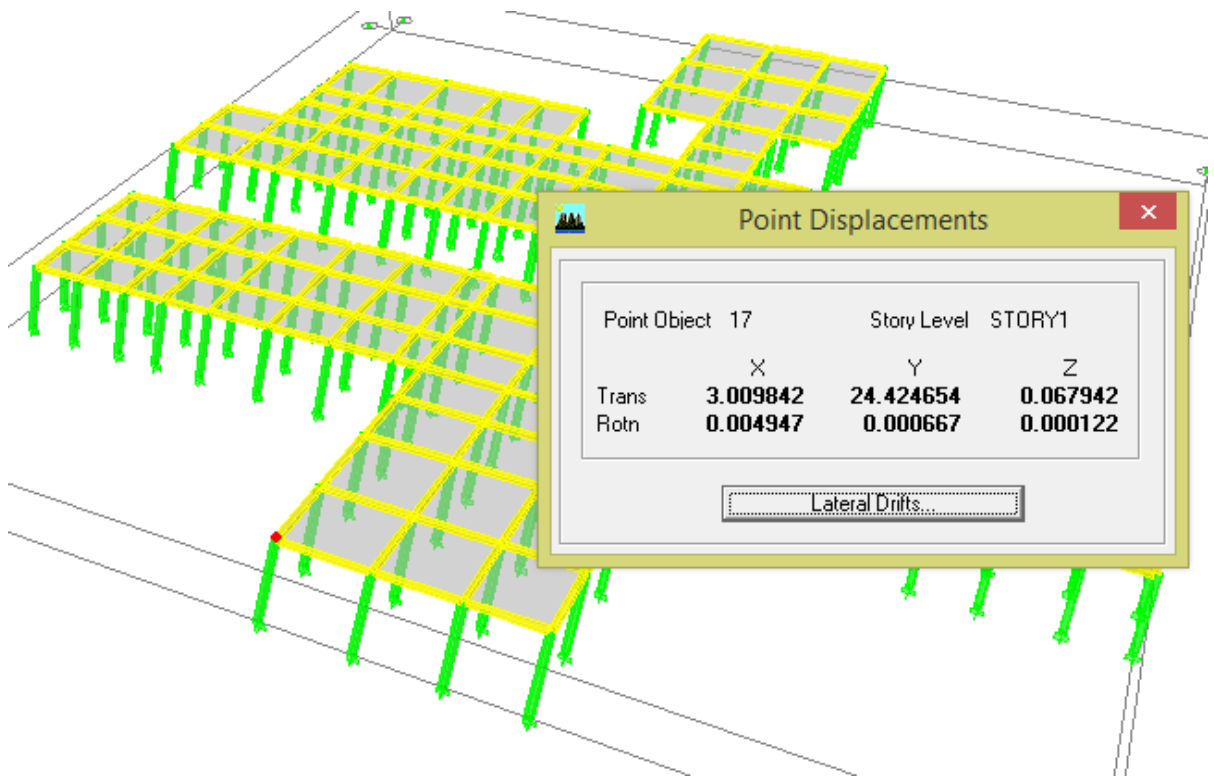
Esta edificación presento irregularidades en planta, además se evidencio una conformación inadecuada de nodos que originan un fenómeno conocido como columna corta, no obstante, el riesgo que se presenta en la edificación es poco, debido a la poca altura total y a que la sección de los elementos estructurales es admisible. En la modelación estructural mediante el software, se pudo evidenciar en poca medida, un sobrepaso en el límite de la deriva, pero no reviste gravedad gracias a que no existen edificaciones adyacentes, las cargas existentes se deben a las aportadas por la de cubierta, no contiene entrepisos ni ninguna otra

carga adicional, no presentar fallas estructurales visibles, por lo tanto no se requiere una intervención estructural.

7.6.2 Alternativas de solución Hospital San José.

El caso del Hospital San José presenta dos posibles alternativas viables para el correcto cumplimiento a la norma, en primera instancia se propone un reforzamiento estructural que incluye el levantamiento de pórticos en concreto, y en segunda instancia un arrostramiento con el uso de estructura en acero. A continuación se presenta la figura de los resultados de la modelación estructural y el presupuesto de la alternativa de reforzamiento con pórticos en concreto.

Figura 14. **Modelo estructural de la propuesta de reforzamiento del Hospital San José**



Fuente: Los autores por medio de ETABS.

Cuadro 21. Presupuesto para el reforzamiento del Hospital San José.

		PROYECTO				
		VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y SÍSMICA EN EDIFICACIONES INDISPENSABLES (GRUPOS III Y IV, NSR-10) MUNICIPIO DE VITERBO - CALDAS				
		PRESUPUESTO DE OBRA (\$2017)				
		OBRAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DEL HOSPITAL SAN JOSE				
TEM N°	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1.0		ACTIVIDADES PRELIMINARES				
1.1	ITE5001	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO DE OBRA	m2	242	\$ 2,986	\$ 722,612
2.0		DEMOLICIONES				
2.1	ITE7190	CORTE CON DISCO MURO EN MAMPOSTERÍA	m	1512	\$ 4,026	\$ 6,087,312
2.2	ITE6871	DEMOLICION DE MURO	m2	302	\$ 8,289	\$ 2,506,594
3.0		MOVIMIENTOS DE TIERRA				
3.1	ITE5608	EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMÚN Y/O CONGLOMERADO DE 0 - 2 m, INCLUYE ENTIBADO Y MANEJO DE AGUA	m3	329	\$ 24,389	\$ 8,030,810
3.2	ITE6026	LLENO COMPACTADO CON MATERIAL DEL SITIO	m3	257	\$ 26,157	\$ 6,714,607
3.3	ITE5207	CARGUE Y RETIRO MATERIAL SOBRENTE MAS ESCOMBROS	m3	133	\$ 23,680	\$ 3,150,766
4.0		OBRAS EN CONCRETO				
4.1	ITE5160	SOLADO EN CONCRETO DE f _c 17 Mpa (2.500 PSI), e=0.05 m	m3	12.8	\$ 446,914	\$ 5,720,499
	ITE5138	COLUMNA EN CONCRETO DE f _c 28 MPa (4000 psi) DE 0,40 x 0,40 m	m	756	\$ 168,959	\$ 127,733,004
	ITE6379	VIGA DE 0,20 x 0,20 m DE CONCRETO DE f _c 28 MPa (4000 psi)	m	717	\$ 52,076	\$ 37,338,492
	ITE6456	CONCRETO DE 28 MPa (4000 psi) PARA ZAPATAS DE PILARES, 1.20 m x 1.20 m, e = 0,30 m, INCLUYE REFUERZO f _y 420 MPa	Un	168	\$ 838,313	\$ 140,836,584
5.0		ACERO DE REFUERZO				
5.1	ITE107	ACERO F _y = 420 Mpa (60.000 Psi)	Kg	14515	\$ 4,401	\$ 63,881,395
6.0		OBRAS VARIAS				
		TOTAL COSTO DIRECTO				\$ 402,722,675
		A.U	38%			\$ 153,034,616
		PRESUPUESTO TOTAL				\$ 555,757,291

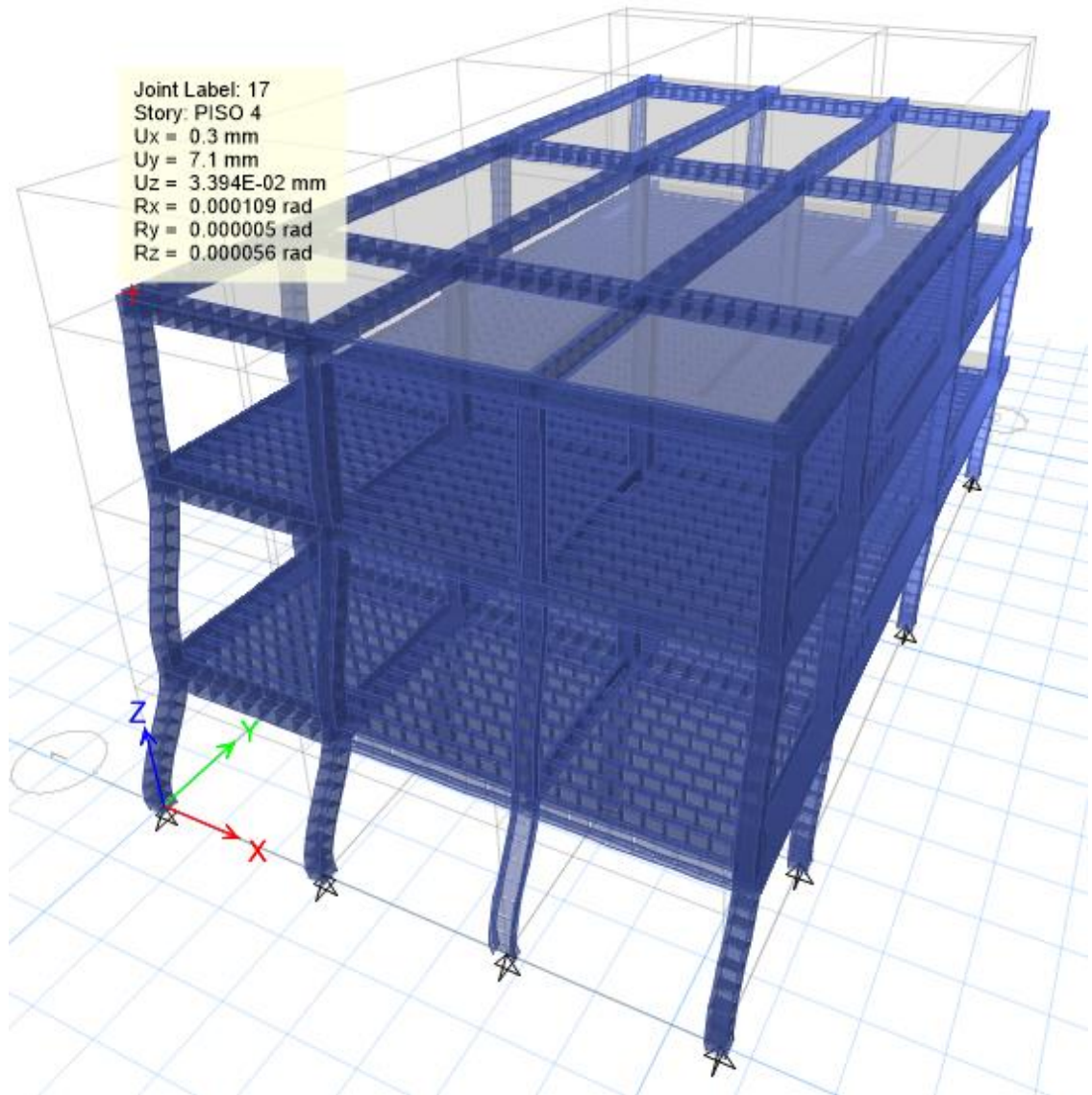
NOTA: La cantidad de acero para efectos de presupuesto, es calculada con una densidad aproximada según las estructuras en Kg de acero / m3 de concreto.

Fuente: Los autores.

7.6.3 Alternativa de solución estación de Bomberos.

Esta edificación requiere la adición de una columna y vigas que garanticen el cierre de la retícula, en el frente de la estación con la intención de recuperar la regularidad en planta, se deben demoler las columnas de cubierta que no se encuentran unidas a un diafragma, para posteriormente instalar una cubierta ligera del total del área de cubierta, como se muestra a continuación.

Figura 15. **Modelo estructural de la propuesta de reforzamiento de la Estación de Bomberos.**



Fuente: Los autores por medio de ETABS.

Cuadro 22. Presupuesto para el reforzamiento Estación de Bomberos.

						PROYECTO	
						VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y SÍSMICA EN EDIFICACIONES INDISPENSABLES (GRUPOS III Y IV, NSR-10) MUNICIPIO DE VITERBO - CALDAS	
						PRESUPUESTO DE OBRA (\$2017)	
						OBRAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA ESTACION DE BOMBEROS	
ITEM N°	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL	
1.0		ACTIVIDADES PRELIMINARES					
1.1	ITE5001	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO DE OBRA	m2	45	\$ 2,986	\$	134,370
2.0		DEMOLICIONES					
2.1	A-22	DEMOLICIÓN DE CONCRETO CON MARTILLO NEUMÁTICO	m3	0.64	\$ 251,386	\$	160,887
2.2	ITE7190	CORTE CON DISCO MURO EN MAMPOSTERÍA	m	36	\$ 4,026	\$	144,936
2.3	ITE6871	DEMOLICION DE MURO	m2	35	\$ 8,289	\$	290,115
3.0		OBRAS EN CONCRETO					
3.1	ITE7191	PEDESTAL EN CONCRETO PARA INSTALACION DE SIAMESA, DE f _c 21 MPa (3000 psi)	Un	1	\$ 483,443	\$	483,443
4.0		ACERO DE REFUERZO					
4.1	ITE7025	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO IPE 270	m2	10	\$ 204,220	\$	2,042,200
4.2	ITE7025	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO IPE 270	m2	32	\$ 204,220	\$	6,432,930
4.3	ITE6625	PLATINA TIPO 1 EN ACERO AL CARBONO e = 3/8" CON PERNOS DE ACERO CORRUGADO	Un	36	\$ 97,788	\$	3,520,368
5.0		CUBIERTA					
5.1	ITE7024	ESTRUCTURA METÁLICA DE CUBIERTA	m2	190	\$ 191,017	\$	36,293,230
5.2	ITE309	TECHO EN TEJA ONDULADA EN FIBROCEMENTO	m2	190	\$ 60,370	\$	11,470,300
						TOTAL COSTO DIRECTO	\$ 60,972,779
						A.U	38%
						PRESUPUESTO TOTAL	\$ 23,169,656
							\$ 84,142,435

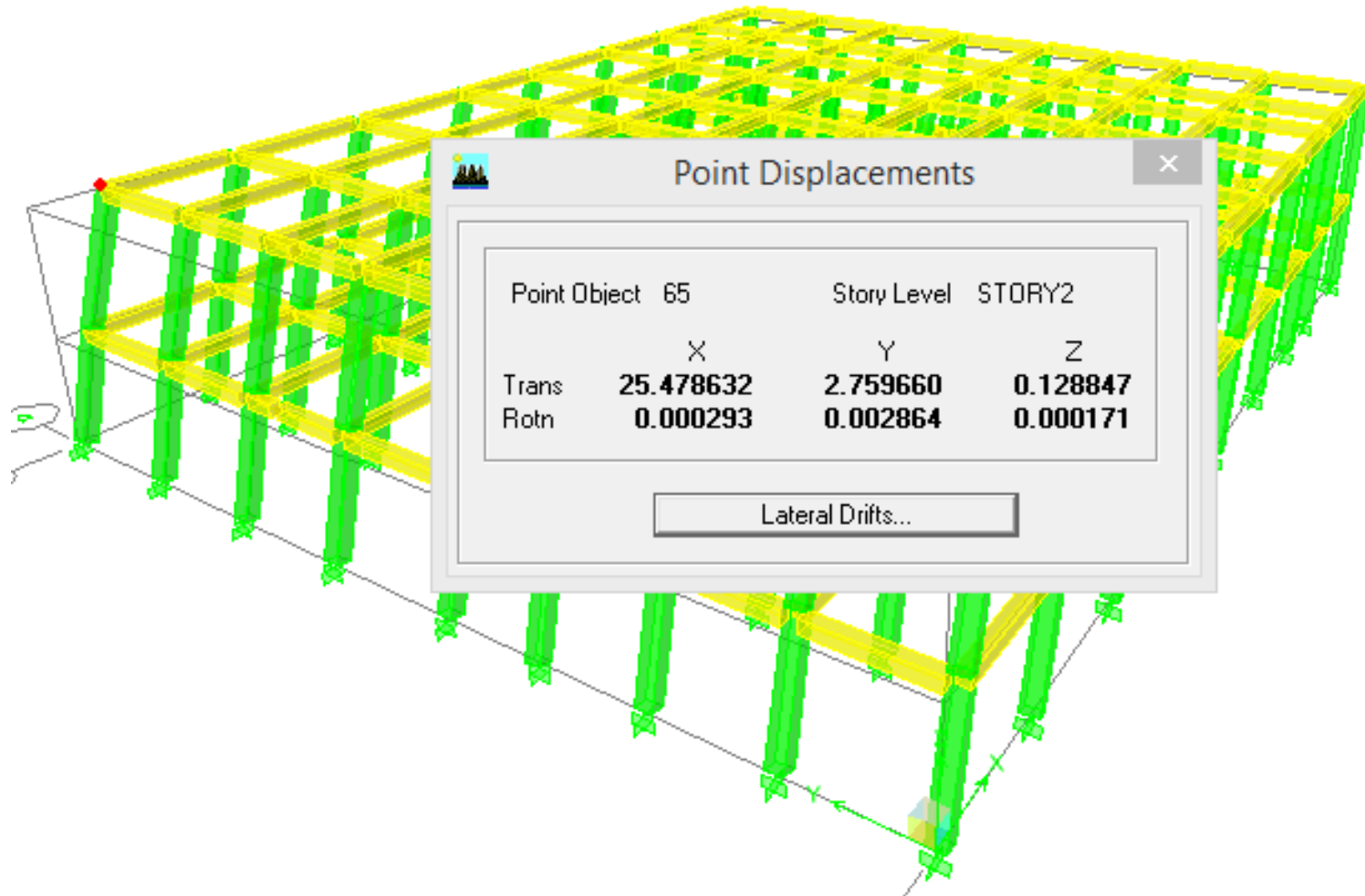
NOTA: La cantidad de acero para efectos de presupuesto, es calculada con una densidad aproximada según las estructuras en Kg de acero / m³ de concreto.

Fuente: Los autores.

7.6.4 Alternativa de solución Palacio Municipal.

El Palacio Municipal ha tenido unas pequeñas intervenciones a lo largo de la vida útil pero ninguna enfocada en la parte estructural de esta edificación, por ende, se plantea el reforzamiento estructural haciendo uso de pórticos en concreto como se muestra a continuación.

Figura 16. Modelo estructural de la propuesta de reforzamiento del Palacio Municipal.



Fuente: Los autores por medio de ETABS.

Cuadro 23. Presupuesto de reforzamiento Palacio Municipal.

		PROYECTO				
		VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y SÍSMICA EN EDIFICACIONES INDISPENSABLES (GRUPOS III Y IV, NSR-10) MUNICIPIO DE VITERBO - CALDAS				
		PRESUPUESTO DE OBRA (\$2017)				
		OBRAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL DEL PALACIO MUNICIPAL				
ITEM N°	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN	UNID	CANT	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1.0		ACTIVIDADES PRELIMINARES				
1.1	ITE5001	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO DE OBRA	m2	102	\$ 2,986	\$ 305,468
2.0		DEMOLICIONES				
2.1	ITE7190	CORTE CON DISCO MURO EN MAMPOSTERÍA	m	994	\$ 4,026	\$ 4,001,844
2.2	ITE6871	DEMOLICION DE MURO	m2	199	\$ 8,289	\$ 1,647,853
3.0		MOVIMIENTOS DE TIERRA				
3.1	ITE5608	EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMÚN Y/O CONGLOMERADO DE 0 - 2 m, INCLUYE ENTIBADO Y MANEJO DE AGUA	m3	139	\$ 24,389	\$ 3,393,973
3.2	ITE6026	LLENO COMPACTADO CON MATERIAL DEL SITIO	m3	108	\$ 26,157	\$ 2,837,721
3.3	ITE5207	CARGUE Y RETIRO MATERIAL SOBRENTE MAS ESCOMBROS	m3	70	\$ 23,680	\$ 1,667,830
4.0		OBRAS EN CONCRETO				
4.1	ITE5160	SOLADO EN CONCRETO DE f'c 17 Mpa (2.500 PSI), e=0.05 m	m3	5.4	\$ 446,914	\$ 2,413,336
	ITE5138	COLUMNA EN CONCRETO DE f'c 28 MPa (4000 psi) DE 0,40 x 0,40 m	m	497	\$ 168,959	\$ 83,972,623
	ITE6456	CONCRETO DE 28 MPa (4000 psi) PARA ZAPATAS DE PILARES, 1.20 m x 1.20 m, e = 0,30 m, INCLUYE REFUERZO fy 420 MPa	Un	71	\$ 838,313	\$ 59,520,223
5.0		ACERO DE REFUERZO				
5.1	ITE107	ACERO Fy= 420 Mpa (60.000 Psi)	Kg	9542	\$ 4,401	\$ 41,996,102
	ITE7169	PERFORACIÓN Y MORTERO PARA ANCLAJE DE VARILLA DE ACERO DE 5/8" A CONCRETO	m	142	\$ 26,420	\$ 3,751,640
6.0		OBRAS VARIAS				
6.2	ITE9835	SOPORTE PROVISIONAL PARA CONSTRUCCIÓN DE COLUMNA	Un	30	\$ 13,420	\$ 402,600
TOTAL COSTO DIRECTO						\$ 205,508,613
A.U					38%	\$ 78,093,273
PRESUPUESTO TOTAL						\$ 283,601,885

NOTA: La cantidad de acero para efectos de presupuesto, es calculada con una densidad aproximada según las estructuras en Kg de acero / m3 de concreto.

Fuente: Los autores.

7.6.5 Alternativa de solución Colegio La Milagrosa.

El caso de la Institución Educativa La Milagrosa, en su sede principal, se recomienda la construcción de una nueva instalación considerando que la edificación actual presenta sectores inconclusos, irregularidades en su composición geométrica, columnas de pasillos no estructurales, presenta fallas estructurales y asentamientos graves debido al uso. Es decir, no está diseñada para las cargas de institución educativa, la estructura lleva muchos años en uso,

sin dejar de lado que de las edificaciones estudiadas, es la que presenta mayor población vulnerable, siendo esta población casi en su totalidad menores de edad.

7.6.6 Resumen de medidas proximales

Considerando lo anteriormente relacionado, a continuación se presenta un resumen de las medidas proximales a tomar, para el cumplimiento de la norma por parte de las estructuras a las cuales fue posible lograr esto por medio de un reforzamiento y su costo aproximado

Cuadro 24. **Medidas recomendadas y costo aproximado.**

Institución Educativo	Medida Tomada	Presupuesto (\$)
Estación de Bomberos	Diseño y construcción	84`142.435
Palacio Municipal	Construir columnas y vigas	283`602.200
Hospital San José	Construir columnas y vigas	555`757.291

Fuente: Los autores.

8 CONCLUSIONES

- La tabla de categorización de amenaza sísmica de la NSR-10 referente al departamento de Caldas diagnostica el municipio de Viterbo en zona de amenaza alta y a la tabla A_3-1 de la NSR-10 se indican las características de construcción en cada zona, por tanto se evidencia que el 100% de las edificaciones construidas en sistema de muros, correspondientes al Hospital San José, el Palacio Municipal y el Colegio La Milagrosa no están cumpliendo la NSR-10.
- El 60% de las edificaciones estudiadas (Estación de Bomberos, Colegio La Milagrosa y Plaza de Mercado) cuentan tanto con irregularidad en planta como en altura, lo perjudica su adecuado comportamiento estructural.
- El 100% de las edificaciones se encuentran ausentes de planos estructurales, lo que evidencia una deficiencia en la planeación del crecimiento del municipio.
- El 80% de las edificaciones diagnosticadas tienen sistema de cubierta pesada, siendo esto representado en elevadas fuerzas horizontales en el último piso por acción de un sismo.
- El 20% de las edificaciones cuentan con una vulnerabilidad alta, sin embargo el 80% restante se consideró con vulnerabilidad media, con lo que se concluye que el total de las edificaciones estudiadas presentan vulnerabilidad en cierta medida.
- La edificación que presenta mayor índice de vulnerabilidad, que corresponde al Colegio La Milagrosa, es la que cuenta con la mayor cantidad de usuarios por m²
- La estación de Bomberos, el Palacio Municipal y el colegio La Milagrosa no fueron construidas para el uso que actualmente prestan.
- Si bien el uso del Hospital San José ha sido desde el inicio el correcto, la estructura no cuenta con las características propias de una edificación indispensable debido a las actualizaciones de la norma NSR-10.
- En el caso del colegio La Milagrosa, se evidenciaron fallas estructurales a causas relacionadas con errores en la cimentación

- La falta de presupuesto para estudios patológicos impide reconocer el nivel de amenaza y la cuantificación de la población que se encuentra en riesgo.
- A continuación se muestra las medidas recomendadas en cada edificación y el presupuesto para cada uno de estos:

9 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Secretaria de Planeación invertir en un proyecto de inversión para una nueva construcción del colegio La Milagrosa puesto que es la edificación con mayor cantidad de personas vulnerables, presenta daños estructurales importantes, no fue diseñado para un uso de institución educativa y no cumple con la rigurosidad de la NSR-10.
- Se recomienda invertir en nuevos diseños conforme a la normatividad y a uso de las edificaciones aquí analizadas y en poco tiempo ir adelantando dichas construcciones puesto que estas edificaciones no entran en los grupos de estructuras indispensables de la NSR-10
- Adelantar estudios de vulnerabilidad sísmica que abarque el total de instituciones educativas del municipio, esto debido a la gran concentración de personas en un solo recinto en condiciones de indefensión y la avanzada edad de dichas edificaciones.
- Aplicar estudio de vulnerabilidad en el total de las instituciones educativas.
- Ampliar los estudios de vulnerabilidad en el total de edificaciones indispensables
- Solicitar el cumplimiento estructural en conformidad con la norma NSR-10, de todas las edificaciones prestadoras de servicios a la comunidad por parte de particulares.

10 BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR FALCONÍ, Roberto. Análisis Sísmico de Edificios. Escuela Politécnica del Ejército Quito – Ecuador. Centro de Investigaciones Científicas. Abril del 2008. Primera Edición. XVI Curso Internacional de Estructuras, Quito – Ecuador. Universidad Católica del Perú departamento de ingeniería. Análisis Sísmico de Edificios. Octubre del 2003.

BONETT DÍAZ, Ricardo León. Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. Barcelona 17 de Octubre de 2003. Universidad Politécnica de Cataluña Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Tesis Doctoral.

BOZZO, Luis M. Y BARBAT Alex H. Diseño Sismo Resistente de Edificaciones. Barcelona – 2013. Universidad Politécnica de Cataluña. Editorial Reverte, S.A

Corporación Autónoma Regional de Risaralda (C.A.R.D.E.R.): Diagnóstico de Riesgos Ambientales Municipio de Pereira Risaralda. Risaralda 2011

DÍAZ, Gloria. Diseño Estructural en Arquitectura/1ª edición. Buenos Aires-2005. Editorial Nobuko.

EECCP (2006a), "Guidelines for the conservation of historical masonry structures in seismic areas", Improving the Seismic Resistance of Cultural Heritage Buildings. Project deliverable, EECCP-EU-India Economic Cross Cultural Program. Disponible en: <http://www.civil.uminho.pt/eu-india>. [Links]

Escuela de ingeniería de Antioquia, Estructuras.

GOLFO MENDOZA, Aldemar. SERNA HERNÁNDEZ, Luis Fernando. Vulnerabilidad sísmica de la infraestructura escolar urbana en Girardot-Cundinamarca. 11 Noviembre 2009. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Arquitectura. Artículo Científico.

IGAC, 1989, Caldas características geográficas

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. Edificio 2, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, 04510, México, DF.fpem@pumas.iingen.unam.mx

ISCARSAH. : Recomendaciones para el análisis, conservación y restauración estructural del patrimonio arquitectónico

ISISE, Departamento de Ingeniería Civil, Universidade do Minho, Azurém. P-4800-058, Guimarães, Portugal. pbl@civil.uminho.pt

LLANOS LÓPEZ, Lina Fernanda. VIDAL GÓMEZ, Lina María. Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de Escuelas Públicas de Cali: Una Propuesta Metodológica. Santiago de Cali 2003. Universidad del Valle, Escuela de Ingeniería Civil y Geomatica Facultad de Ingeniería. Tesis de Grado

MALDONADO RONDÓN, Esperanza. CHIO CHO, Gustavo. GÓMEZ ARAUJO, Iván. Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos. Junio de 2007. Universidad Industrial de Santander, Colombia. Artículo

MELONE, Safina. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. Barcelona Diciembre de 2002. Universidad Politécnica de Cataluña Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Tesis Doctoral.

MENA HERNÁNDEZ, Ulises. Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas. Barcelona Septiembre de 2005. Universidad Politécnica de Cataluña Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Tesis Doctoral

Ministerio de Ambiente y Vivienda, Decreto 033 - Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-98 - Enero 9 de 1998.

Ministerio de Ambiente y Vivienda, Decreto 034 - Por medio del cual se modifican algunas disposiciones del decreto 33 de 1998 - Enero 8 de 1999.

Ministerio de Ambiente y Vivienda, Decreto legislativo 919 - Por el cual se organiza el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres - Mayo 1 de 1989.

Ministerio de Ambiente y Vivienda, Ley 400 de 1997 - Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes - Agosto 19 de 1997.

Ministerio de Ambiente y Vivienda, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 - Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá D.C, 2010

Ministerio de Educación, Ley 115/94 - Artículo 5° párrafo 10 - Señala como uno de los fines de la Educación.

MONTILLA MORENO, Pedro José. CASTILLO GANDICA Argimiro. Vulnerabilidad sísmica de centros poblados. Un caso de estudio: sector Pan de Azúcar, Mérida. Estado Mérida-Venezuela. Marzo de 2011. Universidad de

Los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Estructuras, Mérida Venezuela. Artículo Científico

MUÑOZ, Edgar E. RUIZ, Daniel M. PRIETO, Javier A. Y RAMOS, Ana. Estimación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación indispensable mediante confiabilidad estructural. Santa Fe de Bogotá 2006. Universidad Javeriana Bogotá, Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Civil. Boletín Técnico.

OMAR MONTOYA, apuntes para la historia de Viterbo, 2010

PEÑA MONDRAGÓN, Fernando. LOURENÇO. Paulo B.: Criterios para el refuerzo antisísmico de estructuras históricas.

R.C. HIBBELER. Análisis Estructural. Octava Edición. México – 2012. PEARSON EDUCACIÓN

ROCA, J. IRIZARRY, N. LANTADA, A. BARBAT, X. GOULA, L.I. PUJADES Y T. SUSANA. Método Avanzado para la Evaluación de la Vulnerabilidad.

Universidad de Rochester/ Nueva York

Universidad Politécnica de Cataluña, Riesgo Sísmico. Aplicación a la Ciudad de Barcelona. Barcelona 18 de Julio de 2006. Tesis Doctoral.

VIZCONDE CAMPOS, Adalberto. Tesis (Ingeniero Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil, 2004