

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Vicerrectoría de Investigación	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	Documento F-AC-DBL-007	Código 08-07-2021	Fecha B
	Dependencia DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Aprobado SUBDIRECTOR ACADEMICO		Pág. 1(135)

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Libardo Augusto Trigos Ramírez		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Maestría En Construcción		
DIRECTOR	Msc. Milton Mena Serna Msc. Romel Jesús Gallardo Amaya		
TÍTULO DE LA TESIS	Metodología Para El Reforzamiento Estructural No Invasivo De Viviendas Informales Que Incumplen El Titulo E Nsr-10		
TITULO EN INGLES	Methodology For Non-Invasive Structural Reinforcement Of Informal Dwellings That Do Not Comply With Title E Nsr-10		
RESUMEN			
El siguiente proyecto consiste en el análisis de un mortero con adición de viruta de metalistería para el reforzamiento de viviendas informales mediante el refuerzo externo de mampostería con revoque reforzado, el cual es aplicado para el análisis de la vivienda tipo definida en el barrio Urbanización Transparencia 1 del Municipio de Ocaña, en donde se determina el análisis mediante la modelación estructural en SAP2000 para obtener como resultado diferentes valores de desplazamientos.			
RESUMEN EN INGLES			
The following project consists of the analysis of a mortar with the addition of metalworking shavings for the reinforcement of informal housing through the external reinforcement of masonry with reinforced plaster, which is applied for the analysis of the typical housing defined in the Urbanización Transparencia 1 neighborhood. of the Municipality of Ocaña, where the analysis is determined through structural modeling in SAP2000 to obtain different displacement values as a result.			
PALABRAS CLAVES	Reforzamiento externo, viruta, metalistería, módulo de elasticidad.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	External reinforcement, chips, metalwork, elasticity module.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 135	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 66	CD-ROM:

**Metodología para el reforzamiento estructural no invasivo de viviendas informales que
incumplen el Título E NSR-10**

Libardo Augusto Trigos Ramírez

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Maestría en Construcción

Msc. Milton Mena Serna

Msc. Romel Jesús Gallardo Amaya

16 de mayo de 2024

Índice

	Pág.
Introducción	9
Capítulo 1. Procedimiento para el reforzamiento estructural no invasivo en viviendas informales de 1 y 2 pisos que incumplen el Título E NSR-10, en la Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña Norte de Santander	10
1.1 Planteamiento del problema.....	10
1.2 Formulación del problema	13
1.3 Objetivos	14
1.3.1 General.....	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
1.4 Justificación	15
1.5 Delimitaciones	18
1.5.1 Geográficas	18
1.5.2 Temporales.....	19
1.5.3 Conceptuales	19
1.5.4 Operativa.....	19
Capítulo 2. Marco referencial	21
2.1 Marco histórico	21
2.1.1 Antecedentes	21
2.2 Marco conceptual.....	26
2.2.1 Reforzamiento estructura.....	26
2.2.2 Rehabilitación estructura	27
2.2.3 Vivienda informa	27
2.2.4 Mampostería confinada.....	27
2.2.5 Vulnerabilidad Sísmica.....	28

2.2.6 Análisis de elementos finitos	28
2.3 Marco contextual	29
2.4 Marco teórico	31
2.4.1 Análisis de condiciones existentes y vulnerabilidad estructural.....	31
2.4.2 Reforzamiento y/o rehabilitación estructural.....	36
2.5 Marco legal	39
Capítulo 3. Diseño metodológico	42
3.1 Tipo De Investigación.....	42
3.2 Seguimiento metodológico del proyecto	42
3.3 Población.....	44
3.4 Muestra	44
3.5 Técnicas de recolección de la información	44
3.6 Análisis de la información	45
Capítulo 4. Desarrollo del proyecto	46
4.1 Análisis sobre los métodos y sistemas de reforzamiento estructural convencionales y usando viruta de metalistería a través de los modelos más apropiados que cumplan con la normatividad vigente para rehabilitación estructural	46
4.1.1 Reforzamiento por recrecido de hormigón armado	47
4.1.2 Recubrimiento de mampostería con malla electrosoldada y mortero.....	50
4.1.3 Reforzamiento con geomalla	52
4.1.4 Refuerzo en encamisado con ángulos y platinas de acero	54
4.1.5 Refuerzo con fibra de carbono FRP	58
4.1.6 Parámetros normativos aplicables a la rehabilitación estructural	59
4.1.7 Análisis de los métodos de reforzamiento estructural	63
4.2 Procedimiento metodológico en la modelación estructural y procesos constructivos de la viruta de metalistería en el reforzamiento de viviendas informales mediante una lista de procesos	

cumpliendo los parámetros establecidos por la norma NSR-10, para la modelación estructural usando un software de elementos finitos.	64
4.2.1 Procedimiento para evaluar características del material compuesto	65
4.2.2 Procedimiento metodológico para la modelación estructural	73
4.2.3 Lista de procesos.....	81
4.3 Evaluar la metodología mediante modelación computacional el uso de viruta de la metalistería en concretos para el reforzamiento estructural de viviendas informales del barrio Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña.	82
4.3.1 Fuerza Horizontal Equivalente	86
4.3.2 Definición de materiales	91
4.3.3 Definición de secciones	93
4.3.4 Calculo de fuerza sísmica horizontal por piso	94
4.3.5 Analisis pushover.....	103
Conclusiones	120
Recomendaciones	122
Referencias.....	123
Apéndice	132

Listado de tablas

Pág.

Tabla 1 Seguimiento metodológico	42
Tabla 2 Análisis sobre los métodos de reforzamiento en viviendas	63
Tabla 3 Resumen de resultados de ensayos de laboratorio	71
Tabla 4 Lista de procesos para el refuerzo con viruta de metalistería	81
Tabla 5 Espectro de aceleraciones	87
Tabla 6 Reacciones de cargas gravitacionales según SAP 2000 v22	97
Tabla 7 Desplazamientos obtenidos para el nodo de control en el sentido X.....	118

Listado de figuras

	Pág.
Figura 1 Localización general del municipio de Ocaña, Norte de Santander.....	29
Figura 2 División por comunas del municipio de Ocaña Norte de Santander.....	30
Figura 3 Cargas de inercia de respuesta fuera del plano del muro sin refuerzo	31
Figura 4 Diagrama de esfuerzos momentos y curvatura por estados de la mecánica de fractura. 32	
Figura 5 Proceso General del Método ATC-21	36
Figura 6 Método de cables de acero	37
Figura 7 Método de láminas FCRP.....	37
Figura 8 Recubrimiento en concreto con malla electrosoldada	38
Figura 9 Arriostramiento externo con perfiles de acero	38
Figura 10 Recrecido de hormigón armado de forma directa sin anclajes en el elemento	48
Figura 11 Recrecido de hormigón armado de forma directa con anclajes en el elemento	49
Figura 12 Columna recrecida de Hormigón armado.....	50
Figura 13 Reforzamiento para muros con malla electrosoldada.....	52
Figura 14	53
Figura 15 Plano de falla de un muro reforzado con geomalla y un muro no reforzado	54
Figura 16 Refuerzo con encamisado en ángulos y platinas	56
Figura 17 Refuerzo con encamisado total en platinas	57
Figura 18 Sección de refuerzo de columna mediante platinas y ángulos	57
Figura 19 Refuerzo con fibra de carbono a cortante.....	59
Figura 20 Ensayos de laboratorio para la caracterización del material	65
Figura 21 Viruta de metalistería y probetas listas para ensayar.....	66
Figura 22 Muestras de concreto sin adición de viruta	68

Figura 23 Muestras de concreto con adición de 2,5 gramos de viruta.....	68
Figura 24 Muestras de concreto con adición de 5 gramos de viruta.....	69
Figura 25 Muestras de concreto con adición de 6,25 gramos de viruta.....	69
Figura 26 Muestras de concreto con adición de 7,5 gramos de viruta.....	70
Figura 27 Analisis de resultados de ensayos de laboratorio	71
Figura 28 Grafica de resistencia a los 28 días.....	72
Figura 29 Dimensiones del bloque H-10	74
Figura 30 Esquema de sección compuesta de un muro en mampostería con refuerzo externo en revoque.....	76
Figura 31 Viviendas informales de la Urbanización Transparencia 1	83
Figura 32 Geometría en planta primer nivel vivienda existente caso de estudio.....	84
Figura 33 Geometría en planta segundo nivel vivienda existente caso de estudio.....	85
Figura 34 Fachada vivienda caso de estudio.....	85
Figura 35 Espectro elástico de aceleraciones de Diseño como fracción de g.....	87
Figura 36 Espectro elástico de aceleraciones zona de estudio.....	88
Figura 37 Procedimiento para la inclusión del espectro elástico de aceleraciones.....	89
Figura 38 Espectro elástico de aceleraciones zona de estudio introducido en SAP2000 v22	90
Figura 39 Definición de materiales.....	91
Figura 40 Definición de propiedades de la mampostería compuesta	92
Figura 41 Definición de sección para muro compuesto.....	93
Figura 42 Definición de secciones vigas y columnas en SAP2000 v22	94
Figura 43 Definición de diafragmas por piso	95
Figura 44 Definición de diafragmas por piso SAP2000 v22	96

Figura 45 Definición de patrones de carga	97
Figura 46 Definición de patrones de carga para sismo en X y sismo en Y	100
Figura 47 Definición de patrones de carga para sismo en X y sismo en Y	101
Figura 48 Obtención de Cortante basal en X y en Y	102
Figura 49 Resultados de cortante basal y fuerzas sísmicas por piso.....	102
Figura 50 Definición de patrones de carga para análisis pushover.....	103
Figura 51 Asignación de cargas horizontales necesarias para el análisis pushover	104
Figura 52 Modelo con cargas horizontales asignadas.....	105
Figura 53 Procedimiento para la definición de casos de carga.....	106
Figura 54 Definición caso de carga gravitacional no lineal en sentido X	106
Figura 55 Definición de aplicación de la carga “Load Application” en CGNL X	107
Figura 56 Definición de cargas pushover para el sentido X	108
Figura 57 Definición de parámetros de control de aplicación de la carga pushover	109
Figura 58 Definición almacenamiento de datos de casos de carga.....	110
Figura 59 Asignación de rotulas plásticas en vigas	111
Figura 60 Asignación de rotulas plásticas en vigas sentido X.....	112
Figura 61 Asignación de rotulas plásticas en columnas para el sentido X	113
Figura 62 Pórtico con rotulas plásticas asignadas.....	113
Figura 63 Procedimiento para el modelado del método pushover.....	114
Figura 64 Resultado de la modelación para 3 primeros ciclos de carga con muros convencionales	115
Figura 65 Resultado de la modelación para 3 primeros ciclos de carga con muros compuestos	117
Figura 66 Grafica de desplazamientos obtenidos para el nodo de control en el sentido X	119

Introducción

La presente investigación corresponde a una metodología para el reforzamiento estructural de edificaciones, aplicado específicamente en la construcción de viviendas informales de uno y dos pisos, es decir viviendas que fueron construidas sin la supervisión de un profesional y que solo soportan cargas gravitacionales pero no hay garantía de que resista cargas sísmicas; la metodología es desarrollada en el reforzamiento estructural de viviendas informales construidas en la Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña, Departamento de Norte de Santander Colombia.

La información contenida a continuación relaciona la caracterización y estado actual de las viviendas informales construidas en la Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña Norte de Santander, en donde posteriormente se desarrolla una metodología de reforzamiento estructural teniendo en cuenta la sostenibilidad de los materiales y el costo.

**Capítulo 1. Procedimiento para el reforzamiento estructural no invasivo en viviendas
informales de 1 y 2 pisos que incumplen el Título E NSR-10, en la Urbanización
Transparencia 1 del municipio de Ocaña Norte de Santander**

1.1 Planteamiento del problema

La construcción de edificaciones y viviendas con una planta baja débil (PBD), es una problemática muy frecuente en las grandes y medianas ciudades del país, pues el control y monitoreo del sector de la construcción se vuelve un trabajo dispendioso y limitado, cuando en el desarrollo de las ciudades existen problemas relacionados con el espacio reducido y la demarcación de los límites de expansión urbana dentro de los planes de ordenamiento territorial. Según Morales D. (2018), en Colombia existe alta probabilidad de que ocurra actividad sísmica en lugar y momento determinado, ya que en el país se caracterizan zonas de alto, intermedio y bajo riesgo de sufrir las consecuencias de terremotos, en donde el 87% de la población colombiana habita en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia, lo cual genera una alta probabilidad de vulnerabilidad estructural en viviendas en donde no se tiene la seguridad de que cumplan con la norma sismorresistente NSR-10. Los efectos que se pueden presentar en edificaciones que se construyen de manera informal, se traducen en problemas de tipo estructural, según Toirac (2004) son catalogadas como patologías de tipo estructural, que especialmente en sistemas constructivos de mampostería confinada, constituyen problemas de agrietamientos, fallas y fisuras, que son causadas por las tensiones superiores a la capacidad resistente de los materiales y las cargas generadas a la estructura de las viviendas y edificaciones. Con relación a la rehabilitación estructural de viviendas informales, “en la actualidad se busca

determinar mejores metodologías de reforzamiento estructural, dónde aquellas prácticas o técnicas de construcción, permitan lograr un grado de afectación mínimo a la integridad de la edificación.” (Romero & Jiménez, 2021)

Estudios realizados por Ruiz, et al. (2020), demuestran que en ciudades como Ciudad de México, la población en general no está construyendo de manera formal y en cumplimiento de las normas sismo resistentes, lo que ha generado con el transcurrir de los eventos naturales como terremotos y sismos de pequeñas escalas, innumerables problemas estructurales en todo tipo de construcciones, pues durante el sismo del año 2017 en México, el porcentaje de colapsos y fallas estructurales en edificaciones de piso bajo débil (PBD) fue de un 35.3%, lo que se considera como un alto porcentaje por las autoridades encargadas de vigilar el sector de la construcción. Igualmente, investigaciones realizadas en el Centro Histórico de la Habana Cuba, demuestran que las principales causas de los problemas estructurales en edificaciones construidas bajo la técnica de mampostería, suele estar relacionadas con las sobrecargas a la estructura, por cambios en el uso de la edificación, intervenciones incorrectas y en general por la ausencia de mantenimiento (Pérez A., 2009). De acuerdo a la investigación realizada por Vega y Torres (2018), la construcción de viviendas con muros de mampostería no reforzada es tradicional en muchos países, en especial en Colombia en donde a causa de su baja resistencia y ductilidad, son muy vulnerables a eventos sísmicos como consecuencia de su poca capacidad de disipación de energía, lo que genera fallas que llevan incluso al colapso total. Por otra parte, según el estudio de Título “Reforzamiento estructural sismo resistente de viviendas informales en Bogotá”, realizado por Hernández P. (2013), plantea que la dificultad para llevar a cabo el reforzamiento sísmico de las viviendas informales repercute en mayor medida al riesgo a que están expuestos

sus ocupantes, ya que se presentan aspectos críticos como la dificultad en ejecución, sobre costos, falta de recursos y difícil aplicabilidad de estudios. Por consiguiente, según Escamilla y Ramírez (2011), un proyecto de rehabilitación de una edificación existente puede estar sujeta a una intervención estructural, que puede incluir reconstrucción, reforzamiento y reestructuración para garantizar el nivel de seguridad mínimo requerido por los reglamentos.

Actualmente en muchas ciudades del país, existen problemas en las construcciones que se han desarrollado de manera informal, especialmente en las que se han construido con el sistema de mampostería confinada, pues según informes presentados por el DANE (2019), dan a conocer que en el último Censo de Edificaciones (CCED) del IV trimestre del 2018; la mampostería confinada es el sistema constructivo más empleado en el país, con un 61.92% representado en un total de 9'572.101 m² de área en proceso de construcción nueva, seguido por el sistema industrializado con un 29.51% representado en un total de 4'561.478 m² de construcción nueva. (DANE, 2018). Esto quiere decir que la mampostería confinada es el sistema estructural de mayor frecuencia en la construcción colombiana y empleado principalmente para casas y proyectos de vivienda VIS, VIP y no VIS; por lo tanto, esta modalidad de construcción representa el mayor número de problemáticas relacionadas con los problemas estructurales, especialmente cuando hablamos de viviendas informales que no cumplen los requerimientos normativos vigentes en materia de construcción. Esta situación no es la excepción para el municipio de Ocaña y la provincia, pues se evidencia que a lo largo del territorio urbano de Ocaña la construcción de edificaciones y viviendas de manera informal es muy común. Según el boletín técnico de Licencias de Construcción (ELIC) del año 2020, se reporta que, para diciembre de 2020, la aprobación de licencias de construcción para uso habitacional y de vivienda en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, llegaba alrededor de

los 32.080 metros cuadrados, sin embargo, el crecimiento de la expansión urbana para el año en mención, supero los 65.855 metros cuadrados. (DANE, 2021).

La problemática central de la presente investigación corresponde a la construcción informal de viviendas que se ha venido presentando en algunos barrios y sectores del municipio de Ocaña, en especial en aquellos que conforman la periferia del casco urbano, en donde se realizan construcciones de viviendas de 1 y 2 pisos sin ninguna supervisión de un profesional responsable, poniendo en riesgo la integridad de las familias, ya que no existen garantías de prácticas constructivas que cumplan con lo establecido en el titulo E de la Norma NSR-10, como lo es el caso de la Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña, en donde se registra la construcción de viviendas de interés social de un solo nivel, como parte del proyecto del Alcalde Municipal Yebrail Haddad Linero durante el periodo 2008-2011, de las cuales para algunas viviendas las familias decidieron construir un segundo piso, sin tener en cuenta las condiciones existentes ya que son viviendas diseñadas para un solo nivel, motivo es necesario realizar un estudio para el reforzamiento estructural de viviendas que quieran construir un segundo nivel teniendo en cuenta criterios de sostenibilidad y bajo costo.

1.2 Formulación del problema

¿Cuáles son las técnicas y procedimientos para la rehabilitación estructural que tienen en cuenta criterios de sostenibilidad, en edificaciones de mampostería confinada que han sido construidas de manera informal, incumpliendo la norma colombiana NSR-10, en el municipio de Ocaña Norte de Santander?

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar una metodología de reforzamiento no invasivo utilizando mortero con viruta de metalistería para mampostería, en viviendas que no cumplen el Título E de la NSR-10.

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar un análisis sobre los métodos y sistemas de reforzamiento estructural convencionales y usando viruta de metalistería a través de los modelos más apropiados que cumplan con la normatividad vigente para rehabilitación estructural.

Desarrollar el procedimiento metodológico en la modelación estructural y procesos constructivos de la viruta de metalistería en el reforzamiento de viviendas informales mediante una lista de procesos cumpliendo los parámetros establecidos por la norma NSR-10, para la modelación estructural usando un software de elementos finitos.

Evaluar la metodología mediante modelación computacional el uso de viruta de la metalistería en concretos para el reforzamiento estructural de viviendas informales del barrio Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña.

1.4 Justificación

En primer lugar, se ha elegido la temática “Rehabilitación estructural no invasiva de vivienda informal que incumple la norma NSR-10” por el constante y exponencial crecimiento de la construcción informal en el país, pues como se ha mencionado anteriormente, los informes técnicos publicados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) reportan que para el periodo comprendido entre marzo del 2020 y marzo de 2021, en materia de licenciamiento de construcción para vivienda unifamiliar y multifamiliar, se aprobaron alrededor de 1.536.405 m², lo que significó un crecimiento en 728.716 m² frente al mismo mes del año 2020, representado en un porcentaje del 73.8% en referencia al periodo anterior. Investigadores del sector constructivo Escamilla y Ramírez (2011), argumentan que las malas prácticas de construcción, y los erróneos sistemas estructurales en edificaciones de 1 y 2 pisos, representa las mayores pérdidas económicas y pérdidas en vidas humanas cuando se presentan sismos de mediana y alta categoría, pues generan problemas estructurales tan graves que las unidades de vivienda no son habitables, generando el abandono total y la demolición de la construcción, representando una pérdida significativa del patrimonio familiar de la población afectada; es necesario aclarar que este tipo de inconvenientes afecta principalmente, a estratos bajos y poblaciones vulnerables, pues no cuentan con una cultura por el cumplimiento de la normatividad y la prevención de desastres. Si bien es cierto, aunque se evidencia un crecimiento significativo de la construcción formal en Colombia, aún existe un crecimiento acelerado de la construcción informal, pues las ofertas de suelo y de vivienda VIS y VIP. El crecimiento demográfico acelerado y la constante migración de la población rural a las ciudades, ha significado el aumento del déficit de vivienda en las principales ciudades del país, siendo la alternativa de los asentamientos humanos ilegales y la construcción informal la manera más

óptima de asegurar para las poblaciones más vulnerables el derecho a una vivienda. (Gómez & Serna, 2016). Este crecimiento de la vivienda informal se ha constituido en una constante de riesgo social, ambiental y civil, pues estas viviendas no cuentan con los diseños, materiales y cálculos necesarios para garantizar la seguridad estructural y constructiva de los sistemas de vivienda en el siglo XXI. Como ya es conocido, el gobierno colombiano a través de las diversas políticas públicas y el ajuste del sistema normativo a los condicionamientos internacionales en los temas relacionados con el sector de la construcción y la sostenibilidad ambiental, a reglamentado el sector constructivo en relación a la sismo resistencia a través de la norma “Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente” del cual se establecen los requerimientos mínimos para la construcción de edificaciones en Colombia. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010)

Aunque actualmente existen múltiples conjuntos de sistemas y métodos que contribuyen a la solución de esta problemática, estos sistemas están fundamentados en el uso de materiales tradicionales de la construcción, así como de altos costos en la mano de obra para la fabricación e instalación de los reforzamientos estructurales en viviendas construidas con sistemas de mampostería confinada, lo que en muchas ocasiones genera el abandono o demolición de las edificaciones. Según la investigación realizada por Carrillo y Alcocer (2012), el desempeño sísmico de viviendas de baja altura ha sido notoriamente deficiente durante los últimos sismos ocurridos en países latinoamericanos y los métodos constructivos no contribuyen a la construcción de viviendas sostenibles, ya que una vivienda sostenible tiene como objetivo reducir las emisiones del dióxido de carbono y el uso del agua, por lo cual se destaca la necesidad de desarrollar técnicas de construcción integrales que garanticen la seguridad estructural y un desarrollo urbano sostenible. Por otra parte, según González et al. (2017), en su

estudio para el reforzamiento estructural con materiales compuestos, realiza un análisis utilizando fibra de carbono y resina epóxica para la adherencia entre la fibra de carbono y el concreto, en donde a pesar del grado de contaminación que genera la fabricación del producto, concluye que es una alternativa sustentable, ya que en comparación con otros materiales como el recrecido en concreto, requiere de menor consumo de energía y menor coste global de ejecución y mantenimiento, el reducido volumen de material y de residuos que se producen, unidos a la alta reciclabilidad de los productos, sitúan al refuerzo con fibra de carbono entre los más sustentables. Con relación al uso de nuevas tecnologías para la rehabilitación estructural, cabe resaltar la investigación realizada por Martínez M. (2016), en donde habla sobre las distintas tecnologías y tipos de refuerzo, entre ellos el uso de sistemas de refuerzo mediante materiales poliméricos reforzados con láminas continuas de fibra, FRP (Fiber Reinforced Polymer). Este método ha ganado popularidad debido a la favorable relación capacidad/peso que posee y a la casi nula intervención arquitectónica que conlleva, con respecto a los métodos tradicionales. Estas fibras generalmente corresponden a fibras inorgánicas, como vidrio, carbono, u otros materiales. No obstante, las resinas poliméricas, utilizadas como matriz en este tipo de refuerzos, presentan limitaciones, tales como su mal comportamiento ante altas temperaturas, baja resistencia al fuego e inaplicabilidad en presencia de humedades altas.

De acuerdo a lo anterior, es importante resaltar que el incremento en los costos de construcción e instalación de los sistemas de reforzamiento, así como de los materiales, imposibilita a las poblaciones de escasos recursos y vulnerables a implementar este tipo de correcciones estructurales a sus viviendas, prefiriendo habitar las unidades de vivienda con estos problemas, aumentando los riesgos por posible colapso, generando pérdidas humanas y económicas. Vale la pena mencionar que en muchos de los casos cuando las entidades

territoriales identifican este tipo de falles estructurales, obligan a la población civil, para que abandonen sus unidades de viviendas, llevándolos a albergues temporales y pidiendo el derecho a una vivienda digna. Según la Ley 388 de 1997, las entidades territoriales están facultadas y tienen la obligación de vigilar y controlar los incrementos informales en temas de vivienda y hábitat en los municipios, por lo cual también están facultados por la normatividad colombiana, para garantizar la seguridad ciudadana en los casos que se presentan riesgos por fallas geológicas, construcción en zonas de riesgo ambiental, pendientes no permitidas entre muchas otras restricciones.

La presente investigación tiene como finalidad, brindar una alternativa para la rehabilitación estructural de viviendas informales que fueron construidas sin la supervisión de un profesional responsable, en el municipio de Ocaña Norte de Santander, tomando como caso de estudio las viviendas informales de la Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña, en donde además se busca implementar prácticas de sostenibilidad en la construcción de acuerdo a los distintos métodos para el reforzamiento estructural, dando cumplimiento a lo establecido en el Título E, de la Norma NSR-10.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Geográficas

El proyecto de investigación se encuentra delimitado dentro del casco urbano del municipio de Ocaña, Norte de Santander, como campo de la muestra de investigación, sin

embargo, se espera que la metodología pueda ser aplicada a nivel nacional teniendo en cuenta algunos parámetros para estandarizar la metodología.

1.5.2 Temporales

La duración para la realización de la investigación está proyectada a 10 meses contados a partir de la aprobación de la propuesta. Ya que se requiere de un trabajo de campo preliminar y posteriormente un trabajo de oficina.

1.5.3 Conceptuales

La investigación se enmarca en los conceptos de rehabilitación estructural, materiales sostenibles, patología estructural, mampostería confinada, elementos estructurales, entre otros conceptos relevantes.

1.5.4 Operativa

Para el desarrollo de la investigación se contempla realizar inicialmente la recolección de la viruta de metalistería en talleres de Ornamentación de la Ciudad de Ocaña Norte de Santander y la compra de materiales para la mezcla de morteros con viruta de metalistería, posteriormente se preparan probetas o muestras y se realiza el análisis de sus propiedades físicas y mecánicas, mediante diferentes ensayos de laboratorio. Luego de obtener las características del material a implementar, se realiza la modelación computacional en un software de elementos finitos, para obtener el desempeño del reforzamiento no invasivo en mampostería, aplicado al caso de viviendas informales construidas en el barrio Urbanización Transparencia 1, del municipio de

Ocaña, Norte de Santander. En este caso se selecciona la muestra objeto de estudio, y se realiza la modelación del desempeño excluyendo la cimentación, y aplicado a viviendas de 1 y 2 pisos. Finalmente, como resultado de la investigación, se establecen los lineamientos constructivos sobre el reforzamiento no invasivo implementando mortero con viruta de metalistería para la mampostería de viviendas, en cumplimiento al Título E de la NSR-10.

Capítulo 2. Marco referencial

2.1 Marco histórico

2.1.1 Antecedentes

De acuerdo con investigaciones que se relacionan con el tema de estudio a nivel mundial, a pesar de su antigüedad, es importante mencionar la Investigación de San Bartolomé y Quiun (2015), la cual se titula “Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe típicas del Perú”. Esta investigación trata sobre el diseño de una malla electrosoldada para muros en adobe, en donde se aplica en la parte interna y externa del muro. Las mallas se diseñan para controlar las grietas de tracción por flexión localizado.

A pesar de que el acero de refuerzo es uno de los principales materiales para la construcción, y teniendo en cuenta su poca sostenibilidad, también existen sistemas de reforzamiento estructural para edificaciones usando vigas de acero con conexiones de enlace FUSEIS. Según la investigación realizada por Tsarpalis et al. (2021), en la Universidad Técnica Nacional de Atenas, Grecia, presentan una metodología para aplicar el sistema de resistencia de carga lateral con vigas de acero de enlace FUSEIS, con el fin de fortalecer edificios existentes, mejorando el tiempo de impacto económico durante las obras de rehabilitación. En esta investigación presentan un caso de estudio en el cual se obtuvieron buenos resultados mejorando la capacidad sísmica de una edificación existente.

Con relación a la sostenibilidad y al uso de materiales sostenibles, es importante mencionar la investigación realizada por Reátegui et al. (2018), en donde realizan el análisis y comportamiento de diferentes materiales reciclables utilizados para la construcción de viviendas

concluyendo que existen materiales reciclables como neumáticos, botellas plásticas entre otros, que según su metodología y proceso constructivo ofrecen buena capacidad para la construcción de viviendas.

En lo que respecta a investigaciones realizadas a nivel nacional, se menciona el trabajo realizado por Pico C. y Ruiz C. (2018), en donde plantean el estado del arte de las diferentes metodologías de reforzamiento estructural para edificaciones, las cuales son un referente para el desarrollo del reforzamiento estructural en viviendas informales del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

Según la investigación realizada por Andrade M. y Vargas D. (2018), es importante mencionar su investigación ya que hablan sobre los distintos mecanismos de evaluación de vulnerabilidad sísmica existentes, igualmente hablan sobre los elementos que determinan la vulnerabilidad sísmica al igual que los distintos sistemas estructurales que pueden conllevar a un reforzamiento estructural satisfactorio, y todo esto aplicado a una construcción existente que cambia su sollicitación al incluir más cargas sobre impuestas que no estaban contempladas inicialmente en el desarrollo de la estructura.

Con relación a investigaciones realizadas a nivel local, es importante resaltar el trabajo realizado por Trigos L. y Pérez M. (2019), en donde obtienen como resultado una cartilla de guía práctica, que contiene los fundamentos y parámetros principales para el reforzamiento estructural

especificando solo el método de recrecido o aumento de la sección transversal del elemento estructural.

Como parte de los antecedentes locales en relación a la problemática planteada en la investigación, es importante relacionar las viviendas que actualmente se encuentran con afectaciones estructurales en el municipio de Ocaña, y de acuerdo a la recolección de datos registrada en la oficina de Gestión del riesgo de desastres de la Alcaldía de Ocaña, según solicitud realizada como parte de la investigación, a fecha del 21 de septiembre de 2022, las viviendas con afectaciones estructurales corresponden a:

Barrio las Mercedes parte Baja: 5 viviendas afectadas.

Barrio Altos del Norte: 2 viviendas afectadas.

Asentamiento humano colina de la provincia: 1 vivienda afectada.

En total de acuerdo al registro de la oficina de Gestión del riesgo de desastres del municipio de Ocaña, se encuentran 8 viviendas con afectaciones estructurales. En los anexos del presente documento se anexa documento expedido por la entidad municipal de Ocaña, en donde relaciona las viviendas afectadas estructuralmente.

Con respecto al uso de materiales reciclables implementados para mejorar la resistencia en concretos y materiales de construcción, es importante mencionar investigaciones con relación al uso de materiales como la viruta de metalistería para mezclas de concreto y reforzamiento de estructuras de concreto.

Según Ávila et al. (2022). De acuerdo al Artículo “Descripción general del efecto de los agregados de materiales reciclados en las propiedades térmicas y físicas del concreto”, estudia el comportamiento de diferentes materiales reciclados incorporados en una mezcla de concreto, en donde se destaca el comportamiento del concreto con fibra de metales reciclado, en donde concluye que la adición de fibra de acero a una mezcla de concreto, mejora la conductividad térmica y aumenta la resistencia a la compresión.

Por otra parte, de acuerdo a la investigación realizada por Gulmez N. (2020), la cual se titula “Papeles de virutas de aluminio y calcita en propiedades de ingeniería de compuestos a base de cemento” y consiste en el estudio para el aprovechamiento de la viruta de aluminio proveniente del desecho de la industria metalúrgica en mezclas de morteros, concluyendo que el aumento gradual en de virutas de aluminio en todas las mezclas de mortero resultó en una disminución significativa de la porosidad aparente.

Con relación al comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras, según Amaya y Ramírez (2019), en su investigación Titulada “Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras”, en donde de acuerdo a todos los materiales ensayados, la viruta de acero en el concreto presenta un aumento en su resistencia tanto a compresión como a flexión, pero esta a su vez, no mejora la fisuración del material a diferencia de otras fibras.

De acuerdo a la investigación realizada por Xargay et al. (2019), en la Universidad de Buenos Aires, Argentina, el uso de materiales reciclados en compuestos cementicios, contribuyen con la disminución y aprovechamiento de desechos reutilizables, como lo es la fibra de acero reciclada, en donde mediante ensayos de resistencia a la flexión y compresión en concretos, concluyen que, no se evidenciaron diferencias significativas entre los especímenes sin refuerzo y reforzado con fibra de acero, lo que significa que dicha resistencia se encuentra principalmente controlada por las propiedades de la matriz cementícea.

Con relación al uso de fibras de acero en concretos, vale la pena mencionar la investigación realizada en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado de Perú, en donde según Farfán et al. (2018), estudian la resistencia a la compresión del concreto con fibras de acero, implementando proporciones de 25 y 30 kg/m³ de fibra de acero, obteniendo como resultado, que la dosificación utilizando 25 kg/m³ de fibras de acero, permite que los materiales se adhieran más e incrementa la resistencia a la compresión, en comparación con la dosificación de 30kg/m³ en donde la resistencia tiende a disminuir.

De acuerdo a la investigación realizada por Ávila y Buriticá (2016), estudia el análisis del comportamiento a cortante de concretos de 21MPa y 44MPa reforzado con fibras de acero, concluyendo que, la dosificación optima de fibras de acero es del 1.5%, pues el incremento en la resistencia al corte fue el más representativo con valores del 155% (Fibra 65/60) y 242% (Fibra 80/60) para concretos de 21Mpa y del 172% (Fibras 65/60) y 180% (Fibra 80/60) para concretos de 44Mpa respecto a la resistencia al corte de las probetas sin fibras.

En lo que concierne a los distintos métodos de evaluación para la identificación de propiedades físicas y mecánicas de concretos con materiales reciclados, es importante mencionar la investigación realizada por Carrillo et al. (2014), la cual se titula “Evaluación del desempeño a tensión por compresión diametral del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306”, en donde se realiza el ensayo de 52 especímenes cilíndricos reforzados con fibra de acero para evaluar la resistencia a la tensión diagonal en muros bajos para viviendas, concluyendo que las fibras de acero proporcionan un efecto adherente en el concreto, lo que genera un incremento en sus capacidades de resistencia y desplazamiento.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Reforzamiento estructura

El reforzamiento estructural de edificaciones hace referencia al uso de técnicas para la reparación de elementos estructurales de una edificación que no tienen una resistencia optima de concreto y armadura que garantice la estabilidad de la estructura. (Raigosa E., 2010). El reforzamiento estructural, en el contexto de la presente investigación se puede clasificar como reforzamiento invasivo y reforzamiento no invasivo.

2.2.1.1 Reforzamiento invasivo. El reforzamiento invasivo, corresponde a la restructuración estructural, que requiere de una intervención que obliga a los ocupantes de una edificación a desocupar el espacio habitado.

2.2.1.2 Reforzamiento No invasivo. Este concepto hace relación al reforzamiento de edificaciones en donde su proceso constructivo, no requiere de desalojarse para poder realizar las actividades de reforzamiento.

2.2.2 Rehabilitación estructura

La rehabilitación estructural hace referencia a recuperar o habilitar una estructura existente para que pueda ser usada, ya que en su condición inicial no es utilizable hasta que no sea rehabilitada. Según Socarrás et al. (2021), la rehabilitación estructural corresponde a la recuperación habitacional a consecuencia de procesos de deterioro progresivos o daño. “La rehabilitación es entendida como una forma de intervención estructural, asociada tanto a procesos patológicos como a factores causantes de vulnerabilidades”.

2.2.3 Vivienda informa

La vivienda informal se entiende como aquella que es construida en ausencia de un profesional ingeniero civil o arquitecto, se caracteriza porque no cuenta con los estándares mínimos de diseño y sin un sistema de resistencia sísmica, la cual a pesar de que puede resistir cargas gravitacionales no hay garantía de que pueda resistir cargas sísmicas o laterales. (Hernández P., 2013). Por lo general este tipo de viviendas es el mas usual en las comunidades o centros poblados de bajos recursos que construyen sin la supervisión de un profesional.

2.2.4 Mampostería confinada

La mampostería confinada corresponde a muros de mampostería que pueden ser bloques o ladrillos de adobe, e inclusive ladrillos de concreto, que conforman un panel de mampostería no reforzado rodeado de elementos confinantes en su periferia. Los elementos confinantes forman un marco de concreto reforzado flexible, compuesto generalmente por vigas y columnas. El proceso constructivo se realiza en dos etapas en donde en la primera se construye el panel en mampostería, y en la segunda se funden los elementos en concreto reforzado (columnas y viga) para formar un marco de concreto reforzado flexible. (Rivera et al., 2015)

2.2.5 Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad sísmica se define como el grado del daño ocasionado por un sismo de cierta intensidad. La finalidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica de una edificación corresponde a determinar los factores de riesgo sísmico, definidos en base a el grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el tiempo que permanecen expuestas a las fuerzas externas o acción sísmica. (Ojeda et al., 2008)

2.2.6 Análisis de elementos finitos

Consiste en una modelación matemática que puede ser computacional y se refiere al procedimiento de aproximación de problemas continuos de tal forma que, el continuo se divide en un numero finito de elementos cuyo comportamiento se especifica mediante un numero finito de parámetros. (Zienkiewicz O., 2007)

2.3 Marco contextual

El desarrollo de la investigación contempla un rango de acción limitado especificado para el barrio Urbanización Transparencia 1, del Municipio de Ocaña, Norte de Santander. Ocaña está situada a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste y su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m. La Provincia de Ocaña tiene un área de 8.602 km². (Gobernación Norte de Santander, 2014). Ver figura 1.

Figura 1

Localización general del municipio de Ocaña, Norte de Santander



Nota: Fuente: Gobernación Norte de Santander (2014).

La urbanización Transparencia 1, hace parte dentro de la división política del municipio de Ocaña de la Comuna 2 llamada Nor Oriental Cristo Rey con una extensión de 1,51 km². Ver figura 2.

Figura 2

División por comunas del municipio de Ocaña Norte de Santander



Nota: Fuente: Gobernación Norte de Santander (2014).

En contexto la investigación contempla la definición de las viviendas informales que fueron modificadas sin la supervisión de un profesional en el tema, en la Urbanización transparencia 1 perteneciente a la Comuna 2 del municipio de Ocaña. En donde se tiene como antecedente que en ese sector durante el periodo 2008-2011, la alcaldía de Ocaña hizo entrega de 100 viviendas VIS de un nivel y 165 lotes como soluciones habitacionales para familias víctimas del conflicto y desplazamiento forzado.

2.4 Marco teórico

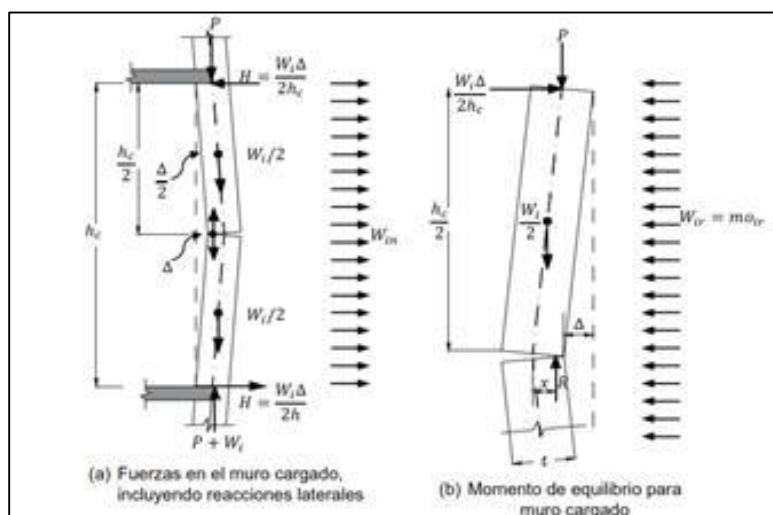
Con el fin de desarrollar una Metodología para el reforzamiento estructural no invasivo en viviendas informales de 1 y 2 pisos que incumplen el Título E NSR-10, es importante mencionar las teorías y criterios de cálculo de los cuales serán la base para la realización de la investigación. En este orden de ideas, se subdividen dos capítulos del marco teórico que corresponden a: 1. Análisis de las condiciones existe y vulnerabilidad estructural, y 2. Reforzamiento y/o rehabilitación estructural.

2.4.1 Análisis de condiciones existentes y vulnerabilidad estructural

Método físico mecánico del comportamiento de los muros mixtos sin refuerzo. Según Castillo et al. (2018), la metodología de la evaluación de las estructuras de mampuestos sin refuerzo se evalúa el estado de falla en relación con la deflexión así:

Figura 3

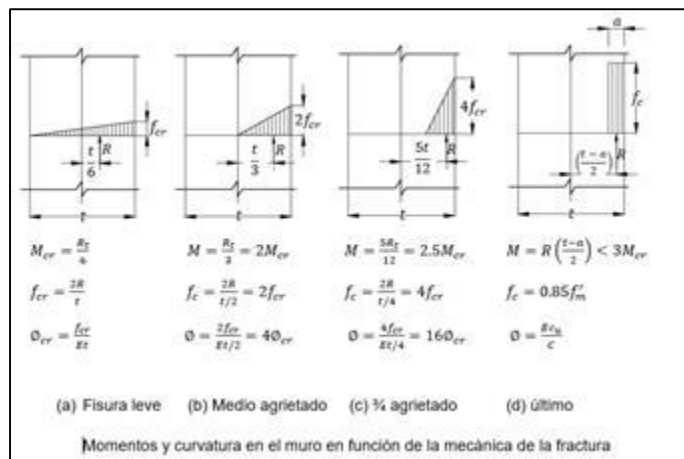
Cargas de inercia de respuesta fuera del plano del muro sin refuerzo



Nota: Fuente: Castillo et al. (2018)

Figura 4

Diagrama de esfuerzos momentos y curvatura por estados de la mecánica de fractura



Nota: Fuente: Castillo et al. (2018)

De acuerdo con la figura 4: se plantean los siguientes casos de estudio:

Caso 1. El caso antes de agrietarse (Fig. 4a): la respuesta del esfuerzo por compresión es lineal y se presenta máximo en la sección central del muro.

Caso 2. El semi agrietado (Fig. 4b): evalúa la distribución de tensiones cuando la grieta se ha propagado al centroide del muro.

Caso 3. El 75% de la grieta (Fig. 4c): los cálculos se desarrollan cuando la grieta se ha propagado hasta los tres cuartos de la profundidad de la sección.

Caso 4. Plantea las condiciones últimas hasta el colapso final (Fig. 4d)

Metodología para la evaluación de vulnerabilidad sísmica. Según Cordova F. (s.f.), los métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de viviendas existentes se dividen en dos grandes grupos que son: Métodos exactos o analíticos y Métodos aproximados (cualitativos o subjetivos).

Métodos analíticos: Método FEMA-273: Este “segundo tipo” de evaluación método FEMA-273, está diseñado para identificar más en detalle los miembros estructurales (columnas y vigas) que se encuentran deficientes en cuanto a su capacidad o resistencia.

Con el método FEMA-273, se definen diferentes métodos y criterios de diseño para alcanzar diferentes niveles de desempeño sísmico de la edificación. Dentro de niveles de desempeño sísmico se encuentran: Nivel Operacional. Nivel de Ocupación Inmediata, Nivel de Protección de la Vida y Nivel de Prevención de Colapso. La escogencia de estos niveles depende del desempeño esperado de la edificación durante y después de un terremoto, de cuánto daño se va a permitir que ocurra en la edificación cuánta pérdida económica se permita y del traumatismo o interrupción que cause en las actividades de los ocupantes de la edificación.

Utilizando el método FEMA-273, se calculan los cortantes en la base, modificados por torsión accidental, se calculan los cortantes por piso y las cargas gravitacionales. Esta información se utiliza para definir los parámetros de aprobación o de aceptación con los que se trabaja, así:

$m_k Q_{ce} > Q_{ud}$ Ecuación 1 o

$k Q_{cl} > Q_{uf}$ Ecuación 2

- m : es un factor de modificación que depende de las cargas axiales y las cortantes y de las propiedades de los materiales de los diferentes elementos.

- K : es un factor que depende de qué tanto se conozca de la estructura.

- Q_{ce} : es la resistencia calculada de un miembro en particular que se está estudiando (axial, corte, flexión o flexo-compresión) teniendo en cuenta su estado actual.

- Q_{ud} : es un conjunto de demandas o exigencias controladas por las deformaciones impuestas en la estructura debido a las diferentes cargas (muerta, viva, sismo, etc).

- Q_{uf} : es el conjunto de demandas o exigencias controladas por fuerzas impuestas a la estructura por las deformaciones (rigidez) o por una gobernada por las fuerzas (resistencia).

El último paso del procedimiento consiste en revisar o verificar la estrategia de rehabilitación definida desde un comienzo de la estructura reforzada bajo los criterios de flexión, corte, carga axial y de derivas.

Método según norma NSR-10: Método de la Fuerza Horizontal Equivalente (FHE): El sistema de la fuerza horizontal equivalente FHE, es utilizado para evaluar las fuerzas sísmicas de diseño y consiste en reemplazar las fuerzas del sismo por fuerzas laterales F_x , que son aplicadas a nivel de piso, equilibrando el cortante de base. Para la determinación de este método se seguirán los siguientes pasos:

1. Evaluación de la masa.
2. Cálculo del periodo fundamental.
3. Cálculo del espectro de diseño.
4. Determinación del cortante de base
5. Aplicación de las fuerzas sísmicas para cada nivel del edificio.
6. Control y chequeo de derivas

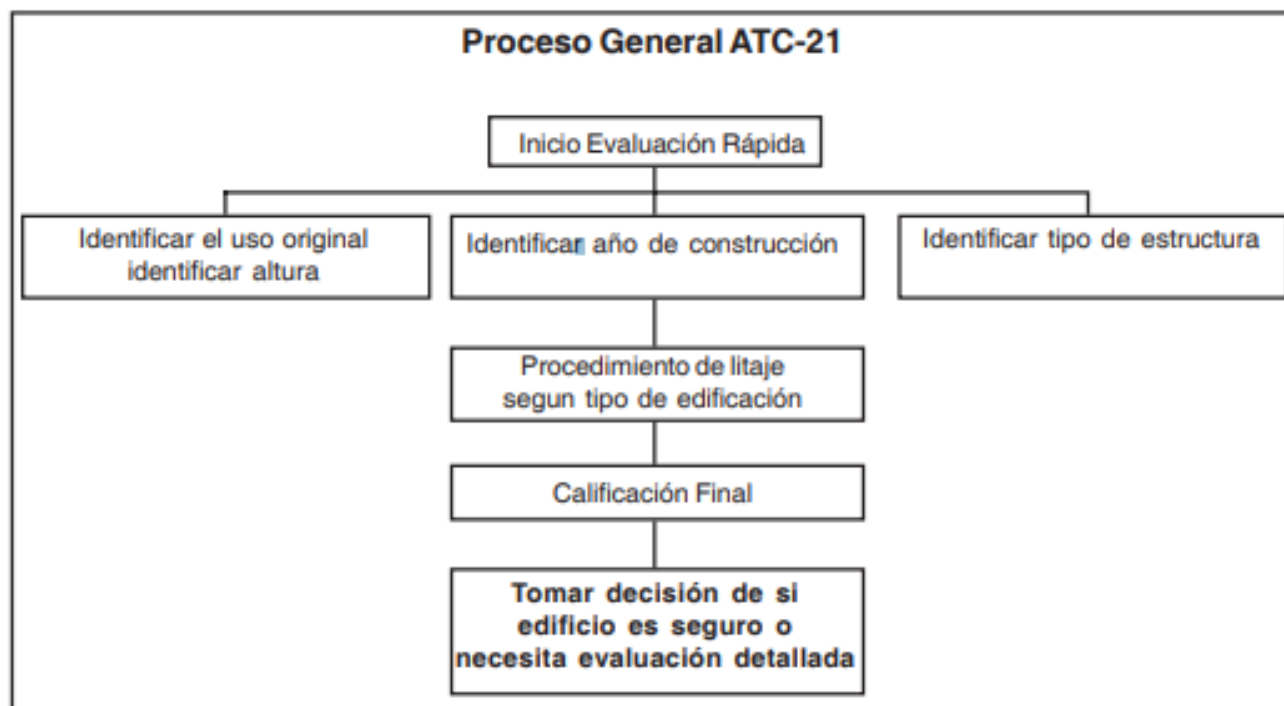
Métodos cualitativos: Estos métodos son usados para obtener un estimativo de la vulnerabilidad de las edificaciones, según Alvarado et al. (2015), Dentro de estos métodos se encuentran:

Método ATC-21: El método ATC-21, Método de revisión por filtro de Peligros sísmicos Potenciales en edificaciones existentes, es un método analítico muy sencillo que se basa simplemente en darle una calificación inicial a una edificación y a medida que se avanza en la revisión, se van filtrando las características estructurales de la edificación y así mismo se le van restando o sumando puntos a la calificación inicial.

El procedimiento comienza por identificar el sistema estructural que resiste las fuerzas sísmicas, así como los materiales de los que está compuesto. El puntaje se le irá sumando o restando a la calificación inicial dependiendo de factores tales como:

- Si es de gran altura
- Si está deteriorado.
- Si tiene irregularidades geométricas.
- Si existen pisos flexibles dentro de la edificación.
- Si existe torsión en planta.

La escala en este método va desde 0 (mal comportamiento sísmico), hasta 6 (muy buen comportamiento). Si un edificio resulta con una calificación inferior o igual a 2, se requiere que se lleve a cabo una evaluación más detallada tal como la del FEMA-273.

Figura 5*Proceso General del Método ATC-21*

Nota: Fuente: Cordova F. (s.f.)

2.4.2 Reforzamiento y/o rehabilitación estructural

Con relación a los distintos métodos de reforzamiento estructural que se pueden contemplar, se mencionan los estudiados por Hernández P. (2013) que corresponden a:

Método con cables de acero: Es un método experimental que se encuentra con poca investigación en el tema, ya que la utilización de cables requiere de puntos de anclaje que deben ser previamente definidos sin que afecte la estructura. Ver figura 6

Figura 6*Método de cables de acero*

MATERIAL:	CABLES DE ACERO	
País:	Australia	
Año:	2004	
Trabajo:	Ponencia de investigación	
Obra:	Seca	
Autor:	CHUANG, S., ZHUGE, Y. y MCBEAN, P.C.	
Título:	Seismic Retrofitting of Unreinforced Masonry Walls by Cable System. 13 th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, Canadá, agosto 1-6 2004	
Descripción	“Estudio de un nuevo sistema a base de cables adheridos a la mampostería, que luego de ser sometido a ensayos de aplicación de cargas cíclicas concluyó que mejora la capacidad de disipación de energía y resistencia de dichas estructuras en caso de sismo”	
Principal aporte:	Aumento de 50% en resistencia	

Nota: Fuente: Hernández P. (2013)

Método de Láminas de carbono reforzado con polímeros FCRP: Este método es si presenta un aporte considerable a la resistencia de una estructura existe. Ver figura 7.

Figura 7*Método de láminas FCRP*

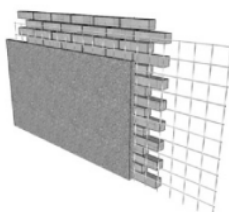
MATERIAL:	LÁMINAS FCRP (LÁMINAS EN FIBRA DE CARBONO REFORZADA CON POLÍMEROS)	
País:	Chile, Canadá, China	
Año:	2004	
Trabajo:	Ponencia de investigación	
Obra:	Seca	
Autor:	SANTA MARÍA, Hernán, DUARTE, Gonzalo, GARIB, Alejandro	
Título:	Experimental Investigation of Masonry Panels Externally Strengthened with CFRP Laminates and Fabric Subjected to In-Plane Shear Load. 2004	
Descripción	“Láminas de FCRP (fibra de carbono reforzada con polímeros). La FCRP es un material hecho de fibras de alta resistencia (vidrio, carbón) entretejidas a una matriz de resina de polímeros. Las fibras resisten la tensión mientras que la resina resiste otras fuerzas”	
Principal aporte:	Aumento de 70% en resistencia, aumento de rigidez y falla menos frágil.	

Nota: Fuente: Hernández P. (2013)

Método Recubrimiento en acero con malla electrosoldada: Es uno de los métodos más utilizados que aporta resistencia a la estructura considerablemente. Ver figura 8.

Figura 8

Recubrimiento en concreto con malla electrosoldada

MATERIAL:	RECUBRIMIENTO EN CONCRETO CON MALLA ELECTRO SOLDADA	
País:	Perú	
Año:	2005	
Trabajo:	Investigación - ponencia	
Obra:	Húmeda	
Autor:	Equipo Universidad Católica de Perú. QUIJUN, Daniel; ALFÉREZ, Karhell; QUIN TO, Diana	
Título:	Reforzamiento estructural de muros de albañilería de bloques artesanales de concreto	
Descripción	Recubrimiento con concreto lanzado reforzado con malla electro soldada.	
Principal aporte:	Concluye que es un sistema de aplicación sencilla y que resulta muy efectivo.	

Nota: Fuente: Hernández P. (2013)

Método de arriostramiento externo con perfiles de acero: Ver figura 9.

Figura 9

Arriostramiento externo con perfiles de acero

MATERIAL:	ARRIOSTRAMIENTO EXTERNO CON PERFILES EN ACERO	
País:	México	
Año:		
Trabajo:	Reforzamiento estructural	
Obra:	Seca	
Autor:		
Título:	Arriostramiento metálico en edificios de apartamentos en México	
Muros en perfiles de acero que se aplican de manera posterior externamente a la pared del muro original.		
		Descripción: Sistema de diagonales que confinan los muros aumentando la rigidez del muro original.
		Principal aporte: Sistema externo de arriostramiento.

Nota: Fuente: Hernández P. (2013)

2.5 Marco legal

Decreto 1077 de 2015. "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio".

Ley 2079 de 2021. Por medio de la cual se dictan disposiciones en materia de vivienda y hábitat.

Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Corresponde al Actual reglamento de construcción de edificaciones en Colombia.

Título A NSR-10. Los requisitos del Capítulo A.10 y A.10.9 de la NSR-10 deben ser empleados en actualización y rehabilitación sísmica de edificaciones existentes:

Cuando se modifique el uso de una edificación, aun en los casos que menciona A.10.1.3.1, entendido el cambio de uso como una modificación de acuerdo a normas urbanísticas (de residencial a multifamiliar, de alguno de ellos a comercial, entre otros), así como cambio de uno de los Grupos de Uso descritos en A.2.5.1 a otro superior dentro de ese numeral, deben evaluarse las implicaciones causadas por este cambio de uso, ante cargas verticales, fuerzas horizontales y especialmente ante efectos sísmicos.

Ley 400 de 1997. Se establece criterios y requisitos mínimos para el diseño, construcción y supervisión técnica de edificaciones nuevas.

Resolución número 5381 20 de diciembre de 2013. Por el cual resuelve:

Artículo 1. Modifíquese el plazo para desarrollar las acciones de reforzamiento estructural, previsto en el párrafo 2° del artículo 54 de la ley 715 de 2001 y en el artículo 35 de la Ley 1151 de 2007, en cuatro (4) años más, contados a partir de la entrada en vigencia de la presente resolución.

Artículo 2. Las instituciones prestadoras de servicios de salud tendrán la obligación de cumplir las normas de construcciones sismo resistentes, con el fin de reducir y mitigar los riesgos, para lo cual, deberán destinar los recursos necesario para tal fin.

Artículo 3. Las instituciones prestadoras de servicios de salud clasificadas dentro de la norma de sismo resistencia como edificaciones indispensables, en los proyectos de remodelación y/o ampliación de la infraestructura, deberán presentar ante las oficinas de planeación municipal o distrital, o sus dependencias o instituciones que hagan sus veces, los documentos de reforzamiento sísmico estructural de la edificación, de conformidad con lo dispuesto en el Decreto 1469 de 2010.

Artículo 4. Las entidades territoriales de salud realizarán, en su jurisdicción, el inventario que contenga el avance de las acciones de reforzamiento estructural de que trata la Ley 400 de 1997, en las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud clasificadas dentro de dicha la norma como edificaciones indispensables.

Artículo 5. La presente resolución rige a partir de su publicación, y deroga las disposiciones que le sean contrarias.

Ley N° 1796 13 Julio 2016. Por el cual resuelve, Generar medidas enfocadas a la protección del comprador de vivienda, el incremento de la seguridad de las edificaciones, el fortalecimiento de la función pública que, ejercen los curadores urbanos y establecer otras funciones a la Superintendencia de Notariado y Registro.

Decreto 1469 de 2010. Por el cual se reglamentan las disposiciones relativas a las licencias urbanísticas; al reconocimiento de edificaciones; a la función pública que desempeñan los curadores urbanos y se expiden otras disposiciones.

Ley 1753 de 2015. Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014- 2018 “Todos por un nuevo país”, y se estableció que en el marco de dicho programa el Ministerio “podrá modificar el plazo para las acciones de reforzamiento estructural”.

Norma ACI 562. Norma para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto, la cual tiene como objetivo, Determinar la condición actual – buena, regular, mala; Revisión de la información disponible – Planos y especificaciones de la construcción original – Estudios acerca de las condiciones de la estructura – Proyectos pasados: reparaciones, adiciones estructurales; Evaluación de las condiciones existentes – Investigación de campo – Pruebas de laboratorio – Revisión estructural.

Capítulo 3. Diseño metodológico

3.1 Tipo De Investigación

El tipo de investigación es mixta ya que requiere de un trabajo de campo cualitativo, y posteriormente un análisis cuantitativo en donde se evalúan las condiciones actuales de las viviendas objeto de estudio. El estudio se considera de tipo *Descriptivo*, ya que busca especificar propiedades, características y definir el comportamiento estructural de las viviendas informales que actualmente presentan fallas en su sistema constructivo.

3.2 Seguimiento metodológico del proyecto

El seguimiento metodológico, se puede apreciar mediante la siguiente tabla:

Tabla 1

Seguimiento metodológico

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES POR OBJETIVO	INDICADOR POR ACTIVIDAD
Realizar un análisis sobre los métodos y sistemas de reforzamiento estructural convencionales y usando viruta de metalistería a través de los modelos más apropiados que cumplan con la normatividad vigente para rehabilitación estructural.	Identificar los métodos mas comunes de reforzamiento que se pueden aplicar a viviendas.	Realizar un compendio de información sobre métodos de reforzamiento en viviendas.
	Identificar parámetros normativos para el análisis de la metodología.	Realizar un compendio de los parámetros normativos necesarios para evaluar la metodología de refuerzo.
	Realizar un análisis de los métodos de reforzamiento previamente identificados	Tabla con el resumen de las características que conlleva cada método de reforzamiento previamente identificado.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES POR OBJETIVO	INDICADOR POR ACTIVIDAD
Desarrollar el procedimiento metodológico en la modelación estructural y procesos constructivos de la viruta de metalistería en el reforzamiento de viviendas informales mediante una lista de procesos cumpliendo los parámetros establecidos por la norma NSR-10, para la modelación estructural usando un software de elementos finitos.	Identificar el uso de materiales sostenibles en la construcción que cuenten con investigación e información existente en cuanto a la evaluación de sus propiedades.	Realizar ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales a utilizar así como también definir el diseño de mezclas.
	Realizar ensayos de laboratorio con diferentes dosificaciones de viruta de metalistería.	Realizar muestras de concreto sin y con adición de viruta de metalistería para ensayar a compresión.
	Realizar una lista de procesos necesarios para el análisis de la metodología	Realizar una tabla que contenga los procedimientos necesarios para el análisis y aplicación teórica del método de reforzamiento.
Evaluar la metodología mediante modelación computacional el uso de viruta de la metalistería en concretos para el reforzamiento estructural de viviendas informales del barrio Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña.	Realizar la identificación de la vivienda tipo caso de estudio para modelar en SAP2000	Identificar la configuración geométrica del caso de estudio a analizar aplicando la metodología de refuerzo.
	Aplicar el método de análisis pushover para evaluar el método de reforzamiento con viruta de metalistería.	Realizar el procedimiento para la modelación incluido el método de fuerza horizontal equivalente, para conocer las cargas horizontales necesarias para la modelación pushover.
	Evaluar y comparar los resultados obtenidos de la modelación	Realizar tablas o graficas que representen los resultados comparativos para el uso de muros convencionales en comparación con muros reforzados con revoque compuesto con viruta de metalistería

Nota: La tabla muestra el procedimiento metodológico contemplado para el desarrollo del proyecto.

3.3 Población

Con relación a la población objeto de estudio, de acuerdo a la índole de la investigación, corresponde a la construcción de viviendas informales que se realiza en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

3.4 Muestra

De acuerdo con el desarrollo de la investigación, la muestra corresponde al total de viviendas construidas por la Administración municipal en el barrio Urbanización Transparencia 1 durante el periodo 2008-2011, en total 100 viviendas VIS perteneciente a la comuna 2 del municipio de Ocaña, Norte de Santander.

3.5 Técnicas de recolección de la información

Observación: Se realizará la observación minuciosa en la zona objeto de estudio correspondiente a la urbanización transparencia 1 del municipio de Ocaña, Norte de Santander, en donde se revisan las viviendas que se encuentran en condiciones normales y las viviendas que se encuentran con modificaciones en su infraestructura.

Análisis documental: Se recopilará la información pertinente a planos y estudios realizados con forme a las consideraciones iniciales de las viviendas y las condiciones actuales que estas presentan, para posteriormente realizar un análisis mediante el uso del software SAP 2000.

3.6 Análisis de la información

Para el análisis de la información recopilada se realizará lo siguiente:

Se realizará un análisis estadístico para obtener en que porcentaje con respecto a las 100 viviendas construidas se encuentran las viviendas en condiciones normales y en condiciones modificadas evaluando algunas variables como cambios de nivel, de cubierta, entre otras que se logren identificar en campo.

Con respecto al estado actual, de las viviendas que no presentan modificaciones se evaluará mediante la modelación estructural en el software SAP 2000, realizando un análisis estático y dinámico, las condiciones ideales para una modificación estructural con la implementación de materiales renovables, el cual servirá de guía para la remodelación de las viviendas restantes que se encuentran modificaciones.

Capítulo 4. Desarrollo del proyecto

4.1 Análisis sobre los métodos y sistemas de reforzamiento estructural convencionales y usando viruta de metalistería a través de los modelos más apropiados que cumplan con la normatividad vigente para rehabilitación estructural

Dentro del marco del reforzamiento estructural, existen diversas metodologías que ayudan a contribuir a mejorar la capacidad de resistencia sismo resistente de una edificación existente que se encuentre en riesgo por su alta vulnerabilidad ante las solicitaciones de cargas sísmicas. Con respecto a la presente investigación, se propone el uso de la viruta de la metalistería como reforzamiento en revoques para muros de mampostería confinada enfocado a la rehabilitación estructural de viviendas informales, razón por la cual, en el presente literal 4.1, se relaciona y se hace un análisis de los diferentes métodos de reforzamiento estructural que pueden ser aplicados a este tipo de viviendas que se construyen sin ningún tipo de normatividad vigente, teniendo en cuenta la facilidad para la aplicación del método así como los costos, procesos constructivos y demás variable que determinen que un método sea más asequible que otro.

De acuerdo a lo anterior, a continuación, se relacionan los diferentes métodos de reforzamiento estructural que pueden ser aplicados al reforzamiento y rehabilitación de viviendas cumpliendo con parámetros normativos de diseño estructural.

4.1.1 Reforzamiento por recrecido de hormigón armado

El concreto recrecido corresponde a uno de los métodos más tradicionales para el reforzamiento estructural de edificaciones, el cual consiste en recalzar la sección existente del elemento estructural sea viga, columna, losa o muro, implantando cuantía y aumentando la dimensión del elemento existente. Con relación a la construcción de viviendas informales, este método es aplicado cuando la estructura de la vivienda informal está conformada por pórticos resistentes a momentos o sistemas combinados con muros confinados; en caso de estar construida solo con mampostería o tapia pisada, no se recomienda el uso de este método.

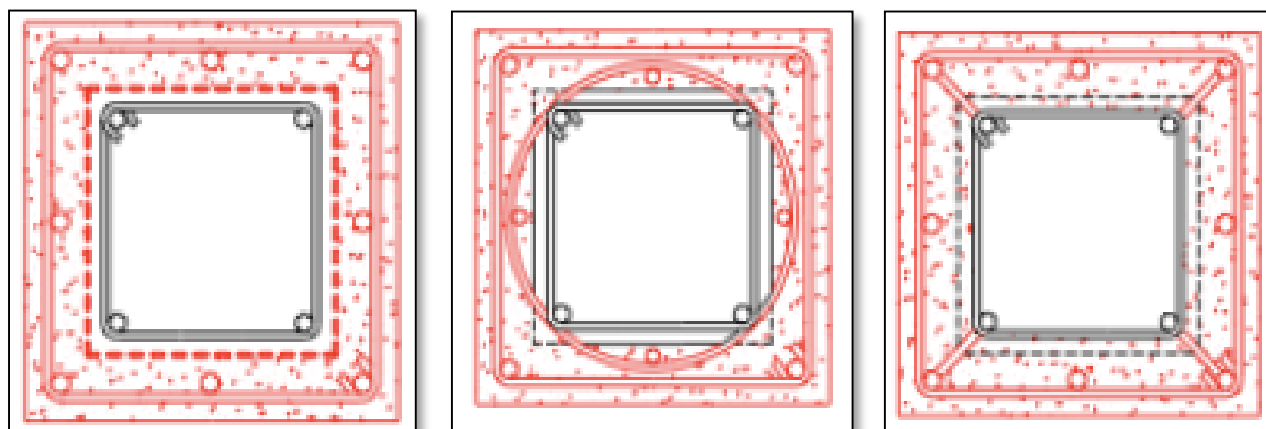
Sistema constructivo. Consiste en aumentar la dimensión del elemento, es necesario realizar anclajes en la zapata o cimentación del acero a colocar, el cual para que exista una transición y transmisión de esfuerzos, se debe utilizar una resina epoxica, la cual se recomienda el producto Sika Archofix 4. La realización de estos anclajes, de acuerdo al diámetro del acero a instalar, la perforación debe llevar un diámetro superior al del acero, con el fin de que exista una holgura para sellar con la resina. Según García y Chirico (2012), con relación a la distribución del acero, existen varias técnicas para su instalación, teniendo en cuenta que el diámetro y espesor del recrecido se debe diseñar previamente para verificar que el aumento de la sección si cumpla con las solicitaciones gravitacionales y sísmicas a la que está sometida una edificación. Los métodos para el recrecido en columnas corresponden a:

Unión directa mediante Adhesivo sin anclajes: En este caso el método constructivo, consiste en recalzar la columna existente agregando una capa de acero longitudinal y estribos, sin

afectar la columna existente, en donde se debe utilizar un adhesivo epóxico que aporta adherencia al concreto nuevo con el existente. Se recomienda el uso de Sikadur 32, el cual se prepara con dos componentes que se deben mezclar a la hora de utilizarse y su función consiste en aumentar pegadura entre el hormigón existente y nuevo del recalce. Es de aclarar que este método no conlleva a la realización de anclajes dentro de la columna existente, sin embargo, este método se puede realizar de tres formas diferentes, tal como se aprecia en la figura 10, en donde se puede hacer el recrecido de forma directa utilizando adhesivo, picando las aristas de la columna existente utilizando estribos helicoidales y con sunchos.

Figura 10

Recrecido de hormigón armado de forma directa sin anclajes en el elemento

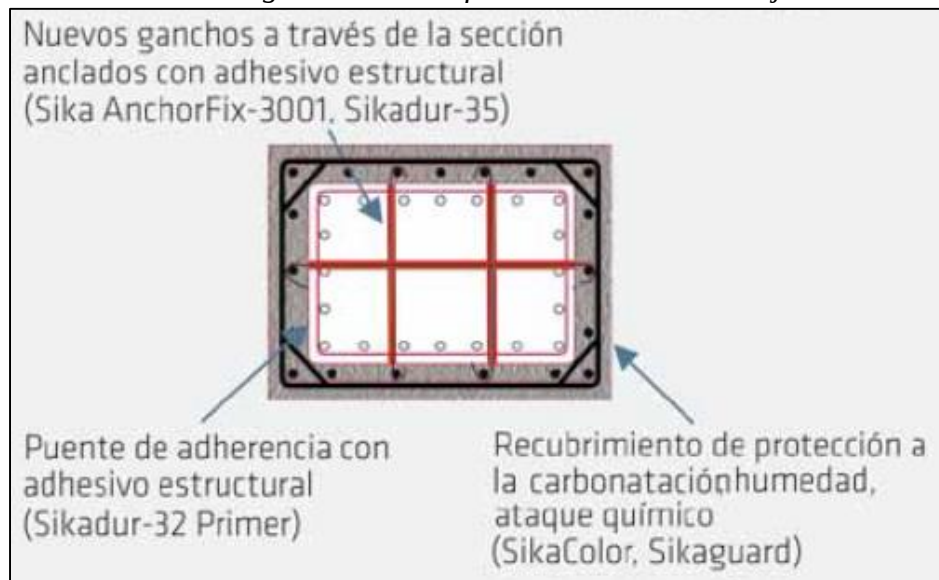


Fuente: Tomado de García y Chirico (2012).

Unión mediante Anclajes: Este método de recrecido aplicable a columnas, vigas y losas, consiste en incluir anclajes que corresponden a ganchos pasantes sobre la sección del elemento existente, anclados con adhesivo y unidos a la nueva armadura de acero que conforma el recrecido. Ver figura 11.

Figura 11

Recrecio de hormigón armado de forma directa con anclajes en el elemento



Fuente: Tomado de SIKA (2017).

Por lo anterior, el sistema de reforzamiento por recrecio del concreto es una alternativa que mejora las condiciones existentes de una edificación, pero que conlleva a una intervención que puede presentar un alto costo de materiales, al tratarse de recalzar la estructura completa de una edificación, o en aquellas zonas donde lo requiera. El método de recrecio del concreto se puede aplicar a vigas, columnas, zapatas, muros y losas de entrepiso. A continuación, mediante la siguiente figura 12 se puede observar un ejemplo de su aplicación.

Figura 12

Columna recrecida de Hormigón armado



Fuente: Halac M. (2021).

De acuerdo a la figura 12, se aprecia el reforzamiento de una columna con anclajes pasantes sobre el elemento existente; dicho reforzamiento pertenece a estacionamientos de un edificio de oficinas.

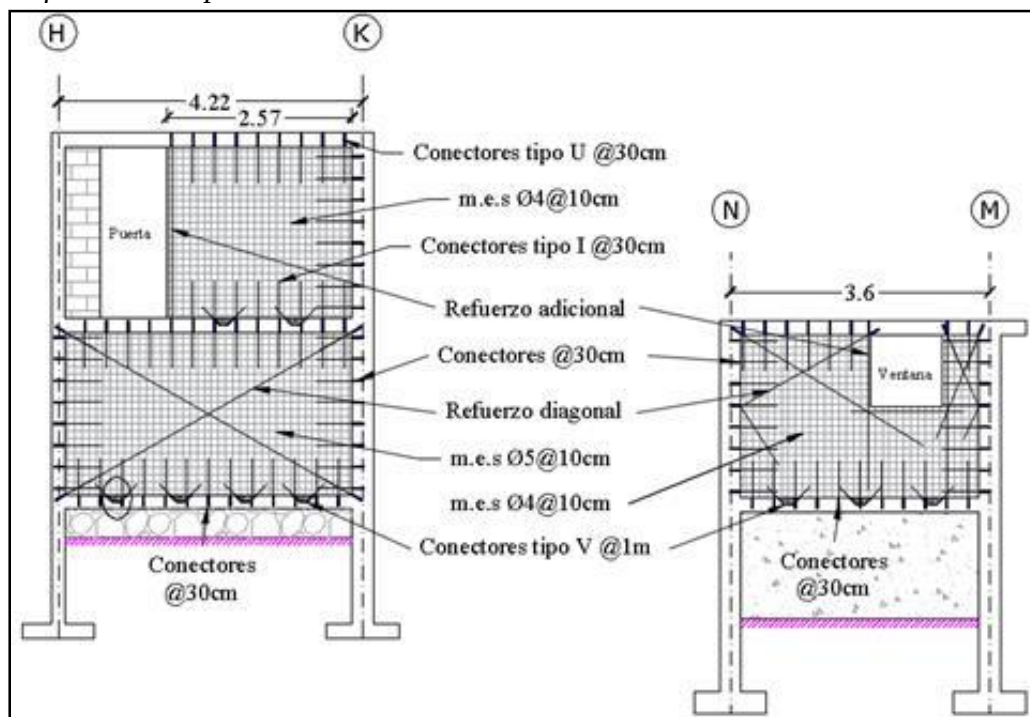
4.1.2 Recubrimiento de mampostería con malla electrosoldada y mortero

Se conoce como reforzamiento de enchape, y consta de recubrir la pare de mortero con malla, la cual debe ser anclada a la estructura de hormigón armado, es decir a los pórticos resistentes a momentos. De acuerdo a investigaciones realizadas sobre este tipo de

reforzamiento, según Castillo et al. (2023), para paredes reforzados por este método la resistencia con malla en ambos lados de la pared es de 2,1 veces la condición inicial mientras que uno reforzado en un solo lado resiste 1,35 veces, en todo caso, este método contribuye a la disminución de la tasa del deterioro de la dureza lateral y aumenta la capacidad para que las edificaciones se puedan desplazar.

Sistema constructivo. Para este método, es necesario realizar anclajes a columnas, vigas y losas. Inicialmente se debe preparar la superficie de la pared picándola, de forma que quede rugosa para obtener una mejor adherencia, posteriormente se deben realizar anclajes entre los elementos que conforman los pórticos resistentes a momentos y la pared, para lo cual, de acuerdo a la recomendación de Herrera et al. (2022), los anclajes se deben colocar al menos a una profundidad de 20 cm para vigas y columnas y las perforaciones en los mampuestos para clavar grapas o vinchas, se debe hacer cada 50 cm de largo y alto de la pared, para las perforaciones en losas se deben realizar a 45°.

Para este método se recomienda usar anclajes en varilla de 8 mm o 3/8 de pulgada, en este caso, se debe usar una medida mayor a la hora de realizar el anclaje, con el fin de poder usar el material epóxico necesario que permite la correcta adherencia del anclaje con el concreto existente del elemento estructural o pórtico. El traslape entre los conectores anclados y la malla debe ser de 60 cm y la malla electrosoldada recomendada es de 4 o 5 mm y con relación al grosor de la cerámica se recomienda de 4 a 5 cm, no se recomiendan espesores menores debido al recubrimiento que se le debe hacer al acero. En la figura 13, se observa la forma de reforzamiento que se puede aplicar mediante este método.

Figura 13*Reforzamiento para muros con malla electrosoldada*

Fuente: Castillo et al. (2023).

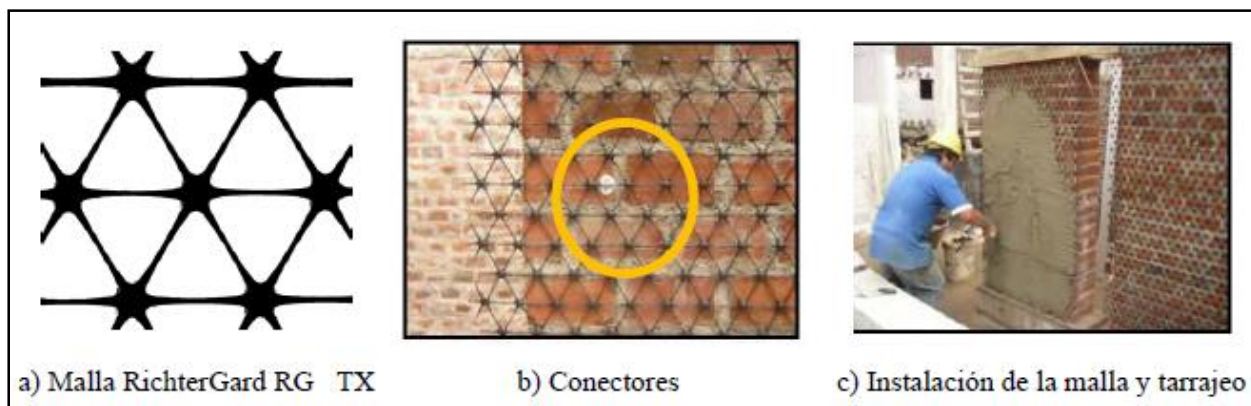
De acuerdo a la figura 13, se puede observar que para aplicar este método de reforzamiento se tiene que contar obligatoriamente con pórticos resistentes a momentos en donde se pueda hacer la transferencia de cargas del refuerzo implementado, del cual se obtienen buenos resultados ya que, al estar compuesto por acero de refuerzo, esta gobierna sobre la sección de concreto aumentando la resistencia de los muros y por ende la capacidad para resistir cargas laterales.

4.1.3 Reforzamiento con geomalla

Este método es aplicado a viviendas informales especialmente para muros de mampostería confinado y no confinados y consiste en utilizar una malla rígida “RichterGard RG TX” de polímero monolítico con uniones integrales, en forma de triángulos. Se recomienda espesores de mortero de 20 mm para una relación volumétrica de 1:2:7 (cemento, cal y arena gruesa). En la figura 14 se aprecia el proceso constructivo.

Figura 14

Reforzamiento para muros con geomalla y mortero

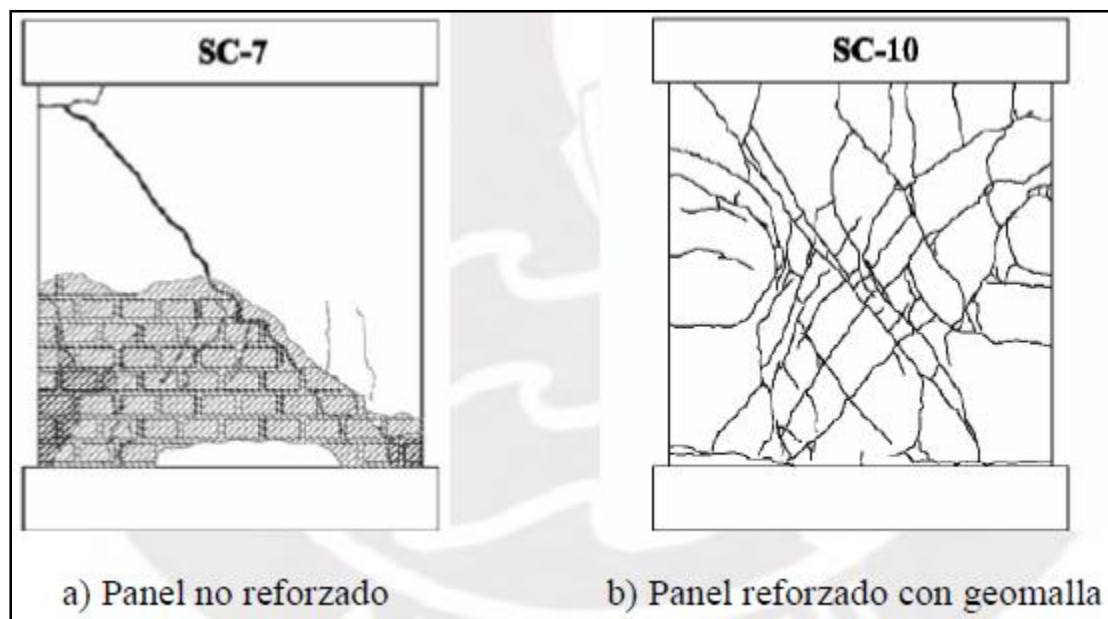


Fuente: Ichpas & Pillaca (2021).

De acuerdo a la figura 14, este método según la investigación realizada por Ichpas & Pillaca (2021), aumenta la capacidad elástica del mampuesto sin aumentar significativamente la resistencia, sin embargo, de acuerdo al estudio realizado se obtuvo resultados positivos en la disipación de energía, cargas y desplazamientos. El resultado de la aplicación de este método contribuye al aumento en la resistencia ante el colapso, puesto que al tener la geomalla el comportamiento del plano de falla del muro requiere de un mayor número de grietas para general la falla y por ende el colapso, a diferencia de un muro en mampostería sin geomalla, Ver figura 15.

Figura 15

Plano de falla de un muro reforzado con geomalla y un muro no reforzado



Fuente: Ichpas & Pillaca (2021).

De acuerdo al reforzamiento con geomalla, este método aplica para aquellas viviendas informales que no cumplen la reglamentación establecida por la norma Colombiana NSR-10, dado que se puede utilizar especialmente para viviendas en muros confinados y muros no confinados, en especial en aquellas viviendas que solo están compuesta por muros de mampostería, carente de pórticos resistentes a momentos.

4.1.4 Refuerzo en encamisado con ángulos y platinas de acero

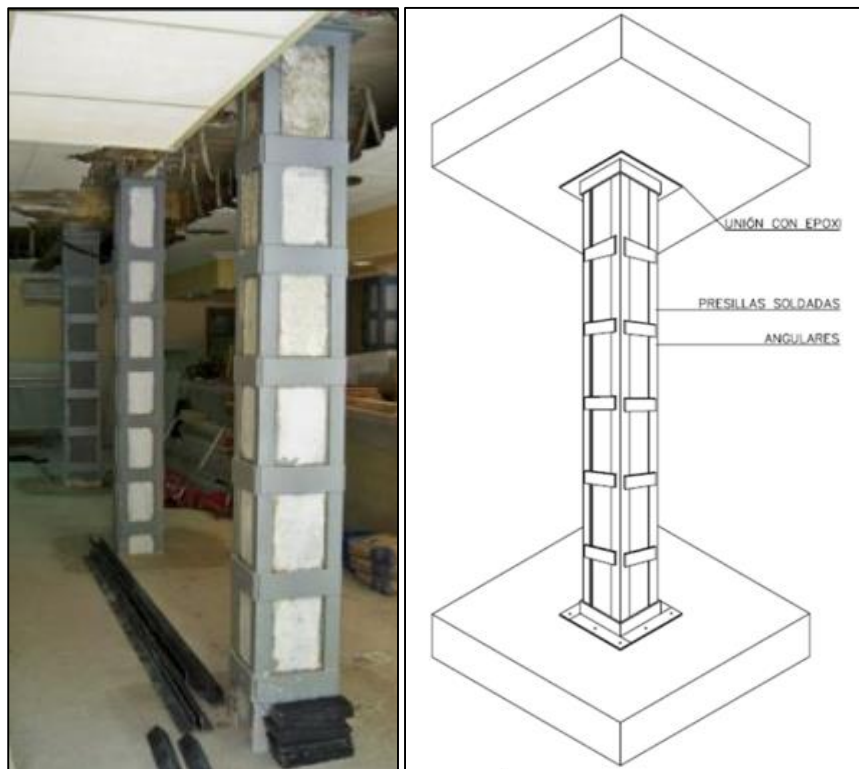
Este método de reforzamiento para el caso de viviendas informales solo aplica para aquellas viviendas conformadas por pórticos resistentes a momentos, ya que el método de

encamisado con ángulos y platinas de acero sirve para reforzar vigas, losas y columnas, en donde para efectos de aumentar la resistencia y la capacidad portante de una vivienda, se recomienda su uso para reforzar columnas, ya que son los pilares que más resisten las cargas gravitacionales y laterales producto de actividad sísmica.

Según Rodríguez E. (2020), Cuando se desea aumentar la resistencia a flexión con este método, es necesario que los ángulos atraviesen la losa o en su caso apoyarse de perfiles que atraviesen esta misma y sean soldados a los ángulos que vienen de la columna.

Con relación al proceso constructivo de acuerdo a la investigación realizada por Izquierdo J. (2015), recomienda que las platinas y ángulos se deben adherir al elemento existente con un mortero epoxídico que permita la correcta transmisión de esfuerzos al elemento mixto, y para el caso de columnas, en la base y cabeza de la columna se deben colocar placas (collarines) para asegurar la transmisión de carga. Ver figura 16

La conformación de este reforzamiento, con relación a columnas rectangulares o cuadras, se colocan ángulos en las cuatro esquinas que su vez se interconectan entre sí, mediante platinas horizontales o diagonales en el punto más alto de la columna, formando una estructura vertical. Es importante formar el collarín en la base y cabeza de la columna, ya que cuando el elemento estructural se encuentra a compresión las fuerzas son transferidas directamente al collarín evitando falla por punzonamiento de la losa debido al cortante. En caso de que la columna se encuentre a tensión, se pueden colocar pernos pasantes en la losa del siguiente nivel para que proporcione continuidad.

Figura 16*Refuerzo con encamisado en ángulos y platinas*

Fuente: Izquierdo J. (2015).

De acuerdo a la figura 16, se puede observar que el encamisado para columnas se realiza de forma parcial, ya que no queda el elemento existente cubierto en su totalidad. Para el caso del encamisado de columnas circulares, si deben ir totalmente recubiertas por platinas semicirculares. Igualmente, cuando la columna existente no ofrece las condiciones necesarias para el reforzamiento con platinas y ángulos, también se puede utilizar un encamisado total de elemento, igual al de la figura 17.

Figura 17

Refuerzo con encamisado total en platinas

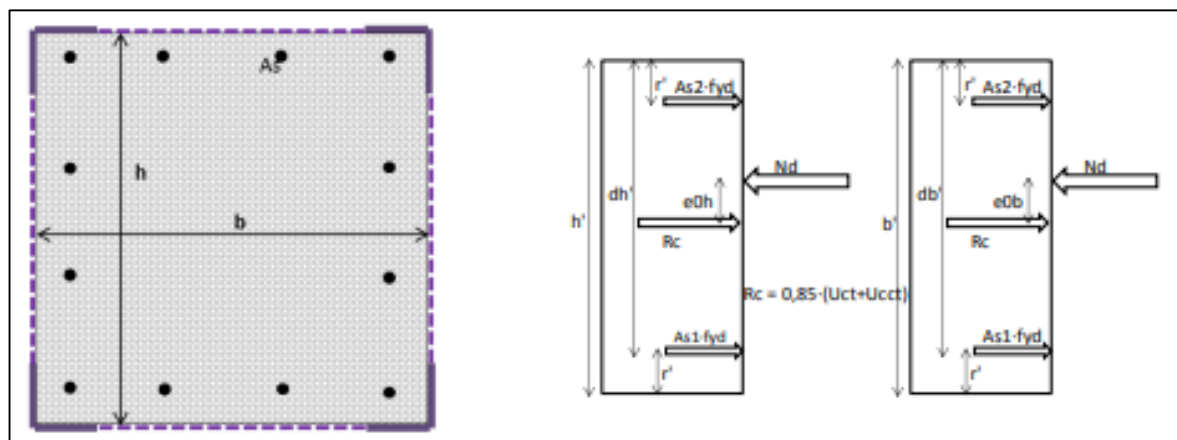


Fuente: Izquierdo J. (2015).

Respecto al comportamiento mecánico de este sistema de reforzamiento estructural, que más que todo es aplicado a columnas, a continuación, mediante la figura 18, se puede observar la sección transversal de una columna reforzada con ángulos y platinas en donde se detalla el diagrama de esfuerzos actuantes en este sistema.

Figura 18

Sección de refuerzo de columna mediante platinas y ángulos



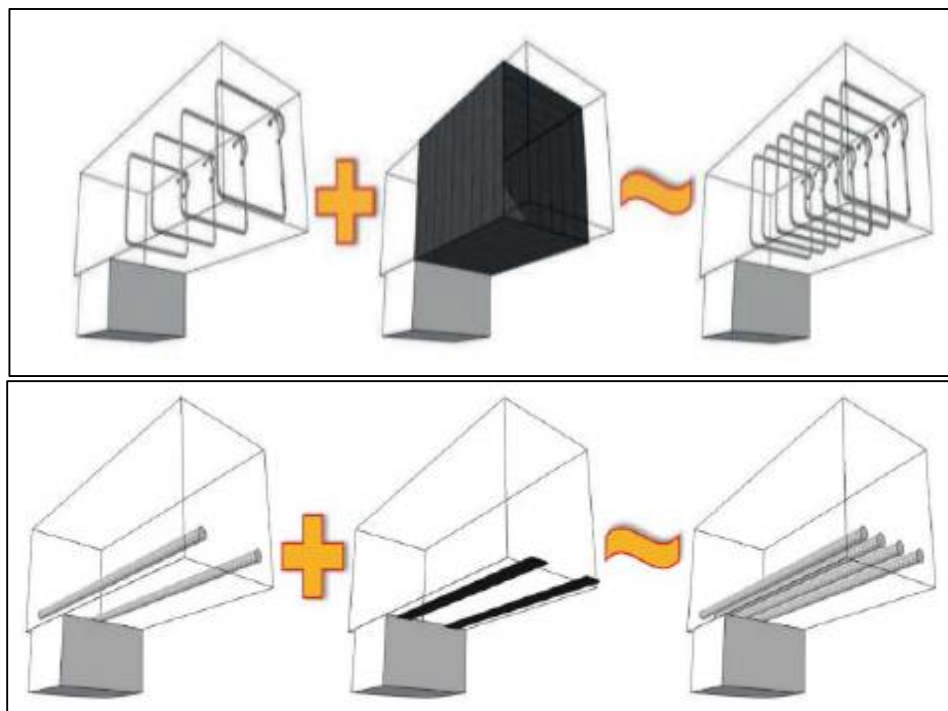
Fuente: Izquierdo J. (2015).

4.1.5 Refuerzo con fibra de carbono FRP

Este método contribuye a soportar la tracción del elemento, y puede ser utilizado para el reforzamiento de columnas, vigas y muros, no obstante, para el reforzamiento de viviendas informales es un material poco comercial, debido a su costo, y facilidad para conseguirlo en el mercado local. El reforzamiento con este método se puede utilizar para restaurar la capacidad de resistir fuerzas de un elemento existente y su principal aceptación es aumentar la capacidad para cargas a atracción. Esta fibra es un sistema que dependiendo de su posición y aplicación para soportar las cargas externas.

Con relación a las columnas, es útil instalar la fibra de carbono de forma que se cree una envolvente con el fin de brindar más capacidad y resistencia al elemento estructural. Y en el caso de vigas, se puede aplicar de dos formas, recubriendo las tres caras de la viga, o mediante bandas de forma longitudinal, la cual, a su vez, trabajan juntamente con el elemento estructural como si el elemento tuviese un mayor refuerzo en su estructura, tal como se aprecia en la figura 18.

Una de las limitaciones o desventajas que presenta este método de reforzamiento, corresponde al elevado costo de la fibra de carbono, por lo que, en caso de optar por implementar este método, se recomienda su uso para elementos pequeños que no representan grandes volúmenes de concreto a reforzar.

Figura 19*Refuerzo con fibra de carbono a cortante*

Fuente: Estrada & Yoplac (2019).

De acuerdo a la figura 18, las láminas en fibra de carbono a pesar de ser un método costoso, es uno de los más prácticos ya que su procedimiento constructivo es más rápido en comparación a los demás métodos mencionados y requiere de poca mano de obra para su instalación.

4.1.6 Parámetros normativos aplicables a la rehabilitación estructural

Con respecto a la construcción informal en Colombia, debido al crecimiento y al potencial de vulnerabilidad sísmica que presenta la construcción de viviendas informales en el país, por medio de la ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, se emite la

Norma AIS 410-23: EVALUACIÓN Y REDUCCIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA, la cual aplica para la construcción, rehabilitación o reforzamiento de estructuras de vivienda de 1 2 y 3 pisos construidas en mampostería.

Norma AIS 410-23: Con respecto a los aspectos necesarios para el análisis y reforzamiento de la mampostería cabe resaltar de la norma AIS 410-23, la cual establece la resistencia a la compresión típica de unidades de mampostería cuando no existan datos de campo, se podrán utilizar los siguientes valores:

Arcilla de perforación horizontal:

Concreto de perforación vertical:

De acuerdo a la norma AIS 410-23, con relación a morteros de pega para mampostería, sea cualquiera de sus usos, se recomienda como mínimo, una resistencia a la compresión especificada de 7,5 MPa.

Con relación a las propiedades mecánicas de la mampostería existente, el uso de la norma AIS 410-23, recomienda el uso de la expresión basada en la norma NSR-10, que corresponde a:

En donde:

: Factor de corrección por absorción, igual a 0,8 para unidades de arcilla (NSR-10 D.3)

: Resistencia típica del mortero de pega Mínima 7,5 MPa.

: Altura de la unidad del bloque

Con relación a la NORMA NSR-10, Título D, Según el uso de la mampostería, se mencionan los siguientes criterios de análisis y diseño a considerar:

Módulos de elasticidad:

Módulo de Elasticidad del ACERO: $E_s = 200.000 \text{ MPa}$ (NSR-10 C.8.5.2)

Módulo de elasticidad del Concreto: (NSR-10 C.8.5.1):

—

Módulo de elasticidad de la Mampostería: (NSR-10 D.5.2.1.2): El valor del modulo de elasticidad se debe establecer mediante ensayos, en caso de no contar con ensayos, se pueden usar las siguientes expresiones basadas en registros históricos de módulos de elasticidad:

Para Mampostería en concreto:

Para Mampostería en Arcilla:

Modulo de elasticidad para morteros de relleno: (NSR-10 D.5.2.1.3):

—

Módulos de cortante: (NSR-10 D.5.2.2)

Para mampostería:

Para mortero de relleno:

Con relación a otros parámetros de la norma NSR-10, vale la pena resaltar el TITULO E, para casas de 1 y 2 pisos en mampostería confinada en donde se tiene en cuenta las recomendaciones para espesores de muros:

Espesor de muro debido a la longitud libre horizontal: Para muros estructurales, la distancia libre no puede exceder 35 veces el espesor efectivo del muro.

Espesor mínimo de muros estructurales confinados para un piso:

Zona de amenaza sísmica Alta: 110 mm

Zona de amenaza sísmica intermedia: 100 mm

Zona de amenaza sísmica baja: 95 mm

4.1.7 Análisis de los métodos de reforzamiento estructural

De acuerdo a los diferentes métodos mencionados para el reforzamiento estructural que puede ser aplicado en la rehabilitación y rehabilitación de viviendas informales, se realiza el siguiente cuadro comparativo de las variables evaluadas e identificadas en la investigación:

Tabla 2

Análisis sobre los métodos de reforzamiento en viviendas

Método de reforzamiento	Actividades del sistema constructivo	Consumo de Materiales	Invasivo		Observación
			SI	NO	
Recrecido de Hormigón Armado	- Desportillamiento del elemento estructural existente. - Instalación de anclajes. - Corte figurado y armado de acero de refuerzo para el recrecido. - Instalación del acero de refuerzo y formaleta para el recrecido. - Preparación de la mezcla de concreto y vaciado del elemento encofrado. - Retiro de formaleta posterior al tiempo de fraguado del elemento.	* Acero de refuerzo. * Mezcla de concreto (Arena, Triturado, Agua, Cemento) * Madera para formaletas	x		Este método conlleva un costo considerable, considerando que se debe desocupar la vivienda para realizar el proceso constructivo.
Recubrimiento con malla electrosoldada	- Instalación de anclajes en los elementos de borde. - Instalación de malla electrosoldada. - Revoque con mortero.	* Malla electrosoldada. * Mortero de revoque (Arena, Cemento, Agua). * Acero de refuerzo para anclajes.		x	Este método puede ser útil, pero debido al proceso constructivo se recomienda deshabitar la vivienda de acuerdo a la magnitud del refuerzo en caso de realizarse a todos los muros de una vivienda.
Recubrimiento con Geomalla	- Instalación y anclaje de la geomalla plástica. - Instalación del mortero de adherencia para la geomalla.	* Geomalla plástica de apertura hexagonal. * Mortero de revoque (Arena, Cemento, Agua).		x	Este método solo contribuye a la reducción de la fisuración de muros de mampostería o en su defecto al control de cargas de pandeo, ya que no aporta resistencia ante cargas a cortante y a compresión.
Encamisado con ángulos y platinas	- Desportillamiento del concreto existente. - Instalación de piezas metálicas conformada de platinas. - Soldadura y fijación de piezas metálicas de reforzamiento.	* Platinas de refuerzo. * Soldadura.		x	Dependiendo de la cantidad o magnitud de elementos a reforzar se vuelve un método debido al costo del acero, además que su instalación se debe realizar con personal experto.

4.2 Procedimiento metodológico en la modelación estructural y procesos constructivos de la viruta de metalistería en el reforzamiento de viviendas informales mediante una lista de procesos cumpliendo los parámetros establecidos por la norma NSR-10, para la modelación estructural usando un software de elementos finitos.

La mampostería reforzada externamente y los muros diafragma no son permitidos para estructuras nuevas si no para reforzamientos de estructuras existente según el Título D, de la Norma NSR-10, igualmente para la norma ACI-410-23, establece el reforzamiento exterior de muros en mampostería para estructuras existentes.

En este orden de ideas, se menciona que el método que concierne a la presente investigación, el cual consiste en el uso de la viruta de metalistería para el reforzamiento del mortero de revoque para muros de mampostería, corresponde a un método de reforzamiento exterior, diferente al establecido en la Norma NSR-10, en el Literal D.12, en donde especifica el método mediante el uso de malla electrosoldada, en cambio para efectos de la presente investigación, se realiza el mismo método constructivo, pero en ves de utilizar malla electrosoldada, se emplea viruta de metalistería inmersa en el mortero de revoque.

Para emplear el uso de la viruta de metalistería en conjunto con el mortero de revoque, es importante evaluar su capacidad y resistencia mediante modelos computacionales, por lo que inicialmente se requieren de conocer cuáles son las características que puede ofrecer este material compuesto mediante el uso de ensayos de laboratorio.

4.2.1 Procedimiento para evaluar características del material compuesto

Para evaluar el material compuesto, inicialmente se deben realizar ensayos de laboratorio para los materiales o muestra de materiales a utilizar, en donde para efectos de la presente investigación se realizaron los diferentes ensayos de laboratorio para determinar el diseño de mezcla de concreto para el mortero de revoque, para luego elaborar muestras de concreto prismáticas añadiendo viruta de metalistería en diferentes proporciones. A continuación, mediante la figura 20 se observa el procedimiento experimental realizado.

Figura 20

Ensayos de laboratorio para la caracterización del material



Nota: La figura muestra los ensayos de tamizado y Proctor para los agregados.

Con relación al uso de la viruta de metalistería a implementar en las muestras de concreto, en la figura 21, se puede apreciar su tamaño y forma, la cual, de acuerdo a la relación de aspecto según el tamaño de las muestras prismáticas, que también se aprecian en la figura 21 imagen derecha

Figura 21

Viruta de metalistería y probetas listas para ensayar



Nota: La figura muestra la forma de la viruta de metalistería y la probeta de concreto a ensayar con adición de viruta de metalistería en diferentes proporciones.

Con relación a la cantidad en la incorporación de la viruta a utilizar en cada una de las probetas a ensayar, se tuvieron en cuenta los diferentes criterios de estudio:

* 1 muestra con relación de viruta 60kg/m³ por cada m³ de concreto. (NSR-10 C.5.6.6.2): para el cubo de 50mm de lado la cantidad seria (60) = 7,5 gr.

* 4 muestra con relación de viruta 20, 30, 40, 50 kg/m³ por cada m³ de concreto. (Guía de concreto reforzado con fibras de SIKa): Para El Cubo De 50mm De Lado La Cantidad SERIA (20) = 2,5gr; (40) = 5,0gr; (50) = 6,25gr.

Con relación a la definición en el tamaño de la viruta se tuvo en cuenta:

* Medir ancho de viruta con calibrador y espesor con tornillo micrométrico (Calcular el área de la sección de la viruta [Ancho*espesor])

* El área de la sección de la viruta debe oscilar entre 0,001963 mm² a 3,14 mm² (Guía de concreto reforzado con fibras de SIKa)

* Largo de viruta según relación de aspecto (L/d): Varía entre 20 a 100, en donde:

L= Longitud de Viruta

d= Diametro de viruta, en este caso como tenemos el Area, calculamos el Diametro asumiendo que la sección de la viruta es circular.

Luego de obtener las muestras y ensayarlas a compresión en laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 22*Muestras de concreto sin adición de viruta*

Prueba	1	2	3
Descripción de la muestra	Mortero		
Número de muestra	B1	B2	B3
Dosificación			

Figura 23*Muestras de concreto con adición de 2,5 gramos de viruta*

Prueba	1	2	3
Descripción de la muestra	Mortero con adición de 2.5 gr de viruta		
Número de muestra	20.1	20.2	20.3
Dosificación	1 : 2,5		
Fecha Toma	7/06/2023	7/06/2023	7/06/2023
Fecha Rotura	14/06/2023	21/06/2023	5/07/2023
Lado (mm)	50,00	50,00	50,00
Peso (g)	261,0	266,0	266,0
Área (mm ²)	2500,00	2500,00	2500,00
Volumen (mm ³)	125000,00	125000,00	125000,00
Densidad (Kg/m ³)	2088,00	2128,00	2128,00
Carga (KN)	69,80	84,70	81,80
Edad (días)	7	14	28
Resistencia Real (MPa)	27,92	33,88	32,72
Resistencia Real (lb/pulg ²) PSI	4049,52	4913,96	4745,71
Resistencia Real (Kg/cm ²)	283,47	343,98	332,20
Resistencia Promedio Real (PSI)			
Porcentaje resistencia a la compresión	115,70 %	140,40 %	135,59 %

Figura 24*Muestras de concreto con adición de 5 gramos de viruta*

Prueba	1	2	3
Descripción de la muestra	Mortero con adición de 5.0 gr de viruta		
Número de muestra	40.1	40.2	40.3
Dosificación	1 : 2,5		
Fecha Toma	7/06/2023	7/06/2023	7/06/2023
Fecha Rotura	14/06/2023	21/06/2023	5/07/2023
Lado (mm)	50,00	50,00	50,00
Peso (g)	280,0	275,0	281,0
Área (mm ²)	2500,00	2500,00	2500,00
Volumen (mm ³)	125000,00	125000,00	125000,00
Densidad (Kg/m ³)	2240,00	2200,00	2248,00
Carga (KN)	81,60	75,90	73,90
Edad (días)	7	14	28
Resistencia Real (MPa)	32,64	30,36	29,56
Resistencia Real (lb/pulg ²) PSI	4734,11	4403,41	4287,38
Resistencia Real (Kg/cm ²)	331,39	308,24	300,12
Resistencia Promedio Real (PSI)			
Porcentaje resistencia a la compresión	135,26 %	125,81 %	122,50 %

Figura 25*Muestras de concreto con adición de 6,25 gramos de viruta*

Prueba	1	2	3
Descripción de la muestra	Mortero con adición de 6.25 gr de viruta		
Número de muestra	50.1	50.2	50.3
Dosificación	1 : 2,5		
Fecha Toma	7/06/2023	7/06/2023	7/06/2023
Fecha Rotura	14/06/2023	21/06/2023	5/07/2023
Lado (mm)	50,00	50,00	51,00
Peso (g)	263,0	260,0	269,0
Área (mm ²)	2500,00	2500,00	2601,00
Volumen (mm ³)	125000,00	125000,00	132651,00
Densidad (Kg/m ³)	2104,00	2080,00	2027,88
Carga (KN)	81,90	57,30	79,80
Edad (días)	7	14	28
Resistencia Real (MPa)	32,76	22,92	30,68
Resistencia Real (lb/pulg ²) PSI	4751,51	3324,32	4449,90
Resistencia Real (Kg/cm ²)	332,61	232,70	311,49
Resistencia Promedio Real (PSI)			
Porcentaje resistencia a la compresión	135,76 %	94,98 %	127,14 %

Figura 26*Muestras de concreto con adición de 7,5 gramos de viruta*

Prueba	1	2	3
Descripción de la muestra	Mortero con adición de 7.5 gr de viruta		
Número de muestra	60.1	60.2	60.3
Dosificación	1 : 2,5		
Fecha Toma	7/06/2023	7/06/2023	7/06/2023
Fecha Rotura	14/06/2023	21/06/2023	5/07/2023
Lado (mm)	50,00	50,00	50,00
Peso (g)	252,0	259,0	256,0
Área (mm ²)	2500,00	2500,00	2500,00
Volumen (mm ³)	125000,00	125000,00	125000,00
Densidad (Kg/m ³)	2016,00	2072,00	2048,00
Carga (KN)	41,00	54,20	54,50
Edad (días)	7	14	28
Resistencia Real (MPa)	16,40	21,68	21,80
Resistencia Real (lb/pulg ²) PSI	2378,66	3144,47	3161,87
Resistencia Real (Kg/cm ²)	166,51	220,11	221,33
Resistencia Promedio Real (PSI)			
Porcentaje resistencia a la compresión	67,96 %	89,84 %	90,34 %

De acuerdo a los resultados obtenidos para la evaluación de las características del material a utilizar el cual en este caso corresponde al mortero de revoque reforzado con viruta, se puede observar que según las muestras ensayadas sin adición de la viruta y con la adición de la viruta, se puede concluir que si existe un aumento en la capacidad de resistencia a compresión para las probetas prismáticas ensayadas, no obstante, el siguiente paso para determinar si viabilidad en el uso de reforzamiento para muros de mampostería en viviendas, corresponde a la comprobación mediante métodos computacionales.

Por lo anterior para la modelación del elemento compuesto por muro de mampostería en conjunto con un mortero de revoque reforzado con viruta de metalistería, se plantea el análisis no lineal estático (Pushover), el cual sirve para determinar la capacidad de desempeño de un elemento o una estructura, mediante la aplicación de cargas horizontales crecientes hasta determinar la presencia de rotulas plásticas en el elemento o llegar a la falla de la estructura.

Como resultado de los ensayos de laboratorio realizados para el desarrollo de la investigación, se relaciona la siguiente tabla, que de forma resumida sintetiza los resultados obtenidos de los ensayos.

Tabla 3

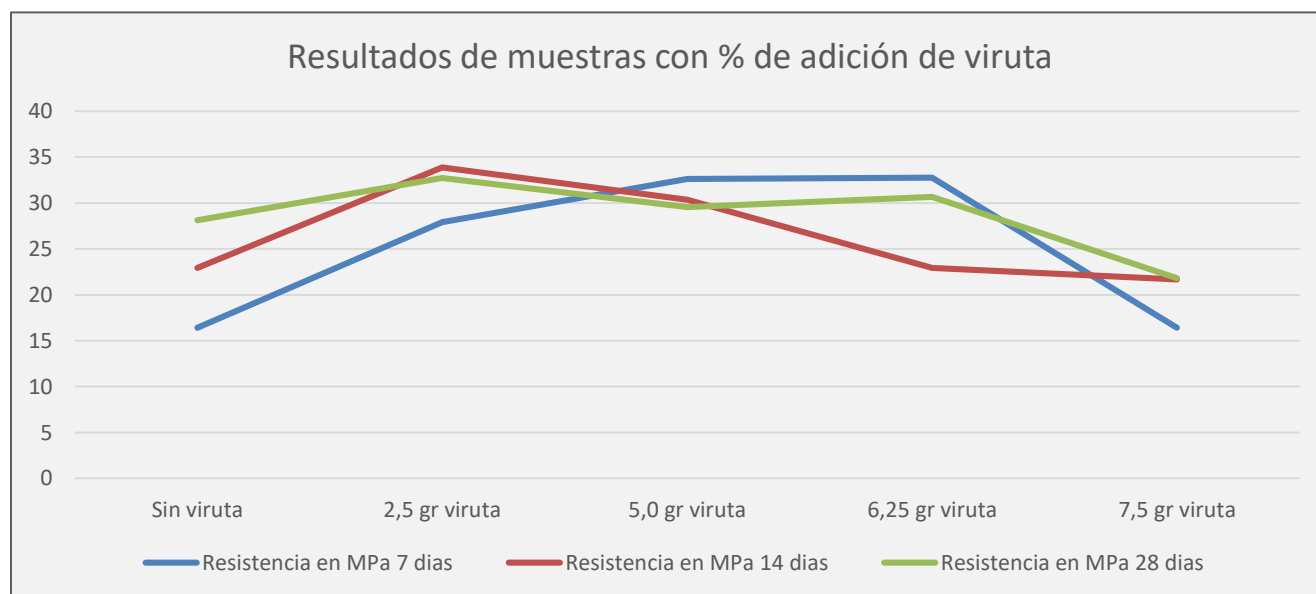
Resumen de resultados de ensayos de laboratorio

Adición de viruta	Resistencia en MPa		
	7 días	14 días	28 días
Sin viruta	16,4	22,92	28,12
2,5 gr viruta	27,92	33,88	32,72
5,0 gr viruta	32,64	30,36	29,56
6,25 gr viruta	32,76	22,92	30,68
7,5 gr viruta	16,4	21,68	21,8

Nota: La tabla muestra los resultados de ensayos de laboratorio realizados para el desarrollo de la investigación.

Figura 27

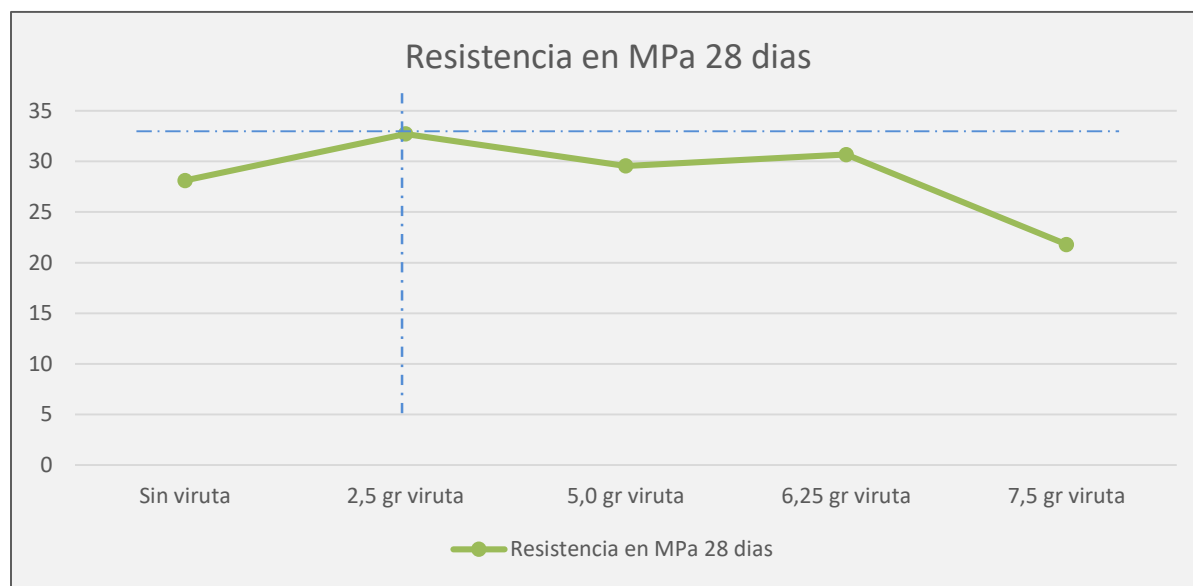
Análisis de resultados de ensayos de laboratorio



De acuerdo a la tabla 3 y a la figura 27, se puede apreciar el punto de convergencia en el análisis de resultados en donde se interceptan las gráficas, en donde la resistencia oscila entre los 28 a 32 MPa. Para el caso de la presente investigación, se tiene en cuenta el análisis de la resistencia de las muestras ensayadas en su estado definitivo correspondiente a los 28 días, por lo cual por medio de la figura 28, se analiza solo la gráfica para esta resistencia.

Figura 28

Grafica de resistencia a los 28 días



De acuerdo a la figura 28, para el análisis y desarrollo en la implementación del uso del revoque reforzado con la adición de viruta de metalistería para muros de mampostería, se escoge la implementación de 2,5 gr de viruta que fueron adicionados al cubo prismático de 5 cm de arista, elaborado en concreto para las muestras ensayadas, obteniendo como resultado una resistencia de 32,72 MPa, representando la mayor resistencia obtenida de las diferentes proporciones de adición de viruta.

4.2.2 Procedimiento metodológico para la modelación estructural

El modelo estructural a utilizar corresponde al análisis estático no lineal (Pushover), el cual es un análisis de elementos finitos que consiste en la aplicación de cargas que se incrementan hasta llegar a la falla o hasta llegar al punto de fluencia o ductilidad del material como lo es la generación de rotulas plásticas que existen en los diferentes elementos de una estructura. El método pushover, corresponde a un análisis de desempeño por desplazamientos para determinar la vulnerabilidad estructural de una edificación ante las sollicitaciones sísmicas a las cuales se pueda someter, para lo cual se emplea el software SAP 2000, para el respectivo análisis.

Para la modelación estructural en SAP 2000, se siguen los siguientes pasos:

4.2.2.1 Definición de materiales. Es importante para la modelación en SAP2000, definir los materiales a utilizar, los cuales para el caso de la investigación corresponden al concreto, acero y mampostería.

Resistencia del concreto: $f'_c = 21 \text{ MPa}$

Módulo de elasticidad del Concreto: (NSR-10 C.8.5.1)

—

—

Resistencia del ACERO: $f_y = 420 \text{ Mpa}$

Módulo de Elasticidad del ACERO: $E_s = 200.000 \text{ MPa}$ (NSR-10 C.8.5.2)

Resistencia del bloque de arcilla de perforación horizontal (NTC-4205) = 4,9 MPa

Resistencia del mortero de pega Tipo M (NSR-10 D.3.4) = 17,5 MPa

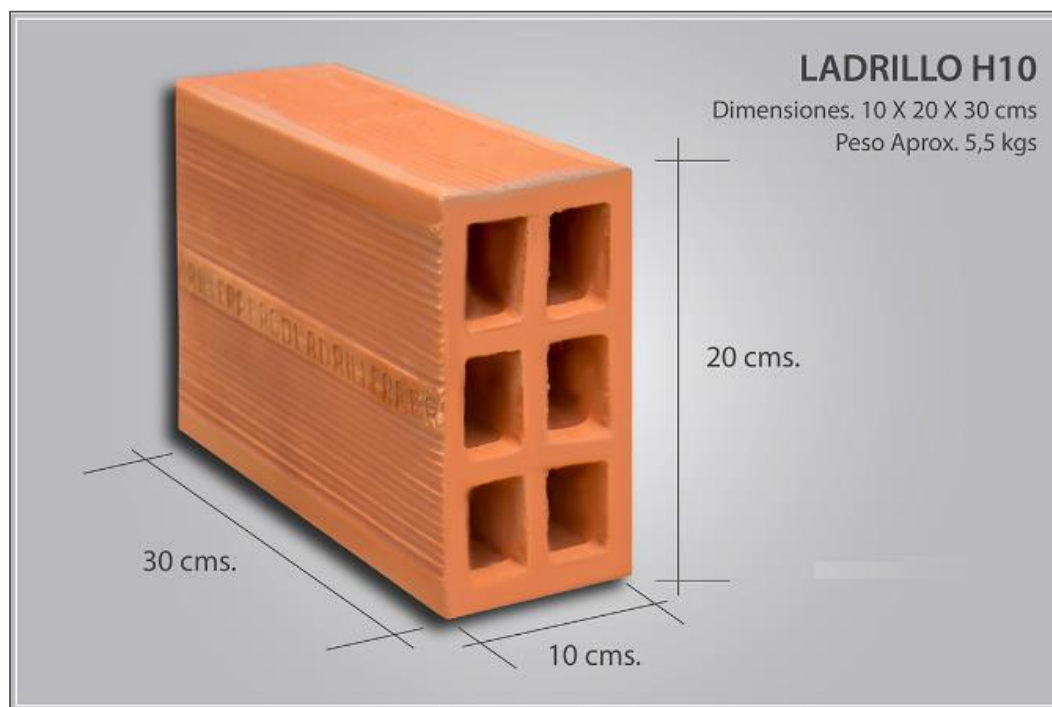
Bloque de arcilla H-10 = 10x20x30 cm. Ver figura 29.

Peso por unidad de volumen

Nota: El peso específico del ladrillo H-10, se asumió como el valor recomendado de las tablas auxiliares del Instituto Chileno Del Acero (s.f). Las dimensiones del bloque H-10, considerado para el análisis de la metodología de reforzamiento con viruta de metalistería, se pueden apreciar en a figura 29.

Figura 29

Dimensiones del bloque H-10



Nota: Obtenido de: Ladrilleraergo (s.f).

Para la definición de la resistencia a la compresión del muro en mampostería según la NSR-10 D.3.7.5, se emplea la siguiente ecuación:

$$f_{cm} = \frac{f_m}{K_1 K_2}$$

: Factor de corrección por absorción, igual a 0,8 para unidades de arcilla (NSR-10 D.3)

: Altura de la unidad de mampostería, en este caso se utiliza para bloque H-10, $h = 200$ mm

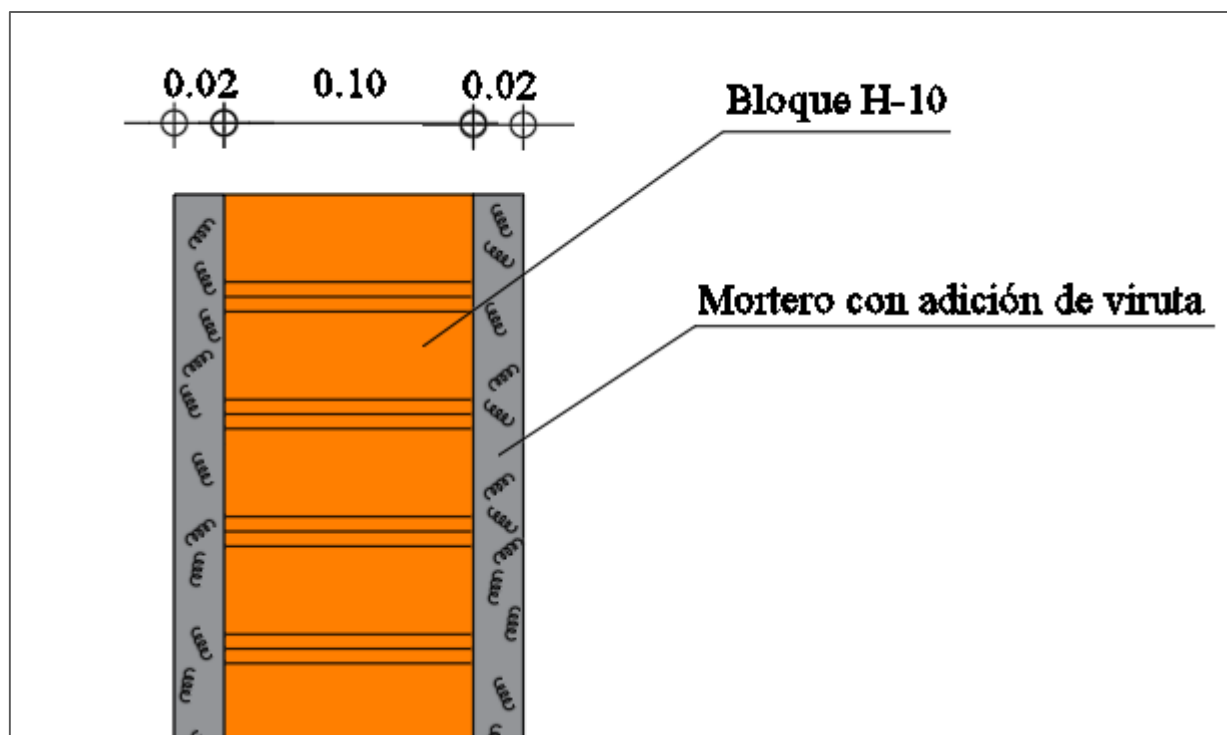
$$f_m = f_{cm} K_1 K_2$$

Luego la resistencia de los muros en mampostería a utilizar en el análisis corresponde a 2,94 MPa, para el caso de la investigación con un espesor de muro de 10 cm excluyendo el revoque existente. Con relación al análisis de la incorporación de un pañete reforzado con la adición de viruta para muros de mampostería, las propiedades de la mampostería se establecen para un material compuesto. Con el fin de definir la resistencia a la compresión del material compuesto para usar en el software, se establece la normalización de la resistencia considerando los resultados de ensayos de laboratorio con la adición de viruta de 2,5 gr para las muestras ensayadas la cual arroja una resistencia de 32,72 MPa., en donde para efectos de esta

investigación se analizarán los resultados para un revoque de espesor de 2 cm (NSR-10 D.12.1.3) en cada cara del muro. Ver figura 30.

Figura 30

Esquema de sección compuesta de un muro en mampostería con refuerzo externo en revoque



Nota: Esquema realizado para una mayor compresión del análisis de la investigación. Las medidas están dadas en metros. Fuente: Autor de la investigación

Para el análisis de la sección compuesta con mortero de viruta de metalistería, se utiliza la normalización de datos, en donde se busca definir la resistencia a la compresión de la sección compuesta teniendo en cuenta el espesor del muro con y sin refuerzo con mortero reforzado, mediante la siguiente expresión:

En donde:

: Resistencia a la compresión de la sección compuesta.

: Resistencia a la compresión de la mampostería

: Espesor del muro de mampostería

: Espesor de la sección compuesta

: Resistencia a la compresión del mortero con adición de viruta

: Espesor del revoque con adición de viruta

Despejando la ecuación se obtiene:

Luego de conocer la resistencia a la compresión de la mampostería y de la sección compuesta, se define el módulo de elasticidad mediante la expresión de la norma NSR-10

D.5.2.1.2:

Para mampostería en arcilla:

En vista de que la norma NSR-10, no define un procedimiento para la definición del módulo de elasticidad de un muro de mampostería en sección compuesta con un revoque reforzado con viruta de metalistería, se emplea el módulo de elasticidad para la mampostería reforzada externamente definida en el Literal NSR-10 D.12.4.3:

$$\frac{E_m}{1 + \mu_m}$$

El módulo de elasticidad para la sección compuesta con el revoque y adición de viruta, según la ecuación $\frac{E_m}{1 + \mu_m}$ definida por la norma NSR-10 para muros con refuerzo exterior, SI determina resultados concluyentes en este caso, ya que, al adicionar el revoque de mortero con adición de viruta, se aprecia un aumento en la rigidez del elemento obteniendo un aumento en el módulo de elasticidad en comparación con la mampostería sin ningún refuerzo.

4.2.2.2 Evaluación de cargas Dentro de la modelación del software, se deben definir la evaluación de caras que contempla:

Carga viva:

Carga viva en cubierta: 0,35 KN/m² (35 kg/m²)

Carga de viento: 0,40 KN/m² (40 kg/m²)

Carga viva de entrepiso:

Carga viva residencial: 1,8 KN/m² (180 kg/m²)

Carga Viva Balcones: 5,0 KN/m² (500 kg/m²)

Carga muerta:

Muros fachada:

Muro Parapeto: 1,8 KN/m² (180 kg/m²)

Carga muerta de cubierta:

Teja Fibrocemento: 0,20 KN/m² (20kg/m²)

Placa fácil:

Carga muerta Placa fácil:

Muro = 1,8 KN/m² (180 kg/m²)

Acabados = 1,08 KN/m² (108 kg/m²)

Loseta superior = 1,08 KN/m² (108 kg/m²)

Perfiles metálicos galvanizados = 0,05 KN/m² (5 kg/m²)

Bloquelones = 0,55 KN/m² (55 kg/m²)

Total = 4,56 KN/m²

4.2.2.3 Análisis espectro sísmico de diseño. Consiste en el método de fuerzas, aplicado a una estructura de menos de 5 pisos o edificaciones de gran altura en donde el tengan vibraciones que no son permisibles bajo el método de fuerza horizontal equivalente. Para realizar el procedimiento se deben revisar los parámetros establecidos en la NSR-10.

El método de fuerza horizontal equivalente se trata sobre el diseño del espectro de diseño elástico y su respuesta, mediante el análisis de derivas. A continuación de acuerdo a la Norma NSR-10, se relacionan los parámetros sísmicos del espectro de diseño para Ocaña:

GRUPO DE USO I

$I = 1,00$

PERFIL DE SUELO = D

Coefficiente de aceleración pico efectiva:

$A_a = 0,20$

Coefficiente de velocidad horizontal pico efectiva:

$A_v = 0,15$

Coefficiente de aceleración que afecta la aceleración en zona de periodos cortos:

$F_a = 1,40$

Coefficiente de aceleración que afecta la aceleración en zona de periodos intermedios:

$F_v = 2,20$

Periodo de vibración en segundos, del sistema elástico:

$T_o = 0,12$

Periodo de vibración en segundos, transición entre la zona de aceleración constante y descendente del mismo:

$T_c = 0,57$

Periodo de transición en segundos, inicio de la zona de desplazamiento constante:

$$T_L = 5,28$$

$$T_L - T_C: 4,71$$

Los parámetros anteriormente mencionados para la obtención del espectro sísmico de diseño mediante el método de fuerza horizontal equivalente, se tienen en cuenta para la evaluación de la metodología a un caso de estudio previamente definido en el capítulo 4.3 de este documento. Con relación al procedimiento de aplicación paso a paso para la evaluación del caso de estudio en SAP2000, se explica en el literal 4.3 de la presente investigación, tomando como caso de estudio la vivienda informal seleccionada.

4.2.3 Lista de procesos

A continuación, mediante la siguiente tabla 4, se puede apreciar una lista de procesos que conlleva al análisis de uso de metalistería en el reforzamiento de viviendas informales, así como también el procedimiento para la evaluación mediante el uso de un programa de elementos finitos el cual para este caso se utiliza el software SAP2000.

Tabla 4

Lista de procesos para el refuerzo con viruta de metalistería

Descripción del proceso	Procedimiento
Ensayos de laboratorios para los agregados pétreos.	Este procedimiento consiste en realizar los ensayos de laboratorio, necesarios para caracterizar los materiales a utilizar para la mezcla del mortero a reforzar con la viruta.
Obtención uniforme de la viruta de metalistería.	Consiste en obtener la viruta reciclada, tratando de dejar una uniformidad entre cada viruta con relación al tamaño de la muestra mediante una relación de aspecto.
Elaboración de probetas para conocer resistencias.	Es importante realizar diferentes muestras de concreto con diferentes dosificaciones para identificar que dosificación aporta una mayor resistencia en comparación con una muestra sin ninguna adición de viruta.
Obtención de parámetros de diseño	En este procedimiento, se deben tener en cuenta los criterios de la Norma NSR-10, en donde se definen la resistencia de los

Descripción del proceso	Procedimiento
	muros compuestos reforzados con viruta y el modulo de elasticidad, en base a la resistencia obtenida por ensayos de laboratorio.
Configuración Estructural en SAP2000	Se debe elaborar la geometría de la estructura a evaluar en donde a parte de incluir elementos para vigas, columnas y losas, se deben definir elementos de área para muros de mampostería los cuales se basan en elementos tipo Shell.
Determinación de fuerzas sísmicas para modelación en SAP2000	Corresponden a las fuerzas horizontales que actúan en el sistema de acuerdo a la región en donde se ubique la edificación, en este caso se utiliza el método de Fuerza horizontal equivalente, para conocer las cargas sísmicas por piso y el cortante basal.
Análisis Pushover	Se debe realizar un análisis pushover, con el fin de conocer la presencia de rotulas plásticas y los desplazamientos máximos en un nodo de control, en donde se aplican las fuerzas horizontales determinadas por piso, solo a un pórtico de la estructura, se recomienda utilizar el pórtico que tenga mayor numero de nodos y columnas.

Nota: Fuente: Autor de la investigación.

4.3 Evaluar la metodología mediante modelación computacional el uso de viruta de la metalistería en concretos para el reforzamiento estructural de viviendas informales del barrio Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña.

Para la evaluación de la metodología utilizando un caso de estudio, vivienda tipo del barrio Urbanización Transparencia 1 del municipio de Ocaña. Se realiza un recorrido por el barrio para identificar las viviendas informales más representativas, teniendo en cuenta que inicialmente el proyecto propuesto para este barrio consistió en viviendas de un solo nivel, no obstante, muchos propietarios decidieron construir un nivel adicional sin la supervisión o el consentimiento de profesional adecuado. De acuerdo a la visita de campo realizada, en la figura 31, se evidencian 6 diferentes viviendas en donde las primeras 4 imágenes enumeradas, corresponden a viviendas informales con posibles falencias constructivas, y las dos últimas imágenes (5 y 6) son las condiciones iniciales para los cuales fueron diseñadas las viviendas.

Figura 31

Viviendas informales de la Urbanización Transparencia 1

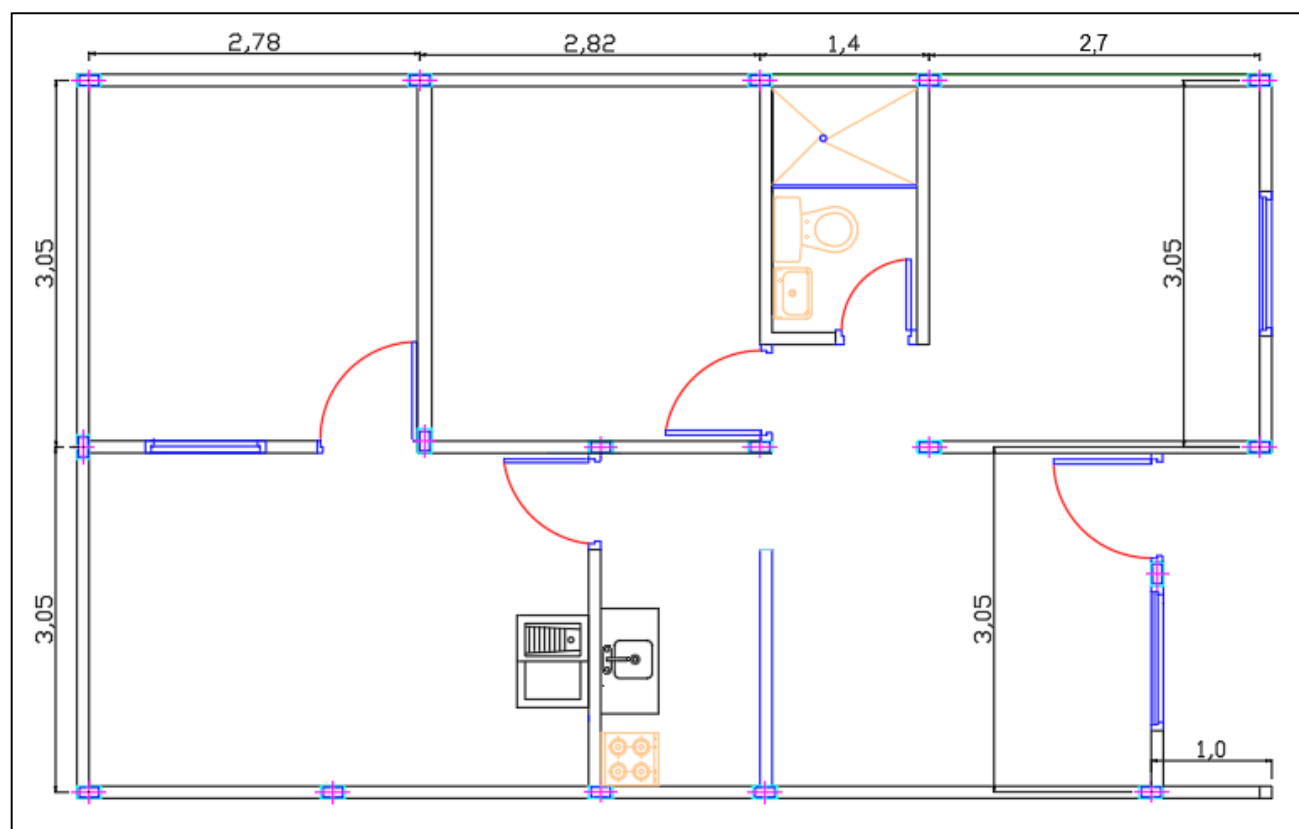


Nota: Fuente: Autor de la Investigación.

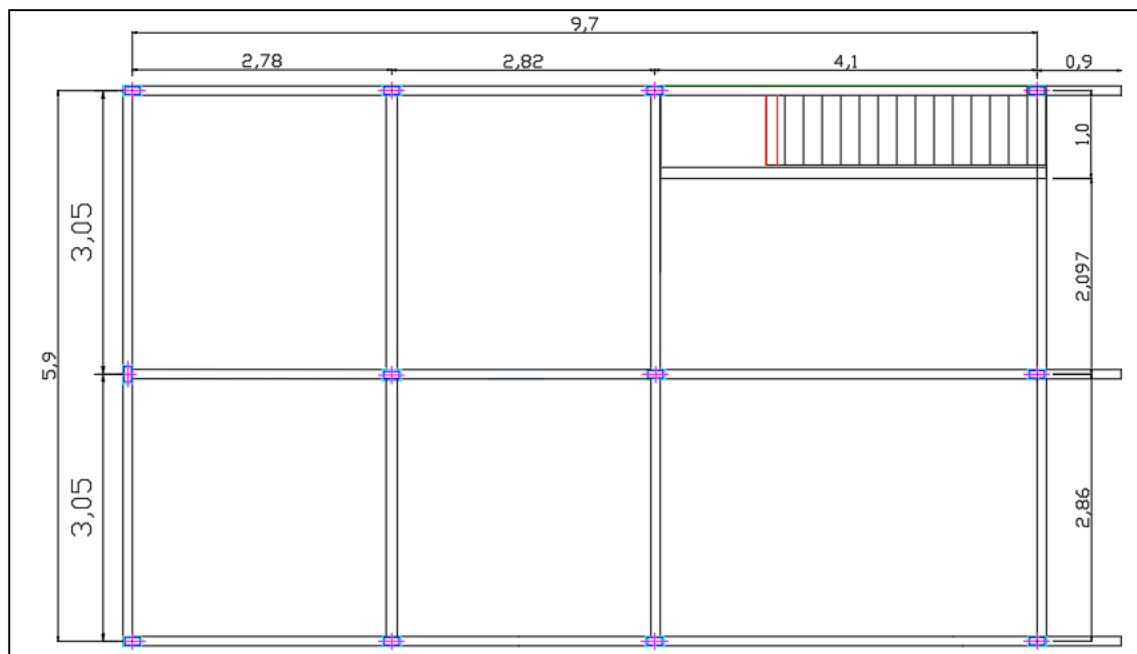
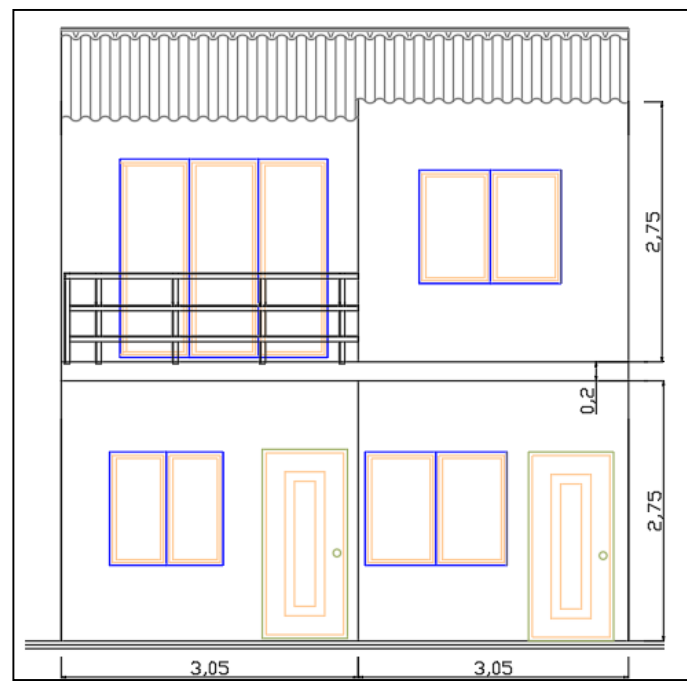
De acuerdo a la figura 31, según las viviendas informales identificadas, se selecciona el caso de estudio para la evaluación del método de revoque con viruta con metalistería la imagen enumerada con el No.3 de la figura 30, la cual representa una configuración proporcional en donde los resultados pueden ser considerablemente concluyentes. La geometría y dimensiones de la vivienda seleccionada para evaluar la metodología, se define en la figura 32, figura 33 y figura 34.

Figura 32

Geometría en planta primer nivel vivienda existente caso de estudio



Nota: El plano muestra la configuración geométrica en planta del primer nivel. Las medidas están dadas en metros.

Figura 33*Geometría en planta segundo nivel vivienda existente caso de estudio**Nota: Las medidas están dadas en metros.***Figura 34***Fachada vivienda caso de estudio**Nota: Las medidas están dadas en metros.*

Luego de definida la geometría identificada para la vivienda caso de estudio, tal como se aprecia en las figuras 32, 33 y 34, se procede a realizar la modelación estructural el cual para este caso se basa en el análisis de desempeño por desplazamiento, más conocido como método pushover, que consiste en la aplicación de fuerzas horizontales sísmicas, para determinar el desplazamiento máximo al cual puede estar sometido un elemento antes de presentar la falla, conociendo así su vulnerabilidad sísmica. En este caso para efectos de la modelación se definen puntos de fluencia para vigas y columnas conocidos como rotulas plásticas, con el fin de conocer su desplazamiento máximo ante el sometimiento de cargas sísmicas.

Es importante recalcar, que la presente investigación no busca hacer un análisis de vulnerabilidad sísmica, mas, sin embargo, si busca evaluar las diferencias en los desplazamientos que pueden presentarse para un punto en específico de la estructura utilizando una mampostería convencional y una mampostería de sección compuesta con el revoque con adición de viruta, con el fin de obtener resultados concluyentes.

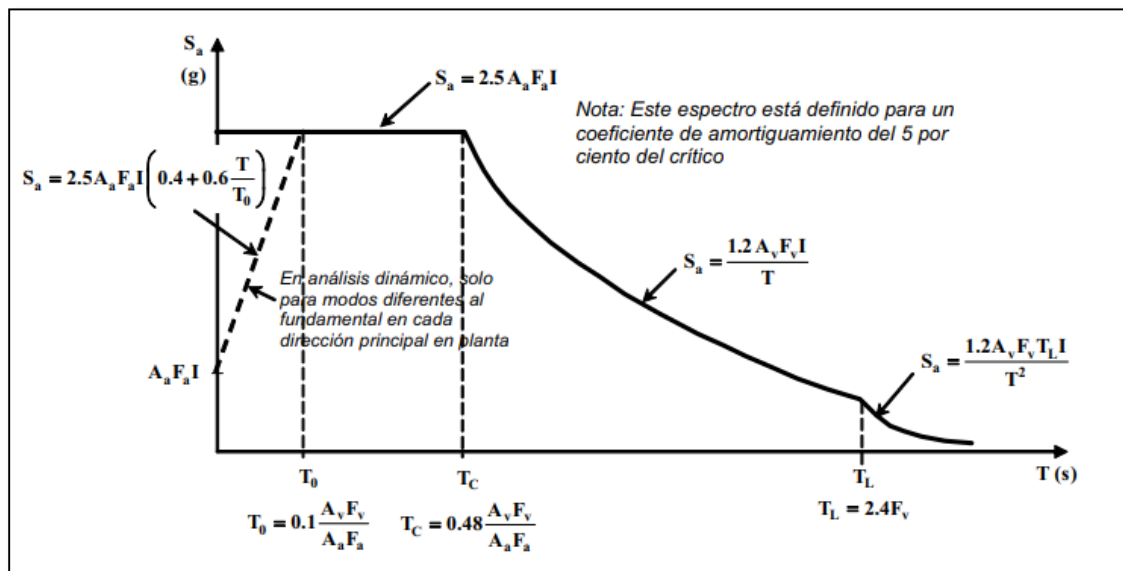
4.3.1 Fuerza Horizontal Equivalente

De acuerdo a la norma NSR-10 Titulo A, se determina el espectro sísmico de diseño, de acuerdo a la zona de ubicación de la vivienda, correspondiente al municipio de Ocaña Norte de Santander, en donde posteriormente se determina la fuerza sísmica en la base de la estructura, la cual se distribuye para cada piso. Esta información es necesaria para la modelación por metodología pushover, ya que luego de tener definida la fuerza sísmica por piso, se establece esta carga horizontal dentro del modelo pushover para evaluar los desplazamientos a los cuales

puede someterse la estructura. Para la determinación de la fuerza sísmica por el método de fuerza horizontal equivalente, se debe tener en cuenta los criterios establecidos por la Norma NSR-10, para la determinación del espectro sísmico de diseño, según lo establecido en la figura 34.

Figura 35

Espectro elástico de aceleraciones de Diseño como fracción de g



Nota: Tomado de la Norma NSR-10 Título A.

De acuerdo a la figura 34, se obtiene el espectro de aceleraciones para la región de Ocaña Norte de Santander. Ver Tabla 5

Tabla 5

Espectro de aceleraciones

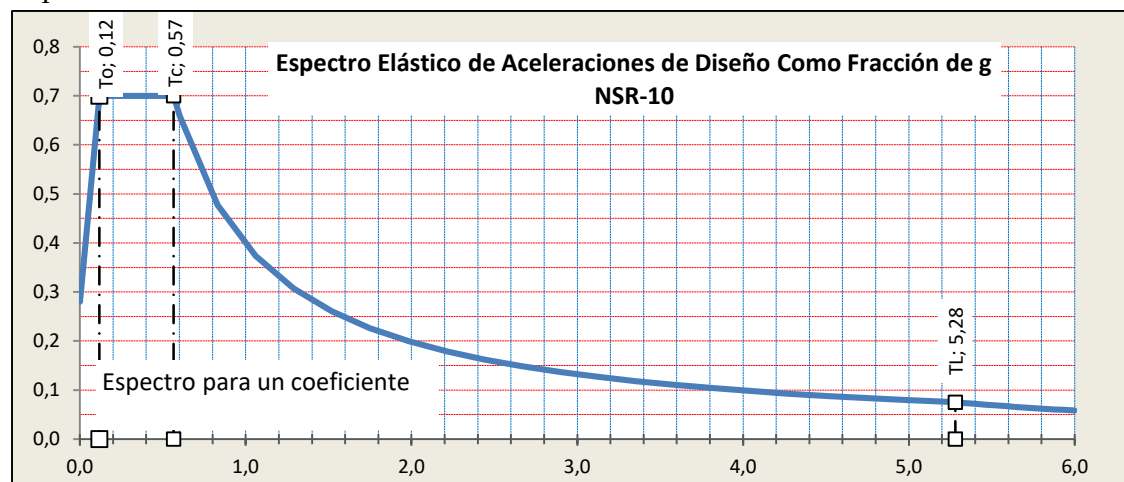
T [s]	Sa [g]
0	0,2800
0,118	0,7000
0,566	0,7000
0,6	0,6600
0,83	0,4771
1,06	0,3736
1,29	0,3070
1,52	0,2605

T [s]	Sa [g]
1,75	0,2263
1,98	0,2000
2,21	0,1792
2,44	0,1623
2,67	0,1483
2,9	0,1366
3,13	0,1265
3,36	0,1179
3,59	0,1103
3,82	0,1037
4,05	0,0978
4,28	0,0925
4,51	0,0878
4,74	0,0835
4,97	0,0797
5,28	0,0750
5,34	0,0733
5,4	0,0717
5,46	0,0701
5,52	0,0686
5,58	0,0672
5,64	0,0657
5,7	0,0644
5,76	0,0630
5,82	0,0617
5,88	0,0605
5,94	0,0593
6	0,0581

Nota: Fuente: Autor propio.

Figura 36

Espectro elástico de aceleraciones zona de estudio

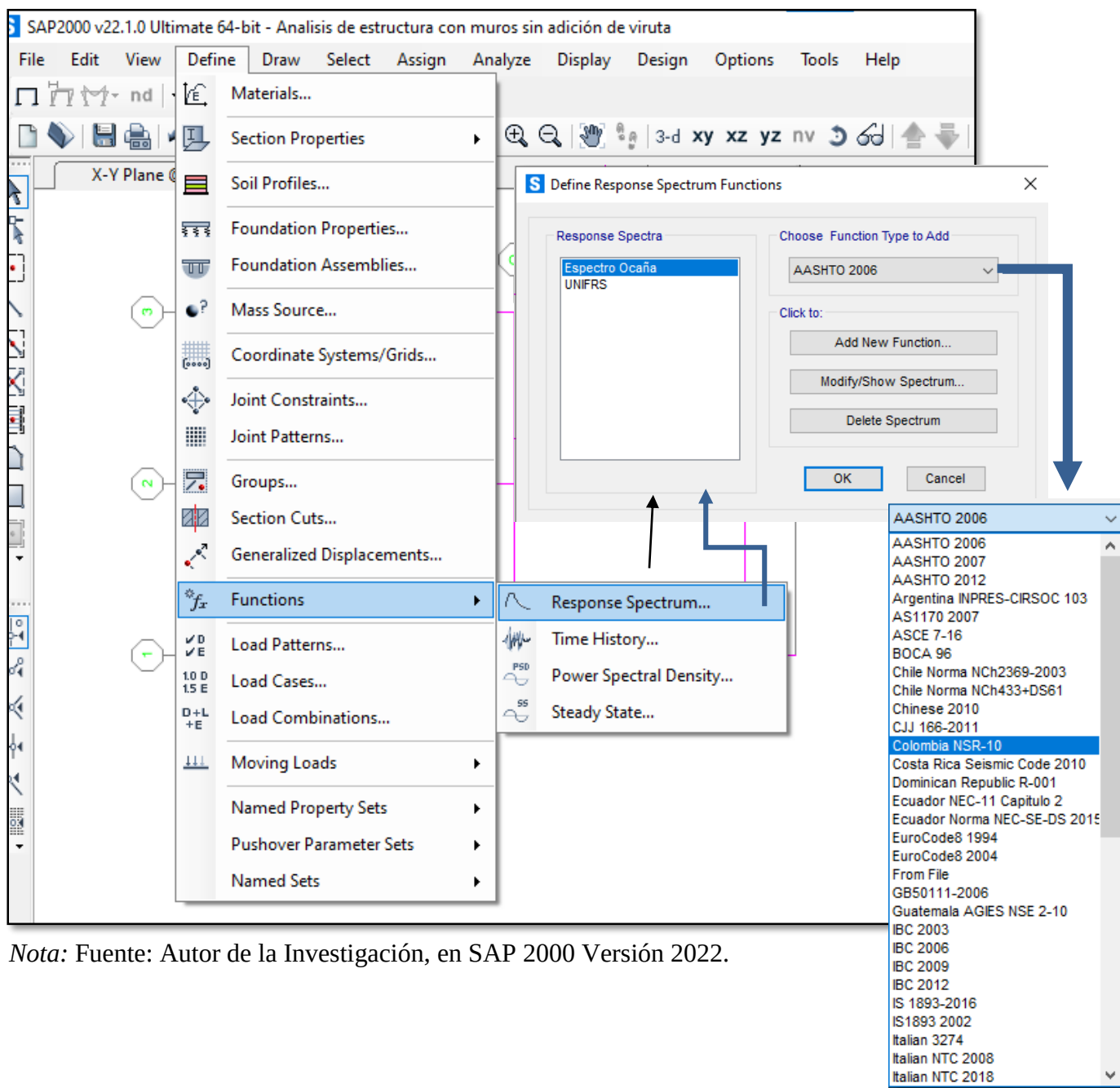


Nota: Elaborado por Autor, en base a criterios normativos de la NSR-10.

De acuerdo a la figura 36, se puede apreciar el espectro sísmico de diseño el cual debe ser incorporado dentro de la modelación en el software SAP 2000, teniendo en cuenta el procedimiento descrito en la figura 37.

Figura 37

Procedimiento para la inclusión del espectro elástico de aceleraciones



Nota: Fuente: Autor de la Investigación, en SAP 2000 Versión 2022.

De acuerdo a la figura 37, una vez definido la función para Colombia NSR-10, sale una ventana emergente la cual se aprecia en la figura 38, en donde se debe introducir la información de aceleraciones determinada para la zona de estudio, así como también el grupo de Importancia.

Figura 38

Espectro elástico de aceleraciones zona de estudio introducido en SAP2000 v22

Colombia NSR-10 Function Definition

Function Name:

Function Damping Ratio:

Parameters

Effective Peak Acceleration, A_a :

Effective Peak Velocity, A_v :

Reduced Effective Peak Acceleration, A_e :

Eff. Peak Accel. for Damage Threshold, A_d :

Group of Use:

Amplification Factor for Acceleration, F_a :

Amplification Factor for Velocity, F_v :

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.7
0.1	0.7
0.2	0.7
0.3	0.7
0.4	0.7
0.5	0.7
0.6	0.66
0.7	0.5657
0.8	0.495
0.9	0.44
1.	0.396
1.2	0.33
1.5	0.264
1.7	0.2329

Function Graph

(2.0898 , 0.1909)

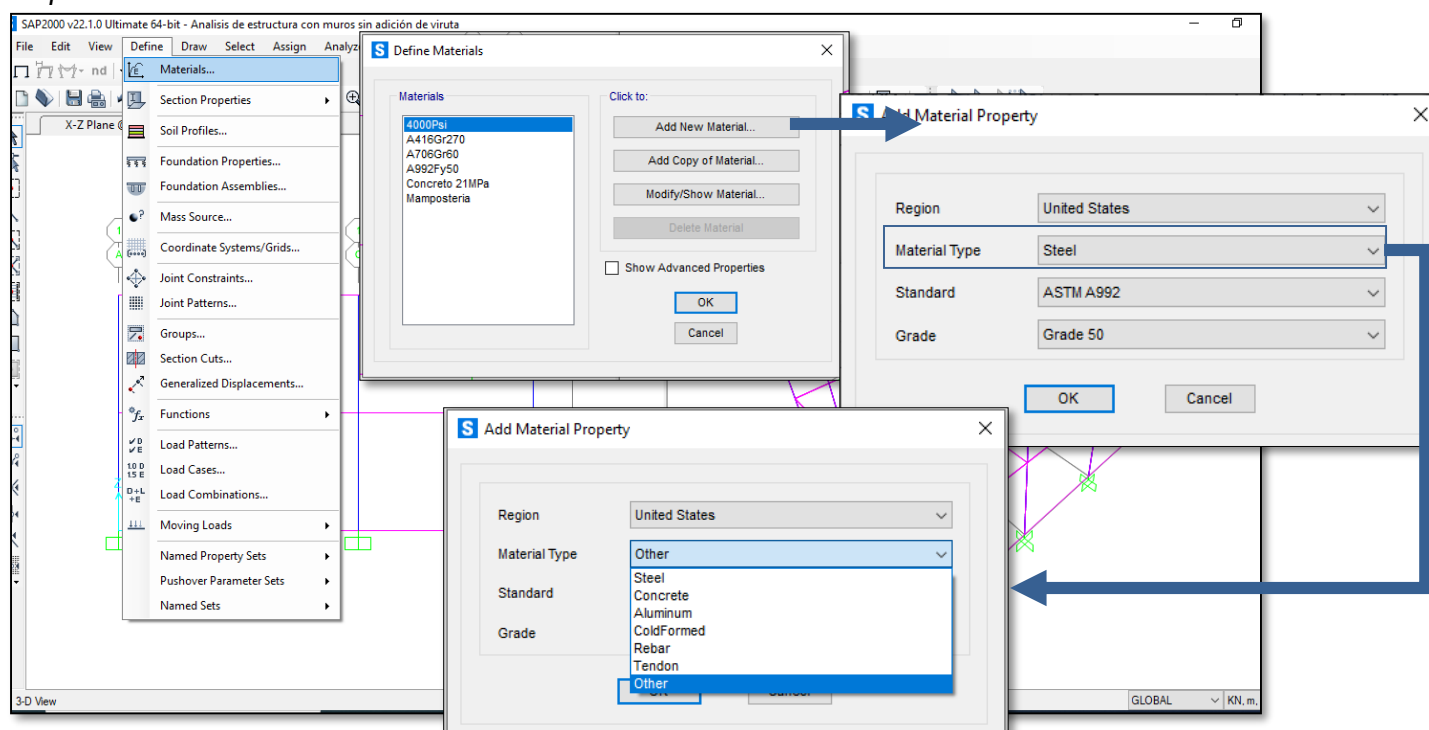
Nota: Fuente: Autor de la Investigación.

Luego de definido el espectro de diseño dentro de SAP2000, se definen los materiales que van a componer la estructura, en este caso se introduce el acero de refuerzo, el concreto, mampostería y mampostería compuesta con revoque de viruta de metalistería.

4.3.2 Definición de materiales

Para la definición de materiales en SAP 2000, se define material para la mezcla de concreto, de vigas y columnas, acero de refuerzo, para elementos de concreto reforzado y se define además el material para la mampostería convencional y mampostería con sección transformada incluyendo el revoque con viruta de metalistería. Para este caso el procedimiento, se describe en la figura 39,

Figura 39
Definición de materiales



Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

Según el procedimiento de la figura 39, se definen los materiales en la ventana emergente (Add Material Property), en donde se selecciona el tipo de material (Material Type) para el acero

(steel), concreto (concrete) y para el caso de la mampostería convencional y mampostería compuesta, se selecciona otro (other). Luego de seleccionar el material y dar ok, se abre una ventana emergente, la cual muestra las condiciones y propiedades del material; para el caso de la mampostería compuesta, la ventana emergente se puede apreciar en la figura 40, en donde se le asigna el nombre el cual se utiliza “Mam. Compuesta”.

Figura 40

Definición de propiedades de la mampostería compuesta

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Mam. Compuesta

Material Type: Other

Material Grade:

Material Notes: Modify/Show Notes...

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 18

Mass per Unit Volume: 1,8355

Units: KN, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 6767,57

Poisson, U: 0,3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 2602,9115

☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

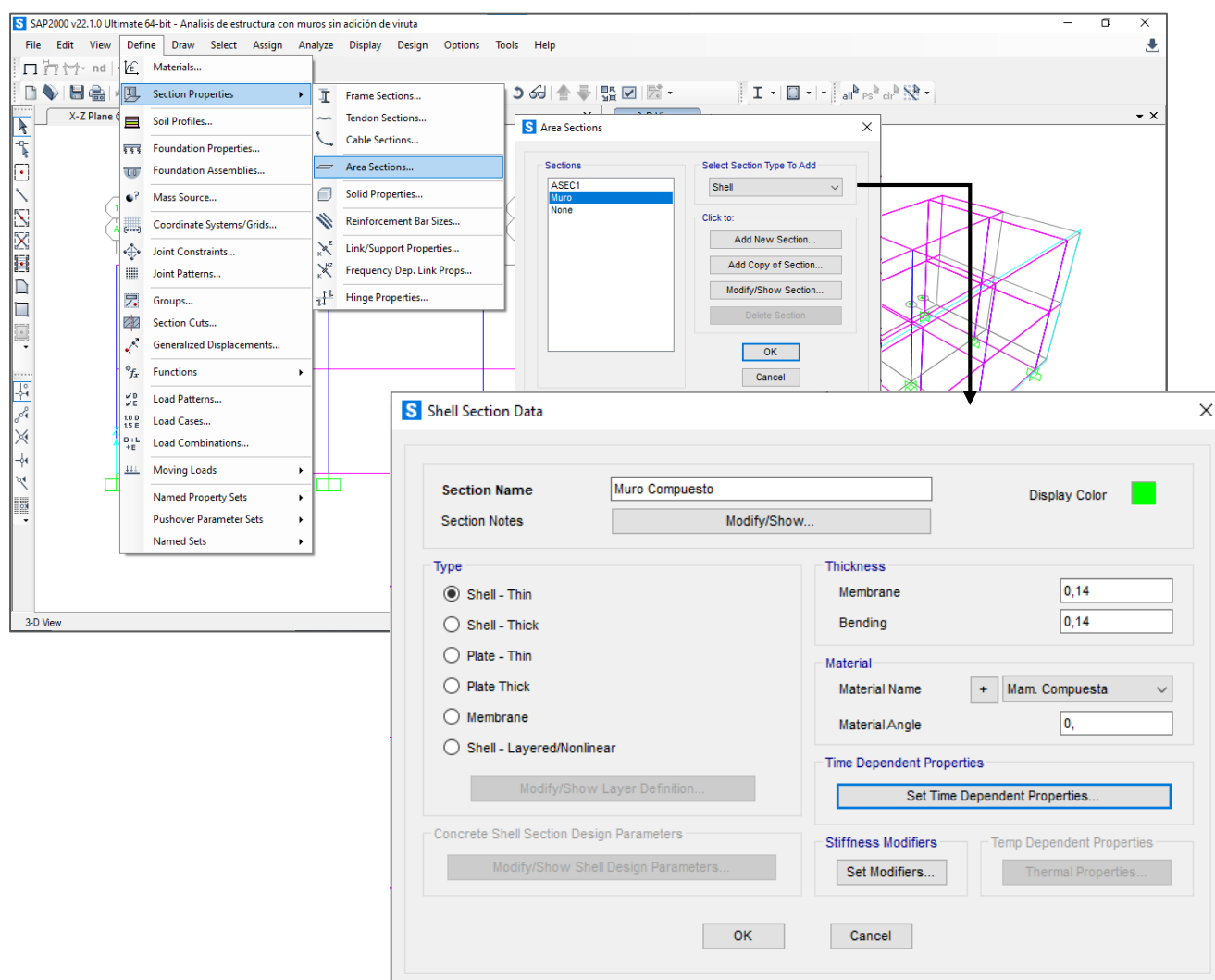
Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

4.3.3 Definición de secciones

Luego de definido los materiales a utilizar para la modelación estructural, se prosigue con la definición de las propiedades de las secciones de los elementos a utilizar en el modelo, en este caso corresponden a vigas, columnas, muro convencional y muro compuesto. Para el caso del muro compuesto el procedimiento se puede apreciar en la figura 41.

Figura 41

Definición de sección para muro compuesto

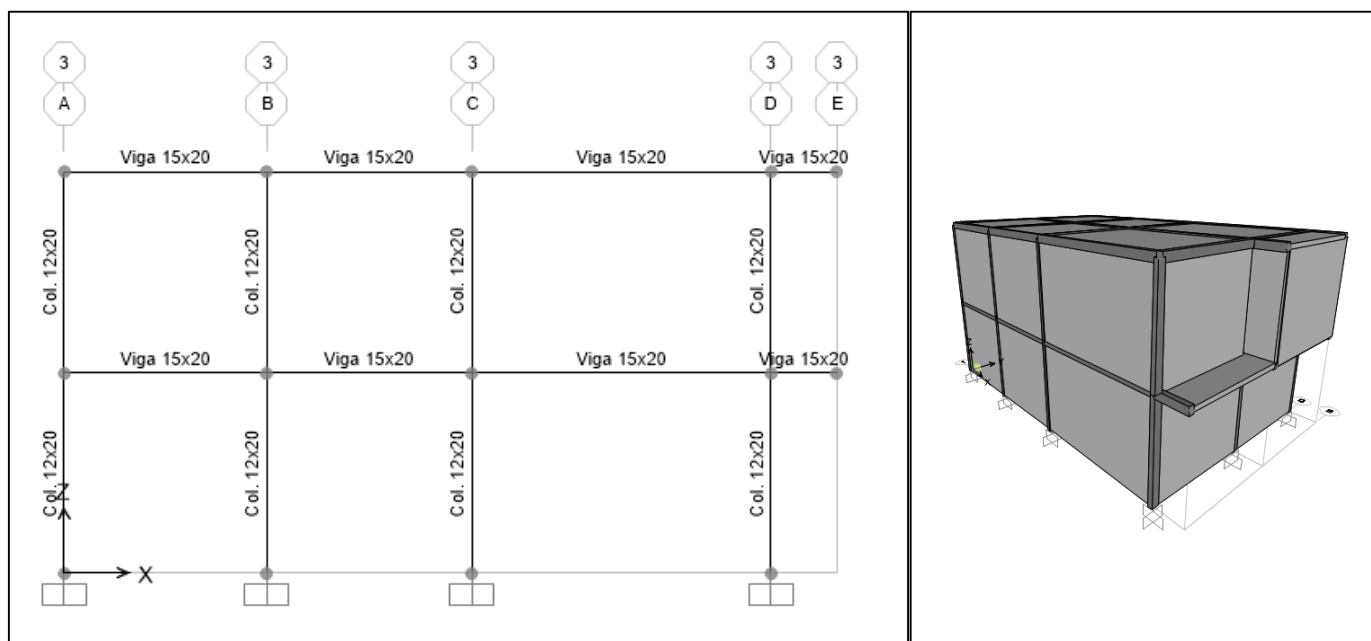


Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

De acuerdo a la figura 41, para el caso de la mampostería compuesta se considera una sección transversal de 14 cm, contrario al caso de la mampostería convencional que se considero un espesor de muro de 10 cm. Para el caso de las vigas y columnas se definen las dimensiones y se asignan a la grilla previamente definida para la estructura caso de estudio, tal como se aprecia en la figura 42.

Figura 42

Definición de secciones vigas y columnas en SAP2000 v22



Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

4.3.4 Cálculo de fuerza sísmica horizontal por piso

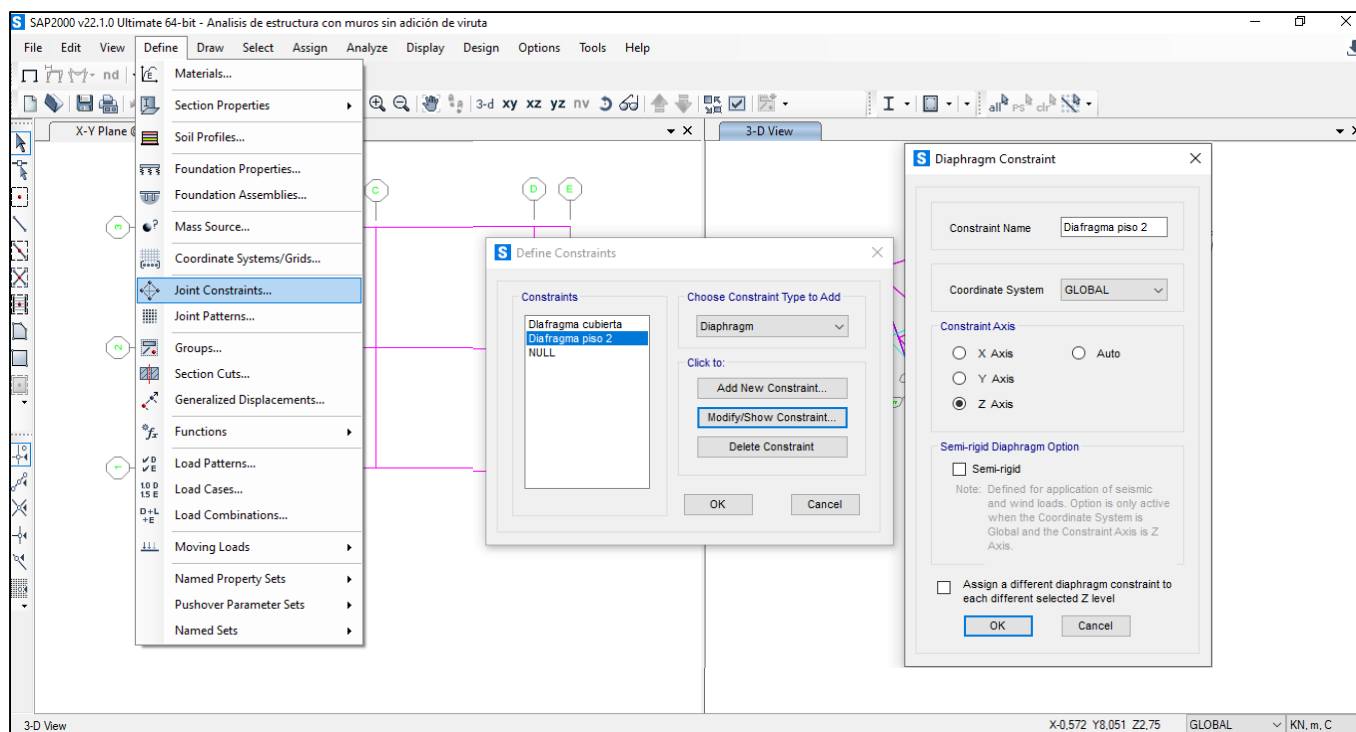
De acuerdo al análisis que se pretende aplicar en esta investigación, es importante la determinación de las fuerzas horizontales por piso, la cual se debe conocer para aplicarlo al método pushover, el cual consiste en evaluar los desplazamientos generados ante la aplicación de dichas fuerzas sísmicas horizontales y ante la generación de rotulas plásticas, con el fin de

evaluar diferencias usando muros en mampostería convencional y muros en mampostería compuesta con viruta de metalistería.

Es importante tener en cuenta dentro de la modelación en SAP 2000, que deben crearse y asignarse diafragmas para cada piso de con el fin de calcular la fuerza sísmica lateral de la estructura. El primer paso en este proceso es definir los diafragmas para cada planta utilizando la función " Joint Constraints" en donde se selecciona el diafragma y añade la función; todo lo que hay que hacer es cambiar el nombre de acuerdo con la planta para la que se crea el diafragma, teniendo en cuenta que el programa mantiene los demás datos por defecto. Ver figura 43.

Figura 43

Definición de diafragmas por piso

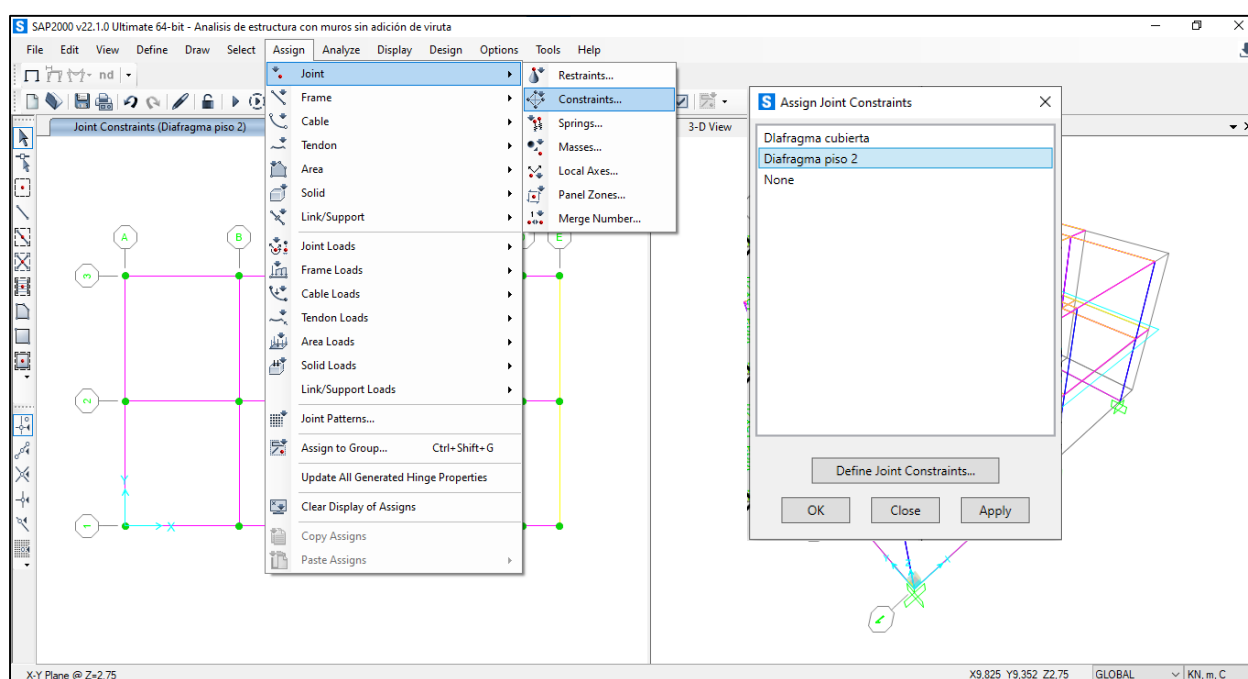


Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

Posterior a definir los diafragmas por piso, se prosigue a la asignación de elementos de área para la losa y cubierta con el fin de asignar los diafragmas, cargas que actúan en la estructura y para el caso de análisis de muros convencionales y muros compuestos, se asignan elementos de área solo para muros perimetrales. Ver figura 44.

Figura 44

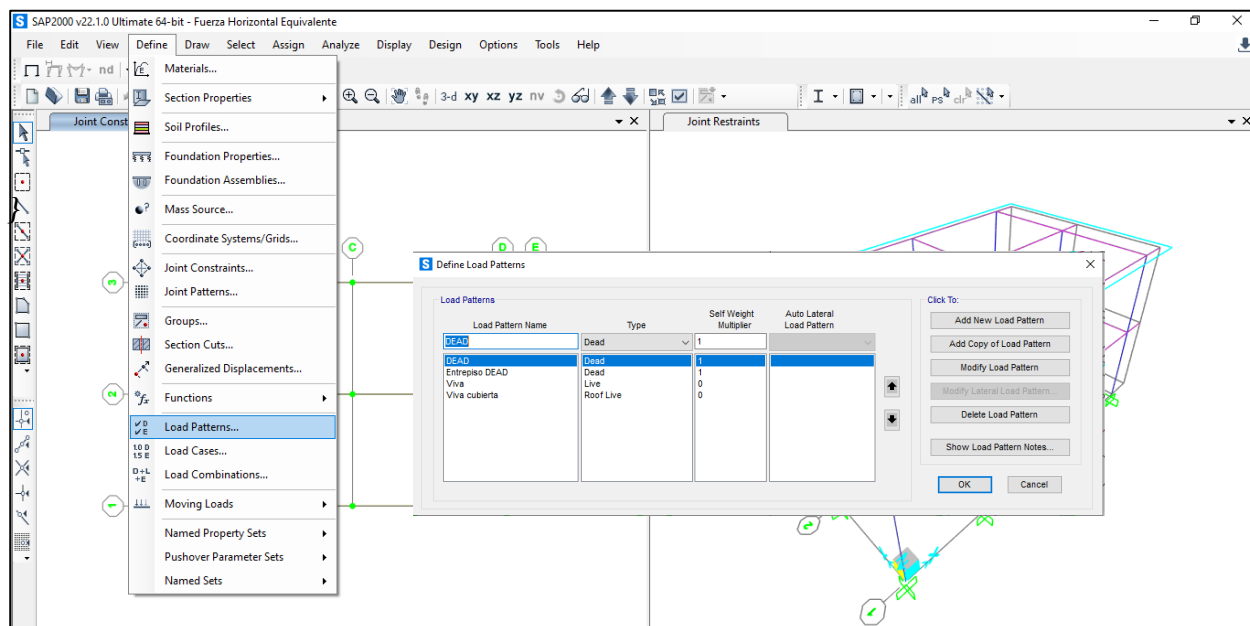
Definición de diafragmas por piso SAP2000 v22



Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

Luego de definir la estructura, las losas, los muros perimetrales y diafragmas, se definen los patrones de carga “Load Patterns” para lo cual de forma inicial se consideran solamente casos de carga para carga muerta y carga viva, para poder determinar el peso total de la estructura. Ver figura 45.

Figura 45
Definición de patrones de carga



Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

Luego de asignar las cargas vivas por piso, se procede a realizar la modelación solo para cargas muertas, con el fin de conocer el peso gravitacional de la estructura, la cual arroja como resultado los valores evidenciados en la siguiente tabla 6:

Tabla 6
Reacciones de cargas gravitacionales según SAP 2000 v22

Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
1	DEAD	6,188	5,899	79,384	5,7052	-10,5963	0,00009394
1	Sobre carga D	6,476	6,162	82,49	6,1848	-11,2024	0,00009728
3	DEAD	0,14	-0,033	81,545	0,5368	-11,2533	-0,000005436
3	Sobre carga D	0,158	-0,033	84,735	0,5355	-11,9185	-0,000005442
5	DEAD	6,237	-5,964	79,619	-4,6139	-10,7155	-0,0001174
5	Sobre carga D	6,525	-6,228	82,724	-5,0961	-11,3212	-0,0001208
7	DEAD	0,539	0,091	82,186	8,1666	-9,3358	-0,000005436
7	Sobre carga D	0,581	0,101	85,47	8,8284	-9,795	-0,000005442

Joint	OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
9	DEAD	0,089	-0,016	33,666	0,8035	-10,031	-0,000005436
9	Sobre carga D	0,1	-0,016	35,145	0,8017	-10,5437	-0,000005442
11	DEAD	0,612	-0,123	82,537	-6,541	-9,5966	-0,000005436
11	Sobre carga D	0,654	-0,133	85,82	-7,2061	-10,0554	-0,000005442
13	DEAD	0,097	0,113	98,83	9,96	-6,256	-0,000005436
13	Sobre carga D	0,088	0,124	102,739	10,6865	-6,4239	-0,000005442
15	DEAD	-0,056	-0,009745	35,671	1,5431	-6,5143	-0,000005436
15	Sobre carga D	-0,06	-0,009778	37,234	1,5416	-6,6669	-0,000005442
17	DEAD	0,323	-0,134	99,764	-6,9698	-7,0499	-0,000005436
17	Sobre carga D	0,314	-0,145	103,673	-7,6993	-7,2187	-0,000005442
19	DEAD	-7,092	7,204	104,85	11,3821	-3,6475	0,0001146
19	Sobre carga D	-7,414	7,506	108,831	11,9076	-3,4497	0,0001179
21	DEAD	-0,104	0,177	96,922	4,7994	-5,3763	-0,000005436
21	Sobre carga D	-0,124	0,177	100,572	4,8045	-5,1321	-0,000005442
23	DEAD	-6,975	-7,204	106,801	-3,3725	-6,5248	-0,00009678
23	Sobre carga D	-7,297	-7,505	110,784	-3,8921	-6,3344	-0,0001001
TOTAL, CARGA GRAVITACIONAL =				2001,992			

Nota: Obtenido de modelación en SAP2000 v22.

Según la tabla 5, el valor de la carga gravitacional que pesa la estructura corresponde a 2001,992 kN. Para determinar las cargas sísmicas en X y en Y, mediante el software SAP2000, se requiere calcular el periodo fundamental de la estructura basado en el Título A.4, de la NSR-10, que corresponde a:

En donde de acuerdo a la tabla A.4.2-1 de la Norma NSR-10, es igual a 0,047 y es igual a 0,9. El valor de , corresponde a la altura de la edificación, el cual en este caso

corresponde a dos pisos de 2,75 m para un total de 5,5 m. Por consiguiente, el Periodo fundamental de la estructura corresponde a:

Teniendo en cuenta que los valores para definir el espectro de aceleración fueron previamente definidos, en este caso el valor de la aceleración espectral corresponde a 0,7. El cortante basal (), corresponde a:

En donde el valor de corresponde al peso que es la masa multiplicada por la gravedad, en este caso conociendo los valores, el cortante en la base de la edificación corresponde a:

Este valor calculado de cortante basal, se realizará ahora en el software SAP2000, el cual también arroja los resultados de cortante basal por piso. Por consiguiente, como parte de los

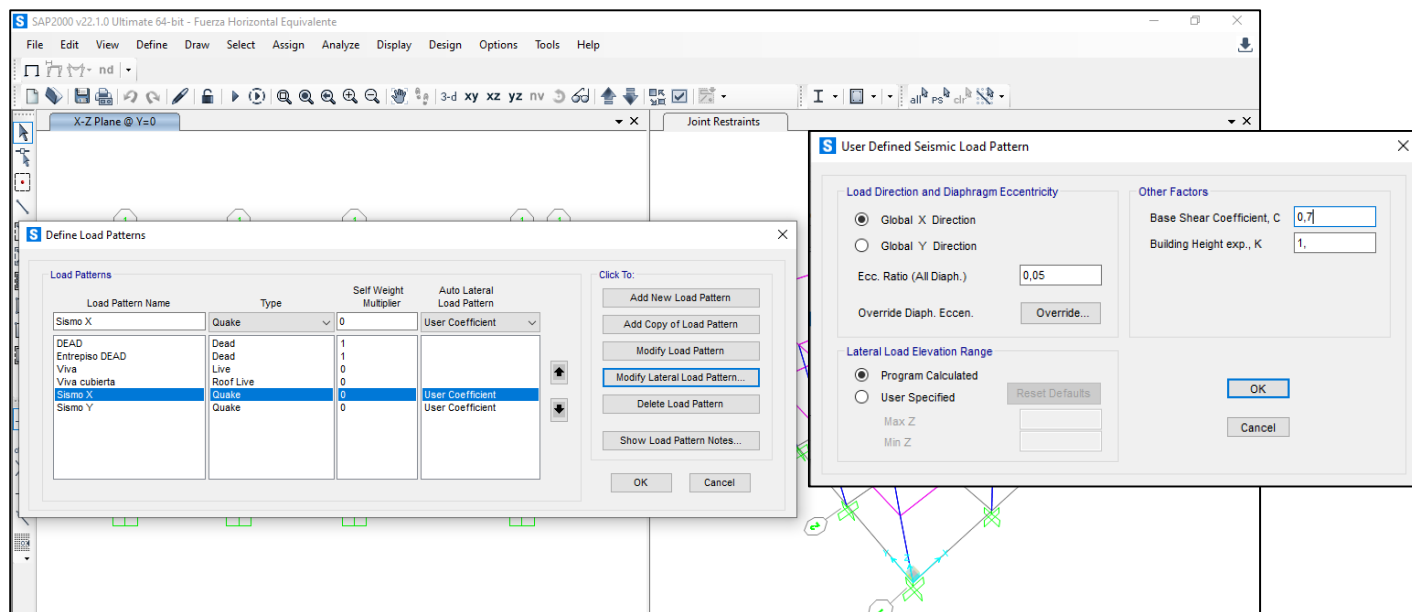
datos necesarios para introducir en el modelo, se define el exponente relacionado con el periodo fundamental (k), corresponde a:

- (a) Para T menor o igual a 0,5 segundos, $k=1,0$
- (b) Para T entre 0,5 y 2,5 segundos, $k=0,75+0,5T$
- (c) Para T mayor que 2,5 segundos, $k=2,0$

Por lo anterior, teniendo en cuenta que el periodo fundamental aproximado calculado para la edificación es de , el valor de k es igual a 1. Por consiguiente, continuando con la modelación para definir las cargas sísmicas por piso, necesarias para el análisis pushover, se procede nuevamente a definir los patrones de carga para el sismo en X y sismo en Y, en donde se establece el valor de “ S_a ” y el exponente “ k ”. Ver figura 46.

Figura 46

Definición de patrones de carga para sismo en X y sismo en Y

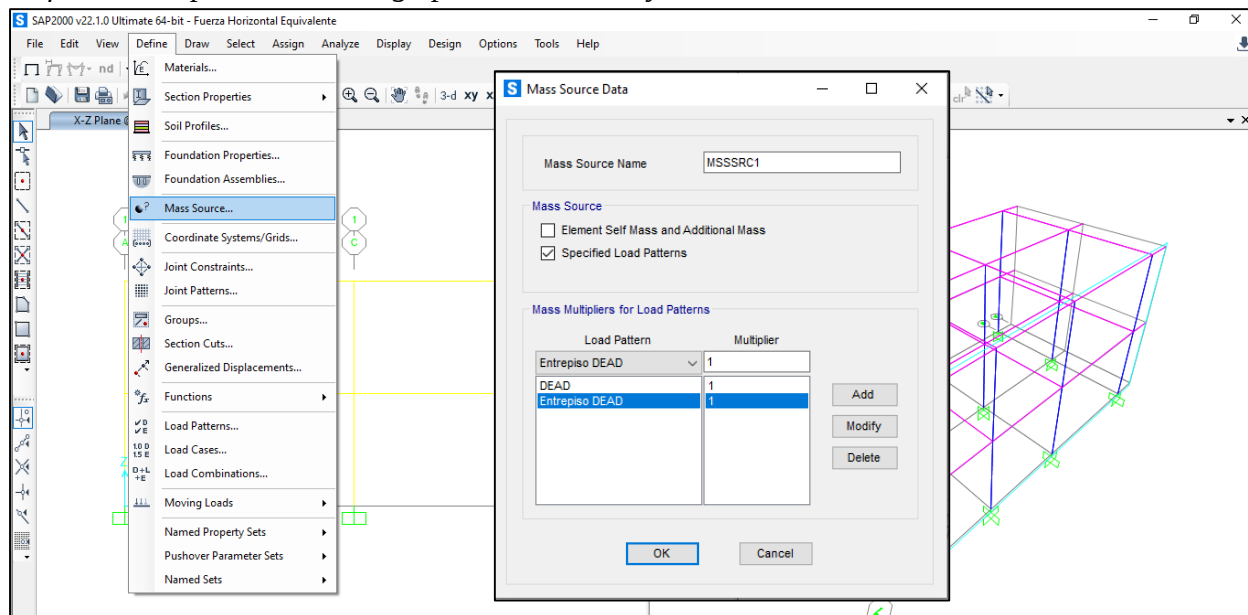


Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

Posteriormente, se debe definir la fuente de masa, con la cual el programa desarrolla la carga sísmica, para esta opción se define mediante la función “Mass Source”, en donde se establece carga muerta y la sobre carga muerta. Ver figura 47:

Figura 47

Definición de patrones de carga para sismo en X y sismo en Y

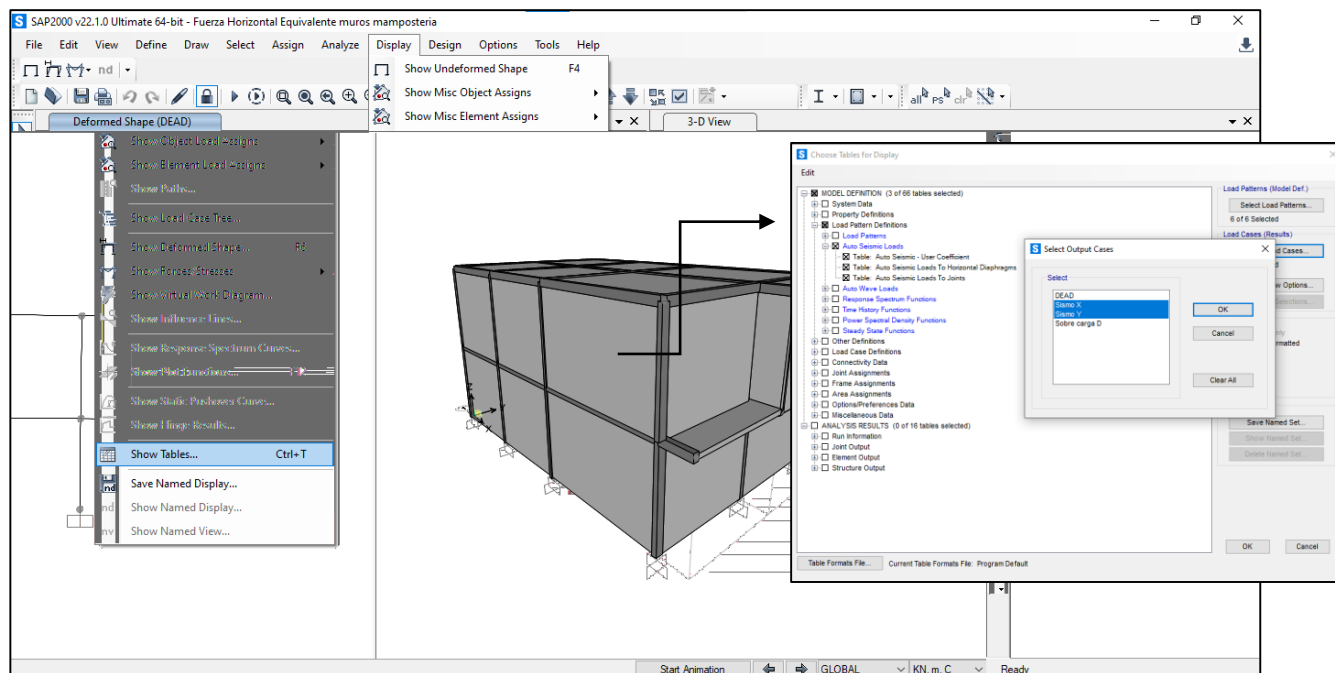


Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

Luego de definir la masa y patrones de carga para sismo en X y en Y, se corre la modelación para carga muerta y para sismo en X y en Y, en donde se obtiene el cortante basal tanto para sismo en X como en Y. El procedimiento para poder obtener la información resultado de la modelación se puede apreciar en la siguiente figura 48.

De acuerdo a los resultados obtenido de la modelación para las fuerzas horizontales, en la figura 49, se pueden apreciar los resultados tanto para el cortante basal, así como para las fuerzas horizontales por piso.

Figura 48
Obtención de Cortante basal en X y en Y



Nota: Fuente: Tomado de SAP2000 V.22, modificado por autor de la investigación.

Figura 49
Resultados de cortante basal y fuerzas sísmicas por piso

Auto Seismic - User Coefficient										
Units: As Noted										
Filter:										
	LoadPat Text	Dir Text	PercentEcc Unitless	EccOverride	UserZ Yes/No	C Unitless	K Unitless	WeightUsed	Base Shear KN	
▶	Sismo X	X	0,05	No	No	0,7	1	1826,565	1278,596	
	Sismo Y	Y	0,05	No	No	0,7	1	1826,565	1278,596	

Auto Seismic Loads To Horizontal Diaphragms										
Units: As Noted										
Filter:										
	LoadPat Text	AutoLdType	Diaphragm Text	DiaphragmZ	FX KN	FY KN	FZ KN	MX KN-m	MY KN-m	MZ KN-m
▶	Sismo X	USER COEFF	Diafragma cubierta	5,5	776,405	0	0	0	0	-285,9182
	Sismo X	USER COEFF	Diafragma piso 2	2,75	502,191	0	0	0	0	-159,7917
	Sismo Y	USER COEFF	Diafragma cubierta	5,5	0	776,405	0	0	0	-134,83
	Sismo Y	USER COEFF	Diafragma piso 2	2,75	0	502,191	0	0	0	-57,3775

Record: << < 1 > >> of 2

Add Tables... Done

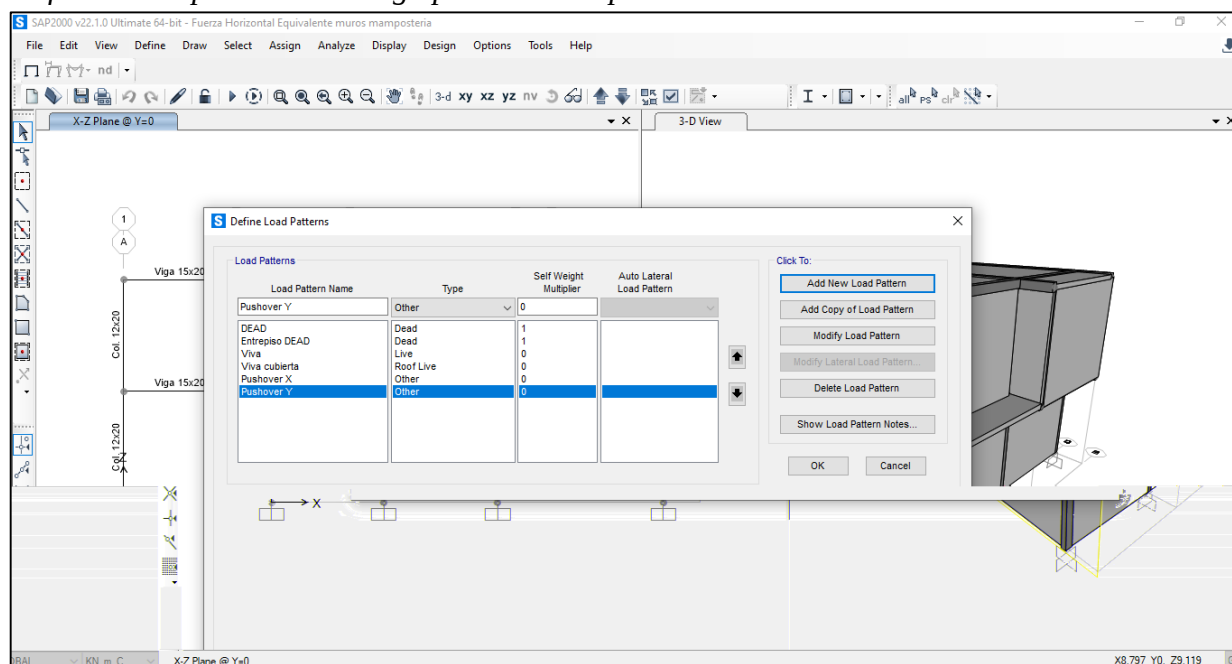
Nota: Fuente: Autor de la investigación.

De acuerdo a la figura 49, se puede apreciar que el cortante basal tanto para X como en Y, es el mismo, el cual arroja un resultado de 1278,596, el cual es un valor menor al obtenido calculado anteriormente. Para efectos de utilizar las cargas horizontales en el modelo pushover, se utilizan los valores obtenidos por piso de la modelación, los cuales se aprecian en la figura 49.

4.3.5 Analisis pushover

El análisis pushover, consiste en el asignamiento de puntos de plasticidad en columnas y vigas produciendo el punto de fluencia máximo antes de que falle el elemento. Para comenzar el análisis pushover se parte del modelo realizado para conocer las cargas laterales, pero en este caso, se definen nuevamente los patrones de carga, y se incluyen cargas para el análisis Pushover en X y en Y, tal como se aprecia en la figura 50.

Figura 50
Definición de patrones de carga para análisis pushover

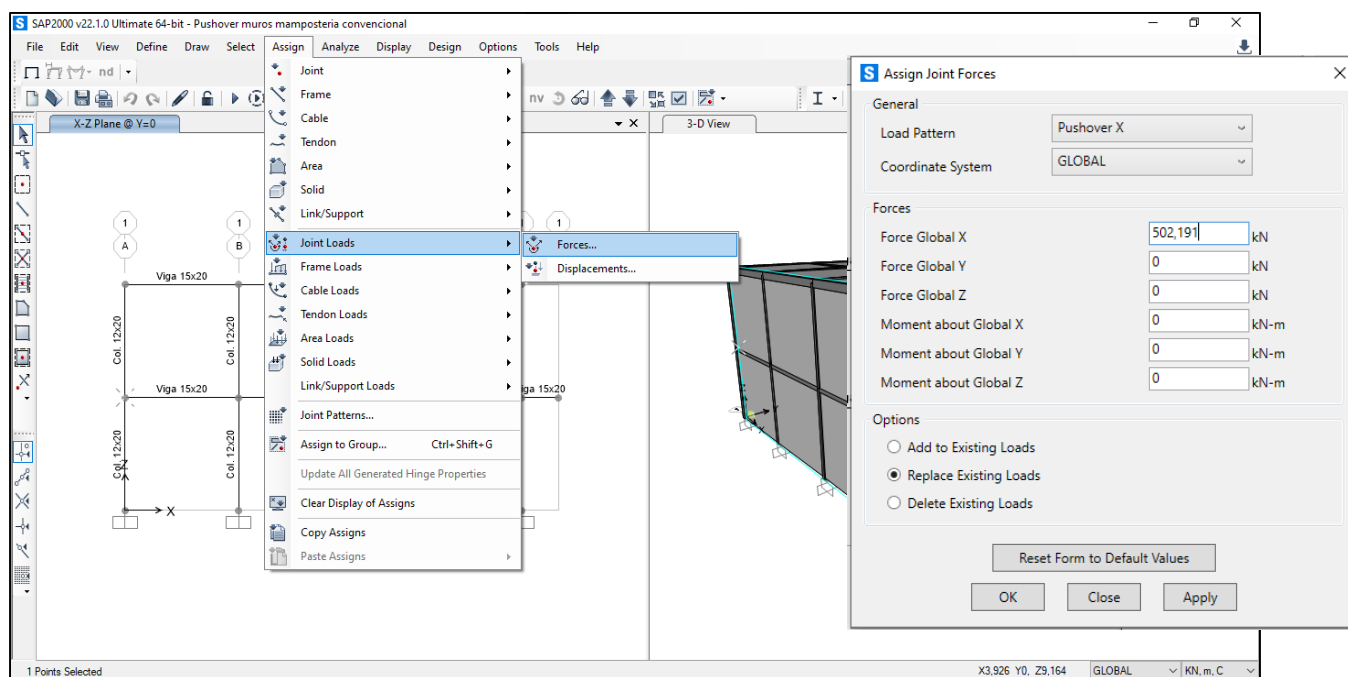


Nota: Fuente: Autor de la investigación.

Luego de definido los patrones de carga, el siguiente procedimiento consiste en asignar las cargas horizontales por piso para el análisis pushover, las cuales fueron previamente definidas y se aprecian en la figura 49. Para el caso de análisis de la presente investigación, con el fin de obtener resultados concluyentes para la evaluación del método de reforzamiento con viruta de metalistería, las fuerzas horizontales por piso previamente calculadas mediante modelación, se aplican solo para un pórtico de la estructura mediante la función “Joint Forces”, siguiendo el procedimiento que se describe en la figura 51.

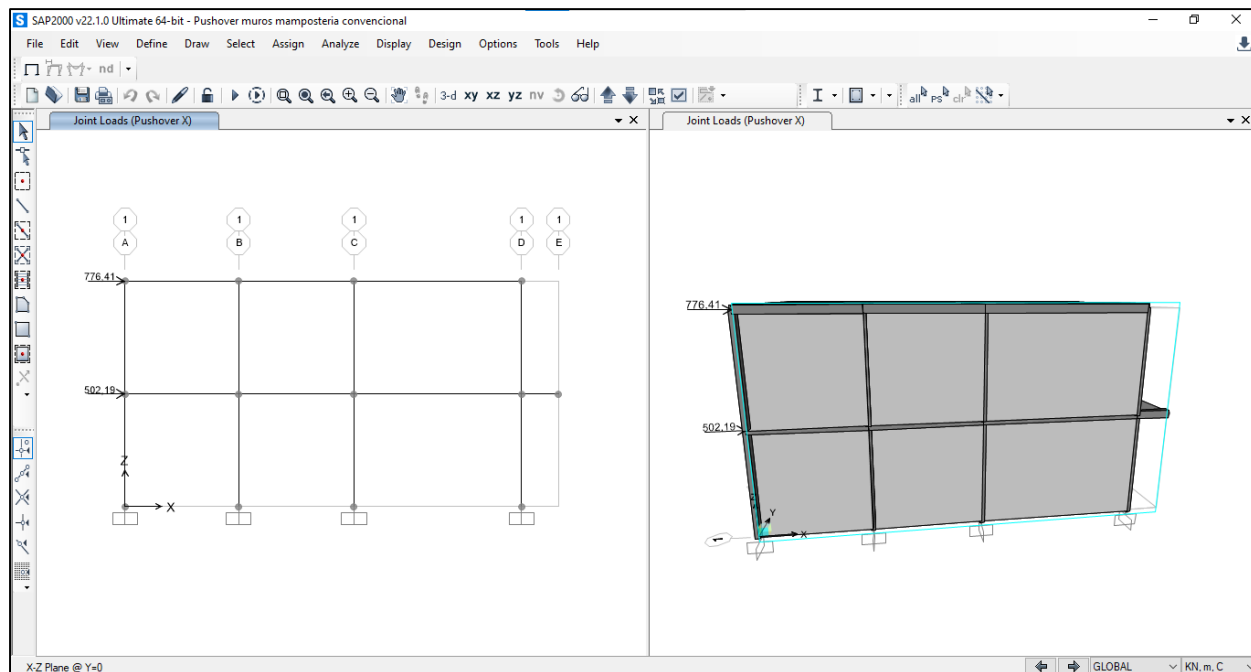
Figura 51

Asignación de cargas horizontales necesarias para el análisis pushover



Nota: Fuente: Autor de la investigación.

De acuerdo a la figura 51, es importante resaltar que antes de definir la carga a aplicar, se debe seleccionar el nodo en el cual se aplica la carga, en este caso el modelo con las cargas horizontales aplicadas para el caso de estudio, se puede apreciar en la figura 52.

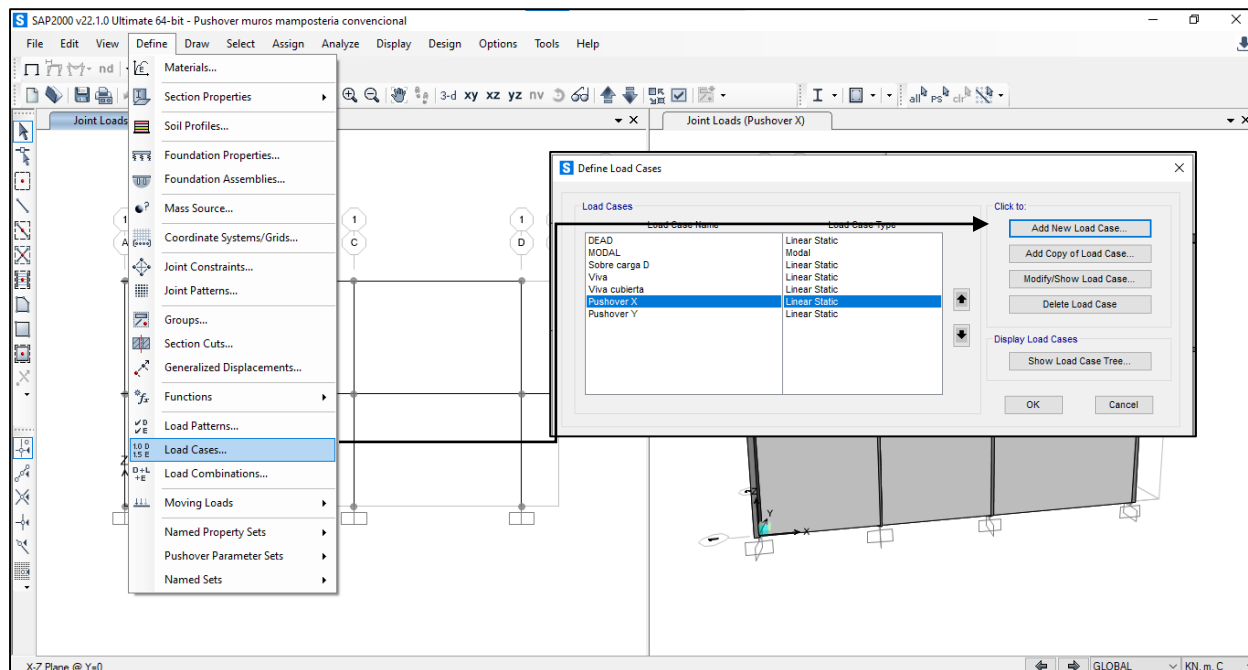
Figura 52*Modelo con cargas horizontales asignadas*

Nota: Fuente: Autor de la investigación.

De acuerdo a la figura 52, se observa la aplicación de cargas horizontales para el eje X. Este mismo procedimiento se realiza para la asignación de las cargas sísmicas en el sentido Y.

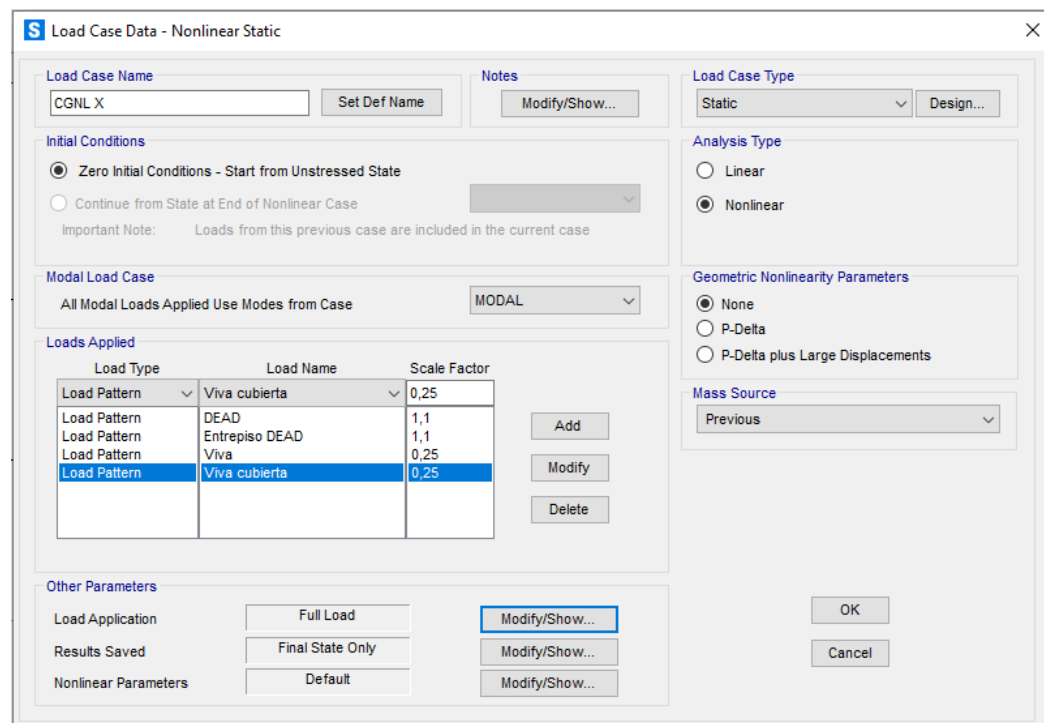
Posterior a definir las cargas puntuales horizontales provenientes de las fuerzas sísmicas que interactúan en el sistema por piso, continua la definición de casos de carga, en este caso, se definen dos casos de carga de gravedad no lineal [CGNL] para conocer el estado de las fuerzas en el sentido X (CGNL X) y Y (CGNL Y) y dos casos de carga que analicen el empuje lateral en el sentido X y Y (PUSH X y PUSH Y). Ver figura 53. Para el caso de carga gravitacional no lineal en el sentido X (CGNL X), se establece la no linealidad del estado de carga, de acuerdo a la figura 54, en donde se definen las cargas aplicadas de acuerdo al FEMA 356, el cual indica usar factores multiplicadores de 1,1 para cargas muertas y 0,25 para cargas vivas.

Figura 53
Procedimiento para la definición de casos de carga



Nota: Fuente: Autor de la investigación.

Figura 54
Definición caso de carga gravitacional no lineal en sentido X

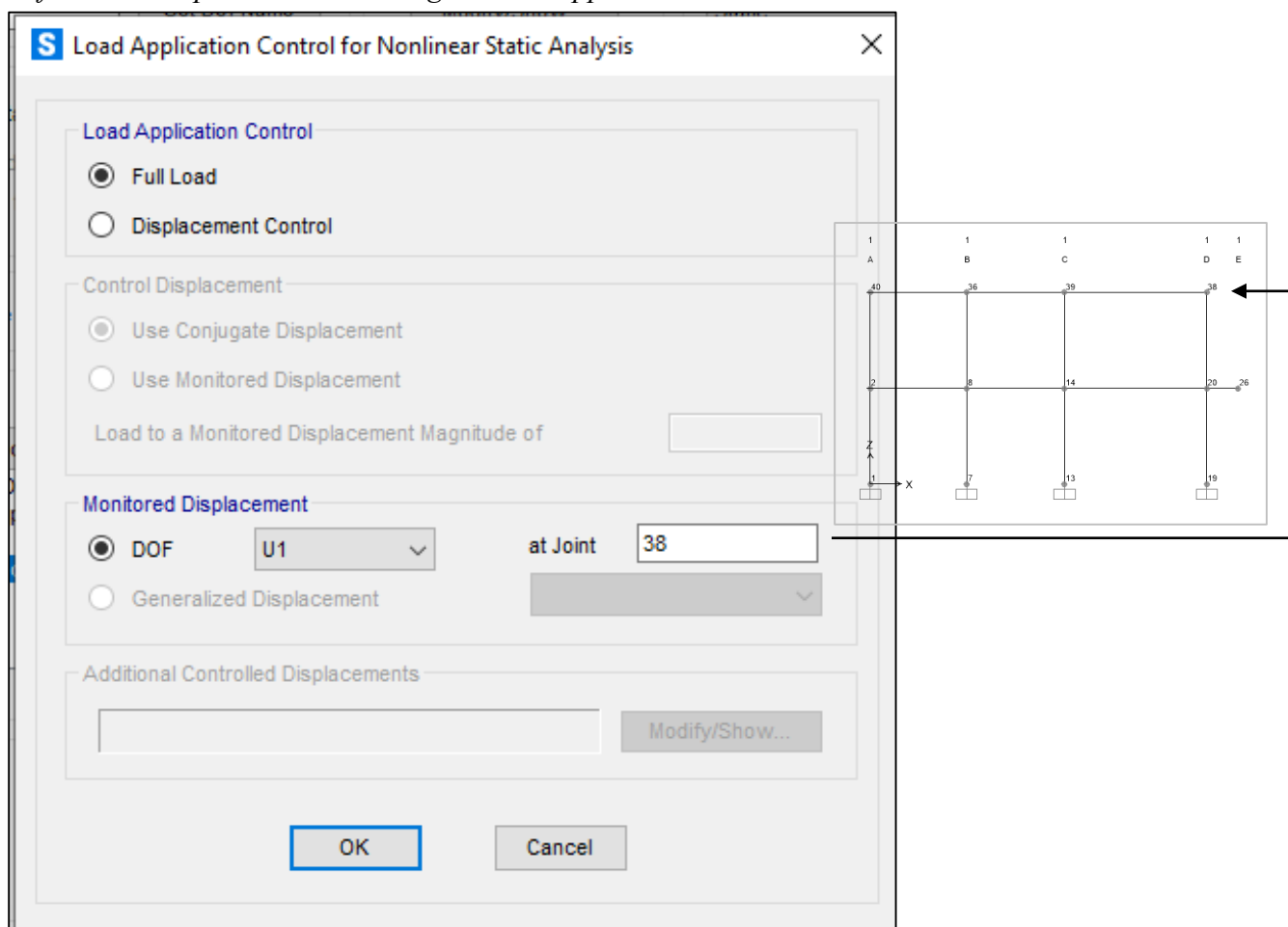


Nota: Este mismo procedimiento se aplica para CGNL Y. Fuente: Autor de la investigación.

Según lo establecido en la figura 54, para el caso de CGNL en el sentido X, se aprecia otros parámetros de definición en la parte inferior, en donde se debe modificar la aplicación de la carga mediante la función “Load Application”, el cual al dar clic en “Modify/Show...” se despliega una ventana emergente la cual se aprecia en la figura 55, en donde se selecciona Full Load, y se define un nodo de control el cual en este caso corresponde al nodo 38 teniendo en cuenta que U1 corresponde al eje X y U2 al eje Y. El procedimiento descrito en la figura 54 y 55, se repite para el caso de carga gravitacional en el sentido Y.

Figura 55

Definición de aplicación de la carga “Load Application” en CGNL X



Nota: Este mismo procedimiento se aplica para CGNL Y. Fuente: Autor de la investigación.

Para el caso de cargas de fuerzas laterales para el sentido X y Y (PUSH X y PUSH Y), se define el procedimiento tal como se aprecia en la figura 56, en donde se describen los parámetros para el caso de carga pushover en el sentido X.

Figura 56

Definición de cargas pushover para el sentido X

S Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name

Initial Conditions
☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☒ Continue from State at End of Nonlinear Case
Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case
 All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Pushover X	1
Load Pattern	Pushover X	1

Analysis Type
☐ Linear
☒ Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters
☒ None
☐ P-Delta
☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source

Other Parameters

Load Application	Full Load	<input <="" td="" type="button" value="Modify/Show..."/>
Results Saved	Final State Only	<input <="" td="" type="button" value="Modify/Show..."/>
Nonlinear Parameters	Default	<input <="" td="" type="button" value="Modify/Show..."/>

Nota: Este mismo procedimiento se aplica para PUSH Y. Fuente: Autor de la investigación.

Con respecto a la definición de otros parámetros, al igual que para la definición de carga gravitacional no lineal CGNL, se despliega la ventana emergente de la función “Load Application” al querer modificarla, en donde para este caso, se seleccionan los parámetros según el procedimiento descrito en la figura 57, el cual para el caso del control de desplazamiento

máximo “Control Displacemet”, a monitorear con la modelación en el software SAP2000, el análisis se detiene para este caso con un desplazamiento máximo de 0,5 m. Para el caso del otro parámetro de almacenamiento de datos según la función “Results Saved” de la figura 56, al modificar este parámetro, se despliega una ventana emergente, en donde se selecciona el almacenamiento de datos para múltiples estados de carga, debido a los ciclos de carga lateral, tal como se aprecia en la figura 58. Los demás valores y variables se mantienen por defecto del programa.

Figura 57

Definición de parámetros de control de aplicación de la carga pushover

S Load Application Control for Nonlinear Static Analysis

Load Application Control

☐ Full Load

☒ Displacement Control

Control Displacement

☐ Use Conjugate Displacement

☒ Use Monitored Displacement

Load to a Monitored Displacement Magnitude of

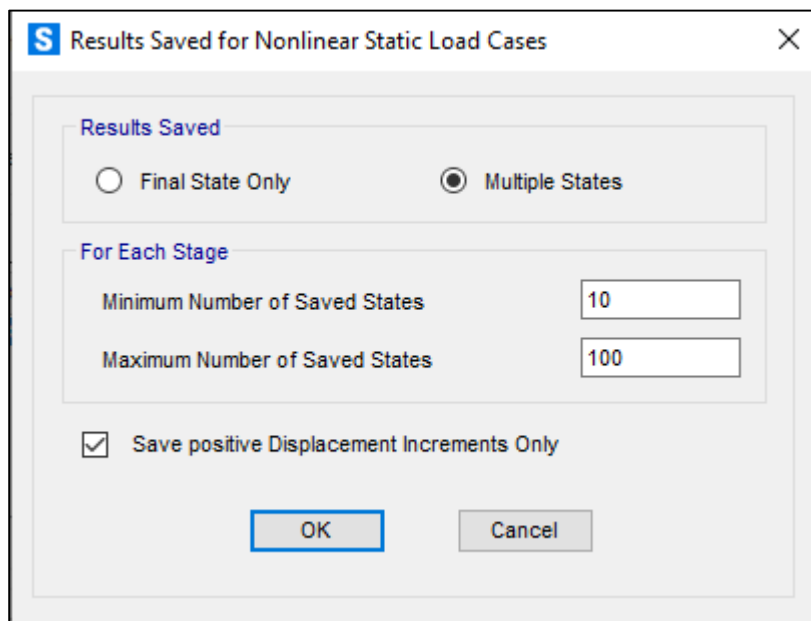
Monitored Displacement

☒ DOF at Joint

☐ Generalized Displacement

Additional Controlled Displacements

Nota: Este mismo procedimiento se aplica para PUSH Y. Fuente: Autor de la investigación.

Figura 58*Definición almacenamiento de datos de casos de carga*

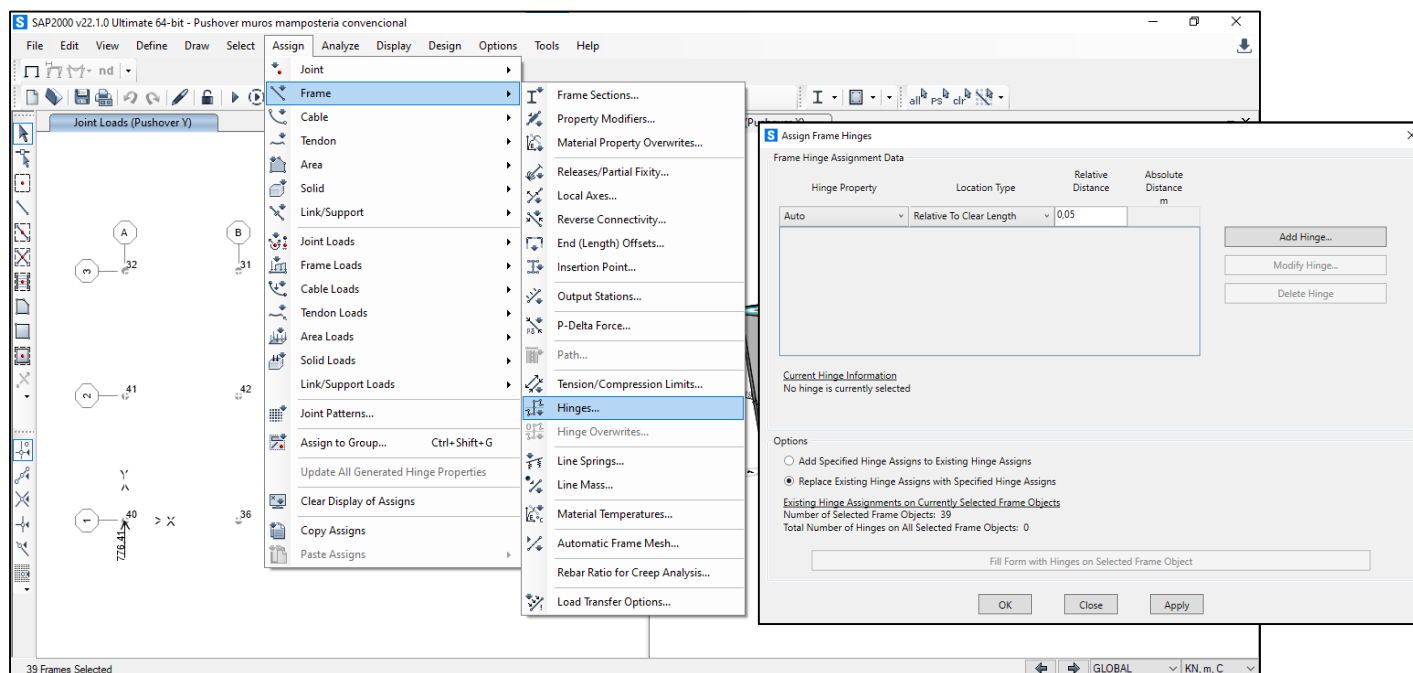
Nota: Este mismo procedimiento se aplica para PUSH Y. Fuente: Autor de la investigación.

Luego de definir los casos de carga para las fuerzas laterales pushover que van a evaluar la estructura identificando los desplazamientos máximos a los cuales puede llegar a someterse dicha estructura, es importante asignar rotulas plásticas a las vigas y columnas, esto con el fin de evaluar la capacidad máxima de la estructura ante cargas laterales, hasta llegar a la manifestación de rotulas plásticas.

Para la asignación de rotulas plásticas se utiliza la función “Hinges”, tal como se aprecia en la figura 59, asignando puntos de ductilidad para un % de longitud aproximado al extremo del elemento, el cual se asume al 5% en cada extremo de los elementos. Este procedimiento se aplica por separado bien sea solo para vigas, o para columnas. Para el caso de muros perimetrales incluidos en la modelación se espera que aporten rigidez a la estructura obteniendo reducción en los desplazamientos.

En la figura 59, se puede apreciar el procedimiento para la introducción de rotulas plásticas en vigas, en donde es importante tener en cuenta que, antes de realizar este procedimiento, se deben seleccionar todos los elementos de viga a los cuales se desea asignar rotulas plásticas.

Figura 59
Asignación de rotulas plásticas en vigas



Nota: Fuente: Autor de la investigación.

De acuerdo a la figura 59, se establece inicialmente la longitud de la rótula a 0,05 y a 0,95 de la longitud total del elemento viga, en donde al seleccionar añadir rótula “Add Hinge”, se despliega una ventana emergente, en donde se seleccionan los parámetros establecidos según el procedimiento de la figura 60; el mismo procedimiento se repite para el caso de vigas en el sentido Y, y para columnas.

Figura 60*Asignación de rotulas plásticas en vigas sentido X*

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table
Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

Degree of Freedom
☐ M2
☒ M3

V Value From
☒ Case/Combo CGNL X
☐ User Value V2

Transverse Reinforcing
☒ Transverse Reinforcing is Conforming

Reinforcing Ratio $(p - p') / p_{balanced}$
☒ From Current Design
☐ User Value (for positive bending)

Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
☒ Drops Load After Point E
☐ Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Nota: Fuente: Autor de la investigación.

Para el caso de asignación de rotulas plásticas en columnas, aplica el mismo procedimiento teniendo en cuenta a la hora de añadir las rotulas que por ser un pórtico tridimensional se debe seleccionar el grado de libertad P-M2-M3, tal como se aprecia en la figura 47. Con respecto a las cargas aplicadas, en columnas solo se asignan puntos plásticos al 5% y al 95% de la longitud total del elemento, pero para carga gravitacional no lineal en el sentido X (CGNL X).

Figura 61

Asignación de rotulas plásticas en columnas para el sentido X

Auto Hinge Assignment Data

Auto Hinge Type
From Tables In ASCE 41-13

Select a Hinge Table
Table 10-8 (Concrete Columns)

Degree of Freedom
☐ M2 ☐ P-M2 ☐ Parametric P-M2-M3
☐ M3 ☐ P-M3
☐ M2-M3 ☒ P-M2-M3

Concrete Column Failure Condition
☐ Condition i - Flexure ☐ Condition iv - Development
☒ Condition ii - Flexure/Shear
☐ Condition iii - Shear

P and V Values From
☒ Case/Combo CGNL X
☐ User Value
 V2 V3

Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w * s)$
☒ From Current Design
☐ User Value

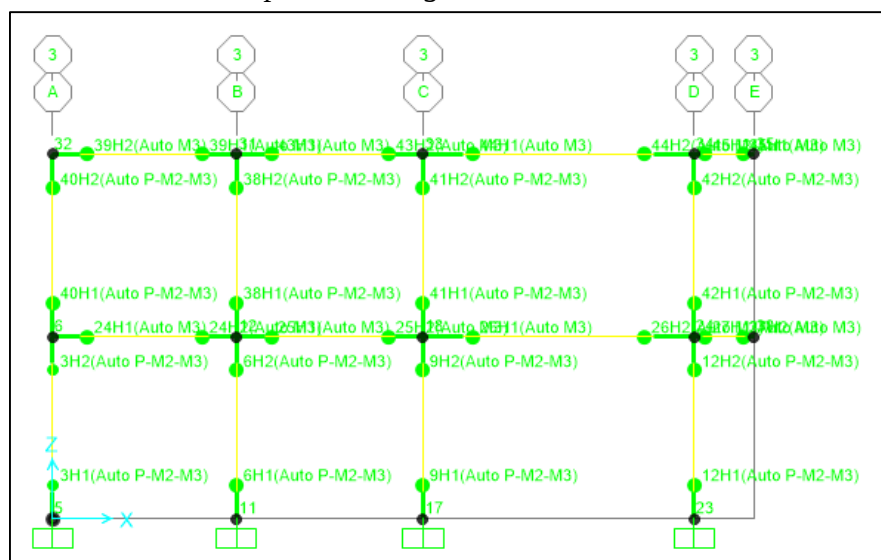
Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity
☒ Drops Load After Point E
☐ Is Extrapolated After Point E

OK Cancel

Nota: Fuente: Autor de la investigación.

Figura 62

Pórtico con rotulas plásticas asignadas

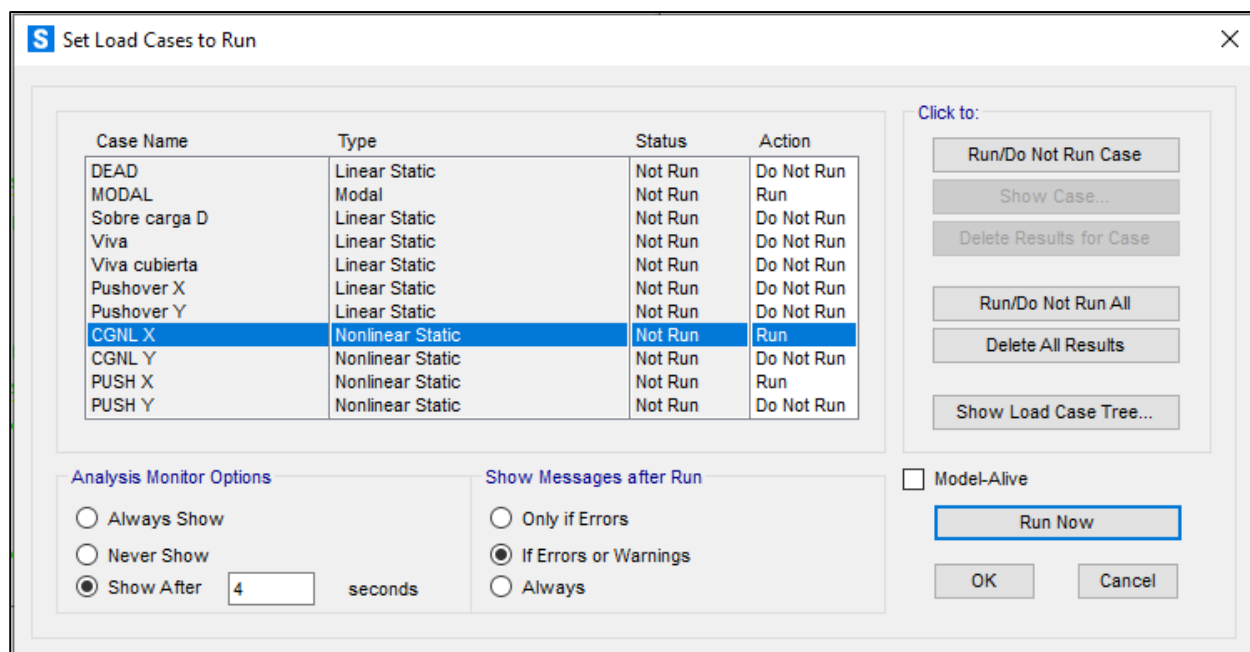


Nota: Fuente: Autor de la investigación.

Luego de asignar rotulas plásticas, por último, queda correr o modelar el sistema estructural, el cual, para el caso de análisis, se evalúa solo para el eje X, ya que corresponde al eje con mayor numero de nodos, en este caso para el procedimiento de modelado, solo se deben correr los parámetros para el eje X, tal como se aprecia en la figura 63.

Figura 63

Procedimiento para el modelado del método pushover

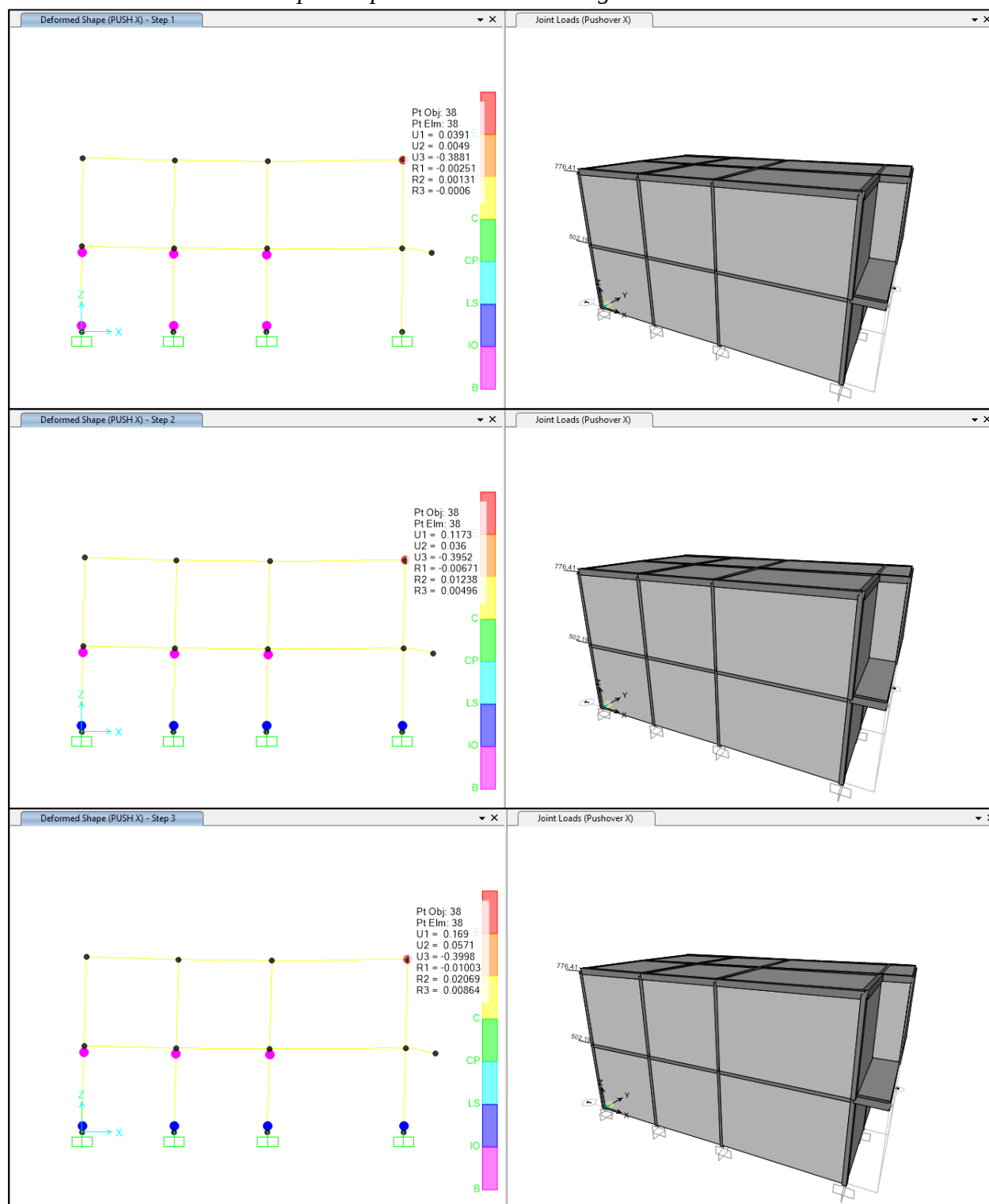


Nota: Fuente: Autor de la investigación.

De acuerdo a la figura 63, luego de corrido el sistema, se analizan las graficas obtenidas resultado de la modelación para la carga pushover en el sentido X, en donde para este caso, se tienen en cuenta solamente los tres primeros ciclos de carga PUSH X. En la figura 64, se puede apreciar las graficas de los tres primeros ciclos de carga para la estructura que incluye muros en mampostería convencional sin ningún tipo de refuerzo, en donde se discrimina el desplazamiento para el nodo de control seleccionado y las rotulas plásticas generadas.

Figura 64

Resultado de la modelación para 3 primeros ciclos de carga con muros convencionales



Nota: Fuente: Autor de la investigación.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la figura 64, para los tres primeros ciclos de carga para el caso de la estructura con muros en mampostería convencional, vale la pena resaltar la presencia de rotulas plásticas, en donde según el color de diferenciación representa un estado y nivel de falla, el cual según lo establecido por la norma ATC 40 y FEMA 356, se definen como:

B = OPERACIONAL

IO = NIVEL DE OCUPACIÓN INMEDIATA

LS = NIVEL DE OCUPACIÓN DE VIDAS

CP = NIVEL DE COLAPSO PREVENTIVO

C = PROXIMO AL COLAPSO

D = COLAPSO

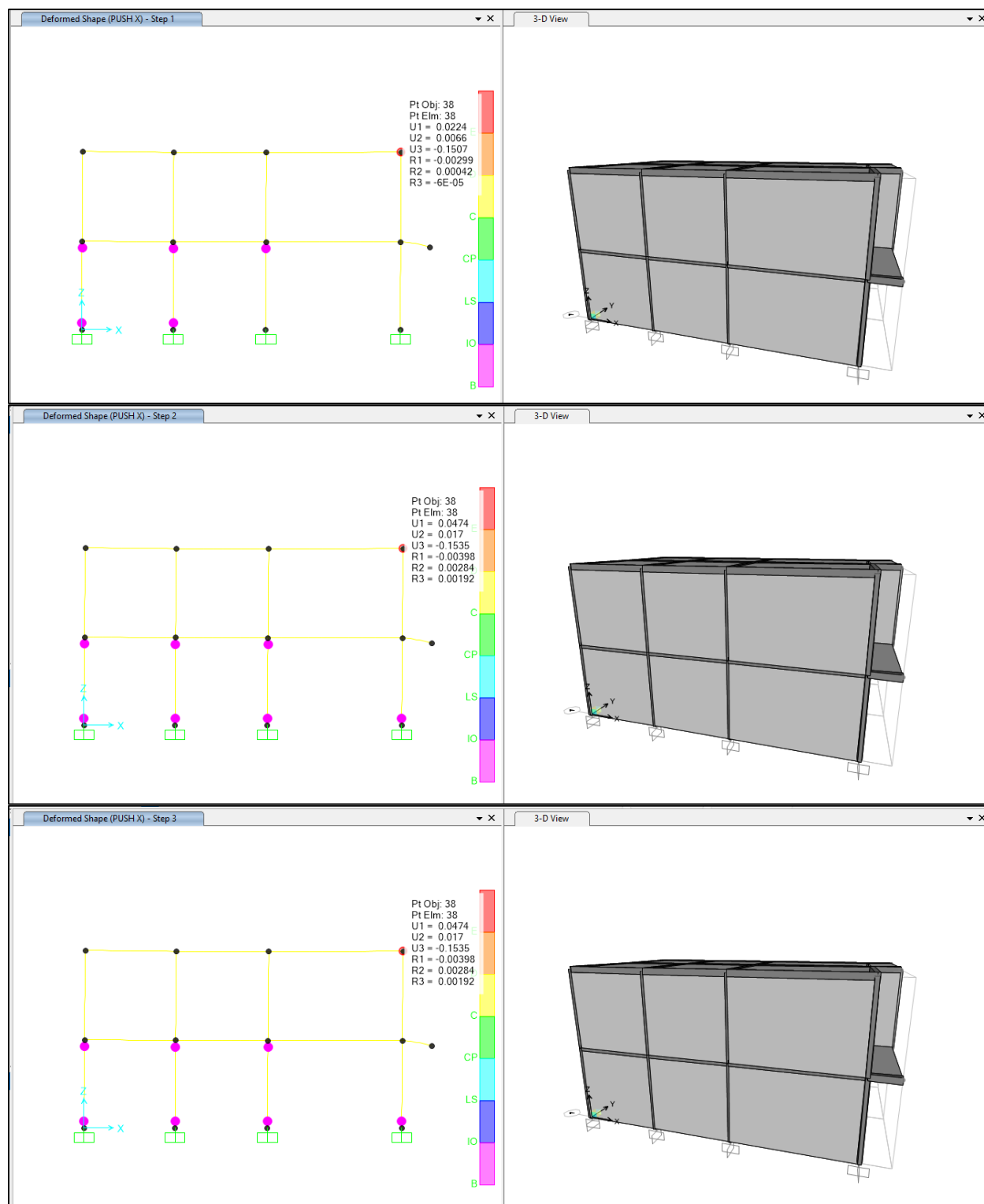
E = COLAPSO

Por lo anterior, los niveles de falla determinados mediante las rotulas plásticas presentes en los tres primeros ciclos de carga, se concluye que se presenta mayor ductilidad en columnas, en donde según las rotulas plásticas generadas, existe un nivel de ocupación intermedia.

Para el caso de análisis utilizando muros de mampostería compuestos el cual incluye la metodología de reforzamiento mediante revoque con viruta de metalistería para muros, se realiza el mismo procedimiento descrito para muros en mampostería convencional, en donde analizando el mismo pórtico y los tres primeros ciclos de carga, teniendo en cuenta el mismo nodo de control, se obtienen como resultados, las graficas y valores establecidos en la siguiente figura 65.

Figura 65

Resultado de la modelación para 3 primeros ciclos de carga con muros compuestos



Nota: Fuente: Autor de la investigación.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el uso de muros compuestos con el refuerzo de viruta de metalistería, se puede apreciar una gran diferencia con relación al uso de muros convencionales, en cuanto al valor de los desplazamientos en el nodo de control, así como también en la generación de rotulas plásticas, ya que para los tres primeros ciclos de carga en el caso de mampostería compuesta, solo se presentan rotulas plásticas en un nivel operacional, en cambio para el caso de mampostería convencional, a partir del segundo ciclo de carga, se presentan rotulas plásticas para un nivel de ocupación intermedia.

Para una mayor comprensión en el análisis de la metodología evaluada, en la siguiente tabla 7, se pueden apreciar los desplazamientos obtenidos para el nodo de control en el sentido X y para los 3 primeros ciclos de carga.

Tabla 7

Desplazamientos obtenidos para el nodo de control en el sentido X

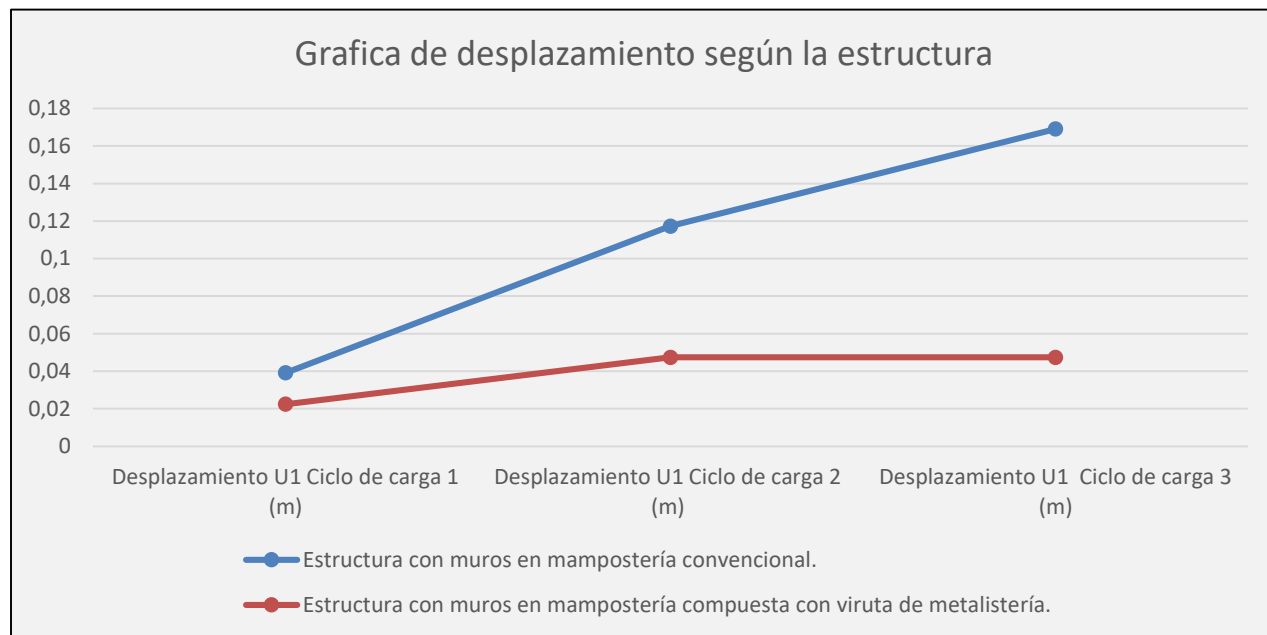
Descripción	Desplazamiento U1 Ciclo de carga 1 (m)	Desplazamiento U1 Ciclo de carga 2 (m)	Desplazamiento U1 Ciclo de carga 3 (m)
Estructura con muros en mampostería convencional.	0,0391	0,1173	0,169
Estructura con muros en mampostería compuesta con viruta de metalistería.	0,0224	0,0474	0,0474

Nota: Fuente: Autor de la investigación.

De acuerdo a la tabla 7, se presenta la figura 66, en donde se aprecia la representación grafica de los resultados obtenidos.

Figura 66

Grafica de desplazamientos obtenidos para el nodo de control en el sentido X



Nota: Fuente: Autor de la investigación.

De acuerdo a la figura 66, realizando el análisis solo para un nodo de control, se puede concluir que la metodología de reforzamiento usando viruta de metalistería para los muros de mampostería, solo aplicado a muros perimetrales, si representa un aumento en la resistencia de la estructura ante cargas laterales, evidenciando una reducción en los desplazamientos en comparación con los resultados obtenidos para el modelo con muros convencionales sin ningún refuerzo.

Según los resultados obtenidos para el caso de muros convencionales y muros compuestos con el refuerzo de metalistería, la modelación solo evaluó el primer pórtico en el sentido X, ya que al ser el pórtico con más nodos ayuda a obtener como resultado, valores representativos del cual se puede llegar a conclusiones teóricas.

Conclusiones

Las diferentes metodologías de reforzamiento estructural son una forma de preservar y conservar las edificaciones existentes que pueden llegar a presentar un riesgo potencial ante el colapso de la estructura, por lo cual se concluye que, para el caso del reforzamiento de viviendas informales, se deben buscar técnicas alternativas que no representen una alta inversión, a la hora de implementarla, como lo es el caso del reforzamiento exterior de muros confinados con malla electrosoldada y mortero.

Con relación a la metodología para la implementación del pañete reforzado con viruta de metalistería, corresponde a 2,5 gr de viruta por cada 260 gr de mortero de revoque, lo que resulta en una resistencia a la compresión de 32,72 MPa, la cual para el reforzamiento del muro en mampostería resulta en un aumento de la sección transversal del muro aumentando su rigidez, razón por la cual se concluye que la adición de viruta de metalistería en el revoque si aumenta la resistencia significativamente. No obstante, es importante resaltar que se deja abierta la expectativa de conocer valores de resistencia en ensayos de compresión diagonal para la sección compuesta, por lo que los valores analizados en esta investigación, corresponde a análisis teóricos puesto que se requieren de mayor investigación para obtener datos más concluyentes.

Con relación a la evaluación realizada para el caso de estudio, mediante la aplicación del software SAP2000, se concluye que aplicando la metodología de reforzamiento con viruta de metalistería para la mampostería implementada solo para muros perimetrales, si se obtiene un aumento en la resistencia de la estructura ante el sometimiento de cargas laterales, disminuyendo

significativamente los desplazamientos generados en la edificación, ya que para el primer ciclo de carga de la modelación con el método estático no lineal Pushover, se pudo evidenciar que el desplazamiento en un nodo de control para el caso de uso de muros perimetrales de mampostería convencional se presentó un desplazamiento de 0,0391 m, por el contrario para el caso de muros perimetrales con mampostería compuesta reforzada con viruta de metalistería, se obtuvo para el mismo nodo de control y en primer ciclo de carga, un desplazamiento inferior correspondiente a 0,0224, lo que ayuda a concluir que la metodología de reforzamiento con revoque con adición de viruta de metalistería para muros de mampostería, si procede para el aumento de la resistencia de la estructura y por ende aporta mayor rigidez a la edificación ante las solicitaciones de cargas sísmicas.

Recomendaciones

Para la aplicación de esta metodología de refuerzo, usando viruta de metalistería, se recomienda utilizar viruta que mantenga una uniformidad en cuanto a su tamaño, además que se recomienda aplicar el método solo para revoques de muros de mampostería con espesores de mínimo 2 cm y máximo 4 cm, en cada cara de la mampostería.

Para el caso evaluaciones teóricas mediante modelación en SAP2000, se recomienda el análisis del método pushover como un método opcional diferente al chequeo de derivas, el cual busca someter a la estructura ante cargas horizontales, para determinar en que momento se presenta la ductilidad de los elementos estructurales así como también los desplazamientos máximos que se pueden presentar en cada nodo que conforma la estructura, para el caso de análisis de vulnerabilidad sísmica, se recomienda hacer un estudio mas minucioso identificando la presencia de rotulas plásticas o puntos de ductilidad, en todos los ciclos de carga que evalúa el sistema en SAP2000.

Referencias

- Aldama et al. (2008). Elaboración de una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*. 15 (01), 41 – 48.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45326937005>
- Alvarado et al. (2015). Análisis de vulnerabilidad sísmica estructural caso asentamiento subnormal barrio hacienda los molinos localidad Rafael Uribe Uribe de Bogotá D.C. [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia]. Repositorio Institucional.
https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3480/An%C3%A1lisis_vulnerabilidad_s%C3%ADsmica_LosMolinos.pdf?sequence=1
- Andrade M. y Vargas D. (2018). *Análisis de vulnerabilidad sísmica y reforzamiento estructural para la nueva solicitud de carga generada por un sistema fotovoltaico en la sala de sistemas de la institución educativa simón bolívar del municipio de Coello – Tolima*. [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. Repository Unipiloto.
<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/5657/Proyecto%20de%20Grado%20FINAL%E2%99%A5.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (01 de 2010). Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Bogotá. D.C., Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Amaya y Ramírez (2019). *Evaluación del comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/b9ffdbd4-d249-4bbb-8556-be2151215437/content>

Ávila et al. (2022). Descripción general del efecto de los agregados de materiales reciclados en las propiedades térmicas y físicas del concreto. *Revista Cleaner Materials*. Vol.4.

[https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufps.edu.co/science/article/pii/S2772397622000478)

[com.sibdigital.ufps.edu.co/science/article/pii/S2772397622000478](https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufps.edu.co/science/article/pii/S2772397622000478)

Ávila y Buriticá (2016). *Análisis del comportamiento a cortante de concretos de 21mpa y 44mpa reforzado con fibras de acero*. [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia, Bogota D.C.]. Repositorio Institucional.

https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5036/An%C3%A1lisis_comportamiento_cortante_concretos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bartolomé y Quiun (2015). Diseño de mallas electrosoldadas para el reforzamiento sísmico de viviendas de adobe típicas del Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela* 30 (01)

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652015000100008&lang=es

Carrillo et al. (2014). Evaluación del desempeño a tensión por compresión diametral del concreto reforzado con fibras de acero ZP-306. *Revista Ingeniería y Competitividad*. 16(1). Pp. 261-272. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291331195022>

Carrillo y Alcocer (2012). Revisión de criterios de sostenibilidad en muros de concreto para viviendas sismorresistentes. *Revista Ingeniería, investigación y tecnología*. 13(04).
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000400011

Castillo et al. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto (Nariño, Colombia). Caso Teatro Imperial - Ingeniería y Patrimonio. *Revista Entre Ciencia e Ingeniería*. 12 (24). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672018000200077&lang=es#B13

Cordova F. (s.f.). Rehabilitación Sísmica de Estructuras. *academia.edu*.
https://www.academia.edu/11202631/REHABILITACION_SISMICA_DE_ESTRUCTURAS

DANE. (2018). *Boletín Técnico Censo de edificaciones (CEED)*. Bogotá D.C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

DANE. (2021). *Boletín Técnico de Licencias de construcción (ELIC)*. Bogotá D.C.: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Escamilla y Ramírez, (2011). Rehabilitación para un cambio de uso y prolongación de la vida útil en edificaciones. *Ingeniería Revista Académica*, XV (1), 27-36.

<https://www.redalyc.org/pdf/467/46718150005.pdf>

Farfán et al. (2018). Fibras de acero en la resistencia a la compresión del concreto. *Revista Gaceta Técnica*. 20(02). Pp. 4-13. <https://www.redalyc.org/journal/5703/570362486002/>

Gobernación Norte de Santander (2014). Informe diagnóstico - municipio de Ocaña.

http://www.pdanortedesantander.com/wp-content/uploads/lineabase2014/dg-PT-14-INFORME_DIAGN%C3%93STICO_OCA%C3%91A.pdf

Gómez & Serna (2016). Procesos de construcción de ciudad y vivienda informal. El caso de las barriadas de los cerros orientales en Bogotá D.C. *Cuaderno Urbano. Espacio, Cultura y Sociedad*, XX (20), 95-118. <https://www.redalyc.org/pdf/3692/369246715005.pdf>

González et al. (2017). *Proyectos de rehabilitación estructural. La sostenibilidad de los refuerzos con materiales compuestos*. Tercer Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-Eficientes. Sevilla, España.
<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59089/Victoriano%20gonzalez%20.pdf;jsessionid=03B931D58B7BE6B48DFEE06E2E166E8A?sequence=1>

Gulmez N. (2020). Papeles de virutas de aluminio y calcita en propiedades de ingeniería de compuestos a base de cemento. *Revista de producción más limpia*. Vol.277. <https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S0959652620341494>

Hernández P. (2013). *Reforzamiento estructural sismo resistente de viviendas informales en Bogotá*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. eLibro. <https://elibro-net.sibdigital.ufpso.edu.co/es/ereader/ufpso/130003>

Instituto Chileno Del Acero (s.f). *Pesos específicos de materiales*. https://metalicas-uv.weebly.com/uploads/8/7/8/7/8787102/formulas_vigas.pdf

Ladrilleraergo (s.f). *Nuestros Productos*. <https://www.ladrilleraergo.com/nuestros-productos.html>

Martínez M. (2016). *Guía para el diseño de refuerzos de elementos estructurales de hormigón armado mediante material compuesto por mallas de fibras minerales embebidas en matriz cementícea (FRCM)*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Institucional uchile.cl. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/139463/Guia-para-el-diseno-de-refuerzos-de-elementos-estructurales-de-hormigon-armado-mediante.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Morales D. (2018). *Estudio de la viabilidad del uso de la fibra de carbono en la repotenciación de estructuras de edificaciones con el fin de adecuarlas a la norma sismo resistente NSR*

10. [Tesis de posgrado, Institución Universitaria Esumer]. Repositorio Institucional Esumer.

https://repositorio.esumer.edu.co/bitstream/esumer/993/2/Esumer_construccion.pdf

Ojeda et al. (2008). Elaboración de una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones*. 15 (01), 41 – 48.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=45326937005>

Páez, et al. (2009). Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería.

Revista Ingenierías Universidad de Medellín, VIII (14), 51-69.

<http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n14/v8n14a05.pdf>

Pérez, A. (2009). La recuperación de edificaciones mediante soluciones compuestas en el Centro Histórico de La Habana. *Apuntes*, 22(2), 198-203.

<http://www.scielo.org.co/pdf/apun/v22n2/v22n2a09.pdf>

Pico C. y Ruiz C. (2018). *Estado del arte de metodologías de reforzamiento estructural en edificaciones de patrimonio cultural caso Bogotá D.C.* [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional.

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7821/RuizKatherinePicoClara2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

- Raigosa E. (2010). Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales. *repositoriotec.tec.ac.cr*.
https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6167/tecnicas_reforzamiento_estructuras_construidas_concreto_deficiencias%20estructurales.pdf?sequence=1
- Reátegui et al. (2018). Módulo de vivienda con material reciclable en la ciudad de Huánuco. *Revista de Investigación Valdizana*.
<https://www.redalyc.org/journal/5860/586062188002/>
- Rivera et al. (2015). Comportamiento de muros de mampostería confinada con aberturas sujetos a cargas fuera del plano. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 07 (01), 55 – 65. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=361240277004>
- Romero & Jiménez (2021). *Estudio de reforzamiento estructural mediante platinas para viviendas de tipo residencial de urbanización en UPZ n°57 Gran Yomasa*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio Institucional ucatolica.
https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/27038/1/507491_Jimenez_507758_Romero.pdf
- Ruiz, et al. (2020). Evaluación de la fragilidad de dos soluciones de rehabilitación para un edificio con planta baja débil dañado durante el sismo 19/s17. *Revista de Ingeniería Sísmica* (102), 1-25. <http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n102/0185-092X-ris-102-1.pdf>

- Socarrás et al. (2021). La rehabilitación sismorresistente de edificaciones de hormigón prefabricado. *Revista Ciencia en su PC*.
<https://www.redalyc.org/journal/1813/181368034005/>
- Tsarpalis et al. (2021). Rehabilitación de edificio de hormigón armado mediante el sistema fuseis beam-link. *Structures*, (34), 3300 – 3314. <https://www-sciencedirect-com.sibdigital.ufpso.edu.co/science/article/abs/pii/S2352012421009292>
- Toirac J. (2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón; origen y prevención. *Ciencia y Sociedad, IX* (1), 72-114.
<https://www.redalyc.org/pdf/870/87029104.pdf>
- Vega y Torres (2018). Refuerzo exterior de muros de mampostería no reforzada con polímeros reforzados con fibra de carbono. *Revista Ingeniería e investigación*, 38(03).
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092018000300015&lang=es
- Xargay et al. (2019). Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios. *Revista Tecnura*. 23(60). Pp.38-51. <https://www.redalyc.org/journal/2570/257059817004/>
- Zienkiewicz O. (2007). El método de los elementos finitos. *Editorial Reverte S.A*.
https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=D-m0OmYSoIMC&oi=fnd&pg=PR7&dq=analisis+de+elementos+finitos&ots=7_FFDD9i

i2&sig=1L5UHAyUoKvaGxZ7SuqzxIUxB2E#v=onepage&q=analysis%20de%20elementos%20finitos&f=false

Apéndice

Guion de preguntas

¿Cuáles son los métodos de reforzamiento estructural que existen?

¿Cuáles son los principales parámetros para evaluar el estado actual de una vivienda?

¿Por qué hay que hacer un análisis de vulnerabilidad sísmica?

¿Bajo que parámetros se pueden evaluar el reforzamiento estructural?

¿Qué tipo de materiales se pueden utilizar para reforzar viviendas existentes?

¿Cuáles son los materiales sostenibles que sirven para hacer reforzamiento de viviendas?

Análisis Bibliométrico

Revista	N° de artículos	N° de Autores	% de participación
Entre Ciencia e Ingeniería	1	3	20%
Punto Aparte	1	1	20%
Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones	1	3	20%
Otro	3	1	50%

Documento expedido por la Oficina de gestión del riesgo de desastres del municipio de

Ocaña Norte de Santander

Ver página siguiente:



Ocaña, 21 de septiembre 2022

A QUIEN INTERESE

E. S. M.

REF. REPORTE DE VIVIENDAS AFECTADAS ESTRUCTURALMENTE

Cordial saludo.

De conformidad con la ley 1523 de 2012 en su Artículo 1°. *De la gestión del riesgo de desastres.* La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.

Artículo 2°. *De la responsabilidad.* La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano.

En cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entendiéndose: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Por su parte, los habitantes del territorio nacional, corresponsables de la gestión del riesgo, actuarán con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes, y acatarán lo dispuesto por las autoridades.

Con lo antes mencionado me permito informar que de acuerdo a la recolección de datos sobre viviendas afectadas estructuralmente en el municipio de Ocaña se encuentran las siguientes.

Barrio las Mercedes parte Baja

5 viviendas afectadas

Barrio Altos del Norte

2 viviendas afectadas.

 clopad@ocana-nortedesantander.gov.co
 Tel: 5636300 Ext.: 131 Cel. 3144821135



Asentamiento humano colina de la provincia.

1 vivienda afectada

Agradecemos de antemano la atención prestada.

Atentamente,

Gustavo A. Paba Navarro
Coordinador CMGRD