

ANÁLISIS COMPARATIVO DE EFICIENCIA TÉCNICO-ECONÓMICO ENTRE EL
SISTEMA APORTICADO Y EL STEEL FRAMING: CASO DE ESTUDIO VIVIENDA DE
DOS NIVELES DE 144 M2 EN EL MUNICIPIO DE VIOTÁ CUNDINAMARCA

ROBER STIVEN MENDOZA MARTINEZ

WALFRAN SNEIDER JIMENEZ ROJAS

RICARDO ANDRES SIERRAS PATIÑO



UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA FACULTAD DE INGENIARÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE
INFRAESTRUCTURA Y EDIFICACIONES

BOGOTÁ DC

SEPTIEMBRE DE 2026

SISTEMA APORTICADO Y EL STEEL FRAMING: CASO DE ESTUDIO VIVIENDA DE
DOS NIVELES DE 144 M2 EN EL MUNICIPIO DE VIOTÁ CUNDINAMARCA

ROBER STIVEN MENDOZA MARTINEZ

WALFRAN SNEIDER JIMENEZ ROJAS

RICARDO ANDRES SIERRAS PATIÑO

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialistas en:
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y EDIFICACIONES**

Ing. Manuel Antonio Tobito Cuberos



Universidad La Gran Colombia

Facultad de Ingenierías

Programa Ingeniería Civil

Bogotá D.C

Dedicatoria

Agradecimiento profundo a nuestras familias por su amor, paciencia, confianza y respaldo incondicional, culminar este trabajo representa un logro académico y personal, un reconocimiento especial a nuestro director de monografía, el Ingeniero Manuel Tobito, por su guía rigurosa, la generosidad al compartir su conocimiento, Asimismo expresamos nuestra gratitud a la Universidad La Gran Colombia, por brindarnos los espacios para nuestra formación, y finalmente destacar la valiosa unión que se construyó a lo largo de este camino como grupo de trabajo, los esfuerzos en conjunto, los debates y apoyo fueron clave para cumplir nuestra meta, y un triunfo compartido.

Tabla de contenido

Contenido

1. Resumen	9
Palabras claves:	9
2. Abstract	10
3. Introducción	11
4. Objetivo General.....	12
Objetivos Específicos	12
5. Contexto Climático y Geológico	14
6. Sistema Estructural Tradicional (Concreto Reforzado).....	15
6.1. Componentes Materiales.....	16
6.2. Elementos Estructurales Típicos.....	16
7. Transición de una construcción convencional a sistema constructivo “steel framing”	19
7.1. Geografía y Logística para Viotá.....	19
7.2. Sismo-resistencia y Seguridad	20
7.3. Eficiencia de Recursos y Confort Térmico.....	20
7.4. Descripción Técnica del Sistema Steel Framing	21
8. Aportes del steel framing.....	24
8.1. ¿Por qué desarrollar proyectos de Steel Framing?.....	25
8.2. Estructura metálica	26
8.3. sistema de steel framing.....	26
8.4. Características de construcción en steel framing	26

Comparación Aporticado vs Steel Framing

	5
8.4.1. Soporte y Transmisión de Cargas	27
8.4.2. Estabilidad Lateral y Rigidización.....	27
8.4.4. Esquema de estructural con Steel Framing	28
9. Análisis de Sismo-resistencia del Steel Framing en el Contexto de Viotá, Cundinamarca.....	29
9.1. Reducción de la Masa Inercial	29
9.2. Integridad y Calidad de Materiales.....	29
9.3. Sistemas de Rigidez Lateral (Cruz de San Andrés).....	30
9.4. Marco Regulatorio y Requisitos de Estandarización Estructural.....	30
9.5. Especificaciones Técnicas y Protocolos de Ensamble: Sistema Steel Framing Ficha Técnica de Componentes Estructurales.	32
10. Planos arquitectónicos de la vivienda (Caso de estudio 9X8).....	35
10.1. Análisis de la estructura	35
11. Modelo SAP2000 Sistema aporticado.....	37
11.1. Creación del modelo SAP2000 aporticado	39
12. Creación de modelo Steel Framing	47
13. Creación Modelo SAP2000 Steel Framing	52
14. Presupuestos Sistema Aporticado-Steel Framing.....	56
14.1. Sistema convencional	56
14.2. Presupuesto Steel Framing;	57
15. Cronograma Sistema Tradicional	58
16. Cronograma Steel Framing	58
17. Análisis Comparativo Sistema tradicional-Steel Framing y conclusiones.....	59

Comparación Aporticado vs Steel Framing

	6
18. Comparación del comportamiento estructural.....	60
19. Incidencia de las condiciones de Viotá	60
20. Comparación económica	61
21. Rendimiento y tiempo de construcción	63
22. Funcionalidad, calidad y eficiencia constructiva.....	63
23. Interpretación de los resultados obtenidos mediante SAP2000	64
24. Conclusiones	65
25. Webgrafía	68
26. Anexos	68

Lista de Tablas

Tabla 1 Elementos estructurales típicos.....	17
Tabla 2 Datos iniciales Estructura convencional	37
Tabla 3 Datos iniciales Estructura convencional	37
Tabla 4 Datos Evaluó de Cargas Vigas Piso 2.....	38
Tabla 5 Evaluó de cargas Vigas cubierta	39
Tabla 6 Datos entrada Steel Framing.....	47
Tabla 7 Presupuesto Sistema convencional	56
Tabla 8 Presupuesto Steel Framing.....	57
Tabla 9 Cronograma Sistema convencional.....	58
Tabla 10 Cronograma Steel Framing.....	58

Lista de Figuras

Ilustración 1Cruz de San andres Fuente: https://www.adbarbieri.com/blog/rigidizacion-cruces-de-san-andres-en-el-steel-frame	20
Ilustración 2 Esquema de estructural con Steel Framing.....	28
Ilustración 3Perfiles de acero en forma de U - Proveedor de China -Wanzhi Steel.....	28
Ilustración 4Perfiles de acero en forma de C Fuente: Proveedor de China -Wanzhi Steel	28
Ilustración 5Esquema Muro Stel Framing Fuente: https://web.facebook.com/House.Steel.SF/photos/-detalleconstructivo-panel-portante-en-steel-framecada-	34
Ilustración 6 Detalle Cruz de san andres	34
Ilustración 7Dimensiones Zona de estudio.....	35
Ilustración 8 Creación de Modelo convencional	39
Ilustración 9 Creación de secciones.....	40
Ilustración 10 Asignación de secciones.....	40
Ilustración 11Asignación de secciones.....	41
Ilustración 12Asignación de placa.....	41
Ilustración 13Asignación de placa.....	42
Ilustración 14Asignación de placa.....	42
Ilustración 15Asignación de cargas muertas	43
Ilustración 16Asignación de cargas vivas	43
Ilustración 17Ejecución del modelo	44
Ilustración 18Resultado del modelo	44
Ilustración 19 Diagrama de momentos.....	45
Ilustración 20Diagrama de cortante.....	45
Ilustración 21Diagrama resultados	46
Ilustración 22Resultado Viga 202	46
Ilustración 23Resultado Viga 202	46
Ilustración 24 Creación de modelo Steel	52
Ilustración 25Asignación de Material.....	52
Ilustración 26 Definición de secciones.....	53
Ilustración 27Asignación de elementos	54
Ilustración 28Modelo Steel Framing	54
Ilustración 29 Resultados Cortantes	55
Ilustración 30 Resultados momentos	55

1. Resumen

La presente monografía se realiza un análisis comparativo integral entre dos sistemas constructivos aporticados, sistema tradicional de concreto reforzado, muy utilizado a lo largo y ancho de Colombia, sistema predominante en nuestro país, y por otro lado el sistema aporticado de acero (Steel Framing), el estudio se localiza en el municipio de Viotá Cundinamarca , una zona caracterizada por el predominio absoluto de las construcción tradicional, el objetivo principal es determinar la viabilidad técnica y financiera de ambos métodos, evaluando los costos directos de los materiales, mano de obra así como plazos de ejecución, La comparativa se centra específicamente en el componente estructural del proyecto, buscando proporcionar una base técnica de que permita romper el paradigma de la construcción tradicional en la región, cuantificando el impacto que la industrialización de procesos tiene sobre la rentabilidad y tiempos de ejecución.

Palabras claves:

Steel Framing, concreto reforzado, Sistema Aporticados, viabilidad, costos directos, tiempos, industria, Análisis Estructural,

2. Abstract

This monograph presents a comprehensive comparative analysis between two framed structural systems: the traditional reinforced concrete system, widely used and predominant throughout Colombia, and the structural steel framing system. The study is localized in the municipality of Viotá, Cundinamarca, a region characterized by the absolute dominance of traditional construction methods.

The primary objective is to determine the technical and financial viability of both methods by evaluating direct costs—including materials and labor—as well as execution timelines. The comparison focuses specifically on the structural components of the project, aiming to provide a technical foundation to challenge the traditional construction paradigm in the region. Furthermore, it quantifies the impact that process industrialization has on profitability and delivery schedules

Keywords: Steel Framing, reinforced concrete, Aporticados System, feasibility, direct costs, times, industry, Structural Analysis

3. Introducción

La industria de la construcción en Colombia se encuentra en una etapa de transición crítica, donde la necesidad de optimizar los recursos y garantizar la seguridad estructural se enfrenta a los métodos tradicionales de edificación, atravesando una fase de transformación, las decisiones más importantes se toman antes de iniciar la obra, la elección del sistema estructural se convierte en la decisión técnica más importante de cualquier proyecto, dado que esta determina la viabilidad económica.

En Colombia, el sistema de concreto reforzado se ha consolidado por la disponibilidad de materiales, normativa y mano de obra bastante familiarizada a nivel nacional con los procesos constructivos correspondientes a este sistema, sin embargo, este sistema presenta algunas dificultades importantes como lo son el desperdicio, tiempos prolongados de ejecución, por otra parte, el sistema de acero Steel Framing se presenta como una alternativa de industrialización, que redefine la eficiencia trasladando gran parte del sistema de la obra a la fábrica, reduciendo notoriamente los pesos estructurales y aceleración en tiempos por montajes secuenciales.

La presente monografía se sitúa en el municipio de Viotá Cundinamarca, dónde la construcción tradicional es predominante y la vivienda de dos niveles es el tipo de estructura es elegido por la mayoría de la población en este, el objetivo central de esta investigación, es desglosar mediante un análisis técnico y financiero, si la implementación del Steel Framing representa una ventaja competitiva real frente al concreto reforzado en esta zona, atreves de una metodología comparativa, dónde se evalúan los costos directos y rendimiento, para con ello determinar si nuevos sistemas estructurales (Steel Framing), puede superar las barreras de la tradición para ofrecer soluciones de vivienda más eficiente y rentables en el municipio de Viotá Cundinamarca.

4. Objetivo General

Realizar un análisis comparativo, técnico -económico, entre el sistema estructural de concreto reforzado y el sistema Steel Framing para un modelo de edificación en el municipio de Viotá Cundinamarca, con el fin de determinar la viabilidad de implementar sistemas industrializados en la región.

Objetivos Específicos

1. Modelar y analizar estructuralmente ambas alternativas constructivas mediante el software SAP-2000, garantizando que aporticado ambos diseños cumplan con los criterios sismorresistentes de la normativa colombiana NSR-10.
2. Cuantificar y presupuestar los costos directos correspondientes a materiales de la etapa estructural para ambos sistemas, utilizando análisis de precios unitarios APUS adaptados a la realidad logística del municipio de Viotá Cundinamarca.
3. Elaborar un cronograma de ejecución detallado para cada sistema, comparando el tiempo total de entrega de la estructura bajo condiciones climáticas y geográficas de la zona.
4. Realizar un análisis comparativo final que determine cuál de los dos ofrece el mayor ahorro económico y la entrega más rápida considerando los retos logísticos del municipio de Viotá Cundinamarca.

¿Cómo desarrollar el proyecto?

El desarrollo del proyecto se llevará a cabo mediante una investigación enfocada en el análisis técnico y constructivo del sistema Steel Framing aplicado al contexto del municipio de Viotá. Inicialmente, se realizará una revisión de información relacionada con el sistema, sus características, ventajas, comportamiento estructural y procesos constructivos, tomando como

referencia normativa colombiana y estudios previamente desarrollados sobre este tipo de estructuras.

Posteriormente, se realizará una comparación entre el Steel Framing y los sistemas convencionales utilizados en el municipio, evaluando aspectos como tiempos de ejecución, peso estructural, sostenibilidad, costos y eficiencia constructiva. Esto permitirá identificar las posibles ventajas y oportunidades que podría ofrecer este sistema dentro del desarrollo urbano de Viotá.

5. Contexto Climático y Geológico

La selección y viabilidad de un sistema estructural para el municipio de Viotá, Cundinamarca deben considerar las condiciones climáticas, geológicas y geotécnicas particulares de la región, debido a su influencia directa sobre el comportamiento y la durabilidad de las edificaciones. El municipio se encuentra localizado sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, en un entorno caracterizado por un régimen de precipitaciones de comportamiento bimodal, donde los periodos de lluvia intensa pueden generar incrementos significativos en las saturaciones del terreno y favorecer procesos de inestabilidad. Estas condiciones también pueden contribuir al aumento de presiones de agua en el subsuelo y acelerar procesos de deterioro y meteorización de los materiales.

Desde el punto de vista geológico, en la zona predominan formaciones de origen sedimentarios, entre las que se encuentran materiales asociados a lutitas y arcillolitas de la formación Villeta. Debido a sus características geomecánicas, grado de fracturamiento y condiciones estructurales regionales, estos materiales pueden presentar comportamientos susceptibles a movimientos lentos del terreno, proceso de formación y variaciones volumétricas asociadas a cambios en el contenido de humedad. Estas condiciones pueden generar modificaciones en el estado de esfuerzos del suelo y favorecer las apariciones de asentamientos diferenciales o deformaciones que deben ser consideradas durante el diseño de la cimentación.

6. Sistema Estructural Tradicional (Concreto Reforzado)

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), con el censo de edificaciones, y las estadísticas de las licencias de construcción, el sistema estructural de estructura en concreto reforzado concentra la inmensa mayoría de la actividad en Colombia, incluyendo sistemas porticados y muros estructurales, representando del 75% al 85% del área total aprobada y en procesos de construcción, esta información corresponde a una tendencia estructural permanente que el DANE registra periódicamente, en su gran mayoría por la obligatoriedad de cumplir con la norma sismorresistente (NSR-10)

Toda edificación en concreto reforzado exige para el cálculo de columnas o vigas la exploración para conocer con precisión las características del suelo, se debe conocer la capacidad portante del suelo, control de asentamientos, determinar, clasificar los suelos según categoría, la evaluación de amenazas sísmicas, para que con ello se pueda definir las soluciones de soporte y determinar si se necesita una cimentación superficial o profunda. Teniendo esta información podemos proceder a hablar del título más importante del sistema convencional, el título C concreto estructural, dicta como se debe materializar, calcular, diseñar cada elemento del sistema convencional, y así garantizar la resistencia y ductilidad ante cargas verticales y sismos.

El sistema convencional depende directamente de la combinación de dos materiales con comportamientos mecánicos muy distintos, por un lado, el concreto, excelente resistiendo a la compresión, tiene propiedades de adherencia, la cual permite que el concreto y el acero trabajen como una sola unidad, los coeficientes de expansión térmica son muy similares, lo que evita que se separen al cambiar de temperatura y, por último, el concreto crea una capa que protege al acero de la corrosión. Los componentes del concreto se indican a continuación;

6.1. Componentes Materiales

- Cemento Portland: El aglomerante.
- Agregados (Áridos): Fino (arena) y Grueso (grava). Constituyen el esqueleto granular.
- Agua: Inicia la reacción química de hidratación.
- Aditivos: Plastificantes, acelerantes o incorporadores de aire que modifican propiedades en estado fresco o endurecido.
- Barras Corrugadas: Generalmente clasificadas por su límite elástico.
- Mallas Electrosoldadas: Para elementos bidimensionales como losas.

Como anteriormente lo indicábamos, el concreto es excelente resistiendo a la compresión, se especifica según la norma un valor mínimo absoluto de 17MPa / 170 kg/cm², para estructuras sismorresistentes, en la práctica se suelen utilizar concretos de mayor resistencia a la compresión, como lo son los concretos de 21MPa, 28MPa, el concreto es muy bueno a la resistencia a la compresión, su deficiencia se encuentra en las fuerzas de tracción, por ello la relación tan buena con el acero de refuerzo, el cual absorbe estas fuerzas, el título C exige aceros de alta resistencia con fluencia nominal estandarizada 420MPa/4200 kg/cm², prohibiendo el uso de aceros lisos de baja ductilidad, a continuación se indican los principales elementos del sistema convencional;

6.2. Elementos Estructurales Típicos

El sistema se manifiesta a través de diferentes elementos que forman el cuerpo de la estructura:

Elemento	Esfuerzo Predominante	Función Principal
Zapatas / Cimentación	Compresión y Flexión	Transmitir cargas al suelo de forma distribuida.
Columnas	Flexión-Compresión	Elementos verticales de soporte.
Vigas	Flexión y Cortante	Elementos horizontales que cubren claros.
Losas	Flexión	Superficies de tránsito y distribución de carga.
Muros de Corte	Cortante y Flexión	Aportan rigidez lateral ante

		sismos o viento.
--	--	------------------

Tabla 1 Elementos estructurales típicos

Esta red tridimensional compuesta por vigas y columnas intercomunicadas rígidamente, están encargadas de resistir simultáneamente a las cargas verticales de las cargas muertas y vivas, además, de las fuerzas horizontales, sismos y el cortante de sus elementos, a continuación, se indican ventajas y desventajas;

Ventajas

- **Monolitismo:** Las uniones son rígidas por naturaleza al fundirse juntas.
- **Maleabilidad:** Se adapta a cualquier forma arquitectónica mientras esté en estado fluido.
- **Resistencia al Fuego:** Es intrínsecamente ignífugo (a diferencia del acero estructural desnudo).
- **Mantenimiento:** Bajo costo a largo plazo si está bien construido.

Desventajas

- **Peso Propio:** Es un sistema muy pesado, lo que aumenta las fuerzas sísmicas.
- **Tiempos de Ejecución:** Requiere tiempo de fraguado y curado (normalmente 28 días para la resistencia de diseño).
- **Sustentabilidad:** La producción de cemento tiene una huella de carbono muy alta.

El proceso constructivo se indica a continuación para la construcción convencional;

- **Topografía:** Localización y replanteo de ejes sobre el terreno utilizando equipos de precisión (estación total o nivel de precisión) basándose en los planos arquitectónicos y estructurales.
- **Excavación:** Remoción de la capa vegetal y excavación manual o mecánica para desplantar las cimentaciones según las cotas establecidas en el estudio geotécnico (Título H de la NSR-10).
- **Concreto de limpieza:** Vaciado de una capa delgada de concreto pobre, usualmente de 10 MPa) en el fondo de las excavaciones para proporcionar una superficie plana, limpia y seca sobre la cual armar el acero de cimentación.
- **Armado de acero de zapatas y vigas de fundación:** Corte, figuración y figuración en obra del acero corrugado $f_y = 420\text{MPa}$ para las parrillas de las zapatas y el refuerzo

longitudinal y transversal de las vigas de amarre, respetando los recubrimientos mínimos exigidos para evitar la corrosión por humedad del suelo.

- Colocación de elementos de espera: Instalación de las "patas" o arranques de columnas (dovelas) que conectarán la cimentación con la estructura superior.
- Vaciado de cimentación: Colocación del concreto estructural con el asentamiento (slump) adecuado, garantizando el correcto vibrado para eliminar vacíos, seguido de su respectivo proceso de curado húmedo.
- Replanteo de ejes en placa: Traslado de los ejes estructurales desde el nivel inferior hacia la losa de piso recién vaciada.
- Armado de acero de columnas: Ensamble del refuerzo longitudinal y colocación de estribos con la separación estricta exigida en las zonas de confinamiento por el Título C de la NSR-10.
- Encofrado o formaleta: Colocación de paneles de madera, metálicos o fenólicos alrededor del acero de la columna, asegurados con puntales y diagonales para garantizar la verticalidad y soportar la presión hidrostática del concreto fresco.
- Vaciado y vibrado: Vertido del concreto por capas y uso de vibrador de inyección para densificar el material alrededor del acero, evitando cangrejas (porosidades).
- Desencofrado: Retiro de la formaleta lateral de las columnas una vez el concreto alcanza la resistencia requerida para el desencofrado (usualmente entre 16 y 24 horas después)
- Cimbra y entablado: Instalación del sistema de soporte temporal (andamios, punteras metálicas o madera) y el fondo de formaleta para las vigas y el cielorraso de la losa.
- Armado de vigas y losa: Colocación del acero inferior, superior y estribos de las vigas, seguido del armado de la malla electrosoldada o parrilla de acero de la losa, junto con el casetón (si es losa aligerada) o el sistema de encofrado plástico/metálico (si es losa nervada o maciza).
- Instalaciones embebidas: Instalación previa de tuberías hidrosanitarias, eléctricas y de gas que deban quedar ocultas dentro del espesor de la losa y las vigas.
- Vaciado monolítico: Vaciado simultáneo del concreto en vigas y losa, asegurando una compactación homogénea.
- Curado: Aplicación de curadores químicos o riego constante de agua durante los

primeros 7 días para evitar la fisuración por retracción de fraguado.

Por otra parte, la normativa aplicable para el proceso constructivo convencional se basa en las siguientes normas técnicas;

- ACI 318: El código del American Concrete Institute (es la base de la mayoría de los reglamentos en Latinoamérica).
- NSR-10 Reglamento Colombiano de Construcción sismorresistente

7. Transición de una construcción convencional a sistema constructivo “steel framing”

La industria de la construcción en Colombia se encuentra en un punto de inflexión donde la eficiencia, la sostenibilidad y la seguridad sismo-resistente ya no son opcionales, sino imperativos éticos y técnicos. En el contexto específico del municipio de Viotá, Cundinamarca, la persistencia en el uso del sistema constructivo convencional (pórticos de concreto y mampostería) plantea desafíos críticos que exigen una reevaluación profunda. Esta investigación surge de la necesidad de contrastar la tradición frente a la innovación, proponiendo al Steel Framing no solo como una alternativa tecnológica, sino como una respuesta estratégica a las limitaciones del entorno local.

7.1. Geografía y Logística para Viotá

Viotá Cundinamarca, ubicado al occidente de la cordillera oriental colombiana, se encuentra dentro de la provincia del Tequendama, abarca un área de 208 km², hallándose en un entorno de cordillera, dominado por vertientes de pendiente moderada Viotá, caracterizado por su topografía amplia y su ubicación en la cordillera impone una barrera considerable para la construcción tradicional. El sistema convencional depende de grandes volúmenes de materiales "húmedos" (arena, grava, cemento) cuyo transporte por vías secundarias y terciarias incrementa exponencialmente los costos por flete y la huella de carbono.

7.2.Sismo-resistencia y Seguridad

La seguridad es el pilar de esta investigación. Viotá se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia, donde el peso de una edificación es su mayor enemigo ante un evento telúrico. De acuerdo con los principios de la **NSR-10**, la fuerza sísmica es directamente proporcional a la masa. El sistema convencional genera estructuras masivas que sobrecargan los suelos de montaña, aumentando el riesgo de asentamientos o fallas catastróficas. El **Steel Framing**, al reducir la masa inercial de la vivienda, ofreciendo un comportamiento dinámico superior. Su capacidad para disipar energía a través de la ductilidad del acero y su configuración de paredes portantes con rigidización lateral (Cruces de San Andrés) lo convierten en la opción más segura para proteger la vida humana en terrenos con pendientes pronunciadas.

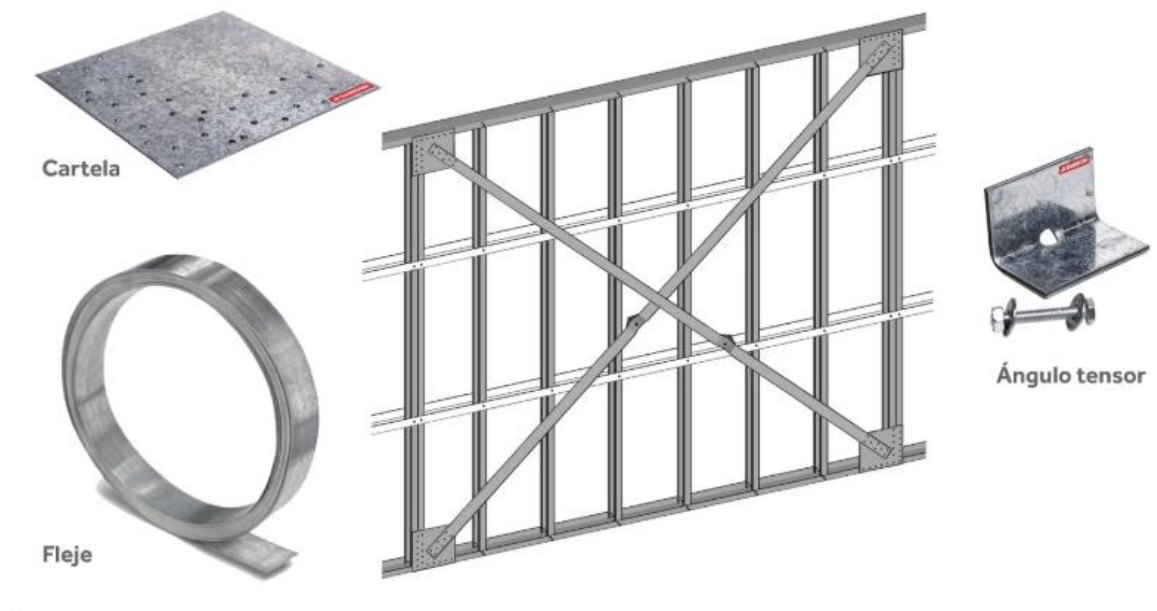


Ilustración 1 Cruz de San andres Fuente: <https://www.adbarbieri.com/blog/rigidizacion-cruces-de-san-andres-en-el-steel-frame>

7.3.Eficiencia de Recursos y Confort Térmico

En un municipio con un clima que oscila entre lo templado y lo cálido, la inercia térmica del ladrillo convencional suele generar ambientes interiores sofocantes. El Steel Framing permite la integración de capas de aislamiento termoacústico de alta eficiencia dentro de la misma cavidad del muro, optimizando el confort sin sacrificar espacio.

Además, la "construcción en seco" elimina el consumo indiscriminado de agua en obra y reduce los desperdicios del 15% (en sistemas húmedos) a menos del 2%, alineando el desarrollo del municipio con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

7.4.Descripción Técnica del Sistema Steel Framing

El Steel Framing se define como un sistema de entramados de acero compuesto por perfiles de sección delgada conformados en frío, que actúan en conjunto para distribuir las cargas verticales y laterales de manera uniforme.

7.5. Componentes Estructurales Principales

El sistema utiliza un juego limitado de perfiles estandarizados para facilitar la producción masiva y el montaje modular:

- Montantes (Perfiles C): Elementos verticales que resisten las cargas verticales (techo, pisos) y la flexión por viento. Se ubican a distancias modulares de 40 o 60 cm.
- Soleras (Perfiles U): Perfiles horizontales que rematan los montantes en sus extremos superior e inferior, sirviendo como guía y cierre.

7.6. Especificaciones de Material y Protección

- Calidad del Acero: Se emplean perfiles de acero estructural conformados en frío, con espesor delgado y calibres de 18 y 20 para muros, calibres 22 al 25 para elementos divisorios y calibres de 14 al 16 para estructuras de alta carga, con una esbeltez controlada para evitar fallas por pandeo.
- Recubrimiento Galvánico: uso de perfiles galvanizados para garantizar la durabilidad de la estructura frente a la corrosión.
- Sistemas de Unión y Ensamblaje
- La integridad del sistema depende de la confiabilidad de sus conexiones:
- Fijación con Tornillos: Es el método principal. Se utilizan tornillos autoperforantes (generalmente N°8 o N°10) que permiten el calce directo de montantes en las soleras.
- Principio de Apoyo: La carga debe transmitirse por compresión de aplastamiento pleno

del montante sobre la solera; el tornillo actúa únicamente como fijador, no como soporte de carga principal.

- Arriostramientos: Para resistir fuerzas sísmicas y de viento en Viotá, se utilizan muros arriostrados mediante diagonales de cintas de acero (Cruces de San Andrés) o revestimientos estructurales sólidos.
- La "Capa" y Revestimientos
- La estructura debe complementarse con revestimientos que aportan rigidez:
- Estructurales: Placas de OSB o multilaminado fenólico, que actúan como diafragmas para distribuir fuerzas laterales.
- De Acabado: Placas de yeso-cartón para interiores.
- Fijación de Placas: Se recomienda típicamente un patrón de tornillos cada 15 cm en bordes y cada 30 cm en apoyos interiores para garantizar la rigidez del panel.
- Ventajas Técnicas para el Contexto de Viotá
- Ligereza Sismorresistente: Al ser una construcción liviana, genera menos fuerzas inerciales durante un sismo, lo que es ideal para las zonas de amenaza intermedia en Cundinamarca.
- Modulación y Precisión: El uso de medidas submúltiplos de 1.20 m reduce el desperdicio de materiales.
- Adaptabilidad: Permite construir hasta 2 niveles (bajo el método prescriptivo) con alta resistencia a la succión del viento si se anclan correctamente las fundaciones.
- Descripción Técnica del Sistema Constructivo Convencional (Pórticos de Concreto Reforzado)
- El sistema convencional se define como una estructura de concreto reforzado compuesta por un esqueleto de vigas y columnas fundidas in situ, que se conectan en nodos rígidos para transferir las cargas de la edificación hacia la cimentación. Este sistema basa su estabilidad en la continuidad de sus elementos y en la capacidad de carga del concreto y el acero de refuerzo.
- Componentes Estructurales Principales
- Columnas: Elementos verticales de concreto que reciben las cargas de las vigas y las transmiten verticalmente. Son las encargadas de soportar la compresión principal.
- Vigas: Elementos horizontales que reciben las cargas de las losas y las transmiten a las columnas. Trabajan principalmente a flexión.
- Losas de Entrepiso: Superficies horizontales (macizas o aligeradas) que sirven de piso o techo y amarran la estructura en un plano horizontal.

- Mampostería de Cierre: Paredes de ladrillo o bloque que, en el sistema puramente aporticado, no tienen función estructural (son divisorias), aunque aportan peso y rigidez al conjunto.
- Materiales y Proceso de Fabricación
- Concreto: Mezcla de cemento, agua y agregados (arena y grava). En Viotá, esto implica una logística compleja para el transporte y mezcla de materiales pétreos.
- Acero de Refuerzo (Barras Corrugadas): Armaduras de acero que se colocan dentro del concreto para absorber los esfuerzos de tracción, ya que el concreto es fuerte a compresión, pero débil a tensión.
- Encofrados (Formaletas): Estructuras temporales de madera o metal necesarias para dar forma al concreto mientras fragua (seca).
- Comportamiento Estructural y Sismo-resistencia
- Nodos Rígidos: La unión entre viga y columna debe ser monolítica para resistir momentos. En sismos, estos nodos son críticos y requieren una alta densidad de estribos (flejes) para evitar fallas frágiles.
- Masa Elevada: Es un sistema de alta inercia. Debido al peso del concreto y el ladrillo, las fuerzas sísmicas generadas son considerables, lo que obliga a tener cimentaciones mucho más robustas y profundas, especialmente en suelos de ladera.
- Proceso Constructivo (Obra Húmeda)
- El proceso es lineal y dependiente del tiempo:
- Excavación y cimentación.
- Armado de refuerzo de columnas.
- Encofrado y fundida de concreto.
- Tiempo de Fraguado: Se debe esperar un promedio de 21 a 28 días para que el concreto alcance su resistencia de diseño antes de desencofrar totalmente o cargar el nivel superior.
- Levantamiento de muros de ladrillo y aplicación de revoques (pañetes).
- Limitaciones en el Contexto de Viotá
- Peso: La alta carga muerta puede ser contraproducente en terrenos con riesgo de deslizamiento o suelos blandos de montaña.
- Desperdicio: Se estima un 15% de desperdicio de materiales en obra debido al corte de ladrillo y sobrantes de mezcla.
- Logística: Requiere grandes cantidades de agua y transporte constante de materiales pesados, lo que encarece la obra en zonas rurales de difícil acceso.

8. Aportes del steel framing

Dentro de esta investigación consideramos que el sistema Steel Framing puede representar un aporte importante para el desarrollo constructivo del municipio de Viotá, ya que propone una alternativa diferente a los métodos tradicionales que normalmente se utilizan en la zona. Actualmente, gran parte de las construcciones se realizan con sistemas convencionales en concreto y mampostería, los cuales en muchos casos requieren mayores tiempos de ejecución, más mano de obra y generan mayores desperdicios de material.

Desde nuestro punto de vista, el Steel Framing puede contribuir positivamente al municipio debido a que permite desarrollar construcciones más rápidas, organizadas y livianas, facilitando así la ejecución de proyectos de vivienda y otras edificaciones. Además, al tratarse de un sistema prefabricado, se logra un mejor control en obra y una disminución en los errores constructivos, lo cual puede mejorar la calidad de las construcciones realizadas en el municipio.

Otro aspecto que consideramos importante es que este sistema puede convertirse en una alternativa favorable para el crecimiento urbano de Viotá, permitiendo implementar métodos constructivos más modernos y eficientes. Asimismo, el bajo peso de la estructura reduce las cargas transmitidas a la cimentación y puede ofrecer un mejor comportamiento estructural frente a eventos sísmicos, lo cual representa una ventaja importante para la seguridad de las edificaciones.

De igual manera, el Steel Framing puede aportar beneficios ambientales al municipio, debido a que genera menos residuos y requiere menor consumo de agua en comparación con los sistemas tradicionales. Esto ayuda a promover prácticas constructivas más sostenibles y responsables con el entorno.

Como ingenieros civiles, consideramos que dar a conocer e investigar este tipo de sistemas constructivos puede abrir nuevas posibilidades para el desarrollo de la construcción en Viotá, promoviendo alternativas más eficientes e innovadoras que contribuyan al progreso del municipio

y a mejorar la calidad de las edificaciones que se desarrollen en la región.

8.1. ¿Por qué desarrollar proyectos de Steel Framing?

El desarrollo de este proyecto surge de la necesidad de analizar alternativas constructivas que puedan contribuir al crecimiento y modernización del municipio de Viotá, teniendo en cuenta las proyecciones urbanas y de desarrollo planteadas dentro de los procesos de ordenamiento territorial del municipio. Actualmente, Viotá presenta un crecimiento progresivo que requiere sistemas constructivos más eficientes, sostenibles y adaptables a las nuevas necesidades de vivienda e infraestructura.

La investigación se desarrolla con el propósito de estudiar el Steel Framing como una posible alternativa frente a los sistemas convencionales, buscando identificar sus beneficios técnicos, constructivos y ambientales dentro del contexto del municipio. Se busca demostrar que este sistema puede ofrecer ventajas importantes en tiempos de ejecución, control de calidad, comportamiento estructural y reducción de impactos ambientales.

Además, el proyecto se plantea como una propuesta de innovación dentro del sector de la construcción local, considerando que en el municipio predominan sistemas tradicionales que en muchos casos generan mayores costos, tiempos más extensos y procesos menos eficientes. Por esta razón, la investigación pretende aportar una visión diferente sobre cómo podrían desarrollarse futuras construcciones en Viotá mediante métodos más industrializados y modernos.

De igual manera, el proyecto busca generar conocimiento sobre este sistema constructivo y promover nuevas posibilidades de aplicación dentro del municipio, contribuyendo al desarrollo urbano y al fortalecimiento de prácticas constructivas más sostenibles y eficientes.

8.2.Estructura metálica

El sistema de estructuras metálicas se define como un conjunto de elementos prismáticos de acero estructural que, vinculados mediante conexiones soldadas o pernadas, conforman un esqueleto capaz de resistir y transmitir solicitaciones sísmicas y gravitacionales de manera eficiente (McCormac & Csernak, 2012). En el contexto nacional, este sistema está regido por el Título F del Reglamento NSR-10, el cual establece los lineamientos de diseño para perfiles laminados, armados o tubulares, priorizando la ductilidad y la capacidad de deformación controlada.

8.3. sistema de steel framing

El Steel Framing es un sistema constructivo industrializado y liviano, compuesto por una estructura de perfiles de acero galvanizado conformados en frío que actúan de manera integral para soportar las cargas de la edificación. A diferencia de la estructura metálica pesada que utiliza perfiles laminados en caliente (como vigas IPE o HEA), el Steel Framing emplea láminas delgadas de acero que adquieren su resistencia mediante el doblado y la configuración de paneles rígidos (Mazzucchelli, 2015). Los elementos principales son perfiles en "C" (montantes) y perfiles en "U" (canales), fabricados con acero galvanizado para prevenir la corrosión. En Colombia, el diseño de estos elementos se rige por el Apéndice F-2 del Título F (NSR-10), que trata específicamente sobre miembros estructurales de acero conformado en frío.

8.4. Características de construcción en steel framing

El sistema se basa en un esqueleto de perfiles de acero galvanizado conformados en frío que integran muros, entrepisos y cubiertas en una unidad estructural hiperestática. Su configuración se divide en tres niveles operativos:

8.4.1. Soporte y Transmisión de Cargas

- Montantes y Canales: Los perfiles "C" (verticales) y "U" (horizontales) conforman paneles portantes distribuidos cada 40 o 60 cm. Estos redistribuyen las cargas axiales mediante el

concepto de In-Line Framing, asegurando que los elementos de cada nivel coincidan verticalmente para una transmisión directa de cargas a la cimentación.

- Vanos: El uso de dinteles y jambas garantiza la continuidad estructural en aperturas de puertas y ventanas.

8.4.2. Estabilidad Lateral y Rigidización

Para contrarrestar la esbeltez de los perfiles y las fuerzas de viento o sismo, el sistema emplea;

- Cruces de San Andrés: Flejes en "X" para control de deformación lateral.
- Diafragmas de Corte: Placas de OSB o fenólicos que rigidizan el panel, permitiendo que trabaje como un muro estructural sólido.

8.4.3. Requerimientos Normativos (NSR-10, Apéndice F-2)

- Redundancia: La alta densidad de montantes permite la redistribución de esfuerzos en caso de falla local.
- Anclajes Especializados: El uso de pernos químicos y *hold-downs* es obligatorio para evitar el volcamiento o levantamiento de la estructura debido a su baja masa.
- Fijación Mecánica: El ensamblaje mediante tornillos autoperforantes elimina las juntas frías, logrando una estructura de "jaula integrada" de alta eficiencia sísmica.

8.4.4. Esquema de estructural con Steel Framing



Ilustración 2 Esquema de estructural con Steel Framing

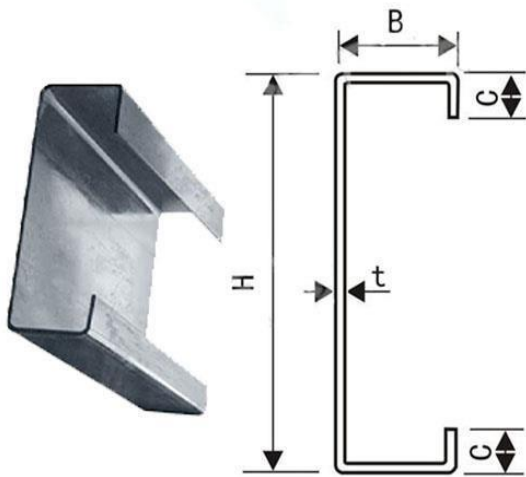


Ilustración 4 Perfiles de acero en forma de C Fuente: Proveedor de China -Wanzhi Steel

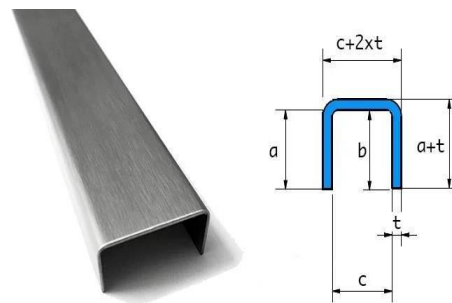


Ilustración 3 Perfiles de acero en forma de U - Proveedor de China -Wanzhi Steel

9. Análisis de Sismo-resistencia del Steel Framing en el Contexto de Viotá, Cundinamarca

El desempeño sismo-resistente del sistema Steel Framing en el municipio de Viotá se fundamenta en principios de la dinámica estructural que lo posicionan como una alternativa eficiente frente a la construcción tradicional. Bajo el marco del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), este comportamiento se analiza bajo los siguientes criterios:

9.1. Reducción de la Masa Inercial

El factor determinante para la seguridad estructural en Viotá, dadas sus condiciones de ladera, es la menor masa del sistema. Al emplear perfiles de acero galvanizado conformados en frío de bajo espesor (especificados en el Título F de la NSR-10), se logra una reducción del peso propio de hasta un 70% en comparación con los sistemas aporticados de concreto. Según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) (2010), la fuerza sísmica lateral es directamente proporcional a la masa de la edificación ($F = M \times A$); por lo tanto, una estructura más liviana experimenta fuerzas de inercia significativamente menores durante los eventos telúricos comunes en la zona de amenaza sísmica intermedia donde se ubica Viotá.

9.2. Integridad y Calidad de Materiales

La consistencia físico-mecánica de los componentes industriales garantiza un comportamiento predecible del sistema. Mientras que en la mampostería tradicional existe un alto riesgo de desprendimiento de unidades por flexión fuera del plano, en el Steel Framing las placas de revestimiento se integran mecánicamente a los perfiles mediante fijaciones autorroscantes (NTC 6207). Esta configuración crea un diafragma rígido que previene el desplome de la tabiquería y protege la vida de los ocupantes, cumpliendo con los requisitos de "Grado de Desempeño Superior" para elementos no estructurales (NSR-10, Capítulo A.9).

9.3.Sistemas de Rigidez Lateral (Cruz de San Andrés)

Debido a que las conexiones atornilladas entre montantes y canales funcionan técnicamente como articulaciones, el sistema requiere de elementos que absorban los esfuerzos de corte. Para las viviendas en Viotá, se implementa la rigidización mediante flejes de acero en diagonal o "Cruz de San Andrés", estos flejes trabajan a tracción, permitiendo que el panel sea capaz de recibir y transmitir las cargas laterales hacia la cimentación. Este método es altamente eficaz por su capacidad de disipar energía a través de la deformación controlada del acero, manteniendo la estabilidad global de la vivienda ante sismos o ráfagas de viento de cordillera.

9.4.Marco Regulatorio y Requisitos de Estandarización Estructural

La implementación del sistema Steel Framing en el territorio nacional, y específicamente para proyectos en el municipio de Viotá, está supeditada al cumplimiento del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10), el cual constituye el marco legal de carácter obligatorio para la seguridad de la vida humana. (AIS, 2010)

Jerarquía Normativa y Técnica Aplicable Régimen de Sismo-resistencia Nacional:

- Ley 400 de 1997 / Decreto 926 de 2010: Marco legal que adopta la NSR-10. Define los criterios de diseño, construcción y supervisión técnica.
- NSR-10 Título F (Estructuras de Acero): Capítulo F.4. Establece las disposiciones para el diseño de miembros estructurales de acero conformado en frío, espesores y límites de pandeo.

- NSR-10 Título A: Metodología de diseño sismo-resistente y determinación de fuerzas de inercia para la zona de amenaza sísmica de Viotá.
- NSR-10 Título E: Requisitos para edificaciones de baja escala (1 y 2 pisos) en materiales livianos.
- Estándares de Calidad y Calificación de Materiales (ICONTEC):
- NTC 6207: Norma específica para la fabricación y tolerancias de perfiles de acero galvanizado para sistemas de construcción en seco (Steel Framing).
- NTC 4011 / NTC 5688: Especificaciones técnicas para sistemas de revestimiento de alto desempeño (placas de yeso y fibrocemento) que garantizan la estabilidad del conjunto estructural.
- NTC 3320: Verificación de procesos de galvanización y protección contra la corrosión en ambientes con humedad relativa.
- Protocolos Internacionales de Referencia (Homologados):
- ASTM A653 / A653M: Estándar para láminas de acero recubiertas con zinc, asegurando la ductilidad y la fluencia del material base utilizado en los perfiles.
- AISI S100: Referencia del American Iron and Steel Institute para el diseño de miembros de acero conformado en frío, base técnica del Título F en Colombia.
- Instrumentos de Planificación y Legalidad Local (Viotá):
- EOT - Esquema de Ordenamiento Territorial de Viotá: Define los índices de ocupación, retiros y paramentos obligatorios para la construcción urbana y rural.
- Ley 1796 de 2016 (Ley de Vivienda Segura): Exigencia de supervisión técnica independiente y certificación de materiales para garantizar la idoneidad de la edificación frente a terceros.

9.5. Especificaciones Técnicas y Protocolos de Ensamble: Sistema Steel Framing Ficha Técnica de Componentes Estructurales.

En el contexto de Viotá, los materiales deben resistir condiciones de humedad moderada y sollicitaciones sísmicas intermedias. Los componentes se categorizan de la siguiente manera:

Guía de Descripción de Materiales Complementarios

- Arriostramientos (Cruces de San Andrés): Flejes de acero de bajo espesor (0.9 mm a 1.2 mm) instalados en diagonal para absorber cargas laterales.
- Anclajes: Pernos de expansión o químicos de 1/2" para fijar la estructura a la platea de cimentación en concreto.
- Aislamiento Termoacústico: Lana de roca o fibra de vidrio de alta densidad, esencial para el confort térmico en el clima templado de Viotá.
- Barrera de Agua y Viento: Membrana hidrófuga (tipo Tyvek) que permite la salida de vapor, pero impide el ingreso de humedad externa.

Protocolo de Unión y Ensamble Estructural

El ensamblaje del sistema se rige por el principio de "Carga Alineada" (In-line Framing), donde cada elemento vertical debe coincidir con el superior para garantizar la transmisión directa de cargas.

A. Unión Montante-Canal (Nudos):

- Los montantes se insertan dentro de las canales superiores e inferiores.
- Fijación: Se utilizan tornillos tipo "Extra Plano" (Wafer) de 8x1/2" o 10x3/4". Se deben colocar al menos dos tornillos por cara en nudos estructurales para evitar la rotación del perfil.

B. Rigidización Lateral:

- Las Cruces de San Andrés deben tensarse desde las esquinas superiores a las inferiores del panel.
- Se utilizan placas de acero (Gusset Plates) para reforzar el punto de unión donde convergen varios tornillos, evitando el desgarramiento del perfil esbelto.

C. Encuentros de Paneles (Esquinas y "T"):

Se deben configurar "Cajas" o "Triples montantes" en las esquinas para ofrecer soporte a las placas de revestimiento internas y externas, garantizando la continuidad térmica.

D. Vanos (Puertas y Ventanas):

- Dintel: Viga compuesta por dos canales y montantes en forma de "box" para soportar la carga sobre el hueco.
- Cripples: Perfiles cortos que transmiten la carga del dintel hacia los montantes laterales (King Studs).

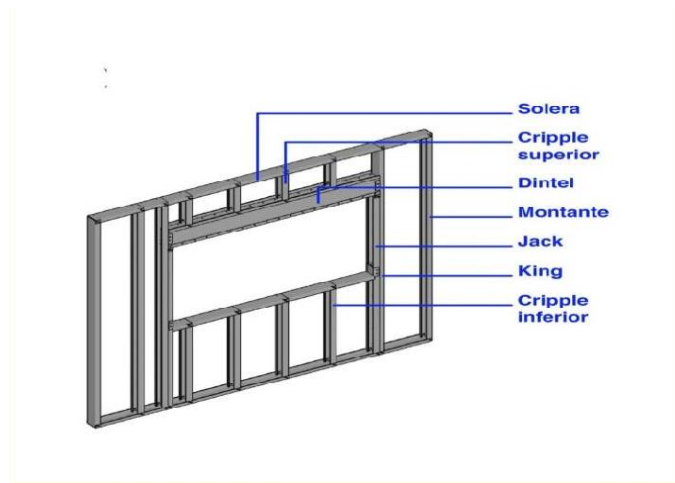


Ilustración 5 Esquema Muro Steel Framing Fuente: <https://web.facebook.com/House.Steel.SF/photos/-detalleconstructivo-panel-portante-en-steel-framecada->

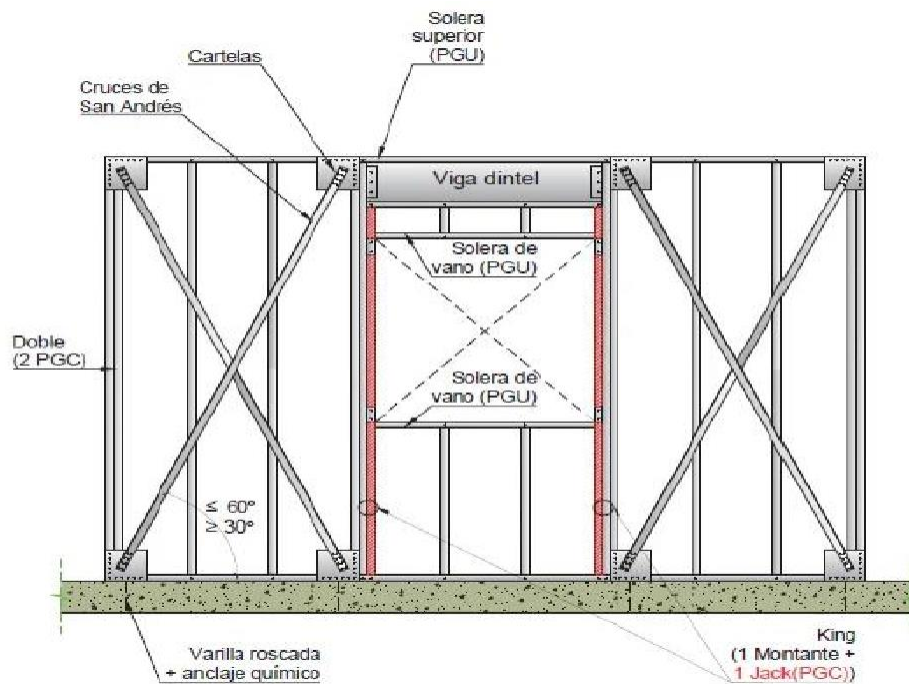


Ilustración 6 Detalle Cruz de san andres

10. Planos arquitectónicos de la vivienda (Caso de estudio 9X8)

En la siguiente representación se puede observar las dimensiones de la vivienda en metros, dichas dimensiones nos ayudaran para modelar nuestro prototipo en el software especializado.

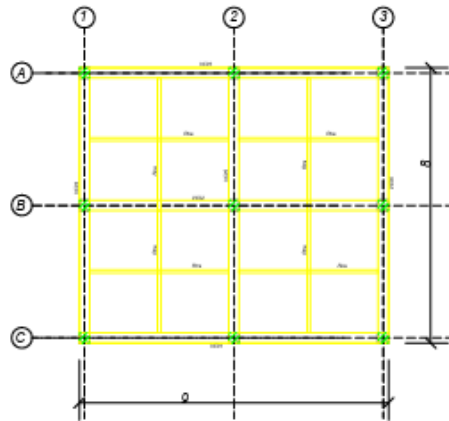


Ilustración 7 Dimensiones Zona de estudio

10.1. Análisis de la estructura

En la siguiente imagen se muestra el ejemplo utilizado como base para realizar los cálculos mediante un software especializado en análisis estructural. La vivienda está compuesta por dos niveles y presenta una luz de 5 m. Para mejorar su estabilidad frente a cargas laterales, se emplea el sistema de arriostramiento conocido como cruz de San Andrés, el cual consiste en colocar flejes de acero en forma diagonal y cruzada, manteniéndolos debidamente tensados.

Este sistema permite transmitir de manera más eficiente las cargas horizontales producidas por acciones como el viento y los movimientos sísmicos. Asimismo, la disposición de los flejes diagonales junto con sus respectivos anclajes contribuye a reducir los desplazamientos y evitar posibles efectos de rotación de la estructura, proporcionando una mayor rigidez y estabilidad al conjunto.

Para el diseño sismorresistente de los pórticos se emplea el método de resistencia última, tomando en cuenta diferentes criterios para el análisis de la estructura. En el caso de las cargas verticales, se consideraron las disposiciones establecidas en la Norma NSR-10 vigente. Además, para determinar las relaciones de rigidez entre los diferentes elementos se tuvo en cuenta su comportamiento plástico.

Los esfuerzos generados por las cargas verticales se determinaron considerando la rigidez de los elementos y siguiendo el procedimiento correspondiente al método de rigideces sucesivas. Por otro lado, las solicitaciones producidas por la acción sísmica se obtuvieron a partir de la expresión indicada anteriormente y se distribuyeron entre los elementos de acuerdo con sus respectivas rigideces.

Finalmente, para el diseño de las secciones estructurales se consideró la combinación de los esfuerzos ocasionados por las cargas permanentes y aquellos generados por la acción sísmica. Para realizar el análisis estructural, se elaboró un modelo de la estructura tomando como referencia la configuración y distribución establecidas en los planos arquitectónicos del proyecto.

11. Modelo SAP2000 Sistema aporticado.

Losa aligerada en una sola dirección.

e. superior ≥ 0.10 m

Para el modelo de la estructura en el sistema aporticado se utilizaron los siguientes datos de entrada;

CALCULOS ESTRUCTURALES		
Dimensiones Vivienda		
b=	8 m	
L=	9 m	
h=	2,2 m	
Dimensiones Vigas		
b=	0,3	
h=	0,2	
Dimensiones Columnas		
b=	0,3	
L=	0,3	
h=	2,2	
PESOS MUERTOS		
Placa =	172,8 KN	
Vigas =	73,44 KN	
Columnas =	85,536 KN	
Mamposteria	138,38 KN	
Total =		
	470,156 KN	
	6,52994444 KN/m2	

Tabla 3 Datos iniciales Estructura convencional

Concreto (24 Mpa)	3480
F'c	24 Mpa
Ec	21530 Mpa
Peso especifico	24 Kn/m2
Losa superiores	0,1 m
Dimensiones vigueta	
b	0,1 m
h	0,3 m
Dimensiones Viga	
b	0,2
h	0,3
Mamposteria ambas caras pañete (200 mm)	2,3 m
Altura libre	2,2 m
Vivienda	1,8 Kn/m2

Tabla 2 Datos iniciales Estructura convencional

Definiéndose un concreto hidráulico de clase estructural, con una resistencia $F'c = 24$ Mpa y un módulo de elasticidad de $Ec = 21530$ Mpa, asociado a un peso específico unitario de 24 kN/m^3 , los elementos de entre piso y cubierta tienen un espesor de $0,10$ m, soportadas

por viguetas de sección transversal de 0,10X0,30, por otra parte, las vigas principales de 0,20X0,30, altura libre de 2,2 m, confinada por mampostería pañetada por ambas caras con un espesor total de 0,20 m, se adopta una carga viva ocupacional de 1,8 kN/m² según la NSR-10.

A continuación, se muestran el avalúo de cargas muertas obtenido para cada viga correspondiente al (Segundo Piso);

VIGA A			VIGA B			VIGA C		
AVALUO DE CARGAS			AVALUO DE CARGAS			AVALUO DE CARGAS		
LONGITUD AFERENTE=	1,93 m		LONGITUD AFERENTE=	2,85 m		LONGITUD AFERENTE=	0,8 m	
	KN/m ²	KN/m		KN/m ²	KN/m		KN/m ²	KN/m
LOSETA SUPERIOR	2,4	4,632	LOSETA SUPERIOR	2,4	6,84	LOSETA SUPERIOR	2,4	1,92
VIGA	0,75	0,39	VIGA	0,51	0,18	VIGA	1,80	2,25
CASETÓN	0,2	0,386	CASETÓN	0,2	0,57	CASETÓN	0,2	0,16
MUROS DIVISORIOS	2,62	1,36	MUROS DIVISORIOS	1,78	0,62	MUROS DIVISORIOS	6,33	7,91
TOTALES	5,97	6,76	TOTALES	4,88	8,21	TOTALES	10,73	12,24
WD(CARGA VIVA) NORMA	1,8 Kn/m ²	3,474	WD(CARGA VIVA) NORMA	2 Kn/m ²	5,13	WD(CARGA VIVA) NORMA	1,8 Kn/m ²	1,44
WU	10,04	13,67	WU	8,74	18,06	WU	15,75	16,99

VIGA 1			VIGA 2			VIGA 3		
AVALUO DE CARGAS			AVALUO DE CARGAS			AVALUO DE CARGAS		
LONGITUD AFERENTE=	2,03 m		LONGITUD AFERENTE=	4,06 m		LONGITUD AFERENTE=	2,03 m	
	KN/m ²	KN/m		KN/m ²	KN/m		KN/m ²	KN/m
LOSETA SUPERIOR	2,4	4,872	LOSETA SUPERIOR	2,4	9,744	LOSETA SUPERIOR	2,4	4,872
VIGA	0,71	0,35	VIGA	0,35	0,09	VIGA	0,71	0,35
CASETÓN	0,2	0,406	CASETÓN	0,2	0,812	CASETÓN	0,2	0,406
MUROS DIVISORIOS	2,49	1,23	MUROS DIVISORIOS	1,25	0,31	MUROS DIVISORIOS	2,49	1,23
TOTALES	5,80	6,86	TOTALES	4,20	10,95	TOTALES	5,80	6,86
WD(CARGA VIVA) NORMA	1,8 Kn/m ²	3,654	WD(CARGA VIVA) NORMA	2 Kn/m ²	7,308	WD(CARGA VIVA) NORMA	1,8 Kn/m ²	3,654
WU	9,84	14,07	WU	7,92	24,83	WU	9,84	14,07

Vigueta 101		
AVALUO DE CARGAS		
LONGITUD AFERENTE=	1,73 m	
	KN/m ²	KN/m
LOSETA SUPERIOR	2,4	4,152
Vigueta 101	0,42	0,24
CASETÓN	0,2	0,346
MUROS DIVISORIOS	2,92	1,69
TOTALES	5,94	6,43
WD(CARGA VIVA) NORMA	1,8 Kn/m ²	3,114
WU	10,01	12,70

Tabla 4 Datos Evaluó de Cargas Vigas Piso 2

A continuación, se muestran el avalúo de cargas obtenido para cada viga correspondiente a la (Cubierta);

VIGA A			VIGA B			VIGA C		
AVALUO DE CARGAS			AVALUO DE CARGAS			AVALUO DE CARGAS		
LONGITUD AFERENTE=	1,93 m		LONGITUD AFERENTE=	3,84 m		LONGITUD AFERENTE=	1,93 m	
	KN/m ²	KN/m		KN/m ²	KN/m		KN/m ²	KN/m
LOSETA SUPERIOR	2,4	4,632	LOSETA SUPERIOR	2,4	9,216	LOSETA SUPERIOR	2,4	4,632
VIGA	0,75	0,39	VIGA	0,38	0,10	VIGA	0,75	0,39
CASETON	0,2	0,386	CASETON	0,2	0,768	CASETON	0,2	0,386
MUROS DIVISORIOS	2,62	1,36	MUROS DIVISORIOS	1,32	0,34	MUROS DIVISORIOS	2,62	1,36
TOTALES	5,97	6,76	TOTALES	4,29	10,42	TOTALES	5,97	6,76
WD(CARGA VIVA) NORMA	1,8 Kn/m ²	3,474	WD(CARGA VIVA) NORMA	2 Kn/m ²	6,912	WD(CARGA VIVA) NORMA	1,8 Kn/m ²	3,474
WU	10,04	13,67	WU	8,03	23,57	WU	10,04	13,67

VIGA 1			VIGA 2			VIGA 3		
AVALUO DE CARGAS			AVALUO DE CARGAS			AVALUO DE CARGAS		
LONGITUD AFERENTE=	0,49 m		LONGITUD AFERENTE=	0,49 m		LONGITUD AFERENTE=	0,49 m	
	KN/m ²	KN/m		KN/m ²	KN/m		KN/m ²	KN/m
LOSETA SUPERIOR	2,4	1,176	LOSETA SUPERIOR	2,4	1,176	LOSETA SUPERIOR	2,4	1,176
VIGA	2,94	6,00	VIGA	2,94	6,00	VIGA	2,94	6,00
CASETON	0,2	0,098	CASETON	0,2	0,098	CASETON	0,2	0,098
MUROS DIVISORIOS	10,33	21,07	MUROS DIVISORIOS	10,33	21,07	MUROS DIVISORIOS	10,33	21,07
TOTALES	15,87	28,35	TOTALES	15,87	28,35	TOTALES	15,87	28,35
WD(CARGA VIVA) NORMA	1,8 Kn/m ²	0,882	WD(CARGA VIVA) NORMA	2 Kn/m ²	0,882	WD(CARGA VIVA) NORMA	1,8 Kn/m ²	0,882
WU	21,92	35,43	WU	21,92	35,43	WU	21,92	35,43

Tabla 5 Evaluó de cargas Vigas cubierta

11.1. Creación del modelo SAP2000 aporticado

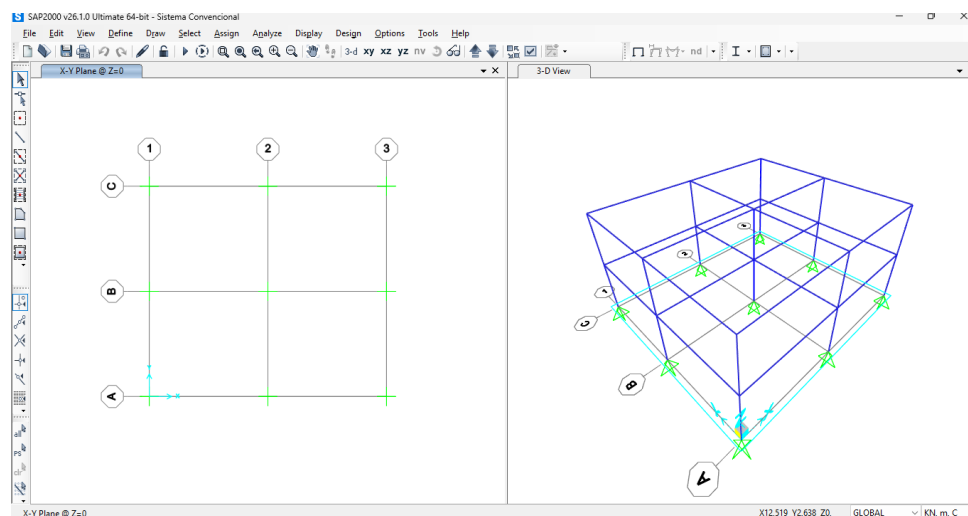


Ilustración 8 Creación de Modelo convencional

- Personalizamos las distancias reales de nuestro proyecto, seleccionando la opción para que las distancias colocadas sean entre ejes y no coordenadas acumuladas.

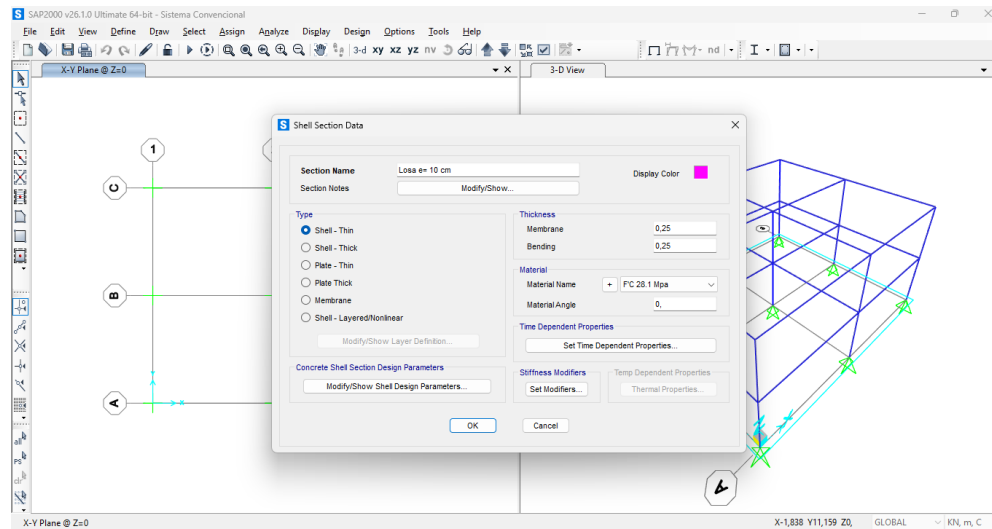


Ilustración 9 Creación de secciones

- Se define secciones para el modelo (Vigas, Columnas, losa), así mismo el tipo de material para los elementos.

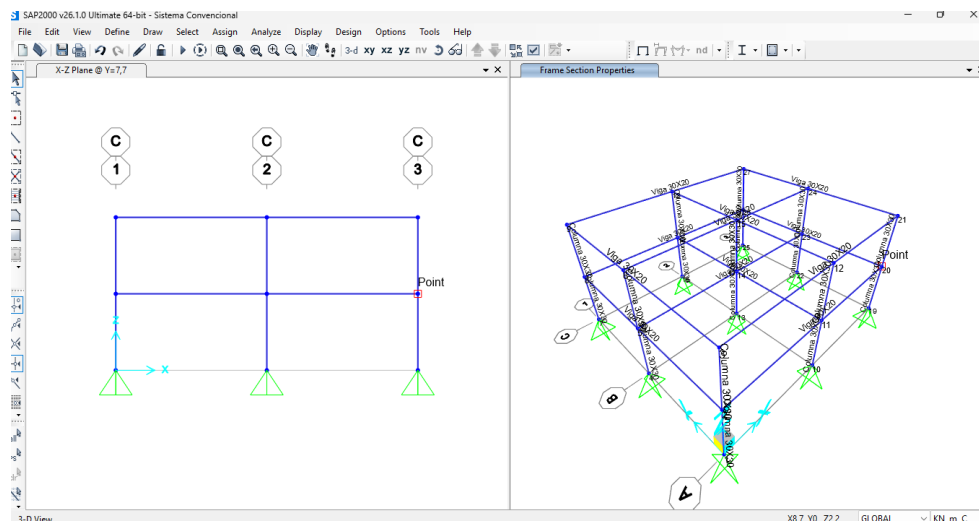


Ilustración 10 Asignación de secciones

- Aquí se ya se encuentra asignado los apoyos fijos, los materiales

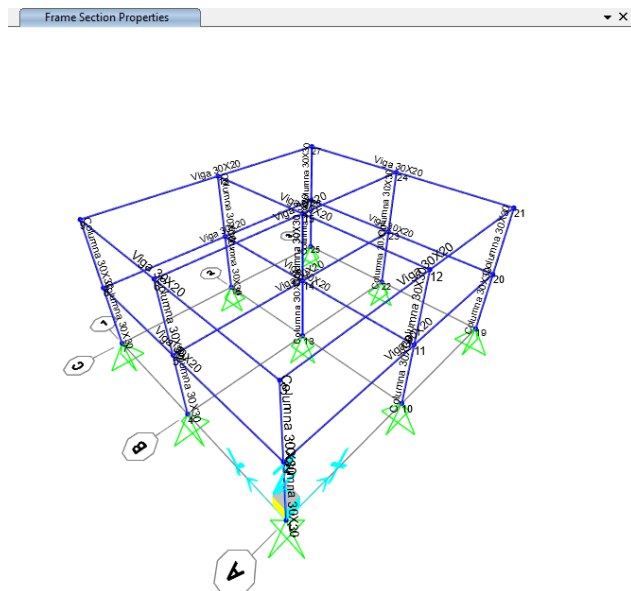


Ilustración 11 Asignación de secciones

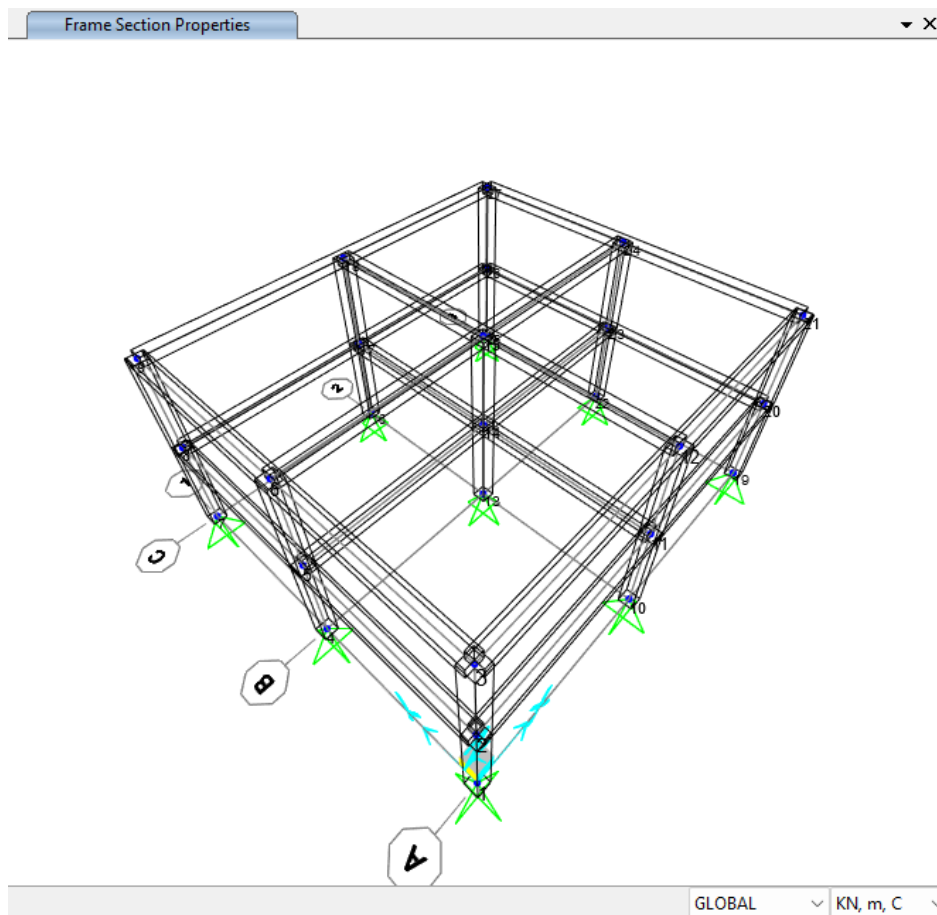


Ilustración 12 Asignación de placa

- Se asigna el espesor para la placa de $e=10$ cm en piso 2 y cubierta.

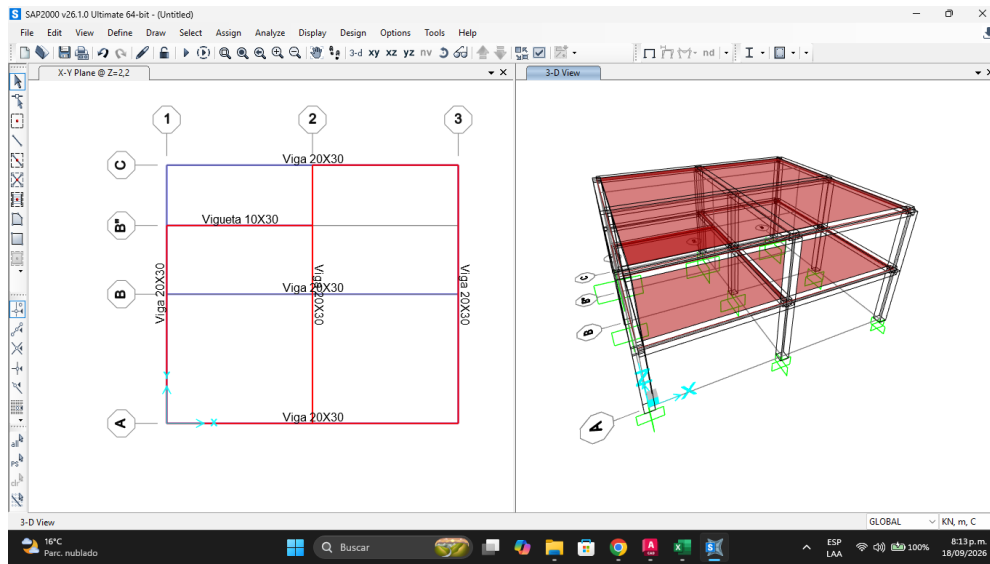


Ilustración 13 Asignación de placa

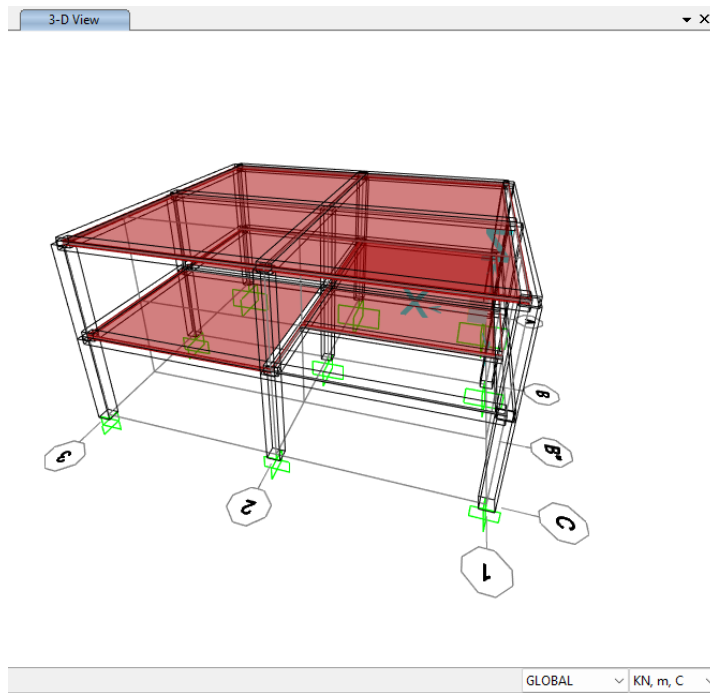
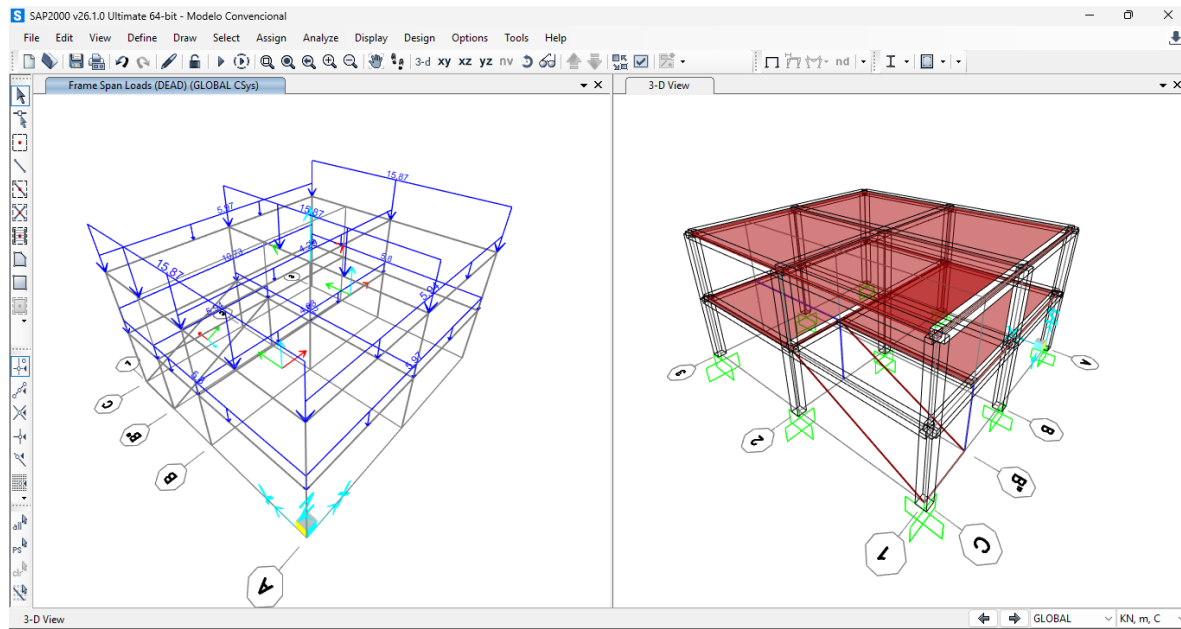


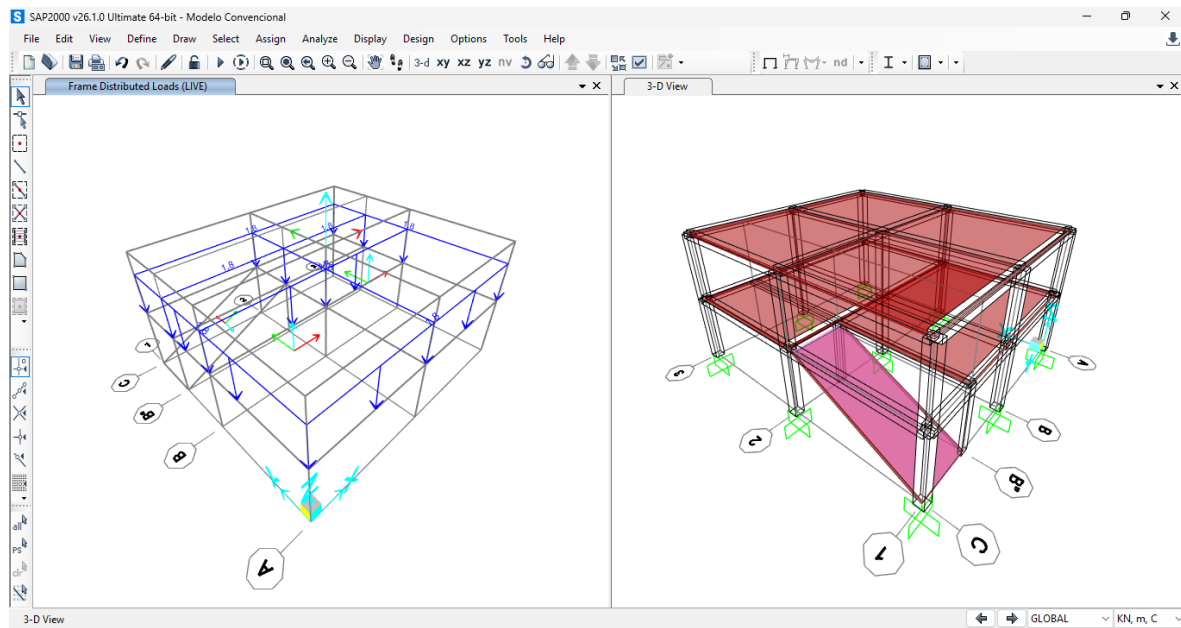
Ilustración 14 Asignación de placa

- Se asignan las cargas vivas y muertas correspondientes;



*Ilustración 15*Asignación de cargas muertas

- Cargas vivas



*Ilustración 16*Asignación de cargas vivas

- Se visualiza la deformación generada en los elementos por las cargas muertas;

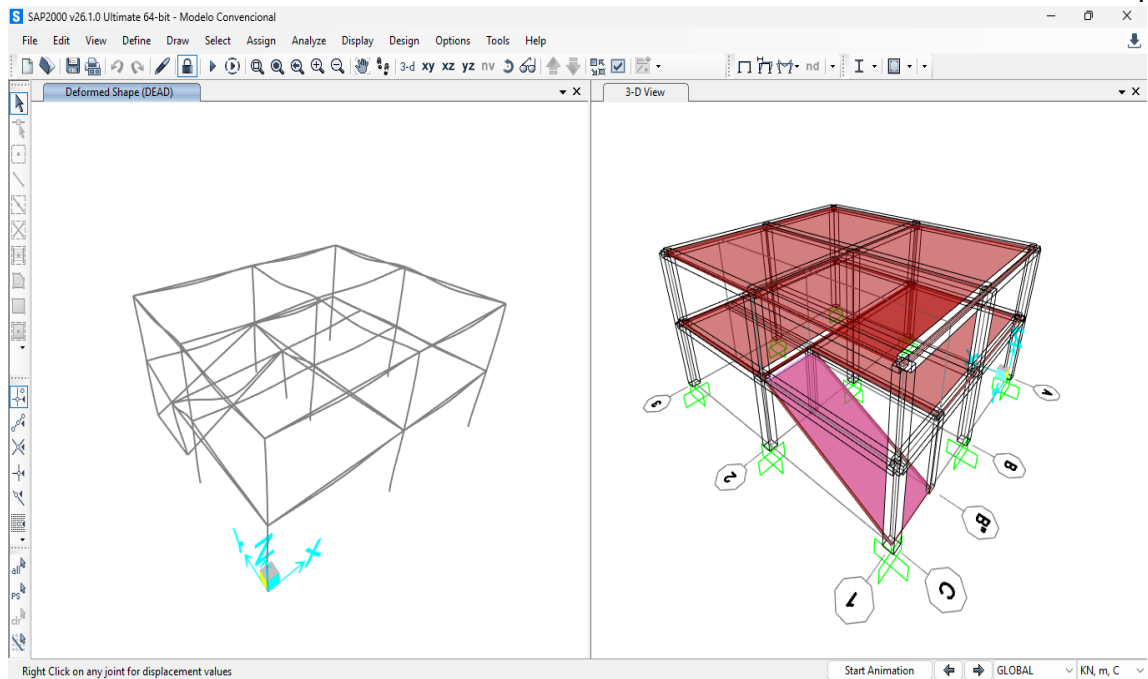


Ilustración 17 Ejecución del modelo

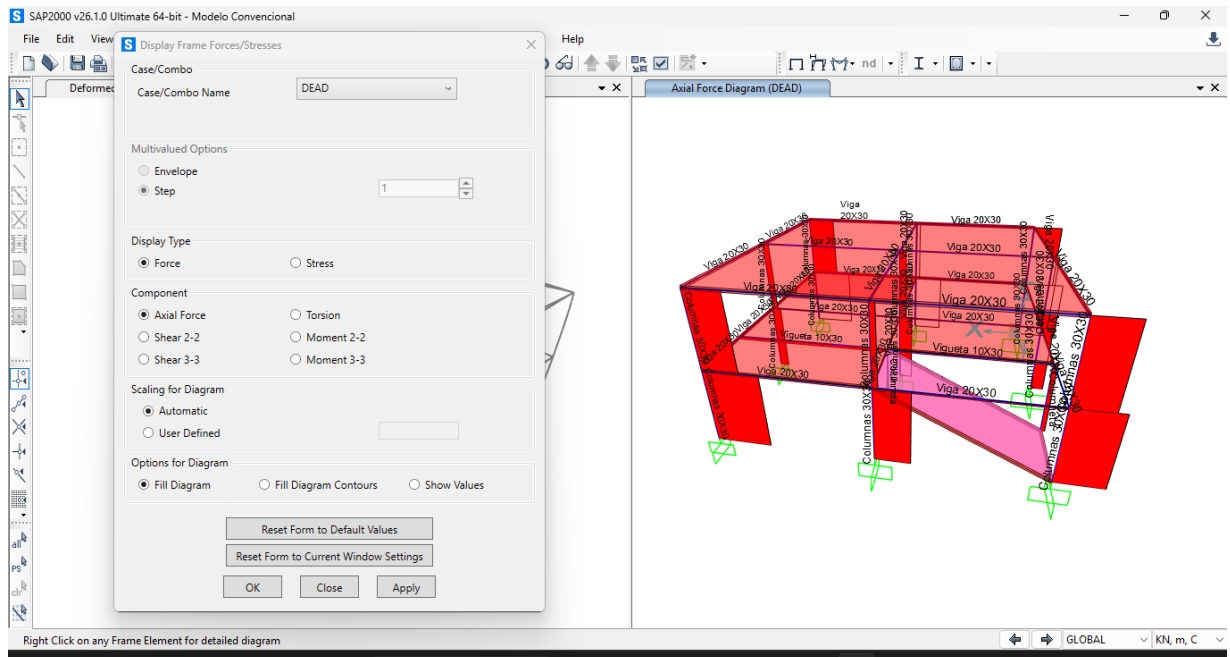


Ilustración 18 Resultado del modelo

- Se visualiza a continuación diagrama de momentos generados por el software;

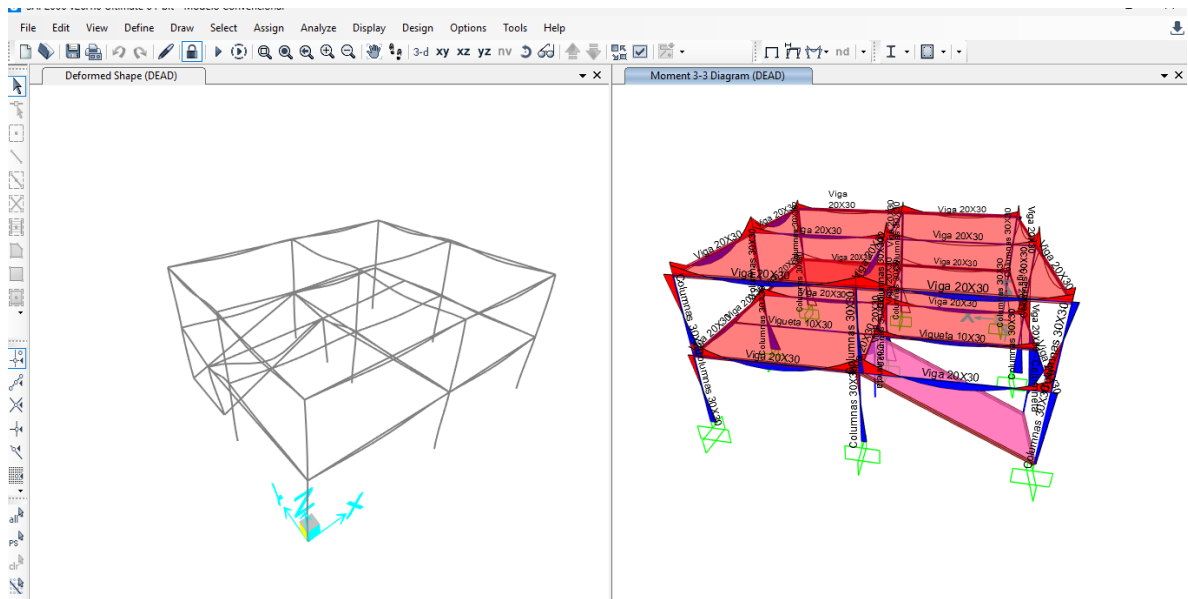


Ilustración 19 Diagrama de momentos

- A continuación, se presenta diagrama de cortantes generado por el modelo del software SAP2000;

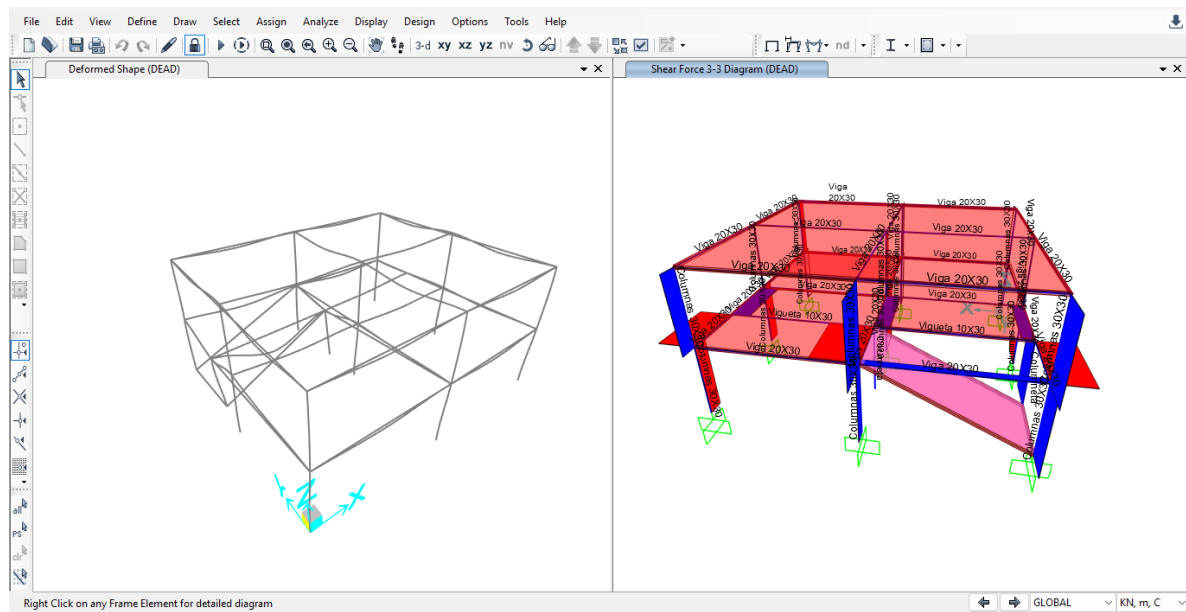


Ilustración 20 Diagrama de cortante

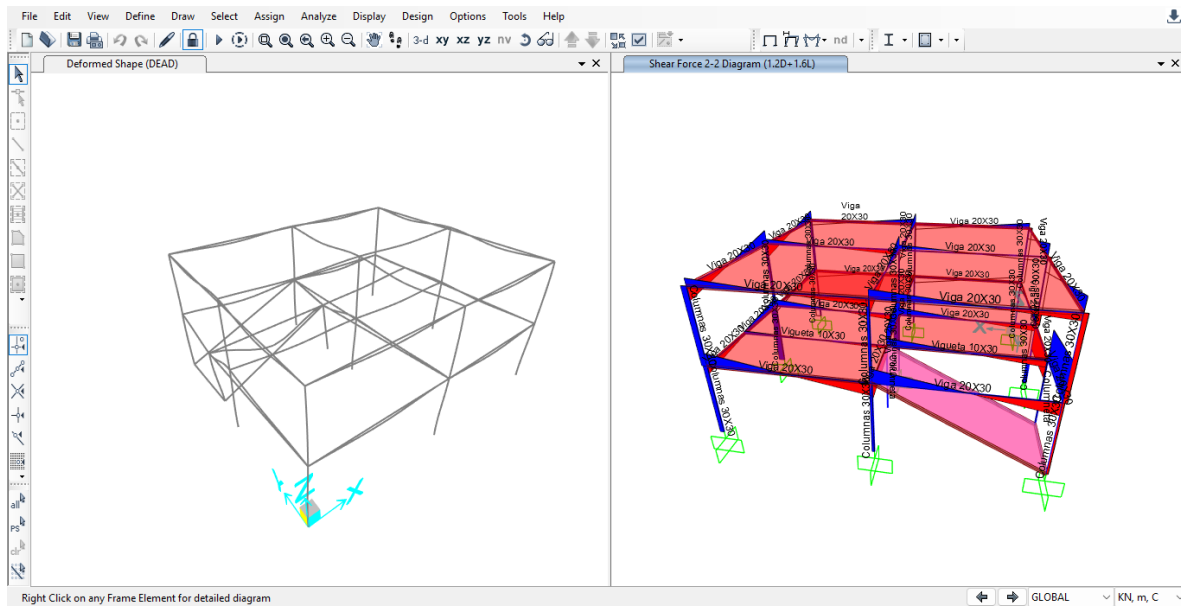


Ilustración 21 Diagrama resultados

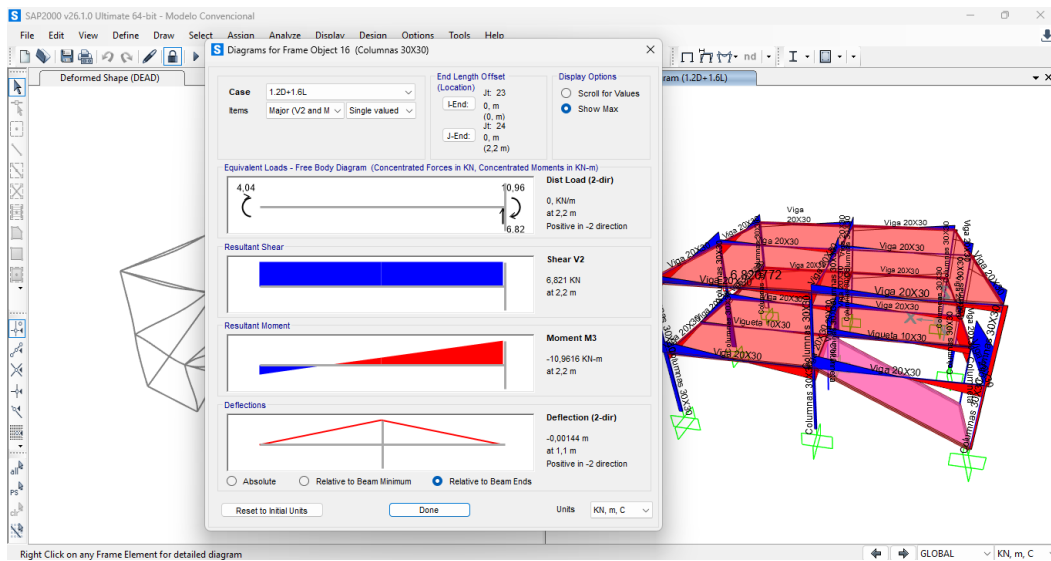


Ilustración 22 Resultado Viga 202

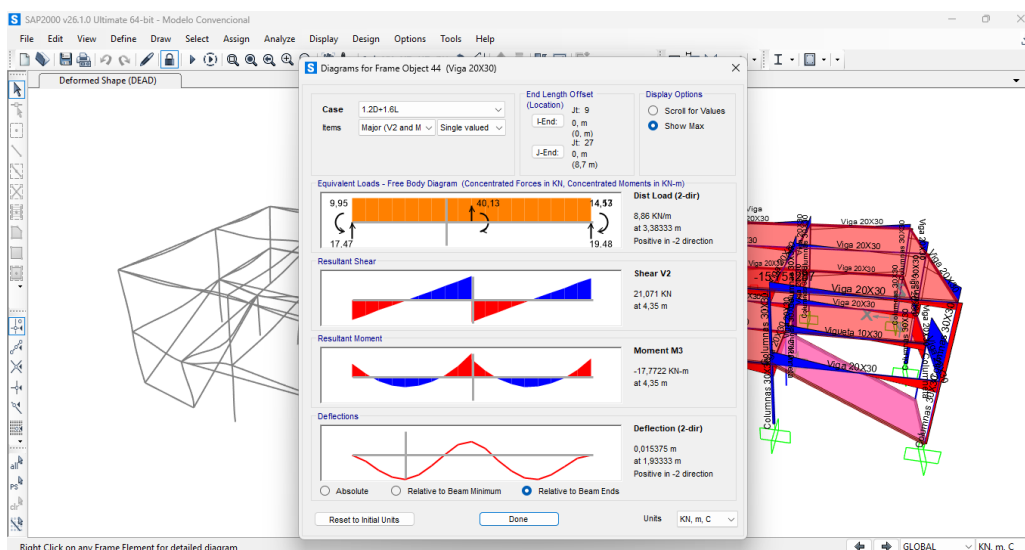


Ilustración 23 Resultado Viga 202

Los anexos de las tablas de la información correspondiente a cortante, momentos del modelo tradicional aporticado se encuentra en la carpeta Anexo 1.

12.Creación de modelo Steel Framing

Datos considerados para el análisis y diseño

Materiales	(kg/cm ²)
Steel Framing	2534
Acero de Refuerzo	4200
Hormigón Cimientos	240
Hormigón solado	180

Tabla 6 Datos entrada Steel Framing

Combinaciones de cargas para estructuras metálicas

Combinaciones de resistencia — NSR-10 B.2.4.2

Las combinaciones son:

1) $1.4(D + F)$

B.2.4-1

2) $1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$

B.2.4-2

3) $1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e) + (L \text{ ó } 0.8W)$

B.2.4-3

4) $1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$

B.2.4-4

5) $1.2D + 1.0E + 1.0L$

B.2.4-5

6) $0.9D + 1.6W + 1.6H$

B.2.4-6

7) $0.9D + 1.0E + 1.6H$

B.2.4-7

Significado de las cargas

D = carga muerta.

F = carga debida a fluidos.

L = carga viva.

Lr = carga viva sobre cubierta.

G = carga de granizo.

Le = carga de lluvia.

W = carga de viento.

E = carga sísmica.

H = carga debida a presión lateral de suelo, agua en suelo u otros materiales.

T = efectos de temperatura, contracción, expansión, etc.

Estructura metálica con cubierta, combinaciones:

1) $1.4D$

2) $1.2D + 1.6L + 0.5Lr$

3) $1.2D + 1.6Lr + L$

4) $1.2D + 1.6Lr + 0.8W$

5) $1.2D + 1.6W + L + 0.5Lr$

6) $1.2D + 1.0E + L$

7) $0.9D + 1.6W$

8) $0.9D + 1.0E$

Combinaciones para servicio

Combinaciones para el método de esfuerzos de trabajo y verificaciones de estado límite de servicio:

1) $D + F$

- 2) $D + L + H + F + T$
- 3) $D + H + F + (L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
- 4) $D + W + H + F$
- 5) $D + 0.7E + H + F$
- 6) $D + 0.75L + 0.75W + H + F + 0.75(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
- 7) $D + L + 0.75(0.7E) + H + F + 0.75(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$
- 8) $0.6D + W + H$
- 9) $0.6D + 0.7E + H$

12.1. Materiales y otras consideraciones

El solado utilizará hormigón de resistencia cilíndrica de $f'_c=180 \text{ kg/cm}^2$. Las cimentaciones, cadenas de amarre, contrapiso y losetas utilizarán hormigón estructural de resistencia cilíndrica de $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$. La armadura de refuerzo en los elementos de hormigón armado será de un límite de fluencia de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

12.2. Consideraciones para el análisis y diseño

A continuación, se presentan los principales criterios y consideraciones adoptados para el análisis y diseño estructural. Las cargas permanentes y las cargas de ocupación se determinaron de acuerdo con las disposiciones establecidas en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10,

12.3. Cimentación de una vivienda tradicional

Los cálculos desarrollados e implementación en software especializado tienen como finalidad establecer los parámetros de diseño y las dimensiones requeridas para el sistema de cimentación de la vivienda, considerando las acciones y las solicitudes derivadas de la respuesta sísmica de la estructura. El procedimiento se desarrolla tomando como referencia las disposiciones aplicables del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-

10, particularmente los criterios establecidos en los Títulos B, E y H, de acuerdo con las características y el sistema estructural adoptado para la edificación.

La cimentación se concibe como el elemento encargado de transmitir de manera segura las solicitaciones provenientes de la superestructura hacia el terreno, procurando que las presiones de contacto se mantengan dentro de la capacidad admisible del suelo y que los asentamientos, tanto totales como diferenciales, sean compatibles con el desempeño esperado de la vivienda. En este sentido, la solución adoptada debe responder simultáneamente a las condiciones estructurales y geotécnicas del proyecto.

Para las viviendas analizadas se adopta un sistema de cimentación superficial mediante zapatas aisladas ubicadas bajo los elementos verticales resistentes, cuyas dimensiones en planta se determinarán a partir de las cargas transmitidas por la superestructura y de los parámetros de capacidad portante del terreno. Las zapatas estarán vinculadas mediante elementos de amarre o vigas de cimentación, configurando un sistema integrado capaz de proporcionar una adecuada conexión entre los diferentes apoyos.

Las vigas de amarre se consideran como elementos destinados a integrar el sistema de cimentación y contribuir a su comportamiento conjunto frente a las acciones horizontales y sísmicas. Asimismo, permiten controlar los desplazamientos relativos entre los elementos de apoyo y proporcionar continuidad al sistema estructural en su nivel de cimentación. La evaluación de los asentamientos diferenciales, sin embargo, deberá efectuarse a partir de las características geotécnicas del suelo y no únicamente mediante la disposición de los elementos de amarre.

De acuerdo con los criterios de diseño establecidos en la NSR-10, deberán considerarse tanto las acciones verticales como las acciones horizontales que puedan presentarse durante la vida útil de la edificación. Por esta razón, además de las cargas gravitacionales, se tendrán en cuenta los efectos asociados a la acción sísmica, incluyendo las fuerzas y momentos que puedan transmitirse desde la superestructura hacia la cimentación.

La configuración de la vivienda deberá analizarse igualmente considerando posibles excentricidades entre la resultante de las cargas verticales y el centro geométrico de los elementos de cimentación. Estas condiciones pueden generar momentos adicionales y distribuciones no uniformes de presión sobre el terreno, por lo cual las zapatas deberán verificarse para las diferentes combinaciones de carga que resulten críticas.

12.4. Cargas aplicadas

Para el análisis y dimensionamiento de la cimentación se consideran las cargas verticales provenientes de la planta de la vivienda y de la cubierta. De acuerdo con la clasificación establecida en el Título B de la NSR-10, las acciones gravitacionales consideradas corresponden principalmente a cargas muertas (D) y cargas vivas (L).

Las cargas muertas (D) corresponden al peso permanente de los elementos que conforman la edificación. Para el modelo se consideran el peso propio de las vigas principales y secundarias, columnas, losa y cubierta, además de los componentes permanentes asociados a la configuración constructiva de la vivienda.

Las cargas vivas (L) corresponden a las acciones variables asociadas con el uso y ocupación de los espacios. Para el presente análisis se mantienen los valores adoptados en el modelo estructural, los cuales posteriormente se emplean en las combinaciones de carga correspondientes para obtener las solicitaciones de diseño.

13. Creación Modelo SAP2000 Steel Framing

- Se define la grilla cartesiana en tres dimensiones (X, Y, Z), se establece modulación estructural de los parales cada 0.4 m.

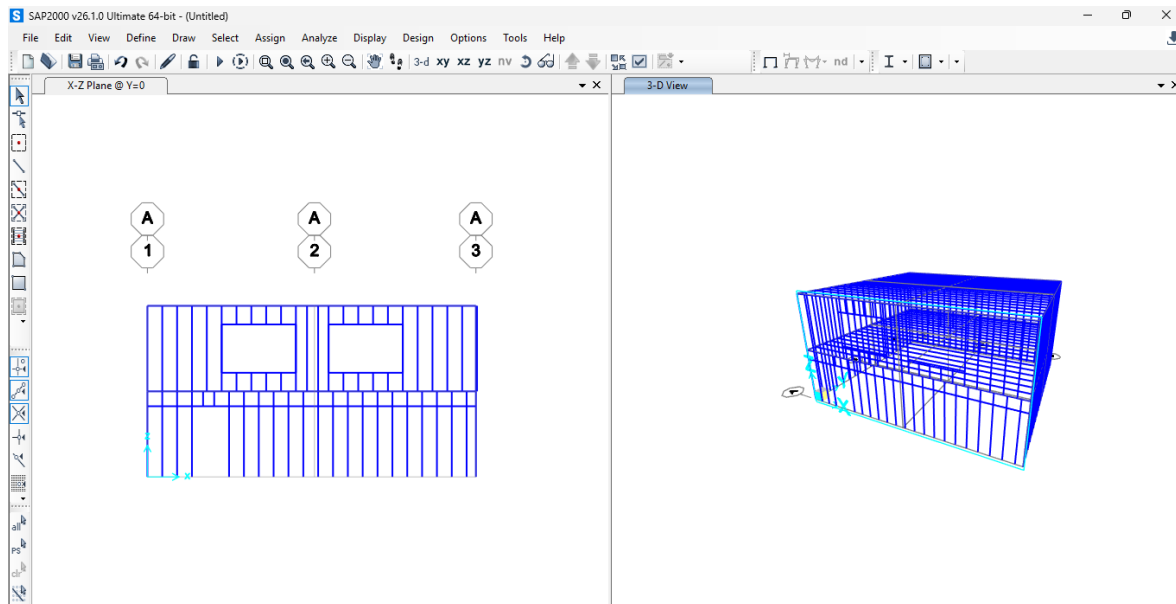


Ilustración 24 Creación de modelo Steel

- Se define los materiales de la perfilería estructural en seco (perfiles tipo C), utilizando un acero grado 50.

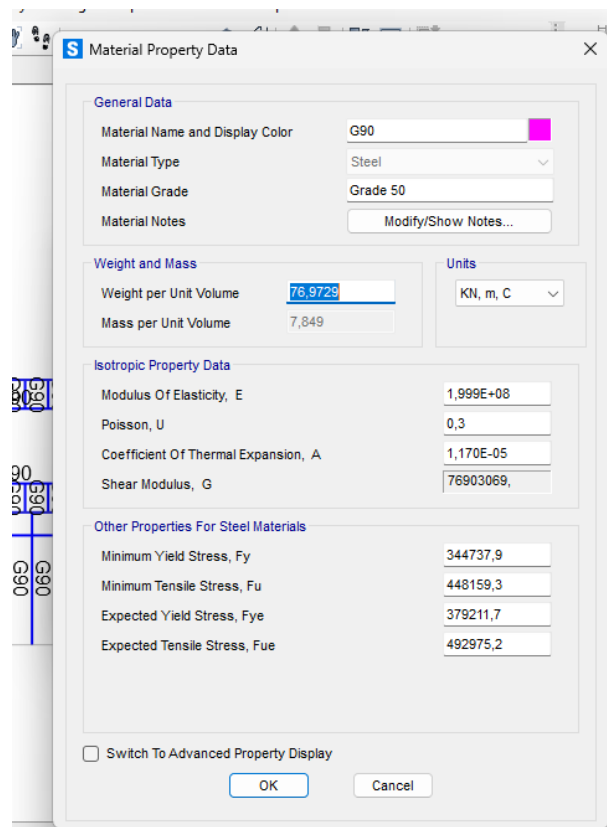


Ilustración 25Asignación de Material

- Se define la sección transversal de los elementos;

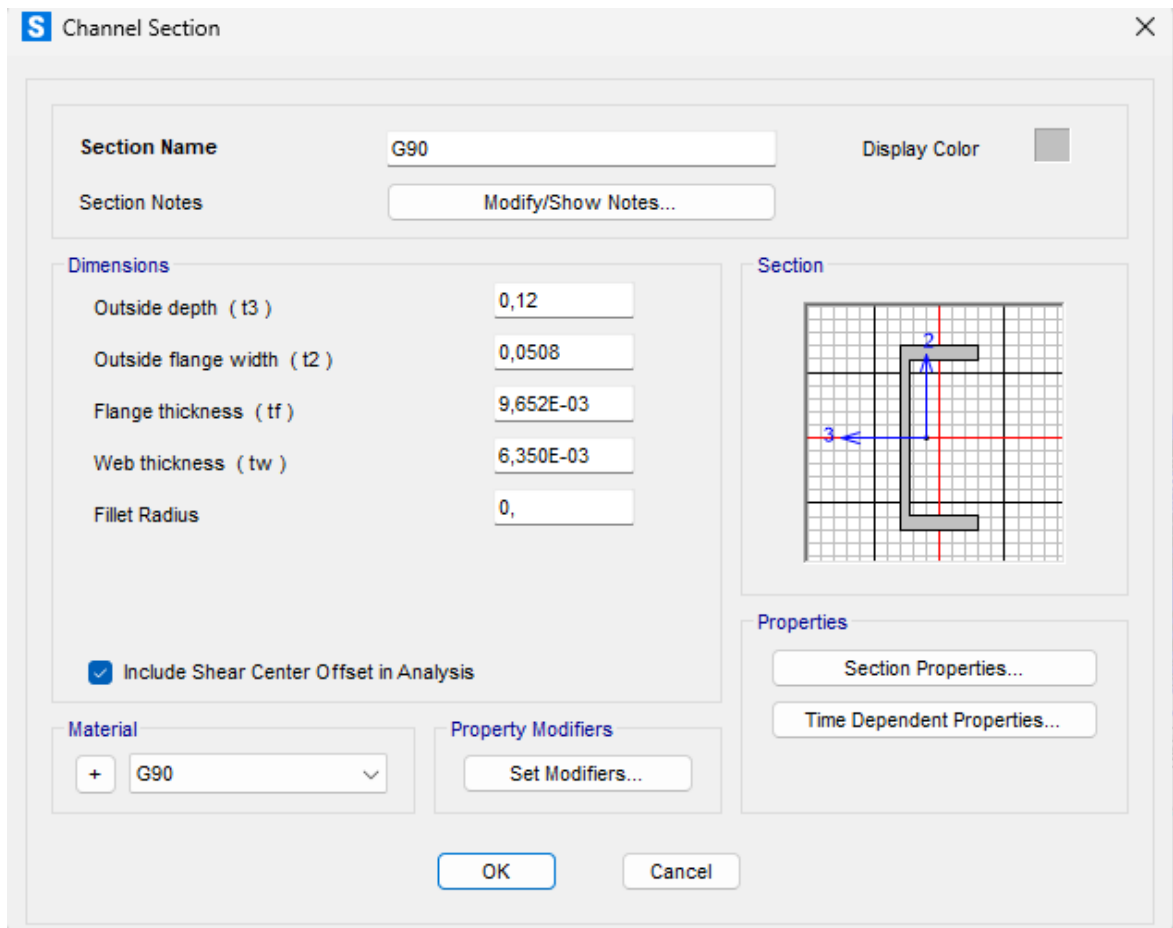


Ilustración 26 Definición de secciones

- Se asigna las secciones tanto verticalmente como horizontalmente en el modelo, muros y entre pisos, con un espaciado constante de 0.40 m.

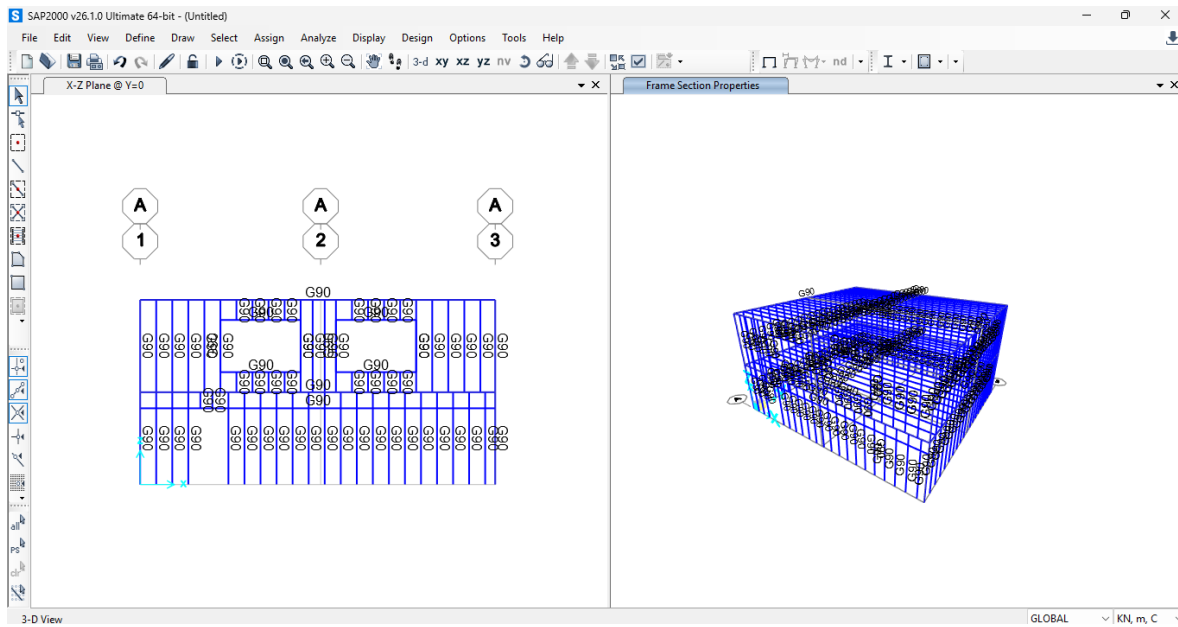


Ilustración 27 Asignación de elementos

- Vista tridimensional de la edificación de dos niveles modelada en Steel Framing, se visualiza los alineamientos, vanos y entramados de entre piso y cubierta.

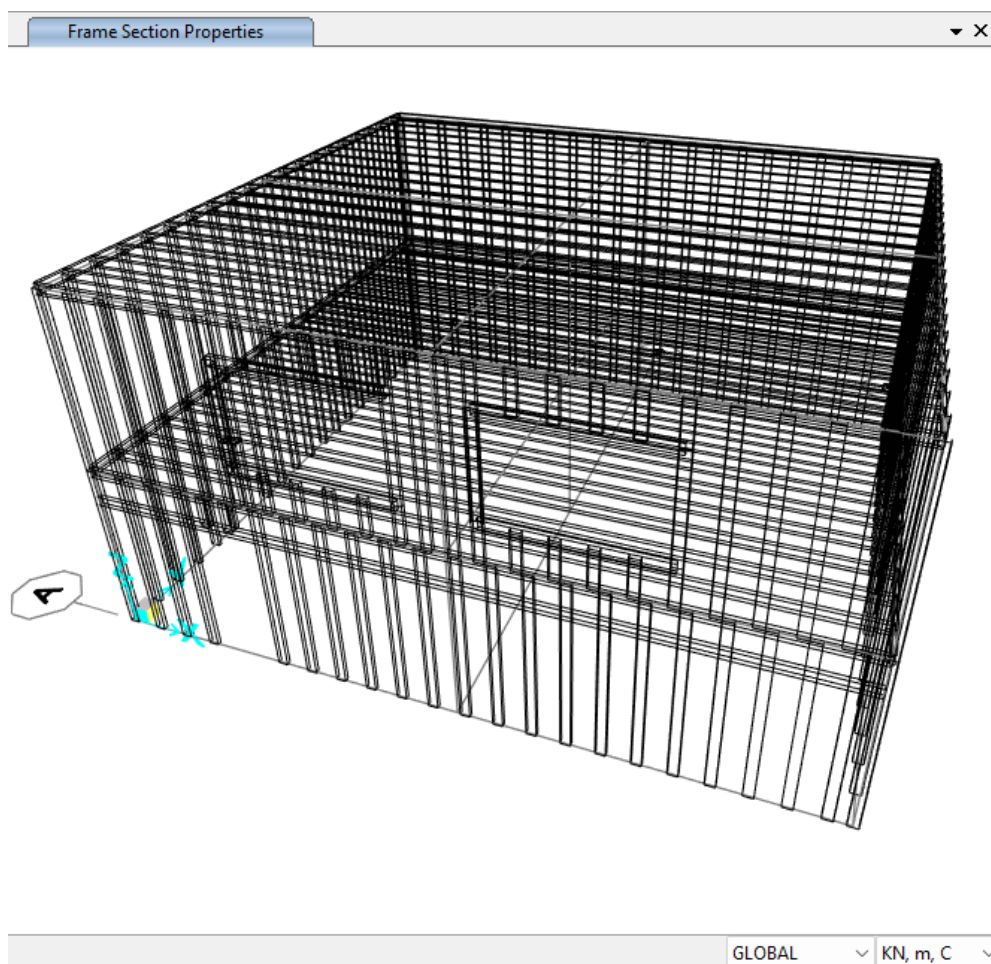


Ilustración 28 Modelo Steel Framing

- Visualización diagrama de fuerza cortante de la carga muera;

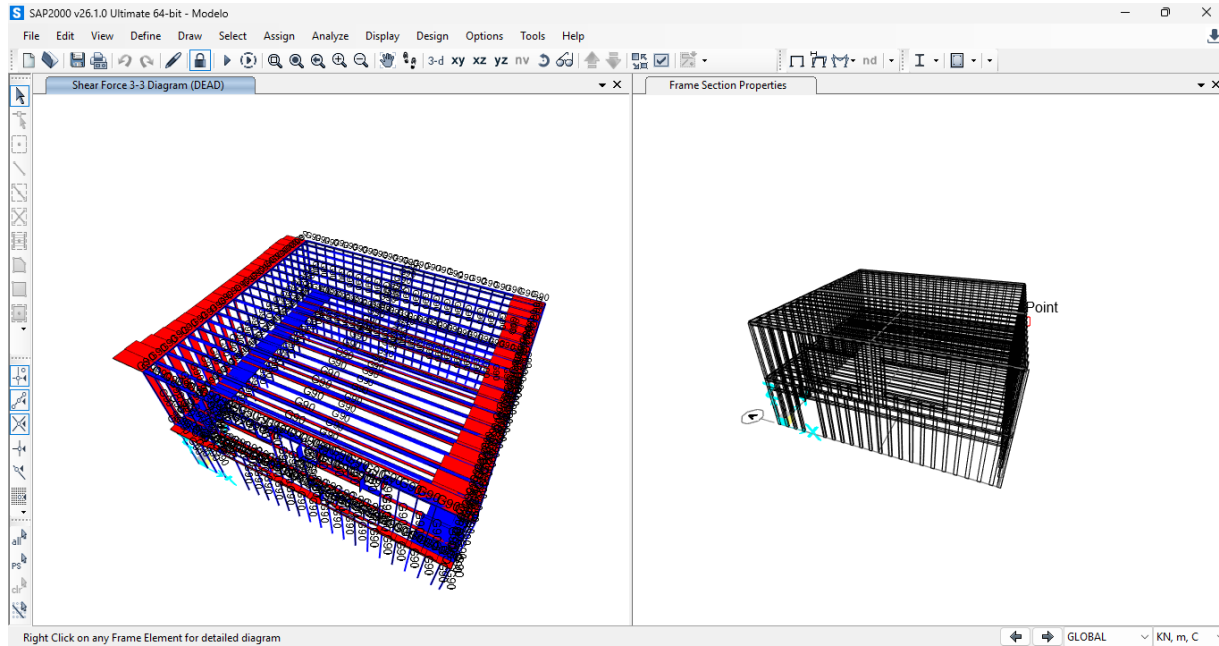


Ilustración 29 Resultados Cortantes

- Para la verificación de la resistencia de los elementos en estado límite último con la combinación 1.2D + 1.6L

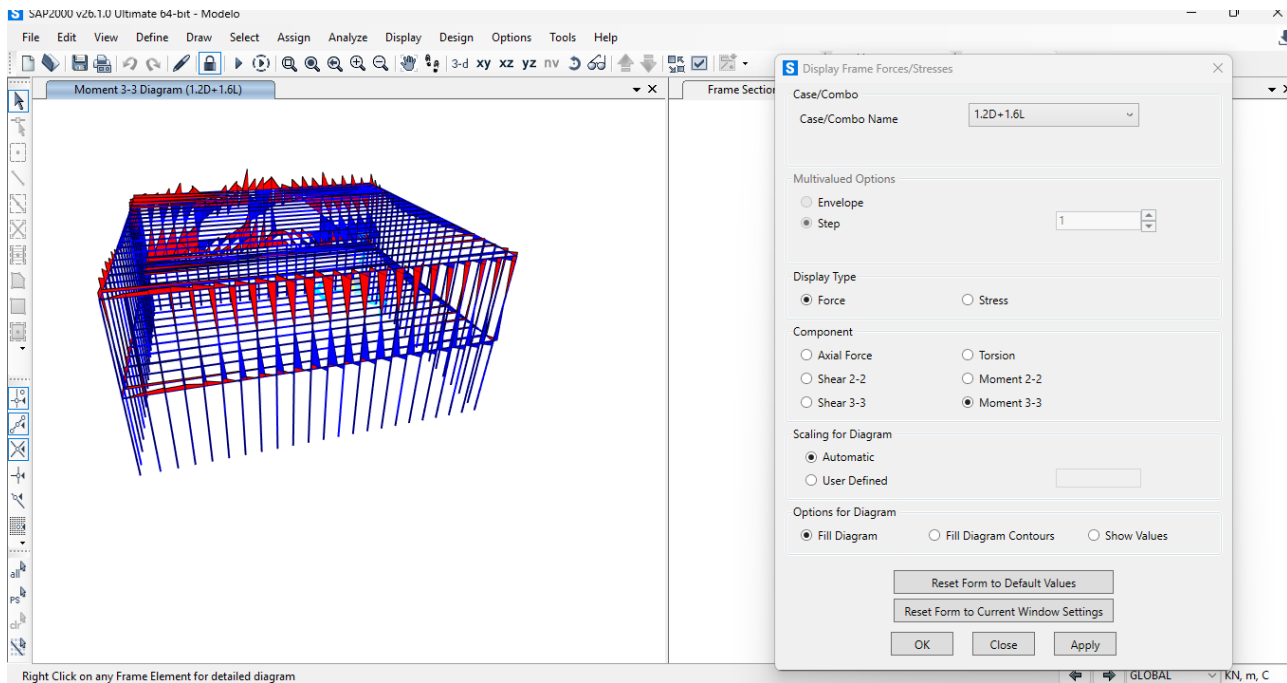


Ilustración 30 Resultados momentos

14. Presupuestos Sistema Aporticado-Steel Framing

14.1. Sistema convencional

PRESUPUESTO GENERAL DE OBRA - SISTEMA APORTICADO					
Presupuesto Consolidado, Tiempos de Ejecución y Matriz de A.I.U. (Base 72 m ² por piso de construcción)					
Código	Descripción del Capítulo / Item	Unidad	Cantidad	Costo Unitario Directo	Costo Total Directo
1	PRELIMINARES				
1.1	Descapote y limpieza del terreno	m2	72	\$11.738	\$845.124
1.2	Replanteo y localización manual	m2	72	\$6.846	\$492.933
1.3	Excavación manual	m3	9,36	\$42.023	\$393.338
2	CIMENTACIÓN				
2.1	Zapata en concreto	m3	1,6	\$1.031.366	\$1.650.186
2.2	Viga de amarre	m3	59	\$1.149.451	\$67.817.626
3	ESTRUCTURA				
3.1	Acero de Refuerzo	kg	39	\$ -	\$0
3.2	Columna 30x30 cm con acero	m3	39	\$1.202.084,00	\$46.881.276
3.3	Vigas aéreas 20x30 cm	m3	51	\$1.056.629,45	\$53.888.102
3.4	Placa entrepiso e=10 cm	m3	146	\$187.270,92	\$27.341.555
4	MAMPOSTERÍA				
4.1	Muro bloque #4 pega con mortero	m2	198	\$77.021,54	\$15.250.265
4.2	Pañete liso interior 1:5	m2	198	\$10.346,77	\$2.048.661
5	CUBIERTA				
5.1	placa de cubierta	m2	72	\$54.545,45	\$3.927.273
5.2	impermeabilización de cubierta	m2	72	\$54.545,45	\$3.927.273
6	ACERO DE REFUERZO				
6.1	Zapatas	kg	90	\$61.190,18	\$5.507.117
6.2	Vigas	kg	100	\$61.190,18	\$6.119.018
6.3	Placa	kg	10	\$63.942,52	\$639.425
6.4	Columnas	kg	120	\$61.190,18	\$7.342.822
	TOTAL COSTO DIRECTO DE OBRA				\$244.071.993
	ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS (A.I.U.)				
	Administración e Ingeniería			12%	\$29.288.639
	Imprevistos de Obra			5%	\$12.203.600
	Utilidad Neta Constructora			8%	\$19.525.759
	TOTAL A.I.U. (15%)				\$61.017.998
	IVA (Sobre Utilidad 19%)				\$3.709.894
	TOTAL:				\$308.799.886

Tabla 7 Presupuesto Sistema convencional

El presupuesto contempla la construcción de la casa de dos niveles (72m²), con el sistema tradicional, en obra gris. Costo directo \$ 244.071.993 M/C, costos indirectos \$ 61.017.998, impuestos 3.709.894, valor calculado sobre la utilidad. Costo total del proyecto en obra gris \$ 308.799.886. Para un valor del metro cuadrado de \$ 2.144.443,65 M/C.

14.2.Presupuesto Steel Framing;

PRESUPUESTO GENERAL DE OBRA - STEEL FRAMING					
Presupuesto Consolidado, Tiempos de Ejecución y Matriz de A.I.U. (Base 72 m ² por piso de construcción)					
Código	Descripción del Capítulo / Item	Unidad	Cantidad	Costo Unitario Directo	Costo Total Directo
1	PRELIMINARES				
1.1	Descapote y limpieza del terreno	m ²	72	\$8.348	\$601.056
1.2	Replanteo y localización manual	m ²	72	\$5.028	\$362.024
1.3	Excavación manual	m ³	5,36	\$28.690	\$153.778
2	CIMENTACIÓN				
2.1	Mejoramiento de Terreno con Base Compatada	m ²	72	\$196.261	\$14.130.768
2.2	Cimentación en Concreto de 3000 PSI (e=15 cm)	m ³	72	\$892.048	\$64.227.433
3	ESTRUCTURA				
3.1	Estructura Portante en Perfiles Galvanizados PGC y PGU (e=0.89mm)	m ²	112	\$322.367	\$36.105.115
3.2	Revestimientos Envolventes (OSB 11.1mm Ext + Yeso 1/2" Int)	m ²	112	\$333.522	\$37.354.496
3.3	Aislamiento Termoacústico (Lana de Vidrio 3.5") y Barrera de Agua/Viento	m ²	112	\$304.180	\$34.068.160
3.4	Entrepiso Seco Estructural (PGC 200mm + OSB T&G 18.3mm)	m ²	72	\$413.642	\$29.782.250
3.5	Estructura de Cubierta y Cerchas en Steel Framing	m ²	72	\$370.651	\$26.686.872
TOTAL COSTO DIRECTO DE OBRA					\$242.355.092
ANÁLISIS DE COSTOS INDIRECTOS (A.I.U.)					
	Administración e Ingeniería			5%	\$12.117.755
	Imprevistos de Obra			5%	\$12.117.755
	Utilidad Neta Constructora			5%	\$12.117.755
TOTAL A.I.U. (15%)					\$36.353.264
IVA (Sobre utilidad 19%)					\$2.302.373
				TOTAL	\$281.010.729

Tabla 8 Presupuesto Steel Framing

El presupuesto contempla la construcción de la casa de dos niveles (72m²), con el sistema steel Framing, en obra blanca. Costo directo \$242.355.092 M/C, costos indirectos \$ 36.353.264, impuestos 2.302.373, valor calculado sobre la utilidad. Costo total del proyecto en obra blanca \$281.010.729. Con un valor para el metro cuadrado de \$ 1.951.463,39 M/C.

Los APU de ambos sistemas se encuentran como anexos para este trabajo.

Comparación Aporticado vs Steel Framing

15.Cronograma Sistema Tradicional

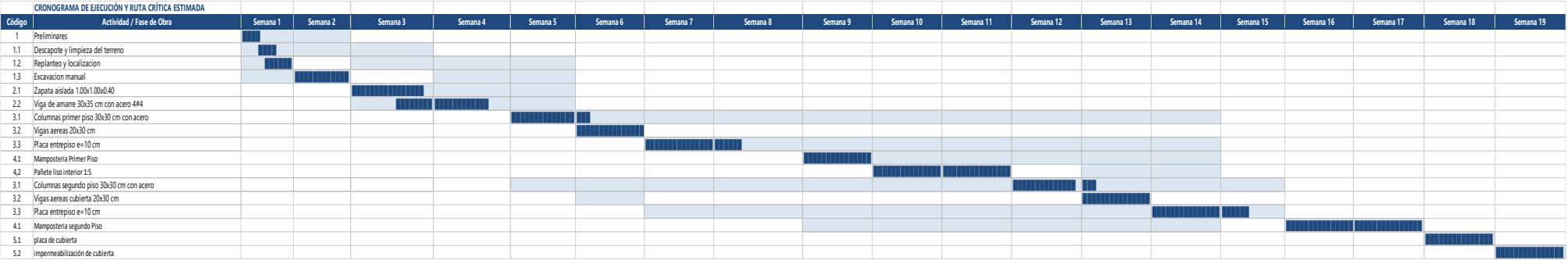


Tabla 9 Cronograma Sistema convencional

16. Cronograma Steel Framing

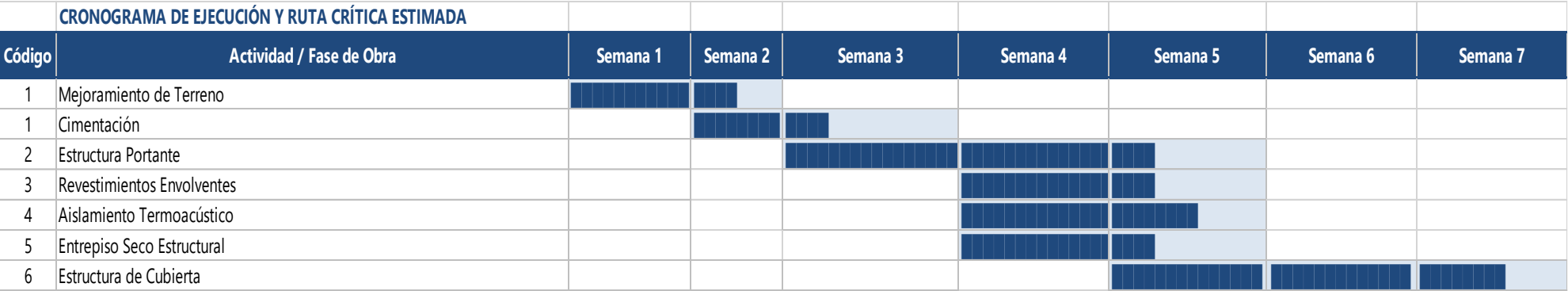


Tabla 10 Cronograma Steel Framing

17. Análisis Comparativo Sistema tradicional-Steel Framing y conclusiones

El análisis desarrollado en la presente investigación permite establecer una comparación técnico-económica entre el sistema aporticado convencional de concreto reforzado y el sistema Steel Framing, aplicado específicamente a una vivienda de dos niveles localizada en el municipio de Viotá, Cundinamarca. El estudio adquiere especial importancia debido a que las condiciones geográficas, climáticas y logísticas del municipio tienen una incidencia directa sobre la selección del sistema constructivo. La investigación plantea una vivienda de dos niveles, con una configuración arquitectónica de $8\text{ m} \times 9\text{ m}$ por nivel, correspondiente a una superficie construida total de 144 m^2 , y utiliza el software SAP2000 como herramienta para el modelamiento y análisis estructural de ambas alternativas.

Desde el punto de vista metodológico, la comparación no se limita al costo de los materiales, sino que incorpora variables estructurales, constructivas, logísticas y económicas. El documento establece como objetivos modelar ambas alternativas mediante SAP2000, verificar su comportamiento bajo los criterios de la NSR-10, cuantificar los costos directos mediante análisis de precios unitarios y comparar los tiempos de ejecución teniendo en cuenta las condiciones particulares de Viotá. Esta metodología es adecuada para entender que la eficiencia de un sistema constructivo no depende exclusivamente de su precio inicial, sino de la relación existente entre peso estructural, solicitaciones sísmicas, cantidad de materiales, mano de obra, logística, tiempo de construcción y comportamiento de la estructura.

18.Comparación del comportamiento estructural

Uno de los resultados más relevantes de la investigación corresponde a la diferencia de masa entre ambos sistemas. En el modelo convencional desarrollado en SAP2000 se adoptó concreto estructural con resistencia a la compresión de 24 MPa, módulo de elasticidad de 21.530 MPa y peso específico de 24 kN/m³. La estructura convencional está conformada por vigas, columnas, losa aligerada mampostería y cimentación independiente. Para este modelo se obtiene un peso muerto global reportado de 470,156 KN, equivalente aproximadamente a 6,53 KN/m² sobre el área considerada. La configuración incluye columnas de 0,30 x 0,30 m y vigas principales de aproximadamente 0,20 x 0,30 m además de los elementos correspondientes a la losa y mampostería. Esta condición evidencia una característica relevante del concreto reforzado, su elevada masa propia. El concreto tiene excelentes propiedades resistentes y constituye un sistema estructural ampliamente utilizado debido a la disponibilidad de materiales, mano de obra y conocimientos constructivos en Colombia. Sin embargo, el peso propio representa una variable particularmente importante en el análisis sísmico, puesto que la fuerza inercial asociada a un evento sísmico depende directamente de la masa de la edificación.

El modelo de steel Framing utiliza perfiles de acero conformados en frío, con una modulación de los elementos verticales cada 0.40 m y acero estructural grado 50. EL sistema incorpora montantes, canales, elementos de entrepisos y cubierta, complementos mediante sistemas de rigidización lateral. Esta investigación verifica a partir del análisis desarrollado en Sap2000 una disminución del peso propio de la estructura hasta aproximadamente 70% frente al sistema convencional.

Sin embargo, la ligereza del steel framing no significa que pueda prescindirse de elementos de estabilización., debido a su bajo peso y a la esbeltez de sus perfiles, el sistema necesita mecanismos específicos para resistir las acciones horizontales. LA investigación contempla cruces de san Andrés (arrostramientos), placas estructurales, anclajes y conexiones mecánicas como parte del sistema resistente lateral. En consecuencia, la eficiencia del steel framing esta ligada directamente de la correcta ejecución de sus conexiones, anclajes, rigidizadores y revestimientos

estructurales. EL documento señala además que en el modelo steel framing los momentos flectores se concentran principalmente en las vigas y viguetas de los entramados de entre piso y cubierta, también en en los dinteles de puertas y ventanas mientras que las acciones laterales se canalizan mediante los sistemas de rigidización diagonal y los anclajes. Esto demuestra que ambos sistemas poseen mecanismos resistentes diferentes y por lo tanto no resulta técnicamente apropiado comparar únicamente dimensiones o cantidades de elementos sin considerar la función estructural que desempeña cada componente.

19. Incidencia de las condiciones de Viotá

La ventaja del steel framing adquiere mayor relevancia cuando se analiza el proyecto dentro de su localización específica. Viotá es un municipio ubicado en un entorno de cordillera, con condiciones de pendiente, lluvias importantes y dificultades logísticas asociadas al transporte de materiales. En este escenario, el sistema convencional requiere movilizar cantidades importantes de cemento, arena, grava, acero, ladrillo, agua y otros materiales que deben llegar a la obra y posteriormente ser transformados en sitio

El sistema convencional es por naturaleza, una construcción húmeda. La ejecución requiere excavaciones, armado de acero, instalación de formaletas, fundición, vibrado, curado, levantamiento de mampostería aplicación de mortero y pañete, cada una de estas actividades incorpora tiempos de ejecución y dependencia entre actividades. Adicionalmente el concreto, exige periodo de fraguado y desarrollo de resistencia antes de avanzar con determinadas actividades estructurales. El steel framing cambia esta lógica mediante un sistema predominante seco e industrializado. Los perfiles llegan a la obra con dimensiones estandarizadas y se ensamblan mediante tornillos y conexiones mecánicas. Esta característica reduce la cantidad de procesos húmedos y permite que una mayor proporción del trabajo sea ejecutada mediante fabricación y preparación previa.

Para una zona con dificultades de transporte, esta condición representa una ventaja logística. La investigación reporta que el sistema liviano puede reducir significativamente los viajes requeridos

para transportar suministros. Sin embargo, es importante diferenciar este dato de los resultados directamente demostrados mediante el cronograma y presupuesto. La reducción del número de viajes debe considerarse como una ventaja potencial del sistema y requiere una cuantificación lógica específica para convertirse en un indicador verificable. Un aspecto importante es la cimentación. El presupuesto del estudio plantea para el sistema convencional zapatas aisladas y vigas de amarre, mientras que para el steel framing se plantea una placa de cimentación como vigas de amarre de menor magnitud. Esta diferencia es coherente con la reducción de cargas transmitidas por la superestructura. Menores cargas verticales pueden permitir soluciones de cimentación más ligeras, aunque la solución definitiva siempre debe depender de las condiciones reales del estudio geotécnico.

20. Comparación económica

El componente económico constituye uno de los resultados centrales de la investigación. Para el sistema convencional se presenta un costo directo de \$244.071.993, mientras que para Steel Framing se reporta un costo directo de \$242.355.092. La diferencia corresponde a \$ 1.716.901 a favor del Steel Framing.

Al calcular la diferencia porcentual sobre el costo del sistema convencional:

$$\text{Ahorro} = (\$244.071.993 - \$242.355.092) / \$244.071.993 \times 100 \approx 0.7 \%$$

Por lo tanto, de acuerdo estrictamente con los valores económicos consignados en el documento, el ahorro directo es aproximadamente del 0.7%.

Pero al comprar los precios indirectos esa parte es donde se evidencia una diferencia entre los valores. El sistema convencional presenta un valor final de aproximadamente \$308.799.886, mientras que Steel Framing presenta aproximadamente \$281.010.729. La diferencia es cercana a \$27.789.157, equivalente nuevamente a aproximadamente 9%.

Al comparar los resultados del valor total de la obra se ve la diferencia es al revisar los valores indirectos como lo son la administración, imprevistos y utilidad, al tener menos tiempo de ejecución estos valores se disminuyen considerablemente.

21. Rendimiento y tiempo de construcción

El cronograma representa otro de los puntos donde el Steel Framing presenta una ventaja constructiva importante. Según la programación realizada, el sistema convencional se desarrolla durante diecinueve semanas, mientras el cronograma del Steel Framing contempla siete semanas.

Con estos datos la reducción real del tiempo de ejecución para esta obra sería:

$$(19-7) / 19 \times 100 = 63\%$$

Eso significa que en base a los cronogramas realizados el Steel Framing permite completar la programación en 12 semanas menos del tiempo con respecto al sistema convencional.

Los resultados de la disminución de tiempo se deben a que el sistema convencional se debe contemplar tiempos de fraguado, desencofrado, armado y ejecución de mampostería. En cambio, el Steel Framing permite realizar diferentes actividades al mismo tiempo de preparación, fabricación y montaje, reduciendo los tiempos del curado de la estructura.

22. Funcionalidad, calidad y eficiencia constructiva

Al evaluar la funcionalidad, calidad y eficiencia constructiva, el sistema convencional por su amplio conocimiento de construcción y experiencia a lo largo de los años, ofrece robustez, continuidad monolítica y buena resistencia al fuego por este tipo de funciones es el sistema más utilizado en construcción en Colombia.

El Steel Framing por su parte, aporta precisión dimensional, modulación, industrialización y reducción de desperdicio. Al llevar una construcción modulada se puede controlar mucho mejor las cantidades de material ya que su separación es de 0.4 m facilitando la organización de los paneles.

Una de las diferencias muy notables entre ambos sistemas es la de orden, aseo y generación de residuos ya que el sistema convencional al ser una construcción en húmedo, al utilizar agua en la mayoría de sus procesos constructivos, se evidencia que se pueden generar mas desperdicios al no tener una cantidad definida para cada elemento.

El tema del acopio de material es un punto fundamental al desarrollar una obra, el sistema convencional se necesita contar con un amplio espacio para acopiar materiales a utilizar y ocupando grande espacio. En cambio, el sistema Steel Framing requiere menores áreas de acopio para materiales ya que cuentan con facilidad para movilizarlos.

23. Interpretación de los resultados obtenidos mediante SAP2000

El uso de SAP2000 constituye un componente fundamental de la investigación porque permite representar digitalmente el comportamiento estructural de las dos alternativas antes de materializarlas en obra. En el sistema convencional se definieron materiales, secciones, apoyos, cargas muertas, cargas vivas y combinaciones de diseño. El modelo permitió obtener diagramas de deformación, momentos y cortantes.

En el Steel Framing se definió una grilla tridimensional con separación de montantes de 0,40 m, perfiles tipo C y acero grado 50. El modelo permitió representar los elementos verticales, horizontales, entrepisos y cubierta, así como analizar el comportamiento bajo las combinaciones de carga establecidas.

El análisis de SAP2000 debe entenderse principalmente como una herramienta para establecer la respuesta estructural del modelo adoptado. Los resultados permiten observar cómo se distribuyen las solicitaciones y dónde se concentran los esfuerzos. El documento destaca que el Steel Framing concentra los esfuerzos de flexión en los elementos horizontales y transmite las acciones laterales mediante los sistemas de arriostramiento.

Es importante, sin embargo, no atribuir al software resultados numéricos que no están expresamente reportados en el texto. En este se presentan diagramas de momentos, cortantes y deformaciones, pero no se incorpora de manera sistemática una tabla comparativa de valores máximos de deriva, desplazamiento, reacción, cortante basal, esfuerzos o utilización de cada elemento. Por ello, la afirmación técnicamente más sólida es que el modelo SAP2000 permite sustentar la diferencia de comportamiento estructural y la reducción de peso reportada por la investigación.

24. Conclusiones

Al integrar los resultados obtenidos desde los componentes estructural, económico, constructivo y logístico, el sistema Steel Framing presenta ventajas relevantes para las condiciones específicas de la vivienda de dos niveles de 144 m² abalizada en el municipio de Viotá, Cundinamarca. Uno de los principales beneficios identificados corresponde a la reducción de masa estructural, con un 70% aproximadamente respecto al sistema constructivo convencional. Esta disminución representa una comparación favorable al analizar el comportamiento sísmico, debido a que una menor masa implica una reducción de las fuerzas inerciales generadas durante la acción sísmica, siempre que el sistema estructural se encuentra correctamente diseñado y detallado con la norma que nos rija en el momento.

Al analizar el tema constructivo, el análisis del cronograma se evidencia una reducción de doce semanas en el tiempo total de ejecución, equivalente cerca al 63% frente al sistema convencional evaluado. Esta disminución se encuentra asociada principalmente a la reducción y optimización de actividades, también a las características propias del Steel Framing como sistema de construcción en seco. Al utilizar elementos prefabricados y procesos de montaje industrializado permite mejorar la continuidad de las actividades y disminuir la dependencia de procesos que requieren tiempos de fraguados y curados. En este sentido el sistema puede contribuir a una mayor visibilidad del proceso constructivo y al cumplimiento de los tiempos programados.

Otra diferencia relevante se relaciona con la generación de y la gestión de residuos de construcción. El sistema Steel Framing permite reducir la utilización de materiales y procesos asociados a sistemas húmedos, como lo son el mortero de pega, formaletas, concreto, ladrillos, arena y agua. Esta condición se traduce en una menor generación de desperdicios y en una optimización del consumo de materiales, particularmente al implementar proceso de modulación, prefabricación y planificación previa de los elementos. Adicionalmente, el sistema requiere menores áreas de acopio para los materiales pesados y presenta una mayor facilidad para el acopio de elementos como perfiles, laminas y demás componentes industrializados. Al tratarse de un sistema de construcción

en seco, se reducen las actividades condicionales por el tiempo de fraguado, lo que nos ayuda con la continuidad y secuencia de actividades programadas en el cronograma.

En términos económicos, los resultados obtenidos en el presupuesto muestran una reducción aproximada del 9% en el costo total del proyecto frente al sistema convencional analizado. Este resultado representa una diferencia dentro de las condiciones económicas establecidas para el estudio. No obstante, la comparación de los costos directos evidencia que las diferencias entre ambos sistemas no son significativas. Por esta razón, una de las principales ventajas económicas identificadas para el Steel Framing se encuentra asociada al comportamiento de los costos indirectos, especialmente aquellos relacionados con la administración de obra, duración del proyecto, logística e imprevisto derivados de una mayor duración de actividades constructivas.

Desde la perspectiva logística, la implementación del Steel Framing presenta ventajas asociadas a la reducción de los desplazamientos requeridos para el suministro de materiales. De acuerdo con los resultados obtenidos, se estima una disminución cerca al 80% en el número de viajes de suministro respecto al sistema convencional. Este comportamiento se relaciona con la menor masa de los elementos, la reducción del volumen de materiales pesados y la posibilidad de transportar componentes previamente dimensionados y modulados. Esta característica adquiere especial importancia en sectores rurales, zonas de ladera y áreas con condiciones de acceso restringido, donde el transporte de grandes volúmenes de concreto, agregados y mampostería puede representar mayores dificultades técnicas, logísticas y económicas.

La reducción de la masa y del volumen de los materiales también constituyen una ventaja para las condiciones particulares de acceso y topografía identificadas en el municipio de Viotá. La menor cantidad de materiales pesados requeridos puede facilitar las operaciones de transporte, almacenamiento y manipulación en obra. Igualmente, la reducción de cargas permanentes de la edificación puede generar condiciones favorables para el diseño de la cimentación, sin embargo, la solución definitiva deberá establecerse a partir de las características del suelo y de los resultados obtenidos mediante el estudio geotécnico, de acuerdo con las condiciones específicas del proyecto.

En términos generales los resultados que se obtuvieron al desarrollar este trabajo permiten establecer que, para la vivienda de dos niveles de 144 m² analizada en el municipio de Viotá, el Steel Framing presenta un desempeño integral y favorable como alternativa constructiva. Sus principales ventajas se relacionan con la reducción de la masa estructural, la disminución de las cargas transmitidas a la cimentación, la reducción de actividades húmedas, la industrialización de los procesos constructivos, la disminución del tiempo de ejecución la optimización del transporte y la reducción de los costos totales estimados. Por lo tanto, su beneficio no se encuentra exclusivamente en un parámetro individual sino en el conjunto de las variables estructurales, constructivas, económicas y logísticas analizadas.

Por su parte el sistema constructivo convencional se mantiene con su amplia trayectoria de implementación por su conocimiento de todos los factores que la componen, la disponibilidad de materiales y mano de obra, el conocimiento generalizado de sus procedimientos constructivos y a la experiencia acumulada en su ejecución.

En consecuencia, dentro de las condiciones establecidas para la presente investigación, el Steel Framing constituye una alternativa técnicamente viable para la vivienda estudiada en Viotá. Su implementación permite responder favorablemente a algunas de las principales condiciones identificadas en el proyecto, particularmente aquellas relacionadas con la reducción del peso estructural, los tiempos de ejecución, la generación de residuos, las necesidades de transporte y los costos asociados al desarrollo de la obra.

25. Webgrafía

- Sistema Tradicional Aporticado, Recuperado de <https://es.scribd.com/document/360717062/Sist-Aporticado>
- Manuel G, Lopez. (2012). Curso de introducción a la ingeniería civil. <https://es.slideshare.net/slideshow/introduccion-a-la-ingenieria-civilpdf/257704639>
- McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2012). Diseño de estructuras de acero. Pearson Educación.
- AIS - Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10). Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. **Nota:** Consulta el Título A (Sección A.3.1) para la relación masa-fuerza y el Título F para diseño en acero.
- Análisis Comparativo de la Utilización del Sistema Steel Framing y el Sistema Convencional para la Construcción de un Edificio Residencial con 3 Niveles en Coronel Oviedo en el año 2024. <https://www.tesis.com.py/tesis/analisis-comparativo-de-la-utilizacion-del-sistema-steel-framing-y-el-sistema>
- Análisis comparativo técnico de un sistema tradicional versus un sistema estructural Steel Framing para la construcción de viviendas de hasta 2 plantas con luces de hasta 5 metros. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25661?mode=full>.
- Análisis técnico comparativo entre sistemas constructivos de steel framing y estructuras metálicas para viviendas regulares. https://www.researchgate.net/publication/381295088_Analisis_tecnico_comparativo_entre_sistemas_construc_tivos_de_steel_framing_y_estructuras_metalicas_para_viviendas_regulares

26. Anexos

Los anexos del trabajo se relación