

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
USFQ**

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Evaluación estructural y económica de 2 tipos de
arriostramientos: cruces de San Andrés y K-bracing, como
parte del sistema de resistencia lateral del sistema
constructivo de Steel Frame**

Anthony Alexander Logroño Aguirre

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 30 de noviembre de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Evaluación estructural y económica de 2 tipos de arriostramientos: cruces de San Andrés y K-bracing, como parte del sistema de resistencia lateral del sistema constructivo de Steel

Anthony Alexander Logroño Aguirre

Nombre del profesor, Título académico

Ing. Gustavo Tapia, MDI

Quito, 30 de noviembre de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Anthony Alexander Logroño Aguirre

Código: 00322064

Cédula de identidad: 1752035954

Lugar y fecha: Quito, 30 de noviembre de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

El presente trabajo aborda la evaluación estructural y económica de dos tipos de sistemas de arriostramientos, cruces de san andrés y k-bracing, aplicados dentro del sistema constructivo steel frame. La motivación detrás de esta investigación radica en el creciente interés por el uso de esta técnica en el Ecuador, a pesar de la ausencia de estudios comparativos que analicen tanto su rendimiento estructural como los costos asociados. La metodología de diseño utilizó modelos computacionales en SAP2000, se analizó el comportamiento de ambos sistemas bajo condiciones de carga sísmica y gravitacionales, con el objetivo de optimizar tanto la eficiencia de diseño y la viabilidad económica.

Los resultados destacan que ambos sistemas son efectivos para mejorar la rigidez lateral de las estructuras, aunque presentan diferencias significativas en términos de peso y costos. En particular, el uso de k-bracing incrementa el costo en un 7% debido al mayor uso de acero galvanizado.

Existe una necesidad creciente de desarrollar normativas propias en Ecuador que se ajusten a las realidades del país, ya que la actual Norma Ecuatoriana de la Construcción no cuenta con un capítulo específico para estructuras en steel frame, limitando su aplicación a un factor R demasiado bajo. El trabajo sugiere la incorporación de nuevos capítulos en la NEC que aborden el diseño de este sistema, permitiendo así un mejor aprovechamiento de sus ventajas en términos de eficiencia estructural y sostenibilidad en el contexto local.

Palabras clave: Análisis comparativo, cruces de San andrés, K-bracing, Steel Frame, modelo computacional, presupuesto

ABSTRACT

The present study addresses the structural and economic evaluation of two types of bracing systems, san andrés crosses and k-bracing, applied within the steel frame construction system. The motivation behind this research lies in the growing interest in the use of steel frame in Ecuador, despite the lack of comparative studies analyzing both its structural performance and associated costs. Using computational models in SAP2000, the behavior of both systems was analyzed under seismic and gravitational loads, with the goal of optimizing both structural efficiency and economic feasibility.

The results highlight that both systems are effective in improving the lateral rigidity of structures, though they exhibit significant differences in terms of weight and costs. Specifically, the use of k-bracing increases the cost by 7% due to the higher usage of galvanized steel.

There is a growing need to develop localized regulations in Ecuador that align with the country's specific conditions, as the current Ecuadorian Construction Code (NEC) does not include a dedicated chapter for steel frame structures, limiting its application with an excessively low R factor. This study suggests the incorporation of new chapters in the NEC to address the design of steel frame systems, thereby allowing for better utilization of its advantages in terms of structural efficiency and sustainability within the local context.

Key words: Comparative analysis, San Andrés crosses, K-bracing, Steel Frame, computational model, budget

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	11
1.1 Steel Frame	12
1.2 Perfiles de Acero Galvanizado	13
1.3 Perfil montante	13
1.4 Perfil Solera	13
1.5 Muros Arriostrados	14
1.6 Cruces de San Andrés.....	14
1.7 K-bracing.....	15
1.8 Normativa Ecuatoriana	16
2. Desarrollo del Tema.....	18
2.1 Cálculo de Cargas.....	19
2.1.1 Carga de Granizo.....	19
2.1.2 Carga Muerta.....	20
2.1.3 Carga viva.....	21
2.1.4 Carga Sísmica.....	22
2.1.5 Combinaciones de cargas.....	26
2.2 Pre-diseño manual.....	27
2.2.1 Viga Cubierta.....	27
2.2.2 Viga entrepiso.....	28
2.3 Modelo en SAP2000	31
2.4 Modelo Computacional con K-bracing.....	38
2.4.1 Control de derivas k-bracing.....	41
2.5 Modelo computacional con cruces de San Andrés.....	42
2.5.1 Control Derivas Cruces de San Andrés.....	44
2.6 Presupuesto.....	45
3. Conclusiones	53
4. Referencias bibliográficas.....	56
5. Anexo A: Análisis de precios unitarios rubro Estructura de steel frame	57
6. Anexo B: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS ESTRUCTURA DE ACERO	58
7. Anexo C: Análisis de precios unitarios sistema de rigidización lateral cruces de san andrés.....	59
8. Anexo D: Análisis de precios unitarios sistema de rigidización lateral K-BRACING	60
9. Anexo E: MODELO COMPUTACIONAL 3D SAP2000 CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES.....	61
10. Anexo F: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA LATERAL IZQUIERDA CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES	62
11. Anexo G: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA LATERAL DERECHA CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES.....	63

12. Anexo H: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA FRONTAL CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES.....	64
13. Anexo I: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA POSTERIOR CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES.....	65
14. Anexo J: MODELO COMPUTACIONAL 3D SAP2000 CASA CON K-BRACING... 	66
15. Anexo K: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA LATERAL IZQUIERDA CASA CON K-BRACING	67
16. Anexo L: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA LATERAL DERECHA CASA CON K-BRACING.....	68
17. Anexo M: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA FRONTAL CASA CON K-BRACING	69
18. Anexo N: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA POSTERIOR CASA CON K-BRACING	70
19. Anexo O: MODELO demanda capacidad SAP2000 CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES	71
20. Anexo P: MODELO demanda capacidad SAP2000 CASA CON K-BRACING	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Carga muerta paredes exteriores.....	20
Tabla 2: Carga muerta paredes interiores	21
Tabla 3:Carga muerta cubierta.....	21
Tabla 4:Carga muerta entrepiso	21
Tabla 5: Factor Fa	23
Tabla 6: Factor Fd.....	23
Tabla 7: Factor Fs	24
Tabla 8: Coeficiente R NEC	25
Tabla 9: Perfiles ILAFA	30
Tabla 10: Perfiles steel frame Kubiec.....	31
Tabla 11:Peso estructura con cruces de san andrés	46
Tabla 12:Peso estructura con K-bracing.....	46
Tabla 13:Costo directo casa con cruces san andrés	48
Tabla 14: Costo directo casa con k-bracing.....	49
Tabla 15: Costo directo por metro cuadrado.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vista en planta piso 1	18
Figura 2: Vista en planta piso 2	19
Figura 3: Espectro de diseño NEC	22
Figura 4: Coeficiente Z	22
Figura 5: Prediseño perfil montantes ILAFA	29
Figura 6: Prediseño perfil viga ILAFA	30
Figura 7: Modelo SAP2000 k-bracing	41
Figura 8: Modelo SAP2000 cruces de San Andrés	44
Figura 9: Peso por metro cuadrado de construcción	46
Figura 10: Incidencia costo directo casa con cruces de san andrés	50
Figura 11: Incidencia costo directo casa con k-bracing	51
Figura 12: Costo directo sistema de rigidez lateral por metro cuadrado de construcción	51

1. INTRODUCCIÓN

El sistema constructivo de steel frame ha ganado popularidad en Ecuador debido a sus ventajas en términos de ligereza, durabilidad y rapidez en la construcción. Este sistema puede funcionar tanto como mampostería simple o como un sistema estructural completo. En esta tesis, se utilizará como sistema estructural, enfocándose en las propiedades del steel frame para resistir las cargas, especificadas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), con especial énfasis en las cargas laterales.

Una característica clave del steel frame es que los perfiles de acero deben estar perfectamente alineados de manera vertical para asegurar una correcta transmisión de las cargas y evitar sobreesfuerzos que puedan comprometer su desempeño estructural. Para proporcionar resistencia adicional ante las cargas laterales, comúnmente se emplean dos tipos de arriostramientos: k-bracing y cruces de san andrés. El k-bracing consiste en integrar arriostramientos en forma de "K" dentro de los paneles, distribuyendo las fuerzas de manera estratégica a través de la estructura. En contraste, los cruces de san andrés emplean cintas de acero dispuestas en forma de cruz detrás de los paneles, ancladas a los perfiles de acero. La finalidad de ambos sistemas es proporcionar resistencia lateral a la estructura.

En el contexto de este trabajo, es fundamental comprender a profundidad las herramientas y limitaciones de realizar un modelado de steel frame utilizando el software SAP2000, así como analizar los parámetros estructurales que controlan el diseño de este tipo de estructuras para identificar el impacto que tienen sobre el comportamiento del steel frame. De igual manera, se plantea realizar un estudio técnico y económico que permita cuantificar y comprender en términos monetarios y de rendimiento la elección del sistema de resistencia lateral más adecuado.

La justificación de esta investigación radica en la creciente popularidad del steel frame como solución constructiva en Ecuador. A pesar de esto, existe una falta de estudios comparativos que evalúen de manera integral tanto el rendimiento estructural como el costo de diferentes tipos de arriostramiento lateral en steel frame. Este trabajo busca llenar ese vacío, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones en futuros proyectos de construcción.

1.1 Steel Frame

El steel frame es un sistema de construcción moderno que deriva del wood framing, el cual utilizaba montantes y viguetas de madera para formar la estructura de los edificios. Con el tiempo, este método fue adaptado para utilizar perfiles de acero galvanizado, lo que dio lugar al steel framing. Este sistema caracterizado por su ligereza, permite la construcción de estructuras de varios pisos y ha ganado popularidad debido a las ventajas del acero por su durabilidad y reducción de tiempos de construcción.

El steel frame emplea perfiles prefabricados de acero galvanizado, los cuales se ensamblan para formar paneles que conforman pisos, muros y techos. Esta estandarización en los perfiles, combinada con técnicas constructivas, optimiza los costos de producción y facilita su uso en distintos tipos de proyectos, especialmente de viviendas residenciales.

Un principio fundamental de este sistema es el “in-line framing”, que garantiza que las vigas se alineen correctamente con los montantes, distribuyendo las cargas verticales de manera uniforme. Esta alineación es esencial en viviendas de dos pisos, ya que asegura que las cargas estructurales sean absorbidas por cada montante de manera eficiente, evitando sobreesfuerzos y maximizando la estabilidad de la estructura.

1.2 Perfiles de Acero Galvanizado

Los perfiles utilizados en el sistema steel frame son conformados en frío y están regulados por la norma INEN 2526 para “Perfiles especiales abiertos, livianos, pregalvanizados y conformados en frío para usos en estructuras portantes”. Esta norma establece los lineamientos para el diseño, fabricación y construcción de estructuras empleando acero conformado en frío en Ecuador. Se fundamenta en principios y metodologías de diseño internacionalmente reconocidos, como las normas del American Iron and Steel Institute (AISI), ajustadas a las condiciones y requerimientos locales para garantizar seguridad y eficiencia en el contexto ecuatoriano.

1.3 Perfil montante

El manual de ingeniería de steel framing escrito por la ILAFA define a los paneles montantes como “Perfil componente del entramado estructural de muros, generalmente en posición vertical y que se conecta en sus extremos con perfiles solera”.

Estos perfiles diseñados en forma de C tienen responsabilidad estructural, por lo que generalmente poseen mayor espesor que los perfiles de solera.

1.4 Perfil Solera

“Perfil de acero, componente del entramado estructural de muros, generalmente en posición horizontal y que se conecta con los extremos de los montantes.” (ILAFA, 2016)

La función de este perfil es crear una vinculación entre los demás perfiles para crear paneles o muros arriostrados. Estos perfiles tienen forma de U.

1.5 Muros Arriostrados

“Son muros, paredes y tabiques que poseen revestimientos estructurales y/o diagonales de cintas de acero que le confieren capacidad de resistir fuerzas de corte en el plano del muro causadas por las fuerzas del viento, sismo u otras causas.” (ILAFA, 2016; MATECSA)

1.6 Cruces de San Andrés

Las cruces de san andrés son elementos de arriostramiento lateral formados por flejes de acero en forma de cinta, diseñados específicamente para resistir fuerzas de tensión en estructuras de steel frame. Estos flejes son relativamente delgados y ligeros, lo que los convierte en componentes ideales para proporcionar rigidez lateral sin añadir un peso excesivo a la estructura. Se instalan en las esquinas de los muros portantes mediante placas de anclaje, que fijan de manera segura los extremos de los flejes a los perfiles montantes. Este anclaje garantiza que los flejes puedan cumplir su función de arriostramiento eficazmente, estabilizando la estructura ante cargas laterales.

La disposición en forma de "X" de los flejes permite que, dependiendo del sentido de la carga, solo uno de los flejes esté activo, soportando la tensión generada, mientras que el otro permanece inactivo. Esta configuración asegura que los cruces de san andrés funcionen bajo esfuerzos de tensión alternante, lo que mejora su rendimiento sin comprometer la rigidez general del sistema.

Dado su pequeño espesor, estos flejes no son aptos para soportar cargas de compresión, ya que su esbeltez los hace vulnerables al pandeo; es decir, tienden a doblarse o deformarse bajo compresión, similar al comportamiento de una hoja de papel. Debido a esta limitación, los cruces de san andrés trabajan exclusivamente bajo esfuerzos de tracción. Se

emplean de manera estratégica en las esquinas de la estructura, donde ayudan a contrarrestar los efectos de las cargas laterales, como el viento o los sismos, que tienden a inducir movimientos de torsión en la edificación.

La orientación diagonal de los flejes en ángulos cercanos a 45 grados maximiza la resistencia del sistema a las fuerzas laterales. Esta disposición es ideal para absorber la energía lateral de manera eficaz, ya que el ángulo de 45 grados permite una óptima distribución de la carga hacia la base de la estructura. Aunque el ángulo exacto puede variar, aproximarse a esta inclinación mejora el desempeño del sistema en términos de disipación de fuerzas y refuerzo lateral, incrementando así la estabilidad general del edificio.

1.7 K-bracing

El k-bracing es un sistema de arriostramiento que consiste en colocar perfiles de acero en forma de "K" en los espacios entre cada perfil montante del muro estructural. Estos elementos actúan como refuerzos diagonales, mejorando la distribución de las cargas y aumentando la rigidez lateral de la estructura, lo cual es crucial en edificaciones sujetas a cargas laterales, como las de viento o sismo. Al proporcionar mayor resistencia a las fuerzas horizontales, el k-bracing contribuye a mantener la estabilidad de la edificación.

Este tipo de arriostramiento puede emplearse en cualquier sección de la construcción, siempre que haya dos perfiles montantes en posición vertical y paralela donde puedan atornillarse mediante placas de conexión. Estas placas permiten una sujeción sólida y distribuyen las fuerzas de manera uniforme, asegurando que el k-bracing aporte rigidez adicional en los puntos críticos de la estructura. Además, el k-bracing mejora la resistencia general de los muros al proporcionar soporte adicional en la dirección de las cargas aplicadas, lo que incrementa la capacidad de la estructura para resistir desplazamientos y deformaciones.

Otra ventaja del k-bracing es su contribución a la limitación de la longitud no arriostrada de los perfiles verticales. Al reducir estas longitudes, el sistema ayuda a mitigar el riesgo de pandeo en los perfiles montantes, un fenómeno común en estructuras de perfiles esbeltos como las de steel frame. Este refuerzo adicional permite que los perfiles mantengan su integridad estructural bajo cargas elevadas, ya que el k-bracing actúa como un soporte intermedio que restringe los movimientos no deseados y refuerza la estabilidad vertical.

En conjunto, el uso del k-bracing en estructuras de steel frame es una estrategia efectiva para mejorar la rigidez lateral y la distribución de carga, asegurando que el sistema estructural pueda resistir mejor las fuerzas laterales y contribuir a la durabilidad y seguridad de la edificación en condiciones de carga extremas.

1.8 Normativa Ecuatoriana

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-VIVIENDA 2014 establece que las viviendas que utilizan perfiles de acero conformado en frío como sistema estructural están limitadas a un máximo de dos pisos. Además, dichas estructuras deben cumplir con normativa AISI, garantizando que los diseños se ajusten a los estándares internacionales de seguridad y eficiencia.

La normativa AISI S100 es el manual de referencia para el diseño de estructuras construidas con steel frame. Esta normativa define los métodos de cálculo, las propiedades de los materiales y los efectos a considerar durante el diseño y construcción de sistemas estructurales con acero conformado en frío. Para Latinoamérica, la adaptación de estas normativas está contenida en el Manual de Ingeniería de steel framing, publicado por el Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero (ILAFSA), lo que permite una aplicación más adecuada a las condiciones regionales.

En cuanto a la determinación de las cargas que actúan sobre la estructura, se aplicaron los capítulos NEC-SE-CG (Cargas No sísmicas) y NEC-SE-DS (Diseño Sísmico), garantizando que la estructura cumpla con los requerimientos de resistencia y estabilidad.

2. DESARROLLO DEL TEMA

La casa a diseñar es una vivienda de dos pisos destinada para uso residencial. En su distribución interior, cuenta con tres dormitorios y tres baños, lo que ofrece comodidad y funcionalidad para una familia. La planta baja incluye un área social compuesta por una sala de estar, cocina, comedor y una terraza, optimizando el espacio para el disfrute y la interacción familiar.

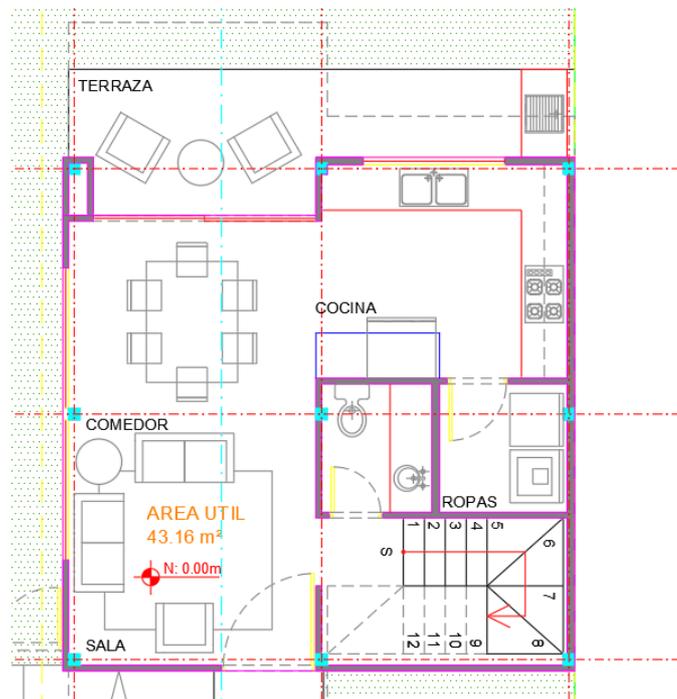


Figura 1: Vista en planta piso 1

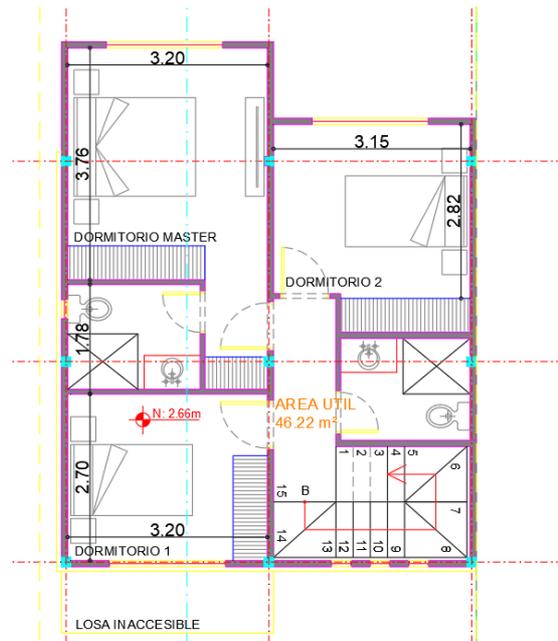


Figura 2: Vista en planta piso 2

El primer piso tiene un área útil de 43.19 m², mientras que el segundo piso dispone de 46.22 m², sumando un área total útil de 89.39 m². Esta disposición permite una zonificación eficiente, donde las áreas privadas, como los dormitorios, se ubican en el segundo nivel, y las áreas sociales y de servicios se encuentran en el primer nivel.

La estructura se caracteriza por su voladizo de 1.8m de longitud, en donde se encuentra el cuarto máster, además tiene dos grandes ventanas en la fachada lateral izquierda que limitan el uso de perfiles en esta sección.

2.1 Calculo de Cargas

Las cargas no sísmicas fueron calculadas según el capítulo NEC-SE-CG

2.1.1 Carga de Granizo.

Según el capítulo de la NEC de cargas No sísmicas la carga de granizo para cubiertas con una pendiente menor al 5% la carga de granizo es de $1kN/m^2$

2.1.2 Carga Muerta.

La carga muerta se refiere a los elementos que permanecen de manera constante en la residencia, como parte integral de la estructura y las instalaciones. Está compuesta por todos los componentes constructivos e instalaciones permanentes de la edificación. Para calcular la carga muerta, se utilizaron valores proporcionados por la NEC, específicamente para materiales como baldosas e instalaciones. Los datos de la lana de vidrio se obtuvieron de la empresa POLCOM, mientras que para los paneles metálicos de la cubierta se empleó información del catálogo de Kubitoc. Los datos técnicos del basecoat fueron proporcionados por la marca Premacol. Para los elementos como las plancha de fibrocemento, se utilizó información de la marca Eternit, y para las placas de gypsum, se hizo referencia a los datos ofrecidos por Ferconce.

En cuanto a la conformación de los muros portantes en el sistema steel frame, ya sea en entresijos, paredes internas o externas, se utiliza una estructura tipo sándwich, que incluye dos paneles con un material aislante en medio, en este caso, lana de vidrio. La principal diferencia radica en el uso de fibrocemento en las partes exteriores y en el entresijo, dado su mayor resistencia en comparación con el gypsum, que se emplea en las paredes internas y el cielorraso.

PAREDES EXTERIORES		
Material	Cantidad	kgf/m ²
Lana de Vidrio 2.5in	1	2.223
Plancha de fibrocemento de 10mm	1	17.132
Plancha de Gypsum de 12.7mm	1	8.9
Basecoat 3mm	1	5.25
Instalaciones y otros	1	15
Peso total		48.505

Tabla 1: Carga muerta paredes exteriores

PAREDES INTERIORES		
Material	Cantidad	kgf/m ²
Lana de Vidrio 2.5in	1	2.223
Plancha de Gypsum de 12.7mm	2	8.9
Instalaciones y otros	1	15
Peso total		35.023

Tabla 2: Carga muerta paredes interiores

CUBIERTA		
Material	Cantidad	kgf/m ²
Panel Metálico	1	5.15
Plancha de Gypsum de 12.7mm	1	8.9
Instalaciones y otros	1	15
Peso total		29.05

Tabla 3: Carga muerta cubierta

ENTREPISO		
Material	Cantidad	kgf/m ²
Baldosa de marmol con mortero	1	11.217
Plancha de fibrocemento de 10mm	1	17.132
Lana de Vidrio 2.5in	1	2.223
Plancha de Gypsum de 12.7mm	1	8.9
Instalaciones y otros	1	15
Peso total		54.472

Tabla 4: Carga muerta entrepiso

Es importante aclarar que en todo este cálculo de la carga muerta no se consideró los perfiles de acero galvanizado utilizados en el sistema de steel frame, esto se debe a que al emplear SAP2000 para el análisis estructural el programa ya emplea el peso propio de la estructura para diseñar el sistema de steel frame.

2.1.3 Carga viva.

La NEC emplea un valor de $2kN/m^2$ de carga viva de entrepiso para uso residencial y de $0.7kN/m^2$ para la cubierta.

2.1.4 Carga Sísmica.

La carga sísmica se la determinó mediante el capítulo de peligro sísmico NEC-SE-DS. Esto se lo realizó con el espectro sísmico de aceleración de la NEC. Asumiendo el suelo tipo D.

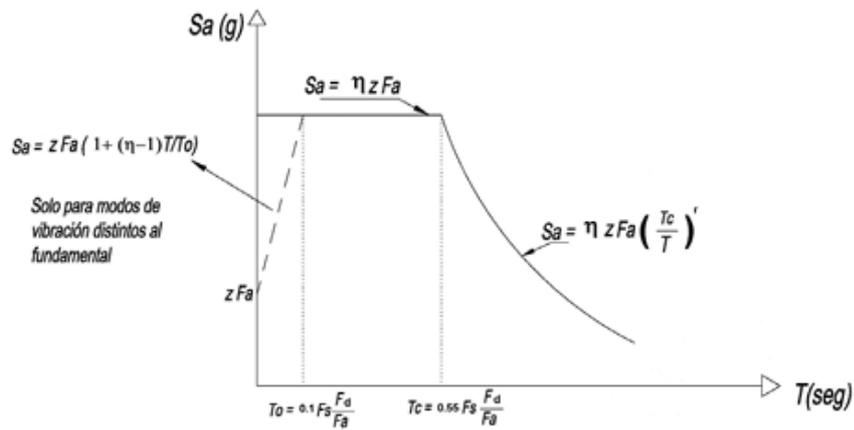


Figura 3: Espectro de diseño NEC

Para determinar el factor Z se utilizó el valor de 0.4.

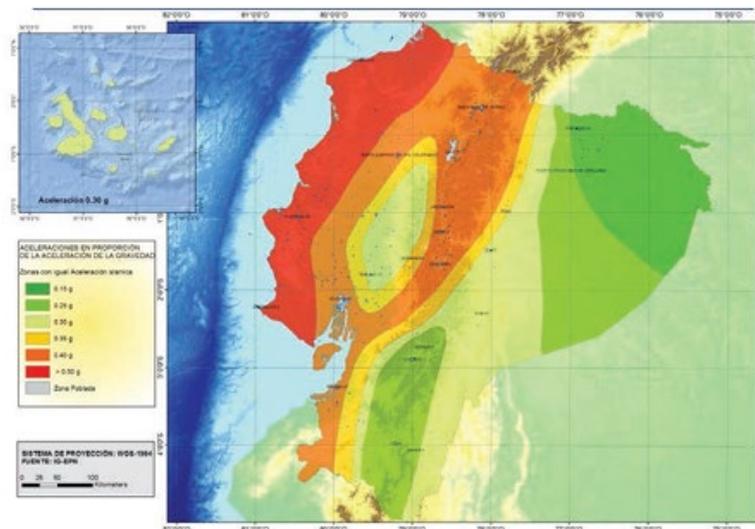


Figura 4: Coeficiente Z

El valor de n depende de la región en donde se ubique la construcción, para este caso se utilizó el valor de 2.48 debido a que la construcción se llevará a cabo en Quito.

Los coeficientes de amplificación F_a , F_d y F_s se los determinó con las respectivas tablas de la NEC a partir del factor Z y el tipo de suelo. En este caso se utilizó el suelo tipo D y por ende los Factores son $F_a=1.2$, $F_d=1.19$ Y $F_s=1.28$.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tabla 5: Factor F_a

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 6: Factor F_d

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 7: Factor F_s

El fin de obtener el espectro de aceleración es conseguir el cortante basal, que es la fuerza horizontal máxima que siente la estructura por el movimiento de un sismo.

El cortante Basal se lo calcula mediante la siguiente ecuación

$$V = \frac{I \cdot Sa(Ta)}{R \cdot \phi_p \cdot \phi_E} \cdot W$$

Donde

$Sa(Ta)$: Espectro de diseño

ϕ_p y ϕ_E : Coeficientes de configuración en planta y elevación

I: Coeficiente de importancia

R: Factor de Redundancia

V: Cortante basal

W: Peso de la estructura

El factor de redundancia R utilizado por la NEC para el steel frame que lo considera como un sistema estructural de muros portantes es de 1.5.

Sistema Estructural	Materiales	Coefficiente R	Limitación en altura (número de pisos)
Muros Portantes	Mampostería No Reforzada y no confinada (c)	1	1
	Mampostería enchapada con malla de acero (a)	1.5	2(b)
	Adobe y Tapial reforzado	1.5	2
	Bahareque	1.5	2
	Mampostería Reforzada	3	2(b)
	Mampostería Confinada	3	2(b)
	Muro de hormigón reforzado	3	2(b)
	Muros livianos de acero	1.5	2
	Muro de mortero armado u hormigón armado con alma de poliestireno(a)	1.5	2(b)

Tabla 8: Coeficiente R NEC

La estructura cuenta con irregularidades en planta. Por ende, se determinó que los coeficientes ϕ_p sea de 0.9 y ϕ_E sea de 1. Mientras que el coeficiente de importancia I se le considera uno al ser una vivienda de uso residencial.

El espectro sísmico se lo determinó mediante el programa, al definir una función en base a la normativa NEC2015. Se agregó los respectivos casos en la dirección X y Y para realizar el respectivo análisis modal espectral.

El cálculo del coeficiente sísmico se lo realizará mediante el modelado en SAP2000 dado que mediante al análisis modal espectral se encontrará el periodo fundamental de la estructura.

2.1.5 Combinaciones de cargas

La NEC emplea siete principales combinaciones de carga. Estas combinaciones se las realizó en el programa SAP200. Para emplear correctamente estas combinaciones en el programa se deben considera en ambos sentidos las fuerzas horizontales. Es decir, en el eje X y eje Y. También se debe considerar la fuente de masa para un análisis sísmico. En este caso se debe considerar el peso propio de la estructura y la carga muerta. La sísmica debido a sus efectos se la creó en el programa como carga sísmica dinámica con la función del espectro sísmico de la NEC y como carga sísmica estática al utilizar el coeficiente sísmico. Para el caso del sismo estático se empleó la combinación considerando la carga sísmica tanto en sentido positivo como en el sentido negativo.

Combinación 1

$$1.4D$$

Combinación 2

$$1.2D + 1.6L + 0.5\max[L_r; S; R]$$

Combinación 3

$$1.2D + 1.6\max[L_r; S; R] + \max[L; 0.5W]$$

Combinación 4

$$1.2D + 1.0W + L + 0.5\max[L_r; S; R]$$

Combinación 5

$$1.2D + 1.0E + L + 0.2S$$

Combinación 6

$$0.9D + 1.0W$$

Combinación 7

$$0.9D + 1.0E$$

2.2 Pre-diseño manual

Para seleccionar los perfiles que se emplearán en un diseño inicial se utilizará tablas del manual de diseño de steel frame de ILAFA.

Para esto se realizó un cálculo de distribución de cargas mediante áreas tributarias. Como establece la normativa del AISC los perfiles montantes se deben estar separados una distancia de 40 o 60cm, esto debido a que deben dividir las placas de fibrocemento o gypsum en partes iguales.

En este caso por motivos de demanda y tener losas en voladizo considerables se decidió escoger un espaciamiento de diseño de 0.4m. Es decir que el ancho tributario de cada viga es de 0.4m.

Es importante recalcar que para este prediseño no se utilizó cargas horizontales, como la carga sísmica, el chequeo de esta carga se lo realizará con el análisis en SAP.

Según el diseño arquitectónico tendremos luces de 3.37m y por el planteamiento mencionado nuestro ancho tributario será de 0.4m.

2.2.1 Viga Cubierta.

Para encontrar la carga uniformemente distribuida en las vigas se realizó la multiplicación de las cargas por metro cuadrado por el ancho tributario y se aplicó la combinación de carga que genere la mayor carga última.

$$WD \text{ cubierta} = CM \text{ cubierta} \cdot \text{ancho tributario} = 29.05 \text{kg/m}^2 \cdot 0.4\text{m} = 11.62 \text{kg/m}$$

$$WL \text{ cubierta} = CV \text{ cubierta} \cdot \text{ancho tributario} = 71.38 \text{kg/m}^2 \cdot 0.4\text{m} = 28.552 \text{kg/m}$$

$$WS \text{ cubierta} = \text{granizo} \cdot \text{ancho tributario} = 101.972 \text{kg/m}^2 \cdot 0.4\text{m} = 40.789 \text{kg/m}$$

$$Wu = 1.2WD + 1.6WL = 1.2(11.62 \text{kg/m}) + 1.6(40.789 \text{kg/m}) = 79.206 \text{kg/m}$$

Para obtener la reacción del montante se realiza un esquema de una viga simplemente apoyada. El montante recibe dos vigas por ende se le debe multiplicar por dos la reacción que genera el montante por la viga.

$$\text{Montante piso 2} = \left(\frac{Wu \cdot luz}{2} \right) \cdot 2$$

$$\text{Montante piso 2} = \left(\frac{79.206 \text{ kg/m} \cdot 3.37 \text{ m}}{2} \right) \cdot 2 = 266.924 \text{ k}$$

2.2.2 Viga entrepiso.

Para el entrepiso realizamos el mismo procedimiento que el realizado con la cubierta cambiando las cargas respectivamente por las del entrepiso.

$$WD \text{ entrepiso} = CM \text{ entrepiso} \cdot \text{ancho tributario} = 68.58 \text{ kg/m}^2 \cdot 0.4 \text{ m} = 27.43 \text{ kg/m}$$

$$WL \text{ entrepiso} = CV \text{ entrepiso} \cdot \text{ancho tributario} = 203.9 \text{ kg/m}^2 \cdot 0.4 \text{ m} = 81.58 \text{ kg/m}$$

$$Wu = 1.2WD + 1.6WL = 1.2(27.43 \text{ kg/m}) + 1.6(81.58 \text{ kg/m}) = 163.44 \text{ kg/m}$$

Para el cálculo de la reacción del montante del piso 1 se toma en cuenta la reacción del montante del piso 2 y el peso de la pared. Para tomar en cuenta el peso de la pared se dividió el peso completo de una pared de 1220mm x 2440mm en cuatro debido a que existen cuatro montantes.

$$\text{Peso Pared} = CM \text{ pared interna} \cdot 1220 \text{ mm} \cdot 2440 \text{ mm} = 104.26 \text{ kg}$$

$$\text{Montante piso 1} = \left(\frac{Wu \cdot luz}{2} \right) \cdot 2 + \text{Montante piso 2} + \frac{\text{Peso Pared}}{4}$$

$$\text{Montante piso 1} = \left(\frac{163.44 \text{ kg/m} \cdot 3.37 \text{ m}}{2} \right) \cdot 2 + 266.93 \text{ kg} + \frac{104.26 \text{ kg}}{4} = 568.39 \text{ kg}$$

Como se mencionó previamente este prediseño no contempla las cargas horizontales, por esta razón se escogió la mayor carga, es decir la que se encuentra en el entrepiso y montante de piso 1 para diseñar inicialmente todos los montantes y vigas respectivamente.

Con el valor de la carga que recibe el montante 1 y la altura que este tiene de 2.44m se determinó mediante la figura 5 sacada del manual de diseño ILAFA que se debe utilizar un perfil tipo M1.

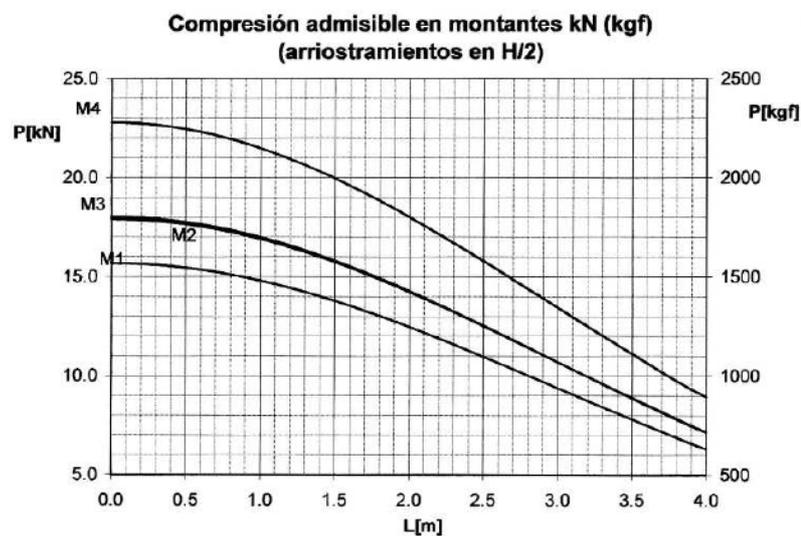


Figura 5: Prediseño perfil montantes ILAFA

De la misma forma se diseña el perfil de la viga teniendo en cuenta que la viga recibe una carga distribuida de 163.44kg/m y tiene una longitud de 3.37m. Teniendo esto en cuenta según la figura 6 del manual de ingeniería de ILAFA se debe utilizar el perfil V3

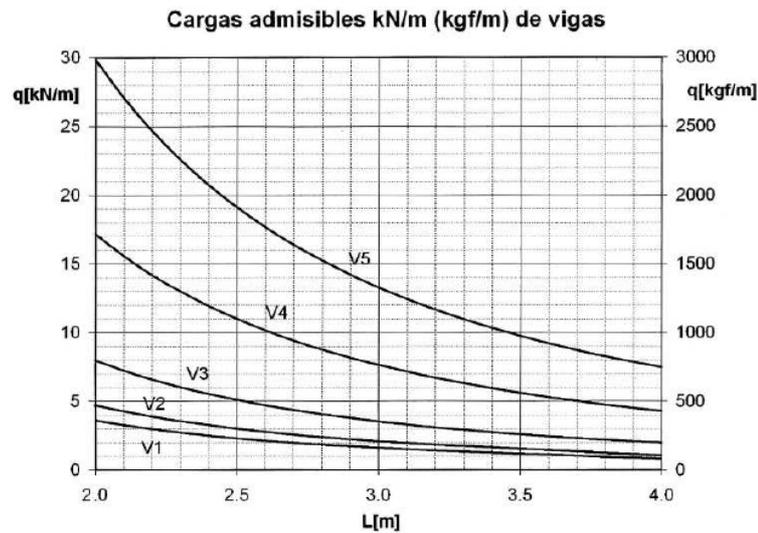


Figura 6: Prediseño perfil viga ILAFA

Las características de los perfiles M1 y V3 se muestran en la tabla 9 del manual ILAFA

Marca	Perfil en mm	H [mm]	B [mm]	D [mm]	t [mm]	A [cm ²]
M1	C 90x35x12x0.9	90	35	12	0.9	1.60
M2	C 90x35x12x1	90	35	12	1.0	1.77
M3	C 100x35x12x1	100	35	12	1.0	1.87
M4	C 100x35x12x1.2	100	35	12	1.2	2.23
V1	C 150x40x15x1.2	150	40	15	1.2	3.03
V2	C 150x40x15x1.6	150	40	15	1.6	3.99
V3	C 200x50x15x1.6	200	50	15	1.6	5.11
V4	C 250x50x20x2.5	250	50	20	2.5	9.34
V5	C 300x60x25x3	300	60	25	3	13.51

Tabla 9: Perfiles ILAFA

El perfil V3 no está disponible en el mercado local, como se observa en la Tabla 10 de los perfiles de Kubic. Debido a esta limitación, se determinó que la mejor alternativa para las vigas de entrepiso es utilizar vigas tipo cerchas para cubrir grandes luces. Esta solución

permite aprovechar la capacidad estructural de las cerchas, distribuyendo las cargas de manera eficiente y proporcionando la rigidez necesaria. Asimismo, para los montantes se optó por emplear los perfiles disponibles en el mercado nacional, adaptando el diseño para garantizar que se cumplan los requerimientos de resistencia y estabilidad estructural sin depender de perfiles importados.

DATOS TÉCNICOS (mm)				
e	a	b	c	kg/m
0,75	89	40	12,7	1,19
	100	40	12,7	1,29
	139	40	12,7	1,50
	151	40	12,7	1,60
	203	40	12,7	1,93
0,9	89	40	12,7	1,41
	100	40	12,7	1,52
	139	40	12,7	1,79
	151	40	12,7	1,90
	203	40	12,7	2,29
1,1	89	40	12,7	1,74
	100	40	12,7	1,88
	139	40	12,7	2,17
	151	40	12,7	2,36
	203	40	12,7	2,84

Tabla 10: Perfiles steel frame Kubiec

2.3 Modelo en SAP2000

Una estructura de steel frame se caracteriza por la inclusión de numerosos elementos y una amplia variedad de perfiles de acero conformado en frío, lo que incrementa significativamente la complejidad del proceso de modelado computacional. Esta complejidad radica principalmente en la necesidad de representar de manera precisa tanto las conexiones como las propiedades de los materiales, así como las cargas que la estructura deberá soportar.

Con el fin de abordar dichos desafíos de manera eficiente, es común recurrir a ciertas simplificaciones que no comprometan la precisión del análisis estructural. Entre estas simplificaciones se incluyen la idealización de las conexiones y la omisión de ciertos elementos no estructurales, como los revestimientos y acabados, que pueden aumentar la rigidez, pero complican el modelado. Sin embargo, es indispensable adoptar medidas conservadoras que aseguren que dichas omisiones no afecten la integridad estructural bajo condiciones reales.

El software computacional SAP2000 es una herramienta de gran ayuda para modelar la mayoría de los elementos estructurales de una vivienda. Permite definir perfiles, montantes y componentes esenciales como elementos para la cubierta y el entrepiso. Sin embargo, existen ciertos elementos que no pueden diseñarse directamente en el modelo computacional, como las placas de conexión, anclajes, cartelas y holdowns.

En particular, un aspecto crítico que se simplifica en el modelo computacional es la conexión entre el pórtico de acero y el sistema steel frame. Este tipo de conexión requiere el uso de placas especiales que no se contemplaron en el análisis realizado en esta tesis. Dichas placas son fundamentales para garantizar una transmisión adecuada de cargas entre los sistemas estructurales y asegurar el desempeño óptimo de la estructura en condiciones de servicio y carga.

En las zonas de esquinas o bordes, es habitual la utilización de múltiples perfiles de acero. No obstante, en el modelo computacional, se opta por una representación simplificada de estos elementos, utilizando un único perfil que simula el comportamiento del conjunto de perfiles reales. Esta simplificación permite reducir la cantidad de elementos a modelar sin comprometer el desempeño general de la estructura. Respecto a los elementos de fibrocemento y gypsum, que en la realidad contribuyen a la rigidez lateral de los muros, no se

incluyen en el modelo; aunque dichos componentes rigidizan la estructura frente a cargas laterales, pero si se considera la carga muerta generada por estos paneles. Esto simplifica el modelo y lo vuelve conservador al no considerar una rigidez extra que tiene la estructura. En las partes que se encuentra el Fibrocemento o Gypsum fueron creadas áreas para en donde se colocó las cargas calculadas, pero como se mencionó previamente estos paneles en el modelo de SAP2000 no van a aportar en rigidez a la estructura y por esta razón se les dio dimensiones de 0.

El software SAP2000 incluye una biblioteca predeterminada de perfiles conformados en frío, que abarca los tipos más comunes, tales como montantes y soleras. Al seleccionar estos perfiles, el programa asigna automáticamente las propiedades del material, especificando el acero de grado 50 con un esfuerzo de fluencia de 50 ksi, de acuerdo con las especificaciones de la normativa AISI S100.

El proceso de modelado geométrico en SAP2000 comienza con la representación estructural de los planos arquitectónicos del proyecto. A partir de estos, se define la geometría y disposición de los elementos estructurales, como montantes, vigas y arriostramientos. La disposición de los montantes se realiza generalmente con una separación estándar de 0.6 m o 0.4m dependiendo de la demanda estructural. Una vez que los elementos estructurales principales han sido modelados, se incorporan los detalles arquitectónicos, tales como las aberturas para puertas y ventanas. Esto implica ajustar la disposición de los montantes y agregar perfiles horizontales como dinteles que redistribuyan la carga que debían soportar los montantes en donde se encuentra las ventanas y puertas.

Dado que los perfiles empleados en sistemas de steel frame son elementos esbeltos con espesores reducidos, presentan una vulnerabilidad elevada al pandeo. Para reducir este riesgo, se colocó un perfil horizontal en los montantes a una altura de $h/2$, lo cual disminuye

la longitud no arriostrada de cada elemento y contribuye a prevenir fallos estructurales. Al diseñar las cerchas para el entrepiso, se determinó que cada una de las diagonales coincidiera con la ubicación de los perfiles montantes, permitiendo así que el modelo respete la teoría de cercha, en la cual las cerchas no transmiten momentos y trabajan únicamente mediante fuerzas axiales.

En la práctica, las diagonales de las cerchas suelen tener una separación estándar, y es a través de los perfiles horizontales de apoyo que se transmite la carga. Sin embargo, en el modelo computacional se puede ajustar la separación entre diagonales para asegurar que la transmisión de la carga axial se distribuya con mayor precisión, optimizando la simulación y reflejando con mayor exactitud el comportamiento estructural.

La colocación de cargas no sísmicas se realizó mediante elementos de tipo área sin dimensiones físicas, de modo que estos no afectarán la rigidez estructural; sin embargo, fueron considerados en el cálculo de cargas. Las áreas fueron asignadas en cada uno de los elementos estructurales (como cubierta, entrepiso, paredes externas e internas), con la carga correspondiente aplicada en cada lugar. Para lograr una distribución más realista, se dividió el área asignada en función de los perfiles montantes, de manera que en cada separación de perfiles se generara una subárea. Esto permitió discretizar y distribuir la carga no sísmica de manera uniforme y más cercana a las condiciones reales, optimizando así la precisión en el análisis.

Para la carga sísmica, se emplearon tanto el método dinámico como el método estático. Para el análisis dinámico, se definió en el modelo una función que simula el espectro de respuesta de la NEC 2015, ajustada con un factor de 9.81 para reflejar la aceleración sísmica. En cuanto al análisis estático, se añadió un patrón de carga sísmica que incluye el

coeficiente sísmico calculado previamente. Ambos métodos fueron definidos en las direcciones X y Y para captar el comportamiento estructural en ambos ejes.

El uso del método de elementos finitos en SAP2000 permite descomponer los elementos estructurales en pequeñas subdivisiones, facilitando así un análisis detallado de las fuerzas, momentos y deformaciones que actúan sobre cada componente de la estructura. Para garantizar que esta discretización se lleve a cabo de manera efectiva, se dividieron las áreas y se segmentaron los marcos en cada unión, maximizando la cantidad de elementos discretos. Este enfoque meticuloso resulta crucial en el diseño de los perfiles de steel frame, ya que asegura que cada componente cumpla con los requerimientos de resistencia y estabilidad establecidos por la normativa AISI S100.

El software SAP2000 ofrece la ventaja de simular diversas combinaciones de carga, lo que permite evaluar el comportamiento estructural bajo diferentes condiciones. Para el dimensionamiento y verificación de los elementos estructurales, se ha implementado el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD). Este método es particularmente eficaz, ya que permite aplicar factores de carga y resistencia de acuerdo con las exigencias normativas tanto de AISI como del Código Ecuatoriano de Construcción (NEC).

Para lograr un diseño adecuado de las cerchas del entrepiso y asegurar el cumplimiento de la teoría de cerchas, que establece que las cerchas deben trabajar sin momentos, se consideró la rigidez parcial que generan las placas de conexión. En el modelo, se liberó el momento en el eje menor de las diagonales de la cercha para reflejar esta condición, permitiendo así un comportamiento más fiel a la realidad, donde las conexiones poseen cierta rigidez.

Con el método LRFD, se consideran las combinaciones de carga más desfavorables especificadas por la NEC, este enfoque permite obtener la relación demanda capacidad para cada uno de los elementos que conforman la estructura, permitiendo un análisis detallado de su desempeño. A partir de los resultados obtenidos, es posible ajustar las dimensiones y propiedades de los perfiles de acero conformado en frío para garantizar que el diseño mantenga un factor de seguridad adecuado bajo todas las condiciones de carga, minimizando el riesgo de fallo estructural.

Durante el prediseño estructural, no se consideraron las cargas laterales, lo que resultó en una relación demanda-capacidad mayor a uno al utilizar los perfiles seleccionados inicialmente. Por esta razón, fue necesario ajustar el diseño, optando por incorporar dos pórticos de acero ubicados estratégicamente en la estructura. Esta decisión se tomó debido a la presencia, en el modelo arquitectónico, de ventanas grandes y una mampara que sirve de apoyo a un voladizo en el segundo piso, donde se encuentran los dormitorios.

Cabe destacar que, aunque se emplearon pórticos de acero, estos no constituyen el sistema estructural principal de la edificación; la estructura está diseñada para sostenerse fundamentalmente sobre el steel frame. Por lo tanto, los pórticos fueron especificados como ordinary moment frames para complementar el sistema de resistencia, sin reemplazar al steel frame como el soporte estructural primario. Para el diseño de estos pórticos, se utilizaron perfiles tubulares de acero A36, los cuales cumplen con los requerimientos de rigidez y resistencia necesarios para esta aplicación. Esta incorporación permite mejorar la estabilidad de la estructura frente a las cargas laterales y mantiene la integridad del diseño arquitectónico sin sacrificar la funcionalidad del sistema de steel frame.

Para comparar los dos tipos de sistemas de arriostramiento lateral, se utilizó el mismo modelo de vivienda con entrepiso tipo cercha y dos pórticos de acero. Se realizaron modelos

computacionales separados para cada sistema de arriostramiento con el fin de llevar a cabo un análisis comparativo entre ambos. Este enfoque permitió identificar las diferencias en el desempeño estructural de cada sistema bajo condiciones de carga lateral.

El método de diseño aplicado en ambos modelos fue similar: en primer lugar, se analizó el modelo sin ningún tipo de arriostramiento para observar las zonas críticas o puntos de falla, que son los lugares donde la estructura es más vulnerable sin soportes laterales. Las principales fallas estructurales se manifestaron en las esquinas de la vivienda, donde la torsión generada por las cargas sísmicas tiende a producir desplazamientos significativos. Con esta información, se ubicaron los soportes laterales necesarios en cada sistema, optimizando el desempeño del arriostramiento en las áreas críticas y maximizando la resistencia de la estructura frente a las cargas laterales.

El proceso de diseño fue iterativo, partiendo de un prediseño para cada sistema de arriostramiento lateral con el objetivo de reducir al mínimo la cantidad de material utilizado. Empleando la herramienta de diseño estructural para acero conformado en frío en SAP2000, se verificó el cumplimiento de los requisitos para todos los elementos. No obstante, dado el volumen de elementos analizados, el programa puede cometer errores en la asignación del valor del factor K , que depende del tipo de apoyos de cada elemento. En el caso del steel frame, este valor tiende a ser 1, por lo que se corrigieron manualmente los errores en la sección de overwrites para aquellos elementos en los que el programa había calculado incorrectamente este factor.

Tras realizar un análisis detallado, se determinó que, por motivos de eficiencia constructiva y facilidad de instalación, el perfil óptimo para la estructura de steel frame sería de 1.1 mm de espesor y 89.9 mm de altura. Para los pórticos de acero tubular, fabricados en acero A36, se seleccionaron perfiles de 200 mm x 200 mm con un espesor de 3 mm. Este

enfoque garantiza un equilibrio adecuado entre resistencia, eficiencia y economía en ambos modelos de vivienda.

2.4 Modelo Computacional con K-bracing

En la aplicación del modelo con k-bracing, se empleó el mismo tipo de perfil utilizado en los montantes, colocándolo en el espacio existente entre estos. Al rigidizar un muro mediante k-bracing, se modifican las restricciones de los apoyos, ya que el sistema emplea placas de conexión y anclajes químicos que limitan la movilidad del muro. Esto refuerza la estructura al reducir los desplazamientos, lo que incrementa la capacidad de resistencia frente a cargas laterales.

Para asegurar la rigidez y estabilidad del muro a lo largo de toda su longitud, se añadieron apoyos empotrados en los extremos del muro reforzado con k-bracing. Estos apoyos empotrados contribuyen a que la estructura mantenga su integridad estructural bajo condiciones de carga lateral, proporcionando un anclaje sólido que minimiza el riesgo de torsión y deformación en las áreas críticas del sistema de steel frame. Con esta configuración, se garantiza una transmisión más eficiente de las cargas laterales hacia la base, lo cual refuerza la seguridad de la estructura frente a eventos sísmicos o cargas de viento.

Mediante el análisis modal espectral realizado con su respectiva carga sísmica dinámica se determinó que el periodo para el sistema de k-bracing es de 0.18s. Con esto se determinó que la fórmula que se debe emplear para encontrar el espectro de aceleración es la siguiente:

$$T_c = 0.55F_s \cdot \frac{Fd}{Fa} = 0.55 \cdot 1.28 \cdot \frac{1.19}{1.2} = 0.698s$$

$$T_o = 0.1F_s \cdot \frac{F_d}{F_a} = 0.1 \cdot 1.28 \cdot \frac{1.19}{1.2} = 0.127s$$

Al obtener que el periodo es menor que T_c y mayor que T_o la fórmula para encontrar el espectro de aceleración es:

$$S_a = n \cdot Z \cdot F_a = 2.48 \cdot 0.4 \cdot 1.2 = 1.19$$

Con el valor del espectro del diseño y los valores calculados previamente en el cálculo de cargas sísmicas se determinó el coeficiente sísmico:

$$\text{Coeficiente sísmico} = \frac{I \cdot S_a(T_a)}{R \cdot \phi_p \cdot \phi_E} = \frac{1 \cdot 1.19}{1.5 \cdot 0.9 \cdot 1} = 0.88$$

Con el coeficiente sísmico se agregó la carga sísmica estática lateral utilizando este coeficiente sísmico en dirección X y Y. Mediante la reacción en la base del eje Z del caso de carga muerta se determinó que el peso de la estructura es de 17302.26 kgf. Con el peso de la estructura y el coeficiente sísmico se determinó el cortante basal:

$$V_{\text{basal}} = \text{Coeficiente sísmico} \cdot W = 0.88 \cdot 17302.26 \text{kgf} = 15256.75 \text{kgf}$$

Mediante la aplicación de SAP se determinó las reacciones en la base provocadas por el sismo dinámico y sismo estático. Con estos valores realizamos las correcciones de los sismos dinámicos y estáticos. Esto consiste en dividir el cortante basal obtenido para las diferentes reacciones en la base y así de esta forma encontrar el valor que se debe amplificar en sus respectivos casos.

$$\text{Corrección } Sx = \frac{V \text{ basal}}{Sx} = \frac{15256.75 \text{ kgf}}{14518.4 \text{ kgf}} = 1.051$$

$$\text{Corrección } Sy = \frac{V \text{ basal}}{Sy} = \frac{15256.75 \text{ kgf}}{14518.4 \text{ kgf}} = 1.051$$

$$\text{Corrección } Rx = \frac{V \text{ basal}}{Rx} = \frac{15256.75 \text{ kgf}}{7702.24 \text{ kgf}} = 1.981$$

$$\text{Corrección } Ry = \frac{V \text{ basal}}{Ry} = \frac{15256.75 \text{ kgf}}{4406.98 \text{ kgf}} = 3.462$$

Para el caso de los sismos estáticos es decir S_x y S_y estas correcciones fueron multiplicadas para el coeficiente sísmico, mientras que para el caso de sismos dinámicos estas correcciones fueron multiplicados para el factor de gravedad.

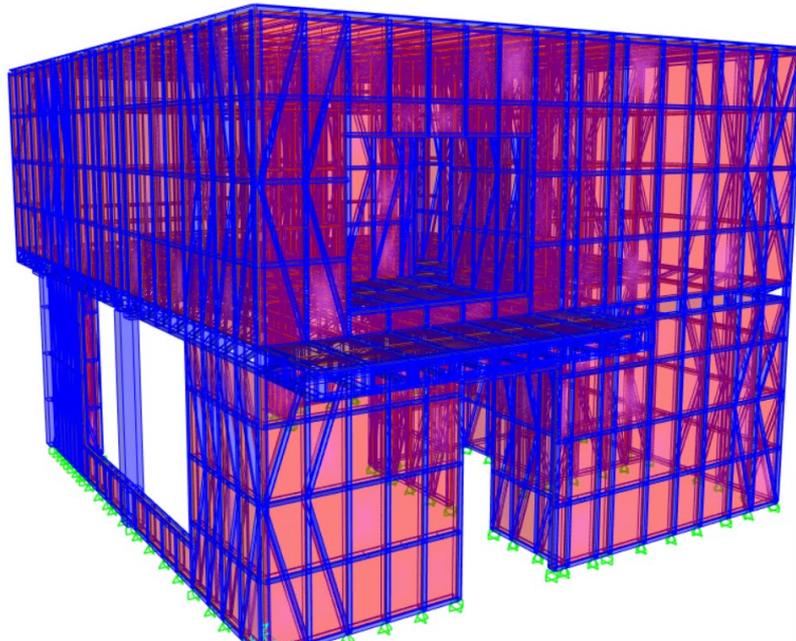


Figura 7: Modelo SAP2000 k-bracing

2.4.1 Control de derivas k-bracing.

Para el control de derivas se determinó el nudo con mayor desplazamientos y en base a este se realizó el control. Para esto se observó los desplazamientos de los nudos en direcciones X y Y.

Control de derivas dirección x:

$$\Delta_{Ex} = \frac{0.003456m - 0.001185m}{2.66m} = 8.5 \times 10^{-4}$$

$$\Delta_{Mx} = 0.75 \cdot R \cdot \Delta_E = 0.75 \cdot 1.5 \cdot 8.5 \times 10^{-4} = 9.6 \times 10^{-4}$$

Control de derivas dirección y:

$$\Delta_{Ey} = \frac{0.002326m - 0.000059m}{2.66m} = 8.5 \times 10^{-4}$$

$$\Delta_{My} = 0.75 \cdot R \cdot \Delta_E = 0.75 \cdot 1.5 \cdot 8.5 \times 10^{-4} = 9.6 \times 10^{-4}$$

Tanto en sentido X como en el sentido Y la deriva máxima inelástica es menor que 0.02, por ende la edificación pasa el chequeo por derivas.

2.5 Modelo computacional con cruces de San Andrés

El modelo computacional con cruces de san andrés presentó un periodo de 0.25 segundos tras realizar el análisis modal espectral. Para simular las cruces de san andrés, se utilizó un perfil rectangular de acero A36; a diferencia de los perfiles de steel frame, esta cinta de acero no está conformada en frío, lo que le confiere características distintas en términos de resistencia y deformabilidad.

Las cruces de san andrés, como se mencionó previamente, están diseñadas principalmente para trabajar bajo fuerzas de tensión. Por esta razón, en el modelo computacional se estableció un límite de resistencia a la compresión de 0 kgf, lo cual representa su incapacidad para soportar cargas de compresión debido a su reducido espesor y alta esbeltez. Al ejecutar el modelo y analizar los flejes que componen las cruces de san andrés, se observó que estos fallaban bajo ciertas cargas gravitacionales, ya que generaban momentos en los flejes que excedían su capacidad de resistencia.

Para mitigar este efecto, en los parámetros de diseño del programa se ajustó la capacidad máxima de pandeo "major bending capacity" de los flejes, dado que los momentos

presentes en estos elementos son mínimos y no afectan significativamente su desempeño estructural. Así, el modelo refleja la función principal de las cruces de san andrés, que es resistir cargas laterales bajo tensión sin comprometer la estabilidad del sistema estructural.

Para el caso de la carga sísmica lateral se empleó el mismo coeficiente que utiliza la estructura con k-bracing debido a que si bien cambia el periodo este sigue en el rango que es menor a T_c y mayor que T_o por ende se utiliza el mismo coeficiente sísmico de 0.88. Con este coeficiente se calculó el cortante basal de la estructura con cruces de San Andrés conociendo que el peso de la estructura es de 16578.97 kgf

$$V_{\text{basal}} = \text{Coeficiente sísmico} \cdot W = 0.88 \cdot 16578.97 \text{kgf} = 14618.97 \text{kgf}$$

De la misma forma que el caso con k-bracing se debe realizar la corrección de los sismos estáticos y dinámicos.

$$\text{Corrección } S_x = \frac{V_{\text{basal}}}{S_x} = \frac{14618.97 \text{ kgf}}{13673.06 \text{ kgf}} = 1.069$$

$$\text{Corrección } S_y = \frac{V_{\text{basal}}}{S_y} = \frac{14618.97 \text{kgf}}{13673.06 \text{ kgf}} = 1.069$$

$$\text{Corrección } R_x = \frac{V_{\text{basal}}}{R_x} = \frac{14618.97 \text{kgf}}{6330.81 \text{ kgf}} = 2.309$$

$$\text{Corrección } R_y = \frac{V_{\text{basal}}}{R_y} = \frac{14618.97 \text{kgf}}{8760.65 \text{ kgf}} = 1.669$$

De la misma forma que el caso de k-bracing estas correcciones amplifican los casos sísmicos estáticos y dinámicos y se las debe colocar para el caso estático multiplicando al coeficiente sísmico y para el caso dinámico al factor que representa la gravedad.

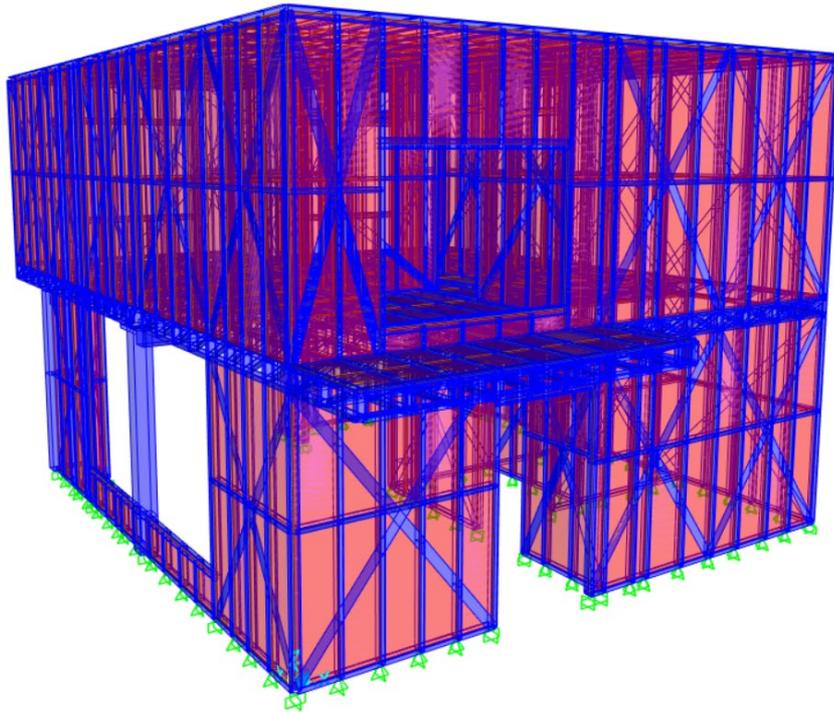


Figura 8: Modelo SAP2000 cruces de San Andrés

2.5.1 Control Derivas Cruces de San Andrés.

Control de derivas dirección x:

$$\Delta_{Ex} = \frac{0.0198m - 0.0002m}{2.66m} = 0.007$$

$$\Delta_{Mx} = 0.75 \cdot R \cdot \Delta_E = 0.75 \cdot 1.5 \cdot 0.007 = 0.008$$

Control de derivas dirección y:

$$\Delta_{Ey} = \frac{0.011449m - 0.003m}{2.66m} = 0.003$$

$$\Delta_{My} = 0.75 \cdot R \cdot \Delta_E = 0.75 \cdot 1.5 \cdot 0.003 = 0.004$$

Ambas derivas inelásticas en ambos sentidos tanto x como y son menores a 0.02 y por ende pasan el control de derivas maximas.

	Cruces de San Andres	K-bracing
Derivas inelasticas maxima "X "	0.008	0.00096
Deriva inelastica maxima "Y"	0.004	0.00096
Periodos de vibración (segundos)	0.25	0.18

Tabla 11: Comparación derivas y periodo de vibración

Como se muestra en la Tabla 11, la vivienda equipada con k-bracing presenta menores derivas y un periodo de vibración más reducido en comparación con la vivienda que utiliza cruces de san andrés. Esto permite concluir que la estructura con k-bracing posee una mayor rigidez, lo que la hace más eficiente frente a deformaciones y vibraciones inducidas por cargas externas.

2.6 Presupuesto

Ambos modelos de vivienda presentan diferencias en la cantidad de material utilizado, a pesar de compartir el mismo perfil de steel frame de 1.1 mm de espesor y 89 mm de altura, así como el mismo pórtico de acero tubular de sección 200 mm x 200 mm con un espesor de 3 mm. Para las cruces de san andrés se empleó una sección rectángulas de 65mm de ancho por 9mm de espesor conformada de acero A36.

SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRÉS	
RUBRO	PESO (Kg)
ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME	2511.36
ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO	520
SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRES	188.02
TOTAL	3219.38
PESO POR M2 DE CONSTRUCCIÓN	36.02

Tabla 12: Peso estructura con cruces de san andrés

SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL K-BRACING	
RUBRO	PESO (Kg)
ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME	2550.91
ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO	520
SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL K-BRACING	496.76
TOTAL	3567.67
PESO POR M2 DE CONSTRUCCIÓN	39.92

Tabla 13: Peso estructura con K-bracing

El peso de cada sección que conforman los tres respectivos rubros para cada casa fueron obtenidos del modelo estructural de SAP200 en los miscelánios.

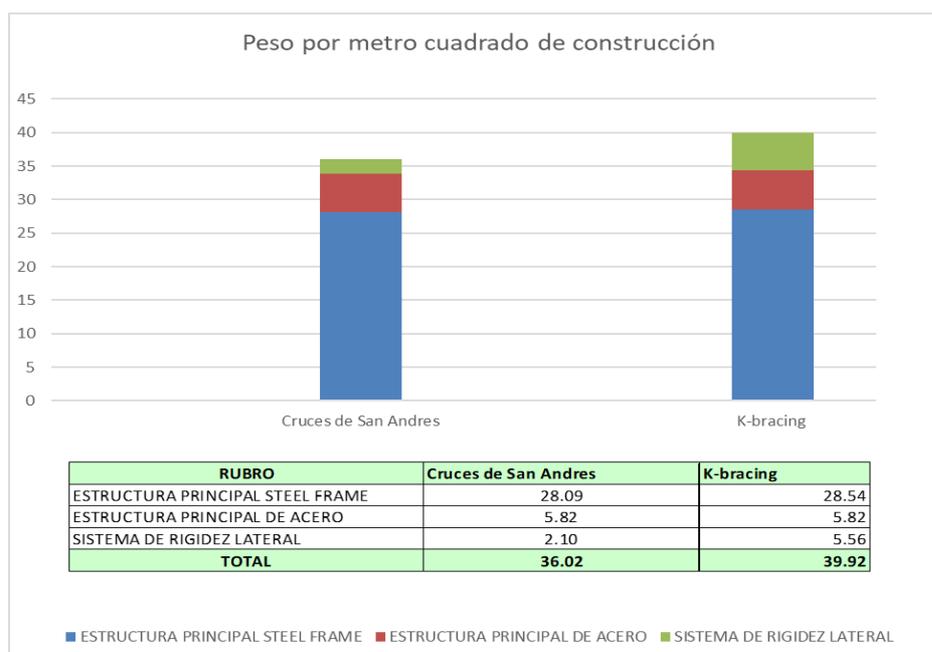


Figura 9: Peso por metro cuadrado de construcción

Al comparar el peso estructural, se observa que la casa con arriostramientos tipo K tienen un mayor peso de acero por metro cuadrado en su diseño. Esto se debe principalmente a que el uso de arriostramientos en K con el mismo perfil que los montantes incrementa la cantidad de acero conformado en frío necesario para el steel frame.

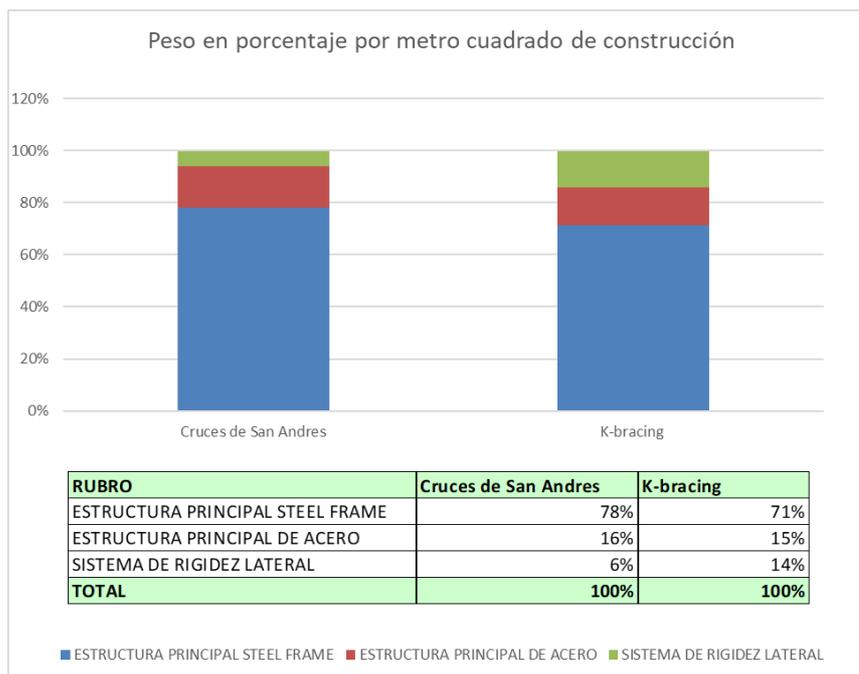


Figura 10: Peso en porcentaje por metro cuadrado de construcción

Al comparar el peso por porcentaje se evidenció un aumento del 8% en el sistema de rigidez lateral en el diseño con k-bracing, esto se debe a que no fue suficiente emplear únicamente estos arriostramientos en forma de K, ya que también se requirió la instalación de tres perfiles horizontales adicionales para reducir la longitud no arriostrada. En contraste, la casa con cruces de san andrés solo necesitó un perfil horizontal para cumplir la misma función. Este incremento en la cantidad de material utilizado conlleva un aumento en los costos de construcción. Si bien existe una disminución en el peso de la estructura principal de

steel frame en la casa con k-bracing el peso aumentado por el sistema de rigidez lateral hace que al comparar los dos diseños el k-bracing sea más pesado.

Se realizó un presupuesto estimado del costo de la estructura para ambos casos en el que se realizaron análisis de precios unitarios para los tres principales rubros: Estructura de steel frame, estructura metálica y sistema de rigidización lateral. Estos APUS de los rubros de estructura metálica y steel frame fueron realizados de acuerdo a los APUS referenciales de la cámara de la industria de la construcción. Para el APU de sistema de rigidización lateral es decir para cruces de san andrés y k-bracing según corresponda se realizó un promedio ponderado en el que se escogió cuatro paredes representativas del modelo estructural y en base a estas se calculó la cantidad de tornillos, anclajes, anclajes químicos, holdowns y cartelas correspondientes a cada sistema de rigidez lateral. El promedio ponderado fue calculado según metros cuadrados de pared, no obstante para realizar un correcto análisis comparativo la unidad del APU referencial del sistema de rigidización lateral fue transformada a kilogramos de acero para cruces de san andrés o kilogramos de acero para k-bracing según corresponda.

COSTO DIRECTO SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN DE CRUCES DE SAN ANDRES					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
1	ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME	kg	2,511	\$ 2.58	6,479.31
2	ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO	kg	520	\$ 3.92	2,037.20
3	SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRES	kg	188	\$ 5.17	972.06
TOTAL					\$ 9,488.57

Tabla 14: Costo directo casa con cruces san andrés

COSTO DIRECTO SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN K-BRACING					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
4	ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME	kg	2,551	\$ 2.57	6,555.84
5	ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO	kg	520	\$ 3.92	2,037.20
6	SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL K-BRACING	kg	497	\$ 3.27	1,624.41
TOTAL					\$ 10,217.45

Tabla 15: Costo directo casa con k-bracing

Con el desarrollo de los APUS para cada rubro se obtuvo el presupuesto para cada cosa como se observa en las tablas 14 y 15, en este solo se consideró el costo directo, es decir que no se consideró ningún tipo de costo indirecto como la utilidad. Por lo tanto se demuestra una mayor cantidad de materiales en la casa realizada con k-bracing, dando como resultado un precio mayor.

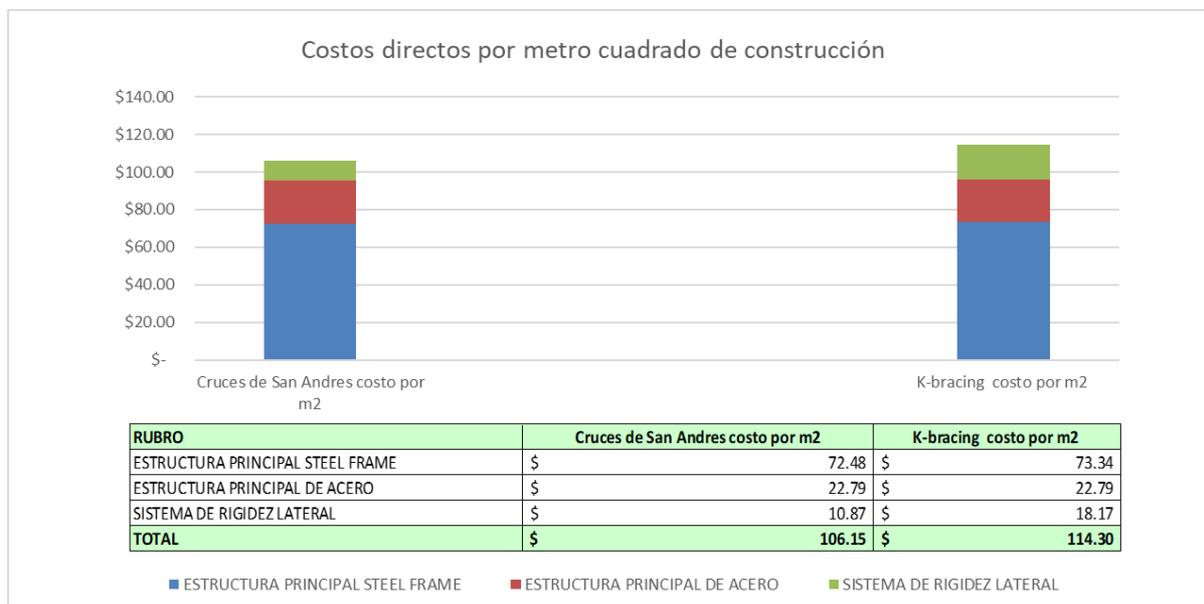


Tabla 16: Costo directo por metro cuadrado

El comparar el costo por metro cuadrado de ambas construcciones se evidenció que existe un aumento de \$8.15 dolares en la casa con k-bracing con respecto a la misma casa

realizada con cruces de san andrés. Esto representa un aumento del 7% del valor de la estructura.

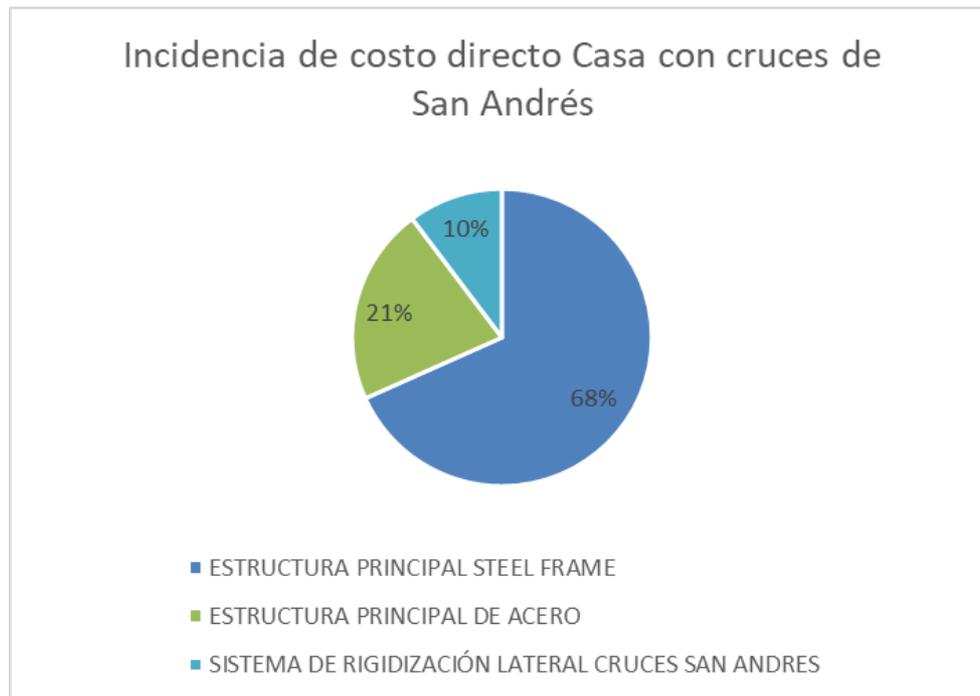


Figura 11: Incidencia costo directo casa con cruces de san andrés

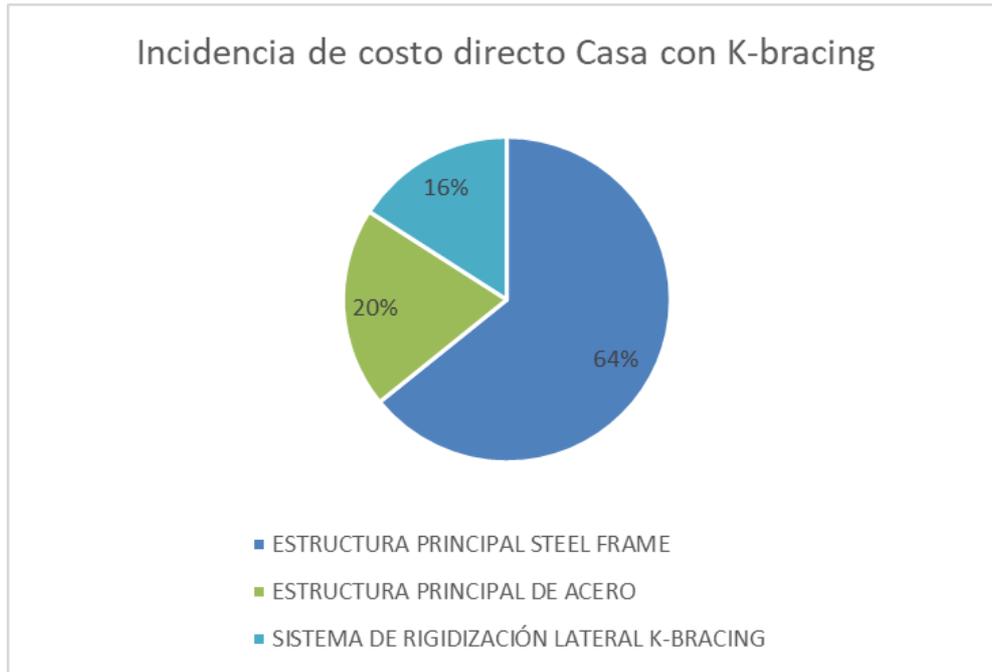


Figura 12: Incidencia costo directo casa con k-bracing

Al comparar la incidencia de cada rubro para las dos tipos de viviendas se observa que si bien existe un aumento del 1% y 4% para la estructura de acero y sistema de rigidización del sistema de cruces de san andrés con respecto al sistema con k-bracing. La principal diferencia se encuentra en el rubro de rigidez lateral en donde la incidencia cambia un 6% . Esto provoca que el aumento de precio de la casa con el sistemas k-bracing sea principalmente causado por el sistema de rigidez lateral.

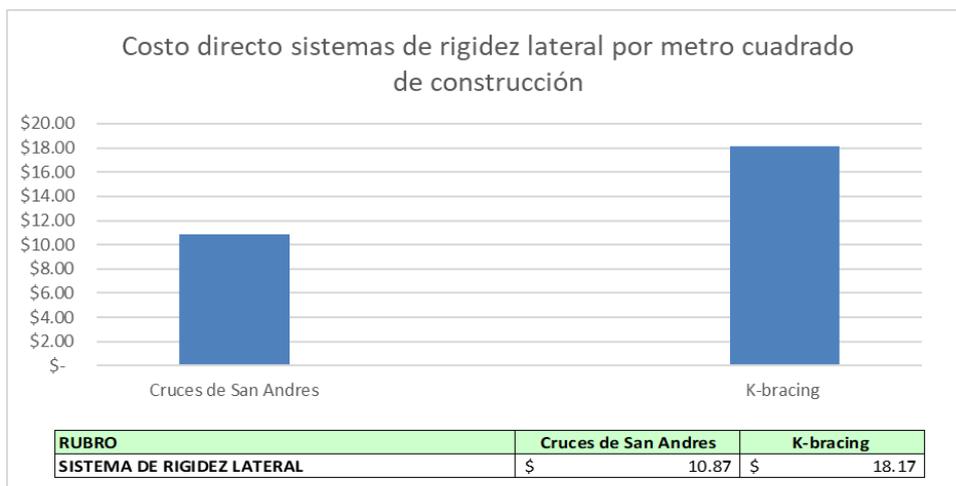


Figura 13: Costo directo sistema de rigidez lateral por metro cuadrado de construcción

Como se observa en la figura 13 hay un aumento de \$7.30, es decir que existe un aumento del 40% del costo del sistema de rigidez lateral del sistema de k-bracing con respecto a las cruces de san andrés. Si tenemos en cuenta que la diferencia de precio por metro cuadrado para ambos diseños estructurales es de \$8.15. Esto quiere decir que el sistema de rigidez lateral es el causante del 90% del aumento del precio por metro cuadrado de la edificación al comparar ambos casos. El 10% restante se debe al aumento de cantidad de perfiles horizontales de steel frame necesarios para disminuir la longitud no arriostrada.

La aplicabilidad práctica de este estudio reside en proporcionar a los profesionales de la construcción una base sólida para tomar decisiones informadas al seleccionar sistemas de arriostramiento en proyectos con steel frame. Las diferencias económicas identificadas, como el incremento del 7% en los costos de la estructura al utilizar k-bracing debido al mayor uso de acero galvanizado, tienen implicaciones directas en el presupuesto de proyectos reales. En contextos donde los recursos son limitados o donde se busca maximizar la relación costo-beneficio, optar por sistemas como las cruces de san andrés puede ser más adecuado debido a su menor costo, aunque con una ligera pérdida de rigidez estructural en comparación con el k-bracing. Estas decisiones deben considerar no solo los costos iniciales, sino también el impacto en la durabilidad, mantenimiento y capacidad de resistencia sísmica, especialmente en países como Ecuador, donde el riesgo sísmico es elevado y las normativas aún están en desarrollo.

3. CONCLUSIONES

La comparación entre los sistemas de rigidización mediante cruces de san andrés y k-bracing revela diferencias significativas en términos de facilidad constructiva, complejidad de instalación y costos asociados. Este trabajo ha permitido analizar detalladamente ambos métodos como parte del sistema de construcción steel frame, evaluando tanto sus aspectos estructurales como económicos. Las cruces de san andrés, al estar compuestas por flejes de acero ligeros dispuestos en forma de "X", presentan un proceso de instalación más sencillo y rápido. Este sistema requiere herramientas básicas y menos tiempo de montaje, lo que lo convierte en una opción práctica para proyectos que priorizan la eficiencia en tiempos de construcción y simplicidad técnica. No obstante, su capacidad para resistir cargas está limitada a esfuerzos de tracción, lo que demanda un diseño más preciso para optimizar su desempeño estructural.

Por el contrario, el sistema k-bracing implica un mayor nivel de complejidad técnica y constructiva. Este método, al incorporar perfiles adicionales en forma de "K", demanda mayor precisión en el montaje, el uso de herramientas especializadas y elementos complementarios como placas de conexión y anclajes químicos. Estas características incrementan tanto el tiempo de ejecución como el costo asociado. Además, a través del modelado en SAP2000, se determinó que el uso de k-bracing aumenta el peso de la estructura debido al mayor consumo de acero galvanizado, lo que en este caso elevó el costo total en un 7%. Este incremento económico es un aspecto importante a considerar en la planificación de proyectos, especialmente cuando el presupuesto es un factor crítico.

La justificación de esta investigación radica en la creciente popularidad del steel frame como solución constructiva en Ecuador, a pesar de la falta de estudios comparativos que evalúen de manera integral el rendimiento estructural y los costos asociados a diferentes

tipos de arriostramiento lateral. Este trabajo busca llenar ese vacío, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones en futuros proyectos de construcción.

Dadas las diferencias entre ambos sistemas, se recomienda que futuros estudios profundicen en la medición de los rendimientos y costos de instalación de ambos métodos. Este análisis debería incluir mediciones detalladas del tiempo de ejecución, costos directos e indirectos, y su impacto en la durabilidad y el mantenimiento de las estructuras. Además, sería valioso documentar casos prácticos para identificar en qué circunstancias es más adecuado utilizar uno u otro sistema, teniendo en cuenta factores económicos, estructurales y de instalación.

Este tema representa una oportunidad significativa para futuras investigaciones, permitiendo optimizar estrategias constructivas y económicas adaptadas a las necesidades específicas de cada proyecto. Con un análisis más detallado, se podrían generar datos que respalden decisiones técnicas y financieras en la industria de la construcción, especialmente en países como Ecuador, donde el steel frame está ganando relevancia como una alternativa moderna y eficiente.

En países como Estados Unidos, Canadá y Chile en Latinoamérica, la tecnología del steel frame y sus métodos, así como las normativas que los regulan, están altamente desarrolladas. Estas naciones cuentan con directrices claras y específicas que permiten optimizar el uso de este sistema constructivo, lo que ha facilitado su adopción masiva en diversas aplicaciones, desde edificaciones residenciales hasta comerciales. En contraste, en nuestro país, Ecuador, aún carecemos de normativas propias que se ajusten a la realidad y necesidades del contexto local. Un claro ejemplo de esta limitación es el factor R, que en la normativa ecuatoriana es demasiado bajo, lo cual restringe el uso de estructuras construidas con steel frame, afectando su competitividad y aplicación en proyectos de mayor

envergadura. Actualmente, la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción) únicamente señala que se deben seguir las directrices de la normativa AISI, sin contar con un capítulo o sección dedicada exclusivamente a construcciones en steel frame.

Sería ideal que, dado el creciente interés y adopción de este sistema en el país, se desarrollen en el futuro capítulos específicos dentro de la NEC que aborden el diseño de estructuras en steel frame, ajustadas al contexto y particularidades de Ecuador. Además, se recomienda la creación de una normativa propia que se adapte al entorno ecuatoriano, permitiendo un mejor aprovechamiento de las ventajas del steel frame y ajustando los parámetros técnicos y estructurales a nuestras condiciones sísmicas y climáticas locales. Esto no solo fortalecería la seguridad estructural en el país, sino que también fomentaría el uso eficiente y sostenible de este sistema constructivo en futuros proyectos.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carpio Toral, M. P. (2014). Diseño estructural de una vivienda aplicando el sistema constructivo STEEL FRAMING (Bachelor's thesis, Universidad del azuay).
- Duarte Ayala, A. S. (2020). Prototipo de vivienda VIP, en Steel Framing energéticamente eficiente para zona sísmica de Ecuador.
- Eternit. (2024). *Eternit: Construcción en evolución* . Obtenido de <https://eternit.com.ec/producto/cempanel/>
- Ferconce. (2024). *Ferconce ferreteria* . Obtenido de <https://ferconce.com/producto/gypsum-lamina-mr-verde-1-22-x-2-44-mts-12-mm/#:~:text=Peso%20aproximado%3A%208.9%20kg%2Fm%20en%2012.7%20m.m.>
- ILAFA. (2016). *MANUAL DE INGENIERIA DE STEEL FRAME*. Obtenido de Construcciones Entramadas de Acero.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización . (2010). *MTE INEN 2526*. Quito: INEN.
- KUBIEC. (2024). *KUBILOC*. Obtenido de <https://kubiec.com/kubiloc/>
- MATECSA. (s.f.). *MATECSA*. Obtenido de <https://matecsa.com/perfiles-refuerzo-estructural-serie-pre/>
- Norma Ecuatoriana de la construcción . (2015). *PELIGRO SÍSMICO, DISEÑO SISMO RESISTENTE* . Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Cargas No sísmicas* . Dirección de Comunicación Social, MIDUVI Diciembre.
- Norma Ecuatoriana de la construcción. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero*. Quito.
- North American Specification for the Design of Cold Formed Steel Structural Members. (2016). AISI STANDAR. En N. A. Members, *AISI S100* (pág. 505). CSA group.
- POLCOM. (2024). *POLCOM*. Obtenido de Lana de Vidrio POLCOM con aluminio: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://grupo-ap.com.ar/wp-content/uploads/2016/12/Lana-de-Vidrio_Ficha-T%C3%A9cnica.pdf
- PREMECOL. (2024). *Ficha técnica: Revestimiento Base Coat*. Obtenido de PREMECOL: <https://premeacol.com.ar/base-flex-basecoat/>
- Verduga García, D. A. (2016). Diseño de las modificaciones de los elementos estructurales del sistema steel framing para las condiciones de sismicidad y características del suelo de la ciudad de manta

5. ANEXO A: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS RUBRO ESTRUCTURA DE STEEL FRAME

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 1
 DETALLE: ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME
 ESPECIFICACIÓN:

UNIDAD: kg
 CANTIDAD: 2511.36
 RENDIMIENTO: 0.1100

A. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	A	B	C=AxB	D	E=CxD
	CANTIDAD	TARIFA (USD/hr)	COSTO HORA (USD/hr)	RENDIMIENTO (hr/u)	COSTO (USD)
HERRAMIENTA MENOR (5% M.O.)	-	-	-	-	0.05
			-		-
SUBTOTAL EQUIPOS					0.05

B. MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN		A	B	C=AxB	D	E=CxD
		CANTIDAD	TARIFA (USD/hr)	COSTO HORA (USD/hr)	RENDIMIENTO (hr/u)	COSTO (USD)
Fierro	D2	1	4.19	4.19	0.110	0.46
Peón	E2	1	4.14	4.14	0.110	0.46
Maestro mayor en ejecución de obras civile	C1	0.1	4.65	0.47	0.110	0.05
				-		-
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0.97	

C. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)
Acero galvanizado para steel frame	kg	1.02	1.3	1.33
Perno metal cabeza plana 10-16*3/4	u	2.56	0.01	0.03
Placa	u	0.04	0.3	0.01
Angulo	u	0.04	0.24	0.01
Fulminante y clavos de impacto	u	0.04	0.18	0.01
Perno expansivo tipo cuña 1/2 * 3	u	0.06	0.9	0.05
Silicona Sellante	u	0.01	12	0.12
SUBTOTAL MATERIALES				1.56

D. TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)
				-
				-
SUBTOTAL TRANSPORTE				-

E. TOTAL COSTO DIRECTO (EQ+MOB+MAT+TRN)	2.58
------------------------------------------------	-------------

8. ANEXO D: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL K-BRACING

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 6 UNIDAD: kg
 DETALLE: SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL K-BRACING CANTIDAD: 496.76
 ESPECIFICACIÓN: RENDIMIENTO 0.1100

A. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	A	B	C=AxB	D	E=CxD
	CANTIDAD	TARIFA (USD/hr)	COSTO HORA (USD/hr)	RENDIMIENTO (hr/u)	COSTO (USD)
HERRAMIENTA MENOR (5% M.O.)	-	-	-	-	0.05
			-		-
SUBTOTAL EQUIPOS					0.05

B. MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN		A	B	C=AxB	D	E=CxD
		CANTIDAD	TARIFA (USD/hr)	COSTO HORA (USD/hr)	RENDIMIENTO (hr/u)	COSTO (USD)
Maestro mayor en ejecución de obras civile	C1	0.1	4.65	0.47	0.110	0.05
Fierrero	D2	1	4.19	4.19	0.110	0.46
Ayudante de perforador	D2	1	4.19	4.19	0.110	0.46
				-		-
SUBTOTAL MANO DE OBRA						0.97

C. MATERIALES

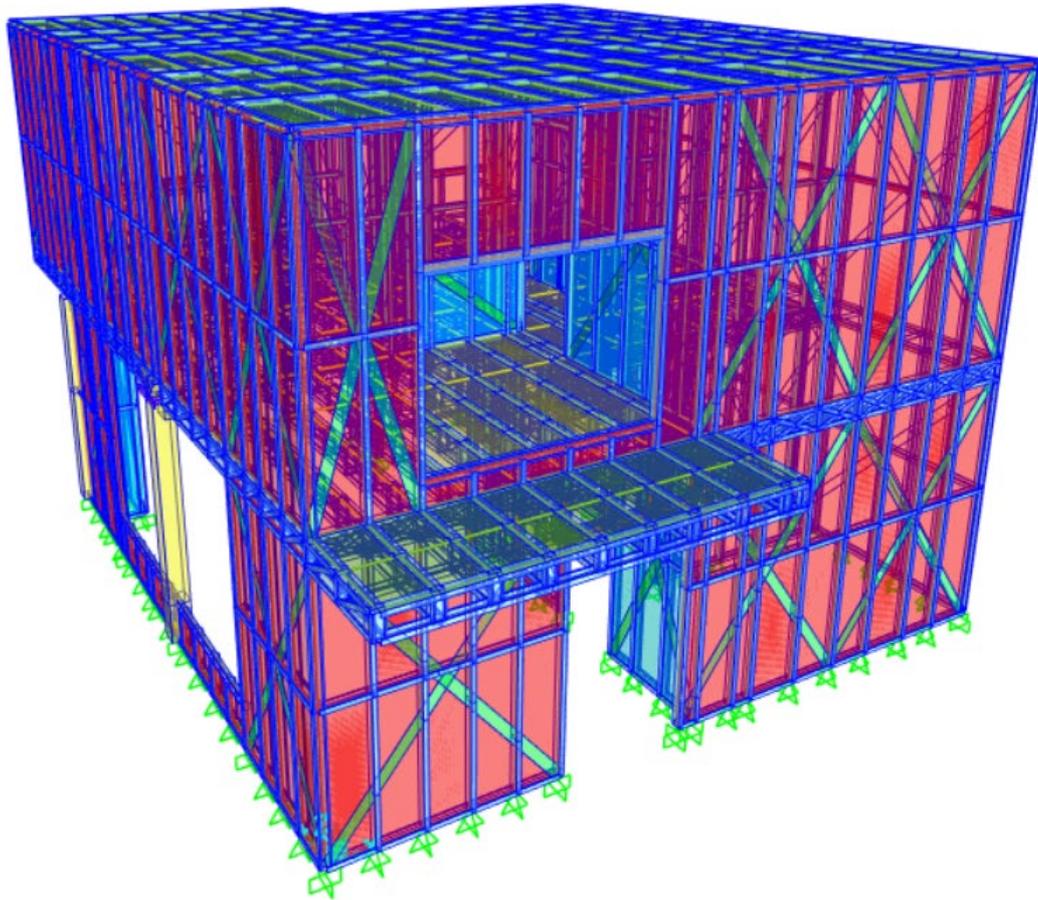
DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)
Tomillos	u	2.6	0.01	0.03
Holdown	u	0.2	0.04	0.01
Anclaje Químico	u	0.01	55.03	0.55
Anclaje	u	0.2	1.8	0.36
Acero Galvanizado para steel frame	kg	1	1.3	1.30
SUBTOTAL MATERIALES				2.25

D. TRANSPORTE

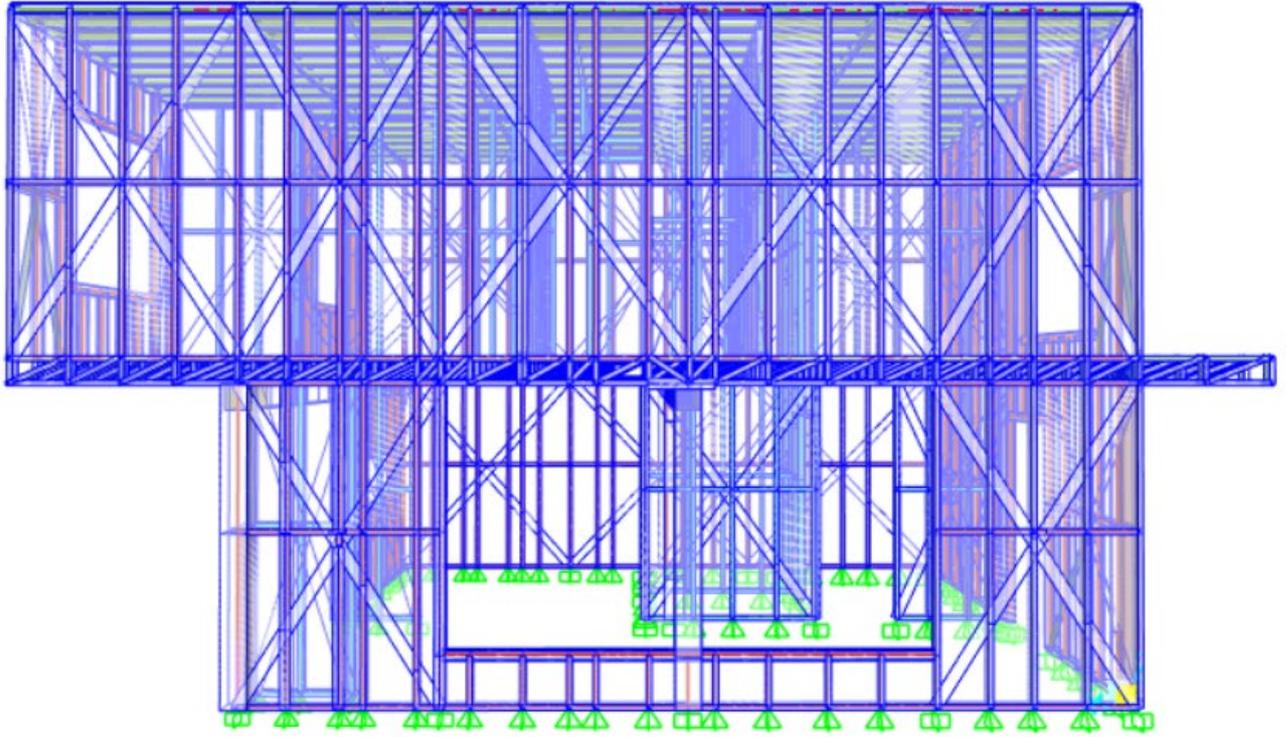
DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)
				-
				-
SUBTOTAL TRANSPORTE				-

E. TOTAL COSTO DIRECTO (EQ+MOB+MAT+TRN)	3.27
F. INDIRECTOS Y UTILIDADES %	0.0%
G. OTROS INDIRECTOS %	-
H. PRECIO UNITARIO TOTAL (E+F+G)	3.27
VALOR OFERTADO	3.27

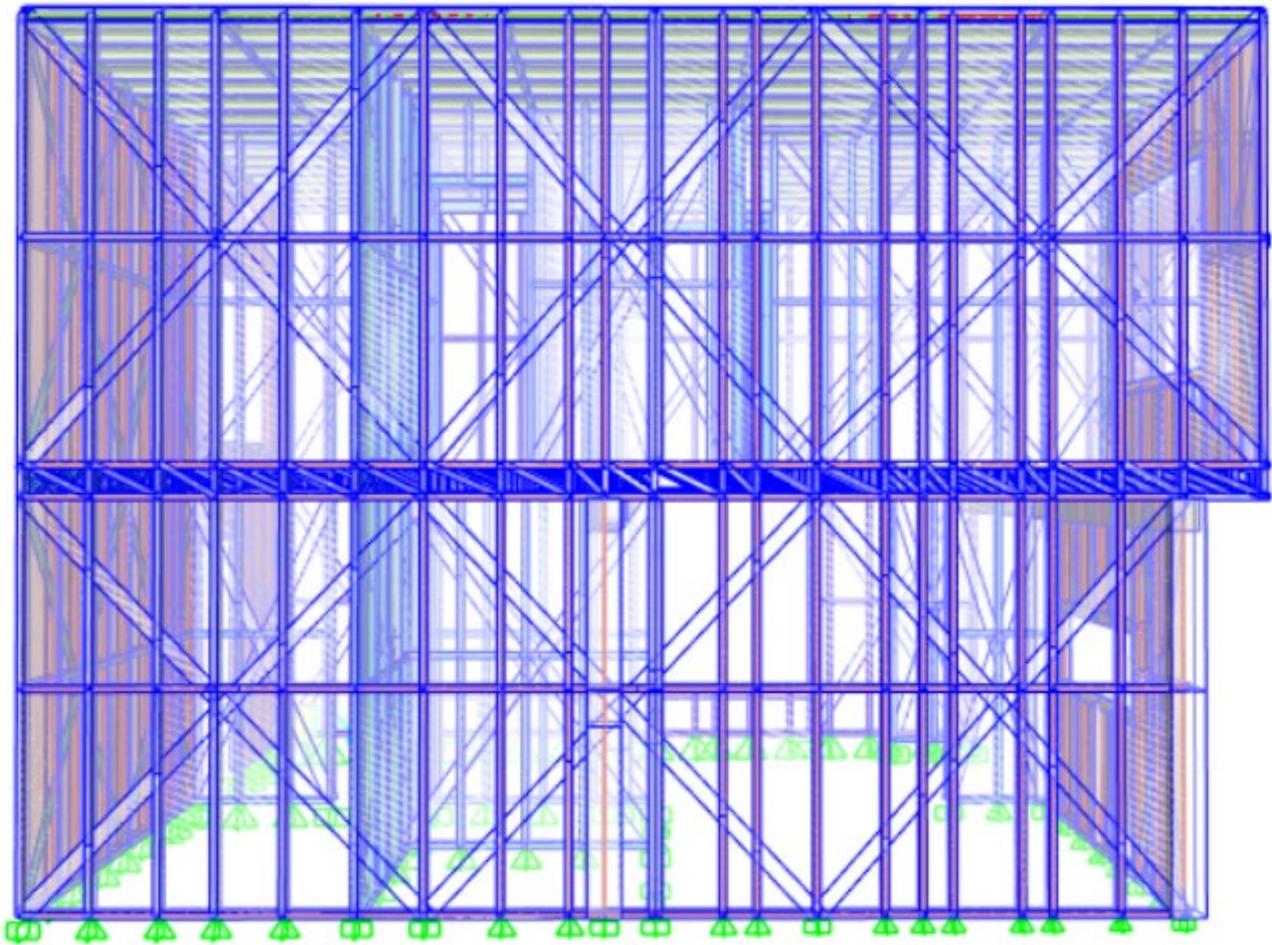
9. ANEXO E: MODELO COMPUTACIONAL 3D SAP2000 CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES



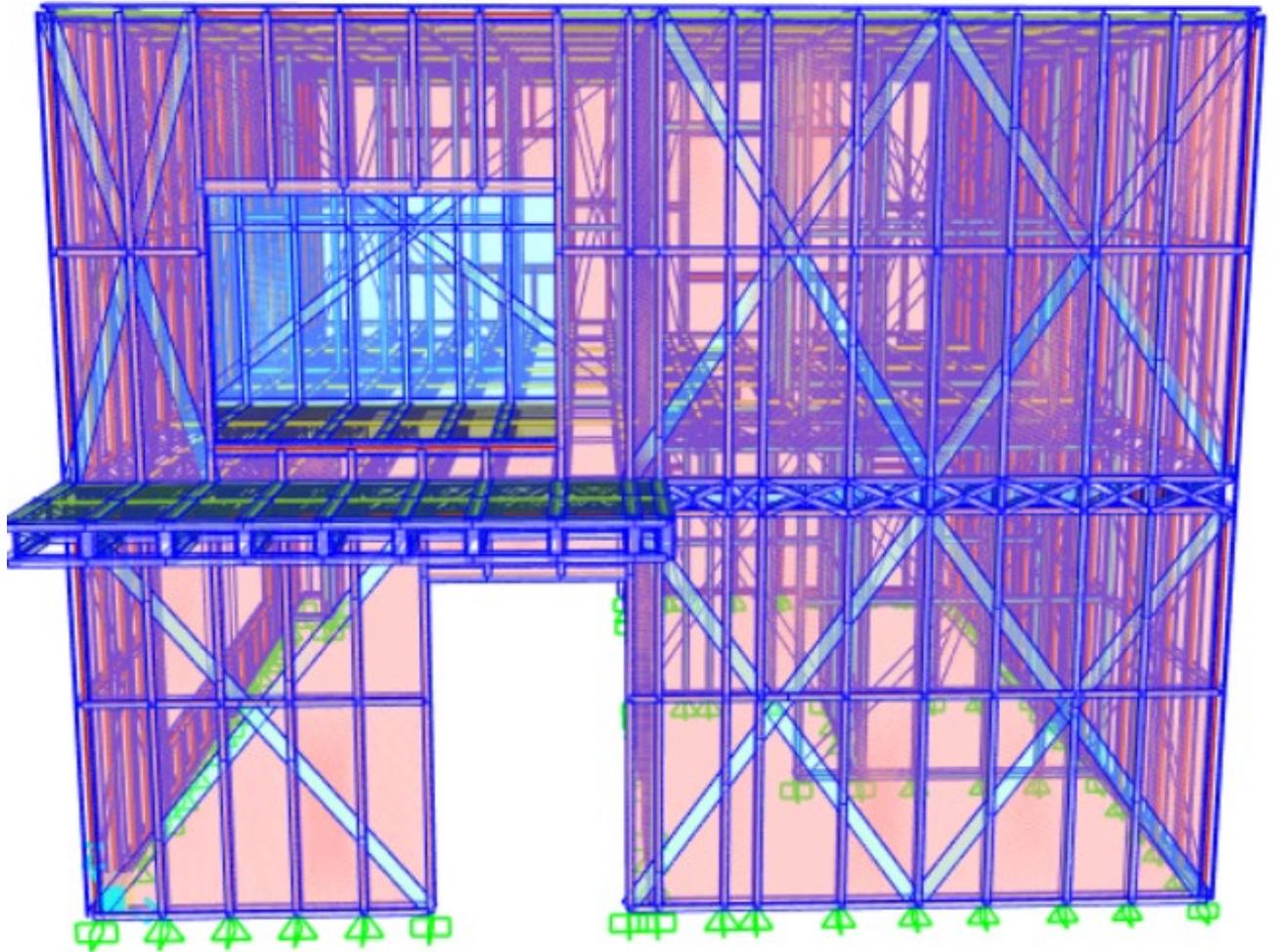
10. ANEXO F: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA LATERAL
IZQUIERDA CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES



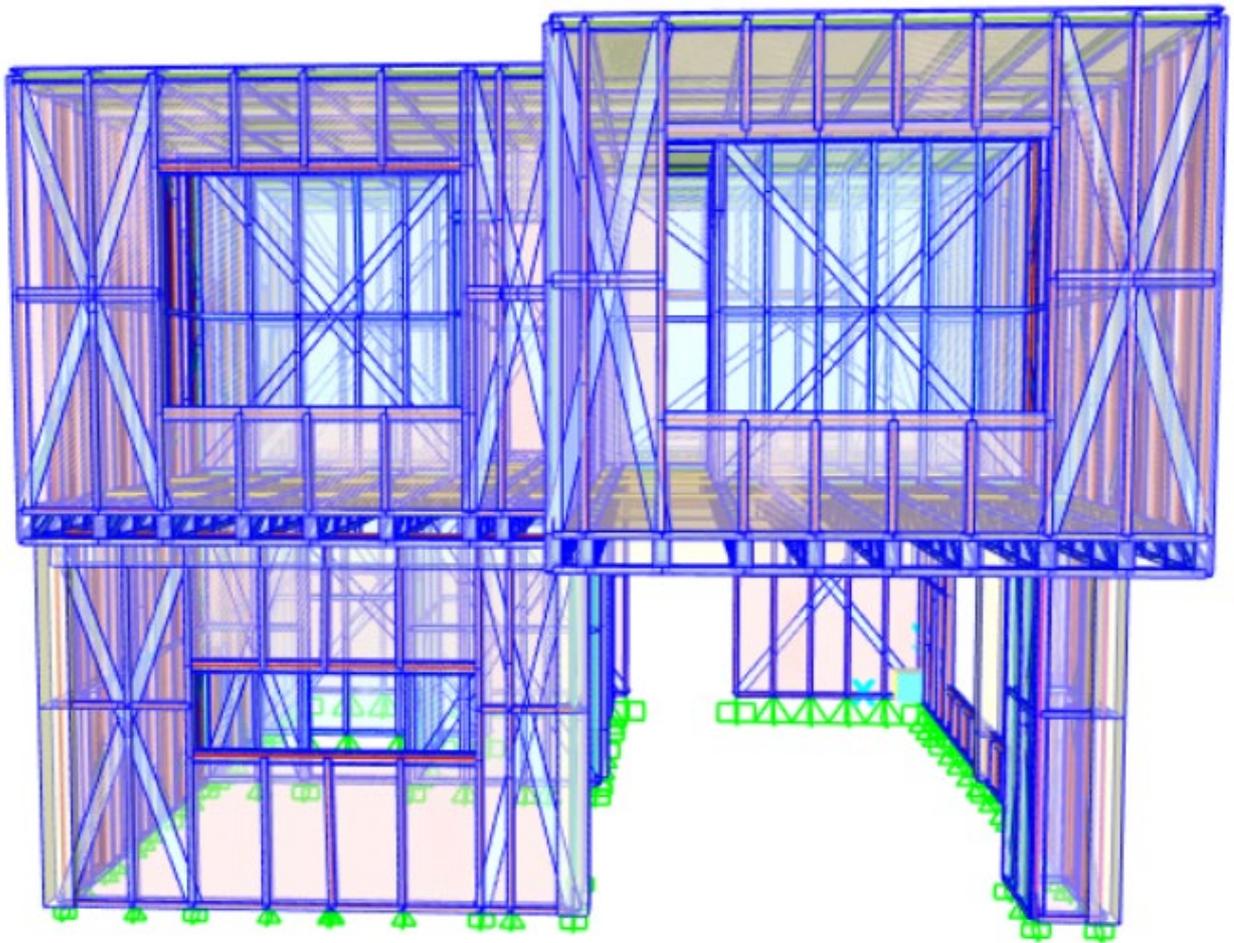
11. ANEXO G: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA LATERAL DERECHA CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES



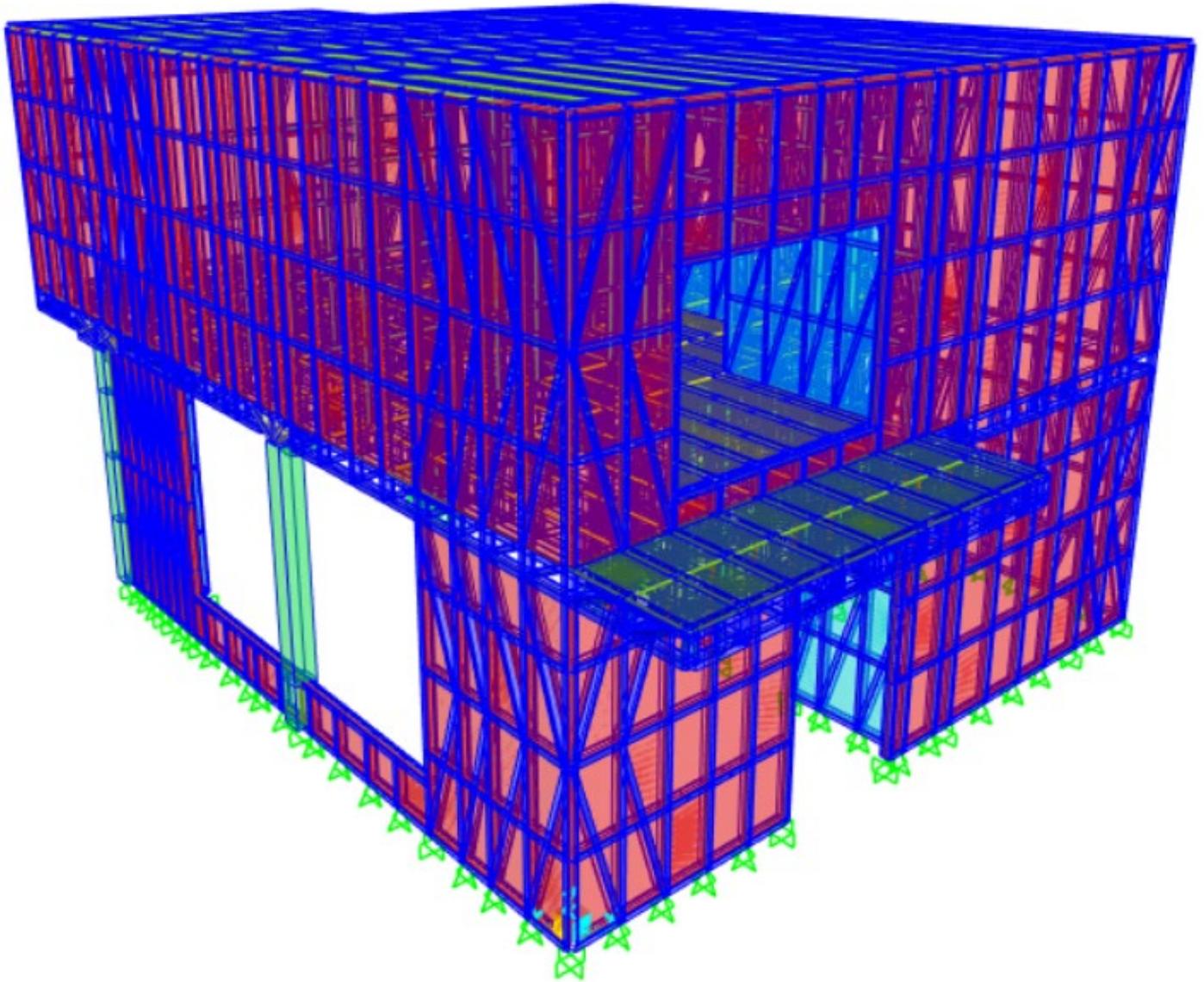
12. ANEXO H: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA FRONTAL
CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES



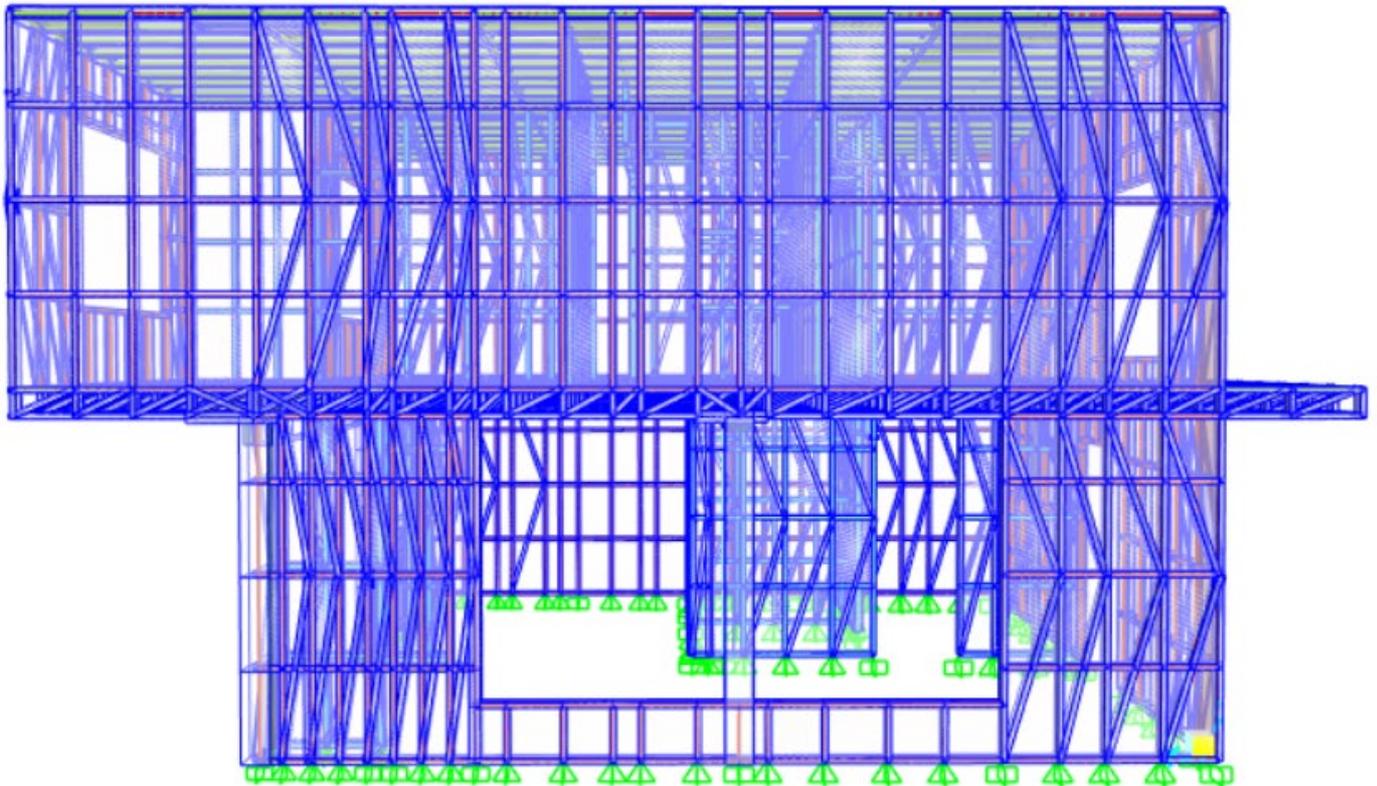
13. ANEXO I: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA POSTERIOR
CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES



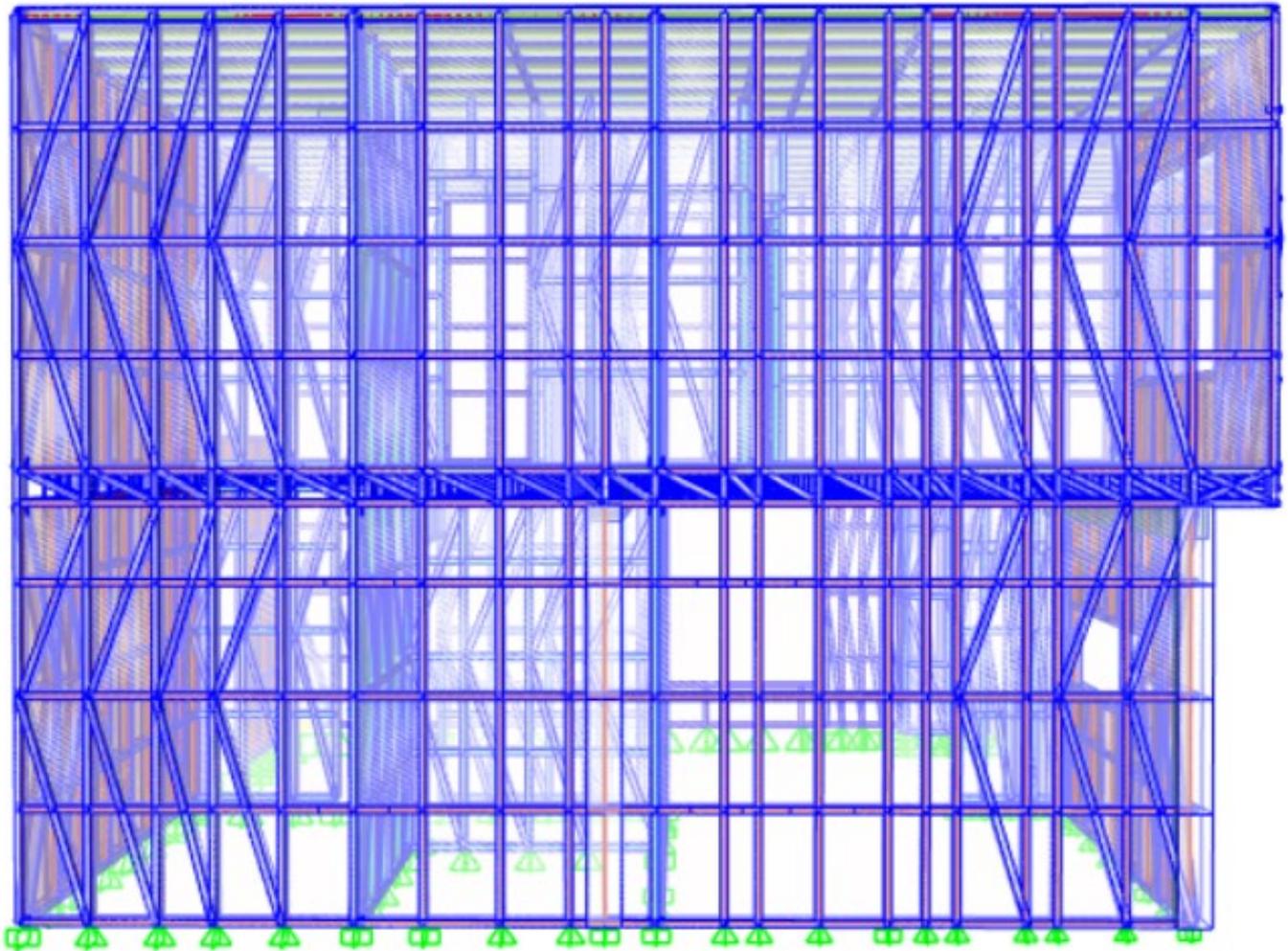
14. ANEXO J: MODELO COMPUTACIONAL 3D SAP2000 CASA CON K-BRACING



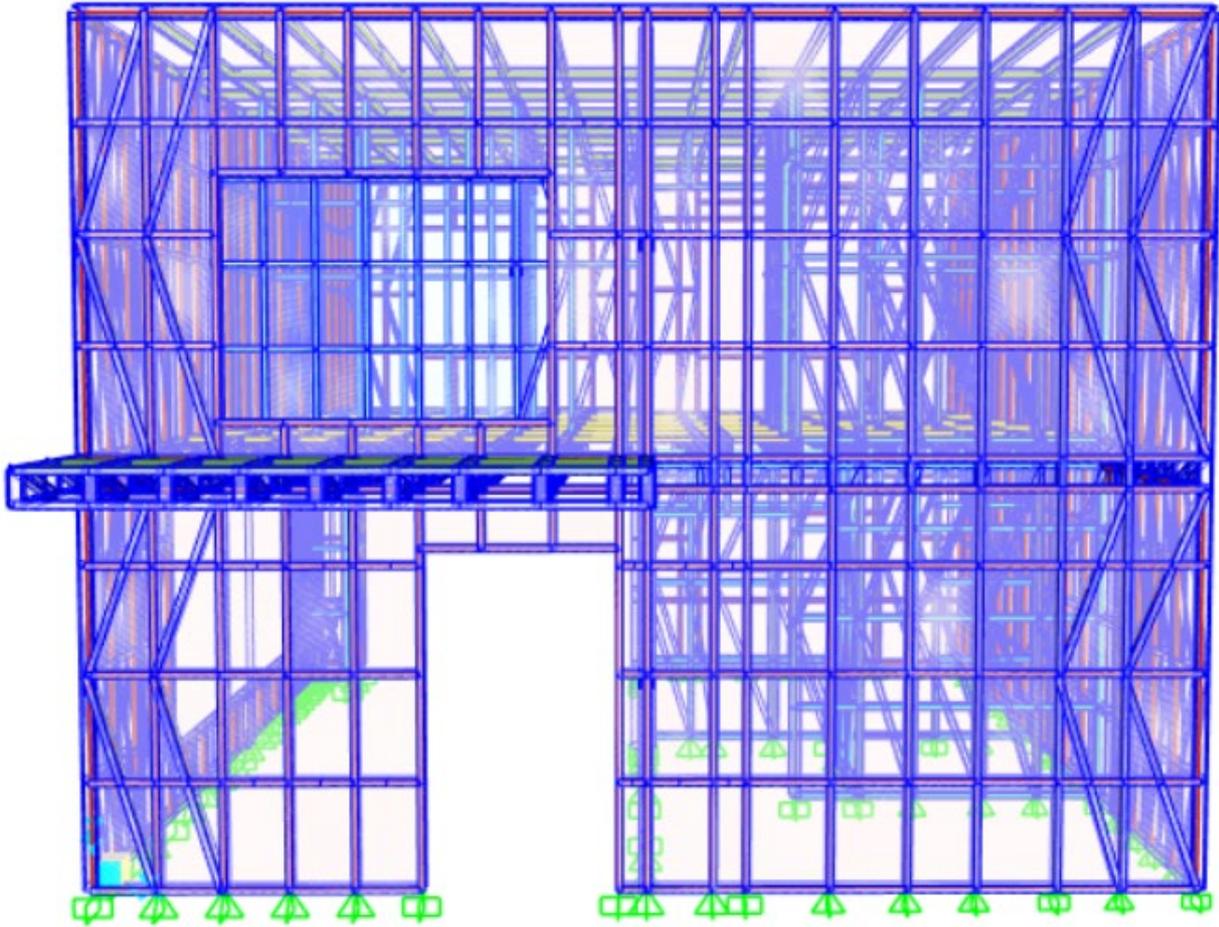
15. ANEXO K: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA LATERAL
IZQUIERDA CASA CON K-BRACING



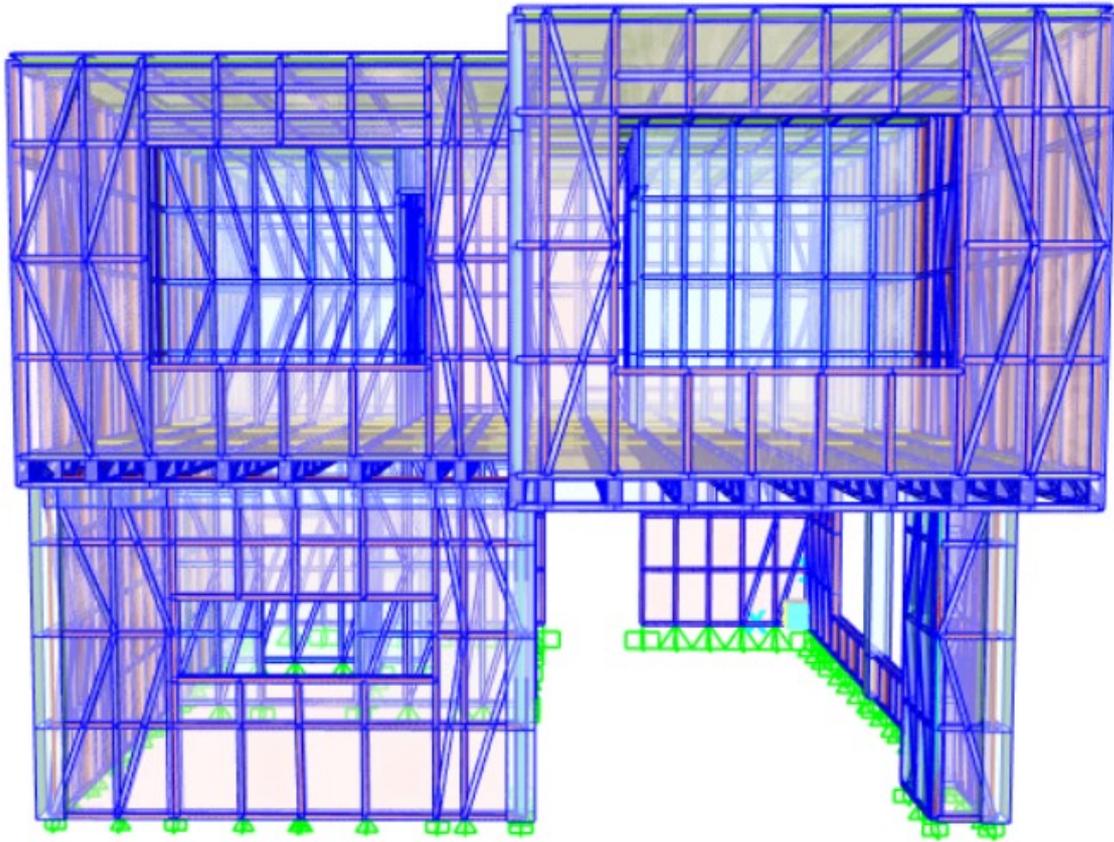
16. ANEXO L: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA LATERAL DERECHA CASA CON K-BRACING



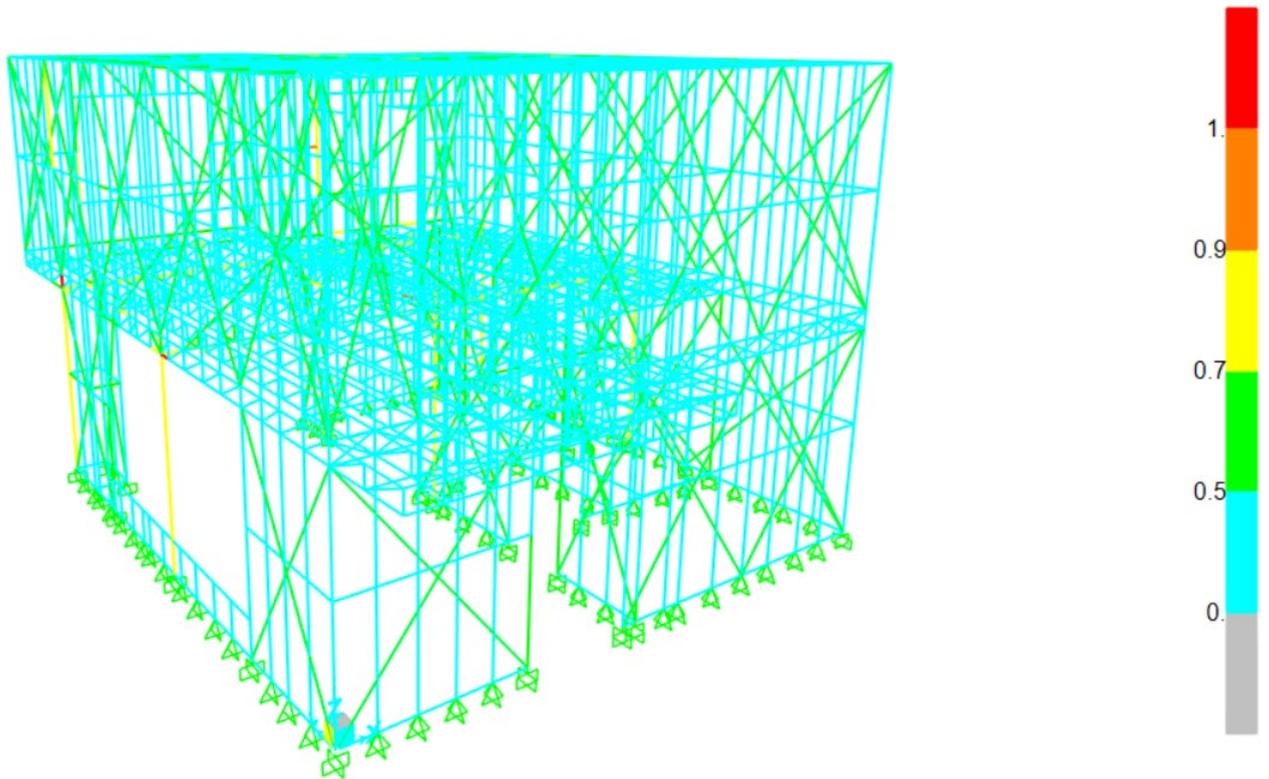
17. ANEXO M: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA FRONTAL
CASA CON K-BRACING



18. ANEXO N: MODELO COMPUTACIONAL SAP2000 FACHADA POSTERIOR CASA CON K-BRACING



19. ANEXO O: MODELO DEMANDA CAPACIDAD SAP2000 CASA CON CRUCES DE SAN ANDRES



20. ANEXO P: MODELO DEMANDA CAPACIDAD SAP2000 CASA CON K-BRACING

