

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA
CONSTRUCTIVO DE STEEL FRAMING INCORPORANDO HORMIGÓN
CELULAR EN CAVIDADES DE PAREDES Y ENTREPISOS**

Oscar Daniel Sánchez Maldonado

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 Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN

DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y VIABILIDAD ECONÓMICA DEL SISTEMA

CONSTRUCTIVO DE STEEL FRAMING INCORPORANDO HORMIGÓN

CELULAR EN CAVIDADES DE PAREDES Y ENTREPISOS

Oscar Daniel Sánchez Maldonado

Nombre del profesor, Título académico

Ing. Gustavo Tapia Rosales, 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: Oscar Daniel Sánchez Maldonado

Código: 00326985

Cédula de identidad: 1721309258

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UNPUBLISHED DOCUMENT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 enfoque del proyecto de investigación se centra en el análisis y la viabilidad económica del sistema constructivo Steel Framing donde se quiere incorporar hormigón celular en cavidades de paredes y entrepisos. Se propone realizar un modelado geométrico analítico en SAP 2000 basado en un proyecto arquitectónico con un análisis estático y dinámico de la estructura teniendo como base la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción). Además, se va a llevar a cabo un análisis de precios unitarios para la elaboración del presupuesto, comparando los costos con y sin la inclusión del hormigón celular.

Palabras clave: Steel Framing, hormigón celular, análisis estructural, viabilidad económica, SAP 2000, cálculo de cargas, presupuesto, APU.

ABSTRACT

The focus of the research project is on the analysis and economic viability of the Steel Framing construction system where cellular concrete is to be incorporated into wall and floor cavities. It is proposed to carry out an analytical geometric model in SAP 2000 based on an architectural project with a static and dynamic analysis of the structure based on the NEC (Ecuadorian Construction Standard). In addition, a unit price analysis will be carried out for the preparation of the budget, comparing the costs with and without the inclusion of cellular concrete.

Key words: Steel Framing, cellular concrete, structural analysis, economic feasibility, SAP 2000, load calculation, budget, APU.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	15
1. Objetivos.....	16
Desarrollo del Tema.....	17
1. Marco Teórico.....	17
2. Metodología.....	18
3. Steel Framing en la construcción	19
4. Hormigón celular en la construcción.....	21
4.1 Densidad.....	21
4.2 Humedad.....	21
4.3 Velocidad de construcción.....	21
4.4 Aislamiento térmico.....	21
4.5 Aislamiento acústico.....	22
4.6 Resistencia al fuego.....	22
5. Aplicaciones del hormigón celular en sistemas constructivos.....	23
5.1 Colocación por tremie.....	23
5.2 Suelos enrasados.....	23
5.3 Albañilería y estructuras.....	23
5.4 Sostenibilidad.....	24
5.5 Eficiencia energética.....	24
5.6 Ahorro de materiales.....	24
5.7 Perturbaciones del sitio.....	24
5.8 Reciclabilidad y reutilización.....	24
5.9 CO ₂	25
5.10 Sistema de piso.....	25
5.11 Entrepiso húmedo.....	25

5.12 Muros portantes de Steel Framing	26
6. Definición de cargas	27
6.1 Carga muerta.....	27
6.1.1 Paredes externas.....	27
6.1.2 Paredes internas.....	28
6.1.3 Cubierta.....	28
6.1.4 Entrepiso.....	29
6.2 Carga viva.....	29
6.2.1 Carga viva residencial y cubierta.....	29
6.3 Carga de granizo.....	30
6.4 Carga sísmica.....	30
6.4.1 Período de vibración de la estructura.....	30
6.4.2 Tipo de suelo, factor Z, coeficiente Fa, Fd, Fs.....	30
6.4.3 Períodos límite de vibración en el espectro sísmico elástico Tc y To.....	31
6.4.4 Espectro de respuesta elástico de aceleraciones Sa.....	31
6.4.5 Coeficiente R de reducción.....	32
6.4.6 Coeficiente del cortante basal.....	32
7. Desarrollo del proyecto en SAP 2000	32
7.1 Modelado de la estructura.....	32
7.2 Patrones, casos y combinaciones de carga.....	34
7.3 Cortante basal y corrección del cortante basal	36
7.4 Modelado de la estructura sin hormigón celular en paredes y entrepiso.....	38
7.4.1 Cortante basal y corrección del cortante basal.....	38
8. Análisis de precios unitarios APU	40
8.1 Estructura principal Steel Frame.....	40
8.2 Estructura principal acero A36.....	40

8.3 Sistema de rigidización lateral cruces San Andrés.	40
8.4 Hormigón celular entrepiso.	40
8.5 Hormigón celular paredes.	41
8.6 Presupuesto total.....	41
9. Análisis comparativo	41
9.1 Análisis económico.	42
9.2 Análisis comparativo por peso de la estructura.	44
9.3 Análisis del cortante basal.	45
9.4 Análisis de la deriva.....	45
9.5 Análisis criterio límite de servicio (IBC).....	47
Conclusiones	49
Referencias bibliográficas	51
Anexo A: Definiciones de carga	53
Anexo B: modelado en sap 2000	61
Anexo C: análisis de precios unitarios	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Carga muerta de paredes externa	28
Tabla 2 Carga muerta de paredes internas	28
Tabla 3 Carga muerta cubierta.....	28
Tabla 4 Carga muerta de entrepiso	29
Tabla 5 Secciones de Steel Framing	33
Tabla 6 Carga muerta y viva distribuida en el entrepiso	35
Tabla 7 Carga muerta, viva y granizo distribuido en la cubierta	35
Tabla 8 Carga sísmica reactiva, sismo estático y dinámico.....	36
Tabla 9 Sismo estático y dinámico corregidos	37
Tabla 10 Carga sísmica reactiva, sismo estático y dinámico.....	39
Tabla 11 Sismo estático y dinámico corregidos	40
Tabla 12 Presupuesto total estructura Steel Framing con hormigón celular	41
Tabla 13 Presupuesto total estructura Steel Framing.....	41
Tabla 14 Comparación económica.....	42
Tabla 15 Comparación en peso.....	44
Tabla 16 Derivas de la estructura de Steel Framing con hormigón celular	46
Tabla 17 Derivas de estructura de Steel Framing	46
Tabla 18 Límites de deflexión Estructura de Steel Framing con hormigón celular	47
Tabla 19 Límites de deflexión Estructura de Steel Framing.....	48
Tabla 20 Datos Técnicos Superboard Fachadas	53
Tabla 21 Datos Técnicos Gypsum Gyplac Placa ST 12.7 mm	53
Tabla 22 Datos Técnicos EnlumaX capa fina 90 de Intaco	53

Tabla 23 Datos Técnicos Panel Metálico Kubiloc Total	54
Tabla 24 Datos Técnicos Kubionda de Kubiec.....	54
Tabla 25 Datos Técnicos Strech Film	55
Tabla 26 Datos Técnicos Malla Electrosoldada.....	55
Tabla 27 Datos Técnicos SikaCeram Porcelanato	55
Tabla 28 Datos Técnicos Porcelanato Maderada Arizona Honet de Graiman	55
Tabla 29 Sobrecarga para Residencias	55
Tabla 30 Cargas Vivas mínimas en cubiertas	56
Tabla 31 Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.....	56
Tabla 32 Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de.....	56
Tabla 33 Comportamiento no lineal de los suelos	57
Tabla 34 Coeficiente de importancia	59
Tabla 35 Coeficiente R para estructuras de acero en frío	59
Tabla 36 Composición y propiedades del hormigón celular	67
Tabla 37 Fuerza de Compresión y módulo de elasticidad del concreto celular.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Paredes de Steel Framing.....	19
Ilustración 2 Pisos de Steel Framing.....	20
Ilustración 3 Transmitancia térmica.....	22
Ilustración 4 Componentes Entrepiso húmedo	26
Ilustración 5 Redistribución de Cargas	26
Ilustración 6 Arriostramiento Cruz de San Andrés.....	27
Ilustración 7 Zonificación Básica de Quito	30
Ilustración 8 Modelado de la estructura en SAP 2000.....	34
Ilustración 9 Combinaciones de carga	34
Ilustración 10 Función NEC – SE – DS – 2015.....	36
Ilustración 11 Estructura modelada sin hormigón celular	38
Ilustración 12 Estructura Steel Framing con Hormigón celular \$/m2	43
Ilustración 13 Estructura Steel Framing \$/m2	43
Ilustración 14 Comparación económica por metro cuadrado de construcción	43
Ilustración 15 Comparación en peso.....	44
Ilustración 16 Comparación del cortante basal	45
Ilustración 17 Comparación de derivas.....	47
Ilustración 18 Análisis límites de servicio para cubiertas y entrepiso	48
Ilustración 19 Entrepiso Húmedo	54
Ilustración 20 Espectro de respuesta elástico de aceleraciones	57
Ilustración 21 Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño	58

Ilustración 22 Espectro de respuesta elástico de aceleraciones	58
Ilustración 23 Razón entre la aceleración espectral y el PGA	58
Ilustración 24 Cortante Basal.....	60
Ilustración 25 Combinaciones de carga de la NEC	60
Ilustración 26 Vista en planta de los planos arquitectónicos	61
Ilustración 27 Elevación de los planos arquitectónicos	61
Ilustración 28 Perfil G 89x40x12.7x1.1 mm	62
Ilustración 29 Perfil G 100x40x12.7x1.1 mm	62
Ilustración 30 Perfil G 151x40x12.7x1.1 mm	62
Ilustración 31 Perfil G 203x40x12.7x1.1 mn.....	63
Ilustración 32 Sección caja Steel Frame 89x89mm.....	63
Ilustración 33 Sección caja Steel Frame 100x100mm.....	63
Ilustración 34 Sección caja Steel Frame 200x200mm.....	64
Ilustración 35 Cruz de San Andrés 65x0.9 mm	64
Ilustración 36 Columna 15x15 cm acero A36	64
Ilustración 37 Viga 10x10 cm acero A36	65
Ilustración 38 Casos de carga	65
Ilustración 39 Material hormigón celular en paredes	66
Ilustración 40 Material hormigón celular entrepiso.....	66
Ilustración 41 Cargas muerta, viva y granizo distribuidas en la cubierta	68
Ilustración 42 Cargas muerta y viva en el entrepiso	68
Ilustración 43 APU Estructura principal Steel Frame.....	69
Ilustración 44 APU Acero A36.....	70
Ilustración 45 APU Cruces de San Andrés	71

Ilustración 46 APU Hormigón celular paredes	72
Ilustración 47 Aux. Hormigón celular paredes	73
Ilustración 48 APU Hormigón celular entrepiso	74
Ilustración 49 Aux, Hormigón celular entrepiso.....	75
Ilustración 50 Límites de deflexión	76

INTRODUCCIÓN

El enfoque del proyecto de investigación se centra en el análisis y la viabilidad económica del sistema constructivo Steel Framing donde se quiere incorporar hormigón celular en cavidades de paredes internas, externas y entrepisos; modelando todo esto en SAP 2000 para simular y analizar las respuestas de la estructura ante cargas muertas, vivas, granizo y sísmicas, además, de un análisis estático y dinámico de la estructura teniendo como base la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción). Además, se va a llevar a cabo un análisis de precios unitarios para la elaboración del presupuesto, comparando los costos con y sin la inclusión del hormigón celular.

El Steel Framing es un sistema constructivo industrializado que se basa en la utilización de perfiles estructurales de acero galvanizado muy liviano que ha ganado popularidad en la industria en los últimos tiempos debido a su ligereza y rapidez de instalación. Sin embargo, la incorporación de hormigón celular en cavidades como las paredes y entrepisos todavía no se ha normalizado, pero podría ofrecer grandes beneficios adicionales en términos de aislamiento térmico, acústico, resistencia estructural y al fuego.

El uso del Steel Framing tiene varias ventajas de igual manera que el hormigón celular con sus diversas aplicaciones en la construcción, sin embargo, el uso combinado de estos dos materiales está muy limitado y existen muchas dudas sobre su viabilidad económica y desempeño estructural. Esta investigación busca explorar estas áreas.

El análisis estructural en edificaciones es una parte fundamental que garantiza que una construcción sea segura y eficiente. Dentro de este contexto, el software SAP 2000 es una

herramienta fundamental debido a la capacidad de modelar y simular el comportamiento estructural de diversos materiales y sistemas constructivos.

Con este modelo realizado se busca una optimización en el diseño estructural de una edificación que va a ser construida en una zona sísmica como Quito, utilizando perfiles que hay en el mercado de Steel Frame e incorporando hormigón celular.

Esta investigación tiene una gran relevancia debido a que la demanda de construcciones sostenibles y eficiente están en constante crecimiento, es por esta razón que se debe investigar alternativas constructivas como el tema que se va a abordar en este trabajo la combinación del Steel Framing y el hormigón celular.

1. Objetivos

- Comprender a profundidad las herramientas, complejidades y limitaciones de modelado del software de cálculo estructural para el sistema constructivo de Steel Framing y otros.
- Analizar los parámetros estructurales que controlan el diseño en este tipo de estructuras para identificar los impactos en los criterios límites de resistencia y servicio.
- Realizar el estudio técnico que permita cuantificar y comparar en términos monetarios la inclusión del hormigón alivianado en el requerimiento de reforzamiento adicional por la adición de masa.

DESARROLLO DEL TEMA

1. Marco Teórico

El Steel Framing es un sistema constructivo industrializado con perfiles de acero estructural galvanizado conformados en frío en conjunto con otros componentes de aislación, división, fijación y terminación. Este sistema tiene características muy especiales como su flexibilidad, durabilidad y eficiencia energética en comparación con los sistemas estructurales tradicionales.

El hormigón celular es un material especial para la construcción debido a que es muy liviano y se pueden producir en forma de bloques o paneles para la construcción de edificios residenciales o comerciales. Es una mezcla que está conformada de material silíceo pulverizado, cemento, agua y un aditivo que es incluso de aire; la característica principal es que es un material ligero que contiene celdas de aire que se encuentran distribuidas uniformemente en la mezcla lo que ofrece varias propiedades importantes.

El ACI 523.3R-14 “Guía para Concretos Celulares por encima de 800 kg/m³”, el hormigón celular posee varias aplicaciones dependiendo su densidad y adaptándose a diferentes usos como material de relleno en lugares de agua estancada, rellenos de pisos no estructurales, elementos de mampostería, paneles de pared, aislamiento térmico y acústico, protección contra incendios, paredes prefabricadas o fundidas en el sitio que pueden ser portantes.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) la cual tiene las especificaciones para calcular las cargas muertas, vivas, de viento y sísmicas para poder calcular el cortante basal y poder analizar si la estructura cumple con estas especificaciones.

Según la ILAFA la construcción de pisos y paredes en el sistema Steel Framing se basa en un sistema modular y liviano el cual permite que el montaje tenga una eficiencia alta. Los detalles constructivos se diseñan para que sean seguros en la estabilidad estructural, resistencia al

fuego, aislamiento térmico y acústico. El sistema estructural Steel Framing en combinación con el hormigón celular en teoría promete reducir las cargas muertas, y mejorar el comportamiento de la estructura en acción de las cargas sísmicas y ofrecer eficiencia energética.

2. Metodología

Como principal criterio de donde se buscó la información para el desarrollo del proyecto, fue seleccionar fuentes como normativas nacionales e internacionales; para el hormigón celular en la fuente que se va a basar la investigación es el ACI 523.3R-14 “Guía para Concretos Celulares por encima de 800 kg/m³”, para el Steel Framing la guía principal es el AISI S100-20 “Norma Norteamericana para estructuras de acero conformadas en frío”, también en la ILAFA “Manual de Ingeniería de Steel Framing” y para calcular las cargas de la estructura se basó en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC la cual va a gobernar para realizar los cálculos.

Para la geometría de los perfiles especiales abiertos livianos pre galvanizados y conformados en frío se investigó en la norma AISI S240-20.

La investigación también incluye fuentes electrónicas de artículos de constructoras que trabajan directamente con Steel Framing y con hormigón celular, investigaciones y trabajos de titulación.

Se dejaron fuera los estudios que sólo analizan estructuras con hormigón convencional, o enfoque que no están vinculados al Steel Framing. También se dejó de un lado el estudio de cargas sísmicas por parte de AISI S100 debido a que la estructura se va a construir en el Ecuador la norma que va a regir es la Norma Ecuatoriana de la Construcción el capítulo NEC-SE-DS: Peligro Sísmico.

3. Steel Framing en la construcción

La NEC se basa en normas internacionales como la AISI S200-20 la cual regula Steel Framing, se caracteriza por tener una eficiencia alta en zonas sísmicas debido a su peso ligero.

Este sistema constructivo está compuesto de un conjunto de perfiles de chapa de acero galvanizado con espesores muy bajos que están separados entre sí a una medida especificada dependiendo su aplicación.

Según la ILAFA para la construcción de paredes se usan perfiles tipo C y U de acero galvanizado, estos se fijan en sus extremos, los perfiles U se aplican como soleras en la parte superior e inferior, mientras que los perfiles C se utilizan como montantes verticales. Los montantes se colocan a una distancia de 40 a 60 cm, esto va a depender de la carga estructural a la que va a estar sometida y que recubrimientos van a usar. En ventanas, puertas o puntos críticos se coloca un refuerzo adicional para asegurar su resistencia. (Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero)

Los perfiles se unen entre sí por tornillos autoperforantes y en paredes portantes se utilizan tornillos de alta resistencia. Para anclarlos al piso se necesitan pernos de anclaje o tornillos expansivos que es un sistema de fijación mecánica.



Ilustración 1 Paredes de Steel Framing

Para la construcción de pisos se usan vigas de acero galvanizado tipo C o I esto va a depender de las cargas calculadas, las vigas principales están a una distancia de 60 cm estas distribuyen las cargas al sistema estructural y las secundarias entre 40 a 60 cm dependiendo de las cargas soporta el revestimiento del piso. Las vigas se conectan a las paredes mediante tornillos autoperforantes de alta resistencia, en algunos casos se colocan refuerzos diagonales para mejorar la rigidez del piso.

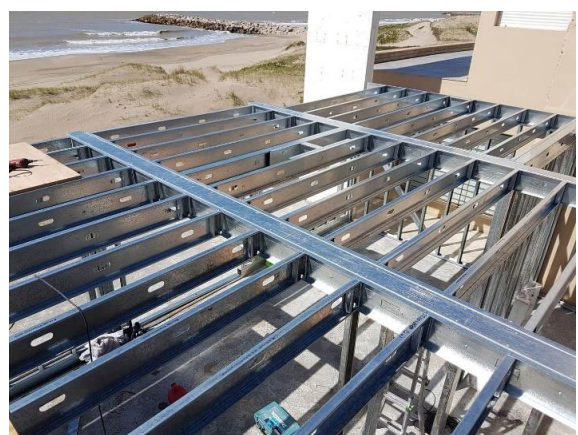


Ilustración 2 Pisos de Steel Framing

La norma ASTM A1003 es la que cubre las especificaciones mecánicas de las láminas de acero que se utilizan en el Steel Framing.

Los aceros se dividen en tres categorías que son:

- Tipo H (alta ductilidad)
- Tipo L (baja ductilidad)
- NS (no estructural)

4. Hormigón celular en la construcción

El hormigón celular presenta varias propiedades las cuales influyen de gran manera en la construcción, estas propiedades son las siguientes:

4.1 Densidad.

La baja densidad del hormigón celular permite optimizar el diseño estructural ya que reduce las cargas que se transmiten a las vigas, columnas y cimentaciones.

“Los esfuerzos laterales a los que se ven sometidos los edificios en caso de actividad sísmica son proporcionales al peso de la construcción. A menor peso de la estructura, menor será el esfuerzo horizontal que recibirá, por lo que las estructuras de hormigón celular permiten minimizar las cargas sísmicas” (Rengifo & Verónica, 2013)

4.2 Humedad.

El hormigón celular solo absorbe agua a través de la materia sólida esto se debe a que dispone de una estructura de poros cerrados; lo que hace que el proceso de absorción y capilaridad sea lenta cuando el material entra en contacto con el agua. (American Concrete Institute, 2014)

4.3 Velocidad de construcción.

No se necesita vibrar el hormigón celular ya que se distribuye uniformemente y llena todos los espacios por completo con la misma densidad de colado. (American Concrete Institute, 2014)

4.4 Aislamiento térmico.

El agente espumante dentro de la mezcla crea gran variedad de alvéolos que son los que contienen millones de micro células de aire que se encuentra repartidas de forma regular; lo

que se obtiene un material termoaislante diez veces mayor que el hormigón convencional, además, de proporcionar mayor confort térmico y ahorrando energía en la calefacción y aire acondicionado. (American Concrete Institute, 2014)

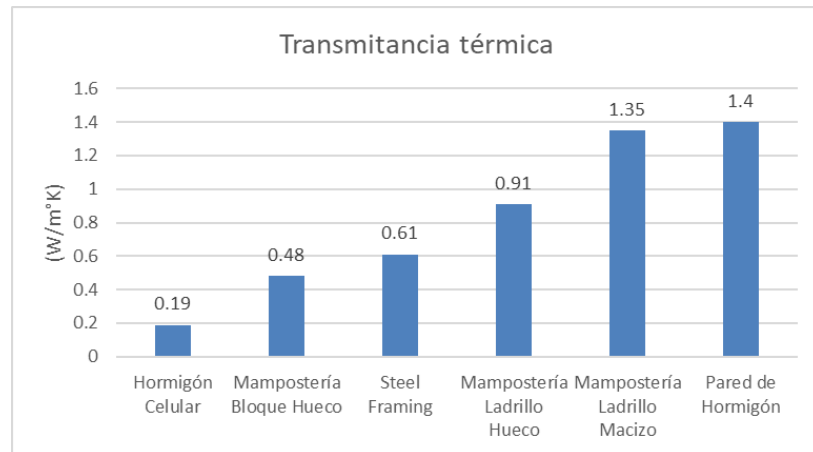


Ilustración 3 Transmitancia térmica

Esta imagen muestra una comparación de la transmitancia térmica que poseen distintos materiales de construcción, en estos materiales se encuentra en Steel Framing y el hormigón celular que van a utilizarse en este proyecto.

4.5 Aislamiento acústico.

Lo que hace que el hormigón celular sea un excelente aislante acústico y tenga una buena absorción de energía acústica es la porosidad del material. (American Concrete Institute, 2014)

4.6 Resistencia al fuego.

Tiene un bajo coeficiente de conductividad térmica (el flujo de calor a través del material es bajo) y es un material incombustible. En caso de un incendio no se fisura, no estalla y no genera ninguna emanación gaseosa. (American Concrete Institute, 2014)

5. Aplicaciones del hormigón celular en sistemas constructivos

5.1 Colocación por tremie.

Hormigones celulares con densidad superior a 1040 kg/m³ se considera como material de relleno en lugares de agua estancada. (American Concrete Institute, 2014)

5.2 Suelos enrasados.

Para las estructuras de madera se usa concreto celular con densidades entre 1600 – 1760 kg/m³, reemplazan la segunda capa de madera y son rellenos de piso no estructurales. (American Concrete Institute, 2014)

La resistencia a la compresión de los rellenos de piso puede variar entre 6.9 – 13.8 MPa.

5.3 Albañilería y estructuras.

Para aplicaciones estructurales y de mampostería se utiliza concretos celulares con densidades superiores a 800 kg/m³. Las aplicaciones incluyen paneles de techo, elementos de mampostería, paneles de pared y piso para elementos de vivienda o paredes acústicas prefabricadas. (American Concrete Institute, 2014)

El hormigón celular se puede aplicar en diferentes densidades. Por ejemplo, en densidades entre 1100-1400 kg/m³, es adecuado para paredes portantes o no portantes, así como para nivelado de pisos. En densidades más bajas, puede utilizarse como aislante térmico o acústico. (American Concrete Institute, 2014)

5.4 Sostenibilidad.

Muchas características del hormigón celular contribuyen a la sostenibilidad como su excelente durabilidad, resistencia a las llamas del fuego, propagación del humo, congelación y descongelación. Como requiere de un mantenimiento mínimo es una solución perfecta para la construcción de proyectos sostenibles a largo plazo.

5.5 Eficiencia energética.

Los muros y techos de hormigón celular proporcionan un aislamiento térmico eficaz en las estructuras lo que se reduce significativamente en los costos asociados a la calefacción y aire acondicionado.

5.6 Ahorro de materiales.

El hormigón celular contiene del 50 – 80 % de aire por volumen por lo que ahorra recursos naturales ya que se necesita poco material para producir el hormigón.

5.7 Perturbaciones del sitio.

La preparación del suelo para verter el hormigón consiste en una excavación menor y perfilado de la subrasante.

5.8 Reciclabilidad y reutilización.

El hormigón celular cuando cumple su ciclo de servicio puede ser utilizado como agregado de concreto, también como material de relleno.

5.9 CO2.

El hormigón celular absorbe CO₂ durante su vida útil lo que compensa el CO₂ que se libera durante la producción del cemento Portland. (American Concrete Institute, 2014)

5.10 Sistema de piso.

La estructura de entrepiso debe ser dividida en varios elementos estructurales equidistantes (vigas) haciendo que cada uno resista una porción de la carga total.

A diferencia de un entrepiso de hormigón, el entrepiso de Steel Framing transmite la carga que es recibida por cada viga puntualmente a su montante que está conectado y sirve como apoyo; se debe lograr el concepto de estructura alineada, lo que significa que las almas de las vigas deben coincidir con las almas de los montantes que se encuentran por debajo y encima del entrepiso. (ConsulSteel)

5.11 Entrepiso húmedo.

También llamado “Contrapiso Flotante” está constituido por una chapa ondulada atornillada a las vigas, este tiene la función de rigidizar la estructura y como un encofrado perdido para el colado del hormigón no estructural el cual va a materializar el contrapiso. Este contrapiso tiene un espesor de 4 – 6 cm que va a actuar como base para la colocación de algún tipo de piso como alfombra, cerámica, etc.

Los componentes del entrepiso húmedo son los siguientes:

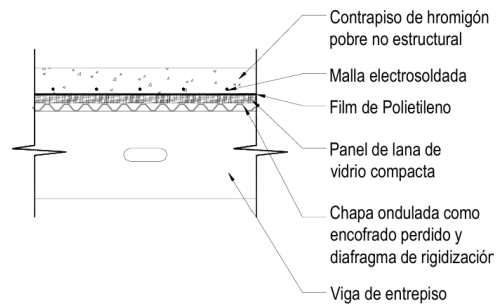


Ilustración 4 Componentes Entrepiso húmedo

5.12 Muros portantes de Steel Framing.

Los paneles portantes están compuestos por elementos verticales denominados “Montantes” y elementos horizontales transversales denominados “Soleras”. Los montantes son los encargados de transferir las cargas verticales por contacto directo a través de sus almas, debido al concepto de estructura alineada. Las vigas de entrepiso deben estar alineadas con los montantes como se ve en el siguiente gráfico:

Las aberturas para puertas o ventanas requieren de elementos estructurales denominados dinteles que se encargan de redistribuir la carga de los montantes que son interrumpidos a los montantes denominados “jambas” que son los que delimitan el vano lateralmente.

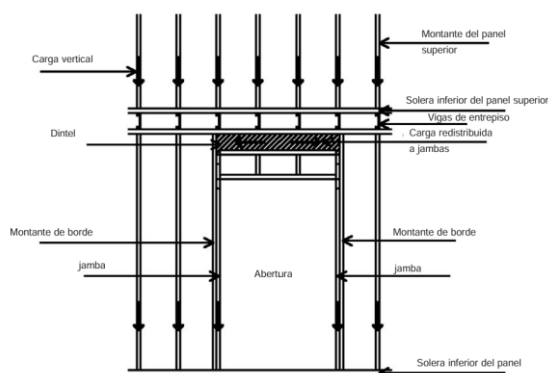


Ilustración 5 Redistribución de Cargas

Para estabilizar la estructura de Steel Framing el método más utilizado es el arriostramiento en “X” o denominado “Cruz de San Andrés”, lo cual consiste en colocar cintas de acero galvanizado fijado sobre la superficie exterior de las paredes.



Ilustración 6 Arriostramiento Cruz de San Andrés

6. Definición de cargas

6.1 Carga muerta.

Dentro de las paredes externas, internas, cubierta y el entrepiso; se debe tener en cuenta que el peso propio de la estructura de Steel Framing y el hormigón celular ya se van a establecer dentro del modelado de la estructura de SAP 2000.

6.1.1 Paredes externas.

Los materiales considerados para las paredes externas son: fibrocemento de 10 mm se tomó Superboard Fachadas, Gypsum de 12.7 mm se eligió la placa Gyplac ST que es extra-liviana, enlucido de 3 a 5 cm de la empresa Intaco el producto Enlumax capa fina 90, instalaciones y otros. Con todo esto la carga muerta para paredes exteriores es la siguiente siguientes:

Tabla 1 Carga muerta de paredes externa

PAREDES PORTANTES EXTERNAS	
COMPONENTE	CARGA (kg/m ²)
Fibroemento 10 mm	17.17
Gypsum 12.7 mm	6.8
Basecoat 5 mm	5.7
Instalaciones y otros	15
TOTAL	44.67

6.1.2 Paredes internas.

Los materiales considerados para las paredes internas son: Gypsum de 12.7 mm se utiliza para las dos caras de la pared, instalaciones y otros. La carga muerta para las paredes interiores es la siguiente:

Tabla 2 Carga muerta de paredes internas

PAREDES PORTANTES INTERNAS	
COMPONENTE	CARGA (kg/m ²)
Gypsum 12.7 mm	13.6
Instalaciones y otros	15
TOTAL	28.6

6.1.3 Cubierta.

Para la cubierta los materiales considerados son los siguientes: Gypsum de 12.7 mm, panel metálico Kubiloc Total de la empresa Kubiec con un espesor de 0.50 mm un ancho útil de 333 mm y pre pintado, instalaciones y otros. La carga muerta para la cubierta es la siguiente:

Tabla 3 Carga muerta cubierta

CUBIERTA	
COMPONENTE	CARGA (kg/m ²)
Panel Metálico	7.16
Gypsum 12.7 mm	6.8
Instalaciones y otros	15
TOTAL	28.96

6.1.4 Entrepiso.

Para el entrepiso se consideraron los siguientes materiales: la chapa metálica ondulada Kubionda de la empresa Kubiec con un espesor de 9.59mm y Galvalume, panel de lana de vidrio con espesor de 63.5 mm de la empresa Aislantes Ec, película de Polietileno Strech Film, Malla electrosoldada de diámetro de 4 mm y separación de 15 cm, Gypsum de espesor de 12.7 mm, mortero de pegado de 1 cm SikaCeram Porcelanato de la empresa Sika, porcelanato Maderado Arizona Honey de la empresa Graiman, instalaciones y otros. La carga muerta para el entrepiso es la siguiente:

Tabla 4 Carga muerta de entrepiso

ENTREPISO	
COMPONENTE	CARGA (kg/m ²)
Chapa metálica ondulada	4.56
Panel lana de vidrio	0.7
Película de polietileno	0.0185
Malla electrosoldada	1.32
Gypsum 12.7 mm	6.8
Instalaciones y otros	15
Mortero pegado 1cm	18
Porcelanato	25.93
TOTAL	72.3285

6.2 Carga viva.

6.2.1 Carga viva residencial y cubierta.

La tabla 9 de la NEC cargas no sísmicas muestra las sobrecargas mínimas uniformemente distribuidas, se toma el valor de viviendas (unifamiliares y bifamiliares) de 2 kN/m². Para la carga viva en cubiertas dentro de la misma tabla es de 0.70 kN/m², esta carga no se puede reducir debido a la región andina en la que nos encontramos. (NEC-SE-CG, 2015)

6.3 Carga de granizo.

Dentro del proyecto la cubierta tiene una pendiente del 2%, entonces según la NEC la carga de granizo es de 1.0 kN/m². (NEC-SE-CG, 2015)

6.4 Carga sísmica.

6.4.1 Período de vibración de la estructura.

Con ayuda del programa SAP 2000 el período fundamental de la estructura es de $T=0.08139$.

6.4.2 Tipo de suelo, factor Z , coeficiente F_a , F_d , F_s .

Un factor importante para calcular la carga sísmica de la estructura es el tipo de suelo y la zona sísmica donde se va a construir la estructura.

Como se observa en el siguiente gráfico gran parte de Quito está conformado por el suelo Cangagua que es un tipo de suelo “D”; y la estructura va a estar ubicada en Quito y por la Tabla 19 de la NEC capítulo diseño cargas sismo resistente se tiene un factor Z de 0.4. (NEC-SE-DS, 2015)

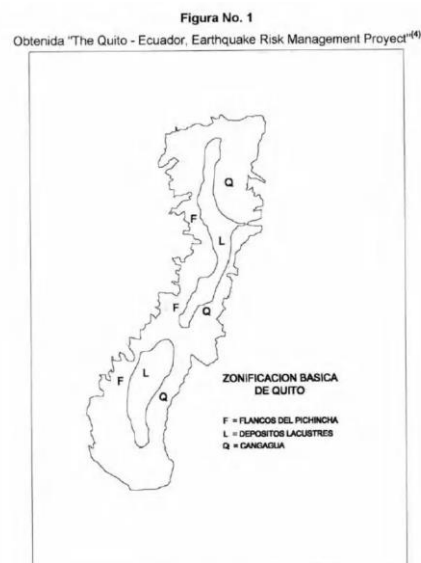


Ilustración 7 Zonificación Básica de Quito

Además, se deben considerar los siguientes coeficientes (NEC-SE-DS, 2015):

- F_a Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto: $F_a=1.2$
- F_d amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca: $F_d=1.19$
- F_s comportamiento no lineal de los suelos: $F_s=1.28$

6.4.3 Períodos límite de vibración en el espectro sísmico elástico T_c y T_0 .

Con los coeficientes seleccionados anteriormente se puede obtener los períodos límite de vibración en el espectro sísmico elástico de la siguiente manera:

$$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_0 = 0.10(1.28) \frac{(1.19)}{(1.2)}$$

$$T_0 = 0.127 \text{ segundos}$$

$$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

$$T_c = 0.55(1.28) \frac{(1.19)}{(1.2)}$$

$$T_c = 0.698 \text{ segundos}$$

6.4.4 Espectro de respuesta elástico de aceleraciones S_a .

Con los resultados obtenidos, tenemos que T es menor que T_c y se puede calcular el espectro de respuesta elástico de aceleraciones de la siguiente manera:

$$S_a = \eta Z F_a$$

Como la región donde se va a construir la estructura es la región Sierra la razón entre la aceleración espectral y el PGA $\eta = 2.48$ (NEC-SE-DS, 2015), entonces se tiene:

$$S_a = 2.48 * 0.4 * 1.2$$

$$S_a = 1.19$$

6.4.5 Coeficiente R de reducción.

Según la tabla 3 sistemas estructurales de viviendas resistentes a cargas sísmicas de la NEC el capítulo viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m (NEC-SE-DS, 2015), el coeficiente R para estructuras de acero en frío $R=1.5$. (NEC-SE-VIVIENDA, 2015)

6.4.6 Coeficiente del cortante basal.

Para calcular el coeficiente del cortante basal se debe tomar en cuenta el coeficiente de importancia, la configuración de elevación y planta que van a tener un valor de 1; con esto se puede calcular de la siguiente manera:

$$V = \frac{IS_a(Ta)}{R\Phi_P\Phi_E} W$$

$$V = \frac{1 * 1.19}{1.5 * 1 * 1} * W$$

$$V = 0.7936 * W$$

Este valor del coeficiente del cortante basal se lo va a utilizar para el análisis estático de la estructura al momento de diseñarlo en SAP 2000.

7. Desarrollo del proyecto en SAP 2000

7.1 Modelado de la estructura.

Los planos arquitectónicos fueron seleccionados y abastecidos por el tutor para modelarlo en el programa SAP 2000, se tomó en cuenta la ubicación de las paredes donde van a ir la estructura de Steel Framing.

Para los montantes, jambas, conectores verticales se escogieron los siguientes perfiles:

Tabla 5 Secciones de Steel Framing

Sección (mm)	Material
G 89x40x12.7x1.1	A653SQGr50
G 100x40x12.7x1.1	A653SQGr50
G 151x40x12.7x1.1	A653SQGr50
G 203x40x12.7x1.1	A653SQGr50
Box section 89x89	A653SQGr50
Box section 100x100	A653SQGr50
Box section 200x200	A653SQGr50

Para las vigas, soleras, dinteles, entrepiso y elementos horizontales se escogió un perfil G 203x40x12.7x1.1 mm y sección de caja de 200x200 mm con el material A653SQGr50 que es el Steel Framing.

Para ciertos puntos críticos donde iban a recibir mayor carga se modeló una columna de 15x15 cm y vigas de 10x10 cm con espesor de 3 mm de Acero A36.

Para las paredes interiores y exteriores se modeló una sección tipo área con las características de un hormigón celular con un espesor de 6.35 cm y una densidad de 1200 kg/m³ que se escogió después de analizar la literatura; además, en la tabla 6.2.2 de ACI 523.3R-14 se tomó un módulo de elasticidad de 3.38 GPa y una fuerza de compresión de 4.5 MPa. (American Concrete Institute, 2014)

De la misma manera, se modeló para el entrepiso una sección tipo área con las características del hormigón celular con una densidad de 1000 kg/m³, un espesor de 6 cm, el módulo de elasticidad de 2.05 GPa y la fuerza de compresión de 3.5 MPa. (American Concrete Institute, 2014)

Para las cruces de San Andrés se modeló una sección de 65x0.9 mm con un material acero A36 y se modificó para que trabajen solo a tensión.

Con todas las secciones establecidas se modeló la estructura colocando los perfiles dependiendo las exigencias de las cargas; la estructura modelada quedó de la siguiente manera:

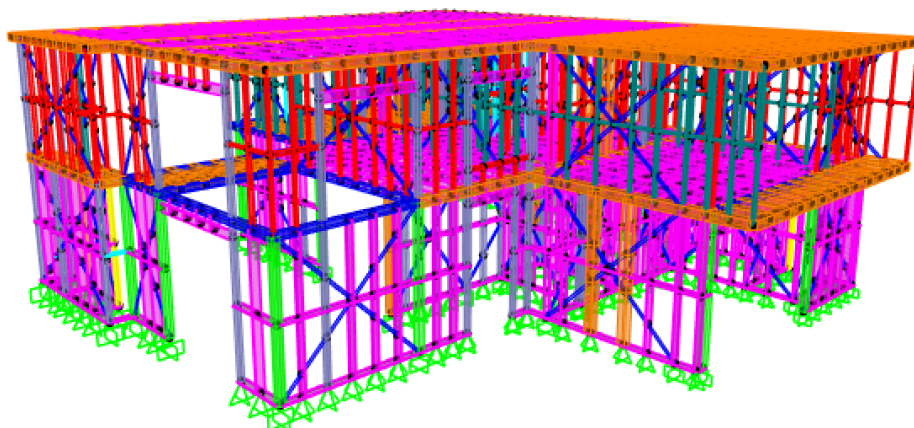


Ilustración 8 Modelado de la estructura en SAP 2000

7.2 Patrones, casos y combinaciones de carga.

Para los patrones de carga se eligieron las cargas: muerta, viva, granizo y el sismo estático en la dirección X y Y, donde se debe colocar el coeficiente del cortante basal que se calculó anteriormente.

Para los casos de carga se seleccionan los que se colocaron para los patrones de carga que van a estar dentro del análisis estático; además, se selecciona dos nuevos casos de carga que van a analizar la parte dinámica de la estructura con la respuesta del espectro y de igual manera se debe crear para el sentido X y Y.

Con los patrones y casos de cargas definidas se crean las combinaciones de carga que están en la NEC cargas no sísmicas. (NEC-SE-CG, 2015)

Combinaciones de Carga NEC	
Combinación 1	1.4 D
Combinación 2	1.2 D + 1.6 L + 0.5 S
Combinación 3	1.2 D + 1.6 S + L
Combinación 4	1.2 D + L + 0.5 S
Combinación 5	1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S
Combinación 6	0.9 D + 1.0 E

Ilustración 9 Combinaciones de carga

Ya modelado la sección de área del entepiso y la cubierta; analizado las cargas por metro cuadrado que va a soportar la estructura se colocó de la siguiente manera:

Tabla 6 Carga muerta y viva distribuida en el entepiso

PATRÓN DE CARGA	COMPONENTE	CARGA (kg/m2)
MUERTA (ENTREPISO)	Chapa metálica ondulada	4.6
	Panel lana de vidrio	0.7
	Película de polietileno	0.0
	Malla electrosoldada	1.3
	Gypsum 12.7 mm	6.8
	Instalaciones y otros	15.0
	Mortero pegado 1cm	18.0
	Porcelanato	25.9
MUERTA (CUBIERTA)	Panel Metálico	7.2
	Gypsum 12.7 mm	6.8
	Instalaciones y otros	15.0
MUERTA (PAREDES EXTERNAS)	Fibrocemento 10 mm	17.2
	Gypsum 12.7 mm	6.8
	Basecoat 5 mm	5.7
	Instalaciones y otros	15.0
MUERTA (PAREDES INTERNAS)	Gypsum 12.7 mm	13.6
	Instalaciones y otros	15.0
CARGA MUERTA TOTAL		175
CARGA VIVA		200

Tabla 7 Carga muerta, viva y granizo distribuido en la cubierta

PATRÓN DE CARGA	COMPONENTE	CARGA (kg/m2)
MUERTA (CUBIERTA)	Panel Metálico	7.2
	Gypsum 12.7 mm	6.8
	Instalaciones y otros	15.0
CARGA MUERTA TOTAL		29
CARGA VIVA		70
CARGA DE GRANIZO		100

Por último, se creó la función de espectro de respuesta con la Norma Ecuatoriana de la Construcción Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente NEC – SE – DS – 2015 y colocamos los parámetros calculados.

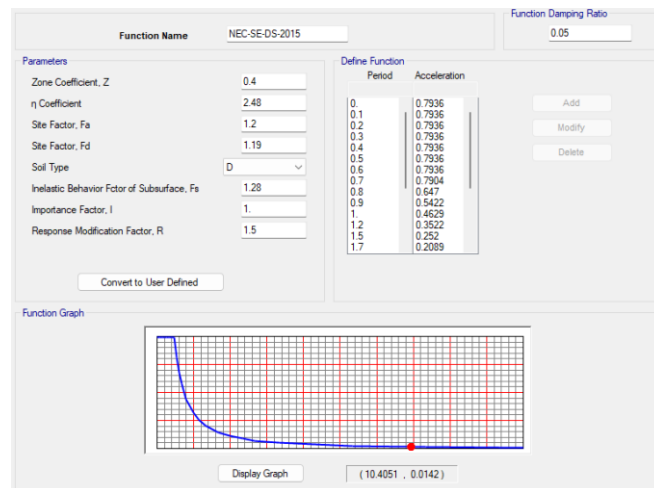


Ilustración 10 Función NEC – SE – DS – 2015

7.3 Cortante basal y corrección del cortante basal.

En la sección anterior se calculó el coeficiente del cortante basal, ya con la estructura modelada y diseñada cumpliendo con todos los parámetros de carga establecidos, se puede obtener la carga reactiva por sismo que es la carga muerta total de la estructura que se puede obtener con la ayuda del programa.

Tabla 8 Carga sísmica reactiva, sismo estático y dinámico

OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf
DEAD	LinStatic		1.244E-09	-1.523E-09	93774.08
SX	LinStatic		-44232.08	1.548E-09	-1.248E-10
SY	LinStatic		5.153E-10	-44232.08	4.641E-11
EsX	LinRespSpec	Max	24117.76	2323.69	3147.76
EsY	LinRespSpec	Max	2323.68	28401.75	3282.17

En la sección 6.2.2 de la NEC diseño sismo resistente, el inciso b establece el ajuste del corte basal de los resultados obtenidos por el análisis dinámico y dice: “*el valor del cortante dinámico total en el base obtenido por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser menor al 80% del cortante basal V obtenido por el método estático*” (NEC-SE-DS, 2015)

Por esta razón se debe corregir el cortante basal de la siguiente manera:

Con ayuda del programa se obtuvo la carga sísmica reactiva $W = 93774.08 \text{ kgf}$ con la cual se puede calcular el cortante basal.

$$V = 0.7936 * W$$

$$V = 0.7936 * 93774.08 \text{ kgf}$$

$$V = 74419.11 \text{ kgf}$$

Se debe obtener el factor de corrección con el cortante basal calculado y los valores obtenidos en el programa:

- Para el sismo estático se obtiene el mismo valor en las dos direcciones $SX = SY = 44232.08 \text{ kgf}$

$$\text{Corrección} = \frac{74419.11 \text{ kgf}}{44232.08 \text{ kgf}} = 1.68$$

- Para el sismo dinámico se obtuvo diferentes resultados para cada sentido, en el sentido $EsX = 24117.76 \text{ kgf}$ y para $EsY = 28401.75 \text{ kgf}$

$$\text{Corrección } EsX = \frac{74419.11 \text{ kgf}}{24117.76 \text{ kgf}} = 3.086$$

$$\text{Corrección } EsY = \frac{74419.11 \text{ kgf}}{28401.75 \text{ kgf}} = 2.62$$

Con estos coeficientes de corrección calculados se modifica en el programa SAP 2000 tanto para el análisis estático como dinámico y se tienen los siguientes resultados:

Tabla 9 Sismo estático y dinámico corregidos

OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf
DEAD	LinStatic		1.614E-09	-2.059E-09	93774.08
SX	LinStatic		-74309.9	6.13E-09	-2.237E-10
SY	LinStatic		3.493E-09	-74309.9	4.189E-11
EsX	LinRespSpec	Max	74427.41	7170.92	9713.97
EsY	LinRespSpec	Max	6088.04	74412.59	8599.29

Como se observa en la tabla 9 los valores corregidos de los sismos estáticos y dinámicos ya son muy parecidos al cortante basal y la estructura cumple con todas las exigencias de cargas establecidas entonces el modelado y diseño quedo terminado.

7.4 Modelado de la estructura sin hormigón celular en paredes y entrepiso.

Para poder realizar un análisis comparativo objetivo principal del proyecto, a la estructura ya modelada anteriormente se le retiró el hormigón celular de las paredes y entrepiso; además, se utilizaron los mismos perfiles con la diferencia que el hormigón celular aportaba con gran rigidez a la estructura, por esta razón al momento de quitarlo se tuvo que aumentar pórticos y placas de acero A36 para contrarrestar esta pérdida de rigidez que aportaba el hormigón celular.

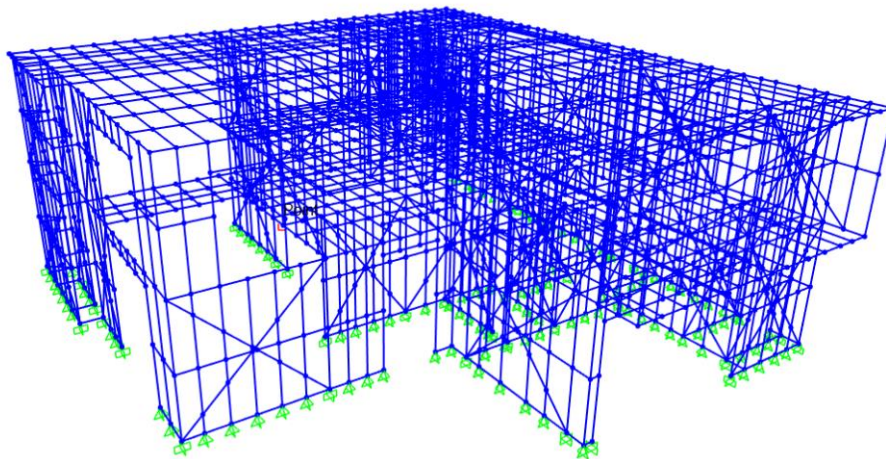


Ilustración 11 Estructura modelada sin hormigón celular

Se colocaron los mismos patrones, casos y combinaciones de carga como en el primero modelado.

7.4.1 Cortante basal y corrección del cortante basal.

Se realizó el mismo procedimiento que la estructura con hormigón celular y estos fueron los resultados obtenidos:

Tabla 10 Carga sísmica reactiva, sismo estático y dinámico

OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf
DEAD	LinStatic		-5.167E-10	2.725E-10	46195.66
SX	LinStatic		-9594.84	5.74E-10	-1.901E-11
SY	LinStatic		1.781E-10	-9594.84	1.365E-10
EsX	LinRespSpec	Max	5724.69	340.58	152.66
EsY	LinRespSpec	Max	340.58	5459.03	369.38

Con ayuda del programa se obtuvo la carga sísmica reactiva $W = 46195.66$ kgf con la cual se puede calcular el cortante basal.

$$V = 0.7936 * W$$

$$V = 0.7936 * 46195.66 \text{ kgf}$$

$$V = 36660.88 \text{ kgf}$$

Se debe obtener el factor de corrección con el cortante basal calculado y los valores obtenidos en el programa:

- Para el sismo estático se obtiene el mismo valor en las dos direcciones $SX=SY=9594.84$ kgf

$$\text{Corrección} = \frac{36660.88 \text{ kgf}}{9594.84 \text{ kgf}} = 3.82$$

- Para el sismo dinámico se obtuvo diferentes resultados para cada sentido, en el sentido $EsX= 5724.69$ kgf y para $EsY= 5459.03$ kgf

$$\text{Corrección } EsX = \frac{36660.88 \text{ kgf}}{5724.69 \text{ kgf}} = 6.4$$

$$\text{Corrección } EsY = \frac{36660.88 \text{ kgf}}{5459.03 \text{ kgf}} = 6.7$$

Con estos coeficientes de corrección calculados se modifica en el programa SAP 2000 tanto para el análisis estático como dinámico y se tienen los siguientes resultados:

Tabla 11 Sismo estático y dinámico corregidos

OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Kgf	GlobalFY Kgf	GlobalFZ Kgf
DEAD	LinStatic		-4.726E-10	2.477E-10	46195.66
SX	LinStatic		-36652.27	2.743E-09	-2.813E-10
SY	LinStatic		6.882E-10	-36652.27	4.495E-10
EsX	LinRespSpec	Max	36638.01	2179.7	977.03
EsY	LinRespSpec	Max	2281.87	36575.5	2474.85

8. Análisis de precios unitarios APU

8.1 Estructura principal Steel Frame.

La unidad en la que se va a medir el APU de la estructura principal de Steel Frame es kilogramos, la cantidad total se va a obtener del programa y el valor total es de \$ 2.62.

8.2 Estructura principal acero A36.

El rubro para realizar este APU se tomó de la Cámara de la Industria de la Construcción “Acero estructural A36, incluye Montaje con grúa”; de igual manera la unidad es el kilogramo que se obtuvo con ayuda del programa y el valor total es de \$3.93.

8.3 Sistema de rigidización lateral cruces San Andrés.

Para este rubro se hizo un análisis tomando el peso total de las cruces de San Andrés y una estimación conceptual de alto nivel para obtener los materiales que se utilizan para cada kilogramo de las cruces. El valor total para este rubro es de \$ 4.44.

8.4 Hormigón celular entrepiso.

Para poder realizar este APU primero se hizo la dosificación de la mezcla para obtener un hormigón celular con una densidad de 1000 kg/m³, la cual se basó en el capítulo 8 del ACI 523.3R-14. (American Concrete Institute, 2014)

El valor total para este rubro es de \$ 207.09.

8.5 Hormigón celular paredes.

De la misma manera para obtener la dosificación para un hormigón celular con densidad de 1200 kg/m³ se basó en el capítulo 8 del ACI 523.3R-14. (American Concrete Institute, 2014)

El valor total para este rubro es de \$ 174.15.

8.6 Presupuesto total.

Con el análisis de precios unitarios de cada rubro se puede realizar el presupuesto total de la estructura con las cantidades que se obtienen del programa, entonces, los presupuestos totales de las dos estructuras son las siguientes:

Tabla 12 Presupuesto total estructura Steel Framing con hormigón celular

PRESUPUESTO TOTAL STEEL FRAMING CON HORMIGÓN CELULAR					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
1	ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME	kg	7,354	2.62	19,267.40
2	ESTRUCTURA PRINCIPAL ACERO A-36	kg	1,868	3.93	7,342.10
3	SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRÉS	kg	171	4.44	761.19
4	HORMIGÓN CELULAR PISOS	m3	9	207.09	1,954.93
5	HORMIGÓN CELULAR PARED	m3	35	174.15	6,055.20
TOTAL					\$ 35,380.82

Tabla 13 Presupuesto total estructura Steel Framing

PRESUPUESTO TOTAL STEEL FRAMING					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	C.UNITARIO	TOTAL
1	ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME	kg	8,101	2.62	21,224.15
2	ESTRUCTURA PRINCIPAL ACERO A-36	kg	4,650	3.93	18,273.52
3	SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRÉS	kg	226	4.44	1,001.93
TOTAL					\$ 40,499.60

9. Análisis comparativo

El objetivo principal del proyecto es analizar si es viable incorporar hormigón celular en paredes y entrepiso en la estructura de Steel Framing, es por eso por lo que el análisis

comparativo es muy importante para llegar a la conclusión. Entonces, se va a analizar la parte económica, el peso de la estructura, el cortante basal y la deriva de piso.

9.1 Análisis económico.

Con el modelado de la estructura de Steel Framing con hormigón celular en las paredes y el entrepiso se pudo analizar que esta tenía mayor rigidez en comparación a la estructura modelada solo con Steel Framing; es por esto por lo que al momento de quitar el hormigón celular para modelar la siguiente estructura se tuvo que incorporar mayor número de pórticos de acero A36, aumentar las secciones de Steel Frame y sumar placas a las cruces de San Andrés para poder rigidizar la estructura.

Tabla 14 Comparación económica

ESTRUCTURA STEEL FRAMING CON HORMIGÓN CELULAR		ESTRUCTURA STEEL FRAMING	
RUBRO	PRECIO	RUBRO	PRECIO
ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME	\$ 19,267.40	ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME	\$ 21,224.15
ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO	\$ 7,342.10	ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO	\$ 18,273.52
SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRES	\$ 761.19	SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRES	\$ 1,001.93
HORMIGÓN CELULAR PISOS	\$ 1,954.93	TOTAL	\$ 40,499.60
HORMIGÓN CELULAR PARED	\$ 6,055.20	PRECIO POR M2 DE CONSTRUCCIÓN	\$ 112.50
TOTAL	\$ 35,380.82		
PRECIO POR M2 DE CONSTRUCCIÓN	\$ 98.28		

Como se observa en la tabla 14 el precio del metro cuadrado de construcción para la estructura de Steel Framing con hormigón celular es de \$98.28 mientras que la estructura solo de Steel Framing es de \$112.50 aumentando un 12.6% en el costo; como se mencionó esto se debe a que se tuvo que incrementar el material para poder rigidizar la estructura.

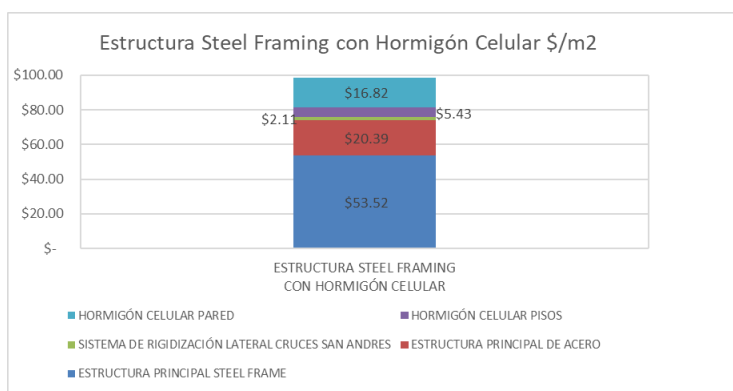


Ilustración 12 Estructura Steel Framing con Hormigón celular \$/m2

Se muestra el valor por metro cuadrado de cada componente y el valor total de la estructura de Steel Framing con hormigón celular.

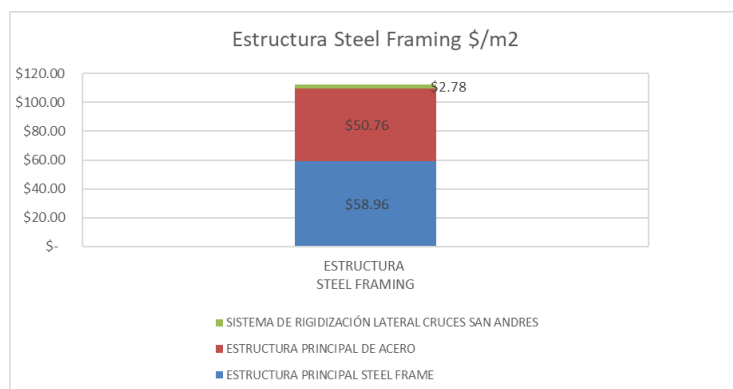


Ilustración 13 Estructura Steel Framing \$/m2

Se muestra el valor por metro cuadrado de cada componente y el valor total de la estructura de Steel Framing.

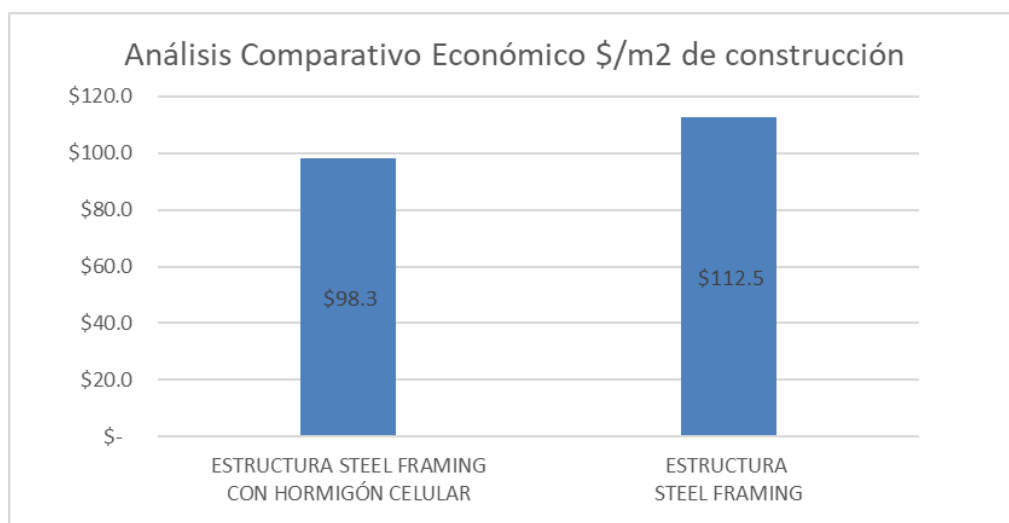


Ilustración 14 Comparación económica por metro cuadrado de construcción

Como se observa en el gráfico, el costo por metro cuadrado de la estructura de Steel Framing con hormigón celular es de \$98.3, mientras que solo la estructura de Steel Framing es de \$112.5; teniendo un incremento de precio de \$14.2 entre el un sistema y el otro.

9.2 Análisis comparativo por peso de la estructura.

Tabla 15 Comparación en peso

ESTRUCTURA STEEL FRAMING CON HORMIGÓN CELULAR		ESTRUCTURA STEEL FRAMING	
RUBRO	PESO (kg)	RUBRO	PESO (kg)
ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME	7353.97	ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME (kg)	8100.82
ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO	1868.22	ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO (kg)	4649.75
SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRES	171.44	SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRES (kg)	225.66
TOTAL	9393.63	TOTAL	12976.23
PESO POR M2 DE CONSTRUCCIÓN	26.09	PESO POR M2 DE CONSTRUCCIÓN	36.05

En la tabla 15 se observa como el peso de la estructura de Steel Frame aumenta en un 9.2%, la estructura de acero A36 aumenta un 59.8% y las cruces de San Andrés un 24%.

Como se mencionó este aumento en los materiales de la estructura fue para compensar la rigidez que se perdió al momento de retirar el hormigón celular. De igual manera, se observa que el peso por metro cuadrado en la estructura conformada solo por Steel Frame aumenta en un 27.27%.

El peso del hormigón celular en paredes y entrepiso es de 51161.01 kg, pero este se va a analizar en el cortante basal.

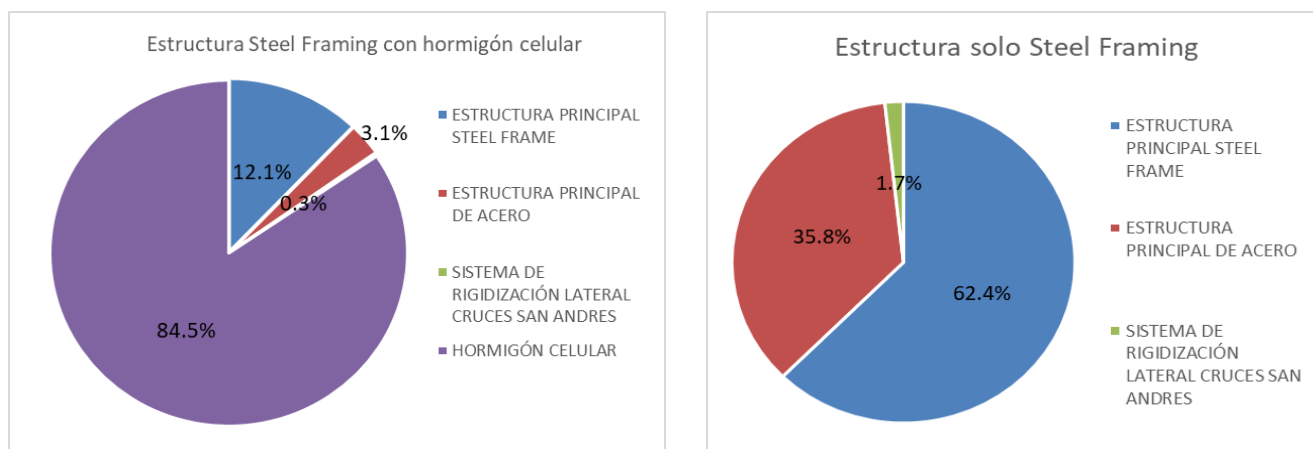


Ilustración 15 Comparación en peso

En los gráficos anteriores se observa la gran incidencia en peso que tiene el hormigón celular en paredes y entrepiso, siendo casi un 85% en el peso total de la estructura lo que hace que el cortante basal aumente más del 50% en comparación con la estructura sin hormigón celular.

9.3 Análisis del cortante basal.

Para el cortante basal se obtuvo para la estructura de Steel Framing con hormigón celular como este aportaba mayor peso el cortante basal total es de 74419.11 kg mientras que la estructura de solo Steel Frame 36660.88 kg, aquí se redujo el cortante basal un 50.74% porque el peso del hormigón es alto en comparación a la estructura de metal.

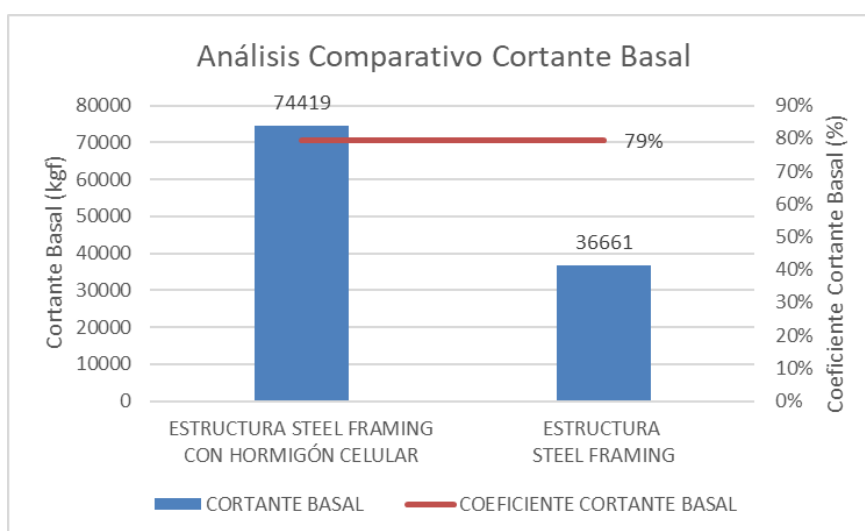


Ilustración 16 Comparación del cortante basal

9.4 Análisis de la deriva.

Según la NEC diseño sismo resistente el apartado 6.3.9 Control de la deriva de piso dice: la deriva máxima inelástica de piso no debe superar el 2%. (NEC-SE-DS, 2015)

Para poder analizar se va a calcular la deriva máxima inelástica de cada estructura en los dos sentidos del sismo y por cada piso de la siguiente manera:

Para la estructura de Steel Framing con hormigón celular, en el sentido X:

$$\Delta_{ex1} = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{h_e}$$

$$\Delta_{ex1} = \frac{3.34 - 0}{3300} = 0.00101$$

$$\Delta_{Mx1} = 0.75 * R * \Delta_{ex1}$$

$$\Delta_{Mx1} = 0.75 * 1.5 * 0.00101 = 0.00114$$

Se observa que la deriva máxima inelástica del primer piso en el sentido X es 0.00114 y es menor que 0.02, entonces, si cumple con el límite de la deriva.

De la misma manera se realiza el análisis para cada piso, cada estructura y en ambos sentidos.

Tabla 16 Derivas de la estructura de Steel Framing con hormigón celular

ESTRUCTURA DE STEEL FRAMING CON HORMIGÓN CELULAR				
PISO	SENTIDO	DESPLAZAMIENTO (mm)	DERIVA e	DERIVA M
1	X	3.34	0.00101	0.00114
2	X	4.928	0.00053	0.00060
1	Y	1.868	0.00057	0.00064
2	Y	2.827	0.00032	0.00036

En la tabla 16 se observa que la deriva de cada piso es menor del 2% lo cual cumple con lo que establece la NEC.

Tabla 17 Derivas de estructura de Steel Framing

ESTRUCTURA DE STEEL FRAMING				
PISO	SENTIDO	DESPLAZAMIENTO (mm)	DERIVA e	DERIVA M
1	X	27.45	0.00832	0.00936
2	X	30.95	0.00117	0.00131
1	Y	11.15	0.00338	0.00380
2	Y	16.83	0.00189	0.00213

De igual manera se observa que las derivas máximas inelásticas de la estructura de Steel Framing son menores que el 2% cumpliendo lo establecido por la NEC.

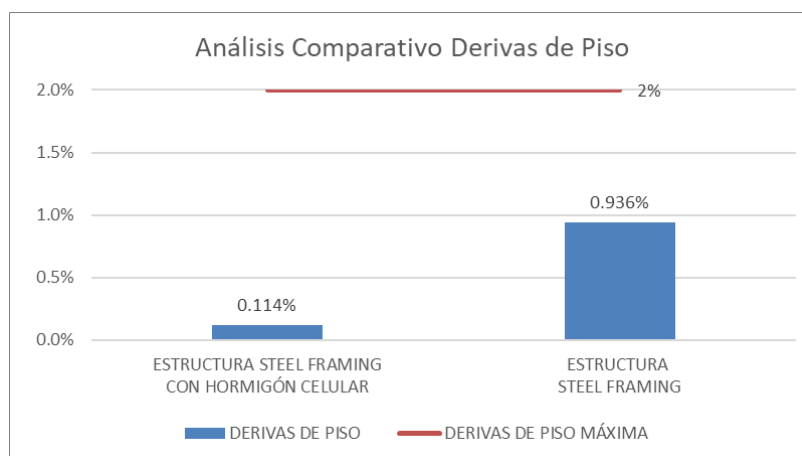


Ilustración 17 Comparación de derivas

Como se esperaba la estructura de Steel Framing con hormigón celular como es más rígida tiene una deriva menor en comparación con la estructura de solo Steel Framing aumentando un 88% en la deriva máxima de las estructuras que era en el sentido X en el primer piso.

9.5 Análisis criterio límite de servicio (IBC).

En la tabla 1604.3 del Código Internacional de la Construcción (IBC) muestra los límites de deflexión para los miembros de una construcción, para este proyecto se va a verificar estas deflexiones en la cubierta y en el entrepiso. (International Code Council, 2024)

Tabla 18 Límites de deflexión Estructura de Steel Framing con hormigón celular

Estructura de Steel Framing con Hormigón Celular							
Elemento	Luz (mm)	Deflexión (mm)			Límites de Deflexión		
		Viva	Granizo	Muerta + Viva	Viva Luz/360	Granizo Luz/360	Muerta + Viva Luz/240
Cubierta	4550.00	3.17	4.44	4.96	12.64	12.64	18.96
Entrepiso	4550.00	3.02	-	6.69	12.64	-	18.96

Como se puede observar en la tabla 18 las deflexiones para la cubierta y el entrepiso de la estructura de Steel Framing con hormigón celular están dentro de los límites de servicio según el IBC.

Tabla 19 Límites de deflexión Estructura de Steel Framing

Estructura de Steel Framing							
Elemento	Luz (mm)	Deflexión (mm)			Límites de Deflexión		
		Viva	Granizo	Muerta + Viva	Viva Luz/360	Granizo Luz/360	Muerta + Viva Luz/240
Cubierta	3720.00	4.98	4.54	10.11	10.33	10.33	15.50
Entrepiso	3720.00	5.08	-	10.17	10.33	-	15.50

Para la estructura sin hormigón celular las deflexiones son mayores, sin embargo, se encuentran dentro de los límites establecidos por el IBC.

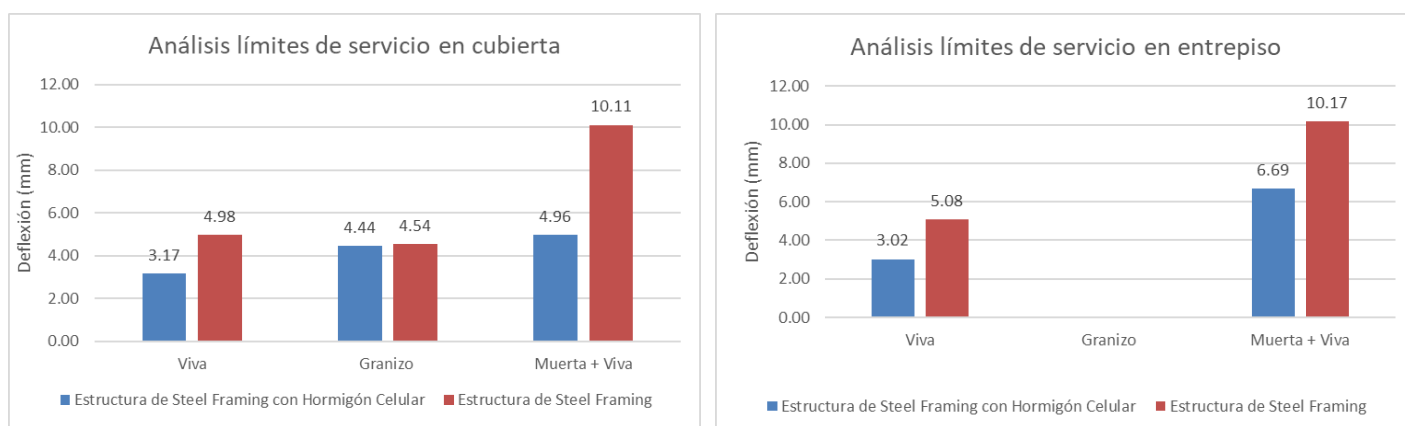


Ilustración 18 Análisis límites de servicio para cubiertas y entrepiso

Como se analizó anteriormente las dos estructuras están dentro de los límites de servicio; por otro lado estas gráficas nos muestran la comparación de este parámetro para cada una de las estructuras estudiadas, se puede observar que las deflexiones para la estructura sin hormigón celular son mayores y se puede verificar de mejor manera en la combinación de la carga muerta más la carga viva donde hay una diferencia de casi el 50% debido a que se retiró el hormigón celular lo que le daba rigidez a la estructura.

CONCLUSIONES

Este estudio confirma la viabilidad técnica y económica de incorporar hormigón celular en paredes y entrepisos de estructuras construidas con el sistema Steel Framing. Los análisis realizados muestran que este material no solo aporta ventajas significativas en aislamiento térmico, acústico y resistencia al fuego, sino que también mejora notablemente la rigidez estructural. Esto se evidencia en las menores deflexiones y vibraciones experimentadas por la estructura, las cuales se reducen hasta un 88% en comparación con las estructuras que no incorporan hormigón celular.

En términos económicos, el costo por metro cuadrado de la estructura de Steel Framing con hormigón celular es de \$ 98.30, mientras que en la estructura de Steel Framing es de \$ 112.50, lo que nos indica que la inclusión del hormigón celular permite un ahorro del 12.6% en el costo por metro cuadrado en comparación con una estructura de Steel Framing sin este material. Esto se debe, en gran medida, a la reducción en la cantidad de acero estructural necesario para cumplir con los requisitos de rigidez. Además, el peso relativamente ligero del hormigón celular optimiza el diseño estructural, aliviando las cargas transmitidas a vigas y cimentaciones. Aunque el cortante basal es mayor en las estructuras con hormigón celular debido al incremento de peso, el diseño cumple con los parámetros establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), garantizando seguridad estructural incluso en zonas sísmicas.

Este trabajo resalta el potencial del hormigón celular como una alternativa sostenible para la construcción. Su capacidad de aislamiento contribuye a la eficiencia energética, mientras que su proceso de producción y uso minimiza el impacto ambiental. En conjunto, la investigación evidencia que el uso combinado de Steel Framing y hormigón celular es una solución

innovadora, eficiente y rentable que responde a las demandas contemporáneas de la industria de la construcción.

Por último, se debe tener en cuenta que el modelado que se realizó en el SAP 2000 es una aproximación a la realidad debido a las limitaciones de este software con respecto al material principal empleado como el Steel Framing; se debe considerar que el modelo de fabricación es distinto y considera muchos más detalles para la construcción que los analizados en este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute. (2014). *Guide for Cellular Concretes above 50 lb/ft³ (800 kg/m³)*. ACI.
- American Iron and Steel Institute (AISI). (2020). *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members*. (AISI S100-16, 2020 edition, with Supplement 2).
- American Iron and Steel Institute (AISI). (2020). *North American Standard for Cold-Formed Steel Structural Framing (AISI S240-20)*.
- ASTM International. (2000). *ASTM A 1003/A 1003M-00: Standard Specification for Steel Sheet, Carbon, Metallic- and Nonmetallic-Coated for Cold-Formed Framing Members*. ASTM International.
- Caguano, P. (2017). *ALTERNATIVAS DE DISEÑO SISMORESISTENTE PARA “EL PROYECTO DE EDIFICACIÓN CAGUANO TORRES”*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- ConsulSteel. (s.f.). *Enciclopedia del Steel Frame: Manual de Procedimiento - Construcción con Acero Liviano*. ConsulSteel .
- Escuela Politécnica Nacional; GeoHazards International; Municipio Metropolitano de Quito; ORSTOM; OYO Corporation . (1995). *"Síntesis General del Proyecto para el Manejo del Riesgo Sísmico de Quito"*. Quito: TRAMA.
- Instituto Latinoamericano del Fierro y del Acero. (s.f.). *MANUAL DE INGENIERÍA DE STEEL FRAMING*. ILAFA. Recuperado el 2024
- International Code Council. (2024). *Chapter 16: Structural design*. International Building Code.

- NEC-SE-CG. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Cargas (no sísmicas)*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- NEC-SE-DS. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Diseño Sismo Resistente* . Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- NEC-SE-VIVIENDA. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Viviendas de hast 2 pisos con luces de hasta 5m*. Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- Perfiles JMA. (2020). *Perfiles JMA*. Obtenido de <https://www.perfilesjma.com.ar/>
- Rengifo, C., & Verónica, Y. (2013). *Tecnología en construccion S.A. TEC 247, estudio del Hormigón celular tesis Escuela Politécnica Nacional. Pg. 14*. Quito: Escuela Politécnica Nacional .
- Sarmanho, A., & Moraes De Crasto, R. (2007). *Steel Framing: Arquitectura*. Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero.
- studio-steel. (s.f.). *studio-steel (CASAS STEEL FRAME y MODULAR)*. Recuperado el Septiembre de 2024, de <https://www.studio-steel.com/>

ANEXO A: DEFINICIONES DE CARGA

Tabla 20 Datos Técnicos Superboard Fachadas

DATOS TÉCNICOS			
CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	SUPERBOARD ST 10 mm	SUPERBOARD ST 12 mm
Largo	m	2.44	2.44
Ancho	m	1.22	1.22
Espesor	mm	10	12
Borde	-	Recto	Recto
Peso específico	(kg/m ²)	14.10	17.17
Peso	(kg/placa)	41.96	51.12
M.O.R	MPa	≥10	≥10

Tabla 21 Datos Técnicos Gypsum Gyplac Placa ST 12.7 mm

PRESENTACIÓN EXTRA LIVIANA		
Ancho		1220 mm
Longitud estándar		2440 mm
Longitud posible		1600 mm a 2800 mm
Espesores y Pesos	9,5 mm	6,40 Kg/m ²
	11 mm	6,50 Kg/m ²
	12,7 mm	6,80 Kg/m ²
	15,9 mm	11,10 Kg/m ²

Tabla 22 Datos Técnicos EnlumaX capa fina 90 de Intaco

Cumple la norma UNE-EN 998-1 clasificación GP CS IV W0.

Información EnlumaX® Capa Fina 90		Cumplimiento	
		Manual	Proyectable
Datos de uso	Espesor	3 mm a 5 mm	3 mm a 5 mm
	Tiempo de reposo después de mezclado	5 min	NA
	Vida en recipiente	1 h	NA
	Tiempo requerido de curado	72 horas	72 horas
Datos físicos	Densidad	1900 kg/m ³	2000 kg/m ³
	Flujo ASTM C 1437	118%	125%
ASTM C 109	Resistencia a compresión a 28 días	7,3 MPa	7,0 MPa
UNE EN 1015-11	Resistencia a compresión a 28 días (CS IV)*	8,5 MPa	11,4 MPa
UNE EN 1015-12	Adhesión a 28 días	≥1 MPa	≥1 MPa
UNE EN 1015-18	Capilaridad por absorción W0	> 0,4 kg/m ² · min ^{0,5}	> 0,4 kg/m ² · min ^{0,5}
UNE-EN 998-1 5.3.3	Reacción frente al fuego	Clase A1	Clase A1

Tabla 23 Datos Técnicos Panel Metálico Kubiloc Total

KUBILOC							
TIPO	ANCHO ÚTIL (MM)	ESPESOR (MM)	PESO PREPINTADO (KG/M2)	PESO GALVALUME (KG/M2)	ANCHO ÚTIL	DESARROLLO (MM)	SEPARACIÓN ENTRE APOYOS (M)
Kubiloc de 25	333	0,40	3,93	3,84	333	407	1,70
		0,45	4,42	4,32	333	407	1,90
		0,50	4,91	4,80	333	407	2,05
		0,60	5,89	5,76	333	407	2,20
Kubiloc de 38	310	0,40	4,22	4,12	310	407	1,80
		0,45	4,74	4,64	310	407	2,00
		0,50	5,27	5,15	310	407	2,10
		0,60	6,33	6,18	310	407	2,30

AISLAMIENTOS TERMOACÚSTICOS									
DESCRIPCIÓN	POLISOCIANURATO (PIR)			POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)			LANA MINERA DE ROCA (LMR)		
Densidad (kg/m3)	34 - 45			10 - 18			32 - 144		
Espesor del aislante (mm)	25	38	50	25	38	50	25	38	50
Peso (Kg/m2)	0,85 - 1,13	1,29 - 1,71	1,70 - 2,25	0,25 - 0,45	0,38 - 0,68	0,50 - 0,90	0,80 - 3,60	1,22 - 5,47	1,60 - 7,20

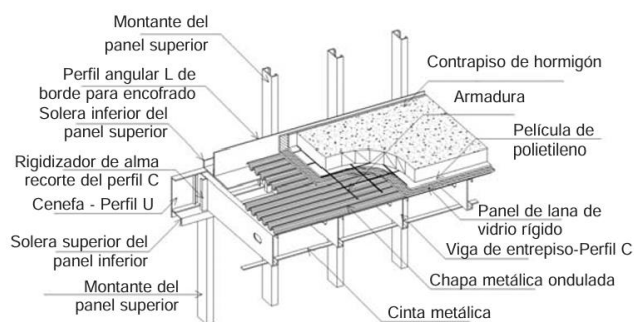


Ilustración 19 Entrapiso Húmedo

Tabla 24 Datos Técnicos Kubionda de Kubiec

ESPESOR	PESO PREPINTADO	PESO GALVALUME	ANCHO ÚTIL	SEPARACIÓN ENTRE APOYOS
mm	Kg/m2	Kg/m2	mm	m
0.40	3.73	3.65	860	1200
0.45	4.20	4.11	860	1300
0.50	4.67	4.56	860	1400
0.60	5.60	5.48	860	1500

Tabla 25 Datos Técnicos Strech Film

PARÁMETRO	VALORES	TOLERANCIA	UNIDADES
Espesor Técnico	20	+/- 2	um
Ancho	500	+/- 4	mm
Peso Básico	18.5	+/- 1.5	g/m2
Color	Transparente		
Aplicación	Manual		
Peso del Rollo	5.8	+/- 2%	kg
Peso del Core	0.7		kg
Metros lineales	556	+/- 3	m

Tabla 26 Datos Técnicos Malla Electrosoldada

DENOMINACIÓN	DIÁMETRO		ESPACIAMIENTO		NÚMERO DE VARILLAS		Peso
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal	
	Ømm	Ømm	cm	cm	Unidades	Unidades	kg.
3,5 - 15	3,5	3,5	15	15	16	42	15,154
4 - 10	4	4	10	10	24	62	329,502
4 - 10 4 - 05	4	4	10	5	20	59	17,543
4 - 15	4	4	15	15	16	42	19,826

Tabla 27 Datos Técnicos SikaCeram Porcelanato

SikaCeram® Porcelanato

Versión 1.1	Fecha de revisión: 2019/07/16	Número SDS: 000000607968	Fecha de la última expedición: 2016/02/10 Fecha de la primera expedición: 2016/02/10
----------------	----------------------------------	-----------------------------	--

Densidad : 1,8 g/cm3 (20 °C (68 °F) ())

Tabla 28 Datos Técnicos Porcelanato Maderada Arizona Honet de Graiman

FORMATO	DIMENSIÓN DE FABRICACIÓN	ESPESOR MM	PIEZAS x CAJA	m2 x CAJA	Kg CAJA	m2 x PALLET	CAJAS x PALLET	Kg x PALLET
19x120	192x1200	10.3	7	1.61	41.74	38.64	24	1025.70

Tabla 29 Sobrecarga para Residencias

Residencias

Viviendas (unifamiliares y bifamiliares)	2.00
Hoteles y residencias multifamiliares	2.00
Habitaciones	4.80
Salones de uso público y sus corredores	

Tabla 30 Cargas Vivas mínimas en cubiertas

Cubiertas	
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80
Cubiertas destinadas para propósitos especiales	
Toldos y carpas	i
Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera	0.24 (no reduc.)
Todas las demás	1.00

En la región andina y sus estribaciones, desde una cota de 1000 m sobre el nivel del mar, no se permite la reducción de carga viva en cubiertas para prevenir caídas de granizo o ceniza.

Tabla 31 Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto

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 3: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

Tabla 32 Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca

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 4 : Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

Tabla 33 Comportamiento no lineal de los suelos

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 5 : Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s

$$S_a = Z F_a \left[1 + (\eta - 1) \frac{T}{T_0} \right] \text{ para } T \leq T_0$$

$$T_0 = 0.10 F_s \frac{F_d}{F_a}$$

Dónde:

η	Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_d	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
S_a	Es el espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura.
T	Periodo fundamental de vibración de la estructura
T_0	Es el periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Ilustración 20 Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

$T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$	
$T_L = 2.4$	
Dónde:	
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_d	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
T_c	Es el periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.
T_L	Es el periodo límite de vibración utilizado para la definición de espectro de respuesta en desplazamientos

Ilustración 21 Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

$S_a = \eta Z F_a$	para $0 \leq T \leq T_c$
$S_a = \eta Z F_a \left(\frac{T_c}{T} \right)^r$	para $T > T_c$
Dónde:	
η	Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
r	Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto
	$r = 1$ para tipo de suelo A, B o C
	$r = 1.5$ para tipo de suelo D o E.
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
T	Periodo fundamental de vibración de la estructura
T_c	Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Ilustración 22 Espectro de respuesta elástico de aceleraciones

- $\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),
- $\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta = 2.60$: Provincias del Oriente

Ilustración 23 Razón entre la aceleración espectral y el PGA

Tabla 34 Coeficiente de importancia

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 6: Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Tabla 35 Coeficiente R para estructuras de acero en frío

Sistema Estructural	Materiales	Coeficiente R	Limitación en altura (número de pisos)
Pórticos resistentes a Momento	Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , reforzado con acero laminado en caliente.	3	2(b)
	Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM , con armadura electro-soldada de alta resistencia.	2.5	2
	Acero Doblado en Frío	1.5	2 (b)

$$V = \frac{I S_a(T_a)}{R \phi_P \phi_E} W$$

Dónde

$S_a(T_a)$ Espectro de diseño en aceleración; véase en la sección [3.3.2]

ϕ_P y ϕ_E Coeficientes de configuración en planta y elevación; véase en la sección [5.3]

I Coeficiente de importancia; se determina en la sección [4.1]

R Factor de reducción de resistencia sísmica; véase en la sección [6.3.4]

V Cortante basal total de diseño

W Carga sísmica reactiva; véase en la sección [6.1.7]

T_a Período de vibración; véase en la sección [6.3.3]

Ilustración 24 Cortante Basal

Combinación 1

1.4 D

Combinación 2

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

Combinación 3*

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

Combinación 4*

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

Combinación 5*

1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S

Combinación 6

0.9 D + 1.0 W

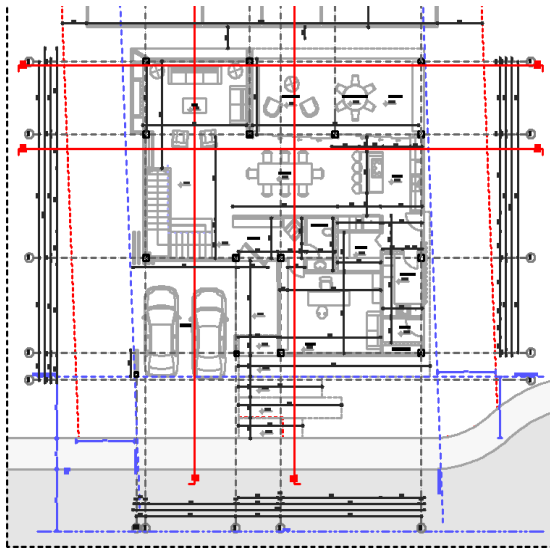
Combinación 7

0.9 D + 1.0 E

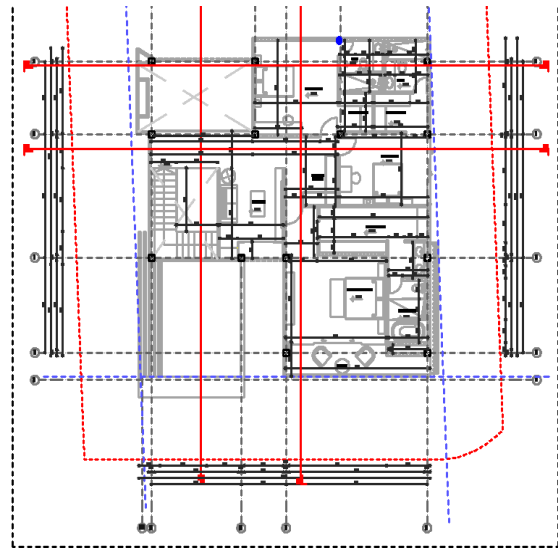
**Para las combinaciones 3, 4 y 5: L=0.5 kN/m² si L₀≤4.8 kN/m² (excepto para estacionamientos y espacios de reuniones públicas).*

Ilustración 25 Combinaciones de carga de la NEC

ANEXO B: MODELADO EN SAP 2000



PLANTA BAJA



PLANTA ALTA

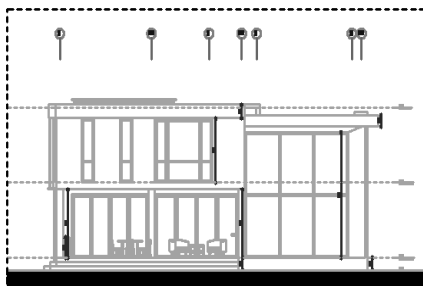
Ilustración 26 Vista en planta de los planos arquitectónicos



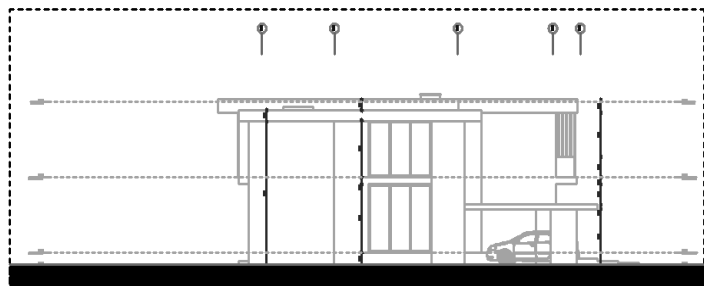
ELEVACIÓN PRINCIPAL



ELEVACIÓN LATERAL DERECHA



ELEVACIÓN POSTERIOR



ELEVACIÓN LATERAL IZQUIERDA

Ilustración 27 Elevación de los planos arquitectónicos

Section Name 1.1X89 mm **Display Color** ■

Section Notes

Dimensions

Outside Height (A)	89.
Outside Width (B)	40.
Thickness (t)	1.1
Radius (R)	6.35
Lip Depth (d)	12.7

Material A653SQR50 **Property Modifiers**

Section

Properties

Ilustración 28 Perfil G 89x40x12.7x1.1 mm

Section Name G 100x40x12.7x1.1 mm **Display Color** ■

Section Notes

Dimensions

Outside Height (A)	100.
Outside Width (B)	40.
Thickness (t)	1.1
Radius (R)	6.35
Lip Depth (d)	12.7

Material A653SQR50 **Property Modifiers**

Section

Properties

Ilustración 29 Perfil G 100x40x12.7x1.1 mm

Section Name 1.1X151 mm **Display Color** ■

Section Notes

Dimensions

Outside Height (A)	0.151
Outside Width (B)	0.04
Thickness (t)	1.100E-03
Radius (R)	6.350E-03
Lip Depth (d)	0.0127

Material A653SQR50 **Property Modifiers**

Section

Properties

Ilustración 30 Perfil G 151x40x12.7x1.1 mm

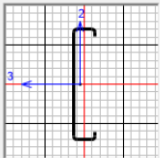
Section Name		G 203x40x12.7x1.1 mm	Display Color	
Section Notes		Modify/Show Notes...		
Dimensions				
Outside Height (A)	203.			
Outside Width (B)	40.			
Thickness (t)	1.1			
Radius (R)	6.35			
Lip Depth (d)	12.7			
Material		Property Modifiers		
+ A653SQQGr50		Set Modifiers...		
		Section 		
		Properties Section Properties... Time Dependent Properties...		

Ilustración 31 Perfil G 203x40x12.7x1.1 mm

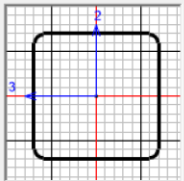
Section Name		Column Steel Frame 89x89mm	Display Color	
Section Notes		Modify/Show Notes...		
Dimensions				
Outside Height (A)	89.			
Outside Width (B)	89.			
Thickness (t)	1.1			
Radius (R)	6.35			
Material		Property Modifiers		
+ A653SQQGr50		Set Modifiers...		
		Section 		
		Properties Section Properties... Time Dependent Properties...		

Ilustración 32 Sección caja Steel Frame 89x89mm

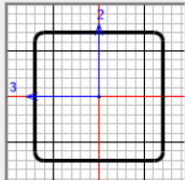
Section Name		Column Steel Frame 100x100mm	Display Color	
Section Notes		Modify/Show Notes...		
Dimensions				
Outside Height (A)	100.			
Outside Width (B)	100.			
Thickness (t)	1.1			
Radius (R)	6.35			
Material		Property Modifiers		
+ A653SQQGr50		Set Modifiers...		
		Section 		
		Properties Section Properties... Time Dependent Properties...		

Ilustración 33 Sección caja Steel Frame 100x100mm

Section Name		Colum Steel Frame 200x200mm	Display Color	
Section Notes		Modify/Show Notes...		
Dimensions				
Outside Height (A)		200.		
Outside Width (B)		200.		
Thickness (t)		1.1		
Radius (R)		6.35		
Material		Property Modifiers		
+ A653SQGr50		Set Modifiers...		
		Section Properties...		
		Time Dependent Properties...		

Section

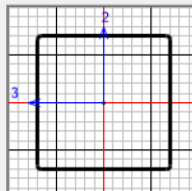


Ilustración 34 Sección caja Steel Frame 200x200mm

Section Name		Cruz San Andres 65x0.9mm	Display Color	
Section Notes		Modify/Show Notes...		
Dimensions				
Depth (t3)		65.		
Width (t2)		0.9		
Material		Property Modifiers		
+ A36		Set Modifiers...		
		Section Properties...		
		Time Dependent Properties...		

Section

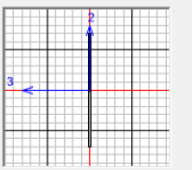


Ilustración 35 Cruz de San Andrés 65x0.9 mm

Section Name		Columa 15x15 cm	Display Color	
Section Notes		Modify/Show Notes...		
Dimensions				
Outside depth (t3)		15.		
Outside width (t2)		15.		
Flange thickness (tf)		0.3		
Web thickness (tw)		0.3		
Corner Radius		3.92		
Material		Property Modifiers		
+ A36		Set Modifiers...		
		Section Properties...		
		Time Dependent Properties...		

Section

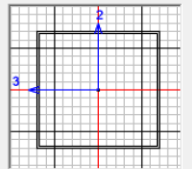


Ilustración 36 Columna 15x15 cm acero A36

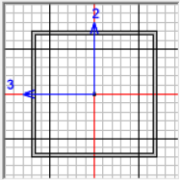
Section Name **Display Color** ■

Section Notes

Dimensions

Outside depth (t3)	10.
Outside width (t2)	10.
Flange thickness (tf)	0.3
Web thickness (tw)	0.3
Corner Radius	3.92

Section



Material

Property Modifiers

Properties

Ilustración 37 Viga 10x10 cm acero A36

Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
DEAD	Linear Static
MODAL	Modal
VIVA	Linear Static
SX	Linear Static
SY	Linear Static
GRANIZO	Linear Static
TECHO	Linear Static
EsX	Response Spectrum
EsY	Response Spectrum

Ilustración 38 Casos de carga

General Data	
Material Name and Display Color	Hormigón Celular Paredes
Material Type	Concrete
Material Grade	f _c 4000 psi
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass	Units
Weight per Unit Volume	1200.
Mass per Unit Volume	122.3659
	Kgf, m, C

Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	3.365E+08
Poisson, U	0.2
Coefficient Of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	1.402E+08

Other Properties For Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, f _c	458900.
Expected Concrete Compressive Strength	458900.
☒ Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduction Factor	1.

Ilustración 39 Material hormigón celular en paredes

General Data	
Material Name and Display Color	Hormigón Celular Entrepiso
Material Type	Concrete
Material Grade	f _c 4000 psi
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass	Units
Weight per Unit Volume	1000.
Mass per Unit Volume	101.9716
	Kgf, m, C

Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	2.090E+08
Poisson, U	0.2
Coefficient Of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	87099375.

Other Properties For Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, f _c	356900.
Expected Concrete Compressive Strength	356900.
☒ Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduction Factor	1.

Ilustración 40 Material hormigón celular entrepiso

Tabla 36 Composición y propiedades del hormigón celular

Table 6.2.1—Composition and properties of cellular concrete (McCormick 1967)

As-cast density, lb/ft ³ (kg/m ³)	Sand-cement ratio	Water-cement ratio	Cement factor, lb/yd ³ (kg/m ³)	Estimated compressive strength, psi (MPa)
50 (800)	0.79	0.60	564 (335)	250 (1.7)
50 (800)	0.55	0.50	658 (390)	300 (2.1)
50 (800)	0.29	0.50	752 (446)	400 (2.8)
60 (960)	1.27	0.60	564 (335)	350 (2.4)
60 (960)	0.96	0.50	658 (390)	400 (2.8)
60 (960)	0.65	0.50	752 (446)	500 (3.5)
70 (1120)	1.75	0.60	564 (335)	450 (3.1)
70 (1120)	1.37	0.50	658 (390)	500 (3.5)
70 (1120)	1.06	0.45	752 (446)	600 (4.1)
80 (1280)	2.22	0.60	564 (335)	600 (4.1)
80 (1280)	1.78	0.50	658 (390)	650 (4.5)
80 (1280)	1.42	0.45	752 (446)	750 (4.8)
90 (1440)	2.85	0.45	564 (335)	1100 (7.6)
90 (1440)	2.19	0.50	658 (390)	1100 (7.6)
90 (1440)	1.78	0.45	752 (446)	1300 (9.0)
100 (1600)	3.18	0.60	564 (335)	1250 (8.6)
100 (1600)	2.65	0.45	658 (390)	1700 (11.7)
100 (1600)	2.14	0.45	752 (446)	1800 (12.4)
110 (1760)	3.66	0.60	564 (335)	2000 (13.8)
110 (1760)	3.06	0.45	658 (390)	2600 (17.9)
110 (1760)	2.44	0.50	752 (446)	2500 (17.2)
120 (1920)	3.32	0.60	658 (390)	3320 (22.9)
120 (1920)	2.80	0.50	752 (446)	3520 (24.3)

Tabla 37 Fuerza de Compresión y módulo de elasticidad del concreto celular

Table 6.2.2—Compressive strength and modulus of elasticity for cellular concrete (table courtesy of Elastizell)

As-cast density, lb/ft ³ (kg/m ³)	Typical 28-day compressive strength, psi (MPa)	Modulus of elasticity, ksi (GPa)
50 (800)	250 to 400 (1.7 to 2.8)	149 (1.03)
65 (1040)	400 to 550 (2.8 to 3.8)	297 (2.05)
80 (1280)	600 to 750 (4.1 to 5.1)	491 (3.38)
95 (1520)	800 to 1100 (5.5 to 7.6)	772 (5.31)
110 (1760)	1300 to 1600 (9.0 to 11.0)	1191 (8.21)

Load Pattern	MUERTA
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	29.
Distribution Type	Two Way
Load Pattern	VIVA
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	70.
Distribution Type	Two Way
Load Pattern	GRANIZO
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	100.
Distribution Type	Two Way

Double click white background cell to edit item.

Assign Load...
Kg/m, m, C
Reset All
Update Display
Modify Display
OK
Cancel

Ilustración 41 Cargas muerta, viva y granizo distribuidas en la cubierta

Load Pattern	MUERTA
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	175.
Distribution Type	Two Way
Load Pattern	VIVA
Uniform to Frames	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	200.
Distribution Type	Two Way

Double click white background cell to edit item.

Assign Load...
Kg/m, m, C
Reset All
Update Display
Modify Display
OK
Cancel

Ilustración 42 Cargas muerta y viva en el entrepiso

ANEXO C: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 1
 DETALLE: ESTRUCTURA PRINCIPAL STEEL FRAME
 ESPECIFICACIÓN:

UNIDAD: kg
 CANTIDAD: 7353.97
 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	1.9%
SUBTOTAL EQUIPOS					0.05	1.9%

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)	
Fierrero D2	1	4.19	4.19	0.110	0.46	17.6%
Peón E2	1	4.14	4.14	0.110	0.46	17.6%
Maestro mayor en ejecución de obras civile C1	0.1	4.65	0.47	0.110	0.05	1.9%
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0.97	37.0%

C. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC	
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)	
Acero espesor 0.9 - 1.1 mm galvanizado	kg	1.02	1.30	1.33	50.8%
Perno metal cabeza plana	u	2.56	0.01	0.03	1.1%
Placa	u	0.04	0.30	0.01	0.4%
Ángulo	u	0.04	0.24	0.01	0.4%
Fulminante y clavos de impacto	u	0.04	0.18	0.01	0.4%
Perno expansivo tipo cuña	u	0.06	0.96	0.06	2.3%
Silicona sellante	u	0.01	15.39	0.15	5.7%
SUBTOTAL MATERIALES				1.60	61.1%

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)	2.62	100%
F. INDIRECTOS Y UTILIDADES %	0.0%	-
G. OTROS INDIRECTOS %	-	-
H. PRECIO UNITARIO TOTAL (E+F+G)	2.62	
VALOR OFERTADO	2.62	

Ilustración 43 APU Estructura principal Steel Frame

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 2
 DETALLE: ESTRUCTURA PRINCIPAL ACERO A-36
 ESPECIFICACIÓN:

UNIDAD: kg
 CANTIDAD: 1868.22
 RENDIMIENTO: 0.0500

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.)	-	-	-	-	0.04	1.0%
Amoladora	1.00	3.75	3.75	0.050	0.19	4.8%
Equipo oxicorte	1.00	1.54	1.54	0.050	0.08	2.0%
Soldadora eléctrica 300 A	1.00	1.88	1.88	0.050	0.09	2.3%
Compresor de aire 250 CFM	0.10	15.00	1.50	0.050	0.08	2.0%
Grúa	0.08	43.55	3.48	0.050	0.17	4.3%
SUBTOTAL EQUIPOS					0.65	16.5%

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)	
Fierrero	D2	1	4.19	4.19	0.050	0.21	5.3%
Peón	E2	1	4.14	4.14	0.050	0.21	5.3%
Encofrador / Engrasador	D2	1	4.19	4.19	0.050	0.21	5.3%
Operador de equipo pesado	C1	1	4.65	4.65	0.050	0.23	5.9%
Maestro mayor en ejecución de obras civile	C1	0.1	4.65	0.47	0.050	0.02	0.5%
SUBTOTAL MANO DE OBRA						0.88	22.4%

C. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC	
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)	
Thinner comercial	gal	0.01	16.52	0.17	4.3%
Oxígeno	m3	0.03	5.36	0.16	4.1%
Disco corte metal 350x2.8x25.4mm	u	0.05	7.5	0.38	9.7%
Anticorrosivo gris mate - galón	gal	0.01	16.45	0.16	4.1%
Electrodo #7018 1/8"	kg	0.05	7.39	0.37	9.4%
Perfil estructural A-36	kg	1.05	1.1	1.16	29.5%
SUBTOTAL MATERIALES				2.40	61.1%

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)	3.93	100%
F. INDIRECTOS Y UTILIDADES %	0.0%	-
G. OTROS INDIRECTOS %	-	-
H. PRECIO UNITARIO TOTAL (E+F+G)	3.93	
VALOR OFERTADO	3.93	

Ilustración 44 APU Acero A36

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 3
 DETALLE: SISTEMA DE RIGIDIZACIÓN LATERAL CRUCES SAN ANDRÉS
 ESPECIFICACIÓN:

UNIDAD: kg
 CANTIDAD: 171.44
 RENDIMIENTO #¡VALOR!

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	1.1%
			-		-	
SUBTOTAL EQUIPOS					0.05	1.1%

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	10.4%
Ayudante de perforador D2	1	4.19	4.19	0.110	0.46	10.4%
Maestro mayor en ejecución de obras civile C1	0.1	4.65	0.47	0.110	0.05	1.1%
			-		-	
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0.97	21.8%

C. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC	
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)	
Steel Frame 65x0.9 mm	kg	1.02	1.3	1.33	30.0%
Tornillo	u	3.44	0.01	0.03	0.7%
Holdown	u	0.32	0.04	0.01	0.2%
Cartelas 20x20cm	u	0.86	1	0.86	19.4%
Anclaje	u	0.32	1.8	0.58	13.1%
Arandela y tuerca	u	0.32	0.18	0.06	1.4%
Químico	u	0.01	55.03	0.55	0.1239
SUBTOTAL MATERIALES				3.42	77.0%

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)	4.44	100%
F. INDIRECTOS Y UTILIDADES %	0.0%	-
G. OTROS INDIRECTOS %		-
H. PRECIO UNITARIO TOTAL (E+F+G)	4.44	
VALOR OFERTADO	4.44	

Ilustración 45 APU Cruces de San Andrés

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 5
 DETALLE: HORMIGÓN CELULAR PARED
 ESPECIFICACIÓN:

UNIDAD: m3
 CANTIDAD: 34.77
 RENDIMIENTO

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.)	-	-	-	-	2.06	1.2%
					-	
SUBTOTAL EQUIPOS					2.06	1.2%

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)	
Peón E2	6	4.14	24.84	1.090	27.08	15.5%
Albañil D2	2	4.19	8.38	1.090	9.13	5.2%
Maestro mayor en ejecución de obras civile C1	1	4.65	4.65	1.090	5.07	2.9%
SUBTOTAL MANO DE OBRA					41.28	23.7%

C. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC	
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)	
Cemento Portland 50kg	saco	7.92	8.22	65.10	37.4%
Agua	m3	0.16	0.72	0.11	0.1%
Arena	m3	0.39	14.5	5.60	3.2%
Espuma	kg	30.00	2	60.00	34.5%
SUBTOTAL MATERIALES				130.81	75.1%

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)	174.15	100%
F. INDIRECTOS Y UTILIDADES %	0.0%	-
G. OTROS INDIRECTOS %	0.0%	-
H. PRECIO UNITARIO TOTAL (E+F+G)	174.15	
VALOR OFERTADO	174.15	

Ilustración 46 APU Hormigón celular paredes

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: AUX: HORMIGÓN CELULAR PAREDES

UNIDAD:

DETALLE:

CANTIDAD:

ESPECIFICACIÓN:

RENDIMIENTO

-

A. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	A	B	C=AxB	D	E=CxD
	CANTIDAD	TARIFA (USD/hr)	COSTO HORA (USD/hr)	RENDIMIENTO (hr/u)	COSTO (USD)
			-		-
SUBTOTAL EQUIPOS					-

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)
			-		-
SUBTOTAL MANO DE OBRA					-

C. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC	
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)	
Cemento Portland 50kg	saco	7.92	8.22	65.10	49.8%
Agua	m3	0.16	0.72	0.11	0.1%
Arena	m3	0.39	14.5	5.60	4.3%
Espuma	kg	30.00	2	60.00	45.9%
				-	
SUBTOTAL MATERIALES				130.81	100.0%

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)	130.81
F. INDIRECTOS Y UTILIDADES %	-
G. OTROS INDIRECTOS %	-
H. PRECIO UNITARIO TOTAL (E+F+G)	130.81
VALOR OFERTADO	

100%

Ilustración 47 Aux. Hormigón celular paredes

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: 4
 DETALLE: HORMIGÓN CELULAR PISOS
 ESPECIFICACIÓN:

UNIDAD: m3
 CANTIDAD: 9.44
 RENDIMIENTO: -

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.)		-	-	-	0.74
Soldadora Eléctrica	1	1.88	1.88	0.320	0.60
SUBTOTAL EQUIPOS					1.34

0.4%
 0.3%
 0.6%

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)
Peón E2	6	4.14	24.84	0.32000	7.95
Albañil D2	2	4.19	8.38	0.32000	2.68
Operador de equipo liviano D2	1	4.19	4.19	0.32000	1.34
Fierrero D2	1	4.19	4.19	0.32000	1.34
Maestro mayor en ejecución de obras civile C1	1	4.65	4.65	0.32000	1.49
SUBTOTAL MANO DE OBRA					14.80

3.8%
 1.3%
 0.6%
 0.6%
 0.7%
 7.1%

C. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)
Cemento Portland 50kg	saco	8.180	8.22	67.24
Agua	m3	0.161	0.72	0.12
Arena	m3	0.247	14.50	3.58
Espuma	kg	35.000	2.00	70.00
Chapa metálica	m2	16.670	3.00	50.01
SUBTOTAL MATERIALES				190.95

32.5%
 0.1%
 1.7%
 33.8%
 0.2415
 92.2%

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)	207.09
F. INDIRECTOS Y UTILIDADES %	0.0%
G. OTROS INDIRECTOS %	-
H. PRECIO UNITARIO TOTAL (E+F+G)	207.09
VALOR OFERTADO	207.09

100%

Ilustración 48 APU Hormigón celular entrepiso

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: AUX: HORMIGÓN CELULAR ENTREPISO

UNIDAD: m3

DETALLE:

CANTIDAD:

ESPECIFICACIÓN:

RENDIMIENTO

-

A. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	A	B	C=AxB	D	E=CxD
	CANTIDAD	TARIFA (USD/hr)	COSTO HORA (USD/hr)	RENDIMIENTO (hr/u)	COSTO (USD)
			-		-
			-		-
SUBTOTAL EQUIPOS					-

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)
			-		-
SUBTOTAL MANO DE OBRA					-

C. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	A	B	C	D=BxC	
	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA (USD/u)	COSTO (USD)	
Cemento Portland 50kg	saco	8.18	8.22	67.24	33.0%
Agua	m3	0.16	0.72	0.12	0.1%
Arena	m3	0.25	14.5	3.58	1.8%
Espuma	kg	35.00	2	70.00	34.3%
Chapa metálica	m2	5.79	10.86	62.85	0.3084
SUBTOTAL MATERIALES				203.79	100.0%

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)	203.79	100%
F. INDIRECTOS Y UTILIDADES %	-	
G. OTROS INDIRECTOS %	-	
H. PRECIO UNITARIO TOTAL (E+F+G)	203.79	
VALOR OFERTADO		

Ilustración 49 Aux, Hormigón celular entrepiso

TABLE 1604.3 DEFLECTION LIMITS^{a, b, c, h, i}

CONSTRUCTION	L or L_r	S^j or W^f	$D + L^{d, g}$
Roof members: ^e			
Supporting plaster or stucco ceiling	$l/360$	$l/360$	$l/240$
Supporting nonplaster ceiling	$l/240$	$l/240$	$l/180$
Not supporting ceiling	$l/180$	$l/180$	$l/120$
Floor members	$l/360$	—	$l/240$
Exterior walls:			
With plaster or stucco finishes	—	$l/360$	—
With other brittle finishes	—	$l/240$	—
With flexible finishes	—	$l/120$	—
Interior partitions: ^b			
With plaster or stucco finishes	$l/360$	—	—
With other brittle finishes	$l/240$	—	—
With flexible finishes	$l/120$	—	—
Farm buildings	—	—	$l/180$
Greenhouses	—	—	$l/120$

Ilustración 50 Límites de deflexión