



Universidad Autónoma de Chiapas



Facultad de Ingeniería

Campus I

Análisis Multicriterio de Muros Divisorios en Edificaciones para Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Que para Obtener el grado de:

Maestría en Ingeniería con Formación en Construcción

Presenta:

Olga Teresa Salazar Aguilar 14012036

Director de Tesis:

Dr. Moisés Nazar Beutelspacher

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; abril de 2024



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas
15 de abril del 2024
Oficio No. F.I.01.654/2024

C. OLGA TERESA SALAZAR AGUILAR
EGRESADA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN CONSTRUCCIÓN
PRESENTE.


Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

"ANÁLISIS MULTICRITERIO DE MUROS DIVISORIOS EN EDIFICACIONES PARA TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS".

CERTIFICO el **VOTO APROBATORIO** emitido por este jurado, y autorizo la entrega de tesis digital elaborada a través del Programa Institucional para la Obtención del Grado Académico (PIGA), para que sea sustentado en su Examen de grado de Maestra en Ingeniería con Formación en Construcción.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"


DR. OMAR ANTONIO DE LA CRUZ COURTIS
DIRECTOR



Ccp. Dr. Humberto Miguel Sansebastián García, Coordinador de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería, Campus I UNACH.
Archivo/minutario
OACCHMSG/tpg"





Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Olga Teresa Salazar Aguilar, Autor (a) de la tesis bajo el título de "Análisis Multicriterio de Muros Divisorios en Edificaciones para Tuxtla Gutiérrez, Chiapas." presentada y aprobada en el año 2024 como requisito para obtener el título o grado de Maestría en Ingeniería con Formación en Construcción, autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 18 días del mes de Abril del año 2024.


Olga Teresa Salazar Aguilar

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

AGRADECIMIENTOS

Con profundo reconocimiento extiendo mi más sincera gratitud a mi director de tesis, el Dr. Moisés Nazar Beutelspacher. Su dedicación y guía han sido pilares fundamentales en la dirección y enriquecimiento de esta investigación

Mi gratitud a la Universidad Autónoma de Chiapas por el impulso y apoyo a los alumnos, en nuestro desarrollo para concluir a través del programa PIGA un ciclo pendiente. Agradezco a cada directivo por su trabajo y gestión.

Reconozco el trabajo de nuestra tallerista Mtra. Claudia Olivia Ichin Gómez por su dedicación en cada una de las revisiones y propuestas de mejoría a mi tesis.

DEDICATORIAS

El presente trabajo está dedicado a mis padres y abuelitos quienes han sido ejemplo a seguir, por estar presentes cuando más los necesité.

En especial a ti, amigo incondicional, que has sido un pilar en mi vida al igual que ellos, muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre los que se incluye este, por lo cual estoy eternamente agradecida.

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	v
Índice de Tablas	vii
Índice de Figuras	ix
Resumen	xi
Introducción	1
Capítulo 1. Marco Teórico.	6
1.1 Muros Divisorios	6
<i>1.1.1 Sistemas Constructivos</i>	7
1.1.1.2. Panel De Yeso (Tablaroca - Panel Rey).	8
1.1.1.3. Panel Estructural (Covintec - Panel W).....	11
1.1.1.4. Durock.	14
1.1.1.5. Muro De Mampostería	16
1.2. Gases de Efecto Invernadero.	18
1.3. Costos	20
1.4. Confort Térmico.....	20
1.5. Confort Acústico.	21
1.6. Análisis Multicriterio.....	22
<i>1.6.1 Método AHP</i>	22
1.6.1.1. Analogías.	23
Capítulo 2. Metodología	35
2.1 Métodos	35

2.2 Limitaciones.	41
2.3 Participantes.....	41
2.4 Alternativas estudiadas.....	41
2.5. Técnicas.....	41
Capítulo 3. Resultados y Discusión.....	43
Conclusiones	58
Referencias	60

Índice de Tablas

Tabla 1 Escala base	37
Tabla 2 Promedio de inconsistencia.	40
Tabla 3 Escala base	43
Tabla 4 Alternativas constructivas para muros divisorios	44
Tabla 5 Criterios de evaluación para cada sistema constructivo	44
Tabla 6 Matriz de comparación con sistemas constructivos y criterios de análisis	45
Tabla 7 Matriz de comparación por pares de criterios.....	46
Tabla 8 Matriz normalizada de comparación por pares de criterios	46
Tabla 9 Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w	47
Tabla 10 Coeficientes de CI, RI y CR	47
Tabla 11 Matriz de comparación de alternativas con base en el criterio de emisiones GEI.	48
Tabla 12 Matriz normalizada de comparación de alternativas con base en el criterio de emisiones GEI.	48
Tabla 13 Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w y los coeficientes de CI, RI y CR para el criterio de GEI	49
Tabla 14 Coeficientes de CI, RI y CR para el criterio de GEI	49
Tabla 15 Matriz de comparación de alternativas con base en el costo.	50
Tabla 16 Matriz normalizada de comparación de alternativas con base en el costo.	50
Tabla 17 Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w para el criterio de costo. .	51
Tabla 18 Coeficientes de CI, RI y CR	51
Tabla 19 Matriz de comparación de alternativas con base en el criterio de conductividad térmica.	51
Tabla 20 Matriz normalizada de comparación de alternativas con base en el criterio de conductividad térmica.	52

Tabla 21 Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w con base en el criterio de conductividad térmica.	52
Tabla 22 Coeficientes de CI, RI y CR	53
Tabla 23 Matriz de comparación de alternativas con base en el criterio de aislamiento acústico.	53
Tabla 24 Matriz normalizada de comparación de alternativas con base en el criterio de aislamiento acústico.....	53
Tabla 25 Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w con base en el criterio de aislamiento acústico.....	54
Tabla 26 Coeficientes de CI, RI y CR	54
Tabla 27 Matriz de Intensidad de criterios, ponderaciones y priorización de cada uno.	55

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema de Composición de Sistema Panel de Yeso.	9
Figura 2 Panel de Yeso y Canal Metálico en Tienda.	10
Figura 3 Proceso Constructivo de Estructura, Panel de Yeso y Acabado en Pintura.	10
Figura 4 Esquema de MURO W-COVINTEC	12
Figura 5 Panel Estructural COVINTEC en Tienda	13
Figura 6 Muro Divisorio de COVINTEC	13
Figura 7 Panel de Tablamiento USG DUROCK.....	14
Figura 8 Esquema de Muro de DUROCK.....	15
Figura 9 Panel y Perfil de Tablamiento USG DUROCK.....	15
Figura 10 Proceso Constructivo de muro USG DUROCK	16
Figura 11 Esquema de Muro de Mampostería de Block Hueco 15-20-40.	17
Figura 12 Muro Divisorio de Mampostería Confinada.....	18
Figura 13 Gráfico de los Tres Pilares del Desarrollo Sustentable.	20
Figura 14 Gráfico de Temperaturas Mínimas y Máximas para Invierno y Verano en las Ciudades de Estudio (Madrid, Bilbao y Sevilla).	24
Figura 15 Gráfico de Humedad Mínimas y Máximas para Invierno y Verano en las Ciudades de Estudio (Madrid, Bilbao y Sevilla).	25
Figura 16 Gráfico de Esquema de Desarrollo de Tesis y Aplicación AHP.	26
Figura 17 Gráfico de Esquema de Desarrollo y Aplicación de Análisis Multicriterio.	26
Figura 18 Gráfico de Esquema de Proceso de Investigación en Tesis.	27
Figura 19 Gráfico de Esquema de Desarrollo y Aplicación de Análisis Multicriterio.	28
Figura 20 Gráfico de Análisis Multiparamétrico del Block, Tabique Artesanal e Industrial.	28
Figura 21 Gráfico de Esquema de Proceso de Integración y Aplicación de Análisis Multicriterio.	29
Figura 22 Gráfico de Esquema de Desarrollo de Análisis Multicriterio en Investigación	30

Figura 23 Gráfico de Esquema de Proceso de Aplicación de Metodología Multicriterio.....	31
Figura 24 Gráfico de Esquema de Proceso de Integración y Aplicación de Análisis Multicriterio.	31
Figura 25 Gráfico de Esquema de Proceso Desarrollo de Tesis.....	33
Figura 26 Matriz de Comparación por Pares por Nivel.	38
Figura 27 Matriz de Comparación por Pares por nivel Normalizada.	38
Figura 28 Vector Promedio.....	39
Figura 29 Gráfico de priorización de las alternativas de sistemas constructivos para muros divisorios analizados.	55

Resumen

Actualmente, la industria de la construcción se orienta hacia el desarrollo sostenible, lo que ha llevado a la investigación del impacto ambiental que causan los materiales, principalmente en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), por otro lado, el crecimiento demográfico y movilidad en la población deriva en mayor demanda en el consumo de recursos energéticos, que continúan en aumento. En este sentido, radica la importancia del enfoque en el desarrollo sostenible, que integra tres aspectos principales: medio ambiente, economía y sociedad, teniendo como punto de equilibrio la sustentabilidad. Dentro de la construcción el uso de elementos prefabricados cada vez es mayor, debido a las ventajas que ofrece como son: reducción en costos en mano de obra, reducción en tiempos de construcción, mejoras en calidad de elementos, reducción de peso, versatilidad en las formas, acabados, limpieza, facilidad en desmantelamiento, mejoras en aislamiento térmico y acústico, entre otros atributos, por lo tanto, el ejercicio de toma de decisiones está siempre presente. Sin embargo, la comparación de estos elementos o sistemas constructivos, requieren de un análisis más objetivo que permita encontrar el mejor, de acuerdo con las variables de estudio que el proyecto necesite, más aún en la búsqueda del desarrollo sustentable. Por lo que, en la presente investigación, se identificaron como elementos de análisis que de acuerdo con los objetivos particulares, los sistemas constructivos para muros divisorios en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas con mayor demanda en el mercado local, siendo estos: Muro de Tablaroca, Muro de Durock, Muro de Covintec y Muro de Block 15x20x40, puntualizando el objetivo general, este análisis muestra la comparación entre los sistemas constructivos antes mencionados, los criterios de evaluación que se consideraron, responden a los objetivos particulares, estos se enfocan en el desarrollo sostenible integrando tres aspectos: medio ambiente, a través de las emisiones de GEI; economía, mediante el análisis de costos y sociedad, con indicadores de aislamiento térmico y acústico para condiciones de confort. Este estudio se realizó tomando como unidad de medida un metro cuadrado de muro construido, identificando ventajas y desventajas de cada opción

constructiva. Se utilizó como herramienta de evaluación la metodología de análisis multicriterio AHP para la toma de decisiones, considerado el objetivo general de esta investigación. Se desarrolló en tres etapas principales: definición del problema (proceso de decisión y su objetivo, alternativas de solución y criterios de decisión), se evaluaron las alternativas de acuerdo con panel de expertos (parámetros, importancia, grupos de valoraciones y consistencia) y finalmente la selección de la mejor alternativa (factores de peso y suma ponderada para identificar la mejor alternativa) de los sistemas constructivos para muros divisorios propuestos. Con los datos obtenidos en la investigación sobre la elección de los sistemas constructivos para muros divisorios en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas se demuestra de acuerdo con los criterios de evaluación que el muro de Tablaroca es el sistema óptimo para la construcción de muros divisorios.

Palabras clave: Muro divisorio, desarrollo sustentable, análisis multicriterio, Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

Introducción

En Chiapas el 91.3 % de hogares existentes son hogares familiares de acuerdo con la Encuesta Nacional de los Hogares (ENH, 2017). Dentro de esta categoría se dividen en hogares nucleares, hogares ampliados y hogares familiares compuestos. En el mismo orden de ideas de acuerdo con la Encuesta Nacional de Vivienda (ENVI, 2020), de las viviendas propias en el estado el 82.5% requieren de ampliación de espacios o hacer una construcción. En Tuxtla Gutiérrez, el 66.7 % de los hogares particulares cuentan con 3 o más cuartos, representando la cocina uno de ellos y la ocupación por cuarto era de 1.3 y por dormitorio 2.2, en el mismo periodo, las viviendas particulares habitadas con un dormitorio eran del 31.1% y con dos dormitorios el 38.9% (INEGI, 2020). Por otra parte, es la ciudad con mayor concentración de población con aproximadamente 600,000 habitantes.

De acuerdo con los datos anteriormente mencionados, existen nuevas necesidades dentro de los espacios de la vivienda como respuesta a los cambios que se presentan de las dinámicas familiares, siendo entonces Tuxtla Gutiérrez la ciudad capital del estado con mayor número de habitantes, por lo que se prevé que estas dinámicas continúen.

Por su ubicación geográfica en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, se presenta un clima cálido subhúmedo. Rememorando la carta bioclimática que presenta Gaitán (2005), solo el 15% del año se presentan condiciones de confort térmico y el 46% del año sobrecalentamiento térmico. Donde las mañanas son frescas, pero en horarios de mayor actividad (11:00 horas. a 22:00 horas.) se dan condiciones de sobrecalentamiento. En las gráficas que presenta de se observa fluctuación en la temperatura, que va de frío a cálido, ambos fuera del rango de confort térmico (22.7 a 27.7 °C). En los elementos reguladores que contempla, como parte de las estrategias de enfriamiento para dichas condiciones de sobrecalentamiento, propone el aislamiento de calor a través de materiales que funcionan como aislantes. Estos materiales van a reducir la transferencia de calor a los diferentes espacios de la vivienda, dentro de los principales se

encuentran: fibra de vidrio, espuma de poliestireno o poliuretano, lana mineral o de roca, celulosa, algodón, lana de vidrio, papel, entre otros.

Dada la ubicación de los muros divisorios, otro elemento de confort de gran importancia que se tomó en cuenta, es el confort acústico. En las viviendas aumenta la percepción de bienestar físico y mental de los habitantes, acorde a los materiales que constituyen estos sistemas se logra la absorción o disipación de sonido en los diferentes espacios.

Los muros divisorios de las viviendas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas son variados, de acuerdo con el tipo de vivienda, condiciones económicas y materiales disponibles. Es importante mencionar que, anteriormente los muros divisorios eran de gran espesor reduciendo áreas de espacio habitable, esto como respuesta al sistema constructivo empleado, al paso de los años se ha buscado seguridad, esbeltez y ligereza de los elementos. En nuestros días, el uso de sistemas prefabricados va en incremento debido a sus características, como son: funcionalidad de los sistemas, ligereza en los elementos, tiempo de construcción, facilidad en desmantelamiento, limpieza, costo, calidad, aislamiento térmico, aislamiento acústico, entre otros. El mercado oferta diferentes sistemas constructivos prefabricados para muros divisorios, dentro de los más comerciales se han encontrado: panel de yeso, panel de malla-cemento, panel de poliestireno estructurado y muro de mampostería (block cemento-arena de 15-20-40, hecho en fábrica), siendo éstos los de mayor demanda comercial.

En la industria de la construcción la toma de decisiones está siempre presente, como sucede con la selección de los materiales que se emplearán, desde la concepción del proyecto. En el tiempo actual, existe la disposición de la industria hacia el desarrollo sostenible, lo que ha llevado a la investigación de materiales donde el impacto al ambiente sea mínimo mediante el análisis de ciclo de vida (ACV), desde la elaboración de los materiales hasta el fin de su vida útil y lo que pasa con estos residuos. En el enfoque de desarrollo sostenible que integra los tres aspectos: medio ambiente, economía y sociedad, tiene como punto de equilibrio la sustentabilidad (Barrutia, 2007), en respuesta a ello, se han considerado los siguientes factores

de análisis: emisión de gases de efecto invernadero (GEI), costos, aislamiento térmico y aislamiento acústico, bajo la primicia de eficiencia energética.

La comparación de estos factores complica el desarrollo de un análisis objetivo que permita elegir el sistema óptimo dadas las variables de estudio, en otras palabras, se trata de determinar de los sistemas constructivos que se presentan, cuál es la mejor, donde los indicadores no tienen un punto de convergencia en sí.

El objetivo general de esta investigación surge de la aplicación del análisis multicriterio para la toma de decisiones, aplicado a muros divisorios para edificaciones que se ofertan actualmente en Tuxtla Gutiérrez, a través de la aplicación del análisis multicriterio jerárquico (AHP por sus siglas en inglés), para determinar de la oferta comercial de muros divisorios, el muro más conveniente considerando las variables antes mencionadas: costos, aislamiento térmico, aislamiento acústico y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esta metodología permitió el procesamiento y análisis de datos.

Por otro lado, es importante señalar que dicho análisis ha sido aplicado a diferentes campos de investigación, principalmente en la industria de la construcción, en el capítulo 2 se exponen cinco casos como investigaciones previas, donde se presentan diferentes elementos de estudio.

Dentro de los objetivos particulares se buscó identificar las variables de análisis, las cuales se obtuvieron de acuerdo al enfoque de desarrollo sostenible, se conocieron los indicadores de GEI considerando como unidad de análisis un metro cuadrado de muro, se identificaron las ventajas y desventajas de cada opción constructiva, se establecieron las preferencias en cuanto a los parámetros de cada opción, se tomó en cuenta la hipótesis planteada, donde, el muro divisorio más conveniente bajo los criterios de sustentabilidad no necesariamente era el de menor costo, de la misma forma, que la opción propuesta de muro divisorio tenía una factibilidad constructiva comparable a la de otras opciones, la construcción

del sistema no superó los costos estimados y a su vez las emisiones de GEI atribuidas a esta opción constructiva fueron mínimas.

Teniendo siempre presente en el desarrollo de la investigación, responder las siguientes preguntas: ¿cuál es la mejor opción comercial para el empleo de muros Divisorios en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, bajo criterios de sustentabilidad?, ¿es comparable la factibilidad constructiva con opciones equivalentes de muros divisorios?, ¿cuáles son los costos estimados para la opción constructiva propuesta?, ¿cuáles son las emisiones estimadas de gases de efecto invernadero atribuibles a esa opción constructiva?

La estructura de la esta investigación se desarrolla en 5 capítulos de la siguiente manera:

En la presente introducción. Señala el tema de estudio, indica el desarrollo de algunas investigaciones con la aplicación del sistema de análisis que se puntualizan en el siguiente capítulo, se justifica el análisis, desarrolla el planteamiento del problema, hipótesis y objetivos.

Capítulo 1.- Marco teórico. En este apartado se definen conceptos y categorías principales de análisis (muros divisorios y análisis multicriterio AHP), así como las subcategorías como variables de análisis (costos, emisiones GEI, confort acústico y térmico), y los sistemas a analizar (Tablaroca, Covintec, Durock, muro de mampostería), que permiten comprender de manera clara el tema de investigación, de igual forma se abordaron las investigaciones previas que han aplicado el análisis multicriterio para la toma de decisiones.

Capítulo 2.- Metodología. Este apartado expone el desarrollo de la metodología (AHP) y su aplicación al tema de investigación, describe procedimientos, limitaciones, participantes, muestra, técnicas, instrumentos, materiales y herramientas utilizadas para la recopilación de la información y los que se utilizaron en el análisis de datos obtenidos.

Capítulo 3.- Resultados y discusión. Muestra los resultados que se obtuvieron del análisis cualitativo de los datos recopilados, así como su explicación y análisis. La discusión se desarrolló a partir del análisis de los resultados obtenidos que fueron planteados en el marco teórico, así como por el panel de expertos.

Finalmente, en la conclusión. Se explican los resultados obtenidos de acuerdo con los objetivos específicos planteados, agregando algunas recomendaciones y observaciones para siguientes investigaciones.

Capítulo 1. Marco Teórico.

El objetivo principal de este apartado es contextualizar la importancia de la aplicación del análisis multicriterio para la toma de decisiones, aplicado a muros divisorios para edificaciones que se ofertan actualmente en Tuxtla Gutiérrez, la selección del sistema constructivo óptimo es mediante variables de análisis que apuntan hacia la sustentabilidad del sistema constructivo (ambiental, económico y social), dadas las características de dicho análisis hace compleja la toma de decisiones, en otras palabras estos criterios, variables e indicadores son contradictorios entre sí, por lo que se requiere de procesos especializados que puedan integrar cada uno de estos elementos, así como los objetivos específicos para cada enfoque, con la finalidad de optimizar la solución. Se aplica el análisis multicriterio como herramienta de apoyo en la toma de decisiones, esto hace más viable la elección simplificando la complejidad de los criterios.

1.1 Muros Divisorios

Los muros interiores o divisorios separan espacios sin soportar cargas estructurales siendo por lo general de constitución ligera, con características térmicas, acústicas y por su ubicación en espacios húmedos, deben ser impermeables. De acuerdo con los materiales que conforman el sistema constructivo, pueden ser recubiertos de diferentes productos ligeros.

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, indican que:

“para muros que no contribuyan a resistir fuerzas laterales, se sujetarán a la estructura de manera que no restrinjan la deformación de ésta en el plano del muro, pero a la vez que se impida el volteo de estos muros en dirección normal a su plano”. (NTC-S, 2004, p.6).

Es importante señalar que además dicha norma recomienda características de flexibilidad en el material de estos muros, al mismo tiempo, se debe planear la estructura que los contiene, según los requerimientos del sistema constructivo a emplear, cuidando la unión o junta con la estructura principal.

Dentro de las especificaciones en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de la Ciudad de México (NTC-M, 2004), se encuentran la NTC para el Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería, en la que se refiere a las estructuras de mampostería confinada o reforzada interiormente. Este sistema constructivo, es utilizado también como muro divisorio en las edificaciones, considerado para análisis dentro de esta investigación.

Derivado de los sismos ocurridos, actualmente: “Se requiere refuerzo por integridad estructural. Este se coloca verticalmente en las intersecciones de muros a cada 4m, y horizontalmente en la parte superior de los muros”. (NTC-M, 2004, p.9), dicha norma señala, que estos refuerzos representan dos tercios de lo requerido para mampostería confinada y lo que se trata de evitar es la “vulnerabilidad” en dichos elementos.

En años anteriores se acostumbraba a utilizar muros de gran espesor para construcción de nuestras edificaciones generando con esto espacios reducidos y costos elevados en fabricación. Actualmente las investigaciones se han orientado al desarrollo de técnicas y elementos constructivos que sean favorables en la construcción de edificaciones, principalmente en muros, con la finalidad de aumentar rendimientos de material y mano de obra.

En este mismo sentido, ha sido la fabricación de muros con materiales ligeros, de baja densidad, esbeltos, manejables, con propiedades acústicas y térmicas, encontrando en el mercado sistemas de paneles prefabricados con características por su composición variadas.

1.1.1 Sistemas Constructivos

Actualmente el mercado oferta diferentes sistemas constructivos para muros divisorios, las variantes van desde características en su composición, hasta distintas técnicas constructivas de los sistemas, como son: panel de yeso, panel de malla-cemento, panel de poliestireno estructurado y muro de mampostería (block cemento-arena de 15-20-40, hecho en fábrica), se consideran estos sistemas como los más representativos para este análisis de acuerdo con la demanda del mercado local. Acorde con estas composiciones se ofertan diversas marcas dentro

del área urbana (las más comerciales son Tablaroca, Covintec, Durock y muro de mampostería con block de Adoblock 15-20-40, hecho en fábrica).

1.1.1.2. Panel De Yeso (Tablaroca - Panel Rey). Es una placa de yeso contenida en finas capas de papel al exterior del elemento que dan forma al mismo, las medidas más comerciales del panel son 1.22 m x 2.44 m (4' x 8') y 1.22 m x 3.05 m (4' x 10'). Es utilizado como sistema de construcción en interiores. El sistema consiste en dos placas de yeso de 12.7 mm. para caso de análisis, que son fijadas con tornillos y taquetes en caras exteriores de marco formado por canales metálicos y postes de la marca que van anclados a la estructura principal del edificio (piso, losa, castillos o columnas), en caso de panel rey son perfiles G-90 de acero galvanizado, rolado en frío, los postes no deben superar los 61 cm entre sí, en las uniones entre paneles se utiliza cinta de refuerzo Perfacinta de la misma marca o similar, posee características de aislamiento acústico a través del elemento vacío o con fibra de lana va de 39 STC vacío a 55 STC (Sound Transmission Class) con fibra.

Las características que lo definen señalan su ligereza, de acuerdo con el espesor del panel es de 6.9 kg/m² a 14.6 kg/m² con espesores van de 9.6 mm a 15.9 mm, se construye el sistema en seco, no requiere maquinaria especializada para su conformación, es un sistema compatible con otros sistemas prefabricados para muros interiores, se destaca la flexibilidad del sistema, se ocupa como muros divisorios no estructurales, en plafones, construcción de muebles, entre otros usos, la resistencia al fuego que va de 1 a 4 horas de acuerdo con las especificaciones y características de los paneles del sistema, señalan también la baja o nula emisión de humo y es retardante en la propagación de fuego en caso de incendios por su composición (Clase A, ASTM E-84), permite temperaturas que superan los 100 °C antes de calcinarse. La fabricación del sistema es de acuerdo con la norma C-1396 de American Society for Testing Materials (ASTM) regula las características que debe cumplir la manufactura en la elaboración de estos tableros y la norma ASTM C-840 regula la instalación del sistema. (USG Tablaroca, 2016).

En la tesis Comparativa técnico–económica en muros divisorios para edificación vertical en la ciudad de México, (Pérez, 2023) indica que éste sistema comparado con el muro de mampostería es más rápido en su instalación, tiene menor peso que el sistema constructivo tradicional, de acuerdo al tipo de construcción la ligereza en los muros divisorios se ve reflejada en la estructura principal y en los costos de obra, de acuerdo a las especificaciones del proyecto junto a los requisitos necesarios para la división de espacios, este sistema constructivo puede aumentar sus características de aislamiento acústico, conductividad térmica, retardante contra incendios, mayor resistencia a la humedad que un panel estándar por lo que el costo puede aumentar significativamente y debe tomarse en cuenta las características de los mismos para optimizar los recursos. A continuación, en las figuras 1, 2 y 3 se muestran los elementos que conforman al sistema, así como el muro terminado con pintura.

Figura 1

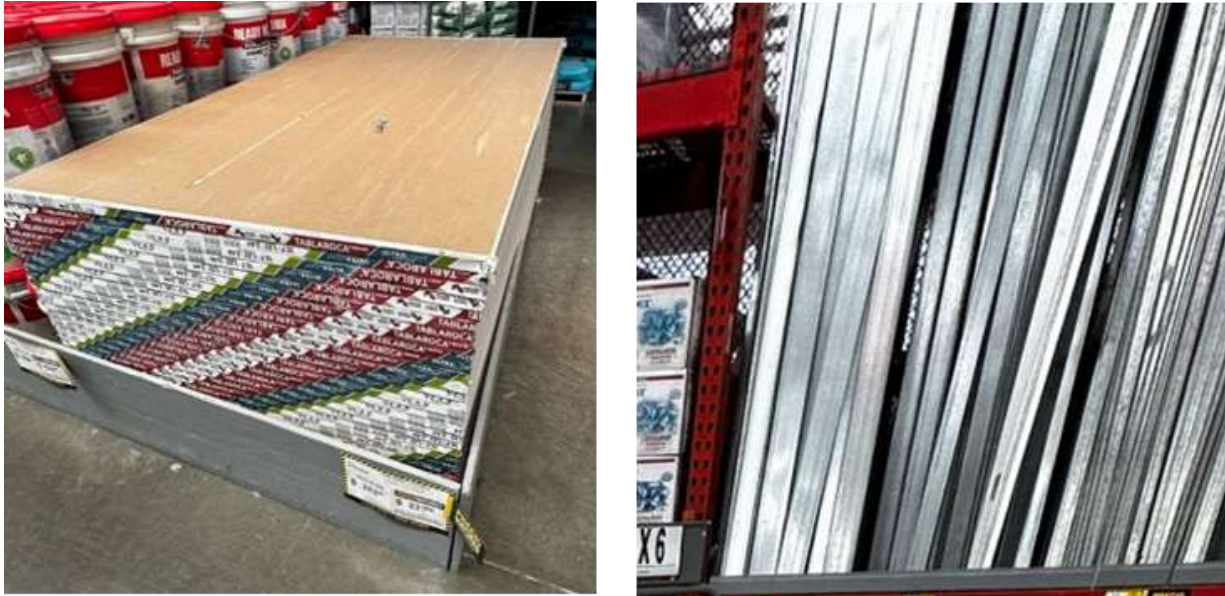
Esquema de composición del sistema panel de yeso.



Nota. El gráfico representa un muro divisorio de Tablaroca.

Figura 2

Panel de yeso y canal metálico en tienda.



Nota. Las imágenes forman parte de los elementos del sistema USG Tablaroca.

Figura 3

Proceso constructivo de estructura, panel de yeso y acabado en pintura.



Nota. Proceso de muro divisorio en obra. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

1.1.1.3. Panel Estructural (Covintec - Panel W). Es un sistema constructivo que, para este estudio, se considera su función en muros divisorios. Está conformado a base de paneles de alambre de acero, con centro de espuma aislante que es recubierto en la obra con mortero.

Los paneles para muro se colocan sobre la cimentación y se anclan con varillas, posteriormente se unen todos los paneles entre sí por medio de tiras de unión de la misma marca.

Los ductos y accesorios de instalaciones se colocan dentro de los paneles colocando sobre éstos mallas de refuerzo en los cortes, se integran al sistema los refuerzos de varilla necesarios de acuerdo con el diseño del espacio.

Finalmente se recubre el sistema con concreto lanzado o mortero hasta alcanzar el espesor requerido, se consideran ambas caras del panel recubiertas de mortero con $f'c$ 100kg/cm^2 .

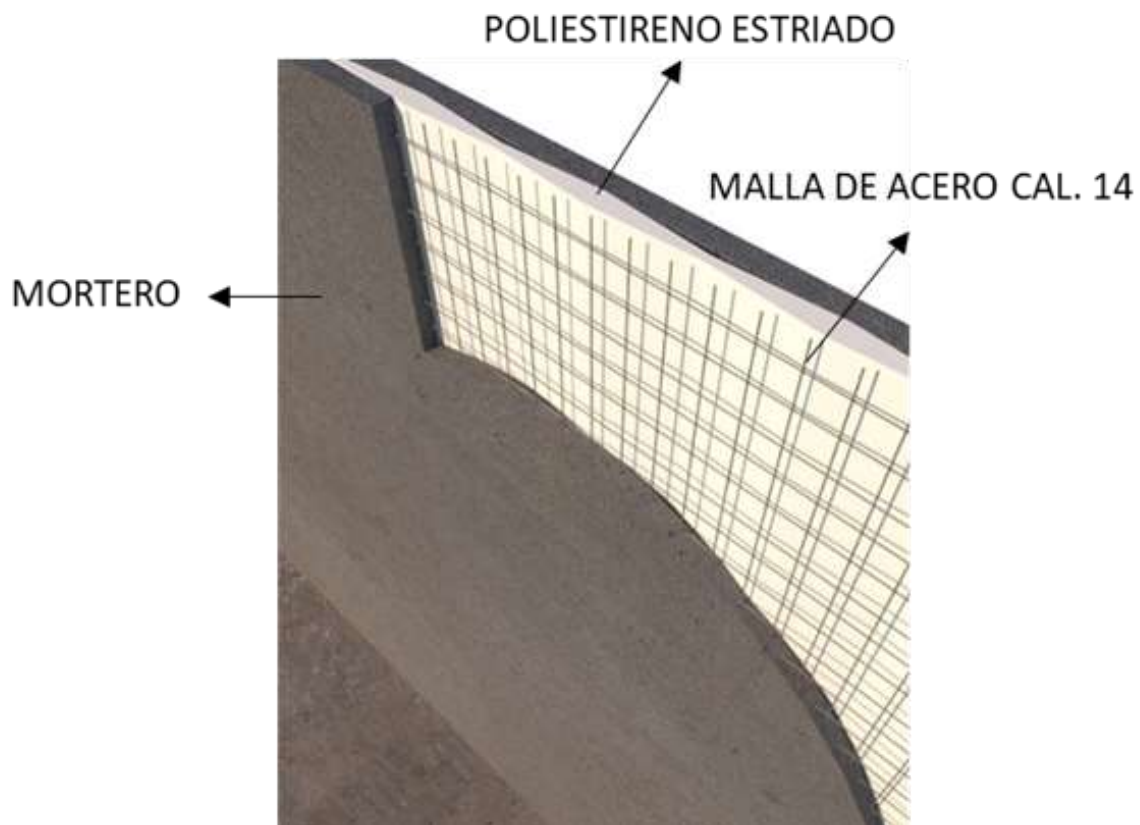
Forma parte de los sistemas constructivos ligeros para muros interiores, el sistema está conformado por paneles de dimensión nominal 1.22 m de ancho por 2.44 m de largo con espesor de 5.08 cm, el espesor total con aplanado es de 8.08 cm a 9 cm con un peso de 111 kg/m^2 Covintec - 102.67 kg/m^2 panel W, espesor convencional para muro divisorio 2", compuesto de una malla de alambre galvanizado calibre #15 (1.83 mm), formando una retícula de 6.7 cm x 6.7 cm para Covintec y 5 x 5 cm para panel W, electrosoldado en cada punto de contacto, con elementos verticales llamadas escalerillas o zig-zag que proporciona tridimensionalidad a la malla.

En el interior de la estructura se encuentra una placa de poliestireno estriado con 2.9 cm de espesor, ambas caras van recubiertas con una capa de mortero cemento-arena de 2 a 3 cm de espesor con resistencia de 100 kg/cm^2 , obteniendo una estructura de concreto reforzado con las características de resistencia del acero (6000 kg/cm^2), debido al alma del sistema posee aislamiento acústico 44 dB, el coeficiente de conductividad térmica $0.0442\text{ W/m}^2\text{K}$, cumple con la norma NOM-020-ENER-2011, da ligereza del elemento y durabilidad por todos los elementos que lo forman. Su instalación no requiere de equipos especiales.

La certificación en la fabricación es emitida por el Organismo Nacional de Normalización y certificación de Construcción y la Edificación, SC. (ONCCE). (*Ficha Técnica Panel Covintec ST para muros divisorios 2"*, 2011). Dadas las características del sistema se recomienda cuidar el diseño de las juntas o elementos de unión con el sistema principal de estructuras. (Panel W, 2021). El sistema se describe en las figuras 4, 5 y 6, en esquema e imágenes de los elementos, así como el muro terminado en obra

Figura 4

Esquema de muro W-Covintec.



Nota. El gráfico representa un muro divisorio de panel estructural (panel Covintec-W).

Figura 5

Panel estructural Covintec en tenda



Nota. El panel W y Covintec, son similares, en forma y composición

Figura 6

Muro divisorio de Covintec.



Nota. Muro divisorio terminado en obra con pintura blanca. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

1.1.1.4. Durock. Llamado también tablacemento o fibrocemento, este sistema está integrado por un tablero fabricado con cemento Portland contenido en ambas caras con mallas de fibra de vidrio polimerizada. La dimensión nominal del panel es de 1.22 m x 2.44 m, el espesor convencional del panel para muros divisorios es de 12.7 mm (1/2"). Para su instalación se forman marcos metálicos con postes a cada 40.6 cm máximo (16") a centro entre los mismos, calibre 20, estos paneles pueden estar en contacto con humedad alta, tiene mejor adherencia en los acabados de los muros en comparación de otros sistemas USG, puede combinarse con otros sistemas prefabricados para muros interiores, de acuerdo a la norma ONCCE posee los siguientes coeficientes, conductividad térmica 0.0990 W/m*K, aislamiento acústico 42 dB, el peso del sistema 47.76 kg/m², ancho del muro 8.89 cm. Ver figuras 7, 8, 9 y 10.

Figura 7

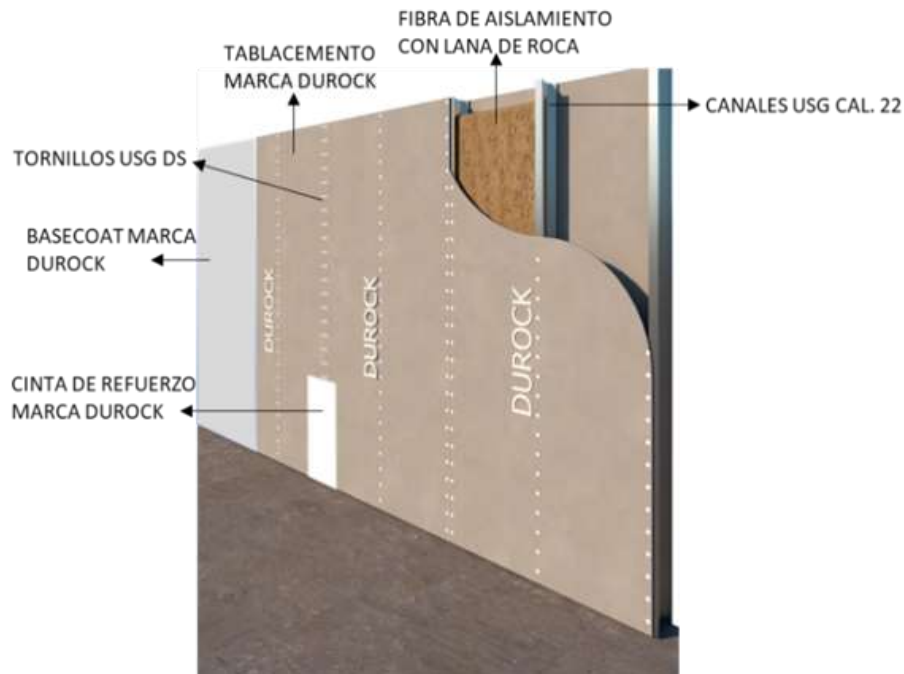
Panel de Tablacemento USG DUROCK



Nota. Los paneles tienen un perfil bordeado como bisel.

Figura 8

Esquema de muro de Durock.



Nota. El gráfico representa las capas que conforman un muro divisorio.

Figura 9

Panel y Perfil de Tablamiento USG DUROCK



Nota. Este sistema es utilizado para muros interiores con alta humedad.

Figura 10

Proceso constructivo de muro USG DUROCK.



Nota. Se pueden cortar fácilmente los paneles de Durock a la medida deseada.

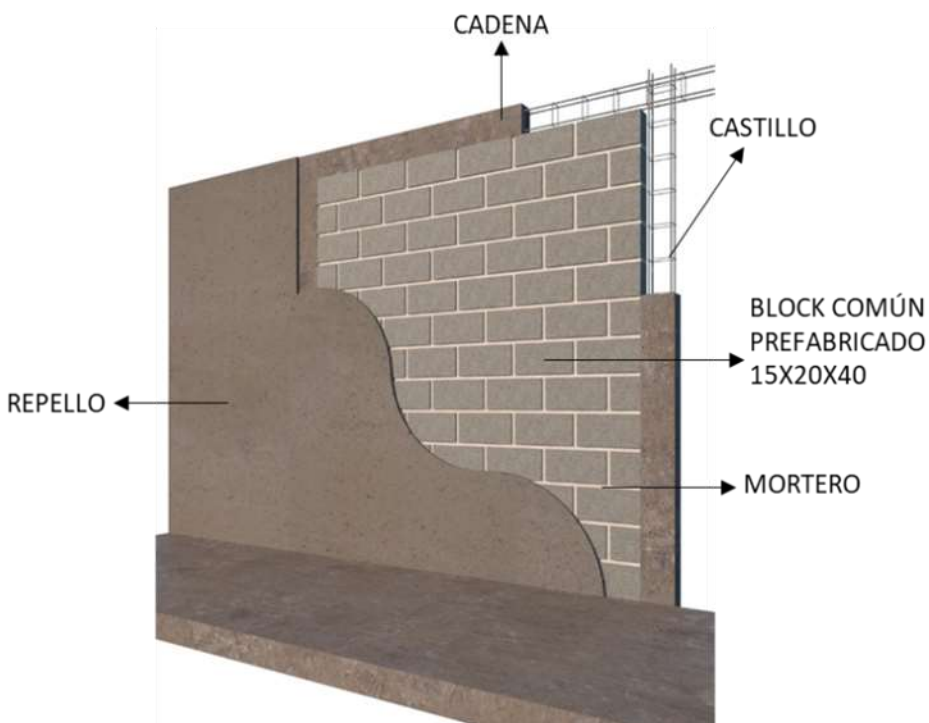
1.1.1.5. Muro De Mampostería. Es un sistema de construcción tradicional que consiste en colocar a mano las piezas de block hueco con dimensiones nominales 15x 20 x 40, se producen de forma mecánica en moldes a base de vibrocompactación, dichos elementos se unen mediante una argamasa o mortero de cemento de arena proporción 1:5 de 1 a 2 cm de espesor, el muro de block hueco forma una cama de aire al interior de la pieza que permite las características de conductividad térmica (A) W/m^*K 0.238, resistencia térmica (R) $m2K/W$ 0.630, resistencia al fuego 1.5 horas, resistencia acústica 46 STC. Peso del sistema 191.75 kg/m^2 . (Ficha Técnica de Block Hueco Estructural 15x20x40, 2015)

Este sistema no forma parte de la estructura principal de la construcción, su función principal es dividir el espacio, se consideran como elementos no estructurales, el sistema no

posee elementos de refuerzos al interior del muro, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias (NTC) presentan fallo por esbeltez, tienden a voltearse por lo que es necesario su confinamiento sin interferir con el sistema principal de construcción. Se indica también la holgura entre una estructura principal y un muro no estructural sea $\delta v \geq$ flecha a largo plazo + 5 mm. Es muy importante cuidar desde su concepción estructural que características deben tener las juntas entre ambos sistemas. Ver figuras 11 y 12.

Figura 11

Esquema de muro de mampostería de Block Hueco 15-20-40.



Nota. El gráfico representa los componentes de un muro divisorio

Figura 12

Muro divisorio de mampostería confinada



Nota. El confinamiento con castillos y cadenas es parte fundamental del sistema constructivo.

1.2. Gases de Efecto Invernadero.

Los factores que se han considerado más importantes debido al enfoque sustentable de los sistemas constructivos para muros divisorios seleccionados, es conocer la emisión de GEI que emiten, los costos de cada sistema constructivo, dadas las características de ubicación del muro se requieren condiciones de confort térmica y acústica bajo en enfoque de eficiencia energética.

La forma en la que se optimiza el proceso de selección es a través del método de análisis, en el ordenamiento de la información, la valoración de los criterios (incluyendo criterios intangibles), que determina las variables de estudio y las aportaciones que conllevan a la optimización en la selección de los elementos, bajo el enfoque del desarrollo sostenible para fines de la presente investigación.

En la clasificación de los gases de efecto invernadero se encuentra el dióxido de carbono (CO_2), considerado como “clave” (Nunez, 2023), con impacto global en el cambio climático (aumento de temperatura de la tierra) debido a su permanencia milenaria en la atmósfera,

ocupando “tres cuartas partes de las emisiones”. (Nunez, 2023). Este gas es liberado a la atmósfera por la quema de materiales orgánicos y residuos sólidos.

Otros gases de efecto invernadero son: metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), gases industriales (gases fluorados: hidrofluorocarbonos, los perfluorocarbonos, los clorofluorocarbonos, el hexafluoruro de azufre y el trifluoruro de nitrógeno), vapor de agua y ozono troposférico (O_3). (Nunez, 2023)

Hoy en día existen avances tecnológicos para reducir estas emisiones, cambiar los combustibles fósiles por fuentes renovables, aumentar la eficiencia energética y desincentivar las emisiones de carbono poniéndoles precio. (Nunez, 2023)

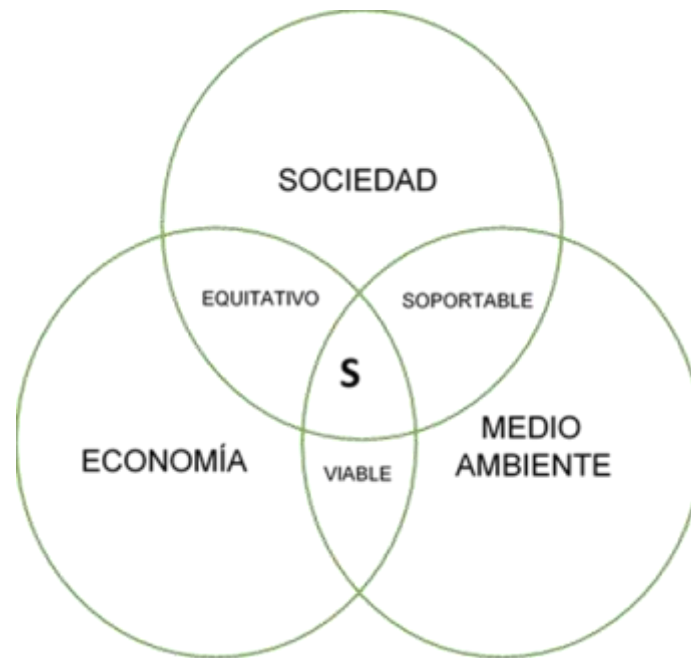
En 1987 se definió por primera vez el concepto de desarrollo sostenible, en el Informe de Brundtland de las Naciones Unidas. Según este escrito, el “Desarrollo Sostenible es aquel proceso que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la posibilidad de satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”. (ONU, 1987). Esto entendiéndose como el deber hacer, en la utilización de los recursos naturales para garantizar su permanencia a generaciones futuras.

De acuerdo con los autores, el Desarrollo Humano Sostenible (DHS), en su marco conceptual, “incorpora una percepción tridimensional en la que se integran los vectores: económico, ecológico y socio-cultural, conformando un macrosistema compuesto de tres sistemas con sus correspondientes procesos”. (Aguado et al., 2008, p.106).

En el que se conjuga de forma integral las tres dimensiones del desarrollo sostenible, considerados como los tres pilares fundamentales, “lo social, lo ambiental y lo económico, de los que se derivan los aspectos, equitativo, soportable, viable y sostenible, garantizando que ninguno sea más importante que los demás”. (Barrutia et al., 2007, p. 214). Ver figura 13.

Figura 13

Gráfico de los tres pilares del desarrollo sustentable.



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos, de Barrutia, (2007), <http://www1.euskadi.net/ekonomiaz/taula4c.apl?REG=843>.

1.3. Costos

Los costos es otro factor importante para el análisis económico, brinda de forma clara la relación costo-producción para fines de evaluación, para fines de esta investigación se incluye material y mano de obra, en el análisis de precios unitarios, como superficie de análisis es 1 m² para todos los sistemas constructivos.

1.4. Confort Térmico

Dadas las características de los paneles o muros divisorios como anteriormente se menciona son de composición variada, la pérdida o ganancia de calor es un factor importante de la eficiencia energética, los indicadores de absorción térmica se deben conocer para cada elemento de análisis.

1.5. Confort Acústico.

Para las condiciones confort acústico, es importante mencionar que este confort en las viviendas aumenta la percepción de bienestar físico y mental de los usuarios, esto se logra disipando las fuentes de emisión de sonido dentro de los diferentes espacios, los indicadores de absorción acústica y térmica están descritos en las fichas técnicas de los sistemas prefabricados. Para el sistema de mampostería los indicadores se obtuvieron de pruebas realizadas en investigaciones anteriores.

En otro orden de ideas, se tiene conocimiento que el método de análisis multicriterio fue desarrollado para otras áreas de conocimiento dentro de las más destacadas económica e ingeniería industrial, esto se desarrolla en los años 60's, posteriormente fue teniendo importantes avances hasta ser reconocida como herramienta científica. "Los principios de análisis multicriterio se derivan de: la Teoría de Matrices, Teoría de Grafos, Teoría de las Organizaciones, Teoría de la Medida, Teoría de las Decisiones colectivas, Investigación de Operaciones y de Economía". (Hernández, 2014)

La toma de decisiones con criterios múltiples (*Multi Criteria Decision Making*, MCDM), está presente en la vida diaria, y en relación con la industria de la construcción se presenta desde la concepción del proyecto, en la selección de los materiales empleados, así como en los sistemas constructivos aplicados de acuerdo con el funcionamiento y ubicación de los elementos, por mencionar algunas etapas en la edificación de viviendas.

En este mismo sentido, los muros divisorios son elementos que presentan un impacto significativo al proyecto, teniendo en cuenta que la función de los edificios y las familias que lo habitan también presentan cambios al paso del tiempo, estos deben contar con ciertas características que permitan reubicarlos sin causar daño a los elementos principales de la estructura.

De acuerdo con Sánchez (2001), la toma de decisión se lleva a la práctica de forma ordinaria cuando se elige, entre las opciones que se presentan, la mejor de estas. Sin embargo,

las cosas se complican cuando intervienen enfoques o variables que no pueden ser comparados donde dichos criterios se encuentran en conflicto. Señala también la oposición que se da entre los objetivos del desarrollo sostenible derivado de los intereses de cada enfoque, dando pauta a la toma de decisiones con múltiples criterios. Es en este momento que se hace necesaria la intervención de herramientas que ayuden a tener mayor claridad en las variables que forman parte de los procesos.

1.6. Análisis Multicriterio.

En la aplicación de los métodos de análisis multicriterio la etapa de la valoración tiene un papel importante dentro del proceso. (Aznar, 2020), nos indica dos elementos que sustentan los métodos modernos de valoración: la finalidad del proceso y la particularidad entre los métodos. No obstante, hace énfasis en el impedimento que se presenta al “tasador” experimentado con la “excesiva mecanización del proceso valorativo”. (Aznar, 2020, p.17). evitando con esto mejora y enriquecimiento en el proceso valorativo.

Existen diferentes métodos que se basan en la Teoría de Decisión Multicriterio de acuerdo con el autor, estos “otorgan una amplia perspectiva para que se consideren los aspectos intangibles [...] al mismo tiempo que facilita la incorporación en el proceso de la experiencia en el saber del tasador” (Aznar, 2020, p.26), de la misma forma propone una serie de métodos para la toma de decisiones dentro de los que se encuentra el Proceso Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process*, AHP).

1.6.1 Método AHP.

En método AHP fue desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty a finales de los años 60's, la primera aplicación importante de este método fue reportada en un artículo en la revista interfaces en 1977, describió los principios matemáticos que fundamentan al AHP en su libro “*The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*”, (1980). “El AHP es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración

varios criterios, incluyendo los de naturaleza intangible”, es decir no son cuantificables y considerarlos puede incidir de forma significativa en la toma de decisiones.

Actualmente es una de las herramientas principales para los procesos de toma de decisión, que ha traspolando su metodología a diferentes aplicaciones y áreas de investigación, por mencionar algunos, sector económico, industrial, empresarial, infraestructura, tecnológica, entre otros.

En otras palabras, la aplicabilidad y adecuación del método AHP se debe a que:

“Involucra todos los aspectos del proceso de toma de decisiones: modela el problema a través de una estructura jerárquica, utiliza una escala de prioridades con base en la preferencia de un elemento sobre otro, combinando la multiplicidad de escalas correspondientes a los diferentes criterios, sintetiza los juicios emitidos y entrega un ranking u ordenamiento de las alternativas de acuerdo con los pesos obtenidos (prioridades)”. (Osorio et al., 2008, p.45)

1.6.1.1. Analogías. Una de las formas más usuales de comprender un tema en específico es mediante analogías, lo que deriva de razonamientos que permiten la comparación entre temas con elementos que las relacionan, pueden ser similares o diferentes, quienes permiten la relación entre conceptos.

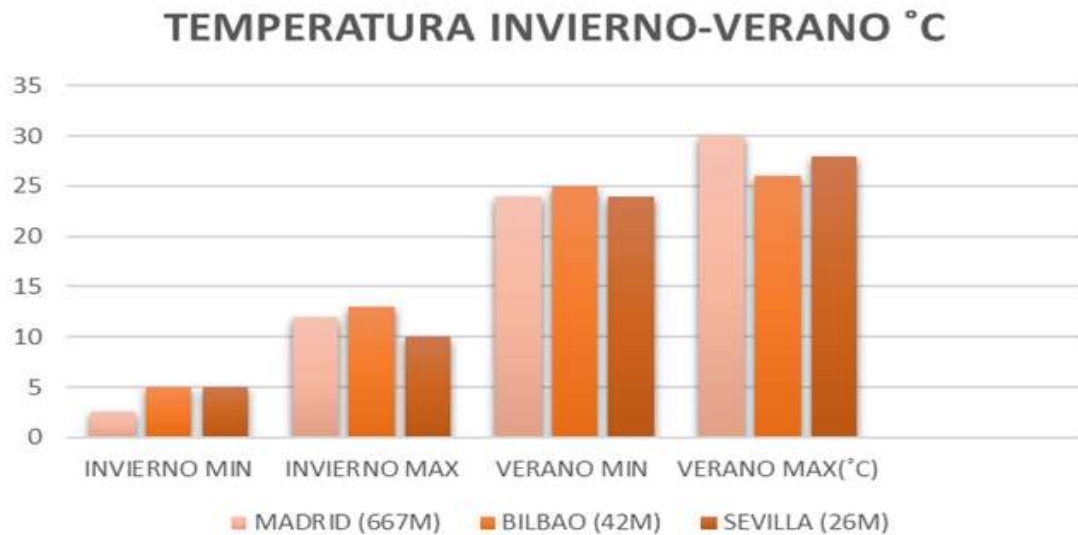
Permiten también, establecer estrategias que ayudan a la comprensión acertada de un tema o problema, integrando lo ya conocido con lo nuevo, con la finalidad de presentar un acercamiento dirigido al conocimiento.

A continuación, se presentan algunas investigaciones de tesis en forma esquemática, que han aplicado los métodos de análisis multicriterio. El primero caso de estudio es en el área de construcción aplicado a la rehabilitación, el segundo y tercero es en la selección de elementos constructivos como losas y muros, el cuarto en el área de urbanismo con la ubicación de estaciones intermodales y el quinto en selección de la oferta más competitiva en edificación.

En la tesis de análisis multicriterio de la eficiencia de medidas de rehabilitación de viviendas mediante el enfoque de ciclo de vida del autor (Pombo, 2016), se desarrolla en el contexto europeo enfocando el estudio para tres ciudades específicas Madrid, Bilbao y Sevilla, definen los casos de estudio con un edificio tipo que es representativo de las construcciones existentes en las tres ciudades con escenarios que responden a diferentes grados de exigencia de demanda energética. En la figura 14 y 15 se muestra la temperatura y humedad.

Figura 14

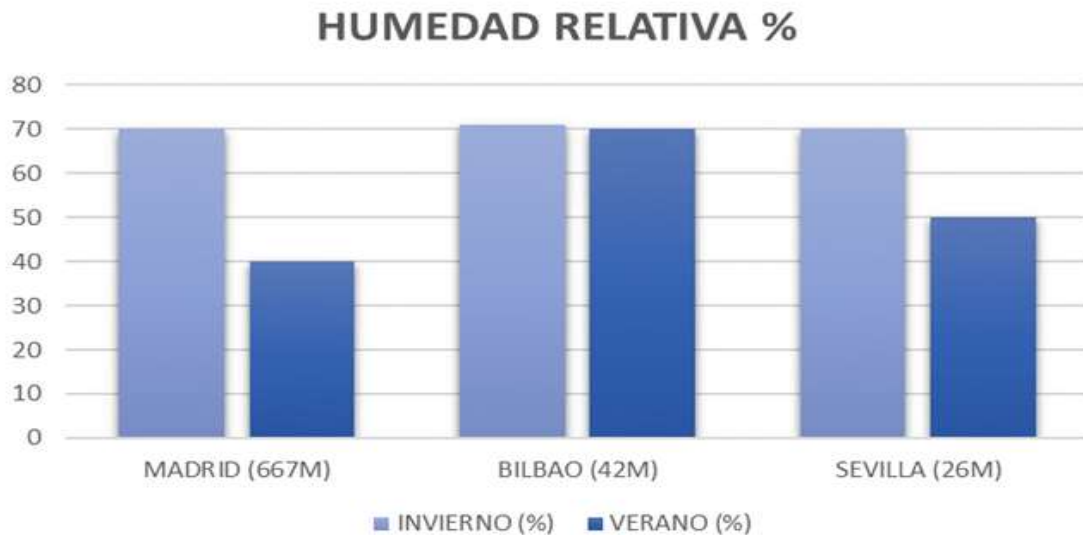
Gráfico de temperaturas mínimas y máximas para invierno y verano en las ciudades de estudio (Madrid, Bilbao y Sevilla).



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, Rodilla (2016), https://oa.upm.es/42315/1/OLATZ_POMBO_RODILLA.pdf

Figura 15

Gráfico de humedad mínimas y máximas para invierno y verano en las ciudades de estudio (Madrid, Bilbao y Sevilla).



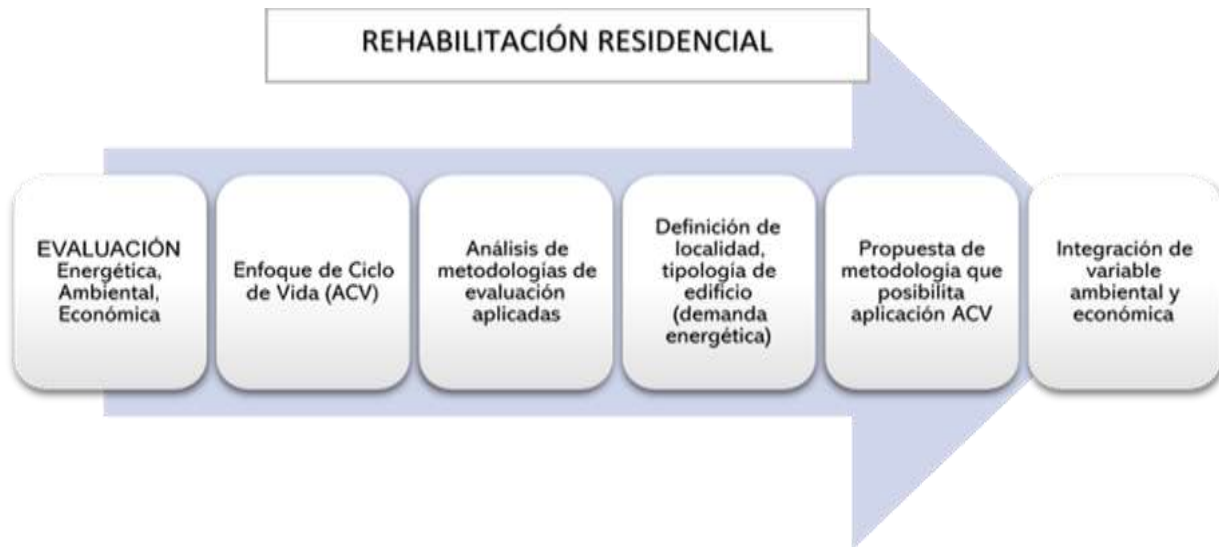
Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, Rodilla (2016),

https://oa.upm.es/42315/1/OLATZ_POMBO_RODILLA.pdf

Se empleó el análisis multicriterio para complementar la metodología que era aplicada en rehabilitación de inmuebles y que exentaba el análisis completo del Ciclo de Vida de las edificaciones, señalando la importancia en los procesos de rehabilitación de los edificios, pero dentro del tiempo de vida útil dejando de lado la totalidad del ciclo de vida de las construcciones, siendo este un elemento de gran importancia al ser comparativo hasta su etapa final. Teniendo el análisis del ciclo de vida de las edificaciones como base, hacía más real y cuestionable las medidas de rehabilitación energética en el contexto ambiental y económico que se venían contemplando. Dando resultado al planteamiento de una nueva propuesta metodológica multicriterio para equiparar la eficiencia de las estrategias actuales de rehabilitación, combinando aspectos: energético, ambiental y económico desde el enfoque del ciclo de vida. La figura 16 y 17 muestran el desarrollo de la investigación y aplicación de AHP.

Figura 16

Gráfico de esquema de desarrollo de tesis y aplicación AHP.



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, Pombo (2016),

https://oa.upm.es/42315/1/OLATZ_POMBO_RODILLA.pdf

Figura 17

Gráfico de esquema de desarrollo y aplicación de análisis multicriterio.



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, Pombo (2016),

https://oa.upm.es/42315/1/OLATZ_POMBO_RODILLA.pdf

La siguiente investigación es el análisis multicriterio de losas de entrepiso mediante la implementación de criterios de sustentabilidad en edificios. Taboada (2023). Esta tesis se desarrolla en Lima, Perú. Surge del análisis en la ejecución de las obras, donde siempre se

genera un impacto al ambiente, el alcance de este impacto se estudia por medio del Análisis del Ciclo de Vida (ACV). El objeto de estudio son elementos prefabricados para la construcción de losas desarrolladas en tres sistemas constructivos: losa aligerada convencional, losa de viga pretensada y prelosa. Las variables de estudio: Costo de ejecución, evaluación de impacto ambiental, peso de material y accesibilidad a la tecnología. Dada la herramienta de Análisis Multicriterio en la toma de decisiones se generan elementos cuantitativos. En el Impacto Ambiental se tomaron tres elementos como principales: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, Emisión de Partículas, Impacto en la Salud Humana. En el desarrollo del análisis se ocupa la herramienta TOPSIS para la toma de decisiones resultando el sistema óptimo de acuerdo con los criterios económicos, ambientales y de capacidad: el uso de viguetas pretensadas. Ver figuras 18 y 19 del proceso de investigación.

Figura 18

Gráfico de esquema de proceso de investigación en tesis.

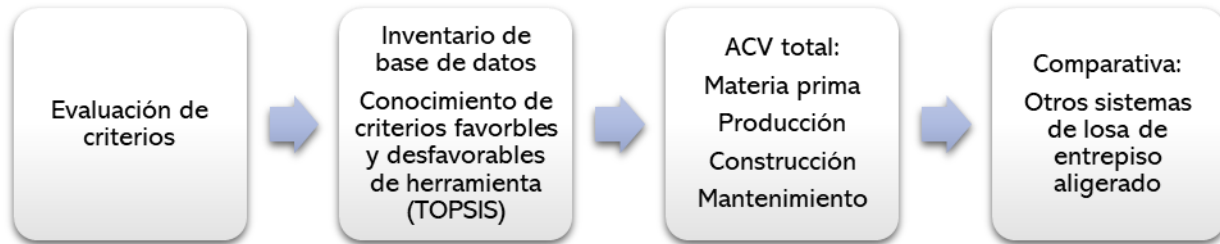


Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, Taboada, (2023),

<https://hdl.handle.net/20.500.14005/13265>

Figura 19

Gráfico de esquema de desarrollo y aplicación de análisis multicriterio.

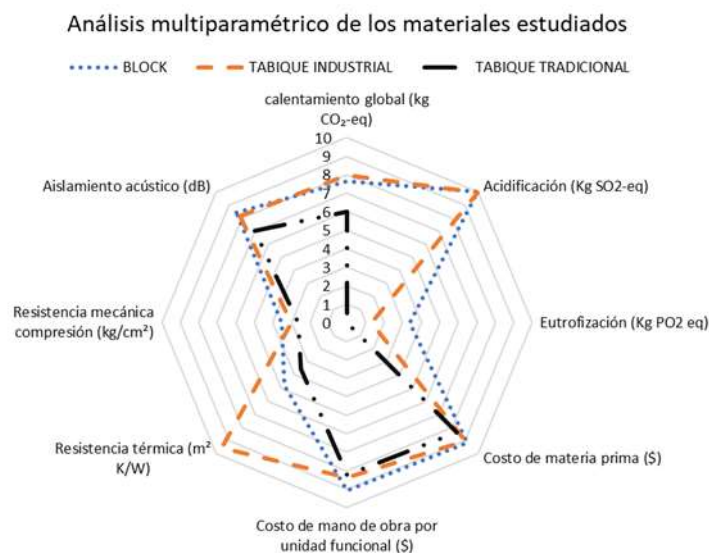


Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, Taboada (2023), <https://hdl.handle.net/20.500.14005/13265>

El siguiente caso es el análisis multiparamétrico de tres sistemas constructivos considerando indicadores de sustentabilidad: ambientales, económicos y energéticos-funcionales. (Bucio et al., 2022). Ver figura 20 que representan indicadores de análisis.

Figura 20

Gráfico de análisis multiparamétrico del block, tabique artesanal e industrial.



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, Bucio et al., (2022), DOI:

<https://doi.org/10.3989/ic.87813>

En esta tesis los tres sistemas constructivos de estudio se desarrollan con tabique (industrial y tradicional) y block de cemento (cemento-arena) con uso final la ciudad de Morelia para análisis de estudio. Los sistemas se analizan en 1 m² en muro. Los indicadores de sustentabilidad ambiental se desarrollan, mediante el análisis del ciclo de vida (ACV) contemplando calentamiento global, acidificación y eutrofización.

En los indicadores económicos se contemplan los costos de materia prima y costos de construcción. En los indicadores energético-funcionales, resistencia mecánica, resistividad térmica y resistencia acústica. Los resultados del análisis se presentan como una metodología en la toma de decisiones basada en la importancia de cada elemento de estudio relacionada con las normas, fichas técnicas y entornos locales, con los resultados obtenidos a través de estos indicadores se genera el análisis multicriterio para la toma de decisiones, proporcionando. Bucio et al., (2022). Ver figura 21 y 22.

Figura 21

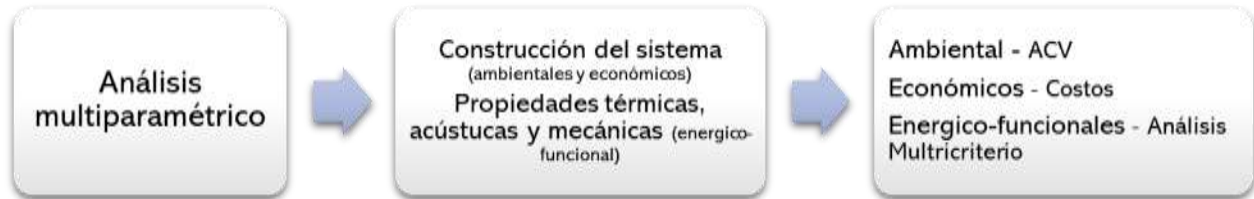
Gráfico de esquema de proceso de integración y aplicación de análisis multicriterio.



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, Bucio et al., (2022), DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.87813>

Figura 22

Gráfico de esquema de desarrollo de análisis multicriterio en investigación



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, Bucio et al., (2022), DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.87813>

El siguiente caso de estudio se basa en proceso analítico jerárquico (AHP) como método multicriterio para la localización óptima de estaciones intermodales. López et al, (2021). La tesis se desarrolla en el contexto de la conurbación Villa de Álvarez, Colima, para la localización de estaciones intermodales para el transporte público. En el proceso de toma de decisiones para la localización de servicios dentro de una ciudad existen diferentes variables que intervienen, el desarrollo de esta investigación buscó identificar y delimitar un método multicriterio que optimizara la toma de decisiones.

De acuerdo con las variables de estudio y posterior a un análisis de la aplicación de 11 métodos multicriterio, a través de una comparativa entre los casos de análisis se obtuvieron elemento que se compararon con los objetivos y variables del proyecto dando como resultado la metodología del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) que fue más el óptimo por sus características, permitió desarrollar la evaluación, el análisis y dió solución a cada una de las variables. Generó “filtros” para selección y ayuda entre alternativas complejas. (López et al., 2021 como se citó a Muñoz y Roma, 2016).

Posteriormente realizaron un comparativo a través del método AHP con los objetivos e indicadores del proyecto, teniendo como resultado las bases para la elección del mejor método en la toma de decisiones. “Este método se utiliza para derivar escalas de razón de

comparaciones pareadas tanto discretas como continuas, se encuentran sus aplicaciones más amplias en la asignación de recursos y resolución de conflictos” (Saaty,1980). Ver figura 23 y 24.

Figura 23

Gráfico de esquema de proceso de aplicación de metodología multicriterio.



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, López et al., (2021),

<http://dx.doi.org/10.22136/est20211583>

Figura 24

Gráfico de esquema de proceso de integración y aplicación de análisis multicriterio.



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor, López et al., (2021),

<http://dx.doi.org/10.22136/est20211583>

Otro caso de estudio fue la decisión multicriterio; aplicación en la selección de ofertas competitivas en edificación. (Casañ, 2013). La tesis se desarrolla en el contexto de Valencia, España, señala que para la asignación de proyectos se contempla la aplicación del Análisis

Multicriterio en la selección de la mejor opción acorde a las variables requeridas de las ofertas competitivas, resultando en la elección de la mejor desde un punto de vista cuantitativo.

En la aplicación de dicho análisis se detectó la falta de ciertos criterios, así como la asignación de puntuaciones que justificaran cada criterio. Se señalaba que: “no contempla ninguna pauta para determinar los criterios, la determinación del peso de estos mediante el reparto de puntos es completamente aleatoria y libre”. (Casañ, 2013, p.26)

En los procesos destaca “la falta de transparencia y la posible manipulabilidad. Se imposibilita el acceso para saber la puntuación que obtiene cada oferta en cada uno de los criterios y como se obtiene ese peso.” (Casañ, 2013, p.27).

Siendo estos algunos de los elementos carentes que presentaba la metodología tradicional para la toma de decisiones, bajo este análisis se propuso un método para la toma de decisiones, en este caso a través del proceso Analítico Jerárquico, en la aplicación de la metodología se identifica “el objetivo, criterios, subcriterios y las alternativas” mediante una jerarquía, es posible valorar todos los criterios y subcriterios (cualitativos y cuantitativos), finalizando con la mejor opción de las ofertas ofrecidas, demostrando cubrir las carencias en los procesos del método con el que se realizarán las elecciones. (Casañ, 2013, p.27)

Dentro de esta investigación se realiza la comparativa de las ventajas en los métodos multicriterio y monocriterio, así como la metodología que se había desarrollado para la elección de proyectos anteriores, indicando las carencias significativas y los criterios condicionados que se tenían como resultado de la metodología usada. Se desarrolla paso a paso el modelo utilizado para el desarrollo de las matrices y la selección de los criterios. Ver figura 25.

Figura 25

Gráfico de esquema de proceso desarrollo de tesis.



Nota. Gráfico de elaboración propia con datos obtenidos de autor (Casañ, 2013), <http://hdl.handle.net/10251/29371>.

Para finalizar, los casos de estudio que aplicaron el análisis AHP en sus investigaciones han permitido observar la eficacia de los métodos multicriterio en las distintas áreas de investigación, una de las cualidades como ya se ha señalado, es simplificar situaciones complejas.

La teoría en la que se basa el proceso analítico jerárquico (AHP) desarrollado por el matemático Thomas L. Saaty, (1980), es la de jerarquía de valores, siendo esta teoría en otras palabras una estructura en la que se determina que es más “valioso y significativo” con base a un conjunto de valores, experiencias acumuladas y otra serie de elementos que caracterizan al individuo para considerar que está bien o lo que no es favorable en su entorno social.

Este método como ya se ha mencionado “descompone y organiza el problema de forma visual en una estructura jerárquica [...] mediante comparaciones por pares determina la importancia”, (Casañ, 2013, p.25) para finalmente poder comparar los criterios, de la misma forma, permite la “consistencia de los juicios de valor”, (Casañ, 2013, p.25), optimizando la toma de decisiones, por lo tanto, el proceso a seguir para optimizar la selección del sistema

constructivo para muros divisorios que se ofertan actualmente en Tuxtla Gutiérrez, como tema de investigación, así como la elección de variables de análisis con enfoque sustentable en el que se basa, es la metodología del análisis multicriterio la herramienta indicada para la toma de decisiones (AHP), debido a que permite integrar criterios opuestos entre sí incluyendo los intangibles, dadas las características de las variables de estudio y de las características del método.

Capítulo 2. Metodología.

El desarrollo de la presente metodología tiene un enfoque cuantitativo basado en información cualitativa “por la naturaleza de las variables” (Lafuente, 2008, p.6), que ha sido obtenida del análisis de contenido de documentos, fichas técnicas, el método de análisis cuantitativo de datos obtenidos representa la estructura principal en el desarrollo de la metodología.

Cantor (2002) en las reflexiones aborda la importancia de la triangulación metodológica desde diferentes enfoques como estrategia de investigación, esto permite efectuar combinaciones en niveles de análisis diversos, incluyendo aspectos amplios o macro y particulares o micro; análisis que incluyen tiempos sincrónicos y diacrónicos, así como aspectos subjetivos y estructurales.

2.1 Métodos

Se realiza el análisis comparativo de distintas alternativas de muros divisorios, empleando el Método de Análisis Jerárquico (MAJ).

De acuerdo con Kumar (2017) el MAJ se encasilla dentro del grupo de métodos de toma de decisiones multicriterio (TDMC), siendo dentro del grupo de métodos de análisis multicriterio del subgrupo de métodos de análisis multiatributos (MADM por sus siglas en inglés), quien, a su vez, un método que junto a los métodos de Suma Ponderada Simple (SPS) y de Teoría de la Utilidad Multiatributos (TUMA) forman el conjunto de modelos basados en la utilidad.

Este método fue desarrollado por Saaty en la década de 1970 para realizar toma de decisiones de problemas complejos, con múltiples atributos, en los que se dispone de diversas alternativas a comparar.

La meta u objetivo de este método es determinar cuál de las alternativas de solución a un problema es la mejor. Se basa en establecer criterios de decisión, relacionados con los valores (intensidades) que se calculen o asignen a los atributos de las alternativas, efectuando la suma por pesos de las intensidades de los atributos de cada opción analizada, según factores de peso obtenidos con el MAJ. Para establecer los valores de los pesos relativos de cada criterio se

realizan consultas a expertos en el tema en cuestión, manipulando matemáticamente los resultados de los valores asignados por cada experto a cada criterio de decisión, para obtener valores promediados de los mismos y verificando que los pesos relativos sean congruentes.

A fin de cuentas, el método de Proceso de Análisis Jerárquico provee al investigador de una estructura matemática clara para la toma de decisiones, evitando sesgos indeseables, que son casi inevitables cuando se asignan valores de peso personales a los criterios de decisión. Este método conjunta la percepción cualitativa del problema, a través de la opinión de expertos, con la valoración cuantitativa del mismo.

La secuencia básica del método (Saaty, 1990) es la siguiente:

1. Definición del problema.
 - a. Se define el proceso de decisión y su objetivo.
 - b. Se desarrollan alternativas de solución.
 - c. Se identifican criterios de decisión.
2. Se evalúan las alternativas.
 - a. Se evalúan los parámetros de cada criterio decisivo para cada opción de solución.
 - b. Se evalúa la importancia relativa de cada criterio decisorio.
 - c. Se agregan los grupos de valoraciones.
 - d. Se analiza la consistencia de las valoraciones.
3. Selección de la mejor alternativa.
 - a. Se calculan los factores de peso de cada criterio.
 - b. Se identifica a la mejor alternativa de acuerdo con la suma ponderada de los criterios.

De acuerdo con Saaty (2002), este método funciona bien para atributos intangibles para los que no existen escalas de medida, e incluso, si existen las escalas de medida, es a menudo ventajoso emplear juicios de criterio para decidir sobre una alternativa. Ver tabla 1.

Procedimientos del método.

1. Se determina el objeto a investigar.
2. Se establecen alternativas de solución para el objeto a investigar.
3. Se identifican, considerando una perspectiva sustentable, los atributos del objeto de estudio, siendo estos atributos los criterios a evaluar de cada alternativa.
4. Se establecen prioridades, por cada par de criterios, en los que se usa una escala desarrollada por Saaty (1990), que, transcrita del inglés, es la siguiente Tabla 1:

Tabla 1

Escala base

INTENSIDAD	DESCRIPCIÓN	INTERPRETACIÓN
1	Igualmente, importantes	Las actividades contribuyen por igual
3	Leve preponderancia	Experiencia y juicio fuertemente a favor de una actividad sobre otra.
5	Preponderancia fuerte	Experiencia y juicio fuertemente a favor de una actividad sobre otra.
7	Preponderancia intensa	Una actividad es fuertemente favorecida y su importancia demostrada en la práctica.
9	Extrema preponderancia	La evidencia favorece una actividad sobre otra en el orden más alto de afirmación.
2, 4, 6, 8	Para valores entre dos de los anteriores	Cuando se requiere por compromiso.
RECIPROCIDAD	Se debe colocar en la celda traspuesta el recíproco del valor entero asignado.	
RACIONALES.	Cocientes que aparecen en la escala.	Si la consistencia fuese forzada para obtener n valores numéricos a lo largo de la matriz.

De este primer análisis se obtiene la matriz de comparación por cada par de criterios Fig.26:

Figura 26

Matriz de comparación por pares por nivel.

$$\begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{array} \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ 1 & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ 1/a_{1,2} & 1 & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1,n} & 1/a_{2,n} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

La matriz de comparación por cada par de criterios se normaliza dividiendo cada elemento de la matriz $a_{i,j}$ entre la suma de la columna a la que pertenece Fig. 27 :

$$c_{i,j} = a_{i,j} / a_j$$

a_j = Sumatoria respecto a la columna j de $a_{i,j}$

Figura 27

Matriz de comparación por pares por nivel normalizada.

$$\begin{array}{c} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_n \end{array} \begin{pmatrix} A_1 & A_2 & \dots & A_n \\ 1 & c_{1,2} & \dots & c_{1,n} \\ c_{2,1} & 1 & \dots & c_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n,1} & c_{n,2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

Una vez calculada la matriz de comparación por cada par de criterios, normalizada, se procede al cálculo del vector promedio, que resulta de promediar los valores de los elementos por fila Fig. 28:

Figura 28

Vector promedio.

$$\text{Vector promedio} = \begin{pmatrix} \text{Promedio } c_{1,j} \\ \text{Promedio } c_{2,j} \\ \vdots \\ \text{Promedio } c_{n,j} \end{pmatrix}$$

Conocido el vector promedio se lleva a cabo el cálculo del cociente de consistencia, que nos reflejará el nivel de consistencia en los valores determinados para cada preferencia por pares entre los atributos de cada alternativa. La solventación del cociente de consistencia nos permite proceder con confianza en la toma de decisiones, que de otro modo derivarían en soluciones incorrectas.

Este cociente de consistencia se calcula con la fórmula siguiente:

$$CC = IC/IA$$

Siendo:

CC = Cociente de consistencia.

IDC = Indicador de consistencia.

IDA = Índice de azar

El indicador de consistencia se calcula como:

$$IDC = (\mu_{\max} - m) / (m-1)$$

Siendo m el número de criterios de la matriz de comparación.

Mientras que el índice de azar se calcula con base en la tabla 2, presentada por Saaty (2002), basada en la simulación de 50,000 pruebas aleatorias en las que se fue variando el orden n de la matriz recíproca:

Tabla 2

Promedio de inconsistencia.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PROMEDIO IA	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

Se prosigue multiplicando la matriz de comparación por cada par sin normalizar por el vector promedio, para obtener el vector de aproximación **I** al vector **n**, que corresponde con el vector unitario del mismo rango que la matriz de comparación. La suma de los componentes del vector **I**, nos proporciona la magnitud I_{max} . La condición de consistencia es que RC sea menor o igual a 0.1, para asegurar que la aleatoriedad en los elementos de las matrices sea significativamente pequeña. Cuando $RC \leq 0.10$, se acepta el vector de pesos calculado, que es el mismo que el vector promedio.

La multiplicación del vector de pesos por el vector de intensidades (escalar) correspondiente a cada alternativa estudiada nos proporciona un número que nos indicará que tan conveniente es una alternativa respecto a otra.

Para establecer las intensidades de las preferencias de una alternativa respecto a otra, considerando un solo criterio a la vez, se sigue el mismo proceso seguido para establecer las preferencias entre criterios, estableciendo una matriz de comparaciones que tienen como filas y columnas a las alternativas estudiadas y las celdas los valores de preferencias por pares. Las matrices de preferencias son normalizadas y evaluadas con la razón de consistencia, para obtener el vector de pesos (vector promedio) de las alternativas para un criterio dado. Se repite el procedimiento para cada criterio, por lo que se obtienen tantos vectores de pesos como criterios se hubiesen establecido en la investigación.

Con base en los cálculos previos se procede a calcular el vector de prioridades, multiplicando los valores de preferencia de cada alternativa por las ponderaciones calculadas como vector de pesos en los criterios y sumando los productos obtenidos.

Se ordenan los valores de la suma de los productos de mayor a menor y con esto queda establecida la priorización de las alternativas estudiadas.

2.2 Limitaciones.

Este estudio se limita en el espacio a la Zona Metropolitana de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Dado que los costos dependen del tiempo, el análisis es válido para el tiempo actual, pudiendo ser necesaria su actualización en el futuro, situación que además será útil para incluir nuevas alternativas tecnológicas que se logren desarrollar en el futuro.

2.3 Participantes.

Dra. Teresa del Rosario Argüello Méndez. Docente de la Facultad de Arquitectura (UNACH).

Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres. Docente de la Facultad de Arquitectura (UNACH).

Dr. Moisés Nazar Beutelspacher. Docente de la Facultad de Ingeniería (UNACH).

2.4 Alternativas estudiadas.

Actualmente existen diferentes tipos de sistemas para la construcción de muros divisorios en espacios habitables, de acuerdo con la CONAVI (CEV, 2017), deberán ser fácilmente retirados sin dañar la estructura integral de la vivienda. Dentro del mercado actual, se determinan por su composición y procesos constructivos tres tipos de paneles para analizar, siendo éstos los más representativos del mercado local: panel de yeso y bastidor metálico (Tablaroca - Panel Rey), panel de poliestireno estructurado (Covintec - Panel W), panel de cemento reforzado con mallas de fibra (Durock) y muro de mampostería (block de 15 X 20 X 40 cm, hecho en fábrica).

2.5. Técnicas

Las variables de análisis de cada elemento de estudio se obtienen de diversas fuentes, siendo éstos, fichas técnicas, manuales y documentos especializados, por cada sistema constructivo se realizan visitas para conocer sus características físicas en anaquel, así como

cada elemento que lo conforma y posteriormente la construcción de cada sistema de muro divisorio en diferentes espacios habitables de la ciudad, generando de esta forma un pequeño archivo fotográfico que ilustra cada sistema. Al mismo tiempo, es importante señalar que, por cada variable, se aplica un método correspondiente a cada una, de acuerdo con las normas para la obtención los datos, que posteriormente se toman como indicadores dentro del método aplicado para la toma de decisiones.

Los costos de cada sistema se realizan mediante el análisis de precios unitarios de 1m^2 , cotizando en el mercado local cada uno de los elementos que intervienen.

En el análisis de emisión de gases de efecto invernadero (GEI), se toman como referencia fuentes bibliográficas de documentos especializados que proporcionan los indicadores para cada sistema.

La resistencia térmica del elemento se lleva a cabo por cada empresa comercial de acuerdo con las normas correspondientes, se integran estos indicadores en la ficha técnica de cada sistema, se considera para fines de este estudio, que estos coeficientes son los estándares en cada sistema, sin elementos de mejoramiento como son, las fibras aislantes y retardantes de fuego, de la misma manera, el indicador del sistema en mampostería se obtiene del análisis realizado por Bucio (2022).

El aislamiento acústico para el sistema de mampostería se obtiene del estudio realizado por Penagos y Rocha (2018). Los indicadores para los sistemas restantes se obtienen de las fichas técnicas correspondientes, con pruebas realizadas por las empresas comerciales de acuerdo con las normas que le corresponde a cada sistema constructivo. Con información más detallada en la descripción los elementos de análisis.

Capítulo 3. Resultados y Discusión.

Recordando la naturaleza de la presente investigación como cualitativa, el método de Proceso de Análisis Jerárquico provee una estructura matemática clara para la toma de decisiones. Este método conjunta la percepción cualitativa del problema, a través de la opinión de expertos con la valoración cuantitativa del mismo. El panel estuvo conformado por: Dra. Teresa del Rosario Argüello Méndez, Dr. Raúl Pavel Ruiz Torres y Dr. Moisés Nazar Beutelspacher.

Quienes participaron en la comparación por pares de los criterios establecidos de acuerdo con los objetivos de análisis, la asignación de los valores fue basado en la escala de Saaty (1997). Ver Tabla 3.

Tabla 3

Escala base

INTENSIDAD	DESCRIPCIÓN	INTERPRETACIÓN
1	Igualmente, importantes	Las actividades contribuyen por igual
3	Leve preponderancia	Experiencia y juicio fuertemente a favor de una actividad sobre otra.
5	Preponderancia fuerte	Experiencia y juicio fuertemente a favor de una actividad sobre otra.
7	Preponderancia intensa	Una actividad es fuertemente favorecida y su importancia demostrada en la práctica.
9	Extrema preponderancia	La evidencia favorece una actividad sobre otra en el orden más alto de afirmación.
2, 4, 6, 8	Para valores entre dos de los anteriores	Cuando se requiere por compromiso.
RECIPROCIDAD	Se debe colocar en la celda traspuesta el recíproco del valor entero asignado.	
RACIONALES.	Cocientes que aparecen en la escala.	Si la consistencia fuese forzada para obtener n valores numéricos a lo largo de la matriz.

Por medio de la metodología propuesta para la óptima selección del sistema constructivo para muros divisorios en Tuxtla Gutiérrez se desarrolló en tres etapas principales: definición del problema (proceso de decisión y su objetivo, alternativas de solución y criterios de decisión), se evalúan las alternativas de acuerdo con panel de expertos (parámetros, importancia, grupos de valoraciones y consistencia) y selección de la mejor alternativa (factores de peso y suma ponderada para identificar la mejor alternativa) de los sistemas constructivos para muros divisorios propuestos.

En el desarrollo del proceso de Análisis Jerárquico para la toma de decisiones en la elección de muros divisorios se consideraron los siguientes aspectos. Ver tabla 4:

Tabla 4

Alternativas constructivas para muros divisorios

ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS	SISTEMA CONSTRUCTIVO
A	Muro de Tablaroca
B	Muro de Durock
C	Muro de Covintec
D	Muro de block

La selección de estas alternativas es representativa de los sistemas constructivos para muros divisorios más comerciales del mercado actual en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Tabla 5

Criterios de evaluación para cada sistema constructivo

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
1.-	Emisiones de GEI
2.-	Confort térmico
3.-	Aislamiento acústico
4.-	Costo

Los factores que se han considerado para evaluación se eligen bajo el enfoque del desarrollo sostenible. Tabla 5

La tabla No.6 muestra la matriz de toma de decisiones con los cuatro criterios y las cuatro alternativas de sistemas constructivos para muros divisorios analizados. Los valores de los criterios se presentan en diferentes unidades de medida: emisiones de GEI (KGCO₂E), costo (peso MX), conductividad térmica (W/m*K), aislamiento acústico (STC-dB), complicando su correcto análisis y evaluación.

Por lo que se recurrió a la valoración de los elementos mediante la escala de valores propuesta por Thomas Saaty, dando inicio al desarrollo la metodología propuesta, se asignaron valores numéricos (de acuerdo con panel de expertos) que posteriormente permitieron realizar las comparaciones pareadas para la valoración de los criterios y así mismo la valoración entre las diferentes alternativas respecto a cada criterio, en las siguientes tablas se presentan los resultados.

Tabla 6

Matriz de comparación con sistemas constructivos y criterios de análisis

CONCEPTO	EMISIONES GEI (KGCO ₂ E)	COSTO (PESO MX)	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/M*K)	AISLAMIENTO ACÚSTICO (STC-DB)
1.-MURO DE TABLAROCA	13.98	682.61	0.0821	39
2.-MURO DE DUROCK	39.62	592.73	0.099	42
3.-MURO COVINTEC	48	517.53	0.0442	44
4.-MURO DE BLOCK 15X20X40	63	366.19	0.238	46

Nota. Los sistemas para muros divisorios representan a los de mayor demanda en el mercado actual.

A continuación, se presentan la matriz de comparación por cada par de criterios. Tabla 7:

Tabla 7*Matriz de comparación por pares de criterios.*

	1	2	3	4
1	1	1	5	8
2	1	1	7	5
3	0.2	0.143	1	0.5
4	0.125	0.200	2	1
SUMA	2.325	2.343	15	14.5

Se encontró la suma de cada columna cuyo factor resultante es el dividendo para cada uno de los elementos de la columna quienes a su vez representan al divisor de tal forma que, la matriz de comparación por cada par de criterios se normaliza dividiendo cada elemento de la matriz entre la suma de la columna a la que pertenece.

Tabla 8*Matriz normalizada de comparación por pares de criterios*

	1	2	3	4	W
1	0.4301	0.4268	0.3333	0.5517	0.4355
2	0.4301	0.4268	0.4667	0.3448	0.4171
3	0.0860	0.0610	0.0667	0.0345	0.0620
4	0.0538	0.0854	0.1333	0.0690	0.0854
					1.0000

En la tabla No. 8 se tiene como resultado, la ponderación de los criterios en el vector w, es decir, el orden de importancia en los criterios, por lo que la emisión de GEI seguido de confort térmico se consideran más importantes seguidos del costo y aislamiento acústico.

Con el vector promedio obtenido (w) se calculó el cociente de consistencia, que refleja el nivel que representa en los valores determinados para cada preferencia por pares entre atributos de cada alternativa. Conocer este indicador permite tener certeza en la toma de decisiones. Tabla 9.

Tabla 9*Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w*

	1	2	3	4	W	(MATRIZ)(W)
1	1	1	5	8	0.4355	1.8456
2	1	1	7	5	0.4171	1.7136
3	0.2	0.143	1	0.5	0.0620	0.2514
4	0.125	0.200	2	1	0.0854	0.3473
					Suma	4.1580

A continuación, se presentan en la tabla 10 los resultados que se obtuvieron de los indicadores de relación de consistencia, multiplicando la matriz con el vector w para obtener el índice de consistencia (CI), consistencia aleatoria (RI) y la relación de consistencia (CR), del que tenemos que si $CR < 0.1$ se ha ponderado razonablemente. El valor para RI se toma el coeficiente de 0.89 donde $n=4$. (Jiří, F. y Aleš, K., (2014). Los autores calcularon el índice de consistencia de acuerdo a valores del índice aleatorio necesario para obtener las escalas de juicio y medida de consistencia para AHP.

Tabla 10*Coefficientes de CI, RI y CR*

CI: $(NMAX-N)/(N-1)$	0.0527	
RI:	0.8900	
CR: CI/RI	0.0592	<0.10: PASA

Tabla 11, el siguiente paso consistió en comparar cada una de las alternativas (sistemas constructivos para muros divisorios) con cada uno de los criterios GEI, costo, conductividad térmica y aislamiento acústico teniendo como resultados los siguientes:

Tabla 11*Matriz de comparación de alternativas con base en el criterio de emisiones GEI.*

	1	2	3	4
1	1	4	5	6
2	0.25	1	2	3
3	0.2	0.500	1	3
4	0.167	0.333	0.3333333333	1
SUMA	1.616666667	5.833	8.333333333	13

Tabla 12, la matriz de comparación por cada par de criterios se normaliza dividiendo cada elemento de la matriz entre la suma de la columna a la que pertenece, donde el divisor para cada elemento de la columna es la suma obtenida representando el dividendo, por otro lado, el divisor es cada uno de los factores que integran cada columna. Los resultados obtenidos conforman la siguiente matriz.

Tabla 12*Matriz normalizada de comparación de alternativas con base en el criterio de emisiones GEI.*

	1	2	3	4	W
1	0.6186	0.6857	0.6000	0.4615	0.5915
2	0.1546	0.1714	0.2400	0.2308	0.1992
3	0.1237	0.0857	0.1200	0.2308	0.1400
4	0.1031	0.0571	0.0400	0.0769	0.0693
					1.0000

El resultado en el vector promedio (w), nos indica el vector de pesos de las alternativas de muros divisorios para el criterio de GEI, teniendo que, el de mayor puntuación es la alternativa 1 representada por el muro de Tablaroca, en otras palabras, es el sistema que aporta menos emisiones de GEI al ambiente, seguido del muro de Durock, posteriormente el muro de Covintec y finalmente el muro de block, lo que indica que es el sistema con mayores emisiones.

Tabla 13

Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w y los coeficientes de CI, RI y CR para el criterio de GEI

	1	2	3	4	W	(MATRIZ)(W)
1	1	4	5	6	0.5915	2.5043
2	0.25	1	2	3	0.1992	0.8350
3	0.2	0.500	1	3	0.1400	0.5658
4	0.167	0.333	0.3333333	1	0.0693	0.2810
					Suma	4.1861

Tabla 13, el resultado obtenido de la suma del producto de la matriz por el vector promedio representa (nmax) para obtener el índice de consistencia para el criterio GEI en la tabla de coeficientes CR.

Tabla 14

Coefficientes de CI, RI y CR para el criterio de GEI

CI: (NMAX-N)/(N-1)	0.0620
RI:	0.8900
CR: CI/RI	0.0697 <0.10.: PASA

Tabla 14, el coeficiente resultante de CR para el criterio de emisiones de GEI nos indica que es de 0.0697 por lo tanto es menor 0.10, indicando que se ha ponderado razonablemente.

Tabla 15

Matriz de comparación de alternativas con base en el costo.

	1	2	3	4
1	1	3	4	5
2	0.333333333	1	3	4
3	0.25	0.333	1	3
4	0.200	0.250	0.333333333	1
SUMA	1.783333333	4.583	8.333333333	13

Tabla 15. de la suma obtenida de cada columna se obtiene el dividendo para el desarrollo de la siguiente tabla como en los casos anteriores.

Tabla 16

Matriz normalizada de comparación de alternativas con base en el costo.

	1	2	3	4	W
1	0.5607	0.6545	0.4800	0.3846	0.5200
2	0.1869	0.2182	0.3600	0.3077	0.2682
3	0.1402	0.0727	0.1200	0.2308	0.1409
4	0.1121	0.0545	0.0400	0.0769	0.0709
					1.0000

Tabla 16. para el criterio de costos en el vector promedio se obtuvo, que el sistema constructivo con mayor puntuación es la opción 1 que representa el muro de Tablaroca (1), la segunda opción es el muro de Durock (2), el tercero de Covintec (3) y en la última opción el muro de block (4), de tal forma que el sistema que presenta menor costo de producción es el muro de Tablaroca y el más costoso el muro de block.

Tabla 17

Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w para el criterio de costo.

	1	2	3	4	W	(MATRIZ)(W)
1	1	3	4	5	0.5200	2.2428
2	0.33333333	1	3	4	0.2682	1.1479
3	0.25	0.333	1	3	0.1409	0.5730
4	0.200	0.250	0.33333333	1	0.0709	0.2889
					Suma	4.2526

Tabla 17, el factor obtenido de la suma de la matriz por el vector promedio representa (n_{max}) para obtener el índice de consistencia del criterio costo en la tabla de coeficientes CR.

Tabla 18

Coefficientes de CI, RI y CR

CI: (NMAX-N)/(N-1)	0.0842
RI:	0.8900
CR: CI/RI	0.0946 <0.10.. PASA

Tabla 18, el coeficiente resultante de CR para el criterio costos, nos indica que es de 0.0946 por lo tanto es menor 0.10, indicando que se ha ponderado razonablemente.

Tabla 19

Matriz de comparación de alternativas con base en el criterio de conductividad térmica.

	1	2	3	4
1	1	2	0.33333333	5
2	0.5	1	0.25	4
3	3	4.000	1	7
4	0.200	0.250	0.142857143	1
SUMA	4.7	7.250	1.726190476	17

Tabla 20

Matriz normalizada de comparación de alternativas con base en el criterio de conductividad térmica.

	1	2	3	4	W
1	0.2128	0.2759	0.1931	0.2941	0.2440
2	0.1064	0.1379	0.1448	0.2353	0.1561
3	0.6383	0.5517	0.5793	0.4118	0.5453
4	0.0426	0.0345	0.0828	0.0588	0.0547
					1.0000

Tabla 20, de los resultados obtenidos se tiene que, del vector promedio el sistema con mayor puntuación es el 3 representado por el muro de Covintec, seguido por el muro de Tablaroca (1), posteriormente el muro de Durock (2) y finalmente el muro de block (4), en otras palabras, el sistema constructivo para muros divisorios que presenta menor rango de conductividad térmica es el muro de Covintec, mientras que el de mayor conductividad térmica es el muro de block.

Tabla 21

Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w con base en el criterio de conductividad térmica.

	1	2	3	4	W	(MATRIZ)(W)
1	1	2	0.3333333	5	0.2440	1.0112
2	0.5	1	0.25	4	0.1561	0.6330
3	3	4.000	1	7	0.5453	2.2842
4	0.200	0.250	0.1428571	1	0.0547	0.2204
					suma	4.1488

Tabla 21, el resultado obtenido de la suma del producto de la matriz por el vector promedio representa (nmax) para obtener el índice de consistencia en la tabla de coeficientes CR.

Tabla 22*Coefficientes de CI, RI y CR*

CI: (NMAX-N)/(N-1)	0.0496
RI:	0.8900
CR: CI/RI	0.0557 <0.10 ∴ PASA

Tabla 22, el coeficiente resultante de CR para el criterio costos, nos indica que es de 0.0557 por lo tanto es menor 0.10, indicando que se ha ponderado razonablemente.

Tabla 23*Matriz de comparación de alternativas con base en el criterio de aislamiento acústico.*

	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	0.5	1	2	3
3	0.333333333	0.500	1	2
4	0.250	0.333	0.5	1
SUMA	2.083333333	3.833	6.5	10

Tabla 23, de la suma obtenida de cada columna se obtiene el dividendo para el desarrollo de la siguiente tabla como en los casos anteriores.

Tabla 24*Matriz normalizada de comparación de alternativas con base en el criterio de aislamiento acústico.*

	1	2	3	4	W
1	0.4800	0.5217	0.4615	0.4000	0.4658
2	0.2400	0.2609	0.3077	0.3000	0.2771
3	0.1600	0.1304	0.1538	0.2000	0.1611
4	0.1200	0.0870	0.0769	0.1000	0.0960
					1.0000

Para el criterio de aislamiento acústico, en el vector promedio el sistema que presenta mayor valor es el sistema 1 representado por la Tablaroca, el segundo puesto lo ocupa el muro de Durock (2), el tercero es el muro de Covintec (3) y finalmente el muro de block (4). Tabla 24.

Tabla 25

Multiplicación de la matriz de comparación por el vector w con base en el criterio de aislamiento acústico.

	1	2	3	4	W	(MATRIZ)(W)
1	1	2	3	4	0.4658	1.8872
2	0.5	1	2	3	0.2771	1.1201
3	0.3333333	0.500	1	2	0.1611	0.6469
4	0.250	0.333	0.5	1	0.0960	0.3853
					Suma	4.0395

El resultado obtenido de la suma del producto de la matriz por el vector promedio representa (nmax) para obtener el índice de consistencia para el criterio GEI en la tabla de coeficientes CR. Tabla 25.

Tabla 26

Coefficientes de CI, RI y CR

CI: (NMAX-N)/(N-1)	0.0132
RI:	0.8900
CR: CI/RI	0.0148 <0.10 ∴ PASA

El coeficiente resultante de CR para el criterio costos, nos indica que es de 0.0148 por lo tanto es menor 0.10, indicando que se ha ponderado razonablemente.

La tabla No. 27 muestra la matriz de intensidad de los criterios (w) en las cuatro alternativas de sistemas constructivos para muros divisorios analizados, así como las ponderaciones antes obtenidas y la priorización de cada sistema constructivo propuesto, siendo este indicador el que nos señala cual de todas las opciones fue la mejor.

La priorización se obtiene de la suma producto para cada uno de los criterios con la ponderación correspondiente de cada sistema constructivo.

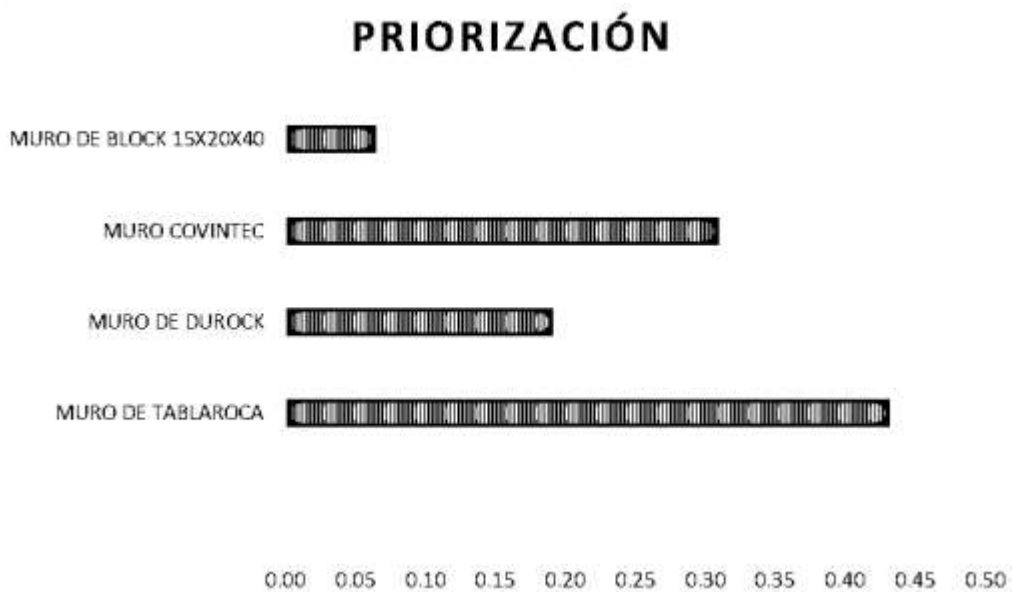
Tabla 27

Matriz de Intensidad de criterios, ponderaciones y priorización de cada uno.

CONCEPTO	EMISIONES	COSTO	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/M*K)	AISLAMIENTO	PRIORIZACIÓN
	GEI (KGCO ₂ E)	(PESO MX)		ACÚSTICO (STC-DB)	
MURO DE TABLAROCA	0.5915	0.5200	0.2440	0.4658	0.43
MURO DE DUROCK	0.1992	0.2682	0.1561	0.2771	0.19
MURO COVINTEC	0.1400	0.1409	0.5453	0.1611	0.31
MURO DE BLOCK 15X20X40	0.0693	0.0709	0.0547	0.0960	0.06
PONDERACIONES	0.4355	0.0854	0.4171	0.0620	

Figura 29

Gráfico de priorización de las alternativas de sistemas constructivos para muros divisorios analizados.



De los resultados obtenidos se tienen los siguientes datos: la opción que presentó mayor valor se consideró como la óptima, siendo ésta, el muro de Tablaroca (1), seguido del muro de Covintec (3), posteriormente el muro de Durock (2) y para finalizar con el muro de block (4) como el sistema constructivo menos favorable de acuerdo con los criterios ponderados. Fig. 29

En otras investigaciones similares destaca Taboada (2023), la importancia de incluir dentro del análisis de los sistemas constructivos empleados en el proyecto los: “criterios ambientales, técnicos y económicos” en la toma de decisiones ya que esto permite tener un “mejor entendimiento de que alternativas son más sustentables” (p.95).

En la propuesta de la investigación realizada sobre la elaboración de tabiques (Bucio et al., 2022), considera indicadores de sustentabilidad: ambientales, económicos y energético - funcionales, sugiere la aplicación de una herramienta multicriterio derivado de la complejidad en la asignación de un valor numérico que permita tener indicadores comparables entre sí, dando pauta con el uso de dicha herramienta a la extrapolación territorial como área de análisis, así como la incorporación de nuevos materiales, teniendo como resultado el análisis de casos más “inclusivos”.

Las principales limitaciones encontradas se relacionan directamente con el área de estudio, en el caso de los sistemas constructivos seleccionados se limitan a los de mayor demanda del mercado. En este mismo orden de ideas es importante mencionar que, el análisis multicriterio de sistemas constructivos prefabricados para muros divisorios con enfoque en el desarrollo sustentable en la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas no presenta casos similares empleando la metodología, de tal forma que la importancia de los resultados obtenidos es de utilidad en la elección del sistema constructivo para estos elementos, con enfoque al desarrollo sustentable, para la etapa de diseño o ampliación de los espacios habitables.

Los resultados obtenidos respaldan la hipótesis planteada, donde el muro divisorio más conveniente bajo los criterios de sustentabilidad no necesariamente era el de menor costo, que de los resultados obtenidos si representa el sistema constructivo de menor costo, sin embargo

este indicador es más favorable de lo esperado, de la misma forma, que la opción propuesta de muro divisorio tenía una factibilidad constructiva comparable a la de las otras opciones, donde la construcción del sistema no superó los costos estimados y a su vez las emisiones de GEI atribuidas a esta opción constructiva fueron mínimas comparadas con los demás.

Conclusiones

A partir del análisis de los sistemas constructivos de muros divisorios se puede concluir que las diferencias se manifiestan principalmente en la composición de sus elementos, aunque el muro de Tablaroca y de Durock son sistemas parecidos, el componente en sus paneles es el principal diferenciador (panel de yeso y panel de cemento), y por otro lado, se encuentran las propiedades de cada sistema en indicadores de aislamiento acústico, conductividad térmica, emisiones de GEI y costos como criterios de evaluación.

La optimización en la elección mediante la aplicación de la metodología AHP, permitió abordar la evaluación desde distintos escenarios o criterios, siendo estos: ambientales, económicos y sociales como parte del enfoque de desarrollo sustentable, dichas valoraciones generan impacto en cada rubro por separado, los que se podría interpretar como contradictorios entre sí, por lo que el uso de la metodología ha permitido realizar dicha comparación dando como resultado un aporte más integral, e identificando claramente la solución más adecuada de acuerdo con los criterios de comparación.

De los resultados obtenidos se puede concluir que, del análisis de los sistemas constructivos de muros divisorios en edificaciones para la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, el óptimo, es el de Tablaroca. De los modelos constructivos con los que se comparó, se encontró que, es el sistema con menos emisiones de GEI, es el de menor costo (mejorando la hipótesis planteada), el segundo en conducción térmica y el primero en aislamiento acústico, todos los sistemas fueron analizados en condiciones estándar, en respuesta a los objetivos planteados, se encontró la mejor opción constructiva, dando respuestas a cada una de las preguntas de investigación.

En otras investigaciones con enfoque sustentable se han integrado algunos otros elementos, como ocurre con la vida útil de los materiales, así como lo que pasa con dichos residuos en los vertederos, cabe destacar que estos criterios no forman parte de los objetivos de esta investigación, sin embargo, dadas las características de la metodología, para

investigaciones futuras estas variables se podrían integrar. En este mismo sentido también sería interesante realizar un meta análisis comparativo con resultados de diferentes técnicas de evaluación considerando un mayor desglose de la investigación, de modo que la mayor parte de las variables ambientales, sociales y económicas se puedan ver involucradas.

Referencias

- Aguado, I., Barrutia, J. y Echebarria, C. (2008). Indicadores de desarrollo humano sostenible: análisis comparativo de la experiencia española. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales* (CyTET), 40(155).
<https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/75836>
- Alcocer, S., Cesín, J., Flores, L., Hernández, O., Meli, R., Tena C., Vasconcelos, D. (2005). Los cambios más importantes en la Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería del Distrito Federal. Conferencia: 4o Simposio Nacional de Ingeniería Estructural en la Vivienda.
<https://www.researchgate.net/publication/275523549>
- Barrutia, J., Echebarria, C. y Aguado, I. (2007). Una Red de Políticas para la Difusión de la Agenda 21 Local en Euskadi. *Revista Ekonomiaz*, 64, (p.214-235).
- Bucio, C., López, L. y Morales, M. (2022). *Análisis multiparamétrico de tres sistemas constructivos considerando indicadores de sustentabilidad: ambientales, económicos y energético-funcionales*. *Informes de la Construcción*, 74(567). DOI:
<https://doi.org/10.3989/ic.87813>
- Cantor, G. (2002). *La Triangulación Metodológica en Ciencias Sociales. Reflexiones a partir de un trabajo de investigación empírica*. Cinta de Moebio, (13).
- Casañ Pérez, A. (2013). *La decisión multicriterio: aplicación en la selección de ofertas competitivas en edificación*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia]
<http://hdl.handle.net/10251/29371>
- Covintec ST (2011). *Ficha Técnica Panel Covintec ST para muros divisorios 2”*
<https://covintec.com/wp-content/uploads/2022/04/covintec-ficha-tecnica-covintec-ST-2-pulgadas.pdf>
- Encuesta Nacional de los Hogares. (2017). <https://sinegi.page.link/J9oJ>

- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2004). NTC-S: Normas técnicas complementarias para diseño por sismo. Recuperado de PDF en línea. [https://paot.org.mx/centro/gaceta/2004/octubre04/06octubre04_bis.pdf] (15 de enero de 2024).
- Gaitán González, I. (2005). Propuesta de proyecto arquitectónico bioclimático para la Universidad Autónoma Metropolitana 5a unidad, ubicada en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, clima cálido semi-húmedo. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco]. <http://hdl.handle.net/11191/6179>
- García Sánchez, R. F. (2023). Comparativa técnico-económica en muros divisorios para edificación vertical en la ciudad de México. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000841837>
- Gobierno del Distrito Federal. (2004). NTC-M: Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. [<http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/745.pdf>] (15 de enero de 2024).
- Güereca, L., Carius, C., Padilla, A., y Herrera, H. (2016). Evaluación de la Huella de Carbono con enfoque de Análisis de Ciclo de Vida para 12 Sistemas Constructivos. Ciudad de México, México: UNAM, Instituto de ingeniería. https://www.novaceramic.mercari.com.mx/wp-content/uploads/2021/06/emisiones_co2.pdf
- Hernández, J. (2014). Análisis multicriterio. EcuRed. noviembre 3. https://www.ecured.cu/index.php?title=An%C3%A1lisis_multicriterio&oldid=2366674. http://www1.euskadi.net/ekonomiaz/taula4_c.apl?REG=843.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (INEGI, 2020). <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

- Jiří, F. y Aleš, K., (2014). Judgment Scales and Consistency Measure in AHP, *Procedia Economics and Finance*, Volume 12, P. 164-173. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00332-3](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00332-3).
- Kumar, A.; Sah, B.; Singh, A.; Deng, Y.; He, X.; Kumar, P. y Bansal, R. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69. 596-609.
- Lafuente Ibáñez, C.; Marín Egoscozábal, A. (2008). *Metodologías de la investigación en las ciencias sociales: Fases, fuentes y selección de técnicas*; en: Revista Escuela de Administración de Negocios. (64). septiembre-diciembre. Pp. 5-18. Universidad EAN.
- López, S., Chung, P. y Ramírez, M. (2021). Proceso Analítico Jerárquico (AHP) como método multicriterio para la localización óptima de estaciones intermodales. *Economía, sociedad y territorio*, 21(66), p. 315-358. <http://dx.doi.org/10.22136/est20211583>
- Martínez, E., Álvarez, M., Arquero, A. y Romero, M. (2010). Apoyo a la selección de emplazamientos óptimos de edificios. Localización de un edificio universitario mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). *Informes de la Construcción*, 62 (519). Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja. <https://www.researchgate.net/publication/46179344>
- Muñoz, B. y Romana, M. (2016). Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte. *Pensamiento Matemático*, 6 (2). Universidad Politécnica de Madrid. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5998856>
- Nunez, C. (2023). Gases de efecto invernadero: qué son y cuáles son sus efectos. *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/gases-efecto-invernadero-que-son-hacen>

- Organización Mundial de la Salud. (1987). Nuestro futuro común. *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Nairobi.
https://www.academia.edu/32976409/Informe_Brundtland
- Panel W (2013). *Hoja técnica panel w divisorio 2*". https://panelw.com/pics/productos/22523-ficha_panel_div-2_oct_2013.pdf
- Penagos, M. y Rocha, N. (2018). El confort acústico en la mampostería estructural. [Tesis de Licenciatura, Universidad la gran Colombia].
- Pombo Rodilla, O. (2016). *Análisis multicriterio de la eficiencia de medidas de rehabilitación de viviendas mediante el enfoque de ciclo de vida: propuesta metodológica*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].
https://oa.upm.es/42315/1/OLATZ_POMBO_RODILLA.pdf
- Saaty T. y Vargas L. (2012). *Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Springer: International Series in Operations Research & Management Science. (2nd ed., Edit. Springer).
<https://slims.ikipgribojonegoro.ac.id/repository/Models-Methods-Concepts-Applications-of-the-Analytic-Hierarchy-Process.pdf>
- Saaty, T. (1980). *The analytic hierarchy process*. Nueva York, McGraw-Hill.
DOI:10.2307/27784145
- Saaty, T. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, 48(1). Pp. 9-26
- Saaty, T. (2002). Decision making with the analytic hierarchy process. 3(9). Pp. 215-229
- Sánchez Alejandro, A. (2013). *Comportamiento sísmico de muros de concreto para vivienda*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/102983>

Sanchez R. (2001). *La toma de decisiones con múltiples criterios. Un resumen conceptual y teórico. Centro de Planificación y Gestión.* Universidad Mayor de San Simón. La toma de decisiones con múltiples criterios (studylib.es).

Taboada, L., (2023). *Análisis multicriterio de losas de entepiso mediante la implementación de criterios de sustentabilidad en edificios* [Tesis, Universidad San Ignacio de Loyola].
<https://hdl.handle.net/20.500.14005/13265>

USG Durock (2016). Manual Técnico USG Durock. file:///C:/Users/homes/Downloads/durock-technical-guide-muro-interior-6.35-calibre20-40.6cm-es-mex%20PESO%20DE%20DUROCK.pdf

USG Tablaroca (2016). Manual Técnico USG Tablaroca.
https://www.usg.com/content/dam/USG_Marketing_Communications/mexico/product_promotional_materials/finished_assets/manual-tecnico-usg-tablaroca-es.pdf