

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Optimización de eficiencia energética en edificaciones mediante la
mejora de diseño y materiales de fachadas bajo criterios de la
certificación EDGE

Trabajo de graduación presentado por José Alejandro Rímola Blanco para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,

2024

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Optimización de eficiencia energética en edificaciones mediante la
mejora de diseño y materiales de fachadas bajo criterios de la
certificación EDGE

Trabajo de graduación presentado por José Alejandro Rímola Blanco para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala,

2024

Vo.Bo.:

(f)

Arq. Juan Pablo Blas Arias

Tribunal examinador:

(f)

Arq. Juan Pablo Blas Arias

(f)

Ing. Jorge Carlos Escobar Polanco

(f)

Arq. Sergio de León

Fecha de aprobación: Guatemala, 20 de junio de 2024

CONTENIDO

LISTADO DE TABLAS	III
LISTADO DE GRÁFICOS	IV
PREFACIO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT.....	VII
I. INTRODUCCIÓN	- 1 -
II. JUSTIFICACIÓN	- 2 -
III. OBJETIVOS	- 3 -
A. Objetivo general.	- 3 -
B. Objetivos específicos	- 3 -
IV. MARCO TEÓRICO	- 4 -
A. Diseño arquitectónico sostenible	- 4 -
1. Aspectos importantes	- 4 -
2. Ahorro y eficiencia energéticos.	5
B. Certificaciones verdes	5
1. LEED.	6
2. CASA	6
3. EDGE	6
C. Funcionamiento energético en edificaciones sostenibles	6
D. Historial climático en Guatemala	7
1. Clima general anual.	7
2. Temperatura anual	8
3. Nubes.	8
4. Precipitación	9
5. Lluvia	9
6. Sol	10
E. Consumo energético en Guatemala	10
1. Producción de energía renovable en Guatemala.	10
2. Oferta y demanda de energía en Guatemala.	11
F. Sistemas de fachadas	13
1. Sistema SATE	13
2. Fachadas ventiladas	14
3. Fachada con aislamiento por el interior	15
G. Certificación EDGE	16
Medidas de eficiencia en el uso de materiales aplicado a fachadas	17

•	<i>EEM 08: Aislamiento térmico de paredes externas</i>	17
•	<i>MEM 05: Paredes externas</i>	17
•	<i>MEM 10: Aislamiento</i>	17
H.	Huella de carbono	19
I.	Casos análogos	20
	<i>Edificios certificados EDGE</i>	20
	<i>Edificios que utilizan sistemas de fachadas</i>	20
V.	METODOLOGÍA.....	22
VI.	RESULTADOS	24
A.	Conductividades térmicas, espesores y resistencias de los materiales de cada sistema de fachada	24
B.	Resistencias de cada uno de los materiales de cada sistema de fachada	24
C.	Valores U (W/m²*K)	25
D.	Gráficas de ahorro de energía y huella de carbono ahorrada por el uso de materiales por la aplicación EDGE	25
E.	Ahorro energético por disciplina por sistema de fachada	28
F.	Comparación entre sistema de fachadas	29
G.	Comparación de ahorro en costos por sistema de fachada	29
H.	Comparación de ahorro de huella de carbono por sistema de fachada	29
I.	Comparación de flujo de calor por unidad de área por sistema de fachada	29
VII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	30
VIII.	CONCLUSIONES	33
IX.	RECOMENDACIONES.....	34
X.	BIBLIOGRAFÍA	35
XI.	ANEXOS	37
	Anexo No. 1	37

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones de aislamientos certificación EDGE	17
Tabla 2: Sistema de fachada SATE	24
Tabla 3: Sistema de fachada ventilada.....	24
Tabla 4: Sistema de fachada aislada por el interior	24
Tabla 5: Resistencia por material fachada SATE	24
Tabla 6: Resistencia por material fachada ventilada.....	25
Tabla 7: Resistencia por material fachada aislada por el interior	25
Tabla 8: Valores U totales de cada sistema de fachada	25
Tabla 9: Energía y huella de carbono ahorrada por sistema de fachada	28
Tabla 10: Ahorro energético por disciplina, valores en kWh/m ² /año	28
Tabla 11: Comparación de resultados entre sistemas de fachadas.....	29
Tabla 12: Costo y ahorro anual por sistema de fachada	29
Tabla 13: Comparación de ahorro anual de huella de carbono por sistema de fachada	29
Tabla 14: Flujo de calor por unidad de área por sistema de fachada	29

LISTADO DE GRÁFICOS

Ilustración 1 Clima general promedio en la Ciudad de Guatemala	8
Ilustración 2 Temperatura general promedio en la Ciudad de Guatemala.....	8
Ilustración 3 Porcentaje de nubes por mes en la Ciudad de Guatemala.....	9
Ilustración 4 Horas de luz natural de manera mensual en la Ciudad de Guatemala	10
Ilustración 5 Horas de salida y puesta de sol de manera mensual en la Ciudad de Guatemala	10
Ilustración 6 Capacidad de potencia instalada en el S.N.	11
Ilustración 7 Demanda máxima de potencia contra potencia efectiva instalada en el S.N.I.....	12
Ilustración 8 Total de la oferta de energía eléctrica en el S.N.I.....	12
Ilustración 9 Consumo total de energía eléctrica en el S.N.I.....	12
Ilustración 10: Detalle de ensamble sistema de fachada SATE.....	14
Ilustración 11: Detalle de ensamblaje de sistema de fachada ventilada.....	15
Ilustración 12: Disciplina de energía de la aplicación Edge	22
Ilustración 13: Medida de eficiencia energética EEM08	23
Ilustración 14: Disciplina de materiales en aplicación Edge	23
Ilustración 15: Medida de eficiencia en el uso de materiales MEM10	23
Ilustración 16: Ahorro energético edificio sin aislamiento	25
Ilustración 17: Ahorro energético sistema SATE	26
Ilustración 18: Ahorro energético fachada ventilada	26
Ilustración 19: Ahorro energético fachada aislada por el interior.....	26
Ilustración 20: Huella de carbono ahorrada sin aislamiento	27
Ilustración 21: Huella de carbono ahorrada sistema SATE	27
Ilustración 22: Huella de carbono ahorrada fachada ventilada	27
Ilustración 23: Huella de carbono ahorrada fachada aislada por el interior.....	28

PREFACIO

El presente trabajo de graduación titulado *Optimización de eficiencia energética en edificaciones mediante la mejora de diseño y materiales de fachadas bajo criterios de la certificación EDGE* es la culminación de mi trayectoria académica durante mi licenciatura en la Universidad del Valle de Guatemala. Este proyecto representa un proceso de investigación y análisis exhaustivo y el fin de años de estudio y dedicación.

En primer lugar, agradecer a Dios por la oportunidad de estudiar en la mejor universidad privada de Centroamérica, abrir las puertas necesarias para conseguir ayuda financiera y permitir a mi familia tener la capacidad de mantenerme estos once semestres en la universidad. Por supuesto quiero agradecerle a mi familia, especialmente a mis padres por el esfuerzo inmenso que hacen todos los días para que no nos falte una educación de excelencia a mí y a mis hermanos. Agradecerles a mis hermanos por su aliento y apoyo en todo este tiempo, mi familia ha sido mi motivación constante durante mi licenciatura.

También, agradecerle a la Universidad del Valle de Guatemala por otorgarme la ayuda financiera suficiente para hacer posible mi sueño de ser ingeniero civil. Específicamente agradecerle al departamento de ingeniería civil completo, por sus enseñanzas, paciencia y consejos que se quedarán conmigo por el resto de mi vida profesional. No puedo pasar por alto el apoyo de mi asesor y coordinador de trabajo de graduación el Arquitecto Juan Pablo Blas, agradecerle por su orientación, paciencia y apoyo constante durante este proceso. Su conocimiento y sus comentarios han sido fundamentales para el desarrollo y mejora de este trabajo. También quiero expresar mi sincero agradecimiento a Roberto Godo y Sergio de León por el asesoramiento y consejos que han enriquecido el resultado final de esta investigación.

El propósito de este trabajo de graduación es presentar una solución de un sistema de fachada para el ahorro de eficiencia energética basado en la certificación de sostenibilidad EDGE. A través de un análisis de ahorro y eficiencia energéticos por el uso de los materiales por medio de la aplicación EDGE, espero contribuir al cuerpo de conocimiento en el campo de ingeniería civil y proporcionar conocimientos significativos para futuras investigaciones.

Espero sinceramente que este trabajo sea de utilidad para académicos, profesionales y cualquier persona interesada en Optimización de eficiencia energética en edificaciones mediante la mejora de diseño y materiales de fachadas bajo criterios de la certificación EDGE.

¡Gracias!

José Alejandro Rímola Blanco
Guatemala, 02 de mayo de 2024

RESUMEN

En este trabajo de graduación se abordan temas de sostenibilidad energética, diseño arquitectónico sostenible, certificaciones verdes y sistemas de fachadas para obtener el funcionamiento más eficiente en un edificio de usos múltiples. Al mismo tiempo, se comparan los diferentes sistemas de fachadas, basándose en el diseño de un edificio ubicado en la ciudad de Guatemala. Dentro de este trabajo se incluye el análisis de tres sistemas de fachadas, SATE, ventilada y aislada por el interior, tomando en cuenta la eficiencia energética y la huella de carbono ahorrada. Por último, se discutirán los resultados obtenidos comparándolos entre sí y contra un control sin aislamiento, junto con la línea base de la aplicación EDGE para concluir cual tiene el mayor ahorro energético.

ABSTRACT

This graduation work will address issues of energy sustainability, sustainable architectural design, green certifications, and façade systems to obtain the most efficient operation in a multipurpose building. At the same time, different façade systems will be compared, based on the design of a building located in Guatemala City. This work will include the analysis of three façade systems, SATE, ventilated and insulated on the inside, taking into account the energy efficiency and the carbon footprint saved. Finally, the results obtained will be discussed comparing them with each other and against a control without insulation, along with the baseline of the Edge application to conclude which has the highest energy savings.

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de este trabajo de graduación es encontrar el sistema de fachada más eficiente, enfocado en el ahorro energético basado en el diseño y el uso eficiente de los materiales según la certificación de sostenibilidad EDGE. La optimización de eficiencia energética está basada en la certificación de sostenibilidad EDGE, específicamente en tres rubros de esta. El primer rubro bajo el capítulo de eficiencia energética es el aislamiento de paredes exteriores, donde se establece el valor de transmitancia térmica (valor U) de los materiales de los cerramientos del edificio. El segundo rubro, dentro del capítulo de eficiencia energética en el uso de los materiales, paredes externas donde se establece el material y el grosor de los cerramientos excluyendo el material de aislamiento. Por último, dentro del capítulo anterior, aislamiento donde se establece el material aislante y el espesor del material aplicado en los cerramientos del edificio.

Se estarán analizando tres diferentes sistemas de fachadas, sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE), sistema de fachada ventilada y sistema de aislamiento por el interior. El análisis de cada uno de estos sistemas se llevará a cabo en la aplicación de la certificación EDGE, controlando los tres rubros anteriormente mencionados para cada uno de los sistemas. Para evitar discrepancias y datos atípicos en este trabajo, el rubro de aislamiento se utilizó el mismo material con el mismo grosor, las paredes externas son las mismas para los tres casos ya que los sistemas son agregados a los cerramientos. En la parte de aislamiento de paredes exteriores se calcularon los diferentes valores U de los sistemas de fachada con su diferente composición de materiales.

Al terminar el análisis en la aplicación EDGE, se obtuvieron los porcentajes de ahorro de energía, porcentaje de huella de carbono ahorrada por materiales y gasto individual en kilowatts hora por cada metro cuadro al año de los equipos de calefacción, refrigeración y diferentes ventiladores que controlan la temperatura del edificio. Se pudo concluir que el sistema de fachada más eficiente es la fachada ventilada, sin embargo, todos los sistemas son viables al tener una diferencia de ahorro de energía entre el más eficiente y el menos eficiente de solamente un 0.1 por ciento.

II. JUSTIFICACIÓN

El diseño sostenible es una parte importante dentro del gremio actualmente, tratando de reducir el consumo y maximizar la eficiencia de cualquier instalación de un proyecto ya sea agua, luz o aislamiento térmico. La producción de energía es un proceso que contamina el ambiente, y es un servicio que la mayoría de los seres humanos tienen acceso, por lo que es viable reducir el consumo en una edificación grande para disminuir la contaminación. Buscando la manera de aprovechar de mejor manera y por el máximo tiempo las horas de luz solar para iluminación, tanto, así como para las ganancias térmicas de los diferentes espacios del edificio. También, se buscarán los mejores equipos para las instalaciones eléctricas buscando una eficiencia alta y bajo consumo de energía.

Todo esto estará basado en una certificación verde, que se adapte mejor a las condiciones económicas, condiciones de uso y climáticas de la ubicación del proyecto que se desarrollará. Las certificaciones verdes ya tienen establecidos unos logros o metas que son de gran ayuda para la selección de material para las instalaciones eléctricas y las ganancias térmicas de los ambientes, además de ser una ventaja llamativa para el mercado al estar certificado con una de estas. Las diferentes certificaciones que se contemplaran están LEED, CASA y EDGE analizando sus puntos fuertes, ventajas, desventajas dentro de la parte eléctrica y costo de certificación de cada una.

Este proyecto aportara una investigación comparativa entre las diferentes certificaciones verdes ya mencionadas, los diferentes usos de edificios que existen y su consumo energético, y por último entre edificios que estén certificados y otros que no estén certificados; para entregar una conclusión de viabilidad de certificación. Además, de seleccionar un tipo de uso de edificio y una certificación se realizará el modelo del edificio donde se pueda observar claramente el funcionamiento de los diferentes elementos energéticos sostenibles empleados en el mismo.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general.

Presentar una solución de fachada de un edificio con base en el diseño y los materiales del sistema, enfocado en eficiencia energética de los materiales basado en la certificación EDGE.

B. Objetivos específicos

- Generar las gráficas de eficiencia energética de materiales con la certificación EDGE.
- Comparar diferentes sistemas de fachadas, sus materiales, valor U y huella de carbono ahorrada.
- Comparar los resultados de eficiencia energética de los materiales de la aplicación EDGE de los diferentes sistemas de fachadas.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Diseño arquitectónico sostenible

En la Arquitectura se ha trabajado en edificios sustentables, los cuales ofrecen un ejemplo indiscutible de las ventajas de una vida sustentable. De acuerdo con Eointeligencia dichos edificios son un 30 por ciento en promedio, más eficientes energéticamente que los edificios convencionales, y utilizan un 25 por ciento menos de agua. Además de que los costos de servicios públicos son significativamente reducidos, también tienen precios de alquiler y reventa más altos. Para llegar a realizar un proyecto que dé origen a un edificio de este tipo, es necesario considerar lo escrito por Lobato, para que un diseño sea considerado como sustentable, es necesario conocer el hecho de que el 80 por ciento del impacto ambiental de productos (objetos, servicios o infraestructuras) se define en las primeras etapas de diseño. Por lo cual es indispensable que este factor sea tomado en cuenta desde la conceptualización de un proyecto, debido a que brinda la posibilidad de tener una visión objetiva y clara de qué forma parte de los requerimientos principales de diseño.

Hay que tener en cuenta algunos aspectos, como el planeamiento urbano a reducción de las demandas derivadas del transporte, el ahorro de agua y energía, el tratamiento de los residuos, de forma especial los materiales de construcción, la mejora del medio ambiente interior de los edificios, el mantenimiento de las viviendas existentes y/o rehabilitación de estas, la utilización de nuevos materiales constructivos bajo el concepto de sostenibilidad, etc.

Sea cual sea la metodología del diseño arquitectónico utilizada, se pueden identificar las fases a través de las cuales se debe desarrollar un proyecto de diseño, enfatizando la importancia y la capacidad de cada una de las etapas para influir en el rendimiento y el costo del ciclo de vida del inmueble, con una tendencia clara a la sustentabilidad en el diseño arquitectónico, no sólo debido a las preocupaciones ambientales sino también a los problemas económicos y sociales, ya que promueven la calidad arquitectónica y tienen ventajas económicas (Walter, 2006). Por lo general, se inicia con los criterios principales que responden a los requisitos funcionales, económicos, sociales y de tiempo. Sin embargo, estos no son suficientes para crear una base consistente que logre resultados óptimos para el edificio. De acuerdo con Deru y Torcellini los nuevos criterios y enfoques, que generalmente no se consideran, pueden aportar ventajas al proyecto, al favorecer la mejora de su desempeño y reducir su costo final. Cuanto antes se definan los objetivos del proyecto y se integren los nuevos criterios, más sustentable será el edificio.

1. Aspectos importantes.

Una construcción sostenible debe atender, de igual manera el uso eficiente de la energía que necesita consumir, así como su conservación, lo cual puede hacer implementando los siguientes puntos:

- a. Utilizar protecciones y aislamientos en superficies exteriores, tanto laterales como superiores, para evitar radiaciones solares.
- b. Diseñar para el mejor manejo de ventilación natural a fin de evitar inversiones en equipos de ventilación y aire acondicionado.
- c. Implementar en fase de diseño, la iluminación natural, más que la artificial en los diferentes ambientes del edificio.

- d. Implementar sensores de movimiento, fotoceldas y temporizadores, para optimizar el uso de la iluminación periférica.
- e. Uso de equipos eléctricos certificados como energéticamente eficientes.
- f. Para el uso de energía consumible, agua caliente, iluminación, etc. utilizar equipos de utilización de energía solar, paneles fotovoltaicos solares, etc.
- g. Instalar medidores de consumo energético para llevar control de los consumos.
- h. Instalar controles electrónicos de temperatura, humedad, iluminación, etc.

2. Ahorro y eficiencia energéticos.

Por una parte, el ahorro energético consiste en la búsqueda de reducción de energía consumida con la incorporación de nuevos hábitos energéticos más ahorradores. Esto puede conllevar a una reducción del confort térmico y el bienestar, además de que la producción puede verse afectada. La finalidad es conseguir un ahorro a raíz de la reducción del uso de servicios como la calefacción o el aire acondicionado, entre otros. Es una de las soluciones más comunes tanto en hogares como en empresas, pero no es una solución aconsejable en el largo plazo.

Mientras que el ahorro energético trata de reducir el gasto mediante un menor uso de la energía, la eficiencia energética persigue mantener un bajo consumo de energía al desarrollar las actividades habituales del edificio sin que el confort ni la producción se vean afectadas. De esta forma, no se busca incurrir en cambios en los hábitos de consumo, sino que trata de adaptar medidas y sistemas para lograr una reducción máxima de la energía final consumida; protegiendo también el medio ambiente al eliminar las emisiones de CO₂. La finalidad es optimizar el consumo energético mediante equipos de ahorro. Así, al usar la energía de manera eficiente, se consigue aprovechar la energía al máximo. De esta forma, se logra reducir las emisiones contaminantes del edificio y ahorrar en la factura de la luz.

Hoy, el hecho de contar una mejor calidad en la gestión energética es una prioridad cada vez mayor entre las distintas empresas y organizaciones. Esto se debe los múltiples beneficios que se obtienen, tanto económicos como medioambientales. De esta forma, mientras se ahorra en la factura de la luz, se favorece el bienestar y la salud de todas las formas de vida del planeta; además de potenciar el futuro beneficio de muchas actividades. Por todo ello, apostar por la eficiencia energética sí es una solución inteligente a largo plazo.

B. Certificaciones verdes

Se sabe que los edificios consumen alrededor del 40 por ciento de la energía mundial, emiten el 40 por ciento de las emisiones de carbono del mundo y utilizan el 20 por ciento del agua potable disponible en el mundo. Hacer de la construcción civil una industria con menor impacto, a través de procesos más eficientes, mejores materiales y elecciones más conscientes es algo de vital importancia a nivel mundial.

Las certificaciones pueden ayudar a guiar esta transformación, en parte al cambiar la mentalidad del mercado o del público objetivo de los nuevos edificios. Existen empresas, por ejemplo, que eligen la ubicación de sus oficinas en función de la sostenibilidad de sus edificios.

Las certificaciones pueden ser agentes para desencadenar transformaciones positivas en la industria. Si bien existen algunas certificaciones que verifican si el edificio cumple con ciertos criterios de eficiencia, otras crean diferentes clasificaciones. Para este caso, asignan una puntuación basada en evaluaciones.

1. LEED.

Leadership in Energy and Environmental Design, o en castellano, “Líder en Eficiencia Energética y Diseño Sostenible”, es un sistema de certificación de edificios sostenibles, internacionalmente reconocido, que los clasifica en función de su grado de excelencia. Evalúa el proyecto de construcción en su conjunto (Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento), en base a una serie de criterios que, con distinto nivel de calificación, le otorgan la certificación de construcción sostenible.

Para lograr la certificación LEED, un proyecto gana puntos al adherirse a los requisitos previos y créditos que abordan el carbono, la energía, el agua, los desechos, el transporte, los materiales, la salud y la calidad ambiental interior. Los proyectos pasan por un proceso de verificación y revisión por GBCI y se les otorgan puntos que corresponden a un nivel de certificación LEED: Certificado (40-49 puntos), Plata (50-59 puntos), Oro (60-79 puntos) y Platino (80 puntos). + puntos).

Los proyectos que persiguen la certificación WELL pueden ganar puntos en función de los resultados de desempeño para diversas políticas, diseños y estrategias operativas y pueden alcanzar uno de los cuatro niveles de certificación: Bronce, Plata, Oro o Platino.

2. CASA.

Casa Guatemala utiliza los más altos y reconocidos Estándares en el sector de la construcción, probados y validados en todo el mundo, para calificar los proyectos inmobiliarios y poder definirlos como verdes o sostenibles. Al utilizar CASA Guatemala usted podrá definir con anticipación sus objetivos de Sostenibilidad, elegir las estrategias que mejor se ajusten a su visión y presupuesto para ofrecer un producto diferenciado a sus clientes.

3. EDGE.

Es una innovación de la Corporación Financiera Internacional (IFC), miembro del Grupo del Banco Mundial. EDGE es una herramienta de transformación de mercado para edificios eficientes de forma económica, rápida y fácil de usar. EDGE permite a los desarrolladores y constructores de proyectos identificar de forma rápida los costos de incorporar opciones de ahorro en energía, agua y materiales en sus edificios. Estas estrategias, integradas en el diseño del proyecto, son verificadas por un Auditor EDGE y certificados por GBCI. GBCI administra la certificación EDGE en la mayoría de los países del mundo.

C. Funcionamiento energético en edificaciones sostenibles

Las casas o edificios verdes deben ser, además, respetuosas con el medio ambiente en todas

las etapas de su proceso de construcción; desde el diseño hasta la construcción, mantenimiento, rehabilitación, demolición y reciclaje.

Dentro de este concepto de sostenibilidad se considera fundamental la implicación de los usuarios. Será necesario un determinado comportamiento social por parte de las personas que habitan en estos edificios que, en muchos casos, obliga a un cambio de sus hábitos y a cierta flexibilidad en cuanto al uso de los edificios con el objetivo de alargar su vida útil. Y es que los llamados “edificios verdes” suponen un elemento fundamental en las estrategias y políticas medioambientales encaminadas a reducir nuestras emisiones de CO₂.

Todas las definiciones de lo que debe ser un “edificio verde” y las características que este tipo de edificaciones deben tener coinciden en una serie de aspectos:

En cuanto al entorno en el que se ubican; deben integrarse al máximo en el entorno en el que se ubican, ya sea urbano o natural, respetando el medio ambiente de forma que las alteraciones con respecto al tránsito, el ruido, la luz solar o los patrones de viento sean mínimas. En cuanto a los materiales que utiliza; se debe evitar la utilización de materiales de construcción tóxicos y contaminantes químicos como los compuestos orgánicos volátiles (COV) como el formaldehído, clorobenceno, etc. En cuanto al consumo de energía; los edificios verdes deben tener las mínimas necesidades de climatización y luz posibles por lo que su consumo de energía también será muy inferior al de cualquier vivienda tradicional. Además, las fuentes de energía para consumo de estas viviendas deberán ser siempre renovables: solar, geotérmica, aerotérmica, etc.

En cuanto al consumo de agua; como uno de los recursos naturales más preciados en la actualidad, será fundamental minimizar su consumo en este tipo de construcciones e incluso reciclarla y reutilizarla tantas veces como sea posible a través de sistemas de retención de agua de lluvia, griferías, duchas y aseos de bajo consumo de agua, etc. En cuanto a sus habitantes; un edificio debe tener en cuenta el bienestar de las personas que habiten en él, no sólo desde el punto de vista del confort sino también desde la salud.

En resumen, una construcción verde, ecológica o sostenible como también se denominan, comienza con la comprensión del entorno en el que se construye y termina en las personas que habitan en ella, tratando de maximizar los aspectos de sostenibilidad y de minimizar los efectos negativos de cualquier tipo de construcción a lo largo de su ciclo de vida.

D. Historial climático en Guatemala

1. Clima general anual.

En Ciudad de Guatemala, la temporada de lluvia es nublada, la temporada seca es mayormente despejada y es caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 13 °C a 27 °C y rara vez baja a menos de 11 °C o sube a más de 29 °C.

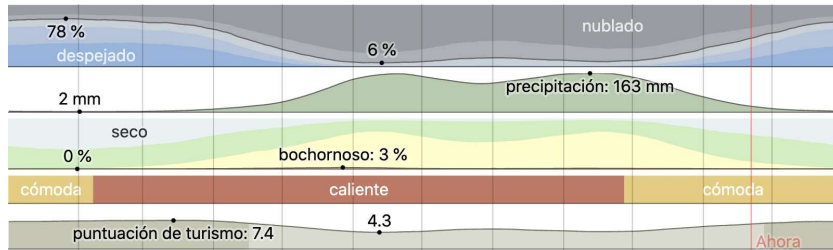


Ilustración 1 Clima general promedio en la Ciudad de Guatemala

2. Temperatura anual.

La temporada templada dura 2 meses, del 20 de marzo al 19 de mayo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 26 °C. El mes más cálido del año en Ciudad de Guatemala es mayo, con una temperatura máxima promedio de 26 °C y mínima de 17 °C. La temporada fresca dura 3.4 meses, del 18 de octubre al 1 de febrero, y la temperatura máxima promedio diario es menos de 24 °C. El mes más frío del año en

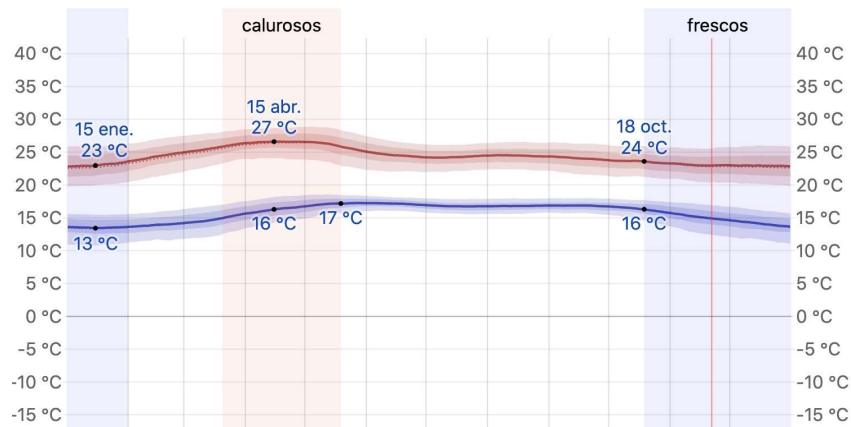


Ilustración 2 Temperatura general promedio en la Ciudad de Guatemala

Ciudad de Guatemala es enero, con una temperatura mínima promedio de 14 °C y máxima de 23 °C.

3. Nubes.

En Ciudad de Guatemala, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año. La parte más despejada del año en Ciudad de Guatemala comienza aproximadamente el 17 de noviembre; dura 5.0 meses y se termina aproximadamente el 17 de abril.

El mes más despejado del año en Ciudad de Guatemala es enero, durante el cual en promedio el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 77 por ciento del tiempo. La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 17 de abril; dura 7.0 meses y se termina aproximadamente el 17 de noviembre. El mes más nublado del año en Ciudad de Guatemala es junio, durante el cual en promedio el cielo

está nublado o mayormente nublado el 93% del tiempo.

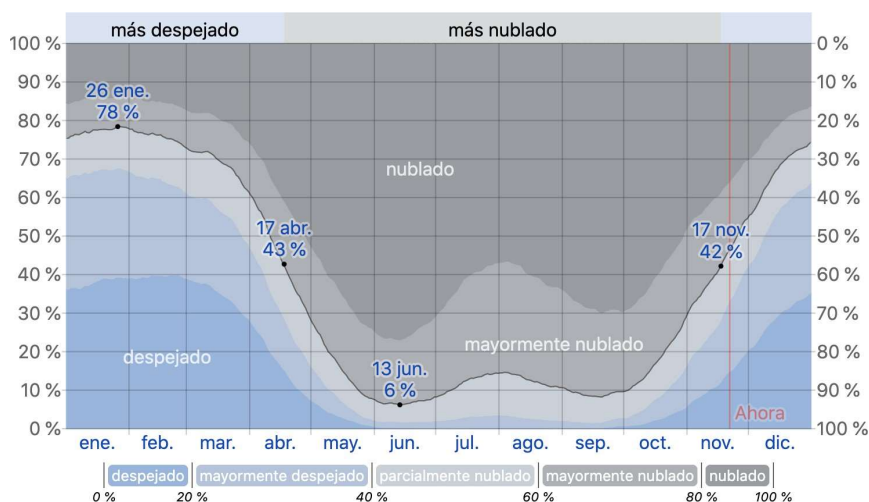


Ilustración 3 Porcentaje de nubes por mes en la Ciudad de Guatemala

4. Precipitación.

Un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido o precipitación equivalente a líquido. La probabilidad de días mojados en Ciudad de Guatemala varía muy considerablemente durante el año.

La temporada más mojada dura 5.4 meses, de 13 de mayo a 26 de octubre, con una probabilidad de más del 29 por ciento de que cierto día será un día mojado. El mes con más días mojados en Ciudad de Guatemala es septiembre, con un promedio de 16.2 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

La temporada más seca dura 6.6 meses, del 26 de octubre al 13 de mayo. El mes con menos días mojados en Ciudad de Guatemala es febrero, con un promedio de 0.4 días con por lo menos 1 milímetro de precipitación.

Entre los días mojados, se distingue entre los que tienen solo lluvia, solamente nieve o una combinación de las dos. El mes con más días con solo lluvia en Ciudad de Guatemala es septiembre, con un promedio de 16.2 días. Con base en esta categorización, el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia, con una probabilidad máxima del 56 por ciento el 12 de septiembre.

5. Lluvia.

Para mostrar la variación durante un mes y no solamente los totales mensuales, mostramos la precipitación de lluvia acumulada durante un período de 31 días en una escala móvil centrado alrededor de cada día del año. Ciudad de Guatemala tiene una variación extrema de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 8.1 meses, del 31 de marzo al 4 de diciembre, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. El mes con más lluvia en Ciudad de Guatemala es septiembre, con un promedio de 163 milímetros de lluvia. El periodo del año sin lluvia dura 3.9 meses, del 4 de diciembre al 31 de marzo. El mes con menos lluvia

en Ciudad de Guatemala es febrero, con un promedio de 2 milímetros de lluvia.

6. Sol.

La duración del día en Ciudad de Guatemala varía durante el año. En 2022, el día más corto es el 21 de diciembre, con 11 horas y 16 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de junio, con 13 horas y 0 minutos de luz natural. La salida del sol más temprana es a las 05:31 el 2 de junio, y la salida del sol más tardía es 1 hora y 0 minutos más tarde a las 06:31 el 22 de enero. La puesta del sol más temprana es a las 17:29 el 21 de noviembre, y la puesta del sol más tardía es 1 hora y 6 minutos más tarde a las 18:35 el 9 de julio.



Ilustración 4 Horas de luz natural de manera mensual en la Ciudad de Guatemala

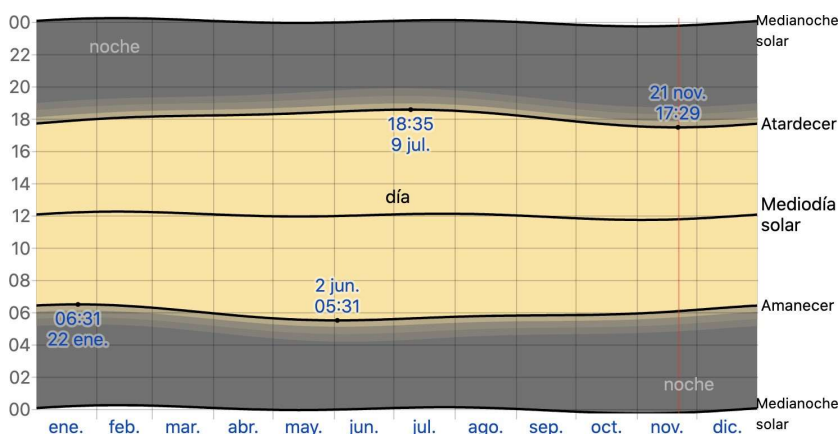


Ilustración 5 Horas de salida y puesta de sol de manera mensual en la Ciudad de Guatemala

E. Consumo energético en Guatemala

1. Producción de energía renovable en Guatemala.

Los recursos energéticos renovables se definen como aquellos recursos que tienen como característica común que se renuevan por naturaleza. Dentro de estos recursos se tienen las energías hidráulica, geotérmica, eólica, solar (térmica y fotovoltaica) y la biomasa.

Guatemala es un país que cuenta con una cantidad considerable de recursos renovables de energía, los cuales a la fecha han sido poco aprovechados. La afirmación anterior, se deriva

del hecho que, existiendo un potencial de 6,000 MW de energía hidroeléctrica y 1,000 MW de geotermia, se aprovecha solamente el 24.1 por ciento de la primera y un 3.5 por ciento de la segunda. Para el desarrollo de proyectos de energía solar, el país cuenta con un recurso importante, el cual tiene un valor anual promedio de radiación solar global de 5.3 kWh/m²/día.

En lo que respecta al recurso eólico, Guatemala tiene sitios con potencial para el desarrollo de proyectos de generación eléctrica.

i. Al mes de septiembre de 2018, en centrales hidroeléctricas conectadas al Sistema Nacional Interconectado -S.N.I.-, se tiene una potencia instalada efectiva total de 1,444.27 MW.

ii. Al mes de septiembre de 2018, existen ocho centrales solares fotovoltaicas de generación eléctrica conectadas al Sistema Nacional Interconectado, con una potencia instalada efectiva total de 91.5 MW.

iii. Al mes de septiembre de 2018, se tienen instalados tres parques de generación eólica conectados al Sistema Nacional Interconectado, con una potencia efectiva instalada total de 106.50 MW.

2. Oferta y demanda de energía en Guatemala.

A continuación, se presentan resultados del Ministerio de Energía y Minas (MEM) sobre la capacidad, oferta y demanda de la energía eléctrica y potencia del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.).

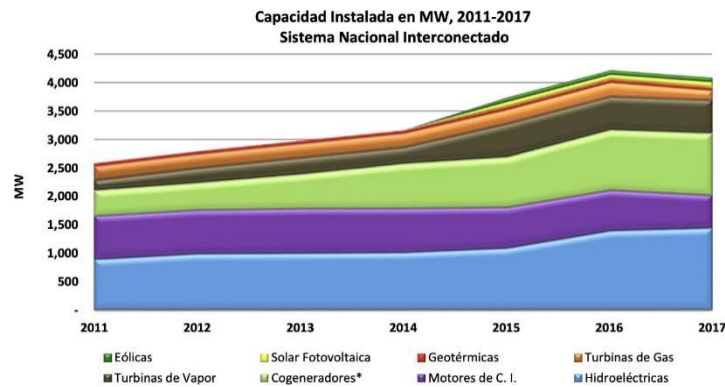


Ilustración 6 Capacidad de potencia instalada en el S.N.

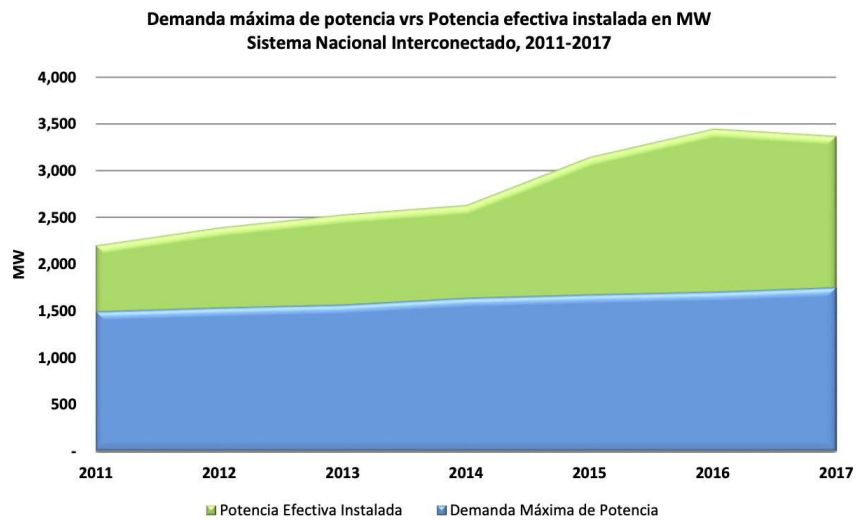


Ilustración 7 Demanda máxima de potencia contra potencia efectiva instalada en el S.N.I

Oferta total de energía eléctrica en GWh, 2011-2017

Año	Producción S.N.I.	Importación	Oferta Total
2011	8,146.54	525.60	8,672.14
2012	8,703.47	225.80	8,929.27
2013	9,270.47	266.59	9,537.06
2014	9,782.26	708.20	10,490.46
2015	10,301.87	584.80	10,886.67
2016	10,877.91	746.92	11,624.82
2017	11,489.90	891.38	12,381.28

Ilustración 8 Total de la oferta de energía eléctrica en el S.N.I

Consumo total de energía eléctrica en GWh, 2011-2017

Año	Consumo S.N.I.	Exportación	Pérdidas	Consumo Total
2011	8,161.02	193.39	317.73	8,672.14
2012	8,409.39	195.55	324.32	8,929.26
2013	8,634.89	587.85	314.32	9,537.06
2014	8,953.45	1,206.85	330.16	10,490.46
2015	9,466.48	1,087.21	332.98	10,886.67
2016	9,906.83	1,334.80	383.19	11,624.82
2017	10,120.95	1,857.76	402.57	12,381.28

Ilustración 9 Consumo total de energía eléctrica en el S.N.I

F. Sistemas de fachadas

1. Sistema SATE

El sistema de aislamiento térmico por el exterior, conocido como SATE, es un sistema constructivo pensado para la ejecución de la envolvente térmica exterior de los cerramientos verticales que conforman la vivienda.

Consiste en la colocación de paneles aislantes sobre un elemento portante vertical. Para formar el muro de cerramiento de la vivienda. Su instalación se realiza desde el exterior dando por resultado una envolvente térmica continua, sin puentes térmicos, de los muros de cerramiento de la vivienda. Consiguiendo un gran aislamiento y excepcionales propiedades tanto térmicas como acústicas en la composición de los muros de cerramiento.

Un sistema que cumple toda la normativa a nivel europeo y estatal, en cuanto a exigencias de protección contra el fuego, salubridad y eficiencia energética se refiere. Normativas que según se avanza en el tiempo, son cada vez más exigentes a nivel de requisitos de eficiencia térmica, por lo que la puesta en obra del sistema SATE es una gran opción para poder cumplir cada una de ellas.

Ventajas:

- Reducción de costes en la ejecución de la envolvente térmica.
- Intervención por el exterior de la vivienda, con mínimas molestias a sus ocupantes.
- Alta relación calidad / precio del sistema.
- Ahorro energético.
- Confort térmico en el interior de las estancias de la vivienda.
- Eliminación de puentes térmicos.
- Diseño y modelado con gran variedad de colores y texturas.

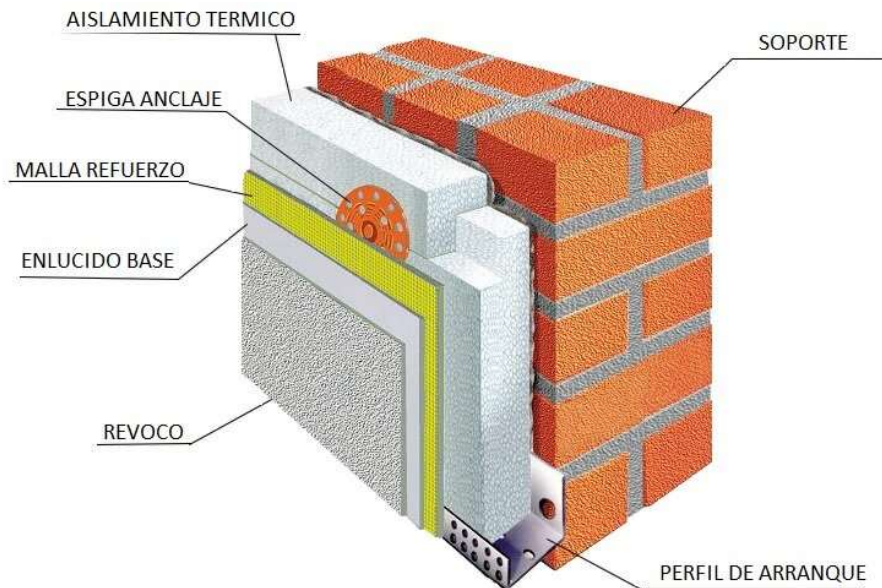


Ilustración 10: Detalle de ensamble sistema de fachada SATE

2. Fachadas ventiladas

El sistema de fachada ventilada se compone de un muro soporte, una capa aislante y un material de revestimiento que se fija al edificio con una estructura portante. Gracias a esta estructura, entre el muro portante y el material de revestimiento se crea una cámara de aire, no estanca, que permite la ventilación.

Entre el muro soporte y el revestimiento suele haber una capa de aislante, pero no siempre es así, ya que el propio muro soporte puede ser aislante o el material aislante puede colocarse por dentro de la vivienda.

El muro soporte es el encargado de asegurar la estabilidad del edificio. Este muro debe ser lo suficientemente estable como para soportar el peso del revestimiento y los esfuerzos que este le transmite. Este muro soporte puede ser de ladrillo, hormigón o madera, entre otros materiales. Lo más importante es realizar un cálculo para asegurarse de que el muro portante soporta el peso del material de revestimiento por metro cuadrado.

La cámara de aire tiene una apertura en la parte superior y otra en la parte inferior, que permiten la circulación constante de aire. Estas aperturas deben protegerse correctamente para evitar la entrada de agua, ya que el agua disminuiría la eficacia del aislante. En la apertura inferior de la fachada, lo que se conoce como el arranque de la fachada, se incorpora un perfil perforado que además de permitir la ventilación a través de sus orificios, constituye una protección anti roedores.

Como consecuencia de las diferencias de temperatura, en este espacio intermedio se produce un fenómeno de convección natural conocido como “efecto chimenea”. Este fenómeno de convección natural hace que en verano el aire caliente suba y que la cámara de

aire se renueva de aire más frío. Mientras que, en invierno, el aire no se calienta lo suficiente como para ascender, por lo que el aire de la cámara no se renueva y la capa de aislamiento retiene el calor que proviene del interior. Esto evita el sobrecalentamiento en los meses de más calor y hace que la temperatura interior de la vivienda se conserve mejor durante los meses más fríos.

Ventajas:

- Prolonga la vida útil de la fachada
- Mejora el aislamiento térmico y acústico del edificio.
- Aumenta la eficiencia energética
- Aporta valor al edificio.

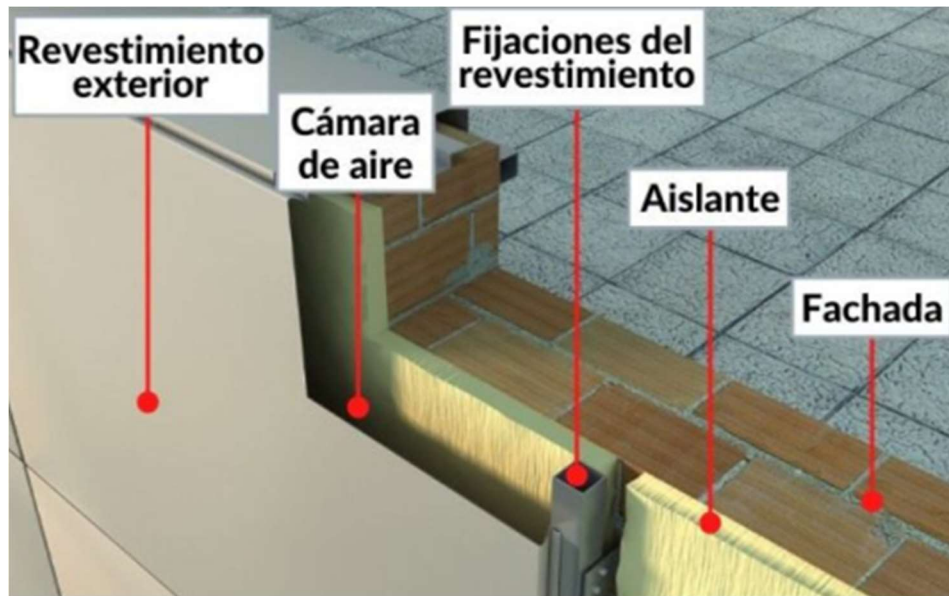


Ilustración 11: Detalle de ensamblaje de sistema de fachada ventilada

3. Fachada con aislamiento por el interior

El aislamiento térmico de fachada por el interior es una obra que consiste en la instalación de un material aislante, normalmente mediante instalación de paneles aislantes o la inyección de un material aislante en la fachada a través del interior de la vivienda. Al ser una instalación que se realiza desde el interior, no requiere de una gran obra de rehabilitación energética de fachada, con el coste y tiempo que conlleva, haciendo que su instalación sea más cómoda y ágil.

Ventajas:

- Ahorro en climatización, que puede llegar a incrementarse en un 50% respecto a no contar con un buen aislamiento.
- También se refuerza el aislamiento acústico de la vivienda y, por tanto, se disfruta de mayor silencio y aislamiento de los ruidos exteriores a la vivienda.

- Permite sanear los muros y deficiencias que se puedan encontrar en ellos.

G. Certificación EDGE

EDGE es un sistema de certificación de construcción sostenible que se focaliza en hacer edificios más eficientes. EDGE permite a los arquitectos y propietarios de proyectos evaluar los costos de incorporar opciones de ahorro en energía y agua en sus edificios. Como socio de la certificación, el Green Business Certification Inc. (GBCI) administra la certificación EDGE en más de 120 países del mundo y es el socio exclusivo de certificación para todos los edificios EDGE en la India.

EDGE fue creado por la Corporación Financiera Internacional, miembro del Grupo del Banco Mundial. EDGE es una herramienta de transformación de mercado de masas que es rápido y fácil de usar. Esta herramienta permite a los desarrolladores y empresas constructoras rápidamente identificar las maneras más efectivas de reducir energía, agua y recursos en los materiales de construcción. Estas estrategias son integradas en el diseño del proyecto, verificadas por un auditor EDGE y certificados por GBCI. Los incentivos son comerciales y financieros, pero los resultados son ambientales. EDGE ayuda a mitigar el cambio climático al incentivar un desarrollo que hace uso eficiente de los recursos.

EDGE se compone de una aplicación de software basado en la web, un estándar universal y un sistema de certificación:

- La aplicación de software EDGE es gratuita en edgebuildings.com. La aplicación rápidamente predice ahorros en energía, agua y recursos en los materiales de construcción comparados a un caso modelo local y estima los ahorros en servicios, costa de capital y período de retorno de la inversión. En un par de minutos, el arquitecto del edificio puede determinar la combinación óptima de estrategias para lograr el mejor retorno de la inversión.
- EDGE crea un nuevo estándar global y requiere para ser considerado un edificio verde una reducción mínima del 20% en el uso de energía y agua, al igual que en los recursos utilizados en los materiales de construcción, comparados con un edificio estándar como punto de referencia.
- GBCI ofrece la certificación a un costo modesto con el fin de alcanzar los logros del proyecto, tanto para los actores financieros como para los comunitarios. La certificación EDGE se utiliza en nuevas construcciones, edificios existentes y renovaciones importantes de casas, oficinas, hoteles, comercios y hospitales.

Con EDGE, GBCI ofrece certificación de calidad y confianza; premiando el servicio al cliente; mejorando la comercialización, promoción y servicios de educación integral.

Medidas de eficiencia en el uso de materiales aplicado a fachadas

- *EEM 08: Aislamiento térmico de paredes externas*

Para esta medida se utiliza el valor-U, que se define como la cantidad de calor que atraviesa un área por unidad de tiempo y por unidad de diferencia en la temperatura; se expresa en vatios por metro cuadrado Kelvin ($W/m^2 K$). El valor-U es una indicación de la cantidad de energía térmica (calor) que se transmite a través de un material (transmitancia térmica). El valor-U, que es el indicador de rendimiento de esta medida, es el recíproco de la resistencia térmica total ($1/\Sigma R$) de las paredes externas, que se calcula a partir de la resistencia térmica individual de cada componente/capa de cada pared externa.

La certificación presenta una serie de especificaciones para el aislamiento en las paredes exteriores, una de ellas es el espesor recomendable para los distintos aislamientos y los valores de conductividad térmica esperados de cada uno.

Tipo de aislamiento	Espesor (mm)	Conductividad térmica
Paneles de aislamiento por vacío	10 a 20	0.008
Poliuretano (PU)	40 a 80	0.020 a 0.038
Poliisocianurato (PIR)	40 a 60	0.022 a 0.028
Espuma fenólica (PF)	40 a 55	0.020 a 0.025
Poliestireno expandido (EPS)	60 a 95	0.030 a 0.045
Poliestireno extruido (XPS)	50 a 80	0.025 a 0.037
Lana y fibra	60 a 130	0.030 a 0.061

Tabla 1: Especificaciones de aislamientos certificación EDGE

- *MEM 05: Paredes externas*

Seleccionar una especificación de pared exterior con una energía incorporada inferior a la de la especificación común. El equipo de diseño deberá seleccionar la especificación que más se asemeje a las paredes externas indicadas e incluir su espesor, lo que constituye un requisito de EDGE. Cuando haya múltiples especificaciones, deberá seleccionarse la predominante. Las paredes externas de un edificio son las que están expuestas directamente al entorno exterior.

- *MEM 10: Aislamiento*

Seleccionar un aislamiento con un grado bajo de energía incorporada. Si el edificio tiene aislamiento en las paredes y el techo, deberá ingresarse en el software el tipo de aislamiento que coincida con las especificaciones reales del edificio. Puesto que en el caso

base no se ha especificado ningún tipo de aislamiento, en el cálculo de energía incorporada no se tendrá en cuenta el aislamiento elegido, salvo que en la sección de eficiencia energética se seleccionen las medidas “Aislamiento de techo” o “Aislamiento de paredes externas”.

La certificación presenta una lista de las especificaciones incluidas en EDGE. En todo momento, el usuario debe intentar seleccionar la especificación que más se asemeje a la del diseño del edificio.

- **Poliestireno:** El poliestireno tiene una energía incorporada por metro cuadrado mayor que cualquier otro tipo de aislamiento. Existen dos tipos de aislantes de poliestireno: El aislamiento de poliestireno expandido está compuesto por pequeñas perlas de poliestireno que, al ser calentadas, se expanden; luego, se las mezcla con un agente expansor. El poliestireno extruido se fabrica mezclando poliestireno con un agente expansor bajo presión y haciéndolo pasar por una matriz.
- **Fibra mineral:** Este aislamiento está disponible en distintas densidades, dependiendo de la función para la que se lo necesite. Las densidades más altas proporcionan mejor aislamiento acústico, pero escaso aislamiento térmico. Se suele utilizar en las cavidades de los muros de mampostería, en paredes de entramado de madera y como aislante para vigas de tejados, áticos y pisos flotantes.
- **Fibra de vidrio:** La fibra de vidrio se hace con arena silícea, vidrio reciclado, piedra caliza y carbonato sódico. Las densidades más altas proporcionan mejor aislamiento acústico, pero escaso aislamiento térmico. Se suele utilizar en las cavidades de los muros de mampostería, en paredes de entramado de madera y como aislante para vigas de tejados, áticos y pisos flotantes.
- **Poliuretano:** El poliuretano, un plástico de celda cerrada, se forma mediante la reacción de dos monómeros en presencia de un agente expansor catalizador (polimerización). La espuma rígida de poliisocianurato es una mejora respecto del poliuretano (existe una leve diferencia en sus componentes y la reacción se lleva a cabo a temperaturas más elevadas). Entre sus usos se incluye el aislamiento de paredes, pisos y techos. El poliuretano también es común en forma de lámina en paneles de aislamiento estructural y como aislante detrás de planchas rígidas, como, por ejemplo, las placas de yeso.
- **Celulosa:** Se han desarrollado cuatro tipos de productos de celulosa que se utilizan como relleno suelto para distintos propósitos en un edificio y se comercializan bajo diferentes marcas: 1) celulosa seca, 2) celulosa aplicada por aspersión, 3) celulosa estabilizada y 4) celulosa con bajo contenido de polvo.
- **Corcho:** El corcho presenta un grado bajo de energía incorporada y es ecológico. Puede cosecharse del mismo árbol durante unos 200 años. La cosecha se realiza con un impacto mínimo en el medio ambiente, y para fabricar productos de corcho no se talan árboles.
- **Viruta:** Las planchas de viruta se utilizan en edificios desde hace décadas y son un sustrato popular para el revoque de cal. Las hebras de madera, unidas entre sí con una pequeña proporción de cemento Portland, ofrecen un buen sustrato de

base para los revoques de cal, eliminan los puentes térmicos en pilares, vigas, revestimientos entre pisos y nichos de radiadores, brindan aislamiento para techos planos e inclinados, brindan aislamiento acústico para paredes y contra los ruidos del piso, y son resistentes al fuego.

- **Cámara de aire de menos de 100mm de ancho:** En principio, el uso de cavidades cumple la misma función que el material de aislamiento. El aire es un mal conductor del calor; por lo tanto, el aire atrapado en un espacio de aire entre dos capas de una pared o de un techo actúa como una barrera que impide la transferencia de calor.
- **Cámara de aire de más de 100mm de ancho:** Las cámaras mayores a 100 mm favorecen la convección y no son eficaces como aislantes.
- **Sin aislamiento:** Esta opción deberá seleccionarse cuando no se especifique ningún aislamiento para el techo o las paredes.

H. Huella de carbono

La huella de carbono es una medida del impacto ambiental de una determinada actividad, producto o servicio en términos de la cantidad total de gases de efecto invernadero emitidos directa o indirectamente durante su producción, uso y eliminación. El dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso son los principales gases de efecto invernadero.

Calcular las emisiones de GEI asociadas a todas las etapas del ciclo de vida de un objeto o actividad forma parte del cálculo de la huella de carbono. Se incluyen las emisiones directas de la quema de combustibles fósiles y las emisiones indirectas de la producción de materiales utilizados en la fabricación de un producto.

Se utilizan diferentes enfoques y metodologías para calcular la huella de carbono:

1. Mida todas las fuentes de emisiones de GEI asociadas con el objeto o actividad.
2. Se pueden utilizar factores de emisión estándar para convertir las emisiones a equivalentes.
3. La huella de carbono total se puede obtener sumando todas las emisiones convertidas.

La huella de carbono se puede calcular para una variedad de cosas. Puede usarse para comprender y mitigar el impacto ambiental de nuestras acciones y decisiones y puede usarse para establecer objetivos de reducción de emisiones y desarrollar estrategias para alcanzarlos.

I. Casos análogos

Edificios certificados EDGE

- **Universidad del Valle de Guatemala:** La construcción del Centro de Innovación y Tecnología (CIT) se planificó en 2014, pero su edificación no comenzó hasta 2018. En el año 2021, el CIT logró obtener la certificación EDGE. Durante este proceso, se lograron notables ahorros de recursos: un 40% de reducción en el consumo de energía, un 42% de ahorro de agua y una disminución del 55% en la energía incorporada en los materiales utilizados. Las instalaciones del CIT se destacan por contar con iluminación y ventilación natural, aprovechamiento de aguas y espacios verdes, así como la implementación de paneles solares, entre otros beneficios que fomentan la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.
- **Senderos el comendador:** El proyecto residencial se encuentra situado en el municipio de Ciudad Vieja, en Sacatepéquez. Esta comunidad residencial está compuesta por 158 casas y ha logrado alcanzar notables niveles de eficiencia energética y conservación de recursos. Se ha logrado un ahorro de energía que oscila entre el 28% y el 30%, un ahorro de agua que va del 29% al 31%, y se destaca un impresionante ahorro del 58% en la energía incorporada en los materiales utilizados en la construcción de las viviendas.
- **Tera 12 Apartamentos:** Se trata de una torre de apartamentos situada en la ciudad de Guatemala, compuesta por más de 77 unidades habitacionales. Este proyecto ha obtenido la precertificación EDGE gracias a la incorporación de tecnología en su diseño, construcción y procesos internos, enfocados en lograr ahorros significativos de energía y agua.
El objetivo de este proyecto es alcanzar un ahorro del 20% en el consumo de energía, un 28% en el uso de agua y un impresionante 67% en la energía empleada en los materiales de construcción.

Edificios que utilizan sistemas de fachadas

Edificio en Gijón Portugal:

Un edificio de ocho plantas situado en Av. Portugal 5 de Gijón presentaba graves patologías de humedades de condensación en el interior de sus viviendas y desprendimientos en el revestimiento cerámico de la fachada, evidenciando una necesidad de rehabilitación, por lo que la comunidad de propietarios solicitó una renovación completa de la envolvente como solución a las patologías descritas. Por otro lado, esta actuación solicitada por la comunidad de propietarios pretendía también aportar una mejora notable de la eficiencia energética y, por lo tanto, un ahorro de energía en las viviendas.

Para la renovación de la envolvente del inmueble se propuso un sistema de aislamiento por el exterior (SATE) con acabado cerámico que permitiría no solo una

reducción de las pérdidas energéticas a través de ella, sino también conservar su estética original. Como material aislante con baja conductividad térmica de 0,032 W/m*K y acabado con plaqueta imitación caravista en gran parte de la fachada exterior. Esta decisión de colocar un sistema de aislamiento térmico por el exterior dotó al edificio de una importante mejora energética y acústica, una disminución los puentes térmicos, filtraciones de agua y condensaciones en el interior del inmueble, suponiendo un ahorro energético y económico para sus habitantes, y consiguiendo a su vez una estética renovada de la fachada.

Puerta Costanera en Santiago, Chile:

El edificio Puerta Costanera es la primera etapa de un proyecto de usos mixtos más grande ubicado en la intersección de Nueva Costanera y Américo Vespucio, que también es la conexión entre los parques Américo Vespucio y Bicentenario. Teniendo esto en cuenta, tanto este edificio como los que vienen se consideran como el primer piso comercial con el fin de crear un nuevo espacio público que conecte los parques.

El volumen construido responde a las diferentes escalas urbanas en 3 capas distintas: base, cuerpo y remate. La base consiste en un zócalo formado por una planta baja y un sótano comercial, completamente abierto a las veredas circundantes, con el fin de mejorar la experiencia de los peatones, clientes y residentes del edificio al ingresar al vestíbulo. Luego, el cuerpo del edificio se destaca al resaltar solo 2 elementos presentados de manera honesta y sin adornos: estructura y piel.

La estructura de concreto armado se presenta sin recubrimientos ni pinturas, aprovechando la plasticidad del material para curvar las terrazas, dando más movimiento a las fachadas. Por otro lado, la piel del edificio está formada por una fachada ventilada a base de paneles y persianas metálicas móviles, que en conjunto se encargan del aislamiento térmico y el control solar. Por último, la parte superior del edificio no es una simple resultante, sino que se planteó como una quinta fachada habitable, ocultando la planta técnica y todos sus equipamientos con un gran anillo metálico, visible desde la distancia y convirtiéndose en un elemento icónico dentro de la composición del edificio.

V. METODOLOGÍA

Para este trabajo de graduación se diseñó un edificio de usos múltiples en la calle Mariscal de la ciudad de Guatemala. Este edificio de uso mixto cuenta con 10 niveles y 5 sótanos, el primer nivel siendo dedicado al comercio, el segundo y tercer nivel son dedicados al uso de oficinas, por último, del nivel cuatro al nivel nueve son destinados a apartamentos con cuatro tipologías distintas de apartamento, y en el nivel diez se encuentran las amenidades privadas para el uso de los condóminos. Este edificio se utilizará como la base para la comparación de eficiencia energética entre los tres diferentes sistemas de fachadas y como control para establecer un caso sin aislamiento en fachadas. Ver los planos del inmueble en Anexos.

Luego de investigar los diferentes sistemas de fachadas, sus materiales y sus ensamblajes para lograr el aislamiento, se calculó su valor de transmitancia térmica (U) total de cada uno para proceder con el uso del App de EDGE.

$$U \left(\frac{Wm^2}{K} \right) = \frac{1}{R_{si} + R_{so} + R_1 + R_2 + R_3 \text{ etc}}$$

Donde:

- R_{si}: Resistencia del aire en la parte interna de la pared exterior
- R_{so}: Resistencia del aire en la parte externa de la pared
- R₁, R₂, etc.: Resistencia de cada uno de los materiales del sistema

La aplicación utilizada para calcular el porcentaje de ahorro energético producido por el aislamiento es la EDGE App, basada en los criterios de sostenibilidad de la certificación verde EDGE. En esta parte se eligieron los materiales base del edificio para sacar la línea base del edificio sin ningún aislamiento, además de la línea base presentada por la aplicación misma.

Luego de esto en el apartado de energía, bajo el rubro de aislamiento de paredes exteriores se colocaron los valores U, previamente calculados, de cada uno de los sistemas de fachadas. La aplicación arroja un porcentaje de ahorro en la parte energética y una gráfica que compara el caso base de la aplicación y las mejoras realizadas por medio del aislamiento.



Ilustración 12: Disciplina de energía de la aplicación EDGE



Ilustración 13: Medida de eficiencia energética EEM08

En la parte de materiales se seleccionaron todos los materiales constructivos utilizados en el diseño del edificio. En el apartado de materiales de aislamiento, para el caso de control, el edificio sin aislamiento, se seleccionó la opción sin aislamiento y para los casos de los diferentes sistemas de fachadas se seleccionó lana mineral.



Ilustración 14: Disciplina de materiales en aplicación EDGE



Ilustración 15: Medida de eficiencia en el uso de materiales MEM10

Para efectos de comparación eficaz, el material aislante seleccionado es la lana mineral y el acabado de la fachada es mortero de enlucido para no generar discrepancias de materiales, sino enfocarse en la composición de los diferentes sistemas de fachadas estudiados.

Para comprobar los resultados se calculó el flujo de calor por unidad de área de cada uno de los sistemas de fachadas tomando en cuenta una temperatura externa de 26°C (temperatura media diaria en la época caliente de Guatemala) y una temperatura interna de 22°C (temperatura de confort según diferentes certificaciones de sostenibilidad).

Se utilizó la siguiente formula:

$$q = \frac{T_{ext} - T_{int}}{R}$$

Donde:

- q: flujo de calor por unidad de área, Watts por metro cuadrado
- Text: temperatura externa de 26°C
- Tint: temperatura interna de confort de 22°C
- R: resistencia térmica, inverso del valor-U

VI. RESULTADOS

A. Conductividades térmicas, espesores y resistencias de los materiales de cada sistema de fachada

SISTEMA DE FACHADA SATE

Material	Conductividad térmica (W/m*K)	Espesor (m)	Resistencia (m ² *K/W)
Malla de refuerzo	0.0600	0.0160	0.2667
Lana mineral	0.0350	0.1600	4.5714
Enlucido	0.0700	0.0150	0.2143

Tabla 2: Sistema de fachada SATE

SISTEMA DE FACHADA VENTILADA

Material	Conductividad térmica (W/m*K)	Espesor (m)	Resistencia (m ² *K/W)
Tabla yeso	0.6250	0.1000	0.1600
Lana mineral	0.0350	0.1600	4.5714
Enlucido	0.0700	0.0150	0.2143
Cámara de aire		0.1000	

Tabla 3: Sistema de fachada ventilada

SISTEMA DE FACHADA AISLADA POR EL INTERIOR

Material	Conductividad térmica (W/m*K)	Espesor (m)	Resistencia (m ² *K/W)
Tabla yeso	0.6250	0.1000	0.1600
Lana mineral	0.0350	0.1600	4.5714
Enlucido	0.0700	0.0150	0.2143

Tabla 4: Sistema de fachada aislada por el interior

B. Resistencias de cada uno de los materiales de cada sistema de fachada

SISTEMA DE FACHADA SATE

Material	Resistencia (m ² * K/W)
Malla de refuerzo	0.2667
Lana mineral	4.5714
Enlucido	0.2143
Rsi	0.1200
Rso	0.0500

Tabla 5: Resistencia por material fachada SATE

SISTEMA DE FACHADA VENTILADA

Material	Resistencia (m ² * K/W)
Tabla yeso	0.1600
Lana mineral	4.5714
Enlucido	0.2143
Cámara de aire	0.3200
Rsi	0.1200
Rso	0.0500

Tabla 6: Resistencia por material fachada ventilada

SISTEMA DE FACHADA AISLADA POR EL INTERIOR

Material	Resistencia (m ² * K/W)
Tabla yeso	0.1600
Lana mineral	4.5714
Enlucido	0.2143
Rsi	0.1200
Rso	0.0500

Tabla 7: Resistencia por material fachada aislada por el interior

C. Valores U (W/m²*K)

Sistema de fachada	U (W/m ² * K)
SATE	0.1915
Ventilada	0.1840
Por el interior	0.1955

Tabla 8: Valores U totales de cada sistema de fachada

D. Gráficas de ahorro de energía y huella de carbono ahorrada por el uso de materiales por la aplicación EDGE

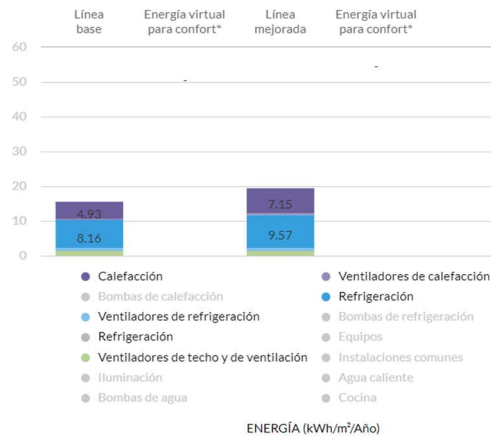


Ilustración 16: Ahorro energético edificio sin aislamiento

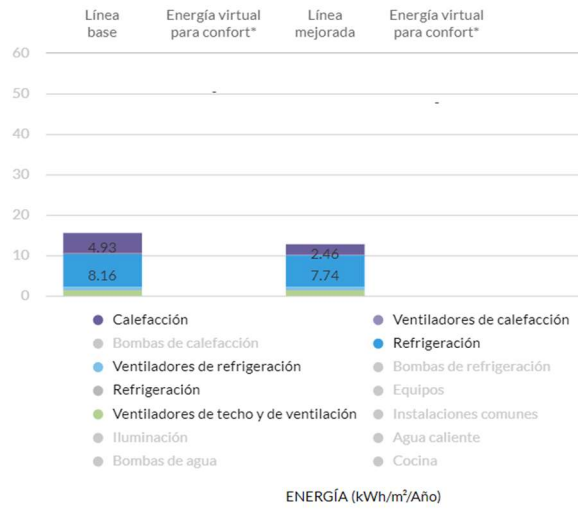


Ilustración 17: Ahorro energético sistema SATE

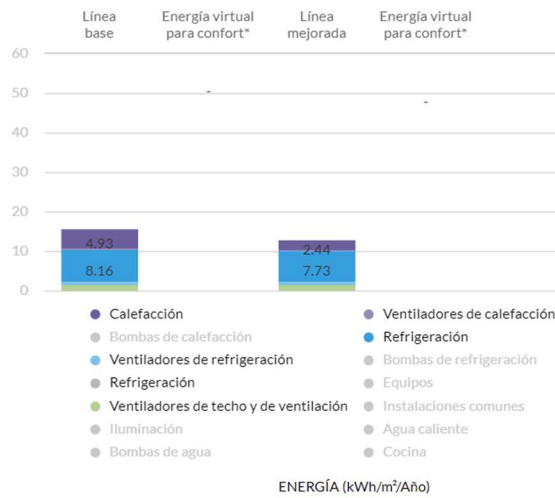


Ilustración 18: Ahorro energético fachada ventilada

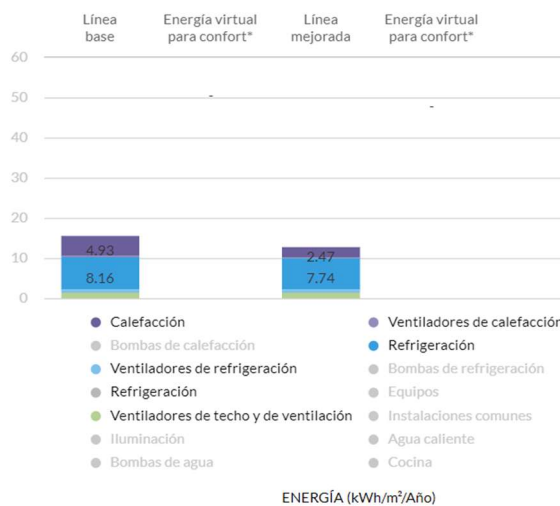


Ilustración 19: Ahorro energético fachada aislada por el interior

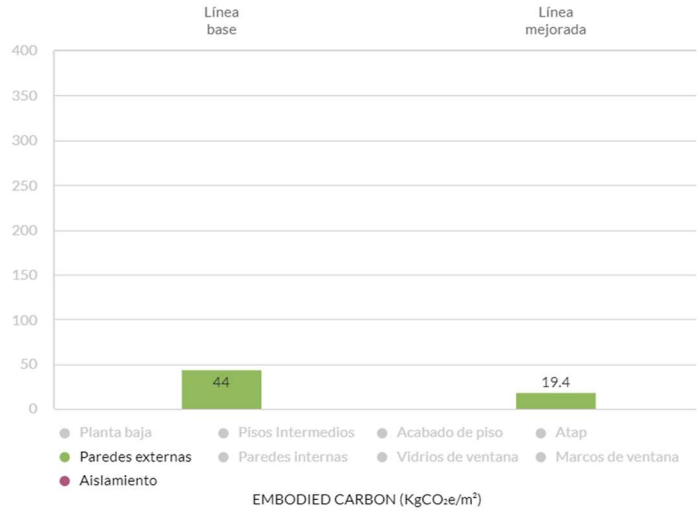


Ilustración 20: Huella de carbono ahorrada sin aislamiento

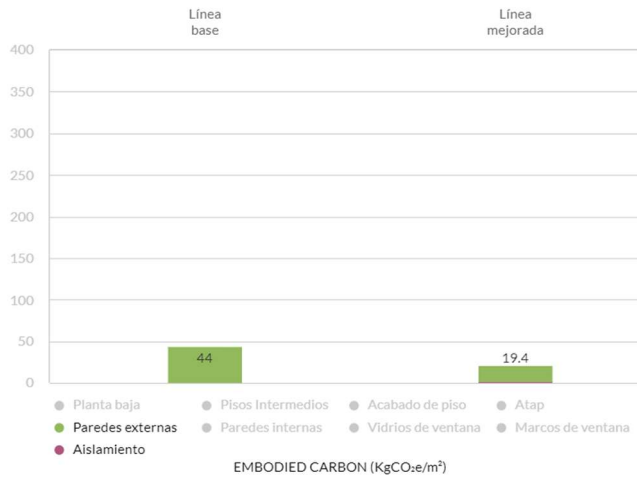


Ilustración 21: Huella de carbono ahorrada sistema SATE

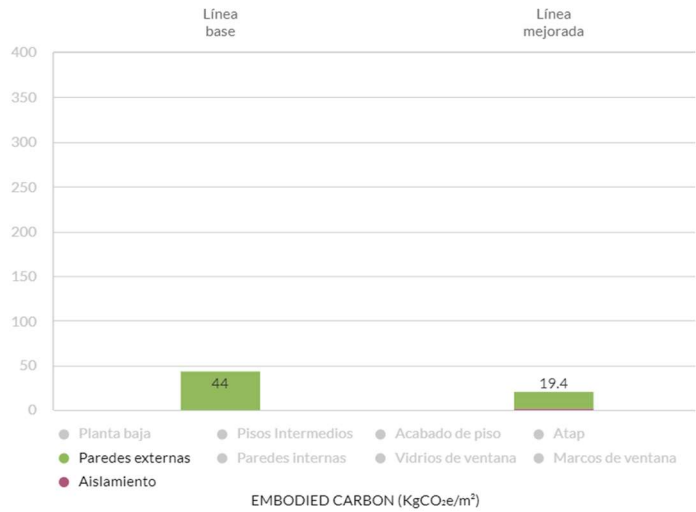


Ilustración 22: Huella de carbono ahorrada fachada ventilada

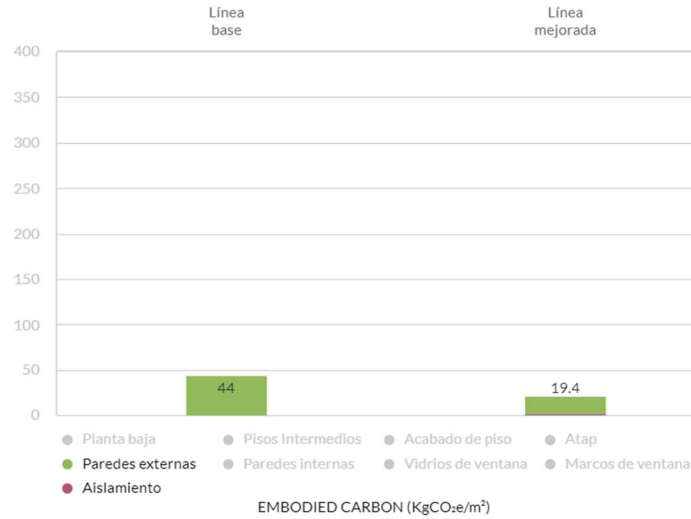


Ilustración 23: Huella de carbono ahorrada fachada aislada por el interior

Sistema	Ahorro de energía total (%)	Huella de carbono ahorrada en materiales (%)
Línea base EDGE	0	0
Control	-7.14	5.00
Sate	5.55	4.00
Ventilada	5.65	4.00
Por el interior	5.61	4.00

Tabla 9: Energía y huella de carbono ahorrada por sistema de fachada

E. Ahorro energético por disciplina por sistema de fachada

Categoría	SISTEMA SATE	FACHADA VENTILADA	AISLADA POR EL INTERIOR	CONTROL	LÍNEA BASE EDGE
Calefacción	2.46	2.44	2.47	7.15	4.93
Ventiladores de calefacción	0.34	0.34	0.34	0.51	0.43
Refrigeración	7.74	7.73	7.74	9.57	8.16
Ventiladores Refrigeración	0.84	0.84	0.84	0.78	0.77
Ventiladores de techo y de ventilación	1.61	1.61	1.61	1.61	3.93

Tabla 10: Ahorro energético por disciplina, valores en kWh/m²/año

F. Comparación entre sistema de fachadas

Categoría	SISTEMA SATE	FACHADA VENTILADA	AISLADA POR EL INTERIOR
Materiales	Malla de refuerzo, lana mineral, enlucido	Tabla yeso, lana mineral, enlucido, cámara de aire	Tabla yeso, lana mineral, enlucido
U (W/m² * K)	0.1915	0.1840	0.1955
Ahorro energético	5.61%	5.65%	5.55%
Huella de carbono ahorrada	4.00%	4.00%	4.00%

Tabla 11: Comparación de resultados entre sistemas de fachadas

G. Comparación de ahorro en costos por sistema de fachada

	Costo anual de servicios públicos	Ahorro anual en costo de servicios públicos
Control	Q169,080.00	-Q9,000.00
Sate	Q153,372.00	Q7,000.00
Ventilada	Q153,360.00	Q7,000.00
Por el interior	Q153,420.00	Q7,000.00

Tabla 12: Costo y ahorro anual por sistema de fachada

H. Comparación de ahorro de huella de carbono por sistema de fachada

	Emisiones anuales de CO ₂ (tCO ₂)	Ahorro anual de emisiones de CO ₂ (tCO ₂)
Control	118.44	0.00
Sate	104.40	5.87
Ventilada	104.40	5.87
Por el interior	104.40	5.87

Tabla 13: Comparación de ahorro anual de huella de carbono por sistema de fachada

I. Comparación de flujo de calor por unidad de área por sistema de fachada

Sistema de fachada	Flujo de calor (W/m ²)
SATE	0.7659
Ventilada	0.7359
Por el interior	0.7819

Tabla 14: Flujo de calor por unidad de área por sistema de fachada

VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo principal de este trabajo de graduación era presentar una solución de una fachada para un edificio en la ciudad de Guatemala, enfocado en la eficiencia energética, mejorando el diseño y los materiales de un sistema de fachadas basado en la certificación EDGE. Para esto se analizaron tres diferentes sistemas de fachadas, el sistema de fachada SATE, el sistema de fachada ventilada y el sistema de fachada aislada por el interior. Cada uno de estos tiene sus especificaciones de composición y de materiales; para efectos de este trabajo y evitar discrepancias e inconsistencias en los resultados, se determinó el material aislante de todos los sistemas como lana mineral del mismo espesor y densidad, tomando en cuenta las especificaciones dadas por la certificación de espesores y valores de conductividad térmica.

Para comenzar con los sistemas de fachada se inició calculando las diferentes resistencias térmicas de cada material que compone cada uno de los diferentes sistemas (ver Tabla 2 a Tabla 4), además se investigó la resistencia térmica del aire al aire libre (R_{si}) y aire confinado en una habitación (R_{so}), ver Tabla 5 a Tabla 7, para obtener el valor U de cada uno de los sistemas de fachadas. Como se puede observar en la Tabla 8 del apartado de resultados cada uno de los sistemas de fachadas tiene un valor U distinto, siendo muy cercanos el uno del otro, pero esta pequeña diferencia tiene un impacto en el ahorro energético y el uso de diferentes equipos de refrigeración y calefacción dentro del edificio.

Estos valores U obtenidos fueron utilizados en la aplicación EDGE en la parte de aislamiento de paredes externas, para obtener el porcentaje de ahorro energético de cada uno de los casos expuestos. El caso de control (Ilustración 16 y 20), edificio sin ningún tipo de aislamiento, presenta un gasto extra de un 7.14% de energía según la aplicación de EDGE, esto se debe al sobre uso de sistemas de refrigeración o calefacción (aire acondicionado) y diferentes equipos para regular la temperatura dentro del edificio. Sin embargo, al no utilizar un material adicional en el aislamiento la huella de carbono ahorrada es de un 5% en comparación de la línea base de la aplicación EDGE. Se puede ver como el gasto de cada uno de los ámbitos afectados por la instalación es el mayor de todos los casos, incluso que el de línea base de la aplicación EDGE (Tabla 10).

El primer sistema de fachada analizado en el trabajo fue el sistema SATE, o aislamiento térmico por el exterior, este está compuesto por lana mineral, una malla de refuerzo y un acabado exterior, que puede ser revoco y enlucido. Este sistema tiene el segundo mejor ahorro de energía de los tres sistemas analizados, con un ahorro de 5.61% y una huella de carbono ahorrada de 4.00% (Ilustración 17 y 21, Tabla 11). Se puede observar como en este caso la huella de carbono ahorrada es menor que en el caso sin aislamiento, debido a que se le están agregando materiales al edificio por lo que la huella de carbono sube. En la Tabla 10 están los valores de consumo de energía en kWh/m² por año de cada uno de los diferentes ámbitos que necesitan energía eléctrica y son afectados por la instalación de un sistema de fachadas, como lo son la calefacción y la refrigeración que sirven para regular la temperatura en el interior del edificio.

El siguiente sistema analizado fue la fachada ventilada, este a diferencia de el sistema SATE, tiene una capa de fachada sólida, en lugar de ser solamente revoco y enlucido, para el análisis se consideró tabla yeso de diez centímetros de espesor; también este sistema tiene una cámara de aire además de la lana mineral que contribuye al aislamiento del interior del edificio. Este sistema es el más eficiente, generando la mayor cantidad de ahorro energético con un 5.65% y una huella de carbono ahorrada de 4.00%, al igual que el sistema anterior el ahorro en la huella de carbono es menor que el del control debido a la producción de materiales adicionales para la construcción del edificio. Dentro del gasto de energía en cada uno de los ámbitos que regulan la temperatura dentro del edificio, se puede observar como este sistema genera el menor gasto de todos los sistemas (Tabla 10).

El último sistema analizado fue la fachada aislada por el interior, este es una combinación de los dos sistemas anteriores, con la diferencia que, como su nombre lo indica, este se instala en el interior del edificio; este sistema se compone de lana mineral, una capa de tabla yeso de diez centímetros y el acabado interior de las paredes del edificio. Este sistema presenta el menor ahorro energético de los tres sistemas de fachadas analizados, presentando un ahorro de 5.55% y al igual que los dos sistemas anteriores presenta una huella de carbono ahorrada de 4.00%, por los materiales adicionales agregados a la edificación. En cuanto al gasto energético este sistema presenta los mismos datos de kWh/m² por año que el sistema de aislamiento térmico por el exterior (Tabla 10).

Por último, al hacer el cálculo de transferencia de calor se obtuvo que el sistema de fachada ventilada es la que más aísla el edificio, al tener el menor valor de flujo de calor por metro cuadrado de 0.7359 W/m². El segundo mejor sistema de fachada es el sistema SATE con 0.7659 W/m² dejando fluir más calor por sus componentes que la fachada aislada, y el sistema que tuvo el mayor valor de flujo de calor, es decir el que menos aísla el edificio, es el aislado por el interior con un valor de 0.7819 W/m² (Tabla 14). Lo que se ve reflejado en los resultados de la aplicación EDGE en el ahorro energético como tal, en las diferencias de gastos y ahorros económicos que presenta cada uno de los sistemas de fachadas (Tabla 12).

En conclusión, se puede decir que el instalar un sistema de fachada al edificio genera un ahorro considerable en el consumo de energía y por ende en el gasto de esta, ya sea que se decida instalar el sistema SATE, una fachada ventilada o un aislamiento por el interior se va a generar al menos un 5.5% de ahorro en el consumo de energía. A pesar de sus diferencias en composición todos los sistemas resultaron eficientes, generando pequeñas diferencias en el ahorro energético que generan siendo la diferencia más grande de 0.1% entre el sistema aislado por el interior y la fachada ventilada. También, se pudo observar como para criterios de la certificación EDGE un edificio sin mejoras (caso de control) genera más gastos energéticos, aunque se reduce la huella de carbono en el proceso de construcción al utilizar menos materiales, el gasto energético en la etapa de operación es de un 7% más que la línea base de la certificación EDGE.

El sistema que probó ser el más eficiente de los tres, aunque la diferencia entre uno y el otro es mínima, fue el sistema de fachada ventilada, al tener una capa más sólida a diferencia del sistema SATE con el enlucido, y una cámara de aire a diferencia del aislamiento por el interior que no la posee. Este sistema genera un mejor aislamiento y por lo tanto un ahorro energético para la edificación.

VIII. CONCLUSIONES

1. La solución más eficiente para un sistema de fachadas en la ciudad de Guatemala es el sistema de fachada ventilada, generando un ahorro energético de 5.65% según la aplicación EDGE. Al tener una mejor composición de materiales a diferencia de los otros dos sistemas, logra controlar el gasto energético de equipos de calefacción, ventiladores y principalmente equipos refrigeración dentro del edificio.
2. Se lograron generar las diferentes gráficas en la aplicación EDGE de ahorro energético de cada uno de los sistemas de fachadas, extrayendo los datos a una tabla para tener mejor comprensión de estos (Tabla 10). Se generó una gráfica para el caso sin aislamiento (Ilustración 16) que no genera ahorro, el caso del sistema de fachada SATE (Ilustración 17) con 5.61% de ahorro, el sistema de fachada ventilada (Ilustración 18) con 5.65% de ahorro y el caso del sistema aislado por el interior (Ilustración 19) con 5.55% de ahorro, todos comparados con la línea base de la aplicación EDGE.
3. La diferencia entre el sistema más eficiente y el sistema menos eficiente, fachada ventilada y aislamiento por el interior respectivamente, es de 0.1% en ahorro energético, lo que demuestra que cualquier tipo de aislamiento va a generar un ahorro. Sin embargo, teniendo los mismos materiales, al dejar una cámara de aire se pueden conseguir mejores resultados en el consumo de energía de la edificación.
4. El sistema de fachada ventilada es el que más aísla al tener el menor valor de flujo de calor por metro cuadrado con 0.7359 (Tabla 14) lo que se ve reflejado en los ahorros energéticos que se obtuvieron en la aplicación EDGE. Al mismo tiempo, el mayor ahorro en costos de servicios de electricidad al no usar tantos equipos de refrigeración y calefacción (Tabla 12).

IX. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para futuros trabajos que puedan continuar con la investigación, que se tome en cuenta la relación entre ventanas y cerramientos, configuración de las ventanas y los materiales de los marcos y los vidrios de estas. Para tener un cálculo más acertado de ahorro energético y transferencia de calor.
2. Se recomienda usar como base esta investigación para continuar con la implementación del resto de estrategias de la certificación EDGE para lograr los diferentes niveles de certificación que existen dentro de esta. Incluyendo estrategias de energía, agua y uso de los materiales a detalle además de la configuración de las fachadas.
3. Se recomienda usar un software de simulaciones para el cálculo más preciso de la transferencia de calor y revisar los puentes térmicos de cada uno de los sistemas de fachadas analizados en este trabajo.

X. BIBLIOGRAFÍA

1. Referencias de Internet

Adminhouk. (2022, September 12). ¿Qué es la fachada SATE? Características, Ventajas - Hormuk. Hormuk. <https://www.aislamientodefachadas.com/que-es-fachada-sate/>

Análisis de la iluminación natural en los edificios. <https://www.seiscubos.com/conocimiento/iluminacion-natural>

Caloryfrio, M. I. (2022). Aislamiento térmico por el interior. caloryfrio.com. <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/aislamiento-y-humedad/aislamiento-termico-por-el-interior.html>

Certificación para Vivienda CASA Guatemala. (2022, 23 agosto). Certificación CASA Guatemala. <https://casagt.org/>

Cwmx. (2022, 30 julio). Haga sus propios cálculos de transferencia de calor y ahorro por aislamiento térmico en industria. NRGY Solutions. <https://www.nrgysolutions.mx/haga-sus-propios-calculos-de-transferencia-de-calor-y-ahorro-por-aislamiento-termico-en-industria/>

Diferencia entre ahorro energético y eficiencia energética. (2021, 10 junio). Greening-e. <https://greening-e.com/diferencia-entre-ahorro-energetico-y-eficiencia-energetica/seiscubos>. (s. f.).

EDGE | Green building certification. (s. f.). <https://edge.gbci.org/>

Edificio en Gijón. (2017, 1 octubre). Weber ES. <https://www.es.weber/sate/proyectos/edificio-en-gijon>

El clima en Ciudad de Guatemala, el tiempo por mes, temperatura promedio (Guatemala) - Weather Spark. (s. f.). <https://es.weatherspark.com/y/11693/Clima-promedio-en-Ciudad-de-Guatemala-Guatemala-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Fernandez, I. (2021, 18 noviembre). BREEAM. Arquitectura Sostenible. <https://arquitectura-sostenible.es/certificados/breem/>

García, S. G., Kochova, L., Pugliese, G. & Sopoliga, P. (2010). Uso de la energía en los edificios (1.a ed.). IUSES. https://issuu.com/castfela/docs/_manual_edificios

Granda, C. (2023, 3 julio). 10 edificios verdes en Guatemala. Leaf. <https://leafatam.com/10-edificios-verdes-en-guatemala/>

International WELL Building Institute. (s. f.). <https://www.wellcertified.com/certification/v2>

LEED rating system | U.S. Green Building Council. (s. f.). <https://www.usgbc.org/leed>

López, J. (2018). Construcciones Sostenibles. Revista Ingeniería y Ciencia, 2(18). http://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:MTNUHXU9lf0J:scholar.google.com/+certificaci%C3%B3n+de+vivienda+sostenible+guatemala&hl=es&as_sdt=0,5

Marquez, D. (2022). Qué es una fachada ventilada y cuáles son sus ventajas. Cupa Pizarras. <https://www.cupapizarras.com/es/actualidad/fachada-ventilada-funcionamiento-ventajas/>

Ministerio de Energía y Minas -MEM-. (2018). LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN GUATEMALA. En ESTADÍSTICAS ENERGÉTICAS - MEM-. DIRECCION GENERAL DE ENERGÍA. <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2019/01/Energ%C3%ADas-Renovables-en-Guatemala.pdf>

Ministerio de Energía y Minas -MEM-. (2018). OFERTA Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA, 2011-2017. En ESTADÍSTICAS ENERGÉTICAS -MEM-. DIRECCION GENERAL DE ENERGÍA. <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2018/07/Oferta-y-Consumo-de-EE-2011-2017.pdf>

Ramirez, A. (2002). La construcción sostenible. Física y sociedad, 13, 30–33. http://cofis.es/pdf/fys/fys13/fys13_30-33.pdf

S&P. (2019, 5 junio). Edificios verdes: edificios eficientes y sostenibles | S&P. S&P Sistemas de Ventilación. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/edificios-verdes/>

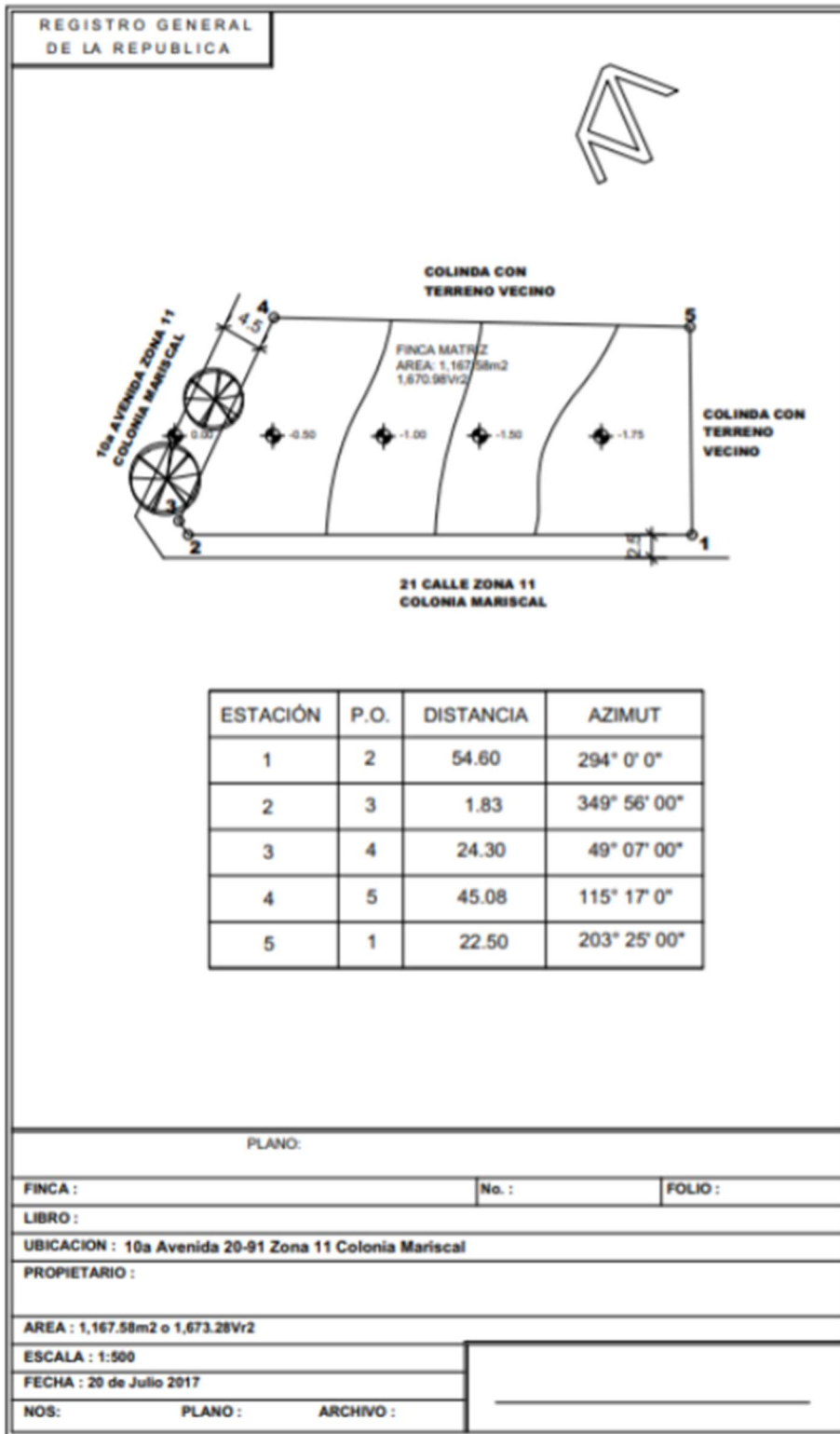
Universidad Autónoma del Estado de México. https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Mejia-Lopez/publication/339274290_Universidad_Autonoma_del_Estado_de_Mexico/links/5e46fa0ba6fdccd965a5cb41/Universidad-Autonoma-del-Estado-de-Mexico.pdf#page=98

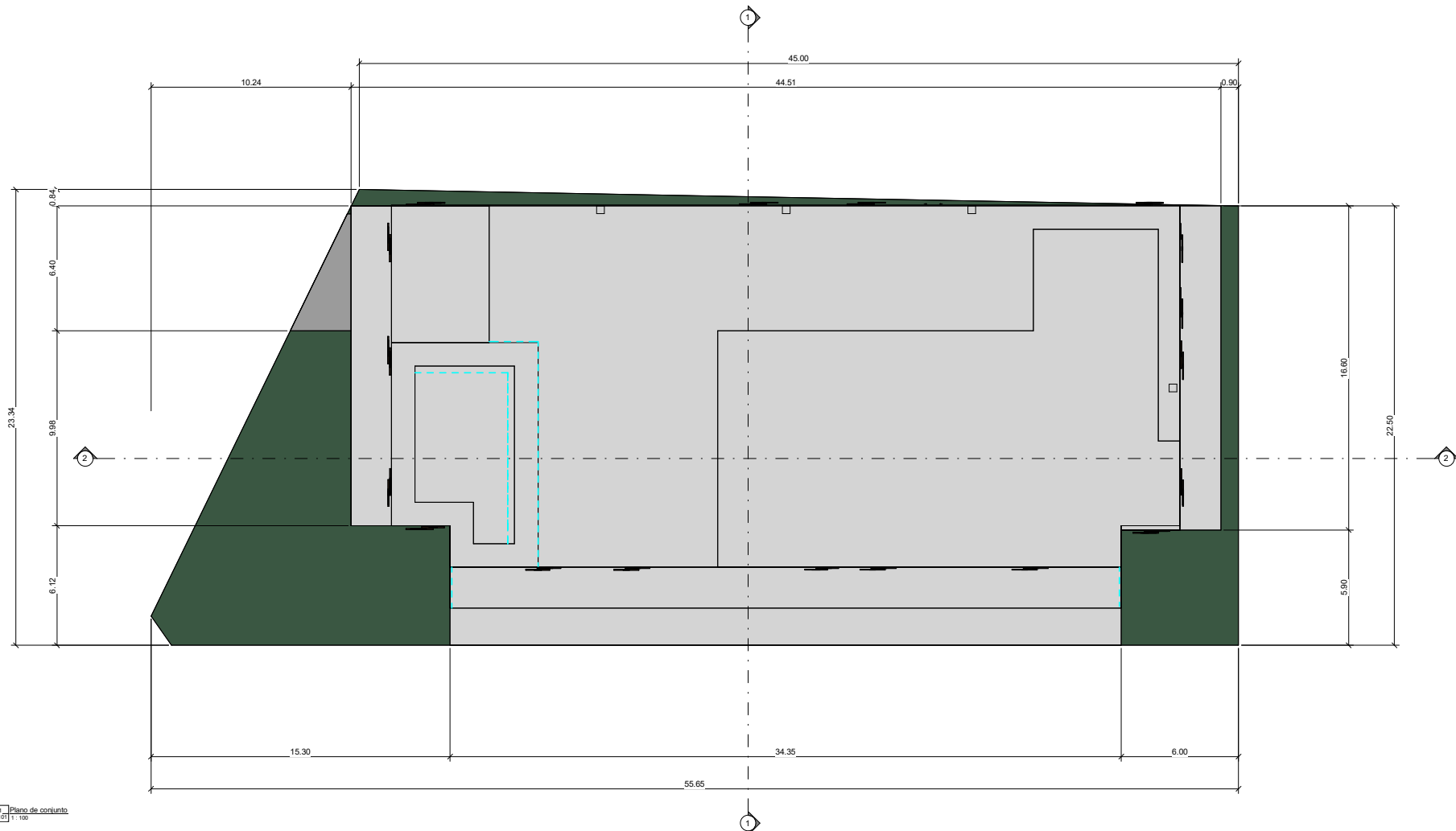
2. Otras referencias

González, B., Arellano, C. & Stadthagen, H. (2019). *Hacia un diseño arquitectónico sustentable. En Diseño para el buen vivir, la convivencia, la sustentabilidad y el patrimonio* (1ª ed., p 98).


XI. ANEXOS

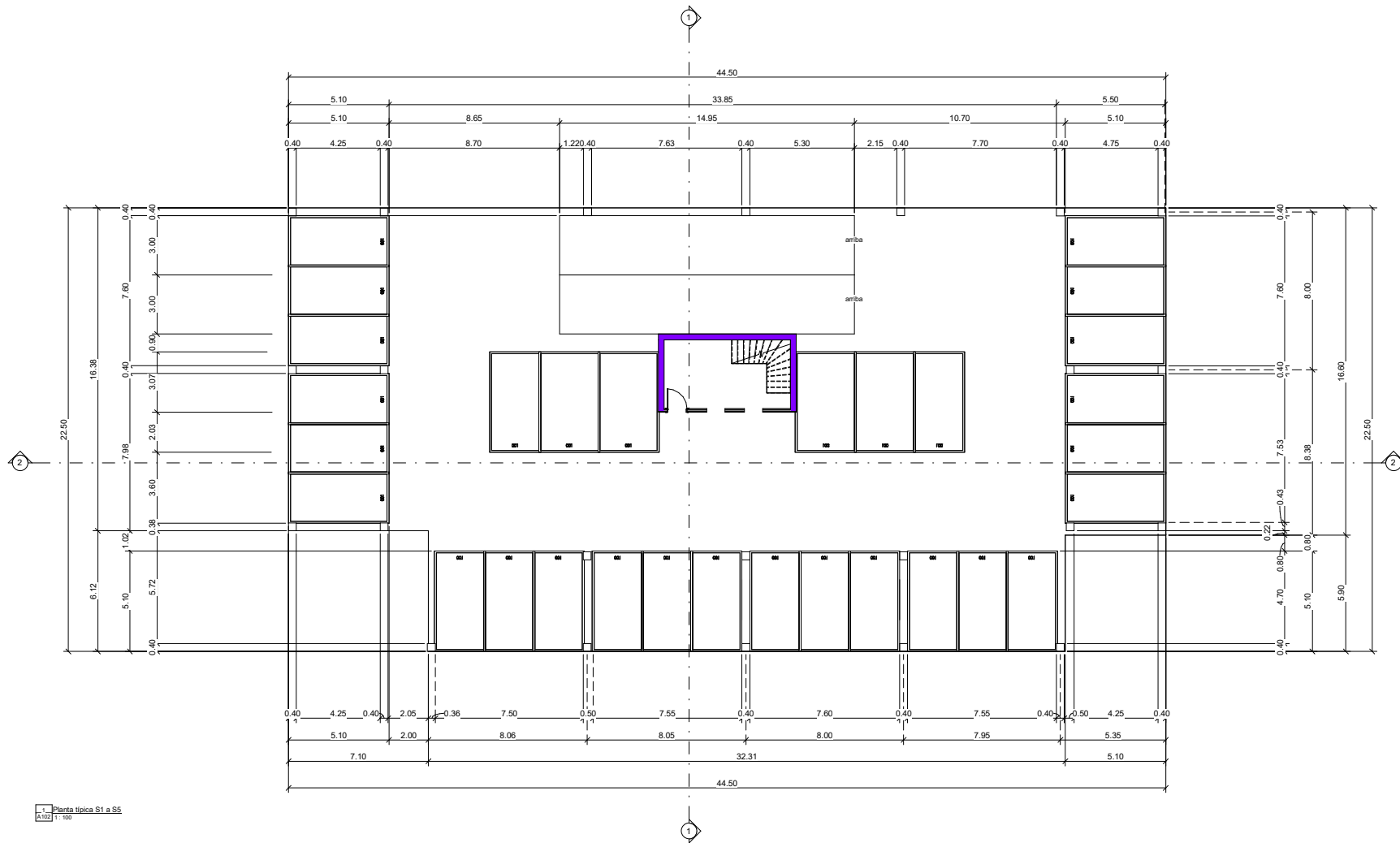
Anexo No. 1 Planos del inmueble utilizado para el análisis de los sistemas de fachadas.





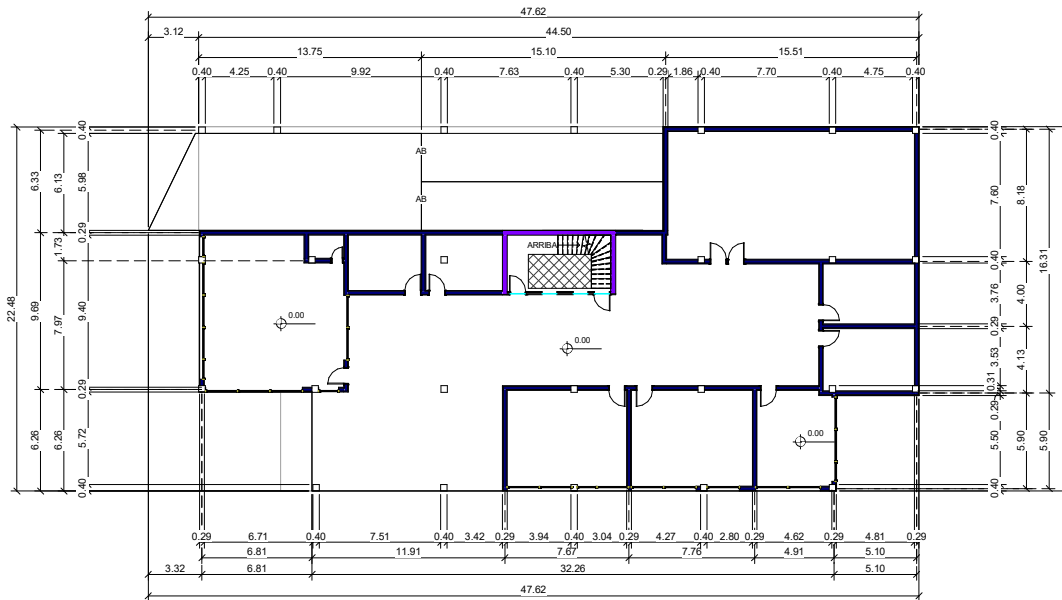
1 Plano de conjunto
A1.01 1:100

 Universidad de Valle de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil Proyecto arquitectónico 1			
		Proyecto: Edificio de uso mixto Dirección: 19 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal	
Fecha:	11/02/23	Contenido:	
Escala:	1:100	Planta de conjunto del terreno	
Sección/Caja:	Diseño	Revisó:	Arq. Jennifer Morataya
Código:	1938	Elaboró:	José Rincón A

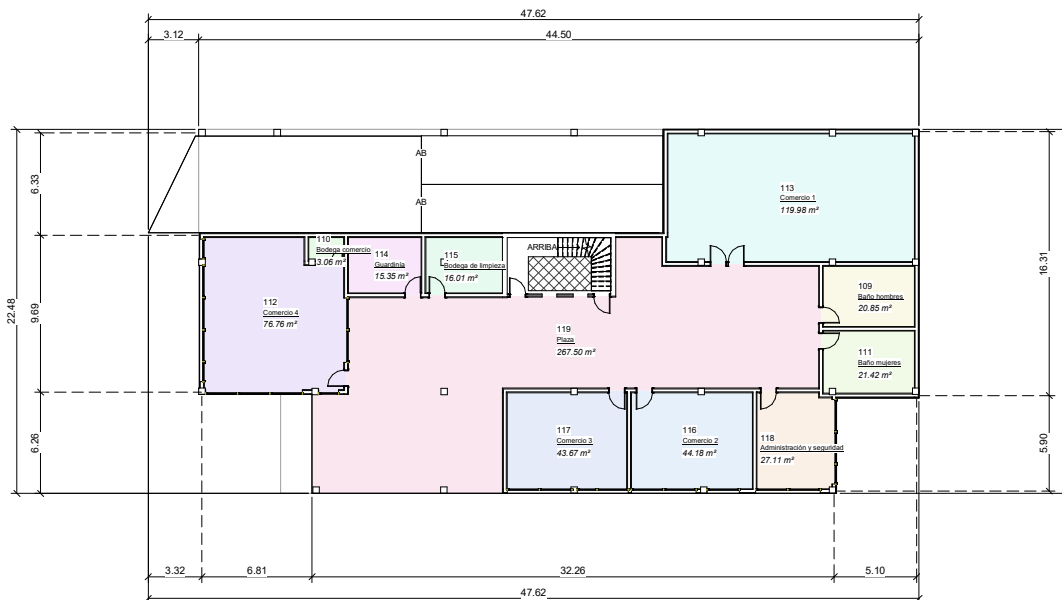


Planta típica S1 a S5
A102 1:100

		Universidad de Valle de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil Proyecto arquitectónico 1	
		Proyecto: Edificio de uso mixto Dirección: 13 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal	
Fecha:	11/02/23	Comentarios:	
Escala:	1:100	Planta típica de sótano S1 a S5	
Sección/Caja:	Diseñador	Revisión:	Verificador
Código:	1938	Edición:	Autor A



1 Plano de comercio
A/102 1:150

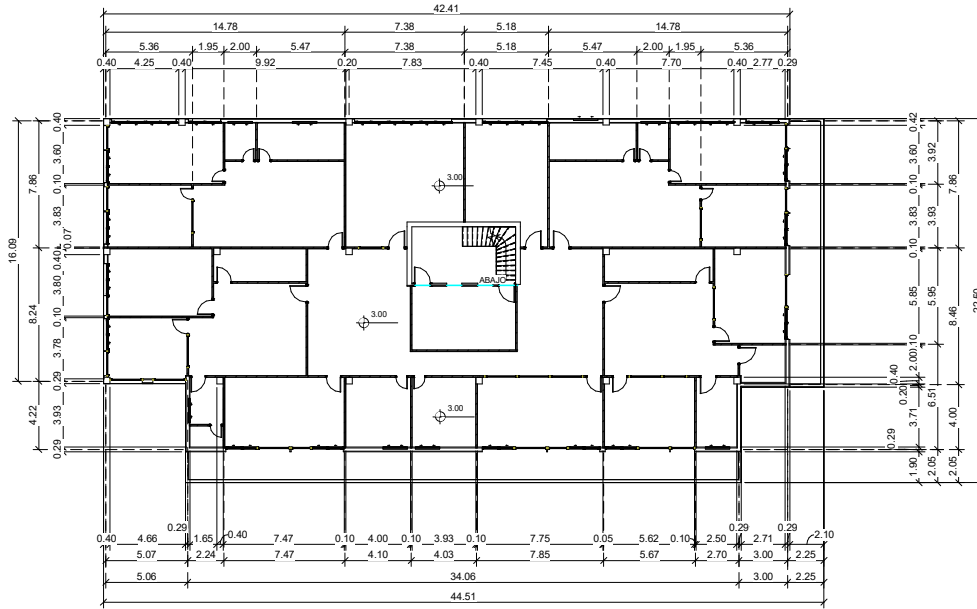


2 Plano zonificación de comercio
A/102

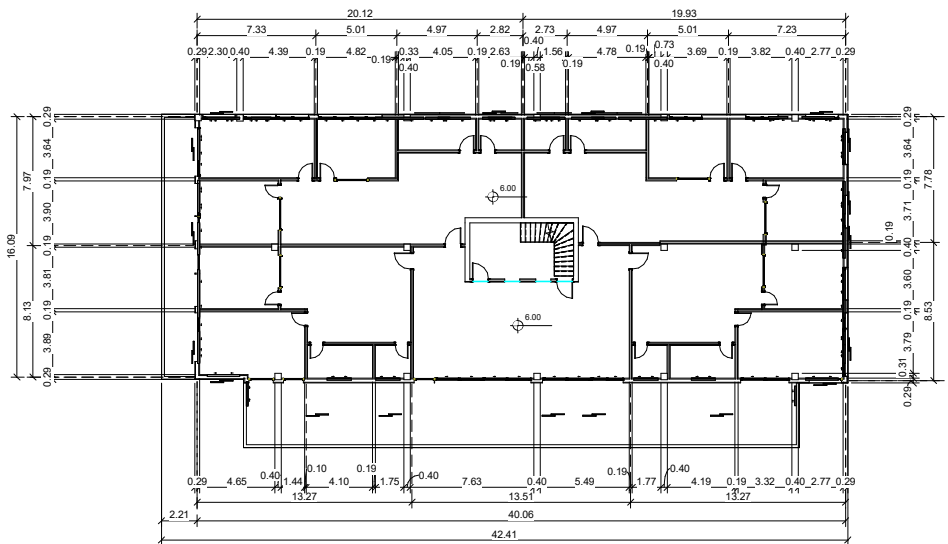
- Legenda Nombres**
- Administración y seguridad
 - Baño hombres
 - Baño mujeres
 - Bodega comercio
 - Bodega de limpieza
 - Comercio 1
 - Comercio 2
 - Comercio 3
 - Comercio 4
 - Guardia
 - Pizza


Universidad de Valle de Guatemala
 Facultad de Ingeniería Civil
 Proyecto arquitectónico 1

Proyecto: Edificio de uso mixto
 Dirección: 19 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal
 Fecha: 11/06/23 Contenido:
 Escala: 1:150 Planta de comercio N1 y Planta de zonificación de comercio
 Sección: Diseñador Verificador
 Cursó: 1938 Edición: Autor **A** A/93

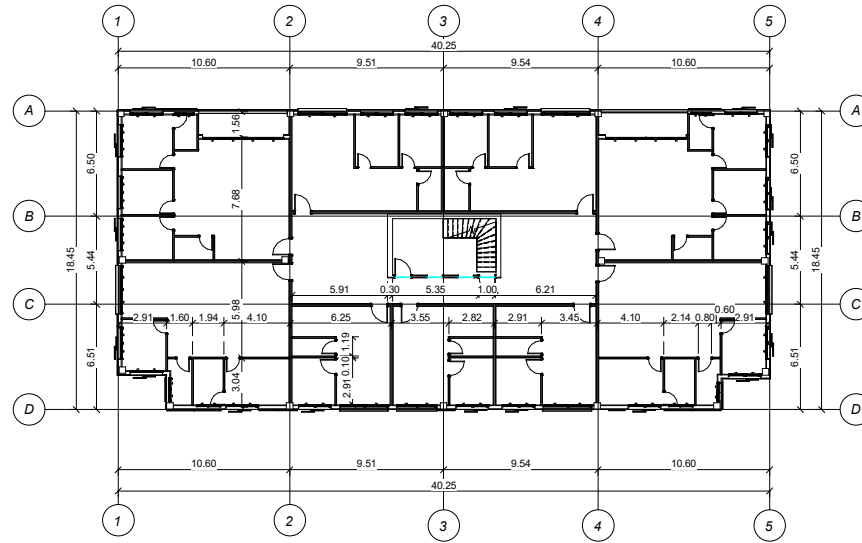


1 Plano primer nivel de oficinas
A123-150

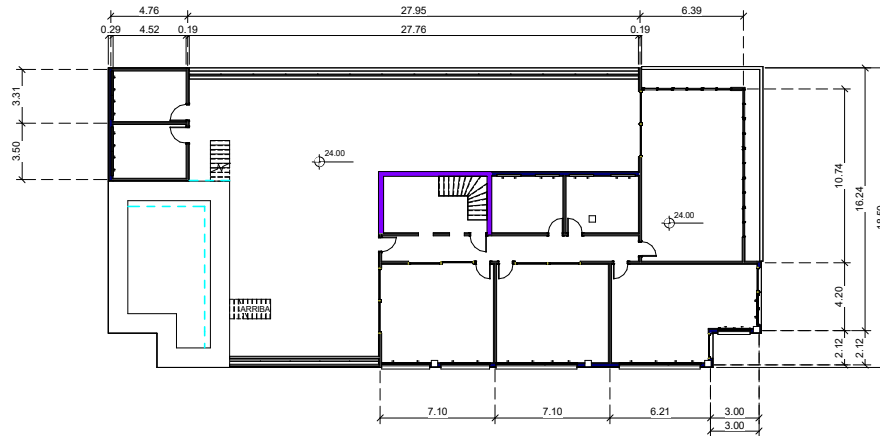


2 Plano segundo nivel de oficinas
A123-150

		Universidad de Valle de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil Proyecto arquitectónico 1	
		Proyecto: Edificio de uso mixto	
Dirección: 19 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal	Fecha: 11/06/23	Contenido:	Escala: 1:150
Diseñador:	Verificador:	Revis:	Título:
Cante: 1938	Edición:	Autor: A	A194

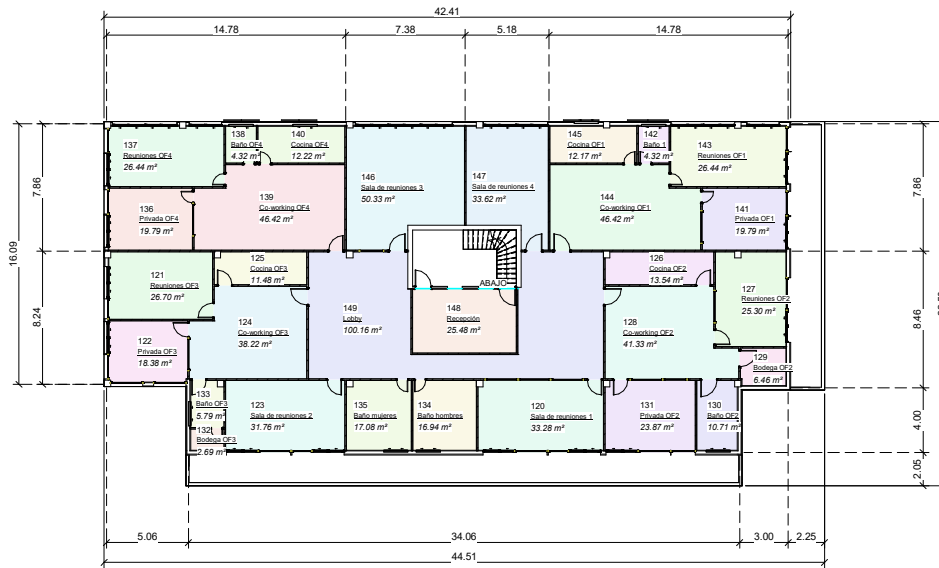


1 Plano típico de apartamentos
A105 F : 150



2 Plano de amenidades
A105 F : 150

 Universidad de Valle de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil Proyecto arquitectónico 1	
Proyecto: Edificio de uso mixto Dirección: 10 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal	
Fecha: 11/06/23	Contenido:
Escala: 1:150	Planta típica de apartamentos N4 a N8 y Planta de amenidades N15
Sección/Cargos: Diseñador	Revis: Verificador
Código: 1938	Edición: Autor A



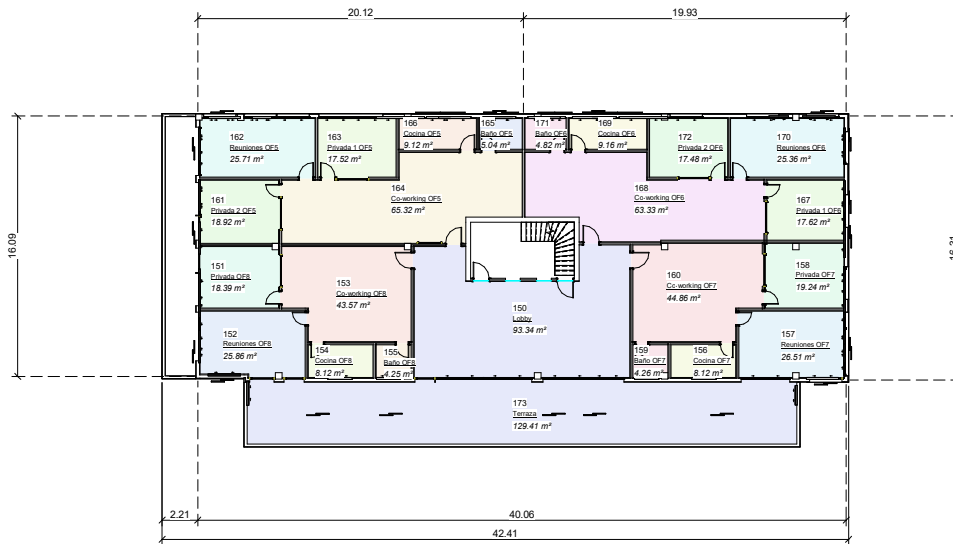
Plano zonificación primer nivel
A101 de oficinas

Legenda Nombres

- Administración y seguridad
- Baño 1
- Baño hombres
- Baño mujeres
- Baño OF2
- Baño OF3
- Baño OF4
- Bodega comercio
- Bodega de limpieza
- Bodega OF2
- Bodega OF3
- Co-working OF1
- Co-working OF2
- Co-working OF3
- Co-working OF4

- Cocina OF1
- Cocina OF2
- Cocina OF3
- Cocina OF4
- Comercio 1
- Comercio 2
- Comercio 3
- Comercio 4
- Guardia
- Lobby
- Plaza
- Privada OF1
- Privada OF2
- Privada OF3
- Privada OF4

- Recepción
- Reuniones OF1
- Reuniones OF2
- Reuniones OF3
- Reuniones OF4
- Comercio 1
- Sala de reuniones 1
- Sala de reuniones 2
- Sala de reuniones 3
- Sala de reuniones 4



Plano zonificación segundo nivel de oficinas

Legenda Nombres

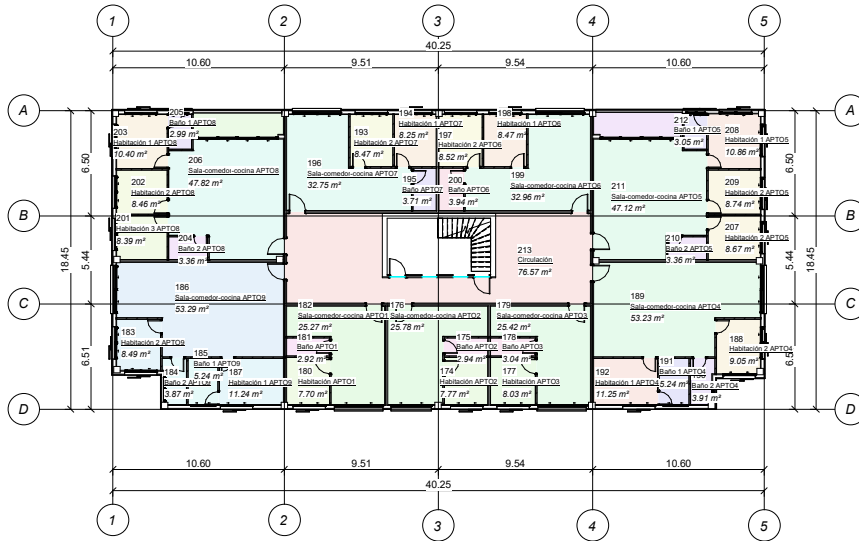
- Administración y seguridad
- Baño 1
- Baño hombres
- Baño mujeres
- Baño OF2
- Baño OF3
- Baño OF4
- Baño OF5
- Baño OF6
- Baño OF7
- Baño OF8
- Bodega comercio
- Bodega de limpieza
- Bodega OF2
- Bodega OF3
- Co-working OF1

- Co-working OF2
- Co-working OF3
- Co-working OF4
- Co-working OF5
- Co-working OF6
- Co-working OF7
- Co-working OF8
- Cocina OF1
- Cocina OF2
- Cocina OF3
- Cocina OF4
- Cocina OF5
- Cocina OF6
- Cocina OF7
- Cocina OF8
- Comercio 1

- Comercio 2
- Comercio 3
- Comercio 4
- Guardia
- Lobby
- Plaza
- Privada 1 OF5
- Privada 1 OF6
- Privada 2 OF5
- Privada 2 OF6
- Privada 2 OF7
- Privada 2 OF8
- Privada 2 OF9
- Privada 2 OF10
- Privada 2 OF11
- Privada 2 OF12
- Privada 2 OF13
- Privada 2 OF14
- Privada 2 OF15
- Privada 2 OF16
- Privada 2 OF17
- Privada 2 OF18
- Privada 2 OF19
- Privada 2 OF20
- Privada 2 OF21
- Privada 2 OF22
- Privada 2 OF23
- Privada 2 OF24
- Privada 2 OF25
- Privada 2 OF26
- Privada 2 OF27
- Privada 2 OF28
- Privada 2 OF29
- Privada 2 OF30
- Privada 2 OF31
- Privada 2 OF32
- Privada 2 OF33
- Privada 2 OF34
- Privada 2 OF35
- Privada 2 OF36
- Privada 2 OF37
- Privada 2 OF38
- Privada 2 OF39
- Privada 2 OF40
- Privada 2 OF41
- Privada 2 OF42
- Privada 2 OF43
- Privada 2 OF44
- Privada 2 OF45
- Privada 2 OF46
- Privada 2 OF47
- Privada 2 OF48
- Privada 2 OF49
- Privada 2 OF50
- Privada 2 OF51
- Privada 2 OF52
- Privada 2 OF53
- Privada 2 OF54
- Privada 2 OF55
- Privada 2 OF56
- Privada 2 OF57
- Privada 2 OF58
- Privada 2 OF59
- Privada 2 OF60
- Privada 2 OF61
- Privada 2 OF62
- Privada 2 OF63
- Privada 2 OF64
- Privada 2 OF65
- Privada 2 OF66
- Privada 2 OF67
- Privada 2 OF68
- Privada 2 OF69
- Privada 2 OF70
- Privada 2 OF71
- Privada 2 OF72
- Privada 2 OF73
- Privada 2 OF74
- Privada 2 OF75
- Privada 2 OF76
- Privada 2 OF77
- Privada 2 OF78
- Privada 2 OF79
- Privada 2 OF80
- Privada 2 OF81
- Privada 2 OF82
- Privada 2 OF83
- Privada 2 OF84
- Privada 2 OF85
- Privada 2 OF86
- Privada 2 OF87
- Privada 2 OF88
- Privada 2 OF89
- Privada 2 OF90
- Privada 2 OF91
- Privada 2 OF92
- Privada 2 OF93
- Privada 2 OF94
- Privada 2 OF95
- Privada 2 OF96
- Privada 2 OF97
- Privada 2 OF98
- Privada 2 OF99
- Privada 2 OF100


Universidad de Valle de Guatemala
 Facultad de Ingeniería Civil
 Proyecto arquitectónico 1

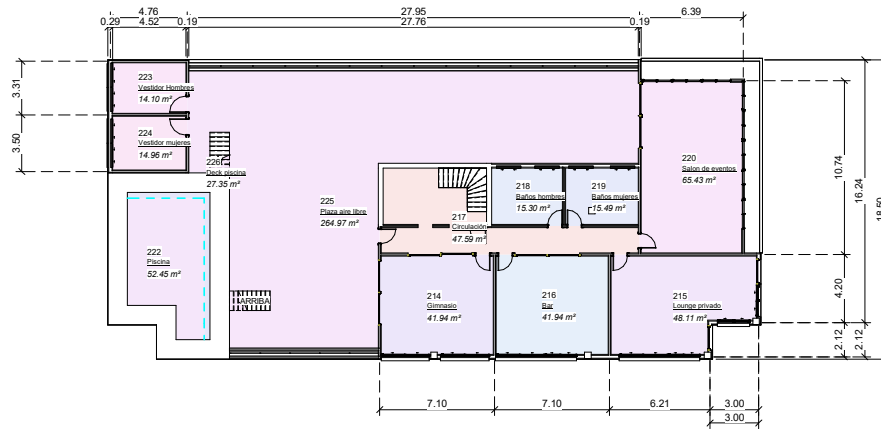
Proyecto: Edificio de uso mixto
 Dirección: 19 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal
 Fecha: 11/06/23
 Escala: 1:100
 Sección: Planta de zonificación de oficinas N2 y N3
 Autor: Diseñador
 Verificador: Autor



1 Plano zonificación típico de Apartamentos

Legenda Nombres

- | | | |
|----------------------------|--------------------|---------------------------|
| Administración y seguridad | Co-working OF4 | Habitación APT03 |
| Baño 1 | Co-working OF5 | Lobby |
| Baño 1 APT04 | Co-working OF6 | Plaza |
| Baño 1 APT05 | Co-working OF7 | Privada 1 OF5 |
| Baño 1 APT06 | Co-working OF8 | Privada 1 OF6 |
| Baño 1 APT07 | Cocina OF1 | Privada 2 OF5 |
| Baño 2 APT04 | Cocina OF2 | Privada 2 OF6 |
| Baño 2 APT05 | Cocina OF3 | Privada OF1 |
| Baño 2 APT06 | Cocina OF4 | Privada OF2 |
| Baño 2 APT07 | Cocina OF5 | Privada OF3 |
| Baño APT01 | Cocina OF6 | Privada OF4 |
| Baño APT02 | Cocina OF7 | Privada OF7 |
| Baño APT03 | Cocina OF8 | Privada OF8 |
| Baño APT06 | Comerco 1 | Recepción |
| Baño APT07 | Comerco 2 | Reuniones OF1 |
| Baño hombres | Comerco 3 | Reuniones OF2 |
| Baño mujeres | Comerco 4 | Reuniones OF3 |
| Baño OF2 | Guardería | Reuniones OF4 |
| Baño OF3 | Habitación 1 APT04 | Reuniones OF5 |
| Baño OF4 | Habitación 1 APT05 | Reuniones OF6 |
| Baño OF5 | Habitación 1 APT06 | Reuniones OF7 |
| Baño OF6 | Habitación 1 APT07 | Reuniones OF8 |
| Baño OF7 | Habitación 1 APT08 | Sala de reuniones 1 |
| Baño OF8 | Habitación 1 APT09 | Sala de reuniones 2 |
| Bodega comercio | Habitación 2 APT04 | Sala de reuniones 3 |
| Bodega OF2 | Habitación 2 APT05 | Sala de reuniones 4 |
| Bodega OF3 | Habitación 2 APT06 | Sala-comedor-cocina APT01 |
| Circulación | Habitación 2 APT07 | Sala-comedor-cocina APT02 |
| Co-working OF1 | Habitación 2 APT08 | Sala-comedor-cocina APT03 |
| Co-working OF2 | Habitación 2 APT09 | Sala-comedor-cocina APT04 |
| Co-working OF3 | Habitación 3 APT05 | Sala-comedor-cocina APT05 |
| | Habitación APT01 | Sala-comedor-cocina APT06 |
| | Habitación APT02 | |



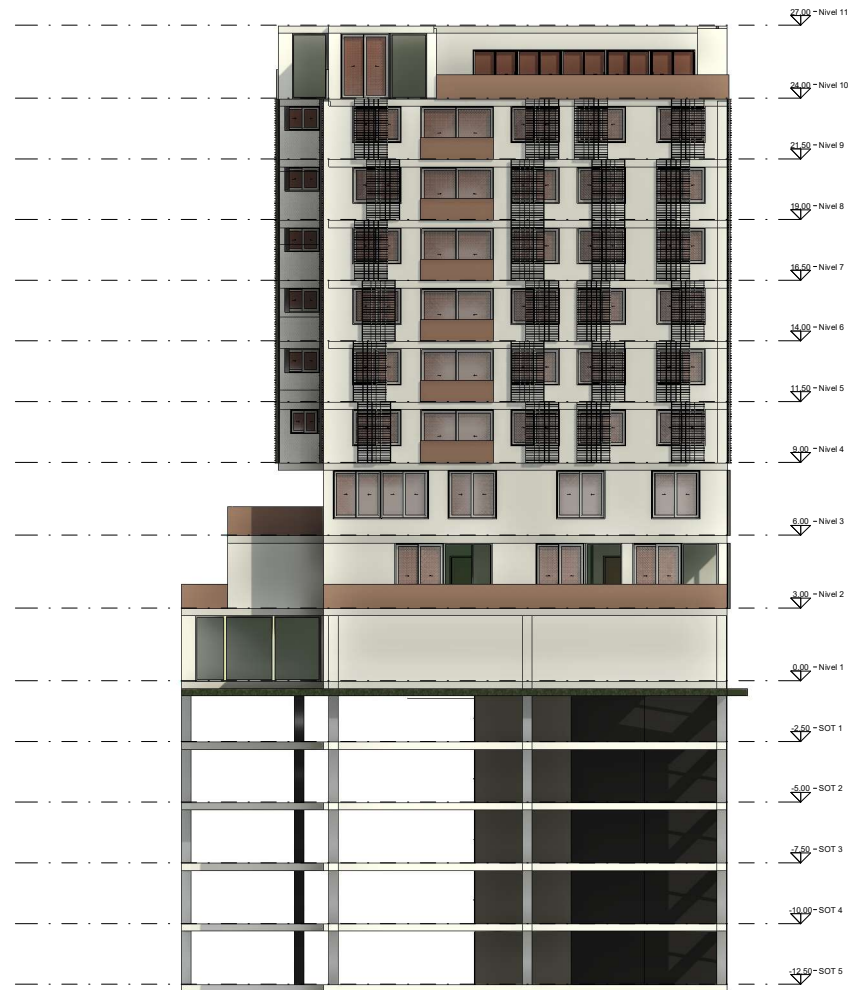
2 Plano zonificación de Amenidades

Legenda Nombres

- | |
|------------------|
| Bar |
| Baños hombres |
| Baños mujeres |
| Circulación |
| Deck piscina |
| Gimnasio |
| Lounge privado |
| Piscina |
| Plaza area libre |
| Salon de eventos |
| Visador Hombres |
| Visador mujeres |


Universidad de Valle de Guatemala
 Facultad de Ingeniería Civil
 Proyecto arquitectónico 1

Proyecto: Edificio de uso mixto
 Dirección: 13 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal
 Fecha: 11/06/23
 Escala: 1:100
 Sección/Cad: Diseñador
 Autor: A



1 Alzado derecho
A108 1:100




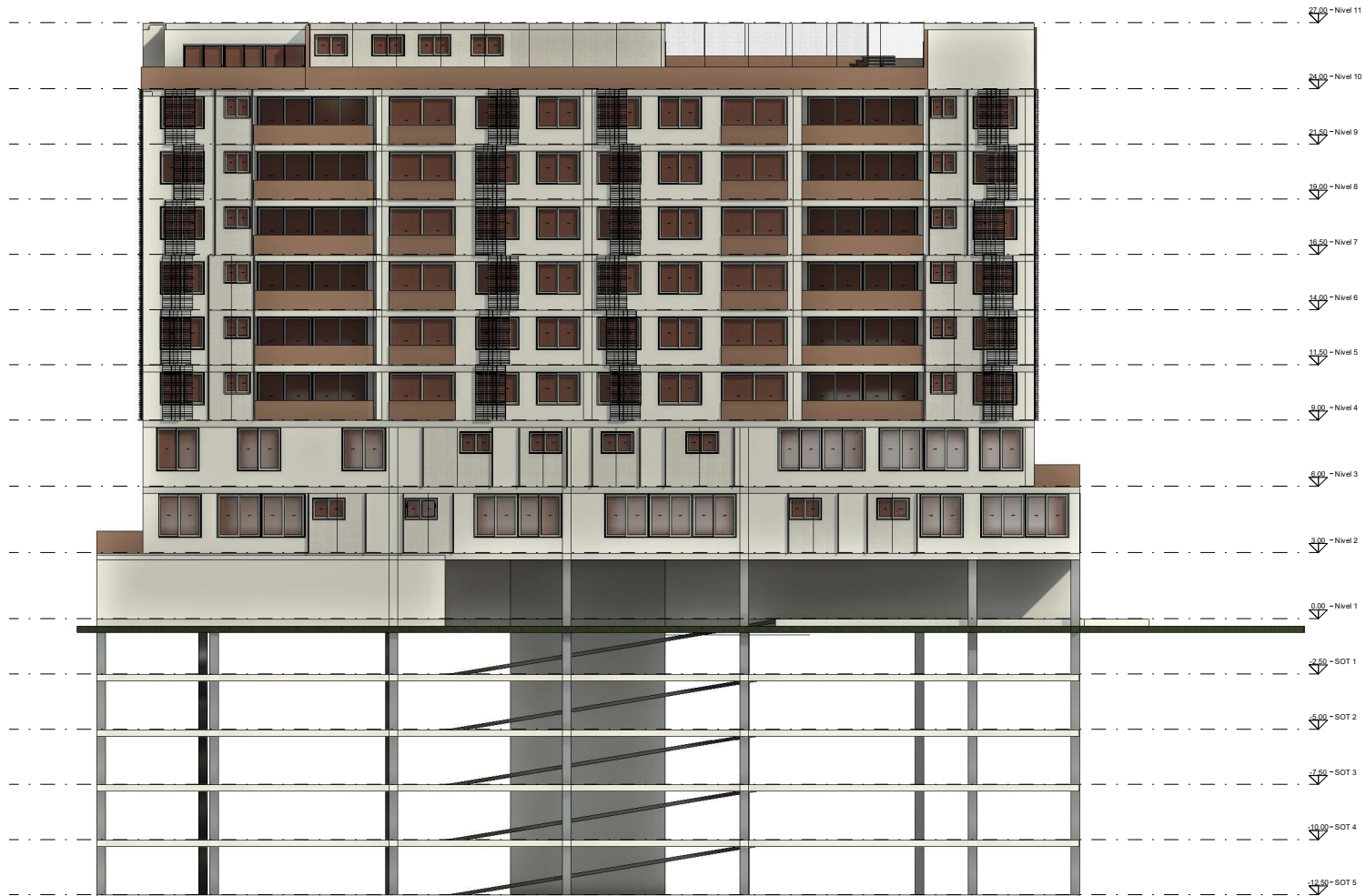
2 Alzado izquierdo
A109 1:100

		Universidad de Valle de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil Proyecto arquitectónico 1	
		Proyecto: Edificio de uso mixto	
Dirección: 19 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal			
Fecha:	11/13/23	Contenido:	
Escala:	1:100	Revisión:	Elevaciones Métricas
Sección:	1:100	Revisión:	
Autores:	1938	Verificador:	A
Autores:	1938	Verificador:	A



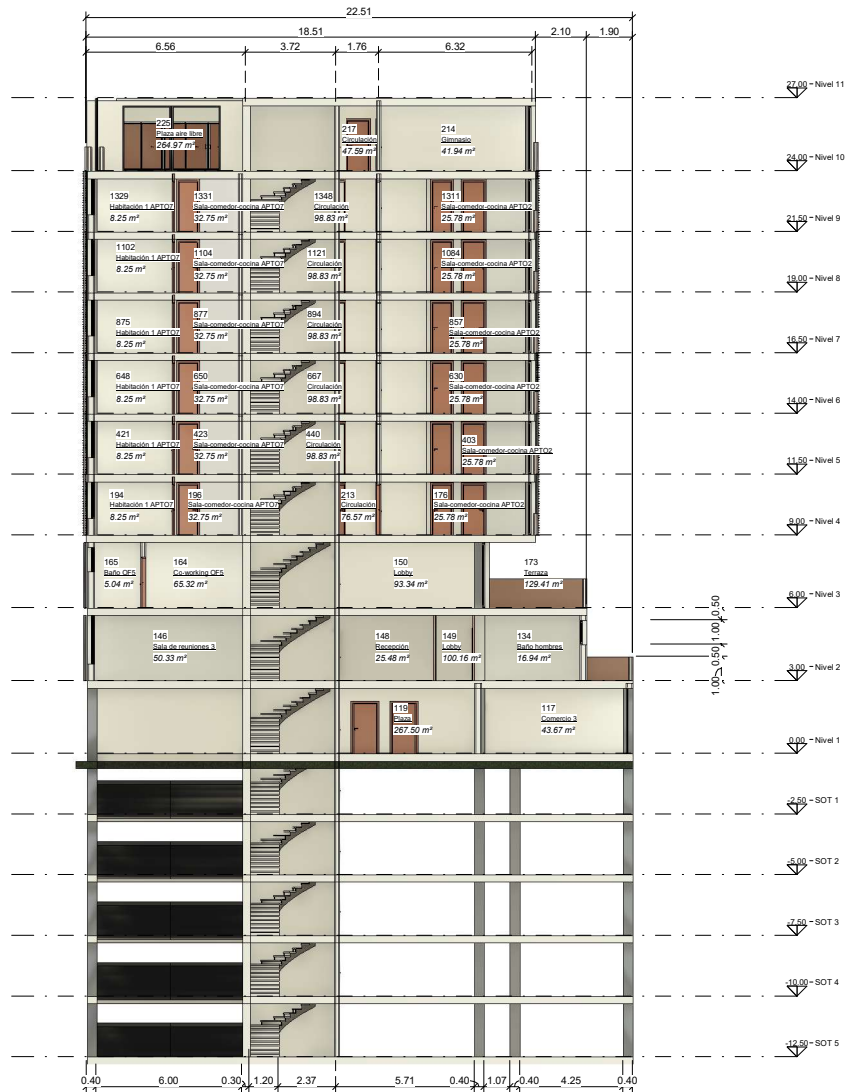
Alzado frontal
Escala 1:100

		Universidad de Valle de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil Proyecto arquitectónico 1	
		Proyecto: Edificio de uso mixto Dirección: 19 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal	
Fecha:	11/12/23	Contenido:	
Escala:	1:100	Revista:	Elavación frontal
Sección/Caja:	Diseñador	Revisión:	Verificador
Código:	1938	Edición:	Autor A

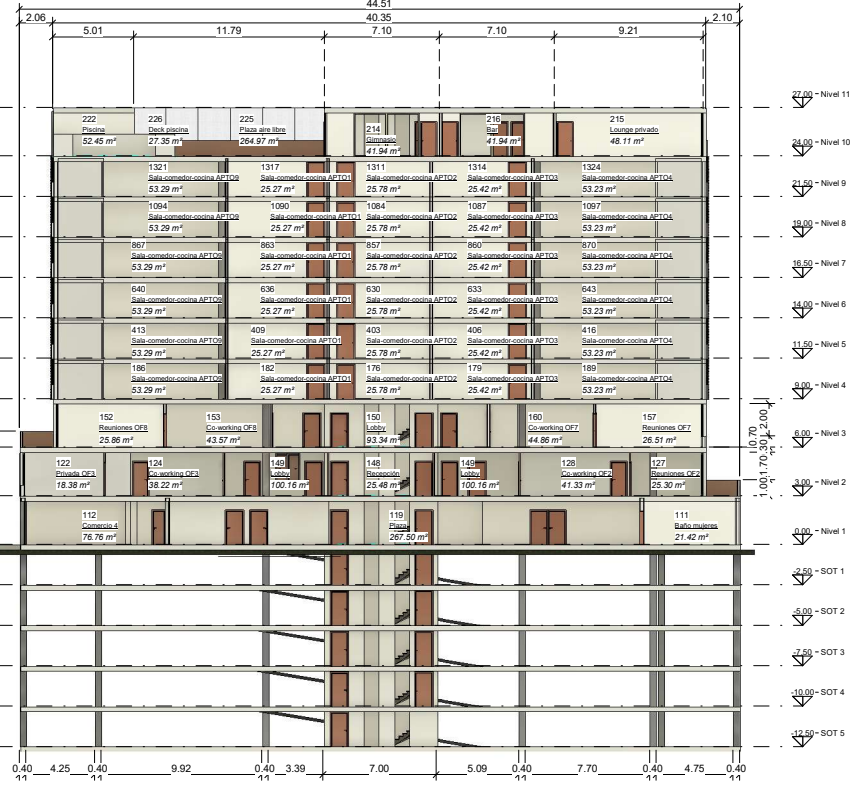



 Abrido posterior
 A110
 1:100


 Universidad de Valle de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil Proyecto arquitectónico 1		Proyecto: Edificio de uso mixto	
		Dirección: 19 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal	
Fecha:	11/13/23	Contenido:	
Escala:	1:100	Elevación posterior	
Sección/Caja:	Diseñador	Revis:	Verificador
Caja:	1938	Edición:	Autor A
			A110



1 - Sección 1
A(11) 1:100



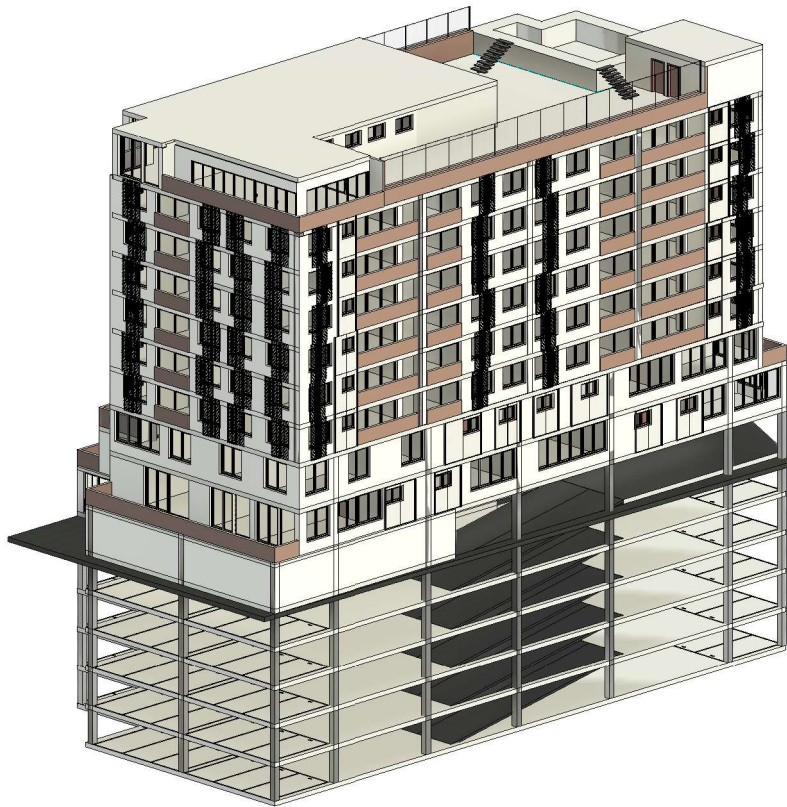
2 - Sección 2
A(11) 1:100


Universidad del Valle de Guatemala
 Facultad de Ingeniería Civil
 Proyecto arquitectónico 1

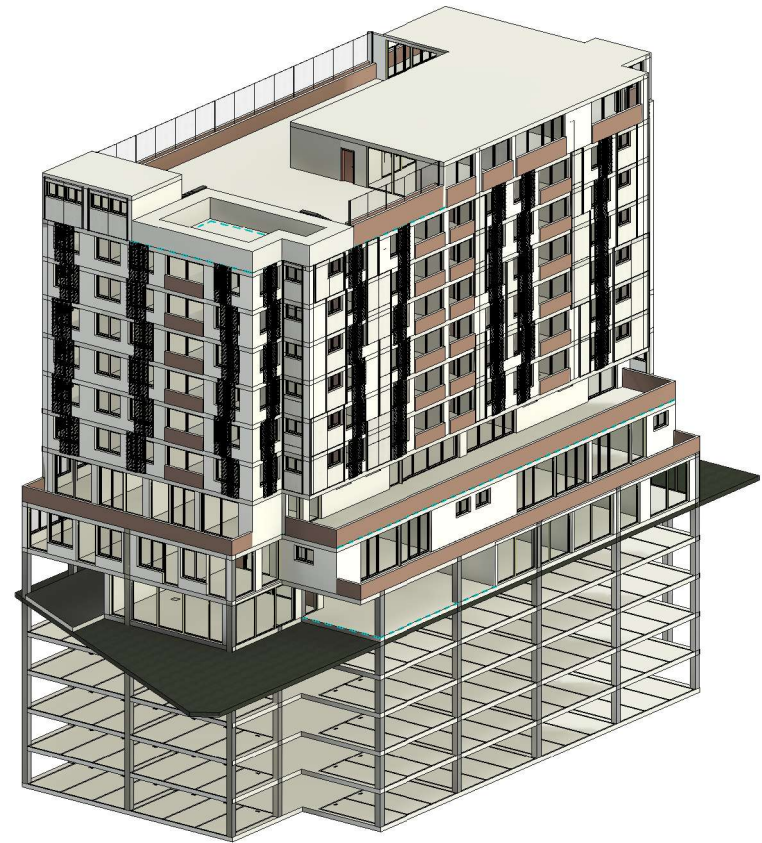
Proyecto: Edificio de uso mixto
 Dirección: 19 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal

Fecha: 11/13/23	Contenido:
Nombre: Centro de Indica	Secciones
Sección-Cada: Diseñador	Revis: Verificador
Cada: 1938	Blas: Autor

A111



1 - Axonométrico 1
A112



2 - Axonométrico 2
A112

 Universidad de Valle de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil Proyecto arquitectónico 1		Proyecto: Edificio de uso mixto	
		Dirección: 19 avenida 2391 zona 11 Colonia Mariscal	
Fecha:	11/13/23	Contenido:	
Etapa:		Vistas axonométricas	
Sección/Caja:	Diseñador	Revisó:	
Código:	1938	Verificador:	A112
		Autor:	A