



# HISTORIA REAL DE UNA FACHADA EXITOSA:

Vidrios Solarban® potenciando Torre KOI

*Un Caso Probado de Ahorro, Confort y Estética*



# Tabla de Contenido

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Resumen Ejecutivo .....                                                        | 1  |
| Infografía .....                                                               | 3  |
| 1. Evolución: Un Caso Real de Ahorros .....                                    | 5  |
| 2. Torre KOI: Una Ciudad Vertical Emblemática .....                            | 6  |
| 2.1 Clima Local del Caso de Estudio .....                                      | 7  |
| 2.2 Factores Clave para un Edificio de Alto Desempeño .....                    | 8  |
| 2.3 Características Técnicas de los Sistemas de Vidrio .....                   | 10 |
| 2.4 Metodología .....                                                          | 11 |
| 2.5 Comparativa de Sistemas de Vidrio .....                                    | 12 |
| 3. Finanzas & Rentabilidad .....                                               | 13 |
| 3.1 Costos de Inversión Inicial .....                                          | 14 |
| 3.2 Costos de Operación .....                                                  | 16 |
| 4 Nivel de Confort para Ocupantes .....                                        | 18 |
| 4.1 Confort Térmico: Control de Ganancias de Calor .....                       | 22 |
| 4.2 Confort Lumínico: Control de Deslumbramiento .....                         | 25 |
| 5. ¿Cuánta Energía Consume una Ciudad Vertical de Vidrio Arquitectónico? ..... | 28 |
| 5.1 Porcentajes de Consumo por Tipo de Uso .....                               | 29 |
| 5.2 Reducción de Emisiones de CO <sub>2</sub> al Ambiente .....                | 29 |
| 6. Conclusiones .....                                                          | 31 |
| Anexo 1: Zonas Climáticas en México .....                                      | 34 |
| Anexo 2: Análisis de Confort Térmico .....                                     | 36 |



# Resumen ejecutivo



Con una trayectoria de más de 100 años y experiencia en procesos de innovación y mejora continua, en **Vitro Vidrio Arquitectónico** nos retamos a romper paradigmas y desmitificar la creencia que al seleccionar un vidrio de alto rendimiento los costos de inversión inicial se elevan y que el tiempo de retorno de la inversión es muy largo.

En 2020 encomendamos a **Three Consultoría Medioambiental**, firma dedicada a la consultoría en eficiencia energética y sustentabilidad, el análisis del impacto económico y energético del caso de estudio de Torre KOI, ubicada en la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León. También contamos con el apoyo de **Internacional de Inversiones (IDEI)** para proporcionarnos información y costos de la Torre, además de sus consumos energéticos.

## ¿Qué hace diferente este caso de estudio?

Presentamos información sobre los consumos energéticos reales del proyecto, sus costos de operación anuales y los costos de inversión inicial para poder obtener los ahorros tangibles del proyecto, así como calcular el retorno de la inversión (ROI).

Además, analizamos a profundidad el nivel de confort de sus habitantes, desde el punto de vista térmico y lumínico.

## HISTORIA REAL DE UNA FACHADA EXITOSA:

Vidrios Solarban® potenciando Torre KOI

*Un Caso Probado de Ahorro, Confort y Estética*

Para lograr lo anterior, comparamos la condición actual de la Torre versus las variaciones que se presentarían de haberse seleccionado otro tipo de cristal para su fachada.

El objetivo del estudio es dejar en claro el impacto de una buena decisión en el sistema de acristalamiento: ahorros medibles, reales e inmediatos para el inversionista, además de constantes beneficios para los usuarios.

## Sobre Torre KOI

La fachada de Torre KOI está compuesta principalmente de nuestro vidrio doble **Solarban® R100 Optiblu®**, por lo que sus características térmicas y ópticas son fundamentales para el logro de los objetivos de eficiencia y alto desempeño del edificio.

En el proceso de análisis, consideramos tres aspectos:



Con el caso de éxito de Torre KOI, se pretende evidenciar qué para tener una edificación sostenible de alto rendimiento, no es necesaria una mayor inversión inicial.

### Retorno de inversión inicial (ROI): Inmediato



*Ahorro de 7.3 millones  
MXN desde el primer  
minuto.*

Reducción de un 28% en la capacidad de los equipos de HVAC, en comparación con un sistema de vidrio Claro Monolítico de 12 mm, debido al alto desempeño del vidrio instalado.

### Impacto en Costos de Operación Anual:



*Ahorro por más de 12  
millones MXN al año  
en costos de operación  
de HVAC.*

Considerando 40 años como vida útil promedio del edificio, sólo en ahorros operativos, este vidrio logra evitar un gasto de más de **¡500 millones MXN!**

### Confort Térmico:



Solarban® R100 Opti-blue® brinda un 90% de horas al año en confort térmico para los usuarios del edificio.

### Confort Lumínico:

Se disminuyó 13% de áreas con deslumbramiento en comparación con el vidrio Claro de 12 mm.



### Reducción de Emisiones:

*Se redujeron más  
de 1,833 tCO<sub>2</sub>e/año.*



A lo largo de la vida útil del edificio se disminuirá un total de 73,355 tCO<sub>2</sub>e, lo cual sería equivalente a retirar de circulación 36,979 vehículos.

El estudio cuenta también con una comparativa contra otros tipos de sistemas de vidrio conocidos en el mercado, con la finalidad de poder brindar un análisis detallado de los beneficios otorgados por las distintas opciones.

| Tipo Vidrio | Producto                         | Espesor (mm) | Costo de Inversión Inicial: Sistema de Vidrio y HVAC (Millones MXN) | Costo de Operación Anual (Millones MXN) | Porcentaje de horas en Confort Térmico | Porcentaje de área con Deslumbramiento | Emisiones al aire (Tons de CO <sub>2</sub> e/año) |
|-------------|----------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Monolítico  | Claro                            | 12           | \$216.35                                                            | \$40.94                                 | 74%                                    | 38%                                    | 6,022                                             |
| Doble       | Claro + Claro                    | 25           | \$216.96                                                            | \$35.47                                 | 78%                                    | 37%                                    | 5,258                                             |
| Doble       | Filtirasol® + Claro              | 25           | \$200.44                                                            | \$32.85                                 | 81%                                    | 31%                                    | 4,831                                             |
| Doble       | Solarban® 60 + Claro             | 25           | \$207.11                                                            | \$30.61                                 | 86%                                    | 33%                                    | 4,512                                             |
| Doble       | Solarban® R100 Optiblue® + Claro | 25           | \$209.03                                                            | \$28.44                                 | 90%                                    | 25%                                    | 4,188                                             |

Esperamos que después de leer nuestro estudio te sientas seguro al momento de utilizar un vidrio inteligente para la fachada de tu próximo proyecto, sabiendo que te dará ahorros desde el momento de su selección y durante toda la vida útil del edificio.

**¡No dejes escapar los beneficios y libera el potencial de tu proyecto con Solarban®!**



La selección del vidrio arquitectónico adecuado brinda mejoras importantes para las personas y el medio ambiente, además de abonar a la reducción de costos de inversión inicial y de operación anual.

El caso de éxito de **Torre KOI** demostró los siguientes beneficios tangibles al seleccionar el sistema de vidrio **Solarban<sup>®</sup> R100 Optiblue<sup>®</sup>** versus la línea base con vidrio Claro monolítico de 12 milímetros.

## HISTORIA REAL DE UNA FACHADA EXITOSA:

Vidrios Solarban<sup>®</sup> potenciando Torre KOI

*Un Caso Probado de Ahorro, Confort y Estética*

### Beneficios de Solarban<sup>®</sup> R100 Optiblue<sup>®</sup> + Claro



Rentabilidad  
Económica



Eficiencia  
Energética



Confort de  
Usuario



Retorno de inversión inicial (ROI):  
**Inmediato**



Ahorro de **7.3 MDP**  
en el costo de inversión inicial  
(en comparación con vidrio Claro de 12mm)



Ahorro en costos de operación  
anuales de **12 MDP → 500 MDP**  
en la vida útil del edificio\*



Incremento en el **confort térmico** en  
**15.7%** y reducción de  
**deslumbramiento** en **13.7%**



Mitigación de **73,355 tCO<sub>2</sub>e**,  
durante la vida útil del edificio\*  
(equivalente a retirar de 36,979 vehículos de circulación)



Disminución del **28%** en toneladas de  
refrigeración para equipos HVAC



**Vidrio Solarban<sup>®</sup> R100  
Optiblue<sup>®</sup> + Claro**



VLT: **30%**

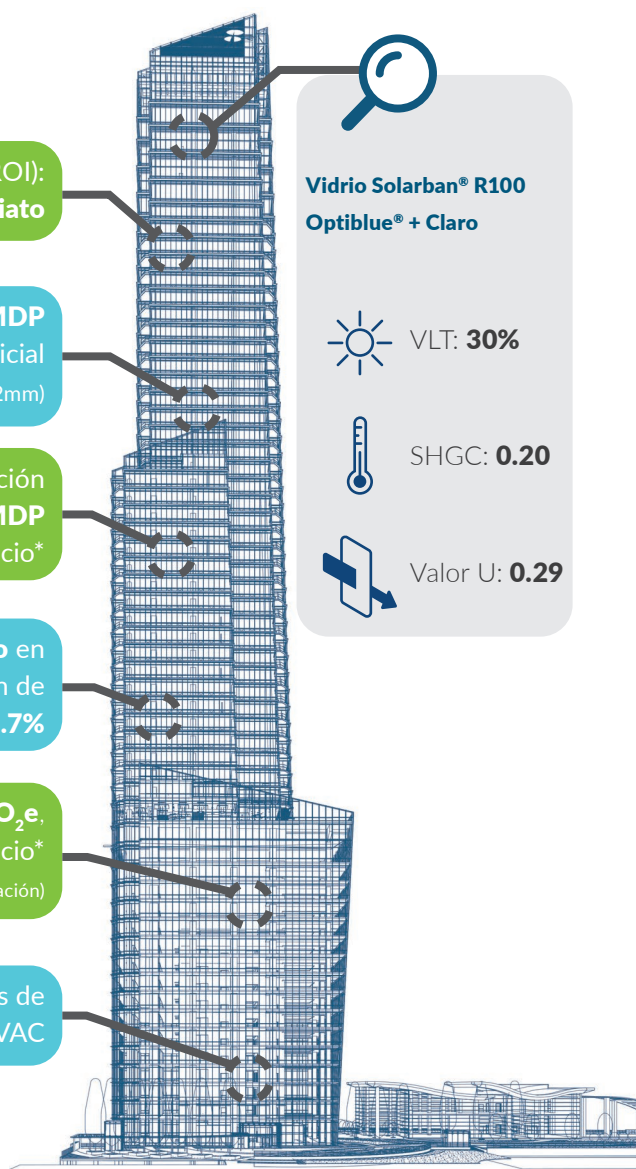


SHGC: **0.20**



Valor U: **0.29**

\*Para términos de este estudio, se está considerando una vida útil del edificio de 40 años.









# 1. Evolución: Un Caso Real de Ahorros

## ¿Qué es lo primero que se te viene a la mente cuando piensas en un edificio sustentable y que ahorre energía?

Probablemente, además de sus beneficios y estética, pienses que será considerablemente más complejo y que se requieren tecnologías muy costosas.

En Vitro Vidrio Arquitectónico nos retamos a romper paradigmas y desmitificar la creencia donde seleccionar un vidrio de alto rendimiento conlleva costos de inversión inicial más altos y que el tiempo de recuperación del Retorno de Inversión es muy largo.

Esperamos que después de leer nuestro estudio te sientas seguro al momento de utilizar un vidrio inteligente para la fachada de tu próximo proyecto, sabiendo que te dará ahorros desde el momento de su selección y durante toda la vida útil del edificio.

El presente caso de éxito es una evolución de la publicación *“Vidrios Arquitectónicos de Baja Emisividad (Low-e) y Control Solar: Beneficios Energéticos, Económicos y Ambientales”*, el cual fue publicado por Vitro en 2019.

A diferencia del reporte anterior que utilizó modelados energéticos en diferentes ciudades en México para calcular los ahorros en inversión inicial y costos de operación en un inmueble simulado, este reporte se enfoca en estudiar y presentar los beneficios reales y tangibles en Rentabilidad Económica, Eficiencia Energética y Confort de los usuarios en un edificio real con más de tres años en operación.

Se utilizó información real de consumos energéticos (gasto en electricidad), costos de equipos mecánicos (HVAC) y tipos de acristalamientos, así como el nivel de confort de sus ocupantes para obtener conclusiones cuantitativas y poder monetizar los beneficios obtenidos gracias a una buena selección de vidrio por parte del desarrollador y arquitecto.

Por lo tanto, para este estudio se seleccionó a la Torre KOI, ya que además de ser un edificio emblemático en el área metropolitana de Monterrey, es uno de los edificios más altos de América Latina. Además, la totalidad de sus fachadas arquitectónicas están recubiertas por nuestro vidrio de baja emisividad y alto desempeño Solarban® R100 Optiblue®.



## 2. Torre KOI: Una Ciudad Vertical Emblemática

### La Torre KOI es el segundo edificio más alto de México.

#### RESIDENCIAL

36,000 m<sup>2</sup> vendibles  
en 37 pisos

#### COMERCIAL

55,400 m<sup>2</sup> rentables  
en 27 pisos

Con sus 279.5 metros de altura, el rascacielos es considerado de usos mixtos al estar compuesto de oficinas y departamentos.

Se encuentra en operación desde 2017 y ha sido reconocido como edificio líder al recibir la certificación LEED C&S<sup>1</sup> v2009 Nivel Plata en el 2018.



Después de un minucioso proceso de selección, se decidió instalar un sistema de vidrio doble de alto desempeño **Solarban® R100 Optiblu®** de Vitro Vidrio Arquitectónico.

**En el diseño del edificio, se cubre el 100% del total de la fachada con vidrio arquitectónico, por lo cual la elección del vidrio fue de suma importancia y aporte para la edificación.**

Para este análisis, se consideraron las propiedades como se muestran en la *Imagen 1*, además de los beneficios del sistema de vidrio **Solarban® R100 Optiblu®** en aspectos de reducción de consumo de energía, ahorros en la inversión inicial y costos de operación, confort térmico e iluminación natural. Además, este sistema de vidrio doble (también conocido como vidrio insulado o aislante), resuelve el reto estructural que representa el impacto de la velocidad del viento en edificios de gran altura como es el caso de KOI.

El edificio está dividido de la siguiente forma:

### Torre KOI

**Vidrio SOLARBAN® R100 OPTIBLU® + CLARO**



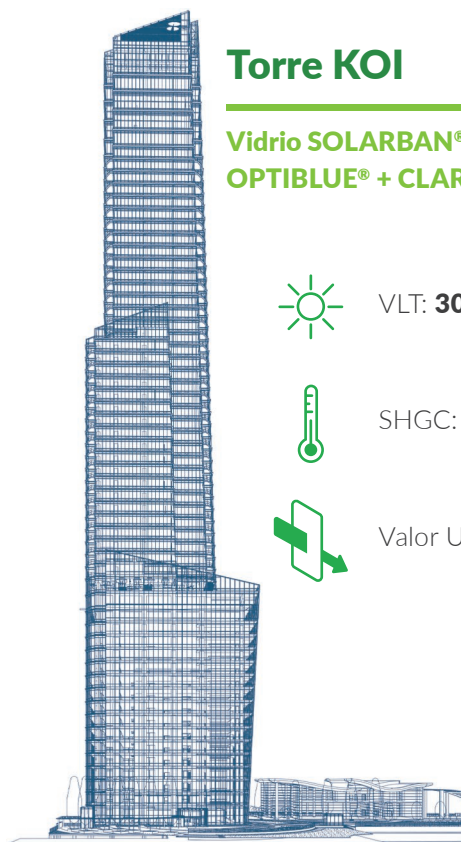
VLT: **30%**



SHGC: **0.20**



Valor U: **0.29**



*Imagen 1. Propiedades térmicas y ópticas del vidrio del proyecto*

<sup>1</sup> LEED: Certificación de Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental en Núcleo y Envolvente.

LEED®, and its related logo, is a trademark owned by the U.S. Green Building Council® and is used with permission.

## 2.1 Clima Local del Caso de Estudio

De acuerdo con el estándar **ASHRAE 90.1<sup>2</sup>**, la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) pertenece a una **zona climática 2B**.

El clima predominante en la ZMM, de la cual forma parte San Pedro Garza García, es el “seco, cálido y extremoso”, con lluvias irregulares a fines del verano. La temperatura media es superior a los 22°C con oscilaciones entre 7°C y 14°C y tiene presencia de canícula.

Estas condiciones, suelen requerir la implementación de sistemas de enfriamiento y calefacción (HVAC) para alcanzar el confort térmico.

La utilización de estos sistemas se traduce directamente en consumo de energía; por lo tanto, la búsqueda de estrategias para reducir dicho consumo es crucial para lograr el mejor desempeño de las edificaciones.

*\*Para mayor información sobre los climas de México, favor de referirse al **Anexo 1** del presente documento.*

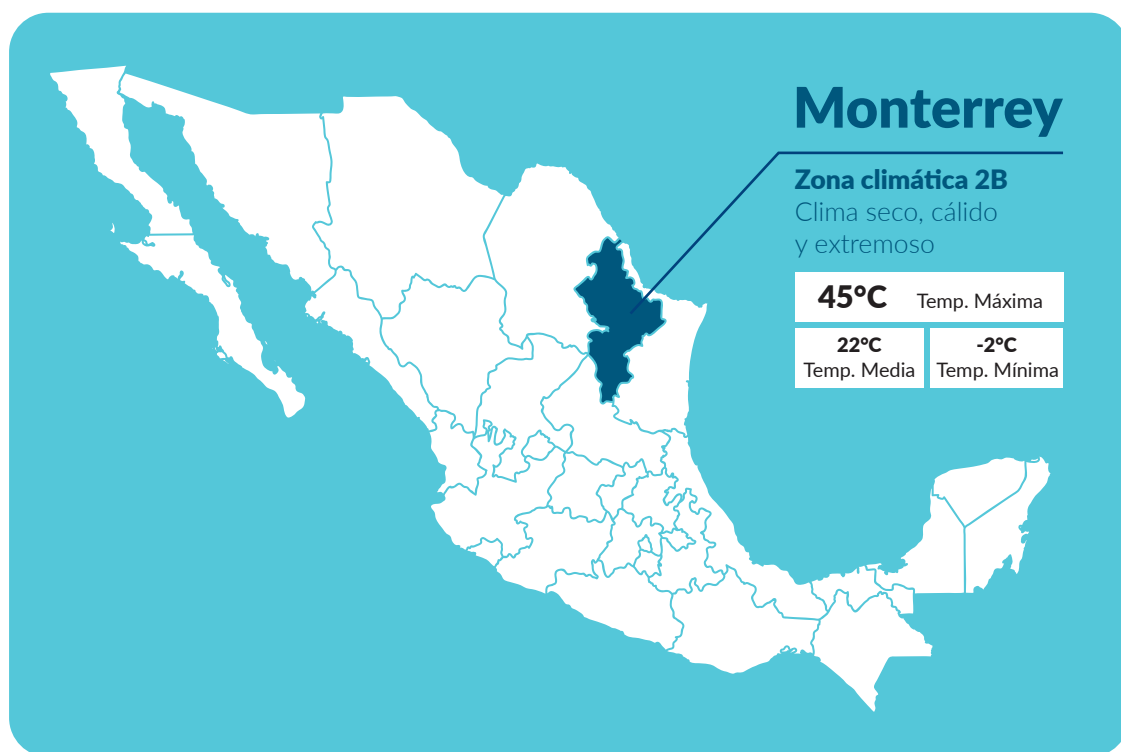


Imagen 2. Zona climática Monterrey (Zona Metropolitana Monterrey)

<sup>2</sup> ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) 90.1: Estándar de eficiencia energética internacional sobre los Requisitos Energéticos para Edificios excepto los Residenciales de Baja Altura, el cual es utilizado como referencia para la certificación LEED.

## 2.2 Factores Clave para un Edificio de Alto Desempeño

La selección de los materiales adecuados para un proyecto debe considerar los siguientes factores:



La envolvente de un edificio está conformada por los elementos que separan el ambiente interior del exterior: muros, techos, pisos, ventanas, tragaluces, etc. Un buen diseño de la envolvente y la adecuada selección de materiales pueden incrementar la ganancia de calor o frío en un proyecto, afectando el confort y el consumo de energía.

En el caso de Torre KOI, el vidrio es el elemento predominante de la envolvente y juega

un rol esencial en determinar las ganancias de calor del edificio. Por lo tanto, se evaluó su desempeño de acuerdo a los tres factores mencionados previamente, ya que determinan el desempeño energético del edificio y la calidad de vida de las personas que lo habitan.

En cuanto al aspecto de la **rentabilidad económica** nos encontramos con dos elementos importantes:

### Rentabilidad Económica



#### Costos de Inversión Inicial:

Están directamente relacionados con la reducción en la necesidad de equipos para el sistema de enfriamiento y calefacción (HVAC) como resultado de tener una envolvente con materiales de alta eficiencia térmica.



#### Costos de Operación:

Están relacionados a los ahorros económicos, debido a una disminución en los consumos de energía, reflejado en una menor factura mensual de electricidad.

La **eficiencia energética** está directamente relacionada a la rentabilidad económica y al impacto ambiental. Con la correcta selección de materiales para la envolvente se puede reducir desde el origen el consumo de energía eléctrica

ca y por ende las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) al medio ambiente, gracias a un menor consumo de los sistemas de enfriamiento y calefacción necesarios para proveer confort térmico dentro del edificio.

## El sistema vidriado influye en el confort de los usuarios en tres factores principales<sup>3</sup>:



### Confort lumínico y de luz radiante:

Se puede referir a cómo se percibe la luz natural por medio de la vista, donde las condiciones de iluminación como: los niveles, uniformidad, color y la difusión de la radiación, juegan un papel importante para lograr el confort necesario para desempeñar la actividad destinada para el espacio interior.

### Confort acústico:

Se define por el nivel general de satisfacción de un ocupante en un entorno dado ocasionado por el sonido o ruido producido en el interior o proveniente del exterior de un espacio.



### Confort térmico y de radiación térmica:

Cuando los ocupantes de un determinado espacio interior no presentan sensación de frío o calor, donde factores como la temperatura, el aire y humedad son idóneas para llevar a cabo la actividad destinada para el espacio.

<sup>3</sup> Aunque un vidrio doble como el usado en Torre KOI mejora el confort acústico, para fines de este estudio este factor no es analizado. En caso de desear información específica de este tema para algún proyecto, por favor contacta a Vitro Vidrio Arquitectónico.

## 2.3 Características Técnicas de los Sistemas de Vidrio

Los aspectos a considerar durante la selección de vidrio para el proyecto, que afectan directamente el confort de los espacios y al consumo de energía, son los siguientes:

### VLT<sup>4</sup>

(Transmisión de Luz Visible):

Hace referencia a la cantidad de luz que un sistema de acristalamiento permite ingresar al espacio interior en proporción a lo que el ojo humano logra percibir. El rango va de 0 a 1, donde entre más alto sea el valor, significa que ingresa mayor luz visible al espacio interior.

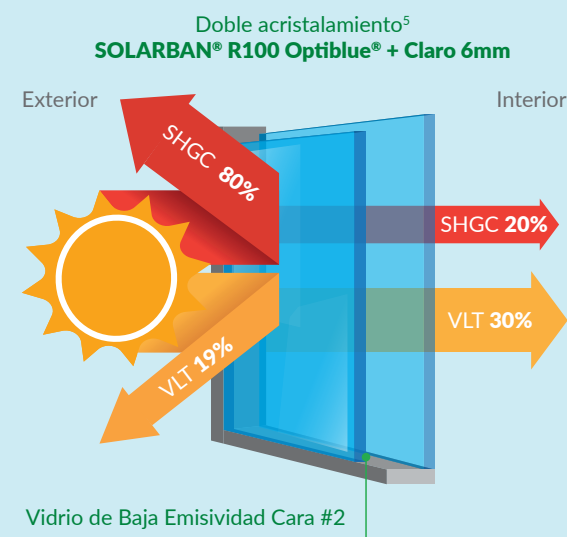


Imagen 3. Propiedades térmicas y ópticas del vidrio

### SHGC<sup>6</sup>

(Coeficiente de Ganancia de Calor Solar):

Determina la capacidad de un sistema acristalado para rechazar la cantidad de radiación solar que ingresa al espacio interior. Ésta tiene un rango de 0 a 1, donde entre más bajo sea el valor, menor será el paso de calor hacia el interior.

### Valor U

(Coeficiente Global de Transferencia de Calor):

Característica que determina la cantidad de energía que un material puede transmitir de un espacio exterior al interior y viceversa. Mientras menor sea el Valor U, mejor será el aislamiento que este material brinda. En este estudio, se consideran los valores de Invierno Aire.

<sup>4</sup> VLT: Visible Light Transmission

<sup>5</sup> Doble acristalamiento (UD) de 25 mm (1 pulgada) con espacio de aire intermedio de 13 mm (1/2 pulgada) y dos vidrios monolíticos de 6mm (1/4 pulgada).

<sup>6</sup> SHGC: Solar Heat Gain Coefficient



## 2.4 Metodología

En diciembre 2020, Vitro Vidrio Arquitectónico encomendó a **Three Consultoría Medioambiental**, con sede en Monterrey, estudiar el impacto económico, social y ambiental del vidrio **Solarban® R100 Optiblue®** seleccionado para el caso de estudio Torre KOI, en comparación con otros cuatro sistemas de vidrio.

En cuanto a cancelería, se consideró de aluminio en los cinco escenarios, al ser el más comúnmente utilizado en México.

Para fines de este estudio se emplearon dos softwares especializados:

- El software **Trace 700** para evaluar el consumo energético.

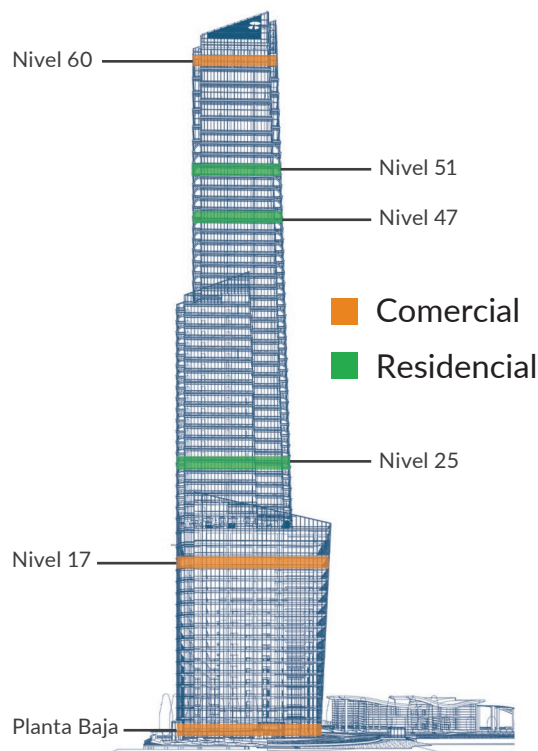
- El **programa IESVE<sup>7</sup>** para evaluar el confort térmico, la iluminación natural y la radiación solar.

El análisis se llevó a cabo tomando en consideración los dos tipos de uso del edificio: comercial y residencial, así como las diferentes plantas del edificio en cada uno de los niveles como se presentan en la *Imagen 4*.

Para determinar el ahorro de energía anual del caso de estudio, **la empresa Internacional de Inversiones (IDEI)**, desarrollador de Torre KOI, amablemente compartió de forma voluntaria la información requerida, incluyendo registros reales de un año de consumo energético (recibos de CFE).

Estos fueron utilizados para calibrar una simulación energética que permitió calcular los diferentes consumos energéticos que se hubieran generado en el edificio en caso de utilizar diferentes vidrios en la fachada.

El confort térmico se analizó a través del Método Analítico de la Zona de Confort descrito en el **Estándar ASHRAE 55<sup>8</sup>**. Esta metodología considera los seis componentes del confort térmico y el efecto de la radiación solar directa en los ocupantes para simular cuál sería la respuesta de las personas si se les preguntara si tienen frío o calor.



*Imagen 4. Elevación arquitectónica caso de estudio Torre KOI*

<sup>8</sup> ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 - Estándar de Condiciones de Ambiente Térmico para Ocupación Humana, el cual es utilizado como referencia para la certificación LEED

<sup>7</sup> IESVE - Integrated Environmental Solutions Virtual Environment.

# 2.5 Comparativa de Sistemas de Vidrio

En la *Tabla 1* se muestran los cinco sistemas de vidrio que forman parte de este análisis con sus características físicas, térmicas y ópticas, y de esta manera poder comparar el desempeño de cada uno de estos en las mismas condiciones arquitectónicas y climáticas.

*Tabla 1. Sistemas de vidrios a analizar con sus propiedades físicas, ópticas y térmicas*

| Tipo de Vidrio | Producto                         | Espesor (mm) | VLT | Valor U (W/m <sup>2</sup> *K) | SHGC |
|----------------|----------------------------------|--------------|-----|-------------------------------|------|
| Monolítico     | Claro                            | 12           | 83% | 5.60                          | 0.72 |
| Doble          | Claro + Claro                    | 25           | 78% | 2.69                          | 0.70 |
| Doble          | Filtrasol® + Claro               | 25           | 40% | 2.69                          | 0.46 |
| Doble          | Solarban® 60 Claro + Claro       | 25           | 70% | 1.65                          | 0.39 |
| Doble          | Solarban® R100 Optiblue® + Claro | 25           | 30% | 1.65                          | 0.20 |



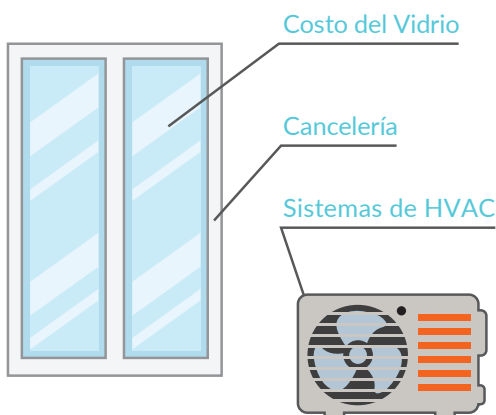
### 3. Finanzas & Rentabilidad

En esta sección analizaremos desde el punto de vista financiero la razón por la que **Solarban® R100 Optiblue®** fue la mejor decisión para Torre KOI.

Romperemos con el paradigma de que al seleccionar vidrios de baja emisividad y control solar (también conocidos como low-e), los cuales tienen prestaciones muy superiores al clásico vidrio Claro, nuestro proyecto se volverá en automático más costoso o hasta inviable.

Por el contrario, el objetivo es comprobar con evidencia que es posible tener un sistema vidriado de alta tecnología y recuperar su inversión de manera inmediata, además de posteriormente disfrutar de los ahorros constantes y los beneficios cualitativos (confort) que proporcionan este tipo de vidrios.

Para obtener la rentabilidad de cada una de las opciones consideradas, se analizó el **retorno de inversión inicial** del caso de estudio comparando los costos de inversión inicial:



La selección del sistema de vidrio **Solarban® R100 Optiblue®** se tradujo en una reducción en la necesidad de la capacidad de enfriamiento y calefacción necesaria para alcanzar el confort; resultando en ahorros considerables e inmediatos para el desarrollador al disminuir la inversión en capacidad de equipos mecánicos, los tamaños de ductos, las instalaciones eléctricas que suministran energía a los sistemas, la mano de obra durante la instalación; y posteriormente, en los recibos de pago de la energía de los inquilinos y usuarios.



## 3.1 Costos de Inversión Inicial



Se compararon cinco sistemas de vidrio, incluyendo el instalado en la Torre KOI, versus una línea base constituida por un vidrio **Claro monolítico de 12 milímetros de espesor**. Este último es el sistema más básico que podría utilizarse para este tipo de edificio considerando temas estructurales, diseño arquitectónico y cargas de viento.

Se consideraron los costos que conlleva cada tipo de acristalamiento, el cual se compone de la suma del costo del tipo de vidrio (incluyendo su cancelería) y costo del aire acondicionado (el cual está en función de las toneladas de refrigeración requeridas).

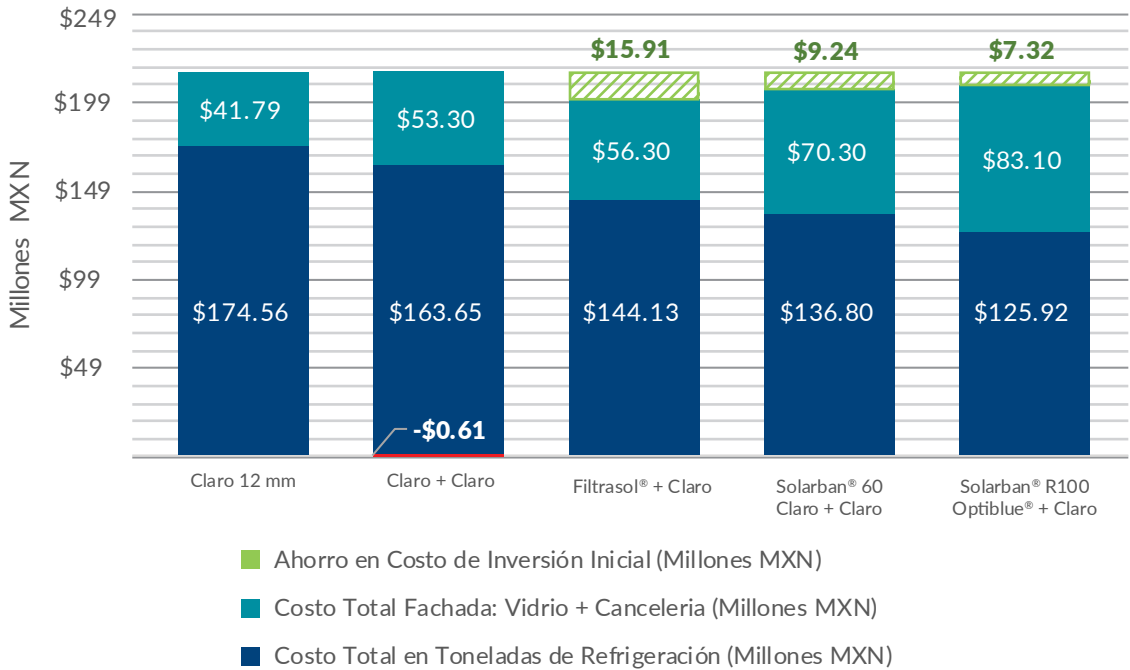
Tabla 2. Costo de inversión inicial por sistema de vidrio y HVAC.

| Tipo de Vidrio | Producto                         | Espesor (mm) | Costo Total en Toneladas de Refrigeración (Millones MXN) <sup>9</sup> | Costo Total Fachada: Vidrio + Cancelería (Millones MXN) <sup>10</sup> | Costo de Inversión Inicial Total: Sistema de Vidrio y HVAC (Millones MXN) <sup>11</sup> | Ahorro en Costo de Inversión Inicial (Millones MXN) |
|----------------|----------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Monolítico     | Claro                            | 12           | \$ 174.56                                                             | \$ 41.79                                                              | \$ 216.35                                                                               | \$0.00                                              |
| Doble          | Claro + Claro                    | 25           | \$ 163.65                                                             | \$ 53.30                                                              | \$ 216.96                                                                               | -\$0.61                                             |
| Doble          | Filtrazol® + Claro               | 25           | \$ 144.13                                                             | \$ 56.30                                                              | \$ 200.44                                                                               | \$ 15.91                                            |
| Doble          | Solarban® 60 Claro + Claro       | 25           | \$ 136.80                                                             | \$ 70.30                                                              | \$ 207.11                                                                               | \$ 9.24                                             |
| Doble          | Solarban® R100 Optiblue® + Claro | 25           | \$ 125.92                                                             | \$ 83.10                                                              | \$ 209.03                                                                               | \$ 7.32                                             |

<sup>9</sup> El costo estimado de \$60,476 MXN por tonelada de refrigeración instalada fue proporcionado por el contratista que realizó la instalación del sistema de HVAC en Torre KOI. Los equipos empleados son VRF enfriados por agua con torres de enfriamiento de circuito cerrado. Las toneladas de refrigeración necesarias para cada sistema de vidrio se referencian en la Gráfica 4. El área de fachada considerada en el modelado energético fue de 29,262 m<sup>2</sup>.

<sup>10</sup> El costo estimado de cada sistema de vidrio considera el vidrio y la cancelería.

<sup>11</sup> La restimación de los costos capitales tanto para los sistemas de vidrio como para el sistema HVAC se calcularon con costos actuales 2020/2021.



Gráfica 1. Costos de Inversión Inicial por Sistema de Vidrio y HVAC correspondiente

La *Tabla 2* y la *Gráfica 1* resumen la reducción en el costo de inversión inicial gracias a la implementación de sistemas de vidrio eficiente. Si **Torre KOI** hubiese instalado un **Claro monolítico de 12 mm<sup>12</sup>**, el inversionista hubiera perdido más de

**7 Millones MXN**



**(costos actuales 2020) desde la inversión inicial**

en comparación con la selección del sistema de vidrio **Solarban® R100 Optiblue®** de alto desempeño térmico.

Adicionalmente, una envolvente translúcida permite el ingreso de luz natural, ayudando a

reducir las horas de operación de los sistemas de iluminación eléctrica, generando un beneficio económico adicional durante la operación del edificio.

Sumados a los grandes ahorros de inversión inicial, debemos recordar que, durante la etapa de operación, los **equipos de aire acondicionado de menor capacidad consumirán menos energía** y serán necesarios por menos horas al año, para proveer el **confort térmico** a los usuarios. Lo anterior permite ahorros económicos en los costos de operación y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) durante toda la vida útil del edificio.

<sup>12</sup> Debido a las cargas del viento las especificaciones del vidrio deberían de ser como mínimo Claro monolítico 12mm.



## 3.2 Costos de Operación

Tabla 3. Costos de operación anual por sistema de vidrio.

| Tipo de Vidrio | Producto                        | Espesor (mm) | Costo de Operación Anual Estimado (Millones MXN) | Ahorro Estimado en Costo de Operación Anual (Millones MXN) | Ahorro en Costos de Operación en Vida Útil del Proyecto (Millones MXN) |
|----------------|---------------------------------|--------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Monolítico     | Claro                           | 12           | \$ 40.94                                         | \$ 0.00                                                    | \$ 0.00                                                                |
| Doble          | Claro + Claro                   | 25           | \$ 35.47                                         | \$ 5.47                                                    | \$219.00                                                               |
| Doble          | Filtrosol® + Claro              | 25           | \$ 32.85                                         | \$ 8.09                                                    | \$323.79                                                               |
| Doble          | Solarban® 60 Claro + Claro      | 25           | \$ 30.61                                         | \$ 10.33                                                   | \$413.17                                                               |
| Doble          | Solarban® R100 Optiblu® + Claro | 25           | \$ 28.44                                         | \$ 12.50                                                   | \$500.00                                                               |

La Tabla 3 muestra como los costos de operación anuales están directamente relacionados con las propiedades térmicas (Valor U y SHGC) del sistema de vidrio, en donde principalmente el bajo valor de ganancia de calor (SHGC) de Solarban® R100 Optiblu® se traduce en grandes ahorros.

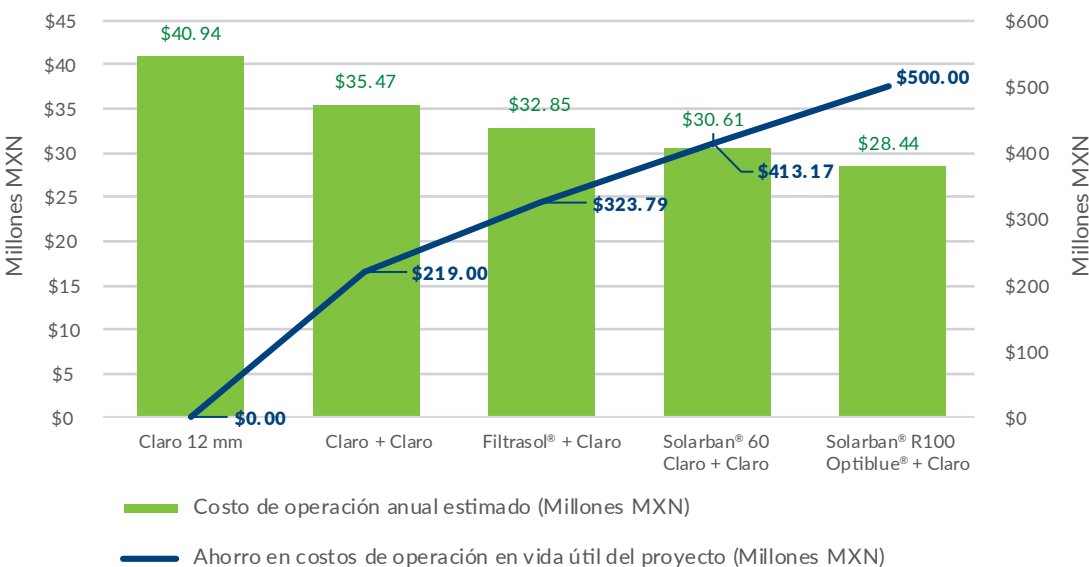
De igual manera podemos observar que sin Solarban® R100 Optiblu®, el operador del edificio pudo perder más de

 **12.5 Millones MXN** anuales que se hubieran tenido que desembol-

sar si se instalaba un sistema de vidrio tradicional (**Claro monolítico 12mm**) en sus costos de operación.

Como se muestra en la Tabla 4, el retorno de inversión (ROI) de Solarban® R100 Optiblu® es **inmediato**, adicional a todos los ahorros de operación que se generan como ganancia directa para el operador. De esta manera se logra un **ahorro de más de**

**500 Millones MXN**  en el tiempo de vida útil del edificio (40 años).



Gráfica 2. Costos de operación anual por sistema de vidrio.



Tabla 4. Retorno de Inversión Inicial (ROI).

| Tipo de Vidrio | Producto                         | Espesor (mm) | Costo Inversión Inicial Total del Sistema de Vidrio y HVAC (Millones MXN) <sup>13</sup> | Ahorro en Costo Inicial: Sistema de Vidrio y HVAC (Millones MXN) | Ahorro Anual en Costos de Operación (Millones MXN) |
|----------------|----------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Monolítico     | Claro                            | 12           | \$ 216.35                                                                               | \$0.00                                                           | N.A.                                               |
| Doble          | Claro + Claro                    | 25           | \$ 216.96                                                                               | -\$0.61                                                          | \$ 5.48                                            |
| Doble          | Filtrosol® + Claro               | 25           | \$ 200.44                                                                               | \$ 15.91                                                         | \$ 8.09                                            |
| Doble          | Solarban® 60 Claro + Claro       | 25           | \$ 207.11                                                                               | \$ 9.24                                                          | \$ 10.33                                           |
| Doble          | Solarban® R100 Optiblue® + Claro | 25           | \$ 209.03                                                                               | \$ 7.32                                                          | \$ 12.50                                           |

Como se muestra en la *Tabla 4* y la *Gráfica 2* el sistema de vidrio **Solarban® R100 Optiblue®**, tiene un **ROI de forma inmediata**, al obtener ahorros económicos desde la inversión inicial (3.4%) y posteriormente en los costos de operación anual (30.5%) **en comparación** contra el vidrio **Claro 12mm**.

Además, disminuye de manera importante los impactos ambientales a lo largo de la vida útil del proyecto, como se podrá visualizar más adelante en la sección de “*Reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente*”.

<sup>13</sup> La reestimación de los costos iniciales tanto para los sistemas de vidrio como para el sistema HVAC se calcularon con costos actuales 2020/2021.

## 4. Nivel de Confort para Ocupantes

En esta sección entenderemos porque entre mejor sea la selección de nuestro vidrio según el clima donde se encuentre ubicado nuestro proyecto, y en acuerdo con las necesidades particulares del edificio, menos será nuestro consumo energético.

Existe una relación directa entre los siguientes tres elementos: las cargas térmicas que se ten-

gan, el nivel deseado de confort interior para los usuarios y la capacidad necesaria de los sistemas de aire acondicionado.

Adicionalmente, analizaremos el control de deslumbramiento que puede ofrecer **Solarban® R100 Optiblue®**, que impacta de manera directa en el nivel de confort lumínico de los usuarios del edificio.

### Cargas Térmicas

#### ¿Qué son?

Las cargas térmicas son las ganancias o pérdidas de energía (calor) de un espacio, y son generadas principalmente por la **envolvente**, como podemos ver representada en la Imagen 5. Sin embargo, otros aspectos de la edificación también generan calor, como la iluminación artificial, los electrodomésticos y aparatos electrónicos, así como la cantidad de personas y las actividades que éstas realicen dentro del espacio.



Imagen 5. Representación visual de las cargas térmicas de un espacio.

## ¿Qué tiene que ver el sistema de HVAC y el consumo de energía del edificio?

Como se mencionó en la sección anterior, las cargas térmicas determinan el dimensionamiento de los sistemas calefacción, aire acondicionado y ventilación (HVAC). Es decir, entre más calor absorba el edificio, se requerirán más toneladas de refrigeración para mantener una temperatura confortable al interior. Como resultado, la capacidad de estos equipos de HVAC definirán el consumo energético de este sistema durante la operación del edificio, que puede ser como mínimo los próximos 40 años de vida útil del inmueble.

## ¿Qué rol juega el vidrio para reducir las cargas térmicas?

La Imagen 6, muestra las cargas térmicas de un nivel tipo. En este caso se toma el piso 60 en Torre KOI, donde se observa que el sistema vidriado juega un papel trascendental.

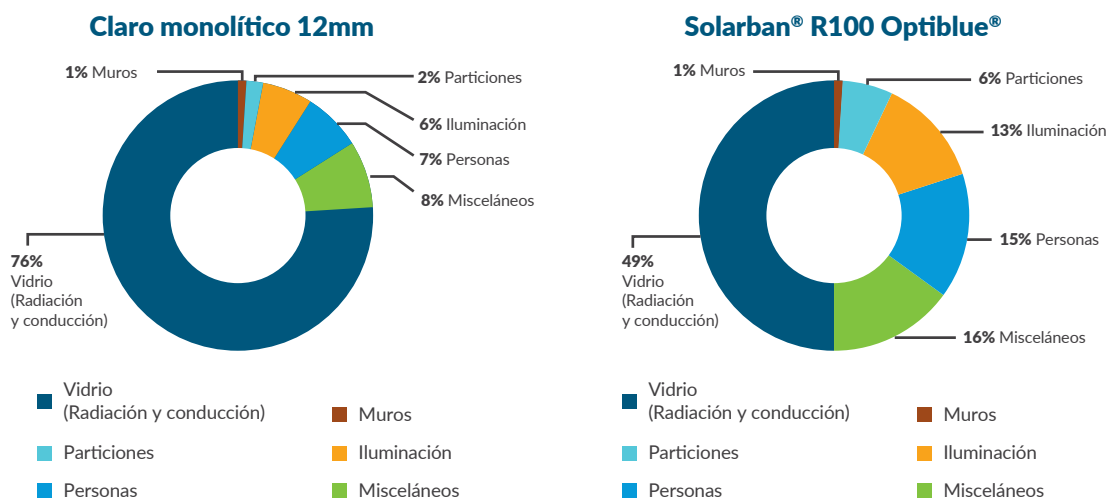


Imagen 6. Distribución de cargas térmicas en Nivel 60 (Torre KOI) con vidrio Claro monolítico 12mm vs Solarban® R100 Optiblu®.

Nuestra línea base, el sistema de vidrio Claro monolítico de 12mm, muestra que el 76% de la carga térmica total del piso ingresa a través de la fachada de vidrio. Por otro lado, en el caso del **Solarban® R100 Optiblu®**, sólo un 49% de la ganancia térmica ingresa a través del vidrio. **Es decir, se logra una reducción de 27 puntos porcentuales en la ganancia solar gracias a la selección de un vidrio low-e.**

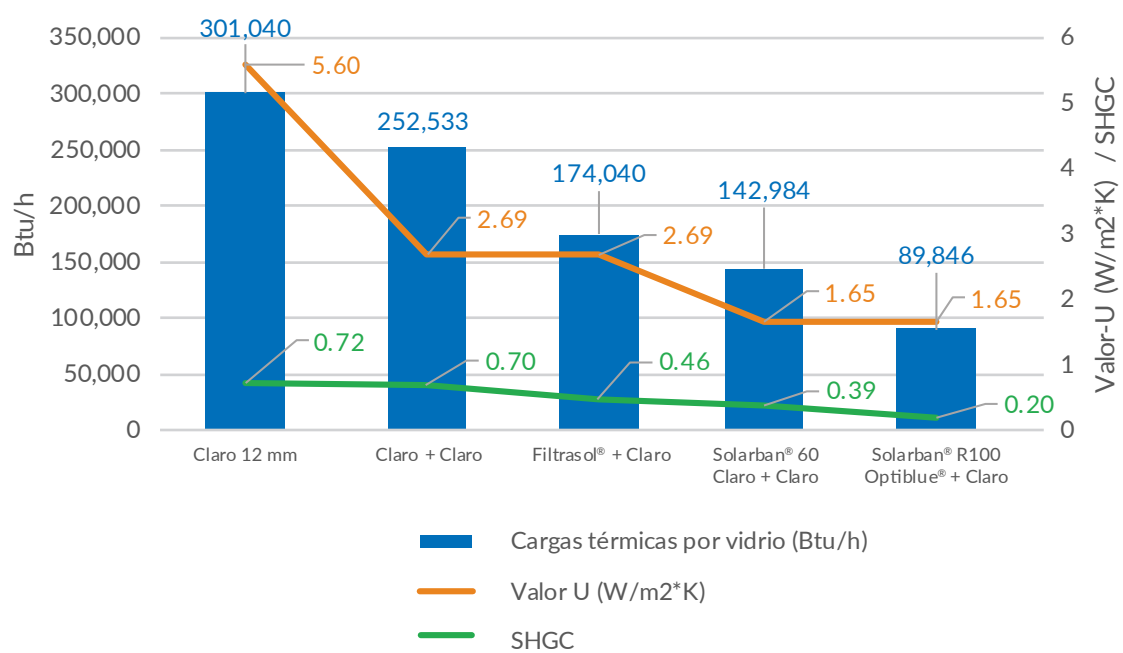


Como podemos observar, seleccionar un sistema de vidrio de alta eficiencia térmica tiene consecuencias importantes en la ganancia de calor del edificio. En la *Tabla 5* podemos observar la comparativa de los cinco sistemas vidriados, donde muestra la cantidad de calor que ingresa al edificio por medio de la conducción y radiación.

Tabla 5. Resultados de cargas térmicas en función de las propiedades térmicas del sistema de vidrio en un nivel tipo (Nivel 60).

| Tipo de Vidrio | Producto                         | Espesor (mm) | Propiedades Térmicas          |      | Cargas Térmicas    |                   |                 | Porcentaje de disminución en cargas térmicas <sup>14</sup> |
|----------------|----------------------------------|--------------|-------------------------------|------|--------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------------------------------|
|                |                                  |              | Valor U (W/m <sup>2</sup> *K) | SHGC | Conducción (Btu/h) | Radiación (Btu/h) | Totales (Btu/h) |                                                            |
| Monolítico     | Claro                            | 12           | 5.60                          | 0.72 | 74,486             | 226,554           | 301,040         | 0%                                                         |
| Doble          | Claro + Claro                    | 25           | 2.69                          | 0.70 | 41,090             | 211,443           | 252,533         | 16%                                                        |
| Doble          | Filtrosol® + Claro               | 25           | 2.69                          | 0.46 | 41,090             | 132,951           | 174,040         | 42%                                                        |
| Doble          | Solarban® 60 Claro + Claro       | 25           | 1.65                          | 0.39 | 29,117             | 113,867           | 142,984         | 53%                                                        |
| Doble          | Solarban® R100 Optiblue® + Claro | 25           | 1.65                          | 0.20 | 29,117             | 60,729            | 89,846          | 70%                                                        |

Podemos concluir que nuestro vidrio **Solarban® R100 Optiblue®** ayuda a reducir hasta un **70% la entrada de calor por las ventanas**, equivalente aproximadamente a un 28% de la capacidad necesaria de sistema de aire acondicionado – ver *Gráfica 3*. Lo anterior se traduce en un **ahorro energético (monetario) anual equivalente a 31% en comparación con el vidrio Claro 12 mm** (ver *Tabla 3*).



Gráfica 3. Cargas térmicas por vidrio en función de sus propiedades térmicas

<sup>14</sup> Este porcentaje sólo incluye las cargas térmicas del vidrio (conducción y radiación), esto debido a que las cargas térmicas por techo, muro e internas (iluminación, misceláneos y personas) son iguales en los cinco escenarios analizados. Debemos recordar que las toneladas de refrigeración se calculan con todas las cargas internas y externas.

Fachada Sur y Oeste

Fachada Norte y Este

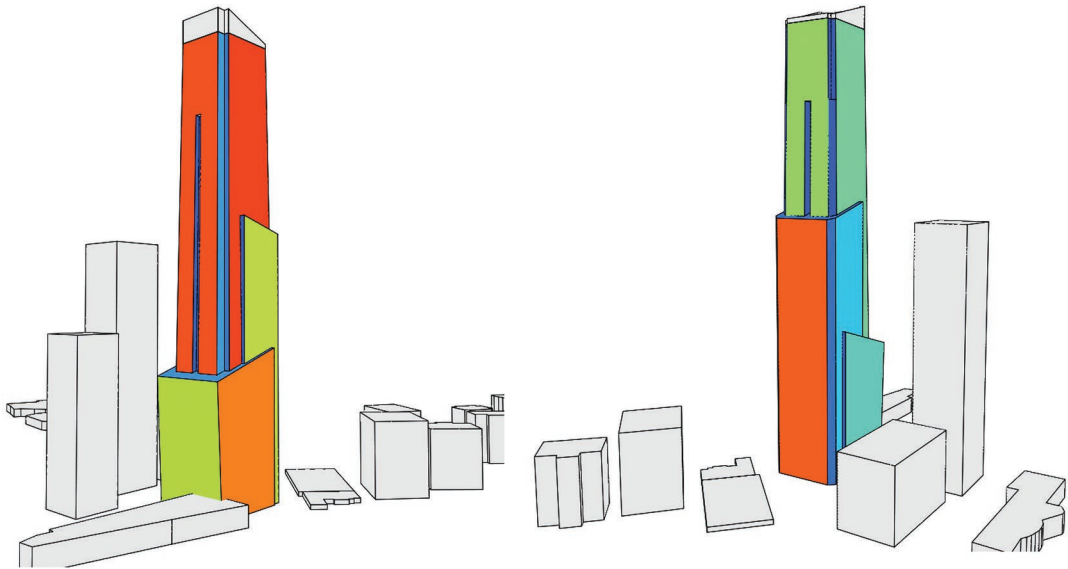
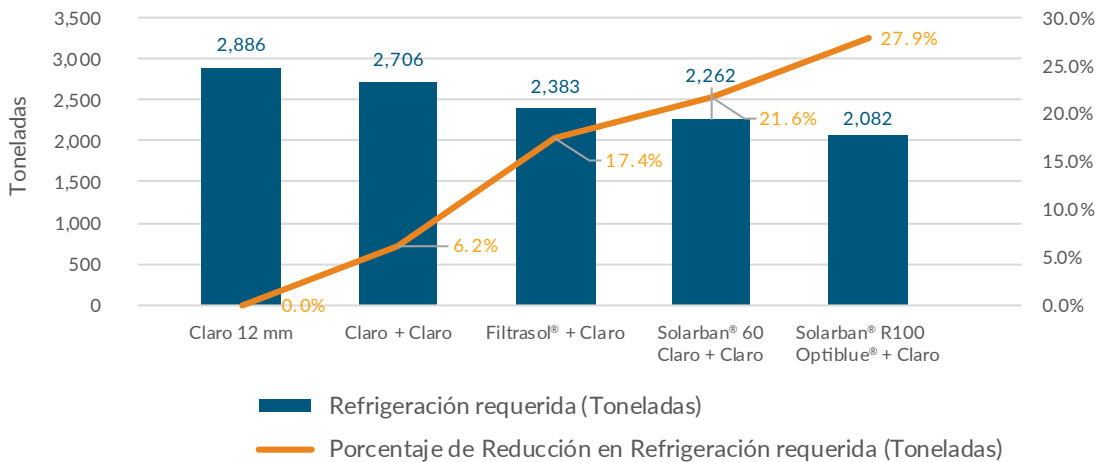


Imagen 7. Incidencia solar (calor) sobre fachadas de Torre KOI



Gráfica 4. Refrigeración requerida (Toneladas) por sistema de vidrio para brindar confort a los usuarios del edificio, basado en ASHRAE 55.

La Gráfica 4 demuestra que las toneladas de refrigeración que se requieren para el edificio están directamente relacionadas con las características térmicas del vidrio. Entre más bajo sea su Valor U y SHGC, más alto será el ahorro. Torre KOI, al instalar **Solarban® R100 Optiblue®**, logró reducir

**804.2 toneladas de refrigeración,**

lo que representa un **ahorro de más de**

**48 Millones<sup>15</sup> MXN**

**en sistema de aire acondicionado,** logrando un enorme ahorro al costo de inversión inicial del proyecto.

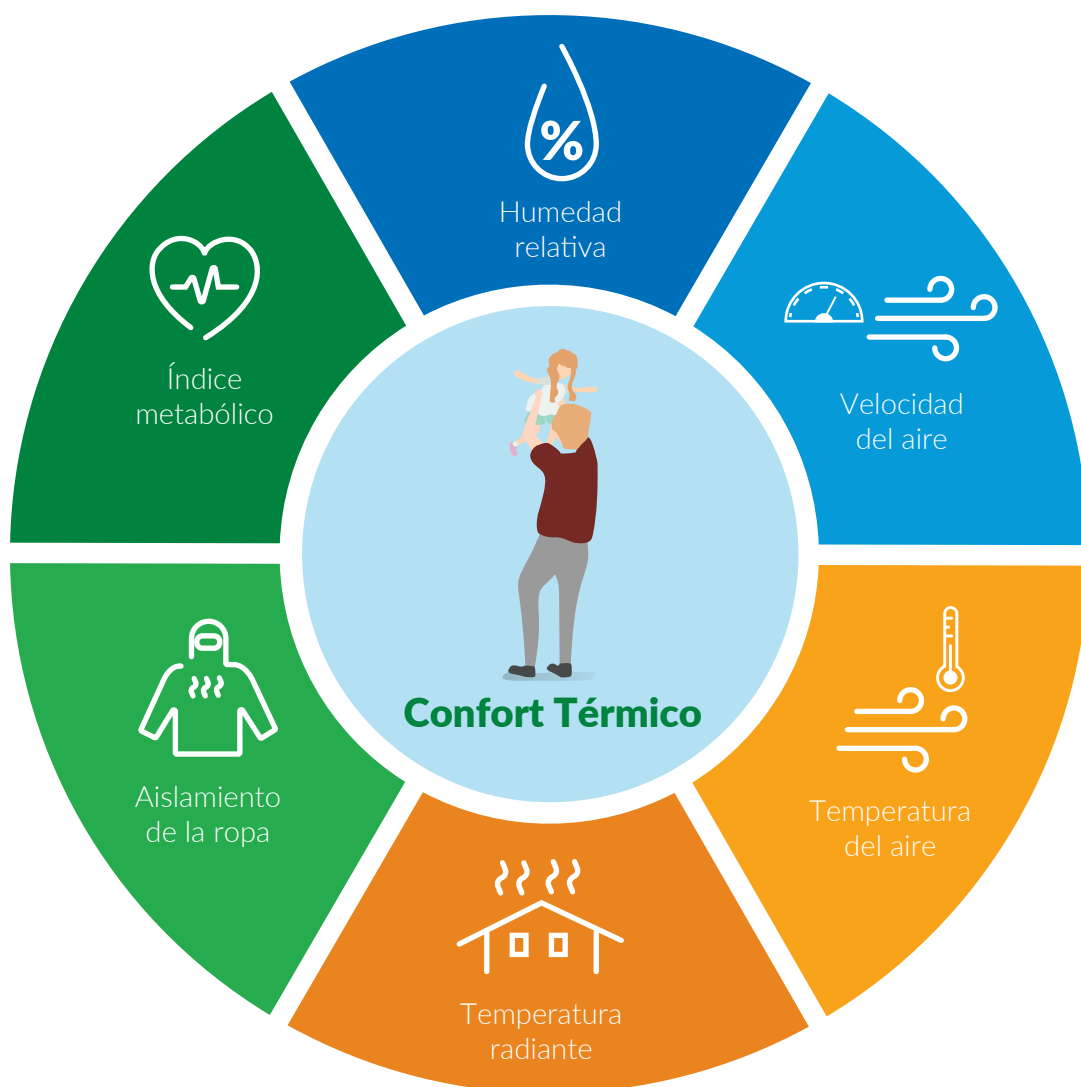
<sup>15</sup> Se consideró un costo estimado de \$60,476 MXN por tonelada de refrigeración instalada. Este costo lo proporcionó el contratista que realizó la instalación del sistema de HVAC del caso de éxito Torre KOI.

## 4.1 Confort Térmico: Control de Ganancias de Calor

Se ha comprobado que las personas que se encuentran dentro de un espacio confortable térmicamente **incrementan su productividad entre un 9-11%**. Esto se traduce en grandes beneficios económicos indirectos para las empresas, así como en ganancias de salud y bienestar para los ocupantes.

De acuerdo con el estándar **ASHRAE 55<sup>16</sup>**, el confort térmico se refiere al estado mental en el que una persona puede expresar satisfacción con su entorno térmico.

Existen seis componentes principales que lo definen:



<sup>16</sup> ANSI/ASHRAE Standard 55-2007: Estándar de Condiciones de Ambiente Térmico para Ocupación Humana, el cual es utilizado como referencia para la certificación LEED.

En el presente caso de estudio evaluamos el porcentaje de horas que los espacios se encuentran en una temperatura confortable para sus usuarios sin la necesidad de utilizar equipos de aire acondicionado, comparando los cinco diferentes sistemas de vidrio.

El confort térmico de un espacio está relacionado directamente a las características del **Valor U** y el **SHGC** del vidrio. Ésto sobre todo es muy relevante en zonas climáticas cálidas, como es el caso de la Zona Metropolitana de **Monterrey**, donde se ubica el caso de estudio.

Tabla 6. Confort Térmico

| Tipo de Vidrio | Producto                         | Espesor (mm) | Valor U (W/m <sup>2</sup> *K) | SHGC | Porcentaje de horas en confort térmico | Cargas térmicas por envoltante (BTU/h) |
|----------------|----------------------------------|--------------|-------------------------------|------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Monolítico     | Claro                            | 12           | 5.60                          | 0.72 | 74%                                    | 338,571                                |
| Doble          | Claro + Claro                    | 25           | 2.69                          | 0.70 | 78%                                    | 254,721                                |
| Doble          | Filtrazol® + Claro               | 25           | 2.66                          | 0.46 | 81%                                    | 176,228                                |
| Doble          | Solarban® 60 Claro + Claro       | 25           | 1.65                          | 0.39 | 86%                                    | 145,172                                |
| Doble          | Solarban® R100 Optiblue® + Claro | 25           | 1.65                          | 0.20 | 90%                                    | 92,034                                 |

Como se puede observar en la *Tabla 6*, el vidrio **Solarban® R100 Optiblue®** ofrece **15.7% más horas de confort térmico** a los ocupantes del edificio, en comparación con nuestra línea base, el vidrio Claro monolítico de 12mm. Ésto demuestra que mientras más altos sean los valores de SHGC y Valor U, menor será el porcentaje de horas en el que los ocupantes se encuentran en confort térmico sin el apoyo de sistemas de aire acondicionado.

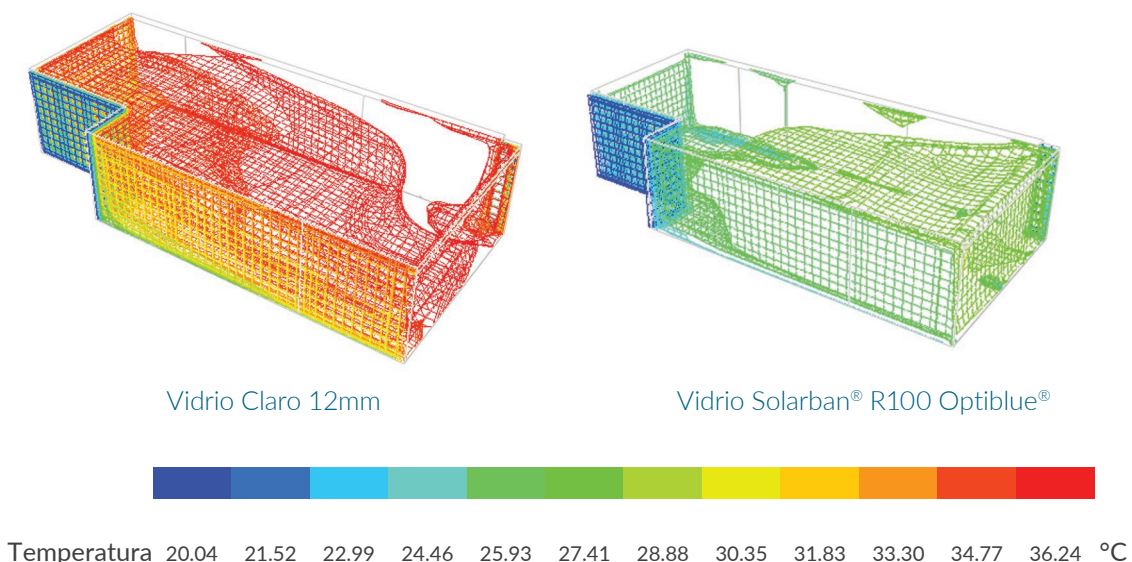


Imagen 8. Temperaturas interiores de un espacio en función del sistema de vidrio

En la *Imagen 8* podemos observar el comportamiento de temperaturas en un espacio similar con dos sistemas diferentes de vidrio: Claro monolítico 12mm y **Solarban® R100 Optiblue®**. A la derecha, podemos observar una **disminución de temperatura de 4°C**, lo que se traduce en un **menor consumo de energía para acondicionar los espacios** y por lo tanto en una **reducción de los costos de operación del edificio**.



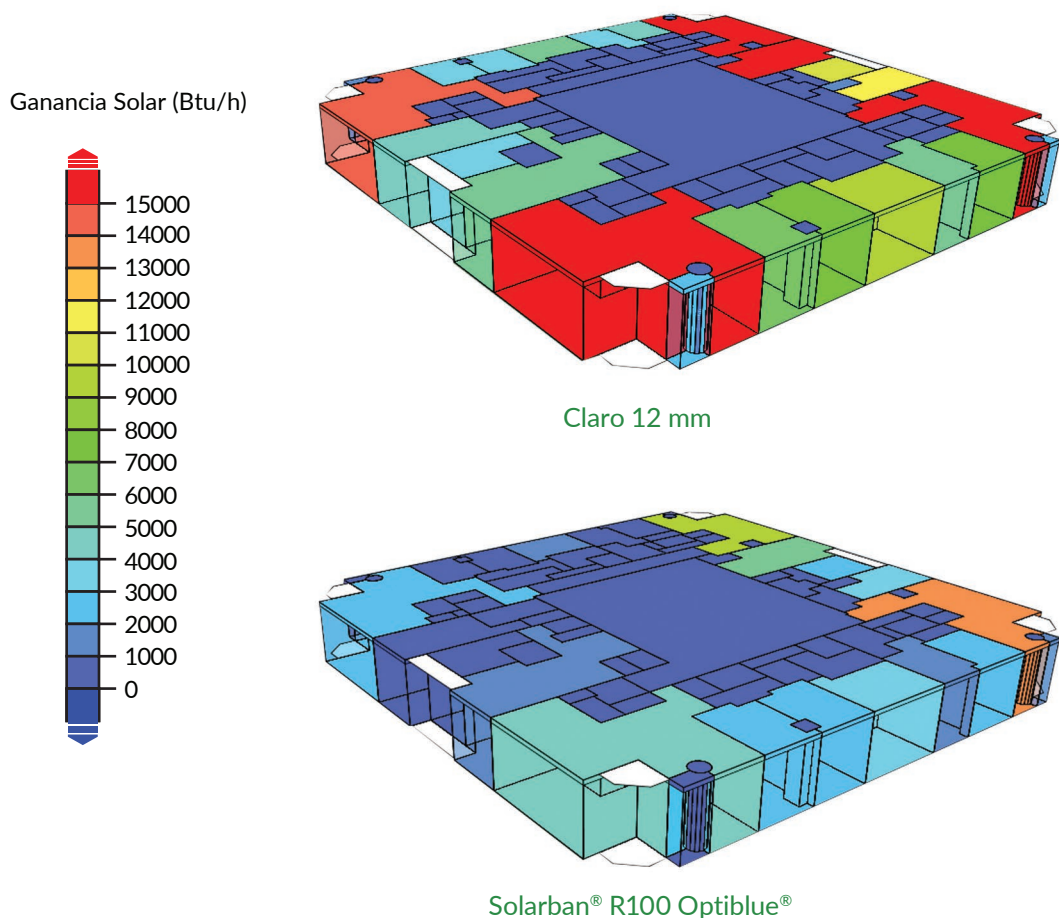


Imagen 9. Ganancia solar por sistema de vidrio (nivel 60).

La Imagen 9 muestra la fachada noreste del Nivel 60 del edificio, con una incidencia solar (ganancia de calor<sup>17</sup>) a las 9:30 a.m. el 21 de marzo<sup>18</sup>. Los colores indican las ganancias de calor de espacios: entre más rojo se muestre el color, mayor sería la ganancia de calor.

En estos resultados es importante notar que un valor de SHGC bajo, como el que tienen los vidrios Solarban® 60 y Solarban® R100 Optiblue®, ayuda a controlar las ganancias solares hacia el interior del edificio. El uso de vidrios low-e como Solarban® aumentan el confort térmico de los usuarios del edificio, a la vez que disminuyen el costo de inversión inicial al reducir la capacidad de los equipos de HVAC y ahorrando en costos de operación, al disminuir el gasto eléctrico mensual.

<sup>17</sup> La ganancia solar es la radiación (calor) solar absorbida por los vidrios y transferida a los espacios. Este valor se ve afectado por las condiciones externas y por las propiedades del vidrio instalado, y se puede expresar en Btu por hora.

<sup>18</sup> Es el equinoccio de primavera y el sol se encuentra sobre la línea Ecuador, se usó todo este día como punto de referencia para el estudio.

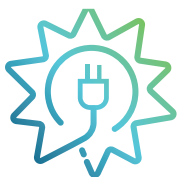
## 4.2 Confort Lumínico: Control de Deslumbramiento

Los espacios naturalmente iluminados tienen beneficios directos en la salud y bienestar de los ocupantes, mejorando el funcionamiento del organismo, incrementado su productividad<sup>19</sup>, y permitiendo la conexión de los habitantes con el exterior, reforzando sus **ritmos circadianos**.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ciencias Médicas Generales (NIGMS<sup>20</sup>, por sus siglas en inglés) el ritmo circadiano se compone por los cambios físicos, mentales y conductuales que siguen un ciclo de 24 horas. Estos procesos naturales responden principalmente a la luz y la oscuridad e **influyen en la calidad de sueño y en los procesos fisicoquímicos del cuerpo que son necesarios para la salud**.

### Luz Natural

La radiación solar tiene dos propiedades importantes:



**Energía térmica (calor):** Es la cantidad de energía que se obtiene de la radiación solar y la unidad de medida más común es Btu/h.



**Luz:** Es la cantidad de iluminación que se obtiene del sol, su unidad de medida es el Lux.

### ¿Sabías que?

Las personas que tienen acceso a luz natural pueden dormir en promedio **46 minutos más** cada noche, mejorando su salud e incrementando su bienestar.



Es importante para nuestra salud obtener iluminación de forma natural en los espacios interiores, sin embargo, debemos tener presente otros factores durante la selección de vidrio como lo son el desempeño térmico y el deslumbramiento en los espacios para asegurar el confort lumínico.

<sup>19</sup> *Productividad de Ocupantes y Calidad del Ambiente Interior: Caso de estudio de Sistema de Evaluación de Sostenibilidad Global (GSAS).*

<sup>20</sup> *NIGMS: National Institute of General Medical Sciences (Instituto Nacional de Ciencias Médicas Generales)*

El **deslumbramiento** puede causar un efecto no deseado en los usuarios del edificio. Este término se refiere al brillo que puede llegar a presentarse cuando la luz incide directamente en una superficie y es molesto a la vista por exceso de luz. La propiedad óptica del vidrio que está relacionado a este fenómeno es el porcentaje de Transmisión de Luz Visible (VLT), donde un valor menor de éste reducirá la posibilidad de presentar deslumbramiento en los espacios.

De acuerdo con la guía de **LEED BD+C v4**, se considera que a partir de niveles de iluminación

iguales o mayores a 1,000 Lux se tiene una alta probabilidad de presentar deslumbramiento, por lo que se recomienda reducir las horas del año donde este nivel se sobrepase.

Para comparar el comportamiento de los vidrios en cuanto al control de deslumbramiento se realizó un análisis del nivel 17. Este análisis muestra el porcentaje de áreas regularmente ocupadas (espacio donde una persona o más pasan al menos una hora al día) con deslumbramiento.





Tabla 7. Porcentaje de área con deslumbramiento en función del VLT.

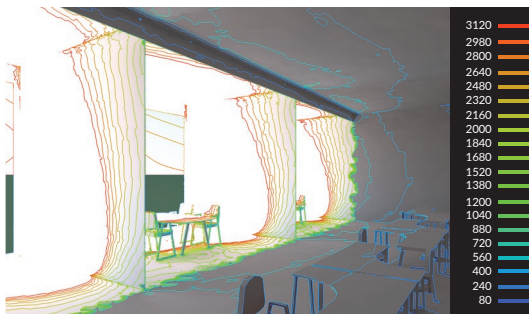
| Tipo de Vidrio | Producto                         | Espesor (mm) | VLT | Área con deslumbramiento (%) |
|----------------|----------------------------------|--------------|-----|------------------------------|
| Monolítico     | Claro                            | 12           | 83% | 38%                          |
| Doble          | Claro + Claro                    | 25           | 78% | 37%                          |
| Doble          | Filtrosol® + Claro               | 25           | 40% | 31%                          |
| Doble          | Solarban® 60 Claro + Claro       | 25           | 70% | 33%                          |
| Doble          | Solarban® R100 Optiblue® + Claro | 25           | 30% | 25%                          |

La Tabla 7 muestra como los sistemas de vidrio con valores bajos de **VLT** presentan menor porcentaje de área con deslumbramiento, lo que equivale a espacios con mayor confort lumínico para los usuarios.

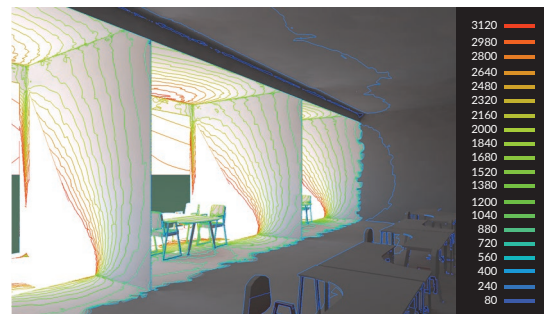
**Solarban® R100 Optiblue®** es el vidrio que provee mejor desempeño en el control de brillo. Como se puede observar en la Imagen 10, el vidrio **Solarban® R100 Optiblue®** es la mejor opción para reducir el deslumbramiento al interior del edificio, lo que en algunos casos puede permitir evitar el uso de persianas interiores, generando un ahorro de materiales, una fachada más homogénea desde el exterior y un mayor aprovechamiento de las vistas hacia el exterior.



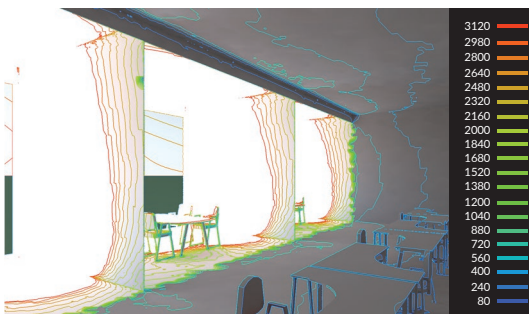
Solarban® R100 Optiblue® + Claro VLT= 30%



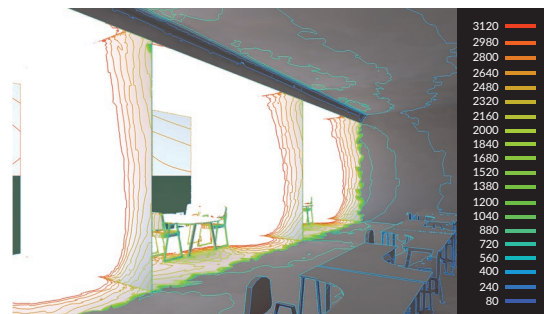
Solarban® 60 + Claro VLT= 70%



Filtrosol® + Claro VLT= 40%



Claro + Claro VLT= 78%



Claro VLT= 83%

Imagen 10. Vista en perspectiva con niveles de iluminación de diferentes sistemas de vidrio

# 5. ¿Cuánta Energía Consume una Ciudad Vertical de Vidrio Arquitectónico?

## Características de los consumos

El consumo energético total de un inmueble se compone de los consumos de electricidad y/o combustibles de cada sistema propio del edificio, en donde los consumos generales más comunes son:



Para el caso de éxito Torre KOI, el consumo energético con vidrio **Solarban® R100 Optiblue®** versus el vidrio Claro de 12 mm se puede observar en la *Imagen 11*:

## Distribución de Consumo Energético Anual

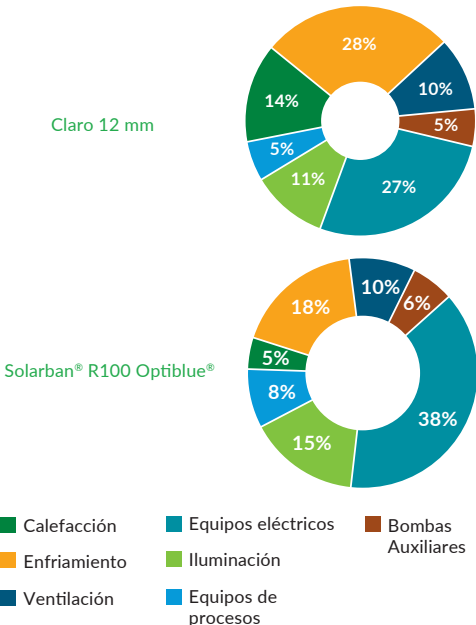


Imagen 11. Distribución de Consumo Energético Anual de Torre KOI

Tabla 8. Distribución de consumos de energía anual

| Tipo de uso            | Claro 12 mm                     |                       | Solarban® R100 Optiblue® + Claro |                       |        |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|--------|
|                        | Consumo de energía al año (kWh) | Porcentaje de consumo | Consumo de energía al año (kWh)  | Porcentaje de consumo |        |
| Calefacción            | 1,702,091                       | 14%                   | 388,632                          | 5%                    | } HVAC |
| Enfriamiento           | 3,388,507                       | 28%                   | 1,539,853                        | 18%                   |        |
| Ventilación            | 1,249,737                       | 10%                   | 814,958                          | 10%                   |        |
| Bombas auxiliares      | 630,713                         | 5%                    | 515,301                          | 6%                    |        |
| Equipos de procesos    | 3,258,848                       | 27%                   | 3,258,848                        | 38%                   |        |
| Iluminación            | 1,302,458                       | 11%                   | 1,302,458                        | 15%                   |        |
| Misceláneos eléctricos | 658,373                         | 5%                    | 658,373                          | 8%                    |        |
| Total                  | 12,190,727                      | 100%                  | 8,478,423                        | 100%                  |        |

Como se muestra en la *Tabla 8* el mayor porcentaje del consumo energético, equivalente al 39%<sup>22</sup> por parte de **Solarban® R100 Optiblue®** y el 57% por parte del vidrio Claro 12 mm, corresponde al sistema de aire acondicionado (HVAC). Por lo tanto, la selección correcta del sistema de vidrio es de suma importancia para obtener una envolvente eficiente y reducir los costos de operación del edificio.

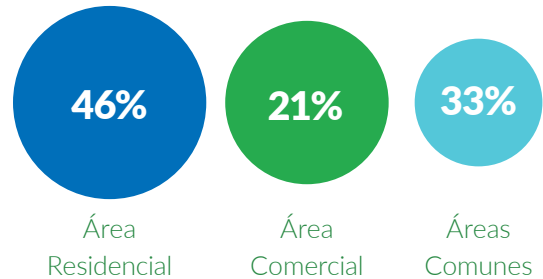
<sup>21</sup> Equipos de procesos en Torre KOI: los elevadores, servicio de agua caliente, bombas hidráulicas y equipos necesarios para desarrollar las funciones de aquellos que habitan estos espacios como computadoras, electrodomésticos, entre otros.

<sup>22</sup> El consumo de HVAC se compone del consumo de Calefacción, Enfriamiento, Ventilación y Bombas auxiliares.



## 5.1 Porcentajes de Consumo por Tipo de Uso

Al utilizar consumos reales de energía eléctrica del edificio, se realizaron estimaciones para calcular el consumo de energía anual del edificio para cada tipo de sistema de vidrio con ayuda del software **Trace 700**. En este estudio el consumo energético anual, está compuesto por la suma de los tres tipos de usos del edificio:

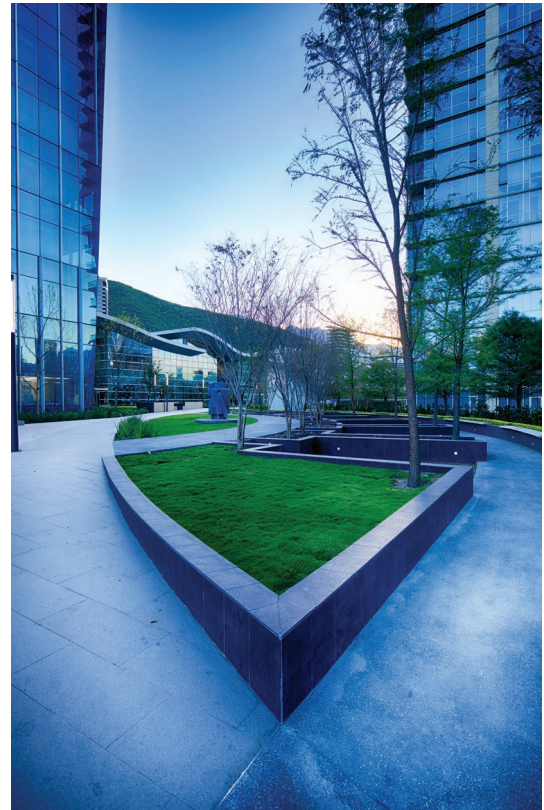


## 5.2 Reducción de Emisiones de CO<sub>2</sub> al Ambiente

La creciente crisis ambiental ha hecho que la reducción de emisiones sean consideradas en la toma de decisiones, con el objetivo de realizar desarrollos que reduzcan o eliminen los impactos negativos al ambiente.

La selección del vidrio en la fachada de un edificio tiene el potencial de generar un gran aporte ambiental, como lo fue en este caso de éxito al utilizar **Solarban® R100 Optiblu®** en Torre KOI.

No olvidemos que los edificios son bienes inmuebles con una larga vida útil, por lo que presentan el “*Efecto Lock-in*”<sup>23</sup>, el cual se refiere a que las decisiones que tomemos en el diseño de nuestro edificio tendrán repercusiones a largo plazo y durante todo el tiempo que sean utilizados. Es decir, si desde un inicio consideramos la selección de un sistema de vidrio eficiente, estaremos generando un efecto positivo al ambiente durante toda su vida útil.



<sup>23</sup> Definición de “Lock-In” y de la construcción *Passivhaus*, en el *Green Building Advisor*, por Matthew Omalia

En este sentido, Solarban® R100 Optiblue® brinda un ahorro energético aproximado de **3,712,302 kWh**  **(12.5 Millones MXN)** al año.

Tomando como referencia *Factor de Emisión del Sistema Eléctrico Nacional del 2021*, el cual considera que para producir un MWh (1,000 kWh) se emiten 0.494 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e), se logró:



La reducción de  
**1,833 tCO<sub>2</sub>e**  
de emisiones al año

Equivalente a **4,102 árboles** necesarios para absorber esta cantidad de contaminantes.



Si se considera esta reducción de emisiones a lo largo de la vida útil del proyecto (40 años) se estima que se reducirían **73,355 tCO<sub>2</sub>e**

Lo que sería equivalente a retirar de circulación  
**36,979 vehículos**



## 6. Conclusiones

El Consejo Mundial de Edificación Sustentable (World GBC)<sup>24</sup> se sumó a los esfuerzos de las Naciones Unidas apoyando los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Nueve de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible<sup>25</sup> son impactados directamente por los edificios, por lo cual, deben de ser promovidos por todas las organizaciones que forman parte del sector de la construcción.

Se estima que cerca del 50% de las reducciones de CO<sub>2</sub>, podrían obtenerse gracias a la Eficiencia Energética<sup>26</sup>, donde el **sector edificación** es el más **costo-efectivo**; es decir, con inversiones más económicas se pueden obtener **grandes** ahorros energéticos.

El presente estudio demuestra de forma cuantitativa y realista los impactos positivos que pueden obtenerse al tener una selección adecuada de vidrio:

### Beneficios Económicos:



• **Costo de Inversión Inicial:** En el supuesto de haber elegido un vidrio Claro de 12 mm en lugar de **Solarban® R100 Optiblue®**, el costo de inversión inicial del proyecto se habría incrementado en más de 7 millones de pesos. Lo anterior debido a la necesidad de una mayor costo de inversión en equipos de HVAC para lograr confort al interior.



• **Costos de Operación:** En el supuesto de haber elegido un vidrio Claro de 12mm en lugar de **Solarban® R100 Optiblue®**, el costo de operación anual se elevaría en más de 12.5 millones de pesos al año, debido a que se necesitarían equipos de aire acondicionado de mayor capacidad y se usarían por más tiempo. Considerando una vida promedio útil del edificio de 40 años, este vidrio estaría evitando un gasto de más 500 millones de pesos.

En el aspecto económico, podemos concluir que la selección del sistema de vidrio **Solarban® R100 Optiblue®** fue una excelente decisión, brindando un ahorro total de alrededor de **507 millones de pesos** a lo largo de la vida útil del proyecto, en comparación con un vidrio **Claro** de 12mm.

<sup>24</sup> World Green Building Council.

<sup>25</sup> 1. Salud y bienestar, 2. Energía asequible y no contaminante, 3. Trabajo decente y crecimiento económico, 4. Industria, innovación e infraestructura, 5. Ciudades y comunidades sostenibles, 6. Producción y consumo responsable, 7. Acción por el clima, 8. Vida de ecosistemas terrestres y 9. Alianzas para lograr los objetivos.

<sup>26</sup> Fuente: World Resources Institute (WRI).

## Confort de los usuarios:

• **Confort térmico:** El vidrio **Solarban® R100 Optiblu®** brinda 15.7% más de horas en confort térmico a los ocupantes en comparación con el vidrio Claro de 12mm. Esto incrementa la percepción de satisfacción a la vez que reduce las horas necesarias de uso de sistemas mecánicos de enfriamiento.

• **Control de deslumbramiento:** Asimismo, el vidrio **Solarban® R100 Optiblu®**, disminuyó un 13.65% las áreas que presentan deslumbramiento en comparación con el vidrio Claro de 12 mm, lo que brinda a los usuarios un mejor confort en iluminación natural al evitar brillos y destellos indeseados.

## Mitigación de Emisiones:

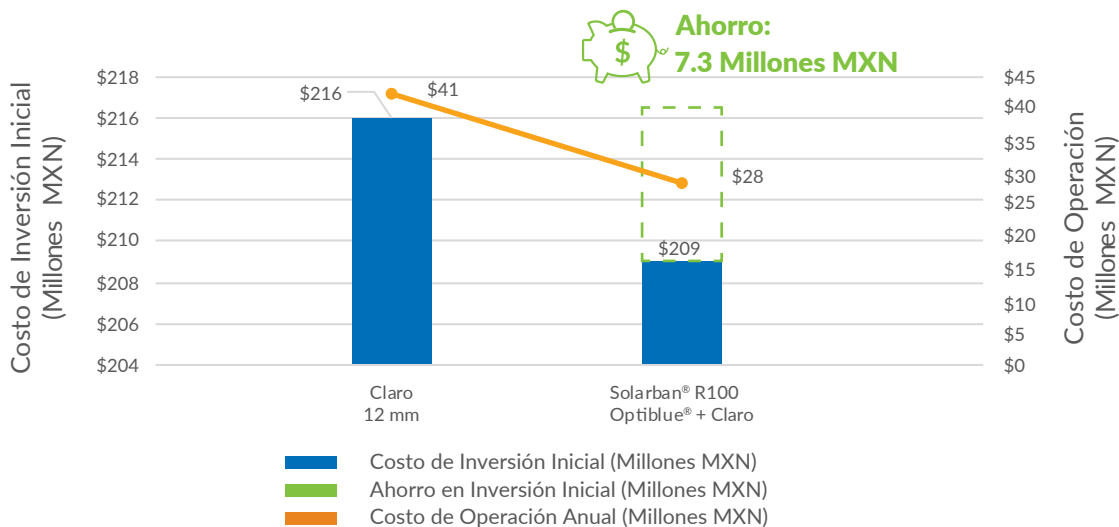
Finalmente, la selección del vidrio **Solarban® R100 Optiblu®** redujo la cantidad de emisiones al ambiente, provenientes de la generación de energía eléctrica, en más de **1,833 tCO<sub>2</sub>e al año**.

Esto se traduce, a lo largo de la vida útil del edificio en una reducción de **73,355 tCO<sub>2</sub>e**, equivalente a retirar de circulación **36,979 vehículos**.

En el presente caso de estudio probamos que el vidrio **Solarban® R100 Optiblu®** es la opción que genera mayor beneficio en los aspectos económicos, sociales (confort de los usuarios) y ambientales.

Tabla 9. Comparativa Solarban® R100 Optiblu® vs Claro monolítico 12mm

| Tipo Vidrio | Producto                        | Espesor (mm) | Costo de Inversión Inicial: Sistema de Vidrio y HVAC (Millones MXN) | Costo de Operación Anual (Millones MXN) | Porcentaje de horas en Confort Térmico | Porcentaje de área con Deslumbramiento | Emisiones al aire (Tons de CO <sub>2</sub> e/año) |
|-------------|---------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Monolítico  | Claro                           | 12           | \$216.35                                                            | \$ 40.94                                | 74.2%                                  | 38%                                    | 6,022                                             |
| Doble       | Solarban® R100 Optiblu® + Claro | 25           | \$209.03                                                            | \$ 28.44                                | 89.9%                                  | 25%                                    | 4,188                                             |
| Beneficios  |                                 |              | \$7.32                                                              | \$ 12.50                                | 15.7%                                  | 14%                                    | 1,834                                             |







### Porcentaje de Horas con Confort Térmico

74%

Vidrio Claro 12 mm

90%

Solarban® R100  
Optiblue®



### Porcentaje de Área con Deslumbramiento

38%

Vidrio Claro 12 mm

25%

Solarban® R100  
Optiblue®



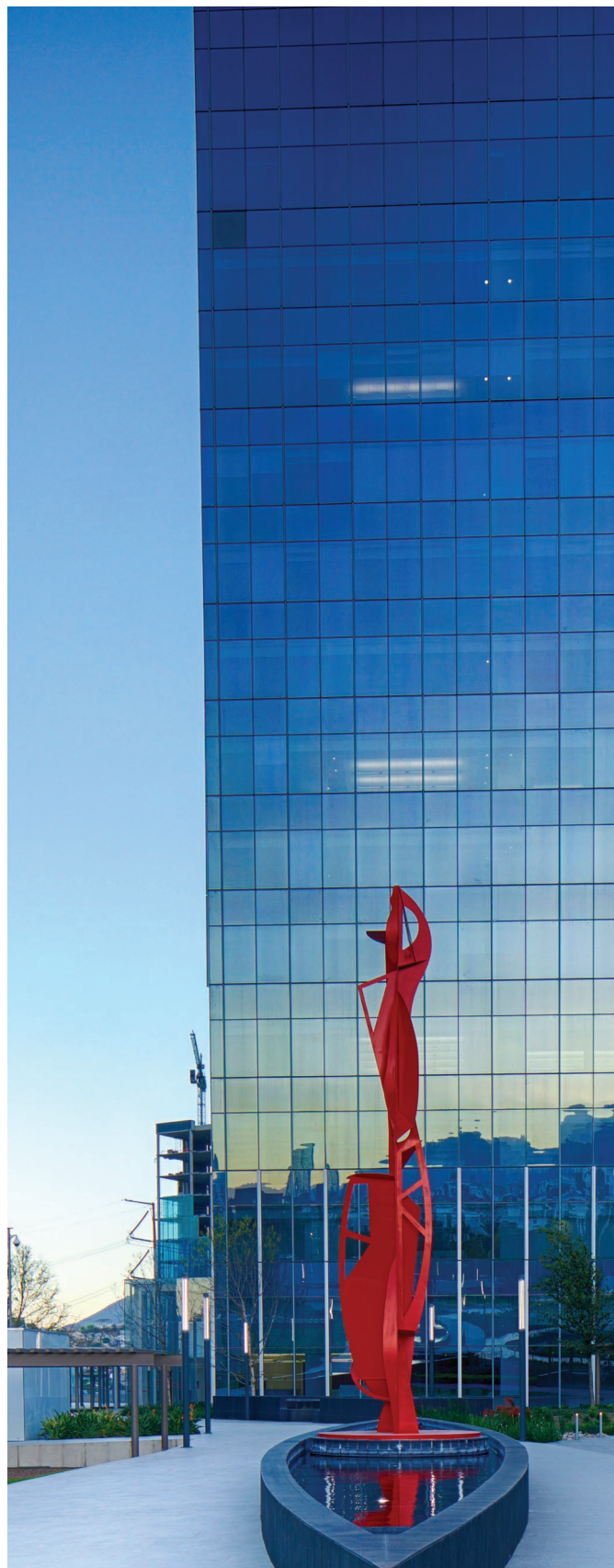
### Emisiones Anuales de CO<sub>2</sub>

6,022 Tons  
de CO<sub>2</sub>

Vidrio Claro 12 mm

4,188 Tons  
de CO<sub>2</sub>

Solarban® R100  
Optiblue®



# Anexo 1:

## Zonas Climáticas en México

El estándar ASHRAE 90.1-2016 reconoce al menos cinco zonas climáticas en México: desde la zona climática 0 hasta la 4. En términos generales, se considera que entre menor es el número de la zona térmica habrá mayor consumo de energía derivado del aire acondicionado y ventilación.

Las zonas térmicas se definen en función de los grados día y de la precipitación pluvial. Los grados días son una medida de cuánto (expresado en grados) y por cuánto tiempo (expresado en días) la temperatura del aire exterior estará por encima (grados día de refrigeración) o por debajo (grados día de calefacción) de una temperatura específica de referencia. En otras palabras, los grados día expresan la necesidad de climatizar el ambiente en una localidad ya sea por enfriamiento o por calefacción. En las localidades con alto número de grados día de refrigeración, los equipos de enfriamiento tendrán un mayor consumo de energía.

Además, la clasificación climática de ASHRAE también incluye una subcategoría del nivel de humedad denotado por las letras **A (húmedo)**, **B (seco)** y **C (marino)**. Típicamente las localidades con mayor humedad relativa tendrán un mayor consumo de enfriamiento debido a la carga térmica latente asociada a la alta humedad.

ASHRAE 90.1-2016 señala ciertas medidas energéticas de acuerdo a la zona térmica de cada localidad. En la *Tabla Anexo 1.1* se pueden apreciar los requerimientos de las propiedades de los sistemas de acristalamiento por zona térmica: conforme ésta sea más templada, el requerimiento de Valor U baja y el valor SHGC crece. La relación de transmisión visible y ganancia global solar permanece igual en todas las zonas térmicas.

*Tabla Anexo 1.1. Requerimientos de las propiedades de los sistemas de acristalamiento por zona térmica*

| Zona<br>térmica | Valor-U<br>(Btu/hft2°F) | SHGC | VLT<br>/SHGC |
|-----------------|-------------------------|------|--------------|
| 0 (A,B)         | 0.50                    | 0.22 | 1.10         |
| 1 (A,B)         | 0.57                    | 0.25 |              |
| 2 (A,B)         | 0.54                    |      |              |
| 3 (A,B,C)       | 0.45                    |      |              |
| 4 (A,B,C)       | 0.38                    | 0.36 |              |

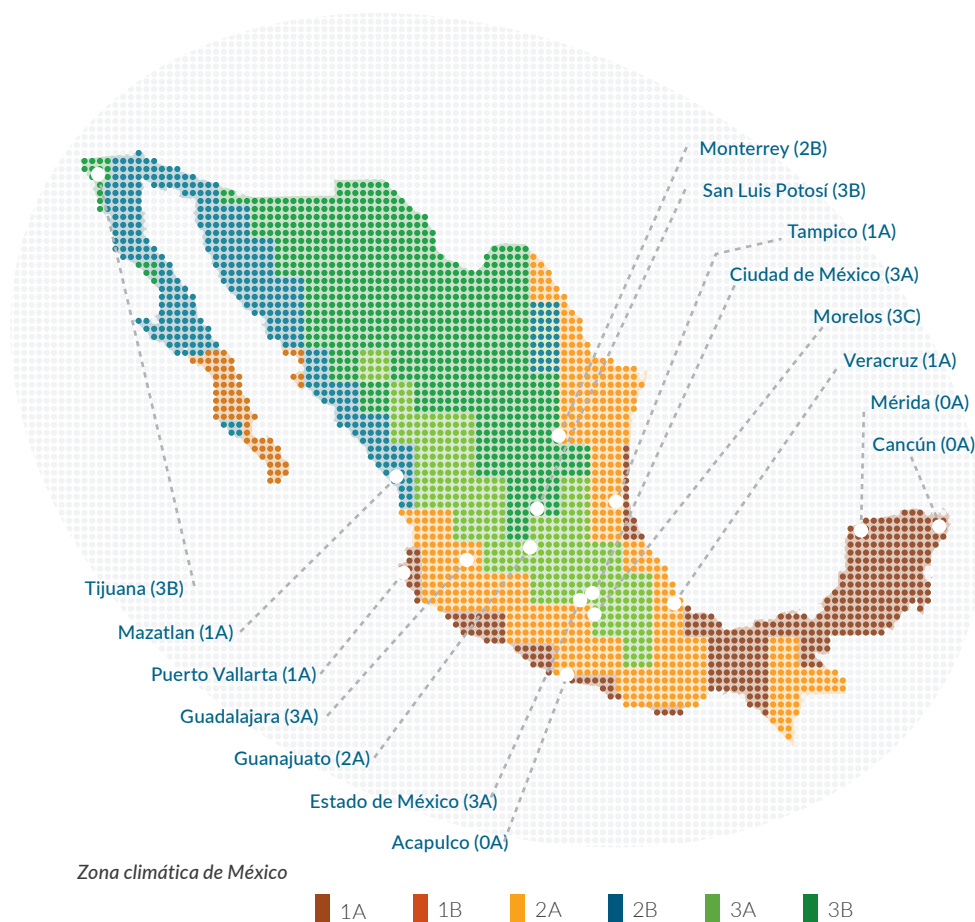
Para fines de este estudio nos centraremos en las propiedades del sistema de acristalamiento para la Zona Metropolitana de **Monterrey** donde se encuentra ubicado nuestro caso de éxito "**Torre KOI**", la cual de acuerdo con ASHRAE 90.1-2016 es considerada zona climática **2B**.

Tabla Anexo 1.2 Propiedades térmicas de los sistemas de vidrio analizados

| Tipo de Vidrio | Producto                         | Espesor (mm) | Valor-U (W/m <sup>2</sup> *K) | SHGC |
|----------------|----------------------------------|--------------|-------------------------------|------|
| Monolítico     | Claro                            | 12           | 5.60                          | 0.72 |
| Doble          | Claro + Claro                    | 25           | 2.69                          | 0.70 |
| Doble          | Filtrosol® + Claro               | 25           | 2.69                          | 0.46 |
| Doble          | Solarban® 60 Claro + Claro       | 25           | 1.65                          | 0.39 |
| Doble          | Solarban® R100 Optiblue® + Claro | 25           | 1.65                          | 0.20 |

Como podemos observar en la Tabla Anexo 1.2, el requerimiento de las propiedades térmicas para el sistema de vidrio en Monterrey (2B), indica que se requiere un Valor U y un SHGC bajo, debido a que es una zona climática cálida. Con base en este requerimiento, podemos destacar que el sistema de vidrio **Solarban® R100 Optiblue®** cumple y mejora los requerimientos que establece **ASHRAE 90.1-2016**.

Imagen Anexo 1.1 Mapa de las Zonas Climáticas de México



## Anexo 2:

# Análisis de Confort Térmico

Para analizar el confort térmico en los espacios, y sus variaciones con los diferentes vidrios, se utilizó el método analítico de la Zona de Confort descrito en el **Estándar ASHRAE 55-2010**. Esta metodología considera la radiación solar directa en los ocupantes y los seis componentes determinantes del confort térmico:



### Índice metabólico

(Calor que genera el cuerpo humano al desempeñar una actividad)



### Humedad relativa



### Velocidad del aire



### Aislamiento de la ropa



### Temperatura radiante



### Temperatura del aire

Con estos parámetros, el modelo establece las funciones que los relacionan, para predecir bajo qué condiciones los ocupantes del edificio se sentirían en confort térmico y cuándo no. Ésto, se categoriza a través de un sistema de votación simulado, denominado PMV, o Predicción de Voto Promedio, en el que se considera en confort una calificación mayor a -0.5 y menor a 0.5.

Con esta metodología, y utilizando el **software IESVE 2021**, se realizó la simulación. De acuerdo con esta metodología, se obtuvieron resultados por espacio y por hora, y se obtuvo un porcentaje de horas al año que los espacios se encuentran en confort térmico.









[/VitroArquitectonico](#)



[/vitro.arquitectonico](#)



[/company/vitro-vidrio-arquitectonico](#)



[/c/VitroArquitectonico](#)

[arquitectonico@vitro.com](mailto:arquitectonico@vitro.com) | [www.vitroarquitectonico.com](http://www.vitroarquitectonico.com) | [www.galeriadeproyectos.com](http://www.galeriadeproyectos.com)