



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura

Instituto de Investigaciones Históricas – Facultad de Estudios Superiores Aragón  
Facultad de Arquitectura

Maestría en Arquitectura – Tecnología

## **Eficiencia energética y control térmico en fachadas de vidrio y películas nanotecnológicas en edificios de oficinas. Caso de estudio: Ciudad de México.**

Tesis que para optar por el grado de Maestro en Arquitectura  
Presenta:

**Arq. Ismael Godoy Huizar**

**Director de tesis:**

Dra. Manuela Azucena Escobedo Izquierdo  
Instituto de Ingeniería

**Comité tutor:**

Mtro. en Arq. Arturo Valeriano Flores – Facultad de Arquitectura  
Mtro. en Arq. Ernesto Ocampo Ruiz – Facultad de Arquitectura  
Dr. Alberto Muciño Vélez – Facultad de Arquitectura  
Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos – Facultad de Arquitectura

**CIUDAD..UNIVERSITARIA.CD.MX.,**

**Noviembre del 2016**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**Eficiencia energética y control térmico en fachadas de vidrio y películas nanotecnológicas en edificios de oficinas.  
Caso de estudio: Ciudad de México.**

Presenta:  
**Arq. Ismael Godoy Huizar**

Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura  
Maestría en Arquitectura - Tecnología

UNAM - 2016 - MÉXICO



Instituto de investigaciones Históricas



Facultad de Arquitectura



Facultad de Estudios Superiores  
Aragón



# *Agradecimientos:*

A dios por haberme acompañado y guiado.

A los profesores de la Maestría en Arquitectura por compartir sus conocimientos y experiencias.

A la Dra. Azucena Escobedo, por haber aceptado dirigir esta tesis, y formar parte importante de este proyecto; agradezco su paciencia y asesoramiento a lo largo de este período.

A los sinodales que me apoyaron con sus observaciones y recomendaciones para esta tesis.

A la UNAM por haberme abierto sus puertas y permitirme estudiar en sus aulas y CONACYT.



# Índice

<b>Índice de Gráficas .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Imágenes.....</b>	<b>viii</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>x</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>1</b>
<b>Abstrac.....</b>	<b>2</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>3</b>
<b>1 Estado del arte. ....</b>	<b>9</b>
1.1 Investigaciones de ahorro de energía en edificios de oficinas. ....	13
<b>2 Las fachadas de vidrio. ....</b>	<b>20</b>
2.1 Muro cortina.....	20
2.2 Fachadas integrales.....	23
2.3 Fachada de doble piel de vidrio .....	25
<b>3 Tipos de vidrio y características.....</b>	<b>27</b>
3.1 El vidrio.....	27
3.2 Vidrio doble con capa metálica en baja emisidad. ....	30
3.3 Vidrio al vacío. ....	32
3.4 Vidrio Vidrios Reflectante. ....	33
3.5 Confort térmico. ....	34
<b>4 Nanotecnología y uso en aislamiento térmico. ....</b>	<b>37</b>
4.1 Nanotecnología y arquitectura.....	38
4.2 Películas nanotecnológicas. ....	39
4.3 Películas de nanocerámicas. ....	40
4.3.1 Propiedades térmicas de película de nanocerámica.....	42
<b>5 Análisis arquitectónico, bioclimático y energético. ....</b>	<b>44</b>
5.1 Descripción del edificio caso de estudio.....	44
5.2 Análisis bioclimático del caso base.....	50
5.2.1 Condiciones de comodidad. ....	52
5.2.2 Temperatura del aire.....	54
5.2.3 Rango de confort.....	56
5.2.4 Radiación solar.....	57
5.2.5 Análisis de gráficas solares con el edificio.....	61
5.2.6 Humedad relativa.....	62
5.2.7 Vientos Dominantes .....	63
5.3 Evaluación del cumplimiento de la NOM-008-ENER-2001.....	64
5.3.1 Cálculo de la NOM-008-ENER-2001.....	64
5.4 Diagnóstico energético del edificio caso de estudio.....	73
5.4.1 Análisis de la facturación anual.....	73
5.4.2 Uso de la energía.....	74



5.4.3 Parámetros energéticos totales e indicador de consumo de energía eléctrica (ICEE).....	77
<b>6 Método: Selección de alternativas y simulación.....</b>	<b>79</b>
6.1 Simulación .....	79
6.1.1 Selección del programa de simulación.....	81
6.1.2 Creación del modelo.....	82
6.2 Selección de alternativas de vidrios.....	88
6.3 Simulaciones de consumos por uso y temperatura en caso base.....	96
<b>7 Análisis e interpretación de resultados. ....</b>	<b>101</b>
7.1 Análisis de consumos energéticos mensuales DEN y simulaciones en Desing Builder caso base.....	101
7.2 Análisis de simulaciones térmicas con alternativas.....	105
7.2.1 Ganancias solares por fachadas de vidrio.....	106
7.2.2 Ganancias solares en elementos de vidrio interior. ....	108
7.3 Resultados de simulación en consumos eléctricos por aire acondicionado en alternativas.....	110
7.4 Cálculo de la capacidad de aire acondicionado con alternativas.....	111
7.5 Ahorro energético y económico.....	113
7.5.1 Ahorro económico.....	115
7.5.2 Sustitución de fachadas. ....	117
7.5.3 Análisis de la NOM-008-ENER-2001 con alternativa. ....	119
<b>Conclusiones. ....</b>	<b>122</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>125</b>
<b>Bibliografía. ....</b>	<b>126</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>130</b>



## Índice de Gráficas

GRÁFICA 1 COMPORTAMIENTO TRANSMITANCIA Y REFLECTANCIA DEL VIDRIO. FUENTE: ZINCI M. (2005).....	31
GRÁFICA 2 CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE UN VIDRIO EMISIVO COMO CAPTACIÓN SOLAR .FUENTE: ZINCI M. (2005) .....	32
GRÁFICA 3 RANGOS DE CONFORT EN DIFERENTES MESES DEL AÑO DE LA ZONA DEL CASO DE ESTUDIO. FUENTE BIOSOL. ....	56
GRÁFICA 4 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-008-ENER-2001 .....	72
GRÁFICA 5 PORCENTAJES ASIGNADOS POR CONSUMOS ELÉCTRICOS EN CADA USO.....	76
GRÁFICA 6 DESGLOSE DEL PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN .....	80
GRÁFICA 7 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VALOR U EN DOBLE VIDRIO CAPA METÁLICA DE BAJA EMISIVIDAD .....	89
GRÁFICA 8 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VALOR SHGC EN DOBLE VIDRIO CAPA METÁLICA DE BAJA EMISIVIDAD .....	89
GRÁFICA 9 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VALOR COEFICIENTE DE SOMBREADO EN DOBLE VIDRIO CAPA METÁLICA DE BAJA EMISIVIDAD .....	90
GRÁFICA 10 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VALOR U EN VIDRIO AL VACÍO.....	91
GRÁFICA 11 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VALOR SHGC DE VIDRIO AL VACÍO. ....	91
GRÁFICA 12 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VALOR COEFICIENTE DE SOMBREADO EN VIDRIO AL VACÍO.....	91
GRÁFICA 13 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VALOR U EN VIDRIOS REFLECTANTES. ....	92
GRÁFICA 14 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VALOR SHGC EN VIDRIOS REFLECTANTES .....	93
GRÁFICA 15 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VALOR COEF. DE SOMBREADO EN VIDRIOS REFLECTANTES. ....	93
GRÁFICA 16 RESULTADOS DE SIMULACIONES EN CONSUMOS ENERGÉTICOS MENSUALES EN CASO BASE. ....	96
GRÁFICA 17 RESULTADOS SE SIMULACIONES EN EL CONSUMOS ENERGÉTICOS DE USOS POR DÍA. ...	97
GRÁFICA 18 RESULTADOS DE SIMULACIONES EN TEMPERATURAS INTERIORES MÁXIMAS MENSUALES DENTRO DEL EDIFICIO EN CASO BASE. ....	98
GRÁFICA 19 COMPARACIÓN DE RESULTADOS EN CONSUMOS ENERGÉTICOS MENSUALES EN DEN Y SIMULADOR DESING BUILDER. ....	102
GRÁFICA 20 RESULTADOS DE SIMULACIONES EN CONSUMOS ENERGÉTICOS MENSUALES EN AIRE ACONDICIONADO CON EL CASO BASE. ....	104
GRÁFICA 21 RESULTADOS DE SIMULACIONES DE TEMPERATURAS MÁXIMAS AL DÍA EN EL MES CRÍTICO CON LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS. ....	105
GRÁFICA 22 RESULTADOS DE SIMULACIONES DE GANANCIAS POR FACHADA DE VIDRIO AL DÍA, EN EL MES CRÍTICO CON LAS DISTINTAS ALTERNATIVAS. ....	106
GRÁFICA 23 RESULTADOS DE SIMULACIONES EN GANANCIAS SOLARES EN FACHADAS DE VIDRIO EN CADA ALTERNATIVA, DURANTE EL MES CRÍTICO. ....	107
GRÁFICA 24 RESULTADOS DE SIMULACIONES EN GANANCIAS SOLARES POR VIDRIOS INTERIORES AL DÍA, EN LAS ALTERNATIVAS. ....	108
GRÁFICA 25 RESULTADOS DE SIMULACIONES EN GANANCIAS SOLARES EN VIDRIOS INTERIORES EN CADA ALTERNATIVA, DURANTE EL MES CRÍTICO. ....	109
GRÁFICA 26 RESULTADO DE SIMULACIONES EN CONSUMO DE AIRE MENSUAL POR ALTERNATIVA. ....	110
GRÁFICA 27 RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE AIRE ACONDICIONADO POR ALTERNATIVAS, REALIZADOS EN EL SIMULADOR.....	111
GRÁFICA 28 AHORROS ENERGÉTICOS QUE PROPORCIONA CADA ALTERNATIVA MENSUALMENTE, SIMULANDO SU APLICACIÓN. ....	113



## Índice de Imágenes

IMAGEN 1 AL LADO DERECHO LA TORRE PEMEX E IZQUIERDO LA TORRE MINTO EN CANADÁ. FUENTE: GIJÓN (2011).....	14
IMAGEN 2 MODELO CASO BASE DE ANÁLISIS TÉRMICO. FUENTE RASHWAN (2013).....	18
IMAGEN 3 MURO CORTINA EDIFICIO WORDL TRADE CENTER. ....	21
IMAGEN 4 VISTA INTERIOR MURO CORTINA.....	21
IMAGEN 5 FACHADA INTEGRAL SUSPENDIDA CON PERFILES DE ALUMINIO PORTANTE VERTICAL Y HORIZONTAL. FUENTE: NAVARRO A. 2011.....	23
IMAGEN 6 VISTA INTERIOR DE FACHADA INTEGRAL. ....	23
IMAGEN 7 DETALLE DE SECCIÓN CON ANCLAJE A LOSA DE PERFIL PORTANTE DE VIDRIO. FUENTE: NAVARRO A. 2011.....	24
IMAGEN 8 MODELOS 3D ENVOLVENTE DOBLE PIEL.....	25
IMAGEN 9 AFECTACIÓN DE RADIACIÓN A TRAVÉS DEL VIDRIO. FUENTE: BEHRENS R. 2013.....	28
IMAGEN 10 TRANSMISIÓN DE ENERGÍA A TRAVÉS DEL VIDRIO. FUENTE: BEHRENS R. 2013.....	29
IMAGEN 11 ESCALA NANOMÉTRICA, DONDE EL TUBO DE CARBONO REPRESENTA TAMBIÉN LA UNIDAD DE MEDIDA DEL NANO CERÁMICO. FUENTE: GRANDQVIST C.G (2013).....	37
IMAGEN 12 VISTA AÉREA DE LA ZONA PERIFÉRICO SUR UBICACIÓN DEL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO .....	44
IMAGEN 13 VISTA AÉREA EDIFICIO CASO DE ESTUDIO.....	45
IMAGEN 14 PLANTA BAJA DEL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO (SIN ESCALA).....	45
IMAGEN 15 PLANTA NIVEL 1 DEL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO (SIN ESCALA).....	46
IMAGEN 16 PLANTA NIVEL 2 DEL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO (SIN ESCALA).....	46
IMAGEN 17 PLANTA SÓTANO NIVEL -1 DEL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO (SIN ESCALA).....	47
IMAGEN 18 FACHADA SUR DEL EDIFICIO.....	48
IMAGEN 19 FACHADA PRINCIPAL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO.....	48
IMAGEN 20 FACHADA ORIENTE DE VIDRIO.....	48
IMAGEN 21 DOMO INTEGRADO AL VIDRIO DE FACHADA ORIENTE.....	48
IMAGEN 22 CARTA CLIMÁTICAS DEL DISTRITO FEDERAL. FUENTE: ELABORADO CON BASE INEGI. ..	51
IMAGEN 23 DIAGRAMA PSICOMÉTRICO GIOVONI.....	53
IMAGEN 24 RADIACIÓN SOLAR POR HORARIO DE ACUERDO AL PERIODO ENERO – JUNIO. FUENTE: BIOSOL.....	59
IMAGEN 25 RADIACIÓN SOLAR EN GRÁFICA CILÍNDRICA POR HORARIO DE ACUERDO AL PERIODO ENERO – JUNIO. FUENTE: BIOSOL.....	59
IMAGEN 26 RADIACIÓN SOLAR POR HORARIO DE ACUERDO AL PERIODO JULIO– DICIEMBRE. FUENTE: BIOSOL.....	60
IMAGEN 27 RADIACIÓN SOLAR EN GRÁFICA CILÍNDRICA POR HORARIO DE ACUERDO AL PERIODO JULIO – DICIEMBRE. FUENTE: BIOSOL.....	60
IMAGEN 28 RADIACIÓN SOLAR POR HORARIO EN EDIFICIO DE ACUERDO AL PERIODO ENERO– JULIO. FUENTE: BIOSOL.....	61
IMAGEN 29 RADIACIÓN SOLAR POR HORARIO EN EL EDIFICIO DE ACUERDO AL PERIODO JULIO– DICIEMBRE. FUENTE: BIOSOL.....	61
IMAGEN 30 CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DE LA FACHADA SUR.....	66
IMAGEN 31 CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DE LA FACHADA NORTE.....	66
IMAGEN 32 CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DE LA FACHADA ESTE.....	67
IMAGEN 33 CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DE LA FACHADA OESTE.....	67
IMAGEN 34 CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DEL ESTACIONAMIENTO INFERIOR.....	68



IMAGEN 35 CARACTERÍSTICAS Y DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES DEL TECHO O AZOTEA.....	68
IMAGEN 36 IMPORTACIÓN DEL PLANO .DXF AL SIMULADOR PARA REALIZAR EL LEVANTAMIENTO 3D DEL EDIFICIO. ....	82
IMAGEN 37 LEVANTAMIENTO DE MUROS INTERIORES Y EXTERIORES DEL MODELO DIGITAL DEL CASO DE ESTUDIO EN SUS TRES NIVELES. ....	83
IMAGEN 38 INCORPORACIÓN DE LOS TRES NIVELES PARA CONFORMAR EL EDIFICIO.....	83
IMAGEN 39 SE DEFINEN LAS FACHADAS DE VIDRIO EN EL MODELO DIGITAL.....	84
IMAGEN 40 EDIFICIOS DIGITALES: EL CASO DE ESTUDIO Y LOS EDIFICIOS QUE SE LES INCORPORARÁN DATOS TÉRMICOS EN SUS VIDRIOS PARA REPRESENTAR CADA ALTERNATIVA. .....	87



## Índice de tablas

TABLA 1 PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS DIFERENTES FACTORES DE PELÍCULA NANO CERÁMICA. FUENTE: NANOCERAMIC HUPER OPTIK MÉXICO.....	42
TABLA 2. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO CIUDAD DE MÉXICO .....	49
TABLA 3. TABLA DONDE SE REGISTRARON LAS TEMPERATURAS EXTREMAS MES Y HORA. FUENTE BIOSOL .....	55
TABLA 4. RANGO DE CONFORT DE LA ZONA JARDINES DEL PEDREGAL. FUENTE BIOSOL .....	56
TABLA 5. TABLA CON RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO EN LA CIUDAD DE MÉXICO. FUENTE: CLIMATE CONSULTANT.....	57
TABLA 6. CARTA ISORREQUERIMIENTOS DONDE SE PRESENTAN LAS HORAS Y MESES CON CALOR, CONFORT Y FRÍO. FUENTE BIOSOL .....	58
TABLA 7. ESTIMACIONES DE HUMEDADES RELATIVAS, A PARTIR DE MEDIDAS EXTREMAS. FUENTE: BIOSOL .....	62
TABLA 8. VIENTOS DOMINANTES EN LA CIUDAD DE MÉXICO .....	63
TABLA 9. TABLA CON PORCIONES DE ACUERDO SUS FACHADAS, PROPIEDADES TÉRMICAS Y AÉREAS EN METROS CUADRADOS.....	69
TABLA 10. CONSUMOS, DEMANDA Y COSTOS MENSUALES DEL CASO DE ESTUDIO.....	73
TABLA 11. TABLA CORRESPONDIENTE A LOS CONSUMOS MENSUALES POR USO EN REFRIGERACIÓN .....	74
TABLA 12. TABLA CORRESPONDIENTE A LOS CONSUMOS MENSUALES POR USO EN CÓMPUTO .....	74
TABLA 13. TABLA CORRESPONDIENTE A LOS CONSUMOS MENSUALES POR USO EN ILUMINACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	75
TABLA 14. TABLA CORRESPONDIENTE A LOS CONSUMOS MENSUALES POR USO EN FUERZA.....	75
TABLA 15. RESUMEN DE LOS CONSUMOS POR USO Y CONSUMO TOTAL MENSUAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	75
TABLA 16. RESULTADOS DE DE ICEE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	77
TABLA 17. PROPIEDADES TÉRMICAS QUE ACTUALMENTE TIENE EL EDIFICIO EN SUS FACHADAS DE VIDRIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	86
TABLA 18. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LAS PROPUESTAS EN DOBLE VIDRIO CAPA METÁLICA BAJA EMISIVIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	89
TABLA 19. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LAS PROPUESTAS EN VIDRIO AL VACÍO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	90
TABLA 20. CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LAS PROPUESTAS EN VIDRIOS REFLECTANTES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	92
TABLA 21. PROPIEDADES TÉRMICAS DE PELÍCULAS CON CARACTERÍSTICAS NANOTECNOLÓGICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	94
TABLA 22. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS PARA SIMULACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	95
TABLA 23. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO Y SIMULACIONES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	103
TABLA 24. RESUMEN DE PORCENTAJES DE AHORRO CON CADA ALTERNATIVA ANALIZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	114
TABLA 25. AHORRO ECONÓMICO ANUAL QUE SE OBTIENE AL APLICAR LA PELÍCULA DE NANOCERÁMICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	116
TABLA 26. ANÁLISIS DE RETORNO DE INVERSIÓN CON LA PELÍCULA DE NANOCERÁMICA Y EL DOBLE ACRISTALAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	118
TABLA 27.- COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL CÁLCULO DE LA NOM-008-ENER-2001, DEL EDIFICIOS DE REFERENCIA, EDIFICIO PROYECTADO CASO BASE Y EDIFICIO PROYECTADO CON LA APLICACIÓN DE LA PELÍCULA DE NANOCERÁMICA. ELABORACIÓN PROPIA.....	120
TABLA 28. RESULTADOS DE LOS PORCENTAJES DE CONSUMO ENERGÉTICO MENSUAL, CON LA PELÍCULA DE NANOCERÁMICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	124



# Resumen

Actualmente existe un problema muy grave que es el calentamiento global, este ha generado que los arquitectos nos involucremos en la búsqueda de nuevas alternativas en fachadas de vidrio que contribuyan a la disminución de calor generada a través de la radiación solar que incide en las fachadas de los edificios.

Este problema provoca que al incrementar la temperatura interior por la incidencia solar que recae en los edificios, ocasione que se utilicen los sistemas de refrigeración como el aire acondicionado para lograr una temperatura interior confortable.

Para esta investigación se planteó seleccionar los vidrios que comercialmente son más utilizados en la Ciudad de México, en edificios de oficinas, así como investigar materiales nanotecnológicos con propiedades térmicas que tengan mayor rechazo de incidencias solares y puedan ser aplicados con el fin de obtener espacios interiores con temperaturas confortables y obtener un ahorro de energía destinada a los sistemas de aire acondicionado.

En esta tesis se planteo una metodología con el fin de obtener la mejor alternativa en fachadas de vidrio aplicadas a un edificio de oficinas como caso de estudio en la Ciudad de México, esta metodología consistió en realizar un estudio bioclimático, energético, térmico y el análisis de las normas vigentes en el país con relación a envolventes de edificios. Se utilizó un programa simulador para determinar los comportamientos térmicos y energéticos del edificio, en su estado actual, con la película nanotecnológica y con las tres alternativas de vidrios que son más utilizados en el país.

Finalmente se efectuó una comparación de los resultados de las simulaciones, confirmando que la película nanotecnológica tiene un mejor comportamiento térmico y por lo tanto aporta para obtener un mayor ahorro energético en los sistema de aire acondicionado, lo cual hace factible la sustitución de la fachada de vidrio del edificio en su estado actual por esta nueva alternativa. Al tener un ahorro energético y económico, hace viable e importante dar seguimiento a esta aplicación ya que se obtienen ahorros en la disminución de los consumos de aire acondicionado contribuyendo al cuidado medio ambiente y nuestro planeta.



# Abstrac

There is currently a very serious problem that is global warming, this has meant that the architects we get involved in the search for new alternatives in glass facades contribute to the reduction of heat generated by solar radiation incident on the facades of buildings.

This problem causes the temperature increase inside the solar incidence that falls in buildings, cause cooling systems such as air conditioning is used to secure a comfortable indoor temperature.

For this research is to select glasses that are used in Mexico City, in office buildings, as well as investigate nanotech materials with thermal properties that have greater rejection of solar incidents and can be applied in order to obtain interior spaces comfortable temperatures and obtain a saving energy for air conditioning systems.

This thesis presents a methodology was raised in order to obtain the best alternative in glass facades applied to an office building as a case study in Mexico City, this methodology was to conduct a bioclimatic, energy, thermal study and analysis the rules in force in the country regarding building envelopes. a simulator program was used to determine the thermal and energy behavior of the building in its current state, with the nanotech film and the three alternatives glasses that are used in the country.

It finally made a comparison of the results of the simulations, confirming that the nanotech film has a better thermal behavior and therefore greater energy savings in your air conditioning system, which makes possible the replacement of the glass facade of the building its current status in this new alternative. By having an energy and cost savings, it makes viable and important to monitor this application because savings are achieved in reducing air conditioning consumption contributing to caring environment and our planet.



# Introducción



## Introducción

El hombre ha pasado gran parte de su tiempo en un espacio arquitectónico para desarrollar sus actividades laborales, este espacio se vuelve importante al momento de proteger al ser humano de la intemperie, para que este objetivo de la arquitectura suceda, diferentes variables relacionadas entre sí, o de forma independiente alteran las condiciones de confort<sup>1</sup> manteniendo la temperatura adecuada para poder ejecutar sus tareas.

Actualmente se opta por construir las fachadas o envolventes de edificios de oficinas con materiales transparentes, debido a varios factores, en la Ciudad de México se ha hecho más frecuente por la reducción de cargas en su estructura, al ser los vidrios uno de los material más ligeros y de mayor aprovechamiento por el ingreso de luz natural. Los edificios con fachadas de vidrio son los consumidores más altos de energía, por las cantidades de radiación térmica que pueden pasar a través del vidrio y provoca que genere una incomodidad térmica en los ocupantes, puesto rebasa el nivel de confort. Gran cantidad de la radiación solar llega a ser desfavorable ya que afecta de manera directa en la superficie del vidrio, aumentando de esta forma la temperatura radiante media, donde un individuo que se encuentre expuesto a la radiación solar directa puede llegar a aumentar hasta 11°C en la temperatura radiante media.

El implemento de aire acondicionado en los edificios con fachadas de vidrio de grandes dimensiones en sus alzados, se ha convertido en una necesidad actual, puesto que está diseñado para responder a los problemas de aumentos de temperatura. La poca aplicación de tecnologías eficientes en las fachadas de este tipo de edificios, han provocado que aumenten las temperaturas interiores superando los 21°C de temperatura considerados confortables y disminuyendo la humedad relativa que es de 41% según lo indican los códigos de ASHARE, provocando un efecto invernadero y creando un alto consumo de energía para ejecutar el sistema de climatización artificial, con la finalidad de mantener una temperatura interior confortable.

---

<sup>1</sup> El confort térmico se define en la norma ISO 7730 como “ Esa condición de mente en la que se expresa la satisfacción con el



La ciudad de México está teniendo un alto un crecimiento en edificios de oficinas, con características de fachadas de vidrio debido a la importancia de la ciudad al tener que albergar corporativos de empresas importantes en el país y empresas extranjeras, este crecimiento se observa en gran parte de la ciudad, como la ha sido la zona sur, la zona oriente como Santa Fe, Polanco y Av. Reforma.

Es por ello que se realiza un análisis basado en simulaciones utilizando un programa de modelado virtual con la capacidad examinar energética y térmicamente un edificio de oficinas con fachadas de vidrio con propiedades térmicas y control solar. El estudio contempla distintas alternativas de vidrio considerando los más utilizados en la ciudad de México en este tipo edificios, de igual forma se integra una película basada en una tecnología manipulada a escala nanométrica dentro de estas alternativas. Actualmente la arquitectura, ingeniería y tecnologías de la construcción, se han basado en materiales manipulados a nivel nanométrico, para presentar cambios significativos, y han sido importantes para desarrollos que trajeron resultados para el siglo XXI, puesto que se han creado para ofrecer soluciones como: la reducción de calor a través de su aplicación en fachadas de vidrio y perdidas de energía solar, aumentando la eficiencia energética. Por lo tanto los nanomateriales integrados a los edificios se han considerado como excelentes alternativas de ahorro económico para hacer frente a futuros retos ambientales (Lalbahsh & Shirazpour, 2011).

De acuerdo a los planteamientos anteriores el incremento de edificios arquitectónicos en la ciudad dentro del género de oficinas surgen las siguientes preguntas:

¿Es posible reducir consumos y costos energéticos con la aplicación de películas de control solar procesadas a un nivel nanométrico?

¿Es posible tener un mayor control de la temperatura confortable en el interior con aplicación de la película procesada a nivel nanométrico en las fachadas de vidrio de los edificios en la Ciudad de México?

Se plantea como hipótesis, que es posible reducir las ganancias térmicas y consumo energético en los sistemas de aire acondicionado mediante las diferentes alternativas de vidrio y películas compuestas por tecnologías procesadas a escalas nanométricas en fachadas de vidrio en edificios de oficinas.



Este proyecto de investigación plantea como objetivo principal analizar las fachadas de vidrio en edificios de oficinas con la incorporación de películas que se procesan tecnológicamente a un nivel nanométrico y vidrios con alto control solar, enfocando principalmente al ahorro energético en el sistema de climatización artificial de aire acondicionado y variaciones térmicas. Mediante un caso de estudio base con condiciones actuales se establecieron los siguientes objetivos particulares:

- Realizar un análisis y selección de diferentes alternativas en fachadas de vidrio y películas con tecnología manipulada a nivel nanométrico con propiedades de control solar utilizadas y comercializadas en México.
- Utilizar un programa de simulación (Desing Builder), para analizar las distintas alternativas en el aspecto energético y térmico.
- Mediante la simulación obtener la relación de consumos energéticos en sistema de aire acondicionado.
- Obtención de ahorros energéticos y económicos para conocer la eficiencia de la película basada en tecnología a escala nanométrica, comparándola con las alternativas de vidrio estudiadas.
- Cálculo de la capacidad de aire acondicionado con relación a la mejor alternativa.

Para llevar a cabo esta investigación se tuvo que considerar como fundamental un edificio real como caso de estudio, que permitiera llevar el análisis en todos los aspectos mencionados. Una vez planteada la investigación se identificó el edificio con las características arquitectónicas requeridas, fachadas de vidrio, genero oficinas, con ubicación en la ciudad de México.

Posteriormente se recabo información del inmueble, como facturaciones eléctricas, censo de los quipos eléctricos con los que cuenta y levantamiento arquitectónico. Con información de la localización se creó información climática que posteriormente se aplicaría al simulador.

Con esta información se realizó un estudio energético, continuando con la selección de las distintas alternativas que utilizan y son comercializadas en esta ciudad, una vez obtenido las opciones en fachadas, se crea el modelo en tres dimensiones del caso base en el



programa Desing Builder, mismo que al brindar los primeros resultados se contrastó la información con el estudio energético.

Posteriormente se crean los modelos tridimensionales de con las alternativas seleccionadas, que al simularlas otorgaron información de consumos energéticos relacionados con las variaciones térmicas, permitiendo ver el comportamiento de cada alternativa en estas circunstancias y deducir la mejor opción mediante los ahorros energéticos y económicos.

Mediante esta investigación se buscó mostrar la importancia de realizar un estudio energético con relación a las variaciones térmicas a consecuencia de las fachadas de vidrio en los edificios, donde los consumos energéticos se manifestaron desfavorables al aumentar en los sistemas de aire acondicionado con la finalidad de mantener los niveles de confort de los usuarios dentro en el edificio. También se identificaron mediante simulaciones la época del año y las horas del día en la cual tiene una afectación mayor el aumento de temperatura en los consumos energéticos en el sistema de climatización. Estos aumentos de temperatura por la incidencia de la radiación solar en la fachadas de vidrio, perjudica directamente en el consumo energético y por ende en su facturación eléctrica del edificio, estos aumentos se pueden prevenir, ya que dependen principalmente de los materiales que se seleccionan al momento de proyectar arquitectónicamente estas edificaciones y afectando de forma directa al problema del calentamiento global que actualmente vivimos. Esta investigación demostró mediante simulaciones térmicas y energéticas la importancia de considerar las nuevas tecnologías existentes que poseen propiedades con mejores comportamientos térmicos, aunque actualmente puedan tener un costo más elevado, se puede considerar un retorno de inversión tomando en cuenta los ahorros de energía que se obtendrían, y el hecho de contemplar un sistema de aire acondicionado con menor capacidad por la disminución de calor debido a la óptima protección en el rechazo de radiación solar de las fachadas. La investigación se ejecutó con un caso de estudio real, en un edificio ya construido con actividad laboral dentro de él, sin embargo esta metodología realizada también es recomendable para edificios en su fase de diseño, puesto que antes de definir los materiales que se colocaran en su fachada se puede hacer un análisis de sus consumos energéticos con relación al comportamiento térmico del material que se esté considerando instalar en la fachada del edificio.



# CAPÍTULO 1





# Capítulo 1

## Estado del arte

### 1 Estado del arte.

Dentro de este capítulo se describen las diferentes investigaciones de ahorro de energía que se han realizado en México y otros países, utilizando diferentes tipos de fachadas de vidrio con control solar, así como la implementación de programas de simulación que permiten desarrollar un cálculo de los consumos de energía en aire acondicionado, y que se pueden aplicar desde la fase de diseño arquitectónico, hasta edificios ya construidos; de igual forma las investigaciones realizadas con nuevos materiales manipulados a escala nanométrica que tienen la capacidad de proteger el edificio en su parte térmica mediante la fachada o envolvente.

---

La transmisión del calor dentro y fuera de un edificio puede disminuirse sustancialmente mediante materiales que resistan el flujo de ganancias térmicas o mediante un tipo de construcción que logre ese propósito. El control térmico dentro del espacio arquitectónico es uno de los principales problemas que provocan mayor consumo de energía para solucionar las variaciones de temperatura en los interiores de los edificios, puesto que genera la incomodidad del usuario en dicho espacio.

Los impactos térmicos dentro de los interiores de los edificios se deben cuantificar cuantitativamente, ya que se pueden combinar los efectos de la temperatura y la radiación puede expresarse junto con temperaturas sol-aire en la superficie o envolvente de dicho edificio. El efecto que produce en el interior puede calcularse utilizándose el método de flujo de calor (Olgay, 1998).



Ha sido necesario el estudio térmico de las envolventes para lograr los objetivos confortables mencionados, estas se definen desde hace muchos años como la protección de cambios climatológicos en el medio donde se refugia el hombre, desde la prehistoria, donde se recubrían con algunos materiales de carácter orgánicos como son las pieles de animales; estos materiales eran importantes puesto que el hombre recubría parte de su vivienda, que en su momento eran cavernas o cuevas.

A consecuencia de avances en la industria del vidrio y su acelerada fabricación, surge una arquitectura de tipo civil cuya característica principal era la mezcla de hierro con el vidrio, normalmente manifestando una forma transparente y evitando tanta decoración, de tal forma que se aprovecharían más espacios en muros y cubiertas, permitiendo así el acristalamiento de grandes superficies para que naciera la arquitectura traslúcida.

En México se ha vuelto imprescindible y necesario promover la eficiencia energética; como se ha hecho en equipos electrodomésticos de baja eficiencia y equipos de climatización artificial, así como la posibilidad de proteger térmicamente la envolvente de una edificación, teniendo resultados de ahorros, energéticos, económicos y el cuidado del medio ambiente.

Por tal motivo la ganancia por radiación solar es la fuente más importante que se debe controlar, debido a que es un factor climático que siempre se comporta de forma independiente, haciendo que los otros factores dependan de él; lo cual se logra con un diseño adecuado de las fachadas y envolventes, por lo que es recomendable aplicar materiales de protección solar en los techos o azoteas, y principalmente en sus fachadas. En el caso de México existe la NOM-008-ENER-2001 propuesta por la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUUE) la cual evalúa el comportamiento térmico de la fachada en edificios no residenciales, además de ser obligatoria para edificios nuevos y ampliaciones existentes que se construyen en la República Mexicana.

Dicha norma, tiene como objeto primordial limitar la ganancia de calor de las edificaciones, a través de su envolvente, con el fin de disminuir el consumo de energía en los sistemas de enfriamiento. El desempeño térmico de un edificio se determina por las propiedades térmicas de los materiales con las que se encuentra conformada su envolvente,



principalmente por las características de absorber, reflejar, y emitir la radiación solar, que es un fenómeno físico que consiste en despedir energía en forma de ondas.

Esta preocupación por los comportamientos térmicos dentro de la arquitectura se han manifestado a nivel global, ya que en países como España, Argentina y Brasil se han realizado diversos análisis de confort y eficiencia energética en construcciones, cuyo objetivo final es que logren cumplir con las características de mantener una alta protección térmica en las fachadas, mediante técnicas, estudios y materiales aislantes que favorezcan con resultados positivos en sus consumos energéticos. En el país de Argentina le han dado importancia a estas investigaciones intentando buscar solución a las inclemencias climáticas que afectan de igual forma el confort interior de los edificios, ya que este país cuenta con climas fríos y cálidos, generando un alto interés, ya que atañe tanto en el consumo energético por uso de los sistemas de aire acondicionado, así como en los sistemas de calefacción. Es por estos motivos que al igual que en México, el país de Argentina también han desarrollado normas de construcción a través de medios como el Instituto Argentino de Normalización y Certificación que motiva al uso de materiales aislantes y térmicos en las construcciones. Las normas de aislación térmica que se han logrado en Argentina ha sido mediante el análisis de materiales en distintos laboratorios, efectuados por el American Society for Testing Materials (ASTM), donde se han estandarizado valores óptimos en distintas formas de aislación, cuyo objetivo es precisamente el estudio de los materiales aislantes para lograr el confort térmico.

En Arabia Saudita se han hecho investigaciones relacionadas con las envolventes de protección solar, analizando específicamente materiales como poliuretano y fibra de vidrio con la finalidad de crear un rechazo al calor que incide sobre las superficies verticales de las construcciones mediante el Life Cycle Costing (LCC), este permite analizar los materiales en términos de durabilidad, su grado de rendimiento y eco sostenibilidad, con la finalidad de obtener un buen resultado en su comportamiento con relación a sus ahorros energéticos. Para estas regiones de medio oriente se ha vuelto importante buscar soluciones, tanto energéticas, como por sus comportamientos térmicos, ya que debido a sus climas cálidos se vuelve necesario la utilización de sistemas de aire a condicionado, sin embargo la solución de estos equipos benefician el confort térmico, pero perjudican los costos por energía consumida.



Los avances en investigaciones con relación a materiales, se han enfocado principalmente al problema de la afectación térmica por radiación solar, por tal motivo se han desarrollado alternativas tecnológicas para obtener un estudio previo sobre los comportamientos térmicos con respecto a los consumos energéticos de los edificios, actualmente se han creado programas de simulaciones que permiten tener un análisis anticipado de cómo se comportará el edificio de acuerdo a los materiales vidriados y opacos que conforman sus fachadas (Galdámez & Guzmán, 2011).

Los programas de simulación han incrementado en los últimos años, mejorándose cada vez más con el fin de analizar el comportamiento de las envolventes de los edificios, diversos países en Europa y América han estado implementándolos como herramientas de aportación a para obtener un ahorro de energía en los sistemas de climatización de los edificios, de los cuales los más utilizados actualmente son:

- ECOTEC
- ENERGY PLUS
- EQUEST
- TRNSYS
- DESING BUILDER

Estos programas han sido diseñados para realizar una simulación y optimización de edificios durante el momento de proyección y diseño, o también cuando ya están construidos, especialmente en edificios con características sostenibles, ya que estas mismas herramientas de simulación proporcionan información al arquitecto, ingeniero o constructor para evaluar y dar respuesta a diferentes estrategias de solución o diseño de los edificios, mediante un modelo en tres dimensiones donde le permite al usuario visualizar de forma gráfica la secuencia de la simulación. Todos los programas de simulación tienen un objetivo similar, que es darle un giro o revolucionar la industria de la construcción logrando criterios para obtener una mejora y ahorro energético en el diseño y confort de los edificios.

Tan importante se ha convertido la implementación del ahorro de energía en la arquitectura a nivel mundial, que cada día es más frecuente el estudio del comportamiento térmico en los edificios, utilizando estas nuevas tecnologías de simulaciones, donde no solo se aplican con el fin de construir, sino también con el fin de obtener información del



comportamiento térmico en diferentes latitudes, realizando investigaciones con diferentes vidrios de control solar, edificios y tipos de fachadas.

### **1.1 Investigaciones de ahorro de energía en edificios de oficinas.**

Las investigaciones sobre ahorro de energía en los edificios de tipo no residenciales han sido de gran ayuda en un género arquitectónico donde más se utilizan los sistemas de climatización artificial, para obtener un confort térmico en los interiores debido a la permanencia física de las personas gran parte del día, y al implementar materiales como el vidrio en su fachada con el fin de reducir cargas en los edificios y obtención de luz natural creando un efecto invernadero en las oficinas.

El uso de estrategias pasivas solares como nuevos recubrimientos de control solar en las ventanas de los edificios con grandes superficies vidriadas, se han convertido recientemente en importantes herramientas útiles, principalmente porque estos desarrollos ayudan a reducir las ganancias y / o pérdidas de calor a través de materiales transparentes, disminuyendo las cargas de energía, y mejora del confort dentro de los edificios.

Se realizó una investigación de fachadas y envolventes con relación a su ahorro energético, donde se produjo una evaluación del desempeño térmico de una oficina vidriada con un recubrimiento de control solar en dos casos de estudio en los países de México y Canadá; de acuerdo a información del Gobierno de Canadá en su manual de usos de datos de energía 1990 - 2006, el uso de energía para la refrigeración aumento hasta un 89 % en el año de 1990, debido a las necesidades de confort que se han alzado en los últimos años; por otra parte en México la Secretaría de Energía (SENER) en el Balance Nacional de Energía 2014, muestra que los sectores residenciales/públicos/comerciales representan un 18.8% del consumo total de la energía del país, siendo la electricidad con un 17.7% la segunda fuente de energía de mayor consumo en el país (Gijón-Rivera, Álvarez, Beausoleil-Morrison, & Xamán, 2011). En este trabajo se mostró una evaluación del comportamiento térmico de una oficina en la parte superior de un edificio con cuatro configuraciones diferentes de cristal de la ventana, y su influencia en las condiciones del interior. Las configuraciones de vidrio en la ventana son: vidrio transparente, vidrio-película ( SnS - Cu x S recubrimiento de control solar), doble vidrio-película, y vidrio transparente doble. Las simulaciones se realizaron utilizando los datos de tiempo en la Ciudad de México y Ottawa, Canadá, que son una buena



representación de las dos condiciones climáticas extremas, con el fin de evaluar el comportamiento térmico en el interior de las oficinas, tales como cargas de energía, los costos de aire acondicionado, y la influencia interior de calor correlacionando el coeficiente de transferencia, los edificios que se utilizaron como casos de estudio fueron la Torre PEMEX en México y la torre Minto un edificio de oficinas en Ottawa Canadá. Ver imagen 1.



**Imagen 1. Al lado derecho la torre PEMEX e izquierdo la torre Minto en Canadá. Fuente: Gijón (2011)**

Los resultados fueron que la mejor opción para ahorro de energía en verano en el caso de Canadá era la aplicación de película al doble vidrio y para el caso de México el simple vidrio doble transparente, pues la película aplicada en Canadá demostró que en invierno absorbe energía y en México no era necesario esa aplicación, ya que no se tienen problemas de temperaturas tan bajas en invierno.

El ahorro de energía ha adquirido mucha importancia a nivel mundial, por lo que se llevó a cabo una investigación en el país de Indonesia en la ciudad de Yakarta, tomando en cuenta la crisis energética como problema actual a nivel mundial, donde la principal causa en este país, es el alto crecimiento de su población y los incrementos de costos de energía eléctrica; teniendo como objetivo principal la reducción de consumo de energía en aire acondicionado en edificios de oficinas, mediante simulaciones térmicas con diferentes materiales en su envolvente durante la fase del diseño arquitectónico. Las características del edificio es que su envolvente fuera completamente de vidrio; el programa de simulación elegido fue Desing Builder, donde propusieron 6 tipos de vidrios con coeficientes de



transmisión diferentes, al igual que las propuestas de vidrio simple y doble vidrio, los resultados fueron que el doble vidrio tiene un mejor comportamiento, como protección de transferencia de calor hacia el interior, la aportación que realiza esta investigación es que se demostró mediante simulación que a mayor altura la transferencia de calor disminuye.

Las investigaciones han continuado con el material del vidrio en distintas latitudes; ciudades como Bangkok, Tailandia son muestra de ello, a pesar de que su clima posee mucha humedad, esta ciudad se caracteriza por ser una zona caliente con temperaturas altas. Analizaron diferentes películas aplicadas a vidrios en los aspectos de confort térmico y transmisión de calor, aplicándose a distintos tipos de vidrio en una ventana con vidrio claro, vidrio tintado, vidrio reflectante y vidrio doble panel, mismos que fueron analizados y a los cuales se les adhirieron películas con diferentes propiedades ópticas que permitieron el análisis del comportamiento térmico buscado. El análisis se realiza con base a las condiciones climáticas a partir de promedios registrados con datos meteorológicos durante 12 años en la ciudad de Bangkok. La ganancia de calor relativo (RHG), basado en la condición meteorológica local fue seleccionada como el índice de transmisión de calor (Chaiyapinunt, Phueakphongsuriya, Mongkornsaksit, & Khomporn, 2005).

El estudio indicó que para la mayoría de los vidrios considerados, excepto los vidrios reflectantes; los valores de porcentajes predichos (PPD) debido al efecto de la radiación solar, eran más eficientes que los valores de PPD, por el efecto de la temperatura superficial. Las condiciones de mayor molestia se registraron cuando se utilizó un vidrio claro, lo cual indicó, que el vidrio que posee mayores características de transparencias, es el que tiene un peor comportamiento térmico.

Películas adheridas a las ventanas de vidrio causaron el PPD disminuyera el efecto de aumento de la temperatura de la superficie vidriada y provocaran una reducción en el efecto de la radiación solar. También se encontró que los valores PPD debido al efecto de la radiación solar en ventanas de vidrio simple y ventanas de vidrio con películas se variaron linealmente con la transmitancia. Los valores PPD debido al efecto de la temperatura de superficie se variaron con el absortancia total de ventanas de cristal y ventanas de vidrio con películas de una manera casi lineal. El análisis indicó que los valores de PPD debido a efecto de la radiación solar eran más grandes que los valores de RHG de acuerdo al efecto de la conducción para todas las ventanas de vidrio y ventanas de vidrio con películas consideradas



en este estudio. La película tuvo muy pocos efectos sobre la ganancia de calor relativa debido a la conducción. Los valores de ganancia de calor relativos fueron variados linealmente con las transmitancias totales de las ventanas de cristal y ventanas de vidrio con películas, los resultados de ganancias de calor relativos también se variaron inversamente con las absorptancias de ventanas de cristal y ventanas de vidrio con películas de forma lineal.

Actualmente se siguen investigando las diferentes posibilidades de reducir los consumos de energía en sistemas de climatización artificial, para esto han surgido nuevas tecnologías reflejadas en materiales con diferentes propiedades y características que las hacen susceptibles a la investigación de su comportamiento térmico en la arquitectura, como lo son las películas procesadas a nivel nanométrico.

A pesar de que el vidrio siempre será un material que beneficie con su ingreso de luz natural a los interiores, se sabe que perjudicará con las ganancias solares a través de él, por tal motivo distintas dependencias se han encargado del estudio de nuevos materiales que sean menos amables con la radiación solar que incide sobre de ellos. Según (Baetens, Jelle, & Gustavsen, 2013) menciona que la evolución reciente de los materiales como aislantes térmicos de alto rendimiento basados en la nanotecnología, han permitido una fuerte disminución en la conductividad térmica de los materiales de aislamiento, hasta  $0,004-0,014 \text{ W / (mK)}$ . Los materiales de aislamiento térmico resultantes tienen propiedades específicas de importancia para la industria de la construcción, que debe ser considerada en cada proyecto.

La importancia de investigar cómo se comportan térmicamente los materiales con propiedades aislantes, tienen dos objetivos primordiales, el primero es obtener un mejor confort térmico evitando variaciones de temperaturas interiores por los materiales que componen la envolvente de la edificación, el segundo objetivo es ahorrar energía eléctrica en sistemas de climatización artificial. Algunos países tienen condiciones climáticas extremas por altas temperaturas, como en Egipto que ha estado experimentando los altos costos de energía eléctrica por el cambio climático que nos acontece, donde sus edificios industriales, gubernamentales y residenciales representan el consumo del 58% de la demanda total del país, que ha traído como consecuencia el aumento al costo en energía eléctrica. Esto ha contribuido para que se realicen distintos estudios con relación a la protección solar mediante



materiales relacionados con la construcción, pues son los que aportan las ganancias térmicas de las edificaciones (Rashwam, Farag, Wa, & Moustafa, 2013).

Se realizó un estudio en la ciudad de Asuán (Aswan) al sur de Egipto, utilizando el programa de Autodesk Ecotect Analysis, que permitió simular los comportamientos térmicos de las viviendas con la implementación de materiales a escala nanométrica. Se utilizó como base el sistema constructivo tradicional de la ciudad que se compone de pintura exterior, aplanado de cemento de 3 cm, pared de ladrillo de 25 cm de espesor y capa interna de cemento de 3 cm con pintura interior; este sistema se comparó aplicando y sustituyendo la pintura, tanto interior como exterior, reemplazándola por una pintura procesada a nivel nanométrico, este como primer caso.

Como segundo caso se utilizó otro sistema constructivo tradicional con las siguientes características: pintura exterior tradicional, aplanado de cemento de 2 cm de espesor, ladrillo de 10 cm de espesor, espuma de poliestireno de 50 cm de espesor, capa de ladrillo de 10 cm de espesor y aplanado interior de 2 cm con pintura tradicional, a este sistema se le cambió el poliestireno de 5 cm de espesor, sustituyéndolo por nano vacío de panel aislado de 5 cm de espesor. En el tercer caso analizaron 2 sistemas de ventana, el vidrio normal de 6 mm de espesor con una capa de nano gel como aislamiento térmico contra el vidrio de doble acristalamiento 6 mm de espesor con baja emisividad; a esta evaluación del programa, donde se utilizaron y compararon los comportamientos térmicos en los tres casos, le llamaron Modelo de Rendimiento Térmico Nano, cuya finalidad fue evaluar los materiales estudiados con bases nanotecnológicas. Los resultados fueron favorecidos pues el primer caso donde la sustitución fue con pintura procesada nanométricamente hubo una reducción de intercambio de calor en las superficies exteriores de 40% y 30% en las interiores. En el segundo caso en los materiales aislantes internos, se redujo la transferencia de calor a un 45% con la utilización del sistema de panel aislado con nano vacío. El tercer y último análisis hubo una disminución del 81% en intercambio de calor por la aplicación de nano gel en las ventanas (Rashwam, Farag, Wa, & Moustafa, 2013).

Esta investigación fue realizada a través de un programa digital que simuló los comportamientos de los nanomateriales sustituidos digitalmente, como se muestra en la imagen 2, para luego ser comparados con los materiales tradicionales. En este caso específico,



resulta factible la reducción de ganancias térmicas aplicando materiales arquitectónicos manipulados a escala nanométrica, según la simulación; sin embargo es importante mencionar que la ciudad de Asuán tiene condiciones climáticas con altas temperaturas, por lo cual fue importante este análisis, para evaluar las envolventes arquitectónicas de los edificios de esta ciudad, donde el principal problema es lograr la reducción de calor.

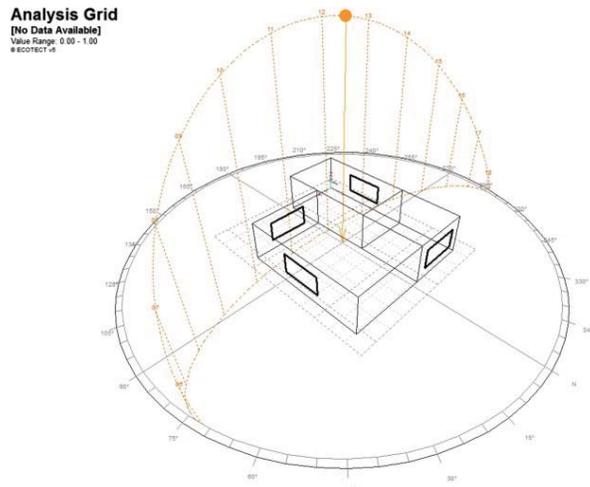


Imagen 2. Modelo caso base de análisis térmico. Fuente Rashwan (2013).



# CAPÍTULO 2





## Capítulo 2

# Las fachadas de vidrio

### 2 Las fachadas de vidrio.

Las fachadas como envolventes de vidrio o también conocidas como piel del edificio, se han convertido en el estándar de las grandes construcciones de oficinas en la Ciudad de México, por las diferentes características que tiene, como su capacidad de ingreso de luz natural y la gran reducción de cargas estructurales que han permitido el atrevimiento de los arquitectos para proyectar nuevos edificios cada vez con mayor altura. Existen fachadas denominadas muros cortinas y fachadas integrales que están conformadas por vidrios en su 98% de su fachada, donde existen diferentes alternativas de vidrios y películas para solucionar el aumento de calor o variaciones de temperaturas en el interior. En este capítulo se explican generalidades acerca de la conformación de las fachadas arquitectónicas que se componen por materiales de vidrio, considerandos fundamentales para el entendimiento del desarrollo de esta investigación.

#### 2.1 Muro cortina.

El muro cortina representa un elemento importante dentro del análisis del balance energético de un edificio, pues debido a sus características transparentes y colocación dentro de la conformación del edificio existen mayores pérdidas con relación a los sistemas de aire acondicionado y mayores ganancia de calor por sus fachadas vidriadas.

El muro cortina define la fachada de un edificio o elemento constructivo, por lo que debe considerarse uno de los objetos más importantes analizado desde el punto de vista de la arquitectura, ya que nos permite observar diferentes áreas del exterior, y puede llegar a ser un recurso único para expresar el diseño de una construcción donde la estética y la expresión son características muy importantes en el concepto de la envolvente; se denomina muro cortina cuando la fachada de vidrio pasa de forma continua por delante de las losas, y los entre pisos de la edificación (Baetens, Jelle, & Gustavsen, 2013).

Estas fachadas de vidrio son elementos de la arquitectura soportados por estructuras, cuya finalidad es crear aislamientos de espacios debido a las características de las condiciones climatológicas y ambientales del exterior como muestra en la imagen 3. Es prácticamente un aislamiento térmico y acústico. El papel impórtate de la envolvente es relevante, tanto en ganancias de radiación solar, control de cargas térmicas, ventilación y el control de ruido.

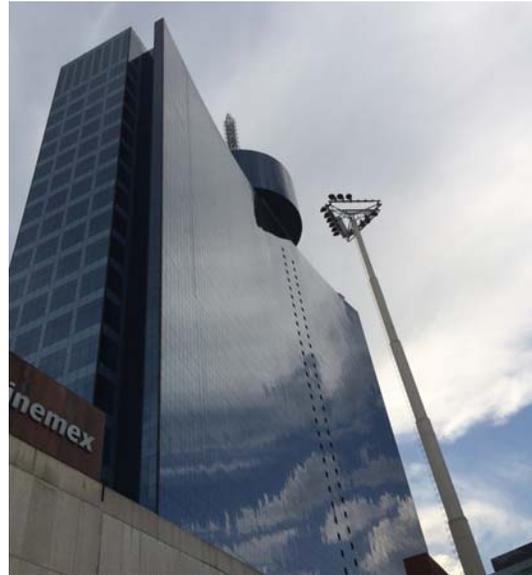


Imagen 3. Muro cortina edificio World Trade Center.

Tradicionalmente se le conoce como una barrera en todo su entorno, como nuevo concepto actual que se le puede considerar un filtro moderador. Generalmente es un cerramiento ligero, predominante de vidrio en su totalidad, donde es complicado identificar la estructura portante desde el exterior, sin embargo es muy identificable desde una perspectiva interior como se muestra en la imagen 4.



Imagen 4. Vista interior muro cortina



El muro cortina es una fachada ligera de montantes y travesaños que su aspecto refleja lo poco pesado tanto en su peso propio, como visualmente; estas pueden ser tanto horizontales como verticales, las características de la forma no suelen ser obstáculos para su construcción.

Este concepto llamado muro cortina, indica que los vidrios pasan por enfrente recubriendo las estructuras ya sean traveses o columnas, y por lo tanto se encuentran suspendidas de ellos.

Algunas de sus características que se consideran fundamentales para su construcción son:

- A) Debe ser completamente ligera en toda la fachada. Su peso oscila entre 40-70 kg/m<sup>2</sup> y un espesor de 10-15 cm. Como dato comparativo, una fachada común puede pesar entre 250 y 300 kg/m<sup>2</sup> con espesores de 30 a 40 cm.
- B) Comúnmente el vidrio debe dominar una cantidad considerable en metros cuadrados en el diseño de la fachada.
- C) Los elementos fundamentales de este tipo de fachadas se consideran de forma independiente.

Considerando que están contruidos con materiales ligeros, y que se elaboran industrialmente, debe ser capaz de soportar las cargas interiores y su propio peso que trasmite a la estructura del edificio mediante un anclaje, además de soportar las presiones del viento.

Este diseño proviene principalmente por la necesidad de crear espacios abiertos y luminosos, donde además de ser constructivamente más rápido y aligerar la estructura, brindan la sensación de libertad y transparencia (Frame, 2010).



## 2.2 Fachadas integrales.

Consiste en una estructura portante de aluminio o hierro en la cual se insertan paños vidriados, perteneciendo suspendida de las losas creando un efecto de cortina (ver imagen 5) una de sus propiedades importantes es que no sobrecargan la estructura principal de concreto del edificio, sin superar los 100 Kg/m<sup>2</sup>. Su concepto en envolvente hace referencia a su fácil adaptación en cualquier forma o volúmenes que se quieran cubrir mediante perfiles y vidrios.



Imagen 5. Fachada integral suspendida con perfiles de aluminio portante vertical y horizontal. Fuente: Navarro A. 2011

La característica principal que la hace diferente a las otras fachadas es que su cristal esta modulado por marcos de aluminio, en toda su envolvente (ver imagen 6), donde dichos marcos soportan el peso de los vidrios, a diferencia de otras donde son fijadas con otro tipo de mecanismo estructural.

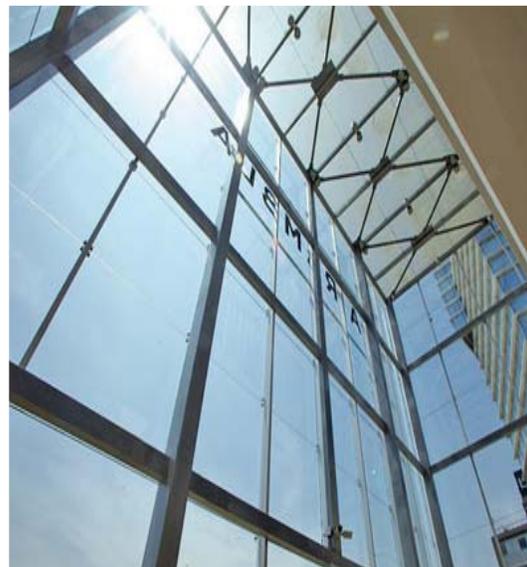


Imagen 6. Vista interior de fachada integral.



En estas envolventes se pueden apreciar los elementos verticales y horizontales, estos tipos de apoyo se encuentran en cada peralte de la losa conformada de concreto o acero, si se tuviera una visibilidad de corte en fachada se podría apreciar cómo el perfil vertical se une por medio de anclajes en cada losa ver imagen 7.

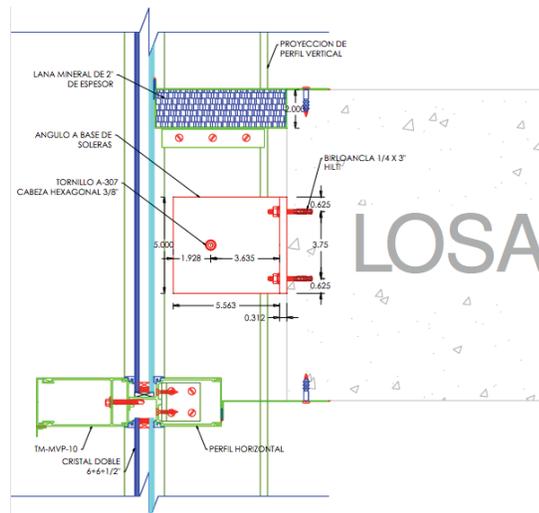


Imagen 7. Detalle de sección con anclaje a losa de perfil portante de vidrio. Fuente: (Navarro, 2011)

Esta cualidad de tener integrado el material de aluminio en el marco del vidrio, puede llegar afectar la carga térmica, ya que es un factor de aumento, al considerar las propiedades de transmitancia de calor del aluminio, incluyendo la del propio (Navarro, 2011).

### 2.3 Fachada de doble piel de vidrio

Los edificios con fachadas simples y comunes de vidrio, se pueden definir con el nombre de doble piel. La cualidad principal de estas dos pieles es que existe una separación llamada capa ventilada, con un ancho que puede variar desde centímetros hasta incluso metros, dependiendo de las necesidades arquitectónicas (Domina, 2010).

De aquí se derivan las fachadas de doble piel y los conceptos de fachadas ventiladas donde por medio de esta cámara fluye el aire enfriando o impidiendo el paso de las temperaturas exteriores (ver imagen 8). Hoy en día el uso de esta envolvente ha ido incrementando y diversas soluciones se han multiplicado.



Imagen 8. Modelos 3D envolvente doble piel. Fuente: Elaboración propia

Los edificios con este tipo de fachadas son generalmente altamente vidriados, tienden a recalentarse durante el verano, cuando las temperaturas del aire exterior pico coinciden con altas ganancias solares. Por lo tanto, la susceptibilidad a sobrecalentamiento se considera generalmente como el principal inconveniente de estas construcciones. Para optimizar el confort térmico y reducir al mínimo las cargas de refrigeración, el comportamiento térmico de todo el edificio requiere de una cuidadosa investigación en una etapa inicial de diseño (Heusler & Compagno, 1998).



# CAPÍTULO 3





## Capítulo 3

# Tipos de vidrios y características

### 3 Tipos de vidrio y características.

En este capítulo se analizarán los vidrios de acuerdo a sus propiedades térmicas con respecto a la radiación, y como se conforma una pared de vidrio separando dos ambientes que se encuentran a temperaturas diferentes, como sucede en las fachadas de vidrio de un edificio con la transferencia de calor de un ambiente cálido hacia un ambiente frío. La envolvente de vidrio tiene la particularidad de ser transparente a la radiación solar lo cual implica una aportación generosa de calor, por tal motivo se analizaran los vidrios comercialmente utilizados en las fachadas de vidrio en los edificios de oficinas.

#### 3.1 El vidrio.

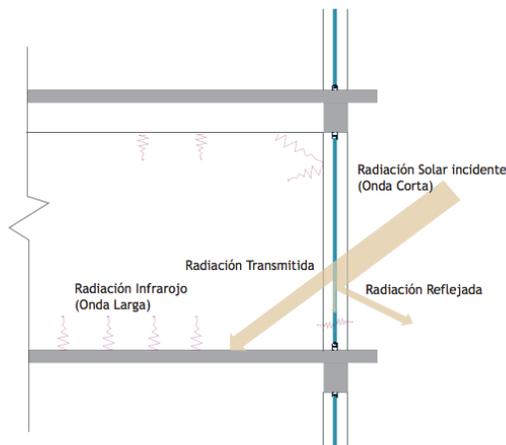
Es importante conocer el material del vidrio, con relación a su contemplación para ser parte de las fachadas de los edificios, ya que existen distintos tipos, los cuales se caracterizan de acuerdo a sus propiedades según se requiera, en este caso los analizaremos por sus características térmicas de acuerdo a su conformación. El vidrio se define como un material sólido y transparente debido a los elementos que lo forman y el proceso moldeable con altas temperaturas en su fase de fabricación, esta propiedad lo hace único en la arquitectura, ya que permite cerrar espacios, permitiendo un cambio visual, lumínico y energético; a partir de estas características es que se han podido generar otras alternativas de vidrios que permite el control de intercambios de calor dependiendo de los requerimientos arquitectónicos según lo requiera el proyecto.

El intercambio de calor a través de una envolvente de vidrio se da en dos modalidades:

- La conducción
- La radiación



Cuando la radiación solar atraviesa una superficie transparente como el vidrio, se da el fenómeno de radiación de onda corta o incidente, de aquí se derivan tres tipos de fenómenos, el primero es cuando la radiación es absorbida por el material para posteriormente ser re-irradiada hacia el interior y la otra parte sea reflejada, la última es cuando se transmite hacia el interior, como se muestra en la imagen 9, un análisis de desempeño térmico en edificios de oficinas a partir de monitoreo experimental (Behrens, 2012).



**Imagen 9. Afectación de radiación a través del vidrio. Fuente: Behrens R. 2013**

Las características térmicas del vidrio son la Transmitancia, Absortancia y Reflectancia que son utilizadas para los cálculos de balances térmicos, estas son afectadas principalmente por la radiación solar en el caso de la Transmitancia que es la cantidad de energía que atraviesa el cuerpo o envolvente por transparencia; la Reflectancia y absortancia se definen como el porcentaje de radiación que transmite, refleja o absorbe hacia la superficie de un material, se clasifican los materiales de acuerdo con estas características donde se obtendrán algunos más opacos y otros translúcidos.

Un vidrio opaco es aquel cuya Transmitancia es igual a cero, cuya porción de radiación que traspasa es nula y un vidrio translúcido es aquel cuya Transmitancia es diferente a cero. La reflexión puede definirse en dos tipos, si el ángulo de incidencia es igual al ángulo reflejado será reflexión especular y si los rayos reflejados son uniformemente distribuidos en todas direcciones será reflexión difusa.

El vidrio sencillo de 3 mm de espesor refleja un 10% de la radiación solar incidente, transmitiendo un 80% y absorbiendo un 10%, solo el 5% será re-irradiado hacia el interior y 5% hacia el exterior, lo cual permite el ingreso de un 85% de radiación solar incidiendo en el interior; esta cantidad de energía es la que afectará de forma directa a los ocupantes o elementos arquitectónicos que se encuentren en los interiores (ver imagen 10), esta energía se acumula incrementando la temperatura interior generando un efecto invernadero.

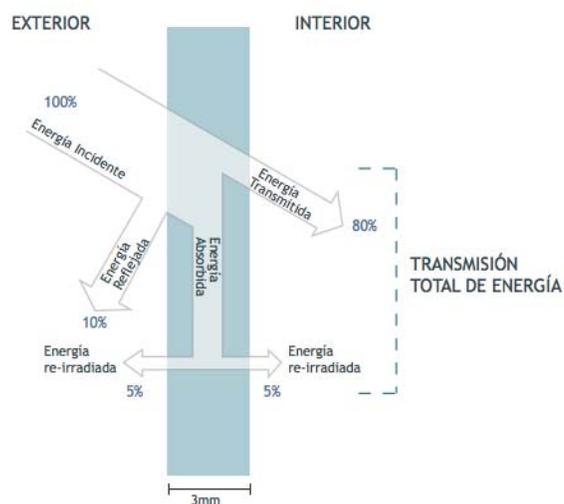


Imagen 10. Transmisión de energía a través del vidrio.  
Fuente: Behrens R. (2013)

La tecnología en la arquitectura ha tenido un gran avance, uno de los principales ha sido en el vidrio, donde se han concentrado primordialmente en analizar el control de las propiedades térmicas antes mencionadas, cuyo objetivo ha sido mejorar frente a los problemas de radiación, estas han sido razones suficientes para mantener distintos estudios de control térmico dentro de las fachadas que se componen por vidrio, con el objetivo de proporcionar una óptima protección al compararse las distintas alternativas en este material, permitiendo adaptarse a las condiciones climáticas donde sean instalados (Behrens, 2012).



### 3.2 Vidrio doble con capa metálica en baja emisividad.

Este tipo de vidrio surge como una alternativa para la aplicación en fachadas de edificios donde el clima es cálido, pues presenta características de opacidad a la radiación infrarroja de onda cercana, creyendo por tanto que el vidrio normal actúa como una trampa de la radiación del infrarrojo lejano. El vidrio pierde su transparencia a las longitudes de onda más largas que las contenidas en el espectro visible, pero en este caso la opacidad al infrarrojo significa que se comporta como un cuerpo negro.

La mayoría de materiales de vidrio con excepción de los que presentan baja emisividad, son contemplados como elementos negros, puesto que llegan a absorber de manera potente el infrarrojo que se encuentra distante; en consecuencia el vidrio se comporta de una forma absorbente con la radiación cuando se encuentra en presencia del infrarrojo que está lejano y vuelve a radiar, lo cual tiene como resultado el calentamiento fácil del vidrio, y permite transmitir mediante la conducción esa energía mediante el (Amostock, 1999).

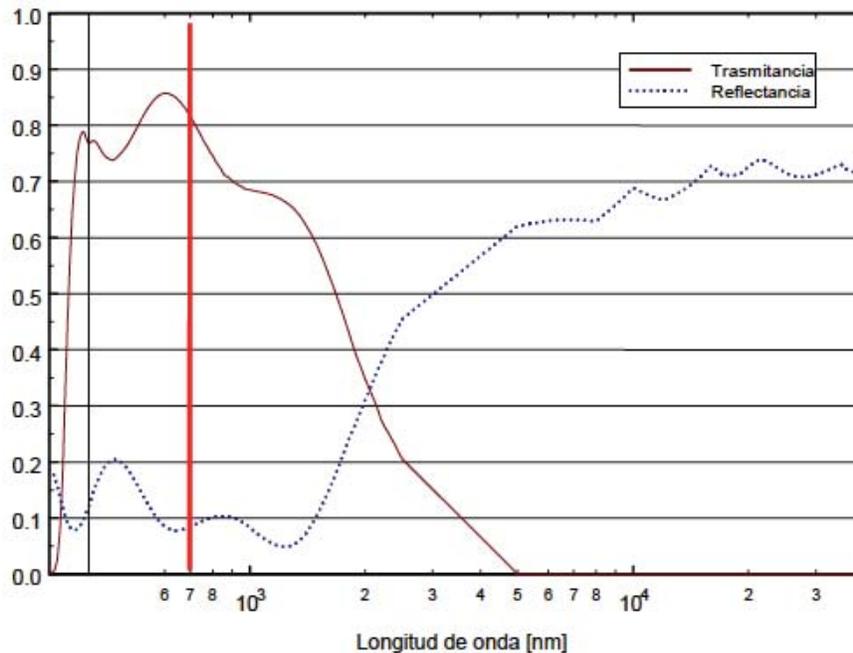
Al considerar en el vidrio una capa de baja emisividad con alta transmisión solar se genera una primer trampa con relación a la radiación, pues crea el comportamiento como si fuera un vidrio común; pues la radiación que origina en el interior de algún espacio arquitectónico, hace que rebote la alta reflectividad de la capa emisiva al infrarrojo de onda larga, ya que escapa menos radiación. La radiación neta se eleva, incluso después de obtener en consideración una transmisión solar reducida del vidrio con este recubrimiento.

Cuando se considera una baja transmisión quiere decir que habrá una reflexión alta. Lo cual significa que las energías que se puedan absorber en el recubrimiento, tendrá un alta dificultad para lograr salir como radiación; esto quiere decir que la energía no se puede emitir desde la base por lo cual se le denomina a este producto como capa bajo emisiva, por lo que esta propiedad de baja emisividad actúa como una trampa que no permitirá reflejar la radiación térmica, misma que proporciona la habilidad de permitir el paso de la iluminación del día.

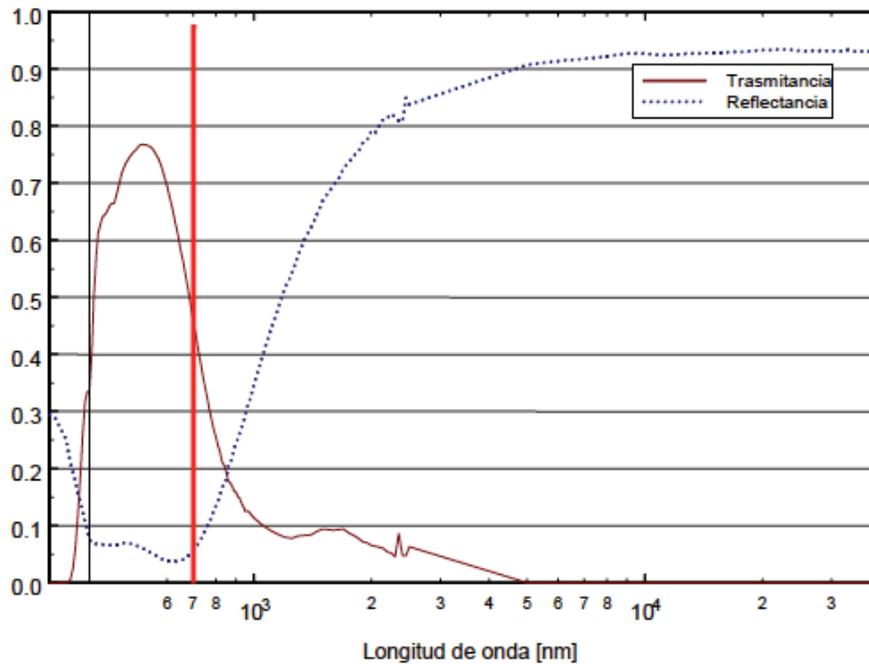
Al compararlo con las propiedades espectrales de un vidrio completamente sencillo sin algún tratamiento, la transmitancia se reduce distinguidamente, lo cual permite una reflectancia de un 75% más que en el infrarrojo.



Considerando el doble vidrio, será importante decidir en cual vidrio será colocada esta propiedad, ya que puede funcionar como captación solar o como filtro solar. Si se coloca sobre la cara número 2 o cara interna del vidrio externo, se logra disminuir el factor U y por ende el factor solar, ya que la radiación se absorbe en la proximidad de la superficie externa. Si se decidiera colocar en la cara 3 que representa la parte externa del vidrio interno, la radiación que logre penetrar el vidrio externo incidirá el vidrio interno que, por la presencia del externo, no se podrá retornar al interno, haciendo de esta forma actuar la ventana como captadora solar, como se muestran en la gráfica 1 y 2 analizando el comparativo de las dos variables reflectancia y emitancia (Zinci, 2005).



Gráfica 1. Comportamiento Transmitancia y reflectancia del vidrio. Fuente: Zinci (2005)



Gráfica 2. Características espectrales de un vidrio emisivo como captación solar. Fuente: Zinci (2005)

Las características de este vidrio descrito, son de suma importancia y deben ser considerados para ejecutar análisis con relación a su comportamiento térmico y las energías que se pueden consumir por equipos eléctricos encargados de generar un confort térmico en los interiores por variaciones térmicas, ya que este vidrio puede funcionar como un protector tanto para clima cálido como para clima frío, dependiendo de la colocación de sus propiedades en la caras que lo conforman como se ha mencionado; sería interesante el estudio en países donde se tengan con ambos climas tanto frío como cálido.

### 3.3 Vidrio al vacío.

El vidrio al vacío es considerado una alternativa importante dentro de los materiales translúcidos en fachadas para la reducción de ganancias térmicas, su principal fundamento es que desecha cualquier gas que pueda existir dentro de su cámara, lo cual le permite ser eficiente en su comportamiento térmico al ser buen aislante y prescindir de la conductividad y de la convección de gas presente dentro de la cámara. Sus principales atributos son la



independencia de las propiedades aislantes del vidrio con relación a cada espesor en la cámara; la apariencia de la ventana, es muy parecido al que posee doble acristalamiento tradicional.

Este vidrio tiene una característica desfavorable que se efectúa cuando la diferencia de presiones internas y externas forman tensiones en las dos caras del doble vidrio, generando una compresión interior, con la inseguridad de que puedan tocarse en su parte media o central. Este riesgo tiene solución, se agregan pequeños elementos que generan un separación que divide los dos paneles y así evitar que tengan contacto entre sí, a estos separadores se les conoce como pillars, pero tienen un pequeño inconveniente de transparencia, pues siempre son visibles, afectando también el aislamiento térmico ya que son puntos de pequeños puentes térmicos.

EL factor solar y las propiedades ópticas de los vidrios al vacío pueden variar de acuerdo a los vidrios que los constituyen, usualmente se utilizan vidrios planos flotados con algunos recubrimientos bajos emisivos. El valor U no siempre es constante pues dependerá siempre del número de separados que funcionan como conductores, al igual que las dimensiones de los mismos.

### **3.4 Vidrio Vidrios Reflectante.**

Los vidrios de control solar, son mejor al ser comparados con los vidrios normales en cuanto a la reducción de cargas térmicas y el exceso de iluminación debido a la radiación solar entrante es factible por la aplicación de colorantes en su masa. La radiación solar que incide sobre el vidrio reflectante es absorbida por el material y debidamente devuelta al exterior, o incluso también mediante la aplicación de depósitos químicos superficiales, donde la radiación simplemente es reflejada.

Existen cualidades estéticas en este tipo de vidrio, cuando es de día tiende a favorecer la privacidad interior, pues no se aprecia absolutamente nada de afuera hacia adentro del edificio, sin embargo cuando las cantidades de iluminación solar son menores como en las



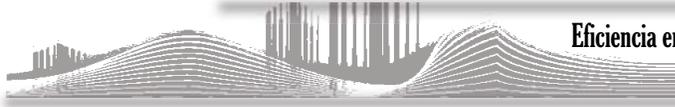
noches, este efecto se vuelve inverso, ya que es fácil observar del exterior al interior, y tener una visión interior hacia el exterior se puede volver muy complicada o nula, cabe resaltar que lo que se busca con estas propiedades es favorecer la reducción solar, más que la transparencia o el ingreso de iluminación natural.

El vidrio reflectante tiene varias desventajas, por ejemplo el factor U no tiene una mejora, únicamente el factor solar, ya que no existe un comportamiento que lo distinga, pues siempre será variado debido a su elevada transmisión en el espectro visible y una elevada reflexión en el sector infrarrojo haciendo que la luminosidad sea escasa, mientras que el factor solar no siempre será favorable durante todo el año, pues en épocas de invierno donde la iluminación es menor y donde no se requiere tanta protección solar, podría generar cambios en consumos eléctricos por iluminación y la utilización de equipos de calefacción dependiendo de la latitud donde se encuentre el edificio; otro aspecto es la producción de deslumbramientos, tanto interiores como exteriores, de antemano sabemos que el vidrio es susceptible a estos deslumbramientos, pero con estas propiedades de reflectivas este se vuelve importante por sus propiedades térmicas (Domina, 2010).

### **3.5 Confort térmico.**

El confort térmico representa un estado mediante el cual el hombre manifiesta alguna satisfacción psicológicamente ante los espacios que lo delimitan (Domina, 2010). El confort ambiental integral es el parámetro más importante dentro del diseño bioclimático, ya que se incluyen diferentes variables como: confort térmico, el hidrométrico, el lumínico visual, el auditivo, el olfativo, y el relacionado con la calidad del aire intramuros. Es importante lograr este bienestar tanto físico como ambiental, asimilándolo como un objetivo primordial al momento de diseñar o proyectar los espacios ambiental integral como lo menciona (García, 2005).

Existen parámetros que se asignan a cada uno de los sentidos pueden ser térmicos, acústicos y visuales, y en ello permitirá que en muchos casos, se puedan calcular con unidades físicas ya conocidas (grado, centígrado, decibelios, lux, etc.), al ser simplemente unidades de medida de las condiciones energéticas que se producen en un ámbito determinado. Otro tipo



de parámetros son los generales, que afectan a todos los sentidos a la vez, como las dimensiones del espacio, el tiempo, etc. (Serra & Coch, 2005).

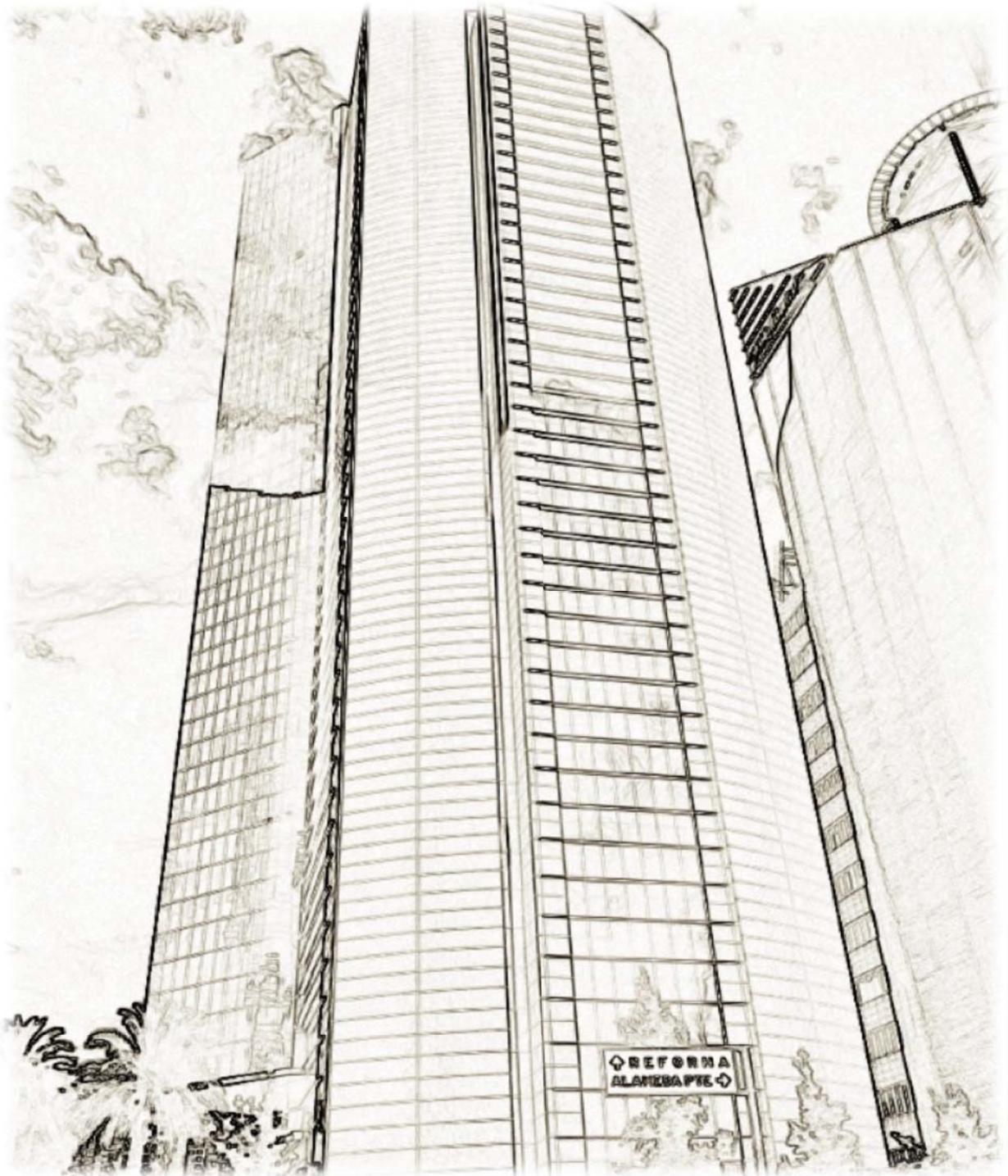
En este campo se pueden fusionar los fenómenos energéticos al intercambiar la energía en el cuerpo y el ambiente.

Existen diferentes factores, entre los más comunes que pueden marcar las diferencias son la edad de las personas y su sexo de acuerdo a la percepción del entorno en el que se encuentra debido a las variaciones en la producción metabólica.

Los principales elementos que afectan el confort humano son: temperatura del aire, radiación solar, movimiento del aire y humedad. Los medios en el cual el cuerpo intercambia calor con su entorno puede clasificarse en: radiación, convección, conducción y evaporación.



# CAPÍTULO 4



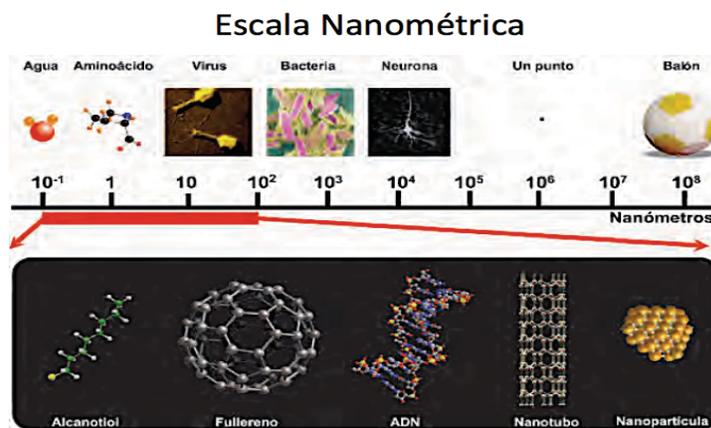


## Capítulo 4

### Nanotecnología y uso en aislamiento térmico

#### 4 Nanotecnología y uso en aislamiento térmico.

Los adelantos tecnológicos han generado de manera importante un gran avance en investigaciones con la finalidad de brindar soluciones a problemas que han surgido de manera general. La arquitectura ha sido un claro ejemplo de cambios a través de los años, pues ella es un claro testigo de nuestros avances y retrocesos arquitectónicos. Actualmente se le ha dado una importancia muy grande al mundo de la construcción, pues no podemos olvidar que la arquitectura aloja, protege y es la encargada de brindarnos albergue sin importar el uso arquitectónico; es por ello que se le ha considerado en muchas áreas de investigaciones tecnológicas, aplicado en ella nuevos materiales desarrollados, la nanotecnología ha sido prueba de ello. Es importante definir que “La nanotecnología es el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, en sistemas funcionales a través del control de la materia a escala nanométrica. De manera general, se podría definir nanotecnología como la fabricación de materiales, estructuras, dispositivos y sistemas funcionales a través del control y ensamblado de la materia a la escala del nanómetro (de 0.1 a 100 nanómetros, del átomo hasta por debajo de la cédula)”, (Guery, 2010) . Ver imagen de escala nanométrica.



**Imagen 11. Escala nanométrica, los objetos cuyo tamaño está comprendido entre 0.1 y 100 nm, son con los que habitualmente trabaja la nanotecnología. Fuente: (Martin, 2010)**



#### 4.1 Nanotecnología y arquitectura.

La nanotecnología cuenta con el potencial para crear una nueva generación en el campo de los nuevos materiales de la construcción, aunque en la actualidad ya se cuentan con algunos materiales compuestos a esta escala, los científicos e investigadores enfocados en estas áreas aun están tratando de entender las distintas complejidades que surgen de esta.

El término de la nanotecnología hace referencia a un proceso que principalmente se puede consolidar, separar e incluso deformar materiales conformados por un átomo o molécula. Esta nueva ciencia en su escala nano permite a los materiales de construcción tener un mejor comportamiento en sus distintas aplicaciones arquitectónicas pues sus nano partículas por las que se encuentran compuestas, permiten el aumento de sus propiedades para las cuales fueron concebidas y estudiadas (Taniguchi, 1974).

El sector de la construcción no ha quedado exento en la incorporación y uso de nanomateriales, pues se han incorporado algunos con distintas propiedades, por ejemplo algunos se han mejorado con relación a su resistencia, otros en su conductividad eléctrica e incluso se han desarrollado algunos con propiedades térmicas (Riechmann, 2009). Con la nanotecnología se pueden desarrollar materiales más resistentes que el acero, con sólo un 10% de su peso según (Ocampo, 1998). Dentro de la arquitectura han destacado materiales con estas características tecnológicas, como los aislamientos térmicos, concretos, resistencias y recubrimientos superficiales, actualmente la construcción ha sido uno de los campos en donde los nanomateriales han destacado al brindar mayor oferta de estos, sin embargo algunos siguen en fase de investigación para su mejora; en los mercados ya se pueden encontrar para su compra y aplicación, debido a esto en algunos países ya han implementado organizaciones o instituciones relacionados con estos materiales dentro de este mismo sector de la construcción (Riechmann, 2009).

Que el arquitecto se atreva a implementar los nuevos avances tecnológicos con relación a los materiales de construcción, se vuelve indispensable para el progreso de la arquitectura, pues en la actualidad existen muchos problemas que hacen difícil unificar los estándares de confort, funcionalidad y estética, debido a distintos factores que pueden ser climáticos o hasta problemas provocados por el mismo hombre.



Esta tarea arquitectónica de crear espacios habitables demuestra que incorporar nuevos materiales va enfocado hacia una madurez en el mejoramiento de edificaciones, pues con la implementación de materiales investigados y comprobados como más eficientes se pueden aportar mejoras en distintos sectores como el energético, económicos e incluso en la durabilidad de los materiales mediante sus bondades de resistencia.

#### **4.2 Películas nanotecnológicas.**

Estos materiales nanotecnológicos, se pueden llevar a la realidad, mediante la idea de crear superficies para envolventes capaces de funcionar como una piel que responda al entorno, controlando sistemas de confort y ahorro de energía, y dando autonomía con un óptimo funcionamiento.

Al controlar el ritmo de evaporación y presión atmosférica de estos materiales, se logra cambiar su resistencia a la fractura, plasticidad, elasticidad, color, transparencia, resistencia a la corrosión, comportamiento eléctrico, resistencia acústica y térmica.

Hoy en día se tienen aplicaciones de películas nanotecnológicas adheridas al vidrio, que son recubrimientos de baja emisividad y que reciben los beneficios de ganancia de energía pasiva, es decir, que evitan pérdida de calor del invierno con la reflexión de los rayos solares, pero también pueden mejorar la capacidad de absorción del calor en verano (Ocampo, 2010). Por lo tanto, pueden ser aplicadas para el mejoramiento de la óptica para la luz, color, transparencia, auto-limpieza y control térmico.

Hablando de la propiedad reflectante de luz, cuentan con una mayor capacidad de reflexión, transmisión y absorción que las películas convencionales, pues trabajan sólo con longitudes de onda única en el espectro de luz, lo que da control en la iluminación interior del espacio.



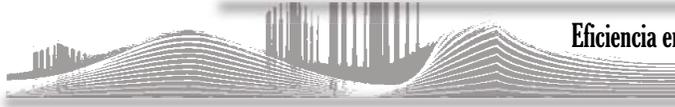
### 4.3 Películas de nanocerámicas.

La película de nanocerámica representa un aportación importante al mundo arquitectónico, pues han sido estudiadas con la finalidad de ejercer un avance en la protección de incidencia solar que recae sobre las ventanas o fachadas de vidrio. Compite con el grupo de películas de control solar que comercialmente han sido utilizadas en los últimos años, sin embargo las películas de nanocerámica se caracterizan por procesarse tecnológicamente a un nivel nanométrico.

La información de la tecnología de la película de nanocerámica como aislante térmico, actualmente pertenece bajo patente por la empresa que la comercializa a nivel internacional. La información precisa y detallada de la cual está compuesto este material no es de carácter público al ser una patente. Esta película se dio a conocer en el año 2010 por dos de las principales revistas para las industrias de recubrimientos; en Asia, por la Asia Pacific Coating Journal (APCJ), y la revista Polymers Paint Colour Journal (PPCJ) líder en la industria mencionada en Europa y Medio Oriente, reconocieron como primer inventor de las películas de nanocerámicas patentadas a la marca Hüptler Optik; en la cual describen la película como la más sofisticada de las tecnologías de recubrimientos para vidrios con la finalidad de conservar el clima interior sin la afectación de los rayos solares que la inciden, mediante la técnica de catódica de pulverización avanzada con capas muy finas de nitruro de titanio en el intervalo de nanómetros aplicados a la película, que posteriormente será aplicada al vidrio para brindar los beneficios de rechazo de calor (Mucha, Chuchmata, Hreniak, & Jezowski, 2011).

Las características que distinguen la película de nanocerámica es que a diferencia de las películas convencionales, no están compuestas por metales ya que son 100% libre de ellos al igual que de tintas, esto les permite tener un mejor ingreso de luz natural y un eficiente rechazo de radiación solar, evitando efectos de decoloración y creando un barrera con durabilidad en condiciones que afecten tanto en tierra como en mar (<http://www.huperoptik.com>).

Es importante tomar en cuenta los nuevos materiales arquitectónicos existentes, pues debemos recordar como arquitectos las cuestiones que nos atañen actualmente, como el gran problema del calentamiento global. Considerar materiales procesados a nivel nanométrico,



dentro de nuestras investigaciones se vuelve de suma importancia, como es el caso de este análisis al contemplar este material como alternativa para el estudio del problema de la radiación solar que incide en las fachadas de vidrio provocando aumento de temperaturas en los interiores; se pueden obtener parámetros, al estudiar a fondo como sería su comportamiento en un modo simulado, y poder obtener resultados y ejercer recomendaciones de carácter arquitectónico. Para esto es importante simular y estudiar la información térmica que brindan las empresas que comercializan estos materiales con relación a sus características térmicas para tener un acercamiento sobre su comportamiento con respecto a su aislamiento térmico y ahorros energéticos que puede generar su aplicación.



### 4.3.1 Propiedades térmicas de película de nanocerámica.

Las propiedades térmicas de los materiales con función de protección solar, definen claramente la capacidad del mismo para cumplir con sus objetivos, en el caso de la película de nanocerámica ofrece un rechazo del 91% de rayos infrarrojos, este es importante puesto que evita el aumento significativo del calor, así como la energía solar, que para este caso es poco requerida; puede aislarla hasta un 68% de calor solar. El problema de las envolventes actuales, es el efecto de espejo en sus vidrios, y de la misma forma los destellos de luz hacia a su alrededor, la película de nanocerámica evita tales efectos de reflexión debido a que es libre de tintes y metales(<http://www.huperoptik.com>).

De acuerdo a las características que manejan los fabricantes, las propiedades térmicas de esta película pueden variar dependiendo del espacio, género y localidad en la cual se desee aplicar con relación a la eficiencia que requiera en aislamiento, como se muestra en las distintas opciones en la siguiente tabla 1; los valores que se toman en consideración son los coeficientes de sombreado (CS) y el valor de la transmitancia térmica (U), en este caso la película cuenta excelentes valores, tenemos que la mejor tiene un valor CS de 0.37 y un valor U de 1.04, con esta información de sus propiedades térmicas sabemos que es eficiente en su protección, sin embargo es conveniente el análisis de este tipo de materiales con tecnologías manipuladas a escalas manométricas para saber con precisión cuanto exactamente nos genera de ahorros energéticos en sistemas de climatización artificial y cuanto es lo que protege térmicamente al aplicarse en fachadas o envolventes arquitectónica.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE PELÍCULAS DE NANOCERÁMICA										
Modelo	Producto	Transmisión de luz visible VLT	Reflexión de luz visible VLR	Coefficiente de sombreado SC	Coefficiente de ganancia solar SHGC	Rechazo de infrarrojos IR	Rechazo de rayos ultravioleta UVLR	Total de energía solar rechazada TSER	Reducción de resplandor GR	Valor U
C E R A M I C	Ceramic 20	21	14	0.37	0.32	91	99.9	68	76	104
	Ceramic 30	30	11	0.43	0.37	86	99.9	63	62	104
	Ceramic 42	42	9	0.52	0.45	80	99.9	56	53	106
	Ceramic 52	52	10	0.58	50	69	99.9	50	45	102
	Ceramic 60	60	9	0.67	0.58	60	99.9	43	34	102
	Ceramic 72	72	9	0.62	0.52	91	99.9	48	20	104

Tabla 1 Propiedades térmicas de los diferentes factores de Película Nano cerámica. Fuente: Nanoceramic Huper Optik México.



# CAPÍTULO 5





## Capítulo 5

### Análisis arquitectónico, bioclimático y energético

#### 5 Análisis arquitectónico, bioclimático y energético.

El comportamiento térmico de la envolvente de un edificio, depende de diferentes factores, su forma arquitectónica y su orientación, así como la composición de los materiales con los cuales están contruidos sus muros y losas, de igual forma las condiciones climatológicas en las cual se ve expuesto dependiendo de la zona geográfica y el uso o género arquitectónico para el cual fue proyectado el edificio.

Para poder analizar la envolvente, se tomaron en cuenta las variaciones existentes de factores climáticos como la radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura del aire. En este caso de estudio se analizará el edificio de caso de estudio, de acuerdo a su conformación arquitectónica.

#### 5.1 Descripción del edificio caso de estudio.

El edificio se localiza al sur de la Ciudad de México, con dirección en Periférico Sur No. 4300, en la Colonia Jardines del Pedregal perteneciente a la delegación Coyoacán en México D.F. Ver imagen 12.

Datos Geográficos:

Latitud: 19°18'.69 N

Longitud: 99.12.17

Altura: 2368 m.



Imagen 12. Vista Aérea de la zona Periférico Sur ubicación del edificio caso de estudio



Imagen 13. Vista Aérea edificio caso de estudio

El edificio de género oficinas está ubicado en una zona principalmente comercial de la parte sur de la Ciudad de México, donde el uso de suelo es mixto, permitiendo edificaciones habitacional, oficinistas, religiosos y comerciales. Se encuentra frente a una de las vías de comunicación más importante que es el Periférico en la zona sur. Ver imagen 13.

La distribución arquitectónica está conformada en un sótano, tres niveles (Planta baja, Nivel 1 y Nivel 2), y terraza, las cuales tienen los siguientes metros cuadrados en su distribución arquitectónica. Ver imágenes 14,15,16 y 17.

Metros cuadrados construidos total del edificio: 2217.328 m<sup>2</sup>

Metros cuadrados construidos en terraza: 30 m<sup>2</sup>

Metros Cuadrados construidos por Nivel: 367.1 m<sup>2</sup> C/U

Planta Arquitectónica. Planta Baja S/E.

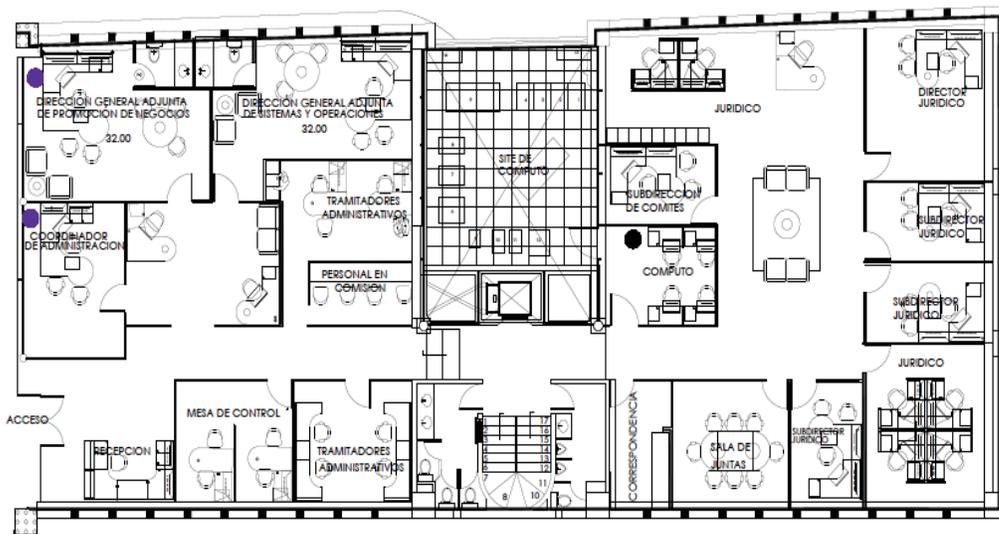
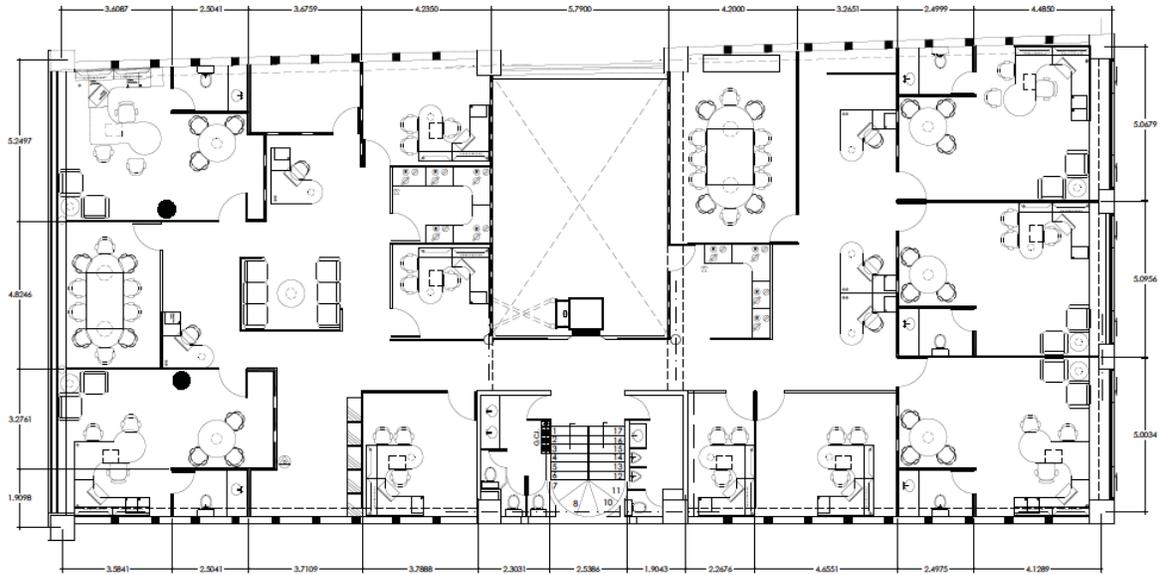


Imagen 14. Planta baja del edificio caso de estudio (sin escala).



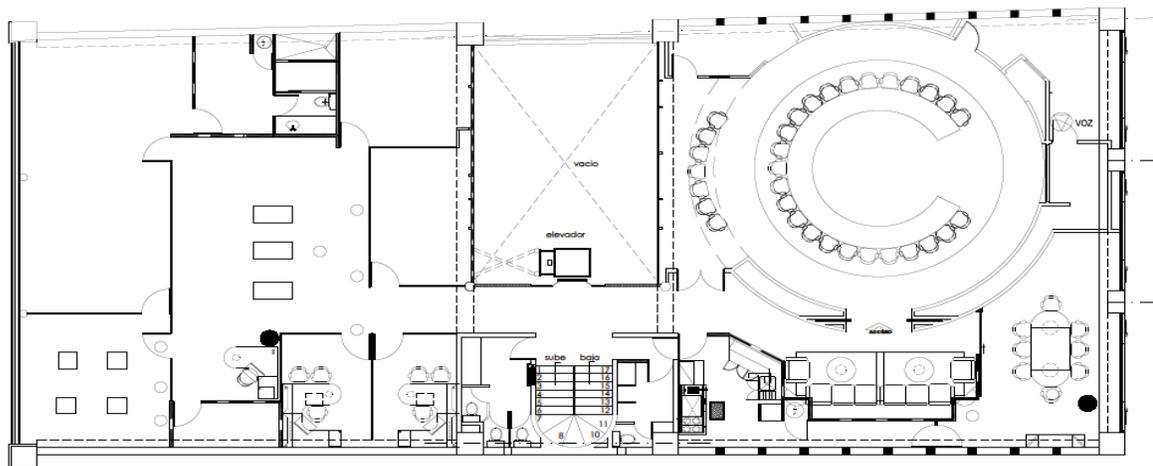
Planta Arquitectónica. Nivel 1 S/E



OFICINA CON SEDE EN MEXICO D.F. PRIMER NIVEL

Imagen 15 .Planta nivel 1 del edificio caso de estudio (sin escala).

Planta Arquitectónica. Nivel 2 S/E.



OFICINA CON SEDE EN MEXICO D.F. SEGUNDO NIVEL

Imagen 16. Planta nivel 2 del edificio caso de estudio (sin escala).



Planta Arquitectónica. Sótano S/E.

Metros cuadrados sótano: 1086 m<sup>2</sup>

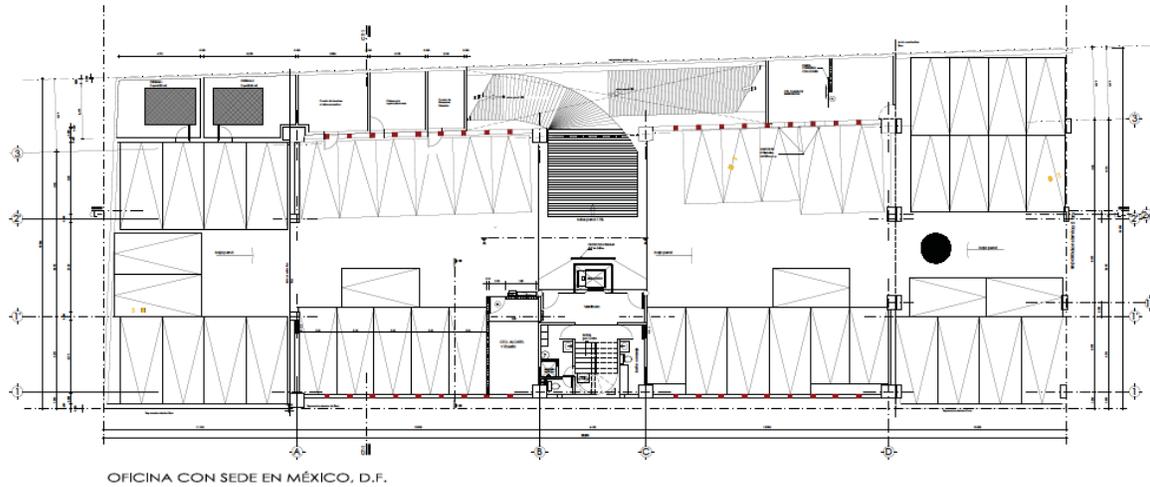


Imagen 17 Planta sótano nivel -1 del edificio caso de estudio (sin escala).

La distribución del edificio está conformada por:

- Salas de juntas
- Oficinas administrativas
- Sala de espera
- Cocina
- Bodegas
- Áreas de mantenimiento
- Baños
- Estacionamiento



Las características arquitectónicas en su envolvente están conformadas por una fachada de cristal en zona sur, con doble acristalamiento el cual predomina (ver imagen 19), en la fachada norte predomina el cristal con ventanas en la mayor parte de ella como se muestra en la imagen 20, cuenta con domo y fachada de vidrio que inicia en el primer nivel cubriendo parte de la zona oriente unificándose al domo en azotea como se muestran en las imágenes 18, 19, 20 y 21.



**Imagen 19. Fachada principal edificio caso de estudio**



**Imagen. 18 Fachada sur del edificio.**



**Imagen 20. Fachada oriente de vidrio**



**Imagen 21. Domo integrado al vidrio de fachada oriente**



Las fachadas del edificio se encuentran conformadas por 2 tipos de vidrios y muro de concreto de 25 cm, que se componen de la siguiente manera, en la fachada sur existe un doble acristalamiento con vidrio simple, una parte de la fachada oriente tiene vidrio filtrazol mismo que se une a un domo y entrepisos con las mismas características, sus propiedades térmicas fueron proporcionadas por administración del edificio como se muestran en la tabla 2.

Propiedades térmicas de la envolvente estado actual				
Vidrios	Valor U W/m <sup>2</sup> K	Coef. SHGC	Coef. SC	Transferencia de calor solar %
Filtrazol(estado actual)	1.56	0.79	0.918604651	75
Vidrio en muro cortina (Estado actual)	1.6	0.82	0.953488372	77

Tabla 2. Propiedades térmicas de la envolvente del Edificio ciudad de México



## 5.2 Análisis bioclimático del caso base.

Se realiza un análisis bioclimático del edificio con relación a la zona en la que se encuentra, ya que en la ciudad de México pueden cambiar las variables climatológicas registradas, debido a que existen algunas zonas más cálidas que otras, es por esto que existe la necesidad de ubicar el caso de estudio obteniendo información de dichas variables con respecto a su localización. La CONAGUA divide estas zonas por colonias y delegaciones, de las cuales se pueden consultar dependiendo del sitio; también es básico tener en cuenta las temperaturas promedio con las que cuenta nuestro país para poder interpretar los resultados que se obtendrán mediante este análisis.

El país cuenta con una gran diversidad de climas, los cuales de manera muy general pueden clasificarse, según su temperatura, en cálido y templado; y de acuerdo con la humedad existente en el medio, en: húmedo, subhúmedo y muy seco.

El clima seco se encuentra en la mayor parte del centro y norte del país, región que comprende el 28.3% del territorio nacional; se caracteriza por la circulación de los vientos, lo cual provoca escasa nubosidad y precipitaciones de 300 a 600 mm anuales, con temperaturas en promedio de 22° a 26° C en algunas regiones, y en otras de 18° a 22° C.

El clima muy seco registra temperaturas en promedio de 18° a 22° C, con casos extremos de más de 26°C; presentando precipitaciones anuales de 100 a 300 mm en promedio, se encuentra en el 20.8% del país.

En relación al clima cálido, éste se subdivide en cálido húmedo y cálido subhúmedo. El primero de ellos ocupa el 4.7% del territorio nacional y se caracteriza por tener una temperatura media anual entre 22° y 26°C y precipitaciones de 2,000 a 4,000 mm anuales. Por su parte, el clima cálido subhúmedo se encuentra en el 23% del país; en él se registran precipitaciones entre 1,000 y 2,000 mm anuales y temperaturas que oscilan de 22° y 26°, con regiones en donde superan los 26°C.

Finalmente, el clima templado se divide en húmedo y subhúmedo; en el primero de ellos se registran temperaturas entre 18° y 22°C y precipitaciones en promedio de 2,000 a 4,000 mm anuales; comprende el 2.7% del territorio nacional. Respecto al clima templado subhúmedo, se encuentra en el 20.5% del país, observa en su mayoría temperaturas entre 10° y 18° C y de 18° a 22°C, sin embargo en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°C; registra precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año.

De acuerdo a la información del Instituto General de Estadísticas y Geografía (INEGI), en sus cartas climáticas, la zona de estudio donde se encuentra el edificio que se analiza en esta investigación, pertenece a un clima templado subhúmedo, clima que predomina en la mayor parte del Distrito Federal, como se muestra en la imagen 22.



**Imagen 22. Carta climáticas del Distrito Federal.  
Fuente: Elaborado con base INEGI.**



### 5.2.1 Condiciones de comodidad.

Generar condiciones de comodidad desde el punto de vista térmico:

La creación de un ambiente térmico cómodo es uno de los parámetros más importantes que se deben considerar cuando se proyectan edificios.

La norma ISO 7730 define como comodidad térmica “aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Esta definición puede satisfacer a la mayoría de la gente, pero también es una definición que no es fácil de convertir en parámetros físicos.

“El cuerpo humano es, entre otras cosas una bomba de calor, el cual necesita perder constantemente y a un rapidez determinada y fijada por el metabolismo de una persona, que permita mantener la temperatura corporal interna entre 35.5 y 37.5°C con el mismo esfuerzo, y permita el desarrollo del trabajo fisiológico en óptimas condiciones”.

Balance de calor en el Humano

Es un equilibrio que debe existir entre producción y pérdida de calor en el cuerpo humano.

Las pérdidas de se expresan de la siguiente forma:

- Radiación 60%
- Evaporación convección 22%
- Conducción convección 3%
- Trabajo

Las ganancias se expresan de la siguiente forma:

- Metabolismo basal
- Actividad muscular
- Efecto de la adrenalina
- Efecto de la temperatura sobre las células

El metabolismo se mide en MET, que equivale a 58.2 W/m<sup>2</sup>, que corresponde al nivel de actividad que realiza una persona. Nuestro metabolismo esta al mínimo mientras dormimos correspondiente a 0.7 MET, pudiendo superar los 10 MET mientras se realiza una actividad física, y esto también dependerá del tipo de actividad.

La superficie de la piel del cuerpo humano presenta diferentes magnitudes de temperatura dependiendo de la región que se trate, por ejemplo en la cabeza debe tener 34°C,



en pies y manos 31°C, mientras que el cuerpo en general debe presentar una temperatura variable entre los 36.5 y los 37.5 °C.

- Según Givoni plantea un rango de comodidad térmica para los habitantes de regiones intertropicales correspondientes de 22 a 28°C como temperatura de confort en el entorno donde se encuentre la persona y de 30 a 70 % de Humedad Relativa. Ver imagen 23.

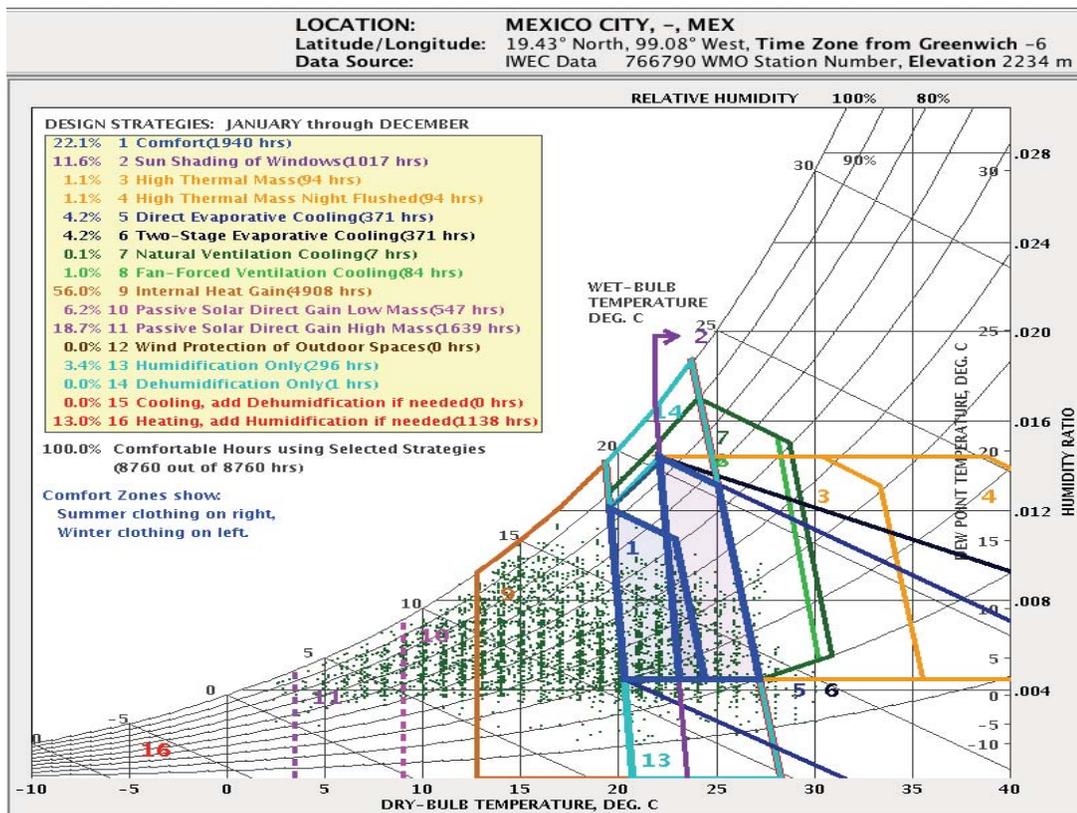


Imagen 23. Diagrama psicrométrico Givoni. Fuente: Climate Consultant.



### 5.2.2 Temperatura del aire

El Banco Nacional de Datos Climatológicos incluye registros históricos de la red climatológica nacional (5000 estaciones), red sinóptica de superficie y altura (77 observatorios y 11 estaciones de radio sondeo), con registros en algunos casos desde fines del siglo pasado hasta la fecha. Las tablas muestran los valores de Temperatura media, Temperatura máxima y Temperatura mínima promedio mensual para las capitales de los estados (periodo 1951-1980); así como la lámina de lluvia media mensual y anual por entidad federativa y Nacional (periodo de 1941-1996).

Debido a la gran la demanda de resúmenes climáticos actualizados, el Servicio Meteorológico Nacional decidió elaborar las normales climatológicas provisionales del período 1971-2000; este producto es un complemento a las normales climatológicas estándar y provisionales 1961-1990.

Se utilizó el programa BIOSOL<sup>2</sup>, que permite calcular datos e información importante para realizar estrategias que conlleven a generar un proyecto con condiciones de confort en los ocupantes, para esto el programa solo requiere se alimente con información geográfica de la ciudad como longitud, altitud y latitud; así como datos de temperaturas promedio tanto máximas como mínimas mensuales. Este programa permitirá obtener información como estimaciones de temperaturas, humedad relativa, rangos de confort, radiación solar y gráficas solares, toda esta información es basada en el modelo del ASHRAE.

Se realizó el cálculo promedio de temperaturas mensual, estimándolas a partir de medidas extremas registradas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en la ciudad de México, asignando valores de temperaturas medias con las cuales se obtendrán promedios de temperaturas máximas y mínimas en los diferentes meses el año. Las temperaturas máximas y mínimas fueron tomadas de las normales climatológicas correspondientes a la colonia Jardines del pedregal.

---

<sup>2</sup> BIOSOL: Programa para el estudio del bioclima, control solar e iluminación natural.



De acuerdo en la siguiente tabla donde se muestran cuáles fueron las temperaturas donde la máxima promedio se da en el mes de Mayo con una temperatura de 31° y la mínima promedio se registró en el mes de Enero con una temperatura de 5 °C. Las temperaturas se manejaron por colores donde el color azul corresponde a una temperatura fría, el amarillo temperatura media y el rojo las temperaturas altas donde se presentan entre las 09:00 a.m. y las 19:30 p.m. temperaturas entre 30.9°C y 24°C durante en los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto, Ver tabla 3.

ESTIMACION DE TEMPERATURAS HORARIAS MEDIAS MENSUALES, A PARTIR DE MEDIAS EXTREMAS.												
Localidad	México Df	Lat. (xx.x)	19.18	Long.(xxx.x)	99.12	Altitud (m)	2368					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temp max	23	23.3	25.8	28	31	31	30	29	22.9	23.2	22.5	21.5
Temp min	5	6.3	7.9	10.2	11.5	12.5	11.9	12.2	12.1	10.4	7.6	5.8
Temp med	14.0	14.8	16.9	19.1	21.3	21.8	21.0	20.6	17.5	16.8	15.1	13.7
Hora min	6.519	6.315	6.066	5.781	5.548	5.425	5.474	5.672	5.947	6.223	6.461	6.575
Hora max	13.929	13.815	12.896	13.451	13.138	13.335	12.724	13.172	13.537	13.393	13.961	13.825
Hora												
00:00	9.7	10.6	12.2	14.2	15.7	16.4	15.7	15.9	14.6	13.6	11.5	10.0
01:00	8.8	9.8	11.4	13.5	14.9	15.6	15.0	15.2	14.1	13.0	10.7	9.2
02:00	8.1	9.1	10.7	12.8	14.2	15.0	14.4	14.6	13.7	12.5	10.1	8.5
03:00	7.5	8.6	10.2	12.3	13.7	14.5	13.9	14.1	13.4	12.1	9.6	8.0
04:00	7.0	8.1	9.7	11.9	13.2	14.1	13.5	13.7	13.2	11.7	9.2	7.6
05:00	6.6	7.7	9.3	11.5	12.9	13.8	13.2	13.4	12.9	11.5	8.9	7.2
06:00	6.3	7.4	9.0	10.2	11.7	12.9	12.2	12.3	12.1	11.2	8.6	6.9
07:00	5.2	6.8	9.0	12.0	14.3	15.6	14.8	14.2	12.9	10.9	7.9	6.0
08:00	7.7	9.6	12.3	15.8	18.7	19.8	18.9	17.9	15.1	13.1	10.0	8.0
09:00	11.7	13.5	16.5	19.9	23.2	24.1	23.0	21.8	17.6	16.1	13.4	11.5
10:00	15.9	17.3	20.4	23.6	26.9	27.5	26.4	25.1	19.9	18.9	16.8	15.1
11:00	19.3	20.3	23.3	26.1	29.4	29.7	28.7	27.4	21.6	21.1	19.6	18.1
12:00	21.6	22.3	25.1	27.6	30.7	30.8	29.8	28.7	22.5	22.5	21.4	20.2
13:00	22.7	23.2	25.7	27.9	30.9	30.9	29.9	28.9	22.9	23.1	22.3	21.2
14:00	22.9	23.1	25.5	27.5	30.3	30.2	29.2	28.5	22.7	23.0	22.4	21.4
15:00	22.3	22.4	24.6	26.5	29.0	28.9	28.1	27.4	22.1	22.5	21.9	20.9
16:00	21.1	21.3	23.3	25.1	27.4	27.4	26.6	26.1	21.3	21.6	20.9	19.9
17:00	19.7	19.8	21.7	23.5	25.7	25.7	24.9	24.6	20.3	20.5	19.7	18.7
18:00	18.0	18.3	20.1	21.9	23.9	24.0	23.2	23.0	19.3	19.3	18.3	17.2
19:00	16.4	16.7	18.5	20.2	22.1	22.4	21.6	21.5	18.4	18.1	16.9	15.8
20:00	14.7	15.2	16.9	18.7	20.5	20.9	20.1	20.1	17.4	17.0	15.6	14.4
21:00	13.3	13.8	15.5	17.4	19.0	19.5	18.8	18.8	16.6	16.0	14.4	13.1
22:00	11.9	12.6	14.2	16.2	17.7	18.3	17.6	17.7	15.8	15.1	13.3	11.9
23:00	10.7	11.5	13.1	15.1	16.6	17.3	16.6	16.7	15.2	14.3	12.3	10.9

Tabla 3. Tabla donde se registraron las temperaturas extremas mes y hora. Fuente Biosol



Las temperaturas frías de la zona prevalecen en 8°C y los 10°C, principalmente durante la madrugada entre 3:00 a.m. y las 7:00 a.m. y en los meses de Enero, Febrero, Noviembre y Diciembre de acuerdo al cálculo que se hicieron como estimación de temperaturas horarias promediados a partir de las temperaturas extremadas entre máximas y mínimas.

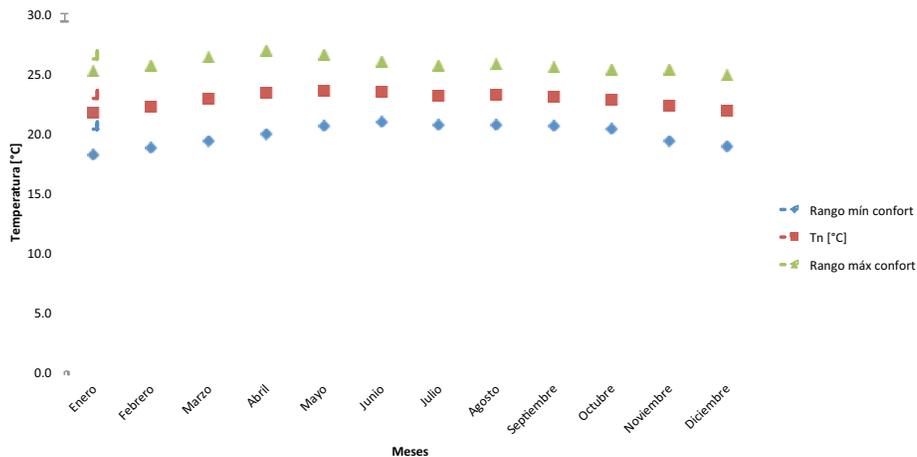
### 5.2.3 Rango de confort

De acuerdo a la altitud, latitud y altura donde se localiza el edificio, se realiza el cálculo para determinar los rangos máximos y mínimos de confort con relación al de acuerdo a la temperaturas medias promediadas con base a la información de Normales Climatológicas, como se demuestra en la siguiente tabla. Ver tabla 4.

19.18	Long. [°]	99.12	Altitud (m)	2368					
Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
16.9	19.1	21.3	21.8	21.0	20.6	17.5	16.8	15.1	13.7
22.8	23.5	24.2	24.3	24.1	24.0	23.0	22.8	22.3	21.8
17.9	17.8	19.5	18.5	18.1	16.8	10.8	12.8	14.9	15.7
3.5	3.5	4.0	3.5	3.5	3.5	2.5	2.5	3.0	3.0
19.3	20.0	20.2	20.8	20.6	20.5	20.5	20.3	19.3	18.8
26.3	27.0	28.2	27.8	27.6	27.5	25.5	25.3	25.3	24.8

Tabla 4. Rango de confort de la zona Jardines del Pedregal. Fuente Biosol

La siguiente gráfica muestra la temperatura media promedio (Tn) y de esta forma graficar cuales es el rango mínimo y el rango máximo de confort. Ver gráfica 3.



Gráfica 3. Rangos de Confort en diferentes meses del año de la zona del caso de estudio. Fuente BIOSOL.



### 5.2.4 Radiación solar.

De acuerdo al programa Climate Consultant 6.0 se obtuvo la información de la radiación solar con relación a la ciudad de México. Este programa se encarga de recolectar información de las distintas estaciones existentes en el mundo, las cuales son recabadas por una base informática del departamento de energía en Estados Unidos; esta información es obtenida mediante una búsqueda de archivos con información climática por país y ciudad según se requiera, en la página web de EnergyPlus. Al incorporar estos archivos climáticos el programa proporcionó información acerca de la radiación solar promedio de la ciudad de México misma que se describe en la siguiente tabla 5.

WEATHER DATA SUMMARY		LOCATION: MEXICO CITY, -, MEX											
		Latitude/Longitude: 19.43° North, 99.08° West, Time Zone from Greenwich -6 Data Source: IWECC Data 766790 WMO Station Number, Elevation 2234 m											
MONTHLY MEANS	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
Global Horiz Radiation (Avg Hourly)	376	417	455	458	435	428	423	446	421	404	362	324	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Hourly)	338	333	310	262	225	223	203	252	236	258	260	234	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Hourly)	188	202	230	250	255	247	252	236	248	218	196	196	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Max Hourly)	893	1002	1090	1116	1121	1096	1095	1091	1054	1019	895	834	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Max Hourly)	1039	1032	1027	1004	988	990	980	997	1022	1010	1000	1009	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Max Hourly)	419	432	616	645	668	658	659	539	620	470	441	414	Wh/sq.m
Global Horiz Radiation (Avg Daily Total)	4126	4739	5429	5703	5633	5628	5520	5644	5095	4654	4010	3521	Wh/sq.m
Direct Normal Radiation (Avg Daily Total)	3709	3788	3707	3257	2916	2934	2646	3183	2837	2971	2883	2539	Wh/sq.m
Diffuse Radiation (Avg Daily Total)	2065	2296	2741	3126	3305	3254	3288	2995	3008	2516	2176	2127	Wh/sq.m

Tabla 5. Tabla con radiación solar promedio en la ciudad de México. Fuente: Climate Consultant.

Los meses donde se presenta la mayor radiación solar promedio al día son:

Radiación Horizontal Global: Mes de Mayo con 5644 Wh/sq.m

Radiación Normal Directa: Mes de Febrero con 3788 Wh/sq.m

Radiación Difusa: Mes de Mayo con 3305 Wh/sq.m



Mediante un diagrama de isorrequerimientos del programa Biosol se observa que la temperatura de confort en el caso de estudio se presenta durante todo el año, entre las 11:00 a.m. y 17:00 p.m., el punto de calor surge durante los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto durante las 11:00 a.m. y 15:00 p.m.; mientras que durante el otoño (Septiembre, Octubre y Noviembre) y principalmente en el invierno (Diciembre, Enero y Febrero) predomina la sensación de frío por la mañana y la tarde, como se observa en la tabla 6.

DIAGRAMA DE ISORREQUERIMIENTOS												
México Df												
HORA/MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
00:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
01:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
02:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
03:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
04:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
05:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
06:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
07:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
08:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
09:00	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
10:00	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
11:00	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	-1
12:00	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
13:00	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
14:00	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	-1	-1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
19:00	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1
20:00	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1
21:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
22:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
23:00	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

-1 FRÍO      0 CONFORT      1 CALOR

Tabla 6. Carta Isorrequerimientos donde se presentan las horas y meses con calor, confort y frío. Fuente Biosol



Los datos son colocados en una gráfica estereográfica para conocer los horarios y la ubicación del sol, así como de los rayos solares en esos horarios, con el fin de analizar posteriormente soluciones y estrategias de diseño para lograr condiciones de confort. La siguiente gráfica solar equidistante demuestra como inciden los rayos del sol en este edificio durante el primer semestre del año correspondiente a Enero – Junio.

Con el Hatch en color rojo se demuestra la cantidad de horas en que afecta el sol en nuestro edificio. Como específica la gráfica a las 9:00 a.m. comienza a tener una radiación directa en el mes de Mayo, durante los meses de Marzo, Abril, Mayo y Junio. Ver imagen 24.

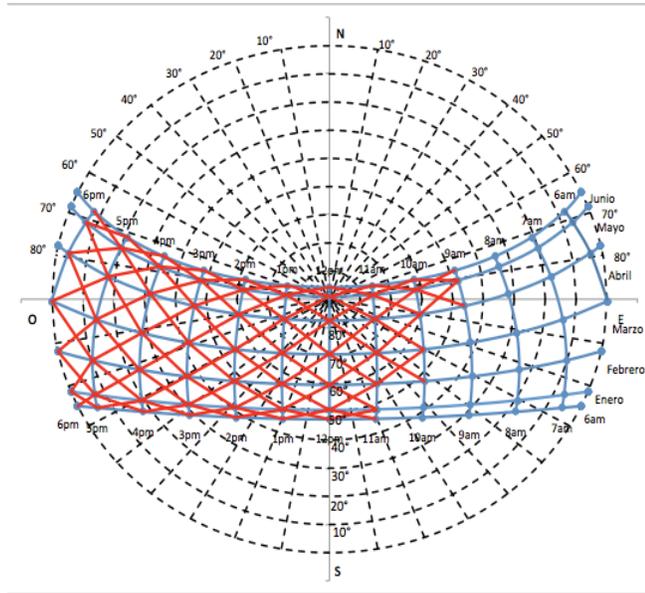


Imagen 24. Radiación solar por horario de acuerdo al periodo Enero – Junio. Fuente: Biosol

Los datos en la gráfica cilíndrica desplegada, sin embargo será necesario dividirla por los meses en que el sol tiene un desplazamiento sur y norte como se mencionó anteriormente. Ver imagen 25.

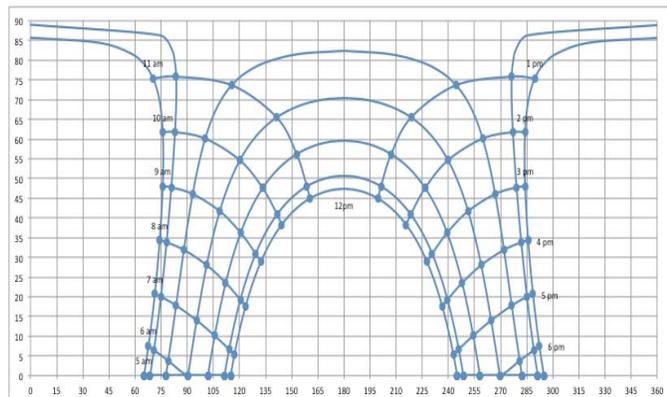


Imagen 25. Radiación solar en gráfica cilíndrica por horario de acuerdo al periodo Enero – Junio. Fuente: Biosol



Gráficas correspondientes al segundo semestre de Julio a Diciembre.

En esta gráfica se demuestra las horas en las que se deberán proteger del sol, a partir de las 10 am hasta las 6 de la tarde de manera general para este periodo, aunque en mes de Julio solo afecta de 10 a.m. a 5 p.m. de manera directa en todo el sur y parte del Noreste, para los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre se deben proteger de manera general; también el Sur y parte del Noreste ya que afecta principalmente en los horarios correspondientes de 10 a.m. a 6 p.m. Ver imagen 26.

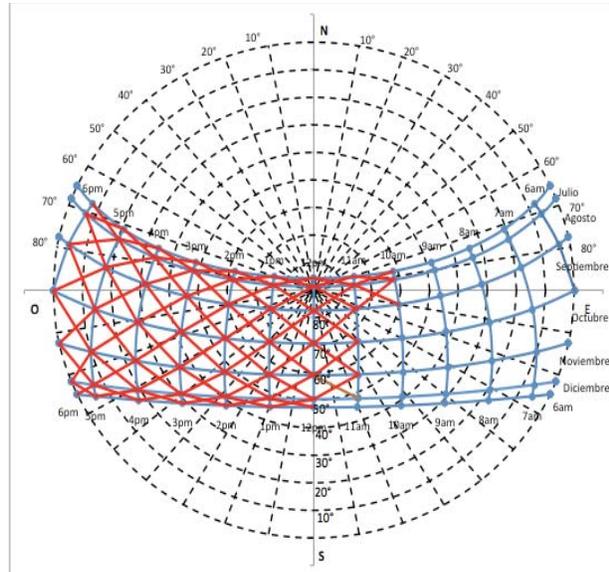


Imagen 26. Radiación solar por horario de acuerdo al periodo Julio- Diciembre. Fuente: Biosol

En este tipo de gráficas cilíndricas nos resulta fácil conocer tanto el azimut como la altura solar a través del año para un lugar en específico, en este caso, la ciudad de México.

Teniendo estos datos podemos planear las estrategias para protección de fachadas con materiales nanotecnológicos así como una correcta orientación del proyecto desde el diseño. Ver imagen 27.

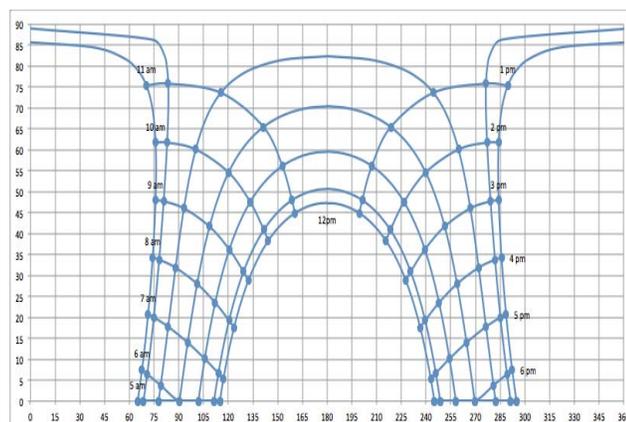


Imagen 27. Radiación solar en gráfica cilíndrica por horario de acuerdo al periodo Julio - Diciembre. Fuente: Biosol



### 5.2.5 Análisis de gráficas solares con el edificio.

Como se muestra en la gráfica correspondiente al primer semestre del año y con el cuadro simulando el edificio las fachadas que más afecta el sol son las Suroeste, aunque en el mes de Mayo afecta la Sureste a partir de la 9 a.m. y en el mes de Junio afecta la Noroeste después de las 2 p.m. En general la fachada norte no resultan tan perjudicada. Ver imagen 28.

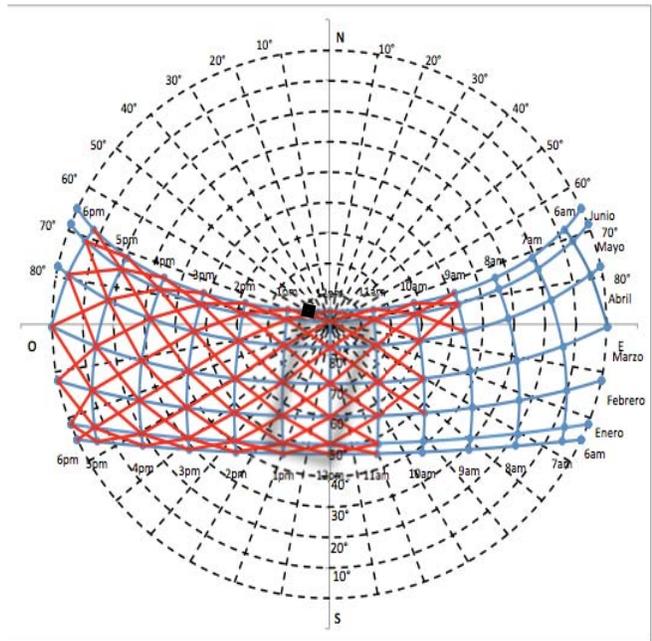


Imagen 28. Radiación solar por horario en edificio de acuerdo al periodo Enero- Julio. Fuente: Biosol

En la gráfica solar correspondiente al segundo semestre del año, en los meses Julio-Diciembre también presenta radiación solar en sureste aunque afectan menos horas en la mayoría de los meses, comienza a las 11:00 a.m. a excepción de Julio y Agosto, mientras que la fachada Suroeste le da prácticamente el sol hasta las 6:00 p.m. y en el Noroeste en el mes de Julio y Agosto también inciden sobre de ella y parte de la fachada Norte. Ver imagen29.

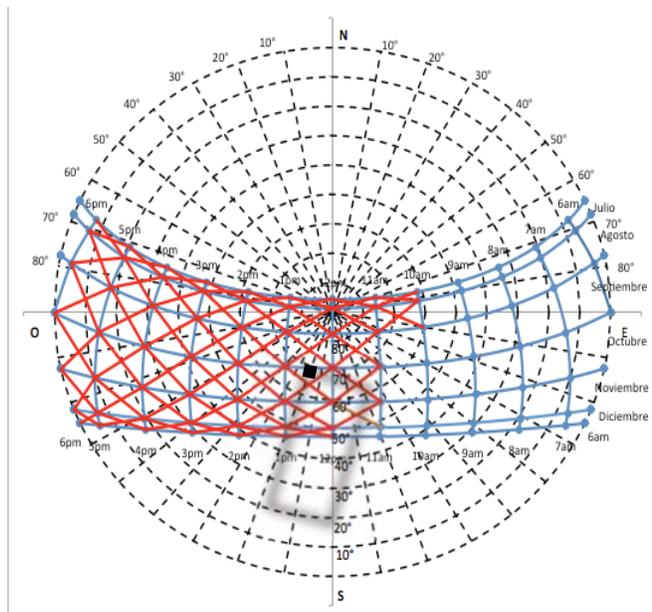


Imagen 29. Radiación solar por horario en el edificio de acuerdo al periodo Julio- Diciembre. Fuente: Biosol



### 5.2.6 Humedad relativa.

Humedad relativa es la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, expresada en porcentaje de la cantidad máxima que podría haber a una temperatura dada. (La cantidad de vapor de agua que de hecho puede mantenerse en un espacio, aumenta con la temperatura). Una lectura de 100% de humedad relativa significa que el aire está totalmente saturado de vapor de agua, dando la posibilidad de lluvia. Esto no significa que debe haber 100% de humedad relativa para que ocurran lluvias; debe haber 100% donde se estén formando las nubes, pero la humedad relativa cerca del suelo puede ser mucho más baja. La humedad relativa es un indicador de la probabilidad de precipitación, rocío o niebla.

En un caluroso clima veraniego, la humedad también aumenta la temperatura aparente evitando la evaporación de la transpiración de la piel. Este efecto es calculado en una tabla, resultando en el índice de calor. Al igual que con la presión de aire, la humedad y la temperatura están fuertemente relacionadas. Al aumentar la temperatura del aire, desciende la humedad relativa. Tiende a disminuir durante el día y a aumentar durante la noche, aunque los valores de vapor de agua presentes en el aire, pueden mantenerse inalterados. Ver tabla7.

	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Temp max	23	23.3	25.8	28	31	31	30	29	22.9	23.2	22.5	21.5
Temp med	14.0	14.8	16.9	19.1	21.3	21.8	21.0	20.6	17.5	16.8	15.1	13.7
Temp min	5	6.3	7.9	10.2	11.5	12.5	11.9	12.2	12.1	10.4	7.6	5.8
H R med observ	49	53	59	60	62.3	64	61.3	51	46.7	49.3	48	50
H R max observ												
H R min observ												
H R med calc	49	53	59	60	62	64	61	51	47	49	48	50
H R max calc	70	75	84	85	90	91	87	71	60	66	66	70
H R min calc	28	31	34	35	35	37	36	31	33	33	30	30
Hora max	6.519	6.315	6.066	5.781	5.548	5.425	5.474	5.672	5.947	6.223	6.461	6.575
Hora min	13.929	13.815	12.896	13.451	13.138	13.335	12.724	13.172	13.537	13.393	13.961	13.825
Hora (TSV)												
00:00	59	64	72	74	78	80	76	62	54	58	57	59
01:00	61	66	74	76	80	82	78	64	55	59	58	61
02:00	63	68	76	78	82	84	80	65	56	60	60	63
03:00	64	69	78	79	84	85	81	67	57	61	61	64
04:00	66	70	79	80	85	86	82	68	57	62	62	65
05:00	67	71	80	81	86	87	83	68	58	63	63	66
06:00	67	72	81	85	89	90	86	71	60	63	64	67
07:00	70	74	81	80	82	82	79	66	58	64	65	69
08:00	64	67	72	69	70	70	67	58	53	59	60	64
09:00	54	56	60	58	57	57	55	48	46	51	52	56
10:00	45	46	49	47	46	47	46	40	41	44	44	46
11:00	36	39	41	40	39	41	39	35	37	38	37	39
12:00	31	34	36	36	36	38	36	32	34	35	33	34
13:00	28	31	34	35	35	37	36	31	33	33	30	31
14:00	28	31	35	36	37	39	38	32	34	33	30	30
15:00	29	33	37	39	40	43	41	34	35	35	31	32
16:00	32	36	41	43	45	47	45	38	37	37	34	34
17:00	36	40	45	48	50	52	50	41	40	40	37	37
18:00	39	44	50	52	55	57	55	45	42	43	40	41
19:00	43	48	54	57	60	62	59	49	45	46	43	45
20:00	47	52	59	61	64	67	64	52	47	49	47	48
21:00	51	56	63	65	69	71	67	55	49	51	50	51
22:00	54	59	66	68	72	74	71	58	51	54	52	54
23:00	57	62	69	71	75	77	74	60	52	56	55	57

Tabla 7. Estimaciones de humedades relativas, a partir de medidas extremas. Fuente: Biosol



### 5.2.7 Vientos Dominantes

Durante el día se distinguen tres periodos significativos de vientos: El primero de la 1:00 a las 8:00 horas del día, en la que se presenta un flujo Noroeste, en un rango de dirección del viento entre los 307° a los 327°, con velocidades 0.6 m/s y 1.1 m/s, en el segundo periodo de las 9:00 a las 15:00, predomina un flujo suroeste, con un rango entre los 2° y los 29° a una velocidad entre los 0.7 m/s y los 1.2 m/s.

En la última etapa (16:00 a las 24:00) se observa un flujo dominante del Suroeste y oeste con velocidades que van de los 0.7 m/s a los 1.2 m/s. Ver tabla 8

Hora	Velocidad (m/s)	Dirección (Grados)	Orientación (Procedencia)
1:00	1.1	316	Noroeste
2:00	1.0	315	Noroeste
3:00	0.9	312	Noroeste
4:00	0.8	312	Noroeste
5:00	0.7	310	Noroeste
6:00	0.7	307	Noroeste
7:00	0.6	309	Noroeste
8:00	0.7	327	Noroeste
9:00	0.8	2	Oeste
10:00	0.7	20	Suroeste
11:00	0.8	29	Suroeste
12:00	0.8	28	Suroeste
13:00	0.9	23	Suroeste
14:00	0.9	20	Suroeste
15:00	0.8	23	Suroeste
16:00	0.7	6	Oeste
17:00	1.1	355	Oeste
18:00	1.2	351	Oeste
19:00	1.1	343	Noroeste
20:00	1.1	342	Noroeste
21:00	1.1	340	Noroeste
22:00	1.2	328	Noroeste
23:00	1.3	319	Noroeste
24:00	1.3	316	Noroeste

Tabla 8. Vientos dominantes en la ciudad de México

### Resultados

Los resultados de las temperaturas demuestran que en los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto a partir de las 11:00 a.m. y hasta las 7:00 p.m. muestran una alteración de temperatura de 24°C a 31°C, que sobrepasando el nivel de confort para el hombre; durante los horarios de 11:00 a.m. y 15:00 p.m. se identificaron temperaturas extremas arriba de los 30°C, lo cual puede concluir que es necesario la aplicación de sistemas de climatización artificial, para poder mantener una temperatura confortable de 22°C.



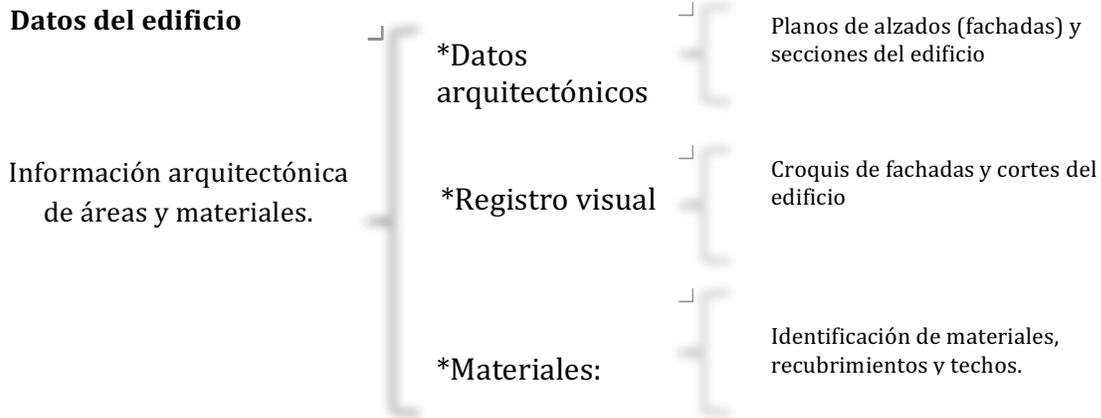
### **5.3 Evaluación del cumplimiento de la NOM-008-ENER-2001.**

La evaluación para el cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana **NOM-008-ENER-2001** tiene como propósito la optimización del diseño térmico de la envolvente de los edificios, para evaluar el comportamiento térmico de la fachada con el fin de obtener beneficios energéticos, económicos y ambientales, al igual que un adecuado confort en los ocupantes. La implementación de la norma tiene como finalidad calcular principalmente dos factores de acuerdo a la envolvente, el primero son las ganancias de calor por conducción y el segundo las ganancias de calor radiación, sin la necesidad de tomar en cuenta el calor generado por personas, equipos misceláneos, cómputos y similares.

Considerando que el caso de estudio no es un inmueble nuevo y de acuerdo a lo establecido en los lineamientos emitidos por la CONUEE, no se requiere un dictamen de alguna unidad de verificación, ya que la presente evaluación es con el fin de analizar el comportamiento de la envolvente del edificio caso de estudio ciudad de México, con ubicación en Periférico Sur, Distrito Federal, México (ver norma en Anexo 1).

#### **5.3.1 Cálculo de la NOM-008-ENER-2001.**

La metodología del cálculo, se basa en la observación y análisis visual de la edificación, así como la composición y características de los elementos arquitectónicos que componen sus colindancias y delimitantes en sus espacios hacia el exterior, como es el caso de los muros, techumbres, vidrios y tipos de cancelerías, realizando también un análisis de las características y propiedades térmicas de los materiales constructivos que lo componen.



### Información general de la envolvente por fachadas.

De acuerdo a la información proporcionada en los planos arquitectónicos y en la ubicación del edificio con relación a los puntos cardinales, la fachada principal se encuentra orientada hacia el sur, la fachada norte corresponde a la fachada posterior, la fachada oeste tiene un espacio de servidumbre que se utiliza para desplazamiento y circulación vehicular, dentro de esta fachada se encuentran instalados maquinaria relacionada al aire acondicionado, la fachada este pertenece a colindancia con una separación mínima con el muro colindante del edificio vecino, como se describen a continuación de forma fotográfica y descriptiva en las siguientes imágenes. Ver imágenes 30, 31, 32, 33, 34 y 35.



## Fachada Sur

- Características:
  - Incidencia solar directa
  - Fachada doble vidrio
  - Aplicación de Alucobond color gris en partes de la fachada.



Imagen 30. Características y descripción de los materiales de la fachada sur.

## Fachada Norte

- Características:
  - No incidencia solar directa
  - Muro de concreto 25 cm de espesor.
  - Aplanado por ambas caras
  - Ventana de aluminio con vidrio de 6mm sin película.



Imagen 31. Características y descripción de los materiales de la fachada norte



## Fachada Este

- Características:  
Colindancia entre edificios

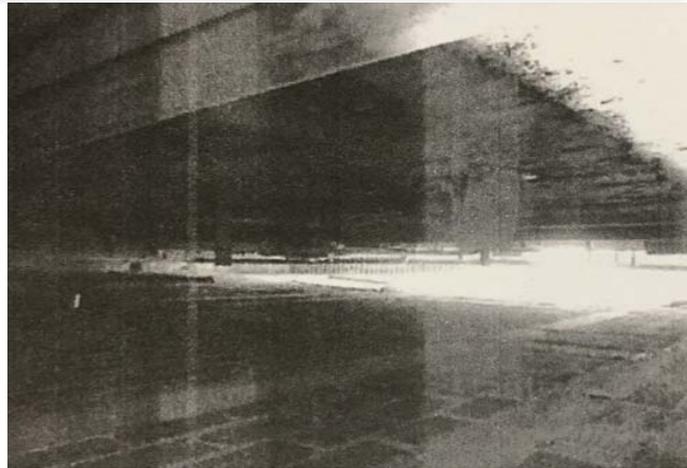


Imagen 32. Características y descripción de los materiales de la fachada este.

## Fachada Oeste

- Características:  
Debido a arbolado en colindancia no existe incidencia solar directa.  
Muros de concreto 25 cm de espesor.  
Aplanado por ambas caras.



Imagen 33. Características y descripción de los materiales de la fachada oeste.



## Estacionamiento inferior

▫ Características:

Losa de concreto y loseta de cerámica.



Imagen 34. Características y descripción de los materiales del estacionamiento inferior.

## Azotea

▫ Características:

Azote verde (pasto), en la mayor parte de la losa.



Imagen 35. Características y descripción de los materiales del techo o azotea.



### Obtención de porciones y áreas de acuerdo a las fachadas.

De acuerdo a los planos de alzados, se obtuvieron las áreas de cada fachada, y se definieron las porciones con respecto a los materiales de los cuales están compuestas, identificando cada porción mediante la asignación de un número, especificando el espesor, nombre y descripción del material; en algunas porciones como fue el caso del concreto se repiten en diferentes fachadas por lo cual dicha numeración de este material se observará repetida en algunas.

Una vez obtenidos los materiales que componen la envolvente del edificio y designando un número que identifique las porciones que representan a cada uno, se debe realizar una cuantificación de cada material por fachada, calculando las áreas que ocupa cada uno como se muestra en la tabla 9.

ASIGNACIÓN DE PORCIONES						
Fachadas	Porción	Nombre	Tipo de material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mk)	Área m <sup>2</sup>
Fachada Sur	7	Muro de concreto con Alucobond	Placa de alucobond 4mm	0.004	1.5	58.8
			Bastidor metalico aluminio	0.700	204	
			Concreto de 50 cm	0.500	1.74	
	2	Puerta de vidrio templado de 9mm	Vidrio templado 9mm	0.009	1.16	8.95
	3	Ventana con doble vidrio	Vidrio templado 9mm	0.009	1.16	86.42
Camara de aire			0.200	0.022		
Vidrio 6 mm sencillo			0.006	0.93		
Fachada Norte	6	Muro de concreto	Concreto	0.250	1.74	79.02
	1	Vidrio 6mm	Vidrio 6 mm	0.006	0.93	447
Fachada Este	Colindancia					
Fachada Oeste	5	Vidrio templado 9 mm	Vidrio templado 9mm	0.009	1.16	64
	6	Muro de concreto	Concreto	0.250	1.74	299.3
Estacionamiento inferior	11	Estacionamiento inferior: losa de concreto y loseta de cerámica	Loseta de cerámica	0.010	0.81	485
			Firme de concreto	0.025	0.582	
			Losa de concreto	0.100	1.74	
Techo	8	Azotea concreto impermeabilizado	Carpeta asfáltica	0.005	0.17	78.5
			Firme de concreto	0.010	1.28	
			Relleno tezonte	0.150	0.186	
			Losa de concreto	0.100	1.74	
			Tierra y pasto	0.070	0.52	
	9	Azotea verde: pasto y tierra sobre losa de concreto impermeabilizada	Carpeta asfáltica	0.005	0.17	280.79
			Firme de concreto	0.080	0.582	
			Losa de concreto	0.100	1.74	
			Camara de aire	0.600	0.022	
			Panel tipo tablarroca i.27 cm	0.013	0.03	
	10	Azotea Concreto y loseta	Loseta de cerámica	0.010	0.81	71.2
			Firme de concreto	0.100	0.582	
			Losa de concreto	0.100	1.74	
			Camara de aire	0.125	0.022	
	4	Domo de cristal filtrazol	Vidrio filtrazol de 6 mm	0.006	0.6	56.34

Tabla 9. Tabla con porciones de acuerdo sus fachadas, propiedades térmicas y aéreas en metros cuadrados.



Para obtener un resultado fue necesario realizar una comparativa entre dos edificios:

- Edificio proyectado (caso de estudio)
- Edificio de referencia (edificio que representa la norma)

### **Registro de información de la envolvente correspondiente al edificio proyectado en programa de cálculo CONUEE.**

Con la información obtenida de los materiales de la envolvente y sus propiedades térmicas, se procedió al registro de la información en el programa de cálculo de la CONUEE.

Mediante los siguientes pasos:

- 1.- Se ingresaron datos generales con información de ubicación del edificio caso de estudio, donde se especificaron, nombre, dirección, código postal, ciudad, entre otros.
- 2.- El programa requirió de valores como latitud, temperatura equivalente promedio (te), coeficientes de transferencia de calor “k” de techo, muro, tragaluz, domo y ventanas con relación al edificio de referencia y factor de ganancia de calor solar (FG).
- 3.- Las transferencias de calor se calcularon con la captura de las porciones ya mencionadas, donde se tuvieron que describir, especificar si es muro, techo o superficie interior (en caso de tener estacionamiento subterráneo), posteriormente se definió el tipo de material que conformaba la porción, se identificó su clasificación, descripción, espesor y conductividad térmica, esto en el caso de ser homogénea, cuando existe alguna porción no homogénea como en este caso se deberá realizar un cálculo proporcional del material de acuerdo a los espesores.
- 4.- Para obtener las ganancias por conducción se seleccionaron las porciones correspondientes a cada fachada, asignando la cantidad de metros cuadrados pertenecientes a cada una.



5.- Las ganancias por radiación, fueron calculadas aplicando un coeficiente de sombreado a todos los elementos transparentes que forman parte de la envolvente del edificio según lo especifica la norma.

6.- Se analizaron los datos ingresados al programa, mediante un resumen para poder efectuar el cálculo del cumplimiento de la norma mediante la comparativa entre el edificio de referencia y el proyectado.

**Resultados edificio proyectado:**

Ganancias de calor por conducción (partes opacas y transparentes): 21033.23 W

Ganancias de por radiación (partes transparentes): 72329.99 W

Ganancia total: 93363.22 W.

**Resultados Edificio de referencia:**

Para este edificio se utilizaron las fracciones de los componentes según están definido en la norma (techo 95%, tragaluz y domo 5%, muros 60% y ventanas 40%).

Se consideró el coeficiente global de calor y las temperaturas equivalentes de la tabla 1 de la norma así como las aéreas totales de las fachadas.

Resultados:

Ganancias de calor por conducción (partes opacas y transparentes): 20321.63 W

Ganancias de por radiación (partes transparentes): 73865.52 W

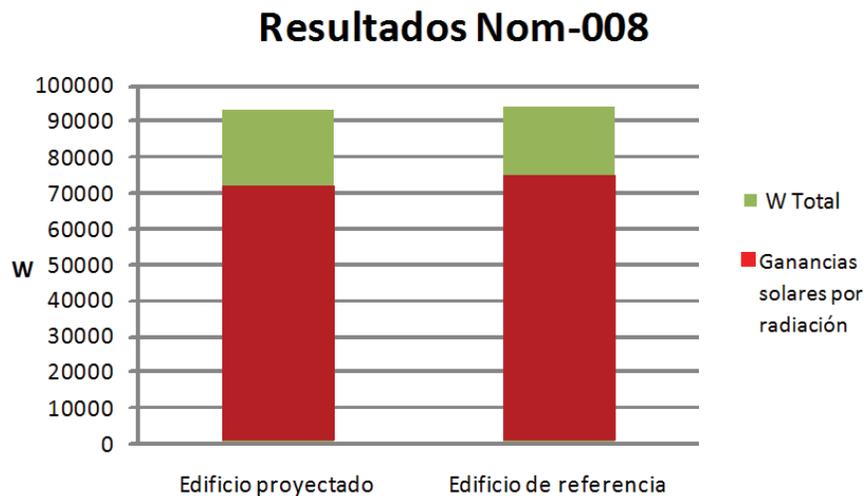
Ganancia total: 94187.15 W



### Resumen del cálculo:

Con relación a la norma y los resultados de cada edificio se realiza un comparativo de la ganancia de calor, para saber si cumple o no. El resultado de la evaluación indica que la ganancia de calor en el edificio caso de estudio es de 93,363.22 W total y el de referencia es de 94,187.15 W total siendo menor en un 4.20%. Por lo que se determina que el cálculo bajo la normativa vigente indica que el edificio caso de estudio ciudad de México **Si cumple con la norma de eficiencia energética.**

Las ganancias solares por radiación son las que mayormente afectaron; el edificio proyectado obtiene una carga térmica por radiación de 72,329.99 W representando un 77.5% de la ganancia total. En el caso del edificio de referencia la ganancia por radiación solar es de 73,865.52 W equivalente a un 78.5% con relación a la ganancia total, como se muestra en la gráfica 4, donde el color verde simboliza las ganancias totales de los edificios, y el color rojo representa las ganancias por radiación con relación a las ganancias totales.



Gráfica 4. Resultados de la evaluación del cumplimiento de la NOM-008-ENER-2001



#### 5.4 Diagnóstico energético del edificio caso de estudio.

El diagnóstico energético (o auditoría energética) es un medio de control del uso de energía para desarrollar procedimientos operativos reduciendo el desperdicio de la energía y cuantificando el costo de dichos residuos. La auditoría también permite que se establezcan prioridades y ayuda identificando los problemas que requieren nuevos procedimientos para reducir los costos. Todo esto con el propósito de identificar las oportunidades de ahorro.

##### 5.4.1 Análisis de la facturación anual.

Este diagnóstico se realizó para determinar los consumos y características de los diferentes equipos eléctricos y luminarias que se encuentran dentro del mismo, y así poder conocer el consumo del sistema de aire acondicionado en kWh, puesto que el edificio caso base, solo cuenta con las facturaciones eléctricas por mes de forma general, se realizó el estudio con las facturaciones eléctricas proporcionadas durante un año, partiendo de Octubre 2013 hasta Octubre 2014.

De acuerdo a los datos registrados, se puede observar que el mayor consumo de energía se da durante los meses de Noviembre y Diciembre con un total de 13,560 kWh, al igual que en Enero y Febrero con 13,680 kWh. Los meses que menor consumo registraron fueron Febrero/Marzo, y Marzo/Abril con 11,160 kWh. Con relación a la información obtenida el promedio del consumo registrado por periodos fue de 12,135.23 kWh. Tabla 10.

Periodo	Consumo por periodo kWh	Demanda máxima por periodo, kW	Costo total por periodo, \$
OCT-NOV	12000	46	\$ 28,532.74
NOV-DIC	13560	48	\$ 32,135.76
DIC-ENE	11520	59	\$ 30,429.01
ENE-FEB	13680	66	\$ 36,314.80
FEB-MAR	12361	51	\$ 31,615.36
MAR-ABR	11160	50	\$ 27,951.54
ABRIL-MAY	11160	60	\$ 29,970.89
MAY-JUN	12360	50	\$ 30,605.65
JUN-JUL	12240	52	\$ 30,291.89
JUL-AGO	11640	49	\$ 28,532.69
AGO-SEP	12720	47	\$ 31,461.20
SEP-OCT	11760	52	\$ 29,059.81

Tabla 10. Consumos, demanda y costos mensuales del caso de estudio.



#### 5.4.2 Uso de la energía.

El uso de la energía hace referencia a la separación por grupos de equipos eléctricos e iluminación, dependiendo de su utilización dentro del edificio, para esto se realizó un censo en el edificio caso de estudio con el objetivo de identificar los equipos eléctricos que se encuentran instalados dentro del mismo, con relación al levantamiento que se realizó de forma física, se identificaron 5 usos finales de la energía eléctrica:

- Refrigeración
- Fuerza
- Misceláneos
- Cómputo
- Iluminación

De acuerdo a los usos mencionados se realizaron las tablas correspondientes analizando y contabilizando cada equipo y luminaria para determinar, su potencia, demanda y tiempo de utilización y así obtener los consumos mensuales, como se muestra en las siguientes tablas 11, 12,13 y 14 correspondientes a cada uso y sus equipos registrados.

Uso	Equipo	Cantidad	Consumo, kWh/mes
Refrigeración	Mini Split Mirage	2	887.04
	Refrigeración central 12 ton. TRAIN	2	3595
	Total		<b>4482.04</b>

Tabla 11. Tabla correspondiente a los consumos mensuales por uso en refrigeración

Uso	Equipo	Cantidad	Consumo, kWh/mes
Cómputo	Proyector EPSON Powerlite S17	5	101.25
	Rack PANDUIT ASCO 2811	8	1344
	Modem ASCO Aeronet 1200	2	38.4
	Modem Thompson TG585Uv8	1	19.2
	Monitor HP L1710	10	144
	Monitor NEC Mod PX-42XM2A	1	17.6
	Impresora HP Top ShotLaserjet F	3	72
	Laptop HP Probook	40	912
	Fotocopiadora Xerox Workcente	5	270
	Computador HP Bloomverg Elite	1	68.4
	Computadora HP Pro One 600 m	12	383.04
Total		<b>3369.89</b>	

Tabla 12. Tabla correspondiente a los consumos mensuales por uso en cómputo



Uso	Equipo	Cantidad	Consumo, kWh/mes
Fuerza	Hidroneumatico industrial 4 H.P.	1	64.8
	Elevador KONE 5130	1	554.4
	Total		<b>619.2</b>

Tabla 14. Tabla correspondiente a los consumos mensuales por uso en fuerza

Uso	Equipo	Cantidad	Consumo, kWh/mes
Iluminación	13 W	95	195.624
	16 W	12	19.008
	17 W	12	30.294
	T12 1X30	10	58.806
	T12 2X40	3	28.512
	T8 1X32	46	153.888768
	T8 2X59	21	388.590048
	T5 3X14	211	1579.2084
	T5 3X28	5	73.34712
	Dicroica 50 W	37	219.78
	Dicroica 75 W	3	44.55
	LED 4 W	1	0.792
	Total		<b>2792.40</b>

Tabla 13. Tabla correspondiente a los consumos mensuales por uso en iluminación. Fuente: Elaboración propia.

El consumo total de la energía mensual del edificio da como resultado 12,135.23 kWh/mes, de acuerdo a la suma de todos los equipos identificados en cada uso, con relación al diagnóstico energético realizado.

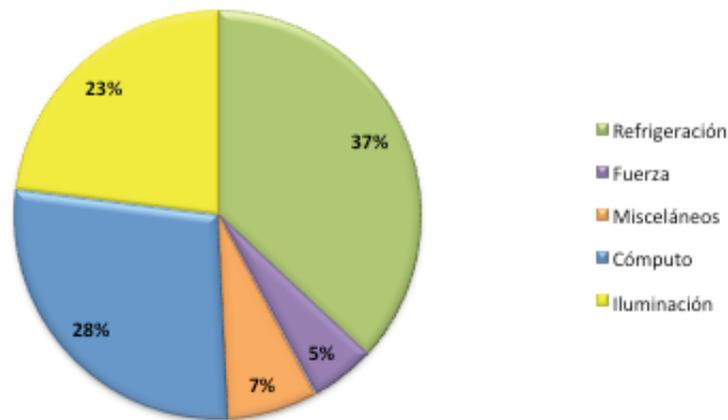
Uso	Consumo por uso, kWh/mes
Refrigeración	<b>4483.24</b>
Fuerza	<b>619.2</b>
Misceláneos	<b>870.5</b>
Cómputo	<b>3369.89</b>
Iluminación	<b>2792.40</b>
<b>TOTAL</b>	<b>12,135.23</b>

Tabla 15. Resumen de los consumos por uso y consumo total mensual. Fuente: Elaboración propia.



Los porcentajes de energía eléctrica consumidos mensualmente en el edificio quedan de la siguiente manera, en primer lugar y como más alto se encuentra el sistema de refrigeración, reflejado en el consumo por aire acondicionado con el 37% (4483.24 kWh/mes), seguido por cómputo con un 28% (3369.89 kWh/mes). En tercer lugar se encuentra iluminación con 23% (2792.40 kWh/mes) seguido de misceláneos con 7% (870.5 kWh/mes) y por último la fuerza (elevadores y equipos de bombeo) con 5% (619.2 kWh/mes). Ver gráfica 5.

Consumo por uso, kWh/mes



Gráfica 5. Porcentajes asignados por consumos eléctricos en cada uso. Fuente: Elaboración propia.

Durante el recorrido en los diferentes espacios del edificio se pudo identificar claramente que no cuenta con ventilación natural, prácticamente todo está cerrado, lo cual impide que exista un movimiento e ingreso de aire, debido a esta situación se observó que los sistemas de aire acondicionado están en funcionamiento la mayor parte del tiempo, durante el periodo de ocupación del edificio.

De esta forma se confirma mediante el diagnóstico energético y análisis de facturación que el uso de refrigeración dentro del edificio es el que mayor consumo genera por una considerable diferencia de acuerdo a los porcentajes obtenidos en sus consumos mensuales. Los datos obtenidos serán incorporados a un programa de simulación Desing Builder, para simular los comportamientos térmicos y energéticos con las envolventes propuestas.

### 5.4.3 Parámetros energéticos totales e indicador de consumo de energía eléctrica (ICEE).

Los indicadores de eficiencia energética son una herramienta para comparar el comportamiento de los edificios con otros de la misma tipología. El cálculo de los indicadores y el conocimiento detallado sobre los principales consumidores de energía, sus actividades, etc., permiten identificar las tendencias en el uso final de energía de cada sector, incluyendo los elementos que influyen en los cambios de consumo de energía. Asimismo, sirven para conocer las áreas potenciales de mejora en la eficiencia económica y el alcance en el ahorro de energía por sector.

El índice de consumo de energía eléctrica (ICEE) es un indicador que establece la relación entre el consumo eléctrico facturado en un año y la superficie construida, expresada en kWh/m<sup>2</sup> año. Para el caso de estudio, se determinó con base al censo obtenido en el edificio y se contrastó con los datos de la facturación de todo el edificio; de igual manera se desglosa el ICEE según el uso identificado. Los resultados se presentan en la siguiente tabla número 16:

Actividad	kW demandados mes	kWh Consumo mes	kWh Consumo año	ICEE kWh/m <sup>2</sup> año
Facturación	52.5	12180.08	146161	65.92
Censo total	75.98	11995.03	143940.364	64.92
Censo Iluminación	17.03	2792.40	33508.804	15.11
Censo refrigeración	15.3	4482.04	53784.48	24.26
Censo fuerza	10.4	619.2	7430.4	3.35
Censo misceláneo	11.4	870.5	10446	4.71
Censo cómputo	21.85	3369.89	40438.68	18.24

Tabla 16. Resultados de de ICEE. Fuente: Elaboración propia propia.

Para comprobar que el censo se realizó de forma correcta, los resultados del ICEE de facturación y del ICEE del censo deben ser similares, tal y como se muestra en la tabla anterior, donde existe una variación mínima, lo que indica que se llevo a cabo correctamente.



# CAPÍTULO 6





## Capítulo 6

### Método: Selección de alternativas y simulación

#### **6 Método: Selección de alternativas y simulación.**

En este capítulo se describe como fueron realizadas las simulaciones con el edificio caso de estudio, mediante la aplicación de las diferentes alternativas seleccionadas, las cuales se analizaron con relación a sus propiedades térmicas; la elección se llevo a cabo con información proporcionada por las empresas productoras de vidrio más grandes en el país, seleccionado los tres vidrios con propiedades de control solar, comercialmente más utilizados en los edificios de oficinas en la Ciudad de México, así mismo seleccionando una película procesada a escala nanométrica. Posteriormente se procede a realizar la aplicación del método de simulación para obtener valores y resultados con relación a los comportamientos de los diferentes materiales en fachadas.

#### **6.1 Simulación**

La herramienta de simulación permite optimizar el diseño del edificio y evaluar su comportamiento con relación a su envolvente, con la aplicación de estrategias en el rendimiento de su energía y comportamiento térmico. También puede emplearse para la evaluación de una edificación ya construida, y poder ser valorado en su estado actual. El uso de la simulación permitirá realizar el análisis del comportamiento térmico del edificio y su relación con los consumos energéticos por variaciones térmicas a través de la envolvente, permitiendo realizar un estudio del diseño en el edificio y de posibilidades alternativas de mejora y eficiencia energética.



Este proceso requiere de datos de entrada, para lo cual fue necesario obtener información con relación al diseño, construcción, operación y uso del edificio, que serán aplicadas en cuatro fases como muestra en la gráfica 6:

## Proceso de simulación



Gráfica 6. Desglose del procedimiento de simulación.  
Fuente: Elaboración propia.



### 6.1.1 Selección del programa de simulación.

La selección del programa de simulación se realizó mediante la investigación de las características de los diferentes programas existentes en el mercado, se contemplaron 2 programas entre las mejores opciones, Desing Builder y Energy Plus por ser más completos, según lo mencionan las diferentes consultorías energéticas dedicadas a este campo. Durante el análisis de las particularidades de cada simulador, se optó por utilizar el programa Desing Builder, puesto que combina un modelado de construcción rápida con el simulador, a diferencia de otros donde es necesario importar la maqueta virtual o modelo del edificio; también facilita el uso con el estado de la simulación, ya que permite que se integre información para poder realizar cálculos energéticos y ambientales mediante el método de balance térmico aprobado por ASHRAE.

Una de las peculiaridades que hace importante el programa es que utiliza el motor de cálculo de Energy Plus, que permite realizar un proceso de cálculos más dinámicos según se necesite, ya sea por hora, día, semana, mes y año, donde presentaran resultados de demandas y consumos energéticos, con gran aproximación en caso de ser un edificio que está en la fase de diseño, ya que cuenta con parámetros para estimar información y realizar cálculo de acuerdo al género arquitectónico que se simulara.

Otra característica importante es que establece un acercamiento conceptual al diseño del edificio incorporando la tercera dimensión gráfica del mismo y su motor de análisis, en su sistema que permite observar el comportamiento desde las primeras etapas del edificio. El programa cuenta con una interfaz gráfica, donde se reflejaran los resultados mediante balances térmicos, que permitirán tomar decisiones adecuadas sobre las características que conforman al edificio como:

- Determinar la mejor fachada o envolvente, posición y orientación de la edificación, grosores de muros y tipos de vidrios en fachadas y ventanas con relación a su efectividad.



- Obtención de cantidad de refrigeración en toneladas, que requiere el edificio para lograr su nivel de confort.
- Incorpora energías renovables y calcula el aporte energético anual.
- Verifica sistemas de ventilación mecánica y natural.
- Optimiza la instalación de iluminación para conseguir una mayor autonomía lumínica por aprovechamiento de la iluminación natural

### 6.1.2 Creación del modelo.

Se crea el modelo del edificio para la representación volumétrica mediante un levantamiento en 3D, con la utilización del programa establecido, y con información obtenida de planos arquitectónicos para determinar, alturas, zonas, áreas, volúmenes, vanos y ubicación elementos de la envolvente como vidrios y concreto.

Para comenzar el modelado del edificio, se requirió de los planos en dos dimensiones y de forma digital realizado con el programa Autocad de Autodesk, con la finalidad de conservar la fidelidad de sus características geométricas reales. Para comenzar con el levantamiento del edificio en 3 dimensiones, fue necesario importar la planta arquitectónica del edificio al programa de Desing Builder; para esto se recurrió a cambiar el formato del archivo informático de .DWG a .DXF, y lograr la compatibilidad de los programas Autocad y Desing Builder. Posteriormente se importa el plano con formato .DXF que servirá como guía para el levantamiento, se importa en dos dimensiones como un plano normal. Ver imagen 36.

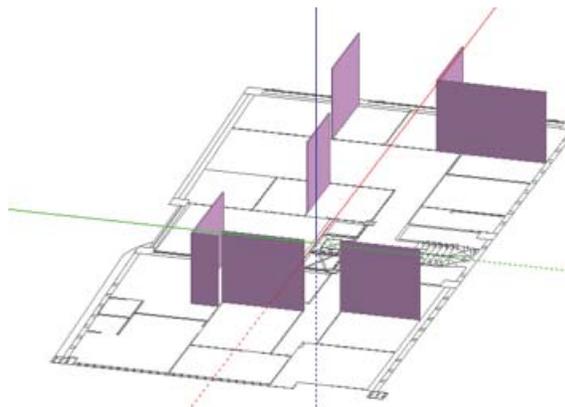
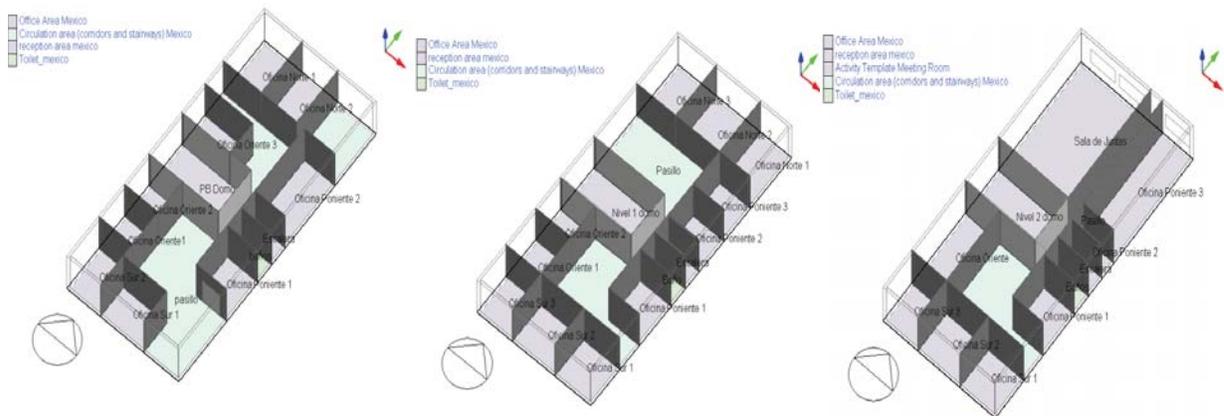


Imagen 36 Importación del plano .DXF al simulador para realizar el levantamiento 3D del edificio. Fuente: Elaboración propia.

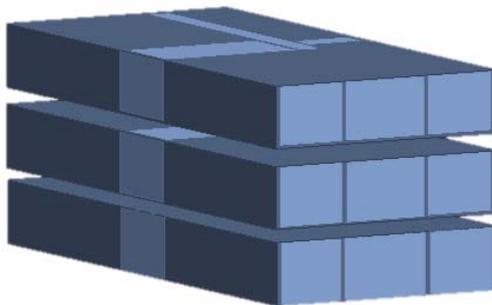


Posteriormente se realiza el levantamiento de los muros interiores y exteriores especificando el espesor del material, que en este caso es concreto armado de 25 cm, se respetan los vanos para las fachadas que tienen vidrio, así como puertas incorporados a la envolvente y los muros o divisiones interiores, como se muestra en la imagen 37.



**Imagen 37. Levantamiento de muros interiores y exteriores del modelo digital del caso de estudio en sus tres niveles. Fuente: Elaboración propia.**

Se realiza el mismo procedimiento en cada nivel, respetando las distribuciones diferentes de cada piso del edificio, ya que esto identificará las zonas y oficinas que se afectan o generan mayores aportaciones térmicas. Finalmente se incorporaron los tres niveles de forma vertical para conformar un solo edificio, como se muestra en la imagen 38.



**Imagen 38. Incorporación de los tres niveles para conformar el edificio. Fuente: Elaboración propia.**

Una vez modelado o levantado en 3D de acuerdo a sus características geométricas, se identifican y dibujan las fachadas de vidrio que contiene el edificio, así como sus ventanas, creando la envolvente total de edificio. Ver imagen

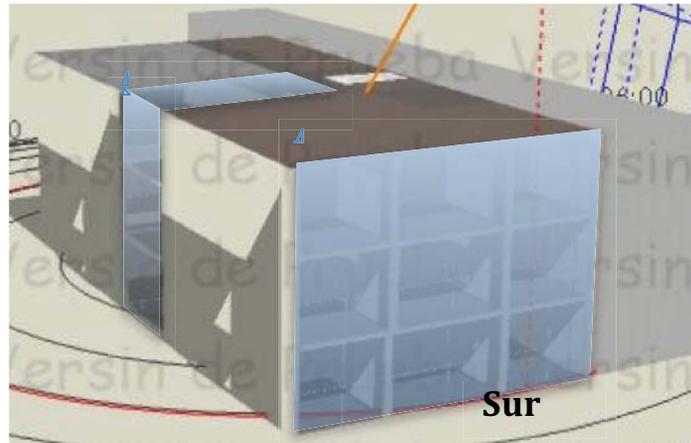


Imagen 39. Se definen las fachadas de vidrio en el modelo digital. Fuente: Elaboración propia.

Durante la creación y finalización del modelo fue necesario incorporar datos y características básicas que resultaron útiles para obtener el comportamiento energético del edificio y servirán como información base para las otras alternativas, la información requerida fueron los siguientes datos de entrada con relación al caso de estudio:

Datos de entrada:

- Localidad
- Envolvente
- Cargas Internas
- Sistema de Aire acondicionado

#### Localidad.

Para la aplicación de estos datos fue necesario consultar diferentes fuentes con datos climáticos proporcionados por Energy Plus, CONAGUA y aplicación de simulador BIOSOL para la obtención y comparación de los mismos. Los datos incorporados a al simulador fueron, ubicación con coordenadas e información climatológica.

Se especifica la ciudad de México ante el programa como sitio de ubicación, y se posiciona acuerdo a sus orientaciones geográficas con relación a la información obtenida en el capítulo 5.

El archivo con la información climática es incorporado al simulador con relación a la ubicación y temperaturas del lugar, es proporcionado por el programa de simulación, con información similar obtenida en el capítulo 5 en análisis bioclimático, donde es básica la información de:

Condiciones internas de diseño. Son las temperaturas interior de bulbo seco y de la humedad relativa interior, calculada en el capítulo 5 en el análisis bioclimático. Con esta información se definirá la temperatura de confort, que va en función de la temperatura del aire, temperatura radiante y velocidad del aire.

Condiciones externas de diseño. Es la temperatura exterior de bulbo seco y la humedad relativa exterior del ambiente donde se requiere calcular la carga de diseño.

#### Envolvente.

La envolvente actual del edificio se encuentra compuesta por 2 tipos de vidrios y un muro de concreto de 25 cm, que conformadas de la siguiente manera, en la fachada sur existe un doble acristalamiento con vidrio simple, una parte de la fachada oriente tiene vidrio filtrasol mismo que se une a un domo y entrepisos con las mismas características. Los datos que se incorporaron al modelo del edificio, fueron orientación Norte- Sur, y las propiedades térmicas según las requeridas por el programa Desing Builder, ver tabla 17.



Propiedades térmicas de la envolvente estado actual y alternativas				
Vidrios	Valor U W/m <sup>2</sup> K	Coef. SHGC	Coef. SC	Transferencia de calor solar %
Filtrasol(estado actual)	1.56	0.79	0.918604651	75
Vidrio en muro cortina (Estado actual)	1.6	0.82	0.953488372	77

**Tabla 17. Propiedades térmicas que actualmente tiene el edificio en sus fachadas de vidrio.**  
Fuente: Elaboración propia.

La azotea del edificio, está compuesta por un cristal filtrasol y por una azotea verde, los datos de sus propiedades y características se incorporan al simulador de acuerdo a la información proporcionada en el capítulo número 5, en las especificaciones para el cálculo de la norma y análisis bioclimático. De esta manera la envolvente queda completa en totalidad; para ejercer los cálculos que son necesarios asignar los valores de las diferentes cargas.

Las cargas térmicas interiores.

Representan la cantidad de energía que se requiere contrarrestar en el edificio para mantener una temperatura confortable, para la determinación de las ganancias térmicas interiores se capturaron la información de los equipos eléctricos por uso, como se encuentra registrada en el diagnostico energético, donde la información requerida fueron demanda, días y horarios de utilización. De la misma forma se registró la iluminación y la cantidad de personas que se encuentran dentro del edificio, determinando la actividad de los ocupantes y sus watts generados.

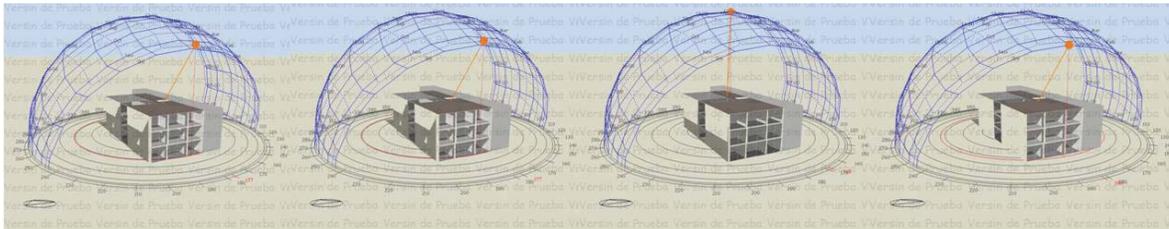
Los datos adquiridos en el censo realizado en el edificio de estudio, son los incorporados en el programa, para obtener resultados reales de acuerdo al estado actual de la edificación. Para incorporar esta información se necesitó dividir la demanda instalada con relación a la cantidad de m<sup>2</sup> del edificio, al igual que la cantidad de ocupantes y horarios de usos como se especifica en el análisis energético en el capítulo 5.

Aire acondicionado.

Se captura el sistema de aire acondicionado con las características del equipo que se encuentra instalado en el edificio caso de estudio, especificando el sistema central de 24 Ton. y los Mini Split con 4 Ton.

De esta forma queda representado en tres dimensiones el edificio en el simulador, para poder ejecutar las simulaciones necesarias con relación a la información que se requiera obtener.

Para ejercer una simulación de las 4 alternativas propuestas, se realiza el mismo procedimiento de levantamiento en 3D en Desing Builder, añadiendo los mismos datos que el caso base, con excepción de las características de la envolvente de vidrio. Se registran las propiedades térmicas en cada edificio según sea el caso de la envolvente que se han seleccionado como alternativas, quedando 5 edificios, para simular sus comportamientos, mismos que representan las cuatro alternativas y el caso base, ver imagen 40.



**Imagen 40. Edificios digitales: el caso de estudio y los edificios que se les incorporarán datos térmicos en sus vidrios para representar cada alternativa. Fuente: Elaboración propia.**



## 6.2 Selección de alternativas de vidrios.

La selección de los tipos de vidrios que serán aplicados a esta investigación, están relacionados con sus propiedades que los caracteriza como eficientes para el ahorro de energía y control de la radiación solar que incide en los edificios. Se seleccionaron tres empresas de las más importantes en México que producen vidrio para la construcción, mismas que brindaron información de características y propiedades térmicas de los vidrios que comercialmente son más vendidos y aplicados en fachadas y envolventes transparentes en edificios de oficinas. Algunos de los vidrios que se tomaron como opción para llevar a cabo la investigación, se han colocado en edificios representativos de la ciudad de México.

Las empresas determinaron que los vidrios más utilizados dentro de este tipo de fachadas son los de doble acristalamiento, reflectivos y al vacío; las características o nombres de los vidrios mencionados son definidos de forma general por sus cualidades, ya que cada empresa tiene asignados sus propios nombres y maneja diferentes valores en sus coeficientes de transmisión térmica. Para esta investigación se tomaron las alternativas con los coeficientes más bajos de cada vidrio, tomando en cuenta que mientras más bajo sea el coeficiente mejor comportamiento tendrá en la transmisión de cargas.

Se realizó una comparación de las propiedades térmicas del vidrio con relación a sus características y coeficientes de transmisión, para poder evaluar y determinar la mejor alternativa para simular con la película nanotecnológica. A cada empresa se le asignó un número para poder reconocerla e identificar el vidrio que comercializa, quedando como empresa 1, empresa 2 y empresa 3.

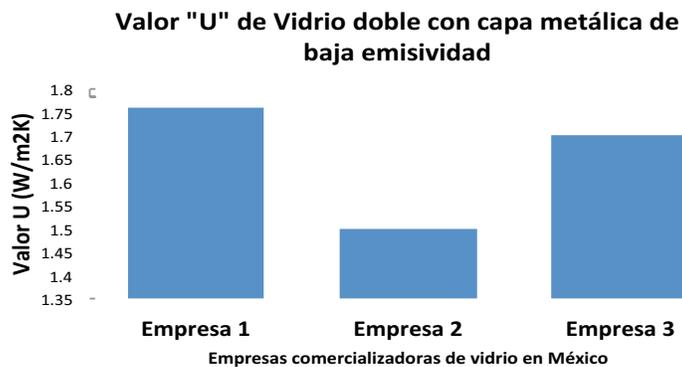
La aplicación del doble vidrio en las fachadas de estos edificios es un sistema muy común en la ciudad de México, ya que su separación entre uno y otro puede variar en centímetros, esto es con el fin de ventilar y crear un espacio entre ambos por donde pueda circular el aire, así como la transmisión directa de las cargas térmicas entre uno y otro, los vidrios analizados tienen una capa metálica de baja emisividad, y las propiedades térmicas varían de acuerdo a cada empresa seleccionada para esta investigación como se muestran en la tabla 18.



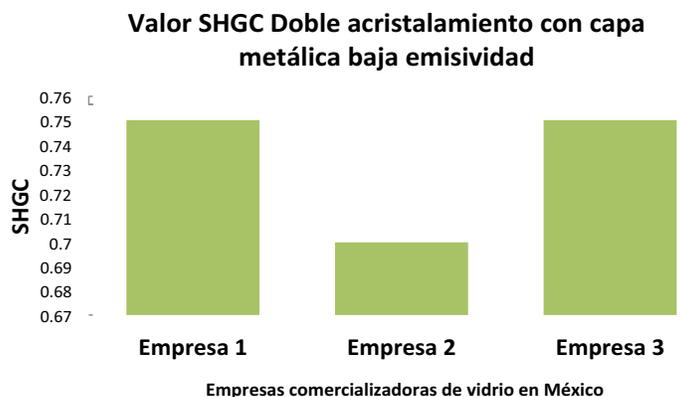
Doble acristalamiento con capa metálica baja emisividad			
Provedores	Valor U (w/m2K)	SHGC	Coefficiente de sombreado CS
Empresa 1	1.76	0.75	0.903614458
Empresa 2	1.5	0.7	0.843373494
Empresa 3	1.7	0.75	0.903614458

Tabla 18. Características térmicas de las propuestas en doble vidrio capa metálica baja emisividad. Fuente: Elaboración propia.

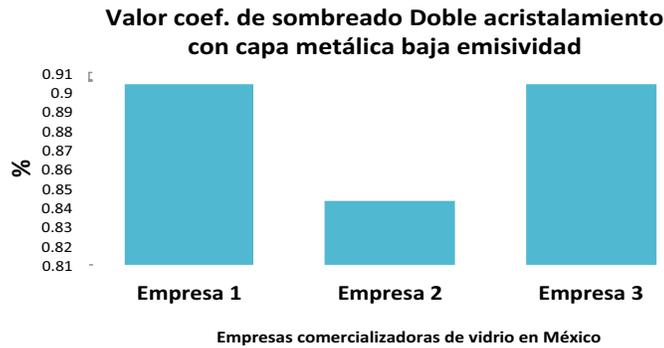
De acuerdo a los datos proporcionados, se determinó la mejor opción en el doble acristalamiento con capa metálica de baja emisividad, al presentarse como mejor opción el vidrio de la empresa 2 con coeficiente de 1.5 W/m2K transmisión térmica, ya que sus propiedades térmicas las que mejor comportamiento de muestran, ver gráficas 7, 8 y 9.



Gráfica 7. Comportamiento térmico del valor U en doble vidrio capa metálica de baja emisividad. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 8. Comportamiento térmico del valor SHGC en doble vidrio capa metálica de baja emisividad. Fuente: Elaboración propia.



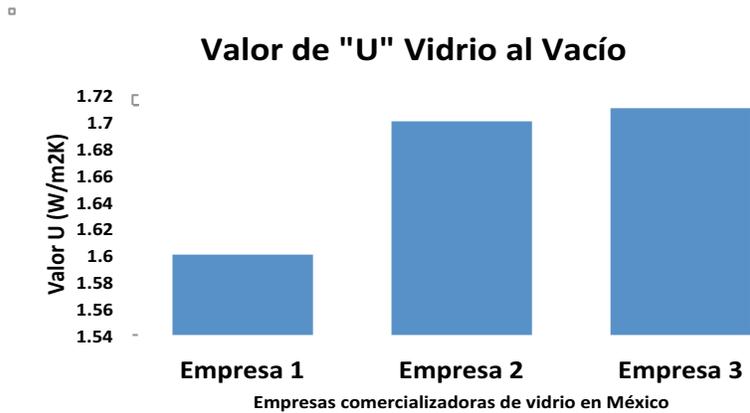
**Gráfica 9. Comportamiento térmico del valor coeficiente de sombreado en doble vidrio capa metálica de baja emisividad.**  
Fuente: Elaboración propia.

Los vidrios al vacío también representan considerablemente uno de los más utilizados en esta industria, no solo por sus propiedades térmicas, sino también por ser el que se utiliza en el país, de acuerdo a los datos brindados por las tres empresas, con relación a sus aislamiento térmico estos son los que presentan poca diferencia de sus propiedades en las tres opciones vidrio, como se muestra en la tabla 19.

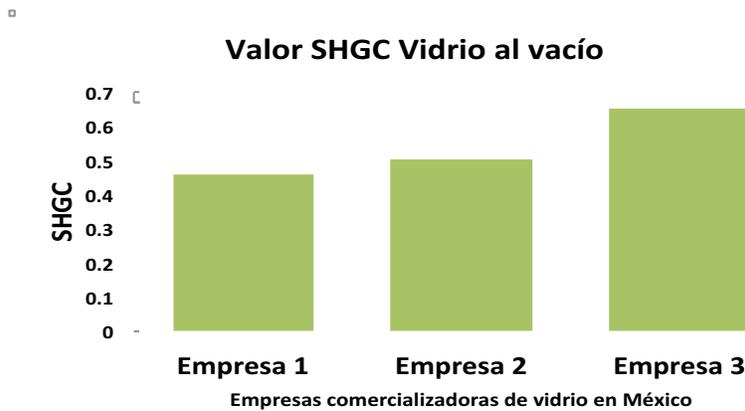
Vidrio al vacío			
Provedores	Valor U (w/m2K)	SHGC w/m2k	Coefficiente de sombreado
Empresa 1	1.6	0.46	0.554216867
Empresa 2	1.7	0.5	0.602409639
Empresa 3	1.71	0.65	0.78313253

**Tabla 19. Características térmicas de las propuestas en vidrio al vacío.**  
Fuente: Elaboración propia.

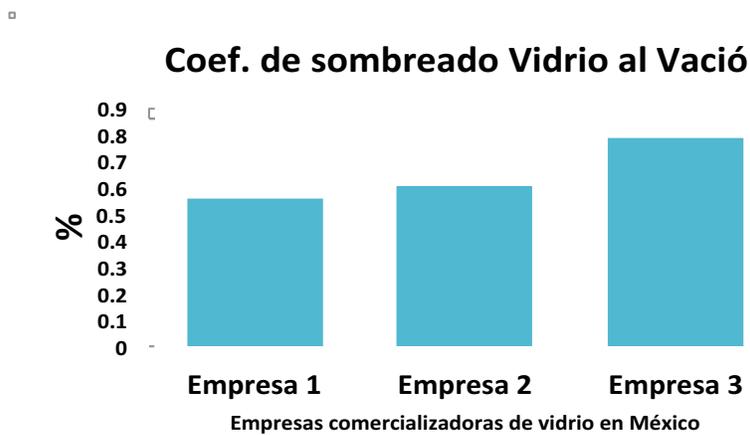
La mejor alternativa de acuerdo al análisis de sus valores es la empresa 1, mediante un coeficiente de transmisión de 1.6 W/m2K, ubicándose por debajo con las otras propiedades, como se muestran en las gráficas 10, 11 y 12.



Gráfica 10. Comportamiento térmico del valor U en vidrio al vacío. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 11. Comportamiento térmico del valor SHGC de vidrio al vacío. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 12. Comportamiento térmico del valor coeficiente de sombreado en vidrio al vacío. Fuente: Elaboración propia.

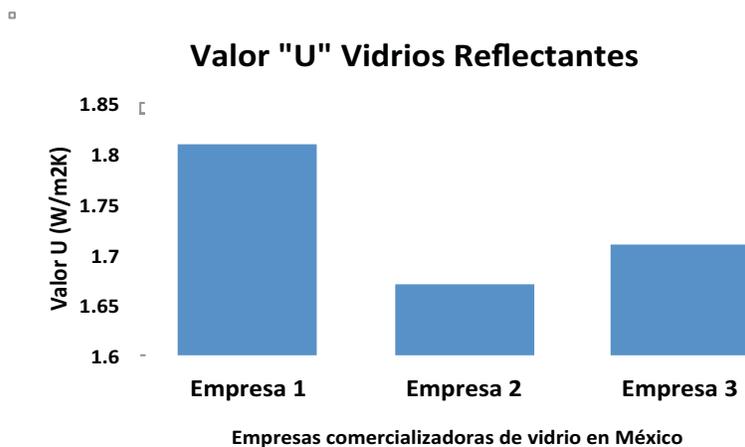


Los vidrios con características reflectantes como protección solar, se han aplicado en los últimos años, en la actualidad se sigue haciendo, su peculiaridad al momento de que la radiación solar incide es que tiende a reflejarla, comúnmente se aplican tintes que generan este efecto, sin embargo el ingreso de iluminación en los interiores disminuye de forma considerable, este vidrio fue tomado como alternativa ya que se continua aplicando considerablemente en los edificios con fachadas vidriadas. Las propuestas de las 3 empresas, variaron en su totalidad, con valores muy distintos en sus propiedades térmicas como se muestra en la tabla 20.

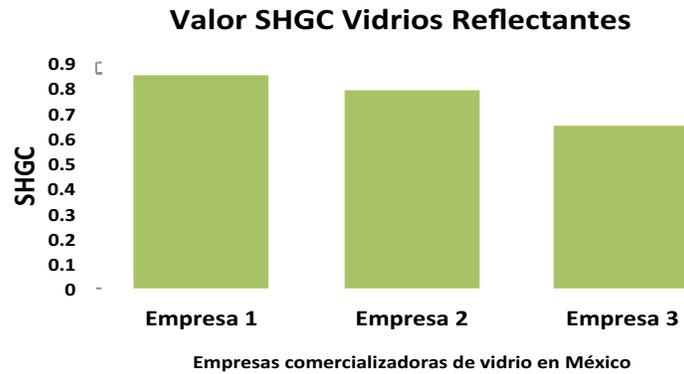
Vidrios Reflectantes			
Provedores	Valor U (w/m2K)	SHGC	Coefficiente de Sombreado SC
Empresa 1	1.81	0.85	1.024096386
Empresa 2	1.67	0.79	0.951807229
Empresa 3	1.71	0.65	0.78313253

Tabla 20. Características térmicas de las propuestas en vidrios reflectantes.  
Fuente: Elaboración propia.

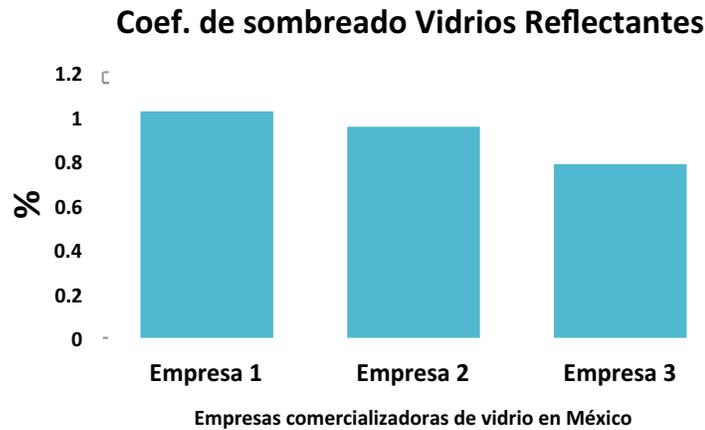
La mejor alternativa es la empresa 2, debido a que tiene un Coeficiente de transmisión térmica más bajo con 1.67 W/m2K. Las diferencias fueron muy variadas, como se puede apreciar en la gráficas 13, 14 y 15, al mostrarse completamente diferente en todos sus coeficientes graficados.



Gráfica 13. Comportamiento térmico del valor U en vidrios reflectantes.  
Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 14. Comportamiento térmico del valor SHGC en vidrios reflectantes. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 15. Comportamiento térmico del valor coef. De sombreado en vidrios reflectantes. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las películas comercializadas en la ciudad de México, se contemplaron las tres mejores alternativas compuestas por materiales nanotecnológicos y tradicionales, la selección fue con base a sus características y propiedades térmicas; entre las cuales se eligieron la película de nanocerámica, metalizadas y de control solar a base de tintes.



De las propuestas seleccionadas, la película de nanocerámica resultó ser la mejor alternativa al tener sus valores térmicos en el coeficiente de ganancias solares (SHGC), coeficiente de sombreado (CS) y valor U más bajo que las alternativas, sus valores de rechazo de rayos solares presentan niveles y porcentajes más altos que las otras películas compuestas por materiales metalizados y tintes, ver tabla 21.

Películas de control solar							
Provedores	Características	Valor U (w/m <sup>2</sup> K)	Coefficiente ganancia solar SHGC	Coefficiente de sombreado CS	Rechazo de rayos infrarrojos %	Rechazo de ultravioleta %	Energía solar rechazada %
Empresa P e1	Nano cerámica	104	0.32	0.37	86	99.9	68
Empresa P e2	Metalizadas	13	0.52	0.63	87	98	55
Empresa P e3	Control solar (tintes)	112	0.58	0.70	56	99	42

Tabla 21. Propiedades térmicas de películas con características nanotecnológicas. Fuente: Elaboración propia.



Finalmente los vidrios y la película nanocerámica fueron seleccionados de acuerdo a sus propiedades térmicas, eligiendo al mejor de cada grupo correspondiente a cada tipo de vidrio seleccionado como alternativa para este estudio. Se les asignó a cada alternativa la viñeta A1, que significa alternativa 1, y continuando con las otras propuestas como A2, A3 y A4, como se muestra en la tabla 22, de igual forma se incluyeron los vidrios que se encuentran instalados en caso actual dentro de la misma tabla.

Propiedades térmicas de la envolvente estado actual y alternativas				
Vidrios	Valor U W/m <sup>2</sup> K	Coef. SHGC	Coef. SC	Transferencia de calor solar %
Filtrasol(estado actual)	1.56	0.79	0.918604651	75
Vidrio en muro cortina (Estado actual)	1.6	0.82	0.953488372	77
A1 Doble acristalamiento con capa metálica baja emisividad	1.5	0.55	0.639534884	49
A2 Vidrio reflectante	1.67	0.79	0.918604651	62
A3 Vidrio al vacío	1.6	0.7	0.813953488	48
A4 P. Nanocerámica	1.04	0.32	0.372093023	14

**Tabla 22. Propiedades térmicas de las alternativas seleccionadas para simulación.**  
Fuente: Elaboración propia.

El proceso de selección de las distintas alternativas fue basado principalmente en sus características y propiedades térmicas, se obtuvieron las cuatro mejores propuestas que posteriormente servirán para alimentar el simulador con esta información, ya que cada alternativa estará representada en un edificio que permitirá identificar su comportamiento térmico mediante simulaciones, el material filtrasol y vidrio en muro cortina, también serán incorporados al programa simulador, ya que este representara el comportamiento del edificio en su estado actual.



### 6.3 Simulaciones de consumos por uso y temperatura en caso base.

Se realizó la simulación del edificio en estado actual (caso base) para obtener información del consumo energético mensual promedio con relación a los usos. Los datos que se obtuvieron serán necesarios para contrastar la información con el diagnóstico energético ya realizado.

De acuerdo al simulador con el caso de estudio base, la iluminación consume 2728.09 kWh/mes. El uso misceláneo y fuerza representan un solo uso dentro del simulador, obteniendo un consumo de 1524.39 kWh/mes, computadoras y equipos de oficinas 3,660.71 kWh/mes y el aire acondicionado 4,647.04 kWh/mes. La simulación demuestra, como el sistema de aire acondicionado representa el consumo de energía más alto dentro del edificio. Ver gráfica 16.



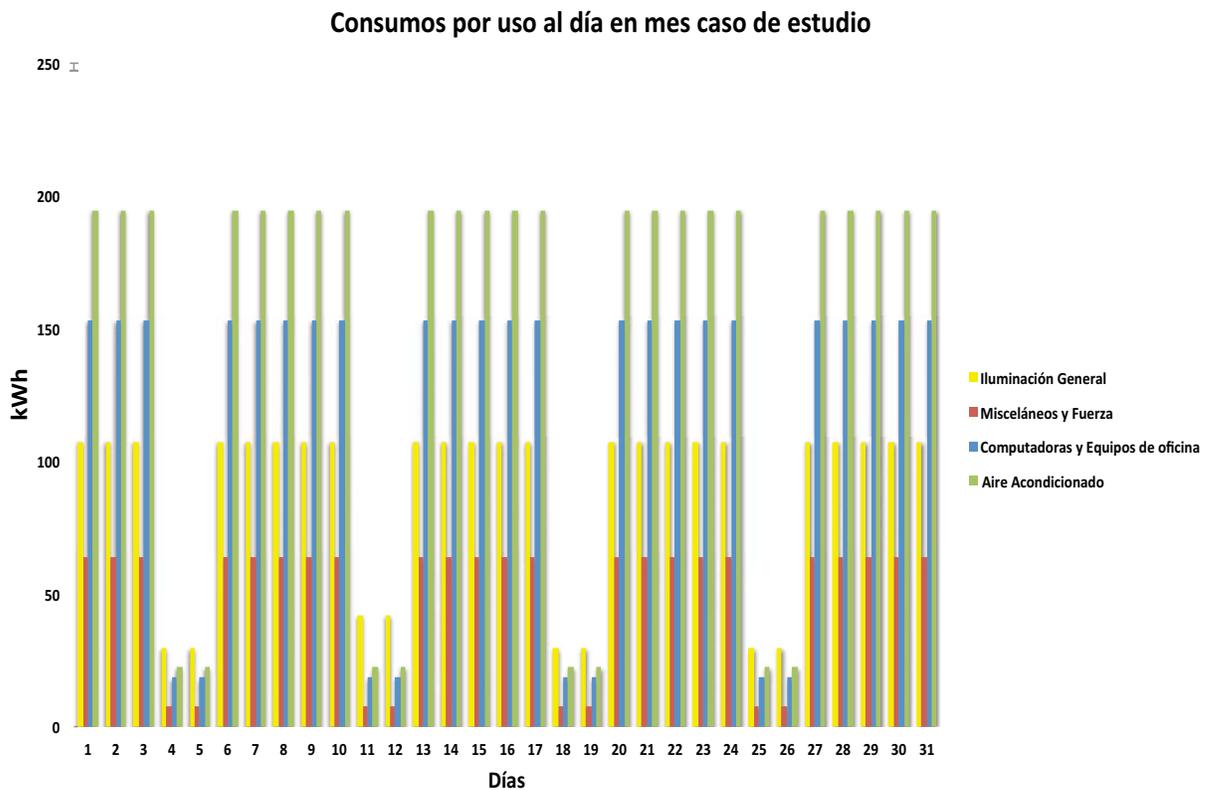
Gráfica 16. Resultados de simulaciones en consumos energéticos mensuales en caso base. Fuente: Elaboración propia.



Con base a los consumos mensuales obtenidos, se simuló nuevamente un mes, especificando que se realizara el análisis por día, donde de acuerdo a los datos que se obtuvieron, el comportamiento del consumo por día es igual de lunes a viernes a excepción de los sábados y los domingos. De lunes a viernes se consume en iluminación 107.21 kWh/día, misceláneos y fuerza 63.71 kWh/día, computadoras y equipos de oficina 152.77kWh/día y aire acondicionado 194.22kWh/día.

Durante el sábado y domingo la iluminación estima un consumo de 29.75 kWh/día, misceláneos y Fuerza 7.37 kWh/día, computadoras y equipos de oficina 18.37 kWh/día y el aire acondicionado 22.48 kWh/día. Ver gráfica 17.

□



**Gráfica 17. Resultados de simulaciones en los consumos energéticos de usos por día.**  
Fuente: Elaboración propia.

Al contrastar los resultados mensuales del simulador con el diagnóstico energético realizado, se podrán analizar e interpretar la información obtenida en ambos métodos de forma detallada, tomando en cuenta que estos resultados pertenecen al edificio en su estado

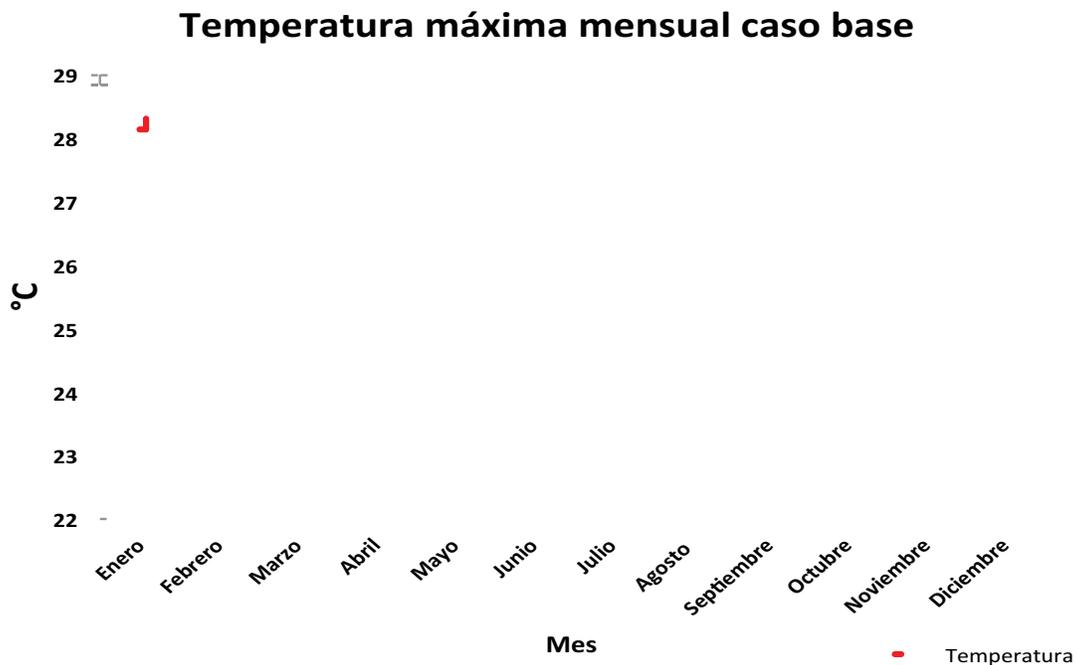


actual; lo cual con datos antes obtenidos del Diagnostico Energético (DEN) y los obtenidos por el simulador reflejan una coincidencia con diferencias mínimas entre ambos, donde la mayor se presenta en los equipos de cómputo y oficinas con 290.821 kWh/mes, posteriormente aire acondicionado con 165 kWh/mes, iluminación con 64 kWh/mes y finalmente misceláneos y fuerza con una mínima de 35.78 kWh/mes entre los resultados del DEN y los del simulador Desing Builder, lo cual indica la correcta ejecución de ambos métodos.

### Simulaciones de temperatura interior caso base.

Para comenzar las simulaciones de las diferentes alternativas, se identificó el mes crítico del año que presenta las temperaturas más altas del interior del edificio, para esto se efectuó una simulación anual del edificio caso base, donde se tomó en consideración el día con las temperaturas interiores máximas registradas mensualmente del edificio. De acuerdo a la simulación, el mes de Mayo presentó la temperatura más alta con 28.3° lo cual identifica este mes como el mes crítico al registrarse la temperatura interior más elevada comparada con los otros meses, siguiéndole el mes de Junio con 27.73°, como se muestra en la gráfica 18.

□



Gráfica 18. Resultados de simulaciones en temperaturas interiores máximas mensuales dentro del edificio en caso base. Fuente: Elaboración propia.



Una vez obtenida la información del mes crítico se procedió a continuar con las simulaciones, de acuerdo al siguiente orden:

- Simulación de 5 edificios, donde a cada uno se le asignaron los valores de sus propiedades térmicas correspondientes a cada alternativa seleccionada, incluido el edificio en su estado actual, para obtener datos de temperaturas sobre el mes crítico de Mayo anteriormente identificado; y lograr conocer su comportamiento térmico en el interior del edificio, con cada alternativa propuesta.
- Obtención de ganancias internas, simulando cada edificio correspondiente a la alternativa de vidrio que le asignó, durante los 31 días del mes crítico, ya que dentro del propio edificio existen espacios interiores delimitados con vidrio, que a su vez están expuestos bajo la fachada de vidrio que compone la envolvente del edificio.
- Simulación del mes de Mayo con las distintas alternativas mencionadas, para identificar los consumos eléctricos del aire acondicionado por las ganancias térmicas.



# CAPÍTULO 7



## Capítulo 7

### Análisis e interpretación de resultados

#### 7 Análisis e interpretación de resultados.

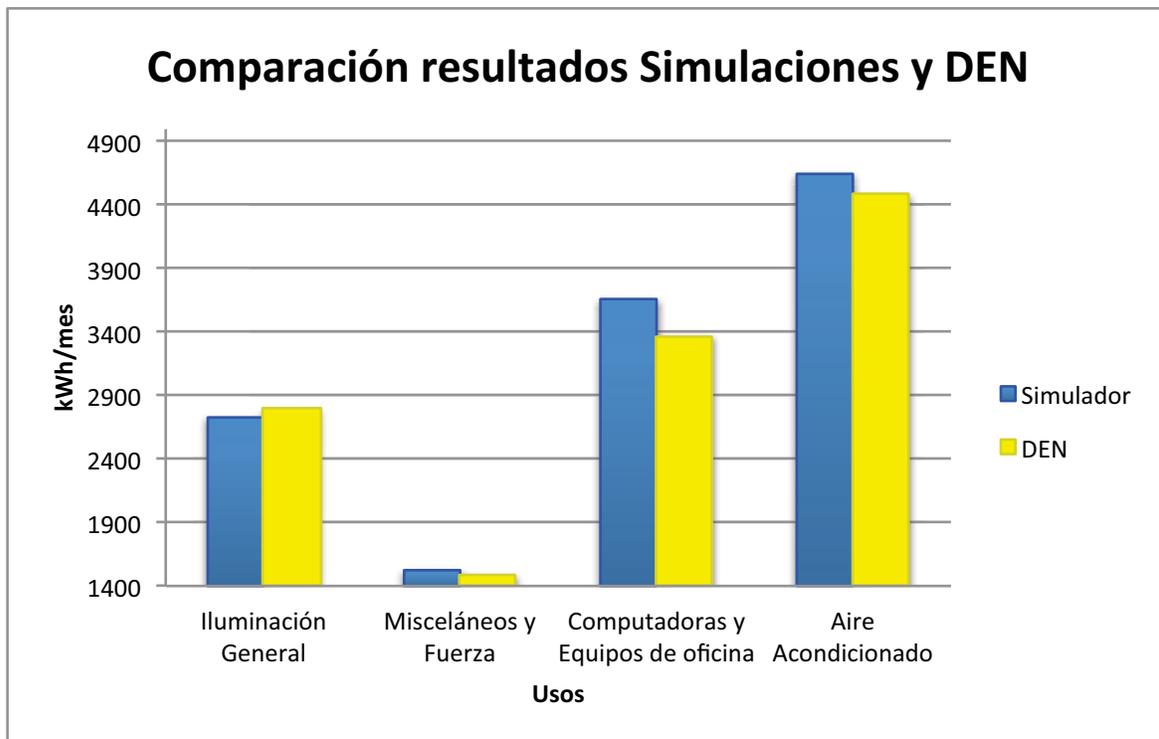
En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos con las simulaciones del edificio caso base, de los cuales se contrastará la información obtenida de consumos eléctricos adquiridos a través del diagnóstico energético realizado, para ejercer un comparativo entre ambos métodos. De la misma forma se estudiará la información obtenida a través de las simulaciones realizadas en cada envolvente propuesta, como sus variaciones y cargas térmicas generadas en su interior, así como los consumos eléctricos obtenidos por el sistemas de aire acondicionado; los resultados de cada alternativa serán comparados con los del edificio caso base, para identificar la diferencia entre sus consumos; por último se analizan las cargas térmicas para calcular la capacidad de aire acondicionado que requiere el edificio.

#### 7.1 Análisis de consumos energéticos mensuales DEN y simulaciones en Desing Builder caso base.

De acuerdo al Diagnóstico Energético realizado para la obtención de los consumos energéticos mediante cada uso, se efectuó la comparación con los resultados obtenidos en el balance energético del simulador, el cual estimó sus propios consumos. Con relación a los datos obtenidos de ambos métodos, la iluminación en el DEN es de 2792.40 kWh/mes mientras que en la simulación obtuvo 2728.09 kWh/mes; para el caso de computadoras y equipos de oficinas en el DEN es de 3369.89 kWh/mes y en el simulador 3660.711kWh/mes; los equipos misceláneos y fuerza, el simulador los toma como en un mismo uso, estos dieron como resultado en el DEN 1489.7 kWh/mes y en el simulador 1524.39 kWh/mes; Por último el consumo del aire acondicionado por mes en el DEN es de 4482.24 kWh/mes, mientras que en el simulador 4647.04 kWh/mes.



Los resultados de los consumos mensuales del Diagnóstico Energético y del programa Desing Builder con el caso de estudio en el estado actual, presentan diferencias mínimas en el uso energético de iluminación con 64 kWh/mes de diferencia entre mas ambos siendo el consumo más alto en el DEN; a diferencia del consumo reflejado en equipos de computo y oficinas los resultados del simulador son más altos con 290.821 kWh/mes en este uso ya existe una diferencia más considerable; con misceláneos y fuerza existe una diferencia de 35.78 kWh/mes. En el consumo del aire acondicionado existen 165 kWh/mes de diferencia entre ambos resultados, el simulador es quien presenta la cantidad más alta, tomando en cuenta que se tomo el resultado del mes crítico del año; la comparación entre ambos resultados de consumos mensuales no es tan drástica, existe mucha similitud entre el DEN y el programa simulador, como se muestra en la gráfica 19.



Gráfica 19. Comparación de resultados en consumos energéticos mensuales en DEN y simulador Desing Builder. Fuente: Elaboración propia.



Los resultados de los consumos mensuales promedio son de 12135.23 kWh/mes en el Diagnóstico Energético de acuerdo a la facturación del edificio, mientras que en el programa Desing Builder es de 12560.25 kWh/mes, con una desigualdad de 425 kWh/mes entre los dos.

Al observar los resultados en consumo por kWh/mes, se procedió a realizar la comparativa de porcentajes con relación al consumo total mensual, donde el uso de iluminación general en DEN representa un 23% y en simulación un 22%, existiendo una diferencia mínima del 1%, en misceláneos y fuerza, en ambos métodos se obtuvo un porcentaje del 12%, para computadoras y equipos de oficinas en el DEN se obtuvo el 28% y en el simulador el 29% también con diferencia del 1%, para finalizar el aire acondicionado tanto en el DEN como en el simulador, ambos presentan un 37% en su consumo energético, como se muestra en la tabla 23.

Comparación de porcentajes en consumos energéticos en DEN y Simulaciones				
Usos	Diagnóstico Energético		Simulación	
	Consumo kWh/mes	%	Consumo kWh/mes	%
Iluminación general	2792.4	23%	2728.09	22%
Misceláneos y Fuerza	1489.7	12%	1524.39	12%
Computadoras y Equipos Oficinas	3369.89	28%	3660.71	29%
Aire Acondicionado	4482.24	37%	4647.04	37%
<b>Total</b>	<b>12135.23</b>	<b>100%</b>	<b>12560.25</b>	<b>100%</b>

Tabla 23. Comparación de resultados entre Diagnóstico Energético y Simulaciones. Fuente: Elaboración propia. Fuente: Elaboración propia.

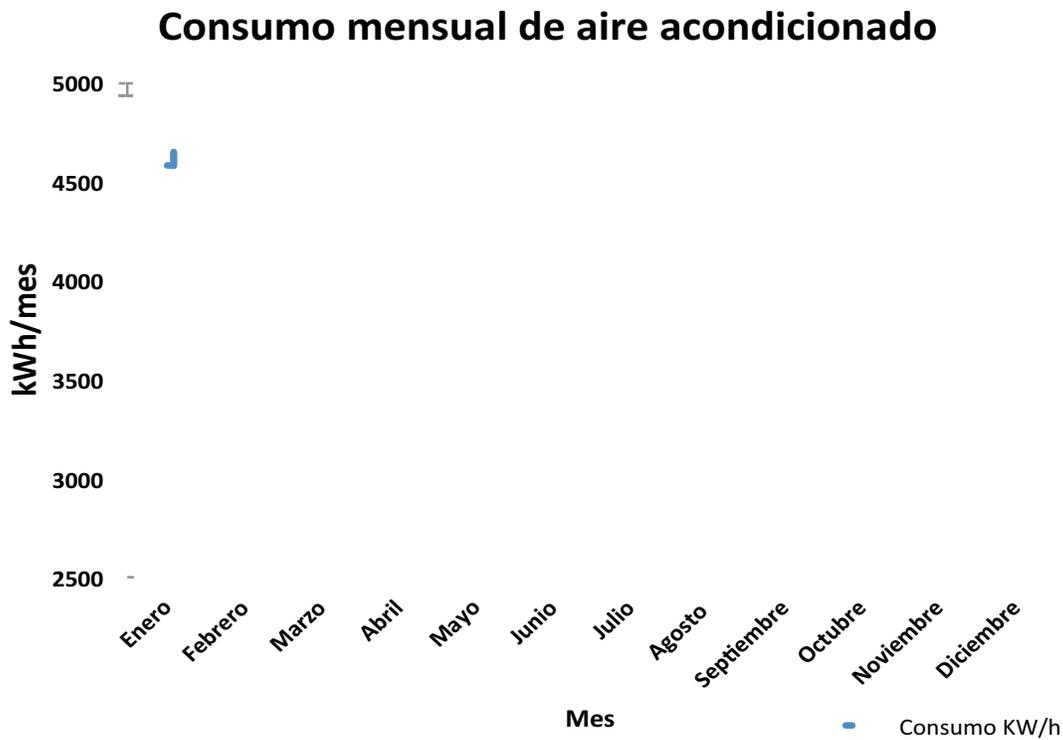
Con relación a los resultados obtenidos de consumos por uso y sus porcentajes, se observó que las variaciones en sus porcentajes se afectaron de manera muy poco significativas en iluminación general y, computadoras y equipos de oficinas ambos por una diferencia mínima del 1% entre los dos métodos, lo cual aporta un alto grado de confiabilidad en los resultados y ejecución de los cálculos de consumos energéticos del edificio en su estado actual.



De acuerdo a los objetivos establecidos en esta investigación se simuló el caso de estudio de forma anual para analizar el consumo de aire acondicionado e identificar cual es el mes que mayor consumo presenta. Las simulaciones los 12 meses dieron los siguientes resultados: Enero 3474.92 kWh/mes, Febrero 3087.96 kWh/mes, Marzo 3350.15 kWh/mes, Abril 3430.96 kWh/mes, Mayo 4647.04 kWh/mes, Junio 4390.08 kWh/mes, Julio 4387.34 kWh/mes, Agosto 3850.71, Septiembre 4201.31 kWh/mes, Octubre 4329.84 kWh/mes, Noviembre 3779.48 kWh/mes y Diciembre 3038.09 kWh/mes; existen muchas diferencias entre los resultados como se muestra en la gráfica 20.

El mes de mayo resultó con mayor consumo eléctrico por uso de aire a condicionado, corroborando con relación a los resultados ya obtenidos de temperatura que el mes de Mayo es el que mayor consumo de aire acondicionado tiene debido a las altas temperaturas que se presentan en estas fechas.

□



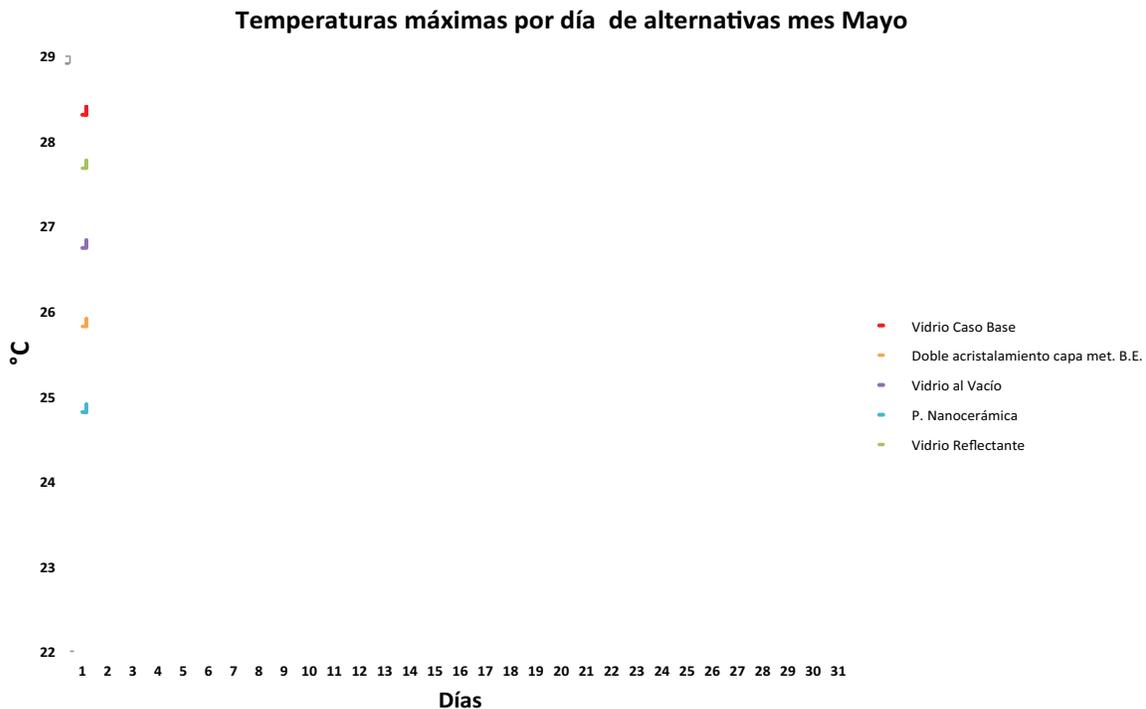
Gráfica 20. Resultados de simulaciones en consumos energéticos mensuales en aire acondicionado con el caso base. Fuente: Elaboración propia.



## 7.2 Análisis de simulaciones térmicas con alternativas.

Como resultado de las simulaciones térmicas anuales se identificó el mes crítico del año como el mes de Mayo; se realizó un análisis térmico de este mes, el cual presentó una temperatura interior de 28.3°C como más alta, posteriormente se simularon las alternativas de control solar propuestas y el caso base durante el mes crítico para ver el comportamiento de los 31 días con respecto a sus alteraciones térmicas en el interior del edificio; como resultado el día 9 de Mayo se identificó como el más alto en todas las envolventes propuestas.

El caso base presentó 28.39°C, el doble acristalamiento con capa metálica y baja emisividad obtuvo 25.911°C, vidrio reflectante 27.77°C, vidrio al vacío 26.83°C y la película nanocerámica 24.9°C; todas las envolventes elegidas presentaron el día 9 como el más caluroso de acuerdo a las temperaturas simuladas en el programa Desing Builder. Ver gráfica 21.



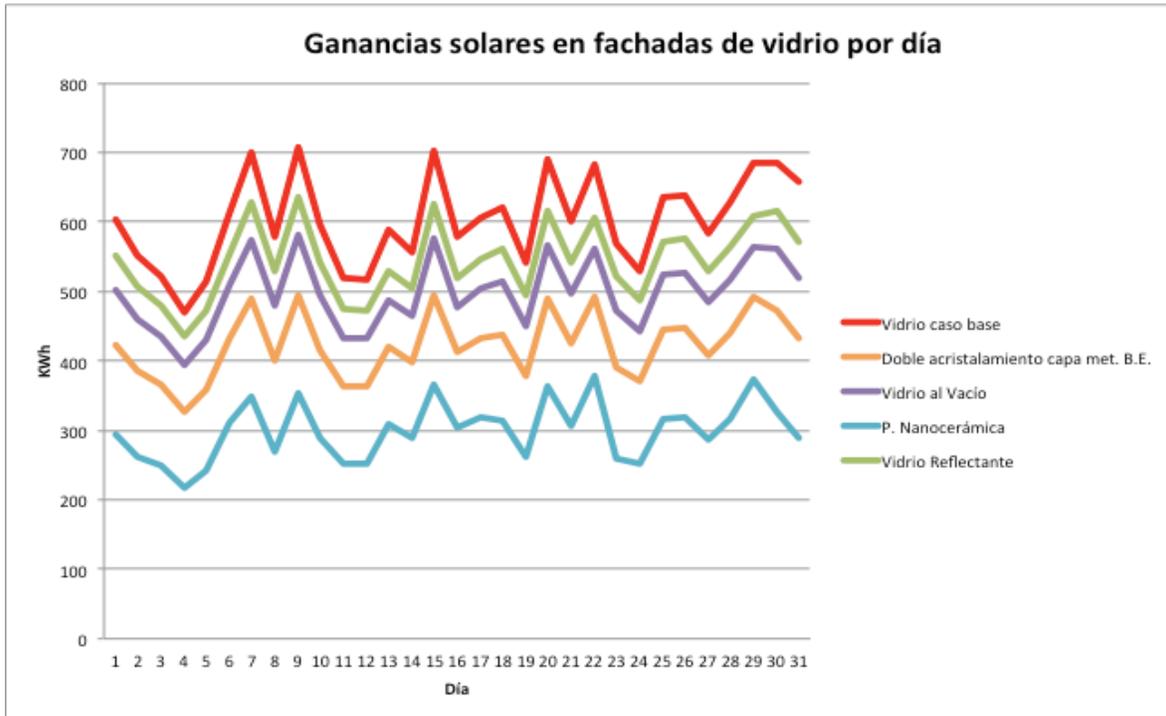
Gráfica 21. Resultados de simulaciones de temperaturas máximas al día en el mes crítico con las distintas alternativas. Fuente: Elaboración propia.



### 7.2.1 Ganancias solares por fachadas de vidrio.

Estas ganancias solares son ocasionadas por la energía del sol sobre superficies vidriadas, su ganancia varía de acuerdo a las propiedades térmicas de cada vidrio como protección solar. Se simuló durante el mes crítico de Mayo las alternativas seleccionadas para analizar su comportamiento en cuanto a ganancias solares.

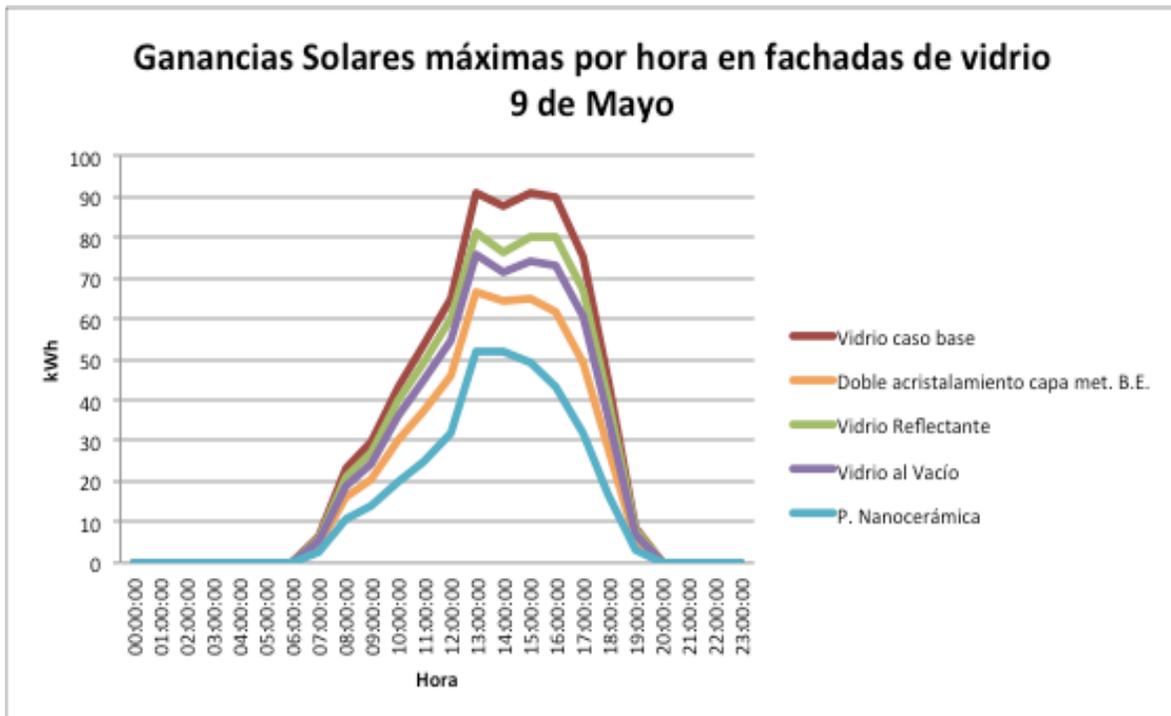
Se tomó el registró de la mayor ganancia solar registrada en la fachada de vidrio al día, con cada alternativa durante el mes crítico; el vidrio caso base presentó una ganancia solar de 708.27 kWh, el doble acristalamiento con capa metálica y baja emisividad 495.04 kWh, vidrio reflectante 635.36 kWh, vidrio al vacío 581.75 kWh y la película nanocerámica 377.61 kWh Ver gráfica 22.



Gráfica 22. Resultados de simulaciones de ganancias por fachada de vidrio al día, en el mes crítico con las distintas alternativas. Fuente: Elaboración propia.

La película de nanocerámica resultó tener mejor comportamiento con relación al vidrio del caso base instalado, de acuerdo a las simulaciones con relación a las ganancias solares, hubo una diferencia de 330.65 kWh entre ambas, con una protección del 51% más eficientes en la película, que el vidrio actualmente instalado, así mismo se indentificó el día 9 de Mayo con mayores ganancias solares.

Se efectuaron simulaciones el día 9 de Mayo (considerado como día crítico) para observar su comportamiento por horario e identificar el momento en se presentan las cargas térmicas más altas en las fachadas de vidrio del edificio. Los resultados muestran que la mayor carga térmica se efectúa entre las 13:00 p.m. y las 16:00 p.m. donde la alternativa que presenta la mayor carga es el vidrio reflectante con 81.26 kWh a la 1:00 p.m. y la que menor carga máxima presenta es la película de nanocerámica con 51.97 kWh registrado a la 1:00 p.m. ver gráfica 23.

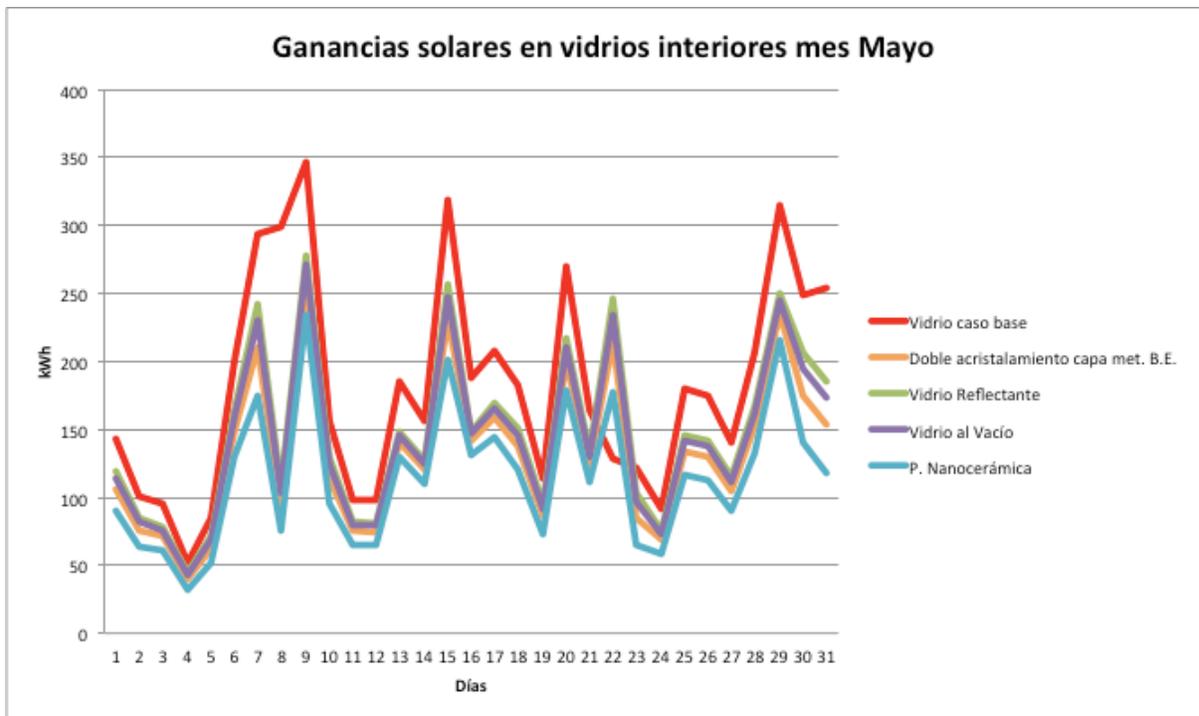


Gráfica 23. Resultados de simulaciones en ganancias solares en fachadas de vidrio en cada alternativa, durante el mes crítico. Fuente: Elaboración propia.



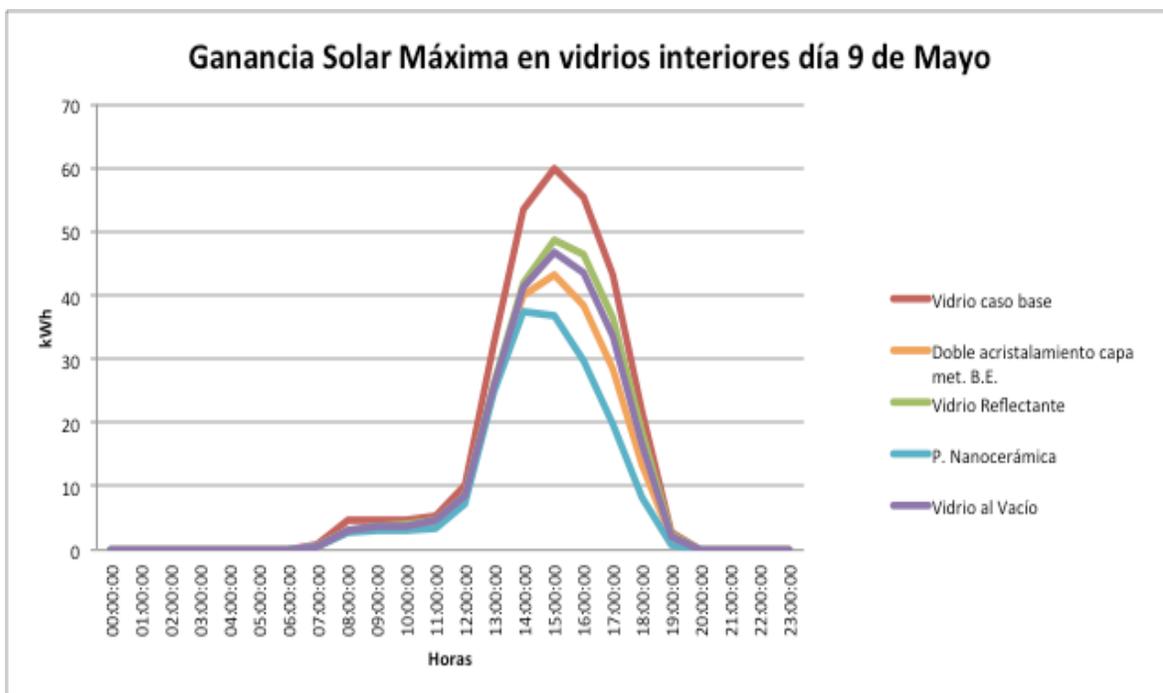
### 7.2.2 Ganancias solares en elementos de vidrio interior.

El edificio posee entresijos y muros de vidrio en la zona oriente, lo cual provoca que genere cargas térmicas en dichas áreas, así como en sus tres niveles que lo conforman; al efectuarse la simulación del mes de Mayo, se presentó una variación de ganancias solares en esta zona durante los distintos días del mes analizado, el edificio caso base simuló su mayor ganancia solar en vidrios interiores el día 9 de Mayo con 346.07 kWh, al sustituir el material en la simulación, por la alternativa de doble acristalamiento con capa metálica y baja emisividad se obtuvo 258.53 kWh como mayor registro en ganancias solares, en el vidrio reflectante registró 277.56 kWh, el vidrio al vacío 270.59 kWh y la película nanocerámica 234.86 kWh, esta última alternativa fue la que menor ganancia presentó con relación al caso base y las otras alternativas propuestas como se muestra en la gráfica 24.



Gráfica 24. Resultados de simulaciones en ganancias solares por vidrios interiores al día, en las alternativas. Fuente: Elaboración propia.

Conforme a la simulación mensual de los vidrios interiores, se elaboró la del día 09 de Mayo donde se simularon las ganancias solares por hora de los vidrios interiores, presentándose las más altas en horarios variados, quedando las estimaciones de la siguiente forma, caso base 60.04 kW a las 14:20 p.m., doble acristalamiento 43.24 kW a las 14:30 p.m., vidrio reflectante 48.68 kW a las 14:30, vidrio al vacío 46.6 kW 14:20, Película nanocerámica 37.36 kW, a las 13:40 p.m. finalizando como mayor eficacia la última alternativa, como se muestra en la gráfica 25.



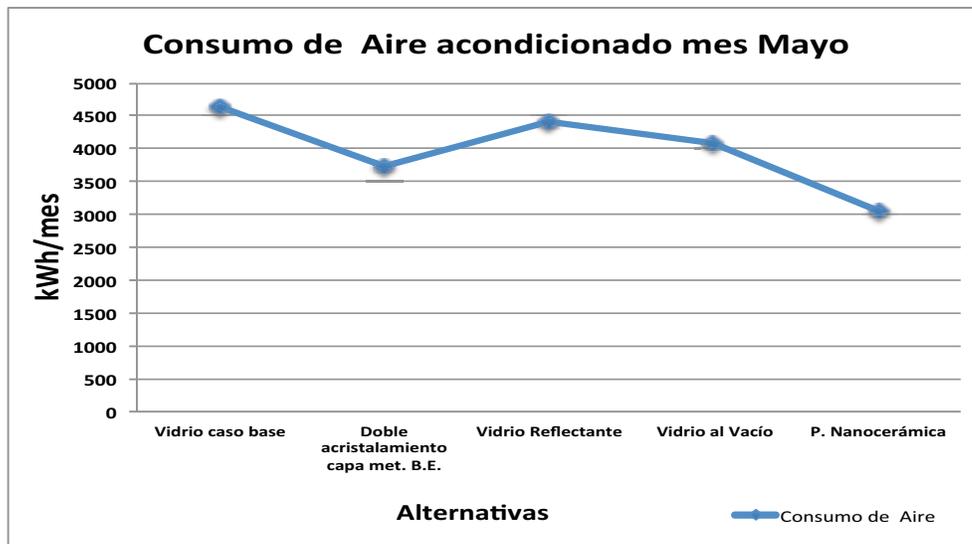
Gráfica 25. Resultados de simulaciones en ganancias solares en vidrios interiores en cada alternativa, durante el mes crítico. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados demuestran cómo las ganancias solares dependen mucho de las condiciones climáticas del lugar, ya que son las que alteran las temperaturas en los interiores dependiendo de la eficiencia del material con el cual este compuesto la fachada de vidrio, esta alteración de temperaturas ocasiona que los sistemas de aire acondicionado trabajen mayor cantidad de tiempo consumiendo mayor energía eléctrica, por tal motivo se recurrió a realizar la simulaciones de los consumos eléctricos con las diferentes alternativas.

### 7.3 Resultados de simulación en consumos eléctricos por aire acondicionado en alternativas.

Con relación a las distintas propiedades térmicas de cada alternativa, se corroboró mediante las simulaciones de cada una, sus consumos eléctricos mensuales con respecto a la utilización del aire acondicionado; aplicando en cada edificio simulado su respectivo material o alternativa. Basando en el mes crítico, se ejecutan la simulaciones correspondientes, donde el caso base consume 4647.24 kWh/mes, doble acristalamiento con capa metálica baja emisividad 3742.79 kWh/mes, vidrio reflectante 4410.86 kWh/mes, vidrio al vacío 4091.37 kWh/mes y película nanocerámica 3053.94 kWh/mes.

Debido a las características térmicas de la película de nanocerámica demuestra ser la mejor alternativa para disminuir el consumo de energía en comparación con las alternativas propuestas y el caso base durante el mes crítico, por lo tanto también durante los otros meses del año. Ver gráfica 26.



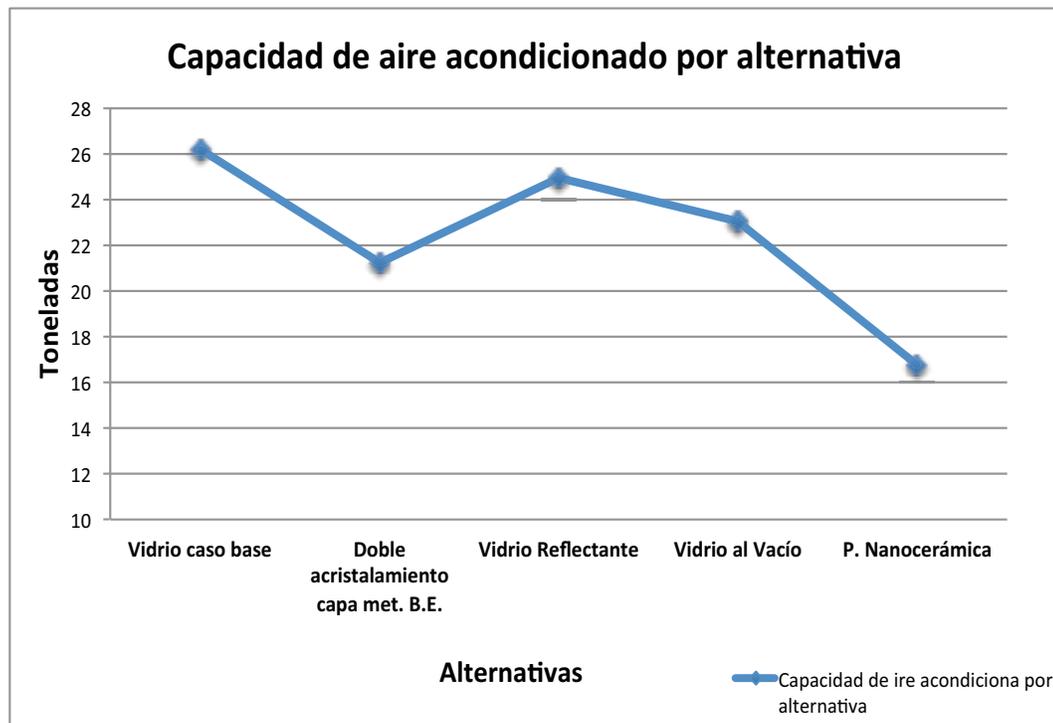
Gráfica 26. Resultado de simulaciones en consumo de aire mensual por alternativa.  
Fuente: Elaboración propia.

La disminución del consumo energético con las distintas alternativas manifiesta una disminución de la cantidad de refrigeración que el edificio requerirá para su enfriamiento y lograr el nivel de confort térmico deseado; por lo cual fue necesario realizar los cálculos de la capacidad de aire acondicionado para determinar la cantidad precisa de enfriamiento requerida.

#### 7.4 Cálculo de la capacidad de aire acondicionado con alternativas.

Conocer la capacidad de aire acondicionado es fundamental para tener un parámetro de la cantidad de enfriamiento que se necesitará para contrarrestar las temperaturas que se generan en el interior y lograr un nivel de confort dentro del edificio. Con la información de los modelos virtuales con las alternativas propuestas en el programa Desing Builder, se ejecutaron los cálculos para determinar la capacidad de aire acondicionado que dieron como resultado que el caso de estudio en su estado actual requiere de 26 Toneladas en el edificio para lograr un nivel térmico confortable, actualmente tiene 24 toneladas instalados en un sistema de aire acondicionado central y 2 mini split en su interior de 2 toneladas cada uno, dando un total de 28 toneladas instaladas, para lo cual si cumple con las demanda de capacidad requerida con el aire acondicionado actual.

Se realizaron los cálculos de las 4 alternativas propuestas para estimar la capacidad de aire acondicionado que requiere cada una, obteniendo como resultado que la alternativa de doble acristalamiento 21 Toneladas, vidrio reflectante 24 Toneladas, vidrio al vacío 23 Toneladas y la película de nanocerámica 16.5 Toneladas como se muestra en la gráfica 27.



Gráfica 27. Resultados de la capacidad de aire acondicionado por alternativas, realizados en el simulador. Fuente: Elaboración propia.

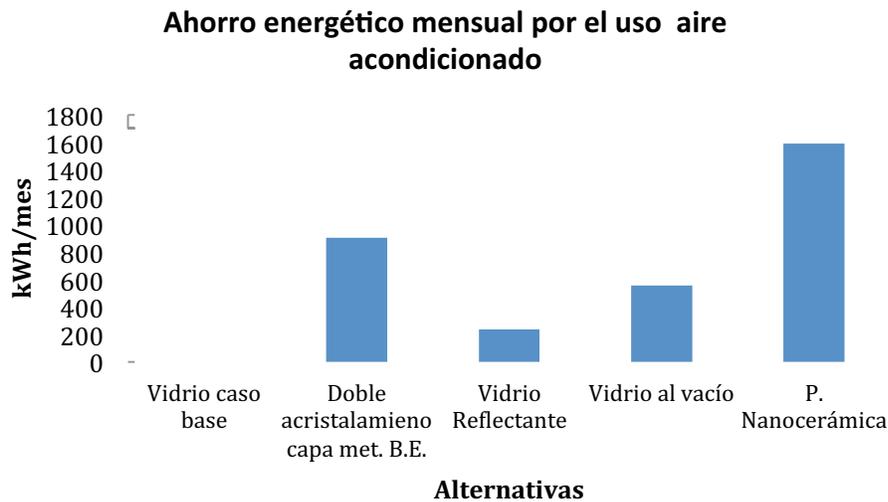


La película nanocerámica resultó ser la más eficiente de acuerdo a las simulaciones realizadas, al necesitar menor cantidad en el sistema de enfriamiento con una diferencia de 9.5 Toneladas con relación al caso base, estos datos fueron de suma importancia para obtener los ahorros energéticos y económicos con relación a las facturaciones eléctricas del edificio.

### 7.5 Ahorro energético y económico.

El ahorro energético en el aire acondicionado es obtenido por las simulaciones en el programa Desing Builder anteriormente realizadas, donde se obtuvo información de los consumos de aire acondicionado por cada alternativa propuesta, estas estimaciones fueron comparadas con los consumos del edificio en su estado actual para identificar cual es el ahorro con relación al caso base de forma mensual, todas las alternativas obtuvieron un ahorro energético interesante; recordando que el consumo energético del caso base en aire acondicionado es de 4647.24 kWh/mes, y el doble acristalamiento tiene un consumo de 3742.79 kWh/mes se obtiene un ahorro energético de 904.24 kWh/mes, el vidrio reflectante presenta un consumo de 4410.86 kWh/mes con un ahorro de 236.18 kWh/mes, el vidrio al vacío resultó un consumo de 4091.37 kWh/mes y un ahorro de 555.67 kWh/mes, por último la película nanocerámica presentó un consumo de 3053.94 kWh/mes concluyendo con un ahorro de 1593.10 kWh/mes, estos ahorros son de suma importancia para identificar la eficiencia del vidrio en su aspecto energético, ya que cada alternativa se comparó con el resultado del consumo perteneciente al caso base, para poder determinar cuál de las opciones presentar mayor ahorro energético por el uso aire acondicionado. Ver gráfica 28.

□



Gráfica 28. Ahorros energéticos que proporciona cada alternativa mensualmente, simulando su aplicación.



Las alternativas demostraron ser más eficientes comparadas con el material instalado en el caso de estudio actual, la que obtuvo el ahorro menos significativo fue el vidrio reflectante con tan solo 5%, seguido de vidrio al vacío con el 12%, el vidrio de doble acristalamiento con capa metálica obtuvo un ahorro en su consumo del 19%. La película de nanocerámica al obtener un mejor rechazo de cargas térmicas y presentar un consumo energético menor en las simulaciones, demuestra un ahorro de energía más significativo representado por un 34% menos en el consumo por aire acondicionado. Esto también representa un ahorro económico dentro de las facturaciones eléctricas del edificio, ver tabla 24.

Porcentaje de ahorro energético mensual					
Porcentaje ahorro de energía al mes %	Vidrio caso base	Doble A. capa met. B.E.	Vidrio Reflectante	Vidrio al Vacío	P. Nanocerámica
	0%	19%	5%	12%	34%

Tabla 24. Resumen de porcentajes de ahorro con cada alternativa analizada. Fuente: Elaboración propia.



### 7.5.1 Ahorro económico.

Analizar cuál fue el ahorro económico en esta investigación fue de suma importancia, puesto que se obtuvo un valor monetario que permite tener una mejor comprensión sobre los ahorros energéticos que se han estimado con base a las simulaciones realizadas, por tal motivo se analizaron las dos alternativas que presentaron un mejor desempeño en su eficiencia y ahorro energético, tomando en cuenta que la alternativa de película de nanocerámica presentó el mejor comportamiento en cuanto a eficiencia energética por su ahorro eléctrico en sus consumos de aire acondicionado y menor incremento de temperatura interior, por tal motivo se le ha considerado la primer y mejor alternativa, el doble acristalamiento con capa metálica baja emisividad quedó como segunda opción al compararse entre las demás propuestas, es así que se obtienen las cantidades de ahorro en comparación con el caso de estudio en su estado actual, para esto se determinó el costo promedio \$/kWh tomando en cuenta los 12 meses del año facturado, dando como resultado 2.23 \$/kWh.

Los costos por consumos en aire acondicionado en el edificio en su estado actual varían mensualmente, estos datos son obtenidos de acuerdo a la información de la facturación eléctrica del edificio, tomando en cuenta que el aire acondicionado representa el 37% del costo total por periodo de facturación; se registró el periodo que mayor costo tiene por la cantidad de \$13,436.48, y \$10,342.07 el periodo más bajo, al sustituir el vidrio actual por la mejor alternativa que fue la película de nanocerámica, el periodo más costoso resultó ser de \$9,880.18 y el menor de \$6,785.77; la segunda alternativa del doble acristalamiento obtuvo \$11,420.02 en su periodo más caro y \$8,325.51 el menor periodo con costo más bajo (ver tabla de análisis de costos por periodos en el caso base y alternativas, en Anexo 2).

Al analizar la primer alternativa de nanocerámica se demostró que durante todos los periodos existe un ahorro económico de \$3,556.30; los costos por consumo anual en aire acondicionado en el caso de estudio actualmente son de \$135,753.50 y si se sustituyera con la nanocerámica sería de \$93,077.95, ahorrando \$42,675.55 anualmente en aire acondicionado. En la segunda alternativa el costo anual por consumo de aire acondicionado sería de \$111,546.03, economizando \$2,016.46 cada periodo mensual, y un ahorro total de \$ 24,197.46 al año como se muestra en la tabla 25.



Ahorro económico					
Alternativas	KW	\$	Ahorro consumo mensual kWh/mes	Ahorro Mensual \$	Ahorro Anual \$
Película de nanocerámica	1	\$ 2.23	1,593.10	\$ 3,556.30	\$ 42,675.55
Doble acristalamiento con capa metálica baja emisividad	1	\$ 2.23	904.24	\$ 2,016.46	\$ 24,197.46

**Tabla 25. Ahorro económico anual que se obtiene al aplicar la película de nanocerámica. Fuente: Elaboración propia. Fuente: Elaboración propia.**

Los ahorros económicos son datos importantes para la obtención de una conclusión con los objetivos e hipótesis establecidos al inicio de esta investigación, esto con el fin de identificar la factibilidad de realizar un cambio de material en las fachadas de vidrio que tiene el edificio, ya que como se estableció en un inicio con los objetivos particulares, la intención es poder comprobar que se puede lograr un mayor ahorro económico, con la aplicación de materiales procesados a escala nanométrica, que en este caso fue la película de nanocerámica con la cual comprobamos mediante simulaciones con este edificio de oficinas, como caso de estudio, que puede ahorrar un 31% del costo anual equivalente a \$42,675.55, lo cual lo convierte esta alternativa en un material altamente recomendable como mejor opción para edificios con fachadas o envolventes de vidrio y lograr obtener un óptimo ahorro energético y mejora en su eficiencia energética, en los sistemas de aire acondicionado.



### 7.5.2 Sustitución de fachadas.

Pensar en la sustitución de la mejor alternativa de eficiencia energética por el material que actualmente tiene el edificio de estudio, es de suma importancia debido a que se ha demostrado que la película de nanocerámica resultó ser la que ahorra mayor energía y dinero en sus consumos por aire acondicionado, por lo cual se procedió a cotizar su valor con la empresa encargada de comercializarla en la Ciudad de México, obteniendo su precio de \$1,476.60 por m<sup>2</sup> como precio neto del material. Las diferentes alternativas que se propusieron para esta investigación tienen un precio distinto, por lo que se optó por analizar la segunda alternativa que mayor ahorro energético y económico obtuvo, y poder realizar un análisis de retorno de inversión con ambas propuestas y estudiar la posibilidad de llegar a realizar la sustitución por el material vigente en el edificio. La segunda alternativa cotizada fue el doble acristalamiento con placa metálica de baja emisividad con un costo de \$1,154.35 por m<sup>2</sup> precio neto del material.

De acuerdo a las áreas de fachadas de vidrio que tiene el edificio, 145.2 m<sup>2</sup> corresponden a la fachada sur, 60.1 m<sup>2</sup> en la fachada oriente, 56.16 m<sup>2</sup> en el domo, esto nos da un total de 261.46 m<sup>2</sup>, mismos que serían sustituidos por las alternativas.

Con base al costo por m<sup>2</sup> de la película de nanocerámica de \$1,476.60 y la cantidad de 261.46 m<sup>2</sup> de áreas de vidrio para sustituir en el edificio, el costo total sería de \$386,071.84; tomando en cuenta que el ahorro económico por año es de \$42,675.55; el retorno de inversión sería en un lapso de 9 años con esta primera alternativa. La segunda alternativa del doble acristalamiento ahorra menos energéticamente pero el costo como material, es menor al compararse con la primera alternativa. El costo por m<sup>2</sup> del doble acristalamiento es de \$1,154.35; por la cantidad de vidrio a reemplazar en el edificio sería un total de \$301,816.35, considerando que con esta alternativa solo se tiene un ahorro anual de \$24,197.46 su retorno de inversión queda a un plazo de 12.5 años como se muestra en la tabla 26.



Retorno de inversión					
Alternativa	Total m2	Costo por m2 \$	Costo total \$	Ahorro económico por año \$	Tiempo de retorno (tiempo)
Película de Nanocerámica	261.46	\$ 1,476.60	\$ 386,071.84	\$ 42,675.55	9
Doble acristalamiento con capa metálica baja emisividad	261.46	\$ 1,154.35	\$ 301,816.35	\$ 24,197.46	12.5

**Tabla 26. Análisis de retorno de inversión con la película de nanocerámica y el doble acristalamiento.**  
Fuente: Elaboración propia.

Como se ha demostrado en este análisis, aun cuando el costo por m2 de la película de nanocerámica es más caro que la alternativa que le sigue como mejor opción en su ahorro energético, la película de nanocerámica continua siendo la mejor elección para la sustitución del vidrio en el caso de estudio, ya que su ahorro económico por su optimo comportamiento en eficiencia energética y control térmico, hacen que su retorno de inversión sea menor que la otra opción analizada.



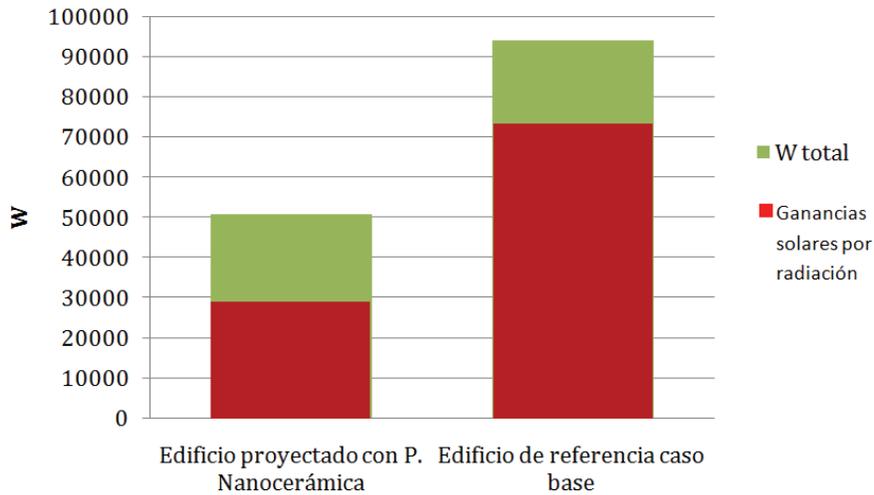
### 7.5.3 Análisis de la NOM-008-ENER-2001 con alternativa.

La NOM-008-ENER-2001, es la Norma Oficial Mexicana que tiene como propósito la evaluación térmica de las envolventes de los edificios con el fin de mejorar energéticamente mediante un cálculo de ganancias de calor por conducción y radiación, como se ha mencionado y explicado en el capítulo 5, mismo en cual se efectuó el cálculo de la norma con el edificio en su estado actual, dando como resultado el cumplimiento de la norma por una diferencia de 4.32%, donde el edificio proyectado que representa el caso de estudio base obtuvo una ganancia total de 93363.22 W y el edificio de referencia de acuerdo a la norma obtuvo 94187.15 W.

Con base a las simulaciones analizadas en esta investigación, la película de nanocerámica fue la alternativa más eficiente energéticamente, debido a sus características y comportamiento térmico, por lo que se llevó a cabo el cálculo de la Nom-008, sustituyendo las propiedades térmicas del SC (Coeficiente de Sombreado) de los vidrios del edificio en su estado actual, por el de la película, con la finalidad de analizar sus ganancias térmicas con relación a la norma. Las propiedades térmicas que se suplieron para este cálculo fueron las del vidrio en muro cortina con un SC de .95 y el vidrio filtrazol con un SC de .91, correspondientes al edificio en su estado actual, sustituidos por el SC de 0.37 correspondiente a la película de nanocerámica y con el cual se realizó el cálculo de la Nom-008; donde el resultado de las ganancias totales de calor del edificio proyectado con la película fueron de 50768.89 W, mientras que el edificio de referencia que estipula la norma fue de 94187.15 W en ganancias totales de calor, como se muestra en la gráfica 29; donde con color verde se representan las ganancias totales de cada edificio y con color rojo las ganancias por radiación solar; en el caso del edificio de referencia (caso base), las ganancias por radiación fueron de 72329.99 W que representan el 78.5% con relación a sus ganancias totales de mismo edificio, mientras que el edificio proyectado con la película de nanocerámica tiene 29735.66 W de ganancias térmicas por radiación que corresponde a un 59% con relación a las cargas totales.



## Resultado Nom-008



**Gráfica 29. Resultados de cálculo de la NOM-008-ENER-2001, con la aplicación de las propiedades térmicas de la película de nanocerámica. Fuente: Elaboración propia.**

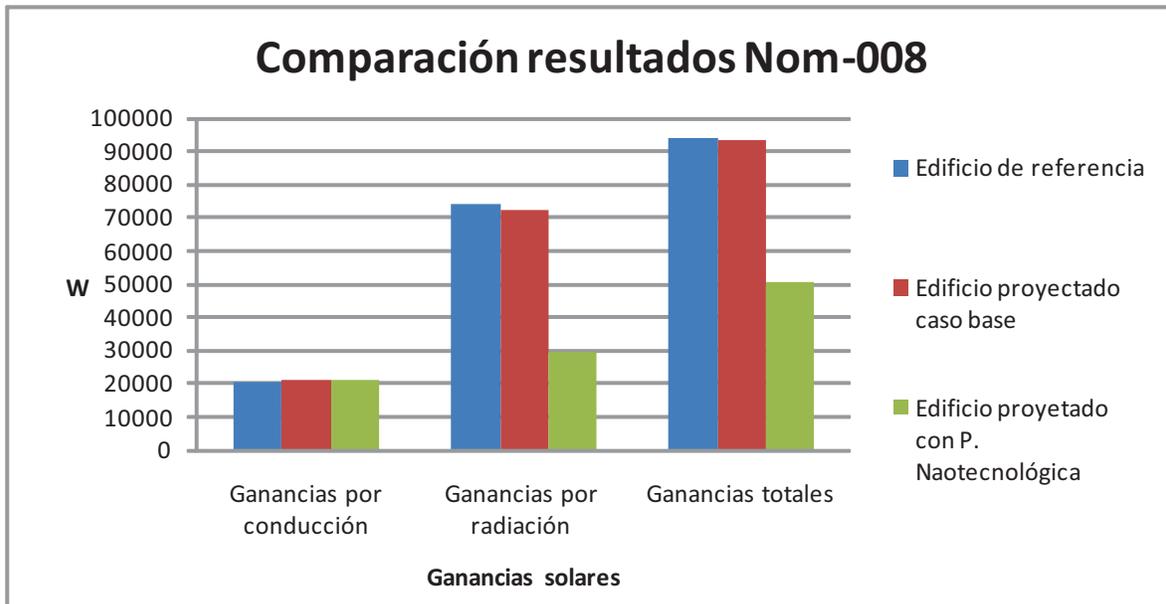
Como se ha demostrado con los cálculos referentes a la NOM-008, la película de nanocerámica obtuvo un mejor resultado con relación al cumplimiento de la norma con una diferencia del 46% entre el edificio proyectado y el edificio de referencia.

Las diferencias entre los cálculos de la norma con el estado actual del edificio y la película nanocerámica se manifestó principalmente en las cargas solares por radiación, ya que el SC es el que define la propiedad térmica de cada material para aislar dicha radiación y fue el que se sustituyó en cada caso calculado, resultando la comparación del edificio de referencia y los dos edificios proyectados como se muestra en la tabla 27.

Resultados de cálculos de la NOM-008-ENER-2001			
Ganancias solares W	Resultados del Edificio de referencia NOM-008	Resultados edificio proyectado caso de estudio en estado actual	Resultados edificio proyectado con alternativa de película de nanocerámica
Ganancias de calor por conducción W	20,321.63	21,033.23	21,033.23
Ganancias de por radiación (partes transparentes) W	73,865.52	72,329.99	29,735.66
Ganancia total W	94,187.15	93,363.22	50,768.89

**Tabla 27.- Comparación de los resultados del cálculo de la NOM-008-ENER-2001, del edificios de referencia, edificio proyectado caso base y edificio proyectado con la aplicación de la película de nanocerámica. Elaboración propia.**

Al realizar el análisis de los resultados se muestra una diferencia entre el edificio de referencia establecido por la norma y el edificio proyectado en su estado actual, donde en las ganancias por conducción existe una diferencia de 711.6 W siendo más alta en el edificio proyectado; en ganancias por radiación resultó una diferencia de 1,534.53 W mayor en el edificio de referencia; en ganancias totales el edificio de referencia concluyó ser más alto con 823.93 W. Al estudiarse la norma con la alternativa de la película de nanocerámica, y sustituir sus propiedades térmicas el SC como ya se mencionó antes, resultó tener una disminución en las ganancias por radiación reduciendo a 23,096.63 W con relación al caso de referencia y en conducción 711.6 W, manifestando más alto el edificio proyectado con relación a la película de nanocerámica, para finalizar sus ganancias totales con 43,418.26 W de diferencia entre el edificio de referencia y proyectado favoreciendo al edificio que representa la película de nanocerámica, como se muestran las comparaciones en la tabla 30.



Gráfica 30. Gráfica que representa la comparación de las ganancias solares entre los resultados de la NOM-008-ENER-2001, entre el edificio de referencia de la norma y los edificios proyectados de caso base y con la película de nanocerámica. Fuente: Elaboración propia.



## Conclusiones.

El presente trabajo, permitió analizar los distintos cambios que se generan en cuanto a eficiencia energética, mediante la aplicación o sustitución de alternativas en vidrios correspondientes a las fachadas de un edificio, fue indispensable la selección de un caso de estudio real que contara con equipos instalados en el edificio, fachadas de vidrio y fuera de género arquitectónico oficinas, con información de su facturación eléctrica.

Se llevó a cabo un diagnóstico energético del edificio que permitió obtener información detallada de los equipos eléctricos instalados, con los cuales se obtuvieron resultados de los consumos energéticos por uso.

Con la información obtenida de los equipos eléctricos instalados, se utilizó el programa Desing Builder, el cual permitió ejecutar las simulaciones térmicas y de consumos por uso; se realizaron las simulaciones correspondientes de forma mensual para conocer los consumos, obteniendo 12560.25 kWh/mes, mientras que en el DEN se obtuvieron 12135.23 kWh/mes de acuerdo a su facturación, la diferencia fue poco relevante tomando en consideración que es un resultado mensual existiendo una diferencia de 425 kWh/mes. En el consumo de aire acondicionado el simulador obtuvo 4647.04 kWh/mes y el DEN 4482.24 kWh/mes, con una diferencia de 165.04 kWh/mes entre ambos lo cual indica que los procedimientos realizados para los cálculos de consumos energéticos son correctos al presentar resultados similares con una diferencia mínima.

Se simuló el edificio de forma anual para identificar el mes y día crítico del año, que resultó ser el mes de Mayo, señalando el día 9 como el más caluroso. Con la información obtenida de este mes crítico, se realizaron las simulaciones correspondientes con cada alternativa propuesta; con base a las variaciones de temperaturas registradas se pudo simular el consumo de aire acondicionado utilizando las propiedades térmicas de cada material propuesto; tanto los vidrios, como la película de nanocerámica obtuvieron una disminución del consumo mensual comparado con el caso base en su estado actual, sin embargo la película de nanocerámica resultó ser la más eficiente de acuerdo a las simulaciones, al reducir su consumo eléctrico en aire acondicionado 1593.10 kWh/mes menos, obteniendo un ahorro benéfico de 34% de ahorro en energía destinada al enfriamiento del edificio, quedando el consumo mensual en 3053.94 kWh/mes con la película de nanocerámica.



Al haber obtenido el mejor resultado favorable en el rechazo de ganancias térmicas con la película de nanocerámica, se realizó el cálculo de la capacidad de aire acondicionado mediante el mismo programa Desing Builder. Tomando en cuenta que el edificio en su estado actual tiene instalado un sistema de aire acondicionado de 28 Toneladas, se efectuó también el cálculo del edificio con su fachada vigente, dando como resultado 26 Toneladas, lo cual indicó que esta cantidad de aire acondicionado está sobrado por 2 Toneladas con respecto a su estado actual; los resultados de la película de nanocerámica registraron una capacidad de 16 Toneladas manteniéndose nuevamente como la mejor opción, al estar 10 Toneladas por debajo, comprado con lo que realmente necesita el edificio en actual estado.

Con el ahorro energético se realizó un análisis para obtener cual sería el ahorro económico. El edificio anualmente gasta \$135,753.50, tomando en cuenta los ahorros en energía con la película de nanocerámica, los gastos en aire acondicionado anuales serian de \$93,077.95, obteniendo un ahorro económico de \$42,675.55, lo cual indica una alta factibilidad para la aplicación de este material en edificios de vidrio.

En conclusión, se considera como el mejor comportamiento, a la película de nanocerámica tanto en sus aspectos tanto térmicos, como en ahorros energéticos y económicos; ya que esto conlleva a presentar distintas propuestas, no solo de materiales en la fachada si no también en los equipos de aire acondicionado, puesto que si se llegara a sustituir por fachada vigente, el sistema de aire acondicionado actual estaría muy sobrado. Al presentarse esta considerable disminución en el consumo de la refrigeración, se concluye con un nuevo ajuste en cuanto a porcentajes obtenidos de acuerdo a sus consumos por uso, ya que en el caso de estudio base el aire acondicionado es el uso con mayor consumo con el 37% del consumo total, siguiendo los equipos de cómputo con 28%, iluminación 23% y 12% de misceláneos y fuerza, al aplicar la película nanotecnológica la refrigeración deja de ser el uso con el consumo más alto, ubicando al equipo de cómputo con el 31% como el más alto en consumo, seguido por la refrigeración con el 29% del consumo de energía mensual, la diferencia entre los usos es muy corta, ya que el uso por refrigeración destinado a aire acondicionado se encuentra solo 3% por arriba de la iluminación que tiene 26%. Ver tabla 28.



Porcentaje consumo mensual con P. Nanocerámica		
Uso	Consumo por uso, kWh/mes	Porcentaje
Refrigeración	3053.94	29%
Fuerza	619.2	6%
Misceláneos	870.5	8%
Cómputo	3369.89	31%
Iluminación	2792.400336	26%
TOTAL	10705.93034	100%

Tabla 28. Resultados de los porcentajes de consumo energético mensual, con la película de nanocerámica. Fuente: Elaboración propia.

El programa Desing Builder, puede realizar estas simulaciones aun cuando no se tienen datos específicos como equipos instalados dentro del edificio, ya que maneja parámetros estándares por género arquitectónico; en este caso los resultados de simulaciones con relación a los consumos energéticos se pudieron comparar con la metodología del DEN, en cual ambos métodos coincidieron en sus resultados.

La aplicación de esta metodología de simulaciones con distintas alternativas para sus fachadas permite tener un acercamiento con relación a los comportamientos térmicos de los materiales que la conforman y los efectos en sus consumos energéticos desde el momento de la conceptualización del edificio, aun como proyecto.

Con respecto a los edificios ya construidos, se puede concluir que tecnológicamente las películas de nanocerámicas son factibles en la ciudad de México con el fin de reducir consumos energéticos en edificios de oficinas ya que su comportamiento con relación al clima de la ciudad resultó ser favorable y benéfico para la el ahorro y disminución del consumo eléctrico; además de haber tenido un comportamiento favorable con relación al cumplimiento de la NOM-008-ENER-2001.



### **Recomendaciones.**

Realizar los cálculos de la Nom-008 con la envolvente sin tomar en cuenta la azotea verde e identificar cual sería el resultado con la envolvente como único elemento arquitectónico para proteger el edificio, así como realizar el cálculo de la misma con las diferentes alternativas, y saber con cuales cumpliría de acuerdo a las propiedades térmicas de cada fachada de vidrio propuesta.

El caso de estudio que se tomo para esta investigación cuenta un fachada con vidrio en sus gran mayoría y parte del mismo en otras; basándome en estas características donde el vidrio no es abundante en la envolvente sería importante realizar un ejercicio basando en el método efectuado en esta investigación con un edificio del mismo género arquitectónico de oficinas pero con su envolvente de vidrio en su totalidad, y ver cuál sería el comportamiento, energético, térmico y ahorro económico, puesto que, con un edificio con pocas cantidades de vidrio este resultó factible el ahorro con un edificio completamente de vidrio podría ser más recomendable la factibilidad.

La ciudad de México es una ciudad que en la actualidad alberga una gran cantidad de edificios corporativos, se puede considerar como la cuna de edificios de oficinas que albergan corporativos de diferentes marcas, tanto nacionales como internacionales; esta ciudad no presentan temperaturas extremosas aun en su mes critico no se considera extremo, se recomienda realizar esta investigación en edificios con las características mencionadas en otros climas que tiene el país preferentemente cálidos extremosos, ya que se trata de abatir o disminuir las temperaturas altas generadas en el interior y por consecuente los consumos de aire a condicionado.

Realizar un análisis económico a fondo, donde se haga un estudio acerca de los costos que generaría realizar el cambio del material en la fachada, con relación al ahorro, considerando todos los fundamentos arquitectónicos para el reemplazo de una fachada.



## Bibliografía.

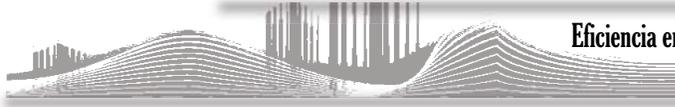
- Amostock, J. (1999). *Manual del vidrio en la construcción*. México: McGraw-Hill.
- Andarini, R. (2014). The role of building thermal simulation for energy efficient building design. *Energy Procedia* , 47, 217-226.
- Baetens, R., Jelle, B., & Gustavsen, A. (2013). Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state of the art review. *Solar Energy Materials and Solar Cells* , 94 (2), 87-105.
- Baskin, E. (2005). Evaluation of hydronic forced-air and radiant slab heating and cooling systems. *ASHRAE Journal* , 525-534.
- Beand, R., Olesen, W., & Woo, K. (2010). History of radiant heating and cooling systems. *ASHRAE Journal* , 50-55.
- Behrens, R. (2012). *Análisis de desempeño térmico y lumínico en edificios de oficina a partir de monitoreo experimental*. Tesis de Maestría en Energías Renovables. Sevilla, España: Universidad de Andalucía.
- Bouden, C. (2007). Influence of glass curtain walls on the building thermal energy consumption under Tunisian climatic conditions: The case of administrative buildings. *Renewable Energy* , 32 (1), 141-156.
- Buratti, C., Moretti, E., Belloni, E., & Cotana, F. (2013). Unsteady simulation of energy performance and thermal comfort in non-residential building. *Building and Environment* , 59, 482-491.
- Cannavale, A., Fiorito, F., Manca, M., Tortorici, G., Cingolani, R., & Gigli, G. (2010). Multifunctional bioinspired sol-gel coatings for architectural glasses. *Building and Environment* , 45 (5), 1233-1243.
- Carli, M., D., Zarrela, A., & Zecchin, R. (2009). Comparison between a radiant floor and two walls on heating and cooling energy demand. *ASHRAE Journal* , 563-572.
- Chaiyapinunt, S., Phueakphongsuriya, B., Mongkornsaksit, K., & Khomporn, N. (2005). Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission. *Energy and Building* , 37 (7), 725-738.
- Diamant, R. (1979). *Aislamiento térmico y acústico de edificios*. Madrid: H. Blume.
- Domina, S. (2010). *Doble envolvente transparente*, Tesis de Licenciatura. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Belgrano.
- Escobedo, A. (2005). *Indicadores energéticos en iluminación para inmuebles destinados al uso de oficinas públicas caso: centro del país*. Ciudad de México: Tesis de Maestría en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Frame, A. E. (2010). [www.construccion32008.weebly.com](http://construccion32008.weebly.com). Obtenido de [http://construccion32008.weebly.com/uploads/5/3/6/3/536327/g06\\_fachadas\\_livianas.pdf](http://construccion32008.weebly.com/uploads/5/3/6/3/536327/g06_fachadas_livianas.pdf)



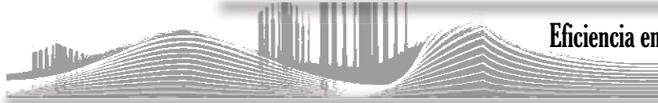
- Galdámez, V., & Guzmán, H. (2011). *Evaluación térmica y económica del uso de aislantes térmicos en edificios de oficina acondicionados en el salvador (Tesis de pregrado)*. Cascatlán: Universidad Centroamericana.
- García, R. (2005). *Ingeniería de sistemas expertos*. Buenos Aires: Nueva Librería.
- Gijón-Rivera, J., Xamán, J., Álvarez, G., & Serrano-Arellano, J. (2013). El acoplamiento de la simulación CFD-BES de una oficina de cristal con diferentes tipos de ventana en la Ciudad de México. *Building and Environment*, 68, 22-34.
- Gijón-Rivera, M., Álvarez, G., Beausoleil-Morrison, I., & Xamán, J. (2011). La valoración del comportamiento térmico de una oficina de cristal con un recubrimiento de control solar: Los casos de estudio de México y Canadá. *Building and Environment*, 46 (5), 1223-1233.
- Givoni, B. (1994). *Passive and low energy cooling of buildings*. Estados Unidos: Van Nostrand Reinhold.
- González, E., Hinz, E., De Oteiza, P., & Quiroz, C. (1986). *Proyecto clima y arquitectura*. México: G. Gili S.A. de C.V.
- Guery, N. (2010). Nanotecnología conceptos generales. *Revista de información, tecnología y sociedad*.
- H., M., & Frank, T. (2005). Thermal simulation of buildings with double-skin facades. *Energy and Buildings*, 37 (11), 1114-1121.
- Hausladen, S., & Liedl. (2006). *Climate Skin*. Berlín: Birkhäuser.
- Heusler, W., & Compagno, A. (1998). *Fachada multiple doble piel*. Alemania.
- <http://www.huperoptik.com>. (s.f.). <http://www.huperoptik.com>. Recuperado el Enero de 2015, de <http://www.huperoptik.com.mx/productos/ceramic.php>
- Hwang, R.-L., & Shu, S.-Y. (2011). Building envelope regulations on thermal comfort in glass facade buildings and energy-saving potential for PMV-based comfort control. *Building and Environment*, 46 (4), 824-834.
- Ibrahim, M., Wurtz, E., Henry Biwole, P., Achard, P., & Sallee, H. (2014). Hygrothermal performance of exterior walls covered with aerogel-based insulating rendering. *Energy and Building*, 84, 241-251.
- Lalbakhsh, E., & Shirazpour, P. (2011). Nanomaterials for smart future buildings. *IPCBE*, 80-81.
- Lozano, A. (2008). *La piel del edificio*. Cali: Universidad del Valle.
- Martín, J. (2010). *Nanociencia y nanotecnología*. Madrid: Fundación española para la ciencia y tecnología.
- Miranda, Á. L. (2007). *Técnicas de climatización*. Barcelona: Alfaomega.
- Monroy, M. (2006). *Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria*. Las Palmas Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.
- Mucha, J., Chuchmata, D., Hreniak, D., & Jezowski, W. (2011). [www.bsqa.co.za](http://www.bsqa.co.za). Recuperado el Diciembre de 2015, de <http://www.nanowerk.com/news/newsid=19571.php>



- N.setter, & Waser, R. (2000). Electroceramic materials. *Acta Materialia* , 48 (1), 151-178.
- Nanotechnology and nano engineered membranes. (2004). *Membrane Science and Technology* , 10, 277-333.
- Navarro, A. (2011). *Seguridad estructural en fachadas de vidrio y aluminio. Tesis de Maestría en Ciencias*. Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Noh-pat, F., Xamán, J., Álvarez, G., Chávez, Y., & Arce, J. (2011). El análisis térmico para una unidad de doble acristalamiento con y sin una película de control solar (SNS - CuxS) para el uso en climas cálidos. *Energy and Buildings* , 43 (2), 704-712.
- Ocampo, E. (2010). Nanotecnología aplicada a la Arquitectura. La investigación arquitectónica de nuevos materiales y. *Nova Scientia* , 3 (5), 179-193.
- Ocampo, E. (1998). Nanotecnología y Arquitectura. *Revista Construcción y Tecnología del Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC)* , X (117), -.
- Olgyay, V. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Rashwam, A., Farag, O., Wa, & Moustafa, W. S. (2013). Energy performance analysis of integrating building envelopes with nanomaterials. *International Journal of Sustainable Built* , 2 (2), 209-223.
- Riechmann, J. (2009). *Nanomundos, multiconflictos*. Barcelona: Icaria.
- Saeli, M., Piccirillo, C., Parkin, I., Ridley, I., & Binions, R. (2010). Nano-composite thermochromic thin films and their application in energy-efficient glazing. *Solar Energy Materials and Solar Cells* , 94 (2), 141-151.
- Scheatzle, D. (2006). Combining radiant and convective systems with thermal mass for a more comfortable home. *ASHRAE Journal* , 253-268.
- Serra, R., & Coch, H. (2005). *Arquitectura y energía natural*. México: Alfaomega.
- Taniguchi, N. (1974). *En el concepto básico de Nano-tecnología. En actas de la Conferencia Internaiconal sobre Ingeniería de Producción* (Vol. 2). Tokio: Sociedad Japonesa de Ingeniería de precisión.
- Torres, A., & Oropeza, I. (2007). Evaluación térmica y económica comparativa de vidrios comerciales, utilizados en la ciudad de México: Caso de estudio, torres lomas. *Avances y energías renovables y medio ambiente* , 329-518.
- Tucker, R. T., Beckers, N. A., Fleischauer, M. D., & J. Brett, M. (2012). Electron beam deposited Nb-doped TiO<sub>2</sub> toward nanostructured transparent conductive films. *Thin Solid Films* (525), 28-34.
- Valeriano, A. (2011). *Iluminación natural en arquitectura: validación de los métodos de cálculo en la ciudad de México*. México: Tesis de maestría en Arquitectura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Well, C. (Abril de 2009). [www.climatewell.com](http://www.climatewell.com). Recuperado el 2014 de Enero de 23, de [http://www.climatewell.com/Documents/Marketing%20Materials/ClimateWell\\_CATALOGO\\_COMERCIAL.pdf](http://www.climatewell.com/Documents/Marketing%20Materials/ClimateWell_CATALOGO_COMERCIAL.pdf)



- Young, C.-H., Chen, Y.-L., & Chen, P.-C. (2014). Heat insulation solar glass and application on energy efficiency buildings. *Energy and Buildings*, 78, 66-78.
- Zinci, M. (2005). *Office worker preferences of electrochromic windows: A pilot study buiding and enviroment* (Vol. 41).



# Anexos



## **Anexo 1 NOM-008-ENER-2001**

DOF: 25/04/2001

NORMA Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.- Secretaría de Energía.- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.- Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE).

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-ENER-2001, EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICACIONES, ENVOLVENTE DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES.

ODON DE BUEN RODRIGUEZ, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos y Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, con fundamento en los artículos 17 y 33 fracciones VIII y IX de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1o., 38 fracciones II y III, 40 fracciones I, X y XII, 43 y 47 fracción IV de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y 34 de su Reglamento; 1o., 2o., 3o. fracción I y 8o. fracciones I y VIII del Decreto por el que se crea la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, como órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía y 1o. del Acuerdo por el que se delega en favor del Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, las facultades para presidir el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, así como expedir las normas oficiales mexicanas en el ámbito de su competencia, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre y 29 de octubre de 1999, respectivamente, y considerando que las reformas a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 28 de diciembre de 1994, delimitaron las facultades de la Secretaría de Energía, mismas entre las que se encuentra la de expedir normas oficiales mexicanas que promueven la eficiencia del sector energético.



Que el Programa Nacional de Normalización de 2001 publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de marzo de ese mismo año, contempla la expedición de la presente Norma Oficial Mexicana Nom-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales, cuya finalidad es la preservación y uso racional de los recursos energéticos;

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, ordenó la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales; lo que se realizó en el Diario Oficial de la Federación el 22 de septiembre de 2000, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo que lo propuso;

Que durante el plazo de 60 días naturales contados a partir de la fecha de publicación de dicho proyecto de norma oficial mexicana, la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, estuvo a disposición del público en general para su consulta; y que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron sus comentarios al proyecto de norma, los cuales fueron analizados por el citado Comité Consultivo, realizándose las modificaciones procedentes;

Que en la sesión celebrada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos con fecha 9 de marzo de 2001, los miembros del Comité aprobaron por consenso la norma referida;

Que con fecha 29 de marzo de 2001 se publicaron en el Diario Oficial de la Federación las respuestas a los comentarios recibidos respecto del Proyecto de Norma PROY-NOM-008-ENER-1999, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales, y



Que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización establece que las normas oficiales mexicanas se constituyen como el instrumento idóneo para la prosecución de estos objetivos, por lo que he tenido a bien expedir la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-008-ENER-2001, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 6 de abril de 2001.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, Odón de Buen Rodríguez.- Rúbrica.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-008-ENER-2001, EFICIENCIA ENERGETICA EN EDIFICACIONES, ENVOLVENTE DE EDIFICIOS NO RESIDENCIALES

## PREFACIO

La presente Norma fue elaborada bajo la coordinación del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) con el apoyo del Instituto de Investigaciones Eléctricas y con la colaboración de los siguientes organismos y empresas:

- Aislantes Minerales
- Ashrae, Capítulo México
- Asociación Mexicana de Directores Responsables de Obra y Corresponsables, A.C.
- Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción, A.C.
- Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción
- Colegio de Arquitectos de México
- Comisión Federal de Electricidad



- Colegio de Ingenieros Mecánicos Electricistas
- Colegio Nacional de Ingenieros Arquitectos
- Dirección General de Normas de la Secofi
- Fideicomiso de Ahorro de Energía
- Instituto de Ingeniería de la Unam
- Instituto de Investigaciones Eléctricas
- Instituto Mexicano del Petróleo
- Luz y Fuerza del Centro
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y la Edificación, S.C.
- Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico
- Programa Universitario de Energía
- Secretaría de Desarrollo Social
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, actualmente Secretaría de Economía, Dirección General de Normas
- Vitro Vidrio Plano de México, S.A. de C.V.

## CONTENIDO

### 0. Introducción

#### 1. Objetivo

#### 2. Campo de aplicación

#### 3. Referencias

#### 4. Definiciones

##### 4.1 Ampliación de edificación

##### 4.2 Area construida

##### 4.3 Barreras para vapor

##### 4.4 Coeficiente de sombreado (CS)



4.5 Edificio; edificación

4.6 Edificio proyectado

4.7 Edificio de referencia

4.8 Envolverte de un edificio

4.9 Muro ligero

4.10 Muro masivo

4.11 Opaco

4.12 Pared

4.13 Sistemas de enfriamiento

4.14 Superficie inferior

4.15 Techo

4.16 Temperatura equivalente promedio (te)

4.17 Transparente y/o translúcido

5. Clasificación

6. Especificaciones

6.1. Ganancia de Calor

7. Método de prueba (Cálculo del Presupuesto Energético)

7.1 Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado

7.2 Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia

7.3 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor (K) de las porciones de la envolvente

7.4 Barreras para vapor

7.5 Orientación

8. Muestreo



9. Informe de resultados
10. Información al público
11. Etiquetado
  - 11.1 Permanencia
  - 11.2 Ubicación
  - 11.3 Información
  - 11.4 Material
  - 11.5 Dimensiones
  - 11.6 Distribución de la información y colores
12. Vigilancia
13. Sanciones
14. Bibliografía
15. Concordancia con normas internacionales
16. Transitorios

#### APENDICES NORMATIVOS

- A. Tablas
- B. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor
- C. Formato para el informe del cálculo del presupuesto energético

#### APENDICE INFORMATIVO

- D. Valores de conductividad y aislamiento térmico de diversos materiales

#### 0. Introducción

La normalización para la eficiencia energética en edificios representa un esfuerzo encaminado a mejorar el diseño térmico de edificios, y lograr la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía.



En México, el mayor consumo de energía en las edificaciones es por concepto de acondicionamiento de aire, durante las épocas de mayor calor, principalmente en las zonas norte y costera del país. La ganancia por radiación solar es la fuente más importante a controlar, lo cual se logra con un diseño adecuado de la envolvente.

En este sentido, esta Norma optimiza el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, obteniéndose como beneficios, entre otros, el ahorro de energía por la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento y un mejor confort de los ocupantes.

Las unidades que se utilizan en esta Norma corresponden al Sistema General de Unidades de Medida, único legal y de uso obligatorio en los Estados Unidos Mexicanos, con las excepciones y consideraciones permitidas en su Norma NOM-008-SCFI vigente.

### 1. Objetivo

Esta Norma limita la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.

### 2. Campo de aplicación

Esta Norma aplica a todos los edificios nuevos y las ampliaciones de edificios existentes.

Quedan excluidos edificios cuyo uso primordial sea industrial o habitacional.

Si el uso de un edificio dentro del campo de aplicación de esta Norma constituye el 90 por ciento o más del área construida, esta Norma aplica a la totalidad del edificio.

### 3. Referencias

Para la correcta aplicación de esta Norma se deben consultar las siguientes normas vigentes.



NOM-008-SCFI -1993 Sistema General de Unidades de Medida.

NOM-018-ENER-1997 Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.

#### 4. Definiciones

Para los efectos de esta Norma se definen los siguientes términos:

##### 4.1 Ampliación de edificación

Cualquier cambio en la edificación que incremente el área construida.

##### 4.2 Area construida

Es la suma en metros cuadrados de las superficies de todos los pisos de un edificio, medidos a nivel de piso por el exterior de las paredes. No incluye área de estacionamiento.

##### 4.3 Barreras para vapor

Es un material, producto o componente de un muro o techo que proporciona resistencia a la transmisión de vapor de agua en forma continua sobre la totalidad de la superficie del muro o techo.

##### 4.4 Coeficiente de sombreado (CS)

La razón entre el calor de radiación solar que se gana a través de un vidrio específico, al calor por radiación solar que se gana a través de un vidrio claro de 3 mm de espesor, bajo idénticas condiciones.

##### 4.5 Edificio; edificación



Cualquier estructura que limita un espacio por medio de techos, paredes, piso y superficies inferiores, que requiere de un permiso o licencia de la autoridad municipal o delegacional para su construcción.

#### 4.6 Edificio proyectado

El edificio que se pretende construir.

#### 4.7 Edificio de referencia

Es el edificio que conservando la misma orientación, las mismas condiciones de colindancia y las mismas dimensiones en planta y elevación del edificio proyectado, es utilizado para determinar un presupuesto energético máximo.

#### 4.8 Envolverte de un edificio

Está formada por techo, paredes, vanos, piso y superficies inferiores, que conforman el espacio interior de un edificio.

#### 4.9 Muro ligero

Es aquel construido empleando un bastidor o estructura soportante abierta, la cual se recubre en ambos lados, con tableros de material con espesores hasta de 2,5 cm, dejando al interior un espacio hueco o relleno con aislante térmico.

#### 4.10 Muro masivo

Es aquel construido con concreto, bloque hueco de concreto, tabicón, tabique rojo recocido, bloque perforado de barro extruido, bloque o tableros de concreto celular curado con autoclave, bloque de tepetate o adobe, o materiales semejantes con espesor igual o mayor a 10 cm.



#### 4.11 Opaco

Lo que no permite pasar la luz visible.

#### 4.12 Pared

Es la componente de la envolvente de un edificio cuya normal tiene un ángulo con respecto a la vertical mayor a  $45^\circ$  y hasta  $135^\circ$ .

#### 4.13 Sistemas de enfriamiento

Aparato o equipo eléctrico utilizado para enfriar mecánicamente un espacio al interior de un edificio.

#### 4.14 Superficie inferior

Es la componente de la envolvente de un edificio que tiene una superficie exterior cuya normal tiene un ángulo con respecto a la vertical mayor a  $135^\circ$  y hasta  $180^\circ$ . Comúnmente se le conoce como el piso o entrepiso del 1er. nivel habitable.

#### 4.15 Techo

Es la componente de la envolvente de un edificio que tiene una superficie exterior cuya normal tiene un ángulo con respecto a la vertical mayor o igual a  $0^\circ$  y hasta  $45^\circ$ .

#### 4.16 Temperatura equivalente promedio (te)

Es una temperatura indicativa, de la temperatura exterior promedio, durante el periodo de uso de sistemas de enfriamiento.

#### 4.17 Transparente y/o translúcido



Lo que permite el paso de la luz visible

## 5. Clasificación

Para fines de esta Norma, las partes que conforman la envolvente de un edificio se clasifican y denominan de la siguiente manera.

Nombre de la componente	Angulo de la normal a la superficie exterior con respecto a la vertical	Partes
Techo	Desde 0° y hasta 45°	Opaco transparente
Pared	Mayor a 45° y hasta 135°	Opaca (muro) transparente
Superficie inferior	Mayor a 135° y hasta 180°	Opaca transparente
Piso	Generalmente 180°; también se deben considerar los pisos inclinados	Opaco

## 6. Especificaciones

### 6.1 Ganancia de calor

La ganancia de calor (fp) a través de la envolvente del edificio proyectado debe ser menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia (fr), es decir:

#### 6.1.1 Características del edificio de referencia

Se entiende por edificio de referencia aquel que conservando la misma orientación, las mismas condiciones de colindancia y las mismas dimensiones en planta y elevación del edificio proyectado, considera las siguientes especificaciones para las componentes de la envolvente:

#### Techo

Parte	Porcentaje del área total %	Coefficiente global de transferencia de calor K (W/m <sup>2</sup> K)
	Coefficiente de Sombreado CS	
Opaca	95	Tabla 1, Apéndice A -----
Transparente	5	5,952 0,85



Pared

Parte    Porcentaje del área total %    Coeficiente global de transferencia de calor K (W/m<sup>2</sup> K)  
Coeficiente de Sombreado CS

Fachada opaca 60    Tabla 1, Apéndice A    -----

Fachada transparente 40    5,319    1

Colindancia opaca    100    Tabla 1, Apéndice A    -----

Para el cálculo de ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia no se toma en cuenta la ganancia de calor a través del piso, debido a que se supone que se encuentra sobre el suelo. Sin embargo, en el caso de que el edificio proyectado tenga uno o más pisos de estacionamiento por encima del suelo, se debe sumar la ganancia de calor a través del piso o entrepiso del 1er. nivel habitable del mismo.

## 7. Método de prueba (Cálculo del Presupuesto Energético)

A continuación se describe el método de cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado y del edificio de referencia.

### 7.1 Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado

La ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado, es la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia de calor por radiación solar, es decir:

en donde:

\*p es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado, en W;

\*pc es la ganancia de calor por conducción a través de las partes opacas y transparentes de la envolvente del edificio proyectado, determinada según el inciso 7.1.1, en W;

\*ps es la ganancia de calor por radiación solar a través de las partes transparentes de la envolvente del edificio proyectado, determinada según el inciso 7.1.2, en W.



### 7.1.1 Ganancia de calor por conducción

Es la suma de la ganancia por conducción a través de cada una de las componentes, de acuerdo con su orientación, y utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

$i$  son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste y 6 es superficie inferior.

Cualquier porción de la envolvente con colindancia con la tierra se considera que tiene una ganancia de calor de cero. Sin embargo, si el edificio proyectado tiene ganancia de calor a través del piso, éste debe considerarse como una superficie inferior, y su ganancia de calor debe sumarse a la del resto de la envolvente. Un ejemplo típico es un edificio cuyo estacionamiento ocupa los primeros pisos.

La ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación  $i$ , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

$f_{pci}$  es la ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación  $i$ , en W;

$j$  son las diferentes porciones que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente global de transferencia de calor. Por ejemplo, una porción típica de una parte opaca de una pared, es un muro formado por un repellado exterior, tabique y un repellado interior, o un repellado exterior, una placa de poliestireno expandido y un tapiz plástico en el interior;

$K_j$  es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción, determinado según el Apéndice B, en  $W/m^2 K$ ;



$A_{ij}$  es el área de la porción  $j$  con orientación  $i$ , en  $m^2$ ;

$t_{ei}$  es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación  $i$ , determinada según la Tabla 1 del Apéndice A, en  $^{\circ}C$ ;

$t$  es el valor de la temperatura interior del edificio, que se considera igual a  $25^{\circ}C$ .

Nota: este valor de temperatura interior de  $25^{\circ}C$ , es sólo una referencia para el cálculo de la ganancia de calor (presupuesto energético)

### 7.1.2 Ganancia de calor por radiación

Es la suma de la ganancia por radiación solar a través de cada una de las partes transparentes, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

$i$  son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste;

La ganancia de calor por radiación solar a través de la componente con orientación  $i$ , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

$f_{psi}$  es la ganancia de calor por radiación solar a través de las porciones transparentes de la envolvente del edificio proyectado, en  $W$ ;

$j$  son las diferentes porciones transparentes que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente de sombreado, un factor de ganancia de calor solar y un factor de corrección por sombreado exterior. Una porción típica de una parte transparente es una pared de vidrio, o con bloques de vidrio;

$A_{ij}$  es el área de la porción transparente  $j$  con orientación  $i$ , en  $m^2$ ;



$CS_j$  es el coeficiente de sombreado del vidrio de cada porción transparente, según la especificación del fabricante, con valor adimensional entre cero y uno;

$FG_i$  es la ganancia de calor solar por orientación, determinada según la Tabla 1 del Apéndice A, en  $W/m^2$ ;

$SE_{ij}$  es el factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente, determinado de acuerdo a las tablas 2, 3, 4 y 5 según corresponda, localizadas en el Apéndice A, con valor adimensional entre cero y uno;

## 7.2 Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia

Para que el edificio de referencia corresponda al edificio proyectado, el área total de cada una de las componentes para cada orientación debe ser igual para ambos. Las paredes del edificio de referencia se consideran con 60% de parte opaca (muro) y 40% de parte no opaca (transparente) y el techo con 95% de parte opaca y 5% de parte no opaca.

La ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia, es la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia de calor por radiación solar, es decir:

en donde:

$f_r$  es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia, en W;

$f_{rc}$  es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia por conducción, en W;

$f_{rs}$  es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia por radiación solar, en W.



### 7.2.1 Ganancia de calor por conducción

Es la suma de la ganancia por conducción a través de cada una de las componentes, de acuerdo con su orientación, y utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

$i$  son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur y 5 es oeste.

La ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación  $i$ , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

$q_{frci}$  es la ganancia de calor por conducción a través de la envolvente del edificio de referencia, en W;

$j$  son las diferentes partes de la componente de la envoltura del edificio de referencia;

$K_j$  es el coeficiente global de transferencia de calor de la envolvente del edificio de referencia  $j$ . Para las partes opacas se determina según la Tabla 1 del Apéndice A, y para las partes transparentes de los techos es  $5,952 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  y para las partes transparentes de las paredes es  $5,319 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ;

$A_{ij}$  es el área de cada parte de la envolvente  $j$ , con orientación  $i$ , en  $\text{m}^2$ ;

$t_{ei}$  es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación  $i$ , determinado según la Tabla 1 del Apéndice A, en  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t$  es el valor de la temperatura interior del edificio, que se considera igual a  $25^{\circ}\text{C}$ .



Nota: este valor de temperatura interior de 25°C, es sólo una referencia para el cálculo de la ganancia de calor (presupuesto energético)

### 7.2.2 Ganancia de calor por radiación

Es la suma de la ganancia por radiación solar a través de cada una de las partes transparentes, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

$i$  son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur y 5 es oeste.

La ganancia de calor por radiación solar a través de la parte con orientación  $i$ , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

en donde:

$q_{rsi}$  es la ganancia de calor por radiación solar a través de la parte transparente de la envolvente del edificio de referencia, con orientación  $i$ , en W;

$A_{ri}$  es el área de la parte transparente de la envolvente del edificio de referencia, con orientación  $i$ , en  $m^2$ ;

$CS_{ri}$  es el coeficiente de sombreado del vidrio empleado en el edificio de referencia, con orientación  $i$ , con valor adimensional de 0,85 para el techo y 1,0 para las paredes.

Para las partes opacas de las paredes del edificio de referencia se deben utilizar las temperaturas correspondientes a muro masivo, según se determina en la Tabla 1 del Apéndice A.

### 7.3 Determinación del coeficiente global de transferencia de calor (K) de las porciones de la envolvente

Los valores del coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente proyectada, se determinarán de acuerdo al método de cálculo establecido en el Apéndice B.

### 7.4 Barreras para vapor

La Tabla 1 del Apéndice A indica las ciudades donde es necesario utilizar barreras para vapor, para que la envolvente del edificio no pierda sus características aislantes.



## 7.5 Orientación

Debido a que la ganancia de calor a través de las paredes varía con la orientación, se establecen en esta Norma las siguientes convenciones:

Norte: cuyo plano normal está orientado desde 45° al oeste y menos de 45° al este del norte verdadero.

Este: cuyo plano normal está orientado desde 45° al norte y menos de 45 al sur del este verdadero.

Sur: cuyo plano normal está orientado desde 45° al este y menos de 45 al oeste del sur verdadero.

Oeste: cuyo plano normal está orientado desde 45° al sur y menos de 45° al norte del oeste verdadero.

PMT1

## 8. Muestreo

Todos los edificios nuevos o ampliaciones a edificios existentes, incluidos en el campo de aplicación de esta Norma, están sujetos al cumplimiento de la misma.

## 9. Informe de resultados

En el Apéndice C se muestra el formato para informar los resultados de la ganancia de calor obtenidos por el método de prueba especificado. La Unidad de Verificación es la responsable de verificar el cumplimiento de esta Norma.

## 10. Información al público

Los propietarios de los edificios nuevos o ampliaciones a edificios existentes incluidos en el campo de aplicación de esta Norma que se construyan en la República Mexicana deben proporcionar a los usuarios la información sobre la ganancia de calor solar, que se compara con el edificio de referencia que cumple con las condiciones mínimas establecidas en esta Norma a través de la etiqueta correspondiente (véase 11. Etiquetado).



## 11. Etiquetado

Los edificios nuevos o ampliaciones a edificios existentes incluidos en el campo de aplicación de esta Norma que se construyan en la República Mexicana deben incorporar una etiqueta que proporcione a los usuarios una relación de la ganancia de calor solar del edificio proyectado con relación al edificio de referencia.

### 11.1 Permanencia

La etiqueta no debe removerse del edificio.

### 11.2 Ubicación

La etiqueta debe ir colocada en el acceso o vestíbulo principal del edificio por medio de una placa (véase 11.4 Material).

### 11.3 Información

La etiqueta debe contener la información que se lista a continuación:

El tipo de letra puede ser Arial o Helvética

11.3.1 La leyenda EFICIENCIA ENERGETICA , en tipo negrita.

11.3.2 La leyenda Ganancia de Calor , en tipo normal.

11.3.3 La leyenda Determinada como se establece en la NOM-008-ENER-1999 , en tipo normal.

11.3.4 La leyenda Ubicación de la Edificación en tipo negrita.

11.3.5 La leyenda Nombre , seguida del nombre del edificio, en tipo normal.

11.3.6 La leyenda Dirección , seguida de la dirección del edificio, en tipo normal.

11.3.7 La leyenda Colonia , seguida de la colonia en la que se encuentra el edificio, en tipo normal.

11.3.8 La leyenda Ciudad , seguida de la ciudad en la que se encuentra el edificio, en tipo normal.

11.3.9 La leyenda Delegación y/o Municipio , seguida de la delegación y/o estado en el que se encuentra el edificio, en tipo normal.

11.3.10 La leyenda Entidad Federativa , seguida de la entidad federativa en la que se encuentra el edificio, en tipo normal.



11.3.11 La leyenda Código Postal , seguida del código postal en el que se encuentra el edificio, en tipo normal.

11.3.12 La leyenda Ganancia de Calor del Edificio de Referencia (Watts) , seguida del valor de la ganancia de calor.

11.3.13 La leyenda Ganancia de Calor del Edificio Proyectado (Watts) , seguida del valor de la ganancia de calor.

11.3.14 La leyenda Ahorro de Energía , en tipo negrita.

11.3.15 Una flecha con el porcentaje de ahorro de energía que tiene el edificio comparado con el edificio de referencia, obtenido con el siguiente cálculo, en tipo negrita.

Ahorro de Energía = (ganancia de calor del edificio de referencia/ganancia de calor del edificio proyectado) x 100

Esta flecha debe colocarse en el punto en que el ahorro de energía se presente gráficamente, de tal manera que coincida la punta y los tonos de la barra que están descritos en el inciso anterior.

11.3.16 La leyenda Ahorro de Energía de este Edificio , en tipo normal, sobre la flecha.

11.3.17 Una barra horizontal de 34 cm ± 1,0 cm, de tonos crecientes de blanco hasta negro, con una escala en la parte interior de 0 a 100 en porcentaje, con divisiones de 10 en 10, en tipo normal.

Debajo de la barra en 0% debe colocarse la leyenda menor ahorro , en tipo negrita y abajo de la barra en 100% debe colocarse la leyenda mayor ahorro , en tipo negrita.

11.3.18 La leyenda Ahorro de Energía de este Edificio , en tipo normal, sobre la flecha.

11.3.19 La leyenda IMPORTANTE , en tipo negrita.

11.3.20 La leyenda Cuando la ganancia calor del edificio proyectado sea igual a la del edificio de referencia el ahorro será del 0% y por lo tanto cumple con la Norma. La etiqueta no debe retirarse del edificio en tipo normal.

11.3.21 La leyenda Fecha , seguida de la fecha en la que la Unidad de Verificación otorgó el dictamen de cumplimiento de acuerdo con la Norma, en tipo normal.



11.3.22 La leyenda Nombre y Clave de la Unidad de Verificación , seguida del nombre de la Unidad de Verificación que otorgó el dictamen de cumplimiento de acuerdo con la Norma, en tipo normal.

#### 11.4 Material

Puede ser plástico, acrílico o lámina galvanizada en color amarillo con caracteres en negro.

#### 11.5 Dimensiones

Las dimensiones de la etiqueta deben ser las siguientes:

Alto 60 cm +1,0 cm

Ancho 40 cm + 1,0 cm

#### 11.6 Distribución de la información y colores

11.6.1 La información debe distribuirse como se muestra en la figura 1, en donde se presenta un ejemplo de la etiqueta

11.6.2 La distribución de los colores se realiza de la siguiente manera:

- El contorno de la etiqueta y las letras deben ser en color negro
- El resto de la etiqueta debe ser de color amarillo

### 12. Vigilancia

La Secretaría de Energía es la autoridad competente para vigilar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, a través de las Unidades de Verificación acreditadas y aprobadas.

El cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana no releva ninguna responsabilidad en cuanto a la observancia de lo dispuesto en otras normas oficiales mexicanas y reglamentos existentes aplicables a la construcción.

### 13. Sanciones

El incumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana se sancionará conforme a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, el Reglamento de Construcción vigente y demás disposiciones legales aplicables.

### 14. Bibliografía

- 1997 ASHRAE Handbook - Fundamentals, ASHRAE, Atlanta, GA, E.U.A.



- 90.1 Energy Code for Commercial and High-Rise Residential Buildings. ASHRAE, Atlanta, GA, E.U.A. 1993
- A Method for Optimizing Solar Control and Daylighting Performance in Commercial Office Buildings, S. Selkowitz; LBL -32931; September 1992; p. 14 CIEE, University of California, California, E.U.A.
- Energy Efficiency Standards for Residential and Nonresidential Buildings. California Energy Commission Publications. California 1992
- ISO/TC 163 Thermal Insulation. CEN/TC 89 Thermal Performance of Buildings and Building Components. International Standards Organization, 1991
- ISO/TC 163 Thermal Insulation. CEN/TC 205 Building Environmental Design. International Standards Organization, 1993
- Nonresidential Manual: for Compliance with the 1995 Energy Efficiency Standards (For Nonresidential Buildings, High-Rise Residential Buildings, and Hotels/Motels). Sacramento: California Energy Commission, Efficiency Standards Office, Energy Efficiency Division, 1995
- Odón de Buen Rodríguez. Air conditioning in Mexicali: Economic and environmental impacts Energy and resources group. University of California at Berkeley. Enero 1993
- Standard Methods of Measuring and Expressing Building Energy Performance. ASHRAE, Atlanta, GA, E.U.A. 1985
- Szokolay, S.V. - Thermal Design of Buildings - RAIA, Canberra 1996
- The Influence of Glazing Selection on Commercial Building Energy Performance in Hot and Humid Climates, Sullivan R., Arasteh D., Sweitzer G., Johnson R., and Selkowitz S., Proceedings of the ASHRAE Conference on Air Conditioning in Hot Climates, Singapore, September 3-5, 1987.



· The benefits of including energy efficiency early in the design stage -Anglia Polytechnic University. BRECSU Enquiries Bureau at the Building Research Establishment, Garston. Waterford, WD2 7JR, Reino Unido.

· Vansant James H., Conduction Heat Transfer Solutions , Lawrence Livermore National Laboratory, 1983

#### 15. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma no concuerda con ninguna norma internacional al momento de su elaboración.

#### 16. Transitorio

Unico.- La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor 120 días naturales después de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 6 de abril de 2001.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Director General de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, Odón de Buen Rodríguez.- Rúbrica.

La imagen no su puede mostrar, por lo que para consultarlo deberá de hacerlo mediante la opción de imagen o puede solicitar se le envíe el archivo en formato comprimido por correo electrónico.

Figura 1. Ejemplo de distribución de la información de la etiqueta de la envolvente de los edificios no residenciales

#### APENDICE A NORMATIVO TABLAS

Nota: Todos los valores establecidos en estas tablas sólo aplican a esta Norma.



Tablas para determinar el Factor de Corrección de Sombreado Exterior (SE), por el uso de volados, ventanas remetidas y partesoles para diferentes orientaciones y latitudes.

Volado sobre la ventana, con extensión lateral más allá de los límites de ésta.- Si se construye un volado sobre la ventana y se extiende lateralmente mas allá de los límites de ésta (A), una distancia igual o mayor a la proyección del volado (L), se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección establecido en la Tabla 2.

La imagen no su puede mostrar, por lo que para consultarlo deberá de hacerlo mediante la opción de imagen o puede solicitar se le envíe el archivo en formato comprimido por correo electrónico. La imagen no su puede mostrar, por lo que para consultarlo deberá de hacerlo mediante la opción de imagen o puede solicitar se le envíe el archivo en formato comprimido por correo electrónico.

Tabla 2. Factor de corrección de sombreado exterior (se) por el uso de volados sobre la ventana, con extensión lateral más allá de los límites de ésta.

L/H	Este y Oeste		Sur	
	I(*)	II(**)	I(*)	II(**)
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	0,95	0,98	0,92	0,96
0,20	0,90	0,96	0,85	0,93
0,30	0,85	0,93	0,79	0,90
0,40	0,80	0,92	0,73	0,87
0,50	0,77	0,90	0,68	0,84
0,60	0,73	0,89	0,63	0,82
0,70	0,70	0,87	0,59	0,79
0,80	0,67	0,86	0,55	0,78
1,00	0,63	0,84	0,49	0,75
1,20	0,60	0,83	0,45	0,74

(\*) ZONA I (latitud desde 33° y hasta 28°)

(\*\*) ZONA II (latitud menor de 28° y hasta 14°)



Nota: El factor de corrección de sombreado exterior para ventanas orientadas al norte es 1.

Volado sobre la ventana, con extensión lateral hasta los límites de ésta.- Si se construye un volado sobre la ventana y se extiende lateralmente hasta los límites de ésta, o mas allá de los límites de ésta, una distancia menor a la proyección del volado (L), se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección por sombreado exterior de la Tabla 3.

La imagen no su puede mostrar, por lo que para consultarlo deberá de hacerlo mediante la opción de imagen o puede solicitar se le envíe el archivo en formato comprimido por correo electrónico.

La imagen no su puede mostrar, por lo que para consultarlo deberá de hacerlo mediante la opción de imagen o puede solicitar se le envíe el archivo en formato comprimido por correo electrónico.

Tabla 3. Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de volados sobre la ventana, con extensión lateral hasta los límites de ésta.

Ventanas al Norte con latitud de 14° y hasta 19°

W/Hè 0,5    1    2    4    6    8 y mayor

L/H

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,91	0,91	0,90	0,89	0,89
0,2	0,90	0,85	0,82	0,81	0,80	0,80
0,3	0,88	0,81	0,77	0,74	0,73	0,72
0,4	0,84	0,77	0,72	0,69	0,67	0,66
0,5	0,82	0,73	0,67	0,64	0,62	0,61
0,6	0,80	0,70	0,63	0,60	0,57	0,56
0,7	0,79	0,67	0,61	0,56	0,53	0,52
0,8	0,78	0,66	0,58	0,53	0,50	0,49
1,0	0,75	0,64	0,54	0,48	0,44	0,43
1,2	0,73	0,62	0,51	0,44	0,40	0,39

Ventanas al Norte con latitud de 19° y hasta 23°

W/Hè 0,5    1    2    4    6    8 y mayor



L/H

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91
0,2	0,90	0,89	0,87	0,84	0,84	0,84
0,3	0,87	0,85	0,83	0,78	0,78	0,79
0,4	0,85	0,83	0,79	0,74	0,74	0,74
0,5	0,83	0,80	0,80	0,74	0,74	0,70
0,6	0,82	0,78	0,77	0,74	0,74	0,72
0,7	0,81	0,76	0,76	0,74	0,72	0,70
0,8	0,84	0,75	0,75	0,74	0,69	0,68
1,0	0,79	0,73	0,72	0,70	0,66	0,64
1,2	0,78	0,72	0,70	0,68	0,63	0,61

Ventanas al Norte con latitud de 23° y hasta 28°

W/Hè 0,5    1        2        4        6        8 y mayor

L/H

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,94	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93
0,2	0,90	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
0,3	0,86	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82
0,4	0,84	0,79	0,79	0,78	0,77	0,77
0,5	0,82	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74
0,6	0,80	0,75	0,73	0,71	0,70	0,70
0,7	0,79	0,73	0,71	0,68	0,67	0,67
0,8	0,78	0,71	0,69	0,66	0,65	0,64
1,0	0,76	0,69	0,66	0,62	0,61	0,60
1,2	0,74	0,67	0,63	0,59	0,57	0,56

Ventanas al Norte con latitud de 28° y hasta 32°

W/Hè 0,5    1        2        4        6        8 y mayor



L/H	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
1,00	1,00	0,95	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,86	0,85	0,84	0,84
1,00	1,00	0,95	0,91	0,88	0,86	0,84	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78
1,00	1,00	0,94	0,89	0,86	0,83	0,81	0,80	0,78	0,77	0,74	0,72
1,00	1,00	0,93	0,88	0,84	0,81	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,68
1,00	1,00	0,93	0,88	0,84	0,81	0,78	0,75	0,73	0,71	0,68	0,66
1,00	1,00	0,93	0,88	0,84	0,81	0,78	0,75	0,73	0,71	0,68	0,66

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 14° y hasta 19°

W/Hè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

L/H	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
1,00	1,00	0,94	0,89	0,86	0,83	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,71
1,00	1,00	0,92	0,84	0,78	0,73	0,69	0,65	0,63	0,61	0,57	0,54
1,00	1,00	0,91	0,83	0,76	0,70	0,65	0,61	0,58	0,54	0,48	0,44
1,00	1,00	0,90	0,81	0,73	0,65	0,59	0,54	0,50	0,46	0,40	0,36
1,00	1,00	0,89	0,80	0,71	0,64	0,58	0,52	0,48	0,44	0,37	0,32
1,00	1,00	0,89	0,80	0,71	0,64	0,58	0,52	0,48	0,44	0,37	0,32

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 19° y hasta 23°

W/Hè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor



L/H	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,93	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
0,2	0,87	0,86	0,85	0,85	0,85	0,85
0,3	0,82	0,80	0,79	0,79	0,79	0,79
0,4	0,78	0,76	0,74	0,73	0,73	0,73
0,5	0,75	0,72	0,69	0,68	0,68	0,68
0,6	0,73	0,68	0,65	0,64	0,64	0,63
0,7	0,70	0,65	0,62	0,60	0,59	0,59
0,8	0,68	0,62	0,59	0,57	0,56	0,56
1,0	0,65	0,58	0,54	0,51	0,50	0,50
1,2	0,63	0,55	0,50	0,47	0,45	0,45

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 23° y hasta 28°

W/Hè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

L/H	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,10	0,92	0,92	0,92	0,91	0,91	0,91
0,20	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83	0,83
0,30	0,82	0,79	0,77	0,76	0,76	0,76
0,40	0,78	0,74	0,72	0,70	0,70	0,70
0,50	0,74	0,70	0,67	0,65	0,64	0,64
0,60	0,71	0,66	0,62	0,60	0,59	0,59
0,70	0,69	0,63	0,59	0,56	0,55	0,55
0,80	0,67	0,60	0,55	0,52	0,51	0,51
1,00	0,64	0,56	0,50	0,46	0,45	0,45
1,20	0,61	0,53	0,46	0,42	0,40	0,40

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 28° y hasta 32°

W/Hè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor



L/H	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
1,00	1,00	0,93	0,87	0,83	0,79	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
1,00	1,00	0,92	0,86	0,79	0,74	0,70	0,66	0,63	0,60	0,56	0,52
1,00	1,00	0,91	0,83	0,78	0,72	0,67	0,62	0,58	0,55	0,49	0,45
1,00	1,00	0,91	0,83	0,76	0,69	0,63	0,59	0,55	0,51	0,45	0,40
1,00	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,57	0,52	0,49	0,43	0,38
1,00	1,00	0,91	0,83	0,75	0,68	0,62	0,57	0,52	0,49	0,43	0,38

Ventanas al Sur con latitud de 14° y hasta 19°

W/Hè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

L/H	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2
1,00	1,00	0,94	0,90	0,87	0,84	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,76
1,00	1,00	0,91	0,84	0,76	0,74	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62
1,00	1,00	0,90	0,81	0,76	0,68	0,63	0,60	0,56	0,54	0,50	0,47
1,00	1,00	0,87	0,74	0,68	0,61	0,55	0,50	0,46	0,43	0,39	0,36
1,00	1,00	0,87	0,74	0,68	0,61	0,55	0,50	0,46	0,43	0,39	0,36
1,00	1,00	0,87	0,74	0,68	0,61	0,55	0,50	0,46	0,43	0,39	0,36

Ventanas al Sur con latitud de 19° y hasta 23°

W/Hè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor



L/H

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,92	0,91	0,91	0,89	0,86	0,87
0,2	0,87	0,84	0,84	0,82	0,81	0,75
0,3	0,82	0,79	0,79	0,79	0,79	0,71
0,4	0,79	0,74	0,72	0,72	0,73	0,69
0,5	0,75	0,71	0,67	0,67	0,67	0,64
0,6	0,73	0,67	0,63	0,63	0,62	0,59
0,7	0,71	0,64	0,60	0,59	0,58	0,55
0,8	0,70	0,62	0,57	0,56	0,54	0,51
1,0	0,68	0,60	0,53	0,51	0,49	0,46
1,2	0,67	0,58	0,50	0,48	0,45	0,42

Ventanas al Sur con latitud de 23° y hasta 28°

W/Hè 0,5    1        2        4        6        8 y mayor

L/H

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,91	0,89	0,89	0,89	0,88	0,88
0,2	0,86	0,82	0,80	0,79	0,79	0,79
0,3	0,82	0,77	0,73	0,72	0,71	0,71
0,4	0,80	0,72	0,68	0,65	0,65	0,64
0,5	0,76	0,69	0,63	0,60	0,59	0,58
0,6	0,74	0,65	0,59	0,55	0,53	0,53
0,7	0,73	0,63	0,55	0,51	0,49	0,48
0,8	0,71	0,61	0,52	0,47	0,45	0,44
1,0	0,69	0,58	0,48	0,42	0,40	0,38
1,2	0,68	0,56	0,46	0,39	0,36	0,35

Ventanas al Sur con latitud de 28° y hasta 32°

W/Hè 0,5    1        2        4        6        8 y mayor

L/H	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84
0,2	0,85	0,79	0,77	0,74	0,73	0,72
0,3	0,81	0,74	0,69	0,65	0,63	0,62
0,4	0,78	0,69	0,63	0,58	0,55	0,54
0,5	0,76	0,67	0,59	0,53	0,50	0,48
0,6	0,75	0,64	0,56	0,49	0,46	0,44
0,7	0,74	0,63	0,53	0,46	0,43	0,41
0,8	0,74	0,62	0,52	0,44	0,41	0,39
1,0	0,73	0,61	0,50	0,42	0,39	0,37
1,2	0,73	0,60	0,49	0,40	0,37	0,35

Ventana remetida.- Si se construye una ventana remetida, se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección por sombreado exterior de la Tabla 4.

La imagen no su puede mostrar, por lo que para consultarlo deberá de hacerlo mediante la opción de imagen o puede solicitar se le envíe el archivo en formato comprimido por correo electrónico.

Tabla 4. Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de ventanas remetidas

Ventanas al Norte con latitud de 14° y hasta 19°

W/Eè 0,5    1    2    4    6    8 y mayor

P/E	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,71	0,82	0,87	0,88	0,88	0,89
0,2	0,57	0,64	0,74	0,75	0,79	0,80
0,3	0,45	0,54	0,62	0,68	0,68	0,72
0,4	0,38	0,48	0,53	0,62	0,63	0,65
0,5	0,28	0,42	0,47	0,57	0,57	0,57



0,6	0,27	0,33	0,42	0,50	0,52	0,52
0,7	0,22	0,29	0,37	0,46	0,49	0,49
0,8	0,21	0,25	0,35	0,40	0,45	0,45
1,0	0,17	0,17	0,29	0,34	0,38	0,40
1,2	0,13	0,15	0,23	0,30	0,32	0,36

Ventanas al Norte con latitud de 19° y hasta 23°

W/Eè 0,5    1    2    4    6    8 y mayor

P/E

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,69	0,83	0,86	0,89	0,90	0,91
0,2	0,57	0,68	0,72	0,78	0,83	0,84
0,3	0,45	0,61	0,87	0,72	0,74	0,78
0,4	0,38	0,56	0,79	0,67	0,70	0,73
0,5	0,29	0,52	0,75	0,75	0,65	0,67
0,6	0,28	0,45	0,69	0,69	0,70	0,64
0,7	0,24	0,42	0,65	0,67	0,67	0,67
0,8	0,23	0,39	0,63	0,62	0,65	0,64
1,0	0,20	0,32	0,58	0,57	0,60	0,61
1,2	0,17	0,30	0,52	0,54	0,55	0,58

Ventanas al Norte con latitud de 23° y hasta 28°

W/Eè 0,5    1    2    4    6    8 y mayor

P/E

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,70	0,83	0,90	0,92	0,92	0,93
0,2	0,54	0,66	0,80	0,83	0,87	0,87
0,3	0,40	0,57	0,71	0,77	0,78	0,81
0,4	0,32	0,51	0,63	0,73	0,74	0,77
0,5	0,22	0,46	0,60	0,69	0,69	0,70
0,6	0,20	0,39	0,54	0,63	0,66	0,67
0,7	0,16	0,35	0,50	0,60	0,63	0,64



0,8 0,14 0,32 0,48 0,55 0,60 0,61

1,0 0,10 0,24 0,43 0,49 0,55 0,57

1,2 0,06 0,23 0,37 0,46 0,49 0,53

Ventanas al Norte con latitud de 28° y hasta 32°

W/Eè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

P/E

0,0 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00

0,1 0,71 0,85 0,91 0,92 0,92 0,93

0,2 0,58 0,71 0,81 0,83 0,87 0,87

0,3 0,47 0,63 0,73 0,78 0,80 0,83

0,4 0,41 0,58 0,66 0,75 0,77 0,78

0,5 0,34 0,53 0,62 0,71 0,73 0,74

0,6 0,33 0,47 0,59 0,67 0,71 0,70

0,7 0,30 0,44 0,55 0,65 0,68 0,68

0,8 0,30 0,42 0,54 0,61 0,66 0,66

1,0 0,27 0,36 0,51 0,56 0,61 0,63

1,2 0,25 0,35 0,46 0,54 0,57 0,60

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 14° y hasta 19°

W/Eè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

P/E

0,0 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00

0,1 0,80 0,85 0,89 0,89 0,88 0,89

0,2 0,68 0,68 0,77 0,76 0,79 0,79

0,3 0,57 0,60 0,67 0,68 0,68 0,70

0,4 0,49 0,53 0,58 0,60 0,61 0,63

0,5 0,41 0,47 0,51 0,54 0,55 0,54

0,6 0,39 0,39 0,44 0,48 0,49 0,49

0,7 0,35 0,35 0,39 0,43 0,45 0,44

0,8 0,33 0,32 0,36 0,38 0,40 0,40

1,0 0,29 0,23 0,30 0,31 0,33 0,34



1,2 0,25 0,21 0,24 0,27 0,27 0,29

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 19° y hasta 23°

W/Eè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

P/E

0,0 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00

0,1 0,78 0,87 0,91 0,91 0,92 0,92

0,2 0,64 0,73 0,80 0,82 0,85 0,85

0,3 0,51 0,63 0,72 0,76 0,76 0,79

0,4 0,42 0,56 0,63 0,70 0,71 0,72

0,5 0,32 0,50 0,58 0,65 0,66 0,66

0,6 0,29 0,43 0,53 0,59 0,61 0,62

0,7 0,23 0,38 0,48 0,55 0,57 0,58

0,8 0,21 0,34 0,45 0,50 0,53 0,54

1,0 0,15 0,26 0,38 0,43 0,47 0,48

1,2 0,11 0,23 0,32 0,39 0,41 0,44

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 23° y hasta 28°

W/Eè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

P/E

0,0 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00 1,00

0,1 0,77 0,86 0,90 0,91 0,91 0,92

0,2 0,62 0,71 0,79 0,80 0,83 0,83

0,3 0,49 0,62 0,69 0,73 0,73 0,76

0,4 0,39 0,54 0,60 0,66 0,67 0,69

0,5 0,30 0,48 0,55 0,61 0,62 0,62

0,6 0,27 0,40 0,49 0,54 0,56 0,57

0,7 0,21 0,35 0,44 0,50 0,52 0,53

0,8 0,19 0,31 0,40 0,45 0,49 0,49

1,0 0,14 0,23 0,35 0,38 0,42 0,43

1,2 0,10 0,19 0,28 0,34 0,35 0,38

Ventanas al Este y Oeste con latitud de 28° y hasta 32°



W/Eè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

P/E

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,83	0,88	0,90	0,91	0,91	0,91
0,2	0,73	0,76	0,80	0,81	0,82	0,82
0,3	0,63	0,67	0,72	0,73	0,73	0,75
0,4	0,56	0,60	0,64	0,66	0,66	0,67
0,5	0,48	0,55	0,58	0,60	0,60	0,60
0,6	0,45	0,48	0,52	0,55	0,55	0,55
0,7	0,40	0,44	0,47	0,50	0,51	0,50
0,8	0,38	0,40	0,44	0,45	0,47	0,47
1,0	0,33	0,33	0,38	0,39	0,41	0,41
1,2	0,29	0,29	0,32	0,34	0,35	0,36

Ventanas al Sur con latitud de 14° y hasta 19°

W/Eè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

P/E

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,77	0,83	0,87	0,85	0,85	0,87
0,2	0,66	0,67	0,74	0,71	0,74	0,73
0,3	0,57	0,59	0,62	0,62	0,61	0,63
0,4	0,52	0,53	0,52	0,55	0,53	0,54
0,5	0,46	0,47	0,47	0,49	0,47	0,46
0,6	0,44	0,40	0,41	0,42	0,42	0,41
0,7	0,41	0,37	0,37	0,39	0,38	0,37
0,8	0,41	0,35	0,35	0,34	0,35	0,34
1,0	0,38	0,28	0,31	0,29	0,30	0,29
1,2	0,36	0,27	0,26	0,26	0,25	0,26

Ventanas al Sur con latitud de 19° y hasta 23°

W/Eè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor



P/E	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,72	0,83	0,89	1,04	0,85	0,87
0,2	0,55	0,67	0,76	0,91	0,80	0,74
0,3	0,40	0,56	0,67	0,82	0,75	0,71
0,4	0,31	0,48	0,58	0,75	0,69	0,68
0,5	0,21	0,41	0,52	0,68	0,63	0,61
0,6	0,19	0,34	0,46	0,61	0,58	0,56
0,7	0,14	0,29	0,41	0,56	0,54	0,52
0,8	0,13	0,26	0,37	0,50	0,50	0,49
1,0	0,10	0,20	0,32	0,43	0,44	0,43
1,2	0,08	0,18	0,27	0,40	0,39	0,40

Ventanas al Sur con latitud de 23° y hasta 28°

W/Eè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor

P/E	0,5	1	2	4	6	8 y mayor
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,74	0,81	0,86	0,88	0,87	0,88
0,2	0,56	0,66	0,74	0,75	0,78	0,79
0,3	0,43	0,55	0,63	0,67	0,68	0,71
0,4	0,36	0,49	0,54	0,61	0,62	0,63
0,5	0,28	0,42	0,49	0,55	0,55	0,56
0,6	0,26	0,34	0,43	0,48	0,50	0,50
0,7	0,22	0,31	0,38	0,44	0,46	0,46
0,8	0,21	0,27	0,35	0,38	0,42	0,42
1,0	0,19	0,21	0,30	0,33	0,35	0,37
1,2	0,17	0,19	0,25	0,29	0,31	0,33

Ventanas al Sur con latitud de 28° y hasta 32°

W/Eè 0,5 1 2 4 6 8 y mayor



P/E						
0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,73	0,80	0,84	0,84	0,84	0,84
0,2	0,60	0,64	0,70	0,70	0,72	0,71
0,3	0,50	0,55	0,60	0,61	0,60	0,62
0,4	0,46	0,48	0,51	0,54	0,53	0,54
0,5	0,40	0,45	0,47	0,49	0,48	0,47
0,6	0,39	0,40	0,42	0,44	0,44	0,43
0,7	0,36	0,37	0,39	0,41	0,41	0,40
0,8	0,36	0,35	0,38	0,38	0,40	0,38
1,0	0,34	0,31	0,36	0,35	0,37	0,36
1,2	0,32	0,30	0,32	0,34	0,34	0,35

Partesoles.- Si se construye una ventana con partesoles, se podrá afectar el valor del coeficiente de sombreado del vidrio, multiplicándolo por el factor de corrección por sombreado exterior de la Tabla 5.

La imagen no su puede mostrar, por lo que para consultarlo deberá de hacerlo mediante la opción de imagen o puede solicitar se le envíe el archivo en formato comprimido por correo electrónico.

TABLA 5. Factor de corrección de sombreado exterior (SE) por el uso de ventanas con partesoles

Latitud 14° hasta 19°

L/W	Norte	Este y oeste	Sur
0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,52	0,64	0,56
1	0,26	0,44	0,34
1,5	0,13	0,35	0,24
2	0,05	0,30	0,17

Latitud 19° hasta 23°

L/W	Norte	Este y oeste	Sur
0	1,00	1,00	1,00



0,5	0,54	0,67	0,56
1	0,28	0,45	0,32
1,5	0,16	0,32	0,20
2	0,09	0,24	0,14

Latitud 23° hasta 28°

L/W	Norte	Este y oeste	Sur
0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,54	0,67	0,57
1	0,28	0,47	0,31
1,5	0,15	0,35	0,18
2	0,06	0,27	0,11

Latitud 28° hasta 32°

L/W	Norte	Este y oeste	Sur
0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,53	0,77	0,62
1	0,28	0,62	0,40
1,5	0,16	0,53	0,29
2	0,10	0,47	0,23

Ejemplos de interpolación de datos en las tablas anteriores.

Primer caso.

Supóngase la siguiente Tabla:

W/Hè xn xn+1

L/H

yn a b

yn+1 c d

Si el valor buscado corresponde donde:

xn, xn+1, yn, yn+1 son los índices de las tablas y x y y son los valores que correspondan al resultado buscado en la Tabla, se utilizan las siguientes fórmulas:



Ejemplo 1.- Supóngase una ventana orientada al oeste en un edificio con latitud de  $19^{\circ} 40'$ . La ventana tiene una altura de 80 cm (H), un ancho de 135 cm (W) y un volado de 135 cm de ancho (A=0) y una proyección de 65 cm (L).

$$L/H = 65/80 = 0,8125 = y$$

$$W/H = 135/80 = 1,6875 = x$$

Se utiliza la siguiente Tabla:

Ventanas al Este y Oeste con latitud de  $28^{\circ}$  y hasta  $32^{\circ}$

W/Hè 0,5    1    2    4    6    8 y mayor

L/H

0,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,93	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91
0,2	0,87	0,86	0,83	0,83	0,83	0,82
0,3	0,83	0,79	0,78	0,76	0,75	0,74
0,4	0,79	0,74	0,72	0,69	0,68	0,67
0,5	0,76	0,70	0,67	0,63	0,62	0,61
0,6	0,73	0,66	0,62	0,59	0,57	0,56
0,7	0,71	0,63	0,58	0,55	0,52	0,52
0,8	0,69	0,60	0,55	0,51	0,49	0,48
1,0	0,66	0,56	0,49	0,45	0,43	0,41
1,2	0,64	0,52	0,45	0,40	0,38	0,36

$$\begin{aligned} \text{Factor de corrección por sombreado exterior} &= 0,6875 \times 0,0625 \times (0,49 \text{ } 0,56 + 0,60) + \\ &0,6875 \times (0,55 \text{ } 0,60) \\ &+ 0,0625 \times (0,56 \text{ } 0,6) + 0,60 \\ &= 0,5623 \end{aligned}$$



Segundo caso: Supóngase la siguiente Tabla:

L/W Norte Este y oeste Sur

yn a

yn + 1 b

Si el valor buscado corresponde a:

yn < y < yn+1

donde:

yn e yn+1 son los índices de la Tabla, y a y b los valores anterior y posterior, que corresponden al valor buscado en la Tabla, se utiliza la siguiente fórmula:

Ejemplo 2.- Supóngase una ventana orientada al Norte, en un edificio con latitud 15°. La ventana tiene un ancho de 150 cm (W) y el partesol un ancho de 80 cm (L).

$L/W = 0,80/1,50 = 0,5333 = y$

Se utiliza la siguiente Tabla:

Latitud 14° hasta 19°

L/W Norte Este y oeste Sur

0 1,00 1,00 1,00

0,5 0,52 0,64 0,56

1 0,26 0,44 0,34

1,5 0,13 0,35 0,24

2 0,05 0,30 0,17

Factor de corrección por sombreado exterior =  $((0,26 \ 0,52) / (1,0 \ 0,5)) \times (0,5333 \ 0,5) + 0,52$

= 0,537

APENDICE B

NORMATIVO

CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula utilizando la siguiente ecuación:

(B.1)

donde:

K es el coeficiente global de transferencia de calor de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en W/m<sup>2</sup> K;



M es el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en  $m^2 K / W$ .

B.1 Aislamiento térmico total de las porciones de la envolvente de un edificio formado por capas homogéneas.

El aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio formado con capas térmicamente homogéneas, y perpendiculares al flujo del calor, deben de calcularse con la siguiente ecuación:

$$(B.2)$$

donde:

M es el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie, en  $m^2 K/W$ ;  $h_i$  es la conductancia superficial interior, en  $W/m^2 K$ . Su valor es 8,1 para superficies verticales, 9,4 para superficies horizontales con flujo de calor hacia arriba (del piso hacia el aire interior o del aire interior hacia el techo), y 6,6 para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo (del techo al aire interior o del aire interior al piso).

$h_e$  es la conductancia superficial exterior, y es igual a  $13 W/m^2 K$ ;

$n$  es el número de capas que forman la porción de la envolvente del edificio;

$l$  es el espesor de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio, en m;  $k$  es el coeficiente de conductividad térmica de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente del edificio, en  $W/m K$ .

B.2 Aislamiento térmico total de porciones formadas por capas homogéneas y capas no homogéneas.

El aislamiento térmico total de las porciones de la envolvente de un edificio, formado con capas térmicamente homogéneas y térmicamente no homogéneas paralelas a la superficie, como se muestra esquemáticamente en la figura B.1, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$(B.3)$$

$$(B.4)$$

donde:



M parcial es el aislamiento térmico parcial de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie ( $m^2 K/W$ ). Es la suma de todos los aislamientos térmicos de todas las capas y aislamientos superficiales que componen la parte de la envolvente del edificio, excepto lo de la capa no homogénea.

m es el número de materiales que forman la capa no homogénea.

F es la fracción del área total de la porción de la envolvente del edificio, ocupada por cada material en la capa no homogénea.

g es el grueso de la capa no homogénea.

Material 2 La imagen no su puede mostrar, por lo que para consultarlo deberá de hacerlo mediante la opción de imagen o puede solicitar se le envíe el archivo en formato comprimido por correo electrónico. Material 1

Figura B. 1

Ejemplo

Supóngase un muro estructurado de la forma siguiente: madera con triplay y mortero en la superficie exterior, tablero de yeso en la superficie interior y entre ambos una estructura de madera con polines verticales y aislante térmico.

Entonces, la estructura de madera (polines), y el aislamiento térmico son lo que se llama capas no homogéneas. En este caso particular se asume que el aislante térmico es el material 1 y que los polines son el material 2 (véase la figura B1). Para fines de cálculo se utilizarán las áreas totales.

Datos requeridos para el cálculo:

$h_e = 13 W/mK$

Mortero de cal al exterior de 5mm  $l = 0,872 W/mK$   $l = 0,005m$

Triplay de 9,6mm  $l = 0,116 W/mK$   $l = 0,0096m$

Aislante térmico  $l = 0,035 W/mK$   $l = 0,1m$

Polín de madera de 0,05 por 0,1m  $l = 0,130 W/mK$   $l = 0,1m$

Tablero de yeso de 9,6mm  $l = 0,168 W/mK$   $l = 0,0096m$

$h_i = 8,1 W/mK$

El muro es de 2,4 m de altura y de 10 m de ancho. Por lo tanto, incluyendo los polines de los extremos se cuenta con 17 polines (se supone que la distancia entre polines es de 60 cm).



Area de muro =  $2,4 \times 10 = 24 \text{ m}^2$

Area de polines =  $17 \times 0,05 \times 2,4 = 2,04 \text{ m}^2$

Fracción del área total de polines =  $2,04/24 = 0,085$

Fracción del área total de aislante térmico =  $(24-2,04)/24 = 0,915$

## APENDICE C

### NORMATIVO

#### FORMATO PARA INFORMAR EL CALCULO DEL PRESUPUESTO ENERGETICO

El reporte del cálculo del presupuesto energético consta de cinco partes o pasos, en los cuales se debe proceder al llenado del formato:

1) Datos generales.- Se debe poner la información que permita identificar al propietario y la localización del edificio que se va a construir (proyectado), así como los datos de la Unidad de Verificación del proyecto.

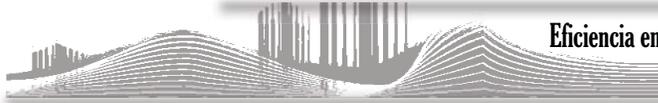
2) Valores para el cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente.- La información que se debe anotar en esta parte corresponde a los datos de la ciudad donde se construirá el edificio, y que serán utilizados para el cálculo del presupuesto energético. Esta información se obtiene del Apéndice A, tablas 1, 2, 3, 4 y 5.

3) Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor de las porciones de la envolvente.- Para cada porción de la envolvente del edificio proyectado, se calcula su coeficiente de transferencia de calor (K), en función de los materiales que lo constituyen. Esta forma se deberá hacer tantas veces como porciones diferentes se utilicen en la construcción. La información de los materiales se obtiene del apéndice D, en el caso de los materiales aislantes sus valores deben estar certificados de acuerdo con la NOM-018-ENER, vigente.

4) Cálculo comparativo de la ganancia de calor.- Esta parte está dividida en dos: edificio de referencia (4.2) y edificio proyectado (4.3).

En la parte del edificio de referencia (4.2), se utilizan las fracciones de las componentes según están definidas en la norma (techo 95 %, tragaluz y domo 5%, muros 60%, y ventanas 40%).

En la parte 4.3, el constructor debe hacer todos los cálculos de su edificio proyectado, utilizando las áreas reales y los resultados obtenidos en el inciso 3 (cálculo del coeficiente global de transferencia de calor), considerando la información que le proporcione el fabricante de los vidrios.



5) Resumen de cálculo.- Esta última parte concentra los cálculos realizados en el inciso 4 (cálculo comparativo de la ganancia de calor), y los compara, para saber si se cumple o no con la Norma.



## Anexo 2 Análisis de costos por periodos.

Esta tabla corresponde al análisis de costos por periodos entre el caso base y la alternativa de nanocerámica y el doble acristalamiento donde se observa claramente las diferencias de costos por su consumo eléctrico en aire acondicionado y sus ahorros mensuales y anuales.

Análisis de costos por periodo						
Periodo	Costo total por periodo, \$	Costo consumo Aire acondicionado edificio 37%	Costo consumo mensual \$ Nanocerámica	Diferencia económica estado actual y nanocerámica	Costo consumo mensual \$ Doble acristalamiento con capa metálica	Diferencia económica estado actual y doble acristalamiento
OCT-NOV	\$ 28,532.74	\$ 10,557.11	\$ 7,000.82	\$ 3,556.30	\$ 8,540.66	\$ 2,016.46
NOV-DIC	\$ 32,135.76	\$ 11,890.23	\$ 8,333.94	\$ 3,556.30	\$ 9,873.78	\$ 2,016.46
DIC-ENE	\$ 30,429.01	\$ 11,258.73	\$ 7,702.44	\$ 3,556.30	\$ 9,242.28	\$ 2,016.46
ENE-FEB	\$ 36,314.80	\$ 13,436.48	\$ 9,880.18	\$ 3,556.30	\$ 11,420.02	\$ 2,016.46
FEB-MAR	\$ 31,615.36	\$ 11,697.68	\$ 8,141.39	\$ 3,556.30	\$ 9,681.23	\$ 2,016.46
MAR-ABR	\$ 27,951.54	\$ 10,342.07	\$ 6,785.77	\$ 3,556.30	\$ 8,325.61	\$ 2,016.46
ABRIL-MAY	\$ 29,970.89	\$ 11,089.23	\$ 7,532.93	\$ 3,556.30	\$ 9,072.77	\$ 2,016.46
MAY-JUN	\$ 30,605.65	\$ 11,324.09	\$ 7,767.79	\$ 3,556.30	\$ 9,307.64	\$ 2,016.46
JUN-JUL	\$ 30,291.89	\$ 11,208.00	\$ 7,651.70	\$ 3,556.30	\$ 9,191.54	\$ 2,016.46
JUL-AGO	\$ 28,532.69	\$ 10,557.10	\$ 7,000.80	\$ 3,556.30	\$ 8,540.64	\$ 2,016.46
AGO-SEP	\$ 31,461.20	\$ 11,640.64	\$ 8,084.35	\$ 3,556.30	\$ 9,624.19	\$ 2,016.46
SEP-OCT	\$ 29,059.81	\$ 10,752.13	\$ 7,195.83	\$ 3,556.30	\$ 8,735.67	\$ 2,016.46
Total anual	\$ 366,901.34	\$ 135,753.50	\$ 93,077.95	\$ 42,675.55	\$ 111,556.03	\$ 24,197.46