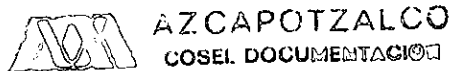


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Unidad Azcapotzalco.

División de Ciencias y Artes para el Diseño.

Maestría en Diseño.
Línea de Arquitectura Bioclimática.



MARÍA DEL PILAR BARRIOS RODRÍGUEZ.

**Presenta la tesis para optar al Grado de Maestra en Diseño, en la
Línea de Arquitectura Bioclimática:**

**CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO
TÉRMICO DEL VIDRIO PLANO UTILIZADO EN MÉXICO
COMO ENVOLVENTE EN EDIFICACIONES**

Aprobada por el Jurado:

Tutor de la tesis: Dr. Rubén J. Dorantes Rodríguez.

Dra. Gabriela Álvarez García.
M. en Arq. Aníbal Figueroa Castrejón.
Dr. José Diego Morales Ramírez.
Dr. David Morillón Gálvez.

México, D. F., enero del 2001.



Dedico esta Tesis:

Al Dr. Francisco E. Ávila Segura (Q.E.P.D.), la primera persona que me mostró y demostró el Diseño Bioclimático, confió plenamente en mí, y quien seguirá presente.

A Miguel Angel, con mi amor y agradecimiento por su crítica, comprensión y apoyo.

A mis padres, ejemplo de trabajo y superación.

A mis hermanos y sobrinos.

RESUMEN

Ante la necesidad de reducir el consumo de energía a nivel mundial, principalmente por el grave deterioro ambiental, las edificaciones tienen una responsabilidad importante, al ser demandantes de energía y altamente contaminantes por procesos termodinámicos ineficientes, por lo cual es necesario un diseño térmico de la envolvente, que reduzca la transferencia de calor a través de ella.

Un diseño térmico de la envolvente arquitectónica requiere de valores precisos de las propiedades físicas (ópticas y térmicas) de los materiales que la constituyen en general y de los vidrios en particular, debido a la alta transferencia de calor que a través de ellos se realiza y que repercute en ganancias y/o pérdidas de calor a o de la edificación. La necesidad de los valores de las propiedades para cálculo térmico se cubre generalmente por consulta bibliográfica, y en este trabajo se realizó en más de 50 obras, encontrándose que existe dificultad para utilizar los valores reportados, debido a que para algunas propiedades están en diferentes unidades; los valores presentan rangos de dispersión hasta de un 200 %; se encuentra incompleta la serie de propiedades que se requiere; así como el que se genera confusión, al nombrarse a una misma propiedad con diferentes términos, fundamentando esta realidad la hipótesis de trabajo.

En esta Tesis, titulada "Contribución al estudio del comportamiento térmico del vidrio plano utilizado en México como envolvente en edificaciones", se evaluaron las propiedades físicas (ópticas y térmicas) y el comportamiento térmico de algunos vidrios utilizados en las envolventes arquitectónicas de la Cd. de México: claros, entintados, laminados y reflejantes, con el objetivo de conocer si los valores experimentales corresponden a los reportados por sus fabricantes y que nos permita indicar la confiabilidad de su uso en el cálculo de cargas térmicas, encontrándose lo siguiente:

- o Existe una diferencia mínima en las Propiedades ópticas de los vidrios entintados, 1 a 5 %.
- o Existe una diferencia importante en las Propiedades ópticas de los vidrios claros, monolíticos o laminados, hasta de 197 %.
- o Existe una diferencia importante en las Propiedades ópticas de los vidrios reflejantes, hasta de 49 %.
- o En relación al comportamiento térmico, existe una menor diferencia en todos los grupos, congruente con las diferencias observadas en las propiedades ópticas y térmicas.
- o Si existe dificultad para el uso de los valores reportados, por amplios rangos de dispersión, excepto en entintados; valores ilógicos para algunos propiedades; falta de valores para algunos espesores; falta de propiedades reportadas y confusión en los nombres asignados.
- o Existe congruencia en los resultados del cálculo de la Ganancia de calor solar al interior de las edificaciones no residenciales, utilizando los valores obtenidos en la metodología del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999; y las dificultades observadas en su aplicación se derivan principalmente de la observación del punto anterior.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Rubén J. Dorantes Rodríguez, Jefe del Departamento de Energía, Investigador en la UAM-A y Director de esta Tesis, quien vigiló cada parte del trabajo con una combinación de amabilidad, disciplina y apoyo, elementos básicos para el logro de una Tesis.

Este trabajo se realizó además con el apoyo de muchas personas, quienes amablemente proporcionaron su tiempo, instalaciones, sugerencias, y/o revisión de parte del trabajo, a quienes agradezco:

Al Dr. Francisco Ávila, (Q.E.P.D), del Centro Nacional de Investigación en Energía, UNAM.

Al Dr. P.K. Nair, Jefe del Departamento de Materiales Solares e Investigador del Centro de Investigación en Energía, UNAM.

A la Dra. Gabriela Álvarez, Coordinadora del Area de Mecánica e Investigadora del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET, SEP.

Al Dr. Diego Morales R., Investigador del Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura, UNAM.

Al Mtro. en Arq. Anibal Figueroa, Investigador y Coordinador del Posgrado en Diseño Bioclimático, UAM-A

Al Dr. David Morillón G., Investigador del Instituto de Ingeniería, UNAM.

Al Dr. José Luis Bravo, Investigador del Lab. de Radiación Solar, del Instituto de Geofísica, U.N.A.M.

Al M.C. José Campos, Investigador del Depto. de Materiales Solares, del Centro de Investigación en Energía, UNAM.

Al Ing. Oscar Gómez Daza, del Depto. de Materiales Solares, del Centro de Investigación en Energía, UNAM.

A la M.C. Teresa Díaz, del Laboratorio de Radiación Solar, del Instituto de Geofísica, UNAM.

Al M.C. Leonel Lira, Investigador del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET, SEP.

Al M.C. José Morales R., Investigador del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET, SEP.

A la M.C. Ivonne Chávez Chena, Investigadora del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, CENIDET, SEP.

A la Cía. Vitro, a través del Ing. José G. Cid y demás personal, quienes amablemente proporcionaron catálogos.

A la Cía. Saint Gobain a través del Arq. Gallegos y demás personal, quienes amablemente proporcionaron catálogos.

A la Cía. Viracon, a través de la Arq. María G. Ariza, quien amablemente me proporcionó catálogos.

A la Mtra. en Pedagogía Florina Gatica Lara, del Centro de Cómputo de la Facultad de Medicina, UNAM.

Al Ing. David Limón Cruz, del Centro de Cómputo de la Facultad de Medicina, UNAM.

Ofrezco disculpas si omití en forma involuntaria a alguna persona.

Indice	Pág.
Lista de Figuras.	viii
Lista de Gráficas.	x
Lista de Tablas.	xi
 Introducción.	 1
1. Evolución de la envolvente en las edificaciones.	9
1.1. Origen del vidrio.	9
1.2. Primeras láminas de vidrio romano, origen del vidrio plano.	10
1.3. El vidrio plano en las edificaciones religiosas de la Edad Media.	13
1.3.1. El vidrio en las Iglesias Bizantinas.	14
1.3.2. El vidrio de color en las Iglesias Góticas.	16
1.4. El vidrio plano en las edificaciones civiles.	18
1.4.1. El Renacimiento y el incremento de la superficie acristalada en la envolvente.	18
1.4.2. La Revolución Industrial y el inicio del uso extensivo de vidrio plano en la envolvente	24
1.4.3. Siglo XX, uso extensivo e intensivo de vidrio en lámina continua.	27
1.5. Conclusiones.	33
 2. Vidrio plano para envolvente, producto de nueva tecnología.	 35
2.1. Material vítreo translúcido y/o transparente para reducir la transferencia de radiación.	36
2.1.1. Vidrio de baja emisividad.	36
2.1.2. Vidrios laminados.	37
2.1.3. Vidrios superentintados.	38
2.1.4. Prismas reflectantes de radiación directa.	39
2.1.5. Microtúbulos conductores de calor.	40
2.1.6. Vidrio translúcido-transparente.	40
2.1.7. Sistemas fotovoltaicos en fachadas.	41
2.2. Consideraciones sobre el material vítreo, producto de nueva tecnología.	42
2.3. Conclusiones.	45
 3. El vidrio plano utilizado en la envolvente de las edificaciones en México.	 46
3.1. Productores y procesos de fabricación.	46
3.2. Vidrio plano comercial para envolvente.	49
3.2.1. Oferta de vidrio plano en México.	49
3.2.2. Consumo de vidrio plano en la Ciudad de México.	53
3.3. Conclusiones.	56

4. Comportamiento térmico del vidrio utilizado en la envolvente de edificaciones en México.	58
4.1. Principios físicos de la fuente térmica.	58
4.1.1. Naturaleza de la radiación.	58
4.1.2. Espectro Electromagnético.	59
4.1.3. Atenuación y variabilidad de la radiación solar.	60
4.2. Comportamiento térmico de la envolvente de las edificaciones.	62
4.2.1. Mecanismos de transferencia de calor en la envolvente.	63
4.2.2. El cálculo de cargas térmicas: herramienta en el diseño térmico de las edificaciones.	64
4.2.3. El comportamiento térmico del vidrio en el comportamiento térmico de la envolvente.	65
4.2.4. Valores de las propiedades del vidrio para el cálculo de cargas térmicas.	68
4.3. Análisis experimental:	70
4.3.1. Selección del material a evaluar.	70
4.3.2. Selección de propiedades físicas y comportamiento térmico a evaluar.	72
4.3.3. Propiedades ópticas:	72
4.3.3.1. Procedimiento experimental:	73
4.3.3.1.1. Normatividad.	73
4.3.3.1.2. Instrumento de medición.	75
4.3.3.1.3. Preparación y medición de muestras	76
4.3.3.2. Análisis experimental de las propiedades ópticas.	77
4.3.3.3. Conclusiones.	86
4.3.4. Propiedad térmica:	87
4.3.4.1. Procedimiento experimental:	88
4.3.4.1.1. Normatividad.	88
4.3.4.1.2. Instrumento de medición.	88
4.3.4.1.3. Preparación y medición de muestras.	90
4.3.4.2. Análisis experimental de la propiedad térmica.	92
4.3.4.3. Conclusiones.	93
4.3.5. Análisis del comportamiento térmico:	93
4.3.5.1. Ganancia de calor solar.	93
4.3.5.2. Coeficiente de sombreado.	96
4.3.5.3. Coeficiente global de transferencia de calor.	98
4.3.5.4. Ganancia de calor relativa.	100
4.4. Conclusiones.	103

5. El vidrio en la envolvente de las edificaciones, vinculado al ahorro de energía.	106
5.1. Impacto ambiental.	106
5.1.1. El uso de la energía en los edificios y su impacto en el ambiente.	106
5.1.2. Acciones para frenar el deterioro ambiental.	108
5.2. Normatividad al uso de energía en las edificaciones de México.	110
5.2.1. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.	111
5.2.1.1. Bases de la Norma.	111
5.2.1.2. Especificaciones del Edificio de Referencia.	112
5.2.1.3. Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del Edificio proyectado	113
5.2.1.3.1. Ganancia de calor por conducción.	113
5.2.1.3.2. Ganancia de calor por radiación.	114
5.2.1.4. Cálculo de la Ganancia de calor a través de la envolvente del Edificio de Referencia.	115
5.2.1.4.1. Ganancia de calor por conducción.	115
5.2.1.4.2. Ganancia de calor por radiación.	116
5.3. Aplicación de la metodología del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER1999.	117
5.3.1. Descripción y ubicación de la edificación seleccionada como la proyectada.	118
5.3.2. Material de vidrio considerado en la aplicación del ejercicio.	120
5.3.3. Metodología aplicada.	120
5.3.4. Análisis de resultados.	123
5.4. Conclusiones.	128
6 Conclusiones y recomendaciones.	131
Anexo A.	135
Anexo B.	142
Anexo C.	149
Anexo D.	156
Anexo E.	163
Nomenclatura.	180
Bibliografía.	182

Lista de Figuras:

- 1.1 Reconstrucción de las termas de Caracalla, Roma según Viollet Le Duc.
- 1.2 Planimetría de las termas de Caracalla, Roma según Viollet Le Duc.
- 1.3 Ventana sajona de Earls Barton.
- 1.4 Fabricación de vidrio "crown glass" (1800)
- 1.5 Mosaicos de vidrio en San Apolinar, Ravenna.
- 1.6 Basílica de Santa Sofía, Constantinopla. (corte).
- 1.7 Ventana con trozos de vidrio ensamblados con plomo.
- 1.8 Catedral de Salisbury, Inglaterra(1220-1266).
- 1.9 La gran ventana oriental de la Catedral de Gloucester, Inglaterra.
- 1.10 Ragusa, hoy Dubronik. siglo. XII.
- 1.11 Mirador abarcando dos pisos de la casa de Sir. William Grevel en Chiping C. Finales del siglo XIV.
- 1.12 Ejemplo de vidrieras con motivos heráldicos de mediados del siglo XVI (1559) en un mirador del Moreton Hall de Congleton, Cheshire
- 1.13 Ventana de guillotina, fines del siglo. XVII.
- 1.14 El primer método de vidrio plano como fluido en movimiento 1688-1702.
- 1.15 Pulido de vidrio plano 1688-1702.
- 1.16 Almacenes Liverpool, 1866.
- 1.17 Jardines de Invierno - Interior - (1866)
- 1.18 Jardines de Invierno –exterior- (1880)
- 1.19 Edificación para la Johnson Wax en Racine, 1938, obra de Wright
- 1.20 Proyecto de un rascacielos de cristal en 1919, de Mies Van der Rohe.
- 1.21 Le Corbusier. Ciudad contemporánea para tres millones de habitantes.
- 1.22 Proceso de fabricación del vidrio flotado.
- 1.23 Oficina del Lloyd, en Londres, de Richard Rogers.
- 1.24 Centro de Investigación Schlumberger en Cambridge, Inglaterra.
- 2.1 Unidad doble o duovent
- 2.2 Unidad triple con Low E y gas Krypton en las cámaras.
- 2.3 Laminado transparente de control solar.
- 2.4 Uso de prismas Siemens en sistema movable.
- 2.5 Uso de prismas Siemens en sistema fijo.
- 2.6 Rejilla reflectante de radiación directa.
- 2.7 Microtúbulos vítreos conductores y almacenadores de calor para la envolvente.
- 2.8 Operación del sistema del vidrio translúcido-transparente.
- 2.9 Cortina vertical para muro tipo diente de sierra.

- 4.1. Espectro electromagnético
- 4.2. Absorción, reflexión y dispersión de la radiación solar directa que incide en la superficie de la tierra, en una atmósfera de cielo claro.
- 4.3. Espectro solar para radiación solar en masa óptica cero y dos.
- 4.4. Movimiento de la tierra alrededor del sol.
- 4.5. Energía radiativa solar extraterrestre, como función del día del año, para latitudes de 0 a 80°
- 4.6. Intercambio calorífico al mediodía en un día de verano.
- 4.7. Cargas térmicas externas e internas en una edificación.
- 4.8. Análisis del ejemplo de flujo calorífico al atravesar diferentes materiales.
- 4.9. Representación esquemática de los procesos de reflexión, absorción y transmisión en la interacción de la luz con una muestra de material.
- 4.10. Esquema de esfera integradora para la medición de reflectancia difusa.
- 4.11. Esquema experimental de un espectrofotómetro de doble haz.
- 4.12. Ilustración del flujo de calor en la medición de conductividad térmica en el conductivímetro.
- 5.1. La Torre de la Rectoría de la U.N.A.M. en la que se muestran los muros al este y al sur.
- 5.2. Ubicación y orientación de La Torre de Rectoría de la U.N.A.M

Lista de Gráficas.

- 2.1. Demanda mundial de vidrio plano para el año 2000.
- 3.1. Precio por m² en vidrio plano (excepto duovent) para envolvente de las marcas Vitro y Saint Gobain en los años 1998, 1999 y 2000
- 4.1. Ejemplo de variación en el comportamiento óptico en muestras de vidrio del mismo tipo (claro de 6 mm).
- 4.2. Variación en el comportamiento óptico en la región del ultravioleta de la Reflectancia del vidrio claro 6 mm.
- 4.3. Variación en el comportamiento óptico en la región del visible de la Reflectancia del vidrio claro 6 mm.
- 4.4. Variación en el comportamiento óptico en la región del infrarrojo de la reflectancia del vidrio claro 6 mm.
- 4.5. Ganancia de Calor Relativa (W/m²) de las muestras experimentales y de las Ref. de los Fabricantes.
- 5.1. Comparación internacional de emisión de CO₂ por quema de combustible fósil.
- 5.2. Modelo de comportamiento térmico (miles de Watts) en los diferentes elementos que conforman a una vivienda.
- 5.3. Ganancia de calor total (W) por Conducción y Radiación en las Edificaciones de Referencia y Proyectada: Torre de Rectoría en las ubicaciones de Mexicali, BCN y Ciudad Universitaria en el D. F.

Lista de Tablas

- 2.1 Oferta disponible en México de vidrio plano para envolvente.
- 2.2 Producción parcial de vidrio plano de la Cía. Vitro en sus diferentes plantas.
- 2.3 Costo por m² de vidrio plano para envolvente, de los fabricantes Vitro y Saint Gobain en los años 1998, 1999 y 2000.
- 4.1 Vidrios seleccionados para evaluar su comportamiento térmico.
- 4.2 Resultados experimentales en propiedades ópticas solares totales: Reflectancia, R, Absortancia, A, y Transmitancia, T.
- 4.3 Rango de dispersión (%) en los valores experimentales de propiedades ópticas, por tipo de vidrio.
- 4.4 Rango de dispersión (%) en los valores experimentales de propiedades ópticas por tipo de vidrio y por fabricante.
- 4.5 Comparación (variación %) de valores experimentales con valores reportados por los fabricantes.
- 4.6 Límites de tolerancia en Reflectancia, R; Absortancia, A, y Transmitancia, T en los valores de referencia del fabricante.
- 4.7 Número de muestras de vidrio que están fuera del rango de tolerancia de la referencia del fabricante.
- 4.8 Conductividad térmica, k, medida y la de los fabricantes.
- 4.9 Comparación en la Ganancia de calor solar en las muestras experimentales, GCS, con respecto a la referencia del fabricante (R.F.).
- 4.10 Comparación del Coeficiente de sombreado, CS, en muestras experimentales con respecto a la referencia del fabricante (R.F.).
- 4.11 Comparación del Coeficiente Global de Transferencia de Calor, U, en muestras experimentales, con respecto a la referencia del fabricante (R.F.).
- 4.12 Comparación en la Ganancia de calor relativa, GCR, en muestras experimentales, con respecto a la referencia del fabricante (R.F.).
- 5.1. Ganancia de calor total en las edificaciones proyectada y de referencia en la ubicación del Distrito Federal.
- 5.2. Ganancia de calor total (W) a través de la envolvente de la edificación de referencia y la proyectada, en dos ubicaciones geográficas diferentes: Mexicali y Distrito Federal
- 5.3. Rango de dispersión en la Ganancia de calor total (W), producto de la variabilidad presentada entre los valores experimentales.
- 5.4. Rango de dispersión en la Ganancia de calor total (W), producto de la variabilidad en los valores experimentales y los de referencia de los fabricantes.

Introducción.

Vivimos tiempos extraordinarios, por avances vertiginosos en la tecnología y el conocimiento, que han puesto a la especie humana y a todas las demás ante la gran posibilidad de extinguirse¹, debido a un desequilibrio en los ciclos de la materia y la energía, ya que la complejidad de los dispositivos homeostáticos en el ecosistema sobre el cual se tiene un conocimiento incompleto, lleva a la conclusión que debe tenerse precaución con los intentos de modificar el equilibrio de la naturaleza².

Las causas de la ruptura de los ciclos de materia y energía están vinculadas a la especie humana, principalmente en dos aspectos: el primero en su evolución, porque su crecimiento como población no está limitado por factores bióticos y/o abióticos^{3,2}, lo que implica una demanda creciente de materia y energía y como segundo punto el cómo ha utilizado la energía, al no poder impedir la liberación de moléculas producto de una quema incompleta de combustibles, principalmente de origen fósil, aunado al incremento de calor, subproducto de lo mismo^{2,3,6}, lo que ha alterado el ambiente, por ejemplo, en la destrucción de la capa de ozono y en el cambio climático global, entre otros.

Los efectos del impacto ambiental comenzaron a detectarse en los años sesentas, pero fué en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente en Estocolmo, Suecia, en 1972 en la que se originó el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)^{1,4}, y posteriormente, entre las reuniones mundiales más importantes, la Primera Conferencia Intergubernamental de Educación Ambiental en Tbilisi, Ex Unión Soviética¹ en 1977 y la Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro en 1992^{1,4}.

El mayor consumo de energéticos en la actualidad es aún de origen fósil y corresponde a países industrializados, por ejemplo, en E.U.A. se consume el 35 % de la energía total mundial⁷; sin embargo, en el caso de países en desarrollo como el nuestro, se observa un esquema similar en cuanto a la mayor proporción de consumo de combustible de origen fósil: en 1996 la dependencia energética del mismo fue de un 86 %, utilizado en procesos con baja eficiencia energética en la conversión, lo que nos indica el excesivo gasto energético en procesos que liberan gran cantidad de energía calorífica que podría ser energía útil⁶.

Una de las acciones propuestas para frenar el deterioro ambiental es la sustitución de combustibles fósiles por la diversificación de fuentes energéticas como la energía solar, la eólica, la microhidráulica y la de la biomasa^{5,6}, acciones que se están desarrollando en diferentes países y que requieren de una modificación paulatina del esquema actual en el uso de energéticos⁶. Otra acción importante y

necesaria es el ahorro y uso eficiente de energía, entendiéndose como la disminución en su gasto o en hacer más eficientes los procesos de conversión.

Las edificaciones son sistemas altamente demandantes de energía por ser abiertos e interactuar tanto en forma natural como inducida con el ambiente a través de la envolvente, en sus porciones opacas y translúcidas⁸. El Dr. Szokolay⁴ considera que es preocupante el gasto energético de las edificaciones, ya que del total de energía consumida, las edificaciones representan un gran porcentaje de éste consumo: en Australia el 25%; en Estados Unidos el 40% y en el Reino Unido el 45%. Este consumo considera tanto la energía utilizada en la elaboración de materiales de construcción como la energía de operación de las edificaciones.

A pesar de la necesidad de reducir el gasto energético, en EUA, en el lapso de 1973 a 1997 el uso de energía eléctrica se ha incrementado en los sectores de la edificación, la industria y del transporte en un 40%, 3% y 37% respectivamente, que son los grupos que principalmente la consumen^{8,9}. Del consumo de energía eléctrica en las edificaciones de EUA, en 1995, en climatización se gastó 44% en edificaciones residenciales y 45 % en edificaciones comerciales e industriales⁸.

En México, en 1996, del consumo nacional aparente equivalente a 5901.8 petajoules, el consumo de energía en los sectores residencial, comercial y de servicio público fue de 846.811 petajoules, que corresponde a un 14 %, de acuerdo al Balance Nacional de Energía de 1996⁶, entendiéndose que éste corresponde al gasto de energía de operación y no está incluida la energía requerida en la elaboración de los materiales de construcción, que estaría englobada en el gasto por Industria. En ese mismo año, de 1996, el total del consumo eléctrico nacional ascendió a los 121,573 GWh y de éste, el 23.4 % correspondió al sector doméstico¹⁰. En 1998 el total del consumo eléctrico fue de 144,996,452 MW/h -un 19% superior al de 1996-, y del total, el 68.1 % corresponde a energía eléctrica, de la cual el 19.7% correspondió a los sectores residencial, comercial y público, vinculados todos con la edificación, en su operación, con un incremento en el consumo de menos de 1 % con respecto al de 1996, sin considerar en este gasto de energía eléctrica a los sectores industrial, transporte y agropecuario¹²¹, en los cuales las edificaciones también están implícitas.

El Dr. Szokolay en forma sencilla y clara, ante un ambiente con un grave deterioro, considera que por el alto consumo de energía que las edificaciones tienen, es en este rubro en el que los arquitectos y/o diseñadores tienen una importancia capital, ya que estos profesionistas influyen en la decisión de qué, con qué, cómo y dónde construir y para ello aconseja la necesidad de tomar en cuenta 4 aspectos: la congruencia entre el sitio y la construcción; que el diseño minimice la transferencia de calor a fin de disminuir el gasto energético de operación con la posibilidad de incluir fuentes de energía diferentes a las convencionales; una selección adecuada de materiales y el reducir la posibilidad de emanación de gases por el uso de la energía⁴. Asimismo, el Dr. Donald Aitken considera que un diseño de la

envolvente que permita una reducción en el gasto energético es una necesidad con obvios beneficios para los usuarios y el ambiente, y con ello se colabora a la sustentabilidad⁸; recomendaciones congruentes con el objetivo de la Arquitectura: generar espacios habitables para los usuarios, por lo que una edificación al tener una función social debe considerar en el balance térmico el de los usuarios¹¹.

Las investigaciones de los últimos años han guiado a la tecnología a una reducción en la demanda energética de las edificaciones por medio de la investigación y desarrollo de materiales que permitan el diseño de las envolventes que proporcionen confort al interior de la edificación, con una reducción del gasto energético, contemplada esta última como una de las estrategias del diseño pasivo, que pretende un consumo bajo de energía convencional en la edificación, aprovechando fuentes alternas de energía como la solar para calentamiento de agua o aire, entre otros mecanismos⁸.

En el diseño de la envolvente, la selección de sus materiales es una de las etapas más importantes, ya que de sus propiedades físicas depende el comportamiento térmico de la misma, vinculando a la edificación con el ambiente, tanto al exterior como al interior, por lo que el cálculo de cargas térmicas permite realizar ajustes a diferentes niveles en el proceso de la edificación, con la finalidad de reducir el consumo de energía convencional.

Además del diseño de la envolvente para disminuir el gasto energético en las edificaciones, se ha contemplado la normatividad a su uso, reglamentación que han adoptado desde hace muchos años países como Estados Unidos, Suecia, Reino Unido, Francia y España¹⁴ entre otros, y que contemplan como base las características ambientales y las necesidades propias del país, con una revisión periódica y ajustes a la metodología, fundamentada en el análisis de sus resultados, por lo que no es posible la adopción de una normatividad acorde al medio ambiente de otro país, a pesar de que exista el interés común de un ahorro de energía. Existen además programas y políticas en ahorro de energía, propuestas en el ámbito de la Arquitectura como por ejemplo las de E.U.A: La Declaración de interdependencia para un futuro sustentable, IUA/AIA del Congreso Mundial de Arquitectos, efectuado en Chicago en junio de 1993 o La Política de Medio Ambiente del Instituto de Arquitectos en Australia⁴, teniendo todas estas acciones el objetivo y compromiso de preservar la salud, reduciendo el gasto energético en las edificaciones.

México también se ha preocupado por el ahorro de energía en las edificaciones y existen proyectos y propuestas de Normatividad al uso de la energía en las edificaciones, ejemplo de ello son la Norma PROY-NOM-008-ENER-1999¹¹⁹ publicada en el Diario Oficial el 22 de septiembre del 2000, que considera la eficiencia energética a través de la envolvente de los edificios no residenciales, o la NOM-020-ENER-1997¹²⁰ para edificios residenciales hasta de tres pisos y que está en proceso de revisión, modificación y aceptación de los profesionales involucrados en la construcción.

Es en este contexto, ante la necesidad a nivel mundial y por ende nacional de reducir el gasto energético de las edificaciones, en el que se justifica el presente trabajo, debido a que el vidrio en la envolvente de las edificaciones, ante la incidencia de radiación solar, permite por su naturaleza una alta transferencia de energía, principalmente radiante, la cual al transformarse en energía calorífica en el interior de las edificaciones demanda un alto gasto energético por climatización del espacio interior; por lo que se estableció en este trabajo la necesidad de conocer qué investigaciones existen con relación al vidrio utilizado en nuestro país en la envolvente, así como saber si se encuentran reportadas sus propiedades físicas, necesarias para su diseño, en el cálculo térmico.

La revisión bibliográfica para conocer qué trabajos se realizan sobre el vidrio se llevó a cabo en Instituciones de Educación Superior (UNAM, IPN, UAM, SEP), así como en Institutos, Centros de Investigación y la Asociación Nacional de Energía Solar.

En relación a las tesis, las que tocan el tema del vidrio están enfocadas hacia su composición química, a su utilización en la industria, al análisis térmico, así como al uso de sus derivados, pero no se encontró ninguna sobre el tema del vidrio en las envolventes arquitectónicas o el ahorro de energía a través de ellas.

Con relación a investigación o tecnología sobre vidrios para envolvente arquitectónica se localizó información principalmente en Centros de Investigación, como el Centro de Investigación en Energía de la UNAM, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la SEP y el Centro de Investigaciones Avanzadas del IPN, con resultados presentados y publicados principalmente en las memorias de la Asociación Nacional de Energía solar, A.C. (ANES) y en revistas internacionales arbitradas.

Destacan en investigación básica y aplicación los trabajos de los Doctores Hailin Hu, P.J. Sebastian, A. Fernández, P.K. Nair y M.T.S. Nair del Centro de Investigación en Energía, de la U.N.A.M., relacionadas con depósitos químicos metálicos para ventanas selectivas a determinado rango en el espectro de radiación a través de la evaluación de sus propiedades ópticas^{16, 47}; así como el trabajo del Dr. Almanza, del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M, en relación a control solar en ventanas con recubrimientos selectivos.

En el aspecto de modelos matemáticos de transferencia de calor y evaluación experimental de vidrios con y sin depósitos químicos, a través de calorímetros se encuentran los trabajos de los Doctores G. Alvarez y C. Estrada, quienes trabajan en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la S.E.P. y en el Centro de Investigación en Energía de la U.N.A.M. respectivamente^{17, 18, 19}, y en colaboración con ellos los Doctores P.K. Nair y A. Fernández, entre otros.

En el cálculo de cargas térmicas a través de la envolvente, tanto en estado permanente como transitorio, se encuentra el trabajo del Dr. D. Morales del Centro de Investigaciones y Estudios de Posgrado, de la UNAM^{20, 21}.

Relacionado con diseño de vanos o aberturas, el uso de vidrios con y sin protección, así como la evaluación de su comportamiento térmico se tiene el trabajo de Montaña J, Ramos, R y Morillón, D.²², así como el de Soleamiento y Diseño de un espacio en la Ciudad de México²³ de los Doctores. Morillón, D., Sámano, D y Fernández, J.L.

Trabajos enfocados a la aplicación de la normatividad en el uso de la energía, específicamente con vidrios, los trabajos del efecto del tamaño de las ventanas de la vivienda en el consumo de energía eléctrica del Dr. Morillón, D.¹⁰, en el que se realiza una evaluación de la NOM-020-ENER-1997, así como el trabajo del Dr. Dorantes, R. y Santiago I,²⁴ en el que se realiza un ejercicio de aplicación de la propuesta NOM-008-ENER-1995.

Existe también Investigación en la utilización de sistemas fotovoltaicos en la envolvente arquitectónica, por los doctores Urbano, A., Matsumoto, Y, y Asomoza, R., quienes trabajan en el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del IPN²⁵. Este uso se ha encontrado también en edificaciones conocidas como edificios inteligentes.

En la evaluación de propiedades físicas de materiales de construcción se tiene el trabajo del Arq. Esp. en Heliodiseño A. Rojas, quien evaluó las propiedades termofísicas y ópticas de algunos materiales utilizados en la región de Cuernavaca, Mor²⁶.

En el ámbito extranjero, con relación a la investigación y tecnología del vidrio se presenta la tendencia a la producción y uso de productos con un mejor comportamiento térmico, en comparación al que presentan los vidrios monolíticos sin control solar, en los que la transferencia de calor por ingreso de radiación solar directa es alta y demandan un mayor gasto de energía, situación contraria a la necesidad mundial.²⁷. Estos vidrios, con un mejor comportamiento térmico, se producen principalmente en Europa por fabricantes como VEGLA, FLACHGLAS, INTERPANE, Siemens, A.G., Schott-Rohrglas, Okalux Kapillarglas, Ernst Schweizer, Koch Hightex y Saint Gobain, y por Viracon en EUA.

El uso de vidrios con tecnología que permiten un ahorro de energía está relacionado con la corriente internacional que en Arquitectura es conocida como Edificios inteligentes o de alta tecnología, High Tech, Eco tech o Arquitectura Bioclimática Internacional^{27, 28}. en los que el uso de vidrio en la envolvente²⁵ es importante.

Un diseño térmico de la envolvente requiere de valores precisos de las propiedades físicas ópticas y térmicas de los materiales que la conforman en general, y de los vidrios en particular, por la alta transferencia de calor que a través de ellos se realiza, a diferencia de los materiales opacos, y con relación a sí están reportadas los valores de las propiedades físicas del vidrio para un cálculo térmico, se realizó investigación en bibliografía técnica de diversa índole, 50 obras aproximadamente, existiendo información en algunas de ellas: sobre Transferencia de calor y masa^{26, 29,30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 41, 42, 43, 96, 100,101}, Diseño térmico arquitectónico^{58, 91, 92, 94, 97 98 99,102, 103.}, Normatividad al uso de energía¹⁵ y literatura técnica de fabricantes de vidrio^{44,45,46.}, revisión que constituye el marco teórico que permite plantear la hipótesis de trabajo: **Existe dificultad en utilizar en el diseño térmico de la envolvente los valores reportados para vidrio en general y claro en particular, por encontrarse algunas de las propiedades reportadas con valores en unidades diferentes; tener rangos de dispersión amplios; encontrarse la serie de propiedades que se requiere incompleta y existir confusión, al nombrarse a un mismo concepto o propiedad con diferentes términos.**

Con base en la hipótesis planteada, se propone el presente trabajo titulado "Contribución al estudio del comportamiento térmico del vidrio plano utilizado en México como envolvente en edificaciones" y que pretende cubrir los siguientes objetivos:

- Revisar aspectos generales sobre la evolución de la envolvente por el uso del vidrio y cómo éste a su vez se ha modificado por desarrollo tecnológico hasta el que presenta un retardo térmico.
- Conocer la oferta de vidrio para envolvente en edificaciones que existe en nuestro país, y qué vidrios son los que actualmente más se utilizan en las mismas, en la Cd. de México.
- Medir las propiedades ópticas y térmicas de vidrios que correspondan a los más utilizados en las edificaciones de la Cd. de México, propiedades vinculadas con la evaluación de la transferencia de calor a través de la envolvente, y comparar los resultados con los valores que reportan los fabricantes.
- Mostrar tendencias del comportamiento térmico de los vidrios más utilizados.
- Aplicar los valores de las propiedades ópticas y térmicas de los vidrios evaluados, utilizando la metodología del proyecto de Norma PROY-NOM-008-99 que calcula la ganancia de calor al interior de las edificaciones no residenciales a través de la envolvente y la comparación de los resultados con los valores que reportan los fabricantes.

El trabajo para cubrir los objetivos planteados se desarrolla en cinco capítulos, indicándose a continuación el tema que en cada uno de ellos se aborda y su metodología.

En el primer capítulo se hace una breve revisión bibliográfica sobre revisiones históricas en relación con la producción y uso del vidrio en la envolvente de las edificaciones, con el objetivo de mostrar cómo la envolvente de las edificaciones ha evolucionado por el uso del vidrio y cómo éste junto con los metales ha desplazado a otros materiales de construcción.

El segundo capítulo "Vidrio plano para envolvente, producto de nueva tecnología", presenta información general proporcionada por fabricantes de vidrio, de Europa principalmente, y que a pesar de existir entre ellos diversidad, tienen como objetivo común un retraso térmico, congruente a los requerimientos propios de los países en los que se han fabricado.

El tercer capítulo "El vidrio plano utilizado en la envolvente de las edificaciones en México" se cubre por medio de trabajo de campo, con el objetivo de conocer tanto la oferta de vidrio en nuestro país, como identificar cuáles son los más utilizados en las envolventes de las edificaciones en la Cd. de México.

El cuarto capítulo "Comportamiento térmico del vidrio utilizado en la envolvente de edificaciones", se logra a través de diferentes acciones, principalmente de tipo experimental:

- a) Recabar la información técnica de los fabricantes de vidrio que lo venden en o a México, a fin de conocer qué propiedades físicas (ópticas y térmicas) reportan, así como sus valores.
- b) Revisar la Normatividad para la evaluación experimental de las propiedades ópticas y térmicas en vidrios.
- c) Evaluar las propiedades ópticas de los vidrios seleccionados.
- d) Evaluar la conductividad térmica de los vidrios seleccionados.
- e) Evaluar el comportamiento térmico de los vidrios seleccionados
- e) Analizar en forma comparativa los valores experimentales con los valores reportados por los fabricantes.

En el quinto capítulo "El vidrio en la envolvente de las edificaciones, vinculado al ahorro de energía" se realiza un ejercicio de aplicación de los valores de las propiedades ópticas y térmicas tanto de los

vidrios evaluados como los valores reportados por sus fabricantes, utilizando la metodología del proyecto de Norma PROY-NOM-008-99, de la Comisión del Ahorro de Energía, CONAE, de la Secretaría de Energía, con el objetivo de conocer el impacto de la ganancia de calor a través del uso de vidrio en la envolvente de una edificación seleccionada, La Torre de la Rectoría de la UNAM, en la que se simulan diferentes cambios en el vidrio de su envolvente, en dos situaciones ambientales distintas: una, en su ubicación original, en el D.F., y la otra en la Cd. de Mexicali, B.C.N., ésta última, con un ambiente crítico, por una alta oscilación térmica, analizándose los resultados de los valores experimentales con los obtenidos al utilizar los valores reportados por los fabricantes.

Este trabajo pretende colaborar en la comprensión del comportamiento térmico del vidrio, producto de la interrelación de sus propiedades ópticas y térmicas, por ser un componente importante en la envolvente de las edificaciones, tanto por la preferencia en su uso como por la alta transferencia de calor a través de él; y con base en la necesidad mundial de un ahorro de energía en general, y en las edificaciones en particular, se requiere que con el vidrio, como material de construcción, se logre que una envolvente proporcione confort a los usuarios de la edificación, con un menor gasto energético en su operación.

1. EVOLUCIÓN DE LA ENVOLVENTE EN LAS EDIFICACIONES.

Introducción.

El objetivo de este capítulo es el de apreciar cómo, desde la fabricación del vidrio para ser usado en la envolvente de las edificaciones quedó vinculado, en calidad de material de construcción, a la historia del hombre, evolucionando tanto la producción como su uso; ya que inicia como un producto artesanal, convirtiéndose en uno industrial, en el que se aplica el conocimiento científico; proceso que lleva aproximadamente 2000 años, en el que incrementa su importancia a tal grado, que el vidrio aunado a los metales ha llegado a desplazar a otros materiales de construcción tradicionales como el tabique y la piedra, lo que representa una transformación en la envolvente de las edificaciones.

La información de este capítulo está basada en revisión bibliográfica de revisiones históricas del vidrio plano tanto en su uso en la envolvente de las edificaciones, como en los procesos de su producción, íntimamente vinculados.

1.1. Origen del vidrio.

La historia del vidrio comienza con la formación de la tierra, debido a que gran cantidad de sílice al fundirse y enfriarse en forma natural formó parte de rocas, entre las que se encuentra la obsidiana.⁵⁴

En la historia del hombre, el aprovechamiento de los materiales existentes en la naturaleza ha sido fundamental para su evolución como especie: los utilizó primero en forma natural y los sometió después a procesos para modificarlos, desde un tallado hasta el uso de calor⁵⁵, proceso en el que el vidrio encaja muy bien, ya que fué uno de los primeros empleados en la fabricación de piezas como cuchillos y puntas de lanza de obsidiana⁶⁵ y se cree que en una etapa posterior, cuando se fundían metales, el hombre descubre el vidrio en forma accidental, al fundir arena^{55, 72}, que por estar coloreada por óxidos metálicos seguramente atrajo la atención de posibles primitivos fundidores de cobre⁵⁶.

El descubrimiento de Sir Flinders Petrie de una fábrica de vidrio en Tel-el-Amarna de 1400 a.c., que coincide con la conquista Egipcia a Siria, es una de las evidencias que consideran a Siria como el sitio en el que posiblemente se haya iniciado el uso de procesos relacionados con el vidriado, anterior al uso del vidrio. El vidrio encontrado en Tel-el-Amarna era opaco y con color y se cree que la posterior decoloración fué lograda en Egipto^{56, 72}.

1.2. Primeras láminas de vidrio romano, origen del vidrio plano.

Al pasar Egipto a ser parte del Imperio Romano, al inicio de nuestra era, la fabricación de vidrio se establece en Roma y son los Romanos quienes lo usan con diferentes propósitos, como el de fabricar placas delgadas para cubrir aberturas en muros⁵⁶, por lo que su uso en la envolvente se relaciona con el uso de aberturas en el muro cuando hay la necesidad de permitir el paso de luz al interior del espacio y disponer de un control térmico en él, vinculándose la evolución del uso del vidrio en la envolvente con la evolución de las aberturas en los muros.

Estética e históricamente puede dividirse en dos categorías a las aberturas en el muro: el hueco o tipo de ventana característico de vanos en el muro de carga primitivo y el tipo de ventana limitado por el sistema estructural de pies derechos y dinteles del contemporáneo muro cortina. Dentro de ambos tipos de ventana, una extensa serie de complejas variaciones en su diseño se han ofrecido al correr del tiempo⁵⁸. En la evolución de las aberturas han influido aspectos como el clima, los métodos de construcción y los materiales disponibles; sin embargo, también las costumbres sociales, la moda, las tendencias artísticas y prácticas tradicionales han sido determinantes⁵⁸.

Remontándonos primero a la arquitectura de los templos del antiguo Egipto vemos que las ventanas con sentido arquitectónico son raras en los muros que aún subsisten, que se reducen a lumbreras. Para dichos edificios, la exclusión de la luz solar era de vital necesidad, para mantener frescos los interiores y por razones religiosas y de ceremonial. La luz diurna, exigida en las grandes salas se recibía a través de brechas en la cubierta o de rejillas de piedra en lucernarios formados entre las columnatas como en Karnak⁵⁸ y los efectos de cámara oscura, como en el templo de Ptah, sugieren que se tenía idea de la manera en que la iluminación baja podía explotarse para ciertos efectos dramáticos en el interior del edificio⁵⁸.

Hay evidencia de que en Asiria y Babilonia, las ventanas eran tan raras en los palacios de los reyes guerreros como en los templos egipcios y esto por las mismas razones que en los levantados en el valle del Nilo, la luz era admitida probablemente a través de orificios tubulares en los muros y en las bóvedas⁵⁸.

Por ubicación geográfica, en Egipto y zonas aledañas no constituía un problema el iluminar en forma natural el interior de las grandes edificaciones, dada la luminosidad característica del cielo en esas regiones. La intensa luz solar, aliada con las resplandecientes superficies de la piedra, hacía que bastase con practicar en los paramentos unos cuantos huecos de reducidas proporciones para alcanzar dentro niveles de iluminación aceptables, por lo que era innecesario lograr la estanqueidad térmica del edificio, por lo que se explica que el vidrio, conocido por los egipcios no fuese empleado

en acristalar, estando su uso reservado a la fabricación de joyas y pequeños recipientes como botellas y jarras⁴⁸.

En la Grecia clásica, las ventanas para edificios oficiales eran tan pequeñas como las de Egipto, pero las fachadas de los templos ciegos se animaban con la alternancia del clarooscuro de las columnas exentas. Donde se requería luz diurna, se recibía a través de las puertas y tal vez complementada por la filtrada a través de losas translúcidas de mármol en la cubierta. En el período helénico las casas griegas eran de tipo introvertido, con un compluvium o patio interior, el cual proporcionaba iluminación y aire a las habitaciones de alrededor, lo que además permitía mantener privacidad frente al mundo exterior⁵⁸.

A diferencia de Grecia, en la Ciudad de Roma las ventanas de las casas daban directamente a la calle y el uso de láminas de vidrio que los Romanos colocaban en marcos o en tubos huecos para cubrir las aberturas en muros, ampliaba el uso que se tenía de otros materiales translúcidos para el mismo fin como la mica^{49, 56}, placas delgadas de mármol^{48, 56} y conchas⁵⁶.

Se cree que para la fabricación de las láminas de vidrio romanas se utilizó un primitivo proceso de fundición y la masa fundida se colocaba sobre una superficie plana y se estiraba con pinzas o tenazas^{49, 56}, existiendo aún parte de esos vidrios y marcas en ellos^{48, 49, 56}, siendo ambas superficies desiguales, una más lisa que la otra y la más lisa, ondulada⁵⁷.

Los ingenieros romanos le encontraron aplicación al vidrio en las termas, donde, debido a su relativa transparencia, resolvía ventajosamente el problema de la iluminación natural, sin que se produjesen pérdidas de calor importantes⁴⁸. (Figs. 1.1 y 1.2)

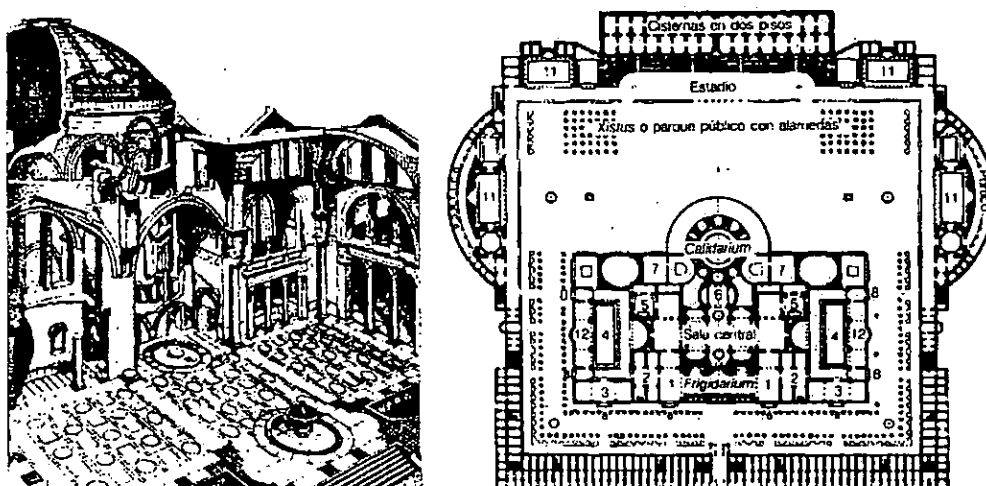


Fig. 1.1 y 1.2 Reconstrucción y planimetría de las termas de Caracalla, Roma según Viollet Le Duc⁶⁰

A pesar del uso de placas de vidrio en las aberturas de muros de algunas edificaciones, el acristalamiento era un recurso atípico en Roma, dada la suavidad del clima que permitía dejar desprotegidos los huecos al exterior, incluso en edificios de gran importancia, como ocurre en el Panteón. El cerramiento de los huecos solía hacerse eventualmente mediante cortinas, pieles de animales o papeles encerados, y, cuando se buscaba una solución permanente, se empleaban celosías de madera o placas de mármol translúcido⁴⁸.

Un mayor uso del vidrio romano fue factible por diferencias climáticas en edificaciones más al norte del litoral mediterráneo, lo que era viable dada la extensión del Imperio Romano que hacia el norte llegaba cerca de Escocia, aproximadamente a 60°N, por lo que las láminas de vidrio se fueron popularizando gradualmente como material constructivo.

En la Galia Romana, fue Lyon el centro de la industria del vidrio⁵⁷. En España también se introdujo su fabricación⁶¹, así como en la Britania Romana, en la que han sido descubiertas las ruinas de una fábrica de vidrio cerca de Warrington en el Lancashire⁵⁷, describiendo Thomas May en *Warrington Roman Remains*, un molde para la colada del vidrio: "Una gran piedra (60 x 50 cm x 15 cm de grueso) con un hueco rectangular (30 x 20 cm y 5 cm de profundidad) en una cara y un testero abiselado para permitir la apertura." En Wilderspool se han descubierto ocho o más hornos dobles de fundir y recalentar vidrio. L.M. Angus-Butterworth, presidente de la Ancient Monuments Society, en su tesis sobre "El Desarrollo de la Industria de vidrio en el Lancashire" expone lo siguiente "entre las cosas que hacen patente la evidencia de la fabricación romana de vidrio en Wilderspool tenemos el hallazgo de escorias de vidrio, mezcladas con colores verde azul y blanco, y parte de un crisol de material de color de ante: vasijas de vidrio con diversos matices en número superior a una gruesa, cuentas de vidrio y varillas retorcidas, así como vidrios de ventanas, ásperos por una cara y pulidos a fuego por la otra"⁵⁷.

Existen dos etapas en la fabricación del vidrio romano: la primera, en el primero y segundo siglo de nuestra era, en la que las placas tenían un espesor de 3 a 6 mm y coloraciones azuladas, verdes o cafés y la segunda, en el tercero y cuarto siglo, en la que el vidrio se había aclarado a una tonalidad verde agua⁵⁶, por lo que se cree que las ventanas eran estrechas y la luz al pasar por el vidrio debía ser fría, con matiz verdoso o azulado. El mayor vidrio romano conocido mide 3 pies, 8 pulgadas por 2 pies, 8 pulgadas (91.63 cm por 61.15 cm) y fue usado en los baños públicos de Pompeya⁵⁶.

Ante la caída del Imperio Romano Occidental en el siglo V de nuestra era, la fabricación y uso del vidrio decayó también. En Inglaterra, en los siglos V y VI la arquitectura, las artes y los oficios se eclipsaron, la edificación doméstica retrocedió a un nivel primitivo: chozas de zarzas y barro, cobertizos y torres cuadradas de madera en las fortificaciones representaban la realización sajona de la vivienda. Las ventanas eran agujeros para dar salida al humo, a menos que sus hojas de madera se

cerraran para proteger de la lluvia, la nieve o el viento. La fabricación del vidrio era un arte perdido⁵⁷.
(Fig. 1.3)

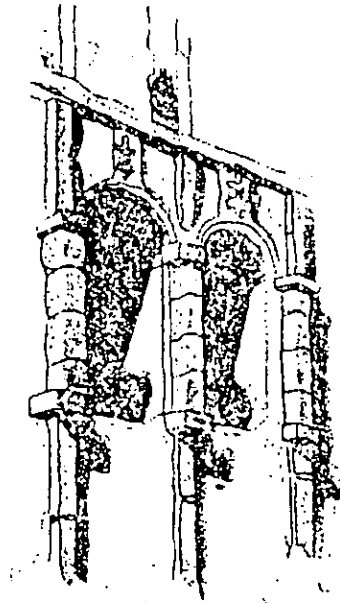


Fig.1.3. Ventana sajona de Earls Barton ⁵⁷.

1.3. El vidrio plano en las edificaciones religiosas de la Edad Media

Dos tipos de vidrio plano, diferentes al romano se tenían disponibles en la edad media, conocidos como vidrio de Lorena y vidrio Normando, utilizados principalmente en edificaciones religiosas.

Según Roger de Helmershausen, monje alemán del siglo XII, que bajo el seudónimo de Theophylus⁵⁶, informa en sus escritos que el vidrio de Lorena se obtenía de cilindros sopladados que se abrían, se recalentaban y se aplanaban, formando hojas rectangulares, también conocidas como "hojas de vidrio" o "vidrio alemán"; en cambio, el vidrio Normando se cortaba de discos y fue el antecesor del vidrio soplado "crown glass". El vidrio de Lorena tenía un tamaño mayor al Normando, pero con calidad inferior y se usó hasta finales del siglo XVII.

El método de producción del vidrio soplado llamado "crown glass", tuvo su origen posiblemente en Normandía según Theophylus, fabricado después en Inglaterra y de ahí al resto de Europa⁵⁶. El "crown glass" inicia su proceso al soplar a través de una caña en una pequeña porción de masa vítrea fundida, con la que se forma una esfera, que después se sustituye la caña por una barra de hierro o puntel y recalentándose el material se hace girar velozmente el puntel, de modo que la fuerza

centrífuga produzca un aplastamiento de la esfera hasta tener un disco de aproximadamente metro y medio de diámetro, de superficies brillantes, tersas y lisas, ya que el vidrio no ha estado en contacto con otro material en su fabricación, por lo que la calidad se consideraba buena, con el inconveniente del limitado tamaño de las piezas, que después del despiece eran pequeñas. Este método se mantuvo vigente hasta el siglo XIX⁴⁸.(Fig. 1.4)

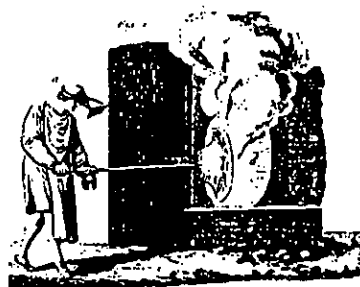


Fig. 1.4 Fabricación de vidrio "crown glass", 1800⁵⁶

1.3.1. El vidrio en las Iglesias Bizantinas.

El empleo perfeccionado del arco, bóveda y cúpula romanos caracterizan a la Arquitectura Bizantina y el vidrio inicia su uso en estas edificaciones religiosas. Los grandes espacios interiores de San Apolinar, en Ravenna (Fig. 1.5) y Santa Sofía, en Constantinopla (532-537) (Fig. 1.6) se desarrollan entre inmensos muros recubiertos en su interior con mármoles de distintas clases y mosaicos de vidrio, que representan escenas destinadas a instruir a los fieles en los dogmas religiosos⁴⁸. En el oscuro interior de los templos bizantinos, las superficies reflejan la luz que ingresa por los lucernarios de la cúpula a través de vidrio, tanto soplado como vaciado, o la mezcla de una delgada placa de mármol translúcido con vidrio, como en Santa Sofía⁵⁸, creándose una atmósfera resplandeciente en un ambiente interior en penumbra.

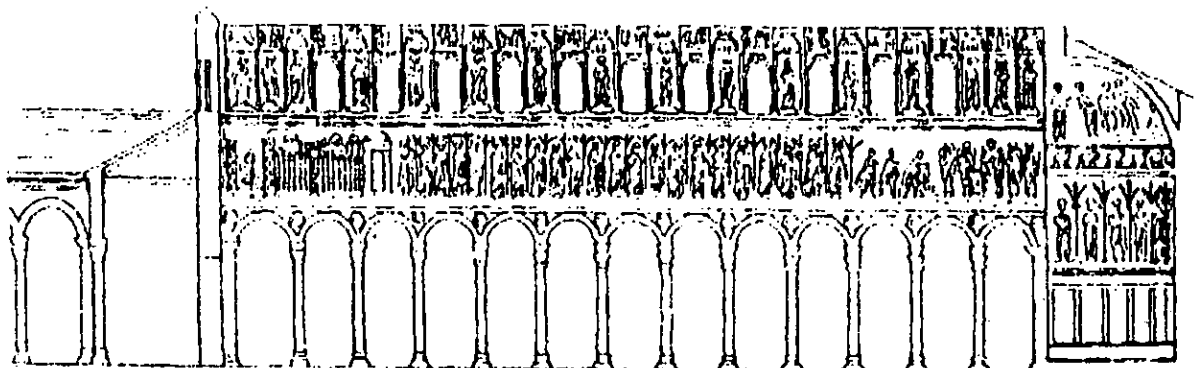


Fig. 1.5 Mosaicos de vidrio en San Apolinar, Ravenna.

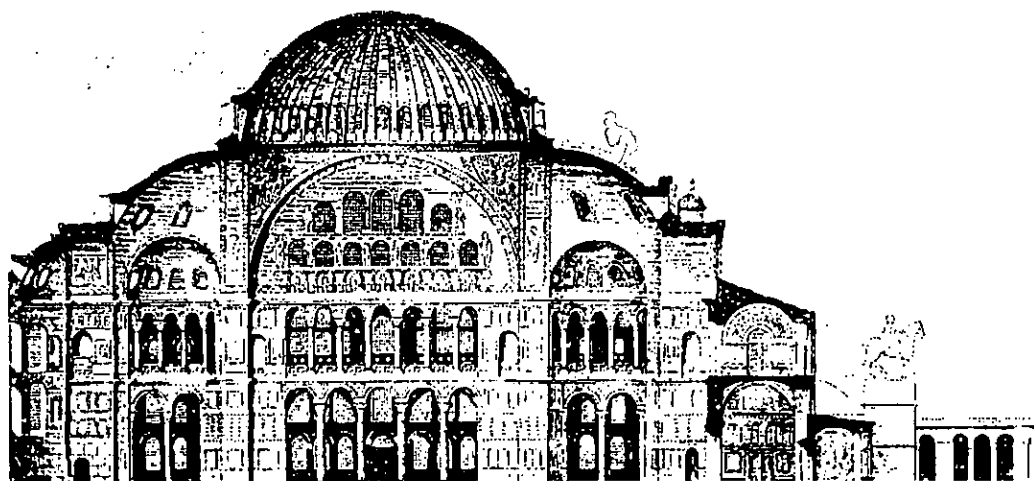


Fig. 1.6 Basílica de Santa Sofía, Constantinopla. (corte)¹¹⁴.

La reintroducción del vidrio en Inglaterra, en el siglo VIII sólo tuvo efecto en la edificación religiosa como las abadías y los prioratos que durante los siglos XI y XII pudieron tener vidriadas sus pequeñas ventanas con material importado de Francia, por lo que el vidrio comenzó a desempeñar un papel significativo en los edificios religiosos⁵⁷, principiando la técnica de las vidrieras posiblemente con el uso de pequeñas y delgadas placas de vidrio enmarcadas con tiras de plomo (Fig. 1.7).

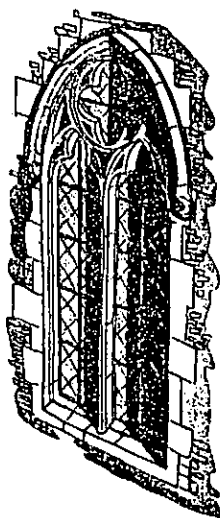


Fig. 1.7: Ventana con trozos de vidrio ensamblados con plomo⁵⁷.

La ventana doméstica continuaba siendo una abertura en la pared. La palabra inglesa "window" deriva del antiguo noruego "vindauga", que significa "ojo de viento", en inglés "wind-eye" y durante siglos se le llamó así o wind-hole; sus proporciones eran determinadas por la necesidad de protección, por lo que eran estrechas, a bastante altura y protegidas por hojas de madera⁵⁷, conocidas también como ventana ciega⁴⁹.

1.3.2. El vidrio de color en las Iglesias Góticas

En las Iglesias Románicas, tras la caída del Imperio Romano, las ventanas todavía carecen de importancia en las fachadas de los edificios religiosos y las que existían, en ocasiones presentaban una división central vertical, llamada mainel o parteluz, llamándosele ajimez a esta ventana y que podría ser antecedente de la tracería gótica⁵⁸ (Fig. 1.7).

La tendencia religiosa estaba centrada hacia la ornamentación más que a un equilibrio entre los huecos y macizos de la envolvente, ésto como herencia de la arquitectura del Imperio del Oriente, por ejemplo, las ventanas estrechas de medio punto, o la circular colocada en el centro del hostial que daba al occidente en las catedrales medievales, llamada oculus⁵⁸.

El desarrollo del vidrio coloreado y pintado ejerció una considerable influencia en la ornamentación de iglesias⁵⁷ y a las ventanas se les asignó una misión, similar a la de los mosaicos y pinturas en las iglesias Bizantinas, la de comunicar los misterios y dogmas a los fieles, quienes generalmente eran iletrados⁵⁷.

Los vitrales góticos fueron posibles porque los muros dejaron de ser elementos sustentantes, ya que las bóvedas y los contrafuertes eran los encargados de transmitir las cargas de la cubierta permitiendo con ello un alargamiento vertical, principalmente en las iglesias góticas de Alemania, Inglaterra (Fig.1.8), países Escandinavos y España. En Italia el estilo Gótico tiene una proporción menos alargada, más próxima al triángulo equilátero, más apegada a la tradición clásica⁶⁰.



Fig. 1.8 Catedral de Salisbury, Inglaterra(1220-1266)⁶³.

Al dejar de ser los muros elementos sustentantes, son sustituidos por la vidriería translúcida y policroma de los vitrales de las iglesias góticas, en las que los huecos dominan sobre los macizos⁴⁸.

Según Christian Barman, en su obra *Architecture*, la ventana medieval fue creada para predicar y expresar la verdad eterna, con una voz que ahoga a todos los sonidos de la naturaleza y de la sociedad. Su función es la de mostrar las cosas de forma que se vean y que nunca se olviden y a esta función se subordina toda la basílica⁵⁷ (Fig. 1.9).

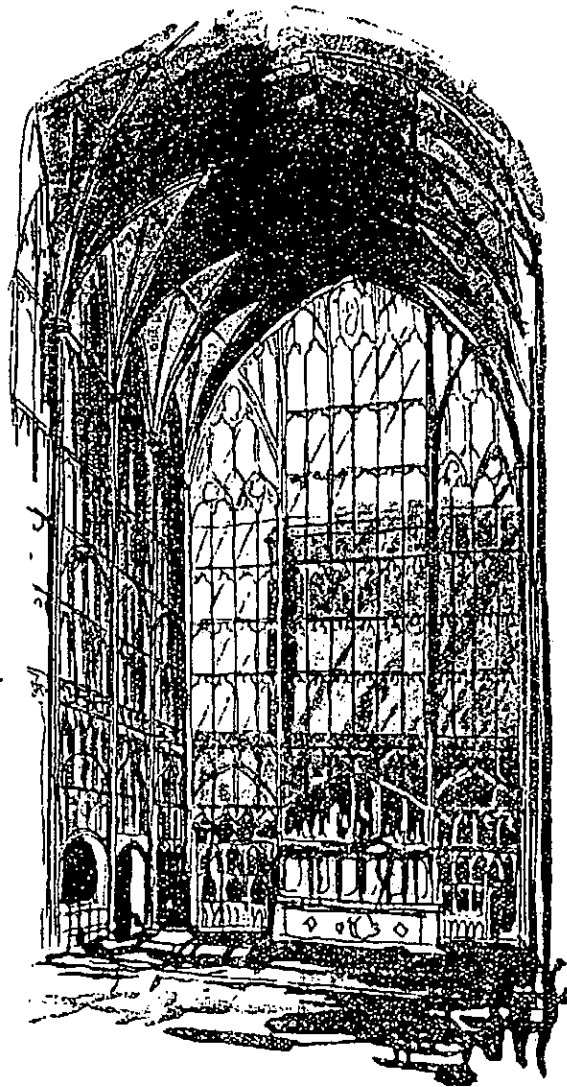


Fig. 1.9. La gran ventana oriental de la Catedral de Gloucester, Inglaterra⁵⁷

El vidrio utilizado en las iglesias góticas fué principalmente "crown-glass" así como el plano, a partir de la ampolla del soplado y debido a su alto precio continuó siendo de uso casi exclusivo en las edificaciones religiosas. Al principio del Gótico el vidrio de color era grueso, sustituido después por otro más delgado, translúcido y de color menos intenso, siendo incoloro en el Gótico tardío⁵⁸.

1.4 El vidrio plano en las edificaciones civiles.

En esta sección se muestra cómo después de la evolución por el uso del vidrio en la envolvente de las edificaciones religiosas inicia la evolución de la misma y por el mismo motivo en las edificaciones civiles, primero en el Renacimiento, con un fuerte impulso en la Revolución Industrial y por avances en la tecnología en el Siglo XX.

1.4.1 El Renacimiento y el incremento de la superficie acristalada en la envolvente.

Durante la Edad Media el número de ciudades aumentó de forma impresionante: en Francia se fundaron entre el año 1220 y el 1350 alrededor de 300 y se estima que a lo largo de cuatro siglos (1000-1400) se fundaron en Alemania 2,500 ciudades. La población aumentó también e incluso llegó a duplicarse, en Francia, Inglaterra e Italia⁶².

La Peste Negra, epidemia que atacó Europa durante el siglo XIV tuvo efectos catastróficos, ya que no sólo frenó el crecimiento demográfico, sino que produjo la muerte de un tercio de la población total, afectando a todas las clases sociales. Los ciudadanos repudiaron al gobierno democrático y clerical y gradualmente numerosas instituciones medievales se desmoronaron, incluso la Iglesia Universal que vendía indulgencias⁶².

Para el siglo XIV, el sistema defensivo medieval era obsoleto. El uso de la pólvora como explosivo tuvo tal desarrollo, que las murallas defensivas medievales se convirtieron en elementos inútiles (Fig.1.10).

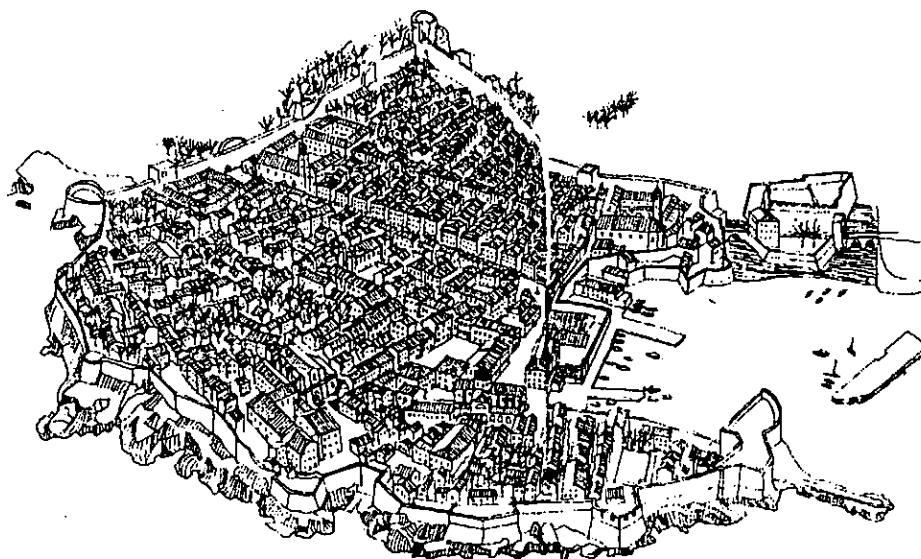


Fig. 1.10 Ragusa, hoy Dubronik. siglo. XII ⁶²

Durante el siglo XV se produjo un resurgimiento de las influencias clásicas en las artes y la literatura, además de un fermento intelectual que dió origen a los comienzos de la ciencia moderna⁶² y a este movimiento posteriormente se le denominó renacentista. Uno de los intereses que lo impulsaron fué el Humanismo, que se caracterizó por centrar tendencias intelectuales y filosóficas en el hombre, en su estudio y desarrollo⁶⁰. Italia vuelve a constituirse en guía cultural de Europa, al convertirse en el principal refugio de los eruditos greco-bizantinos, aún antes de la caída de Constantinopla en 1453. Los artistas del Renacimiento vuelven al arte de la Antigüedad y tal revitalización de los antiguos principios da lugar a una arquitectura opuesta al Gótico, con cuerpos claramente conformados, valores de superficie y articulaciones que imitan lo antiguo⁶³.

En el período renacentista no se construyeron muchas poblaciones nuevas, pero sí comenzaron las actividades de reconstrucción y extensión de las ya existentes y los principios de planificación consideraban: 1º amplias avenidas y calles rectas con vistas, 2º la trama urbana en forma de tablero de ajedrez, típica de las ciudades antiguas y 3º el frecuente uso de plazas o grupos de estas últimas, no meramente como lugares monumentales, mercados o de tráfico específico, sino también con un carácter doméstico o residencial⁶².

Los edificios civiles presentaron un gran avance con respecto a los religiosos⁶⁰. Los castillos medievales se transforman en edificaciones de carácter estratégico-militar o en palacios⁴⁹, ya que los príncipes de la época, mecenas y cultores de la investigación artística crean moradas fastuosas⁶⁰, y las diferentes clases de ciudadanos comenzaron a organizarse: las familias de la clase media se instalaron detrás de las fachadas, que colectivamente semejaban palacios reales; si una persona no podía afrontar económicamente la vida de un palacio, lo mejor era vivir en un sector de casas en hilera que pareciera un palacio. El individualismo medieval expresado en las pintorescas viviendas con cubierta a dos aguas se convirtió en casa del pasado⁶².

Asimismo, surge la necesidad de confort en el interior de las edificaciones: mayor iluminación natural, control térmico, baños, comunicación visual a terrazas y jardines y es en la solución a esta necesidad donde surge la ventana doble, la antigua ventana ciega acompañada de la ventana con vidrio⁴⁹, que permite tanto la iluminación natural como el control térmico y es símbolo de status, asociado a mejor confort en el interior.

Al despertar el interés por las formas clásicas, hubo un retorno al concepto de muro de carga, pero un muro animado por elementos decorativos como las ventanas, cuya escala y organización se fundaran en las leyes de la razón humana⁵⁸, esto, en contraste directo con el estilo gótico.

En Inglaterra, el desarrollo de la ventana doméstica fue fomentada por el suministro de vidrio, cuya transparencia dejaba bastante que desear, además de que se producía en piezas de pequeño

formato, haciendo necesario el empleo de entramado de plomo o elementos divisorios de madera, que reducían el paso de luz, por lo que era común soluciones como el abocinar las jambas y los marcos de madera para facilitar la captación de luz o el diseño de miradores o cuerpos volados⁴⁸(Fig. 1.11).

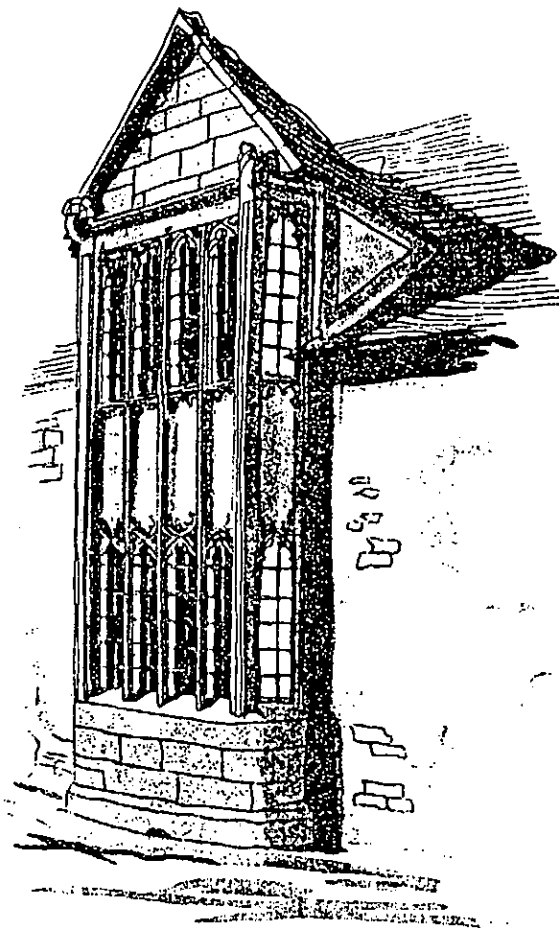


Fig. 1.11 Mirador abarcando dos pisos de la casa de Sir. William Grevel en Chipping C. Finales del siglo XIV.⁵⁶

El perfeccionamiento de las técnicas de fabricación masiva de vidrio plano, con una mayor transparencia permitió el disfrute de vistas al exterior, así como el de una mayor iluminación al interior del espacio habitable, lo que era más necesario en el Norte de Europa que en el Sur, por latitud, e indujo a la corrección de la altura del alféizar, rebajándola⁴⁸, por lo que la disciplina purista propuesta por el Renacimiento admitiría adaptaciones a las condiciones particulares en las diferentes regiones.

La proporción del hueco de la ventana en relación con el macizo aumentaría progresivamente hasta minimizar la presencia de este último⁴⁸, las ventanas empezaron a "comerse" a las paredes, tanto de las casas rurales como las de los palacios, lo mismo que antes habían hecho con los muros de las iglesias. Los parteluces de madera o de piedra se adelgazaron, la técnica de vidriería se perfeccionó,

el emplomado de las vidrierías formaba un dibujo geométrico regular de pequeños rombos, en ocasiones animado con vidrio de color, escudos o emblemas heráldicos⁵⁷ (Fig. 1.12).

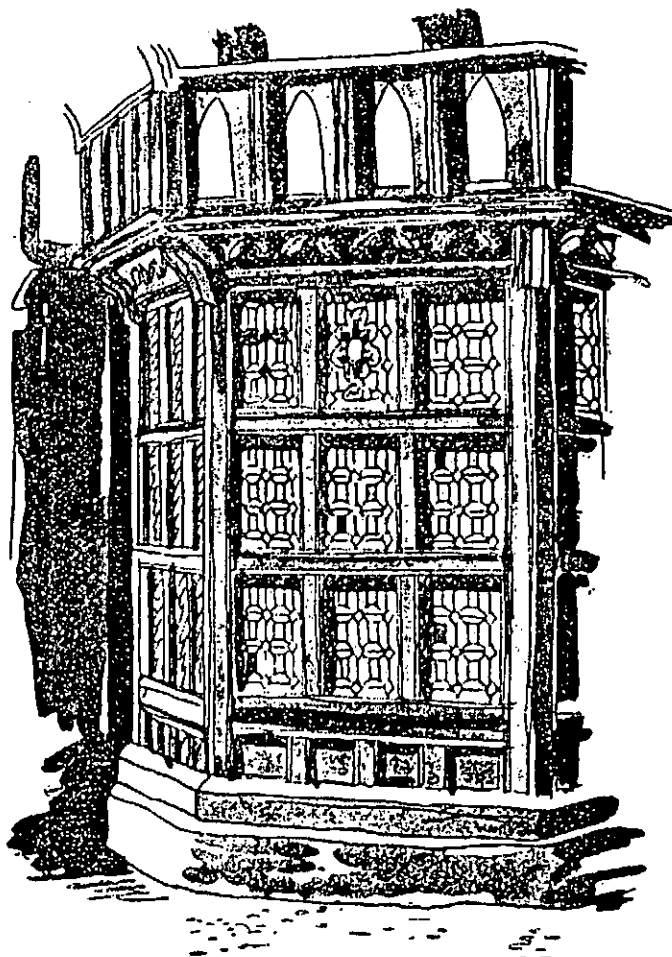


Fig. 1.12 Ejemplo de vidrieras con motivos heráldicos de mediados del siglo XVI (1559) en un mirador del Moreton Hall de Congleton, Cheshire.⁵⁷

Con el perfeccionamiento de la fabricación de vidrio de ventanas aumentaron los formatos y en los comienzos del siglo XVII apareció otro modelo de ventana, con bastidores rectangulares dobles, uno encima de otro, antecedente de un tipo de ventana que llegó a ser el más corriente en la edificación un siglo después. Esta ventana de dos bastidores llevaba suspensión para la apertura de las hojas, permitiendo una rudimentaria ventilación y regulación de la temperatura de la habitación, antecedente de la ventana de guillotina.

A fines del siglo XVII, en Inglaterra aparece la ventana de guillotina, en sustitución de la ventana con hojas colgadas de goznes en la piedra⁵⁷, aunque se considera que era ya conocida desde el siglo XVI y probablemente originaria de Holanda⁵⁶ (Fig. 1.13).

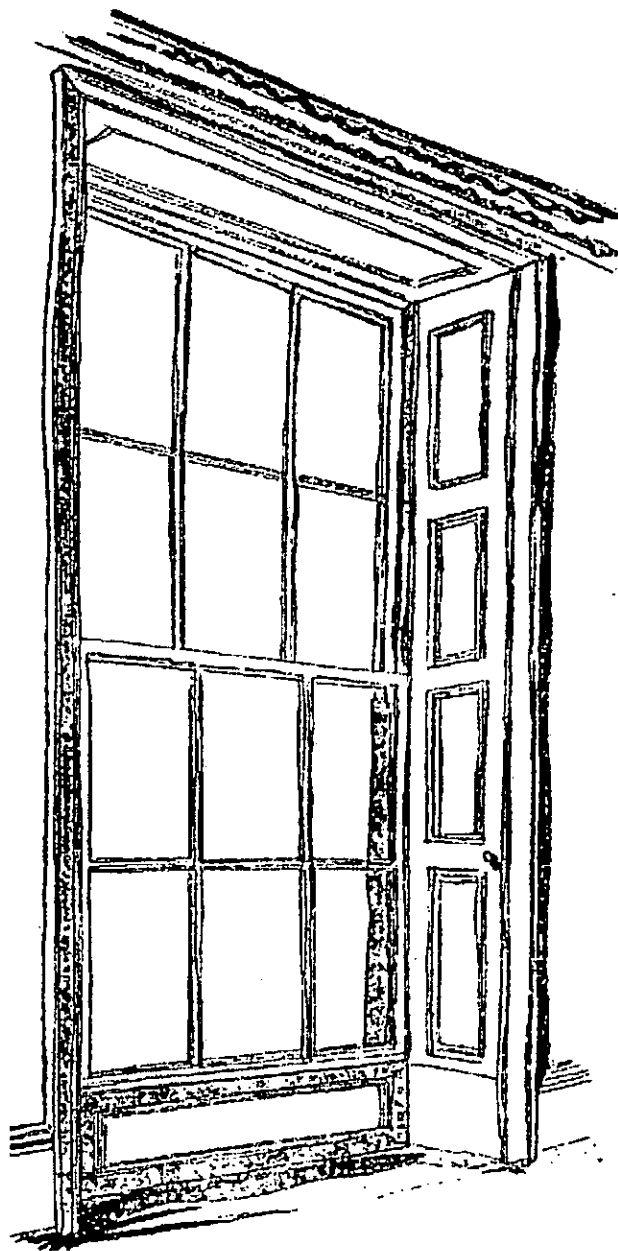


Fig. 1.13 Ventana de guillotina, fines del siglo XVII⁵⁷

En Inglaterra, en 1697 se establece un impuesto a las ventanas de 5 libras esterlinas por año a las casas que tuvieran más de seis. Este impuesto frenó el número de ellas, pero no su diseño, ya que se refería al número, pero no a su superficie, por lo que las ventanas de la planta baja se hicieron altas, comprendiendo desde el zócalo hasta la cornisa. Los miradores volvieron a popularizarse y abarcaban dos y hasta tres pisos⁵⁷.

En el siglo XVII, Bernard Perrot inventa un método para fabricar vidrio plano vertiendo la masa vítrea fundida en un molde, que después es desarrollado por Luois Lucas de Nehou en Francia, entre 1688 y 1702⁵⁶ (Fig. 1.14).

A partir del invento de Perrot⁵⁶ los franceses lograron fabricar planchas de vidrio vertiendo la masa fundida en grandes mesas metálicas, que aplanaban con un rodillo, obteniendo vidrio de gran tamaño, aunque el acabado de las superficies era burdo y requería esmerilado y pulido final con arena y agua⁴⁸ lo que incrementaba su costo (Fig.1.15).

En Inglaterra, a partir de fines del siglo XVII, el vidrio en formato grande estuvo disponible, pero por el alto costo se utilizaba generalmente en espejos y ventanillas de carruajes particulares. En 1773 la British Cast Plate Glass Company estableció en Ravenhead la producción de vidrio plano en grandes planchas con la técnica francesa⁵⁶.

En las edificaciones el uso del vidrio "crown glass" fué preferido al de las grandes planchas, ya que era considerado de buena calidad, tanto en su acabado como en permitir el paso de luz.



Fig. 1.14 El primer método de fabricación de vidrio plano como fluido en movimiento 1688-1702⁵⁶.



Fig. 1.15 Pulido de vidrio plano 1688-1702⁵⁶

El desarrollo de la manufactura del vidrio, a formato mayor hizo innecesario el uso de las baquetillas o molduras en las ventanas, pues cada ventana podía cubrirse con sólo un cristal; sin embargo, los arquitectos victorianos las siguieron considerando por norma y a fines del siglo XVIII las ventanas se diseñaban de acuerdo a las antiguas proporciones clásicas de las ventanas del renacimiento⁵⁷, movimiento conocido como Neoclásico, surgido como reacción al Barroco y que duraría hasta el siglo XIX⁶³.

1.4.2. La Revolución Industrial y el inicio del uso extensivo de vidrio plano en la envolvente.

En el siglo XIX, entran en uso innovadores materiales de construcción. El ladrillo y la piedra son sustituidos por el hierro y el concreto armado. Las primeras obras, realizadas con los nuevos materiales conservan las formas tradicionales: las columnas de hierro colado son estriadas y rematan en capiteles⁶⁰, con función decorativa.

Hacia el año de 1825, el auge de la producción industrial, aunado a las reformas agrarias y sociales hicieron que el Reino Unido viviese antes que otro país una espectacular situación de prosperidad, con lo que se produjo un aparatoso aumento demográfico, concentrado en torno a los nuevos centros fabriles. La necesidad de alojamiento masivo, así como la expansión del ferrocarril indujo a una frenética actividad constructora que repercutiría en la demanda de vidrio para acristalar⁴⁸, demanda intensificada además por otros factores como las reformas sanitarias, que declararon que las ventanas en la vivienda eran sinónimo de salud, motivo por el que se elimina en la década de 1840 el impuesto que gravaba al vidrio, lo que reduce su costo a la mitad y en la siguiente década se suprime el impuesto que gravaba a las ventanas; además, por sustitución energética de combustible en los procesos de producción, disminuye aún más el costo del vidrio, haciéndolo accesible a todos, con lo que deja de ser considerado artículo de lujo o símbolo de status⁴⁸.

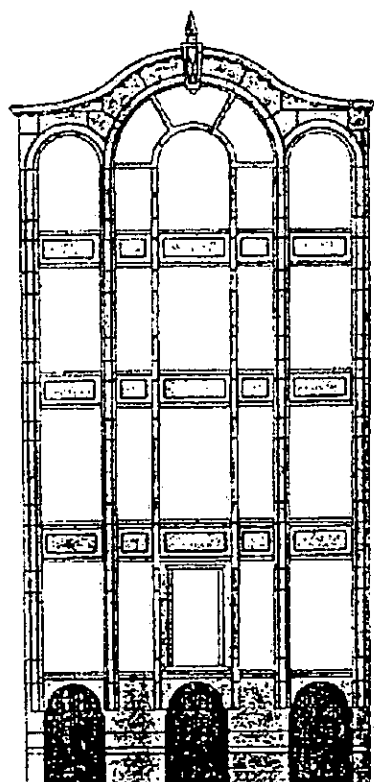
Junto a la manufactura del hierro aumenta la producción de vidrio tanto en cantidad como en el tamaño de las láminas. Hierro y vidrio se complementan de manera ideal constituyendo construcciones ligeras y diáfanos construcciones. En el siglo XIX se configura una nueva arquitectura del hierro y el vidrio en los nuevos tipos de naves para estaciones de ferrocarril, mercados, exposiciones, grandes almacenes y galerías comerciales, alcanzando su punto más alto en los edificios para las Exposiciones Universales.⁶³

En el siglo XIX, el vidrio "crown glass" tenía más calidad que los vidrios de grandes planchas y el de Lorena, y por éllo preferido para las ventanas de las mejores casas en Inglaterra; y es en este

ambiente en el que surge el sucesor del "crown glass", el vidrio cilindrado⁵⁶, proceso introducido a Inglaterra en 1832 por Robert Lucas Chance, quien en 1851 proporcionó aproximadamente un millón de pies cuadrados para el Crystal Palace de J. Paxton. El proceso del cilindrado en su inicio es similar al del "crown glass", formándose en lugar de una esfera un cilindro de vidrio de aproximadamente 10 pies de profundidad, con un diámetro menor que la profundidad, que es abierto y aplanado después de ser recalentado. El inconveniente de este proceso era su limitado tamaño en las hojas y fué utilizado hasta el año de 1930.

El Palacio de Cristal de Londres, edificado por Joseph Paxton en 1851^{48, 63}, para la Gran Exhibición en Londres, fué una construcción-esqueleto, montada a base de pocos elementos prefabricados en grandes series. Los exactos retículos de la planta y el alzado forman un sistema tridimensional de coordenadas con numerosos puntos de construcción iguales. Su precisión corresponde a las normas de construcción de máquinas y posibilita el rápido acabado de edificaciones como las fábricas, con desmontaje y montaje posterior en otro lugar, resolviendo en 1851 los problemas típicos de la moderna edificación en serie, la organización racional del solar y la variable distribución del edificio para programas cambiantes⁶³.

El esquema construcción-esqueleto del Palacio de Cristal se aproxima también al esquema del edificio industrial y al almacén, ya que debido a su función, se requiere de ventanas en las fachadas, logradas a través de la transparencia de los esqueletos de hierro fundido en columnas, como la Fábrica de chocolates Menier, considerada como la primera construcción-esqueleto férrea en su totalidad, así como también los Almacenes Liverpool⁶³ (Fig. 1.16).



P. Ellis: Almacenes.
Liverpool, 1866

Fig. 1.16. Almacenes Liverpool, 1866⁶³

El efecto invernadero, al utilizarse el vidrio en la envolvente, había sido aprovechado en cultivos desde el siglo XVII y fué retomado en el siglo XIX para crear ambientes en los que era posible convivir socialmente bajo grandes espacios construidos con estructura de hierro y cubiertos totalmente con vidrio, conocidos como Jardines de Invierno⁴⁸ (Fig. 1.17).

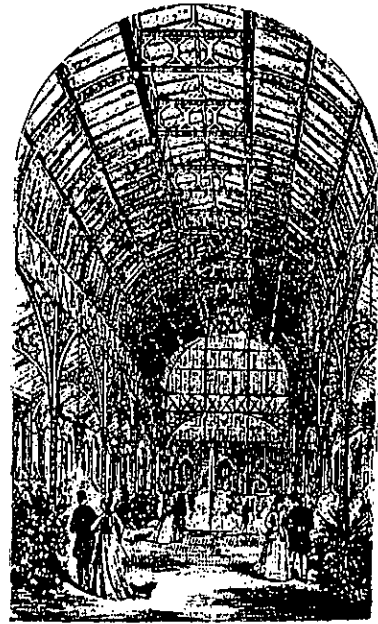


Fig.1.17. Jardines de Invierno –interior– (1866)⁵⁶.

Edificaciones como El Palacio de Cristal de Londres señalaron con su estructura técnica y racional una transición en la arquitectura, ya que Paxton anticipa, analizándolos y combinándolos, los métodos de la nueva tecnología, obteniendo una nueva arquitectura estructural que se impone lentamente al historicismo⁶³ y es ése, el mismo principio con el que se construyeron los jardines de invierno, las estaciones de ferrocarril, los pabellones de exposiciones y los museos (Fig.1.18)⁴⁸.

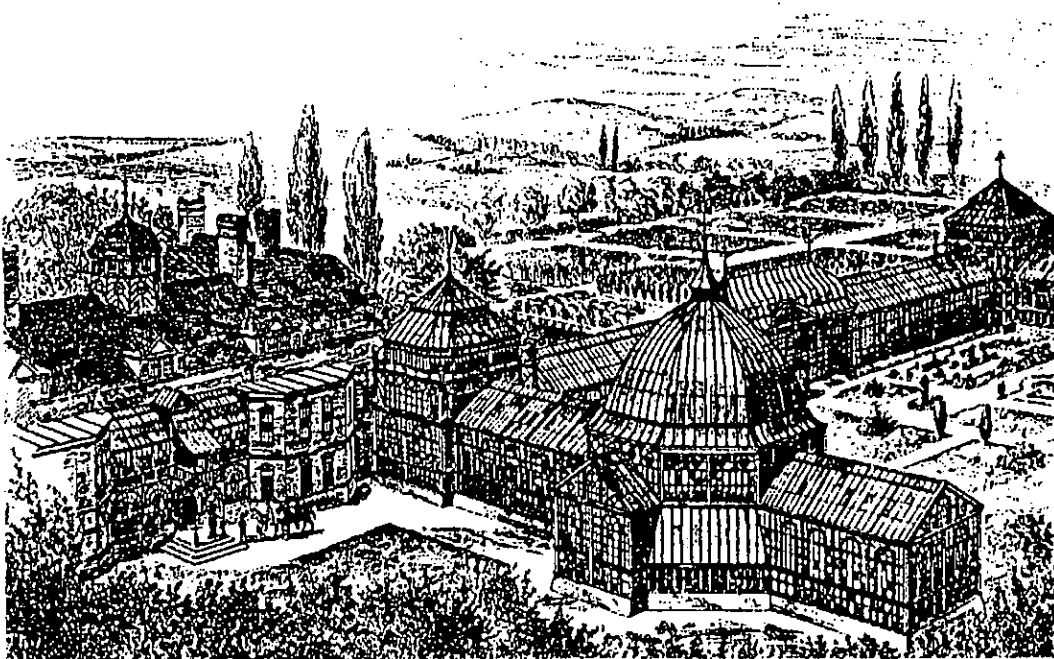


Fig. 1.18 Jardines de Invierno –exterior- (1880)⁵⁶.

La construcción estructural trata de conseguir la expresión artística por la unidad de material, construcción y forma, lo que deja poco lugar a reflexiones artísticas. La forma debe poner de manifiesto lo esencial sin ningún efecto decorativo, como Sullivan la definió en 1896: "la forma sigue siempre a la función, y ésta es la ley"⁶³, ésto es, la función determina la forma.

1.4.3. Siglo XX, uso extensivo e intensivo de vidrio plano en lámina continua.

En el siglo XIX se logra una comunicación visual con el exterior, a través de estructuras-esqueleto como los palacios de cristal, pero esta integración entre el espacio interior y el exterior se puede considerar reducida, en cuanto al parámetro tiempo, porque la función del lugar sólo permitía estancias eventuales y cortas en duración.

A principios del siglo XX, el Arq. Frank Lloyd Wright ya buscaba la integración del espacio interior con el exterior, al proponer la construcción de casas como en la Arquitectura Japonesa, a través de envolventes transparentes⁴⁸. Esta propuesta contemplaba la posibilidad del uso del vidrio en edificaciones en las que la permanencia en ellas es mayor en tiempo que en las del siglo XIX, al ser espacios laborales o habitacionales (Fig.1.19).

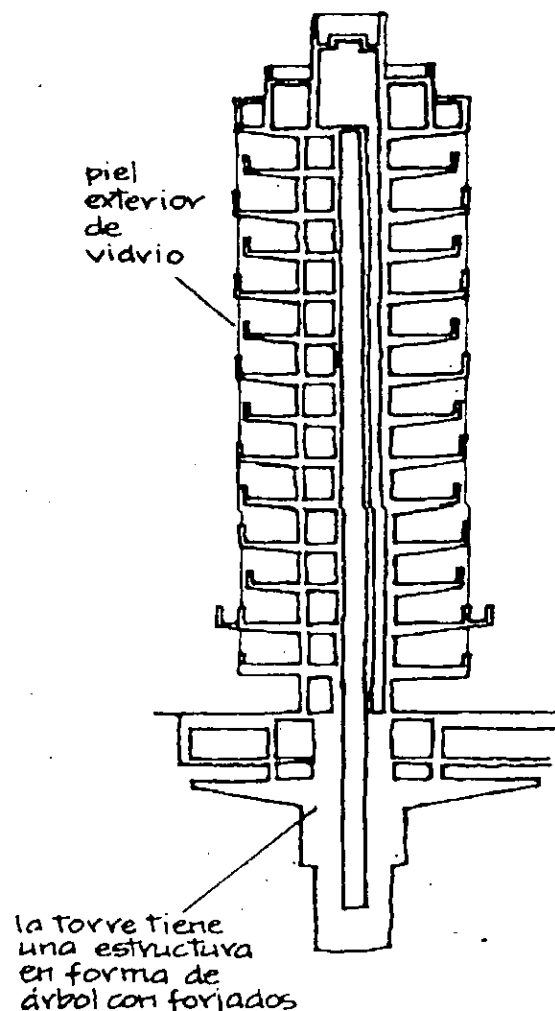
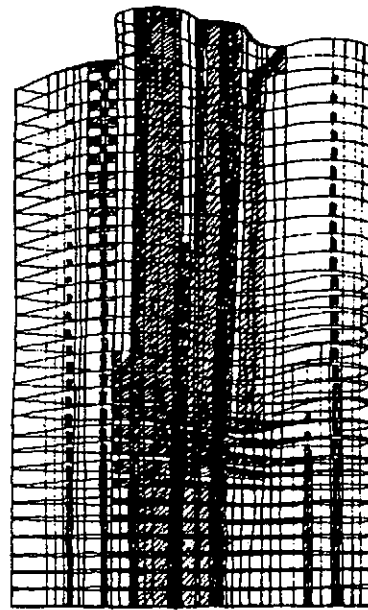


Fig.1.19 Edificación para la Johnson Wax en Racine, 1938, obra de Wright¹¹³.

En 1919 Mies Van der Rohe haría la sugerencia del uso del vidrio como tratamiento general de las fachadas en el proyecto presentado para la construcción de un edificio de oficinas en Berlín, que consistía en una torre, completamente revestida de vidrio y cuya continuidad no se veía interrumpida por elementos estructurales¹¹³ (Fig.1.20).



Proyecto de un rascacielos de cristal (1919)

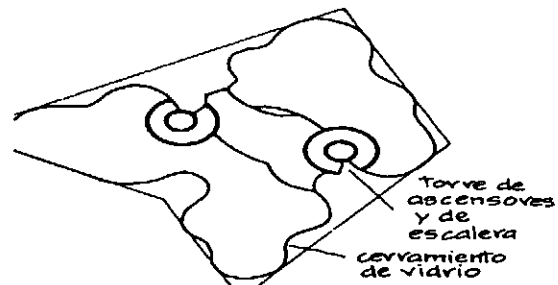


Fig. 1.20 Proyecto de un rascacielos de cristal en 1919, de Mies van der Rohe¹¹³

En 1922 el Arq. Le Corbusier presentó el proyecto de una ciudad contemporánea para tres millones de habitantes, donde las altas edificaciones mostraban muro-cortina de cristal⁶⁴ (Fig.1.21).

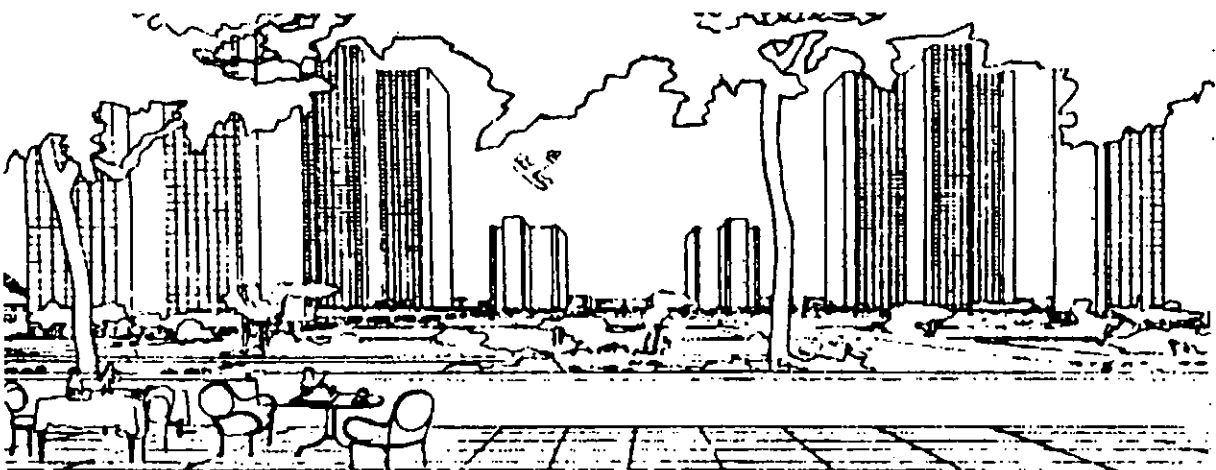


Fig.1.21 Le Corbusier. Ciudad contemporánea para tres millones de habitantes.

Mies van der Rohe mostró la propuesta de una "casa sin muros" en el Pabellón Alemán de la Exposición Universal en Barcelona, en el año de 1929; y en su casa Farnsworth, en 1950 utilizó grandes láminas de vidrio claro para el cerramiento⁴⁸.

El vidrio estaba integrándose a las edificaciones⁵⁹ en las que la humanidad permanece en forma cotidiana y la propuesta era lógica, ya que es en este siglo cuando el vidrio llega a ser más barato que en épocas anteriores, con mejor calidad, y de mayor tamaño, representando una solución práctica y económica a muchas edificaciones, además de la posibilidad de convertirse en símbolo de modernidad y progreso.

Para que los proyectos de edificios con muro-cortina de los Arquitectos Lloyd Wright, Mies Van der Rohe y Le Corbusier fuesen una realidad habrían de pasar más de cincuenta años, ya que era necesario resolver antes dificultades técnicas en la construcción como el ocultamiento de la estructura, el soporte de las grandes láminas de vidrio para que la estructura portante no fuera en sí una estructura secundaria visible y dar solución a las uniones.

En este siglo la evolución del vidrio para envolvente se vió acelerada tanto en los procesos de producción como en su uso, lográndose desde principios de siglo que las láminas fuesen continuas y de tamaño relativamente grande. A mediados de siglo se contaba con una mejoría en la calidad, por mejoría en el pulido, así como formatos mayores, de diferentes espesores y a precios reducidos. A partir de la segunda mitad de este siglo inició la producción de vidrios con diferentes objetivos, que es la etapa en la que nos encontramos y cuya diversidad ya es considerable.

En la evolución de la producción han participado diferentes procesos: el primero de ellos, el desarrollado por Fourcault en Bélgica, patentado en 1904 y que iniciara su fabricación comercial a partir de 1913⁵⁶. En este proceso se jala la lámina de la masa fundida 40 pies hacia arriba (12 m.), dependiendo el espesor del vidrio de la temperatura y de la velocidad de la masa y el ancho obtenido en las piezas era de 75 a 90 pulgadas (1.8 a 2.2 m)⁵⁶.

El proceso Colburn ó Libbey-Owens, patentado en 1905, casi en forma simultánea al Fourcault difiere de éste en que el ancho de la lámina lo determina el ancho de los rodillos por donde pasa la masa viscosa y en que el jalado de la masa es primero en sentido vertical y después horizontal, así como que el vidrio carece de la brillantez del logrado en el proceso anterior⁵⁶.

El proceso Pittsburg mejoró en parte a los procesos Fourcault y Colburn, jalando la lámina directamente de la masa fundida en sentido vertical, con enfriamiento controlado por aire, pero presentaba una distorsión en la visión a través de él⁵⁶.

Después de la primera guerra mundial, numerosos procesos se introdujeron, el primero fué el Bicheroux, que hace pasar la masa fundida entre dos rodillos, formándose una lámina continua y circulando ésta sobre rodillos con una inclinación descendente. Este proceso fue desarrollado y modificado posteriormente por la Ford Motor Co., con la finalidad de mejorarlo, lo que lograría la Cia. Pilkington 30 años después, al obtener vidrio plano de todos tamaños y espesores directamente del tanque de fundición⁵⁶.

Los procesos de producción de vidrio plano para envolverte han evolucionado con más rapidez por estar vinculado el uso del vidrio plano con la industria automotriz y tener ésta requerimientos más específicos a cubrir.

La siguiente mejora a los procesos fué en el pulido, que pasó de ser manual a automática, primero a cada una de las caras y después a las dos en forma simultánea.

En 1952 Alastair Pilkington hizo flotar la masa líquida de vidrio sobre metal fundido, estableciendo una planta en pequeña escala, con el objetivo de obtener superficies brillantes como las que se logran cuando se flamean las mismas para pulirlas, además de que cuando un líquido flota sobre otro de mayor densidad, el superior presenta superficies más paralelas, y a partir de 1955 se logra producir vidrio con un ancho de 100 pulgadas (2.44 m)⁵⁶.

El proceso de flotado se divide en tres secciones: en la primera se causa paralelismo; en la segunda el vidrio recibe un pulido flameado y en la tercera el vidrio es enfriado en forma controlada para su endurecimiento y conducido a la banda de rodillos donde se termina de enfriar, para ser lavado, inspeccionado, cortado y embarcado⁵⁰ (Fig. 1.22).

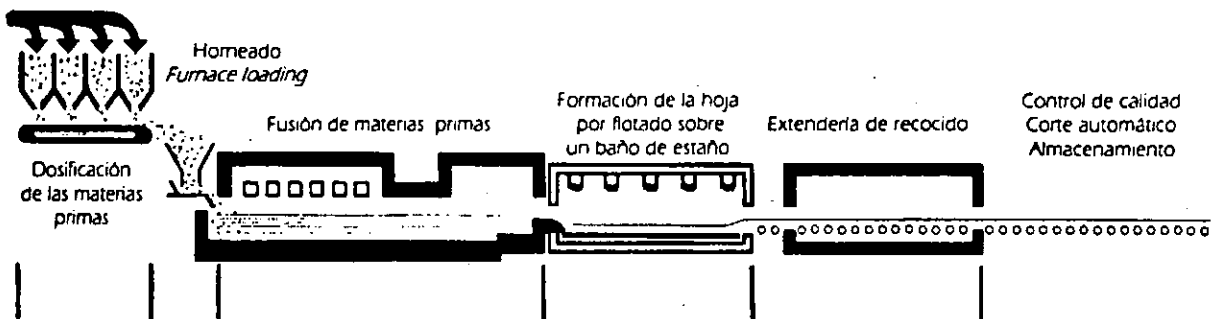


Fig. 1.22 Proceso de fabricación del vidrio flotado.

El vidrio plano pulido está siendo reemplazado por el vidrio flotado, ya que además de tener mejor calidad, su costo es menor.

Como se ha visto en la evolución de la producción del vidrio, desde la primera mitad del siglo XX, se disponía de grandes láminas de vidrio, pero éstas sólo podían ser utilizadas en cancelería, tanto para sostenerlas como para resistir la presión del viento en la fachada⁴⁸ y eran tan gruesos los soportes que constituían en sí un entramado no deseable.

Solucionar la unión entre los vidrios, o éstos con otros materiales que presentan diferencias en su dilatación ante cambios térmicos es indispensable para la posibilidad del uso de climatización, y compensar así las ganancias o pérdidas térmicas. La solución fué el uso de las juntas de caucho y neopreno y al aparecer el silicón en los años sesentas fué posible tener uniones casi invisibles.

Considerando los problemas a resolver en la estructura portante y en la estanqueidad, es comprensible que el modelo propuesto por Mies van der Rohe en 1919 para el edificio de oficinas en Berlín tardase tanto tiempo en ser una realidad. Más de cincuenta años después, en 1975, Foster Associates realizarían el edificio Willis Faber y Dumas, totalmente revestido de vidrio, y cuya continuidad no se ve interrumpida por elementos estructurales, tal como lo había propuesto Mies van der Rohe.

En edificios como el de Willis, Faber y Dumas el concepto es la integración del diseño y la tecnología, y este concepto pertenece a la corriente que en Arquitectura se conoce como "High Tech", en la que el componente técnico es la base de la expresión de la edificación. Norman Foster, su constructor diseña y construye después el Centro de Arte Sansbury, en la Universidad de East Anglia, en el que el diseño se basa en la lógica del control climático ambiental en el interior, revestimiento a base de vidrio y paneles "sándwich" desmontables en el exterior; y debido al empleo del acero y el vidrio se establece una relación más estrecha entre el espacio interior y el exterior, que permiten contemplar sin obstáculos visuales el exterior desde el interior.

El Centro de arte Sansbury y el edificio Willis Faber y Dumas están consideradas como representantes de la corriente arquitectónica⁶⁴ "High Tech", también llamada postmoderna. Las oficinas de la compañía de seguros Lloyd en Leadenhall Street, Londres, de Richard Rogers es el ejemplo más popular en Inglaterra de la arquitectura "High Tech"⁶⁵ (Fig. 1.23), y en París, lo es el Centro de Artes Georges Pompidou de Richard Rogers y Enzo Piano⁴⁸.

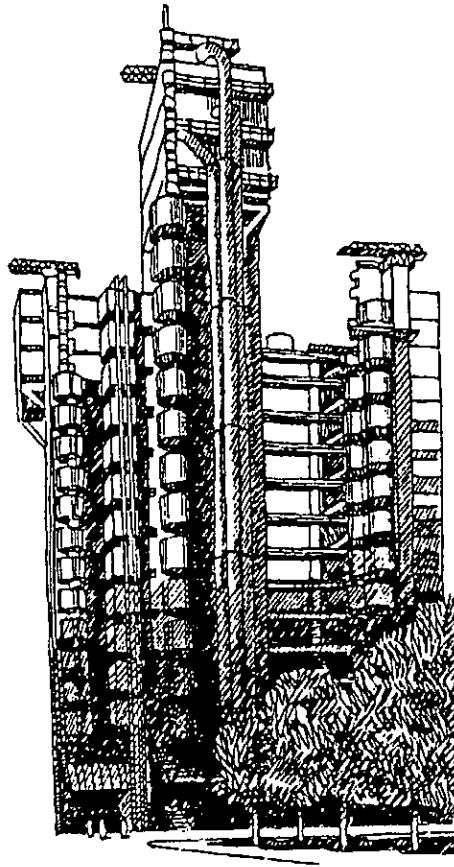


Fig. 1.23 Oficina del Lloyd, en Londres, de Richard Rogers¹¹³.

El estilo "High Tech", también puede verse en edificaciones relacionadas con actividades académicas como en el Centro de Investigación Schlumberger, de Michael y Patty Hopkins, en Cambridge, Inglaterra⁶⁵. (Fig. 1.24)

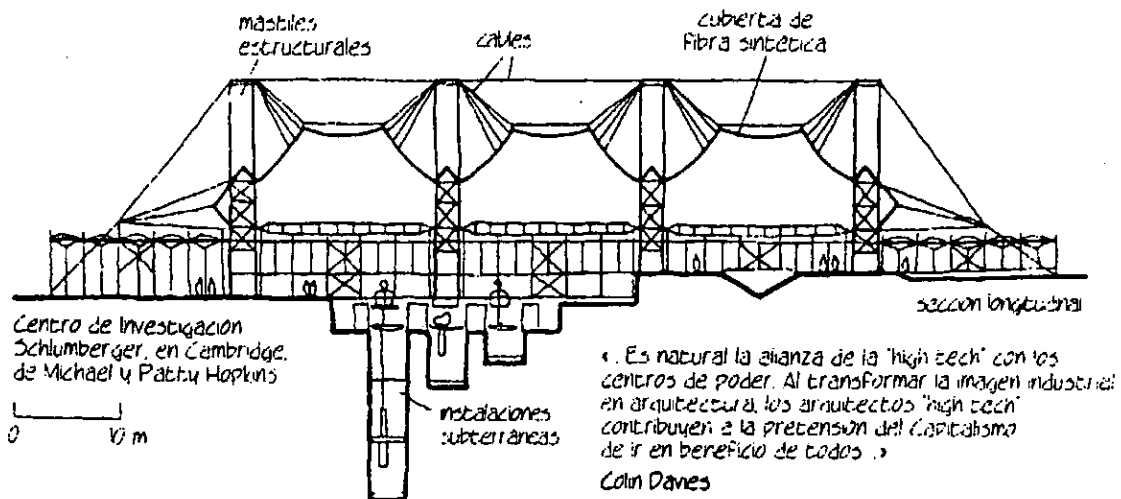


Fig. 1.24 Centro de Investigación Schlumberger, en Cambridge, Inglaterra⁶⁵.

La Arquitectura "High Tech" ha sido muy discutida y criticada, sin embargo, es símbolo de éxito comercial y modernidad²⁷, por lo que no sólo se construyen edificios con este concepto, sino que se rehabilitan algunos de los sesenta⁶⁵, no sólo para alojar instalaciones imprescindibles como el equipo electrónico, sino también para presentar nuevas fachadas "High tech", como en el Rank Xerox en Euston Road de Londres⁶⁵.

La arquitectura "High Tech" surgió como una corriente de rechazo a lo establecido: al poder que indicaba qué y cómo la arquitectura debía diseñar y construir, sin embargo, sus clientes están vinculados también al poder y la autoridad, y son quienes poseen los mejores ejemplos de este estilo y no podría ser de otra manera. Las edificaciones tienen un costo elevado: controles climáticos electrónicos, materiales caros, mantenimiento constante, alto consumo de energía, etc, por lo que sólo a clientes con recursos económicos considerables les era posible cubrir tal costo. Al representar este estilo la modernidad y el progreso, se observa en las ciudades de todo el mundo edificaciones que en su envolvente cuentan con un alto porcentaje de cristal.

Las edificaciones con grandes superficies acristaladas presentan transferencia de calor importante a través del vidrio, por lo que el uso de climatización fué indispensable; pero tal estrategia no fué la solución perfecta, debido a su alto costo en el equipo, su instalación y el consumo de energía en el funcionamiento, así como el impacto ambiental por el aporte de gases contaminantes.

Para disminuir la transferencia térmica a través del vidrio en la envolvente, la tecnología ha fabricado productos diversos como los que absorben calor, los que reflejan radiación o los que presentan un retardo térmico a través de una cámara de gas; de los que se proporcionará información sobre sus propiedades en los capítulos dos y tres de este trabajo.

1.5. Conclusiones.

El vidrio, desde el inicio de su uso como material de construcción en la envolvente de las edificaciones, no sólo permaneció como tal, sino que ha sido un medio de comunicación de diversa índole, símbolo de poder, de riqueza y su importancia al paso del tiempo se ha incrementado, al aumentar su proporción en la envolvente de las edificaciones, primero en las religiosas, después en las civiles públicas y al final en las civiles particulares, al extremo, en la segunda mitad de este siglo, de ocupar junto con los metales casi la totalidad de la envolvente en las edificaciones y aparentar ser sólo de cristal, lo que ha provocado cambios drásticos en la temperatura y humedad relativa ambiental del espacio interior, cuyo uso sea habitacional y/o laboral, por la alta transferencia térmica a través del vidrio, situación que se ha compensado por el uso de equipo de climatización, con la lógica

consecuencia de un incremento en el consumo de energía, gasto económico e impacto ambiental, por lo que podríamos afirmar que la transformación de la envolvente por el uso del vidrio ha representado más desventajas que ventajas, motivo por el cual es importante e indispensable que para efecto de diseño de la envolvente al vidrio se le considere, además de su aspecto estético, como material en cuanto a la ganancia de calor al interior de las edificaciones, y que a través de un manejo adecuado de él, sea posible contribuir a un uso racional de la energía en las edificaciones.

2. VIDRIO PLANO PARA ENVOLVENTE, PRODUCTO DE NUEVA TECNOLOGÍA.

Introducción.

La evolución en la fabricación del vidrio plano claro se ha desarrollado a lo largo de aproximadamente 2000 años, por lo que tiene una tradición, a diferencia de vidrios como el entintado o el reflejante que son productos recientes, surgidos en la segunda mitad de este siglo y creados con el objetivo de reducir la ganancia de calor que, al interior de la edificación, ingresa a través del vidrio claro; sin embargo, a pesar del uso de vidrios entintados o reflejantes en la envolvente, ha sido necesario el apoyo de equipo electromecánico que compense las pérdidas y/o ganancias de calor o que proporcione iluminación al interior de los espacios en las edificaciones, lo que ha representado a nivel mundial una participación significativa del total gastado en energía en países tanto del primer mundo, como Inglaterra y Estados Unidos, entre otros^{4, 8}, o en los considerados países en desarrollo como México⁵. Este hecho ha contribuido a alteraciones ambientales en cadena, por ejemplo al aporte de moléculas de CO₂, motivado principalmente por procesos termodinámicos ineficientes de todo tipo⁶, y con ello, al cambio climático global, en cuyas consecuencias estamos inmersos^{1, 7}.

Es en este contexto ambiental, en el que la fabricación del vidrio plano para envolvente ha evolucionado hacia un uso que permita la reducción al consumo energético operacional de las edificaciones, con productos a los que se ha designado en este trabajo como vidrios fabricados con nueva tecnología y que tienen como uno de sus objetivos, el presentar un mayor retraso en la transferencia de calor al y del interior de la edificación, a través de la envolvente. Estos nuevos productos se fabrican y usan en Estados Unidos y en países de Europa principalmente, pero no en México, de acuerdo a la información obtenida y referida en el capítulo 3.

Este capítulo se apoya principalmente en bibliografía, sobre diseño de edificaciones con este tipo de vidrio, por ejemplo en estilos como el "High Tech"²⁷, así como en literatura técnica publicada por fabricantes como, Saint Gobain, Viracon, Vegla, Flashglas, Interpane, Lirquen, Glasslam, E. Net, Visteon, Siemens y Ernst Schweizer, entre otros, cuyos datos reportados se utilizan para facilitar una descripción de los productos en la sección 2.1; y en la sección 2.2 se presenta una comparación cuantitativa de algunas de sus características con un vidrio usual en México como es el claro de 6 mm.

2.1. Material vítreo translúcido y/o transparente para reducir la transferencia de radiación.

Para disminuir la pérdida y/o ganancia de calor a través del vidrio, la tecnología en la fabricación del vidrio ha estado enfocada en procesos como la introducción de recubrimientos metálicos constituidos por capas múltiples de óxidos metálicos y en la mejora del fundido, entre otros⁷⁵, generándose productos que presentan diferente comportamiento térmico ante las zonas del espectro electromagnético, por propiedades ópticas y térmicas también diferentes. A continuación se describirán algunos de estos nuevos vidrios:

2.1.1 Vidrio de baja emisividad.

El vidrio de baja emisividad, conocido como "Low-E" es un recubrimiento por pulverización catódica de óxidos metálicos y metales depositados bajo vacío, que producen una capa reductora en las pérdidas o ganancias de calor por radiación, al reflejar la mayor parte de la radiación energética de onda larga, lo que mejora el Coeficiente Global de Transferencia de Calor a un rango de 0.7 a 1.6 W/m²°C en diferentes vidrios, permitiendo un ahorro de un 40 %⁷⁷ con respecto a unidades similares sin recubrimiento o de 70 % respecto al monolítico claro, sin alterar la transmisión luminosa^{45, 46}.

El vidrio de baja emisividad o "Low-E" forma parte de un conjunto de dos o más vidrios separados entre sí por cámaras de 4, 6 ó 12 mm de espesor, que contienen en su interior aire deshidratado o gases como Krypton ó Argon, estructura que presenta propiedades de aislamiento térmico¹¹⁶, con el que se eliminan los efectos de pared fría o de pared caliente, que en vidrios con color puede ser hasta de 60°C, en las zonas próximas al acristalamiento^{45, 46, 78}. El recubrimiento "Low-E" queda en el acomodo de la unidad en contacto con la cámara de aire. (Figs. 2.1 y 2.2)^{45, 46}.

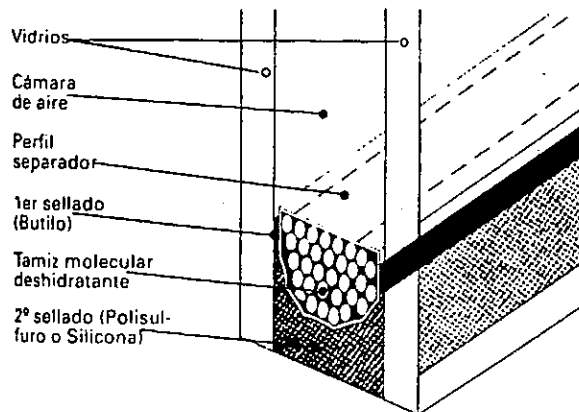


Fig. 2.1. Unidad doble o duovent.

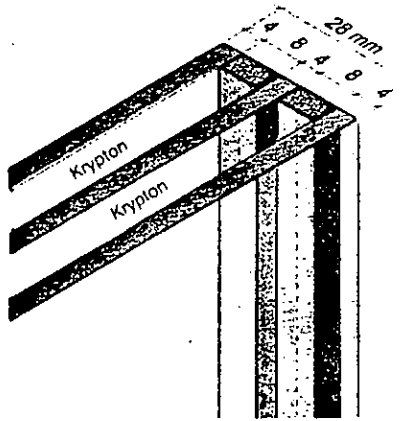


Fig. 2.2 Unidad triple con "Low E" y gas Krypton en las cámaras⁸⁰.

Los vidrios que forman parte del conjunto pueden ser de tipo recocido, templado ó laminado, con o sin coloración e inclusive serigrafiados, debiendo considerarse en su selección aspectos de ubicación de la unidad en la edificación como son la orientación así como la exposición a riesgos o presiones de aire^{45, 46}.

Las dimensiones mínimas de las unidades son de 39 por 39 cm y las máximas de 350 por 250 cm, con posibilidad de variación tanto en el tamaño como en la forma⁴⁵, fabricándose en la línea del proceso o fuera de ella⁷⁶.

Las unidades con recubrimiento "Low E" son distribuidas por Viracon⁴⁶, representante de los fabricantes de vidrio en EEUU y en Europa por las compañías VEGLA Vereinigte Glaswerke GMBH, que utiliza vidrio climatop o climaplus de Saint Gobain⁸⁰; INTERPANE, Lauenförde²⁷ y FLACHGLAS AG, Gelsenkirchen²⁷.

2.1.2. Vidrios laminados.

Algunas de las empresas que están inmersas en la manufactura de vidrio laminado como Glasslam N.G.I. y Zircon de World Glass Markets, Inc., en EEUU han incorporado recientemente el uso de resinas en la fabricación de vidrio para uso de seguridad. La característica más importante de las resinas es que rechazan los rayos ultravioleta en un 99 %, permitiendo mantener el edificio con bajos índices de depreciación en sus interiores⁷⁶, asimismo, los avances en la manufactura del laminado hacen posible que se encuentre en el mercado vidrio resistente al impacto de los huracanes o con blindaje para automóviles o fachadas contra cualquier tipo de armas e inclusive bombas^{76, 79}.

Vidrios Lirquen de Pilkington, con planta de fabricación en el sur de Chile utiliza en su vidrio laminado polivinil butiral o butiral de polivinilo que permite filtrar el 99.6 % de la radiación ultravioleta⁸¹ y Crisuníd California, C.S. produce un cristal laminado transparente de control solar, al cual se coloca una lámina de control solar entre dos láminas de PVB o polivinil butiral, con el que es posible el control de la radiación infrarroja en un 50 % y la ultravioleta en un 99 %⁸² (Fig. 2.3).

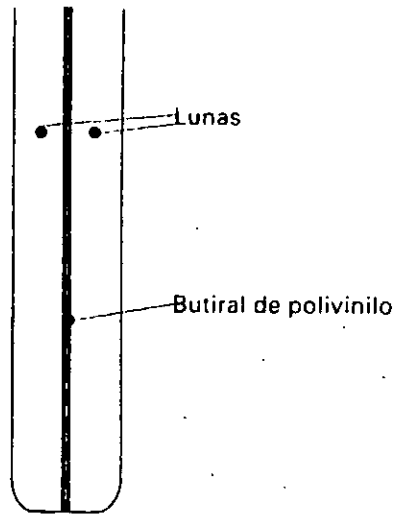


Fig. 2.3 Laminado transparente de control solar.

2.1.3 Vidrios superentintados.

En un vidrio claro, por su composición se presenta una alta transmitancia de radiación solar, que en el caso de los entintados se modifican las propiedades ópticas incrementándose la absorptancia, con lo que se reduce la transferencia de calor al interior del espacio. La coloración se adquiere incorporando óxidos metálicos en la masa vítrea en la etapa de fundición que en vidrio estirado o flotado produce la coloración en gris, bronce, azul, verde^{45, 46} y en menor proporción rosa y naranja^{76, 45}.

Con la mejora en las tecnologías de fundición, se ha desarrollado una nueva clase de vidrio supertintado, en tonos más intensos de azul, verde y gris, que incrementan la absorptancia. Estos vidrios superentintados se fabrican bajo la serie 2000 Versalux TM y Versalux TTM Reflective, que incluye recubrimientos que pueden bloquear más del 93 % de la radiación ultravioleta⁷⁵.

Los vidrios superentintados son fabricados por Visteon Glass Systems de Allen Park, Michigan, división de la empresa Ford Motor Company⁷⁶.

2.1.4 Prismas reflectantes de radiación directa.

Siemens, A.G. fabrica material translúcido, con el objetivo común de reflejar radiación directa, evitando en el aspecto térmico el ingreso de calor al interior de los espacios⁸³.

El material consta de placas de acrílico con prismas translúcidos que desvían la radiación directa al pasar a través de ellos, ya sea reflejándola al exterior o dirigiéndola al interior de la edificación, dependiendo una u otra opción de la orientación que se le dé a las placas en la estructura, a través de un sistema que puede ser movable (Fig. 2.4) o fijo entre dos vidrios (Fig.2.5)⁸³.

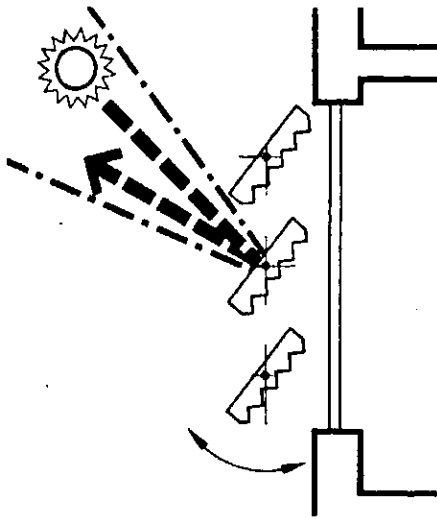


Fig. 2.4 Uso de prismas Siemens en sistema movable.

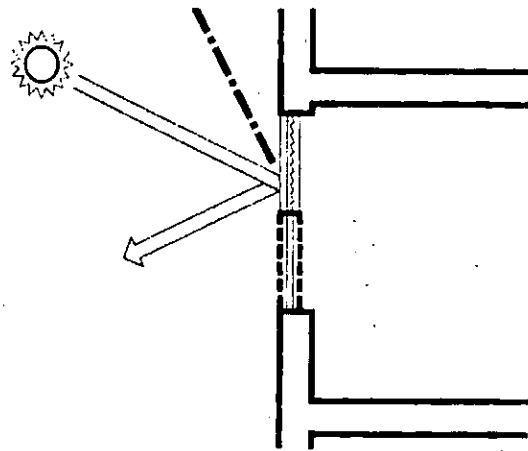


Fig. 2.5 Uso de prismas Siemens en sistema fijo.

Siemens además produce rejillas ligeras formadas por planos inclinados que impiden el ingreso de radiación directa al reflejarla en superficies brillantes, facilitando el ingreso de radiación difusa por aberturas en planos inclinados y opuestos a los reflectantes. (Fig. 2.6)⁸³

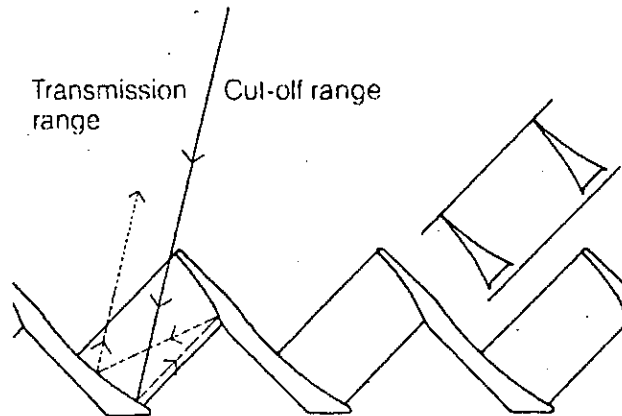


Fig. 2.6 Rejilla reflectante de radiación directa.

2.1.5 Microtúbulos conductores de calor

Las empresas Schott-Rohrglas GmbH²⁷, Okalux Kapillarglas²⁷ y Schweizer⁸⁴ cuentan con un sistema translúcido formado por microtúbulos vítreos que puede funcionar de dos maneras: la primera desvía la radiación directa incidente dirigiéndola como difusa al interior del espacio, y la segunda transfiriendo calor a un muro opaco que ingresa a la envolvente de la edificación con un retraso térmico, en forma similar a un muro trombe⁸⁴ (Fig. 2.7).

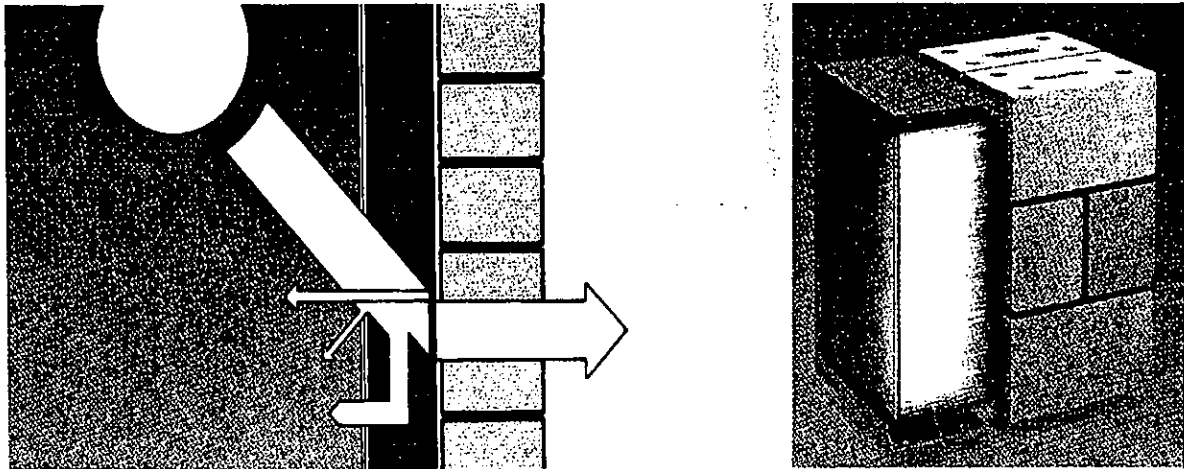


Fig. 2.7 Microtúbulos vítreos conductores y almacenadores de calor para la envolvente⁸⁴.

2.1.6 Vidrio translúcido-transparente.

Es un vidrio translúcido, opaco a la visión, pero que se convierte en transparente al aplicársele una tensión eléctrica de 118 v de corriente alterna^{45,46}.

Consta de un vidrio laminado, compuesto de dos vidrios incoloros o con color y de dos láminas de PVB, entre las cuales se intercala un film que encierra cristales líquidos polimerizados (PDCL) que tienen la propiedad de orientar los cristales con la tensión eléctrica, transformando al vidrio opaco en transparente y regresándolo al translúcido (Fig. 2.8)^{45,46} cuando deja de aplicarse la tensión eléctrica.

Los componentes son ensamblados a alta presión y temperatura a fin de formar un conjunto compacto cuyas dimensiones mínimas son 305 x 405 mm y las máximas 1,000 x 2,800 mm en espesores de 10, 12 y 14 mm^{45,46}.

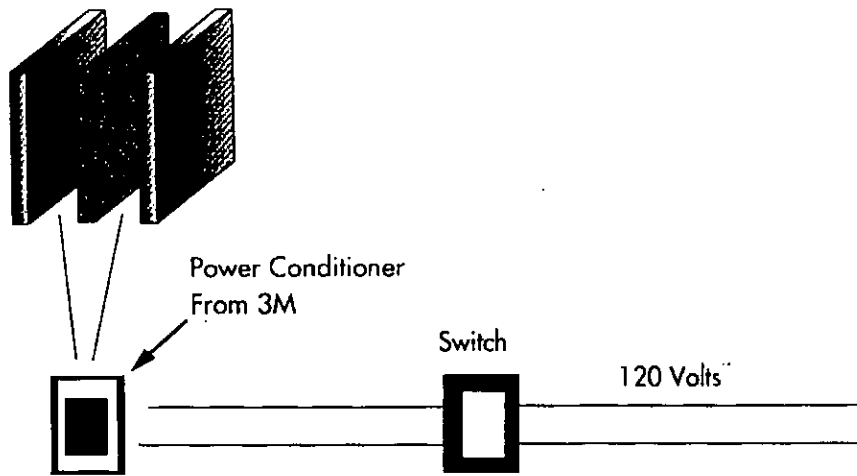


Fig. 2.8 Organización del sistema: vidrio translúcido-transparente.

El vidrio translúcido-transparente puede también formar parte de una unidad doble o aislante^{45, 46}.

2.1.7 Sistemas fotovoltaicos en fachadas.

Los paneles fotovoltaicos tanto opacos como semitransparentes pueden ser utilizados en las fachadas de las edificaciones, y con éllo aprovechar tanto el paso de radiación a través de los semitransparentes al interior de la edificación, como la generación con los sistemas fotovoltaicos, de una parte de la energía eléctrica que el edificio requiere en su funcionamiento²⁵ (Fig. 2.9).

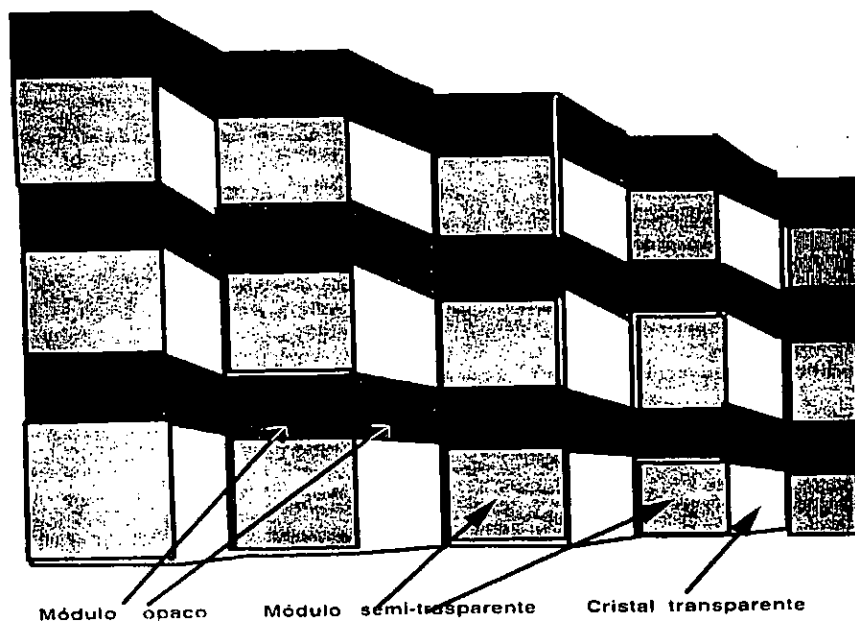


Fig. 2.9 Módulos fotovoltaicos en muro tipo diente de sierra²⁵

2.2. Consideraciones sobre el material vítreo, producto de nueva tecnología.

La necesidad de disminuir el gasto energético en las edificaciones ha impulsado a la investigación y a la tecnología a desarrollar diversos productos vítreos translúcidos y/o transparentes a la radiación electromagnética con el objetivo común de disminuir la transferencia térmica, ya que a diferencia de los materiales opacos, presentan una ganancia mayor de calor por radiación, conducción y convección.

Los productos desarrollados, tienen características diferentes que representan ventajas para el ahorro de energía, como los que tienen una baja emisividad, los que tienen una alta concentración de óxidos metálicos en su masa e incrementan la absorción, los que evitan la radiación directa o los que transmiten calor a una envoltura opaca.

Los productos designados como de nueva tecnología no están aún disponibles en nuestro país, por lo que se solicitó información técnica a fabricantes en Europa, recibiendo de las compañías Vegla, Schweizer y Siemens, que procesan respectivamente los productos vítreos de baja emisividad; las unidades que contienen prismas o rejillas desviadoras de radiación directa y los microtubos conductores de calor.

En la información recibida, hay coincidencia en estos nuevos materiales, en cuanto a un valor reducido en el Coeficiente Global de Transferencia de Calor, U , valor que se retoma a fin de establecer una comparación con el vidrio claro de 6 mm como vidrio de referencia, que es uno de los más usados en México: el coeficiente global de transferencia de calor ($W/m^2\text{°C}$) para el vidrio claro 6 mm de la marca Vitro es de 5.86 y de 5.8 en la marca Saint Gobain, por lo que se consideran valores equivalentes al haber una diferencia entre ellos de 0.2 a 1%. En la información técnica recibida, para los vidrios con baja emisividad, se reporta un coeficiente que va de 0.7 a 1.6 $W/m^2\text{°C}$, en función del material que conforma a las unidades; en el caso de los prismas Siemens el Coeficiente es de 1.6 $W/m^2\text{°C}$ y en cuanto a los sistemas con microtubos su Coeficiente en dos de ellos va de 0.8 a 0.93 $W/m^2\text{°C}$, que representan respectivamente un 11.94 a 27.30% en los vidrios con recubrimiento de baja emisividad, de 27.30 % para los prismas Siemens y de 13.65 a 15.87 % para los sistemas con microtubos con respecto al Coeficiente de Transferencia de Calor del vidrio claro de 6 mm.

Por la proporción que en la transferencia de calor presentan los vidrios con nueva tecnología con respecto al vidrio de referencia, existe una disminución en la transferencia de calor por conducción-convección de 72.70 a 88.05% en los vidrios con baja emisividad (4 diferentes), de 72.70 % en los prismas Siemens y de 84.13 a 86.34 % para dos de los sistemas de microtubos.

Se solicitó a los fabricantes de vidrios considerados como de nueva tecnología se nos informara el costo del material por metro cuadrado, a fin de poder evaluar el aspecto económico, pero desafortunadamente este dato faltó en la literatura técnica enviada; pero en un artículo de Arasteh D, (investigador del Laboratorio Lawrence de Berkley, en CA, USA, quien ha trabajado con la eficiencia en ventanas) y Lyons, P. (físico de la construcción en Energy Partners en Canberra, Australia, quien ha trabajado en sistemas de medición de energía), titulado "*desempeño en función de la comodidad.*" y publicado en una revista especializada sobre vidrio en fachadas⁷⁸, se abordan las ventajas térmicas al interior del espacio cuando las ventanas tienen recubrimiento de baja emisividad, informando que el costo de este sistema es de aproximadamente 100 dólares por pie cuadrado, lo que representa aproximadamente \$10,555.00 M.N. por metro cuadrado.

Como el sistema de baja emisividad aún no es comercial en México, y a fin de no compararlo sólo con el vidrio claro de 6 mm con el que se ha comparado el Coeficiente Global de Transferencia de Calor, se pidió a un distribuidor de la Compañía Vitro se nos informara sobre el precio de las unidades duovent con vidrio claro de 6 mm y espacio en la cámara de 12 mm tanto en el tamaño standard (39 x 39 cm), como en el de 1 m²; en el primer caso costaría \$ 4,109.00 y en el segundo \$ 3,860.00, según cotización de un distribuidor mayorista de Vitro en el año de 1998, año en el que se publica el costo para Low E; sin embargo, se recibió la cotización de \$ 1,260.00 para unidades Duovent de 1 m² en octubre del 2000

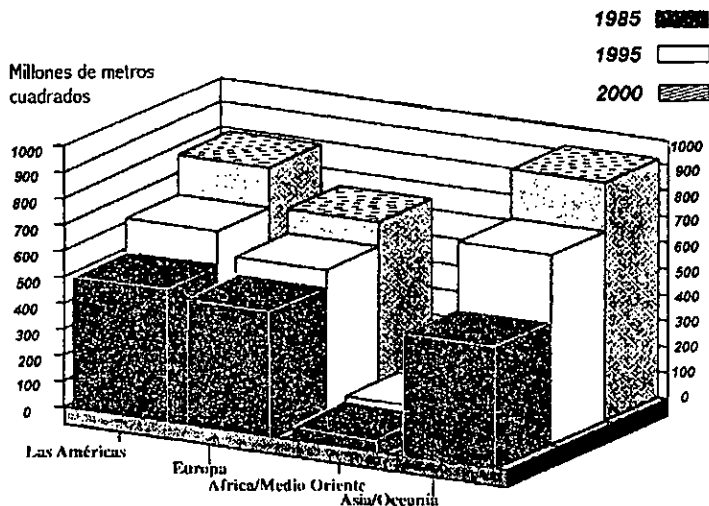
En el caso de las unidades Duovent con vidrio claro 6 mm y cámara de aire de 12 mm, el Coeficiente Global de Transferencia de Calor es de 3.12, por lo que en este valor, las unidades con las características "Low E" equivaldrían a un rango de 22 a 51.28%, con una disminución en la transferencia de calor en un rango de 49 a 78 % a un costo de \$10,555.00, representando este, un precio con un incremento de 173 % en relación al de una unidad similar sin recubrimiento "Low E", por lo que se considera que la reducción en la transferencia de calor no es proporcional al incremento en el costo. La relación anterior corresponde a los costos de 1998, pero la diferencia en este momento, en diciembre del 2000, podría ser mayor, debido a que el costo por metro² de unidades Duovent ha disminuido en México, pero no se puede reportar la relación, ya que se desconoce el costo de las ventanas Low E, a octubre del 2000.

El hecho de que los vidrios con nueva tecnología como el "Low E" presenten un alto costo en un país como Estados Unidos, en el que la capacidad económica de sus habitantes es diferente a la que tienen los del nuestro, tal vez se deba a que existe aún una baja demanda del producto y que tal vez al incrementarse en el futuro se reduzca su costo, como ha sucedido en el precio del vidrio en su historia; pero en la situación actual, el costo del vidrio "Low E", por la tecnología utilizada en su manufactura, obliga a un uso en menor medida y/o en forma más racional, que el vidrio con el que se

recubren las edificaciones de cristal ampliamente conocidas en las ciudades de todo el mundo y similares a las que existen en la Ciudad de México.

El estudio de mercado del Grupo Freedonia,⁷¹ de Ohio, en EEUU (Gráf. 2.1), sobre la demanda mundial de vidrio plano, contempla en 1998 la demanda de vidrio plano que se espera para el año 2000, tomando en consideración el comportamiento de la demanda en los años de 1985 y 1995 y se observa que entre América, Europa y Asia-Oceanía, es en Europa donde el crecimiento en la demanda del vidrio se ha presentado con menor aceleración desde 1985, y que en Asia-Oceanía es donde se ha presentado y se espera la mayor demanda en vidrio plano para envolvente; se sabe que en Sudamérica se presenta la mayor aceleración del continente pero se desconoce la demanda pasada y futura en Estados Unidos, porque está englobada con la de América.

Demanda Mundial De Vidrio Plano



Gráf. 2.1 Demanda mundial de vidrio plano para el año 2000⁷¹.

Si es en Estados Unidos y en Europa donde principalmente se fabrican vidrios con baja emisividad, y donde posiblemente se usen, a pesar de su alto costo, en una forma más razonada que el sólo recubrir edificaciones como las conocidas, entonces se justifica que un incremento en la demanda a corto plazo no es necesario; pero ese mismo razonamiento debería ser a nivel mundial para efecto de un ahorro real de energía. Si los países de América, Asia y Oceanía tienen una aceleración superior a la de Europa y posiblemente también a la de Estados Unidos, sería necesario conocer cuál es el tipo de vidrio que están adquiriendo y quién lo está fabricando.

Asimismo, también se cree que sería importante conocer el gasto energético en edificaciones que cuentan con una envolvente como la utilizada en las conocidas como inteligentes, o las que se

encuentran en la corriente arquitectónica "High Tech"^{27. 28 117}, a fin de evaluar la eficiencia del vidrio utilizado.

Con respecto a la aplicación de paneles fotovoltaicos en las fachadas, se considera necesario tomar en cuenta si realmente se puede lograr la generación de energía eléctrica como función de la incidencia de radiación solar, de la latitud en la que se encuentra la edificación y la orientación de los paneles y si es así, evaluar si es rentable el costo de la electricidad generada, ya que desafortunadamente, los paneles fotovoltaicos son aún productos con un alto costo.

2.3. Conclusiones.

Los productos translúcidos y/o transparentes, producto de nueva tecnología, son utilizados principalmente en países ubicados en el norte de América y en Europa, y responden a las necesidades ambientales a esas latitudes, al evitar la pérdida de calor a través de la envolvente en al menos la mitad del año; sin embargo, en otros países, ubicados en otras latitudes como por ejemplo México, las necesidades a resolver son diferentes la mayor parte del año, ésto es, el evitar las ganancias de calor solar, debido a un ambiente con menor alteración estacional que a latitudes sobre 40° al N o S,(Fig. 4.5), por lo que productos como los vidrios de baja emisividad o "Low E", con un Coeficiente Global de Transferencia de calor promedio de 1.15 W/m²°C reduciría la ganancia de calor por conducción-convección; pero es por el de transmisión radiativa por el que se tienen las mayores ganancias de calor al interior de las edificaciones, y por este mecanismo la reducción de la ganancia de calor solar es en proporción menor que en el de conducción-convección; por lo que para nuestro país se considera más razonable utilizar y/o diseñar tecnología apropiada a las necesidades de nuestro país, en lugar de intentar la adaptación de soluciones a problemas diferentes, pagando además un alto costo, por la tecnología implícita.

3. EL VIDRIO PLANO UTILIZADO EN LA ENVOLVENTE DE LAS EDIFICACIONES EN MEXICO.

Introducción.

En este capítulo se hace una revisión sobre el vidrio plano que se utiliza en la envolvente de las edificaciones de nuestro país, específicamente en la Ciudad de México, considerando aspectos como su origen, desde cuándo se ha empleado, quiénes lo han fabricado y con qué procesos, así como la gama de vidrio plano que en este momento existe como oferta de las compañías Vitro, Saint Gobain y Viracon, y de ésta, qué material se consume en mayor volumen.

Este capítulo se cubre principalmente con bibliografía técnica sobre vidrio: de los propios fabricantes, entrevistas a sus ejecutivos, tanto personales como publicadas en periódicos y revistas especializadas, así como trabajo de campo, visitando las plantas de dos productores que fabrican vidrio plano para la envolvente arquitectónica en nuestro país.

3.1. Productores y procesos de fabricación.

El vidrio plano procesado fue utilizado en México a partir de la Conquista, importado de Europa hasta el s. XVIII⁶⁶, seguramente de procedencia española, ya que en España su producción era importante, introducida por los romanos, continuada por los visigodos y perfeccionada por los árabes. En los s. VI y VII destacó como centro vidriero Toledo y a partir del s. VII, a raíz de la invasión árabe, la producción de vidrio se centró en Andalucía, alcanzando su máximo esplendor en el s. X y hasta el XVII por los moriscos granadinos. Desde el siglo XIII destacaron los vidrios valencianos y catalanes, teniendo su apogeo en los s. XV y XVI, época en que compitieron con los venecianos sobre todo los de Barcelona. La decadencia de su producción inició en el s. XVII. En Castilla los centros vidrieros más importantes fueron Cadalso (s. XV), Segovia (s. XVII) y La Granja (s. XVIII)⁶¹.

En el siglo XVI, el español Rodrigo Espinosa arriba a México e instala en la calle del Venado, en la Ciudad de Puebla de los Ángeles, un taller de fabricación de vidrio cuya producción llega a ser célebre e incluso se exporta a Guatemala y Perú y no tuvo competencia hasta 1728, cuando el maestro Antonio Prado finca una nueva fábrica en la misma Ciudad de Puebla⁸⁵. Las técnicas rudimentarias que se empleaban en estas fábricas permitían la fabricación de vidrio para las destilerías, pero no podían elaborar vidrio plano para puertas y ventanas, por lo que las casas de la época si no contaban

con vidrio importado de España utilizaban en las ventanas tela pintada en vivos colores que adquiría dureza con barniz de cera fundida con el que se daba el terminado⁸⁵.

En 1889 Camilo Ávalos Razo, después de un primer intento en Puebla instala una pequeña fábrica de vidrio en la calle de Carretones, cerca de la Merced, en la Ciudad de México, que con los años se convertiría en el más prestigioso surtidor de vidrio soplado en México, con una calidad artesanal continua en sus productos, que se encuentran incluso en las salas de exposición del Museo de Bellas Artes y en los ventanales estilo "Art Nouveau" de la propia fábrica de Carretones. Don Camilo fue el primer vidriero de origen mexicano y sus descendientes han continuado la tradición, que se ha expandido a otros estados de la república como Jalisco⁸⁵.

En 1930, en la ciudad de Monterrey, N.L. se funda la primera fábrica de vidrio, Vidrio Plano, S.A., instalándose una sucursal en 1955, en San Juan Ixhuatepec, Estado de México, como Vidrio Plano de México, S.A, instalaciones industriales conocidas comercialmente como la firma Vitro, que inicia su producción con el sistema Fourcault⁶⁶ y a partir de 1968 con el sistema de flotado.

En 1976, la industria del vidrio para diferentes usos, incluido el plano estaba representada principalmente por la Compañía Vitro, que cubría el 90% de la producción nacional; el otro 10 % era atendido por productores menores, con una ubicación estratégica, al estar cerca de los consumidores, en Monterrey: Vidriera Monterrey, Cristales Mexicanos, Cía. de Vidrio Industrial y Corning Mexicana; en el D. F.: Vidriera México, Vidrio Neutro y Ampolletas; en el estado de México: Vidriería Los Reyes, Fábrica Nacional de Vidrio y Cristales Inastillables Mexicanos; en Guadalajara, Vidriería Guadalajara y la Cervecería Moctezuma en Orizaba, Ver.⁶⁷.

Hasta hace dos años, la Compañía Vitro fabricaba casi el total de la producción de vidrio en nuestro país al estar constituida por aproximadamente 100 empresas, la mayoría de ellas relacionadas con el vidrio y productos afines, siendo algunas de ellas de las que pertenecían al 10 % de productores menores de vidrio en la década de los setentas y que se han ido anexando al consorcio industrial. Con las fusiones efectuadas, a Vitro le fue posible cubrir la demanda de vidrio para los usos arquitectónico, automotriz, envases, ampolletas, fibra aislante, cristalería para laboratorio así como artículos ornamentales de cristal de plomo y cristal cortado, materia prima para otras aplicaciones como fabricación de mobiliario, y además, maquinaria relacionada con la fabricación de vidrio.

Existen en la actualidad empresas que no se unieron al consorcio industrial de Vitro y que fabrican vidrio para elaborar envases, como la Fábrica Nacional de Vidrio, en el Estado de México y la Cervecería Moctezuma, en Orizaba, Ver.

A partir de la apertura comercial de nuestro país, ha ingresado vidrio de otros productores y de diferente origen, ya sea fabricado en nuestro territorio, con capital extranjero o manufacturado en el extranjero y exportado al nuestro.

Ejemplo de lo anterior es el de la Compañía Francesa Saint Gobain, que con una inversión de 150 millones de dólares⁶⁸ instaló hace tres años, en asociación con el Banco Internacional Bital⁶⁹, una planta en Cuautla, Mor., con capacidad de producción diaria de 600 toneladas de vidrio⁶⁸, con el proceso de flotado. Su director el Sr. Michel Mercier⁷⁰, estimó en marzo de 1998 que, trabajando al 100 % de su capacidad instalada, la producción para ése año estaba estimada en 150,000 toneladas, con destino el 70 % al mercado nacional y el 30 % para exportación a Estados Unidos (principalmente a la costa este), Europa y Centro América, con un precio de venta similar al de la compañía Vitro, opinando además que en México faltan productos nuevos, por lo que éste es uno de los objetivos de la empresa, así como el de incrementar la producción de vidrio arquitectónico en un 6 a 7 % anual, por el crecimiento de la población, la consecuente demanda de viviendas y la recuperación en el poder de compra de los mexicanos después de la crisis económica. Por último, el Sr. Mercier consideró que es necesario desarrollar una reglamentación de vidrio arquitectónico en México, que beneficiaría al país tanto en un uso adecuado de productos, además de evitar el ingreso de vidrio fabricado en Asia, ya que sólo se importaría el que cumpliera con las especificaciones de la reglamentación.

En relación al vidrio flotado, procesado fuera de México, es relevante la oferta de los fabricantes de Estados Unidos a través de la Compañía Viracon, que exporta vidrio por proyecto arquitectónico completo, existiendo edificaciones en nuestro país en las que ya se ha llevado a cabo como en el Edificio Corporativo Serfín ubicado en Santa Fé, D. F. En este rubro es también importante la producción de vidrio de la compañía Saint Gobain, fabricada en el extranjero, dada la presencia física de la firma comercial en nuestro país.

De acuerdo a un estudio publicado por The Fredonia Group⁷¹, una firma de investigación industrial con base en Ohio, E.U.A., se espera que la demanda mundial de vidrio plano aumente un 4 % anual hasta alcanzar los 2.4 billones de metros cuadrados en el año 2000, ya que considera que el mercado del vidrio plano se beneficia del sólido crecimiento de la inversión global fija, que genera una demanda de productos de vidrio relacionada con la construcción; asimismo, contempla que tanto en el mercado de la construcción como en el de vehículos de motor, la demanda del uso de productos de vidrio, ahorradores de energía como el de control solar se incrementa, observándose que el crecimiento anual más rápido está surgiendo en América del Sur, principalmente en Brasil y los países de la costa del Pacífico.

3.2. Vidrio plano comercial para envolvente.

Para obtener la información del vidrio plano comercial disponible para envolvente en la edificación en nuestro país¹²², se revisó la información técnica de los fabricantes Vitro y Saint Gobain que son las firmas comerciales con más presencia en México, así como la de Viracon, aunado a la visita a dos de las plantas que producen vidrio, una de la compañía Vitro, en el estado de México y la otra, de la compañía Saint Gobain, en el estado de Morelos, así como entrevistas a los distribuidores mayoristas que cuentan con concesión exclusiva de los fabricantes Vitro ó Saint Gobain y a una ejecutiva de Viracon.

3.2.1. Oferta de vidrio plano en México.

Los productos vitreos monolíticos planos para acristalamiento pueden ser de dos tipos:

- **Vidrio recocido**, que se obtiene por fusión de sus componentes y es sometido a un tratamiento de recocido para relajar las tensiones de enfriamiento^{44, 45, 46}.
- **Vidrio templado**, que partiendo del vidrio recocido, se le somete a un proceso térmico (calentamiento hasta plastificación y enfriamiento brusco con aire), que confiere al vidrio propiedades mecánicas notables, al incrementar su resistencia al impacto de 3 a 5 veces, en comparación al vidrio recocido^{44, 45, 46}.

Para facilitar la comprensión de los productos usuales de vidrio plano en México para envolvente, tanto si es recocido o templado, se proporcionan las características del material por grupo y uso, antes de abordar la información sobre el número de productos que en cada grupo ofrece cada uno de los fabricantes.

- **Vidrio claro o incoloro.** Vidrio sin color o con un ligero tinte amarillo o verdoso visto por el canto, que permite ver a través de él las imágenes sin deformación; generalmente se obtiene por el procedimiento de flotado y pulido térmico. Su tamaño puede cubrir aberturas hasta de 2.70 x 5.00 m, en diferentes espesores que van de 2 a 19 mm^{44, 45, 46}.
- **Vidrio con tinte.** Vidrio con color en su masa, por adición de óxidos metálicos estables en el proceso de fabricación, que permite ver las imágenes a través de él sin deformación. Reduce el paso de las radiaciones infrarrojas, visibles y ultravioletas. Se fabrica por el procedimiento de flotado y pulido térmico, generalmente en colores gris, bronce, verde, azul, rosa y ámbar entre otros, y algunos de ellos en diferentes tonos. Su tamaño varía hasta una dimensión de

2.60 x 4.50 m, en diferentes espesores que van de 3 a 12 mm en algunos de los colores^{44, 45, 46}.

- **Vidrio reflejante.** Vidrio incoloro o con tinte, con una de sus caras tratada mediante depósito de una capa metálica por pirólisis o por pulverización catódica en vacío, que le da la característica de una alta reflexión de radiación en el rango visible e infrarrojo. Su tamaño es variable, llegando hasta 2.50 x 3.60 m, en espesores de 3 a 12 mm^{44, 45, 46}.
- **Vidrio templado.** Vidrio incoloro, con color o reflejante, sometido a tratamiento térmico, con el que adquiere un aumento en su resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y térmico. Las manufacturas como perforaciones y cortes deben hacerse antes del tratamiento, ya que una vez templado cualquier manufactura produce su ruptura, que en caso de presentarse, fracciona al vidrio en pequeños trozos no cortantes. Su tamaño es variable, menor que el permitido en vidrio recocido y en espesores a partir de 3 y hasta 19 mm^{44, 45, 46}.
- **Vidrio laminado.** Vidrio de seguridad, formado por dos ó más vidrios unidos por butiral de polivinilo que tiene propiedades de adherencia, resistencia y elasticidad. La adherencia se obtiene por tratamiento térmico y presión controlada, obteniendo el laminado la misma transparencia que un vidrio del mismo espesor. En caso de ruptura, los trozos de vidrio quedan adheridos al butiral, proporcionando seguridad al impedir el paso a través de él. El producto acabado puede recibir manufactura como corte o perforaciones. Se modifica la naturaleza del vidrio variando el número de láminas y su espesor lo que incrementa la resistencia, que puede ser desde una seguridad física hasta una protección antibala. Con este tipo de vidrio es posible cubrir aberturas hasta de 1.2 x 3 m, dependiendo de la resistencia deseada, en espesores de 5 a 63 mm^{44, 45, 46}.
- **Vidrio aislante o con cámara de aire.** Conjunto formado por dos ó más vidrios de cualquier tipo, separados entre sí por cámaras de aire deshidratado, con la propiedad de ser aislante térmico y acústico. La separación entre los vidrios está determinada por un perfil separador de aluminio, en cuyo interior se introduce el producto desecante y la deshidratación es por un doble sellado perimetral. Las unidades tienen superficies variables a partir de 39 x 39 cm, con vidrio cuyo espesor va de 4 a 10 mm y en la cámara intermedia el espesor va de 6 a 12 mm^{44, 45, 46}.
- **Vidrio tipo block.** Piezas de vidrio translúcido, que se obtienen por el prensado de una masa fundida de vidrio en moldes. Se destinan a zonas como pasillos, paramentos verticales y techos. Los dobles o tipo block están formados por dos elementos independientes, soldados entre sí, que dan lugar a una pieza con cámara de aire. El vidrio puede ser incoloro o con color como bronce, azul, verde o rosa, con ó sin grabado en su superficie. Su tamaño varía de 20 x 20 x 8 cm hasta 24 x 24 cm x 8 cm^{44, 45}.

- **Vidrio con apariencia de roca.** Vidrio templado o semitemplado al que se le incorpora una capa de pintura cerámica con la que adquiere apariencia de recubrimiento vítreo como mármol o granito, utilizado como revestimiento en edificios. Su medida máxima es de 1.20 x 2.40 m., en espesores de 6 a 12 mm⁴⁴.
- **Vidrio serigrafiado.** Vidrio de cualquier tipo, al cual se le añade pintura cerámica en dibujos como puntos, rayas, etc. y que proporciona un control solar de 40 a 60 %, al disminuir el ingreso de radiación^{44, 46}.
- **Domos.** Vidrio templado de cualquier tipo, aunado a una estructura metálica, que permite cubrir espacios en la techumbre de edificaciones como las comerciales sobre zonas como pasillos o vestíbulos en las que hay circulación de personas. Los techos translúcidos y/o transparentes presentan generalmente una inclinación en sus planos⁴⁴.

De los vidrios descritos, las compañías fabricantes Vitro, Saint Gobain y Viracon ofrecen su producción, que en conjunto es a la que se le consideró como la oferta de vidrio plano comercial disponible en nuestro país y en la tabla 3.1 se proporciona un concentrado del número aproximado de productos diferentes en cada uno de los grupos, por fabricante, sin considerar la variabilidad en el espesor.

Tabla 3.1. Oferta disponible en México de vidrio plano para envoltente^{44,45,46}

Compañía Tipo de vidrio	Número de productos por Fabricante			Total (Aprox.) por tipo de vidrio
	Vitro	St. Gobain	Viracon	
Claro o incoloro	1	2	1	4
Entintado	5	6	7	18
Reflejante	34	52	62	148
Templado	40	60	70	170
Laminado	80	120	122	322
Con cámara de aire	40	187	278	505
Block	6	16	s/d	22
Con apariencia de roca	12	s/d	s/d	12
Serigrafiado	8	s/d	192	200
Domos	5	s/d	s/d	5
Total (Aprox.)por Fabricante:	231	443	732	

Total de productos:	1406
---------------------	------

s/d = sin dato reportado en la Literatura del Fabricante

En total 1406 son aproximadamente los vidrios planos diferentes que dentro de los 10 tipos o grupos están a disposición para ser utilizados en las edificaciones en México. El material fabricado en nuestro

país por Vitro y Saint Gobain representa un 17% de la oferta y el de la producción que se lleva a cabo en el extranjero por Viracon y Saint Gobain y que es exportada a México, un 83%.

Se anexa como ejemplo una lista de algunos de los productos, con sus diferentes espesores, que la compañía Vitro fabrica en sus diferentes plantas en el país (Tabla 3.2), con la observación de que no están incluidos el total de sus productos arquitectónicos, ya que faltan los vidrios templados, laminados y aislantes, que pueden ser combinación los dos últimos de diferentes materiales.

Tabla 3.2. Producción parcial de vidrio plano de la compañía Vitro en sus diferentes plantas⁴⁴.

VIDRIO PLANO DE MEXICO		
NOMBRE	ESPESOR mm.	DESCRIPCION
Cubiertas	8, 10, 12, 16, 19	Cristal claro y color
Claro construcción y automotriz	3, 4, 5, 6, 10, 12, 19	Cristal flotado claro
Vitrosol	3, 6, 10, 12	Cristal flotado de color bronce
Filtrazol	3, 6, 10, 12	Cristal flotado de color gris
Cristazol	3, 6, 10, 12	Cristal flotado de color azul
Reflectasol AP claro	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color plata
Reflectasol AB claro	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color bronce
Reflectasol AG claro	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color gris antiguo
Reflectasol IG claro	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color gris
Reflectasol TC claro	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color celeste
Reflectasol AP filtrazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color gris/plata
Reflectasol AB filtrazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color gris/bronce
Reflectasol AG filtrazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color gris/gris antiguo
Reflectasol IG filtrazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color gris/gris
Reflectasol TC filtrazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color gris/celeste
Reflectasol AP vitrosol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color bronce/plata
Reflectasol AB vitrosol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color bronce/bronce
Reflectasol AG vitrosol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color bronce/gris antiguo
Reflectasol IG vitrosol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color bronce/gris
Reflectasol TC vitrosol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color bronce/celeste
Reflectasol AP tintex	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde/plata
Reflectasol AB tintex	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde/bronce
Reflectasol AG tintex	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde/gris antiguo
Reflectasol IG tintex	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde/gris
Reflectasol TC tintex	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde/celeste
Reflectasol AP tintex plus	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde oscuro/plata
Reflectasol AB tintex plus	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde oscuro/bronce
Reflectasol AG tintex plus	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde oscuro/gris antiguo
Reflectasol IG tintex plus	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde oscuro/gris
Reflectasol TC tintex plus	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color verde oscuro/celeste
Reflectasol AP cristazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color azul/plata
Reflectasol AB cristazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color azul/bronce
Reflectasol AG cristazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color azul/gris antiguo
Reflectasol IG cristazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color azul/gris
Reflectasol TC cristazol	3, 4, 5, 6, 10, 12	Cristal reflejante color azul/celeste
Pyroplata claro	6	Cristal pyrolítico plata claro
Pyroplata filtrazol	6	Cristal pyrolítico plata gris
Pyroplata vitrosol	6	Cristal pyrolítico plata bronce
Pyroplata cristazol	6	Cristal pyrolítico plata azul

VITRO FLOTADO (PLANTA MONTERREY)

NOMBRE	ESPESOR mm.	DESCRIPCION
Stone Glass	6, 10, 12	Cristal sustituto del mármol y del granito.
Vitrospan Absoluto	3, 4, 5, 6, 10, 12, 16, 19	Vidrio color negro, blanco, azul, verde oscuro o bronce.
Vitrospan Grafik	3, 4, 5, 6, 10, 12, 16, 19	Vidrio con impresión de rayas, agujeros o puntos.

VITRO FLOTADO (PLANTA GARCÍA)

NOMBRE	ESPESOR mm.	DESCRIPCION
Claro Construcción y Automotriz	3, 4, 5, 6, 10, 12, 19	Cristal flotado claro
Tintex	3, 6, 10, 12	Cristal flotado de color verde
Tintex plus	3, 6, 10, 12	Cristal flotado de color verde oscuro

En la actualidad, fuera de México, el vidrio plano para envolvente es fabricado en una diversidad mayor que la conocida o usual en nuestro país, al contar con una composición, estructura, propiedades y

usos diferentes, y de la cual, en el capítulo 3 se proporcionó información general, como productos de vidrio fabricados con nueva tecnología.

3.2.2. Consumo de vidrio plano en la Ciudad de México.

De los 1406 productos considerados como la oferta de vidrio plano en México, representada por la producción de las compañías Vitro, Saint Gobain y Viracon, 240 son fabricados en nuestro país por Vitro y Saint Gobain y 1166 son fabricados por Saint Gobain y Viracon en el extranjero, por lo que 240 se pueden adquirir en forma directa y 1166 están disponibles a través de trámites con las compañías productoras para su importación.

De los productos de vidrio fabricados en México y que por sus características se incluyeron en los 10 grupos de la tabla 2.1, se consultó a distribuidores mayoristas de Vitro y Saint Gobain para conocer sobre el uso y/o preferencia que se tiene de ellos, a través del desplazamiento de los productos, obteniéndose lo siguiente:

De la producción de la firma comercial Vitro, el vidrio claro es el de mayor consumo, en los espesores de 6 y 3 mm, prefiriéndose el de 6 al de 3 y como segundo vidrio de consumo se encuentra el de color, existiendo dos que tienen más demanda entre los cinco fabricados, en primer lugar el gris (Filtrasol) y después el bronce (Vitrosol); en el caso de los vidrios reflejantes, laminados, dobles y templados, su venta es sólo sobre pedido por ser su desplazamiento en menor volumen y generalmente no se manejan vidrios como los serigrafiados, apariencia de roca y domos. De la producción de vidrio marca Saint Gobain, el de mayor consumo es el vidrio de color gris y le sigue en consumo el vidrio claro de 6 mm y, al igual que ocurre en el caso de la compañía Vitro, los vidrios reflejantes, laminados y templados sólo se venden por pedido, excepto las unidades dobles, por no disponer aún del marco adecuado; generalmente no se manejan vidrios como el extraclaro u otros para envolvente en edificaciones.

En resumen, el resultado observado sobre la preferencia de uso de vidrio plano es similar para la producción de Vitro y la de Saint Gobain:

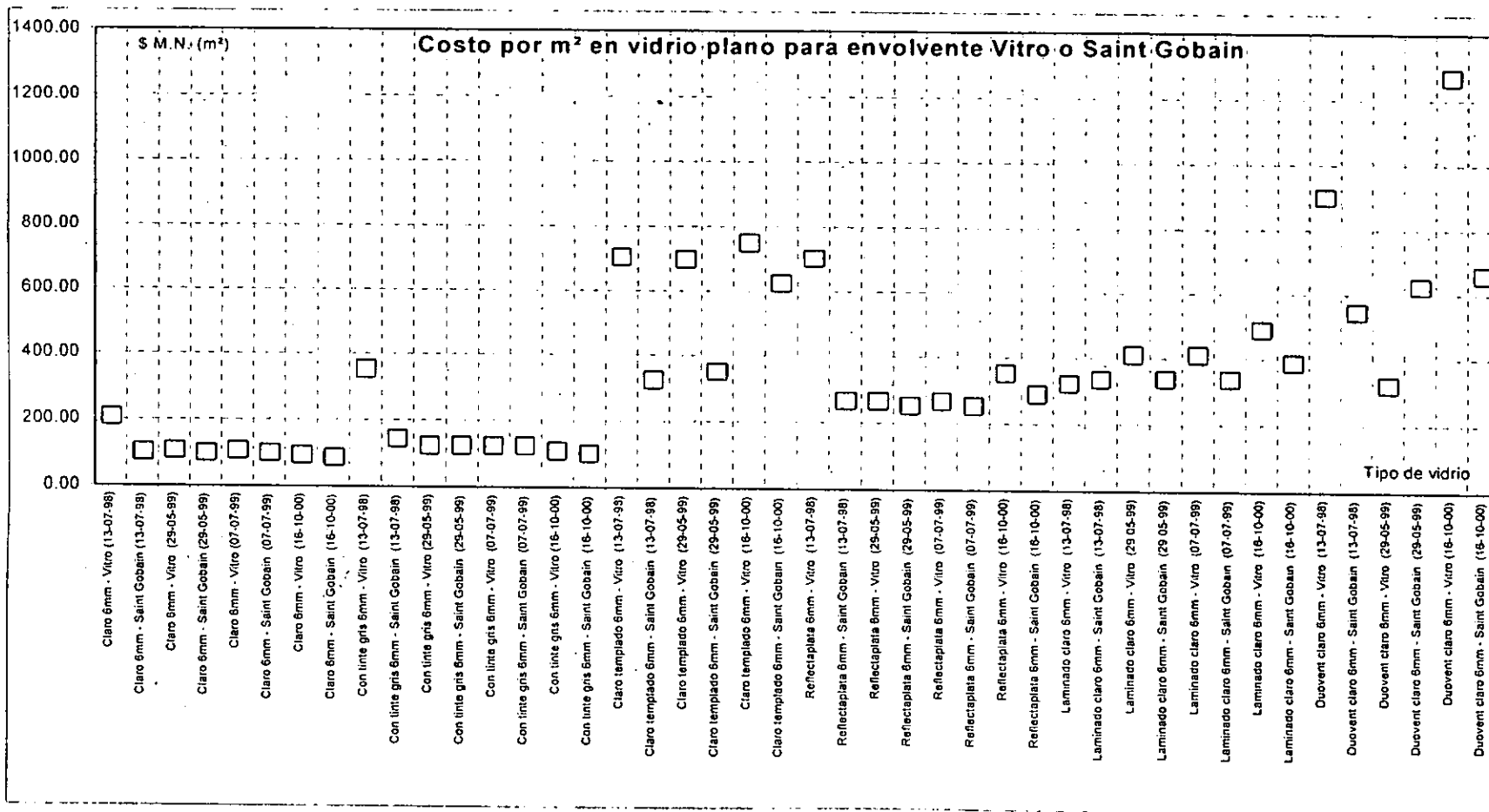
1º La principal preferencia en la adquisición de vidrio es en los tipos claro y de color, coincidiendo ambos en el espesor de 6 mm y en el tono gris en el de color, aunque la preferencia por el claro y el de color se vio invertida en Vitro con respecto a Saint Gobain.

2º Existe menor preferencia en la compra y/o uso de reflejantes, laminados, templados y unidades dobles, al venderse sólo por pedido, por lo que los distribuidores los manejan en menor volumen, y no es común que vidrios diferentes a éstos, a pesar de que aparezcan en los catálogos.

Se consultó con los distribuidores mayoristas de Vitro y Saint Gobain el costo por m² del vidrio para envolvente de edificaciones, en los años de 1998, 1999 y el 2000, a fin de hacer un seguimiento y/o comparación en los tipos de vidrio claro, con tinte en gris, reflejante reflectaplata, laminado en claro, templado y unidad doble, todos con un espesor en la lámina vítrea de 6 mm, datos que se presentan en la Tabla 3.3 y en la Gráfica 3.1.

Tabla 3.3 Costo (m²) de vidrio plano para envolvente(excepto Duovent), de los fabricantes Vitro y St Gobain en 1998, 1999 y 2000.

Tipo de vidrio:	Fecha	Costo por m ² (\$)
Claro 6mm - Vitro	13-07-98	207.00
Claro 6mm - Saint Gobain	13-07-98	103.74
Claro 6mm - Vitro	29-05-99	106.60
Claro 6mm - Saint Gobain	29-05-99	99.30
Claro 6mm - Vitro	7-07-99	106.60
Claro 6mm - Saint Gobain	7-07-99	99.30
Claro 6mm - Vitro	16-10-00	94.20
Claro 6mm - Saint Gobain	16-10-00	87.00
Con tinte gris 6mm - Vitro	13-07-98	353.80
Con tinte gris 6mm - Saint Gobain	13-07-98	144.22
Con tinte gris 6mm - Vitro	29-05-99	124.50
Con tinte gris 6mm - Saint Gobain	29-05-99	125.32
Con tinte gris 6mm - Vitro	7-07-99	124.50
Con tinte gris 6mm - Saint Gobain	7-07-99	125.32
Con tinte gris 6mm - Vitro	16-10-00	108.90
Con tinte gris 6mm - Saint Gobain	16-10-00	100.00
Claro templado 6mm - Vitro	13-07-98	704.00
Claro templado 6mm - Saint Gobain	13-07-98	325.50
Claro templado 6mm - Vitro	29-05-99	697.90
Claro templado 6mm - Saint Gobain	29-05-99	350.00
Claro templado 6mm - Vitro	16-10-00	750.00
Claro templado 6mm - Saint Gobain	16-10-00	625.00
Reflectaplata 6mm - Vitro	13-07-98	701.00
Reflectaplata 6mm - Saint Gobain	13-07-98	266.30
Reflectaplata 6mm - Vitro	29-05-99	266.30
Reflectaplata 6mm - Saint Gobain	29-05-99	253.00
Reflectaplata 6mm - Vitro	7-07-99	266.30
Reflectaplata 6mm - Saint Gobain	7-07-99	253.00
Reflectaplata 6mm - Vitro	16-10-00	352.10
Reflectaplata 6mm - Saint Gobain	16-10-00	290.00
Laminado claro 6mm - Vitro	13-07-98	321.24
Laminado claro 6mm - Saint Gobain	13-07-98	335.00
Laminado claro 6mm - Vitro	29-05-99	410.00
Laminado claro 6mm - Saint Gobain	29-05-99	335.50
Laminado claro 6mm - Vitro	7-07-99	410.00
Laminado claro 6mm - Saint Gobain	7-07-99	335.50
Laminado claro 6mm - Vitro	16-10-00	490.00
Laminado claro 6mm - Saint Gobain	16-10-00	385.82
Duovent claro 6mm - Vitro	13-07-98	900.00
Duovent claro 6mm - Saint Gobain	13-07-98	545.00
Duovent claro 6mm - Vitro	29-05-99	320.00
Duovent claro 6mm - Saint Gobain	29-05-99	625.00
Duovent claro 6mm - Vitro	16-10-00	1260.00
Duovent claro 6mm - Saint Gobain	16-10-00	661.00



Gráfica 3.1. Precio por m² en vidrio plano para envoltente de edificaciones de las marcas Vitro y Saint Gobain en los años de 1998, 1999 y 2000.

En el caso de los productos de vidrio plano de la compañía Viracon no fue posible conocer sobre la preferencia de su uso, ya que el vidrio de los fabricantes de Estados Unidos lo surten a nuestro país sólo por proyecto arquitectónico completo contratado, por lo que no es posible adquirir su material al menudeo.

En la comparación del costo de los vidrios claro, entintado y reflectaplata de las marcas Vitro y Saint Gobain se observa una tendencia similar: la reducción del diferencial en el precio entre las dos compañías en el lapso de un año, ya que en la consulta de 1998 la diferencia porcentual entre ellos era de 100% para el claro, 145% para el entintado y 164% para el reflectaplata, reduciéndose respectivamente en 1999 a 7.35%, 0.66% y 5.25% tanto en la segunda como en la tercera consulta, siendo el ajuste hacia un menor precio y a ser más competitivo el precio, situación que se mantiene en el 2000 para los vidrios claros y entintados, al ser su diferencial de 8.28% y 8.90% respectivamente, y en el reflectaplata el diferencial registrado para este año es de 21%, incrementando ambos fabricantes el precio, en mayor medida Vitro que Saint Gobain.

La diferencia en el precio del vidrio de seguridad laminado entre las compañías Vitro y Saint Gobain fue de 4.10 % en 1998, incrementándose a 22.20 % en 1999 y 27% en el 2000, pero se cree se debe desconsiderar la primera relación, porque el costo por m² proporcionado por el distribuidor mayorista de la compañía Vitro incluía un descuento que se aplica a una Institución Educativa y que no es proporcionado en forma usual a todos los consumidores.

En el vidrio de seguridad templado de las compañías Vitro y Saint Gobain, la diferencia en el precio fue de 116 % en julio de 1998, de 99% en 1999 y de 20 % en el 2000, por un incremento en el precio del de Saint Gobain.

En el caso de las unidades con cámara de aire, no ha sido posible establecer una relación en el precio entre las dos compañías, ya que el costo proporcionado por Saint Gobain en 1998 y 1999 cubría la instalación y el material con láminas de vidrio de 6 mm de espesor, en un marco que no es el que corresponde a una unidad doble, debido a que al realizarse la entrevista no contaban con él en México. En el caso de la unidad duvent de la compañía Vitro, el costo de 1999 en relación al de 1998 sufrió una reducción significativa de un 35 % y el del 2000 está pendiente su cotización.

3.3. Conclusiones.

A pesar de existir en el país la oferta potencial de aproximadamente 1406 vidrios diferentes, de los cuales 240 son fabricados en el país, en la Cd. de México el vidrio que más se adquiere para la

envolvente de las edificaciones en general es el que corresponde a los tipos claro y entintados en gris y cobre, en un espesor de 6 mm, el primero sin control solar y los segundos con control, por una mayor absorción en su masa; otros vidrios con control solar como pueden ser diferentes entintados, reflejantes o unidades dobles se adquieren en menor medida y generalmente por pedido a los distribuidores mayoristas. Una posible consecuencia de esta preferencia puede ser la importante ganancia de calor que tienen las edificaciones en México por el uso excesivo de vidrio claro, por lo que será importante orientar y normar el uso de este vidrio para procurar aminorar este efecto.

4. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL VIDRIO UTILIZADO EN LA ENVOLVENTE DE EDIFICACIONES EN MÉXICO.

La envolvente es la envoltura de una edificación: constituida por materiales a los que llamamos transparentes u opacos, en función de si permiten o no el paso de la luz y/o la radiación: su interrelación con la energía del medio ambiente es constante, y la velocidad en el intercambio energético a través de la envolvente se ha visto acelerada, en la evolución de la misma, por la tendencia hacia un mayor uso de materiales transparentes a la radiación y un menor uso de los opacos, lo que ha presionado a la tecnología a producir materiales translúcidos y/o transparentes, que cuenten con más control solar, a fin de reducir la velocidad de la transferencia de energía térmica a través de ellos; pero a pesar de que la disminución en la transferencia térmica se está logrando, es aún elevada, comparada con los opacos, ya que la ganancia de calor a través de materiales como los vidrios, además de llevarse a cabo por los mecanismos de transferencia térmica como en los opacos, presenta ganancias térmicas importantes a través de la radiación, al incidir en ellos el flujo radiativo.

4.1. Principios físicos de la fuente térmica.

Dada la importancia que la radiación solar tiene en las edificaciones, se inicia este capítulo proporcionando una breve descripción de ella, de tal manera que permita vincularla al comportamiento térmico de la envolvente y en la evaluación del material translúcido a la radiación electromagnética en condiciones controladas o estandarizadas.

4.1.1. Naturaleza de la Radiación.

Existe en el espacio energía en movimiento en forma de ondas electromagnéticas originadas o radiadas de diversas formas y por esta radiación electromagnética son posibles las comunicaciones y la investigación de la estructura interna de la materia¹⁰⁴. Se ha usado el término de ondas electromagnéticas, pero es más general el de radiación electromagnética, a la cual llamaremos en lo sucesivo radiación e.m., existiendo dos teorías diferentes para interpretar su comportamiento: la teoría ondulatoria y la teoría corpuscular y, según el fenómeno a estudiar, es adecuado considerar una o la otra¹⁰⁴.

La teoría ondulatoria indica que la luz, y en general la radiación e.m. posee naturaleza de ondas o vibraciones de campos eléctricos y magnéticos que viajan o se transmiten de un punto a otro del espacio; la teoría corpuscular indica que la luz está formada por partículas elementales, llamadas

fotones: ambas teorías son necesarias para explicar el comportamiento de la radiación e.m., al presentar al mismo tiempo propiedades de onda y de partícula (onda-corpúsculo)¹⁰⁴

Los parámetros que caracterizan una onda electromagnética son: su frecuencia o longitud de onda y su amplitud, intensidad o energía. La velocidad de transmisión en el espacio no es una característica de cada radiación e.m., pues todas viajan en el espacio libre con la misma velocidad, conocida como velocidad de la luz en el vacío y cuyo valor es: $c = 3 \times 10^8$ m/s.

Toda onda electromagnética transporta energía, que siempre es un múltiplo de una energía mínima, la energía asociada a un fotón, de acuerdo a la teoría corpuscular. La energía mínima o energía del fotón depende de la frecuencia que tenga la radiación e.m. considerada, de forma que podemos decir que los fotones correspondientes a radiaciones de diferente frecuencia son diferentes porque poseen diferente energía. La relación entre la frecuencia y la energía del fotón es $E = h \cdot \nu$, donde $h = 6.62 \times 10^{-34}$ J.s; por tanto la energía de una radiación e.m. será un múltiplo de esta energía E de un fotón¹⁰⁴ y de la frecuencia, ν .

4.1.2. Espectro electromagnético.

La longitud de onda es una característica que distingue a las diferentes radiaciones e.m. y es común, por tanto, clasificar la radiación e.m. según su longitud de onda (o según su frecuencia o la energía de sus fotones, ya que todas ellas están relacionadas), dando lugar al llamado espectro electromagnético¹⁰⁴. (Fig. 4.1.)

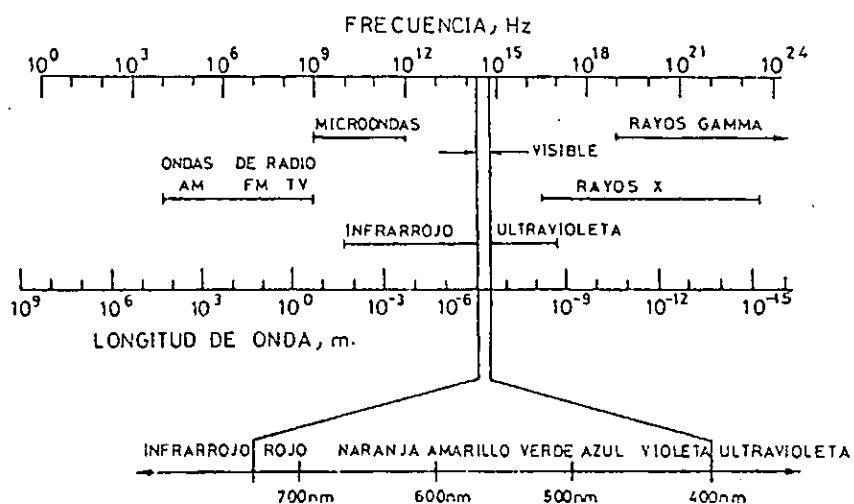


Fig. 3.1: Espectro electromagnético¹⁰⁴

4.1.3. Atenuación y variabilidad de la radiación solar.

A la Radiación solar total que se recibe fuera de la atmósfera terrestre se le conoce como constante solar, y un valor aceptado en la escala radiométrica mundial es de 1367 W/m^2 ¹⁰⁶; la radiación solar que llega a la superficie terrestre es menor a la constante por atenuación del flujo, debido a factores como absorción, reflexión y dispersión, ocasionados por componentes atmosféricos (Fig. 4.2.), además de factores astronómicos, geométricos y geográficos¹⁰⁶. La radiación solar al penetrar en la atmósfera terrestre es absorbida por gases: ozono, oxígeno y bióxido de carbono; por el agua, como vapor y por los aerosoles: partículas de polvo, cenizas, niebla y otros contaminantes atmosféricos. Parte de la radiación solar que no es absorbida, se dispersa, desviada de su dirección original, y llega a la superficie como radiación difusa; otra parte de la radiación solar que llega a la atmósfera terrestre es reflejada hacia el espacio por moléculas de aire, polvos, nubes y por la superficie de la tierra¹⁰⁶.

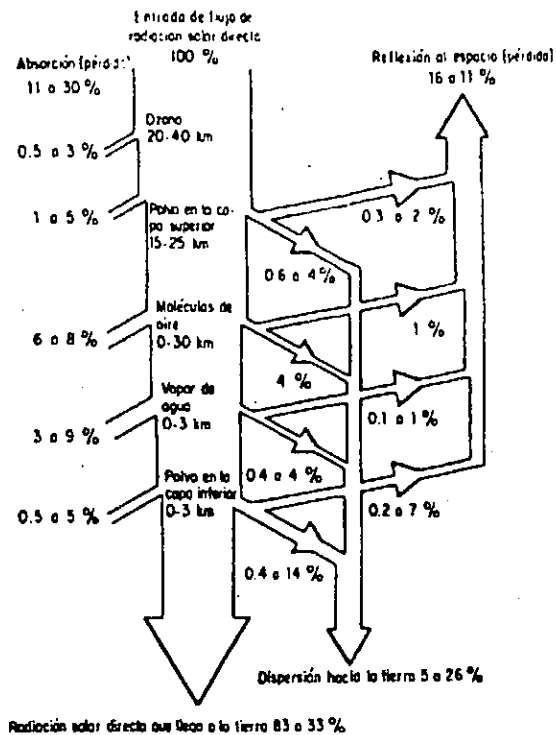


Fig. 4.2: Absorción, reflexión y dispersión de la radiación solar directa que incide en la superficie de la tierra en una atmósfera de cielo claro¹⁰⁶.

La atenuación del flujo radiativo varía en función de la longitud de la atmósfera que atraviesa, expresada en términos de masa de aire o masa óptica, M , por lo que el flujo radiativo antes de atravesar la atmósfera corresponde a una masa cero, M_0 ^{96, 29}. La transparencia atmosférica depende de la longitud de la trayectoria de los rayos solares a través de la atmósfera, la cual es mínima cuando el sol se encuentra en el zenith y se va incrementando a medida que el ángulo zenital crece¹⁰⁶. La masa óptica uno, M_1 , se define como la radiación normal incidente sobre un plano horizontal a nivel

del mar, y en ausencia de nubes. La masa óptica dos, M_2 , se define como la radiación incidente para una altura solar de 30° sobre un plano horizontal a nivel del mar en ausencia de nubes, y en la cual la distribución energética es aproximadamente: 3 % en la región ultravioleta; 44 % en la región visible, y 53 % en la infrarroja^{96 y 29}.

Las distribuciones espectrales para M_0 y M_2 están adaptadas del trabajo de Parry Moon (1940), en el que los datos de radiación no contemplan variaciones mensuales en intensidad, por cambios en la distancia entre el sol y la tierra, o por variaciones atmosféricas. A pesar de correcciones en trabajos posteriores: Threlkeld y Jordan (1958); Bird y Hulstrom (1982), el trabajo de Moon es aún aceptable y aceptado^{96,29}. Valores porcentuales para las regiones del espectro electromagnético, que retoman el trabajo de Moon en M_2 , y que se aplican a vidrios⁹⁵, reportan una distribución energética de: 5% para el ultravioleta; 50 % para el visible y 45 % para el infrarrojo. (Fig. 4.3)

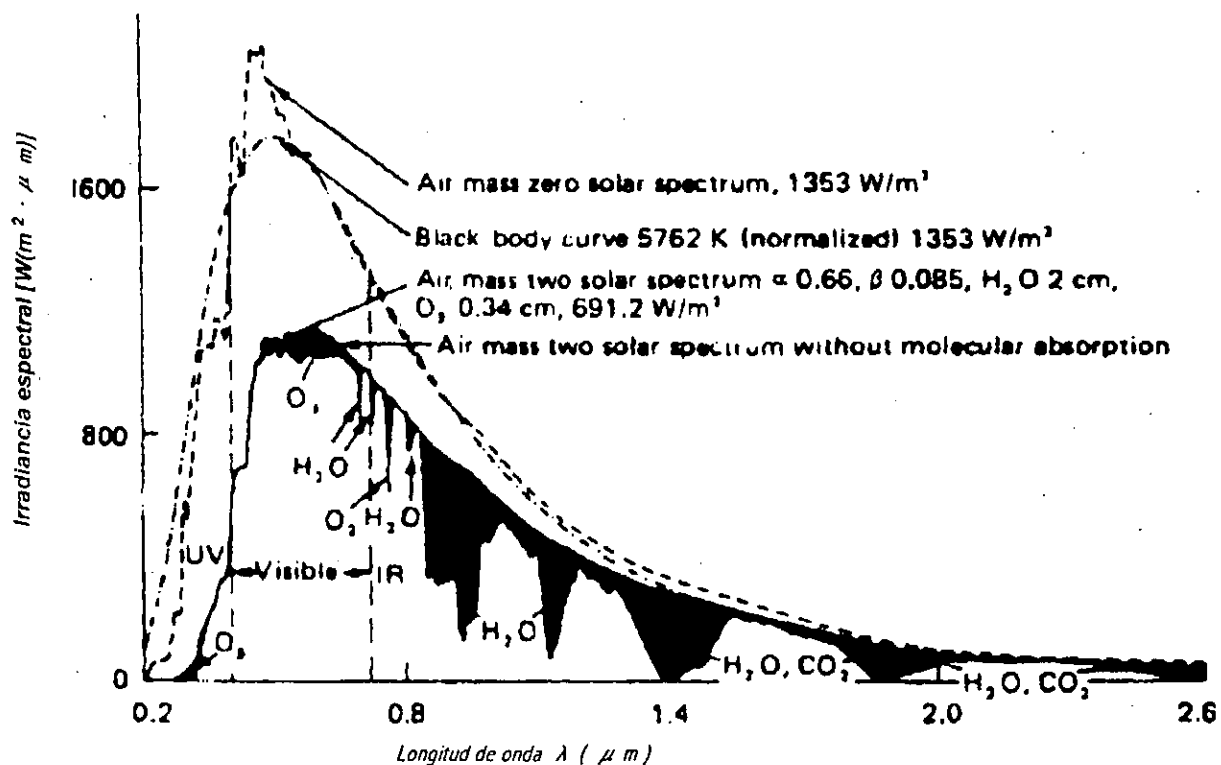


Fig. 4.3: Espectro solar para radiación solar en masa óptica cero y dos⁹⁷.

Como energía, la radiación solar es variable durante el día y durante el año, debido a la trayectoria elíptica de la translación de la tierra; a su rotación, así como a la inclinación del eje de $+23^\circ 45'$ y $-23^\circ 45'$, con respecto al plano de la elíptica (Fig. 4.4.) y que aunado a factores geográficos, como la latitud, determinan una variabilidad en la recepción del flujo radiativo, como puede observarse en la Fig. 4.5, que considera la incidencia de radiación extraterrestre para latitudes de 0 a $80^\circ N$ durante el año.

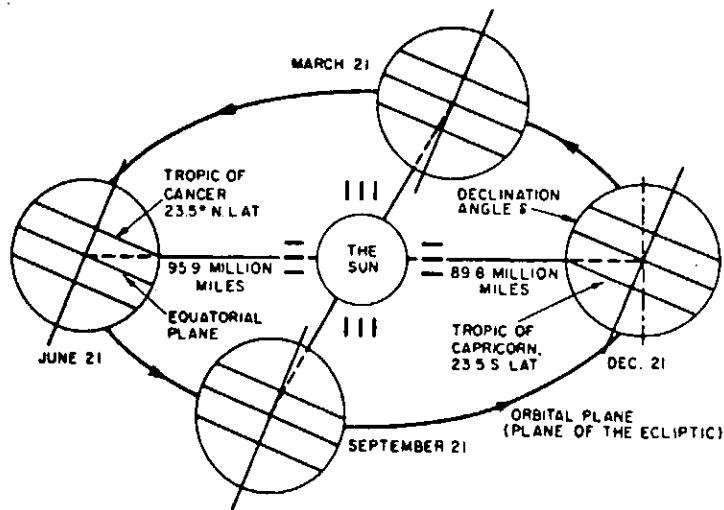


Fig. 4.4: Movimiento de la tierra alrededor del sol²⁹.

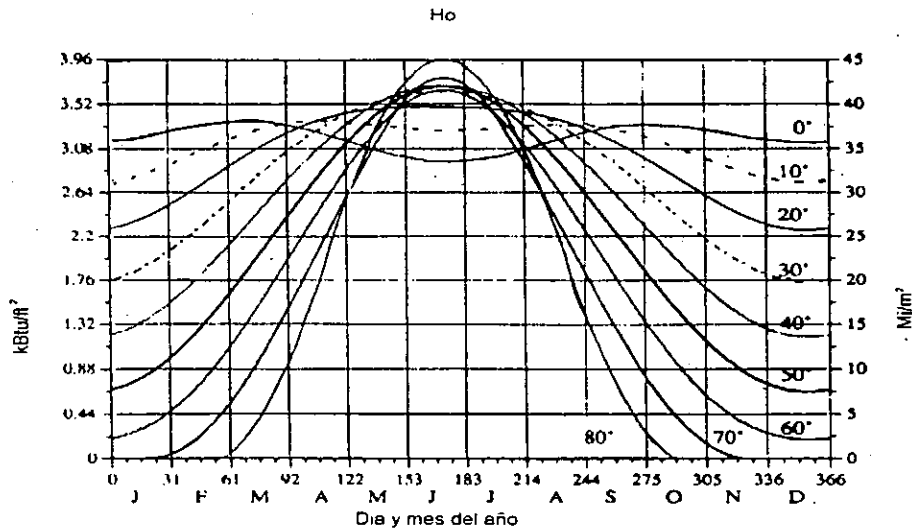


Fig. 4.5: Energía radiativa solar extraterrestre, como función del día del año, para latitudes de 0 a 80°N⁹⁷.

4.2. Comportamiento térmico de la envolvente de las edificaciones.

La radiación solar, tanto la directa como la difusa, es uno de los medios naturales más importantes en la ganancia de calor a las edificaciones, y por ello es imprescindible considerar este recurso en el balance energético de su diseño, así como la conductividad o resistencia al paso de calor que los materiales presentan al flujo radiativo.

La transferencia de radiación calorífica que afecta a la edificación se divide en cinco tipos⁹³ diferentes (Fig. 4.6), y según su orden de importancia son:

1.- Radiación de onda corta, directa del sol.

- 2.- Radiación difusa de onda corta, procedente de la bóveda celeste.
- 3.- Radiación de onda corta, producto de la reflexión en los terrenos adyacentes.
- 4.- Radiación de onda larga, del suelo y de los objetos cercanos cuya temperatura es elevada.
- 5.- Radiación de onda larga, en intercambio desde el edificio hacia el cielo.

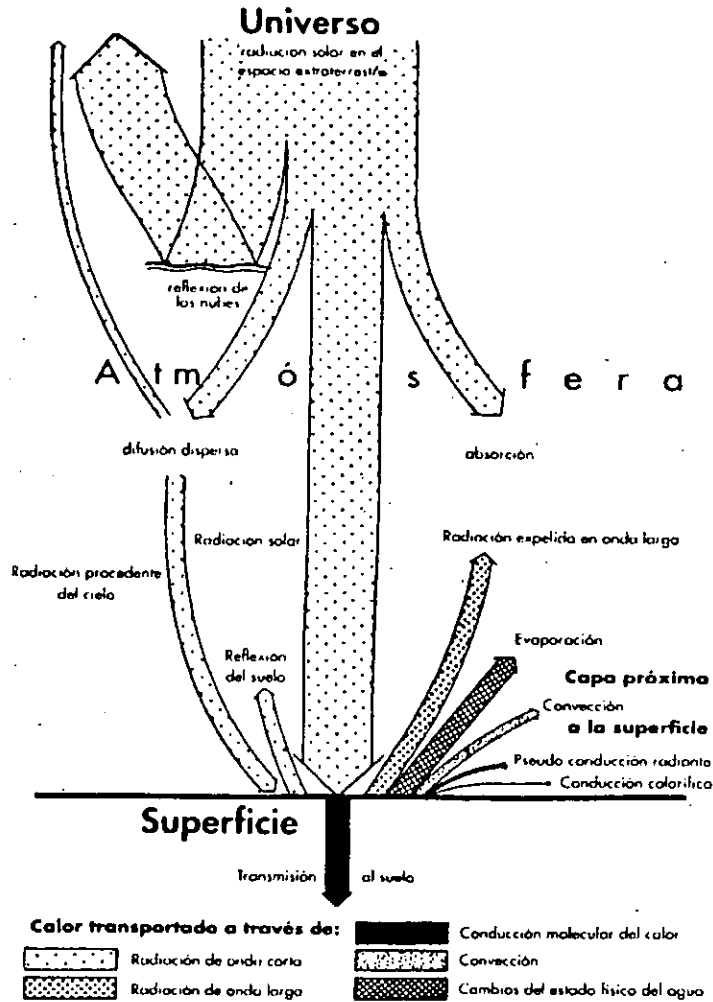


Fig. 4.6: Intercambio calorífico al mediodía en un día de verano.⁹³

4.2.1 Mecanismos de transferencia de calor en la envolvente.

Una edificación es un sistema abierto, ya que interactúa con el medio ambiente a través de la envolvente^{8, 12, 29, 94, 105}; en ésta, la transferencia de energía térmica se realiza por los mecanismos de conducción, convección y radiación: en los dos primeros, a través de la materia por diferencia de temperatura^{94,107} y presión; y en el segundo, por transporte macroscópico de masa¹⁰⁷. En la transmisión de calor por radiación solar directa hay una transformación en la forma de la energía: de una energía electromagnética, a una energía interna en el receptor^{43, 94}, de acuerdo a la primera Ley de la Termodinámica.

En los mecanismos de transferencia de energía térmica por conducción y convección, al ser afectados principalmente por un diferencial de temperatura y presión, determinan la rapidez con que se presenta la transferencia de calor, por lo que el incremento de la temperatura del receptor es menor, en comparación al mecanismo de radiación solar directa, dado que ésta al incidir en las superficies incrementa más la temperatura del receptor y por lo tanto su energía interna⁴³.

En los materiales de la envolvente, el paso de la radiación e.m. o luz a través de ellos puede ser nulo, y entonces nos referimos a un material opaco al paso de la radiación, pero si el paso de la radiación o transmitancia es diferente a cero, nos referimos a un material transparente a la radiación, lo cual es importante, ya que es en los materiales transparentes a la radiación e.m. en los que la ganancia de calor es mayor al interior de las edificaciones que en los opacos. Tanto en opacos como en transparentes existen los tres mecanismos de transferencia de calor, pero en los opacos es mayor la ganancia de calor por conducción y convección, y en los transparentes es mayor la ganancia por radiación solar.

La transferencia de calor al interior de la edificación se realiza a través de los materiales que constituyen la envolvente, por lo que es importante y necesario conocer el comportamiento térmico de sus materiales, ya que de éste, depende el comportamiento térmico de la envolvente, y a su vez, el comportamiento térmico de la edificación.

4.2.2. El Cálculo de Cargas Térmicas: herramienta en el Diseño térmico de las edificaciones.

El comportamiento térmico en una edificación está en función del proceso de intercambio de calor entre el edificio y el medio ambiente, a través de su envolvente^{8, 12, 94, 110}, así como del edificio mismo^{12, 94}, por lo que se pueden presentar en él ganancias o pérdidas de calor, tanto externas como internas, dependiendo principalmente del diferencial de temperatura entre el exterior y el interior.

La carga térmica, (Fig. 4.7) se calcula tomando en cuenta diversos factores como son: la variación de la temperatura horaria en diferentes épocas; la ganancia directa de calor solar a través de la envolvente en sus planos: paredes y techos, y éstos, en sus diferentes porciones, en función de sus propiedades físicas, considerando de ellos sus orientaciones, la incidencia de radiación solar, de acuerdo a la ubicación geográfica, la declinación, los diferentes mecanismos de transmisión de calor para cada uno de los materiales, las ganancias de calor por ventilación e infiltración, así como la ganancia interna por cargas metabólicas, iluminación y equipo mecánico^{12, 92, 93, 94}.

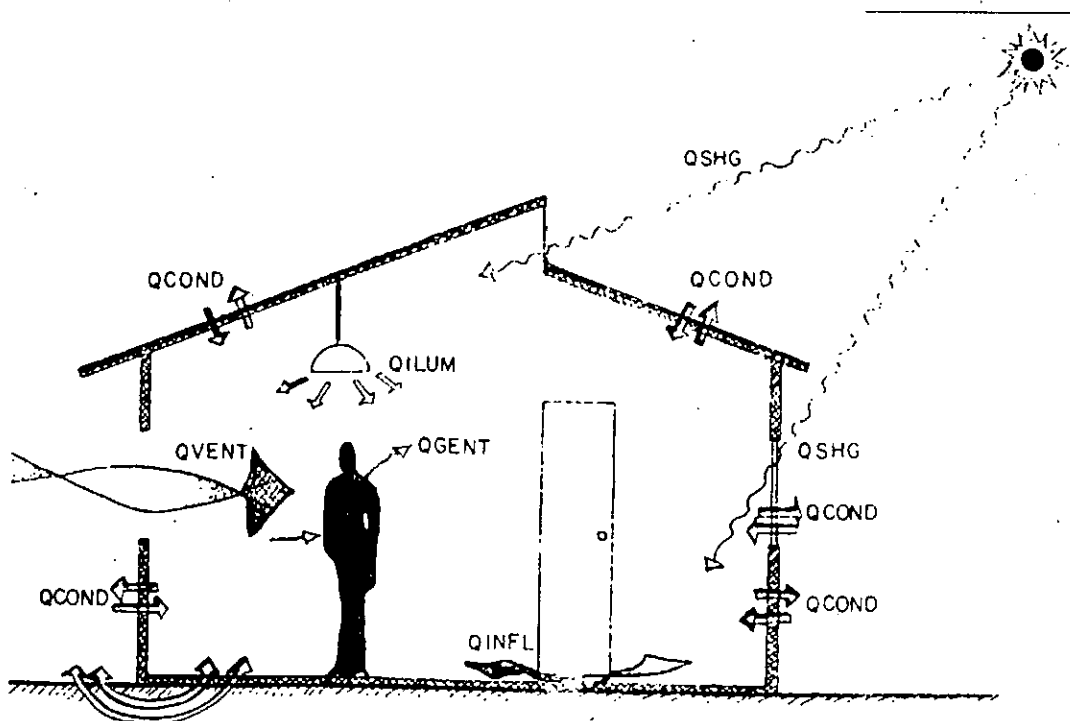


Fig. 4.7: Cargas térmicas externas e internas en una edificación¹²

4.2.3. El comportamiento térmico del vidrio en el comportamiento térmico de la envolvente.

El desarrollo moderno de la planificación y de la construcción arquitectónica ha agudizado el problema del control de la recepción de radiación solar en las edificaciones, ya que los masivos muros de carga tradicionales, que combinaban la función del soporte con la de protección contra la luz y el calor, han sido sustituidos por elementos estructurales que soportan las cargas, a manera de esqueleto, cubiertos por muros cortina con diferentes materiales, entre los que destacan los transparentes a la radiación^{87, 93, 116}, como se concluye en el capítulo 1 de este trabajo: *El uso del vidrio en la evolución de la envolvente de las edificaciones*, e incrementando con ello la ganancia de calor al interior de las edificaciones.

Analizar el comportamiento térmico de los materiales como transmisores o aislantes de calor se puede realizar a través de cálculos periódicos del flujo de calor, integrando los efectos producidos por conducción, convección y radiación. En la Fig. 4.8. se muestra un ejemplo de los resultados del análisis del flujo calorífico⁹³ cuando éste atraviesa diferentes componentes en una edificación ubicada a 40°N en Nueva York-Nueva Jersey y que cuenta con 866 m² de muros (línea 5), formados por un acabado exterior de madera adosado a un panel aislante de lana mineral de 5 cm de espesor y otro panel de yeso de 0.95 cm de espesor como acabado interior; techo (línea 2) de 768 m² con losetas de

asfalto, que tienen una absorción de calor de 0.7, fijadas a madera, más una capa de aislante de 7.6 cm de espesor; 139 m² de ventanas de vidrio claro (línea 1) para ganancia de calor por radiación, y (línea 4) para ganancia de calor por conducción, con una transmisión de radiación solar de 0,77, para una incidencia normal; 3.5 m² de puertas (línea 6); y la infiltración (línea 3).

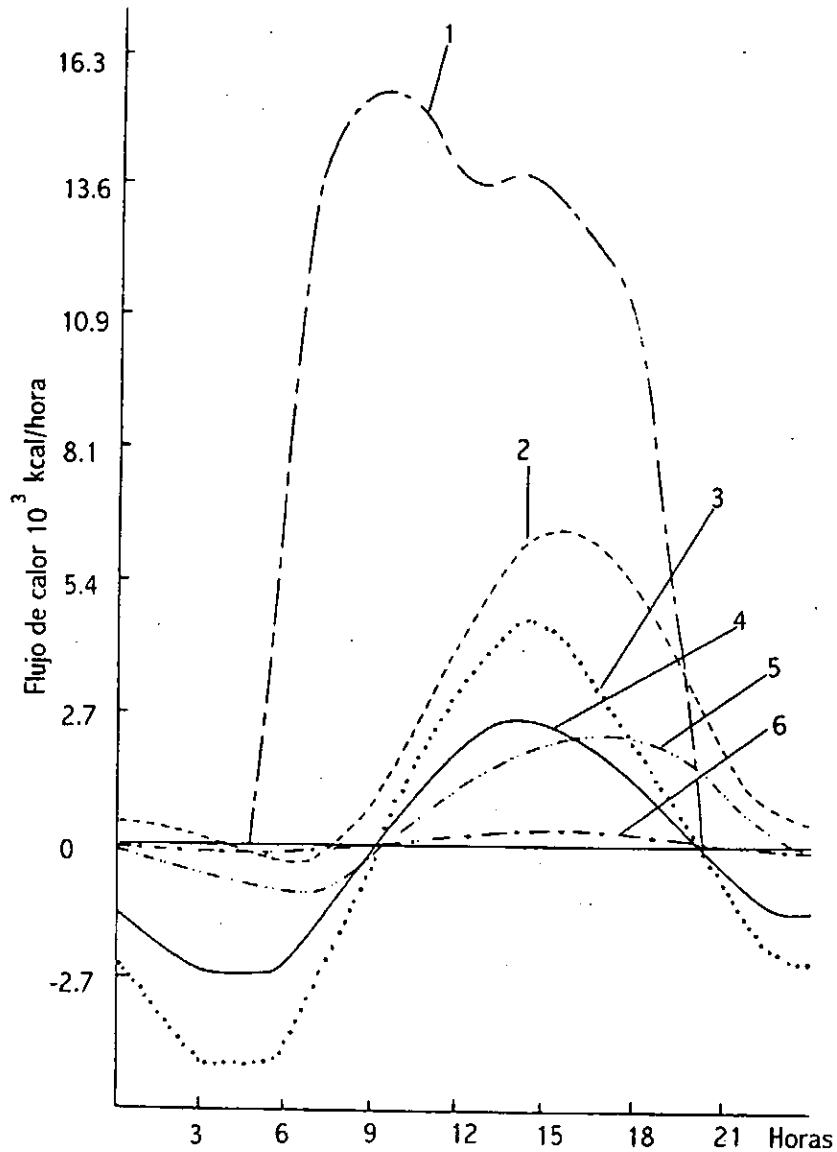


Fig. 3.8: Análisis del ejemplo: flujo calorífico al atravesar diferentes materiales: ⁹³

Del ejercicio, se observa que la mayor ganancia de calor se tiene por el mecanismo de radiación, a través de las ventanas (1), mientras la radiación incide en el material transparente, y decrece después de las 15 hrs.; en cuanto a pérdidas térmicas, en ausencia de radiación incidente, la más importante, además de la infiltración (3), es la que se da por conducción a través del material transparente (4), y que es mayor a la de materiales opacos como los muros (5), techo (2) y puertas (6).

La capacidad de los materiales transparentes de transmitir la radiación depende del ángulo de incidencia de la radiación, de la distribución de la longitud de onda de la radiación incidente, de la composición química del material transparente a la radiación y de su espesor²⁹.

Para la evaluación del comportamiento térmico de la envolvente o de su diseño, a través del cálculo de cargas térmicas, es necesario contar con los valores de las propiedades ópticas y termofísicas de todos y cada uno de los materiales que conforman tanto la envolvente como la estructura interna de la edificación, y en el caso de materiales transparentes a la radiación, como lo es el vidrio, debido a su naturaleza, por su respuesta a la radiación electromagnética y sensibilidad en la transferencia de energía directa principalmente, que lo hacen más susceptible de altas ganancias y/o pérdidas térmicas a través de la envolvente, que en el caso de los materiales opacos, es más crítico contar con valores lo más preciso posible, a fin de que a través de un manejo adecuado de los mismos en el cálculo térmico, se logre un uso adecuado y/o racional del vidrio como elemento en la envolvente.

Las propiedades que en el vidrio interactúan con la energía electromagnética y determinan su comportamiento térmico son básicamente de tipo óptico y termofísico, que a su vez, son función de la composición química del material y considerando la diversidad de productos, se presenta una amplia variación en los valores de las propiedades físicas, y por ende en el comportamiento térmico.

Las propiedades ópticas, vinculadas al comportamiento térmico del vidrio son: la transmitancia, la reflectancia y la absortancia, y de éstas, la primera y la tercera inciden de manera directa en la transferencia térmica al ingresar como radiación: la primera en forma directa, y la segunda por reradiación, por un diferencial de temperatura y/o coeficiente de convección entre el interior y el exterior. La reflectancia, no es un aporte térmico ya que es la proporción que de la energía radiante incidente no ingresa a través del vidrio, pero es importante, ya que su relación con la ganancia de calor al interior es inversamente proporcional a la misma. Los valores de las propiedades ópticas presentan variación por la amplia gama de productos existentes.

De las propiedades térmicas, la conductividad térmica es la razón a la que el flujo de calor por contacto molecular se transmite a través de un material, participando en la transferencia de calor por conducción, y vinculado al movimiento de masa en la transferencia energética por convección, expresado a través del Coeficiente Global de Transferencia de Calor, U, presenta variación en su valor, como función de la composición química del material vítreo. La densidad y el calor específico son importantes en la transmisión del calor: la primera, es la relación entre el volumen y la masa, que influye en la transmisión de energía térmica, ya que a mayor contacto molecular, mayor transmisión de calor, y en términos generales, al vidrio se le considera de 2500 kg/m^3 ^{95,40}; el calor específico es la cantidad de calor que requiere un gramo de material para elevar su temperatura un grado centígrado,

y aunque depende de la temperatura, al vidrio se le considera de $795 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ó $0.19\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ a una temperatura de 20°C ⁹⁵

4.2.4. Valores de las propiedades del vidrio en el cálculo de cargas térmicas.

El cálculo de cargas térmicas permite el diseño térmico en las diferentes etapas del proceso de una edificación¹³, desde la selección de materiales y hasta antes de iniciar la edificación, durante el proceso de construcción, si ya está construida, al efectuar remodelaciones, por ejemplo cuando se requiere un microambiente interno confortable y/o reducir el gasto energético por instalaciones. Los costos económicos se incrementan conforme la etapa del proceso en la edificación es más avanzada.

Para efectuar el cálculo de cargas térmicas se requiere de valores de las propiedades de cada uno de los materiales que constituyen la envolvente, así como de los que conforman el interior de la edificación, y considerando que es a través de los materiales transparentes donde se presentan ganancias y pérdidas térmicas más importantes, que las que se tienen a través de los materiales opacos, es más crítico en el caso de los transparentes contar con valores confiables de sus propiedades físicas, que permitan realizar un diseño térmico con baja incertidumbre.

A fin de conocer valores de propiedades que del vidrio se han reportado, y que pudieran ser fuente de consulta para el diseño térmico de la envolvente por profesionales vinculados a la edificación, como son los Arquitectos, Ingenieros o Diseñadores, se realizó una revisión bibliográfica sobre las propiedades del vidrio claro o convencional, que es el más utilizado en nuestro país; y del que con más frecuencia se reporta en la literatura.

La revisión bibliográfica se llevó a cabo en más de 50 obras, encontrándose datos sobre propiedades físicas del vidrio claro en 33, específicamente en las de Densidad, Calor específico, Conductividad térmica, Coeficiente Global de Transferencia de Calor, y las propiedades ópticas Reflectancia, Absortancia y Transmitancia, que se detallan en las Tablas de la A.1. a la A.6., que conforman el anexo A.

En la Tabla A.1. se enlista la bibliografía consultada y clasificada en los siguientes rubros: 1.- de los Fabricantes de vidrio; 2.- literatura de Física o Ingeniería, sobre mecanismos de transferencia de calor; 3.- vinculada al Diseño en Arquitectura, y 4.- relacionada con el Anteproyecto de la Norma 008, de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE, de la Secretaría de Energía, en México., incluyendo los valores para Densidad y Calor específico.

Los valores reportados de la Conductividad térmica y el Coeficiente Global de Transferencia de calor, en vidrio claro, se presentan en la Tabla A.2. y los correspondientes a las propiedades ópticas Reflectancia, Absortancia y Transmitancia, en la Tabla A.3. y por último, el comportamiento térmico del vidrio claro, expresado como los valores para la Ganancia de calor solar, el Coeficiente de sombreado y la Ganancia de calor relativa, en la Tabla A.4.

De la consulta bibliográfica sobre propiedades térmicas, ópticas y comportamiento térmico en vidrio claro, se deduce que existe dificultad para utilizar los valores reportados y con ellos realizar un cálculo de cargas térmicas para efecto de diseño de la envolvente de un edificio, por los motivos siguientes:

- 1.- Los valores para propiedades térmicas se encuentran reportados en diferentes unidades, lo que representa dificultad en su aplicación, a menos que se hagan las conversiones correspondientes.
- 2.- Se observa que cuando el valor de las propiedades están reportadas en unidades similares existe variabilidad en éstas.
- 3.- Es posible que la variación en los valores de las propiedades, a pesar de referirse a un material similar, se deba a que existen diferencias en cuanto a su composición química, y sea ésta la causa de la disparidad en los valores de sus propiedades físicas.
- 4.- Para una misma referencia bibliográfica, los valores de las propiedades ópticas y/o térmicas son incompletos, lo que obliga a completar la serie requerida para el cálculo de cargas térmicas, utilizando diferentes fuentes de consulta, lo que incrementa la incertidumbre o la incongruencia de datos.
- 5.- Existe confusión en los nombres designados a las propiedades vinculadas al comportamiento térmico, por ejemplo: a la ganancia de calor solar por transmitancia y absortancia, el Fabricante Vitro la reporta como Transmitancia Total, el Fabricante Saint Gobain como Factor Solar, y el Fabricante Viracon como Coeficiente de ganancia de calor solar, CGCS.
- 6.- Las propiedades ópticas y el comportamiento térmico no representan problema en su uso, al ser adimensionales, sin embargo, también en ellas hay variabilidad, principalmente en la absortancia y en la transmitancia.

A fin de completar el ejercicio anterior, se realizó la conversión de unidades reportadas en forma diferente, ya que al disponer de datos en el mismo sistema de medida es posible determinar el rango de dispersión de los valores en la bibliografía consultada para las propiedades vinculadas con el aspecto térmico: Densidad, Calor Específico, C.E., Conductividad Térmica y Coeficiente Global de Transferencia de Calor.

En la tabla A.5. se presentan los valores para la Densidad y el Calor específico, algunos de ellos con referencia a una temperatura en la que se realizó la medición, y por último, los valores de la Conductividad Térmica y el Coeficiente Global de Transferencia de Calor, se muestran en el Tabla A.6:

En la comparación de los valores reportados para propiedades térmicas en vidrio claro, se observa:

Una dispersión o variabilidad de: 211% en la Conductividad Térmica; de 34% para el Calor Específico; de 27% en la Densidad, y de 97% en el Coeficiente Global de Transferencia de Calor.

Una dispersión o variabilidad en los valores de propiedades ópticas de: 123% en la Transmitancia; 203% en la Absortancia, y 77% en la Reflectancia:

4.3. Análisis experimental.

Por la importancia que tiene el vidrio en la envolvente de las edificaciones, y la necesidad de contar con valores, lo más preciso posible, para su diseño, se planteó el evaluar experimentalmente el comportamiento térmico de algunos vidrios, a través de sus propiedades termofísicas, que tuviesen uso tanto real como potencial en nuestro país, con el fin de conocer el rango de dispersión en los valores experimentales de las propiedades ópticas y térmicas, comparar los valores experimentales con los reportados por el fabricante y determinar su comportamiento térmico, con comparación posterior con el reportado por el fabricante.

4.3.1. Selección del material a evaluar.

En la selección del vidrio, para su evaluación, se consideraron cinco aspectos:

1°. Tener la seguridad de la fuente de producción: las muestras provienen en forma directa y clasificada de los fabricantes Vitro y Saint Gobain, y/o a través de sus distribuidores mayoristas exclusivos.

2°. Contar con los vidrios que más se compran por volumen a los distribuidores mayoristas y exclusivos de las firmas Vitro y Saint Gobain en la Cd. de México, que son el claro y el entintado, en la tonalidad gris que es la preferida; el primero no ofrece control solar, y el segundo sí la ofrece.

3°. Evaluar en el espesor de 6 mm, que es el más demandado y que permitirá comparar las propiedades en el mismo espesor; sin embargo se incluye también al vidrio claro de 3 mm, que aunque no es de los más solicitados, para efecto de evaluación de comportamiento térmico, la ganancia de calor en este tipo de vidrio y en este espesor se considera como marco de referencia.

4°. Considerar al vidrio que presenta la ventaja adicional de una resistencia al impacto y con ello, proporciona seguridad a la envolvente, el cual es conocido como laminado o inastillable.

5°. Considerar al vidrio reflejante, que tiene un control solar mayor que los entintados, en las tonalidades plata y azul.

Se había contemplado incluir al vidrio templado, pero al no ser posible templarlo en las dimensiones requeridas para las pruebas ópticas y térmicas, así como el no poder cortarlo en el tamaño necesario una vez templado, motivó el que se le descartara, quedando el grupo de vidrios seleccionados de acuerdo a la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Vidrios seleccionados para evaluar su comportamiento térmico.

Tipo de vidrio	Marca	Clave	Procedencia de las muestras:	
			Del Fabricante:	De distribuidores:
Vidrio claro 3 mm	Vitro	Vcl3-V	X	
Vidrio claro 3 mm	Vitro	Vcl3-DM1-V		X
Vidrio claro 3 mm	Vitro	Vcl3-DM2-V		X
Vidrio claro 3 mm	Saint Gobain	Vcl3-SG	X	
Vidrio claro 3 mm	Saint Gobain	Vcl3-DM1-SG		X
Vidrio claro 3 mm	Saint Gobain	Vcl3-DM2-SG		X
Vidrio claro 6 mm	Vitro	Vcl6-V	X	
Vidrio claro 6 mm	Vitro	Vcl6-DM1-V		X
Vidrio claro 6 mm	Vitro	Vcl6-DM2-V		X
Vidrio claro 6 mm	Saint Gobain	Vcl6-SG	X	
Vidrio claro 6 mm	Saint Gobain	Vcl6-DM1-SG		X
Vidrio claro 6 mm	Saint Gobain	Vcl6-DM2-SG		X
Vidrio con tinte gris 6 mm	Vitro	Vct6-V	X	
Vidrio con tinte gris 6 mm	Vitro	Vct6-DM1-V		X
Vidrio con tinte gris 6 mm	Vitro	Vct6-DM2-V		X
Vidrio con tinte gris 6 mm	Saint Gobain	Vct6-SG	X	
Vidrio con tinte gris 6 mm	Saint Gobain	Vct6-DM1-SG		X
Vidrio con tinte gris 6 mm	Saint Gobain	Vct6-DM2-SG		X
Vidrio claro laminado 6 mm	Vitro	VLam6-DM1-V		X
Vidrio claro laminado 6 mm	Vitro	VLam6-DM2-V		X
Vidrio claro laminado 6 mm	Saint Gobain	VLam6-DM1-SG		X
Vidrio claro laminado 6 mm	Saint Gobain	VLam6-DM2-SG		X
Vidrio reflejante azul 6 mm	Vitro	VRsazul6-V	X	
Vidrio reflejante azul 6 mm	Saint Gobain	VRlazul6-SG	X	
Vidrio reflejante plata 6 mm	Vitro	VRsplata6-V	X	
Vidrio reflejante plata 6 mm	Saint Gobain	VRlplata6-SG	X	

4.3.2. Selección de propiedades físicas y comportamiento térmico a evaluar.

Las propiedades a evaluar, en los vidrios seleccionados, son las que reportan los propios fabricantes de vidrio, y además, la Conductividad térmica, que se consideran básicas para determinar su comportamiento térmico, para efectos de diseño en el cálculo de cargas térmicas, así como en la aplicación relacionada a la normatividad sobre ahorro de energía en edificaciones.

Las propiedades ópticas y térmicas, seleccionadas son:

Propiedades ópticas:

- Reflectancia;
- Transmitancia, y
- Absortancia

Propiedad térmica:

- Conductividad térmica

El comportamiento térmico, a evaluar, en los vidrios seleccionados es el siguiente:

- Ganancia de calor solar;
- Coefficiente de sombreado;
- Coefficiente global de transferencia de calor, y
- Ganancia de calor relativa.

4.3.3. Propiedades ópticas.

Una de las maneras de obtener información sobre las características y propiedades de un material, objeto de estudio, es analizar la interacción de él con la radiación electromagnética: la luz visible es sólo una parte de la radiación e.m., pero ésta se extiende a regiones que nuestros ojos no detectan, como son las radiaciones ultravioleta e infrarroja, y que al igual que la visible interaccionan con la materia. Debido a que nuestra vista sólo es sensible a la visible, no podemos detectar, expresar y transmitir la información sobre la interacción de la luz con la materia, por lo que las técnicas ópticas y espectroscópicas nos permiten obtener la información de los materiales a través de la radiación electromagnética que interacciona con ellos^{54,104, 111}.

4.3.3.1 Procedimiento experimental.

En este apartado se describe la normatividad para la evaluación de las propiedades ópticas; así como el instrumento de medición de las mismas y la preparación de las muestras.

4.3.3.1.1. Normatividad.

Las normas en las que se basa este trabajo para la evaluación de las propiedades ópticas de los vidrios son la ISO 9050⁵² y la ASTM E 903⁵¹. Los fabricantes de vidrio reportan los valores de las propiedades ópticas del vidrio con referencia a la Norma ISO 9050, que especifica la medición, la comparación entre las muestras y con los valores reportados en la literatura por los mismos fabricantes; aplica tanto a vidrios convencionales como a los absorbentes y reflejantes, usados como coberturas vítreas en aberturas verticales u horizontales de la envolvente en las edificaciones, pero puede también aplicarse en materiales translúcidos o transparentes, que muestren una significativa transmitancia en las regiones del espectro electromagnético, tales como los plásticos, y permite la comparación entre diferentes tipos de vidrios. La norma ASTM E 903 especifica la medición de propiedades ópticas, usando espectrofotómetros con esferas integradas.

Cuando un haz de luz incide normalmente en la superficie de la materia, se producen fenómenos (Fig.4.9) que permiten estudiar las características internas de los materiales;

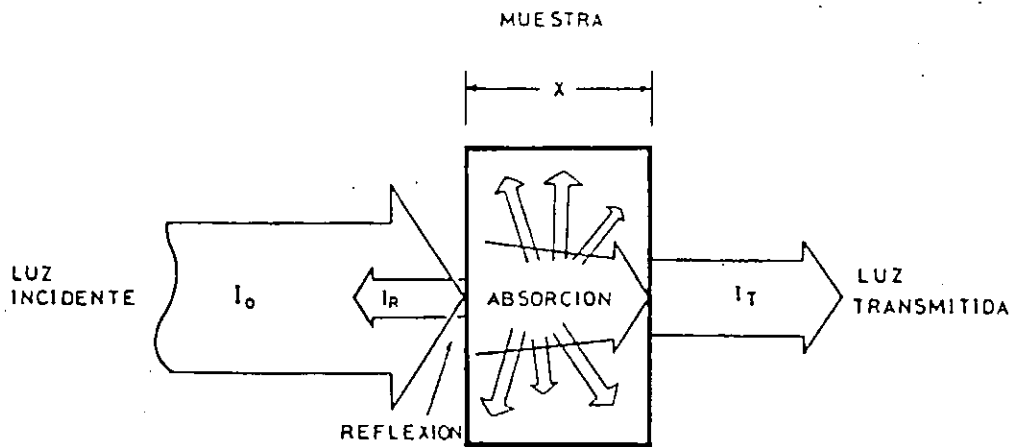


Fig. 4.9: Representación esquemática de los procesos de reflexión, absorción y transmisión en la interacción de la luz con una muestra de material.¹⁰⁴

Así, las magnitudes principales que caracterizan a cada uno de estos fenómenos son:

Reflexión: Es el fenómeno por el cual parte de la luz incidente sobre la superficie del material es reflejada por ésta, en dirección contraria. El coeficiente que caracteriza a la reflexión es la **reflectancia**, r , definida como:¹⁰⁴

$$r = \frac{I_r}{I_o} \quad (3.1)$$

Donde:

I_o = es la intensidad del haz de luz incidente en el material

I_r = es la intensidad del haz reflejado.

Transmisión: La fracción del haz de luz que atraviesa el material y sale por la superficie posterior, se le conoce como coeficiente de **transmitancia**, t' , y se define como:¹⁰⁴

$$t' = \frac{I_t}{I_o} \quad (3.2)$$

donde:

I_t = es la intensidad del haz de luz que atraviesa el material

I_o = es la intensidad del haz de luz incidente en el material.

Absorción: La luz que no es reflejada por la superficie del material penetra en su interior, donde pueden ocurrir varios fenómenos, uno de los más comunes es la absorción de parte de la luz en el interior del material, transformándose la energía electromagnética en el interior del material en otras formas de energía y disminuyendo por tanto la intensidad de la radiación¹⁰⁴. La posibilidad de que parte de la radiación sea absorbida por el material depende tanto de su estructura como de la naturaleza de la radiación. El coeficiente que caracteriza a la absorción es la **absortancia**, a , definida como:

$$a = 1 - (r + t') \quad (3.3)$$

Donde:

r = es la reflectancia espectral.

t' = es la transmitancia espectral.

En cualquier caso, debe considerarse la conservación de la energía en el conjunto de los procesos, por lo que la suma de los tres coeficientes es 1. Los coeficientes de reflexión, absorción y transmisión dependen del material, y para cada material, depende a su vez de la longitud de onda de la luz incidente.¹⁰⁴

La **Reflectancia solar directa, R**, se calcula considerando la sumatoria de la distribución espectral de la reflectancia, r , para el vidrio, con integración de la distribución espectral de la energía de radiación solar de acuerdo a Parry Moon, en M1 ó M2, definidas ambas en el punto 3.1.3.

La **Transmitancia solar directa, T**, se calcula considerando la sumatoria de la distribución espectral de la transmitancia para el vidrio, t , con integración de la distribución espectral de la energía de radiación solar de acuerdo a Parry Moon, en Masa óptica 1, M1, ó Masa óptica 2, M2.

La **Absortancia solar directa, A**, se calcula al igual que la transmitancia solar directa y la reflectancia solar directa.

Para el cálculo de la transmitancia solar directa, **T**, la reflectancia solar directa, **R**, y la absortancia solar directa, **A**, son usadas mundialmente dos distribuciones espectrales de irradiancia solar: la primera, de acuerdo a la Publication CIE Núm. 20 (TC-2.2), *Recommendations for the integrated irradiance on the spectral distribution of simulated solar radiation*, Paris, 1972⁵² y, la otra, de acuerdo a la curva de Parry Moon⁵². También es válido usar otras distribuciones espectrales, con condiciones climáticas especiales, y de ser así, deben ser mencionadas. En los valores de M2, para simplificación, no están contemplados parámetros ambientales como polvo o niebla, considerando la radiación como un rayo con irradiancia casi normal, resultando ésta con errores muy pequeños. En el caso de incidencias oblicuas de radiación, la transmitancia solar directa y la transmitancia solar total están ambas reducidas por los valores energéticos empleados.

4.3.3.1.2. Instrumento de medición.

Para la medición de las propiedades ópticas se utilizó el espectrofotómetro UV-VIS-NIR 365, marca SHIMADZU, del Laboratorio de Materiales Solares, en el Centro de Investigación en Energía, de la Universidad Nacional Autónoma de México, de acuerdo a la norma ASTM E 903⁵¹, que especifica la medición de propiedades ópticas de reflectancia, absortancia y transmitancia en materiales que tienen propiedades tanto especulares como difusas, usando espectrofotómetros con esferas integradas, dispositivo que permite detectar el flujo reflejado o transmitido de un flujo incidente en una muestra, y que consiste en una cavidad de forma aproximadamente esférica, con aperturas para admitir y detectar el flujo, con aperturas adicionales para referenciar a la muestra medida.⁵¹ (Fig. 4.10)

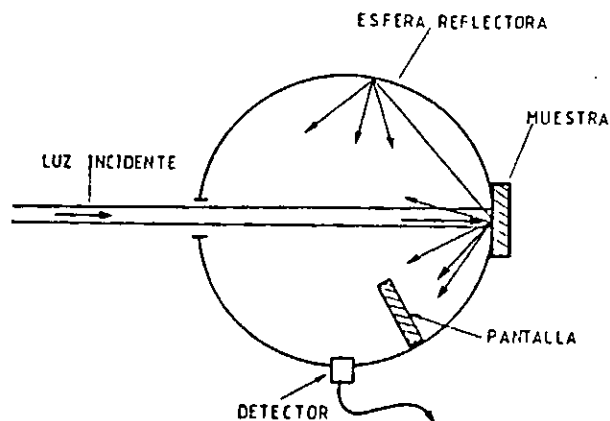


Fig. 4.10: Esquema de esfera integradora para la medición de reflectancia difusa.¹⁰⁴

El sistema óptico de este instrumento consta de dos fuentes de luz, compuesto de: una lámpara de tungsteno-iodo "W" para la región visible (VIS) y el infrarrojo cercano (NIR), y una lámpara de deuterio "D" para el ultravioleta (UV)²⁶.

4.3.3.1.3. Preparación y medición de las muestras.

El tamaño de las muestras es definido por las dimensiones de la esfera integrada, a fin de cubrir la abertura de la misma⁵¹, y que es aproximadamente de 3 cm x 3 cm, en el espesor seleccionado, en vidrio nuevo, sin haberse expuesto a la intemperie²⁶. Los vidrios a los que se midió la Reflectancia y la Transmitancia son los especificados en la Tabla 4.1.

Para la medición de la transmitancia, el aparato se calibra haciendo correr la línea base, con lo que se limpia la memoria del aparato; la transmitancia de la muestra patrón es la transmitancia del aire y equivale al 100% de transmitancia, t . El aditamento en el espectrofotómetro para la medición de la transmitancia, t , es diferente al que se usa para la reflectancia, r ; para medir ésta, la calibración se realiza haciendo correr la línea base y, en este caso, la muestra patrón es un espejo integrado, que tiene una reflectancia un poco menor del 100%. La Absortancia, a , se obtuvo, por diferencia de la Reflectancia más la Transmitancia a 1, como la energía incidente en la muestra, de acuerdo a la relación entre los tres factores.

El espectrofotómetro cuenta con un graficador, que permite la construcción de una gráfica de Reflectancia o de Transmitancia, en el momento en que se está realizando la medición¹⁰⁴ (Fig.4.11).

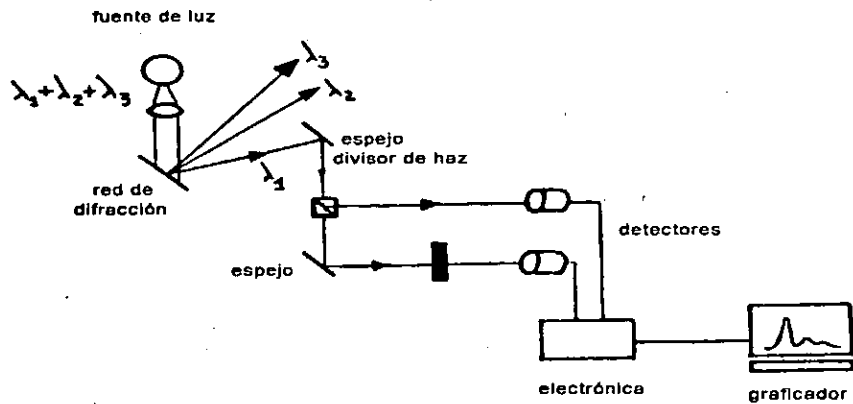


Fig. 4.11: Esquema experimental de un espectrofotómetro de doble haz. ¹⁰⁴

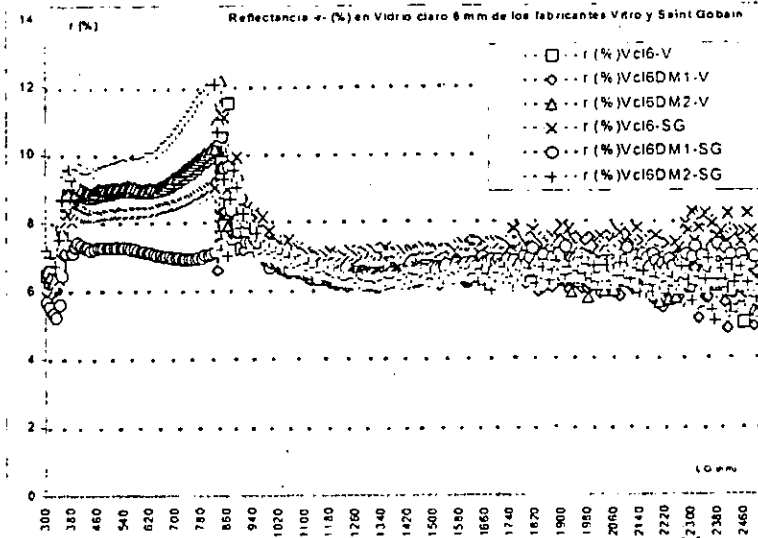
Las gráficas de las propiedades de Reflectancia, Absortancia y Transmitancia, del espectrofotómetro, corresponden a propiedades relativas a una longitud de onda, a la que se integró la irradiancia, como componente energético y en este trabajo, se seleccionó la correspondiente a una masa óptica dos, M2, definida en el punto 3.1.3.

La norma ASTM E-903 recomienda tomar en consideración al menos 50 valores energéticos para M2, equivalente a una incertidumbre de 0.24, que disminuye a 0.13 cuando son 100 valores y que fue posible disminuirla, dado que se consideraron 220 valores, utilizando la fuente de consulta de Iqbal, M. ¹⁰⁸

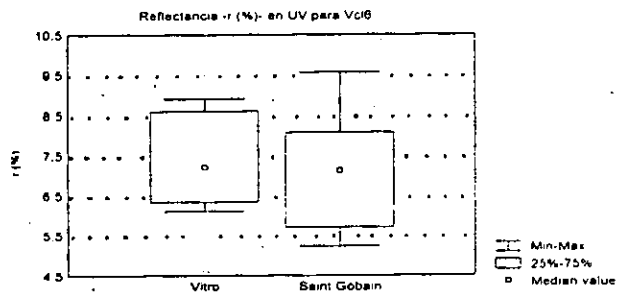
La precisión del espectrofotómetro para los valores reportados en las diferentes longitudes de onda es de $\pm 0.3\%$ en el rango ultravioleta; $\pm 0.4\%$ en el rango visible y $\pm 0.7\%$ en el rango infrarrojo; el error por calibración se considera de $\pm 0.2\%$ ²⁶ con lo que los valores en propiedades ópticas, reportados como resultados podrían tener una variación por error de $\pm 1.73\%$

4.3.3.2. Análisis experimental de las propiedades ópticas.

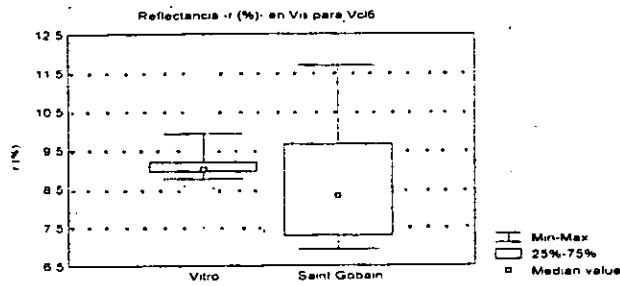
Las gráficas de las propiedades espectrales de Reflectancia, r , Absortancia, a , y Transmitancia, t , muestran el comportamiento que las muestras de vidrio –por grupo- presentan en las regiones ultravioleta, UV; visible, Vis; e infrarrojo cercano, IRC, ante la incidencia de radiación electromagnética, observándose que existen diferencias en el comportamiento óptico: generalmente la variación en la distribución del espectro es similar en muestras del mismo tipo, pero en algunos casos la diferencia es en sólo parte de las muestras del mismo tipo, como puede verse en la Gráfica 4.1 para la Reflectancia en vidrio claro 6 mm. En el anexo B se presentan las Gráficas espectrales para los vidrios de 6 mm claros y entintados en gris, seleccionados de la Tabla 4.1 con sus códigos.



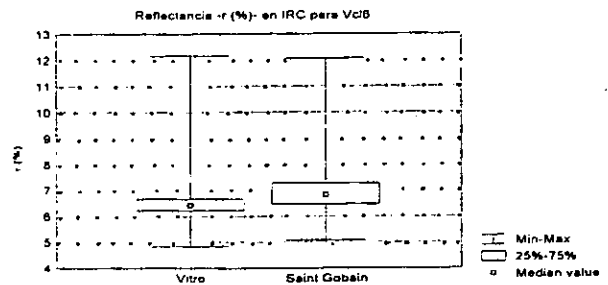
Gráfica 4.1. Ejemplo de variación en el comportamiento óptico en muestras de vidrio del mismo tipo (claro 6 mm)



Gráfica 4.2. Variación en la región ultravioleta de la Reflectancia del vidrio claro 6 mm



Gráfica 4.3. Variación en la región visible de la Reflectancia del vidrio claro 6 mm



Gráfica 4.4. Variación en la región del infrarrojo de la Reflectancia del vidrio claro 6 mm.

A fin de analizar la variación del comportamiento espectral de las muestras del mismo tipo por fabricante, se utilizó la prueba de Mann Whitney, que analiza por comparación las series de datos espectrales de las muestras de cada fabricante, delimitando el rango porcentual de los valores espectrales para cada una de las regiones de las propiedades ópticas Reflectancia, Absortancia y Transmitancia y por comparación determinar si la variabilidad existente entre las muestras por fabricante es similar entre ellos o si hay mayor variabilidad en uno y en cuál. En las Gráfica 4.2, 4.3 y 4.4 se presenta la variabilidad de la Reflectancia en las regiones ultravioleta, visible e infrarrojo del Vidrio claro 6 mm y que corresponde al tipo de vidrio del ejemplo de la Gráfica 4.1.

Las gráficas para los vidrios de 6 mm claros y entintados en gris, como una muestra seleccionada de la Tabla 4.1. se presentan en el Anexo C, sin considerarse códigos, por estar agrupadas las muestras por tipo de vidrio.

Del análisis comparativo entre las muestras por tipo de vidrio y por fabricante, excepto los reflejantes, se considera:

- Vidrio claro 3 mm:
 - En la región ultravioleta, se observa similitud en el rango de variación de las propiedades ópticas Absortancia y Transmitancia para ambos fabricantes, y la diferencia que se detecta, de un 10 % en la reflectancia, corresponde a Saint Gobain.
 - En la región del visible, se presentan diferencias en las tres propiedades ópticas: 67 % en reflectancia; 100 % en absortancia y 100 % en transmitancia, correspondiendo en todos los casos a las muestras de Saint Gobain.
 - En la región del Infrarrojo, la variabilidad es también importante y afecta a las tres propiedades: 33 % en la reflectancia; 133 % en la absortancia y 116 % en la transmitancia, correspondiendo la mayor variabilidad a las muestras de Saint Gobain.

La diferencia en las propiedades ópticas entre los dos fabricantes se considera afecta en la ganancia de calor al interior de la edificación, por la variabilidad en las propiedades de absortancia y transmitancia, en las regiones Visible e Infrarrojo cercano; y la diferencia mayor observada, en este caso, corresponde al fabricante Saint Gobain.

- Vidrio claro 6 mm:
 - En la región ultravioleta, se observa similitud en el rango de variación de las propiedades ópticas absortancia y transmitancia para ambos fabricantes, y existe diferencia de un 63 % en la reflectancia, correspondiendo a las muestras de Saint Gobain.

- En la región visible, las muestras son similares en la transmitancia, similares en la absorptancia, con un 13 % de diferencia a cargo del fabricante Saint Gobain y existe una diferencia significativa, de 425 %, en la reflectancia, en el fabricante Saint Gobain.
- En la región del infrarrojo, las muestras de ambos fabricantes son similares en la reflectancia, en la transmitancia y en la absorptancia, al haber una diferencia de 10 %, mayor en el fabricante Vitro.

La diferencia en la ganancia de calor se considera similar para ambos fabricantes, ya que las diferencias en las propiedades absorptancia y transmitancia en los rangos visible e infrarrojo son mínimas, y las diferencias significativas se dan en la reflectancia y ésta no interviene en la evaluación de la ganancia de calor.

- Vidrio con tinte en tono gris 6 mm
 - En la región ultravioleta, se observa que las propiedades ópticas son muy similares en los rangos de absorptancia y transmitancia; la diferencia es en la reflectancia, de un 23 % y se presenta en el fabricante Saint Gobain.
 - En la región visible, los vidrios son similares en las propiedades absorptancia y transmitancia, y similares en la reflectancia, con un 12.5 % de variación, en el fabricante Vitro.
 - En la región del infrarrojo, los vidrios para ambos fabricantes son similares en las propiedades de absorptancia y transmitancia, y en el caso de la reflectancia son diferentes, al haber una diferencia de un 48 % en los vidrios de Saint Gobain.

La ganancia de calor solar a través de los vidrios con tinte, se considera es igual, al no haber diferencias entre las muestras de ambos fabricantes en las propiedades de absorptancia y transmitancia.

- Vidrio laminado claro 6 mm:
 - En la región ultravioleta, los vidrios son parecidos en la reflectancia y diferentes en la absorptancia y transmitancia, al haber diferencias de 42 % y 37 % respectivamente, a cargo ambos de Saint Gobain.
 - En la región visible, existe diferencia en las tres propiedades ópticas: 62 % en la reflectancia; 52 % en la absorptancia y 39 % en la transmitancia, siendo la diferencia en todos los casos en las muestras de Vitro.
 - En la región infrarroja, las propiedades ópticas de los vidrios de ambos fabricantes son parecidas en la reflectancia y transmitancia, y similares en la absorptancia, con un 10 % de diferencia en las muestras de Saint Gobain.

La ganancia directa de energía a través de los vidrios laminados podría ser diferente, al haber variación entre las muestras de cada fabricante en la región visible en las propiedades absorptancia y

transmitancia. Las causas de tal diferencia podrían deberse por ser vidrios claros de 3 mm, que presentan una variación importante en las propiedades ópticas, y/o al material con que se adhieren los vidrios.

En Vidrios reflejantes, en tono azul y plata, no es posible establecer comparación entre ellos, a través de la prueba de Mann Whitney, ya que la medición de propiedades ópticas se llevó a cabo en dos muestras clasificadas, proporcionadas por cada uno de los fabricantes Vitro y Saint Gobain.

La Reflectancia solar directa, R , la Absortancia solar directa, A , y la Transmitancia solar directa, T , se calcularon con la integración de la curva espectral de cada una de las propiedades reflectancia, r , absortancia, a , y transmitancia, t , considerando la energía correspondiente a la masa de aire 2 ó $AM2^{51,52}$, definida en el punto 3.1.3. y cuyos resultados se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Resultados experimentales en propiedades ópticas solares totales: Reflectancia, R , Absortancia, A , y Transmitancia, T .

Tipo de vidrio:	Propiedades ópticas solares totales		
Claro 3 mm	R (%)	A (%)	T (%)
Vcl3-V	7.63	8.23	84.13
Vcl3-DM1-V	8.88	9.40	81.71
Vcl3-DM2-V	8.68	9.98	81.33
Vcl3-SG	8.01	5.14	86.84
Vcl3-DM1-SG	9.29	4.90	85.79
Vcl3-DM2-SG	9.28	14.84	75.87
Claro 6 mm			
Vcl6-V	8.26	13.00	78.73
Vcl6-DM1-V	8.15	16.60	75.25
Vcl6-DM2-V	8.29	15.99	75.72
Vcl6-SG	8.15	9.65	82.19
Vcl6-DM1-SG	7.18	15.94	76.87
Vcl6-DM2-SG	8.87	11.12	79.99
Con tinte (gris) 6 mm			
Vct6-V	5.74	49.51	44.75
Vct6-DM1-V	6.34	48.31	45.52
Vct6-DM2-V	5.67	49.33	44.99
Vct6-SG	5.36	50.72	43.92
Vct6-DM1-SG	5.96	49.93	44.10
Vct6-DM2-SG	4.45	50.81	44.72
Laminado claro 6 mm			
VLam6-DM1-V	9.01	15.56	75.42
VLam6-DM2-V	8.24	16.45	75.30
VLam6-DM1-SG	8.08	13.41	78.50
VLam6-DM2-SG	7.77	10.77	81.45
Reflejante plata 6 mm			
VRSpata6-V.	32.05	61.68	6.26
VRSpata6-SG	22.05	71.16	6.78
Reflejante azul 6 mm			
VRSaZul6-V.	19.48	63.91	16.60
VRLaZul6-SG.	23.03	67.84	9.11

El rango de dispersión en los valores experimentales de Reflectancia, R , Absortancia, A , y Transmitancia, T , en cada uno de los grupos de vidrios, se presenta en la Tabla 4.3., en la cual es

posible observar que el menor rango de dispersión en las propiedades ópticas absorptancia y transmitancia corresponde al grupo de vidrios con tinte (gris) y el mayor lo comparten diferentes grupos de vidrios: en la reflectancia destacan el reflejante plata, el entintado y los claros; en la absorptancia los vidrios claros tanto en forma monolítica como en el laminado y en la transmitancia el reflejante azul.

Tabla 4.3.:Rango de dispersión (%) en los valores experimentales de propiedades ópticas, por tipo de vidrio.

Tipo de vidrio:	R(%)	A(%)	T(%)
Claro 3 mm	21.76	188.72	14.46
Claro 6 mm	23.54	72.02	9.22
Con tinte (gris) 6 mm	42.47	5.17	3.64
Laminado claro 6 mm	15.96	52.74	8.17
Reflejante plata 6 mm	45.35	15.37	8.31
Reflejante azul 6 mm	18.22	6.15	82.22

El rango mínimo de dispersión observado en el grupo de entintados, congruente a lo analizado en las propiedades ópticas espectrales, implica una mayor certidumbre en el comportamiento térmico.

El rango de dispersión de los valores experimentales por fabricante en las propiedades ópticas solares por tipo de vidrio, se presenta en la Tabla 4.4, a fin de conocer en qué tipo de vidrio se presenta mayor dispersión y a qué fabricante corresponde.

Tabla 4.4.: Rango de dispersión (%) en los valores experimentales de propiedades ópticas por tipo de vidrio y por fabricante.

Tipo de vidrio:	R(%)	A(%)	T(%)
Claro 3 mm Vitro	16.38	21.26	3.44
Claro 3 mm Saint Gobain	15.98	202.86	14.46
Claro 6 mm Vitro	1.72	27.69	4.62
Claro 6 mm Saint Gobain	23.54	65.18	6.92
Con tinte (gris) 6 mm-Vitro	11.82	2.48	1.72
Con tinte (gris) 6 mm-Saint Gobain	33.93	1.76	1.82
Laminado claro 6 mm-Vitro	9.34	5.72	0.16
Laminado claro 6 mm-Saint Gobain	3.99	24.51	3.76

En la comparación de la variabilidad por fabricante, destaca que en las muestras de Saint Gobain se presenta mayor frecuencia en la variabilidad por tipo de vidrio: en la reflectancia del vidrio claro de 6 mm y en el entintado; en la absorptancia de los claros de 3 y 6 mm y del laminado; en la transmitancia de los claros de 3 y 6 mm y en el laminado. En el caso de Vitro sólo se observa una dispersión mayor en la reflectancia del laminado. La variabilidad entre las propiedades ópticas solares totales por tipo de vidrio por fabricante es congruente con lo observado con la prueba de Mann Whitney; en la que se analizó la variabilidad entre las propiedades ópticas espectrales por rango, resultando la mayor variabilidad a cargo de los vidrios del fabricante Saint Gobain.

Comparados los valores experimentales, por tipo de vidrio, por propiedades y entre fabricantes, se comparó el valor experimental de cada una de las muestras con los valores reportados por su fabricante, a fin de conocer su variabilidad porcentual, datos que se concentran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5.: Comparación (variación %) de valores experimentales con valores reportados por los fabricantes.

Tipo de vidrio:	R(%)	Variabilidad (%) en base a la		Variabilidad (%) en base a la		T(%)	Variabilidad(%) con base a la Ref. Fabricante.
		Ref. Fabricante.	A(%)	Ref. Fabricante.	T(%)		
Vcl3-R.F.Vitro	8.00		6.00			86.00	
Vcl3-V.	7.63	4.63	8.23	37.17		84.13	2.17
Vcl3-DM1-V.	8.88	11.00	9.40	56.67		81.71	4.99
Vcl3-DM2-V.	8.68	8.50	9.98	66.33		81.33	5.43
Vcl3-R.F. St Gobain	8.00		5.00			87.00	
Vcl3-SG.	8.01	0.13	5.14	2.80		86.84	0.18
Vcl3-DM1-SG.	9.29	16.13	4.90	2.00		85.79	1.39
Vcl3-DM2-SG.	9.28	16.00	14.84	196.80		75.87	12.79
Cl6-R.F.Vitro	7.00		12.00			81.00	
Vcl6-V.	8.26	18.00	13.00	8.33		78.73	2.80
Vcl6-DM1-V.	8.15	16.43	16.60	38.33		75.25	7.10
Vcl6-DM2-V.	8.29	18.43	15.99	33.25		75.72	6.52
Cl6-R.F. St Gobain	8.00		9.00			83.00	
Vcl6-SG.	8.15	1.88	9.65	7.22		82.19	0.98
Vcl6-DM1-SG.	7.18	10.25	15.94	77.11		76.87	7.39
Vcl6-DM2-SG.	8.87	10.88	11.12	23.56		79.99	3.63
cT6-R.F.Vitro	5.00		48.00			47.00	
VcT6-V	5.74	14.80	49.51	3.15		44.75	4.79
VcT6-DM1-V.	6.34	26.80	48.13	0.27		45.52	3.15
VcT6-DM2-V.	5.67	13.40	49.33	2.77		44.99	4.28
cT6-R.F. St Gobain	5.00		50.00			45.00	
VcT6-SG	5.36	7.20	50.72	1.44		43.92	2.40
VcT6-DM1-SG.	5.96	19.20	49.93	0.14		44.10	2.00
VcT6-DM2-SG.	4.45	11.00	50.81	1.62		44.72	0.62
Lam6+6-R.F.Vitro	7.00		27.00			66.00	
VLam6-DM1-V.	9.01	28.71	15.56	42.37		75.42	14.27
VLam6-DM2-V.	8.24	17.71	16.45	39.07		75.30	14.09
Lam4+4-R.F.St Gobain	7.00		15.00			78.00	
VLam6-DM1-S.G.	8.08	15.43	13.41	10.60		78.50	0.64
VLam6-DM2-S.G.	7.77	11.00	10.77	28.20		81.45	4.42
RSplata-R.F. Vitro	34.00		59.00			7.00	
VRSplata-V.	32.05	5.74	61.68	4.54		6.26	10.57
RLplata-R.F. St Gobain	35.00		58.00			7.00	
VRSplata-SG.	22.05	37.00	71.16	22.69		6.78	3.14
RSazul-R.F. Vitro	15.00		61.00			24.00	
VRSazul-V.	19.48	29.87	63.91	4.77		16.60	30.83
RLazul-R.F. St Gobain	14.00		68.00			18.00	
VRlazul-S.G.	23.03	64.50	67.84	0.24		9.11	49.39

De la comparación de los valores experimentales con la referencia del fabricante, se observa que existe una similitud en el comportamiento de la variabilidad de las propiedades ópticas en los grupos de vidrios claros -3 y 6 mm- y los entintados en gris -6mm-, de ambos fabricantes. Los valores experimentales de la reflectancia y la transmitancia son menores que los reportados, a diferencia de la absorbancia, que presenta un valor mayor que el reportado, por lo que este comportamiento óptico puede representar un impacto térmico al interior de la edificación, ya que una mayor reflectancia

implica una menor ganancia de calor, al ser energía que no ingresa al sistema "edificación" y una menor transmitancia, al igual que la reflectancia, representa una menor ganancia de calor, y en el caso de la absorptancia, un valor mayor al reportado, si bien implica una mayor ganancia de calor para la edificación, esta ganancia por absorptancia no sólo ingresa, ya que dependiendo tanto del gradiente de temperatura como de los coeficientes de convección también egresa, por lo que se considera que una mayor absorptancia no compensa la ganancia disminuida de una menor transmitancia.

Las muestras reflejantes muestran similitud con los grupos claros y entintados en cuanto a que presentan un menor valor experimental en la transmitancia que el reportado por su fabricante. De la absorptancia, casi en todas las muestras se observa que el valor experimental es mayor que la referencia del fabricante y en la reflectancia, los valores son mayores que la referencia del fabricante en los reflejantes azules -al igual que en los vidrios claros y entintados-, excepto en los reflejantes plata en las que la reflectancia medida es inferior al valor del fabricante.

Los valores experimentales de las propiedades ópticas para los vidrios laminados corresponden al espesor de 6 mm que es uno de los criterios de selección en las muestras evaluadas -excepto el claro de 3mm por ser referencia para la ganancia de calor solar-, con la finalidad de cotejar el comportamiento térmico entre los diferentes grupos, por lo que no es posible compararlo con el valor de sus fabricantes, ya que Vitro reporta valores sólo para el vidrio laminado doble de 12 mm (6mm + 6mm) y Saint Gobain sólo para el de 8 mm (4mm + 4mm); sin embargo, los valores experimentales obtenidos son congruentes con lo esperado en la comparación con valores de vidrios con un mayor espesor así la transmitancia experimental es mayor y la absorptancia y reflectancia son menores y la diferencia porcentual con la referencia es menor en el caso de Saint Gobain, por ser menor la diferencia en el espesor.

A fin de determinar si la dispersión observada en los valores experimentales está dentro del rango de la variabilidad propia del producto, de los valores de las propiedades ópticas reportados por los fabricantes Vitro y Saint Gobain, se determinó el límite de tolerancia que dichos valores pudiesen tener, como la variación de los mismos hasta cubrir un 99 % de la producción, considerando un 3% de variabilidad para vidrios no reflejantes y 5% para vidrios reflejantes, función de la desviación estándar.

Los resultados se concentran en la Tabla 4.6, en la que se presenta la comparación del valor experimental de cada una de las muestras, en todos los tipos de vidrios, en los límites de tolerancia sugeridos, a los que se les designó como de confiabilidad. En el anexo D, en Gráficas de la D.1. a la D.12, se presentan los límites de tolerancia calculados para las propiedades ópticas Reflectancia, Absorptancia y Transmitancia para los vidrios de 6 mm claros y entintados en gris, como una muestra seleccionada del cuadro 4.1.

Tabla 4.6.: Límites de tolerancia en Reflectancia, R; Absortancia, A y Transmitancia, T en los valores de Referencia del Fabricante.

Rango de tolerancia	mínimo	R (%)	máximo	mínimo	A (%)	máximo	mínimo	T (%)	máximo
Tipo de vidrio									
Vcl3-Ref.Fabr.Vitro	7.38	8.00	8.62	5.54	6.00	6.46	79.35	86.00	92.64
Vcl3-Ref.Fabr. Saint Gobain	7.38	8.00	8.62	4.61	5.00	5.39	80.23	87.00	93.72
Vcl6-Ref.Fabr.Vitro	6.46	7.00	7.54	11.07	12.00	12.93	74.74	81.00	87.25
Vcl6-Ref.Fabr. Saint Gobain	7.38	8.00	8.62	8.30	9.00	9.69	76.54	83.00	89.41
Vct6-Ref.Fabr.Vitro	4.61	5.00	5.39	44.29	48.00	51.71	43.37	47.00	50.63
Vct6-Ref.Fabr. Saint Gobain	4.61	5.00	5.39	46.11	50.00	53.86	41.50	45.00	48-47
VLam6+6Ref.Fabr.Vitro	6.46	7.00	7.54	24.91	27.00	29.08	60.90	66.00	71.10
VLam4+4Ref.Fabr. Saint Gobain	6.46	7.00	7.54	13.83	15.00	16.16	71.93	78.00	84.02
VRSplata6-Ref.Fabr.Vitro	29.62	34.00	38.38	51.40	59.00	66.60	6.10	7.00	7.90
VRLplata6-Ref.Fabr. Saint Gobain	30.49	35.00	39.51	50.53	58.00	65.47	6.10	7.00	7.90
VRSazul6-Ref.Fabr.Vitro	13.07	15.00	16.93	53.14	61.00	68.86	20.91	24.00	27.09
VRLazul6-Ref.Fabr. Saint Gobain	12.20	14.00	15.80	59.24	68.00	76.76	15.68	18.00	20.32

Los valores experimentales de las propiedades ópticas de las muestras de vidrio del cuadro 4.1, a los que se les considera un error de $\pm 1.73\%$ se compararon con los correspondientes rangos de tolerancia, con el objetivo de determinar qué muestras se encontraban dentro de dichos rangos y cuáles fuera, y de tal comparación los resultados se concentran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7.: Número de muestras de vidrio que están fuera del rango de tolerancia de la referencia del fabricante.

Tipo de vidrio:	Reflectancia Vitro	Reflectancia St Gobain	Absortancia Vitro	Absortancia St Gobain	Transmitancia Vitro	Transmitancia St Gobain
Claro 3mm	1	2	3	1	--	1
Claro 6mm	3	2	2	2	--	--
Con tinte (gris) 6mm	3	2	--	--	--	--
Laminado 6mm	2	2	2	2	2	--
Reflejante plata 6mm	--	1	1	--	--	--
Reflejante azul 6mm	1	1	--	--	1	1
Total de muestras fuera de rango de las 26 evaluadas:	10	10	8	5	3	2

De los valores experimentales de Reflectancia, Absortancia y Transmitancia, que están fuera de la probabilidad del 99%, rango considerado como los límites de confiabilidad para cada fabricante se observa:

- Reflectancia: Es en esta propiedad en la que los valores se encuentran con mayor frecuencia fuera de los límites de tolerancia o confiabilidad, al registrarse que en 20 de las 26 muestras sus valores están fuera del 99 %, lo que representa un 77 % del total de las muestras.

- Absortancia: En esta propiedad, se observa que en 13 de las 26 muestras medidas, sus valores están fuera del rango de tolerancia o confiabilidad, lo que representa un 50 % del total de muestras.
- Transmitancia: Los valores de esta propiedad son los que en términos generales, se encuentran con más frecuencia dentro del rango del 99 %, ya que en sólo 5 de las 26 muestras están fuera de los Límites de confiabilidad, lo que representa un 19 % del total de muestras.

En el caso de los laminados, el espesor seleccionado a evaluar de 6 mm, para establecer comparación entre los diferentes grupos, no está reportado por los fabricantes, por lo que la comparación que se está realizando no se considera válida ya que difiere en 2 mm en el caso de Saint Gobain y en 6 mm en el caso de Vitro, por lo que si se eliminan, los porcentajes de las muestras que están fuera del rango de tolerancia en las propiedades ópticas se modifican a: Reflectancia, un 73%; Absortancia, un 41% y Transmitancia, un 14%, que es también significativo.

Se había observado una mayor dispersión en los valores experimentales de propiedades ópticas en las muestras de Saint Gobain, en comparación con las de Vitro, y es por ésa dispersión en Saint Gobain, que algunos de sus valores, al acercarse más al de referencia del fabricante quedan dentro del rango de tolerancia y otros se encuentran fuera y en forma más dispersa que los de Vitro; por lo que en esta última comparación resultan más muestras de Vitro fuera del rango de tolerancia.

4.3.3.3. Conclusiones.

De la evaluación de las propiedades ópticas, se considera:

1° Los vidrios entintados de los dos fabricantes Vitro y Saint Gobain en sus valores experimentales muestran un rango de dispersión reducido, el menor de todos los grupos, así como la menor variación porcentual en sus valores de Absortancia y Transmitancia con respecto a los reportados por sus fabricantes, por lo que entre los grupos evaluados es el que presenta la mayor certidumbre en un cálculo térmico para efectos de diseño.

2° Con respecto a los otros grupos de vidrio, con la desviación típica sugerida de 3 y 5 %, hay un alto porcentaje de valores experimentales que quedan fuera de los límites de tolerancia propuestos, principalmente en la propiedad reflectancia. Asimismo, los vidrios reflejantes presentan una alta variabilidad y quedarían fuera de rango con una desviación de 3 %.

3° La desviación de 3 y 5 % sugerida en este trabajo para definir los límites de tolerancia es superior a la establecida para el vidrio comercial automotriz, por lo que se considera conveniente que los fabricantes de vidrio plano para envolvente reduzcan la desviación, a una similar a la del material automotriz, con lo que se reduciría la variabilidad y daría más certidumbre al cálculo de cargas térmicas.

4° Es necesario que los fabricantes reporten valores para diferentes espesores en los diferentes vidrios que producen, ya que en el caso de los laminados dobles, el fabricante Saint Gobain reporta sólo para uno, 4+4 mm y el fabricante Vitro sólo para el de 6+6mm, por lo que el vidrio seleccionado en este ejercicio no coincide con ninguna de las referencias, y situaciones similares podrían presentarse en caso de que en un diseño se requiriera de material con espesor diferente al reportado.

5° Es imprescindible disponer del material vítreo de importación, Viracon por ejemplo, para su evaluación y además, que los valores que se reporten en su literatura técnica correspondan a espesores diferentes al de 6 mm, ya que este doble conflicto impide hacer una evaluación del material y su uso en un diseño térmico.

4.3.4. Propiedad térmica.

El mecanismo de conducción de calor es un fenómeno molecular que involucra la transferencia de energía de moléculas más energéticas a moléculas menos energéticas y en este mecanismo de transferencia de calor se considera que no se tienen movimientos macroscópicos de masa apreciables.^{107, 43}

Se define al flujo de calor, Q , como la energía transferida por unidad de área, m^2 , debido a un gradiente de temperatura; su magnitud está determinada por la cantidad de energía transmitida y su dirección por el negativo del gradiente de temperatura^{107, 43} expresado como:

$$Q = -kA' \left(\frac{dt}{dx} \right) \quad (3.4)$$

Donde:

k = es la conductividad térmica del material⁴³, en $W/m^{\circ}C$ ó $W/m^{\circ}K$.

A' = es el área de la sección (medida en m^2), a través de la cual fluye el calor por conducción y perpendicular a la dirección del flujo⁴³.

dt = es el gradiente de temperatura en $^{\circ}C$ o $^{\circ}K$, con respecto a la distancia x , en la dirección del flujo de calor⁴³.

dx = es la distancia en la que fluye el calor⁴³.

Por lo anterior, definimos a la conductividad térmica, k , como la propiedad del material que indica la cantidad de calor que fluye a través de un área unitaria ante un gradiente de temperatura⁴³.

4.3.4.1. Procedimiento experimental

En esta sección se describe lo relacionado con la Normatividad en la que se basa la medición de la Conductividad térmica, el instrumento para medirla y la preparación de muestras.

4.3.4.1.1. Normatividad.

El equipo de medición de la conductividad térmica, conductivímetro, en el que se midió la propiedad térmica, se basa en la técnica conocida como "placa caliente con guardas", de acuerdo a la Norma ASTM C-177⁵³, que establece la metodología para la medición de flujo de calor y transmisión térmica en muestras de material planas y paralelas, a través de un aparato que cuenta con una placa caliente con guardas, método que es aplicable a materiales opacos, translúcidos o porosos, y con precauciones especiales si presentan heterogeneidad, anisotropismo⁷³, rigidez o ser conductores o aislantes al flujo de calor.

El principio del sistema es el contar con dos placas frías y una caliente, de la que fluye el calor hacia las dos frías, atravesando las muestras, a las que en el trayecto del flujo, se les mide la temperatura en ambas superficies, lo que permite calcular la conductividad térmica en ambas.

En México existe además por parte de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, de la Sría de Energía la Norma Oficial Mexicana NOM-018-ENER-1997¹²⁴ Aislantes Térmicos para edificaciones, que analiza las características, límites y métodos de prueba que deben cumplir los materiales, productos, componentes y elementos termo aislantes para techos, plafones y muros de las edificaciones.

4.3.4.1.2.- Instrumento de medición.

La conductividad térmica se midió en un conductivímetro, diseñado y desarrollado en el, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) de la SEP, que permite determinar la conductividad térmica mediante la siguiente ecuación.¹⁰⁹

$$k = \frac{Q \cdot dx}{A' \cdot dt'} \quad (3.6)$$

Donde:

Q = es la rapidez del flujo de calor a través de la muestra, en Watts

k = conductividad térmica de la muestra, en W/m°C

dt' = es la diferencia de temperatura a través de la muestra, en °C.

dx = es el espesor de la muestra, en metros.

A' = es el área de la sección transversal al flujo de calor, en m²

El aparato (Fig. 4.12) cuenta con 2 placas de aluminio: la placa fría que contiene un intercambiador de cobre de 6.4 mm de diámetro por el cual circula un líquido refrigerante, con el que se mantiene la temperatura uniforme, midiéndose por medio de dos termopares tipo T; la placa caliente es un arreglo entre el área de medición y la guarda, que se mantienen unidos por pernos de acero inoxidable; la guarda se calienta con un elemento calefactor que se encuentra a 98.3 mm del centro del área de medición y en él se encuentran alojados cuatro termopares tipo T; el área de medición de la placa caliente se calienta usando un elemento calefactor que se localiza a 53.88 mm del centro, con lo que se permite lograr que la temperatura superficial promedio en el área de medición se aproxime a la temperatura del borde. Esta sección contiene tres termopares¹⁰⁹.

La potencia eléctrica para las resistencias eléctricas o calefactores se suministra mediante dos fuentes de corriente directa regulada y regulable y la potencia se determina con base en las mediciones de corriente y voltaje con dos multímetros.¹⁰⁹

La geometría de la placa caliente es circular, de 305 mm de diámetro y un área de medición de 152.4 mm de diámetro. La medición de temperatura se realiza empleando termopares tipo T, calibrados conforme a la norma ASTM-E-230 y fijados a las superficies de los planos, insertados en cavidades de 0.2 mm, maquinadas en la superficie interior de los platos, con lo que en total son nueve: tres en el área de medición; cuatro en el área de la guarda y dos en la placa fría. Los sensores de temperatura se conectan a una tarjeta multiplexora PCLD-789, que a su vez se conecta a una tarjeta adquisitora de datos PCL-812PG, alojada en una computadora y a través del sistema de adquisición de datos PCLS-920 GENIE, para control de experimentos, se monitorea la temperatura registrada por los termopares en distintos intervalos de tiempo¹⁰⁹.

4.3.4.1.3. Preparación y medición de muestras.

Las muestras de vidrio Para medir la conductividad térmica se seleccionaron las muestras de vidrio que corresponden al material de la Tabla 4.1. y considerando que el mínimo espesor que las muestras deben tener para su medición en el conductímetro, es de aproximadamente 24.5 mm., se utilizaron dos muestras de 12 mm de cada uno de los tipos de vidrio, excepto en los reflejantes, por ser fabricados sólo en 6 mm, por lo que se contó con dos vidrios claros de 12 mm de cada uno de los fabricantes que permitieran incrementar el espesor a aproximadamente 30 mm. Con este incremento en el espesor real, los espesores en los vidrios medidos quedaron como a continuación se describe, incluyendo el área de medición:

- Vidrio claro marca Vitro: dos muestras de un distribuidor mayorista exclusivo, con espesor de 12.5 mm cada una, 25 mm en total y un área de 20106 mm²;
- Vidrio claro. marca Saint Gobain: dos muestras de un distribuidor mayorista exclusivo, con espesor de 12.3 mm cada una, 24.6 mm en total, y un área de 17671 mm²;
- Vidrio con tinte gris, marca Vitro: dos muestras de un distribuidor mayorista exclusivo, con espesor de 12.36 mm cada una, 24.725 mm en total y un área de 17671 mm²;
- Vidrio con tinte gris, marca Saint Gobain: dos muestras de un distribuidor mayorista exclusivo, con espesor de 12.5 mm cada una, 25 mm en total y un área de 20106 mm²;
- Vidrio laminado, marca Vitro: dos muestras de un distribuidor mayorista exclusivo, con un espesor de 12 mm cada una, 24 mm en total y un área de 20106 mm²;
- Vidrio laminado, marca Saint Gobain, dos muestras de un distribuidor mayorista exclusivo, con un espesor de 12.5 mm cada una, 25 mm en total y un área de 20106 mm²;
- Vidrio reflectasol plata, marca Vitro, una muestra del fabricante, con un espesor de 6 mm, 30 mm en total y un área de 7439 mm²;
- Vidrio reflectalite plata, marca Saint Gobain, una muestra del fabricante, con un espesor de 5.825 mm, 29.825 mm en total y un área de 7439 mm²;

El procedimiento anterior solucionó lo que corresponde al espesor necesario para establecer el contacto con las placas fría y caliente del conductímetro, aunque es lógico se haya incorporado un factor de error que no es posible evaluar, como pudiera ser la presencia de aire o vapor en la interfase; sin embargo, las caras de los vidrios eran tan planas que el aire contenido en ellas era insignificante y el contacto entre las caras fué excelente (Fig. 4.12).

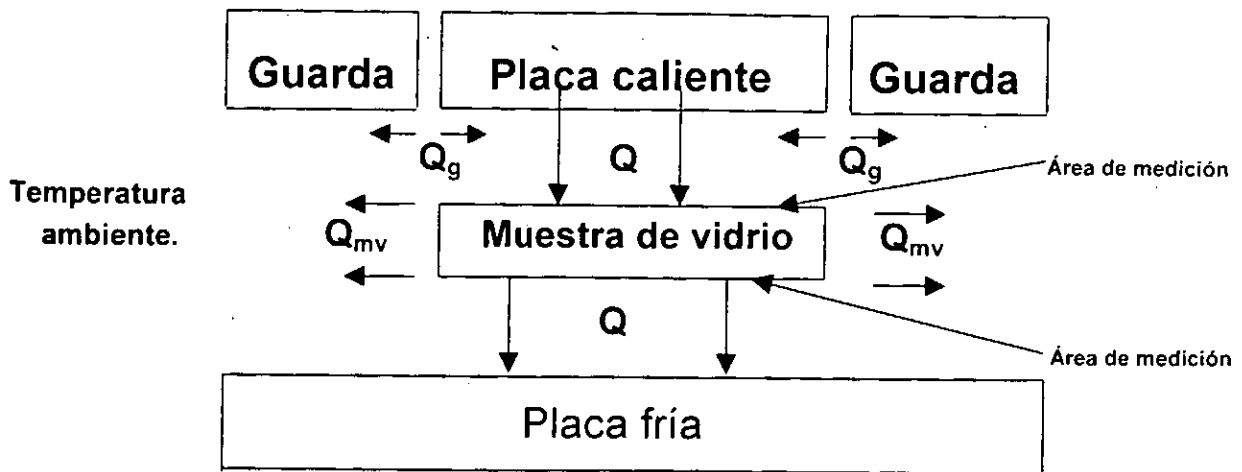


Fig. 4.12: Ilustración del flujo de calor en la medición de conductividad térmica en el conductivímetro.

Asimismo, fue necesario modificar lo que corresponde a la forma de la muestra requerida por el conductivímetro, ya que esta debería ser circular, de 15 cm de diámetro, a fin de coincidir con el área de la placa caliente, pero en el caso de vidrio, no fue posible realizar cortes circulares para un diámetro tan pequeño, por lo que se utilizaron las muestras en formas cuadradas.

El proceso para la medición inicia con la instalación de la muestra, revisando el contacto entre los vidrios y las placas fría y caliente, a fin de asegurar el flujo de calor a través de los vidrios y cubriendo el conductivímetro con un aislante para disminuir la interacción con los parámetros ambientales y sus cambios, poniéndose en operación el aparato.

Los termopares tipo "T", con los que se midió la temperatura superficial en los vidrios, fueron colocados en forma directa sobre las superficies de los vidrios y el rango de error para este tipo de termopares es de ± 1.1 °C; sin embargo, no es posible asegurar que este haya sido el error, dado el arreglo que indujo a uno mayor que no fué posible evaluar.

Al iniciar la operación del aparato se observó una amplia variación entre la temperatura caliente y la temperatura fría, variación que disminuyó en aproximadamente 6 a 8 horas, con lo que se alcanzó el estado permanente y con ello la estabilización.

La última etapa en la medición correspondió a la adquisición de datos de las temperaturas fría y caliente durante 1 hora aproximadamente en intervalos de 1 a 5 minutos entre cada uno de ellos y son los valores que se incluyen en el cálculo de la conductividad térmica.

El flujo de calor se determinó de las mediciones de voltaje e intensidad de corriente que circulan por la resistencia, por medio de la relación: ¹⁰⁹

$$Q = V \cdot I \quad (3.7)$$

Donde

V = voltaje de la corriente en volts.

I = intensidad de la corriente en amperes.

Q = flujo de calor en Watts.

El flujo de calor administrado al sistema correspondió a $6.05 \text{ W} \pm 1.23 \%$ para las mediciones en vidrios claros y vidrios con tinte de las marcas Vitro y Saint Gobain, y de $7.96 \text{ W} \pm 1.26 \%$ para los vidrios laminados y reflejantes de las mismas marcas.

4.3.4.2. Análisis experimental de la propiedad térmica.

Con los datos adquiridos en la prueba, las temperaturas de placas fría y caliente, los datos del flujo del calor administrado, el área de medición y el espesor de la muestra, se determinó la conductividad térmica del material, de acuerdo a la ecuación 3.6. Los resultados de la medición y la conductividad térmica del fabricante, derivada del Coeficiente global de transferencia de calor, para realizar su comparación, la cual se presenta en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8.: Variación (%) entre la Conductividad térmica, k , del Coeficiente global de Transferencia de calor de los fabricantes y la medida.

Tipo de vidrio:	Rango de $k(\text{W/m}^{\circ}\text{C})$ del U (Ref. Fabr.)	Medición de $k(\text{W/m}^{\circ}\text{C})$	Variación %
Vidrio claro 3 mm Vitro	0.925 - 1.011	0.767	17.08
Vidrio claro 3 mm Saint Gobain	0.480 - 0.885	0.683	En el rango
Vidrio claro 6 mm Vitro	0.982 - 1.030	0.767	21.89
Vidrio claro 6 mm Saint Gobain	0.600 - 0.958	0.735	En el rango
Vidrio entintado 6 mm Vitro	0.982 - 1.030	0.775	21.12
Vidrio entintado 6 mm Saint Gobain	Sin determinar	0.735	Sin determinar
Vidrio laminado 6 mm Vitro	0.963 - 0.987	1.510	52.99
Vidrio laminado 6 mm Saint Gobain	Sin Ref. U	1.770	Sin referencia
Vidrio Reflectasol plata Vitro	0.0821 - 0.0826	2.4589	2876.88
Vidrio Reflectalite plata Saint Gobain	.120 - 0.130	1.770	1261.54
Vidrio Reflectasol azul 6 mm Vitro	n.d.	Sin muestra	Sin muestra
Vidrio Reflectalite azul 6mm Saint Gobain	n.d.	Sin muestra	Sin muestra

n.d. = muestra no disponible.

De los resultados, se observa que el valor de la conductividad térmica medida en vidrios claros y entintados, de los fabricantes Vitro y Saint Gobain, presentan similitud, ligeramente inferior en el caso de Saint Gobain y que en el caso de los vidrios laminados y reflejantes la conductividad térmica se incrementa en forma significativa, considerándose que la posible causa de ello sea el no ser

monolíticos como los primeros, esto es, tener un componente extra al vidrio, como es el material adherente en los laminados y la película en los reflejantes

Es significativa la variación porcentual en el caso de vidrios reflejantes, ya que de acuerdo al Coeficiente global de transferencia de calor, la conductividad térmica es menor que para los vidrios claros y entintados y no coincide con la medición.

No fue posible determinar la conductividad térmica en el caso del vidrio entintado gris de Saint Gobain, ya que probablemente hay un error en la información impresa del fabricante, además de la falta de información del Coeficiente Global de Transferencia de Calor en algunos vidrios, como en el caso del laminado de Saint Gobain, lo que impide la comparación.

4.3.4.3. Conclusiones.

Ninguno de los fabricantes Vitro y Saint Gobain reportan la conductividad térmica en sus productos, por lo que este valor se requiere en la información técnica, para su uso en el cálculo y diseño térmico. Además, destaca la incongruencia observada en la conductividad térmica del vidrio reflejante plata en las muestras de ambos fabricantes; ya que en la comparación de los demás tipos de vidrios con la conductividad térmica calculada al fabricante, la diferencia no es tan significativa

4.3.5. Análisis del Comportamiento térmico.

La evaluación del comportamiento térmico bajo condiciones estandarizadas, facilita un control en las variables que intervienen y permite establecer una comparación de la variabilidad en el desempeño térmico entre los diferentes grupos de vidrios o entre los diferentes vidrios del mismo grupo⁵². En la evaluación del desempeño térmico en vidrios se consideraron a la norma ISO 9050⁵², así como las recomendaciones del Fundamentals del American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., ASHRAE, de 1981⁹⁶, ya que ambas son reportadas como referencia en la evaluación del material vítreo por sus fabricantes.

4.3.5.1. Ganancia de calor solar.

La norma ISO 9050⁵² además de su aplicación en la evaluación de propiedades ópticas, aplica también en la Ganancia de Calor Solar al especificar métodos para determinar la transmisión de

energía solar en vidrios utilizados en edificaciones, datos que pueden apoyar al diseño de la envolvente en el cálculo térmico

La Ganancia de Calor Solar, GCS, es la transmitancia de energía total solar que se define como la suma de la transmitancia solar directa, T , más un factor de transferencia de calor secundario que por convección se reradía como energía de onda larga, al interior, y que proviene de la radiación solar incidente absorbida en el vidrio. La parte absorbida es posteriormente dividida en dos: A_i y A_e , que son las energías transferidas al interior y al exterior respectivamente:

$$A = A_i + A_e \quad (3.8)$$

Donde:

A_i = es el factor de transferencia de calor secundario que en el vidrio pasa al interior

A_e = es el factor de transferencia de calor secundario que en el vidrio pasa al exterior.

Para el cálculo de la transferencia secundaria de calor al interior A_i , el coeficiente de transferencia de calor hacia el interior h_i y el coeficiente de transferencia de calor hacia el exterior h_o son necesarios y estos valores mantienen dependencia, de acuerdo a la posición del vidrio, la velocidad del viento, la temperatura interior y exterior y por supuesto, la temperatura de las dos superficies del vidrio.

Como el propósito del International Organization for Standardization, ISO⁵², es proveer información básica sobre el comportamiento de los vidrios, las condiciones convencionales establecidas para determinar la GCS son:

- Posición del vidrio: vertical
- Superficie exterior: velocidad del viento, aproximadamente a 4 m/seg
- Superficie interior: convección natural

El factor de transferencia secundaria de calor al interior en un vidrio puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$A_i = A \left(\frac{h_i}{h_o + h_i} \right) \quad (3.9)$$

Donde:

A = es la absortancia solar directa.

A_i = es el factor de transferencia de calor secundario que en el vidrio pasa al interior

h_i y h_o son los factores de transferencia de calor hacia el interior y exterior, que equivalen a 8.9 W/m²K y 23 W/m²K respectivamente; sin embargo, otros coeficientes de transferencia de calor

pueden ser usados para calcular la transferencia de calor, que establezcan las condiciones límite y de ser así, deben ser indicados en la evaluación.

La ganancia de calor solar, GCS, de las muestras experimentales se calculó de acuerdo a la ecuación (3.9)⁵² considerando los resultados obtenidos para la transmitancia y la absorptancia para su comparación con la Ganancia de calor solar reportada por los fabricantes de las muestras, resultados que se presentan en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9.: Comparación en Ganancia de calor solar en las muestras experimentales, GCS, con respecto a la referencia del fabricante (R.F.).

Tipo de Vidrio	GCS	Variación (%) en la Ref. Fabr.
Vcl3-R.F.Vitro	88	
Vcl3-V	86	1.79
Vcl3-DM1-V	84	4.17
Vcl3-DM2-V	84	4.42
Vcl3-R.F. Saint Gobain	89	
Vcl3-S.G.	88	0.82
Vcl3-DM1-S.G.	87	2.07
Vcl3-DM2-SG	80	10.10
Vcl6-R.F.Vitro	84	
Vcl6-V	82	1.96
Vcl6-DM1-V	80	4.90
Vcl6-DM2-V	80	4.55
Vcl6-R.F. Saint Gobain	86	
Vcl6-S.G.	85	1.30
Vcl6-DM1-SG	81	5.45
Vcl6-DM2-SG	83	3.38
VcT6-R.F.Vitro	60	
VcT6-V	59	2.39
VcT6-DM1-V	59	1.75
VcT6-DM2-V	59	2.08
VcT6-R.F. Saint Gobain	58	
VcT6-SG	58	0.12
VcT6-DM1-SG	58	0.05
VcT6-DM2-SG	59	1.54
VLam6+6-R.F.Vitro	73	
VLam6-DM1-V	80	9.26
VLam6-DM2-V	80	9.44
VLam4+4-R.F.Saint Gobain	82	
VLam6-DM1-S.G.	82	0.29
VLam6-DM2-SG	84	2.99
VRSpata6-R.F. Vitro	18	
RSplata6-V	23	30.38
VRLplata6-R.F. Saint Gobain	18	
VRLplata6-SG	27	47.96
VRsazul6-R.F. Vitro	38	
RSazul6-V	34	9.39
VRsazul6-R.F. Saint Gobain	34	
RSazul6-SG	28	17.54

De la comparación de la Ganancia de calor solar de los valores experimentales con el de referencia de su fabricante se observa:

1°. Una ganancia de calor menor que la reportada por su fabricante, en los grupos de vidrios claros, entintados y reflejantes en tono azul, y que por su magnitud, la diferencia en estos grupos es:

- En reflejantes azules: 9 % en el caso de Vitro y 18 % en el de Saint Gobain.
- En vidrio claro 3 mm: hasta de 4 % en Vitro y 10 % en Saint Gobain y con mayor dispersión.
- En vidrio claro 6 mm la diferencia es similar para ambos fabricantes: 5 %
- En vidrios entintados, con la menor diferencia de todos los grupos: 1.75 a 2.39% en Vitro y 0.05 a 1.54 % en Saint Gobain.

2°. Una ganancia de calor mayor que la referencia del fabricante en el caso del reflejante plata en ambos fabricantes, y que presenta una variación importante: 31 % en Vitro y 48 % en Saint Gobain.

Por último, la diferencia observada entre los vidrios laminados evaluados y la referencia del fabricante es congruente a lo esperado por la diferencia en el espesor y menor en el caso de Saint Gobain por una menor diferencia.

En este rubro, se considera que si bien es cierto que una evaluación estandarizada facilita conocer el comportamiento térmico y establecer diferencias entre los grupos de vidrios, es posible que ante condiciones ambientales reales, diferentes vidrios en la misma situación ambiental se comporten en forma diferente que en la evaluación estandarizada, debido a que cada grupo al tener una composición química propia, los valores en las propiedades ópticas sean diferentes, por ejemplo en la absorción que con un valor superior a otros permitiría un calentamiento diferencial en el vidrio, modificando los coeficientes de convección y con ello la transferencia de calor.

4.3.5.2. Coeficiente de sombreado.

El Coeficiente de sombreado, CS, se determina de acuerdo a las recomendaciones del ASHRAE 1981⁹⁶, que es la referencia con que reportan sus valores los fabricantes de vidrio de las marcas Vitro, Saint Gobain y Viracon. Al Coeficiente de sombreado, ASHRAE^{29,96} lo define como la proporción de ganancia de calor solar a través de un vidrio bajo condiciones de medición similar al vidrio de referencia, representadas por la ecuación:

$$CS = \left(\frac{GCS_{ve}}{GCS_{vr}} \right) \quad (3.10)$$

Donde:

CS = Coeficiente de sombreado.

GCS_{ve} = Ganancia de calor en un vidrio específico, dada por la transmitancia directa y la fracción que de la absorción ingresa.

GCS_{vr} = Ganancia de calor solar en el vidrio de referencia, que corresponde a 0.87 en un vidrio claro 3 mm.

En el Coeficiente de sombreado existe la combinación de dos estandarizaciones: la ISO 9050⁵² y la del ASHRAE⁹⁶, ya que la Ganancia del calor solar del vidrio objeto de estudio la establece la norma ISO 9050 y la comparación de ésta con un vidrio de referencia la establece ASHRAE, y así calculado para las muestras evaluadas y comparándolo con el de referencia reportado por cada fabricante, se presenta en la Tabla 4.10. la variación porcentual:

Tabla 4.10: Comparación del Coeficiente de sombreado, CS, en muestras experimentales con respecto a la referencia del fabricante (R.F.).

Vidrio	CS	Variación (%) en la Ref. Fabr.
Vcl3-R.F.Vitro	1.01	
Vcl3-V	0.99	1.64
Vcl3-DM1-V	0.97	4.03
Vcl3-DM2-V	0.97	4.27
Vcl3-R.F. Saint Gobain	1.02	
Vcl3-S.G.	1.01	0.53
Vcl3-DM1-S.G	1.00	1.78
Vcl3-DM2-SG	0.92	9.84
Vcl6-R.F.Vitro	0.97	
Vcl6-V	0.95	2.41
Vcl6-DM1-V	0.92	5.34
Vcl6-DM2-V	0.92	4.99
Vcl6-R.F. Saint Gobain	0.98	
Vcl6-SG	0.98	0.44
Vcl6-DM1-SG	0.93	4.62
Vcl6-DM2-SG	0.96	2.54
Vcl6-R.F.Vitro	0.69	
Vcl6-V	0.67	2.44
Vcl6-DM1-V	0.68	1.80
Vcl6-DM2-V	0.68	2.13
Vcl6-R.F. Saint Gobain	0.66	
Vcl6-SG	0.67	1.13
Vcl6-DM1-SG	0.67	1.06
Vcl6-DM2-SG	0.68	2.57
VLam6+6-R.F.Vitro	0.84	
VLam6-DM1-V	0.92	9.14
VLam6-DM2-V	0.92	9.32
VLam4+4-R.F.Saint Gobain	0.94	
VLam6-DM1-SG	0.95	0.29
VLam6-DM2-SG	0.97	2.99
VRSplata6-R.F. Vitro	0.21	
VRSplata6-V	0.27	28.45
VRLplata6-R.F. Saint Gobain	0.2	
VRLplata6-SG	0.31	53.07
VRSazul6-R.F. Vitro	0.44	
VRSazul6-V	0.40	10.06
VRLazul6-R.F. Saint Gobain	0.39	
VRLazul6-SG	0.32	17.37

En la comparación del Coeficiente de sombreado de las muestras con la referencia de su fabricante se observa, al igual que en la ganancia de calor solar, dos situaciones:

1ª Un Coeficiente de sombreado inferior a la referencia, que implica un comportamiento térmico mejor que el esperado por ser una ganancia de calor solar menor y que por magnitud corresponde a los siguientes grupos:

- Vidrios Reflejantes en tono azul, de ambos fabricantes, con una variación de 10.06% en Vitro y 17.37% en Saint Gobain.
- Vidrios Claros de 3 y 6 mm, cuyo comportamiento es parecido entre los dos grupos; sin embargo, es mejor el de Vitro, al presentarse una variabilidad máxima de 4.27% en el de 3 mm y 5.34% en el de 6 mm; en el caso de los de Saint Gobain es de 5.34% en el de 6 mm y 9.84% en el de 3 mm, producto esto de una mayor dispersión en sus valores.
- Los vidrios entintados de los dos fabricantes presentan un comportamiento similar entre las muestras experimentales, sin embargo, la variación porcentual con respecto a la referencia es diferente, debido a la diferencia en el valor de la referencia: la de Vitro es de 0.69 y la de Saint Gobain de 0.66; las variaciones porcentuales para el fabricante Saint Gobain son del orden 1% a 2.57%, y en ésta está incluida la de Vitro, siendo este grupo de vidrios el que más coincide con la referencia del fabricante, lo que representa una mayor certidumbre para el cálculo de cargas térmicas.

2ª Un Coeficiente de sombreado superior a la referencia del fabricante, en sólo uno de los grupos:

- Vidrios reflejantes plata, con un 28.45% para Vitro y 53.07% para Saint Gobain.

En el caso de la variación porcentual en Laminados, es congruente de acuerdo al espesor seleccionado y las diferencias con las referencia de los fabricantes.

La comparación entre la ganancia de calor solar del vidrio, objeto de estudio con la de un vidrio de referencia permite conocer su desempeño térmico, sin embargo, las ganancias de calor solar podrían ser diferentes si los coeficientes de convección fuesen diferentes entre los diferentes tipos de vidrios, como función de sus propiedades ópticas.

4.3.5.3. Coeficiente Global de Transferencia de Calor.

El Coeficiente global de transferencia de calor, U , se determina de acuerdo a las recomendaciones estandarizadas del ASHRAE⁹⁶, publicadas en el *Fundamentals Handbook, 1981*, referencia con que reportan sus valores los fabricantes de vidrio de las marcas Vitro, Saint Gobain y Viracon.

El Coeficiente Global de Transferencia de Calor, U , expresa la transferencia de calor que atraviesa una pared o un material por los mecanismos de conducción y convección, función del espesor del material, de los coeficientes térmicos superficiales, que son a su vez función de las condiciones de

temperatura y de los movimientos del aire sobre las superficies interna y externa de la pared, así como de la conductividad térmica del o de los materiales que constituyen el material mismo, de acuerdo a la ecuación ⁹⁶:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i'} + \frac{dx}{k} + \frac{1}{h_o'}} \quad (3.11)$$

Donde, para condiciones diurnas en verano, se considera un diferencial de temperatura entre el interior (24°C) y el exterior (32°C) de 8°C⁹⁶.

h_i' = Coeficiente de transferencia de calor superficial interior, que considera aire quieto y equivale a 8.3 W/m²°C.

h_o' = Coeficiente de transferencia de calor superficial exterior, que considera una velocidad en el viento de 12 Km/hr y es igual a 22.7 W/m²°C.

dx = espesor del material en el que fluye el calor (m)

k = Conductividad térmica del material. (W/m°C)

Con la conductividad térmica medida a las muestras de vidrio, se calculó el Coeficiente global de transferencia de calor, U, para su comparación con el reportado por su fabricante, así como la variabilidad observada entre ellos, resultados que se presentan en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Comparación del Coeficiente Global de Transferencia de Calor, U, para las condiciones de verano (U_v) en muestras experimentales con respecto a la Referencia del Fabricante (R.F.)

Tipo de vidrio:	U _v (W/m ² °C)	Variación (%) en la Ref. Fabr.
Vidrio claro 3 mm Ref. Fabr. Vitro	5.96	
Vidrio claro 3 mm Vitro	5.93	0.48
Vidrio claro 3 mm Ref. Fabr. Saint Gobain	5.90	
Vidrio claro 3 mm Saint Gobain	5.93	0.43
Vidrio claro 6 mm Ref. Fabr. Vitro	5.86	
Vidrio claro 6 mm Vitro	5.80	1.08
Vidrio claro 6 mm Ref. Fabr. Saint Gobain	5.80	
Vidrio claro 6 mm Saint Gobain	5.79	0.25
Vidrio entintado 6 mm Ref. Fabr. Vitro	5.86	
Vidrio entintado 6 mm Vitro	5.80	1.03
Vidrio entintado 6 mm Ref. Fabr. Saint Gobain	6.30	
Vidrio entintado 6 mm Saint Gobain	5.79	8.17
Vidrio laminado 6 mm Ref. Fabr. Vitro	5.65	
Vidrio laminado 6 mm Vitro	5.93	4.94
Vidrio laminado 6+6 mm Saint Gobain	Sin Ref.	
Vidrio laminado 6 mm Saint Gobain	5.95	Sin Ref.
Vidrio Reflectasol plata 6mm Ref. Fabr. Vitro	4.21	
Vidrio Reflectasol plata Vitro	5.94	41.19
Vidrio Reflectalite plata 6 mm Ref. Fabr. Saint Gobain	4.70	
Vidrio Reflectalite plata Saint Gobain	5.95	26.52
Vidrio Reflectasol azul 6mm Ref. Fabr. Vitro	5.11	
Vidrio Reflectasol azul 6 mm Vitro	Sin muestra	Sin muestra
Vidrio Reflectalite azul 6 mm Ref. Fabr. Saint Gobain	5.60	
Vidrio Reflectalite azul 6mm Saint Gobain	Sin muestra	Sin muestra

En la comparación del valor experimental del Coeficiente Global de Transferencia de Calor, U, entre las muestras del mismo tipo de vidrio, no se observan diferencias significativas entre ellas, por lo que se considera tienen un comportamiento térmico similar, sin importar de qué fabricantes son. En la comparación del U experimental con la Referencia del fabricante se presentan dos situaciones:

1ª El Reflejante plata, en la comparación con el valor del fabricante, si presenta una diferencia superior y significativa: 41.16% en el de Vitro y 26.52% en el de Saint Gobain.

2ª. En los demás grupos no se observan diferencias significativas entre los valores de las muestras y la referencia del fabricante; más bien las diferencias son entre los valores que los propios fabricantes reportan para el mismo tipo de vidrio: en los entintados un 7 %, en los reflejantes plata un 10 % y en los del tono azul un 9 %, diferencias no observadas entre las muestras evaluadas.

En términos generales, no se observa una diferencia importante en el valor del Coeficiente Global de Transferencia de Calor entre las muestras, ya que el rango de dispersión entre ellas es de sólo 8.80%, contra el de un 34% entre las referencias de los fabricantes.

4.3.5.4. Ganancia de calor relativa.

La Ganancia de calor total instantánea que a través de un vidrio considera la ganancia de calor por radiación y por conducción-convección, es llamada Ganancia de calor relativa, GCR, y está dada, de acuerdo a ASHRAE⁹⁶ por la siguiente ecuación:

$$GCR = (CS)(I_o^*) + U_v(T_e - T_i) \quad (3.12)$$

Donde:

CS = Coeficiente de sombreado (adimensional)

I_o^* = Energía de radiación solar incidente: 630 W/m²

U_v = Coeficiente Global de Transferencia de Calor por conducción y convección en condiciones de verano, en W/m²°C

T_e = Temperatura exterior = 31.7 °C

T_i = Temperatura interior = 23.9 °C

Con los valores de los Coeficientes de sombreado y de el Global de Transferencia de Calor por conducción y convección se calculó la Ganancia de calor relativa, para compararla con los valores reportados por los fabricantes, y determinar su variación porcentual; sin embargo, cabe destacar que los fabricantes no reportan este valor, como en el caso del fabricante Vitro en todos sus vidrios, por lo que con los Coeficientes mencionados se calculó la Ganancia de calor relativa que debiera corresponder a las muestras de Vitro en los vidrios claros de 3 y 6 mm, en el vidrio entintado (gris) de

6 mm; en el laminado 6+6 mm; y en los reflejantes plata y azul. En el caso del fabricante Saint Gobain el valor de la Ganancia de Calor Relativa falta en algunos vidrios como en el laminado 4+4 mm, en el que desafortunadamente también falta el valor del Coeficiente Global de Transferencia de Calor por parte del fabricante, por lo que en este tipo de vidrio no fue posible calcularla. Se omiten los valores para el vidrio reflejante azul de los dos fabricantes al no haber sido posible obtener las muestras de los mismos para medir su Conductividad Térmica, por lo que sólo se les evaluó el comportamiento óptico y parte del térmico.

Los valores de la Ganancia de Calor Relativa con los datos experimentales y los de las referencias de los fabricantes se presentan en la Tabla 4.12, así como la variación (%) con respecto al valor de referencia.

Tabla 4.12.: Comparación en la Ganancia de calor relativa, GCR, en muestras experimentales con respecto a la referencia del fabricante (R.F.).

Tipo de vidrio:	GCR (W/m ²)	Variación (%) en la Ref. Fabr.
Vcl3-R.F.Vitro	683	
Vcl3-V	670	1.88
Vcl3-DM1-V	657	3.73
Vcl3-DM2-V	657	3.73
Vcl3-R.F. Saint Gobain	688	
Vcl3-S.G.	683	0.79
Vcl3-DM1-S.G	676	1.71
Vcl3-DM2-SG	626	9.03
Vcl6-R.F.Vitro	657	
Vcl6-V	644	1.99
Vcl6-DM1-V	625	4.87
Vcl6-DM2-V	625	4.87
Vcl6-R.F. Saint Gobain	666	
Vcl6-SG	663	0.52
Vcl6-DM1-SG	631	5.25
Vcl6-DM2-SG	650	2.41
Vct6-R.F.Vitro	480	
Vct6-V	467	2.72
Vct6-DM1-V	474	1.41
VcT6-DM2-V	474	1.41
Vct6-R.F. Saint Gobain	473	
VcT6-SG	467	1.21
VcT6-DM1-SG	467	1.21
VcT6-DM2-SG	474	0.12
VLam6+6-R.F.Vitro	573	
VLam6-DM1-V	626	9.17
VLam6-DM2-V	626	9.17
VLam4+4-R.F.Saint Gobain	Sin k Ref.Fabr.	
VLam6-DM1-SG	645	Sin Ref. Fabr.
VLam6-DM2-SG	658	Sin Ref. Fabr.
VRSplata6-R.F. Vitro	165	
VRSplata6-V	216	31.06
VRLplata6-R.F. Saint Gobain	171	
VRLplata6-SG	242	41.35
VRSazul6-R.F. Vitro	317	
VRSazul6-V	Sin muestra	Sin muestra
VRLazul6-R.F. Saint Gobain	298	
VRLazul6-SG	Sin muestra	Sin muestra

Las variaciones porcentuales del valor de la Ganancia de calor relativa de las muestras, comparada con los valores de referencia de los fabricantes, mantienen congruencia con lo observado en el comportamiento térmico analizado en la Ganancia de calor solar y el Coeficiente de sombreado, por lo que en esta última etapa se observa lo siguiente:

1° Existe una gran similitud en los valores experimentales de los vidrios entintados color gris de ambos fabricantes y entre éstos y los de Referencia de los Fabricantes, por lo que el considerar el valor de referencia de los fabricantes Vitro o Saint Gobain en el cálculo de cargas térmicas se estima representaría una alta certidumbre en el diseño térmico.

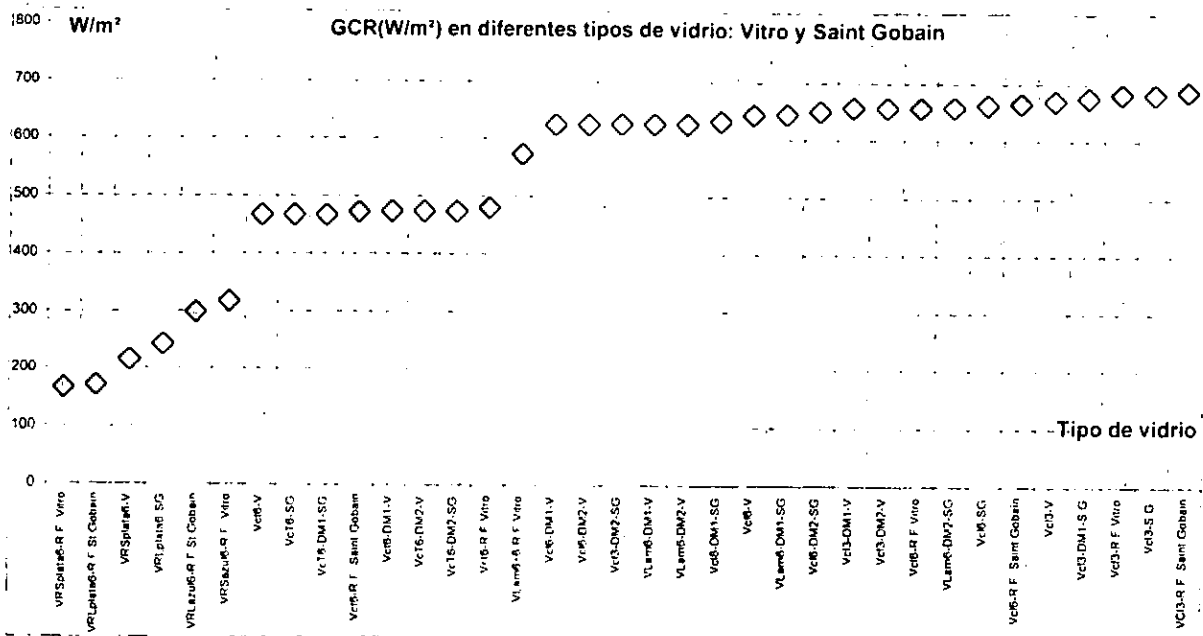
2° Los vidrios claros, en los espesores 3 y 6 mm, presentan una certidumbre que va de 1 a 9 % en los de 3 mm; de 1 a 5 % en los de 6 mm, existiendo una dispersión mayor en la variabilidad en el caso del Fabricante Saint Gobain en los tres grupos mencionados.

3° En el vidrio reflejante plata, de ambos fabricantes, se ratifica lo observado con anterioridad: una variación porcentual importante con respecto al valor de referencia del fabricante, que es de 31% en el de Vitro y de 41 % en el de Saint Gobain, lo que representaría una ganancia de calor al interior de la edificación superior a la calculada con el dato de referencia y esto, motivado tanto por la variación en las propiedades ópticas como en el Coeficiente de Conductividad Térmica, que a su vez, repercute en el Coeficiente Global de Transferencia de Calor, por lo que representaría una certidumbre baja en el cálculo de cargas para efecto de diseño térmico.

En el caso de los laminados, la comparación con la referencia de Vitro es congruente por la diferencia en el espesor; pero en el caso de Saint Gobain no se incluye ni es posible calcularla.

Con los valores de la Ganancia de Calor Relativa, obtenidos en forma experimental y los que corresponden a los fabricantes, se elabora la Gráfica 4.5, en la que es posible observar lo analizado: la gran similitud entre el valor experimental de los vidrios entintados en gris y entre éstos y las referencias de sus fabricantes; la mínima variación entre las muestras de los vidrios claros de 3 y 6mm, incluyendo los laminados y cómo se traslapan sus valores

Y por último, la baja ganancia de calor relativa que presentan los vidrios reflejantes, en comparación con los otros grupos de vidrio, así como la diferencia porcentual mayor que tienen los valores experimentales de estos vidrios en relación a los valores de referencia.



Gráfica 4.5: Ganancia de calor relativa (W/m²) de las muestras experimentales y de las Ref. de los Fabricantes.

4.4. Conclusiones.

Por la importancia que el vidrio tiene en la envolvente de las edificaciones y la necesidad del logro de un confort ambiental al interior de la edificación, es necesario vincularlo como material a las acciones que tienen como objetivo un ahorro energético en la operación de la edificación, para lo cual, es imprescindible contar con valores, lo más preciso posible de sus propiedades termofísicas y ópticas, aunado a la comprensión en el manejo de las mismas en el diseño térmico, motivo por el cual este trabajo se considera una pequeña aportación al uso del vidrio en el diseño térmico de la envolvente de las edificaciones.

De los resultados experimentales obtenidos, en las evaluaciones ópticas y térmicas a diferentes tipos de vidrio se concluye:

- De los vidrios evaluados en forma experimental, el grupo de los entintados en gris, presentan en todas las propiedades ópticas (Reflectancia, Absortancia y Transmitancia) gran similitud tanto entre las muestras de cada uno de los fabricantes como entre las de los dos fabricantes, y son además los que más coinciden con los valores de referencia de los fabricantes, por lo que para efectos de diseño, se considera ofrecen una alta certidumbre.

- Los vidrios claros de 3 y 6 mm, al igual que los entintados, presentan similitud en cada una de sus propiedades, pero menor que la de los entintados en gris. por una mayor variación porcentual, y entre los dos fabricantes se observa mayor variabilidad en los de Saint Gobain.
- En los vidrios reflejantes azul y plata, se observa una variabilidad importante con respecto a la referencia del fabricante, lo que podría impactar al cálculo del diseño térmico, al presentar una alta incertidumbre y con ello afectar al logro de un uso eficiente de la energía, por ejemplo al sobre o subdimensionar una instalación de acondicionamiento en un clima extremo que lo requiriera en una parte del año.

De lo anterior, se considera que:

- Existe la necesidad de que la industria del vidrio disminuya el rango de variabilidad en las propiedades ópticas de los vidrios claros en general y los reflejantes en particular, ya que éstos al estar considerados como vidrios de control solar y presentar una alta variación porcentual con respecto al valor de referencia del fabricante incrementan la incertidumbre del cálculo de cargas térmicas.
- Es necesario que la industria que produce vidrio en nuestro país, específicamente Vitro y Saint Gobain presenten en su literatura técnica información completa, para efecto de cálculo de cargas térmicas, por ejemplo:
 - Considerar valores para diferentes espesores, por ejemplo en vidrios laminados;
 - Incluir los valores de la Conductividad térmica para cada uno de los diferentes tipos de vidrio, ya que no la reporta ningún fabricante.
 - Incluir el valor del Coeficiente Global de Transferencia de Calor en todos los tipos de vidrio y en diferentes espesores, por ejemplo en laminados, tanto de Saint Gobain como de Vitro, e
 - Incluir el valor de la Ganancia de Calor Instantánea o Relativa, porque en el caso de Vitro no se reporta en ningún caso, y en Saint Gobain falta en algunos vidrios.
- Considerar en el diseño térmico de una envolvente que la variabilidad observada en las propiedades ópticas disminuye su impacto, al combinarse entre ellas o participar en otras propiedades con valores predeterminados de coeficientes como son los de convección o el de radiación.
- Considerar que los valores de las propiedades ópticas, térmicas y del comportamiento térmico, producto de una evaluación estandarizada, al presentar una gama de resultados en el desempeño térmico, permite ubicar por comparación a los diferentes vidrios; sin embargo, el desempeño térmico de los vidrios ante parámetros meteorológicos reales puede ser diferente al

estandarizado⁷⁴, función de las diferencias entre los tipos de vidrios, lo que modificaría en forma diferencial los factores de transferencia de calor como son los coeficientes de convección.

- ❑ Por último, es imprescindible la evaluación térmica del vidrio que actualmente se importa, como en los casos de Viracon, de EUA y el que está ingresando de otras regiones del mundo, por ejemplo de Asia, para lo cual se requiere tanto de la disponibilidad del material como de los valores de sus propiedades físicas y en diferentes espesores, referencia de los fabricantes, ya que de no ser así, se imposibilita tanto su evaluación como el que dicho material sea objeto confiable de diseño.

5. EL VIDRIO EN LA ENVOLVENTE DE LAS EDIFICACIONES, VINCULADO AL AHORRO DE ENERGIA.

5.1. Impacto ambiental.

En este apartado se presenta la relación que las edificaciones tienen en el grave deterioro ambiental como una consecuencia de un excesivo uso de energía en procesos ineficientes, que liberan energía útil, así como la necesidad mundial de disminuir el gasto energético con el objetivo de frenar el deterioro ambiental que afecta a todo el planeta tanto en su porción abiótica como la biótica.

5.1.1. El uso de la energía en los edificios y su impacto en el ambiente.

Una edificación al ser un sistema abierto interactúa a través de su envolvente y la ventilación con el ambiente, permitiendo un intercambio energético permanente, por lo que la temperatura, la ventilación y la iluminación requerida por los ocupantes si se proporcionan a través de sistemas mecánicos, éstos, al consumir energía liberan calor que pasa al ambiente como una carga térmica, por lo que es correcto considerar a una edificación como un sistema dinámico en el que se presenta un intercambio continuo de materia y energía con el medio ambiente.

Del total de energía consumida por un país, desarrollado o en vías de desarrollo, las edificaciones consumen un alto porcentaje, aún en países que tienen un clima benigno como Australia, en el que el consumo representa un 25 %⁴ o en Japón, en el que en 1996 fue de un 26 %¹¹²; y la participación se incrementa en países con clima más riguroso como en Estados Unidos, que es de aproximadamente 40 %⁴ (34.95% en 1990, 35.39% en 1995 y 36.71% en 1997^{8,9}) o en el Reino Unido, que es de 45%⁴.

En nuestro país, la demanda de energía del sector residencial entre 1980 y 1990 representó aproximadamente el 20 % de la energía total consumida⁸⁶ y a diferencia de los países de la OCDE, existe poca información que permita evaluar el consumo de energía en los hogares⁸⁶. En el año de 1996, el sector doméstico nacional consumió el 23.4% del consumo eléctrico total¹⁰ y a lo anterior, debemos agregar que el porcentaje señalado en ambos ejemplos representa únicamente al sector residencial y que éste es sólo una parte del total de las edificaciones existentes en nuestro país que consumieron energía en esos lapsos.

De la energía total a nivel nacional consumida en México, en 1996⁵, el sector residencial, comercial y de servicio público consumió el 22.6 %; el sector del transporte el 38.4%; el industrial el 36.3% y el agropecuario el 2.7%, por lo que podemos considerar que el consumo de energía en las edificaciones fué superior a ése 22.6 %, porque también existen edificaciones en el sector industrial y posiblemente

en el agropecuario, además de que tanto los sectores industrial como el de transporte están vinculados en su función al de la construcción. En el año de 1998, del total de la energía disponible en México, el sector residencial, comercial y de servicio público consumió el 19.7 %¹²¹

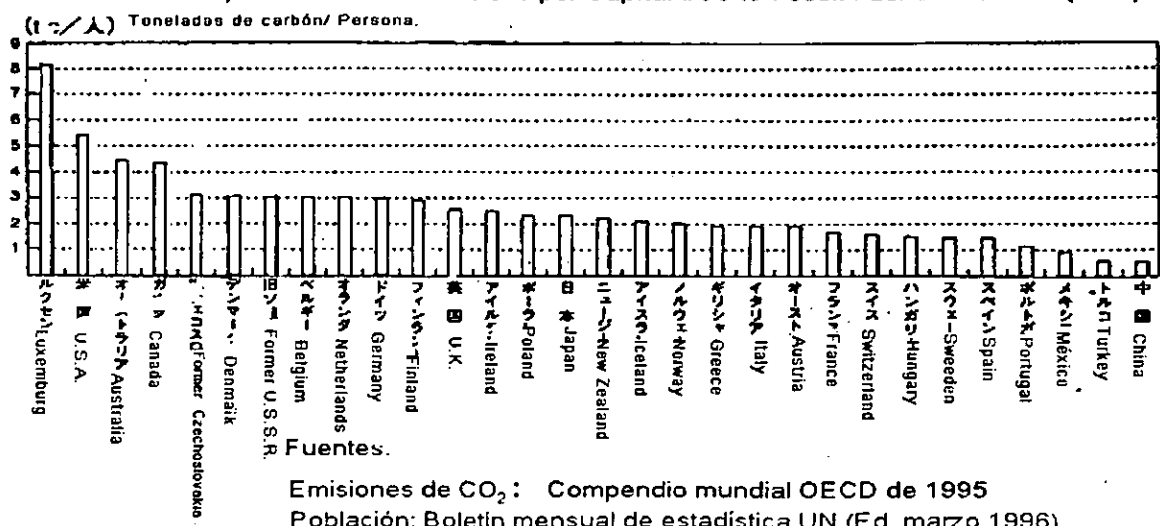
Las edificaciones son demandantes de energía, principalmente en tres niveles:

- 1.- Energía involucrada en la fabricación de los materiales de construcción y sus componentes así como en el transporte de los mismos y en el proceso de edificación⁴.
- 2.- Energía de operación, utilizada para climatización como calentamiento, enfriamiento y ventilación, además de la utilizada en iluminación y servicios al interior de la edificación⁴.
- 3.- Energía de operación en el reciclamiento de edificaciones cuando son demolidas o remodeladas.

El uso de la energía en las edificaciones se considera ha impactado negativamente al ambiente con el aporte de aproximadamente un 50% de las emisiones de CO₂⁴, principal gas invernadero, por la quema de combustible fósil, proceso implicado como una de las principales causas del cambio climático global. Cada kWh de electricidad usada causa la emisión de aproximadamente 1 kg de CO₂⁴. La emisión de CO₂ es diferente en cada país, ya que en tal aporte incide la actividad industrial, en la que dentro de su diversidad está implícita la edificación. A pesar de que las aportaciones de CO₂ varíen y/o estén focalizadas en el planeta (Gráfica 5.1.) la alteración al ambiente afecta a todo el planeta y a sus habitantes por igual¹¹².

Comparación internacional de emisión de CO₂ por combustión de energéticos de origen fósil (1993)

各国の一人当たりCO₂の排出量 (1993年 化石燃料燃焼によるもの)
International Comparison of CO₂ Emissions per Capital Due to Fossil Fuel Combustion (1993)



Gráfica 5.1. Comparación internacional de emisión de CO₂ por quema de combustible fósil en 1993¹¹².

5.1.2. Acciones para frenar el deterioro ambiental.

La alteración ambiental fué detectada desde los años sesentas, pero reconocida formalmente como tal a partir de 1972 en la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente de Estocolmo, Suecia, dando origen al PNUMA (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) celebrándose en 1977 la primera conferencia intergubernamental de Educación Ambiental en Tbilisi, Ex URSS¹.

Un equipo de investigadores del M.I.T. (Massachussetts Institute of Technology), dirigido por Dennis Meadows estudió en 1972³, mediante programas de cómputo, las consecuencias de la interacción entre el crecimiento exponencial continuo de la población humana y su interrelación con variables como la industrialización, el comportamiento de la contaminación y el consumo de los recursos naturales no renovables, llegando a la conclusión de que ese sistema dinámico entraría en menos de cincuenta años en un periodo en el que sería cada vez menos capaz de funcionar.

La solución propuesta, después de varias simulaciones era la de detener el crecimiento exponencial mediante una política de estabilización de la población y del capital (igualación de las tasas de inversión y de depreciación) acompañada por medidas técnicas que incluían reciclado de recursos naturales, combate a la contaminación, aumento de la vida media de todas las formas de capital, impulso al desarrollo tecnológico hacia procesos más eficientes, disminuir la erosión, así como que la producción de alimentos y servicios debían predominar sobre la producción industrial³.

Medidas tan severas, propuestas por el grupo de Meadows, fueron en su momento rechazadas por considerar que la tecnología futura para ése momento, revolucionaría y solucionaría el futuro³.

Mansholt (1972) y Philipe Saint Marc (1971)³ postularon las teorías sobre la socialización de la naturaleza, antecedentes del desarrollo sustentable, el cual en la actualidad considera el uso de los recursos en función de su propia conservación, a fin de no agotarlos, en la consideración de que el alza en el nivel de vida no está fincado sólo en la existencia de bienes cuantitativos sino más bien en la calidad de la vida y en un interés colectivo que impida la especulación con el suelo.

A nivel mundial, la disponibilidad de energía se ha convertido en uno de los problemas más importantes a resolver, tanto para los países industrializados como para los que están en vías de desarrollo, ya que la demanda de energía es creciente⁴ y la sustitución de la energía de origen fósil se hace necesaria no sólo por ser un recurso no renovable y por ello finito, sino por las consecuencias ambientales que su uso ha provocado.

La oferta de energía que sustituya a la fósil es y será diversa y su uso lento, porque están muchas de ellas en etapa de investigación, además del hecho de que su uso requiere modificación de los hábitos en el uso de energía por parte de la población humana en todo el mundo y hay y habrá una resistencia al cambio de esquemas, lo que implica una reeducación ambiental que conlleve a una toma de conciencia de la problemática presente y de las posibles soluciones.

Entre las nuevas tecnologías, para obtener energía más limpia, se encuentran las llamadas energías no convencionales o fuentes alternas de energía renovables como la solar, la eólica, la microhidráulica y la biomasa⁵.

Además de la posible sustitución de la energía fósil por fuentes no convencionales, se contempla el ahorro y uso eficiente de la energía como una alternativa viable, ya sea por procesos más eficientes o la disminución de su consumo en un contexto de desarrollo sustentable; en el desincentivar su uso a través de reducir los subsidios, como está ocurriendo en nuestro país o en cobrar impuestos sobre su valor real como en Estados Unidos de Norte América.

En el caso de las edificaciones, es posible lograr un ahorro de energía importante, considerando que el comportamiento térmico de un edificio es función del sitio en el que se encuentra, de la forma, la orientación, los materiales que lo conforman y la disposición de los huecos o aberturas, por lo que es posible incidir en la decisión del ahorro energético desde su diseño, la selección de los materiales, el funcionamiento y uso de la energía, las emisiones al medio ambiente, el proceso mismo de la edificación y la relación energía de capital y costo de operación⁴.

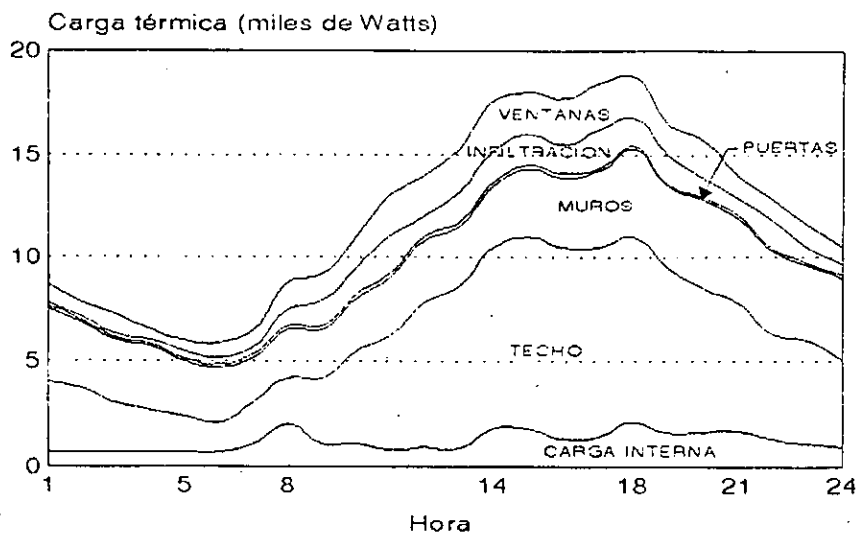
Además, de las alternativas anteriores, está la Normatividad al uso de energía en las edificaciones, reglamentación que existe en muchos países como Estados Unidos, Suecia, Reino Unido, Francia y España¹⁴ entre otros, con revisiones periódicas y correcciones a las disposiciones, con base en los resultados, que contemplan las diferencias aplicables a su ambiente, compartiendo como objetivo común el de disminuir la transferencia de calor, ya sea para reducir las pérdidas o las ganancias del o al interior del edificio y con ello disminuir el gasto energético requerido para climatización, ya sea en calentamiento o enfriamiento del espacio interior.

En países como los señalados, ubicados en latitudes más al norte que México, la necesidad primordial a cubrir en la normatividad térmica es la de ahorrar energía evitando la pérdida de calor en al menos la mitad del año, a diferencia de nuestro país, en el que la necesidad principal a resolver con ahorro de energía, es la de evitar las ganancias térmicas en la mayor parte del año, situación que comparten otros países o parte de ellos con latitud similar a la nuestra, al Norte o al Sur, como Israel o el sur de Estados Unidos.

5.2. Normatividad al uso de energía en las edificaciones de México.

La envolvente de las edificaciones ha sufrido una evolución por el uso del vidrio, el cual junto con los metales ha desplazado a otros materiales de construcción con más tradición como la piedra o el ladrillo, al grado de aparentar cubrir a la envolvente sólo con vidrio, situación que se ha observado en todo el mundo, sin importar la ubicación geográfica, provocando tanto ganancias como pérdidas de calor al y del interior, debido a las propiedades térmicas que en el vidrio --principalmente el que carece de control solar-- que permiten una transferencia de calor casi instantánea y por ello mayor que en los materiales opacos.

Como puede observarse en la Gráfica 5.2, se representa la ganancia de calor a través de los diferentes componentes de la envolvente de una vivienda en nuestro País, situación definida a través de simuladores en el Instituto de Investigaciones Eléctricas⁸⁹, y que coincide con el ejemplo del Dr. Olgyay (Gráfica 4.8.) en cuanto a que la mayor ganancia de calor al interior de la edificación se realiza a través de las ventanas, a pesar de que ambos ejercicios corresponden a modelos de edificaciones ubicadas en latitudes diferentes.



Gráfica 5.1. Comportamiento térmico (miles de Watts) en los diferentes elementos de una vivienda.

La ganancia de calor solar al interior de las edificaciones se ha compensado desde la segunda mitad de este siglo con el uso de energía al climatizar el espacio interior, aportando con ello gases invernadero a la atmósfera en proporción importante, por lo que es una necesidad mundial la reducción del consumo energético, tanto por el grave deterioro ambiental como por el incremento del costo del combustible, situación que ha forzado a la tecnología en la fabricación del vidrio a desarrollar materiales que disminuyan la transferencia de calor mediante el incremento de la reflectancia para todo el espectro de radiación o una porción de él, o a absorber parte de la radiación en su masa, así como la de regular su uso mediante el cálculo de las ganancias térmicas que el edificio tendrá, desde

su diseño, principalmente en la envolvente, en etapas previas a la edificación, limitando con ello su gasto energético futuro.

5.2.1. Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

En México, un intento de normatividad^{15,88} al uso de energía en las edificaciones es el Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales¹¹⁹, publicada en el Diario Oficial el 22 de septiembre del 2000, que contempla que si para mantener en el interior del edificio condiciones de temperatura y humedad que el ser humano requiere para su bienestar se consume energía proveniente de recursos energéticos no renovables de la nación, que en su transformación producen contaminantes a la atmósfera, se considera de orden público e interés social que se establezcan normas obligatorias de eficiencia energética, motivo por el cual la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE) de la Secretaría de Energía, plantea como objetivo el mejorar el diseño térmico de los edificios, a fin de que su comportamiento sea más eficiente y tengan la capacidad de lograr la comodidad de sus ocupantes con el mínimo de consumo de energía, sin limitar la creatividad en el diseño, pero si optimizarlo desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente^{88, 119}, por medio de promover acciones vinculadas a un control solar como:

- Mejorar las características de los materiales y sistemas empleados en el techo y los muros,
- Optimizar la orientación de las fachadas y el dimensionamiento de ventanas y tragaluces¹¹⁵ y
- Fomentar el desarrollo de las propiedades ópticas y térmicas del vidrio.

Objetivo^{88,119}: limitar la ganancia de calor de las edificaciones a través de su envolvente, con el objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.

Beneficios⁸⁹: evitar las excesivas ganancias térmicas a través de las partes opacas y transparentes de la edificación; ahorrar energía eléctrica en sistemas de enfriamiento y acercarse a las condiciones de confort térmico en edificaciones sin climatización artificial.

5.2.1.1. Bases de la Norma⁸⁹.

El Proyecto de Norma se basó en estudios realizados en localidades extremas del país, mediante programas de cómputo de modelación térmica de edificaciones y estos resultados se generalizaron a todo el país a través de extrapolaciones, debido a la escasa información climatológica horaria a nivel

Nacional, dando como resultado el desarrollo de parámetros que reflejan el uso de la energía en edificaciones y su relación con el clima como son:

- Temperatura equivalente, que es la temperatura promedio que perciben las superficies exteriores durante el verano⁸⁹, o la temperatura exterior promedio^{88, 119} en el período de uso de sistemas de enfriamiento, debido a la insolación y que varía con la orientación.
- Tamaño de ventanas en los edificios de referencia⁸⁹.
- Factores de compensación, si se utiliza sombreado exterior como volados o parteluces^{88, 89, 119}.

Campo de aplicación^{88,119}.

Esta norma aplica a todas las edificaciones nuevas o las ampliaciones de edificaciones no residenciales ya existentes. Si un uso o destino, que se incluye en esta norma constituye al menos el 90 % del área construida de la edificación, la norma aplica a la totalidad del edificio.

Excepciones^{88,119}.

Quedan excluidas las edificaciones cuyo uso primordial sea industrial o habitacional.

Criterio de aceptación^{88,119}.

La envolvente de la edificación proyectada debe especificarse de tal manera que la ganancia de calor a través de la envolvente resulte menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación de referencia, es decir:

$$Q_p \leq Q_r \quad (4.1)$$

Donde

Q_p = Ganancia de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en Watts.

Q_r = Ganancia de calor a través de la envolvente en la edificación de referencia, en Watts.

5.2.1.2. Especificaciones del Edificio de Referencia^{88,119}.

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, que se pretende construir, es utilizado para determinar un presupuesto energético máximo que considera las siguientes especificaciones para las componente de la envolvente:

En el techo: un 95 % del área cubierta por material opaco, con un Coeficiente Global de Transferencia de Calor específico a la ubicación geográfica y un 5 % con material translúcido, cuyo Coeficiente Global de Transferencia de Calor sea equivalente a 5.952 W/m²°C y un Coeficiente de Sombreado de

0.85, en forma de tragaluces o domos; en los muros un 60 % del área cubierta por material opaco con especificaciones en el Coeficiente Global de Transferencia de Calor específico a la ubicación geográfica y un 40 % con material translúcido, cuyo Coeficiente Global de Transferencia de Calor sea equivalente a 5.319 W/m²°C y un Coeficiente de sombreado equivalente a 1.

Se considera que el Edificio de Referencia no presenta ganancia de calor a través del piso, debido a que se supone que se encuentra sobre el suelo. Si el edificio proyectado tiene ganancia de calor a través del piso, ésta deberá sumarse a la ganancia de calor de la envolvente.

5.2.1.3. Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del Edificio Proyectado^{88,119}.

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 por radiación solar, es decir:

$$Q_p = Q_{pc} + Q_{ps} \quad (4.2)$$

Donde:

Q_p es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio proyectado, en Watts.

Q_{pc} es la ganancia de calor por conducción a través de las partes opacas y las no opacas o translúcidas de la envolvente del edificio proyectado, en Watts.

Q_{ps} es la ganancia de calor por radiación solar a través de las partes no opacas o translúcidas de la envolvente del edificio proyectado, en Watts.

5.2.1.3.1. Ganancia de calor por conducción^{88,119}.

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

$$Q_{pc} = \sum_{i=1}^6 Q_{pci} \quad (4.3)$$

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.

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

$$Q_{pci} = \sum_{j=1}^n [(K_j \cdot A_{ij} \cdot (t_{e_i} - t))] \quad (4.4)$$

Donde:

Q_{pci} es la ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación i , en Watts.

j son las diferentes porciones que forman parte de la componente de la envolvente.

K_j es el Coeficiente Global de Transferencia de Calor de cada porción, en $W/m^2 \cdot K$. Cada porción j tendrá un Coeficiente Global de Transferencia de Calor.

A_j es el área de la porción j con orientación i , en m^2 .

t_{e_i} es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación i , determinada en $^{\circ}C$ según la tabla 1 de la Norma.

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

5.2.1.3.2. Ganancia de calor por radiación^{88,119}.

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

$$Q_{ps} = \sum_{i=1}^5 Q_{psi} \quad (4.5)$$

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:

$$Q_{psi} = \sum_{j=1}^n (A_{ij} \cdot CS_j \cdot FGi \cdot SE_{ij}) \quad (4.6)$$

Donde:

Q_{psi} es la ganancia de calor por radiación solar a través de las porciones transparentes de la envolvente del edificio proyectado, en Watts.

j son las diferentes porciones transparentes que forman 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 sombreado exterior. Una porción típica de una parte no opaca es una pared de vidrio o con un bloque 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 de la Norma, 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, de la Norma, con valor adimensional entre cero y uno.

5.2.1.4. Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente del Edificio de Referencia^{88,119}.

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:

$$Q_r = Q_{rc} + Q_{rs} \quad (4.7)$$

En donde:

Q_r es la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio de referencia, en Watts.

Q_{rc} es la ganancia de calor por conducción, a través de la envolvente del edificio de referencia, en Watts.

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

5.2.1.4.1. Ganancia de calor por conducción^{88,119}.

Es la suma de la ganancia de calor por conducción a través de cada uno de los componentes, de acuerdo con su orientación y expresada en la siguiente ecuación:

$$Q_{rc} = \sum_{i=1}^5 Q_{rci} \quad (4.8)$$

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:

$$Q_{rci} = \sum_{j=1}^n (K_j \cdot A_{ij} \cdot (t_c - t)) \quad (4.9)$$

En donde:

Q_{rci} es la ganancia de calor por conducción a través de la envolvente del edificio de referencia con orientación i , en Watts.

j son las diferentes porciones que forman parte de la envolvente del edificio de referencia.

K_j es el Coeficiente Global de Transferencia de Calor de cada porción, en $W/m^2 \cdot K$. Para las partes opacas se determina según la Tabla 1 del Apéndice A, y para las partes transparentes de los techos es $5.952 W/m^2 \cdot K$ y para las partes transparentes de las paredes es $5.319 W/m^2 \cdot K$.

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

t_c es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación i , determinado según la Tabla 1 del Apéndice A de la Norma, en $^{\circ}C$.

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

5.2.1.4.2. Ganancia de calor por radiación^{88,119}.

Es la suma de la ganancia por radiación a través de cada una de las partes no opacas, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{rs} = \sum_{i=1}^5 Q_{rsi} \quad (4.10)$$

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:

$$Q_{rsi} = \sum_{j=1}^5 (A_{ji} \cdot C_{Sri} \cdot F_{Gi}) \quad (4.11)$$

En donde:

Q_{rsi} es la ganancia de calor por radiación solar a través de las porciones transparentes de la envolvente del edificio de referencia, con orientación i , en Watts.

A_{ji} es el área de la porción transparente j con orientación i , en m^2 .

CS_{ri} es el Coeficiente de sombreado del vidrio empleado en la edificación de referencia, con orientación i , con valor adimensional de 0.85 para el techo y 1 para las paredes.

FG_i es la Ganancia de calor solar por orientación, determinada según la tabla 1 de la Norma, en W/m^2 .

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

5.3. Aplicación de la metodología del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999^{88, 89, 119}

En este ejercicio se aplicó la metodología del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999 a una edificación reconocida: La Torre de la Rectoría de la UNAM, considerada como la Edificación Proyectada, a la cual se le evalúa tanto en su ubicación real, en Ciudad Universitaria, D.F., como en una hipotética en nuestro país, situada en un clima extremo, en la que se simula a la envolvente en una situación ambiental crítica. En las dos ubicaciones, a la edificación proyectada se le evalúa a con la misma serie de vidrios en las porciones transparentes de sus muros en las diferentes orientaciones; los valores ópticos y térmicos utilizados son tanto los medidos y presentados en el capítulo 4 de este trabajo, como los de referencia, reportados por sus fabricantes.

Este ejercicio tiene los siguientes objetivos:

- 1.- Mostrar cómo el comportamiento térmico de la envolvente en una edificación se modifica en cuanto a la ganancia de calor al interior del edificio, cuantificada en Watts, a través del cambio de vidrio en las porciones transparentes de la envolvente, debido a la variación en los valores de las propiedades ópticas y térmicas del vidrio.
- 2.- Evaluar el comportamiento térmico de la edificación seleccionada como la edificación proyectada, a través del cálculo o presupuesto energético, de acuerdo a las especificaciones marcadas en el Proyecto de Norma PROY-NOM-008-ENER-1999 y compararlo con el presupuesto energético de la edificación de referencia, para determinar en qué casos y en qué ubicación la edificación proyectada aprobaría la Norma.
- 3.- Comparar la variación del presupuesto energético de la Edificación Proyectada, como producto de la aplicación de los valores experimentales, obtenidos en la medición de las propiedades ópticas y térmicas del material de vidrio, para determinar si existe congruencia con la variabilidad observada en la parte experimental.

4.- Comparar el comportamiento térmico de la envolvente, producto de la aplicación de los valores reportados por los fabricantes del material de vidrio, con el obtenido a través de los valores experimentales, para determinar si existe congruencia con la variabilidad observada en la parte experimental.

5.3.1. Descripción y ubicación de la edificación seleccionada como la proyectada.

La Torre de la Rectoría de la UNAM (Fig. 5.1. y 5.2.), en Ciudad Universitaria, Distrito Federal se seleccionó para este ejercicio por diversos motivos:

1.- Es una edificación importante, ya que con la Biblioteca Central, es emblema de la máxima casa de estudios, fue construida al inicio de la década de los cincuenta por Arquitectos destacados como Mario Pani, Enrique del Moral y Salvador Ortega.

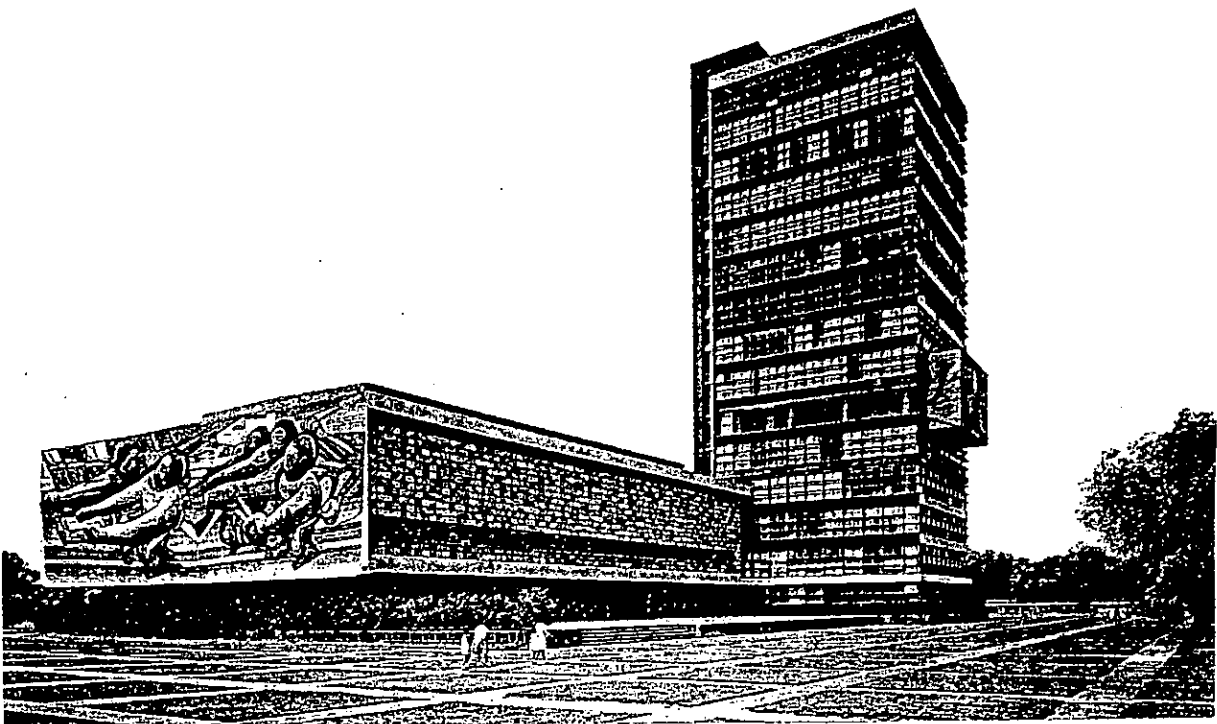


Fig. 5.1. La Torre de la Rectoría de la U.N.A.M. en la que se muestran los muros al este y al sur.

2.- Tiene una estructura de concreto armado, con quince pisos, y cuenta con una amplia superficie expuesta a la incidencia de radiación solar: 503 m² en la azotea; 1480 m² en los muros norte y sur; 1122 m² en el muro este y 1390 m² en el muro oeste, y de éstos, los más importantes por el flujo radiativo que reciben son los orientados al este y al sur.

3.- En sus muros está presente una alta proporción de material transparente a la radiación solar, como vidrio claro 9 mm, que permite una ganancia de calor importante, principalmente en las orientaciones este y sur, ya que en la norte a pesar de contar con un alto porcentaje de vidrio, la

incidencia de radiación no es significativa, función de la latitud; y en el caso del muro al oeste, es un muro escudo a la radiación solar; por lo expuesto, la ganancia de calor solar al interior de la edificación es relevante en condiciones normales.

La Torre de la Rectoría se encuentra en Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, en el Distrito Federal; con ubicación geográfica de $19^{\circ}26' N$ y $99^{\circ}08' O$; presenta una oscilación térmica anual de $5.1^{\circ}C$ y un clima clasificado, de acuerdo a Köppen y modificado por Miranda, E.⁹⁰ como Cb(w)(w)(i)g, que corresponde a un clima templado, con verano fresco y largo; temperatura media anual entre 12 y $18^{\circ}C$; con precipitación anual de $691mm$ y 3.4% de precipitación en invierno.

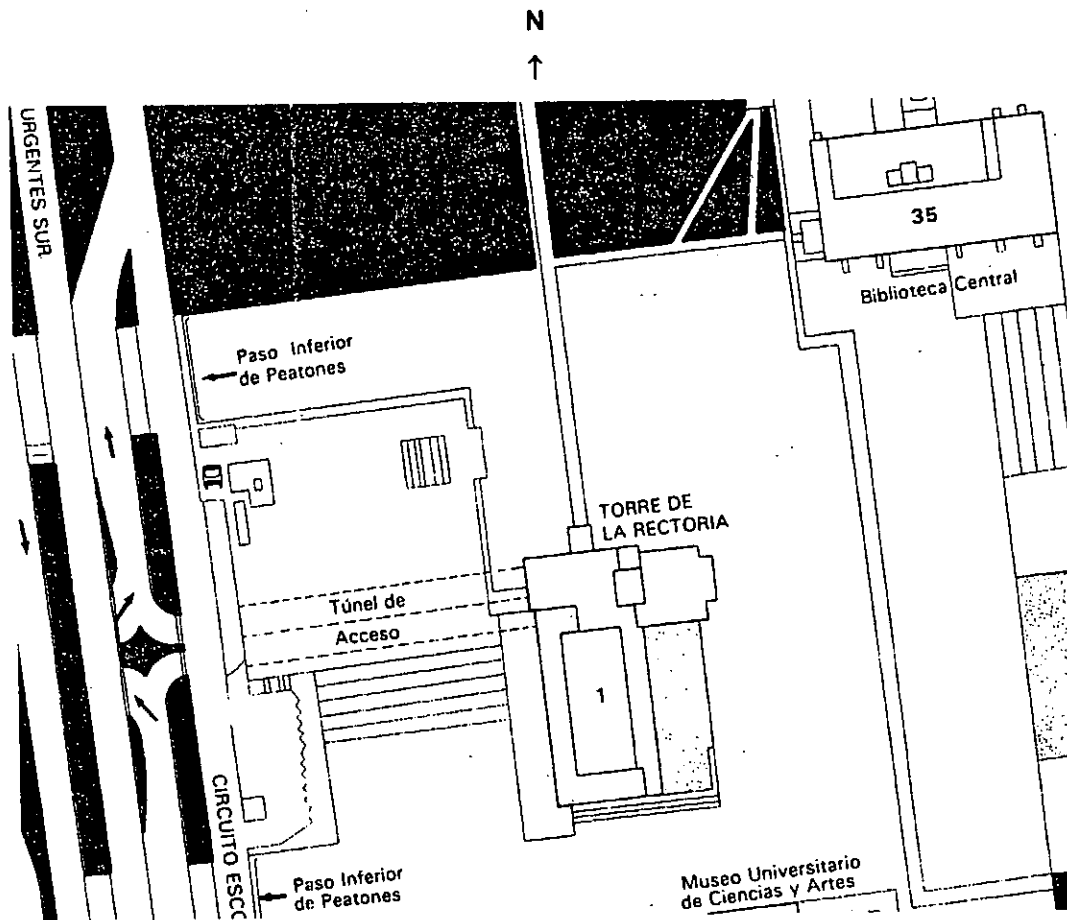


Fig. 5.2. Ubicación y orientación de La Torre de Rectoría de la U.N.A.M.¹¹⁸

Para efecto del ejercicio, la estimación del flujo de calor a través de la envolvente de la Torre de Rectoría, además de realizarse en su ubicación real, en C.U., se simula en una situación climática rigurosa como lo es el ambiente de Mexicali, B.C.N., al cual le corresponde una ubicación geográfica de $32^{\circ}33' N$ y $115^{\circ}25' O$, que se caracteriza por una oscilación térmica de $20.7^{\circ}C$, a diferencia de la de Ciudad Universitaria, de $5.1^{\circ}C$; con un clima clasificado como BW(h)hs(x)(e) que es seco cálido, con temperatura promedio anual de $22.1^{\circ}C$, de acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García, E.⁹⁰

5.3.2. Material de vidrio considerado en la aplicación del ejercicio.

El material de vidrio propuesto para ser sustituido en las porciones transparentes de los muros de la Torre de la Rectoría de la UNAM, considerada como la edificación proyectada, corresponde al propuesto en la Tabla 4.1. del Capítulo 4, e incorporando además los valores de referencia de los fabricantes Vitro⁴⁴ y Saint Gobain⁴⁵, y todos ellos, en las dos ubicaciones propuestas.

5.3.3. Metodología aplicada.

La aplicación de la metodología de la Norma^{88, 89} PROY-NOM-008-ENER-1999 de la CONAE, ya descrita en los puntos 5.2.1.3. y 5.2.1.4., se realizó para 68 variaciones de vidrio, obteniéndose resultados en 64, ya que en el entintado y en el laminado de Saint Gobain faltaron datos de la referencia del fabricante. La única modificación que se realizó a la envolvente en cada uno de los 68 casos es la que corresponde a los valores de las propiedades ópticas y térmicas del material transparente a la radiación e.m, expresándose el resultado como la ganancia de calor total, en Watts, el cual se compara con la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación de referencia.

Antes de analizar los resultados del ejercicio, se proporciona la explicación de uno de los 68 casos, a manera de ejemplo y correspondió al de la aplicación del vidrio claro de 6 mm con los valores de referencia del Fabricante Vitro, en la ubicación del D.F., por ser el caso que más se parece a las condiciones reales de La Torre de la Rectoría de la UNAM, ejemplo que se presenta como la Tabla 5.1., a la que se le divide en seis apartados, del a) al f), para su explicación, y que representan:

- (a) Ganancia por conducción en la edificación de referencia, $Q_{rc}(W)$,
- (b) Ganancia por radiación en la edificación de referencia, $Q_{rs}(W)$,
- (c) Ganancia por conducción en la edificación proyectada, $Q_{pc}(W)$,
- (d) Ganancia por radiación en la edificación proyectada, $Q_{ps}(W)$,
- (e) Ganancia total, $Q(W)$, en cada una de las dos edificaciones, como resultado de, la ganancia de calor por conducción y la ganancia de calor por radiación en cada una de las edificaciones $Q_c(W) + Q_s(W)$.
- (f) Dictamen a la edificación proyectada: el criterio de aceptación es si la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación proyectada resulta menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación de referencia.

Tabla 5.1 Ganancia de calor total en las Edificaciones Proyectada y de Referencia en la ubicación del Distrito Federal.

METODO: CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material translúcido: Vidrio: claro 6 mm Referencia del Fabricante "Vitro"

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

Ubicación: Cd. Universitaria, D.F.

EDIFICIO DE REFERENCIA:

(a) Ganancia por conducción: (porciones opaca y transparente)

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	0.391	503.14	0.95	32.00	1308.24
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	19.00	-898.41
Muro norte	2.200	1480.00	0.60	23.00	-3907.20
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	20.00	-15744.24
Muro este	2.200	1122.07	0.60	26.50	2221.70
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	21.00	-9549.26
Muro sur	2.200	1480.00	0.60	22.16	-5548.22
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	21.00	-12595.39
Muro oeste	2.200	1389.47	0.60	21.00	-7336.40
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	21.00	-11824.95
					$Q_{rc}(W) = -63874.14$

(b) Ganancia por Radiación (porción transparente)

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	272	5816.30
Ventana norte	1	1480.00	0.40	102	60384.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	140	62835.92
Ventana sur	1	1480.00	0.40	114	67488.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	134	74475.59
					$Q_{rs}(W) = 270999.81$

Presupuesto Energético:

Edificio de Referencia

Edificio Proyectado

$Q_c(W)$

-63874.14

-66699.04

+

$Q_s(W)$

270999.81

280155.06

(e)

$= Q(W)$

207125.67

213456.02

%

100

103.06

(f)

NO Cumple la NOM-008:

EDIFICIO PROYECTADO:

(c) Ganancia por conducción: (porciones opaca y transparente)

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)	
Techo	1.55	503.14	32	5459.07	
Tragaluz y domo	2.94	743.64	23	-4372.60	
Muro norte	4.85	736.36	20	-17855.04	
Ventana norte	3.30	471.31	26.5	2332.98	
Muro este	4.85	650.76	21	-12623.55	
Ventana este	3.02	703.81	22.2	-6036.44	
Muro sur	4.85	776.19	21	-15056.66	
Ventana sur	2.93	1094.84	21	-12831.52	
Muro oeste	4.85	294.63	21	-5715.28	
Ventana oeste					$Q_{pc}(W) = -66699.04$

(d) Ganancia por Radiación (porción transparente)

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.97	736.36	102	1.00	72855.46
Ventana este	0.97	650.76	140	0.98	86605.74
Ventana sur	0.97	776.19	114	0.96	82397.85
Ventana oeste	0.97	294.63	134	1.00	38296.01
					$Q_{ps}(W) = 280155.06$

La ganancia de calor por conducción, Q_c , --apartados (a) y (c)-- considera los factores: Coeficiente Global de Transferencia de Calor en las fracciones transparentes y opacas de las fachadas y el techo, así como el diferencial de temperatura entre la temperatura de diseño interior y la exterior:

- a) El Coeficiente global de transferencia de calor, K , en la edificación de referencia para las partes opacas es función de la ubicación geográfica y está determinada en la Norma para diferentes localidades en cada estado del país: para las partes transparentes corresponde a $5.952 \text{ W/m}^2\text{°K}$, en el tragaluz y $5.319 \text{ W/m}^2\text{°K}$ en las ventanas. En la edificación proyectada el Coeficiente global de transferencia de calor debe ser calculado tanto para las porciones opacas como para las transparentes, de acuerdo al material propuesto en el proyecto, considerando para ello la conductividad térmica que reportan los fabricantes y que en el ejemplo que se está analizando, al vidrio claro de 6 mm le corresponde una K de $4.85 \text{ W/m}^2\text{°K}$
- b) A la edificación de referencia, se le considera un área, en la envolvente, similar a la proyectada; con ajuste en las fachadas a un 40 % en la porción transparente y un 60 % en la opaca; en el techo de 5 % en la transparente y 95 % en la opaca, proporciones a las que en el formato se denominan fracciones y que en el caso de la edificación proyectada a las fracciones transparentes y opacas en fachadas y techos se les reporta en su dimensión real.
- c) La temperatura de diseño interior es de 25°C en todos los casos y la que varía, dependiendo de la ubicación geográfica es la exterior, por lo que representa un diferencial variable en cada localidad, y que determina si en el flujo de calor se presentan ganancias o pérdidas para la edificación. En este ejercicio, por el diferencial existen ganancias en la ubicación de Mexicali y pérdidas en la de Ciudad Universitaria.

La ganancia de calor por conducción tanto en la edificación de referencia, Q_{rc} , como en la proyectada, Q_{pc} , se obtienen de acuerdo a las ecuaciones (4.4).y (4.9), y en este ejemplo para la edificación de referencia es de -63.874 W y de $-66,699.04 \text{ W}$ para la proyectada, lo que representa pérdidas de calor, mayores en un 4.42% en la edificación proyectada.

La ganancia de calor por radiación, Q_s , es la suma de las ganancias por radiación a través de cada una de las porciones transparentes, sujetas a transmitancia en la radiación e.m. diferente a cero, situación que no se presenta en las porciones opacas. Para la determinación de Q_s , --apartados (b) y (d)-- se consideran las fracciones transparentes en fachadas y techo de las edificaciones de referencia y proyectada, en forma similar a la calculada para la Ganancia de calor por conducción; más los factores del Coeficiente de sombreado, CS, y la Ganancia de calor solar por orientación, FG.

- a) El coeficiente de sombreado, CS, es la razón entre el calor solar que se gana a través de un vidrio específico y el calor solar que se gana a través de un vidrio claro de 3 mm de espesor,

bajo idénticas condiciones; que para la edificación de referencia equivale al valor adimensional de 0.85 en el tragaluz y 1.0 en las ventanas; y en la edificación proyectada corresponde al reportado por el fabricante, que en este ejemplo es de 0,97 para vidrio claro 6mm del fabricante Vitro.

- b) La ganancia de calor solar por orientación, FG (W/m^2), es función de la ubicación geográfica del proyecto; está determinada en la Norma y es aplicable a las porciones transparentes del techo y de las fachadas, tanto en la edificación de referencia como en la proyectada. En el ejemplo le corresponde: $272 W/m^2$ para el techo; $102 W/m^2$ para las ventanas al norte; $140W/m^2$ para las del este; $114 W/m^2$ para las del sur y $134 W/m^2$ para las del oeste.

La ganancia de calor por radiación, Q_s , tanto en la edificación de referencia, Q_{rs} , como en la proyectada, Q_{ps} , se obtienen de acuerdo a las ecuaciones (4.4).y (4.9) y en este ejemplo, para la edificación de referencia es de $270,999.81 W$ y de $280,155.06 W$ para la proyectada, que representan ganancias de calor y son ligeramente mayores en un 3.37% en la edificación proyectada.

En el apartado (e) del ejemplo se obtiene la Ganancia total para cada una de las edificaciones, de acuerdo a la ecuación (4.2) y (4.7), que representan a la ganancia de calor por conducción más la ganancia de calor por radiación y que corresponden a $207,125.67$ para la edificación de referencia y $213,456.02$ para la proyectada. Una edificación proyectada aprueba la norma, si la ganancia de calor a través de su envolvente resulta menor o igual a la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación de referencia, de acuerdo a la ecuación (4.1) y en este ejemplo --apartado (f)--, si la Torre de la Rectoría de la UNAM, en su envolvente tuviera vidrio claro 6 mm no aprobaría la Norma PROY-NOM 008-ENER-1999, debido a que el flujo de calor a través de ella rebasa en un 3.06 % al flujo de la edificación de referencia, quedando el proyecto sujeto a ajuste para disminuir la transferencia de calor

5.3.4. Análisis de resultados.

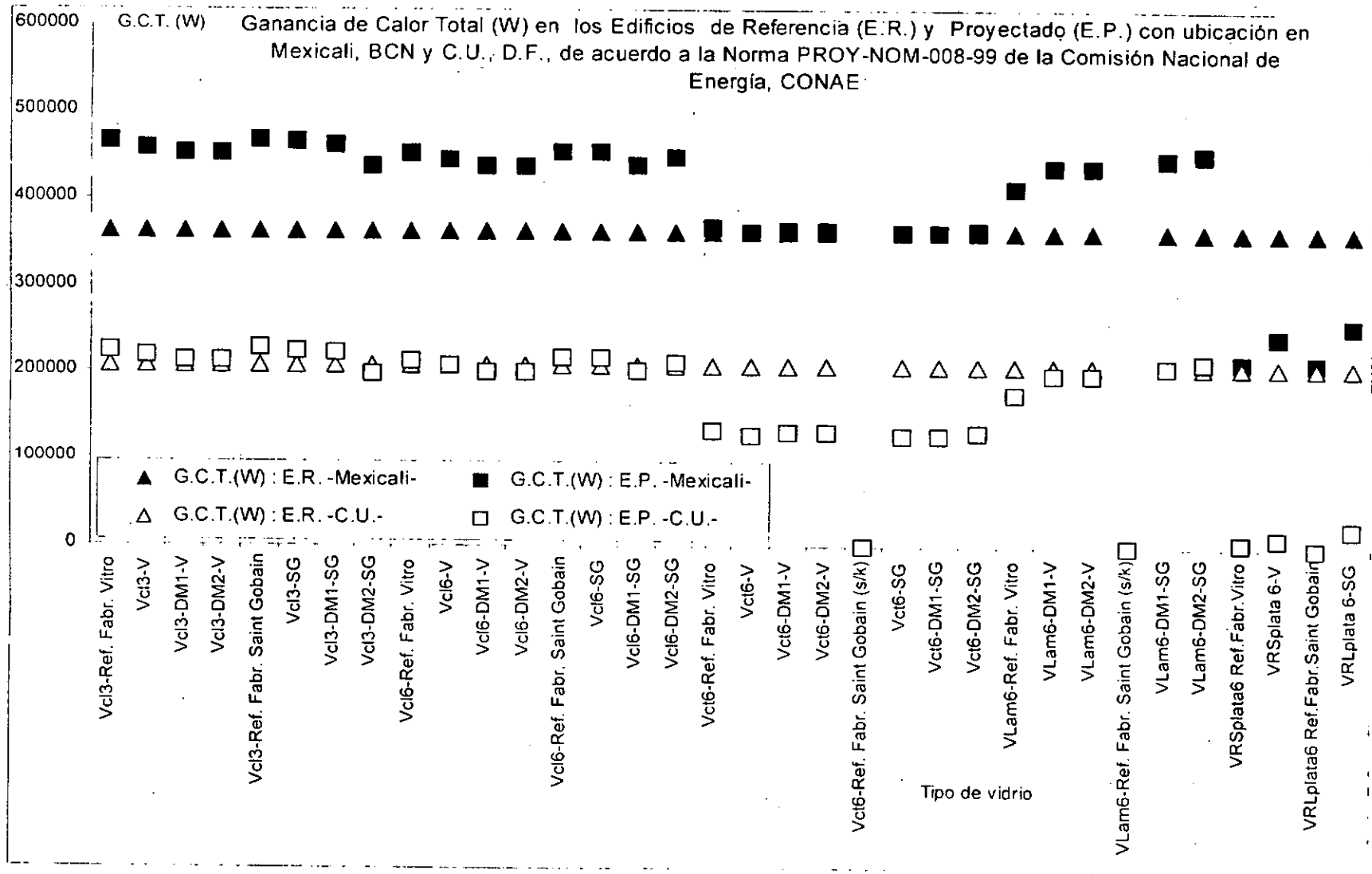
Este ejercicio tiene los siguientes objetivos:

- Demostrar cómo al variar el tipo de vidrio en la envolvente de una edificación, se efectúa una modificación en las propiedades ópticas y térmicas de la misma, lo que motiva una diferencia en la ganancia de calor total en Watts, y además,
- Analizar que la variabilidad en los valores de las propiedades de vidrios del mismo tipo es también fuente de variación en la ganancia de calor total en Watts.

El ejercicio consistió en el cálculo del flujo de calor a través de la envolvente, al simularse 34 cambios de vidrio en las porciones transparentes de la edificación proyectada, La Torre de la Rectoría de la UNAM, tanto en su ubicación original, Ciudad Universitaria, D.F., como en un sitio hipotético, en Mexicali, B.C.N.; y los resultados, expresados como ganancia de calor total en Watts, son los valores sujetos a comparación con la ganancia de calor de la edificación de referencia, para efecto de dictamen del Proyecto de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999. De las 68 modificaciones simuladas en la envolvente, se obtienen resultados en 64, por falta de datos en las referencias del fabricante Saint Gobain en los vidrios laminado y entintado. Los resultados se presentan en la Tabla 5.2 y en la Gráfica 5.3. En el Anexo E se presenta una selección de las muestras del cuadro 4.1, que corresponden a los vidrios de 6 mm claros y entintados en gris.

Tabla 5.2 Ganancia de calor total (W) a través de la envolvente de la edificación de referencia y la proyectada, en dos ubicaciones geográficas diferentes: Mexicali y Distrito Federal

TIPO DE VIDRIO:	Edif. de Ref.	Edif. Proyectada	Aprueba NOM-008	Edif. de Ref.	Edif. Proyectada	Aprueba NOM-008
	Ubicación: Mexicali, B.C.N. Ganancia de calor total (W)	Ubicación: Mexicali, B.C.N. Ganancia de calor total (W)		Ubicación: C.U., D.F. Ganancia de calor total (W)	Ubicación: C.U., D.F. Ganancia de calor total (W)	
Vcl3-Ref. Fabr. Vitro	362414	464949	No	207126	224289	No
Vcl3-V	362414	458725	No	207126	218752	No
Vcl3-DM1-V	362414	452748	No	207126	212976	No
Vcl3-DM2-V	362414	452748	No	207126	212976	No
Vcl3-Ref. Fabr. St Gobain	362414	467827	No	207126	227284	No
Vcl3-SG	362414	464579	No	207126	224650	Si
Vcl3-DM1-SG	362414	461590	No	207126	221762	No
Vcl3-DM2-SG	362414	437679	No	207126	198656	No
Vcl6-Ref. Fabr. Vitro	362414	452256	No	207126	213456	No
Vcl6-V	362414	445776	No	207126	208171	No
Vcl6-DM1-V	362414	436809	No	207126	199507	Si
Vcl6-DM2-V	362414	436809	No	207126	199507	Si
Vcl6-Ref. Fabr. St Gobain	362414	455134	No	207126	216453	No
Vcl6-SG	362414	454656	No	207126	216920	No
Vcl6-DM1-SG	362414	439712	No	207126	202479	No
Vcl6-DM2-SG	362414	448678	No	207126	211143	No
Vct6-Ref. Fabr. Vitro	362414	368570	No	207126	132587	Si
Vct6-V	362414	362108	Si	207126	127283	Si
Vct6-DM1-V	362414	365097	No	207126	130171	Si
Vct6-DM2-V	362414	365097	No	207126	130171	Si
Vct6-Ref. Fabr. St Gobain	Sin k	Sin k	No	Sin k	Sin k	No
Vct6-SG	362414	362005	Si	207126	127384	Si
Vct6-DM1-SG	362414	362005	Si	207126	127384	Si
Vct6-DM2-SG	362414	364993	No	207126	130273	Si
VLam6-Ref. Fabr. Vitro	362414	413338	No	207126	175972	Si
VLam6-DM1-V	362414	437788	No	207126	198551	Si
VLam6-DM2-V	362414	437788	No	207126	198551	Si
VLam6-Ref. Fabr. St Gobain.	Sin k	Sin k		Sin k	Sin k	
VLam6-DM1-SG	362414	446906	No	207126	207067	Si
VLam6-DM2-SG	362414	452883	No	207126	212843	No
VRSplata6 Ref. Fabr. Vitro	362414	212270	Si	207126	6495	Si
VRSplata 6-V	362414	243916	Si	207126	10427	Si
VRLplata6 Ref. Fabr. St Gobain	362414	213538	Si	207126	-551	Si
VRLplata 6-SG	362414	255624	Si	207126	22222	Si



Gráfica 5.3 Ganancia de calor total (W) por Conducción y Radiación en las Edificaciones de Referencia y Proyecto: Torre de Rectoría en las ubicaciones de Mexicali, BCN y Ciudad Universitaria en el D.F.

De la comparación en la Ganancia de calor total entre la edificación proyectada y la de referencia, para efecto de aprobación de la Norma PROY-NOM-008-1999, se observa:

- En el caso del ejercicio en Mexicali, la edificación proyectada:
 - Pasaría la Norma en todas las evaluaciones, si en su envolvente se utiliza vidrio reflejante plata.
 - A pesar de que no pasaría la Norma con los valores de referencia de los fabricantes del vidrio entintado, se observa que sobrepasa al flujo de calor de la edificación de referencia con una diferencia porcentual reducida: 1.70% y 3.55%, lo que hace a este vidrio ser un buen candidato para su uso, ya que con un ajuste en su diseño, aprobaría la norma.
 - No pasaría la Norma con los valores de vidrio claro, ya sea monolítico o laminado.
- En el caso del ejercicio en el Distrito Federal, la edificación proyectada:
 - Pasaría la Norma en todas las evaluaciones, si en su envolvente se utiliza vidrio reflejante plata.
 - Pasaría la Norma en todas las evaluaciones con los valores de los vidrios entintados, ya que el flujo de calor a través de la envolvente representa alrededor de un 60 % del flujo de la edificación de referencia.
 - Pasaría la norma en todas las evaluaciones con los valores reportados por el fabricante Vitro para vidrio laminado, ya que el flujo de calor es inferior al de la referencia en un 4 % aproximadamente; pero se ignora en el caso del fabricante Saint Gobain porque faltan datos para su aplicación, y con los datos experimentales no siempre pasa.
 - No pasaría la Norma con los valores reportados para vidrio claro 3 y 6mm; sin embargo, la diferencia porcentual que rebasa al flujo de calor de la referencia es mínima, de 8 a 10 % en el de 3 mm y de 1 a 5 % en el de 6mm, lo que resulta ilógico, ya que en condiciones reales, con vidrio claro, la ganancia de calor al interior de la Torre de la Rectoría es importante, requiriendo equipo de climatización.

Por último, destaca por su importancia el resultado obtenido en la aplicación del vidrio reflejante plata, de los dos fabricantes, a la edificación proyectada en la ubicación del Distrito Federal: la ganancia de calor total a través de la envolvente, con respecto a la referencia, representa un 5 y 11 % si se utiliza en el cálculo los valores experimentales, que en sí son proporciones reducidas, y que disminuyen más al utilizarse los valores reportados por sus fabricantes, a extremos cercanos al cero, lo cual además de ilógico no es creíble.

De los resultados obtenidos en el ejercicio y con el objetivo de determinar si la variabilidad observada en los valores experimentales impactan a la Ganancia total de calor a través de la envolvente, se determinó el rango de dispersión de los resultados por tipo de vidrio y por fabricante, y que se presenta en la Tabla 5.3:

Tabla 5.3 Rango de dispersión en la Ganancia de calor total (W), producto de la variabilidad presentada entre los valores experimentales.

Tipo de vidrio:	Edificación proyectada:	La Torre de Rectoría de la UNAM
	Ubicación: Mexicali	Ubicación: Distrito Federal
	Rango de Dispersión (%)	Rango de Dispersión (%)
Vidrio claro 3 mm Vitro	1.32	2.71
Vidrio claro 3 mm St. Gobain	6.14	13.08
Vidrio claro 6 mm Vitro	2.05	4.34
Vidrio claro 6 mm St. Gobain	3.39	7.13
Vidrio con tinte 6 mm Vitro	0.82	2.26
Vidrio con tinte 6 mm St. Gobain	0.82	2.26
Vidrio laminado 6 mm Vitro	0.00	0.00
Vidrio laminado 6 mm Saint Gobain	1.33	2.78

De la tabla 5.3, se observa:

- Existe congruencia entre la ganancia de calor total y la evaluación de las propiedades analizadas en el Capítulo 3, al presentarse una mayor variabilidad en la Ganancia de calor total cuando hay mayor variabilidad en las propiedades ópticas y térmicas, como puede observarse en el caso de los vidrios claros de 3 y 6 mm de Saint Gobain, que presentaron una mayor dispersión experimental en las propiedades ópticas que los de Vitro.
- Existe congruencia entre lo observado en los resultados experimentales de las propiedades ópticas y el comportamiento térmico del vidrio entintado en gris --de los dos fabricantes--, con la ganancia de calor total a través de la envolvente, al presentar una dispersión muy reducida y similar entre ellos: 0.82 % y 2.26 % para Mexicali y el D. F. respectivamente.
- En el caso de los vidrios laminados, al igual que en los claros, la dispersión en los valores experimentales de Saint Gobain fue mayor que la de Vitro, lo que se refleja en la ganancia de calor

total a través de la envolvente; además, en Vitro sus valores son similares, por lo que en la ganancia de calor total no hay variación.

Se determinó el rango de variabilidad de la Ganancia de calor total a través de la envolvente, incluyendo a la que se deriva de los valores de referencia de sus fabricantes, resultados que se presentan en la Tabla 5.4.:

Tabla 5.4.: Rango de dispersión en la Ganancia de calor total (W), producto de la variabilidad en los valores experimentales y los de la referencia de los fabricantes.

Tipo de vidrio:	Edificación proyectada: La Torre de Rectoría de la UNAM	
	Ubicación: Mexicali	Ubicación: Distrito Federal
	Rango de Dispersión (%)	Rango de Dispersión (%)
Vidrio claro 3 mm Vitro	2.69	5.31
Vidrio claro 3 mm St. Gobain	6.88	14.41
Vidrio claro 6 mm Vitro	3.53	6.99
Vidrio claro 6 mm St. Gobain	3.50	7.13
Vidrio con tinte 6 mm Vitro	1.78	4.16
Vidrio con tinte 6 mm St. Gobain	3.67	s/k
Vidrio laminado 6 mm Vitro	Sin comparación	Sin comparación.
Vidrio laminado 6 mm Saint Gobain	s/k y s/U	s/k y s/U
Vidrio reflejante plata Vitro	14.91	60.53
Vidrio reflejante plata Saint Gobain	19.70	Sin comparación.

De la Tabla 5.4, se observa:

- La variabilidad de la Ganancia de calor total (W) se incrementa, si se incorporan los valores de referencia de los fabricantes a los valores experimentales de los vidrios claros de 3 y 6 mm y de los vidrios entintados.
- Se observa que la falta de valores de referencia de propiedades, como la conductividad térmica, k , y/o el Coeficiente Global de Transferencia de Calor, U , impide tanto la aplicación de la norma PROY-NOM-008-ENER-1999 como el determinar la variabilidad de los resultados, por ejemplo, en los laminados de Vitro y Saint Gobain y en el entintado de Saint Gobain.

5.4. Conclusiones.

- Si hay diferencia en el cálculo de la ganancia de calor total a través de la envolvente de una edificación, cuando se modifican los valores de las propiedades ópticas y térmicas de los vidrios en las porciones transparentes.

- Si hay congruencia en la variabilidad de la ganancia de calor calculada para efecto de aplicación del ejercicio de la norma PROY-NOM-008-ENER-1999 con la variabilidad experimental, tanto entre vidrios de diferente tipo como entre vidrios del mismo tipo.
- La variación en las propiedades ópticas del vidrio modifica la ganancia de calor total a través de la envolvente en una edificación, como se ha demostrado en el ejercicio; sin embargo, su impacto está amortiguado, ya que en el cálculo térmico está implícita la ganancia de calor tanto de la porción transparente, que se está modificando, como de la porción opaca, que no se está modificando, y en el cálculo total ésta última amortigua el impacto de la porción no opaca.
- Si existe conflicto en el uso de los valores de las propiedades ópticas y térmicas reportadas por los fabricantes en su bibliografía técnica, por ejemplo:
 - Valores que no coinciden con los observados en la(s) mediciones tanto ópticas como térmicas, principalmente en los vidrios reflejantes de los dos fabricantes "Vitro" y "Saint Gobain".
 - Ausencia de valores de propiedades ópticas y/o térmicas, como en el caso de los vidrios laminados, ya que aunque se tiene el dato de los vidrios claros en los espesores que conforman al laminado, falta incluir la influencia que tiene el adhesivo que se utiliza entre ellos, y que también interactúa en el comportamiento térmico.
 - Valores ilógicos, como en el caso de vidrios entintados, específicamente el de Saint Gobain, ya que el Coeficiente Global de Transferencia de Calor reportado es ilógico, porque se esperaría una variación en él, que fuera en proporción contraria al espesor y lo que se observa es que el valor se mantiene constante, e inclusive se incrementa con el incremento del espesor.
 - Falta del valor en la propiedad de la conductividad térmica, k , reportada por los fabricantes para cada vidrio, ya que sólo se informa en su literatura técnica el Coeficiente Global de Transferencia de Calor, y éste difiere para una misma conductividad térmica si se varían los coeficiente de convección; y los que consideran los fabricantes en su referencia, de acuerdo a ASHRAE, no son los mismos que los que contempla la norma PROY-NOM-008-ENER-1999.

Por lo anterior, considerando que la normatividad al comportamiento térmico de las edificaciones es imprescindible en todos los países, y en consecuencia en el nuestro, para que la norma PROY-NOM-008-1999 logre su objetivo; se recomienda en relación al material de vidrio utilizado en la envolvente:

- Incorporar en la base de datos del apéndice C de la Norma PROY-NOM-008-ENER-1999 a vidrios diferentes al claro, ya que es al único que se contempla, y que de todos los vidrios se reporten sus valores para las propiedades Reflectancia, Absortancia, Transmitancia, Ganancia de Calor Solar, Coeficiente de sombreado, Conductividad Térmica y la Conductancia o Coeficiente Global de Transferencia de Calor, indicando además el origen del vidrio por fabricante, así como la variabilidad ó desviación estándar, para tomarse este elemento en consideración en el cálculo térmico.
- Respalda con certificación --por parte de los fabricantes-- los valores de las propiedades ópticas y térmicas, que constituyan la base de datos del Apéndice C de la Norma, y que quienes certifiquen tales valores sean a su vez entidades o personas certificadas.
- Realizar un seguimiento a los valores de las propiedades de los vidrios, a través de certificaciones periódicas.
- Revisión y/o evaluación constante a la Norma, y en su caso, modificación o ajuste a la metodología --proceso natural, que se ha dado en todos los países en los que se ha propuesto una normatividad en el uso de la energía--, con base en los resultados obtenidos, a la inclusión de factores no contemplados o modificación de los considerados, etc., a fin de lograr el objetivo de ahorro de energía en las edificaciones, ya que lo observado en el ejercicio con los vidrios reflejantes plata en la envolvente de la edificación proyectada, en la ubicación del Distrito Federal, demuestra que en la lógica de la metodología hay aspectos por mejorar.
- Por último, la necesidad de evaluar a los vidrios fabricados fuera de nuestro país y que por importación son parte de la oferta que actualmente se tiene para la envolvente arquitectónica, como es el caso de Viracon y de los que proceden de Asia, e incluir sus valores certificados para las propiedades ópticas y térmicas, en diferentes espesores en el Apéndice C de la Norma.

Las observaciones anteriores, con el objetivo de contar con información que garantice un diseño para el logro del confort de los ocupantes de la edificación, con un verdadero ahorro de energía, que tanto el usuario como el ambiente requieren y que se considera es el objetivo de la Arquitectura en general, del Diseño Bioclimático en particular y de toda normatividad al uso de la energía.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se considera que los objetivos planteados en esta tesis se cumplieron, y a continuación se presentan las Conclusiones y Recomendaciones derivadas.

Conclusiones.

La transformación de la envolvente arquitectónica, por el uso del vidrio, ha representado más desventajas que ventajas en una edificación con uso habitacional o laboral, por la alta transferencia de calor por radiación a través de él, ante la incidencia de energía solar directa y principalmente en los que carecen de control solar, lo que permite una ganancia y/o pérdida de calor al o del interior de la edificación, situación que se ha solucionado básicamente con el uso de equipo de climatización en la edificación, con la consecuencia de incremento en el consumo de energía de origen fósil y un aporte importante en la emisión de gases a la atmósfera e impacto ambiental.

El deterioro ambiental es tan grave, que en el presente se plantea, como única alternativa la disminución del gasto energético o hacer más eficiente su uso, conocida como ahorro de energía; una solución menos utilizada, al menos en nuestro país, es la del empleo de vidrios que presenten un retraso térmico, con un diseño específico que considere tanto el ambiente como los requerimientos a cubrir, y que involucre un manejo adecuado de los valores de las propiedades físicas (ópticas y térmicas) del vidrio, a fin de garantizar el confort de los usuarios con un mínimo gasto energético de operación en la edificación.

Existe en México una oferta de aproximadamente 1406 productos de vidrio, de los Fabricantes Vitro, Saint Gobain y Viracon, y de este total, el 17% se fabrica en el país; sin embargo, a pesar de la oferta tan numerosa y diversa, en la Ciudad de México los vidrios que más se adquieren para la envolvente son el claro y los entintados en gris y en bronce de 6 mm de espesor; situación preocupante, ya que en el caso del vidrio claro, al carecer de control solar y permitir una alta transferencia de calor a través de él, no es el conveniente para el logro de un ahorro de energía, a menos de que esté implícito en su uso el diseño y cálculo de una protección exterior, el de un retardo térmico o la sustitución por vidrio que proporcione un mayor control ante la incidencia de la radiación.

Para el diseño de la envolvente arquitectónica, a través del cálculo de cargas térmicas se requiere de valores, con la mayor precisión posible, de las propiedades físicas (ópticas y térmicas) del vidrio, y en la evaluación experimental de dichas propiedades en diferentes tipos de vidrio se observó que:

- Las propiedades de Reflectancia, Absortancia, Transmitancia, Ganancia de calor solar, Coeficiente de sombreado, Coeficiente global de transferencia de calor y Ganancia de calor relativa, cuando se reportan por sus fabricantes, están en las mismas unidades, lo que facilita su consulta.
- Existen vidrios que presentan valores en las propiedades ópticas muy cercanos a los reportados por los fabricantes, como es el entintado gris: en la Absortancia, hasta un 3.15% en Vitro y 1.62% en Saint Gobain, y en la Transmitancia hasta un 4.79% y 0.62% respectivamente; y cuyo rango de dispersión en la Absortancia y en la Transmitancia es de 2.48% y 1.72% en Vitro y de 1.76 % y 1.82 % en Saint Gobain, lo que representa una alta certidumbre para el cálculo de cargas térmicas.
- Existen vidrios que en las propiedades ópticas presentan valores con una mayor diferencia en relación a los reportados por los fabricantes, como es el caso de los vidrios Claros monolíticos o laminados y los Reflejantes. En los Claros de 3 y 6 mm: en la Absortancia, hasta de 66.33 % en Vitro y 196.80 % en Saint Gobain, y en la Transmitancia hasta de un 7.10 % en Vitro y 12.79 % en Saint Gobain; correspondiendo a Saint Gobain la mayor variabilidad. En relación al rango de dispersión, en la Absortancia hasta de un 27.69 % en Vitro y 202.86 % en Saint Gobain, y en la Transmitancia hasta en un 4.62% en Vitro y 14.46 % en Saint Gobain. En los vidrios Reflejantes, se presenta también variabilidad importante: en la Absortancia, 22.69 % en el Reflejante plata de Saint Gobain y en la Transmitancia 30.83 % en el Reflejante azul de Vitro y 49.39 % en el de Saint Gobain. Una variabilidad como la observada en estos tipos de vidrios, representa una alta incertidumbre en el cálculo de cargas térmicas.
- Considerando la amplia variación en los valores en las propiedades ópticas de algunos de los tipos de vidrios, y aplicando una Desviación standard de 3 y 5 % a los valores reportados por los Fabricantes, los valores experimentales quedan fuera de rango en un 73 % en la Reflectancia, 41% en la Absortancia y 13 % en la Transmitancia.

La hipótesis planteada sobre la amplia variabilidad en propiedades ópticas, reportada para vidrio, se cumple en el caso de los vidrios Claros y Reflejantes y no en los Entintados.

- En el caso de la Conductividad térmica, se presentaron diferencias entre los valores medidos en relación a la que corresponde a los fabricantes, en un rango aproximado de 20 % en los vidrios Claros y Entintados de Vitro y en una mayor diferencia en los Reflejantes plata de Vitro y Saint Gobain; sin embargo, al no poder establecer el error por el arreglo experimental, no fué posible precisar los rangos de dispersión.

- En relación al comportamiento térmico, expresado a través de la Ganancia de calor solar, el Coeficiente de sombreado, el Coeficiente global de transferencia de calor y la Ganancia de calor relativa, la variabilidad disminuye; sin embargo, en esto influyen los valores fijos de los coeficientes empleados en la normatividad para la evaluación estandarizada, y que se considera que en situaciones reales sería distinto, causado por las diferencias en las composiciones químicas de los vidrios y sus propiedades físicas ópticas y térmicas, por lo que en este caso no podría establecerse aceptación o nulidad en la hipótesis.

- Si existe dificultad para la aplicación de los valores de las propiedades físico-térmicas de los vidrios en el diseño térmico, ya que ningún fabricante, para ningún vidrio, reporta a la Conductividad térmica, y ésta es necesaria para el cálculo del Coeficiente global de transferencia de calor, por lo que en este aspecto si se acepta la hipótesis planteada.

- Si existe dificultad para la aplicación de los valores de las propiedades ópticas y térmicas de los vidrios en el diseño térmico, ya que faltan datos para diferentes espesores, en algunos vidrios, tanto en Vitro como en Saint Gobain, y en el caso de Viracon es mayor el conflicto, ya que sólo se reportan valores para el espesor en 6mm., por lo que en este aspecto si se acepta la hipótesis planteada.

- Existe conflicto en el uso de los valores reportados por los fabricantes, al utilizar nombres diferentes para un mismo concepto, ya que para la Ganancia de calor solar por las propiedades de Absortancia y Transmitancia, el fabricante Vitro la reporta como Transmisión total, el fabricante Saint Gobain como Factor solar y Viracon como CGCS, que significa Coeficiente de ganancia de calor solar; por lo que en este aspecto si se acepta la hipótesis planteada.

- Con base en la aplicación de los valores de las propiedades ópticas y térmicas en un ejercicio con la metodología del Proyecto de Norma PROY-NOM-008-ENER-1999, de la Comisión Nacional de Ahorro de Energía, CONAE, se concluye que es necesario ampliar la base de datos de la misma Norma, que incluya vidrios de diversos tipos, indicando su origen por fabricante, e incorporando los valores para las propiedades Reflectancia, Absortancia, Transmitancia, Conductividad térmica y las del comportamiento térmico Conductancia o Coeficiente global de transferencia de calor, en diferentes espesores, e incluyendo la variabilidad o desviación standard, que permita tomarla en cuenta en el cálculo térmico, así como un seguimiento a los valores considerados, a través de una evaluación o certificación periódica por laboratorios certificados e independientes a los de los Fabricantes.

Recomendaciones:

Por las anteriores conclusiones y las observaciones a lo largo del trabajo, se recomienda que exista una Normatividad a las propiedades ópticas y térmicas del vidrio, acorde a las necesidades de nuestro país, y una vez establecidos los rangos, se obtenga la variabilidad en niveles de calidad similares al vidrio automotriz, además de una reglamentación al uso de cada uno de los diferentes tipos de vidrio, a fin de garantizar tanto un uso adecuado como un cálculo térmico de los vidrios en la envolvente que ofrezca confiabilidad, situación que permitirá regular el ingreso de material vítreo a nuestro país, ya que sólo ingresaría el que cumpliera con las especificaciones marcadas en tal Normatividad. En este ejercicio será importante la participación interdisciplinaria de Arquitectos, Diseñadores, Ingenieros, Fisicos, Biólogos, etc., más los Fabricantes de vidrio, con el objetivo común de poder contar con material de vidrio que permita la certidumbre de un uso racional de la energía en el diseño térmico de la envolvente, puesto que está ingresando a nuestro país, material importado de diferentes lugares del mundo, principalmente de EUA y Asia, al cual es necesario evaluar, por la alta ganancia térmica que pudiera presentar, antes de considerarlo apto para ser utilizado en la envolvente.

En relación a la aplicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999, se recomienda; una revisión, evaluación y en su caso, modificación periódica a su metodología, basada en resultados experimentales, con la finalidad de optimizarla y con ello apoyar al logro de su objetivo en el ahorro de energía.

Es importante el papel del Diseño Bioclimático en el ahorro de energía en las edificaciones, a través de su envolvente, ya que una de las principios que lo sustentan es el diseño y uso de sistemas pasivos, que toma en consideración e integra aspectos como la radiación solar incidente, parámetros ambientales ligados al clima como son la temperatura y la humedad relativa entre otros, los requerimientos específicos de los usuarios de la edificación, así como las propiedades físicas de los materiales que constituyen la envolvente; por lo que es una aplicación de la Arquitectura que facilita el cumplir en mayor medida con el objetivo de proporcionar confort a los usuarios con un ahorro energético en la operación de la edificación, motivo por el cual es necesario un mayor apoyo al Diseño Bioclimático por medio de manejo de información lo más precisa posible.

Anexo A
Bibliografía consultada sobre valores de propiedades físicas (ópticas y térmicas) en vidrio.

Tabla A.1: Valores para Densidad y Calor específico reportados en vidrio claro.

Literatura	Ref.Bibl.	Vidrio claro reportado como:	Temp.	Densidad	Calor Especifico.
Fabricante	45	Planilux claro 6 mm	s/d	2.5 kg/dm ³	0.795 J/Kg°C =0.19kcal/Kg°C
Fabricante	44	Cristal flotado claro 6mm	s/d	s/d	s/d
Fabricante	46	V. monolítico claro s/revestimiento 6mm	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	30	Window	20°C	2800 Kg/m ³	0.80 KJ/Kg°K
Física-Ing.	31	Glass plate	20°C	2.707 kg/m ³	0.8 Ws/Kg°K
Física-Ing.	32	Glass ordinary soda-lime-silica	120°F	157 lb/ft ³	s/d
Física-Ing.	33	Vidrio de ventana	20°C	2700 Kg/m ³	0.84 KJ/Kg°C
Física-Ing.	34	Glass window	20°C	2700 Kg/m ³	0.84 KJ/Kg°C
Física-Ing.	35	Plate(soda lime)	300°K	2500 Kg/m ³	750 J/Kg°K
Física-Ing.	36	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	37	Window glass	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	100	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	38	Vidrio	200°C	2500 Kg/m ³	0.67 KJ(Kg°C)
Física-Ing.	39	Vidrio arquitectónico	75°F	s/d	0.194
Física-Ing.	40	Vidrio en láminas	68°F o 20°C	169 lbm/pie ³	0.2 Btu/lbm°F
Física-Ing.	41	Vidrio de ventana	15°C	s/d	s/d
Física-Ing.	43	Vidrio de ventana	70°C	170 lbm/pie ³	0.2 Btu/hr pie °F
Física-Ing.	29	Single glass 1/4 in. Clear	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	96	Single glass 1/4 to 1/2 in. Clear	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	26	Vidrio - cristal	s/d	2625-2444 Kg/m ³	s/d
Física-Ing.	101	Glass standard	s/d	2515 Kg/m ³	s/d.
Física-Ing.	42	Placa de vidrio	20°C	2.707Kg/m ³	0.8 J/Kg°K
Diseño Arq.	94	6 mm plate glass	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	97	Single glazing.- clear.- 6mm 1/4 in	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	91	Clear float glass.- 1 sheet 1/4 in	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	92	Vidrio simple 6 mm E=0.84 (E IR en V.común)	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	102	Vidrio (material en la edificación)	s/d	2600 Kg/m ³	900 J/Kg gradoC
Diseño Arq.	98	Vidrio	s/d	2600 Kg/m ³	0.84KJ/Kg°C
Diseño Arq.	58	Vidrio para ventana	s/d	2.350-2.555 Mg/m ³	s/d
Diseño Arq.	99	Vidrio común doble 6mm	s/d	2.200 y 2.700 Kg/m ³	0.20 kcal/Kg°C
Diseño Arq.	103	Cristal	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	13	Vidrio en ventana	s/d	s/d	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	s/d	2200 Kg/m ³	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	s/d	2700 Kg/m ³	s/d

s/d = sin dato reportado.

Tabla A.2: Valores de Conductividad térmica y Coeficiente Global de Transferencia de Calor, reportados en vidrio claro.

Literatura	Ref. Bibl.	Vidrio claro reportado como:	Conductividad térmica	Coeficiente global de transferencia de calor
Fabricante	45	Planilux claro 6 mm	1Kcal/hr.m°C ó 1.16W/m°C	5.8 W/m²°C ó 1.03Btu/hr/sqft°F
Fabricante	44	Cristal flotado claro 6mm	s/d	5.86 W/m²°C
Fabricante	46	V.monolitico claro s/revestimiento 6mm	s/d	1.03 UvASHRAE Y 5.7 UEuropeo
Física-Ing.	30	Window	0.81 W/m²K	s/d
Física-Ing.	31	Glass plate	0.76 W/m²K	s/d
Física-Ing.	32	Glass ordinary soda-lime-silica	0.56 Btu/hrft°F	s/d
Física-Ing.	33	Vidrio de ventana	0.78 W/m°C	s/d
Física-Ing.	34	Glass window	0.78 W/m°C	s/d
Física-Ing.	35	Plate(soda lime)	1.4 W/m²K	s/d
Física-Ing.	36	Vidrio de ventana	s/d	0.3-0.61 Btu/(h)(pie²)(°F/pie)
Física-Ing.	37	Window glass	s/d	0.3-0.61 Btu/(h)(pie²)(°F/pie)
Física-Ing.	100	Vidrio de ventana	0.450 – 0.910 Kc/(h)(m²)(°C/m)	s/d
Física-Ing.	38	Vidrio	0.745 W/m°C	s/d
Física-Ing.	39	Vidrio arquitectónico	s/d	1 Btu/hr-pie²°F
Física-Ing.	40	Vidrio en láminas	0.44 Btu/hr-pie.°F	s/d
Física-Ing.	41	Vidrio de ventana	0.447 kcal/h m °C	s/d
Física-Ing.	43	Vidrio de ventana	0.45 Btu/hr pie °F	s/d
Física-Ing.	29	Single glass 1/4 in. Clear	s/d	s/d
Física-Ing.	96	Single glass 1/4 to 1/2 in. Clear	s/d	s/d
Física-Ing.	26	Vidrio - cristal	1.118 W/m°C	s/d
Física-Ing.	101	Glass standard	1.05W/m°C	s/d
Física-Ing.	42	Placa de vidrio	0.76 W/m²K	s/d
Diseño Arq.	94	6 mm plate glass	s/d	s/d
Diseño Arq.	97	Single glazing.- clear.- 6mm 1/4 in	s/d	s/d
Diseño Arq.	91	Clear float glass.- 1 sheet 1/4 in	s/d	s/d
Diseño Arq.	92	Vidrio simple 6 mm E=0.84 (E IR en V.común)	s/d	6.84 W/m²°C
Diseño Arq.	102	Vidrio (material en la edificación)	720 x 10 ⁻³ Wm °C	4.5 sin unidades
Diseño Arq.	98	Vidrio	1.2 W/m°C	s/d
Diseño Arq.	58	Vidrio para ventana	1.1 W/m°C	s/d
Diseño Arq.	99	Vidrio común doble 6mm	0.8 y 1.0 W/m°C	4.8 Kcal/m²-°C-hr
Diseño Arq.	103	Cristal	1.16 W/m°C	s/d
Diseño Arq.	13	Vidrio en ventana	s/d	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	0.93 W/m K	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	1.16 W/m K	s/d

s/d = sin dato reportado.

Tabla A.3: Valores de Propiedades ópticas reportados para vidrio claro.

Literatura	Ref. Bibl.	Vidrio claro reportado como:	Reflectancia %	Absortancia %	Transmitancia %
Fabricante	45	Planilux claro 6 mm	8	9	83
Fabricante	44	Cristal flotado claro 6mm	7	12	s/d
Fabricante	46	V.monolítico claro s/revestimiento 6mm	7	s/d	77
Física-Ing.	30	Window	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	31	Glass plate	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	32	Glass ordinary soda-lime-silica	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	33	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	34	Glass window	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	35	Plate (soda lime)	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	36	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	37	Window glass	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	100	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	38	Vidrio	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	39	Vidrio arquitectónico	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	40	Vidrio en láminas	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	41	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	43	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	29	Single glass 1/4 in. Clear	s/d	s/d	80
Física-Ing.	96	Single glass 1/4 to 1/2 in. Clear	s/d	s/d	80
Física-Ing.	26	Vidrio Cristal	Vis:0.078 IR:0.059- Vis. 0.021IR: 0.007	Vi. 0.122 IR:0.059 Vi 0.11.9 IR:0.273	Vi:0.78 IR 0.79 Vi:0.83IR:0.89
Física-Ing.	101	Glass standard	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	42	Placa de vidrio	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	94	6 mm plate glass	9	s/d	75
Diseño Arq.	97	Single glazing. - Clear. - 6mm 1/4 in	s/d	s/d	78
Diseño Arq.	91	Clear float glass. - 1 sheet 1/4 in	s/d	s/d	77
Diseño Arq.	92	Vidrio simple 6 mm E=0.84 (E IR en V.común)	s/d	s/d	77
Diseño Arq.	102	Vidrio (material en la edificación)	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	98	Vidrio	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	58	Vidrio para ventana	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	99	Vidrio común doble 6mm	s/d	s/d	38 (0.78-1.0 μ)
Diseño Arq.	103	Cristal	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	13	Vidrio en ventana	s/d	s/d	0.85
Normatividad	15	Vidrio sencillo	s/d	s/d	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	s/d	s/d	85

s/d = sin dato reportado.

Tabla A.4: Valores reportados para el comportamiento térmico en vidrio claro.

Literatura	Ref. Bibl.	Vidrio claro reportado como:	Ganancia de calor solar	Coefficiente de sombreado	Ganancia de calor relativa
Fabricante	45	Planilux claro 6 mm	Factor solar 0.86	0.98	666 W/m ² ó 221 Btu/hr/sqft
Fabricante	44	Cristal flotado claro 6mm	Transmisión total 0.84	0.97	s/d
Fabricante	46	V.monolítico claro s/revestimiento 6mm	CGCS 0.81	0.94	203 BTU/hr ft ² °F
Física-Ing.	30	Window	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	31	Glass plate	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	32	Glass ordinary soda-lime-silica	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	33	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	34	Glass window	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	35	Plate(soda lime)	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	36	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	37	Window glass	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	100	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	38	Vidrio	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	39	Vidrio arquitectónico	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	40	Vidrio en láminas	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	41	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	43	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	29	Single glass 1/4 in. Clear	s/d	0.95	s/d
Física-Ing.	96	Single glass 1/4 to 1/2 in. Clear	s/d	0.95	s/d
Física-Ing.	26	Vidrio - cristal	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	101	Glass standard	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	42	Placa de vidrio	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	94	6 mm plate glass	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	97	Single glazing.- clear.- 6mm 1/4 in	s/d	0.95	s/d
Diseño Arq.	91	Clear float glass.- 1 sheet 1/4 in	s/d	0.93	s/d
Diseño Arq.	92	Vidrio simple 6 mm E=0.84 (E IR en V.común)	s/d	0.93	s/d
Diseño Arq.	102	Vidrio (material en la edificación)	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	98	Vidrio	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	58	Vidrio para ventana	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	99	Vidrio común doble 6mm	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	103	Cristal	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	13	Vidrio en ventana	s/d	s/d	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	s/d	s/d	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	s/d	s/d	s/d

s/d = sin dato reportado.

Tabla A.5.: Valores de Temperatura, Densidad y Calor específico, C.E., en vidrio claro.

Literatura	Ref.Bibl.	Vidrio claro reportado como:	Temp. °C	Densidad (Kg/m ³)	C.E. (KJ/Kg°C)
Fabricante	45	Planilux claro 6 mm	s/d	2500	0.795
Fabricante	44	Cristal flotado claro 6mm	s/d	s/d	s/d
Fabricante	46	Vidrio monolítico sin revestimiento claro 6mm	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	30	Window	20	2800	0.800
Física-Ing.	31	Glass plate	20	2707	s/d
Física-Ing.	32	Glass ordinary soda-lime-silica	49	2512	s/d
Física-Ing.	33	Vidrio de ventana	20	2700	0.840
Física-Ing.	34	Glass window	20	2700	0.840
Física-Ing.	35	Plate(soda lime)	27	2500	0.750
Física-Ing.	36	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	37	Window glass	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	100	Vidrio de ventana	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	38	Vidrio	200	2500	0.670
Física-Ing.	39	Vidrio arquitectónico	s/d	s/d	0.813
Física-Ing.	40	Vidrio en láminas	20	2704	0.838
Física-Ing.	41	Vidrio de ventana	15	s/d	s/d
Física-Ing.	43	Vidrio de ventana	21	2720	0.838
Física-Ing.	29	Single glass 1/4 in. Clear	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	96	Single glass 1/4 to 1/2 in. Clear	s/d	s/d	s/d
Física-Ing.	26	Vidrio - cristal	s/d	2444	s/d
Física-Ing.	101	Glass standard	s/d	2515	s/d
Física-Ing.	42	Placa de vidrio	20	2707	0.800
Diseño Arq.	94	6 mm plate glass	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	97	Single glazing.- clear.- 6mm 1/4 in	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	91	Clear float glass.- 1 sheet 1/4 in	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	92	Vidrio simple 6 mm E=0.84 (E IR en V.común)	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	102	Vidrio (material en la edificación)	s/d	2600	0.900
Diseño Arq.	98	Vidrio	s/d	2600	0.840
Diseño Arq.	58	Vidrio para ventana	s/d	2350-2555	s/d
Diseño Arq.	99	Vidrio común doble 6mm	s/d	2200 y 2700	0.837
Diseño Arq.	103	Cristal	s/d	s/d	s/d
Diseño Arq.	13	Vidrio en ventana	s/d	s/d	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	s/d	2200	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	s/d	2700	s/d

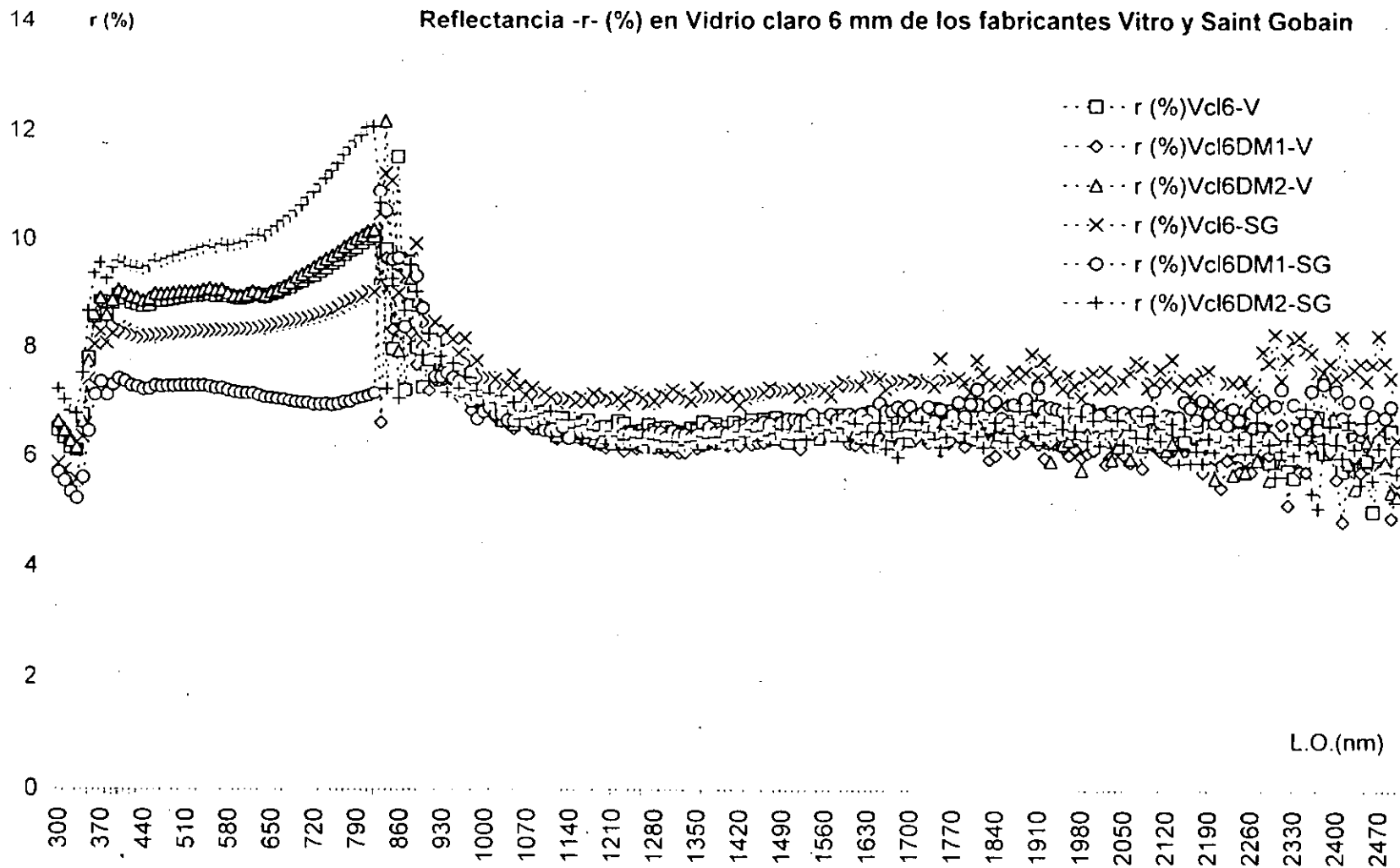
s/d = sin dato reportado.

Tabla A.6.: Valores de: Conductividad térmica y Coeficiente Global de Transferencia de Calor, en verano.

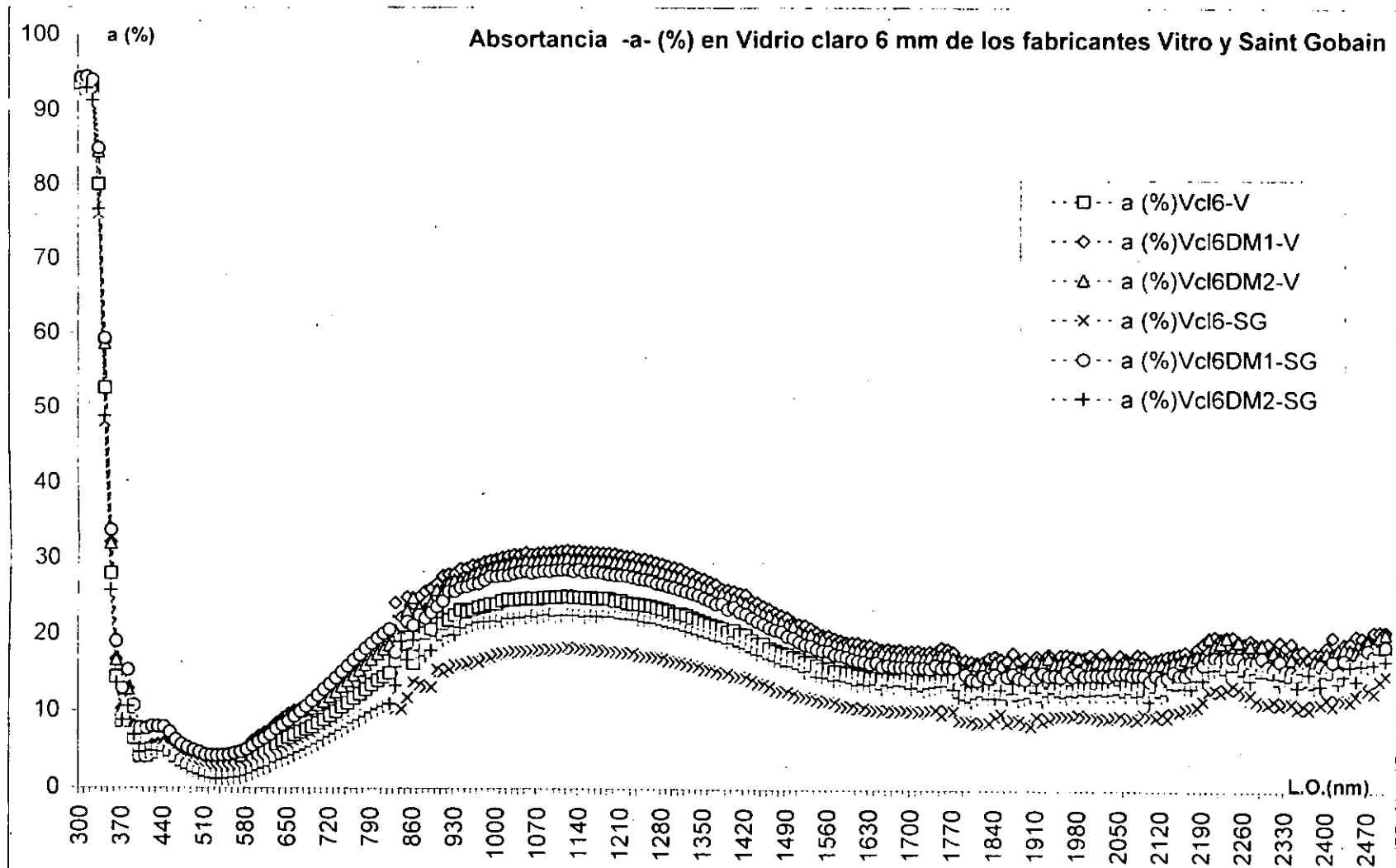
Literatura	Ref.Bibl.	Vidrio claro reportado como:	Conductividad térmica (W/m°C)	Coeficiente global de transferencia de calor Uv (W/m²°C)
Fabricante	45	Planilux claro 6 mm	1.160	5.80
Fabricante	44	Cristal flotado claro 6mm	s/d	5.86
Fabricante	46	Vidrio monolítico sin revestimiento claro 6mm	s/d	5.85
Física-Ing.	30	Window	0.810	s/d
Física-Ing.	31	Glass plate	0.760	s/d
Física-Ing.	32	Glass ordinary soda-lime-silica	0.969	s/d
Física-Ing.	33	Vidrio de ventana	0.780	s/d
Física-Ing.	34	Glass window	0.780	s/d
Física-Ing.	35	Plate(soda lime)	1.400	s/d
Física-Ing.	36	Vidrio de ventana	s/d	s/d
Física-Ing.	37	Window glass	s/d	s/d
Física-Ing.	100	Vidrio de ventana	0.450-0.910	s/d
Física-Ing.	38	Vidrio	0.745	s/d
Física-Ing.	39	Vidrio arquitectónico	s/d	5.68
Física-Ing.	40	Vidrio en láminas	0.761	s/d
Física-Ing.	41	Vidrio de ventana	0.773	s/d
Física-Ing.	43	Vidrio de ventana	0.778	s/d
Física-Ing.	29	Single glass 1/4 in. Clear	s/d	s/d
Física-Ing.	96	Single glass 1/4 to 1/2 in. Clear	s/d	s/d
Física-Ing.	26	Vidrio - cristal	1.118	s/d
Física-Ing.	101	Glass standard	1.050	s/d
Física-Ing.	42	Placa de vidrio	0.760	s/d
Diseño Arq.	94	6 mm plate glass	s/d	s/d
Diseño Arq.	97	Single glazing - clear - 6mm 1/4 in	s/d	s/d
Diseño Arq.	91	Clear float glass - 1. sheet 1/4 in	s/d	s/d
Diseño Arq.	92	Vidrio simple 6 mm E=0.84 (E IR en V.común)	s/d	6.84
Diseño Arq.	102	Vidrio (material en la edificación)	0.720	s/d
Diseño Arq.	98	Vidrio	1.200	s/d
Diseño Arq.	58	Vidrio para ventana	1.100	s/d
Diseño Arq.	99	Vidrio común doble 6mm	0.8 y 1.0	5.58
Diseño Arq.	103	Cristal	1.16	s/d
Diseño Arq.	13	Vidrio en ventana	s/d	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	0.93	s/d
Normatividad	15	Vidrio sencillo	1.16	s/d

s/d = sin dato reportado.

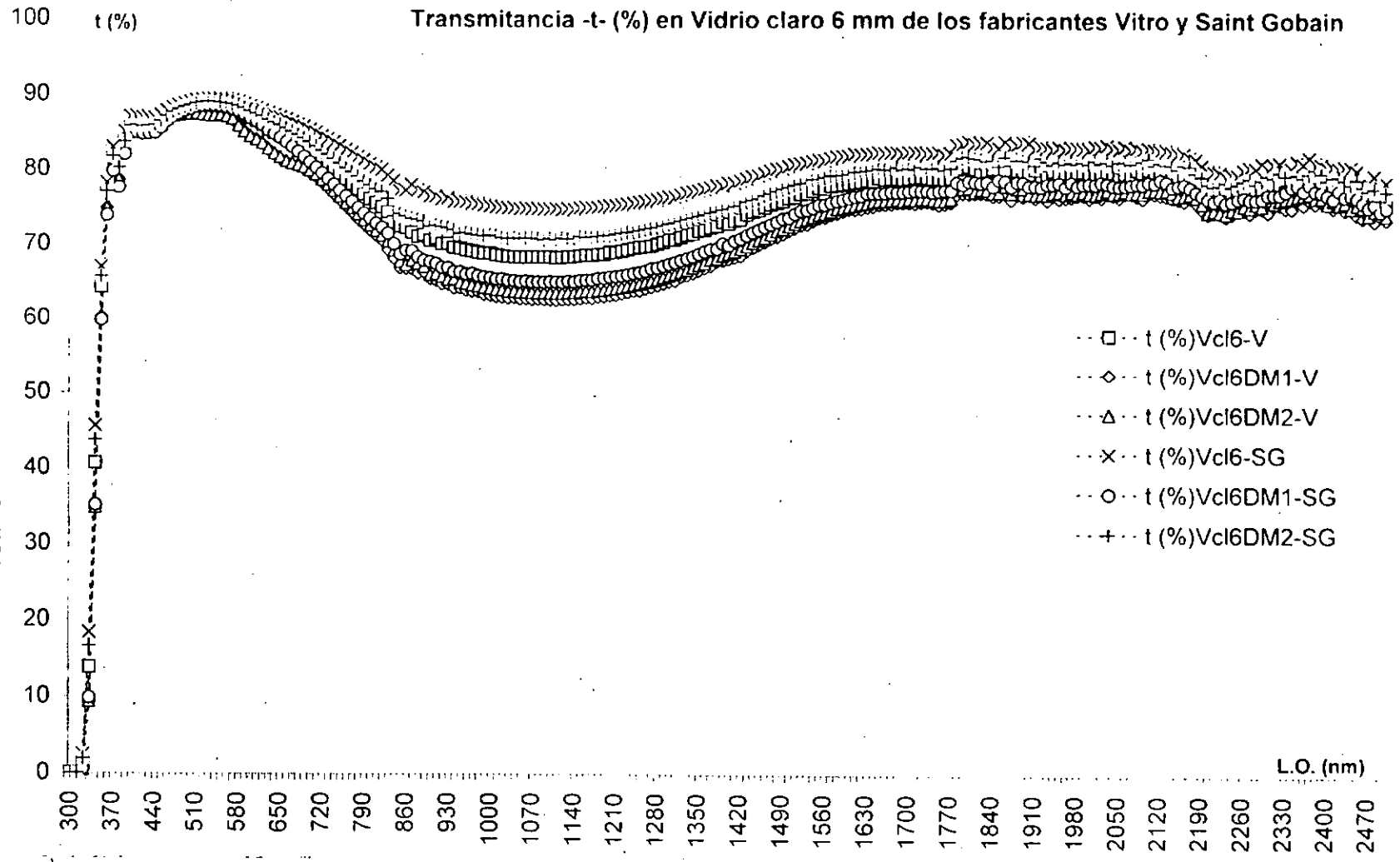
Anexo B
Gráficas espectrales del vidrio evaluado.



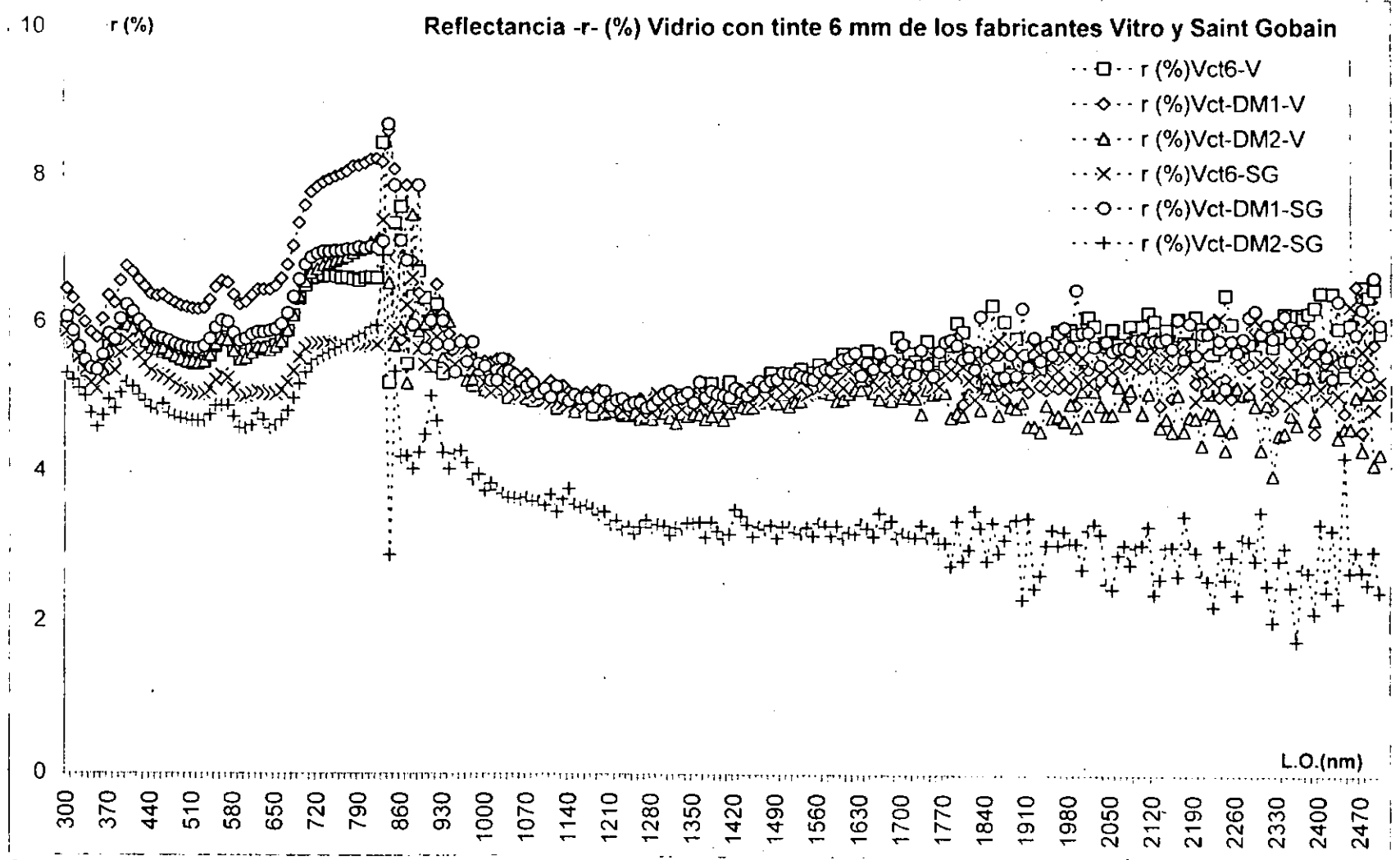
Gráfica B.1. Reflectancia -r- (%) en Vidrios claros 6 mm de los fabricantes Vitro y Saint Gobain



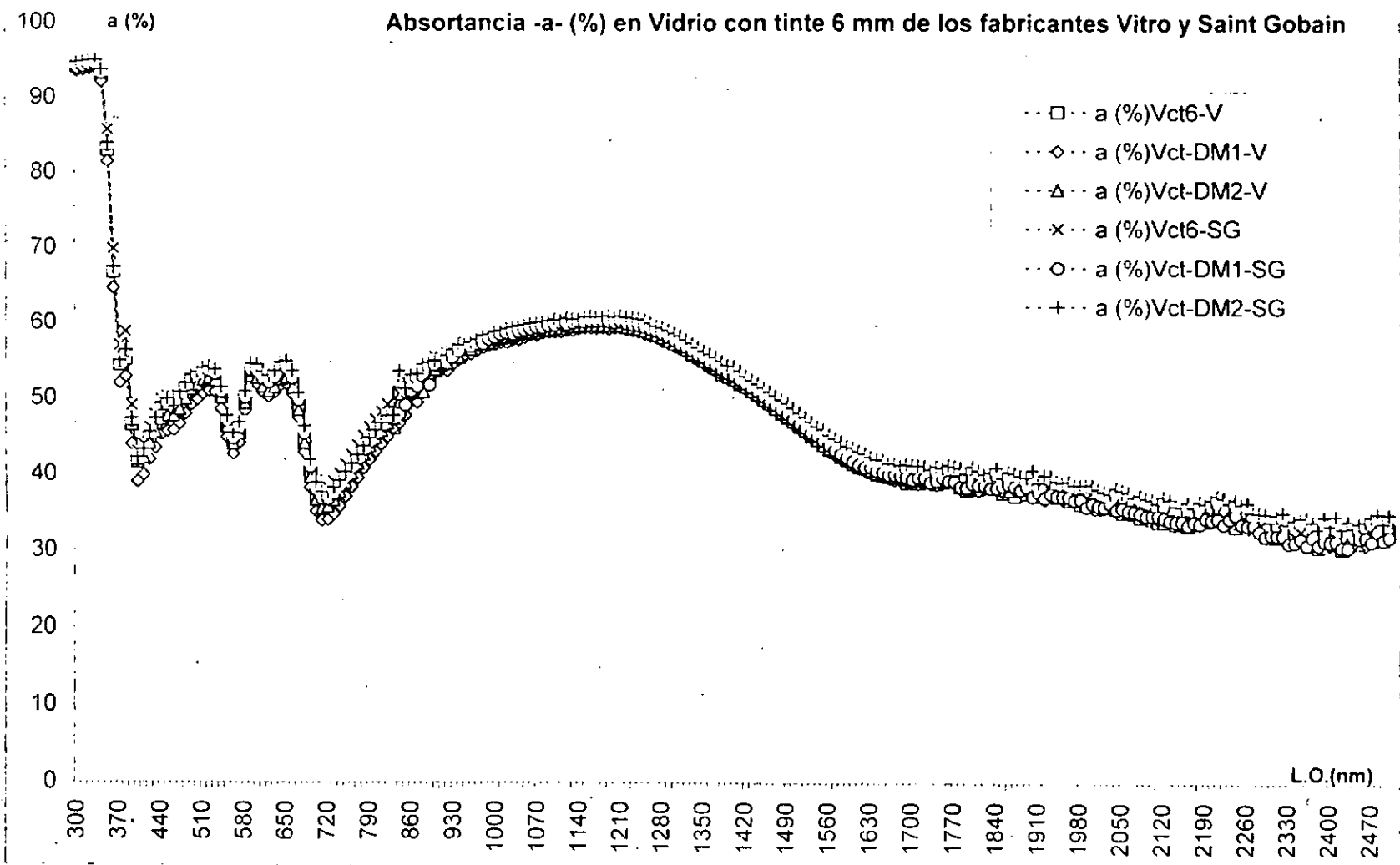
Gráfica B.2. Absortancia -a- (%) en Vidrios claros 6 mm de los fabricantes Vitro y Saint Gobain



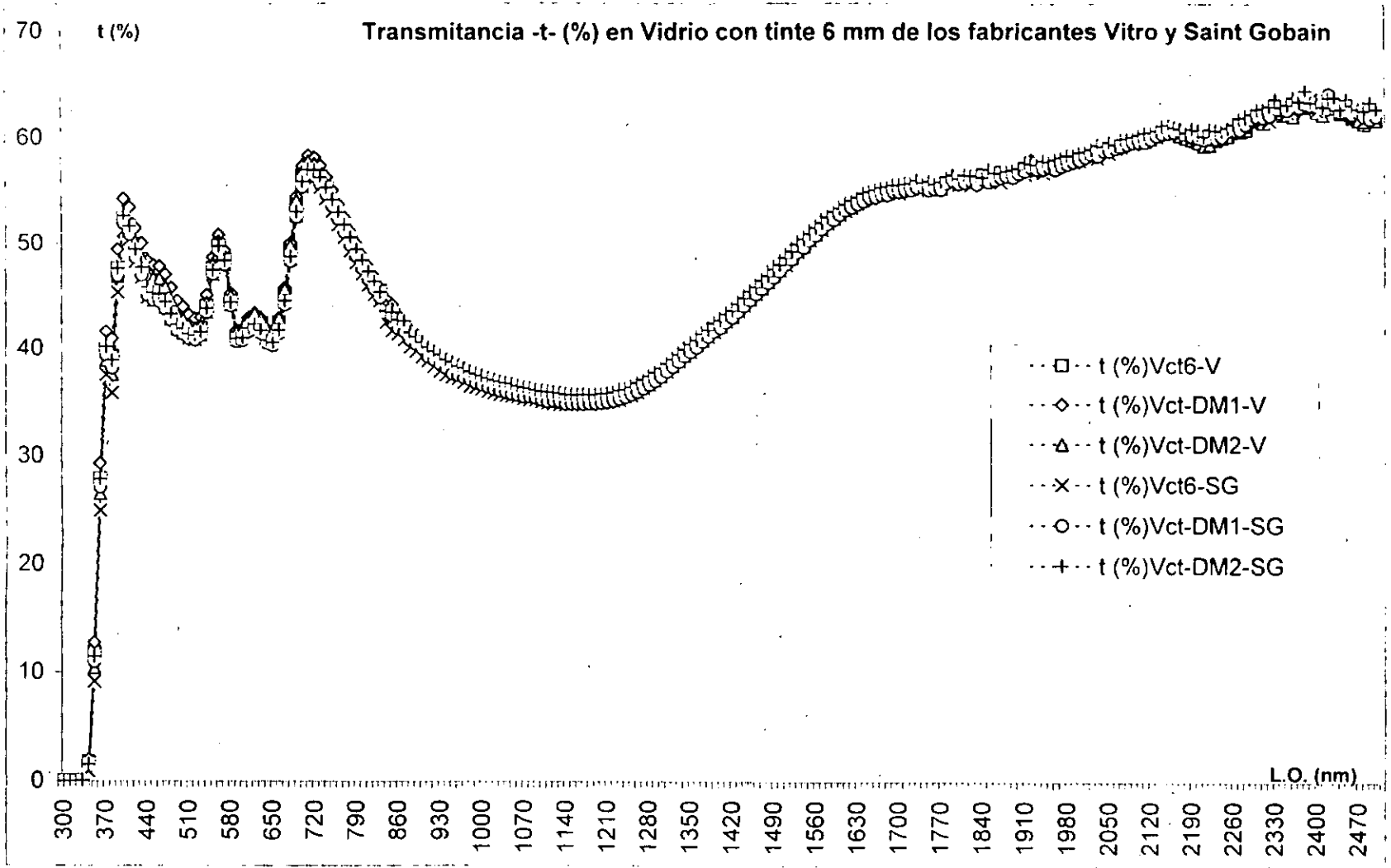
Gráfica B.3. Transmitancia -t- (%) en Vidrios claros 6 mm de los fabricantes Vitro y Saint Gobain



Gráfica B.4. Reflectancia -r-(%) en vidrio con tinte 6 mm de los fabricantes Vitro y Saint Gobain

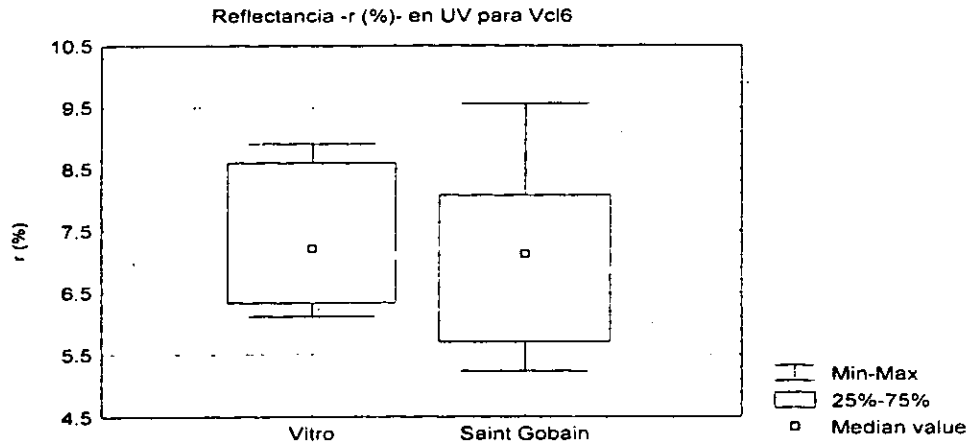


Gráfica B.5. Absortancia -a-(%) en vidrio con tinte 6 mm de los fabricantes Vitro y Saint Gobain

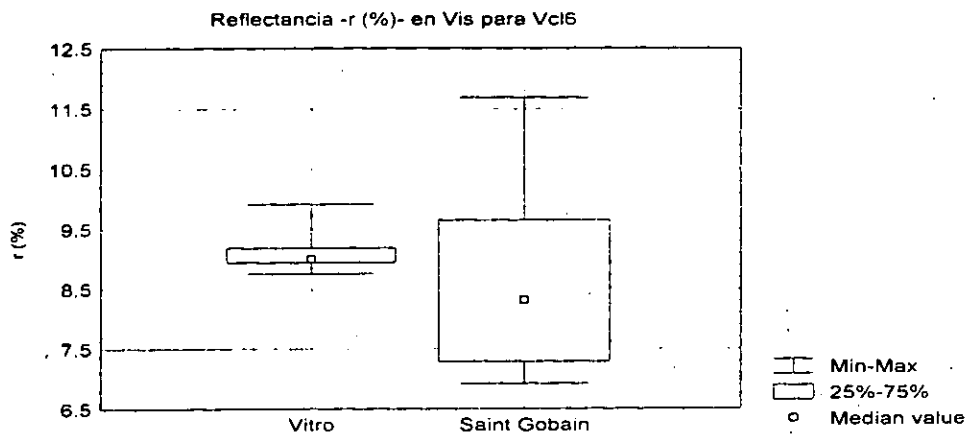


Gráfica B.6. Transmitancia -t- (%) en vidrio con tinte 6 mm de los fabricantes Vitro y Saint Gobain

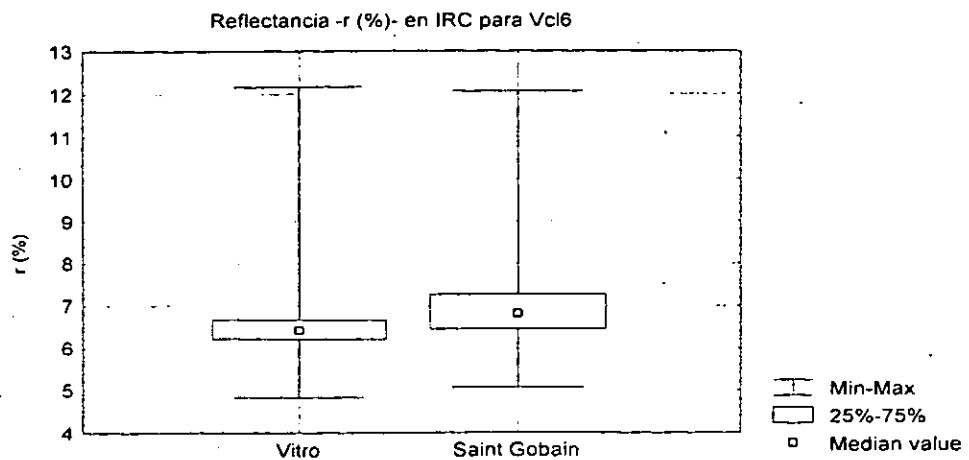
Anexo C
Gráficas de variabilidad en propiedades espectrales por regiones en el vidrio evaluado.



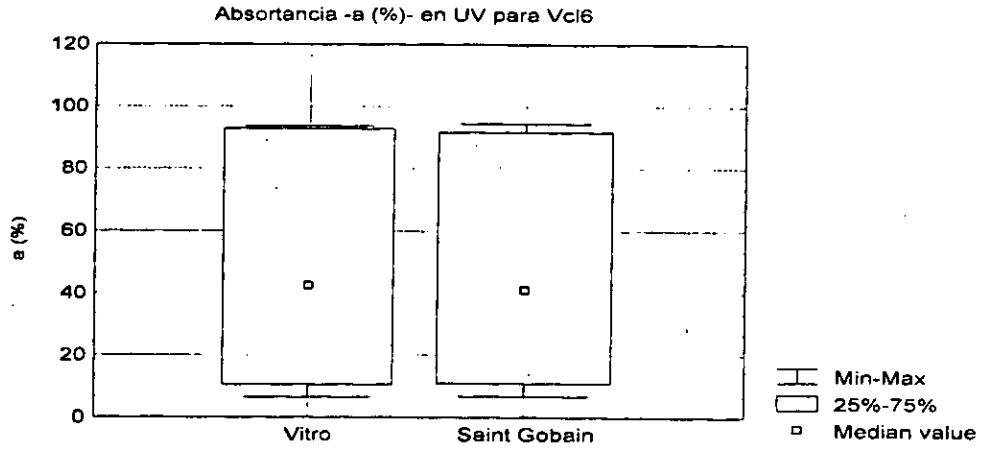
Gráfica C.1. Reflectancia en la región del ultravioleta en vidrio claro 6 mm



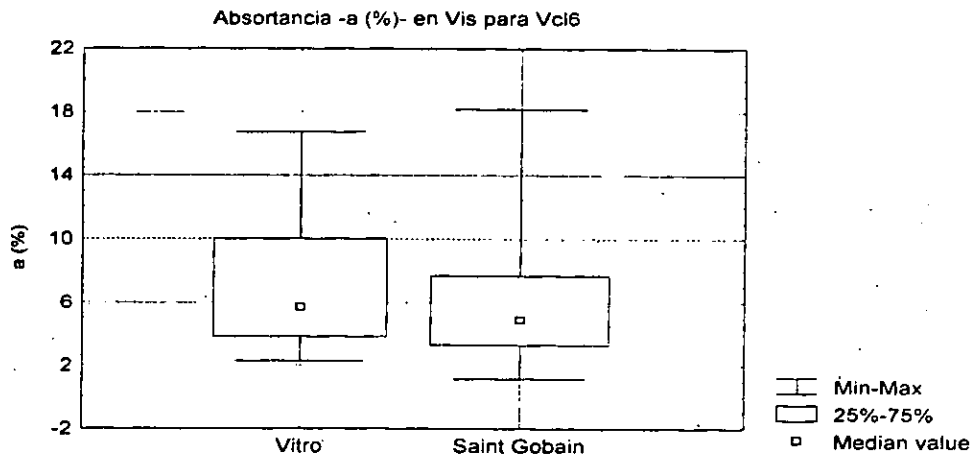
Gráfica C.2. Reflectancia en la región del visible en vidrio claro 6 mm



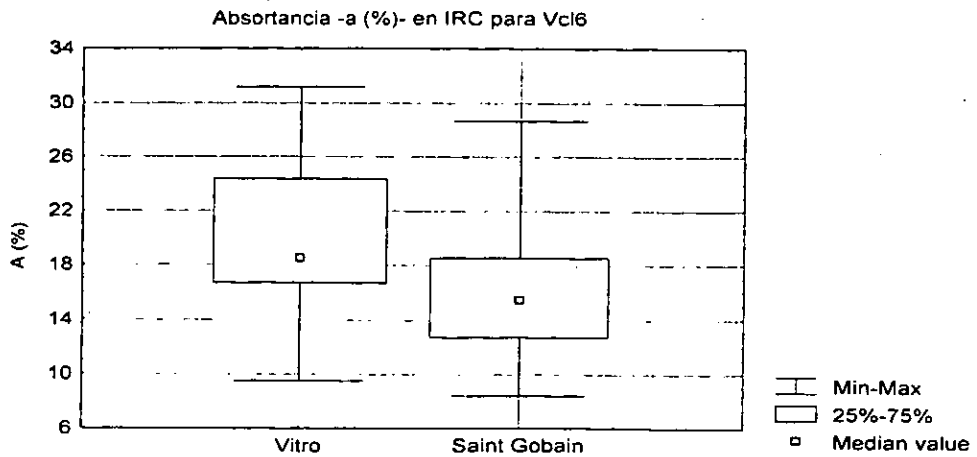
Gráfica C.3. Reflectancia en la región del IRC en vidrio claro 6 mm



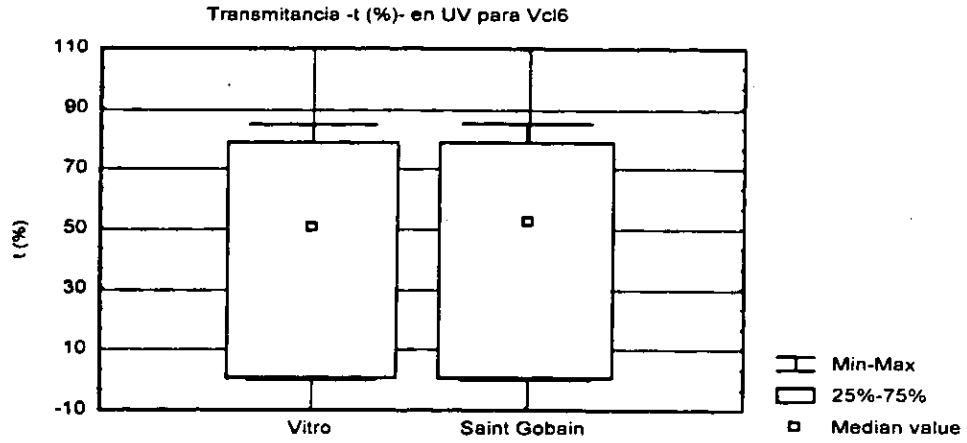
Gráfica C.4. Absortancia en la región del ultravioleta en vidrio claro 6 mm



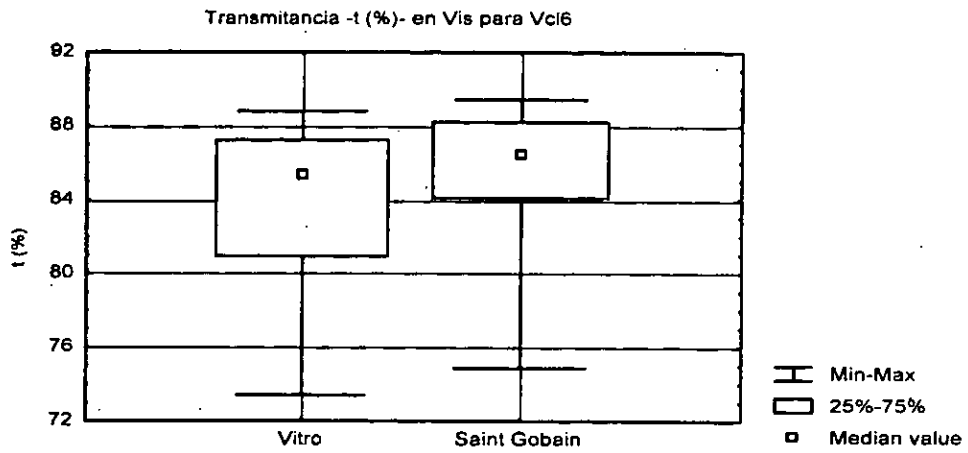
Gráfica C.5. Absortancia en la región del visible en vidrio claro 6 mm



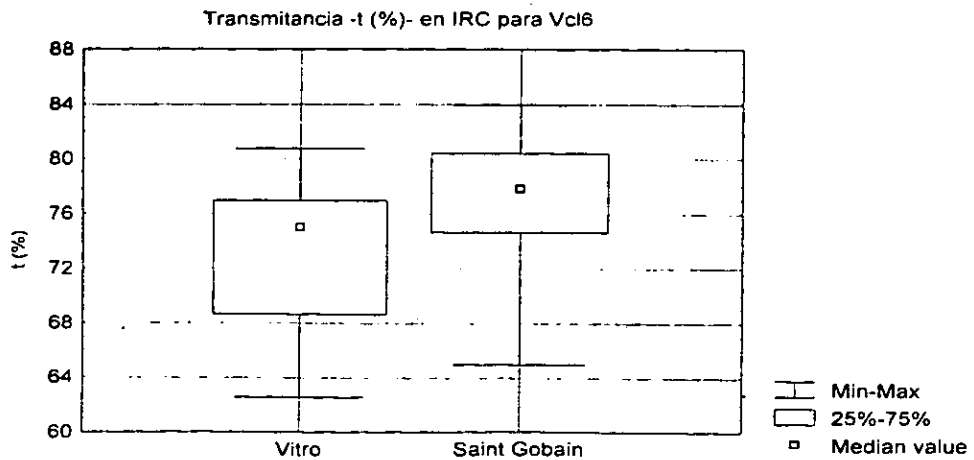
Gráfica C.6. Absortancia en la región del IRC en vidrio claro 6 mm



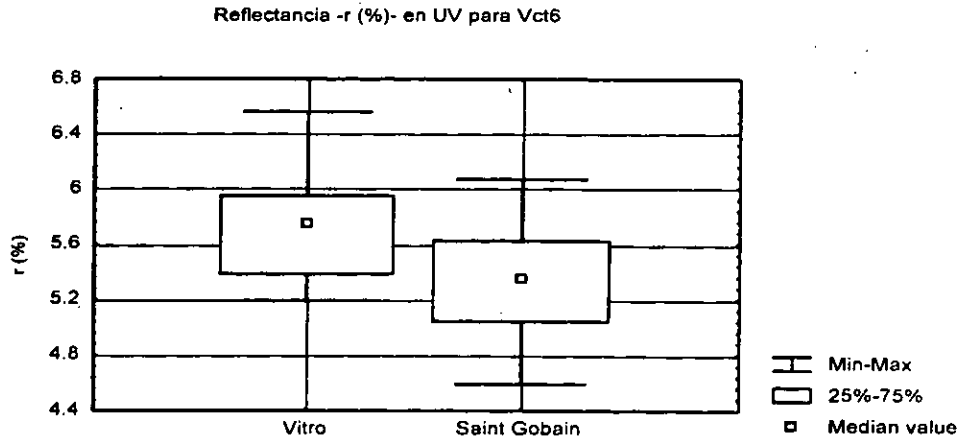
Gráfica C.7. Transmitancia en la región del ultravioleta en vidrio claro 6 mm



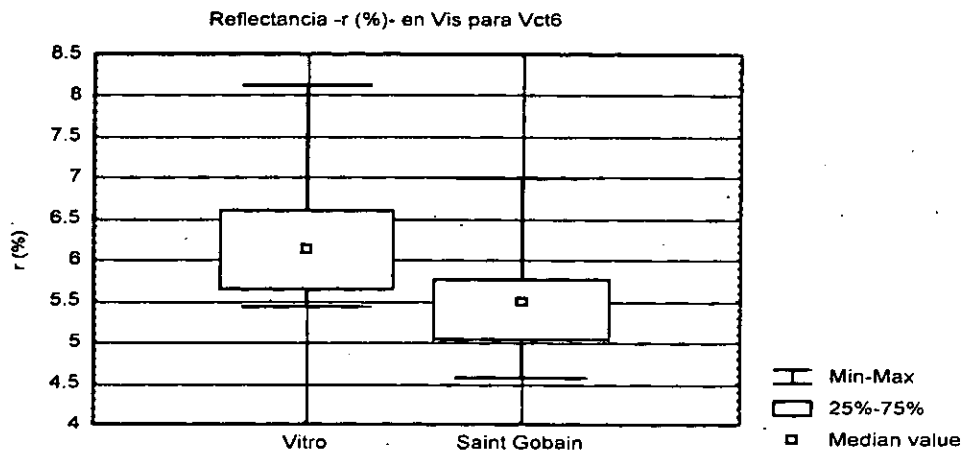
Gráfica C.8. Transmitancia en la región del visible en vidrio claro 6 mm



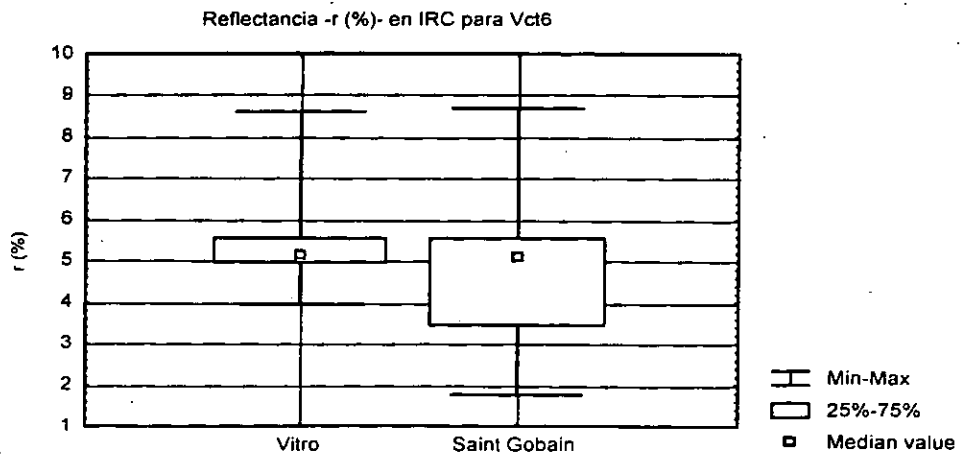
Gráfica C.9. Transmitancia en la región del IRC en vidrio claro 6 mm



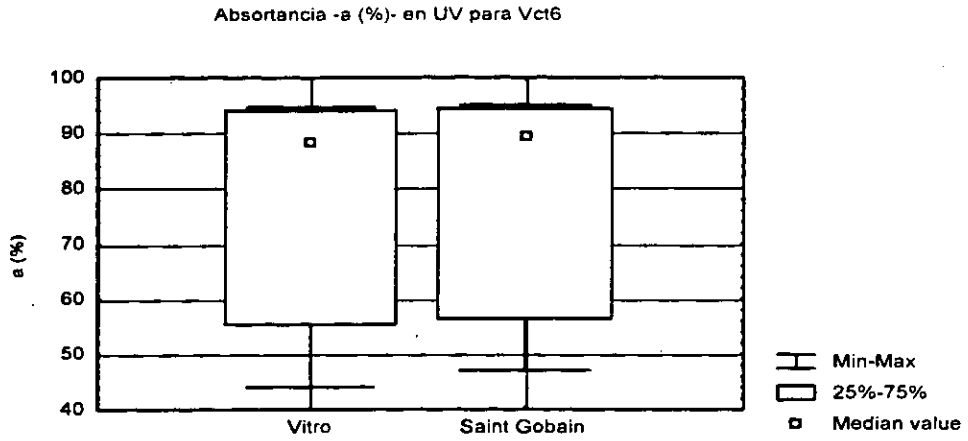
Gráfica C.10. Reflectancia en la región del ultravioleta en vidrio con tinte 6 mm



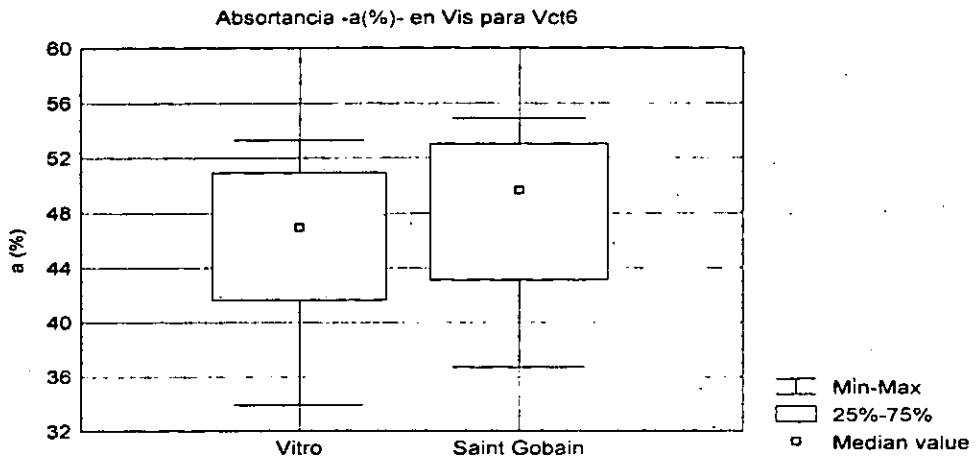
Gráfica C.11. Reflectancia en la región del visible en vidrio con tinte 6 mm



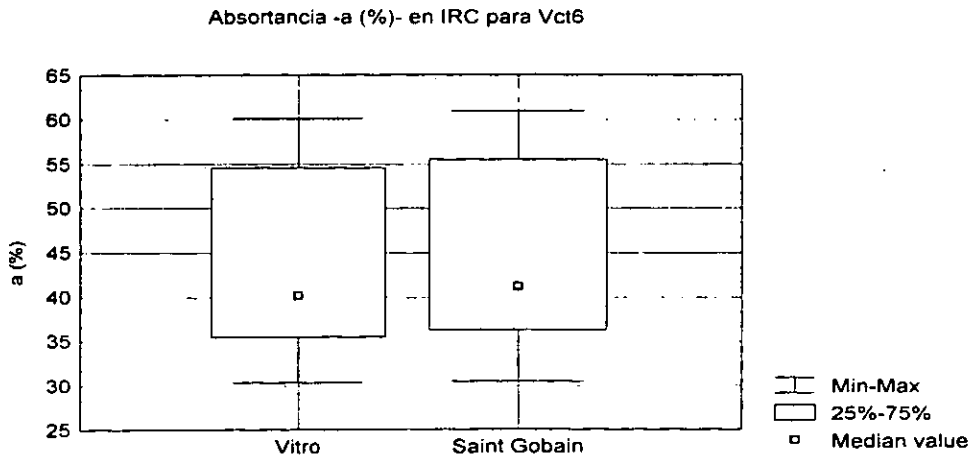
Gráfica C.12. Reflectancia en la región del IRC en vidrio con tinte 6 mm



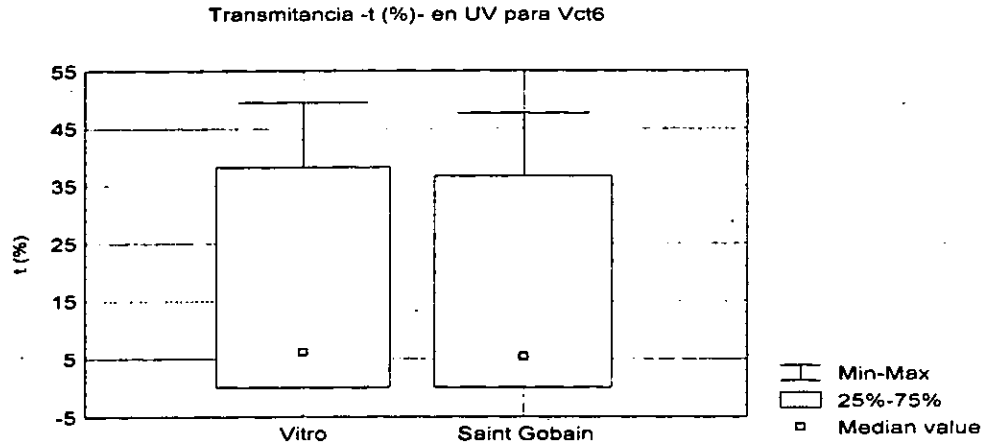
Gráfica C.13. Absortancia en la región del ultravioleta en vidrio con tinte 6 mm



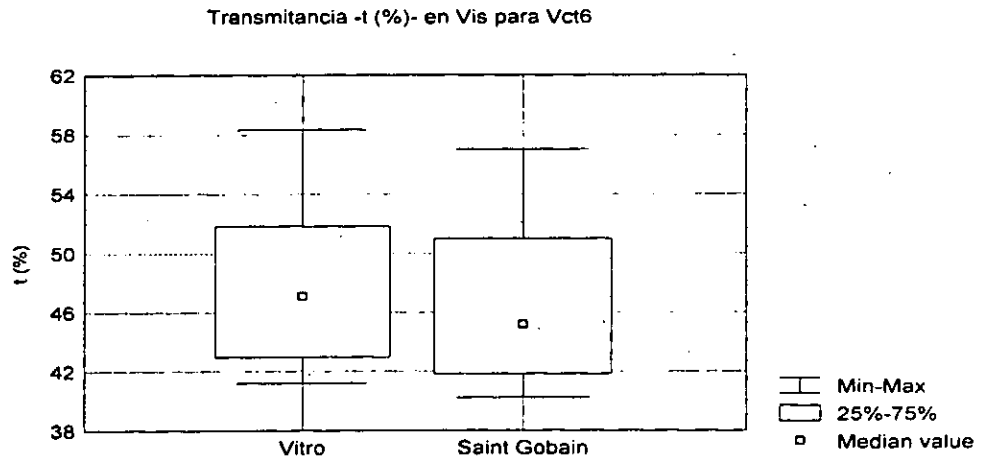
Gráfica C.14. Absortancia en la región del visible en vidrio con tinte 6 mm



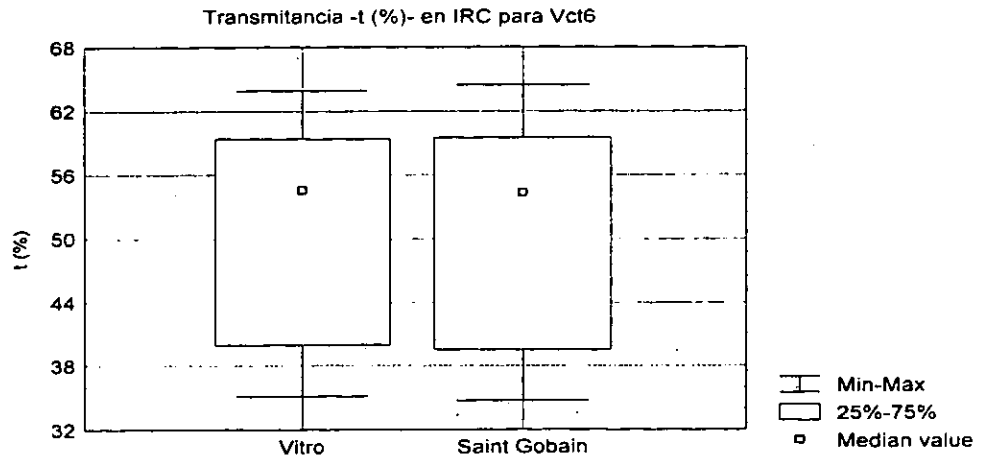
Gráfica C.15. Absortancia en la región del IRC en vidrio con tinte 6 mm



Gráfica C.16. Transmitancia en la región del UV en vidrio con tinte 6 mm



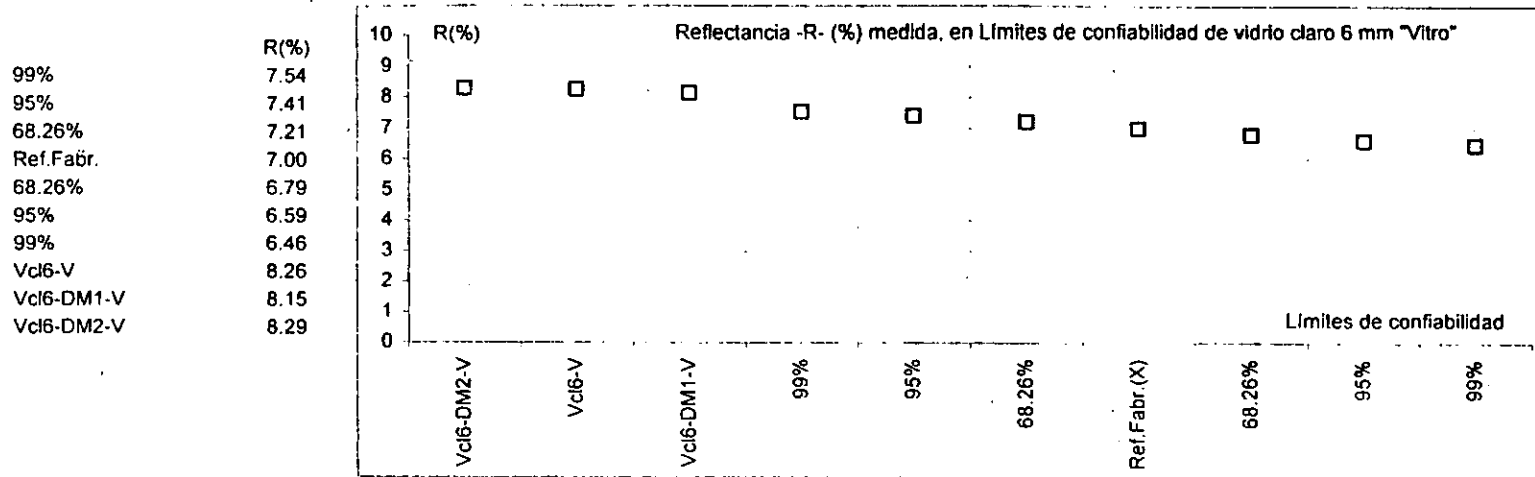
Gráfica C.17. Transmitancia en la región del visible en vidrio con tinte 6 mm



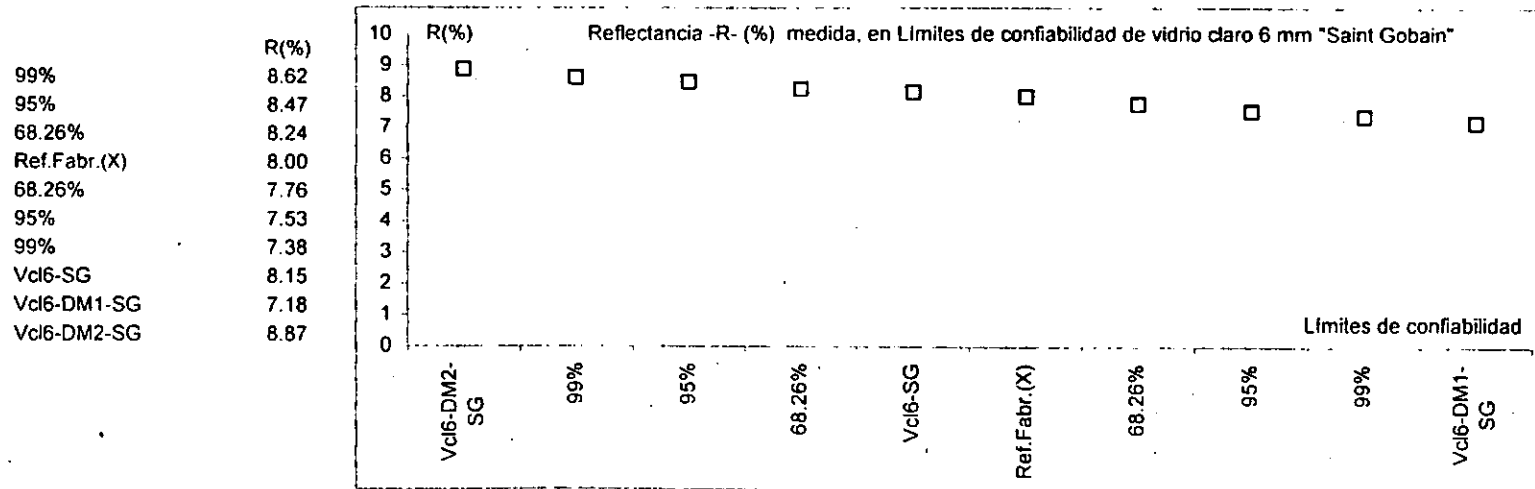
Gráfica C.18. Transmitancia en la región del IRC en vidrio con tinte 6 mm

Anexo D
Límites de confiabilidad en propiedades ópticas solares totales.

Reflectancia en vidrio claro 6 mm.

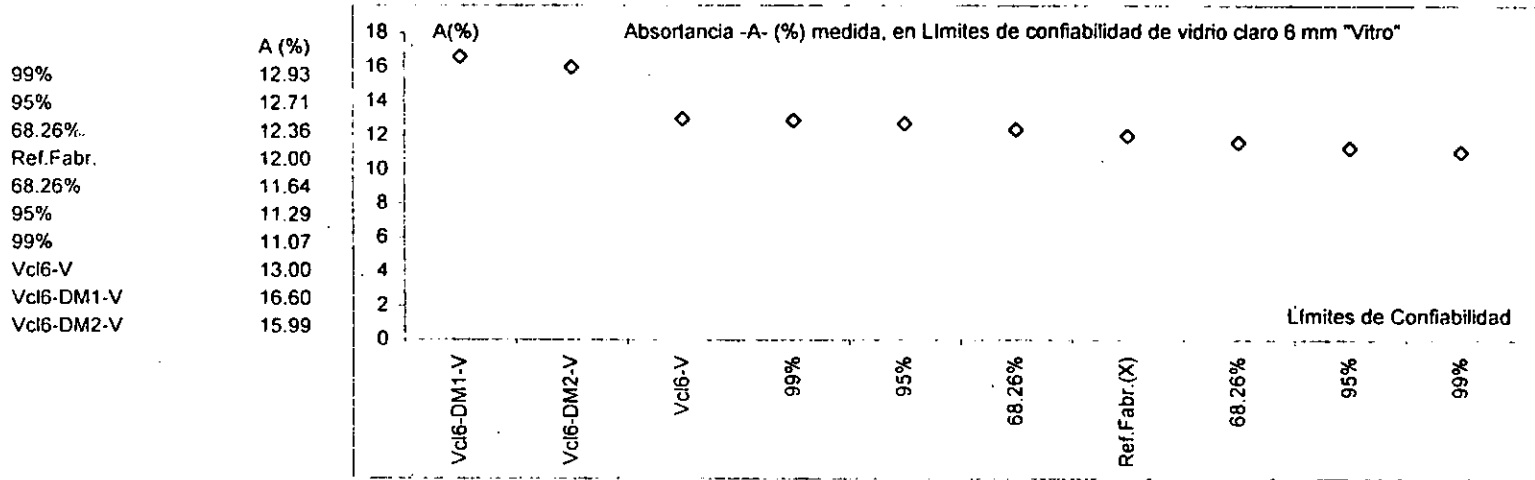


Gráfica D.1. Reflectancia medida en muestras de vidrio claro 6 mm y comparada en los límites de confiabilidad del Fabricante Vitro

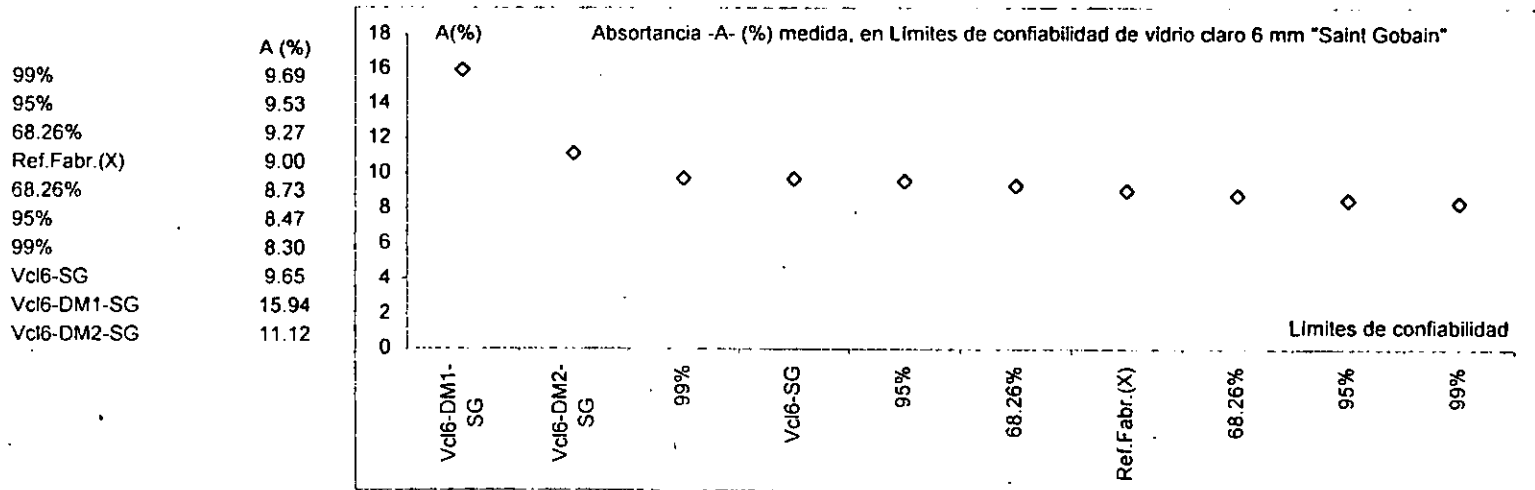


Gráfica D.2. Reflectancia medida en muestras de vidrio claro 6 mm y comparada en los límites de confiabilidad del Fabricante Saint Gobain.

Absortancia en vidrio claro 6 mm.

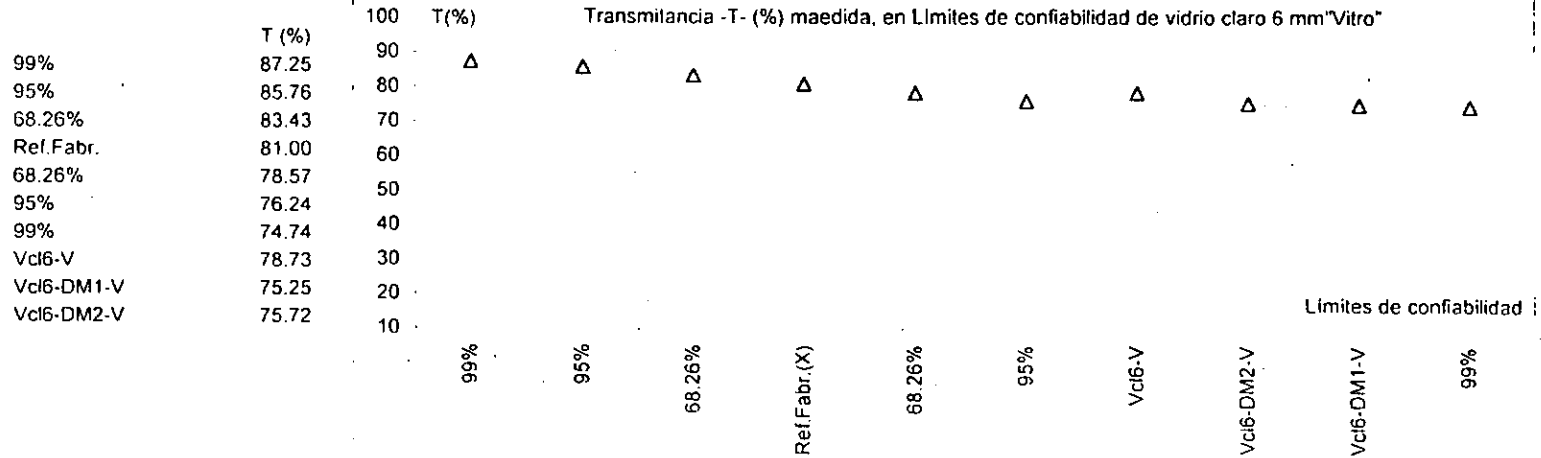


Gráfica D.3. Absortancia medida en muestras de vidrio claro 6 mm y comparada en los límites de confiabilidad del Fabricante Vitro

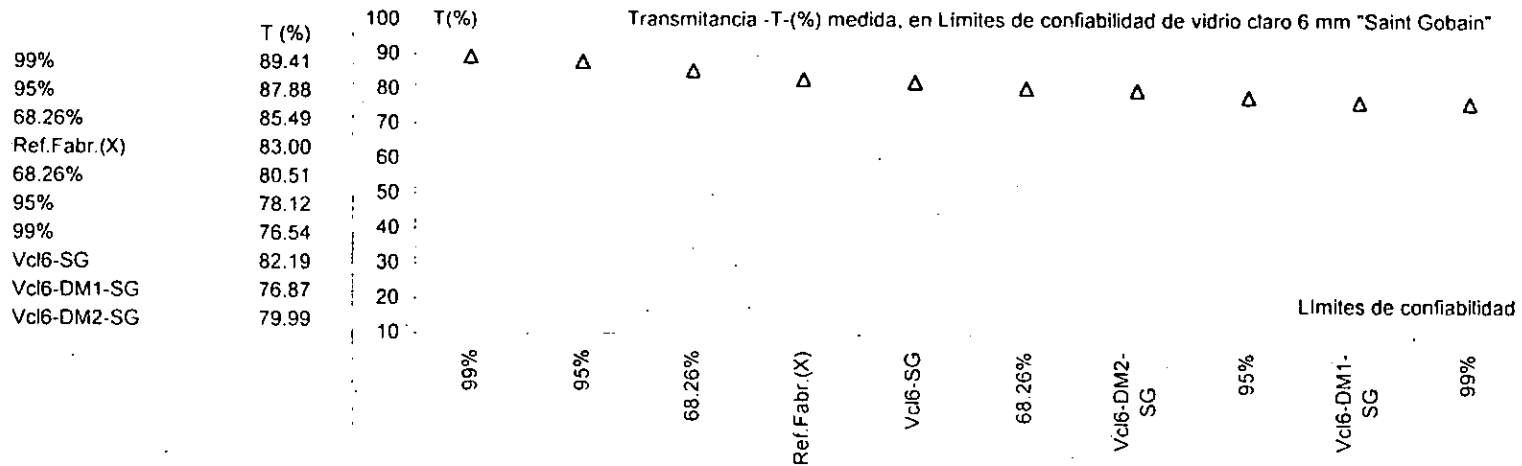


Gráfica D.4. Absortancia medida en muestras de vidrio claro 6 mm y comparada en los límites de confiabilidad del Fabricante Saint Gobain.

Transmitancia en vidrio claro 6 mm.

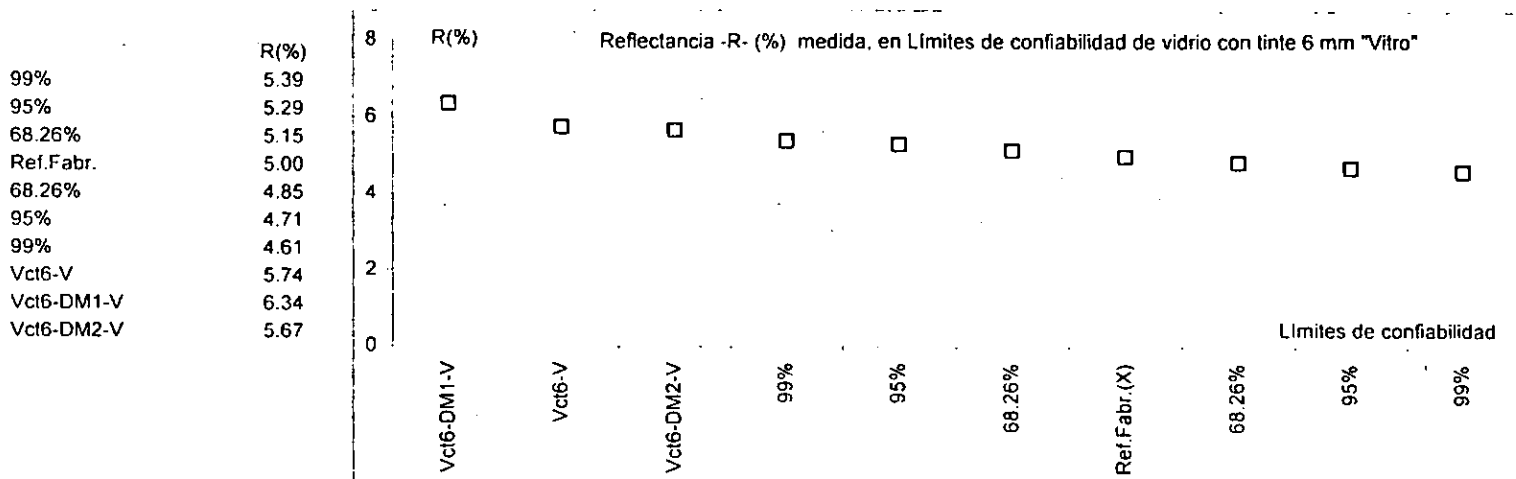


Gráfica D.5. Transmitancia medida en muestras de vidrio claro 6 mm y comparada en los límites de confiabilidad del Fabricante Vitro

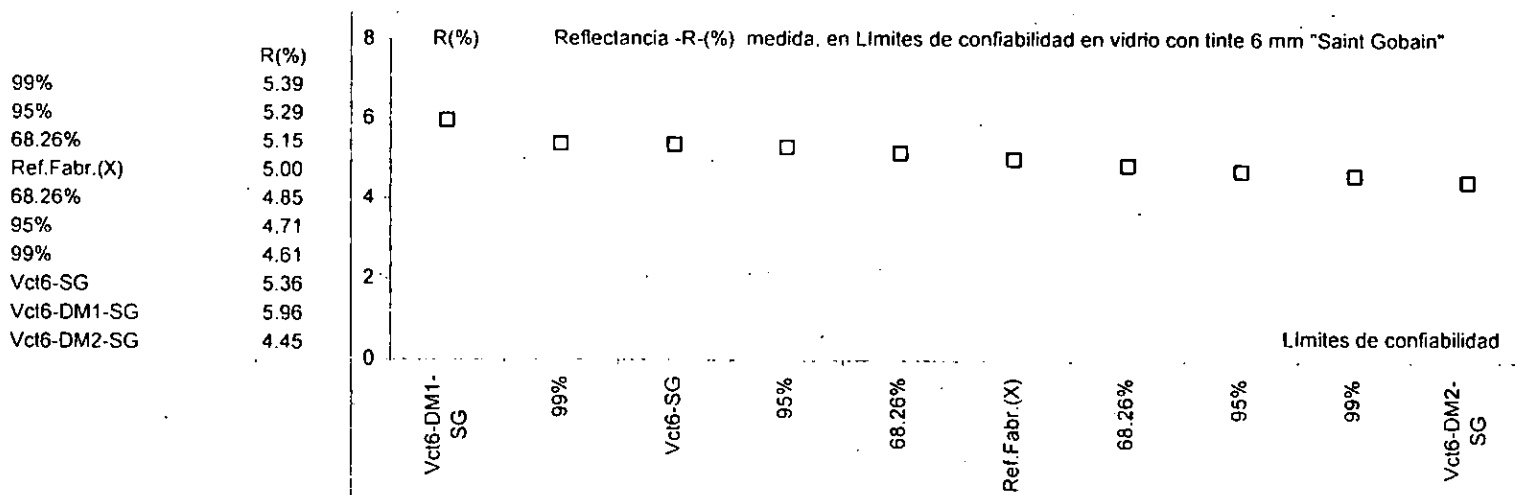


Gráfica D.6. Transmitancia medida en muestras de vidrio claro 6 mm y comparada en los límites de confiabilidad del Fabricante Saint Gobain.

Reflectancia en vidrio con tinte 6 mm.

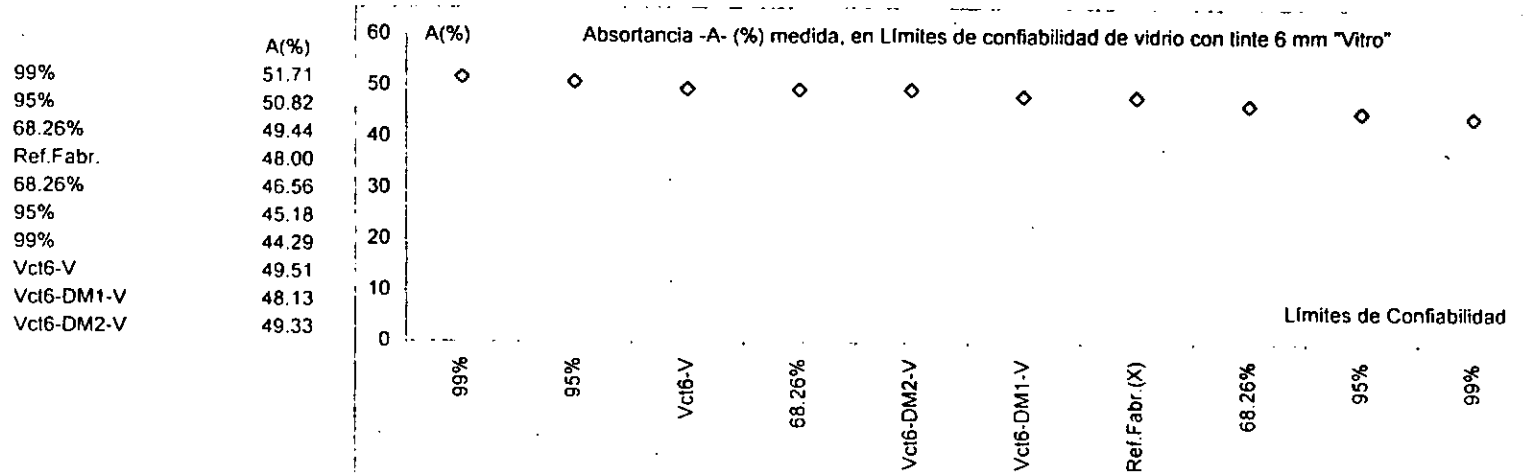


Gráfica D.7. Reflectancia medida en muestras de vidrio con tinte 6 mm y comparada en los Límites de confiabilidad del Fabricante Vitro

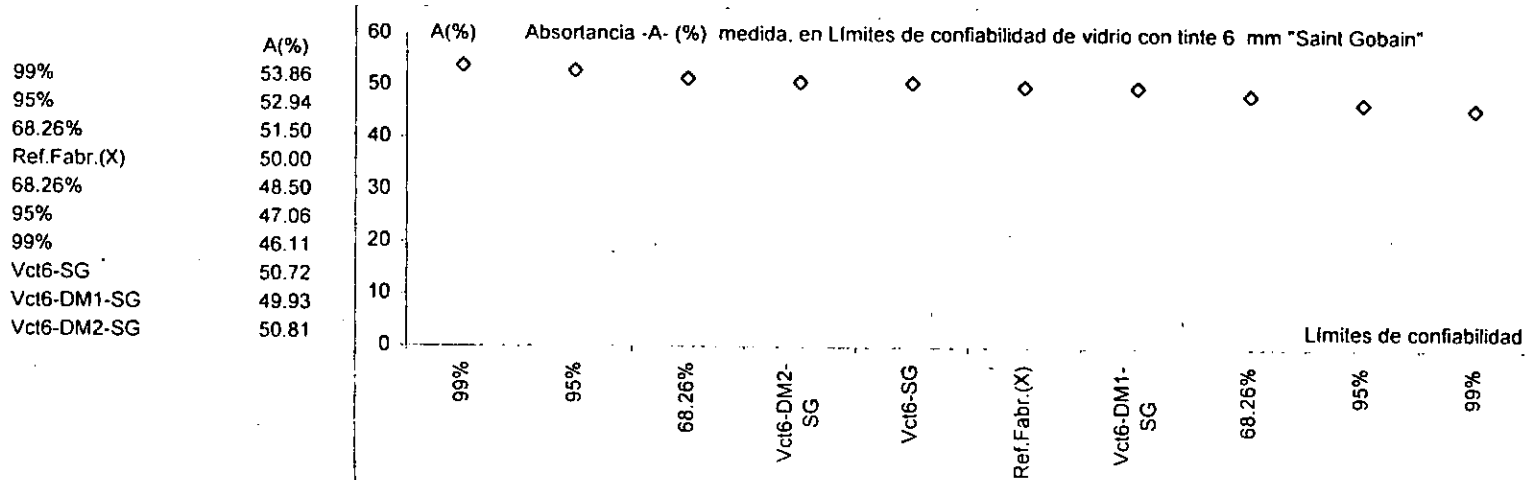


Gráfica D.8. Reflectancia medida en muestras de vidrio con tinte 6 mm y comparada en los Límites de confiabilidad del Fabricante Saint Gobain.

Absortancia en vidrio con tinte 6 mm.

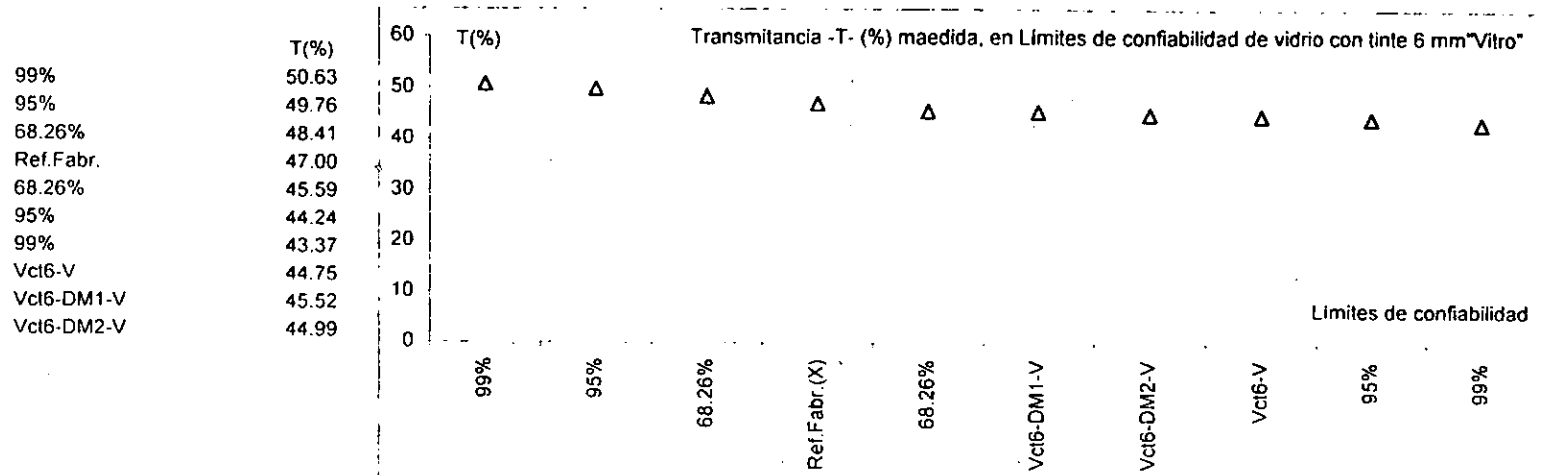


Gráfica D.9. Absortancia medida en muestras de vidrio con tinte 6 mm y comparada en los Límites de confiabilidad del Fabricante Vitro

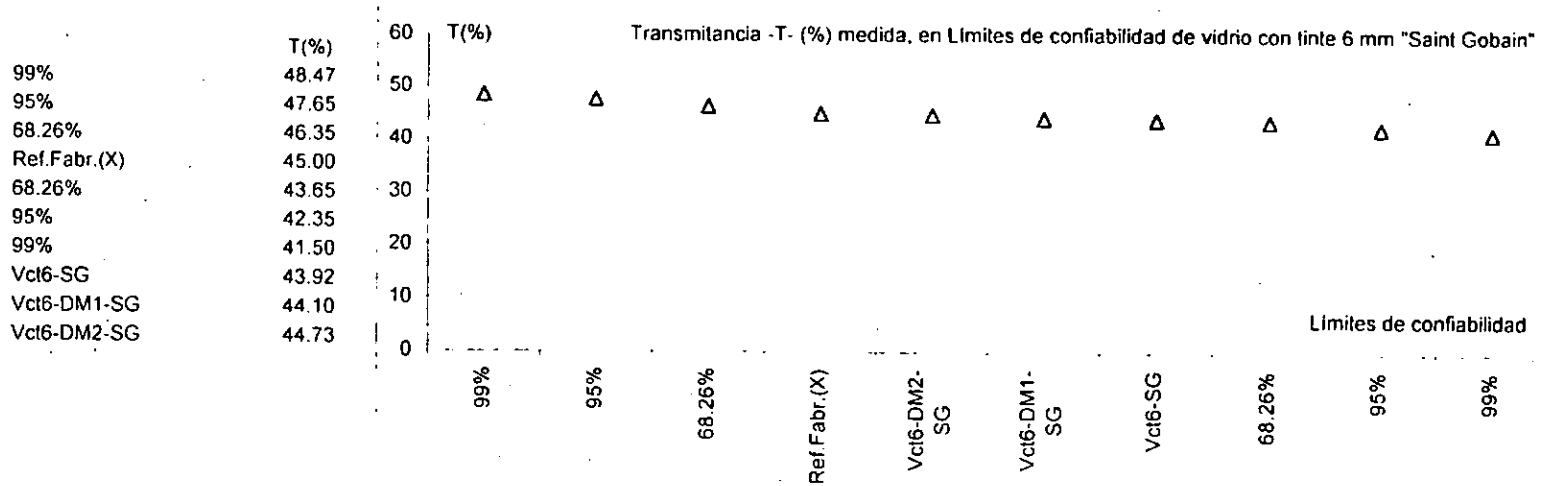


Gráfica D.10. Absortancia medida en muestras de vidrio con tinte 6 mm y comparada en los Límites de confiabilidad del Fabricante Saint Gobain.

Transmitancia en vidrio con tinte 6 mm.



Gráfica D.11. Transmitancia medida en muestras de vidrio con tinte 6 mm y comparada en los Límites de confiabilidad del Fabricante Vitro



Gráfica D.12. Transmitancia medida en muestras de vidrio con tinte 6 mm y comparada en los Límites de confiabilidad del Fabricante Saint Gobain.

Anexo E

Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada para las ubicaciones del Distrito Federal y Mexicali, de acuerdo al Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-1999, de la Comisión Nacional de Ahorro de Energía, CONAE, de la Sria. de Energía.

Tabla E.1.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación del Distrito Federal.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Lugar: Distrito Federal.

Material transparente: Vidrio: claro 6 mm Referencia del Fabricante "Vitro"

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² °C)	Area (m ²)	Fracción	t=25°C Te (°C)	K*A*F(t _e -t)
Techo	0.391	503.14	0.95	32.00	1308.24
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	19.00	-898.41
Muro norte	2.200	1480.00	0.60	23.00	-3907.20
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	20.00	-15744.24
Muro este	2.200	1122.07	0.60	26.50	2221.70
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	21.00	-9549.26
Muro sur	2.200	1480.00	0.60	22.16	-5548.22
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	21.00	-12595.39
Muro oeste	2.200	1389.47	0.60	21.00	-7336.40
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	21.00	-11824.95
				Qrc(W)=	-63874.14

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	Fracción	FG W/m ²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	272	5816.30
Ventana norte	1	1480.00	0.40	102	60384.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	140	62835.92
Ventana sur	1	1480.00	0.40	114	67488.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	134	74475.59
				Qrs(W)=	270999.81

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² °C)	Area (m ²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(t _e -t)
Techo	1.55	503.14	32.00	5459.07
Tragaluz y domo				
Muro norte	2.94	743.64	23.00	-4372.60
Ventana norte	4.85	736.36	20.00	-17855.04
Muro este	3.30	471.31	26.50	2332.98
Ventana este	4.85	650.76	21.00	-12623.55
Muro sur	3.02	703.81	22.16	-6036.44
Ventana sur	4.85	776.19	21.00	-15056.66
Muro oeste	2.93	1094.84	21.00	-12831.52
Ventana oeste	4.85	294.63	21.00	-5715.28
			Qpc(W)=	-66699.04

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	FG W/m ²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.97	736.36	102	1.00	72855.46
Ventana este	0.97	650.76	140	0.98	86605.74
Ventana sur	0.97	776.19	114	0.96	82397.85
Ventana oeste	0.97	294.63	134	1.00	38296.01
			Qps(W)=		280155.06

Presupuesto Energético:

Edificio de Referencia	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	-63874.14	270999.81	207125.67	
Edificio Proyectado	-66699.04	280155.06	213456.02	103.06

NO Cumple la NOM-008

Tabla E.2.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación de Mexicali, B.C.N.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Lugar Mexicali, BCN

Material transparente: Vidrio: claro 6 mm Referencia del Fabricante "Vitro"

Edificio Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² °C)	Area (m ²)	Fracción	t=25°C Te (°C)	K*A*F (te-t)
Techo	0.354	503.14	0.95	47.00	3722.53
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	27.00	299.47
Muro norte	0.521	1480.00	0.60	35.00	4626.48
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	28.00	9446.54
Muro este	0.521	1122.07	0.60	37.50	4384.49
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	30.00	11936.58
Muro sur	0.521	1480.00	0.60	37.12	5607.29
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	30.00	15744.24
Muro oeste	0.521	1389.47	0.60	33.00	3474.79
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	30.00	14781.18
Qrc(W)=					74023.60

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² °C)	Area (m ²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F (te-t)	
Techo	1.55	503.14	47.00	17157.07	
Tragaluz y domo					
Muro norte	2.94	743.64	35.00	21863.02	
Ventana norte	4.85	736.36	28.00	10713.02	
Muro este	3.30	471.31	37.50	19441.54	
Ventana este	4.85	650.76	30.00	15779.43	
Muro sur	3.02	703.81	37.12	25761.14	
Ventana sur	4.85	776.19	30.00	18820.82	
Muro oeste	2.93	1094.84	33.00	25663.05	
Ventana oeste	4.85	294.63	30.00	7144.10	
Qpc(W)=					162343.19

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	Fracción	FG W/m ²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	322	6885.47
Ventana norte	1	1480.00	0.40	70	41440.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	159	71363.65
Ventana sur	1	1480.00	0.40	131	77552.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	164	91149.23
Qrs(W)=					288390.35

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	FG W/m ²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.97	736.36	70	1.00	49998.84
Ventana este	0.97	650.76	159	0.98	98359.38
Ventana sur	0.97	776.19	131	0.96	94685.24
Ventana oeste	0.97	294.63	164	1.00	46869.74
Qps(W)=					289913.21

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	74023.60	288390.35	362413.95	
Edificio Proyectado	162343.19	289913.21	452256.40	124.79

NO Cumple la NOM-008

Tabla E.3.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación del Distrito Federal.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente: Vidrio: claro 6 mm Muestra del Distribuidor Mayoritario 1 "Vitro"

Lugar: Distrito Federal

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² *°C)	Area (m ²)	Fracción	I=25°C Te (°C)
Techo	0.391	503.14	0.95	32.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	19.00
Muro norte	2.200	1480.00	0.60	23.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	20.00
Muro este	2.200	1122.07	0.60	26.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	21.00
Muro sur	2.200	1480.00	0.60	22.16
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	21.00
Muro oeste	2.200	1389.47	0.60	21.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	21.00
				Qrc(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² *°C)	Area (m ²)	I=25°C Te (°C)	K*A*F(Ie-I)
Techo	1.55	503.14	32.00	1308.24
Tragaluz y domo	2.94	743.54	23.00	-898.41
Muro norte	4.80	736.36	20.00	-3907.20
Ventana norte	3.30	471.31	26.50	-15744.24
Muro este	4.80	650.76	21.00	2221.70
Ventana este	3.02	703.81	22.16	-9549.26
Muro sur	4.80	776.19	21.00	-5548.22
Ventana sur	2.93	1094.84	21.00	-12595.39
Muro oeste	4.80	294.63	21.00	-7336.40
Ventana oeste	4.80	294.63	21.00	-11824.95
				Qpc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	Fracción	FG W/m ²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	272	5816.30
Ventana norte	1	1480.00	0.40	102	60384.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	140	62835.92
Ventana sur	1	1480.00	0.40	114	67488.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	134	74475.59
					Qrs(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	FG W/m ²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.92	736.36	102	1.00	69100.02
Ventana este	0.92	650.76	140	0.98	82141.53
Ventana sur	0.92	776.19	114	0.96	78150.53
Ventana oeste	0.92	294.63	134	1.00	36321.99
					Qps(W)=

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	-63874.14	270999.81	207125.67	
Edificio Proyectado	-66207.35	265714.07	199506.72	96.32

SI Cumple la NOM-008

Tabla E.4.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación de Mexicali, B.C.N.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Lugar: Mexicali, BCN

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

Material transparente: Vidrio: claro 6 mm Muestra del Distribuidor Mayoritario 1 "Vitro"

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² *°C)	Area (m ²)	Fracción	t=25°C Te (°C)
Techo	0.354	503.14	0.95	47.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	27.00
Muro norte	0.521	1480.00	0.60	35.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	28.00
Muro este	0.521	1122.07	0.60	37.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	30.00
Muro sur	0.521	1480.00	0.60	37.12
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	30.00
Muro oeste	0.521	1389.47	0.60	33.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	30.00
				Qrc(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² *°C)	Area (m ²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	1.55	503.14	47.00	3722.53
Tragaluz y domo				299.47
Muro norte	2.94	743.64	35.00	4626.48
Ventana norte	4.80	736.36	28.00	9446.54
Muro este	3.30	471.31	37.50	4384.49
Ventana este	4.80	650.76	30.00	11936.58
Muro sur	3.02	703.81	37.12	5607.29
Ventana sur	4.80	776.19	30.00	15744.24
Muro oeste	2.93	1094.84	33.00	3474.79
Ventana oeste	4.80	294.63	30.00	14781.18
				Qpc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	Fracción	FG W/m ²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	322	6885.47
Ventana norte	1	1480.00	0.40	70	41440.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	159	71363.65
Ventana sur	1	1480.00	0.40	131	77552.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	164	91149.23
					Qrs(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	FG W/m ²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.92	736.36	70	1.00	47421.58
Ventana este	0.92	650.76	159	0.98	93289.31
Ventana sur	0.92	776.19	131	0.96	89804.56
Ventana oeste	0.92	294.63	164	1.00	44453.77
					Qps(W)=

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	74023.60	288390.35	362413.95	
Edificio Proyectado	161839.93	274969.23	436809.16	120.53

NO Cumple la NOM-008

Tabla E.5.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación del Distrito

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente. Vidrio: claro 6 mm Referencia del Fabricante "Saint Gobain"

Lugar: Distrito Federat.

Edificio: Torre de Rectoria, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² °C)	Area (m ²)	Fracción	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	0.391	503.14	0.95	32.00	1308.24
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	19.00	-898.41
Muro norte	2.200	1480.00	0.60	23.00	-3907.20
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	20.00	-15744.24
Muro este	2.200	1122.07	0.60	26.50	2221.70
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	21.00	-9549.26
Muro sur	2.200	1480.00	0.60	22.16	-5548.22
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	21.00	-12595.39
Muro oeste	2.200	1389.47	0.60	21.00	-7336.40
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	21.00	-11824.95
				Qrc(W)=	-63874.14

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	Fracción	FG W/m ²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	272	5816.30
Ventana norte	1	1480.00	0.40	102	60384.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	140	62835.92
Ventana sur	1	1480.00	0.40	114	67488.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	134	74475.59
				Qrs(W)=	270999.81

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² °C)	Area (m ²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	1.55	503.14	32.00	5459.07
Tragaluz y domo				
Muro norte	2.94	743.64	23.00	-4372.60
Ventana norte	4.84	736.36	20.00	-17817.21
Muro este	3.30	471.31	26.50	2332.98
Ventana este	4.84	650.76	21.00	-12596.80
Muro sur	3.02	703.81	22.16	-6036.44
Ventana sur	4.84	776.19	21.00	-15024.76
Muro oeste	2.93	1094.84	21.00	-12831.52
Ventana oeste	4.84	294.63	21.00	-5703.17
			Qpc(W)=	-66590.45

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	FG W/m ²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.98	736.36	102	1.00	73606.55
Ventana este	0.98	650.76	140	0.98	87498.59
Ventana sur	0.98	776.19	114	0.96	83247.31
Ventana oeste	0.98	294.63	134	1.00	38690.81
			Qps(W)=		283043.25

Presupuesto Energético:

Edificio de Referencia

Edificio Proyectado

Qc(W)

-63874.14

-66590.45

Qs(W)

270999.81

283043.25

Q(W)

207125.67

216452.80

%

104.50

NO Cumple la NOM-008

Tabla E.6.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación de Mexic

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente: Vidrio: claro 6 mm Referencia del Fabricante "Saint Gobain"

Lugar: Mexicali, BCN

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	0.354	503.14	0.95	47.00	3722.53
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	27.00	299.47
Muro norte	0.521	1480.00	0.60	35.00	4626.48
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	28.00	9446.54
Muro este	0.521	1122.07	0.60	37.50	4384.49
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	30.00	11936.58
Muro sur	0.521	1480.00	0.60	37.12	5607.29
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	30.00	15744.24
Muro oeste	0.521	1389.47	0.60	33.00	3474.79
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	30.00	14781.18
Qrc(W)=					74023.60

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	322	6885.47
Ventana norte	1	1480.00	0.40	70	41440.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	159	71363.65
Ventana sur	1	1480.00	0.40	131	77552.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	164	91149.23
Qrs(W)=					288390.35

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)	
Techo	1.55	503.14	47.00	17157.07	
Tragaluz y domo					
Muro norte	2.94	743.64	35.00	21863.02	
Ventana norte	4.84	736.36	28.00	10690.33	
Muro este	3.30	471.31	37.50	19441.54	
Ventana este	4.84	650.76	30.00	15746.00	
Muro sur	3.02	703.81	37.12	25761.14	
Ventana sur	4.84	776.19	30.00	18780.95	
Muro oeste	2.93	1094.84	33.00	25663.05	
Ventana oeste	4.84	294.63	30.00	7128.96	
Qpc(W)=					162232.05

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.98	736.36	70	1.00	50514.30
Ventana este	0.98	650.76	159	0.98	99373.39
Ventana sur	0.98	776.19	131	0.96	95661.38
Ventana oeste	0.98	294.63	164	1.00	47352.93
Qps(W)=					292902.01

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	74023.60	288390.35	362413.95	
Edificio Proyectado	162232.05	292902.01	455134.06	125.58

NO Cumple la NOM-008

Tabla E.7.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación del Distrito Federal.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente: Vidrio: claro 6 mm Muestra del Distribuidor Mayoritario 1 "Saint Gobain"

Lugar: Distrito Federal.

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)
Techo	0.391	503.14	0.95	32.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	19.00
Muro norte	2.200	1480.00	0.60	23.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	20.00
Muro este	2.200	1122.07	0.60	26.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	21.00
Muro sur	2.200	1480.00	0.60	22.16
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	21.00
Muro oeste	2.200	1389.47	0.60	21.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	21.00
				Qrc(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	1.55	503.14	32.00	1308.24
Tragaluz y domo				-898.41
Muro norte	2.94	743.64	23.00	-3907.20
Ventana norte	4.80	736.36	20.00	-15744.24
Muro este	3.30	471.31	26.50	2221.70
Ventana este	4.80	650.76	21.00	-9549.26
Muro sur	3.02	703.81	22.16	-5548.22
Ventana sur	4.80	776.19	21.00	-12595.39
Muro oeste	2.93	1094.84	21.00	-7336.40
Ventana oeste	4.80	294.63	21.00	-11824.95
				Qpc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	272	5816.30
Ventana norte	1	1480.00	0.40	102	60384.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	140	62835.92
Ventana sur	1	1480.00	0.40	114	67488.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	134	74475.59
					Qrs(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.93	736.36	102	1.00	69851.11
Ventana este	0.93	650.76	140	0.98	83034.37
Ventana sur	0.93	776.19	114	0.96	79000.00
Ventana oeste	0.93	294.63	134	1.00	36716.79
					Qps(W)=

Presupuesto Energético:

Edificio de Referencia

Edificio Proyectado

Qc(W)

-63874.14

-66123.38

Qs(W)

270999.81

268602.27

Q(W)

207125.67

202478.89

%

97.76

SI Cumple la NOM-008

Tabla E.8.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación de Mexicali, B.C.N.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente: Vidrio: claro 6 mm Muestra del Distribuidor Mayoritario 1 "Saint Gobain"

Lugar: Mexicali, BCN

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)
Techo	0.354	503.14	0.95	47.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	27.00
Muro norte	0.521	1480.00	0.60	35.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	28.00
Muro este	0.521	1122.07	0.60	37.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	30.00
Muro sur	0.521	1480.00	0.60	37.12
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	30.00
Muro oeste	0.521	1389.47	0.60	33.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	30.00
				Qrc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	322
Ventana norte	1	1480.00	0.40	70
Ventana este	1	1122.07	0.40	159
Ventana sur	1	1480.00	0.40	131
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	164
				Qrs(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	1.55	503.14	47.00	3722.53
Tragaluz y domo				299.47
Muro norte	2.94	743.64	35.00	4626.48
Ventana norte	4.80	736.36	28.00	9446.54
Muro este	3.30	471.31	37.50	4384.49
Ventana este	4.80	650.76	30.00	11936.58
Muro sur	3.02	703.81	37.12	5607.29
Ventana sur	4.80	776.19	30.00	15744.24
Muro oeste	2.93	1094.84	33.00	3474.79
Ventana oeste	4.80	294.63	30.00	14781.18
				Qpc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.93	736.36	70	1.00	47937.04
Ventana este	0.93	650.76	159	0.98	94303.32
Ventana sur	0.93	776.19	131	0.96	90780.70
Ventana oeste	0.93	294.63	164	1.00	44936.97
					Qps(W)=

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	74023.60	288390.35	362413.95	
Edificio Proyectado	161753.98	277958.03	439712.00	121.33

NO Cumple la NOM-008

Tabla E.9. Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación del Distrito Federal.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente: Vidrio: con tinte 6 mm Referencia del Fabricante "Vitro"

Lugar: Distrito Federal.

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)
Techo	0.391	503.14	0.95	32.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	19.00
Muro norte	2.200	1480.00	0.60	23.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	20.00
Muro este	2.200	1122.07	0.60	26.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	21.00
Muro sur	2.200	1480.00	0.60	22.16
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	21.00
Muro oeste	2.200	1389.47	0.60	21.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	21.00

Qrc(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	1.55	503.14	32.00	1308.24
Tragaluz y domo				-898.41
Muro norte	2.94	743.64	23.00	-3907.20
Ventana norte	4.85	736.36	20.00	-15744.24
Muro este	3.30	471.31	26.50	2221.70
Ventana este	4.85	650.76	21.00	-9549.26
Muro sur	3.02	703.81	22.16	-5548.22
Ventana sur	4.85	776.19	21.00	-12595.39
Muro oeste	2.93	1094.84	21.00	-7336.40
Ventana oeste	4.85	294.63	21.00	-11824.95

Qpc(W)=

-66699.04

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	272	5816.30
Ventana norte	1	1480.00	0.40	102	60384.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	140	62835.92
Ventana sur	1	1480.00	0.40	114	67488.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	134	74475.59

Qrs(W)=

270999.81

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.69	736.36	102	1.00	51825.02
Ventana este	0.69	650.76	140	0.98	61606.15
Ventana sur	0.69	776.19	114	0.96	58612.90
Ventana oeste	0.69	294.63	134	1.00	27241.49

Qps(W)=

199285.56

Presupuesto Energético:

Edificio de Referencia

Edificio Proyectado

-Qc(W)

-63874.14

-66699.04

Qs(W)

270999.81

199285.56

Q(W)

207125.67

132586.52

%

64.01

SI Cumple la NOM-008

Tabla E.10.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación de Mexicali, B.C.N.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente: Vidrio: con lente 6 mm Referencia del Fabricante "Vitro"

Lugar: Mexicali, BCN

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)
Techo	0.354	503.14	0.95	47.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	27.00
Muro norte	0.521	1480.00	0.60	35.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	28.00
Muro este	0.521	1122.07	0.60	37.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	30.00
Muro sur	0.521	1480.00	0.60	37.12
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	30.00
Muro oeste	0.521	1389.47	0.60	33.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	30.00
				Qrc(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(ite-t)
Techo	1.55	503.14	47.00	3722.53
Tragaluz y domo				299.47
Muro norte	2.94	743.64	35.00	4626.48
Ventana norte	4.85	736.36	28.00	9446.54
Muro este	3.30	471.31	37.50	4384.49
Ventana este	4.85	650.76	30.00	11936.58
Muro sur	3.02	703.81	37.12	5607.29
Ventana sur	4.85	776.19	30.00	15744.24
Muro oeste	2.93	1094.84	33.00	3474.79
Ventana oeste	4.85	294.63	30.00	14781.18
				Qpc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	322	6885.47
Ventana norte	1	1480.00	0.40	70	41440.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	159	71363.65
Ventana sur	1	1480.00	0.40	131	77552.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	164	91149.23
					Qrs(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.69	736.36	70	1.00	35566.19
Ventana este	0.69	650.76	159	0.98	69966.98
Ventana sur	0.69	776.19	131	0.96	67353.42
Ventana oeste	0.69	294.63	164	1.00	33340.33
					Qps(W)=

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	74023.60	288390.35	362413.95	
Edificio Proyectado	162343.19	206226.92	368570.12	101.70

NO Cumple la NOM-008

Tabla E.11.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación del Distrito Federal.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente: Vidrio: con lente 6 mm Muestra del Fabricante "Vitro"

Lugar: Distrito Federal.

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)
Techo	0.391	503.14	0.95	32.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	19.00
Muro norte	2.200	1480.00	0.60	23.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	20.00
Muro este	2.200	1122.07	0.60	26.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	21.00
Muro sur	2.200	1480.00	0.60	22.16
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	21.00
Muro oeste	2.200	1389.47	0.60	21.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	21.00
				Qrc(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	1.55	503.14	32.00	1308.24
Tragaluz y domo				-898.41
Muro norte	2.94	743.64	23.00	-3907.20
Ventana norte	4.80	736.36	20.00	-15744.24
Muro este	3.30	471.31	26.50	2221.70
Ventana este	4.80	650.76	21.00	-9549.26
Muro sur	3.02	703.81	22.16	-5548.22
Ventana sur	4.80	776.19	21.00	-12595.39
Muro oeste	2.93	1094.84	21.00	-7336.40
Ventana oeste	4.80	294.63	21.00	-11824.95
				Qpc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	272	5816.30
Ventana norte	1	1480.00	0.40	102	60384.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	140	62835.92
Ventana sur	1	1480.00	0.40	114	67488.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	134	74475.59
					Qrs(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.67	736.36	102	1.00	50322.84
Ventana este	0.67	650.76	140	0.98	59820.46
Ventana sur	0.67	776.19	114	0.96	56913.98
Ventana oeste	0.67	294.63	134	1.00	26451.88
					Qps(W)=

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	-63874.14	270999.81	207125.67	
Edificio Proyectado	-66226.07	193509.16	127283.09	61.45

SI Cumple la NOM-008

Tabla E.12.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación de Mexicali, B.C.N.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente: Vidrio: con lente 6 mm Muestra del Fabricante "Vitro"

Lugar: Mexicali, BCN

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)
Techo	0.354	503.14	0.95	47.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	27.00
Muro norte	0.521	1480.00	0.60	35.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	28.00
Muro este	0.521	1122.07	0.60	37.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	30.00
Muro sur	0.521	1480.00	0.60	37.12
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	30.00
Muro oeste	0.521	1389.47	0.60	33.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	30.00
				Qrc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	322
Ventana norte	1	1480.00	0.40	70
Ventana este	1	1122.07	0.40	159
Ventana sur	1	1480.00	0.40	131
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	164
				Qrs(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	1.55	503.14	47.00	3722.53
Tragaluz y domo				299.47
Muro norte	2.94	743.64	35.00	4626.48
Ventana norte	4.80	736.36	28.00	9446.54
Muro este	3.30	471.31	37.50	4384.49
Ventana este	4.80	650.76	30.00	11936.58
Muro sur	3.02	703.81	37.12	5607.29
Ventana sur	4.80	776.19	30.00	15744.24
Muro oeste	2.93	1094.84	33.00	3474.79
Ventana oeste	4.80	294.63	30.00	14781.18
				Qpc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Tragaluz y domo	0.85	503.14	322		6885.47
Ventana norte	0.67	736.36	70	1.00	41440.00
Ventana este	0.67	650.76	159	0.98	71363.65
Ventana sur	0.67	776.19	131	0.96	77552.00
Ventana oeste	0.67	294.63	164	1.00	91149.23
					Qps(W)=

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	74023.60	288390.35	362413.95	
Edificio Proyectado	161859.09	200249.33	362108.42	99.92

SI Cumple la NOM-008

Tabla E.13.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación del Distrito Federal.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Lugar: Distrito Federal.

Material transparente: Vidrio: con tinte 6 mm Referencia del Fabricante "Saint Gobain"

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² *C)	Area (m ²)	Fracción	t=25°C Te (°C)
Techo	0.391	503.14	0.95	32.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	19.00
Muro norte	2.200	1480.00	0.60	23.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	20.00
Muro este	2.200	1122.07	0.60	26.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	21.00
Muro sur	2.200	1480.00	0.60	22.16
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	21.00
Muro oeste	2.200	1389.47	0.60	21.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	21.00

Qrc(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² *C)	Area (m ²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	1.55	503.14	32.00	1308.24
Tragaluz y domo				-898.41
Muro norte	2.94	743.64	23.00	-3907.20
Ventana norte	0.00	736.36	20.00	-15744.24
Muro este	3.30	471.31	26.50	2221.70
Ventana este	0.00	650.76	21.00	-9549.26
Muro sur	3.02	703.81	22.16	-5548.22
Ventana sur	0.00	776.19	21.00	-12595.39
Muro oeste	2.93	1094.84	21.00	-7336.40
Ventana oeste	0.00	294.63	21.00	-11824.95

Qpc(W)=

-15448.51

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	Fracción	FG W/m ²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	272	5816.30
Ventana norte	1	1480.00	0.40	102	60384.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	140	62835.92
Ventana sur	1	1480.00	0.40	114	67488.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	134	74475.59

Qrs(W)=

270999.81

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	FG W/m ²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.66	736.36	102	1.00	49571.76
Ventana este	0.66	650.76	140	0.98	58927.62
Ventana sur	0.66	776.19	114	0.96	56064.51
Ventana oeste	0.66	294.63	134	1.00	26057.08

Qps(W)=

190620.97

Presupuesto Energético:

Edificio de Referencia

Edificio Proyectado

Qc(W)

-63874.14

-15448.51

Qs(W)

270999.81

190620.97

Q(W)

207125.67

175172.45

%

84.57

¿ Cumple la NOM-008

Tabla E.14.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación de Mexicali, B.C.N.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Lugar: Mexicali. BCN

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

Material transparente: Vidrio: con tinte 6 mm Referencia del Fabricante "Saint Gobain"

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² °C)	Area (m ²)	Fracción	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	0.354	503.14	0.95	47.00	3722.53
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	27.00	299.47
Muro norte	0.521	1480.00	0.60	35.00	4626.48
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	28.00	9446.54
Muro este	0.521	1122.07	0.60	37.50	4384.49
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	30.00	11936.58
Muro sur	0.521	1480.00	0.60	37.12	5607.29
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	30.00	15744.24
Muro oeste	0.521	1389.47	0.60	33.00	3474.79
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	30.00	14781.18
Qrc(W)=					74023.60

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m ² °C)	Area (m ²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	1.55	503.14	47.00	17157.07
Tragaluz y domo				
Muro norte	2.94	743.64	35.00	21863.02
Ventana norte	s/k	736.36	28.00	
Muro este	3.30	471.31	37.50	19441.54
Ventana este	s/k	650.76	30.00	
Muro sur	3.02	703.81	37.12	25761.14
Ventana sur	s/k	776.19	30.00	
Muro oeste	2.93	1094.84	33.00	25663.05
Ventana oeste	s/k	294.63	30.00	
Qpc(W)=				109885.81

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	Fracción	FG W/m ²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	322	6885.47
Ventana norte	1	1480.00	0.40	70	41440.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	159	71363.65
Ventana sur	1	1480.00	0.40	131	77552.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	164	91149.23
Qrs(W)=					288390.35

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m ²)	FG W/m ²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.66	736.36	70	1.00	34019.83
Ventana este	0.66	650.76	159	0.98	66924.94
Ventana sur	0.66	776.19	131	0.96	64425.01
Ventana oeste	0.66	294.63	164	1.00	31890.75
Qps(W)=					197260.53

Presupuesto Energético:

Edificio de Referencia
Edificio Proyectado

Qc(W)
74023.60
109885.81

Qs(W)
288390.35
197260.53

Q(W)
362413.95
307146.35

%
84.75

2 Cumple la NOM-008

Tabla E.15.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación del Distrito Federal.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Material transparente: Vidrio: con tinte 6 mm Muestra del Fabricante "Saint Gobain"

Lugar: Distrito Federal.

Edificio: Torre de Rectoría. UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)
Techo	0.391	503.14	0.95	32.00
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	19.00
Muro norte	2.200	1480.00	0.60	23.00
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	20.00
Muro este	2.200	1122.07	0.60	26.50
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	21.00
Muro sur	2.200	1480.00	0.60	22.16
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	21.00
Muro oeste	2.200	1389.47	0.60	21.00
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	21.00
				Qrc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	272
Ventana norte	1	1480.00	0.40	102
Ventana este	1	1122.07	0.40	140
Ventana sur	1	1480.00	0.40	114
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	134
				Qrs(W)=

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F
Techo	1.55	503.14	32.00	1308.24
Tragaluz y domo				-898.41
Muro norte	2.94	743.64	23.00	-3907.20
Ventana norte	4.80	736.36	20.00	-15744.24
Muro este	3.30	471.31	26.50	2221.70
Ventana este	4.80	650.76	21.00	-9549.26
Muro sur	3.02	703.81	22.16	-5548.22
Ventana sur	4.80	776.19	21.00	-12595.39
Muro oeste	2.93	1094.84	21.00	-7336.40
Ventana oeste	4.80	294.63	21.00	-11824.95
				Qpc(W)=

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Tragaluz y domo	0.85	503.14	272		5816.30
Ventana norte	0.67	736.36	102	1.00	60384.00
Ventana este	0.67	650.76	140	0.98	62835.92
Ventana sur	0.67	776.19	114	0.96	67488.00
Ventana oeste	0.67	294.63	134	1.00	74475.59
				Qps(W)=	193509.16

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	-63874.14	270999.81	207125.67	
Edificio Proyectado	-66124.73	193509.16	127384.44	61.50

SI Cumple la NOM-008

Tabla E.16.: Determinación del flujo de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en la ubicación de Mexicali, B.C.N.

CALCULO COMPARATIVO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVES DE LA ENVOLVENTE

Lugar: Mexicali, BCN

Material transparente: Vidrio: con tinte 6 mm Muestra del Fabricante "Saint Gobain"

Edificio: Torre de Rectoría, UNAM

EDIFICIO DE REFERENCIA:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	Fracción	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)
Techo	0.354	503.14	0.95	47.00	3722.53
Tragaluz y domo	5.952	503.14	0.05	27.00	299.47
Muro norte	0.521	1480.00	0.60	35.00	4626.48
Ventana norte	5.319	1480.00	0.40	28.00	9446.54
Muro este	0.521	1122.07	0.60	37.50	4384.49
Ventana este	5.319	1122.07	0.40	30.00	11936.58
Muro sur	0.521	1480.00	0.60	37.12	5607.29
Ventana sur	5.319	1480.00	0.40	30.00	15744.24
Muro oeste	0.521	1389.47	0.60	33.00	3474.79
Ventana oeste	5.319	1389.47	0.40	30.00	14781.18
Qrc(W)=					74023.60

EDIFICIO PROYECTADO:

Ganancia por conducción

Tipo y Orientación	K (W/m²°C)	Area (m²)	t=25°C Te (°C)	K*A*F(te-t)	
Techo	1.55	503.14	47.00	17157.07	
Tragaluz y domo					
Muro norte	2.94	743.64	35.00	21863.02	
Ventana norte	4.80	736.36	28.00	10592.97	
Muro este	3.30	471.31	37.50	19441.54	
Ventana este	4.80	650.76	30.00	15602.61	
Muro sur	3.02	703.81	37.12	25761.14	
Ventana sur	4.80	776.19	30.00	18609.92	
Muro oeste	2.93	1094.84	33.00	25663.05	
Ventana oeste	4.80	294.63	30.00	7064.04	
Qpc(W)=					161755.36

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	Fracción	FG W/m²	CS*A*F*FG
Tragaluz y domo	0.85	503.14	0.05	322	6885.47
Ventana norte	1	1480.00	0.40	70	41440.00
Ventana este	1	1122.07	0.40	159	71363.65
Ventana sur	1	1480.00	0.40	131	77552.00
Ventana oeste	1	1389.47	0.40	164	91149.23
Qrs(W)=					288390.35

Ganancia por radiación

Tipo y Orientación	C.S.	Area (m²)	FG W/m²	SE	CS*A*F*SE
Ventana norte	0.67	736.36	70	1.00	34535.28
Ventana este	0.67	650.76	159	0.98	67938.95
Ventana sur	0.67	776.19	131	0.96	65401.15
Ventana oeste	0.67	294.63	164	1.00	32373.94
Qps(W)=					200249.33

Presupuesto Energético:

	Qc(W)	Qs(W)	Q(W)	%
Edificio de Referencia	74023.60	288390.35	362413.95	
Edificio Proyectado	161755.36	200249.33	362004.69	99.89

SI Cumple la NOM-008

Nomenclatura

- a = Absortancia espectral (adimensional)
- A = Absortancia solar directa (adimensional)
- A' = Area, en m^2
- A_i = Transferencia de calor secundaria, que en el vidrio pasa al interior (adimensional)
- A_e = Transferencia de calor secundaria, que en el vidrio pasa al exterior (adimensional)
- A_{ij} = Area de la porción j , con orientación i , en m^2
- CS = Coeficiente de sombreado (adimensional)
- CS_j = Coeficiente de sombreado del vidrio de cada porción transparente, (adimensional).
- CS_{ri} = Coeficiente de sombreado de la porción transparente, en la edificación de referencia, con orientación i , (adimensional de 0.85 para el techo y 1 para las paredes).
- dt = Gradiente de temperatura en $^{\circ}C$ o $^{\circ}K$.
- dx = Espesor de un material, en metros.
- FG_i = Ganancia de calor solar por orientación, en W/m^2 .
- GCS = Ganancia de calor solar (adimensional)
- GCR = Ganancia de calor relativa (W/m^2)
- GCS_{ve} = Ganancia de calor solar en un vidrio específico (adimensional)
- GCS_{vr} = Ganancia de calor solar en un vidrio de referencia (adimensional)
- h = Energía equivalente a 6.62×10^{34} J.s
- h_i = Factor de transferencia de calor hacia el interior = $8.9 W/m^2 \cdot K$
- h_i' = Coeficiente de convección interior = $8.3 W/m^2 \cdot ^{\circ}C$
- h_o = Factor de transferencia de calor hacia el exterior = $23 W/m^2 \cdot K$
- h_o' = Coeficiente de convección exterior = $22.7 W/m^2 \cdot ^{\circ}C$
- i Orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste y 6 es superficie inferior.
- I = Intensidad de la corriente, en amperes
- I_o = Intensidad del haz de luz incidente en el material (adimensional)
- I_o^* = Energía de radiación incidente = $630 W/m^2$
- I_r = Intensidad del haz reflejado (adimensional)
- I_t = Intensidad del haz de luz que atraviesa el material (adimensional)
- j = Porciones que forman parte de la componente de la envolvente.
- k = Conductividad térmica ($W/m \cdot ^{\circ}C$), ($W/m \cdot ^{\circ}K$)

- K_j = Coeficiente Global de Transferencia de Calor de cada porción j , en $W/m^2\cdot K$.
- Q = Flujo de calor, en Watts
- Q_c = Ganancia total de calor por conducción, en Watts.
- Q_p = Ganancia de calor a través de la envolvente en la edificación proyectada, en Watts.
- Q_{pc} = Ganancia de calor por conducción a través de la envolvente del edificio proyectado, en Watts.
- Q_{pci} = Ganancia de calor por conducción a través de la componente de la envolvente, con orientación i , en Watts.
- Q_{ps} = Ganancia de calor por radiación solar a través de la envolvente del edificio proyectado, en Watts.
- Q_{psi} = Ganancia de calor por radiación solar a través de las porciones transparentes de la envolvente del edificio proyectado, en Watts.
- Q_r = Ganancia de calor a través de la envolvente en la edificación de referencia, en Watts.
- Q_{rc} = Ganancia de calor por conducción, a través de la envolvente del edificio de referencia, en Watts.
- Q_{rci} = Ganancia de calor por conducción, a través de la envolvente del edificio de referencia, con orientación i , en Watts.
- Q_{rs} = Ganancia de calor por radiación solar, a través de la envolvente del edificio de referencia, en Watts.
- Q_s = Ganancia total de calor por radiación, en Watts.
- r = Reflectancia espectral (adimensional)
- R = Reflectancia solar directa (adimensional)
- SE_{ij} = Factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente, (adimensional).
- t = Temperatura interior del edificio, que se considerará igual a $25\text{ }^\circ\text{C}$.
- t' = Transmitancia espectral (adimensional)
- T = Transmitancia solar directa (adimensional)
- t_e = Temperatura equivalente promedio en $^\circ\text{C}$, para la orientación i .
- U = Coeficiente Global de Transferencia de Calor ($W/m^2\cdot^\circ\text{C}$)
- U_v = Coeficiente Global de Transferencia de Calor en condiciones de verano ($W/m^2\cdot^\circ\text{C}$)
- ν = frecuencia de la radiación electromagnética.
- V = Voltaje de la corriente, en volts.

Bibliografía:

1. Ruge, Tahoga *Uso de los recursos naturales en el planeta e impacto ambiental. La visión ambiental hacia el nuevo milenio*. Memorias: desarrollo sustentable en el hábitat construido. UAM-A, México, 1998.
2. Sherman, I & Sherman, V. *Biología, perspectiva humana*. Cap. 28. *El hombre y el medio ambiente*. Ed. Mc Graw Hill, México, 1989.
3. Duvigneaud. *La Síntesis Ecológica*. Ed. Alhambra, España, 1981.
4. Szokolay. *Sustainable development in the built environment*. Memorias: Desarrollo sustentable en el hábitat construido, UAM-A, México, 1998.
5. Saldaña, F. *Nuevas tecnologías energéticas. Sistemas de tecnología solar y alternativas. Situación mundial y en México. Estado del Arte*. Memorias: Desarrollo sustentable en el hábitat construido. UAM-A, México, 1998.
6. Dorantes, R. *Evaluación global de procesos de alto consumo energético del Sistema Energético Nacional*. Anuario. Estudios de Arquitectura Bioclimática. UAM-A, México, 1997.
7. Vázquez, G., *Ecología y formación ambiental*, Mc Graw Hill, México, 1993.
8. Aitken, D. *Putting it together. Whole buildings and a whole building policy*, Quarterly, USA. Summer 1998, Vol. 9 No. 3
9. U.S.D.O.E. *Scenarios of U.S. Carbon Reductions*, Interlaboratory group on Energy.- Efficient and Low-Carbon Technologies, Washington, D.C., 1997.
10. Morillón, D., López, M. Y Rodríguez, L. *Efecto del tamaño de las ventanas de la vivienda en el consumo de energía eléctrica*, Congreso de ATPAE. México, 1998.
11. Sámano, D., Morales, D. y Morillón, D. *Aspectos Bioclimáticos de edificios confortables de máxima eficiencia energética*. Centro de investigaciones en Energía, UNAM, 1997.
12. Sámano, D., Vázquez, B y Morales, D. *Carga térmica en un edificio con almacenamiento térmico*. Notas del curso de actualización en energía solar, Centro de Investigación en Energía, UNAM, 1997.
13. Sámano, D. Morales, D. y Morillón, D. *Metodología para el Diseño térmico de edificios*. Notas del curso de actualización en Energía solar, Centro de Investigación en Energía, UNAM, 1998.
14. Norma Básica NBE-CT-79 (en CITAV), España, 1981.
15. NOM-008-ENER-1995, CONAE, Secretaría de energía, México, 1997.
16. Hailin, Hu., P.J. Sebastian et al. *Propiedades ópticas de algunas películas delgadas de calcogenuros metálicos en substratos poliméricos para aplicaciones de ventanas selectivas*. Memorias, XVII Semana Nacional de Energía solar, ANES, Univ. de Colima, 1993.
17. Alvarez, G., Estrada C. Villada, R., A. Fernández, M. E. Rueda. *Verificación experimental de un modelo para el cálculo de la transferencia de calor en ventanas con controlador óptico*. XVII Semana Nacional de energía Solar, ANES, Univ. de Colima, 1993.
18. Flores, J., Alvarez, G. & P.K. Nair. *Determinación de Coeficiente de Sombreado de vidrios laminados con dos filtros solares*. Memorias: 22 Semana de Energía solar, Mexicali, B.C., 1998.

19. Alvarez, G. Jiménez D., Estrada C., Nair, P.K. *Comparación teórico experimental de la transferencia de calor en estado transitorio de un vidrio con controlador óptico*. Memorias: XVIII Reunión Nal. de Energía Solar, ANES, Univ. de Sonora, 1994.
20. Fernández, A., y Morales, D. *Evaluación y comparación de tres métodos distintos de simulación térmica con base en los resultados obtenidos tras la medición de parámetros interiores en tres puntos distintos de una edificación*. Memorias. XX Semana Nal. de Energía Solar, Veracruz., México, 1996.
21. Barrios, P., y Morales, D., *La simulación térmica de edificios como elemento de apoyo para su diseño*. Memorias. XXII Semana Nacional de Energía Solar, Mexicali, B.C., 1998.
22. Montaña, J., Ramos, R. Morillón, D. *Comportamiento radiante del vidrio con protección interna frente a la radiación solar*. XVIII Reunión Nacional de Energía Solar. ANES-UNISON. Centro de Investigación y Desarrollo de los Recursos Naturales de Sonora, 1994.
23. Morillón, G., Sámano D. Fernández-Z, J.L. *Soleamiento y diseño de un espacio en la Cd. de México*. XIX Semana Nacional de Energía Solar, Memorias de la A.N.E.S., La Paz, B.C., 1995
24. Santiago I., Dorantes, R. *Impacto de eficiencia energética en la edificación*. Memorias: XXII Semana Nal. de Energía Solar. ANES, Univ. Autónoma de Baja California, 1998.
25. Urbano, A., et al. *Aplicaciones innovadoras en la Arquitectura*. Memorias. Desarrollo sustentable en el hábitat construido, UAM, México, 1998.
26. Rojas, J. *Obtención de propiedades ópticas, térmicas y físicas de algunos materiales de construcción*. Laboratorio de Energía Solar, Instituto de Investigación en Materiales, UNAM, 1992.
27. Slessor, K., *Arquitectura High Tech, Sustentabilidad Eco Tech*, Gustavo Gili, México, 1997.
28. Fuentes, Victor. *Arquitectura Bioclimática Internacional*. Estudios de arquitectura Bioclimática, UAM-A, anuario. Vol II, 1998.
29. ASHRAE Handbook. American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Inc., USA, 1989
30. Bejan, A. *Heat transfer*. John Wiley & Sons, Inc., USA, 1993
31. Eckhart & Drake. *Analysis of Heat and Mass transfer*. Mc Graw Hill, USA, 1972
32. Gebhart, *Heat transfer*. Mc Graw Hill, USA, 1971.
33. Holman, J.P. *Transferencia de calor*, CECSA, México, 1986.
34. Holman, J.P. *Heat transfer*, fifth edition, Mc Graw Hill-USA, 1990
35. Incropera. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, New York, 1996.
36. Kern, D. *Procesos de transferencia de calor*, CECSA, México, 1992.
37. Kern, D. *Process heat transfer*, Mc Graw Hill, España, 1964.
38. Mijeev, M. S. *Fundamentos de termotransferencia*. Ed. Miv., Moscu, 1977.
39. Oberg, E. et al. *Manual Universal de la técnica mecánica*, Ed. Labor, España, 1979.
40. Pitts, D. *Teoría y Problemas de transferencia de calor*. Serie de compendios Schaum, Ed. Mc Graw Hill Latinoamericana, S. A., Colombia, 1979.

41. Valiente, A. *Problemas de transferencia de calor*. Ed. Limusa, México, 1988.
42. Manrique, José A. *Transferencia de calor*. Harla, México, 1981.
43. Kreith, *Principios de transferencia de calor*. Ed. Herrero Hnos., México, 1970.
44. Vitro, *Bibliografía técnica sobre vidrio para envolvente arquitectónica*, México. 1996.
45. Saint Gobain, *Bibliografía técnica sobre vidrio para envolvente arquitectónica*, Francia. Sin fecha de edición.
46. Viracon, *Bibliografía técnica sobre vidrio para envolvente arquitectónica*, E.U.A. 1996, 1997 y 1998.
47. Cuevas, O., Tamariz, J., Gómezdaza, O. Campos, J. M.T.S. Nair y P.K. Nair. *Control de la Radiación solar mediante películas delgadas de CuS depositadas químicamente*. Memorias: 22 Semana de Energía solar, Mexicali, B.C., 1998.
48. Foster, M., *La construcción de la arquitectura. Técnica, Diseño y Estilo*. Ed. Blume, España, 1988.
49. Rodríguez, M., *El vidrio en la Arquitectura. Introducción a un análisis histórico*. Memorias XX Semana Nacional de Energía solar., ANES, Univ. Veracruzana. México 1996.
50. Barbara, Z., *Materiales y procedimientos de construcción*. Ed. Herrero. 6ª. Ed. Tomo 2, México, 1977.
51. American Standard Test Method. Designation E-903-82 *Standard Test Method for Solar Absortance, Reflectance and Transmittance of Materials using integrating spheres*, USA, 1982
52. International Standard ISO 9050, (E). *Glass in building. Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance and ultraviolet transmittance and related glazing factors*, Switzerland, 1990
53. American Standard Test Method Designation C177-85: *Steady-state Heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot plate apparatus*, U:S:A:
- 54.- Cid, J.G., *Análisis de los espectros de absorción del vidrio (Si, Na, Ca) con óxidos de He, Cr y Co* Tesis I.Q. Facultad de Química, UNAM, México, 1995
- 55.- López, E. *Composición química del vidrio y sus aplicaciones*. Tesis I.Q., Facultad de Química., UNAM, México, 1991
- 56.- Mc Grath y Frost *Glass in Architecture and Decoration*, The Architectural Press, London, 1961.
- 57.- Gloag, J. *Introducción histórica sobre la evolución de las ventanas en Inglaterra en La luz del día en los edificios*. Editorial Reverté, Barcelona, 1951.
- 58.- Beckett, y Godfrey, *Ventanas, función diseño e instalación*. Ed. Gustavo Gili, España, 1978
- 59.- El Atlas de la construcción metálica, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1976.
- 60.- Navale, M. *Historia de la arquitectura, en Curso de diseño arquitectónico*. Ed. Trillas, México, 1994.
- 61.- Enciclopedia SALVAT, Salvat Editores, España, 1971

- 62.- Shoenauer, N. *6000 años de hábitat*, Editorial Gustavo Gili, España, 1984
- 63.- Müller, W y Vogel, G. *Atlas de Arquitectura. 2. Del románico a la actualidad* Alianza Editorial, España, 1981.
- 64.- Jencks, Ch., *Movimientos modernos en Arquitectura.*, Blume Ediciones, España, 1983.
- 65.- Riseboro, B. *Historia dibujada de la arquitectura. Últimas tendencias*, Celeste Ediciones, Madrid, 1992.
- 66.- Información sobre los antecedentes de la fundación de la Cía. Vitro. México.
- 67.- Martínez, J., "*El vidrio: propiedades físicas y fabricación*", Tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, México, 1976.
- 68.- Laborde, P., "*El uso de Vidrio en México*" Revista VFV, Key Communication Inc., Volumen uno, número uno, E:U:A: Invierno 1997.
- 69.- Gabriela Frias, "*Un monstruo de vidrio*", Periódico Reforma, Suplemento especial, Industrial del vidrio, México, 2 de marzo de 1998.
- 70.- Gabriela Frias. "*Deben reglamentarse productos de vidrio*". Industria del vidrio. Entrevista al director de Saint Gobain. Suplemento especial, Diario Reforma, México, 2 de marzo de 1998.
- 71.- "*Demanda mundial de vidrio plano para el año 2000*", Sección de Las Noticias, Revista Vidrio, Fachadas y Ventanas, Publicación Key Communications, Inc., marzo-abril, 1998
- 72.- "*El vidrio y la cerámica*", Enciclopedia temática ilustrada, Editorial Plancton, España, 1970
- 73.- Braun, E., *Arquitectura de sólidos y líquidos*, La Ciencia desde México, Núm. 26, SEP, FCE, CONACYT, México, 1995.
- 74.- Barrios, P., Dorantes, R. Y Rodríguez, M., "*La composición química del vidrio y su relación con el comportamiento térmico en la construcción*", Memorias, 22 Semana Nacional de Energía Solar, Mexicali, B.C., México, 1998.
- 75.- Deighton, P., "*El desempeño del siglo*", Vidrio eficiente en energía para el próximo milenio. La revista del vidrio, fachadas y ventanas. Volumen dos, número uno, EEUU., Invierno 1999.
- 76.- Vázquez, Roberto. "*Evolucionan conjuntamente procesos de fabricación y propiedades del vidrio*", La revista del vidrio, fachadas y ventanas. Volumen dos, número dos, Primavera 1999.
- 77.- "*Climalit con Planitherm S*", una nueva generación en vidrio de control energético, Revista del vidrio plano, Proporción 3, S.A., España número. 44-1997.
- 78.- Arasteh, D. y Lyons, P. "*Desempeño en función de la comodidad*", La revista del vidrio, fachadas y ventanas. Volumen uno, número cinco, Otoño 1998.
- 79.- "*Utilizan resinas en producción de vidrio de seguridad*", La revista del vidrio, fachadas y ventanas. Volumen dos, número dos, Primavera, 1999.
- 80.- VEGLA-Saint Gobain, Bibliografía técnica de Climatop para envolvente arquitectónica.
- 81.- Vidrios Lirquen, *Un mercado con grandes fortalezas*. La revista del vidrio, fachadas y ventanas. Volumen uno, número cinco, Otoño 1998.

- 82.- *Cristales laminados de alta tecnología*. Revista del vidrio plano, España, 1997.
- 83.- Siemens, *Bibliografía técnica de material translúcido para envolvente arquitectónica*. Catálogos.
- 84.- Schweizer. *Bibliografía técnica de material translúcido para envolvente arquitectónica*. Catálogos.
- 85.- López, Tessy y Martínez, Ana. *El mundo mágico del vidrio*, La Ciencia desde México, número 137, SEP FCE CONACYT, México, 1994.
- 86.- Sheinbaum, C. *Tendencias y perspectivas de la energía residencial en México (1980-1990)* Memorias de la XVIII Reunión Nal. de la ANES, México, 1994.
- 87.-Givoni, B. *Man, climate and Architecture*, Applied Science Publishers LTD, London-Amsterdam, 1969.
- 88.- Anteproyecto de NOM-008-ENER, *Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios no residenciales*. REV. A, 99/02/26, CONAE, Sria. De Energía, México, 199.
- 89.- Taller de aplicación del anteproyecto de la NOM-008-ENER, *Envolvente de edificios no residenciales*, 2 de junio de 1999.
- 90.- García, E., *Modificaciones al sistema de clasificación climatológica de Köpen*, México, 1988.
- 91.- Watson & Kenteh Labs. *Climatic Building Design.- Energy efficient building principles*, Mc Graw Hill Book, US, 1983.
92. Camous y Watson. *El hábitat bioclimático: De la concepción a la construcción*. Ed. G. Gili, Barcelona, 1986.
- 93.- Olgyay, V., *Arquitectura y clima*. Ed. G. Gili, España, 1998..
- 94.- Szokolay, S.V., *Environmental Science Handbook for Architects and Builder*, the Construction Press, Gran Bretaña, 1980.
- 95.- Manual del vidrio, CITAV, España, 1996.
- 96.- ASHRAE, *Handbook Fundamentals*, USA, 1981
- 97.- Kreider y Rabl, *Heating and cooling of building*, Mc Graw Hill, USA, 1994.
- 98.- Rivero, Roberto, *Arquitectura y clima*, UNAM, México, 1988.
- 99.- Puppo, *Diseño y condiciones ambientales*, Boixera, Editores, Barcelona, España, 1982.
100. Ma. Adams, W., *Transmisión de calor*, Mc. Graw Hill, España, 1964.
- 101.- Duffie, *Solar engineering of thermal processes*, John Wiley & Sons, USA, 1980.
- 102.- Tudela en Vélez. R., *Diseño bioclimático y Ecotécnicas*, UAM-X. México, 1989
- 103.-Auguste, P. *Bricolaje, Aislamiento*, Paraninfo, Madrid, 1989.
- 104.- Zaldo, C., *Ciencia de materiales*, Mc Graw Hill, Madrid, 1991.
- 105.- Szokolay, S. V. *Arquitectura solar*, Blume, España, 1983.

106. Estrada Cajigal, V. *Métodos de cálculo de la radiación Solar*, X Curso de Actualización en Energía solar, LES, IIM, UNAM, 1992.
- 107.- Ramos, E. *Principios básicos de transferencia de calor*. Curso de actualización en Energía Solar, LES, IIM, UNAM, 1992.
- 108.- Iqbal, M. *An introduction to solar radiation*. Academic Press, 1983.
109. Lira, L., Morales, J. y Chávez, Y., *Equipo de medición de conductividad térmica para materiales de construcción, desarrollado en el CENIDET.*, Memorias de ANES, Mexicali, 1998.
- 110.- Izard, J. L. y Guyot, A. *Arquitectura Bioclimática*, Gustavo Gili, España, 1980.
- 111.- Tejeda, Cl., *Determinación de propiedades ópticas de materiales para el aprovechamiento de la energía solar*. Tesis. UNAM. Fac. Química, México, 1978.
- 112.- Hisashi Hansawa, *Energy conservation technology for buildings in Japan*. Office on environmental and Energy Emgineering, Takenaka Corporation, Tokio, Japan, 1993.
- 113.- Riseboro, *Historia dibujada de la Arquitectura Occidental*, Hermann Blume Edificiones, Madrid, 1982.
- 114.- Pothorn, Herbert. *Arquitectura. Cómo reconocer los estilos*. Ed. Anaya, España, 1986.
- 115.- Steadman, Phillip, *Energía, medio ambiente y edificación*, Blume, Madrid, 1978.
- 116.- Givonni Baruch, *Climate considerations in buildings and urban design*, VNR, International Thomson Publishing, Inc., USA, 1998.
- 117.- Souček, Carol, *Designing with glass*, PBC International, Inc., N.Y., 1996.
- 118.- *Guía de la Cd. universitaria*, UNAM, Instituto de Geografía, México, 1993.
- 119.- *Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-008-ENER-1999, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales*. Diario Oficial, México, 22 de septiembre del 2000.
- 120.- *Anteproyecto de Norma NOM-020-ENER, Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios residenciales hasta tres niveles*, Comisión Nacional para el Ahorro, Sría. De Energía, Octubre del 2000
- 121.- *Balance Nacional de Energía 1998*, Secretaría de Energía, México, p37.
- 122.- Barrios, P., *El vidrio plano como envolvente arquitectónica: antecedentes, el uso actual en México y su comportamiento térmico*, Estudios de arquitectura Bioclimática, Anuario, Vol. II, UAM-A-, México, 1998.
- 123.- Correa, G. y Almanza, R., *Ventanas con recubrimiento selectivo a la radiación solar a base de cobre que permiten el ahorro de energía*, Proceedings of the Millenium Solar Forum 2000, ISES-ANES, México, 2000.
- 124.- *Norma Oficial Mexicana NOM-018-ENER-1997, Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba*. Comisión Nacional de Energía, Sría. de Energía, México, Octubre de 1997.

CURRICULUM VITAE

(Relacionado con Heliodiseño y Diseño Bioclimático)



María del Pilar
Barrios
Rodríguez

es Bióloga, egresada de la Facultad de Ciencias, de la Universidad Nacional Autónoma de México, y Especialista en Heliodiseño, egresada del Centro de Investigación en Energía (antes Laboratorio de Energía Solar), de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde presentó en agosto de 1997 la Tesina titulada "Heliodiseño de espacio protegido para cultivo de ornato en clima semicálido subhúmedo", dirigida por el Dr. Francisco Ávila Segura, trabajo con el que se inicia en el manejo de propiedades físicas (ópticas) del vidrio, en la selección de las características que debe tener el material vítreo que permita a través de él, el ingreso de radiación en la longitud de onda adecuada para la realización de la fotosíntesis por parte de los organismos en el interior del espacio diseñado; así como el sistema pasivo que con vidrio, sombreado y enfriamiento evaporativo retire el calor del interior.

Estudia la Maestría en Diseño, Línea de Arquitectura Bioclimática, en la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, a partir de 1998, y presenta esta Tesis, titulada "Contribución al estudio del comportamiento térmico del vidrio plano utilizado en México como envolvente en edificaciones", dirigida por el Dr. Rubén Dorantes Rodríguez, en la cual continúa con el manejo del vidrio, ahora con enfoque experimental, al evaluar las propiedades ópticas y térmicas en diferentes tipos de vidrio, para determinar su comportamiento térmico, así como la aplicación de los valores experimentales utilizando la metodología del Proyecto de Norma PROY-NOM-008-99 de la Comisión de Ahorro de Energía, de la Sría. de Energía, con el objetivo de cuantificar el impacto en la ganancia de calor al interior de La Torre de la Rectoría de la UNAM, seleccionada como la edificación en la que se simulan modificaciones de las propiedades ópticas y térmicas del vidrio de la envolvente.

Publicaciones relacionadas con Heliodiseño y Diseño Bioclimático.

Barrios, P. y Sánchez, A. *Factor de sombreado en mallas comerciales para invernadero*, Memorias de la XVII Semana Nacional de Energía Solar, Universidad de Colima y ANES, México, 1993.

Barrios, P., *La radiación solar y la fotosíntesis*, Gaceta ENP, UNAM, México, Época IV, Núm. 218, Nov. 21, 1993.

Ávila, F., Barrios, P. y Morillón, D. *Heliodiseño de un espacio protegido para plantas de ornato en un clima semicálido subhúmedo*. Memorias de la XVIII Reunión Nacional de Energía Solar. Univ. de Sonora y ANES, México, 1994.

Barrios, P. y Ávila, F. *La fotosíntesis como enlace entre la energía solar y la vida*. Asociación Nacional de Energía Solar, La Revista Solar No. 31, México, 1995.

Ávila, F., Vargas, B., Morillón, D. y Barrios, P. *Enfriamiento evaporativo a través de un medio poroso*. Memorias de la XX Reunión Nacional de Energía Solar. Univ. Veracruzana y ANES, México, 1996.

Ávila, F. Morillón, D. y Barrios, R. *Heliodesign of a protected space for ornamental plants in a semihot-semihumid climate*. The Fth International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Japon, 1996.

Barrios, P. y Morales, D., *La simulación del desempeño térmico de edificios como elemento de apoyo para su diseño*, 22 Semana Nacional de Energía Solar, Mexicali, B.C. México, 1998

Barrios, P., *El vidrio plano como envolvente arquitectónica: antecedentes, el uso actual en México y su comportamiento térmico*, Estudios de Arquitectura Bioclimática, Universidad Autónoma Metropolitana, Anuario, Vol. II, 1998

Barrios, P., Dorantes, R. y Rodríguez, M. *La composición química del vidrio y su relación con el comportamiento térmico en la construcción*. 22 Semana Nacional de Energía Solar, Mexicali, B.C.N., México, 1998

Barrios, P. y Dorantes, R. *Límites de confiabilidad de propiedades ópticas de vidrios comerciales en México, análisis comparativo con resultados experimentales*. Proceedings of the ISES Millennium solar Forum 2000, México, 2000.