



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Aplicación de polímeros para la protección solar de envolventes acristaladas en Bogotá, como un sistema pasivo complementario que permita lograr un espacio energéticamente eficiente

Arq. Eduardo Javier Tibanta Orbes

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Artes, Maestría en construcción
Bogotá D.C.
2016

Aplicación de polímeros para la protección solar de envolventes acristaladas en Bogotá, como un sistema pasivo complementario que permita lograr un espacio energéticamente eficiente

Arq. Eduardo Javier Tibanta Orbes

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Construcción

Director:

MSc. Arq. Andrés Felipe Pérez Marín

Línea de Investigación:

Arquitectura sostenible

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Artes, Maestría en construcción
Bogotá D.C.

2016

Dedicado a mi familia, el motor de mi vida. A su apoyo incondicional desde siempre y a su constante preocupación por verme superar este reto.

Agradecimientos

Agradezco enormemente a quienes me acompañaron y ayudaron durante todo el proceso, a mis padres Ruby Estela Orbes Ayala y Eduardo Efraín Tibanta Pepinosa, a mis hermanos María Paula y Mario Alejandro Tibanta Orbes, a mis familiares, amigos, así como también a mi novia Laura Sanabria Serrano.

A mi director Andrés Felipe Pérez Marín, por invitarme a ser parte de su investigación, confiar en mis capacidades y tener tanta paciencia.

Agradezco a la Maestría en construcción de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá por el conocimiento adquirido y por darme la oportunidad de haber pertenecido a esta honorable institución.

Al profesor Jorge Ramírez Fonseca por sus críticas constructivas, y a su grupo de trabajo de Arquitectura y bioclimática por abrirme las puertas y compartirme su conocimiento para el desarrollo de la presente tesis.

Finalmente, a las instituciones que me facilitaron la toma de mediciones en la ciudad de Bogotá, al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), a la empresa RST Asociados S.A.S ubicada en el edificio FENIX y al Departamento Nacional de Planeación ubicado en el edificio FONADE - DNP.

Resumen

El consumo energético de nuestros edificios en sistemas de iluminación y climatización artificial para lograr un espacio confortable en el interior, nos lleva a buscar fuentes alternativas de energía abundantes en la naturaleza. Para el aprovechamiento de estos recursos, este trabajo plantea el análisis de la envolvente como un elemento dinámico que debe interactuar con el exterior y que sea capaz de modificar los elementos naturales respondiendo a las necesidades del interior; esto se realiza mediante la aplicación de polímeros para la protección solar de envolventes acristaladas en Bogotá, como un sistema pasivo complementario que permita lograr un espacio confortable de manera natural y por ende, energéticamente eficiente.

Las características de los polímeros se obtuvieron del trabajo de investigación “Análisis de la morfología estructural en polímeros para la protección de la radiación solar en envolventes en Bogotá” a cargo del profesor Andrés Felipe Pérez Marín; esta investigación busca determinar las propiedades térmicas resultantes de la inclusión de varios tipos de polímeros compuestos (PET, PVC, PC, PE, PS y PP) entre dos láminas de vidrio. Los resultados obtenidos en esta investigación serán aplicados en el modelo virtual de varios espacios objeto de estudio escogidos en la ciudad de Bogotá con el fin de verificar el nivel de mejoramiento de las condiciones ambientales en el interior. Esto debido a que los espacios escogidos presentan deficiencias importantes en el ambiente interior identificadas mediante un proceso de selección de los espacios, la realización de mediciones ambientales y un diagnóstico bioclimático.

Palabras clave: Polímero, envolvente acristalada, sistema pasivo, eficiencia energética.

Abstract

The energy consumption of our buildings in lighting systems and artificial air conditioning to achieve a comfortable space in the interior, leads us to find alternative sources of energy abundant in nature. In order to take advantage of these resources, this work raises the analysis of the envelope as a dynamic element that must interact with the outside and that is able to modify the natural elements responding to the needs of the interior; This is done by the application of polymers for the solar protection of glazed envelopes in Bogotá, as a complementary passive system that allows to achieve a comfortable space in a natural and therefore, energy efficient way.

The characteristics of the polymers were obtained from the research work "Analysis of structural morphology in polymers for the protection of solar radiation in envelopes in Bogotá" by Professor Andrés Felipe Pérez Marín; This research aims to determine the thermal properties resulting from the inclusion of several types of composite polymers (PET, PVC, PC, PE, PS and PP) between two sheets of glass. The results obtained in this research will be applied in the virtual model of several spaces of study chosen in the city of Bogota in order to verify the level of improvement of the environmental conditions in the interior. This is due to the fact that the chosen spaces present important deficiencies in the interior environment identified through a process of selection of the spaces, the realization of environmental measurements and a bioclimatic diagnosis.

Keywords: Polymer, glass facade, passive system, energy efficiency.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Abstract	X
Lista de figuras	XIV
Lista de tablas	XVII
Lista de ecuaciones	XX
Glosario	XXI
Introducción	1
Capítulo 1. Planteamiento de la tesis	3
1.1 Pregunta de investigación y planteamiento del problema	3
1.2 Hipótesis de partida	4
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Metodología.....	6
1.5.1 Metodología general	6
1.5.2 Metodología específica	6
1.5.3 Diseño metodológico.....	8
1.5.4 Estudio de caso.....	10
Capítulo 2. Marco teórico	13
2.1 Eficiencia energética.....	13
2.2 Sistemas pasivos.....	15
2.2.1 Condiciones locales	16
- Ganancias externas	16
Sol.....	17
Clima.....	22
- Ganancias internas	24
Ocupantes.....	25
Equipos y luminarias	25
2.2.2 Estrategias bioclimáticas.....	25
- Confort térmico	33
Parámetros de confort.....	33

Modelos de confort	35
- Confort visual.....	40
Niveles de iluminación	41
Propiedades de la luz	42
- ASHRAE – RETILAP	44
Capítulo 3. Estado del arte, materiales, recursos y técnica.....	47
3.1 Envolventes acristaladas.....	47
3.2 El vidrio	52
3.2.1 Características.....	53
3.2.2 Tipos de vidrio	54
3.3 Polímeros.....	61
3.3.1 Clasificación	62
3.3.2 Estructura	63
3.3.3 Propiedades	65
3.3.4 Polímeros compuestos	66
- Polímeros objeto de estudio.....	66
3.4 Nuevos materiales.....	70
3.5 Recursos.....	72
3.5.1 Equipos de medición.....	73
3.5.2 Estaciones meteorológicas	75
3.5.3 Software de simulación.....	75
3.6 Técnica	77
Capítulo 4. Escogencia espacios objeto de estudio y evaluación de sistemas pasivos	81
4.1 Escogencia espacios objeto de estudio.....	81
4.1.1 Condiciones locales	84
- Ganancias externas	85
Clima.....	85
Sol.....	90
- Ganancias internas.....	93
Ocupantes	93
Equipos y luminarias.....	94
4.1.2 Mediciones realizadas	98
- Temperatura y humedad relativa (Datalogger).....	98
- Ventilación (Anemómetro)	101
Iluminación (luxómetro).....	110
4.2 Evaluación de sistemas pasivos.....	114
4.2.1 Ficha de diagnóstico bioclimático	114
Capítulo 5. Punto de referencia y aplicación de polímeros para la protección solar de la envolvente	117
5.1 Punto de referencia – condiciones para la simulación	117
5.1.1 Niveles de confort punto de referencia.....	121
- Modelo de confort estático (PMV – PPD).....	122
- Modelo de confort adaptativo.....	123
5.2 Aplicación de polímeros para la protección solar de la envolvente	125
5.2.1 Parámetros de medición paneles tipo sándwich	127
5.2.2 Ganancias solares internas tras la aplicación de los nuevos materiales.....	130

5.2.3	Comparación de los parámetros de confort obtenidos tras la aplicación de los nuevos materiales.....	132
5.2.4	Comparación de los niveles de confort entre los nuevos materiales evaluados.....	134
	Modelo de confort estático (PMV – PPD)	134
	Modelo de confort adaptativo	136
5.3	Punto de referencia (CP) – Aplicación del nuevo material: Panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175”	137
5.3.1	Comparación de los parámetros de confort entre el punto de referencia (CP) y el nuevo material: panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (CP)	138
5.3.2	Comparación entre los niveles de confort entre el punto de referencia (CP) y el nuevo material: panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (CP)	139
	Modelo de confort estático (PMV – PPD)	140
	Modelo de confort adaptativo	142
6.	Conclusiones y recomendaciones	143
6.1	Conclusiones	143
6.2	Recomendaciones	145
	Bibliografía	147

Anexos:

- A. Localización de estaciones meteorológicas
- B. Análisis general y específico del entorno inmediato
- C. Inventario puestos de trabajo y porcentaje de ocupación
- D. Registros mediciones temperatura y humedad relativa (Dataloggers)
- E. Registros mediciones velocidad del viento (Anemómetro)
- F. Registros mediciones niveles de iluminación (Luxómetro)
- G. Ficha de diagnóstico bioclimático
- H. Ficha de parámetros modelo virtual
- I. Simulaciones punto de referencia (Confort y ganancias solares modelo con persianas (CP))
- J. Simulaciones punto de referencia (Confort y ganancias solares modelo sin persianas (SP))
- K. Ganancias solares internas tras la aplicación de los nuevos materiales. Modelo virtual sin persianas (SP)
- L. Parámetros de confort tras la aplicación de los nuevos materiales. Modelo virtual sin persianas (SP)
- M. Parámetros de confort tras la aplicación del nuevo material panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175. Modelo virtual con persianas (CP)

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Izquierda: Clasificación de las zonas climáticas en la tierra dependiendo de su latitud. Derecha: Pisos térmicos en Colombia dependiendo de la altitud. Fuente: Elaboración propia	16
Figura 2. Inclinación del eje terrestre. Fuente: Elaboración propia	18
Figura 3. Montea solar para Bogotá. Fuente: Elaboración propia basado en Cantarell (1990)	18
Figura 4. Espectro visible por el ojo humano. Fuente: Elaboración propia basado en (Giménez Molina, 2011)	19
Figura 5. Curva de energía vs. Longitud de onda de una fuente térmica. Fuente: Elaboración propia basado en (Serra Florensa & Coch Roura, 1995)	20
Figura 6. Comportamiento térmico ideal frente a la radiación solar por un elemento transparente. Fuente: Elaboración propia basado en (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013)	21
Figura 7. Diferencia de presiones y posición del NPL par diferentes configuraciones de aberturas en ausencia de viento. Fuente: AChEE (2012).....	30
Figura 8. Interacción entre el efecto Stack y el viento exterior sobre una progresión en la velocidad del viento. Fuente: AChEE (2012).....	30
Figura 9. Tipos de ventilación natural: A) Por una abertura, B) Por dos aberturas, C) Transversal (cruzada), D) Transversal (cruzada) mecanismo tiro térmico, E) Stack directa y F) Stack indirecta. Fuente: AChEE (2012).....	31
Figura 10. Escala de sensación térmica de ASHRAE. Fuente: Elaboración propia basado en http://www.healthyheating.com/	37
Figura 11. Rangos de confort establecidos para el modelo adaptativo. Fuente: (Brager & de Dear, 2001)	39
Figura 12. Diferencia entre el espectro visible de la radiación solar y de una luz de incandescencia. Fuente: (Monroy, 2003 - 2006, pág. 17).....	43
Figura 13. Izquierda: Crystal Palace (Joseph Paxton 1851) Fuente: http://arquibooks.blogspot.com/ . Derecha: Edificio Hallidie (Willis Polk 1918) Fuente: http://www.greatbuildings.com/	48
Figura 14. Izquierda: Maison de Verre de Pierre Chareau (1932). Fuente: http://untappedcities.com/ . Derecha: Casa Farnsworth (1951) Fuente: http://es.wikipedia.org/	49

Figura 15. Izquierda: Bogotá destruida tras el bogotazo, carrera 7 entre calles 11 y 12. Fuente: http://desenterrandosantander.jimdo.com/ . Derecha: Perspectiva general, carrera 7 entre calles 12b y 12c. Fuente: El autor, año 2008.	50
Figura 16. Izquierda: Casa de fin de semana - Islas del Rosario (Obregón y Valenzuela 1957) Fuente: Ciudad y Arquitectura Moderna en Colombia 1950 – 1970. Derecha: Edificio BCH – Banco Central Hipotecario (Esguerra Saenz y Samper 1965) Fuente: El autor, año 2008.	51
Figura 17. Vidrios estáticos. Fuentes: varias. Elaboración propia basado en http://www.termopanelesivesco.cl/ , http://crcoedificacion.wordpress.com/ , http://www.domokyo.com/ , http://www.ison21.es/ , http://www.lghausys.com/ , www.construccion-y-reformas.vilssa.com , http://es.aliexpress.com/	54
Figura 18. Vidrios dinámicos cromogénicos. Fuentes: varias. Elaboración propia http://optica perfeccion.blogspot.com/ , http://www.indulens.com.co/ , Zinzi (1989), http://www.energies-renouvelables.org/ , https://filer.case.edu/ , http://milpa-alta-distrito-federal.anunciosred.com.mx/	57
Figura 19. Izquierda: Ensayo vidrios con cámara de agua. Derecha: Ejemplo de complejidad de fachadas. Fuente: Giménez (2011).....	60
Figura 20. Esquemas estructura física, estados a) Amofro, b) Semi-cristalino y c) Cristalino. Fuente: (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).	64
Figura 21. Izquierda: Estructura molecular de materiales poliméricos. Fuente: http://www.uvmnet.edu/ . Derecha: Ejemplo de láminas de polímeros utilizadas en la investigación Fuente: El autor, año 2016.....	66
Figura 22. Nuevos materiales (vidrio laminado). Fuente: elaboración propia basado en http://www.todochimeneas.com/	70
Figura 23. Sistemas de guiado de la luz directa. Fuente: (Kischkoweit - Lopin, 2002). ...	71
Figura 24. Consumo energético en oficinas en Bogotá. Fuente: (CORPOEMA & CAMACOL, 2014)	82
Figura 25. Evidencias de los inconvenientes térmicos y visuales encontrados durante experiencias laborales y visitas de campo. Fuente: Elaboración propia	83
Figura 26. Izquierda: IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), centro: Edificio FENIX - TELESENTINEL y derecha: Edificio FONADE - DNP. Fuente: El autor.....	83
Figura 27. Rosa de los vientos para Bogotá. Fuente: Weather tool	88
Figura 28. Análisis comparativo entre temperaturas medias alcanzadas en la ciudad, efecto “Isla de Calor”. Fuente: Elaboración propia basado en (IDEAM & FOPAE, 2004) 89	89
Figura 29. Análisis comparativo entre archivo del clima inicial (arriba) y archivo actualizado (abajo). (Temperatura y punto de rocío en °C, Humedad relativa en %). Fuente: Climate Consultant 5.4	90
Figura 30. Diagrama solar Bogotá. Fuente: Weather tool	91
Figura 31. Resumen semanal y horario de la incidencia de la radiación solar directa (izquierda) y difusa (derecha) a lo largo del año. Fuente: Weather tool	91
Figura 32. Día escogido con características similares a las presentadas el día 15 de abril de 2016. Fuente: Weather tool	119
Figura 33. Día escogido con características similares a las presentadas los días 05 y 12 de Mayo de 2016. Fuente: Weather tool.....	120

Figura 34. Día escogido con características similares a las presentadas los días 25 de mayo y 01 de junio de 2016. Fuente: Weather tool	121
Figura 35. Transmisión solar total a través del vidrio. Fuente: Elaboración propia	128
Figura 36. Cálculo del valor U panel de 4+4mm (izquierda) y panel de 6+6mm (derecha). Fuente: Elaboración propia software Design Builder	129
Figura 37. Análisis gráfico comparativo entre temperaturas operativas punto de referencia (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm "LDPE Plastilene + FP3 175". Fuente: Elaboración propia.	139
Figura 38. Análisis gráfico comparativo entre los niveles de confort estático (PMV - PPD) del punto de referencia con persianas (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm "LDPE Plastilene + FP3 175" (CP). Fuente: Elaboración propia basado en Tabla 42.	141

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Diseño metodológico propuesto y herramientas utilizadas para el desarrollo de la tesis. Fuente: Elaboración propia	9
Tabla 2. Línea de tiempo de Cumbres de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. Fuente: Elaboración: propia, fuentes: varias.....	14
Tabla 3. Sensaciones subjetivas a la velocidad del aire. Fuente: Szokolay (1981). Tomado de Fuentes (1998) p. 62	35
Tabla 4. Clasificación y estructura de los polímeros estudiados. Fuente: Elaboración propia basado en (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).....	63
Tabla 5. Especificaciones Datalogger. Fuente: Elaboración propia basado en especificaciones técnicas del equipo.....	73
Tabla 6. Especificaciones Anemómetro. Fuente: Elaboración propia basado en especificaciones técnicas del equipo.....	74
Tabla 7. Especificaciones Luxómetro. Fuente: Elaboración propia basado en especificaciones técnicas del equipo.....	75
Tabla 8. Protocolo de medición. Fuente: Elaboración propia	77
Tabla 9. Temperaturas y gráfica con rango de temperaturas medias registradas en la estación meteorológica 21206970 UNISALLE CENTRO (°C) (IDEAM, 2015). Fuente: Elaboración propia	86
Tabla 10. Variación del porcentaje de humedad relativa del aire por horas en Bogotá. Fuente: Eslava (1992)	87
Tabla 11. Valores totales mensuales de precipitación (mms) y gráfica resumen comportamiento de precipitaciones a lo largo del año según datos registrados en la estación meteorológica 21206970 UNISALLE CENTRO (IDEAM, 2015). Fuente: Elaboración propia	87
Tabla 12. Valores medios mensuales de nubosidad (octas) y horas de radiación solar. Fuente: Elaboración propia según estación meteorológica 21205012 UNIVERSIDAD NACIONAL.....	92
Tabla 13. Cálculo de ganancias internas generadas por ocupantes en espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en Ecuación 5 y Anexo C.	94
Tabla 14. Cálculo de ganancias internas generadas por equipos en espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en Ecuación 6, Ecuación 7 y Anexo C.....	96

Tabla 15. Cálculo de densidad de potencia normalizada ($W/m^2-100lux$) de acuerdo a porcentaje de ocupación de los espacios. Fuente: Elaboración propia basado en Design Builder y Anexo C	97
Tabla 16. Cálculo de ganancias internas generadas por luminarias en espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en Ecuación 8 y Anexo C.....	98
Tabla 17. Resumen temperaturas registradas durante los días de medición. Fuente: Elaboración propia	99
Tabla 18. Tipos de aperturas presentes en las envolventes IGAC, FENIX y FONADE – DNP respectivamente: Proyectante (amarillo), batiente (rojo) rejillas (azul); y Características. Fuente: Elaboración propia basado en (Agencia Chilena de Eficiencia Energética - AChEE, 2012, pág. 73).....	102
Tabla 19. Resumen velocidades de viento registradas durante los días de medición. Fuente: Elaboración propia	103
Tabla 20. Cálculo de caudales de inyección y extracción total de aire en espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en Anexo E y Ecuación 10.	107
Tabla 21. Cálculo de cambios hora para cada uno de los espacios de acuerdo a caudales de extracción. Fuente: Elaboración propia	108
Tabla 22. Cálculo de caudal mínimo exigido y cambios hora mínimos exigidos por ASHRAE Fuente: Elaboración propia basado en ANSI/ASHRAE 62.1-2007 (2007)	109
Tabla 23. Transmitancia de la luz a través del vidrio Fuente: Elaboración propia.....	110
Tabla 24. IGAC, Comportamiento niveles de iluminación natural hacia el interior. Fuente: Elaboración propia	111
Tabla 25. Niveles de iluminación natural y artificial en cada puesto de trabajo. Fuente: Elaboración propia.	112
Tabla 26. Resultados ficha de diagnóstico bioclimático. Fuente: Elaboración propia basado en Anexo G	115
Tabla 27. Correlación entre localización de dataloggers in situ (Ver esquemas Tabla 17) y espacios en modelo virtual Design Builder (Ver esquemas Anexo H). Fuente: Elaboración propia.....	118
Tabla 28. IGAC_ Diferencia entre los datos obtenidos en la simulación vs. mediciones realizadas. Fuente: Elaboración propia.	119
Tabla 29. FENIX_ Diferencia entre los datos obtenidos en la simulación vs. mediciones realizadas. Fuente: Elaboración propia.	120
Tabla 30. FONADE - DNP_ Diferencia entre los datos obtenidos en la simulación vs. mediciones realizadas. Fuente: Elaboración propia.	121
Tabla 31. Horas críticas espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en datos de Design Builder	122
Tabla 32. Aplicación de modelo de confort estático (PMV – PPD) a las horas críticas obtenidas en la simulación. Fuente: Elaboración propia basado en Comfort calculator ISO7730-1993.....	123
Tabla 33. Ubicación de la temperatura máxima absoluta dentro de los rangos de confort adaptativo establecidos para la temperatura media de Bogotá. Fuente: Elaboración propia basado en (Brager & de Dear, 2001).....	124

Tabla 34. Análisis comparativo entre temperaturas promedio y máximas absolutas entre modelos virtuales CP y SP. Fuente: Elaboración propia.....	125
Tabla 35. Análisis comparativo entre ganancias internas generadas en los modelos virtuales CP y SP. Fuente: Elaboración propia.....	126
Tabla 36. Análisis comparativo entre vidrios pre-existentes y los nuevos materiales obtenidos en la investigación. Fuente: Elaboración propia basado en catálogo de vidrios (PELDAR S.A., s.f.) y resultados investigación profesor Pérez Marín.....	129
Tabla 37. Ganancias solares internas tras aplicación de los nuevos materiales obtenidos. Fuente: Elaboración propia.....	131
Tabla 38. Parámetros de confort obtenidos tras la aplicación de los nuevos materiales. Fuente: Elaboración propia basado en datos de Design Builder.....	133
Tabla 39. Aplicación del modelo de confort estático (PMV – PPD) para los nuevos materiales evaluados. Fuente: Elaboración propia basado en Comfort calculator ISO7730-1993.....	135
Tabla 40. Aplicación del modelo de confort adaptativo para los nuevos materiales evaluados. Fuente: Elaboración propia.....	136
Tabla 41. Análisis comparativo entre parámetros de confort del punto de referencia con persianas (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175”. Fuente: Elaboración propia basado en datos de Design Builder.....	138
Tabla 42. Análisis comparativo entre los niveles de confort estático (PMV - PPD) del punto de referencia con persianas (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (CP). Fuente: Elaboración propia basado en Comfort calculator ISO7730-1993.....	141
Tabla 43. Análisis comparativo entre los niveles de confort adaptativo del punto de referencia con persianas (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (CP). Fuente: Elaboración propia.....	142

Lista de ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1. Fórmula modelo adaptativo de confort. Fuente: (Godoy Muñoz, 2012).....	39
Ecuación 2. Cálculo del coeficiente de transmisión de calor K de cerramientos compuestos. Fuente: (NBE CT-79, 1979)	71
Ecuación 3. Cálculo de la resistencia térmica en capas homogéneas. Fuente: (ISO 6946, 1996)	72
Ecuación 4. Cálculo de la resistencia térmica total. Fuente: (ISO 6946, 1996).....	72
Ecuación 5. Cálculo de ganancias internas generadas por ocupantes. Fuente: Elaboración propia basado en Design Builder.....	93
Ecuación 6. Cálculo de ganancias internas generadas por computadores. Fuente: Elaboración propia basado en ASHRAE 2013 (Orfanou, 2014)	95
Ecuación 7. Cálculo de ganancias internas generadas por computadores. Fuente: Elaboración propia basado en ASHRAE 2013 (Orfanou, 2014)	95
Ecuación 8. Cálculo de la potencia máxima de la iluminación (W). Fuente: Design Builder	97
Ecuación 9. Cálculo de caudal de aire que pasa por una apertura. Fuente: (Fuentes Freixanet & Rodríguez Viqueira, s.f.) según ASHRAE Handbook Fundamentals 2001. ibid. p 26.11.	106
Ecuación 10. Cálculo de caudal de aire que pasa a través de las aperturas. Fuente: Asesorías profesor Jorge Ramírez Fonseca.	106
Ecuación 11. Cálculo de caudal mínimo por persona. Fuente: ANSI/ASHRAE 62.1-2007 (2007)	109
Ecuación 12. Cálculo de modelo de confort según modelo adaptativo para la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia basado en (Brager & de Dear, 2001)	124

Glosario

Eclíptica: Corresponde a la línea curva por donde transita el sol aparentemente alrededor de la tierra. Se forma por la intersección del plano de la órbita terrestre con la esfera celeste (Serra Florensa & Coch Roura, 1995).

Temperatura máxima absoluta: Es la temperatura más elevada registrada durante una década, correspondiente a cada mes (Evans, s.f.).

Temperatura máxima: Consiste en el valor promedio de las temperaturas máximas alcanzadas en todos los días del mes durante una década. Esto ocurre generalmente a las 2pm cuando se alcanza la máxima temperatura de todo el día (Evans, s.f.).

Temperatura media: Es el promedio de todas las mediciones realizadas durante el mes (Evans, s.f.).

Temperatura mínima: Consiste en el valor promedio de las temperaturas mínimas de todos los días del mes registrados durante una década. Generalmente estas temperaturas se alcanzan en las madrugadas, antes de que salga el sol (Evans, s.f.).

Temperatura mínima absoluta: Es la temperatura más baja registrada en una década, correspondiente a cada mes (Evans, s.f.).

Amplitud térmica media mensual: Es la diferencia entre la temperatura máxima registrada y la temperatura mínima de cada mes (Evans, s.f.).

Amplitud térmica absoluta: Es la diferencia entre la temperatura máxima y mínima absoluta anual (Evans, s.f.).

Humedad absoluta: la cantidad de líquido contenido en el aire, la humedad absoluta se expresa en peso por unidad de volumen (gr/m^3) (Fuentes Freixanet V. A., 1998).

Conducción: Se da cuando la energía calorífica (grado de agitación molecular), se propaga de molécula a molécula en un cuerpo. La velocidad de propagación varía según la conductibilidad del material (Serra Florensa & Coch Roura, 1995).

Convección: Este mecanismo se presenta con los fluidos los cuales se calientan normalmente por conducción. Esto ocasiona que el fluido, como por ejemplo el aire, disminuya su densidad y tienda a subir siendo sustituido por una parte más fría. La velocidad de transmisión del calor dependerá básicamente de la velocidad con la que se mueva el fluido (Serra Florensa & Coch Roura, 1995).

Radiación: Se define como la transferencia de energía a través de ondas electromagnéticas que no requiere la presencia o intervención de materia para su transporte. Este fenómeno se produce cuando dos superficies de distinta temperatura radian térmicamente la una hacia la otra. Durante este proceso, una de las superficies, la receptora, absorbe la radiación y la transforma nuevamente en calor. La velocidad de propagación se puede considerar instantánea (Serra Florensa & Coch Roura, 1995).

Transmitancia visible o transmisión de la luz día: Es el porcentaje de luz visible que pasa a través del vidrio. Acristalamientos con una alta transmitancia visible pueden generar entornos claros con una buena cantidad de luz, sin embargo pueden ocasionar problemas de deslumbramiento. Por el contrario, los acristalamientos que tienen una baja transmitancia visible pueden crear interiores sombríos como también disminuir la visibilidad hacia el exterior (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013).

Reflectancia visible o reflectancia de la luz día: Indica hasta qué punto el vidrio se comporta como un espejo tanto por dentro como por fuera del espacio. Es la cantidad de luz que se refleja tras incidir sobre un cristal. Una alta reflectancia trae consigo una baja transmitancia visible (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013).

Coefficiente de ganancia solar (SHGC – Solar Heat Gain Coefficient) o coeficiente de sombra (SC – Shading Coefficient): Es la relación que existe entre el calor solar total transmitido y la energía solar incidente. Se califica con un rango de valores que van desde 0.9 a 0.1, siendo los valores más bajos los que indican menores ganancias de calor (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013).

Valor – U: Se refiere a la medida de la transferencia de calor a través del vidrio debido a las diferencias de temperatura que existen entre el interior y el exterior. El valor – U es la velocidad del flujo de calor, por lo tanto los números más bajos corresponden a un mejor desempeño. De manera inversa se expresa el valor R el cual mide la resistencia al flujo de calor ($R=1/U$) y en donde los números más altos indican un mejor desempeño (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013).

La transmitancia ultravioleta: Indica el porcentaje de la radiación ultravioleta que pasa a través del vidrio. La radiación ultravioleta (UV) es responsable de la quemadura de las personas, contribuye a la decoloración de la tela y al deterioro del interior (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013).

Selectividad espectral: Se refiere a la capacidad que tiene un vidrio de responder de manera diferente a la incidencia de varias longitudes de onda de la radiación solar, en otras palabras, la capacidad de admitir la luz visible y rechazar al mismo tiempo el calor infrarrojo invisible no deseado. Un vidrio con alta transmisión de luz y un bajo coeficiente de ganancia de calor indica selectividad espectral (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013).

Color del vidrio: Además de ser un aspecto determinante en la apariencia exterior del edificio, afecta la visibilidad del espacio hacia el exterior. Así por ejemplo, el color bronce estropea un cielo azul y la apariencia de los acabados interiores (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013).

Factor solar: Se define como la relación entre la energía total que entra a un espacio a través de un acristalamiento y la energía incidente. La energía total corresponde a la energía solar directa y la energía cedida por el vidrio hacia el espacio interior tras su calentamiento. Entre menor sea el valor de el factor solar, menor serán las aportaciones solares (Giménez Molina, 2011).

Isotáctico: Cuando los grupos sustituyentes de la cadena principal de un polímero quedan por encima o por debajo de la misma (López Carrasquero, 2004).

Sindiotáctico: Cuando los grupos sustituyentes quedan alternados por encima y por debajo de la cadena principal de un polímero (López Carrasquero, 2004).

Atáctico: Cuando existe una secuencia al azar sin un orden determinado en la cadena principal de un polímero (López Carrasquero, 2004).

Calandrado: Este proceso consiste en pasar un compuesto a través de un juego de tres o más rodillos de grandes dimensiones los cuales a través de la rotación y la compresión permitan formar la película o lámina con el espesor deseado (Mariano, 2011 - 2014).

Introducción

El consumo energético de nuestros edificios ocasionado en gran medida por sistemas de iluminación y climatización artificial para lograr ambientes confortables en el interior, nos ha llevado a buscar fuentes alternativas de energía abundantes en la naturaleza.

En la ciudad de Bogotá, localizada a una altitud de 2.600 msnm, clasificada por el IDEAM como un clima frío, insólitamente existen edificios que por decisiones equivocadas y malas prácticas de diseño, sufren de calentamiento excesivo en su interior y bajos niveles de iluminación requiriendo del uso constante de sistemas que generan un consumo energético innecesario. Como se verá más adelante, esta situación se debe entre otros factores al uso inapropiado del vidrio como material de fachada y se puede evidenciar cuando al ingresar, vivir o trabajar en estos lugares, se puede encontrar que las luminarias permanecen encendidas durante el día, o que con el tiempo aparecen dispositivos de climatización artificial como ventiladores y en casos extremos aire acondicionado en un clima en que se supone, cuenta con unas características climáticas óptimas para su aprovechamiento. Ésta situación se presenta en infinidad de edificios, espacios en los cuales las personas pasan gran parte de su vida, que albergan su cotidianidad, y en los cuales se puede ver afectado su rendimiento e incluso su salud.

El vidrio es un material que posee grandes cualidades como el aprovechamiento de la luz natural y la relación visual que genera con el exterior, sin embargo también presenta importantes desventajas como el ingreso de la energía solar al interior, el efecto invernadero que esto produce y su baja capacidad aislante. Por esta razón surge la necesidad de buscar nuevos materiales que sean capaces de solucionar estos inconvenientes y que incluyan nuevas tecnologías para lograr envolventes acristaladas que respondan de una mejor manera a los factores externos.

Además de buscar el mejoramiento del material, es de igual o mayor importancia considerar la “envolvente” como un elemento dinámico que interactúe favorablemente con el exterior y el interior, que sea capaz de modificar los elementos naturales

“admitiéndolos, rechazándolos y/o transformándolos cuando así se requiera” (Fuentes Freixanet V. A., 1998, pág. 10).

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo estudia el mejoramiento de los inconvenientes mencionados en varios espacios objeto de estudio, los cuales fueron escogidos por deficiencias importantes en parámetros como su orientación, porcentaje de utilización del vidrio en la fachada, problemas de sobrecalentamiento o deslumbramiento, entre otros. Esta evaluación se realizará desde dos puntos de vista: Por un lado la caracterización de las variables causantes de los problemas de confort, esto mediante la realización de un diagnóstico bioclimático a cada uno de los espacios objeto de estudio; y por el otro, la aplicación de polímeros para la protección solar de la envolvente acristalada de dichos espacios, esto con el fin de verificar la eficiencia de estos nuevos materiales reflejada en los niveles de mejoramiento de las condiciones térmicas en el interior.

Los “nuevos materiales”, entendidos para efectos del presente trabajo como la combinación del vidrio y los polímeros, resultan del trabajo de investigación *“Análisis de la morfología estructural en polímeros para la protección de la radiación solar en envolventes en Bogotá”* a cargo del profesor Andrés Felipe Pérez Marín; esta investigación busca determinar las propiedades resultantes de la inclusión de varios tipos de polímeros compuestos (PET, PVC, PC, PE, PS y PP)¹ entre dos láminas de vidrio formando un panel tipo sándwich.

Es importante destacar que aunque dentro del trabajo se estudian también los problemas visuales que se presentan en el interior de los espacios, el objetivo de la investigación se enfocará solamente en evaluar el mejoramiento desde el punto de vista térmico, lo anterior teniendo en cuenta que la investigación realizada por el profesor Pérez Marín no contempla propiedades ópticas difusoras de la luz, por lo cual éste tipo de mejoramiento dependería de mecanismos adicionales al vidrio.

¹ Cuando se hable de polímeros compuestos en la presente investigación, se hablará de la combinación de dos láminas de distinto material que se unen para complementar sus propiedades ópticas y térmicas (sistema tipo “blend”).

Capítulo 1. Planteamiento de la tesis

Se inicia con el planteamiento de la tesis y dentro de éste se incluyen aspectos fundamentales como: La formulación de la pregunta de investigación y con esto, el planteamiento del problema, la formulación de la hipótesis de partida, la justificación, los objetivos generales y específicos, la metodología general, específica y el diseño metodológico planteado.

1.1 Pregunta de investigación y planteamiento del problema

¿Cómo los nuevos materiales de protección solar incluidos en el vidrio podrían ser capaces de solucionar los problemas térmicos en el interior?

Durante las últimas décadas, el vidrio ha llegado a ser un material indispensable en la construcción de edificios gracias a sus excelentes características y propiedades, por esta razón se ha convertido en un “elemento de expresión arquitectónica fundamental como se ha demostrado a lo largo de los siglos XIX y XX” (Giménez Molina, 2011, pág. VII). Sin embargo y como se ha mencionado anteriormente, este material presenta grandes deficiencias que junto con prácticas de diseño equivocadas, impiden la explotación de sus potencialidades. Esto ocasiona que los edificios no logren estándares de confort de manera natural y por lo tanto deban recurrir a dispositivos mecánicos de iluminación y climatización artificial que ocasionan una construcción energéticamente deficiente.

“La arquitectura contemporánea parece olvidar su relación con el ambiente natural y sacrifica el bienestar de los usuarios a cambio de una expresión formal mal entendida que obedece a modas transitorias, importadas irracionalmente de un medio distinto de aquel donde se halla el sitio del proyecto” (Fuentes Freixanet V. A., 1998, pág. 101)

A nivel mundial, el sector de la construcción es uno de los más contaminantes y contribuye cada vez más al deterioro del planeta. Según la UNEP – SBCI (United Nations Environment Programme – Sustainable Buildings and Climate Initiative)² los edificios son responsables del 40% del consumo anual de energía y de la emisión de hasta un 30% de todos los gases de efecto invernadero (GEI) relacionados con el consumo de energía (UNEP, s.f.).

A pesar de que Colombia no se encuentra dentro de los grandes emisores de GEI a nivel mundial y que la energía que se consume proviene principalmente de una fuente catalogada por muchos como limpia y renovable (energía hidroeléctrica); siempre existirá la necesidad de disminuir la demanda en el consumo energético de nuestros edificios.

1.2 Hipótesis de partida

La aplicación de polímeros de protección solar en envolventes acristaladas en Bogotá podría lograr mejoras en las características térmicas del interior, siempre y cuando se constituyan como un sistema pasivo complementario.

1.3 Justificación

Así como la UNEP – SBCI afirma que el sector de la construcción es uno de los más contaminantes, señala también que éste posee el mayor potencial para la disminución de las emisiones de GEI “a bajo costo o sin costo” (UNEP, s.f.).

Es importante lograr edificios energéticamente eficientes, reconociendo y estudiando todas las posibilidades que surgen hoy en día para el aprovechamiento de la energía del entorno.

En la actualidad existen edificios que poseen grandes superficies acristaladas y en donde los problemas de sobrecalentamiento o deslumbramiento son comunes. Por esta razón es necesario buscar el mejoramiento de las características tanto de los materiales como de la técnica, es decir la manera cómo se aplican en la envolvente. De esta manera surge la importancia en la aplicación de sistemas pasivos los cuales deberían

²UNEP – SBCI: Iniciativa para Edificios Sostenibles y Clima del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente PNUMA.

considerarse desde el proceso de diseño, sin embargo existen edificios construidos con unas condiciones ya establecidas, y en donde los nuevos materiales se podrían considerar como una posible solución para los problemas preexistentes. Es importante destacar que varios de los autores consultados coinciden en que de todas las acciones que se puedan tomar para mejorar la eficiencia energética de un edificio, la más eficaz es la protección térmica de la envolvente.

La arquitectura como una profesión de carácter social debería enfatizarse en la tendencia bioclimática como un instrumento para mejorar la vida de las personas. La integración de un edificio con su contexto y la disminución de su consumo energético no deberían traer repercusiones en el costo ni la estética del proyecto, entendiendo además la estética como un término muy subjetivo. La finalidad de todo edificio debe ser el confort, debido a que esto influye además de la salud en los ocupantes, en su capacidad de concentración lo que se traduce en eficiencia y productividad en su trabajo.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la aplicación de los polímeros compuestos (PET, PVC, PC, PE, PS y PP) para la protección de la radiación solar de envolventes acristaladas en Bogotá, como un sistema pasivo complementario que permita lograr un espacio confortable de manera natural y por ende, energéticamente eficiente.

1.4.2 Objetivos específicos

Evaluar el comportamiento térmico resultante de la combinación de diferentes tipos de polímeros aplicados en el vidrio.

Estimar el porcentaje de reducción de la radiación solar después de haber aplicado las características de los nuevos materiales en la envolvente acristalada.

Determinar si la aplicación de los polímeros de protección solar se constituye como un sistema pasivo complementario mediante la realización de una ficha de diagnóstico bioclimático para los espacios objeto de estudio.

Aplicar los modelos de confort de balance térmico y adaptativo en cada uno de los espacios para determinar si las condiciones térmicas resultantes cumplen o no con los estándares exigidos.

1.5 Metodología

Según Fuentes (1998), *“La palabra método significa modo razonado de obrar”*(pág. 8). Es una forma de proceder que responde a la lógica, y que consiste en actuar a través de acciones consecutivas, que buscan cumplir un objetivo. A continuación se explica la metodología general y específica utilizada para el desarrollo del trabajo para concluir con la elaboración de un diseño metodológico propio.

1.5.1 Metodología general

El desarrollo del trabajo en general se realiza en dos etapas: La primera consiste en el trabajo de investigación realizado a cargo del profesor Pérez Marín, en donde se realizaron numerosos ensayos con el fin de determinar las características resultantes de la inclusión de polímeros compuestos (PET, PVC, PC, PE, PS y PP) en medio de dos láminas de vidrio. La segunda consiste en la realización de la presente tesis como complemento de la etapa anterior. Esta etapa consiste en la escogencia de tres espacios objeto de estudio los cuales poseen aciertos y desaciertos comunes en el desarrollo de la arquitectura en cuanto a la aplicación del vidrio y de sistemas pasivos. Sobre estos espacios se evaluará la aplicación de los nuevos materiales como un sistema pasivo complementario.

1.5.2 Metodología específica

Se refiere a la ejecución de la segunda etapa señalada en la metodología general y divide el presente trabajo en cinco fases, así:

1. La primera consiste en realizar un marco teórico que incluya los conceptos que se desarrollarán en las fases posteriores de análisis y simulación.

2. La segunda consiste en realizar un estado del arte sobre los avances registrados en el mejoramiento de las prestaciones energéticas del vidrio, realizar una descripción de los nuevos materiales estudiados, los equipos – recursos empleados y la técnica.
3. La tercera fase consiste en la escogencia de los espacios objeto de estudio y consiste en determinar si éstos espacios poseen o no problemas térmicos y visuales, cabe destacar que en cuanto a los problemas térmicos en esta fase se generarían las bases para que posteriormente, mediante la generación de un modelo virtual se puedan obtener los parámetros de confort para que sean evaluados por los modelos establecidos. En esta fase se realiza un análisis de las condiciones locales, es decir de aquellas que generan ganancias térmicas y que ocasionan un ambiente incómodo en el interior. Posteriormente, de acuerdo a la asesoría prestada por el profesor Jorge Ramírez Fonseca se realizan mediciones ambientales de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, renovación de volumen de aire, niveles de iluminación natural y artificial; con el fin de confirmar la problemática identificada. Cabe recordar que las mediciones de iluminación se realizan solamente con un carácter informativo, pues las posibles mejoras generadas por la aplicación de polímeros solamente serán evaluadas desde el punto de vista térmico.

Finalmente esta etapa concluye con la evaluación de los sistemas pasivos empleados en los espacios objeto de estudio mediante una ficha de diagnóstico bioclimático con el fin de determinar el estado actual del espacio desde tres puntos de vista: Análisis de la envolvente, respuesta a las condiciones externas e internas del edificio y estrategias bioclimáticas empleadas.

4. Teniendo en cuenta la información obtenida en la fase anterior, la cuarta consiste en generar una ficha de parámetros requeridos por el modelo virtual para establecer un “punto de referencia” en el software Design Builder con el fin de simular una situación aproximada a uno de los días (el más crítico) registrado durante los días de medición. Los resultados obtenidos en esta simulación serán valorados mediante la aplicación de modelos de confort térmico para establecer si los espacios cumplen o no con estándares establecidos.

Sobre este punto de referencia se aplicarán las características resultantes de los “nuevos materiales”, esto con el fin de verificar el porcentaje de incidencia que

tiene su aplicación tanto en la posible disminución de las ganancias solares como en los niveles de confort de los usuarios.

5. La última fase consiste en establecer una serie de conclusiones y recomendaciones en las cuales se pueda evidenciar si la aplicación de los polímeros de protección solar son suficientes para lograr edificios “transparentes” que sean amigables con el medio ambiente.

1.5.3 Diseño metodológico

Se realiza un diseño metodológico a través de un protocolo de desarrollo del trabajo, en él se definen una serie de herramientas a través de los cuales se busca solucionar cada una de las fases propuestas para lograr resultados cualitativos y cuantitativos en torno al objeto del trabajo. A continuación se detalla el diseño metodológico propuesto para el desarrollo del presente trabajo, el cual se encuentra correlacionado con cada uno de los capítulos del mismo (Ver Tabla 1). Dentro de la metodología propuesta es importante destacar la etapa 4 que consiste en una serie de pasos a través de los cuales se puede comprobar si un espacio tiene o no problemas térmicos, y la etapa 5 en la cual se evalúan las posibles mejoras. Estas etapas son el principal aporte del diseño metodológico propuesto.

Tabla 1. Diseño metodológico propuesto y herramientas utilizadas para el desarrollo de la tesis. Fuente: Elaboración propia

Cap.	Objeto	Especificaciones	Herramientas		
1	Planteamiento de la tesis	Planteamiento del problema, justificación, objetivos y metodología.			
2	Marco teórico	Definición de conceptos de mayor relevancia en las fases posteriores de análisis y simulación.			
3	Estado del arte de materiales - descripción de recursos y técnica	Estado del arte de los avances realizados para el mejoramiento de las propiedades del vidrio.	Revisión bibliográfica.		
		Estado del arte y definición de los polímeros, polímeros compuestos y materiales tipo blend.			
		Descripción de los equipos utilizados para la realización de las mediciones, estaciones meteorológicas, software para simulaciones y técnica.			
4	Escogencia espacios objeto de estudio - análisis condiciones del lugar - mediciones de evaluación de sistemas pasivos empleados	Escogencia de los espacios objeto de estudio	Revisión bibliografía Estadísticas CORPOEMA y CAMACOL Visitas de campo Experiencia de trabajo en ciertos espacios		
		Análisis de las condiciones locales del espacio, ganancias externas (sol y clima) y ganancias internas (Ocupantes, equipos y luminarias)	Revisión bibliográfica Estaciones meteorológicas IDEAM y SDA Archivo del clima Bogotá .epw Software Weather tool de Autodesk Software Climate Consultant 5.4 Asistente Weather Statistics and Conversions del software EnergyPlusV8-4-0 Software Autodesk 3ds Max Inventario ocupantes, equipos y luminarias in situ		
		Medición y análisis de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, renovación volumen de aire, niveles de iluminación natural y artificial en los espacios objeto de estudio	Datalogger (Temperatura y humedad relativa) Anemómetro (Velocidad del viento aperturas y renovación volumen de aire) Luxómetro (Niveles de iluminación natural y artificial) ASHRAE Standard 62.1-2007 (Niveles mínimos de ventilación) RETILAP (Niveles mínimos de iluminación)		
		Evaluación de sistemas pasivos empleados: Análisis de la envolvente, respuesta a las condiciones externas e internas del edificio y estrategias bioclimáticas empleadas	Ficha de diagnóstico bioclimático		
		5	Punto de referencia y aplicación de polímeros de protección solar en el modelo virtual	Definición punto de referencia. Verificación de niveles de confort y cargas solares.	Ficha de parámetros para la simulación Software Design Builder versión 4.5.0.148 Comfort calculator (ISO7730-1993) (Aplicación modelos de confort PMV (Predictive mean vote -Voto medio progresivo) y PPD (Predictive percentage dissatisfied - porcentaje previsto de insatisfechos)) Ecuación modelo adaptativo ASHRAE RP- 884 (Aplicación modelo adaptativo)
				Aplicación de polímeros de protección solar y medición de los niveles de confort alcanzados.	Resultados del trabajo de investigación "Análisis de la morfología estructural en polímeros para la protección de la radiación solar en envolventes en Bogotá" a cargo del profesor Andrés Felipe Pérez Marín Software Design Builder versión 4.5.0.148 Comfort calculator (ISO7730-1993) (Aplicación modelos de confort PMV (Predictive mean vote -Voto medio progresivo) y PPD (Predictive percentage dissatisfied - porcentaje previsto de insatisfechos)) Ecuación modelo adaptativo ASHRAE RP- 884 (Aplicación modelo adaptativo)
		6	Conclusiones y recomendaciones	Definición de parámetros de diseño para la construcción o adecuación de edificios "transparentes".	Resultados investigación.

1.5.4 Estudio de caso

Según (Sampieri Hernández, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006), los trabajos de investigación se clasifican en exploratorios, descriptivos, correlacionales o explicativos, *“los estudios exploratorios se realizan cuando el objetivo es examinar un tema o problema de investigación poco estudiado”*(pág. 100), teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo general del presente trabajo se puede clasificar como “exploratorio”, esto debido a que la utilización de los polímeros compuestos estudiados se constituyen como una alternativa más para solucionar los inconvenientes presentes en el vidrio y de la cual no hay registro de su aplicación en envolventes acristaladas como un sistema pasivo complementario. De igual forma no se encontró evidencia clara sobre la preocupación que debería existir por la utilización de grandes superficies vidriadas y la carencia de sistemas pasivos en ciertos edificios construidos en la ciudad de Bogotá. Estos presentan graves problemas de confort en el interior en una ciudad que se supone cuenta con las mejores características climáticas para su aprovechamiento. Lo más preocupante es que de acuerdo a la bibliografía consultada existe una tendencia de que los edificios sean cada vez más transparentes, esto además de las condiciones urbanísticas de la ciudad aportaría cada vez más al consumo innecesario de energía en sistemas de iluminación y climatización artificial.

Según Sampieri Hernández, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2006) *“algunas veces una investigación puede clasificarse como exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa... aunque un estudio sea en esencia exploratorio contendrá elementos descriptivos; o bien un estudio correlacional incluirá componentes descriptivos, y lo mismo ocurre con los demás alcances”*(pág. 110). Teniendo en cuenta lo anterior, para llegar a la fase “exploratoria” de la presente investigación, se plantean unas fases descriptivas, explicativas y correlacionales, las cuales han sido incluidas dentro del proceso de escogencia del espacio objeto de estudio, el análisis de las condiciones del lugar, las mediciones realizadas y la evaluación de sistemas pasivos empleados, principalmente el diagnóstico bioclimático expuesto en el diseño metodológico propuesto (Ver Tabla 1), así:

Los estudios descriptivos son aquellos que *“buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de... procesos, objetos o cualquier otro fenómeno a investigar”* (Sampieri Hernández, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006, pág. 102), a

pesar de que el objetivo final de la investigación como se mencionó anteriormente se centra en “explorar” las características finales de los nuevos materiales, es importante destacar la fase descriptiva que se debe realizar y que consiste en la recolección de datos del fenómeno a investigar, es decir los problemas térmicos presentados en edificios con envolventes acristaladas en Bogotá específicamente de los espacios objeto de estudio. De esta manera, durante el proceso de escogencia de dichos espacios surgen preguntas que serán respondidas durante el desarrollo del trabajo como por ejemplo ¿En qué medida la radiación solar influye en las características térmicas en el interior?, ¿Cuántos sistemas pasivos eficientes se podrían encontrar en los espacios analizados?, en su jerarquía de importancia ¿Qué lugar podría ocupar la protección térmica de la envolvente en comparación con los demás sistemas pasivos empleados?, ¿Qué niveles de confort y eficiencia energética poseen edificios con grandes envolventes acristaladas en Bogotá?, etc.

Los estudios explicativos son aquellos que *“van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos sociales”*(Sampieri Hernández, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006, pág. 108). Dentro del proceso de evaluación de los espacios objeto de estudio, mediciones y diagnóstico bioclimático surgen preguntas como por ejemplo ¿Qué características presentes en los espacios permiten que la radiación solar sea un factor con una gran influencia en las condiciones ambientales del interior?, ¿Por qué es tan importante la protección térmica de la envolvente?, ¿Qué influencia tiene la utilización de sistemas pasivos en los niveles de confort y eficiencia energética en el interior?, etc. La respuesta a estas preguntas se presenta durante el desarrollo e la investigación.

Finalmente los estudios correlacionales *“asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo...”*(Sampieri Hernández, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006, pág. 105). Después de haber realizado una descripción de los espacios objeto de estudio, de haber explicado las causas por las cuales los niveles de confort no son los mejores, surgen preguntas las cuales deberán ser respondidas tras la aplicación de los nuevos materiales, así por ejemplo ¿Será que la influencia de la radiación solar depende solamente de las especificaciones de la envolvente o de la efectividad de los sistemas pasivos adicionales presentes en los edificios?, ¿Será que la protección térmica de la envolvente es suficiente para lograr estándares de confort en el interior o depende de

sistemas pasivos adicionales para lograrlo? ¿Se relaciona la protección solar de la envolvente con los niveles de eficiencia energética en Bogotá?, etc.

Capítulo 2. Marco teórico

La eficiencia energética, objetivo principal de la presente investigación es un término que ha cobrado una gran importancia en el sector de la construcción en los últimos años. A partir de éste término se plantea la estructura del marco teórico pues se encuentra directamente relacionado con el empleo de sistemas pasivos los cuales tienen el objetivo de lograr un espacio confortable de manera natural sin la utilización de energías artificiales. Como se verá más adelante, la efectividad de estos sistemas depende del estudio de las condiciones locales, es decir de aquellas que generan ganancias externas e internas en el interior del espacio. Con base en el estudio de éstas condiciones se pueden determinar las estrategias bioclimáticas aplicables a las necesidades que se tengan (calefacción o refrigeración), cuya finalidad será la de lograr un espacio térmica y visualmente confortable.

Los conceptos mencionados se encuentran directamente ligados a la investigación y serán explicados en el desarrollo del marco teórico. Este concluye con la definición de dos herramientas que establecen una serie de parámetros que permiten evaluar si un espacio cumple o no con estándares de confort establecidos. Se trata de las normativas ASHRAE y RETILAP.

2.1 Eficiencia energética

A raíz de la primera crisis energética mundial en el año de 1973, ocasionada principalmente por el encarecimiento del precio del petróleo, varios sectores, entre ellos el de la construcción, empezaron a adoptar medidas para la reducción del consumo energético el cual provenía principalmente de combustibles fósiles. Según Giménez Molina (2011), esto junto con una repercusión ambiental por nuestras acciones, nos llevó a una primera intervención mundial que se realizó en el año de 1988 y estuvo destinada a la creación de un organismo definido como IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change que fue establecido por la ONU (Organización de las Naciones Unidas) y que

tenía la función de estudiar el cambio climático por la acción del hombre sobre el planeta. Posteriormente, surgen desde una perspectiva internacional importantes protocolos destinados a la reducción de emisiones de GEI (Gases efecto invernadero), siendo los principales los de Kioto y de Bali; los siguientes están enfocados hacia la sostenibilidad, desarrollo de energías renovables y protección de los recursos de los que dispone el planeta, así como de su conservación, se trata del Protocolo de Montreal y el Programa 21 de la ONU (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Línea de tiempo de Cumbres de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.
Fuente: Elaboración: propia, fuentes: varias.

1972	Conferencia de Estocolmo . Primera conferencia de la ONU sobre el medio ambiente.
1979	Realizada en Ginebra , fue la primera conferencia mundial sobre el clima. Se consideró al cambio climático como una amenaza real.
1988	Aparece un grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC -Intergovernmental Panel on Climate Change), creado por la organización meteorológica mundial y la ONU.
1992	Cumbre de la tierra en Río de Janeiro . Conferencia de la ONU sobre el medio ambiente y el desarrollo. Se adopta un programa de acción para el siglo XXI denominado "Programa 21".
1995	Primera conferencia de las partes (COP-Conference of the Parties) en Berlín . Responsable de mantener el proceso en marcha.
1997	Protocolo de Kioto . Los países industrializados adquieren compromisos concretos y un calendario de actuación.
2002	Aparece la participación de la sociedad civil en Johannesburgo .
2007	Se realiza en Bali y se negocia el incumplimiento de la primera fase del protocolo de Kioto. Se fija una nueva hoja de ruta para cumplir con la segunda.
2009	Se firma un acuerdo en Copenhague en el cual se fijó un máximo en el incremento de la temperatura global.
2010	Se realiza en Cancún en donde se asegura que en las conferencias de partes se deben llegar a compromisos políticos.
2011	Se realiza en Durban . Se establecen nuevas metas para el año 2015.
2012	Se celebró en Doha , su propósito fue sentar las bases para un acuerdo que establezca que el aumento de la temperatura no supere los 2°C.
2013	Se realizó en Varsovia . No se avanzó mucho en los temas, compromisos de reducción ni en su forma de evaluación.
2014	Se realizó en Lima y se llegaron a compromisos cuantificables de reducción de gases de efecto invernadero. Se aprobó aporte económico al Fondo verde para el clima.
2015	Se celebró en París , se llega a un pacto global "Acuerdo de París" para la reducción de emisiones "lo antes posible" y mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C.

Giménez (2011) afirma además que a partir del desarrollo industrial, las actividades humanas han incidido fuertemente sobre el equilibrio ambiental del planeta. Actualmente el sector energético se encuentra en una fase de transición, pues no solo se ha aumentado la demanda, sino también el impacto ambiental. Sólo a través de la incorporación de técnicas adecuadas se puede llegar a un "desarrollo sostenible", concepto de difícil definición y ligado al concepto de "eficiencia energética".

"No heredamos esta tierra de nuestros antepasados, la tenemos en préstamo de nuestros hijos" (Proverbio Sioux).

En la actualidad, muchas disciplinas giran en torno al concepto de “sostenibilidad”, que surge como resultado de la preocupación mundial ante la situación que enfrenta nuestro planeta.

Igualador(2007), afirma que,

En los últimos tiempos el término sostenibilidad tiene un uso generalizado, referido tanto a productos como a empresas, llegando a parecer que «casi todo» y «casi todos» somos sostenibles”. En este sentido, se autoproclaman «sostenibles» empresas y productos que son capaces de un cierto ahorro de energía ó reducción de emisiones contaminantes (pág. 23).

Por esta razón, se utiliza el término “eficiencia energética” como objetivo principal del trabajo, término que según Igualador(2007), puede llegar a tener una “escala de sostenibilidad”, siempre y cuando se cumplan con acciones sostenibles que contengan los siguientes principios básicos: “Que el fin obedezca a una demanda social, que las acciones mejoren (o al menos no deterioren el medioambiente y que el coste de las acciones presente una rentabilidad demostrada” (pág. 23).

2.2 Sistemas pasivos

Serra & Coch (1995) definen los sistemas de climatización natural o “sistemas pasivos” como un conjunto de componentes dentro del edificio que tienen la función de mejorar su comportamiento climático sin utilizar ninguna fuente de energía artificial. *“Los sistemas pasivos son aquellos que permiten captar, controlar, almacenar, distribuir o emitir los aportes de la energía natural sin intervención de ninguna fuente de energía (Ferreiro, 1991)”* (Fuentes Freixanet V. A., 1998, pág. 18)

Según Igualador (2007), existen varias acciones pasivas que se pueden tomar para que el edificio sea energéticamente eficiente, pero de todas éstas acciones, la que mayor importancia tiene es “la protección térmica de la envolvente” (pág. 23). Existen tres tipos de sistemas pasivos básicos: de climatización natural, iluminación natural, y control de ruidos. El presente trabajo solamente se enfocará en los sistemas pasivos de climatización e iluminación natural debido a que el aspecto acústico no se encuentra ligado al concepto de eficiencia energética y tiene un nivel de complejidad distinto al

objeto de la presente investigación; sin embargo, se debe reconocer su importancia en el desarrollo eficiente de actividades en el interior, el bienestar y la salud de las personas.

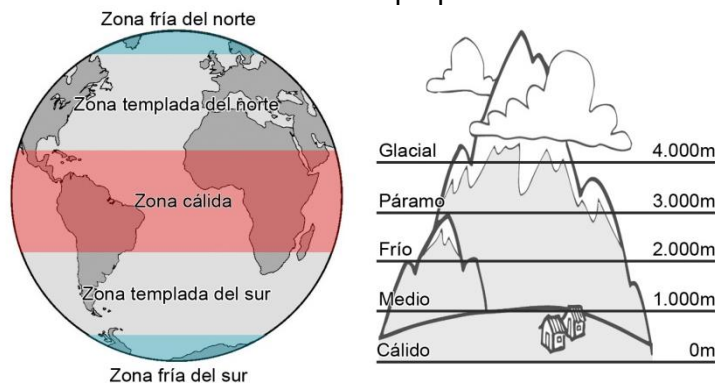
2.2.1 Condiciones locales

La primera etapa que se debería llevar a cabo para lograr un buen nivel de confort en un espacio o evaluarlo, es el análisis detallado de las condiciones locales, esto con el fin de identificar aquellas variables que pueden generar ganancias térmicas externas e internas en los espacios objeto de estudio.

- Ganancias externas

Para el análisis de las ganancias externas generadas por clima y el sol, es necesario realizar una localización general del proyecto desde una perspectiva global (latitud), pasando por una local (altitud) y culminando con una mirada específica del lugar (microclima). De esta manera se inicia con la perspectiva “global” la cual tiene como objetivo determinar la ubicación del punto de análisis dentro de las zonas climáticas establecidas por la latitud, es decir por la distancia a la Línea Ecuatorial (Ver Figura 1). Esto se lleva a cabo con el fin de determinar el tipo de clima “general” que perdura en la región (tropical o clima de las cuatro estaciones) y determinar el recorrido de uno de los principales condicionantes en el diseño arquitectónico “el sol”. En zonas tropicales, la latitud no es la determinante principal del clima, debido a que éste termina siendo una consecuencia directa de otros factores como la altitud, esta determina una clasificación más específica de las condiciones climáticas por pisos térmicos dándonos una segunda perspectiva de análisis del lugar, “La local” (Ver Figura 1).

Figura 1. Izquierda: Clasificación de las zonas climáticas en la tierra dependiendo de su latitud. Derecha: Pisos térmicos en Colombia dependiendo de la altitud. Fuente: Elaboración propia



Evans (s.f.) afirma que en zonas altas, la intensidad de la radiación solar es mayor, debido a que el espesor de la atmósfera que deben atravesar los rayos es menor.

Finalmente se concluye con la perspectiva más importante de todas debido a que aquí convergen todas las variables climáticas del lugar, la perspectiva “específica” la cual incluye aquellas variables del entorno inmediato que afectan directamente al proyecto y que generan un microclima.

Sol

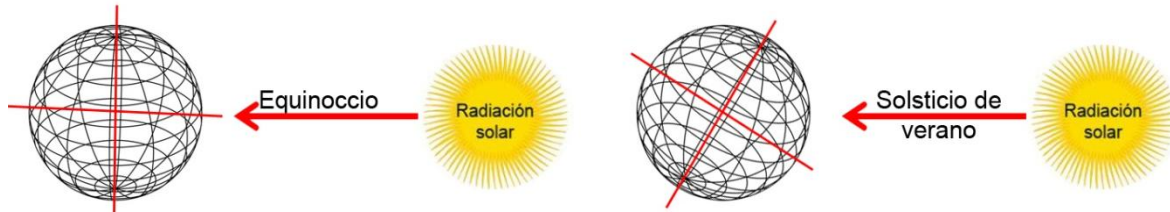
Fuentes (1998) define el sol como “la estrella más próxima y el centro de nuestro sistema solar planetario”(pág. 45). Es una esfera gaseosa formada principalmente por Hidrógeno en un 92,1% y Helio en un 7,8%. Según Cantarell Lara (1990) el sol es uno de los factores principales y determinantes en el proceso de diseño. “El Sol es el motor de todo: provoca las lluvias, mueve los vientos, produce el calor, provoca la humedad de la atmósfera y en suma, es el motor de vida”(pág. 26). Tan sólo con considerar esta variable dentro del diseño, la arquitectura podría tener una mejor integración al medio ambiente.

Diagramas solares

Según Fuentes (1998), “la geometría solar es uno de los elementos más importantes dentro del proceso de diseño arquitectónico” (pág. 44). Mediante el conocimiento de la trayectoria del sol, se puede lograr una orientación óptima del edificio, una organización eficaz de los espacios internos, y un diseño adecuado de las aberturas y dispositivos de control solar, logrando de esta manera efectos directos en el calentamiento, enfriamiento e iluminación natural del espacio y por ende en el confort interno. Los diagramas solares surgen debido a que la tierra tiene dos movimientos principales, el primero es el de translación alrededor del sol que transcurre en un período de 365d 5h 48m 45,19s y el segundo es el movimiento de rotación que transcurre en un período de 23h 56m 4,0989s. Dentro del movimiento de translación, el plano que contiene a la órbita terrestre denominado plano de la eclíptica (Ver Figura 2) forma un ángulo de inclinación de 23° 26' 21,448" (23°27') con respecto al Ecuador en ciertas épocas del año. Cuando el eje de rotación adquiere su máxima inclinación se originan los solsticios (Solsticio de verano: 21 de Junio y Solsticio de invierno: 21 de diciembre), cuando vuelve a su posición original y los rayos solares quedan perpendiculares al eje de rotación, surgen los equinoccios

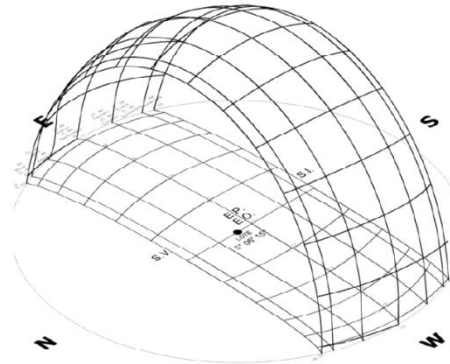
(Equinoccio de primavera: 21 de Marzo y equinoccio de otoño: 23 de septiembre). Estas condiciones determinan las cuatro estaciones además de la duración del día y la noche a lo largo del año.

Figura 2. Inclínación del eje terrestre. Fuente: Elaboración propia



Para el cálculo del diagrama o la montea solar de un punto determinado, Fuentes (1998) afirma que se debe partir de un supuesto movimiento del sol alrededor de la tierra. De esta manera, un observador ubicado sobre una superficie plana llamada horizonte, vería el desplazamiento del sol formando órbitas circulares paralelas a lo largo del año sobre una esfera denominada “bóveda celeste”(pág. 47). Al punto vertical más alto de la bóveda imaginaria se le denomina cenit, y al punto equidistante diametralmente opuesto se le denomina nadir. Cabe recordar que el grado de inclinación de la montea solar depende de la latitud del lugar (Ver Figura 3).

Figura 3. Montea solar para Bogotá. Fuente: Elaboración propia basado en Cantarell (1990)



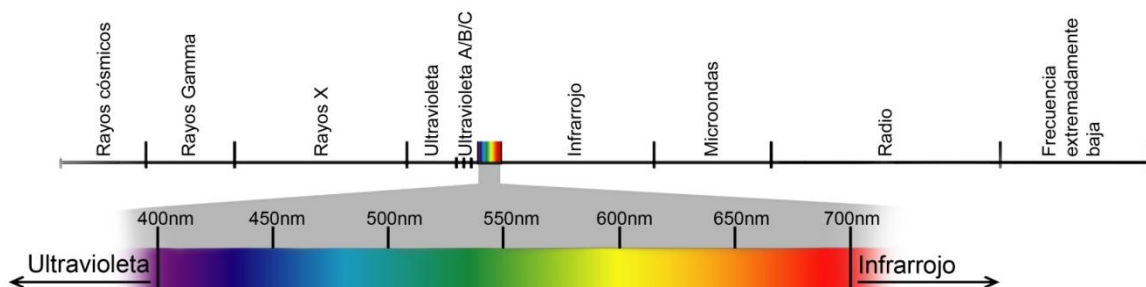
Radiación solar

Giménez (2011), la define como ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias que viajan a través del espacio transportando energía, parte de esta energía llega a la tierra sin sufrir ninguna modificación en su dirección (radiación directa), el resto de la radiación es absorbida o reflejada por partículas suspendidas en la atmósfera como gases, vapor

de agua o las nubes (radiación difusa), cabe destacar que parte de esta energía es devuelta al espacio. La radiación global medida sobre cualquier objeto será igual a la suma de la radiación directa, difusa y reflejada; esta representa un 45% de la radiación recibida por las capas exteriores de la atmósfera y su cantidad varía a lo largo del día. Por la mañana o por la tarde, la radiación solar debe recorrer más longitud en la atmósfera debido a que su ángulo de incidencia es más horizontal a diferencia del medio día en donde el ángulo de incidencia es más perpendicular.

Según Fuentes (1998), la intensidad con la que llega la radiación solar a un punto por fuera de la atmósfera terrestre a una distancia promedio de 149.597.870 km (Instituto de Astronomía UNAM), se denomina constante solar (I_{sc}) y después de varios estudios su valor más probable es de “0,137 W/cm² (W.M.O. 1980) con un rango de error de $\pm 1,5\%$ (Leyva C.)”(pág. 46). Las variaciones de ésta constante dependen del grado de actividad solar y de la naturaleza elíptica de nuestra órbita alrededor del sol, además de la inclinación del eje de rotación terrestre de 23,45°. Afirma que la radiación solar que incide sobre la atmósfera con una intensidad de 1.370 W/m², después de toparse con los fenómenos descritos llega a la tierra con una intensidad de 930 W/m² (constante de intensidad para aplicaciones arquitectónicas, considerando la posición del sol en el cenit, una atmósfera limpia y con un grado de turbiedad bajo). Esta radiación solar va desde los rayos ultravioleta de 200nm de longitud de onda, hasta las ondas infrarrojas de 3.000nm de longitud, sin embargo una pequeña franja que va desde los 400nm y 700nm (0,4 μm y 0,7 μm) corresponde al “rango visible” e incluye los colores: violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo (Ver Figura 4).

Figura 4. Espectro visible por el ojo humano. Fuente: Elaboración propia basado en (Giménez Molina, 2011)



La radiación de infrarrojos o radiación térmica tiene una longitud de onda mayor a la luz visible pero menor a la de un microondas, su nombre infrarrojo significa por debajo del

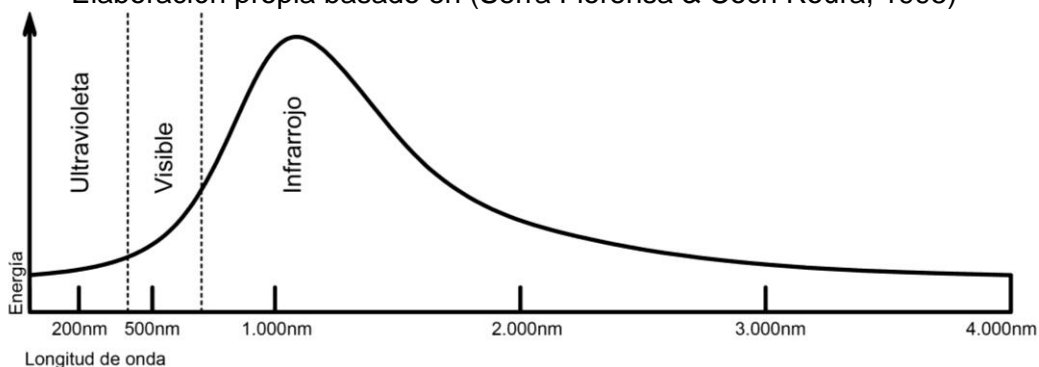
rojo, dependiendo de su longitud de onda se divide en infrarrojo próximo, medio y lejano. La radiación ultravioleta es otro tipo de radiación electromagnética y posee una longitud de onda menor a la luz visible, significa más allá del violeta y se divide en Ultravioleta – C, que es altamente nociva pero que casi nunca llega a la superficie terrestre, Ultravioleta – B, que es nociva y culpable de enfermedades como el cáncer de piel y Ultravioleta – A, responsable de la aparición de pecas y de la apariencia bronceada de la piel.

Según Giménez (2011)

El vidrio ordinario es transparente a la radiación infrarroja de longitud de onda más corta, más próxima a la luz visible, pero, prácticamente opaco a la radiación de onda larga... el vidrio ordinario es prácticamente opaco a los tres tipos de radiación ultravioleta. La lámina, rechaza el 99% de estas radiaciones. (págs. 28-29)

Afirma además que toda radiación solar en todos sus espectros se convierte en calor al ser absorbida por cualquier elemento, aunque como podemos observar, el infrarrojo próximo es el que más ganancias solares genera (Ver Figura 5)

Figura 5. Curva de energía vs. Longitud de onda de una fuente térmica. Fuente: Elaboración propia basado en (Serra Florensa & Coch Roura, 1995)



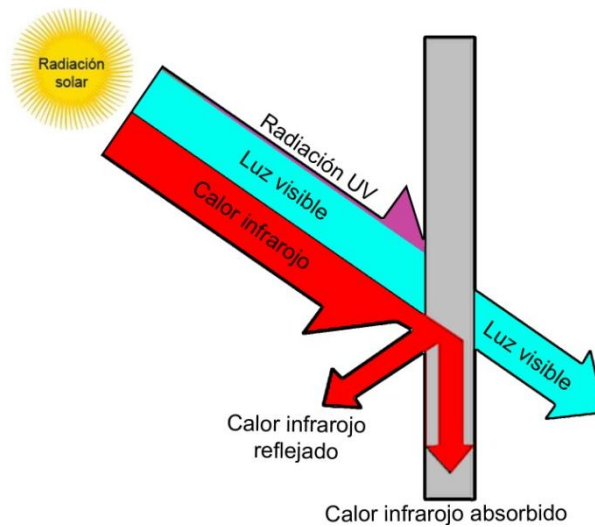
Afirma además que cuando la radiación solar incide sobre un material transparente, parte es transmitida, otra es absorbida y otra reflejada. Esto depende de diversos parámetros como la distribución espectral, al ángulo de incidencia y la naturaleza del material. Cuando un rayo solar choca con un elemento transparente se producen una serie de fenómenos que a la vez establecen los siguientes parámetros (Ver Figura 6):

Transmitancia τ : Es la relación entre la radiación que atraviesa el material y la incidente.

Reflectancia ρ : la relación entre la radiación reflejada y la incidente.

Absortancia α : Es la relación entre la radiación absorbida y la incidente.

Figura 6. Comportamiento térmico ideal frente a la radiación solar por un elemento transparente. Fuente: Elaboración propia basado en (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013)



Giménez (2011) afirma que los fenómenos mencionados anteriormente, transmitancia, reflectancia y absortancia varían sensiblemente de acuerdo al ángulo de incidencia. La transmitancia por ejemplo mantiene valores constantes hasta ángulos en torno a 30° y comienza a disminuir hasta esfumarse a 90° . La reflectancia tiene un comportamiento contrario, muy tenue a 30° y aumentando progresivamente hasta llegar a 1 a los 90° . La absortancia varía con la longitud del recorrido que tenga el rayo incidente sobre el material.

Atmósfera

Las condiciones atmosféricas son una de las principales variables que influyen en la intensidad con la que llega la radiación solar directa. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la nubosidad se define como “un conjunto visible de

minúsculas partículas de agua líquida o de hielo, o de ambas a la vez, en suspensión en la atmósfera” (IDEAM & FOPAE, 2004, pág. 22)³.

Según el IDEAM & FOPAE (2004), la medida de la nubosidad, es decir la cantidad de cielo cubierto que se observa en un instante se mide en “octas”. Esto se realiza dividiendo mentalmente la bóveda celeste en ocho partes con el fin de determinar el porcentaje de cielo que se encuentra despejado.

Además de las condiciones atmosféricas, existen otros factores que también influyen en la intensidad con la que la radiación llega a la tierra como la distancia que tiene que recorrer el rayo de sol dentro de la atmósfera determinada por la latitud y la hora del día.

Clima

Fuentes(1998), define el clima como “el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre” (Fuentes Freixanet V. A., 1998, pág. 22). Manifiesta además que no es correcto definir climáticamente un sitio tomando en cuenta datos registrados durante un periodo corto, ni siquiera con los datos registrados durante un año, debido a que es posible que las características de ese año puedan estar por fuera de lo normal. Para que estos datos puedan considerarse como normales o normalizados deben estar basados por lo menos en registros obtenidos en un periodo de diez años o más, sólo de esta manera la caracterización climática puede ser más confiable.

Dentro de los principales factores que determinan el comportamiento del clima se encuentran:

Temperatura

Fuentes (1998) define la temperatura como una medida de la energía calorífica del aire y del suelo, dice que la principal fuente de calentamiento es la energía solar, sin embargo una pequeña parte proviene del interior de la tierra, pero que no se tiene en cuenta porque no es significativa y es constante. Afirma además que el calentamiento de la atmosfera por la radiación directa no es significativo, es la tierra la que se calienta y

³ IDEAM – Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, FOPAE – Fondo para la Prevención y Atención de Emergencias

posteriormente este calor es transferido a la atmósfera por convección. Aunque el grado de transparencia de la atmósfera para este proceso es importante, lo es más la superficie terrestre, el relieve, la cobertura vegetal, es decir las características físicas de la superficie de captación. Los datos de temperatura que se obtienen de una estación meteorológica generalmente son la temperatura máxima absoluta, máxima, media, mínima, mínima absoluta, amplitud térmica media mensual y amplitud térmica absoluta.

Humedad

Según Fuentes (1998), el término humedad corresponde a la cantidad de vapor de agua contenido en el aire. Depende del tiempo y del lugar y difícilmente llega al 5% de un volumen de aire. A una presión y una temperatura determinada, la humedad tiene un límite definido al cual se le denomina humedad de saturación (HS), mientras que a la temperatura en la cual el aire se satura durante su proceso de enfriamiento se le denomina punto de rocío.

Según Evans (s.f.), la humedad es la variable que más influye en la sensación de confort térmico y se puede medir de manera “absoluta” o “relativa” que es la manera más usual y comprensible de mostrar la cantidad de humedad presente en el aire, definida como “la cantidad de vapor de agua, como proporción de la máxima cantidad de vapor que el aire puede contener en las mismas condiciones de temperatura y presión”(Evans, s.f., pág. 4), cantidad que corresponde al aire saturado equivalente al 100% de humedad relativa.

Precipitación

Fuentes (1998), define la precipitación como la caída de la humedad contenida en la atmósfera terrestre ya sea en estado líquido por la condensación del agua o en estado sólido debido a su congelación.

Según Serra & Coch (1995), esta variable no afecta directamente a las condiciones ambientales sino que lo hace de manera indirecta incidiendo sobre la humedad relativa, la vegetación y la contaminación entre otros factores.

Viento

Fuentes (1998) afirma que “el viento es una forma de energía solar” (pág. 83) pues es el movimiento del aire generado por las diferencias de temperatura y presión atmosférica causadas por el calentamiento desigual de la superficie terrestre. Según el IDEAM & FOPAE (2004), el relieve es el principal factor que determina su estructura turbulenta

manifestada a través de la llamada rafagosidad del viento, es decir, las fluctuaciones en las características del viento en una superficie. Según Fuentes (1998), además del relieve, existen otros factores que generan fenómenos de turbulencia como variaciones térmicas, forma de la superficie o presencia de obstáculos. Afirma también que existen vientos dominantes los cuales pueden ser alterados por “vientos locales o convectivos” (pág. 85) generados por características específicas de un lugar. Según el IDEAM & FOPAE (2004), su dirección se encuentra especificada en la rosa de los vientos, su velocidad se puede medir como el espacio recorrido por las partículas de aire y la presión que ejercen sobre un obstáculo, se puede expresar en metros por segundo (m/s), kilómetros por hora (km/h), y millas por hora (millas/hora).

Microclima

Existen condiciones específicas que determinan unas características propias del lugar. Evans (s.f.) afirma que es importante saber que los datos meteorológicos tomados en zonas abiertas, generalmente en aeropuertos, no siempre se pueden comparar con las condiciones presentes alrededor de los edificios, pues existen factores que pueden alterar estas condiciones. En las grandes ciudades se presenta un fenómeno denominado “isla de calor”, que consiste en un incremento de la temperatura en 2°C o 3°C, por la acción de las superficies tanto de edificios como pavimentos que tienen una gran capacidad térmica mayor que la de la vegetación. Además, la falta de vegetación y la utilización de superficies absorbentes pueden disminuir la humedad relativa, los gases contaminantes pueden disminuir la intensidad con la que llega la radiación solar, el polvo puede incidir en el aumento de la precipitación, etc.

- Ganancias internas

Giménez (2011) las define como “la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica (ej. Confort humano)”(pág. 149).

Dentro del presente trabajo, éste tipo de ganancias se han dividido en dos tipos de cargas: las que provienen de los ocupantes y su grado de actividad metabólica, y las que provienen de equipos y luminarias.

Ocupantes

Fuentes (1998) define el metabolismo como un proceso químico biológico a través del cual el cuerpo humano genera su propia energía y mantiene el funcionamiento de sus órganos vitales. El hombre obtiene su energía de las calorías que contienen los alimentos, la cual se puede transformar en energía mecánica o en calor.

Fuentes (1998) afirma,

Del total de la energía producida solamente se utiliza alrededor del 20% para las necesidades internas del cuerpo, mientras que el 80% restante debe disiparse al medio ambiente, de hecho para que exista balance térmico, es necesario que la totalidad de este calor restante sea disipado.” (pág. 60)

Afirma que el desprendimiento de calor producido por el metabolismo se realiza de dos maneras: por metabolismo basal, es decir la emisión de la energía que se requiere para mantener la temperatura del cuerpo en estado de reposo (vegetativo) y por metabolismo muscular, o sea el calor generado por una actividad muscular cuando se desarrolla un trabajo; las dos maneras generan calor que se transmite al ambiente.

Equipos y luminarias

Giménez (2011) afirma que gran parte de las cargas térmicas originadas al interior del espacio se deben a las luces, máquinas, equipos de computación, electrodomésticos y motores eléctricos entre otros. Estos elementos son una fuente de calor sensible, emitido por radiación, convección y conducción.

2.2.2 Estrategias bioclimáticas

Los ejemplos más relevantes en la aplicación de estrategias bioclimáticas se encuentran en la “arquitectura primitiva y vernácula”. Rapoport (1972) afirma que para el hombre primitivo y en menor medida para el campesino, la relación con la naturaleza era personal, no existía distinción alguna, había una íntima relación con el medio y en donde el principio fundamental era la armonía y no el conflicto ni la conquista. “*Esto no significa volver a un estilo de vida pasado y renunciar al bienestar y al desarrollo cultural y*

tecnológico, sino garantizar todo eso sin poner en peligro los recursos del planeta (Marino & Greco, 2007)”(Giménez Molina, 2011, pág. 9)

El término “Diseño Bioclimático” surge de la mano de los hermanos Olgyay, quienes trataban de enfatizar en los vínculos que deben existir entre la vida, el clima y el diseño.

Olgyay (1963) afirma que,

El procedimiento deseable será trabajar con y no contra las fuerzas naturales y hacer uso de sus potencialidades para crear mejores condiciones de vida... El procedimiento para construir una casa climáticamente balanceada se divide en cuatro pasos, de los cuales el último es la expresión arquitectónica. La expresión debe estar precedida por el estudio de las variables climáticas, biológicas y tecnológicas (Fuentes Freixanet V. A., 1998, pág. 10).

Fuentes (1998) define el término “estrategias” como aquellas acciones que sirven para la consecución de un fin las cuales se basan en reglas, principios y directrices que permiten tomar la mejor decisión; afirma además que,

La arquitectura bioclimática es aquella que busca el bienestar y confort de los usuarios, un uso eficiente de la energía y la integración armónica al medio ambiente, se requiere manejar un sinnúmero de variables de tipo ambiental, climático, social, científico, económico y técnico, donde convergen varias disciplinas... No es posible seguir diseñando con los criterios de hace años pues las necesidades y estilos de vida han variado enormemente, dando como consecuencia un grupo de requerimientos que, además parecen estar cambiando continuamente, por lo que apoyarse en experiencias anteriores no siempre es suficiente (pág. 9)

Por esta razón existe la necesidad de innovar en materiales y buscar estrategias que nos permitan cumplir con estos requerimientos.

El objetivo fundamental de las estrategias bioclimáticas es el confort. Fuentes (1998) lo define como “el estado físico y mental en el cual el hombre expresa satisfacción (bienestar) con el medio ambiente circundante”(pág. 58). Afirma además que el problema del discomfort no solo implica sentirnos a disgusto en un espacio, sino que también repercute en problemas de salud, eficiencia y productividad. Menciona que según la

Organización Mundial de la Salud en uno de sus informes publicados a principios de la década de los 80, más del 70% de las enfermedades respiratorias se deben a espacios mal diseñados.

Finalmente plantea algunos de los conceptos más importantes en el diseño bioclimático los cuales serán fundamentales para el planteamiento de la ficha de diagnóstico bioclimático propuesta para la evaluación de los espacios objeto de estudio:

Orientación: Este es el primer aspecto que se debe tener en cuenta y dependiendo de las condiciones del lugar, ciertos parámetros como el “eje térmico”, el “eje eólico”, la iluminación natural y las visuales podrán llegar a ser más importantes que los otros.

Forma: Parámetros como la volumetría, el grado de confinamiento y agrupación de los elementos son un factor determinante para el comportamiento térmico y lumínico de un edificio.

Ubicación de los espacios: Para realizar una distribución interna apropiada de los espacios, se deben tener en cuenta requerimientos ambientales que permitan lograr una zonificación y organización espacial adecuada.

Diseño de ventanas: Son los elementos más importantes de la edificación pues deben cumplir funciones simultáneas como permitir el asoleamiento, iluminar, ventilar y permitir la comunicación visual del interior con el exterior. Para su evaluación se deben tener en cuenta aspectos como:

- **Proporciones:** La proporción entre superficies transparentes y opacas permite controlar la cantidad de radiación que ingresa al interior de manera directa e indirecta. De igual forma este aspecto es determinante para lograr un equilibrio entre los niveles de luz y calor, además de controlar y dirigir el flujo de ventilación.
- **Dispositivos de control solar:** En determinados casos es necesario adoptar medidas o dispositivos de control solar que permitan el paso del sol en ciertas fechas y horas. Estos dispositivos deberán responder al control solar y al control de iluminación natural sin interferir con la ventilación natural.
- **Ventilación natural:** Se refiere a los dispositivos de ventilación natural incluidos en la ventana o si es el caso en otros elementos constructivos. Su función será la de controlar el flujo de ventilación tanto en su cantidad, velocidad como dirección, cumpliendo de esta manera con tres funciones básicas: “La renovación del aire, la climatización o enfriamiento del espacio y los elementos constructivos, y el enfriamiento directo de las personas”(Fuentes Freixanet V. A., 1998, pág. 6).

Iluminación natural: En ocasiones es necesaria la utilización de dispositivos de iluminación natural con la función de controlar e incrementar los niveles de iluminación y la distribución de luz en el interior, para que la utilización de la luz artificial se limite a un uso nocturno o como complemento de la natural.

Como complemento de los aspectos mencionados anteriormente y para que una envolvente acristalada responda de manera adecuada a los factores externos a través de un correcto intercambio de energía, Giménez (2011) plantea que se deben tener en cuenta cuatro conceptos básicos como la captación, las pérdidas, la transparencia y la ventilación, los cuales pueden verse como cualidades o defectos y a su vez pueden convertirse en estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático. De igual forma, Serra & Coch (1995), complementan estos conceptos denominándolos sistemas de control ambiental que permiten corregir situaciones desfavorables del edificio, esto se realiza a través de la utilización de componentes arquitectónicos que son un conjunto de elementos que pueden ser analizados con cierta independencia del resto y que trabajan interrelacionados para formar sistemas especiales climáticos y lumínicos. Estos sistemas se dividen en sistemas de climatización natural cuya función es la de mejorar el comportamiento térmico del espacio y en donde se incluyen además conceptos como inercia térmica y protección solar; y en sistemas de iluminación natural que tienen la función de mejorar el aprovechamiento de la luz natural optimizando su distribución y penetración hacia las zonas interiores, esto se realiza a través de componentes de paso y control de la luz.

Dentro de los sistemas de climatización natural se encuentran:

Captación: Serra & Coch (1995) lo definen como el proceso a través del cual se recoge o captura la energía de la radiación solar y se transfiere al interior en forma de calor.

La captación puede llegar a ser beneficiosa para el calentamiento del interior en climas fríos (dependiendo del uso interno de la edificación), pero en climas calientes (o en cierto tipo de edificios), un sobrecalentamiento del espacio interior provocaría unas condiciones no muy favorables de confort.

Pérdidas: Se considera como el proceso contrario al anterior y sucede cuando la energía captada, es arrebatada mediante mecanismos de transmisión de calor (conducción, convección y radiación). Según Giménez (2011), el vidrio por su alto coeficiente de transmisión, tiene la misma facilidad de captar el calor que para perderlo. Por esta razón,

según Serra y Coch 1995 un edificio con una envolvente acristalada puede llegar a presentar oscilaciones de temperatura muy fuertes durante el transcurso del día.

Transparencia: Según Serra y Coch (1995), este término corresponde al comportamiento de la envolvente frente a la radiación solar. Por un lado, los elementos transparentes son aquellos que dejan pasar la radiación directa, aquellos que no permiten éste fenómeno se denominan opacos. Por otro lado, la transparencia es “una de las cualidades más notables del vidrio, debido a su estructura física... nos permite tener un amplio campo visual, característica que no está conseguida por ningún otro material existente en el mercado, con la misma durabilidad” (Giménez Molina, 2011, pág. 20).

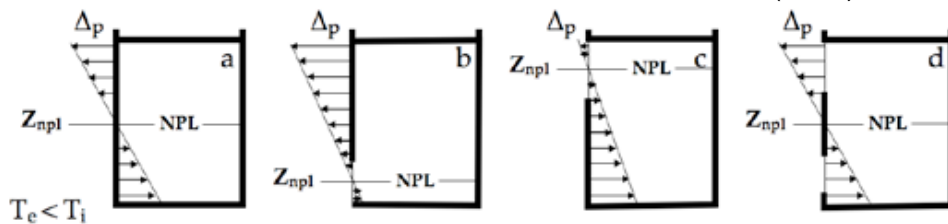
Ventilación: Serra & Coch (1995) definen los sistemas de ventilación como aquellos con los que debe contar la envolvente para favorecer el paso del aire hacia el interior y los mecanismos que se deben implementar para su renovación. Esto con el fin de mejorar las condiciones de temperatura y humedad del espacio, o en ciertos casos, producir un efecto directo en la refrigeración del cuerpo humano a través del movimiento del aire.

Según la Agencia Chilena de Eficiencia Energética AChEE(2012), la ventilación es una característica inseparable de la envolvente y constituye una importante estrategia bioclimática. Tiene como finalidad mantener la calidad del aire para preservar la salud de sus ocupantes y que el desarrollo de sus actividades sea eficiente, ésta depende de una serie de parámetros como “la calidad del aire exterior, el tipo y volumen de fuentes contaminantes presentes en el edificio, el diseño del sistema de ventilación y de sus condiciones de operación y manutención, la permeabilidad al aire de la construcción, y de manera muy importante, la capacidad del ambiente natural para ventilar y eventualmente refrigerar” (pág. 53).

Para sacar el máximo provecho de la ventilación natural se debe entender que el aire se mueve debido a diferencias de presión creadas por aberturas, grietas y rendijas presentes en un edificio, causadas además por la combinación de dos mecanismos denominados también motores de la ventilación natural “el viento y la diferencia de temperatura”(pág. 61). Cuando el viento sopla contra un edificio, la corriente de aire es desviada por encima y alrededor del edificio generando una zona de alta presión mayor a la atmosférica y otra de succión o presión negativa en las fachadas opuestas. De esta manera se generan diferencias de presión que producen circulaciones de aire a través de los espacios interiores donde el flujo que ingresa por la fachada de presión positiva es igual a la que sale por la fachada de presión negativa. Según la AChEE (2012), dentro de los tipos de ventilación encontramos la ventilación ocasionada por la diferencia de

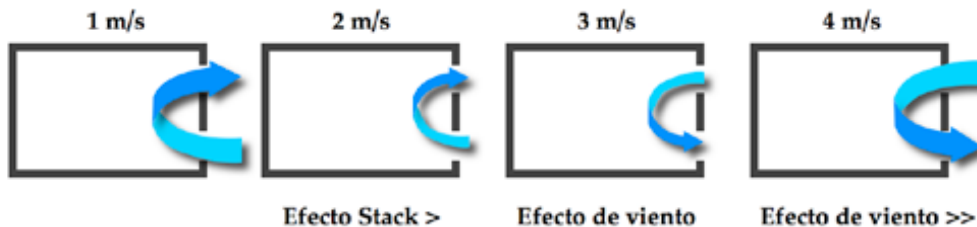
temperatura o efecto convectivo Stack que consiste en el movimiento originado por “el desplazamiento natural de aire más liviano de menor densidad y mayor temperatura, por aire más denso y frío”(pág. 63), este movimiento depende también de la diferencia de presión, densidad y temperatura entre el aire interior y el exterior. Cuando la temperatura del aire en el interior es mayor que la del exterior, la diferencia de presiones permite que el aire exterior fluya hacia el interior por las aberturas ubicadas debajo del nivel neutro (NPL – Neutral Pressure Level) y hacia el exterior por las aberturas ubicadas por encima de él (Ver Figura 7).

Figura 7. Diferencia de presiones y posición del NPL par diferentes configuraciones de aberturas en ausencia de viento. Fuente: AChEE(2012).



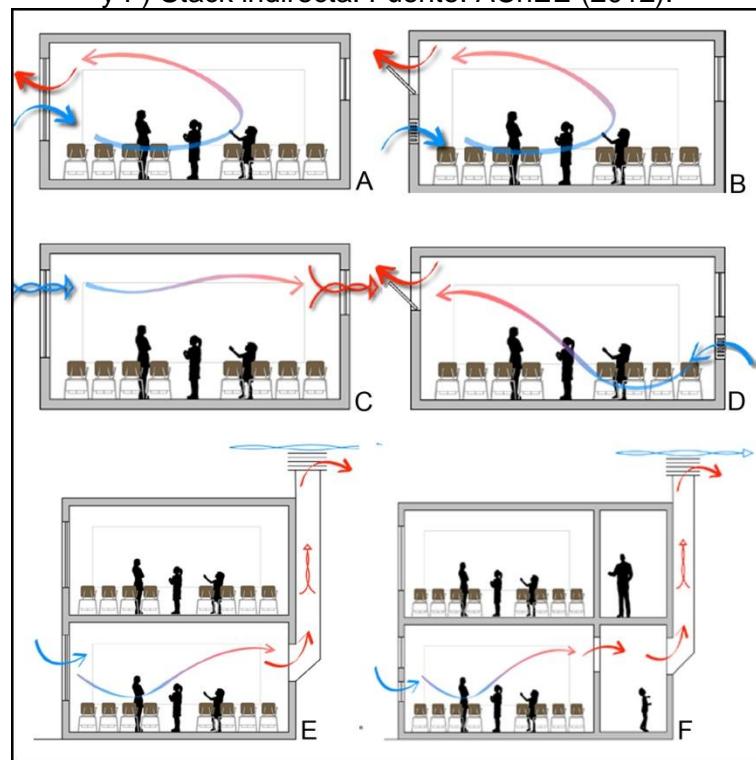
Como se puede apreciar en la figura Figura 7, el proceso es más complejo que considerar que el aire caliente sube y es expulsado, además es de gran importancia considerar aperturas de ingreso y de salida del aire para generar un flujo constante del mismo, siendo más eficiente que éstas se encuentren distanciadas ya que de esto depende la altura del NPL. Este tipo de ventilación depende además de la velocidad del viento incidente, generalmente las velocidades por encima de 3m/s prevalecen sobre las generadas por el efecto Stack, se requerirían diferencias de temperatura entre el interior y el exterior de más de 20°C para generar este tipo de movimientos (Ver Figura 8).

Figura 8. Interacción entre el efecto Stack y el viento exterior sobre una progresión en la velocidad del viento. Fuente: AChEE (2012).



Dependiendo de la disposición de las aperturas, la AChEE (2012) clasifica varios tipos de ventilación natural (Ver Figura 9).

Figura 9. Tipos de ventilación natural: A) Por una abertura, B) Por dos aberturas, C) Transversal (cruzada), D) Transversal (cruzada) mecanismo tiro térmico, E) Stack directa y F) Stack indirecta. Fuente: AChEE (2012).



Fuentes (1998) manifiesta además que la velocidad interna del aire también dependerá de la relación entrada-salida. Es decir, cuando la apertura de ingreso de aire es más pequeña que la de salida se incrementa la velocidad del flujo interno, mientras que por el contrario, si la apertura de ingreso es más grande que la de salida, la velocidad disminuye.

Finalmente la AChEE (2012) manifiesta la importancia de que la ventilación sea controlable para mantener una calidad de aire razonable, evitar corrientes perjudiciales y pérdidas de energía. Este control se puede realizar a través de varios mecanismos como la apertura de ventanas, control de rejillas de impulsión o extracción, medición y control de CO₂, y actuadores automáticos de control de aberturas de ventilación. Es importante que cada mecanismo actúe lo menos posible y esto depende de un adecuado dimensionamiento de las aberturas, de ahí la importancia de tener un edificio “inteligentemente diseñado” (Dómina, 2010, pág. 8).

Inercia térmica: Serra & Coch (1995) definen este sistema como la capacidad de retener o ceder calor en un ciclo considerado. Fuentes (1998) manifiesta que “para cualquier edificación se puede suponer que en ausencia de ganancias de calor solar e internas, la

temperatura media diaria interior y exterior serán idénticas (Szokolay, 2004)”(pág. 117), esto depende del retardo térmico y el factor de amortiguamiento de cada elemento constructivo.

Protección solar: Según Serra & Coch (1995), dentro de este sistema se encuentran todos los elementos, componentes o conjunto de componentes que protegen la envolvente del edificio contra el exceso de radiación solar. A pesar de que el presente trabajo plantea la inclusión de nuevos materiales para la protección solar de los espacios, vale la pena nombrar elementos que en ocasiones complementan estas medidas como es el caso del uso de umbráculos que son sistemas que crean espacios sombreados entre el ambiente exterior e interior mediante la utilización de elementos como pérgolas, entramados vegetales, brise-soleils o cortasoles; y elementos protectores de la envolvente que son dispositivos incorporados a la envolvente de un edificio y su función es la de detener parte de la radiación incidente sobre la fachada principalmente en las aberturas, esto se realiza a través de elementos como aleros, voladizos, persianas, toldos, el uso de vegetación entre otros.

Dentro de los sistemas de iluminación natural se encuentran:

Componentes de paso: Según Serra & Coch (1995) los definen como aquellos elementos que comunican dos ambientes lumínicos diferentes separados por un cerramiento.

Control de la luz: Es importante nombrar aquellos dispositivos complementarios diseñados para reforzar el ingreso y/o controlar la entrada de luz natural a través de un componente de paso. Entre las características a considerar se encuentran su movilidad, es decir la posibilidad de que sean regulables por parte de los usuarios y sus propiedades ópticas como la transparencia, difusión y reflexión de la luz. Cabe destacar que dentro de sus funciones se encuentran también la protección térmica del espacio.

Existe una gran variedad de sistemas de control de la luz, los cuales han sido clasificados en cinco grupos: Superficies separadoras como por ejemplo el vidrio dentro del cual se pueden incluir los tratamientos de protección solar, pantallas flexibles como toldos y cortinas, pantallas rígidas como aleros, repisas de luz, aletas y reflectores y finamente filtros solares como persianas, celosías y obstructores solares.

- Confort térmico

El confort térmico se define como “la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y es determinada mediante una evaluación subjetiva (ASHRAE 2010)” (Agencia Chilena de Eficiencia Energética - AChEE, 2012, pág. 40), para lograrlo se requiere generar un estado de neutralidad térmica, es decir, que una persona no se sienta demasiado calurosa o demasiado fría.

Según Fuentes (1998), la percepción del medio circundante se da principalmente a través de la piel, aunque los pulmones también intervienen de manera importante en el intercambio térmico entre el cuerpo y el ambiente. Según Godoy(2012), el cuerpo humano al estar la mayoría de las veces a una temperatura mayor que la de su entorno físico, constantemente está perdiendo calor; el bienestar higrotérmico entonces se establece cuando el cuerpo humano pierde calor a la velocidad adecuada, ya que a esa velocidad se equilibran todos los intercambios energéticos que se originan en el cuerpo.

Serra & Coch (1995), manifiestan que en el confort térmico intervienen fenómenos complejos de intercambio de energía entre el hombre y el ambiente ya que el ser humano mantiene una temperatura interior constante frente a las variaciones exteriores y para esto usa mecanismos de autorregulación denominados “homeostasis”. Según Godoy (2012), cuando la temperatura del cuerpo sube demasiado, se ponen en marcha procesos de vasodilatación que aumenta el flujo de sangre a través de la piel, y como consecuencia el cuerpo comienza a sudar. Por el contrario, si el cuerpo está demasiado frío, se ponen en marcha procesos de reacción como la vasoconstricción que provoca una reducción en la circulación de la sangre a través de la piel y posteriormente se ponen en marcha mecanismos de producción de calor a través del estímulo de los músculos, “tiritos”.

Parámetros de confort

Según Godoy (2012), para definir los parámetros de confort se debe tener en cuenta que el hombre no experimenta la temperatura del espacio, él siente la pérdida de energía de su cuerpo. Los parámetros que deben medirse son aquellos que inciden sobre la pérdida de esta energía. Para que una persona logre un estado de “confort”, existen varios

parámetros, siendo 6 los principales (McPherson, 1962) (pág. 6), estos afectan la sensación térmica de la persona y son utilizados por la mayoría de los estándares:

Parámetros ambientales:

- Temperatura del aire (°C)
- Velocidad del aire (m/s)
- Humedad relativa (%)
- Temperatura media radiante (°C)

Parámetros personales:

- Nivel de arropamiento. (clo)
- Nivel de actividad (met).

Godoy (2012) manifiesta además que existe una serie de parámetros ambientales derivados de los 4 anteriores dentro de los cuales podemos destacar la temperatura operativa o temperatura operativa húmeda. Este es el factor más usado a la hora de trabajar sobre el confort en ambientes interiores y lo define como la temperatura a la que debe estar el aire y las superficies de un recinto para que una persona intercambie con él el mismo calor sensible que en el local de origen.

Fuentes (1998), por otro lado amplía los factores que inciden sobre los parámetros personales mencionados clasificándolos en dos grupos: Por un lado los “endógenos, internos o intrínsecos del individuo” y por el otro los “exógenos o externos”(pág. 59). Dentro de los factores internos menciona además características como la raza, el sexo, la edad, características físicas y biológicas, salud física o mental, estado de ánimo, experiencia y asociación de ideas. En cuanto a los externos, éstos coinciden en gran medida con los parámetros ambientales mencionados.

Según la AChEE (2012), dentro de los parámetros ambientales, la temperatura del aire es el principal, debido a que determina la disipación de calor por convección. Sin embargo Fuentes (1998) menciona la importancia de la temperatura media radiante que consiste en la temperatura media de las superficies del recinto que rodean al ocupante. Manifiesta que junto con la temperatura, la radiación tiene una gran incidencia en la

sensación térmica del organismo, incluso manifiesta que algunos estudios apuntan a que ésta es más significativa que la temperatura del aire.

La humedad no incide directamente en la sensación de confort térmico, si lo hace en los mecanismos de intercambio térmico del cuerpo. Según la AChEE (2012), una humedad relativa alta, restringe la evaporación desde la piel y la respiración, en cambio una humedad relativa baja puede reseca las membranas mucosas y la piel.

En cuanto a la velocidad del aire, Fuentes (1998) manifiesta que éste parámetro si tiene efectos térmicos en el individuo debido a que a través del movimiento del aire se incrementa la disipación de calor del cuerpo de dos formas, por un lado incrementando las pérdidas convectivas de calor y por el otro acelerando la evaporación (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Sensaciones subjetivas a la velocidad del aire. Fuente: Szokolay (1981). Tomado de Fuentes (1998) p. 62

rango de velocidad		sensación
menor a	0.25 m/seg.	imperceptible
de	0.25 a 0.50 m/seg.	agradable
de	0.50 a 1.00 m/seg.	perceptible
de	1.00 a 1.50 m/seg.	desagradable
mayor a	1.50 m/seg.	muy molesto

Modelos de confort

Según Godoy (2012), en la actualidad existen dos teorías relacionadas con la definición de confort térmico, por un lado se tiene la teoría del balance térmico y por otro la teoría adaptativa. Además de las teorías mencionados, es importante destacar una de las herramientas utilizadas con el fin de establecer una zona de confort es la carta psicrométrica, a pesar de no tener en cuenta ciertos parámetros, es importante a la hora de definir las estrategias bioclimáticas que se deben emplear en un espacio.

Teoría del balance térmico (Fanger P.O. 1973)

Según Godoy (2012), Povl Ole Fanger (1934 - 2006) fue el creador del modelo de balance térmico definiendo por primera vez los parámetros que influyen en el confort y dos métodos para cuantificarlo. "El PMV (Por sus siglas en inglés Predictive mean vote)

Voto medio progresivo y el PPD (Por sus siglas en inglés Predictive percentage dissatisfied) porcentaje previsto de insatisfechos (Fanger, 1973)” (pág. 10). Afirma además que los modelos de balance térmico, llamados también “estáticos o constantes”, han sido la base para importantes trabajos (incluido de Dear 1998 y su modelo adaptativo) y han sido adoptados en la mayoría de estándares de confort actuales.

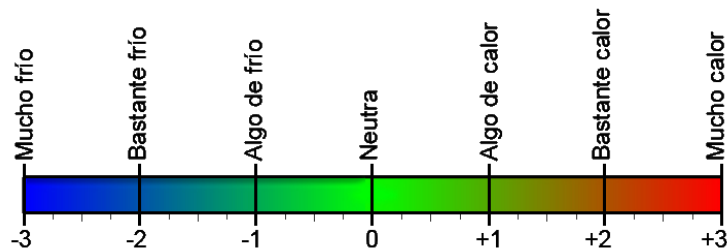
Godoy (2012) explica el origen del modelo estático de la siguiente manera,

Las teorías de Fanger están basadas en experimentos realizados a 1296 jóvenes en cámaras térmicas, usando modelos estáticos de transferencia de calor. En estos estudios, la vestimenta y la actividad de los participantes, mientras eran expuestos a diferentes ambientes térmicos, estaba completamente estandarizada. Los participantes debían indicar como ellos se sentían en relación al calor y el frío, usando los siete puntos de la escala de sensación térmica de ASHRAE, de (-3) hasta (+3), utilizando solo los valores enteros, representando los valores negativos sensación de frío, los positivos de calor y donde (0) se considera sensación térmica neutral. Otra parte del estudio consistía en que los participantes controlaban las condiciones térmicas ambientales, ajustando estas hasta que se sintieran en confort (pág. 10).

Según Godoy (2012), el modelo de Fanger combina las teorías de balance térmico con la fisiología y la termorregulación para determinar un rango de temperaturas de confort. Después de los experimentos, Fanger llegó a la conclusión de que los únicos procesos fisiológicos cerca de la neutralidad que influyen en el balance térmico son el nivel de sudoración y la temperatura media de la piel, que además aumentan o disminuyen en función de la actividad. Se realizaron entonces otros estudios con varios de los participantes dentro de la cámara térmica, con vestimenta estandarizada, realizando cuatro niveles de actividad con el fin de lograr una relación lineal entre el nivel de actividad y la tasa de sudoración. Esta investigación concluye con una ecuación que describe “el confort térmico como desequilibrio entre el flujo de calor actual del cuerpo en un ambiente térmico dado y el flujo de calor requerido para obtener un óptimo confort mientras se realiza una determinada actividad” (Godoy, 2012, p. 11), su resultado relaciona las condiciones térmicas con los 7 puntos en la escala de sensación térmica de ASHRAE, conocido finalmente como “Voto medio previsto (PMV)”. Posteriormente este

índice fue relacionado con el índice del “Porcentaje previsto de insatisfechos (PPD)” (Ver Figura 10).

Figura 10. Escala de sensación térmica de ASHRAE. Fuente: Elaboración propia basado en <http://www.healthyheating.com/>



Según Godoy (2012), el modelo PPV/PPD de Fanger es ampliamente utilizado y aceptado en el campo de la evaluación y el confort térmico. Sin embargo es estacionario y no tiene en cuenta los cambios de temperatura que se presentan a lo largo del día, ya que “es resultado de investigaciones en cámaras térmicas y solo es aplicable a humanos expuestos a un largo periodo en condiciones constantes y con una tasa metabólica constante (Fanger 1973)” (pág. 12). La principal discrepancia de Godoy (2012) radica en que estos estudios fueron desarrollados inicialmente para espacios climatizados, pero después se aplicó a todo tipo de edificios y en todo los climas, por eso muchos ponen en duda que estos estándares puedan aplicarse universalmente “los estudios de laboratorio ignoran influencias contextuales que pueden determinar respuestas frente a ciertas condiciones térmicas.(G. S. Brager & R.J. de Dear 1998)” (pág. 12), las personas viven en ambientes cambiantes y menos controlables, es difícil determinar los niveles de vestimenta, factores como el tipo de silla pueden alterar los valores de aislamiento del cuerpo y factores como el estrés pueden alterar su índice metabólico. Por estas razones, los diseñadores tienden a establecer índices que dan como resultado temperaturas muy bajas.

Teoría del confort térmico adaptativo (De Dear 1998)

“Es el resultado de estudios de campo cuyo propósito era el de analizar la real aceptabilidad de ambientes térmicos, lo que depende estrechamente del contexto, el comportamiento de los ocupantes y sus expectativas” (Godoy Muñoz, 2012, pág. 13).

Según Godoy (2012), a diferencia del modelo estático de confort térmico,

Las personas juegan un papel instrumental creando sus propias preferencias térmicas a través del modo en el que ellos interactúan con el ambiente, modifican su propio comportamiento o gradualmente adaptan sus expectativas en función del ambiente térmico en el que se encuentren (G. S. Brager & R.J. de Dear 1998) (pág. 13).

A partir de esta definición el modelo adaptativo distingue 3 categorías de adaptación térmica: Ajuste de comportamiento que se refiere a ajustes en la actividad como ponerse o quitarse la ropa, regular el aire acondicionado o si es el caso, abrir o cerrar una ventana; ajustes fisiológicos definidos como el cambio de respuesta psicológica a la exposición a factores térmicos del medio ambiente lo que reduce de manera gradual la tensión producida por esta exposición; y psicológicos que se refieren a la percepción alterada a la información sensorial debido a experiencias pasadas y a las expectativas. Godoy (2012) afirma que en los últimos años muchos autores han sumado estudios de campo a los de laboratorio con el objetivo de tener información real sobre el confort y sus parámetros más relevantes. Estos estudios incluyen aspectos que no pueden ser simulados en las cámaras térmicas como “respuesta de los individuos en sus hábitos diarios, su vestimenta diaria y su comportamiento sin la existencia de ningún tipo de restricción (R. De Dear et al. 1998)” (pág. 14). Manifiesta además que probablemente una de las investigaciones más importantes realizadas en este campo fue iniciada por De Dear y Brager en 1995. Este proyecto se llamaba ASHRAE RP-884 y comenzó a recopilar una gran cantidad de datos que habían sido originados en cientos de investigaciones de campo alrededor del mundo. Esta base de datos recogía experiencias de confort térmico de aproximadamente 21.000 muestras de 160 edificios de oficinas diferentes de cuatro continentes, cubriendo un amplio rango de climas. Estos estudios separaron los edificios ventilados naturalmente de los edificios con sistema de climatización e incluyeron nuevos parámetros, pero el más importante de ellos fue el cruce de datos entre “la temperatura media efectiva exterior y la temperatura de neutralidad térmica interior” (pág. 14) con lo cual se pudo concluir que la temperatura de neutralidad térmica tiende a aumentar a medida que aumenta la temperatura exterior. Algunos autores explicaron esta adaptación a cambios en el nivel de vestimenta, sin embargo ellos mismos demostraron que una gran parte de esa adaptación se debe a “un proceso de adaptación psicológico derivado del nivel de expectativa” (pág. 16). Estos hallazgos concluyeron con una propuesta de “estándar de confort adaptativo” (ACS –

Adaptive Comfort Standard) que podría ser usado como una alternativa para el modelo PMV el cual se encuentra expresado en la siguiente fórmula (Ver Ecuación 1):

Ecuación 1. Fórmula modelo adaptativo de confort. Fuente: (Godoy Muñoz, 2012)

$$T_{\text{comf}} = 0.31 \times T_{a, \text{out}} + 17.8 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

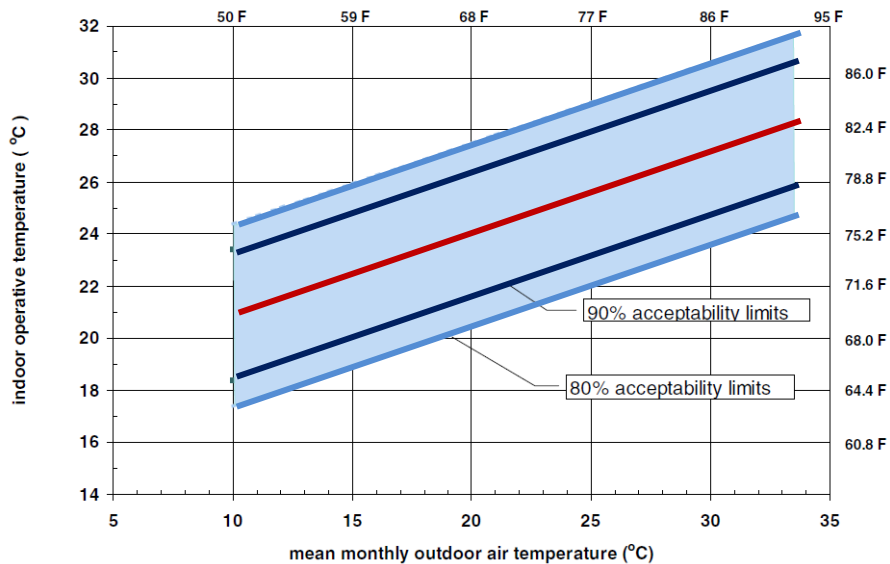
Donde:

T_{comf}= Temperatura de confort optima

T_{a,out}= Temperatura de bulbo seco media exterior

Posteriormente se definió un rango de temperaturas de confort correspondientes al 90% y 80% de aceptabilidad efectuando la relación entre el PMV y el PPD. De esta manera se estableció un rango de confort para edificios ventilados naturalmente que comprendía temperaturas de 5°C para el 90% de aceptabilidad y de 7°C para el 80% de aceptabilidad. Estos valores se aplican como rangos de temperatura constantes alrededor de la temperatura óptima derivada de la ecuación anterior (Ver Figura 11).

Figura 11. Rangos de confort establecidos para el modelo adaptativo. Fuente: (Brager & de Dear, 2001)



Finalmente y después de varias discusiones, se concluyó que este tipo de modelo solamente puede ser aplicado en temperaturas exteriores que se encuentren dentro de un rango de 10°C a 33°C. Según Brager & de Dear (2001), una de las ventajas del modelo de confort adaptativo sobre el modelo estático tradicional es su simplicidad, es

decir que aspectos como la vestimenta, metabolismo y clima se encuentran implícitos dentro de la ecuación.

Según la AChEE (2012) el modelo adaptativo califica no solo un juicio sobre sensación térmica, sino también sobre aceptabilidad y preferencia de las condiciones térmicas. De ahí la conclusión a la que llegaron varios estudios de que “la gente de climas cálidos pueden preferir los ambientes un poco fríos y, por el contrario, la gente de climas fríos prefieren los ambientes un poco cálidos (Corgnati, Filippi, & Viazzo, 2007)” (pág. 41).

Brager & de Dear (2001) afirman que el modelo adaptativo ha permitido que los edificios puedan abrirse y aprovechar los factores externos, lo cual no era posible anteriormente debido a que se tenía una estrecha definición del confort térmico y por ende una escasa variedad de ambientes térmicos interiores permitidos, esto ocasionaba el uso constante de aire acondicionado, incluso en zonas climáticas con condiciones relativamente suaves. Se puede evidenciar de esta manera la influencia que tiene la normativa en la facilitación y uso adecuado de las energías alternativas, para que esto suceda la normativa debe reconocer que la comodidad depende del contexto, así por ejemplo las personas que se encuentran todo el año en un espacio con aire acondicionado, son propensos a generar expectativas altas de temperaturas homogéneas y muy frescas; por el contrario, las personas que viven o trabajan en edificios con ventilación natural, que sean capaces de abrir las ventanas, se acostumbran a experimentar condiciones térmicas mas variables. Lo anterior se encuentra incluido dentro de la ASHRAE Std. 55. El resultado, un nuevo modelo de confort térmico que complemente los rangos de confort establecidos por el PMV – PPD tradicional.

A pesar de los estudios realizados, aún continúan muchas preguntas sobre el confort sin resolver *“Una conclusión clara parece emerger - la "talla única para todos" y el enfoque "acondicionamiento uniforme" a la gestión de clima interior está convirtiendo rápidamente en una curiosa pero equivocado moda del siglo pasado”*. (Brager & de Dear, 2001, pág. 16).

- Confort visual

Fuentes (1998) diferencia el confort lumínico del visual definiéndolo como “la percepción a través del sentido de la vista” (pág. 67). Afirma que el primero se refiere a aspectos

físicos, fisiológicos y psicológicos mientras que el segundo netamente a aspectos psicológicos de percepción espacial. Para efectos del presente trabajo dentro del concepto de confort visual se incluyen los aspectos tanto lumínicos como de relación con el exterior.

Según la AChEE (2012), el acceso a la luz natural puede ser el atributo más importante de un espacio. Es una fuente gratuita que otorga un alto nivel de confort y que además proporciona una gran calidad de la luz, debido a que realza el color y la apariencia de los objetos, además de la luz, es igualmente importante la conexión visual que haya con el exterior.

La luz día influye directamente en los factores humanos, debido a que controla nuestro sistema biológico, pues regula el sistema circadiano (reloj interno que se sincroniza con el ciclo solar, luz/oscuridad). Además influye en la hormona del estrés cortisol que se activa con la presencia o no de luz solar. Según Fuentes (1998), además de los aspectos fisiológicos mencionados, la cantidad y la calidad de la luz influyen en aspectos psicológicos del ser humano ya que afecta su percepción del medio ambiente lo que repercute en su estado de ánimo. Una buena iluminación puede aumentar la eficiencia y la productividad.

Según la AChEE (2012), existen distintas estrategias de diseño con el fin de generar un correcto aprovechamiento de la luz natural: evitar la penetración solar directa sobre el plano de trabajo, proporcionar una iluminación uniformemente distribuida, evitar fuentes de deslumbramiento, permitir el control manual de la luz del día, diseñar la iluminación artificial como un complemento de la natural compensando sus variaciones y desde el diseño, planificar la ubicación de los espacios para que aprovechen las condiciones de la luz natural. Una manera simple de abordar estas estrategias en el diseño es entender los pasos que se deben cumplir para su aprovechamiento: Captarla, transmitirla, distribuirla, proteger de la incidencia directa y controlarla. Según Fuentes (1998) “resulta difícil de creer que la mayoría de los edificios utilicen de manera preponderante la iluminación artificial durante el día desperdiciando la iluminación natural, que es un recurso tan valioso y necesario para la salud y el confort, y además es gratuito” (pág. 69).

Niveles de iluminación

Serra & Coch (1995), afirman que la comodidad visual depende de la “facilidad de nuestra visión para percibir aquello que nos interesa” (pág. 80) y que el principal

requerimiento para que esto suceda es la cantidad de luz, es decir la iluminancia (lx). La cantidad de luz sobre un área de trabajo afecta la agudeza visual, la capacidad de distinguir detalles, colores o la eficiencia de enfoque de la visión a diferentes distancias. Cuanto mayor sea la cantidad de luz, mejor será el rendimiento visual, siempre y cuando no se excedan los valores máximos o límite de deslumbramiento.

Según Fuentes (1998), el ojo humano está diseñado para percibir un gran rango de variación lumínica, que va desde 0.1 lux, correspondiente a la iluminación de la luna llena, hasta 100.000 luxes, correspondiente a un día muy claro, con sol brillante. Describe además las propiedades de adaptación a los cambios de luz por parte de la pupila y manifiesta que cuando estos cambios son bruscos además de producirse una sensación desagradable se puede ocasionar dolor y lesiones en el sentido de la vista las cuales pueden ser temporales o permanentes.

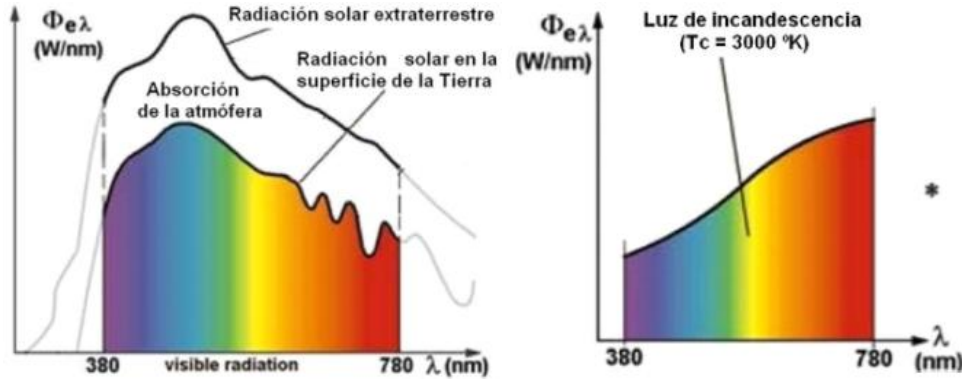
Cabe destacar además la importancia que tienen las superficies reflectantes y difusoras del espacio en el aprovechamiento de la luz natural, según Monroy (2003 - 2006), el flujo luminoso que penetra por las ventanas no se extingue al incidir sobre el interior sino que gran parte se refleja y se difunde hacia el resto de las superficies, éstas a su vez hacen lo mismo generando una reverberación luminosa. Este fenómeno es fundamental en la uniformidad de la iluminación interior y depende del tipo de acabado de las superficies interiores. Los niveles óptimos de iluminación dependen de la fuente en donde se consulten, para efectos del presente trabajo, éstos niveles serán establecidos por el RETILAP como veremos más adelante (500 – 1.000 lux).

Propiedades de la luz

Según Monroy (2003 - 2006), además del nivel de iluminación, existen propiedades que permiten diferenciar distintos tipos de luz dependiendo de su origen.

Dentro de estas propiedades se encuentra el color de la luz que depende de la cantidad de energía de un segmento del espectro luminoso (Ver Figura 12).

Figura 12. Diferencia entre el espectro visible de la radiación solar y de una luz de incandescencia. Fuente:(Monroy, 2003 - 2006, pág. 17)



Los colores del arcoiris se encuentran distribuidos de manera continua en el espectro luminoso, y cuando la distribución de esa energía en cada longitud de onda es similar a la del sol, se percibe este conjunto como luz blanca. Dependiendo de esta característica la fuente luminosa puede ser monocromática, de espectro continuo o espectro discontinuo. La aproximación del espectro de una fuente discontinua a la luz del sol se denomina “rendimiento de color Rg”⁴. La tonalidad de color del espectro continuo se denomina “temperatura de color Tc (°K)”⁵, entre menor sea la Tc su color tendrá una tonalidad rojiza con una sensación térmica de calor, mientras que entre mayor sea el Tc, su tonalidad tenderá a ser azulada con una sensación térmica de frío.

Además de la cantidad de luz en una superficie determinada, Fuentes (1998) destaca la importancia de considerar la calidad de la luz (tipo de luz o cualidad cromática). Como se mencionó anteriormente, la luz visible solamente abarca una estrecha banda que va desde los 380nm a los 780nm de longitud de onda. El ojo humano presenta su máxima sensibilidad a los 550nm, longitud de onda correspondiente al color verde, si se analiza la radiación emitida por el sol se puede encontrar que la longitud de onda de máxima emisión se da alrededor de los 500nm correspondiente al color azul, en otras palabras por la cercanía de estos valores se puede deducir que el ojo humano se encuentra diseñado para percibir con una mayor sensibilidad la luz emitida por el sol. La luz artificial se encuentra lejos de alcanzar estos valores, por ejemplo una lámpara incandescente

⁴ Las lámparas fluorescentes tienen un Rg entre 0,7 y 0,9 considerando que la luz natural cuenta con un Rg de “1” mientras que una luz monocromática de “0”.

⁵ La luz día presenta una Tc = 5500°K, las lámparas incandescentes un Tc = 3000°K aproximadamente, mientras que la bóveda celeste presenta un Tc = 10000°K

tiene su máxima emisión a una longitud de onda alrededor de los 996nm fuera del espectro visible, de ahí la importancia de aprovechar al máximo la iluminación natural. Afirma también que el esfuerzo que debe realizar el ojo ante exposiciones prolongadas de luz artificial puede ocasionar deformaciones y trastornos ópticos además de otros problemas de salud como “disminución en la absorción de calcio en el organismo (Instituto de Tecnología de Massachusetts, s.f.)” (Fuentes Freixanet V. A., 1998, pág. 8) y la generación de cáncer en la piel debido a que se ha demostrado que la luz fluorescente normal emite rayos UV los cuales pueden incrementar en un 5% la exposición normal del sol.

- ASHRAE – RETILAP

Después de haber definido en qué consisten las estrategias bioclimáticas y dentro de ellas los conceptos de confort térmico y visual, procederemos a definir algunos de los estándares mínimos exigidos por la normativa estadounidense ASHRAE y la norma Colombiana RETILAP y que nos permiten conocer si un espacio es confortable.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers)⁶ fue fundada en 1894. Es una sociedad que a través de la investigación, la redacción de normas, la publicación y educación continua, avanza en el bienestar humano a través de una tecnología sustentable aplicada en el ambiente construido. Esta sociedad está enfocada en los sistemas del edificio, su eficiencia energética, la calidad del aire interior y la sostenibilidad dentro de la industria (ASHRAE, ASHRAE, s.f.). Teniendo en cuenta lo anterior, ASHRAE establece una serie de parámetros con los cuales se puede medir el confort térmico del espacio; por un lado mediante la aplicación del “modelo de balance térmico Fanger P. O. 1973” (Godoy Muñoz, 2012, pág. 10), y por el otro mediante la aplicación de “la teoría del confort térmico adaptativo (*De Dear, 1998*)”(Godoy Muñoz, 2012, pág. 13). De igual forma esta normativa establece niveles mínimos de ventilación requeridos para tener una calidad de aire aceptable en el interior, lo que nos brinda otro parámetro de medición del espacio, cabe destacar que el cumplimiento de éste aspecto no garantiza el confort térmico en el interior.

⁶ ASHRAE – Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado

Por otro lado, el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), corresponde a la normativa Colombiana que establece los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación para garantizar entre otros aspectos la seguridad y protección de los usuarios, la preservación del medio ambiente y el confort visual en el espacio (RETILAP, 2010). Esta normativa dentro de su “Capítulo 4. Diseños y Cálculos de iluminación natural” (págs. 77-115) instaura los requisitos generales para el diseño de alumbrado en el interior, estableciendo unos niveles mínimos de iluminación con los cuales deberían cumplir los espacios de acuerdo a su función. Dentro de este capítulo además se dan una serie de recomendaciones para el aprovechamiento de la luz natural y de alguna manera se incita a aplicar estrategias con el fin de disminuir el consumo de energía artificial.

Capítulo 3. Estado del arte, materiales, recursos y técnica

En el tercer capítulo consiste en la revisión del estado del arte y definición de los materiales utilizados en la presente investigación (vidrio - polímeros). Se describen además los recursos utilizados y la técnica.

3.1 Envoltentes acristaladas

El elemento sobre el cual recae la mayor responsabilidad en la ineficiencia energética de las edificaciones es la envolvente y dentro de la envolvente, el punto crítico en el intercambio de energía con el exterior ha sido el vidrio.

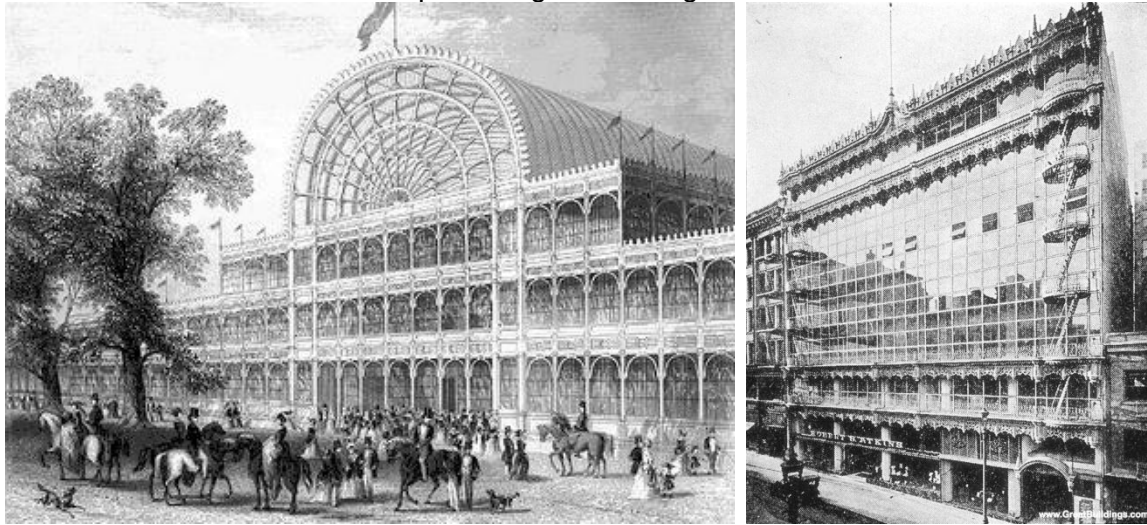
Giménez Molina (2011) y Dómina (2010), realizan un análisis dentro de sus investigaciones sobre la utilización y evolución energética del vidrio en envoltentes a lo largo de los siglos. De estas investigaciones se destacan a continuación los aspectos de mayor relevancia los cuales han marcado cambios importantes en la utilización y comportamiento de este material, así:

Giménez (2011) afirma que los primeros en utilizar el vidrio con propósitos arquitectónicos fueron los romanos alrededor del año 100 d.C. Las primeras ventanas tenían aproximadamente 1m² y cualidades ópticas muy pobres.

Según Dómina(2010), a mediados del siglo XIX los edificios utilizaban los muros exteriores como soporte de toda la estructura. El desarrollo de materiales como el acero estructural y el concreto reforzado permitió plantear nuevos sistemas estructurales y trasladar las cargas a columnas de menor tamaño que pudieran trabajar de manera independiente de la fachada. De esta manera se logró una disminución en el espesor de los muros exteriores y además se pudo utilizar el vidrio como material de cerramiento. Según Giménez(2011), el surgimiento del hierro como material estructural en la

edificación permitió la construcción del Palacio de Cristal de Joseph Paxton en 1851. (Ver Figura 13).

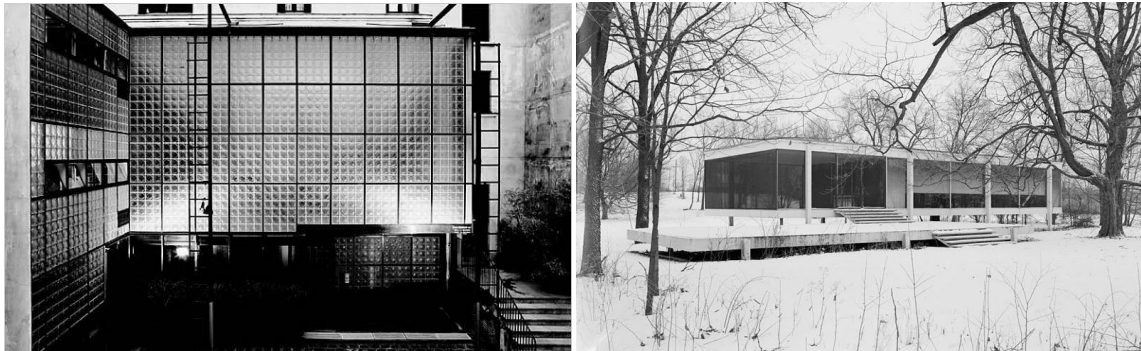
Figura 13. Izquierda: Crystal Palace (Joseph Paxton 1851) Fuente: <http://arquibooks.blogspot.com/>. Derecha: Edificio Hallidie (Willis Polk 1918) Fuente: <http://www.greatbuildings.com/>



Afirma que para mediados del siglo XIX, esta tipología de edificios se convirtió en una técnica estándar para la construcción de almacenes, mercados y estaciones de ferrocarril. Según Dómina (2010), la separación de la fachada y la estructura, introdujo además el denominado “muro cortina”, como un elemento de fachada auto-portante y que no recibía cargas del edificio, el peso de este elemento se transmitía a la estructura principal mediante conexiones con losas o columnas del mismo. El edificio Hallidie de Willis Polk, construido en San Francisco en 1918 es considerado el primer edificio de “muro cortina” que abrió camino a la modernidad y a la arquitectura transparente (Ver Figura 13).

Según Giménez (2011), En 1932 se construye otro edificio en París, la Maison de Verre de Pierre Chareau que representa un gran salto de la arquitectura doméstica en cuanto a su adaptación a nuevas tecnologías (Ver Figura 14). Pero la casa Farnsworth de Mies Van der Rohe en 1951, es quizá una de las propuestas más reveladoras del movimiento moderno, las innovaciones formales, estructurales, arquitectónicas y constructivas de un edificio de vivienda cuyo principal material de cerramiento era el vidrio revelaba un nuevo concepto de habitar, construir y plantear la nueva vivienda del siglo XX (Ver Figura 14).

Figura 14. Izquierda: Maison de Verre de Pierre Chareau (1932). Fuente: <http://untappedcities.com/>. Derecha: Casa Farnsworth (1951) Fuente: <http://es.wikipedia.org/>



Identificación de un problema, en busca de la solución

Según Dómina(2010), desde un principio, el vidrio fue caracterizado por su bajo rendimiento energético y sus problemas para garantizar el confort interno; por esta razón, el planteamiento de nuevos edificios de fachadas transparentes era impensable sin un sistema de aire acondicionado. Debido a esto, se empezaron a buscar posibles soluciones para mejorar el comportamiento de las envolventes acristaladas. Según Giménez(2011), en 1929 Le Corbusier propuso el concepto de “muro neutralizante” que intentó llevar a cabo en el edificio de la Ciudad Refugio en París y consistía en la creación de una envolvente por la cual circularía un flujo de aire a una temperatura constante de 18°C, finalmente por su ineficacia energética, este edificio fue construido sin la segunda piel de vidrio y sin este sistema de climatización. Posteriormente en 1929, Alvar Aalto diseñó una ventana que permitía calentar el aire antes de que ingresara al interior en el Hospital para tuberculosos de Paimio; casi de manera simultánea, en 1930, en Estados Unidos se estaban desarrollando ideas más prácticas hacia el progreso en fachadas múltiples como fue la comercialización de la patente Themopane hacia 1935, ésta consistía en un doble acristalamiento producido por Libbey Owens Ford (LOF) que comprendía dos láminas de vidrio separadas 12mm, herméticamente selladas y con una cámara de aire en su interior. En 1950, en Escandinavia se publicaron los primeros estudios sobre la circulación y flujo de aire en ventanas, el objetivo era mejorar el confort térmico en edificios residenciales. En 1957, en Suecia, se registró la primera patente relacionada con el flujo de aire en ventanas, pero fue en 1967 que la compañía EKONO, construyó el primer edificio de oficinas equipado con ventanas con flujo de aire en Helsinki - Finlandia. Este sistema consistía en un solo marco que conectaba

mecánicamente la ventana interior y exterior, su aislamiento térmico no era bueno debido a que el espacio entre láminas no era el suficiente.

Dentro de la búsqueda de la solución del problema, se rescató en 1960 uno de los primeros intentos en la utilización del vidrio como estrategia bioclimática patentada por Edward Morse en 1882, éste consistía en la invención del primer muro solar que constaba de una hoja exterior de vidrio, una hoja corrugada pintada de negro en el interior y un muro de fábrica detrás; a través de las aberturas y rejillas se podía circular el aire de la cámara hacia el exterior o interior de acuerdo a las necesidades. Este sistema conocido “Muro Trombe o muro Trombe – Michel” fue rescatado y popularizado por el Ingeniero Félix Trombe y el Arquitecto Jacques Michel, este se convertiría después en el principio fundamental del planteamiento de la “doble fachada en vidrio”. Según Dómina (2010), algunos autores atribuyen la primera aplicación de este sistema al Steiff Factory en Giengen – Alemania, en el año de 1903.

Importando un estilo internacional – Arquitectura moderna en Colombia

El estilo internacional en Colombia corresponde a aquellos edificios que comparten las características del movimiento moderno. La máxima expresión de la arquitectura moderna en Bogotá surge a raíz de un hecho histórico ocurrido el 09 de Abril de 1948 en donde más de cien edificios fueron destruidos tras el asesinato del líder liberal Jorge Eliécer Gaitán lo que originó el denominado “Bogotazo” (Ver Figura 15) (Cromos, 2014).

Figura 15. Izquierda: Bogotá destruida tras el bogotazo, carrera 7 entre calles 11 y 12. Fuente: <http://desenterrandosantander.jimdo.com/>. Derecha: Perspectiva general, carrera 7 entre calles 12b y 12c. Fuente: El autor, año 2008.



Tras este incidente, el centro quedó en ruinas lo que nos llevó a contar con uno de los mayores exponentes de la arquitectura moderna y pionero en el urbanismo del siglo XX,

Charles-Édouard Jeanneret-Gris, más conocido como Le Corbusier. Vino a Colombia cinco veces, diseñó un plan de urbanización para Bogotá pero finalmente se fue sin haber construido nada, sin embargo algunos arquitectos lograron aplicar sus principios en algunos de los edificios construidos en la época (Semana, 2010).

Fontana, Henao, Llanos y Mayorga (2008), describen algunas de las características presentes en la arquitectura en Colombia ejecutada en su mayoría entre las décadas de los años 50 y 60. Aunque existen antecedentes de arquitectura moderna que datan de las décadas de 1930 y 1940; en las décadas de 1950 y 1960, Colombia tuvo un gran auge en la construcción de edificios de distinta envergadura de conformidad con las pautas establecidas por los edificios paradigmáticos concebidos en Europa y Estados Unidos entre 1920 y 1960. Debido a la diferencia existente entre el clima norteamericano o europeo y el clima tropical colombiano, algunos de estos edificios lograron alcanzar características singulares debido a la interpretación crítica que tuvieron al momento de adaptar el “sentido universal” propuesto por la arquitectura moderna a un entorno natural distinto, esto se puede evidenciar en el uso de elementos como cortasoles, patios interiores, persianas y grandes aleros, para responder de manera adecuada a los rigores del clima. De esta manera en manos de firmas como Cuéllar Serrano Gómez, Obregón & Valenzuela, Borrero Zamorano Giovanelli y Pizano Pradilla Caro, entre otras, se obtuvieron obras con atributos propios que dotaron de legitimidad a las obras concebidas (Ver Figura 16).

Figura 16. Izquierda: Casa de fin de semana - Islas del Rosario (Obregón y Valenzuela 1957) Fuente: Ciudad y Arquitectura Moderna en Colombia 1950 – 1970. Derecha: Edificio BCH – Banco Central Hipotecario (Esguerra Saenz y Samper 1965) Fuente: El autor, año 2008.



Según Fontana y Mayorga (2008), cuando se habla de arquitectura moderna generalmente se asocia con sus características externas y aparentes, considerando que

cualquier construcción con ventanas corridas, pilotes y fachadas blancas, que se haya construido en concreto, vidrio y acero en una época determinada corresponde a un edificio moderno. Es verdad que las bases reales de este tipo de arquitectura se fundamentan en un rigor compositivo, orden formal, sencillez y funcionalidad pero también en sistemas de relación, es decir de vínculos de tipo visual y físico que se consolidan en un proyecto arquitectónico. De esta manera podemos decir que así como existen buenos ejemplos de arquitectura moderna en Colombia, en donde se pueden evidenciar características de adaptación al medio, existen casos contrarios que parecen una copia e inserción de un edificio dentro de un clima que no le corresponde. Por esta razón no se puede afirmar que toda la arquitectura moderna es buena o es mala, éste calificativo depende de muchos factores. Teniendo en cuenta un claro contexto de la arquitectura moderna en Colombia, se puede identificar que en los años posteriores, ésta tendencia se empieza a desdibujar, comenzaron a aparecer edificios de cristal que no cuentan con criterios ambientales y en donde el nivel de confort en el interior no es el mejor. El objetivo de este trabajo no es calificar las distintas corrientes o tendencias arquitectónicas, sino demostrar que a pesar de todo, continúan existiendo deficiencias inherentes al vidrio que perjudican el confort de los ocupantes, y que además de esto existen malas prácticas que las acentúan. Esto no depende de una corriente o de unos principios, sino de una situación, un lugar, un uso, y un diseñador en particular.

3.2 El vidrio

El vidrio es un material que tiene un comportamiento único que lo hace diferente a los demás materiales opacos de la envolvente. El vidrio es un tipo de “material cerámico amorfo” que puede encontrarse en la naturaleza, pero también puede ser obtenido de manera artificial a través de un reactor de fusión, en donde se calienta una mezcla de arena silícea (arcillas) y óxidos metálicos secos pulverizados o granulados que se funden a temperaturas mayores a 1.000°C formando un líquido viscoso, transparente y homogéneo el cual posteriormente es manipulado y tratado de manera adecuada durante su enfriamiento (ILCE, s.f.). Como se mencionó anteriormente su principal cualidad es la transparencia. Su importancia indiscutible como material de fachada y el reconocimiento de sus excelentes características y propiedades, nos ha llevado en los últimos años a buscar la manera de mejorar sus prestaciones energéticas, sin embargo a pesar de los logros alcanzados en este campo, según Giménez (2011), el vidrio sigue siendo

energéticamente menos eficiente que el resto de la envolvente y por lo tanto, un punto crítico.

Por otro lado es importante recordar la clara distinción que existe entre los términos “vidrio” y “ventana”, pero también es importante destacar que además del mejoramiento de las propiedades del vidrio, el concepto de “ventana” es determinante a la hora de tomar medidas para generar un espacio confortable en el interior. Por esta razón se abarca esta problemática de manera integral tanto en lo material (vidrio) como en la técnica (estrategias bioclimáticas) con el fin de conseguir una envolvente adecuada.

3.2.1 Características

Para entender el comportamiento del vidrio, es necesario entender los mecanismos por los cuales el calor se transmite a través de un cuerpo: Conducción, convección y radiación.

Fuentes, 1998 afirma que,

El flujo de energía en una estructura o espacio se basa en los principios de la termodinámica. La primera ley establece que la energía se transforma, no se crea ni se destruye, mientras que la segunda dice que la energía calorífica siempre viaja de un cuerpo con mayor temperatura a otro con menor temperatura” (pág. 101)

Con el fin de conocer las propiedades resultantes de los nuevos materiales, es necesario entender los fenómenos que suceden cuando el rayo solar pasa a través de un cerramiento transparente. Según el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley y el Departamento de Energía de EE.UU (Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy , 2013) los aspectos básicos que se deben tener en cuenta para evaluar las propiedades del vidrio son la transmitancia visible o transmisión de la luz día, la reflectancia visible o reflectancia de la luz día, el coeficiente de ganancia solar (SHGC – Solar Heat Gain Coefficient) o coeficiente de sombra (SC – Shading Coefficient), el valor U, la transmitancia ultravioleta, la selectividad espectral y el color del vidrio. De igual forma, Giménez (2011) menciona otras características de gran importancia y que se deben destacar como la inercia térmica y el factor solar.

3.2.2 Tipos de vidrio

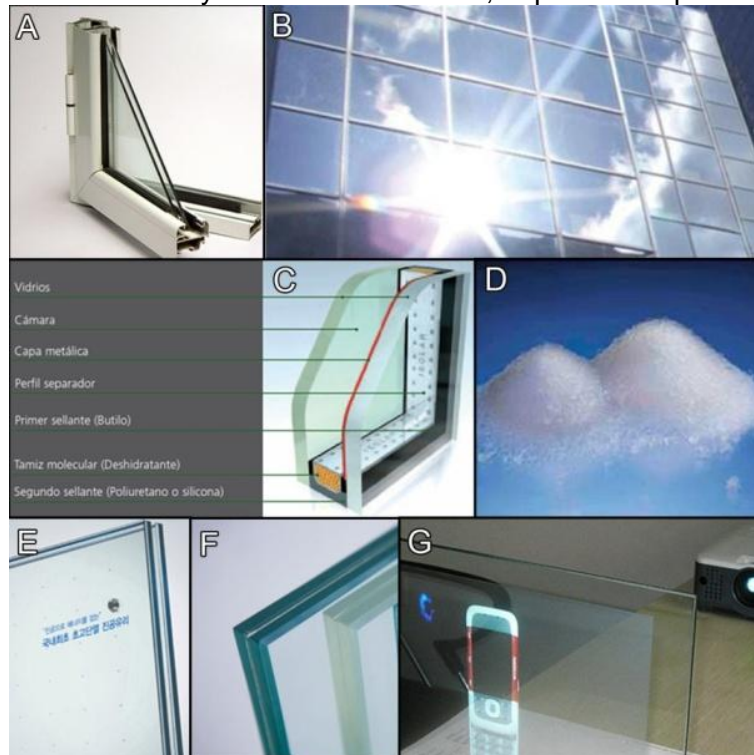
Giménez Molina (2011) cita a Allan Dickson (2004) al afirmar que a partir de la crisis energética de 1973 se han logrado importantes innovaciones en el tema energético a través de mejoras aplicadas al vidrio, cabe destacar la utilización de materiales poliméricos en algunas de estas mejoras.

Giménez (2011) clasifica estas tecnologías en dos tipos; por un lado los vidrios estáticos los cuales tienen un comportamiento óptimo en condiciones concretas y resultan desfavorables en otras, y por el otro los vidrios dinámicos, capaces de cambiar sus propiedades respondiendo a condiciones específicas.

Vidrios estáticos

Son aquellos vidrios que no cambian sus propiedades a través del tiempo (Ver Figura 17).

Figura 17. Vidrios estáticos. Fuentes: varias. Elaboración propia basado en <http://www.termopanelesivesco.cl/>, <http://crcoedificacion.wordpress.com/>, <http://www.domokyo.com/>, <http://www.ison21.es/>, <http://www.lghausys.com/>, www.construccion-y-reformas.vilssa.com, <http://es.aliexpress.com/>



Teniendo en cuenta la figura anterior, Giménez (2011) dentro de su investigación realiza una descripción de los avances más destacados, así:

- a) Vidrio sencillo o doble con cámara de aire: Con su cámara de aire tiene la función de evitar grandes cambios de temperatura en el interior y mejorar las deficiencias de éste material en cuanto a su aislamiento y elevado valor de emisividad.
- b) Vidrios de control solar: Se considera la primera mejora adoptada con el fin de reducir las cargas térmicas y problemas de deslumbramiento. Se basa en la utilización de colores o materiales químicos superficiales con los cuales la radiación se refleja directamente hacia el exterior (Vidrios reflectantes). Estos vidrios ofrecen algunas ventajas como la reducción del factor solar y protección visual desde el exterior hacia el interior; pero presentan inconvenientes como la escasa luminosidad de los ambientes, no se presentan mejoras en la transferencia de calor a través del material, y en condiciones climáticas específicas es ineficiente.
- c) Vidrio doble con capa metálica de baja emisividad: Consiste en la utilización de una capa de baja emisividad y de alta transmisión solar con el fin de lograr una verdadera trampa para la radiación. Su alta reflectividad al infrarrojo de onda larga hace rebotar la radiación, la posición de la película baja emisiva determina las características finales del vidrio, de captación o protección solar, también se pueden lograr vidrios mixtos que cumplen las dos funciones de manera simultánea.
- d) Vidrios con aerogel: El aerogel es un material constituido por partículas de sílice que contienen un porcentaje de aire entre un 90 y un 99.8% aproximadamente. Se caracteriza por tener una estructura porosa, transparente y de baja densidad. El aerogel en gránulos denominado también “nanogel”, permite que el acristalamiento sea translúcido, pero no transparente.
- e) Vidrios al vacío: Consiste en la extracción de cualquier tipo de gas de su cámara interior, esto con el fin de mejorar las características aislantes del vidrio impidiendo la transmisión del calor por convección. Este sistema tiene la ventaja de no depender de las propiedades aislantes del vidrio y que su cámara puede lograr espesores muy pequeños. La principal desventaja que tiene este sistema es que debido a la diferencia de presiones entre la cámara interior y el ambiente exterior se pueden generar grandes tensiones en los vidrios, los cuales se comprimen hacia el interior y en algunas ocasiones, se topan. Para evitar esto se colocan una serie de separadores que afectan su transparencia y que además se convierten en puentes térmicos.

- f) Materiales semi-transparentes aislantes: Estos materiales tienen la finalidad de limitar las dispersiones térmicas por convección e irradiación a través de la utilización de estructuras geométricas. Actualmente se encuentran en fase de desarrollo.
- g) Dispositivos de redireccionamiento de la luz natural: Se refieren a materiales que son capaces de modificar la trayectoria de la radiación incidente a determinados ángulos, bloqueándola o desviándola según sea el caso. Así por ejemplo existen materiales como lamas fijas o móviles que se ubican en un vidrio doble y que en función de la posición del sol varían la transmitancia luminosa. Los últimos avances en este tipo de materiales consisten en la utilización de películas holográficas, que redireccionan la luz incidente a través de una estructura prismática invisible obtenida mediante una impresión holográfica.

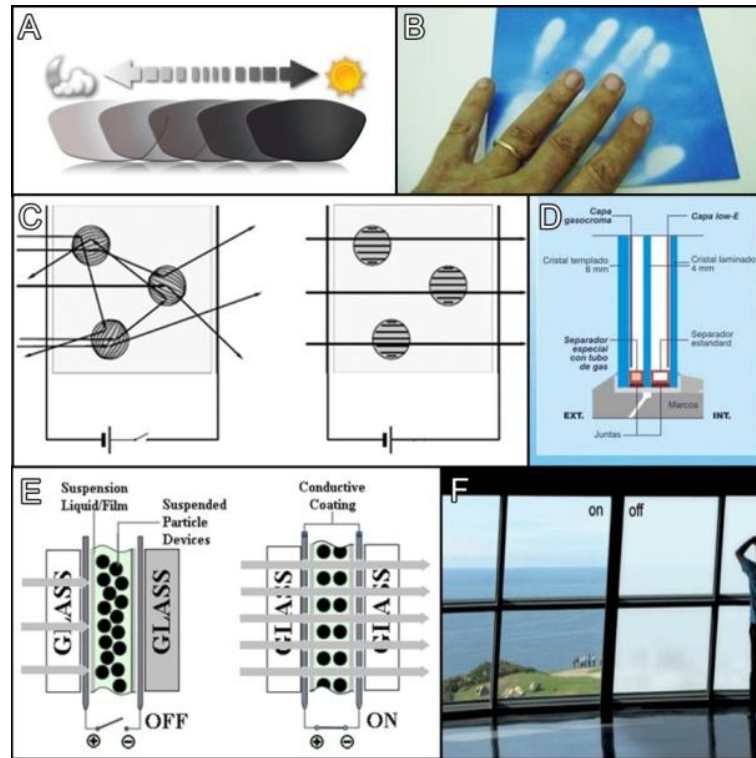
Vidrios dinámicos

Corresponden a aquellos vidrios que son capaces de cambiar sus propiedades dependiendo de las condiciones exteriores o de las necesidades del usuario. Se les llama también vidrios inteligentes porque en ocasiones, su tecnología implica tener un sistema domótico que pueda activar estos mecanismos para la protección del edificio.

Se dividen en vidrios cromogénicos, vidrios con fluido circulante en su cámara y sistemas de fachada de doble piel. Algunos todavía se encuentran en proceso de investigación y por lo tanto su comercialización es limitada.

Los “vidrios cromogénicos” son aquellos capaces de cambiar su color u opacidad en función de las condiciones externas o de la aplicación de una corriente eléctrica (Ver Figura 18).

Figura 18. Vidrios dinámicos cromogénicos. Fuentes: varias. Elaboración propia <http://opticapereccion.blogspot.com/>, <http://www.indulens.com.co/>, Zinzi (1989), <http://www.energies-renouvelables.org/>, <https://filer.case.edu/>, <http://milpa-alta-distrito-federal.anunciosred.com.mx/>



Los vidrios cromogénicos a su vez se subdividen en dos tipos:

“Vidrios pasivos: Fotocrómicos y Termocrómicos

Vidrios activos: Electrocrómicos, Gasocrómicos, Vidrios de cristal líquido disperso y Vidrios de partículas en suspensión (Platzer 2004)” (Giménez Molina, 2011, pág. 58)

Los *vidrios cromogénicos pasivos* son aquellos capaces de cambiar su apariencia a partir de las condiciones climáticas externas y se clasifican en:

- a) Fotocrómicos: Consiste en que el material cambia su transparencia en respuesta a la intensidad lumínica, es decir se oscurece a mayor intensidad de la radiación usualmente la ultravioleta y vuelve a su apariencia original en la oscuridad. Aunque se utilizan comúnmente en la fabricación de gafas de sol, en el sector de la construcción todavía no están disponibles en el mercado ya que este procedimiento no se puede realizar fácilmente sobre un vidrio común.
- b) Termocrómicos: Este tipo de vidrios cambian su transparencia en función de la temperatura. Sus características se logran a través de la aplicación de geles

(hidrogeles de polímero) cuyas propiedades varían desde una apariencia clara cuando baja la temperatura hasta una apariencia difusa y blanca que refleja la luz cuando ésta sube; cuando esto sucede, la visión a través del vidrio es prácticamente nula. Todavía no están comercialmente disponibles debido a que persisten inconvenientes como la inestabilidad de los geles ante la radiación ultravioleta, su ciclo de vida y la falta de homogeneidad durante el encendido.

En cuanto a los “vidrios cromogénicos activos”, son aquellos que cambian su transparencia mediante la aplicación de una pequeña corriente eléctrica controlada por los usuarios del edificio, así:

- c) Vidrio de cristal líquido disperso: El cristal líquido corresponde a un estado del vidrio que se encuentra entre líquido y sólido, por esta razón cuenta con propiedades de los dos estados de la materia. En este estado las moléculas cuentan con libertad de movimiento (rotación), lo que permite que este tipo de materiales cuente con propiedades anisótropas, es decir que sus moléculas permitan modificar el comportamiento de la luz dependiendo de su dirección.

Su aplicación en arquitectura corresponde a pantallas de cristal líquido disperso (LCD)⁷. Este sistema consisten en una película de cristal líquido muy fina que se ubica entre dos conductores eléctricos transparentes colocados sobre películas de plástico muy delgadas, al final todo este sistema se encuentra laminado por dos capas de vidrio. Cuando la pantalla se encuentra apagada, las partículas de cristal líquido se encuentran desordenadas y desalineadas; cuando se prende, las partículas se ordenan obteniendo un material transparente.

A pesar de su nivel de desarrollo, estos materiales son inviables desde el punto de vista de ahorro energético debido a que necesitan una gran cantidad de energía para permanecer transparentes, además tanto prendidos como apagados permiten la entrada excesiva de luz y calor lo que causa que de todos modos se tenga que usar un vidrio de control solar o bajo emisivo porque el cristal líquido se daña fácilmente por efectos de la radiación ultravioleta. Por estas razones su aplicación se ha limitado solamente a espacios interiores.

⁷ LCD - Liquid crystal display (Pantalla de cristal líquido)

- d) Vidrios Gasocrómicos: Este sistema consiste en un mecanismo que incluye hidrógeno solo o mezclado con gases inertes dentro de sus capas. Al aplicar una carga eléctrica se produce una serie de reacciones electroquímicas que permiten la coloración del vidrio. El gas requerido para el funcionamiento del sistema es inyectado a través de un circuito complejo de tuberías.
- e) Vidrio de partículas en suspensión (SPD)⁸: Este tipo de vidrio utiliza una delgada capa de líquido en el cual se encuentran partículas microscópicas suspendidas. Al igual que en el cristal líquido, cuando se encuentra apagado las partículas están desordenadas y bloquean la visual hacia el exterior; cuando se prende, una corriente eléctrica las ordena mejorando su visibilidad. Actualmente este tipo de vidrios se encuentran en el mercado pero a un alto costo, además requieren un uso constante de energía para mantenerse transparentes.
- f) Vidrios electrocrómicos: Consiste en un conjunto de capas que aplicadas al vidrio y mediante la aplicación de un pequeño voltaje, logran cambiar su transparencia. Su velocidad de encendido varía en función de la superficie (distancia entre el marco y el centro del vidrio) y de la temperatura exterior. Dependiendo de estos factores, los tiempos de encendido pueden oscilar entre 4 y 37 minutos aproximadamente. En comparación con los tipos de vidrio mencionados anteriormente, su consumo energético es menor.
- Cuando está en su máximo estado de encendido, logra reducir enormemente las ganancias solares indeseadas. Dentro de sus desventajas se encuentran como se mencionó anteriormente su tiempo de encendido lo cual implicaría la utilización de elementos de protección solar mientras esto sucede, y su apariencia final no es uniforme lo que puede causar deslumbramiento ya que en ocasiones, su control en el exceso de luminosidad no es suficiente.

En cuanto a los “vidrios con fluido circulante en su cámara” (Giménez Molina, 2011, pág. 93), consiste en aquellos cerramientos constituidos por dos láminas de vidrio que forman una cámara por la cual puede pasar o permanecer en reposo un fluido (agua o aire). Las cámaras se encuentran conectadas a un circuito impulsado por una bomba que se encarga de recircular el fluido, calentándolo o enfriándolo de acuerdo a los

⁸ SPD - Suspended Particle Devices (Dispositivos de partículas suspendidas)

requerimientos que se tengan en el interior. Adicional a lo anterior, con este sistema también se podría regular la cantidad de iluminación natural que ingresa al edificio a través de la coloración del fluido (agua). Dentro de sus ventajas se destacan las propiedades que tiene el agua, mejores que las del vidrio en cuanto al paso de los infrarrojos y por ende la disminución del ingreso de radiación al espacio. Entre sus desventajas encontramos (al igual que en los vidrios electrocrómicos, gasocrómicos, vidrios de cristal líquido disperso o vidrios de partículas en suspensión) un sistema de fachada muy complejo para su funcionamiento (Ver Figura 19).

Figura 19. Izquierda: Ensayo vidrios con cámara de agua. Derecha: Ejemplo de complejidad de fachadas. Fuente: Giménez (2011).



En cuanto a la “fachada de doble piel” según Giménez Molina (2011) consiste en un sistema compuesto por dos superficies, una exterior separada de la interior (límite de la zona habitable) por un espacio en el cual y de acuerdo a las necesidades, se puede o no presentar una circulación constante de aire. Este sistema es utilizado principalmente en edificios de gran altura con el objetivo de permitir una ventilación natural sin crear fuertes corrientes de aire incómodas para los usuarios. “Una fachada de doble piel es una solución constructiva que mejora la eficiencia energética de la envolvente, pudiendo incorporar diferentes tipos de vidrios tanto estáticos como dinámicos”(pág. 49). Este tipo de envolventes pueden incluir también sistemas automáticos de control de variables externas e internas, incluyendo de esta manera el concepto de “sistemas de fachadas inteligentes” (pág. 8)⁹ que plantea la adaptación del edificio a las condiciones climáticas externas a través de sistemas automáticos de control. Según Dómina(2010), es

⁹ Según Dómina (2010), un edificio inteligente es aquel que puede crear condiciones personales, ambientales y tecnológicas óptimas que permitan mejorar el nivel de satisfacción y productividad de los ocupantes, además del consumo energético a través del monitoreo y control de los sistemas comunes del edificio (Building Management System BMS).

importante diferenciar entre un “edificio inteligente” y un “edificio inteligentemente diseñado”.

Dentro del sistema de doble piel de vidrio, el espacio entre pieles puede ser continuo o tener particiones las cuales modifican completamente el comportamiento del sistema. La elección del tipo de vidrio utilizable tanto en el interior como en el exterior de la fachada depende de las necesidades que se tengan (captación o protección solar, es decir calefacción o refrigeración). Dentro de las ventajas que tiene este sistema se encuentra un mejor aislamiento de la envolvente, el uso de cortasoles protegidos del viento y de la lluvia, el enfriamiento de la envolvente debido al aprovechamiento de la incidencia directa del viento y la ventilación de los espacios de manera natural. Las desventajas de este sistema radican en altos costos en su construcción y mantenimiento en comparación con las fachadas convencionales, tiene un mayor peso que se traduce en un mayor costo de la estructura, ocasionan una reducción importante del espacio útil dentro del edificio y de los niveles de iluminación natural en el interior, además, si no está correctamente diseñada puede ocasionar problemas de sobrecalentamiento.

3.3 Polímeros

“Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión repetida de una o varias moléculas unidas por enlaces covalentes” (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012, pág. 3). Simplificando ésta definición en orden ascendente de menor a mayor tamaño, se puede decir que la unión de átomos forman moléculas, éstas al unirse forman monómeros, los cuales al articularse con más monómeros forman macromoléculas que dan lugar a una estructura de constitución repetitiva denominada polímero.

Según López Carrasquero (2004), desde la antigüedad el ser humano ha utilizado polímeros naturales tales como la lana, la seda, la celulosa, para satisfacer algunas de sus necesidades. El asfalto era empleado en medio oriente desde años a.C. y el algodón era utilizado en México desde antes de la llegada de Colón. En épocas precolombinas el látex era empleado por algunos pueblos mayas para la fabricación de pelotas. Colón y otros exploradores quedaron fascinados con este material y lo llevaron a Europa en donde se encontraron algunas aplicaciones, las más importantes obtenidas después del descubrimiento de la vulcanización, por el Norteamericano Charles Goodyear en 1839. El término “polímero” fue utilizado por primera vez en 1833 por el químico sueco Jöns Jacob

Berzelius, aunque con una definición muy distinta (Mariano, 2011 - 2014). Según Hermida (2008), el primer plástico que se originó en la historia resultó de un concurso realizado en 1860, cuando el fabricante norteamericano de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa a quien encontrara un sustituto del marfil natural. Durante este concurso, John Wesley Hyatt aunque no ganó el premio presentó un nuevo material llamado celuloide el cual tuvo un gran éxito comercial.

Gracias a Staudinger conocemos el concepto de polímero como tal, pues en 1920 introdujo por primera vez la idea de una “cadena macromolecular constituida por enlaces covalentes”. En reconocimiento a su trabajo este investigador recibiría el premio Nobel en 1953. En 1955 gracias al trabajo mancomunado entre Karl Ziegler y Giulio Natta se pudo obtener un polipropileno cristalino y surgió el concepto de estereoregularidad que corresponde a la distribución espacial de los grupos químicos en la cadena. Gracias a este descubrimiento éstos científicos se hicieron acreedores al premio Nobel en 1955.

Los polímeros se pueden encontrar en infinidad de sectores, en nuestra vida cotidiana se presentan como implementos deportivos, utensilios de cocina, etc. Basta con mirar alrededor para darnos cuenta que estamos sumergidos en un mundo lleno de materiales poliméricos, debido a esto “se hace muy importante conocer estos materiales lo mejor posible, no solo por las ventajas que nos ofrecen, sino también por los inconvenientes que causan debido a su acumulación cuando ya no nos son útiles” (López Carrasquero, 2004, pág. 6). Según Hermida (2008), en la actualidad los plásticos constituyen el 20% de los residuos urbanos provocando un grave deterioro ambiental.

3.3.1 Clasificación

Beltrán & Marcilla (2012) clasifican este tipo de materiales dependiendo de su origen en sintéticos o naturales. Los polímeros sintéticos o artificiales se obtienen a través de la combinación de uno a tres tipos de moléculas (monómeros) las cuales se obtienen mediante reacciones llamadas “reacciones de polimerización”. Los polímeros naturales o “biopolímeros” presentan estructuras más complejas y se pueden encontrar en la naturaleza como por ejemplo la celulosa, el ADN, la seda, el algodón, etc. “Cuando se parte de un solo tipo de molécula se habla de homopolimerización y de homopolímero. Cuando son dos o más moléculas diferentes las que se repiten en la cadena se habla de copolimerización, comonómeros y copolímero” (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012,

pág. 3). Para efectos de la presente investigación, los materiales utilizados se clasifican dentro del grupo de los homopolímeros.

3.3.2 Estructura

Beltrán y Marcilla (2012) consideran dos niveles de estructura en los polímeros, la estructura química y la estructura física. La estructura química consiste en la construcción de la molécula individual mientras que la estructura física consiste en cómo se ordenan lo que depende de su estructura química. Esto condicionará el comportamiento del material durante su procesado y vida útil, así por ejemplo, el orden de las moléculas determinará el estado amorfo o cristalino de los polímeros.

Flory (1953) establece otro parámetro de clasificación dependiendo de los mecanismos de polimerización “polimerización en etapas y polimerización en cadenas (Flory, 1953)” (López Carrasquero, 2004, pág. 6). En la actualidad, estos términos son usados como sinónimos (condensación = etapas y adición = cadena). Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta la estructura y clasificación de los polímeros objeto de estudio (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación y estructura de los polímeros estudiados. Fuente: Elaboración propia basado en (Beltrán Rico & Marçilla Gomis, 2012).

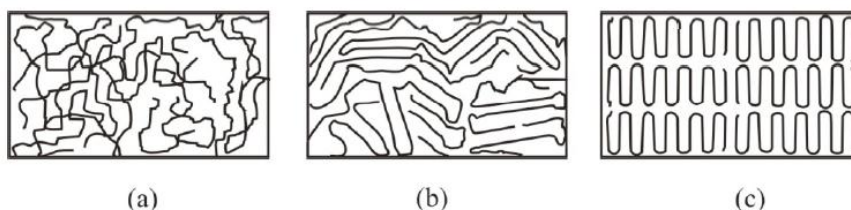
POLÍMEROS DE ADICIÓN		
Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Polietileno	PE	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$
Polipropileno	PP	$ \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $
Poliestireno	PS	$ \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} $
Policloruro de Vinilo	PVC	$ \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{Cl} \end{array} $
POLÍMEROS DE CONDENSACIÓN		
Politereftalato de etileno	PET	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OCO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$
Polycarbonato	PC	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $

Beltrán y Marcilla (2012) plantean otro parámetro de clasificación de los polímeros teniendo en cuenta la configuración de los monómeros y la ordenación de los

sustituyentes alrededor de un átomo en particular, de esta manera surge el concepto de “estereoregularidad (Karl Ziegler y Giulio Natta, 1955)” (López Carrasquero, 2004, pág. 5). Dependiendo de ésta configuración, los polímeros se clasifican en isotáctico, sindiotáctico y atáctico.

Dentro de la estructura física del polímero, nos encontramos con el fenómeno de cristalización que consiste en que la estructura de los polímeros semicristalinos como los plásticos, pasa de una disposición espacial desordenada a una disposición uniforme y ordenada. De esta manera una estructura amorfa (transparente a la luz), pasa a convertirse en una estructura cristalina (opaca a la luz) (Mariano, 2011 - 2014) (Ver Figura 20)

Figura 20. Esquemas estructura física, estados a) Amofro, b) Semi-cristalino y c) Cristalino. Fuente: (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).



Según Beltrán y Marcilla(2012), las moléculas de un polímero se encuentran generalmente enredadas y desordenadas, requieren de una fuerza externa para que se orienten en una sola dirección. Si la energía es suficiente, las moléculas tienen la capacidad de moverse y los átomos de las cadenas podrán rotar alrededor de los puntos de enlace, produciéndose cambios en su conformación. De acuerdo a las leyes de la termodinámica, todos los sistemas tienden a ordenar sus moléculas para formar redes cristalinas al alcanzar una temperatura determinada. La ventaja que presentan algunos polímeros amorfos sobre varios polímeros semicristalinos es la transparencia, lo cual es una característica natural e inherente al polímero, sin embargo, algunos plásticos altamente cristalinos pueden presentar una alta transparencia cuando son procesados adecuadamente. Los polímeros amorfos son conocidos también como vítreos.

Según López (2004), la estereorregularidad afecta la cristalinidad, los polímeros con una estructura isotáctica o sindiotáctica (unidad repetitiva regular), son capaces de cristalizar mientras que los polímeros atácticos (unidad repetitiva irregular) generalmente solidifican

como vidrios amorfos. De igual forma, la presencia de ramificaciones en la estructura del polímero también reduce la cristalinidad del mismo, de esta manera surge otra clasificación de los polímeros de acuerdo a su morfología: lineales en donde los monómeros se encuentran unidos uno al lado del otro en una sola dirección, ramificados en donde se generan derivaciones a partir de la cadena principal y entrecruzados en donde varios polímeros lineales se entrelazan unos con otros. Cabe destacar que la presencia de ramificaciones tiene efectos significativos en las propiedades físicas de los polímeros, principalmente en la disminución de su cristalinidad, esto debido a que no pueden ordenarse fácilmente a diferencia de los polímeros lineales.

Como se puede observar existen distintos niveles de estructura lo que determinará el comportamiento final del material. Como se mencionó anteriormente, los polímeros poseen por un lado un orden micro, y por el otro un orden macro. Para efectos de la presente investigación, las láminas de cada uno de los polímeros objeto de estudio presentan unas características visuales transparentes debido a que su estructura micromolecular es desordenada. Su estructura macromolecular es ordenada con el fin de contar con propiedades ópticas que permitan bloquear parte de la radiación solar.

3.3.3 Propiedades

Beltrán y Marcilla (2012) afirman que a pesar de que los polímeros presentan grandes diferencias entre su composición y estructura, existen propiedades que son comunes a todos ellos y que los distinguen de otros materiales como su densidad, conductividad térmica y eléctrica, propiedades ópticas, entre otras.

La densidad de los plásticos son relativamente bajas, esto se debe principalmente a dos motivos, por un lado, los átomos que los componen son ligeros, y por el otro, las distancias medias entre átomos son relativamente grandes. La conductividad térmica de los plásticos también es sumamente baja, esto se debe a la ausencia de electrones libres en este material, también presentan una baja conductividad eléctrica debido a que presenten resistencias muy elevadas.

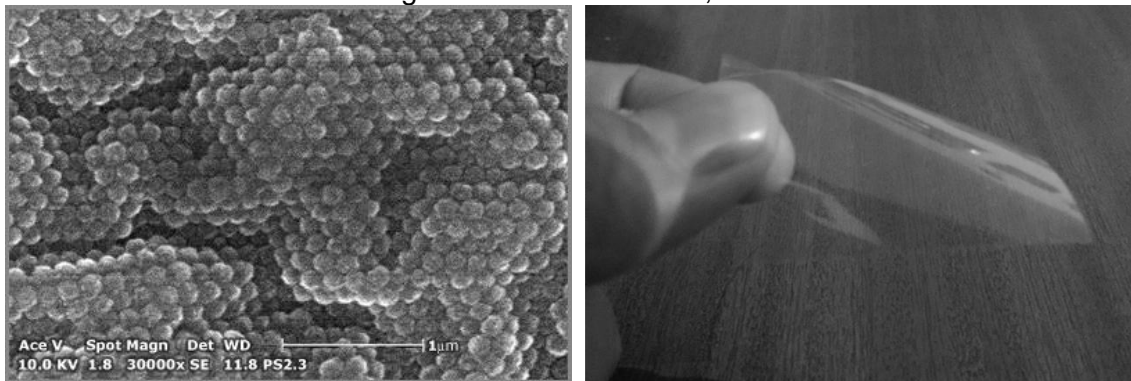
En cuanto a las propiedades ópticas de estos materiales, como se mencionó anteriormente éstas son variables y están ligadas a su cristalinidad. Por lo general los plásticos que no contienen aditivos son translúcidos, los polímeros amorfos son transparentes, mientras que los cristalinos son opacos. Las áreas cristalinas evitan que la

luz se transmita libremente, excepto cuando las macromoléculas tienen una orientación determinada o se tratan superficies muy finas. Por el contrario, los polímeros amorfos al tener un ordenamiento al azar de las moléculas no causan una difracción importante en la luz permitiendo una gran transparencia y transmitancia de la luz que puede llegar a ser del 90%. Algunos termoplásticos amorfos pueden llegar a presentar una transparencia que no difiere con la del propio vidrio pero ésta se puede llegar a perder, al menos parcialmente por exposición directa a la intemperie o por cambios bruscos de temperatura.

3.3.4 Polímeros compuestos

La investigación realizada por el profesor Pérez Marín utiliza láminas de polímeros con espesores entre las 80 y 150 μm y con características ópticas traslúcidas. Cuando se habla de polímeros compuestos se habla de la combinación de dos láminas de distinto material, este sistema se conoce como tipo “blend” y en donde cada una de las capas posee una estructura molecular única que se complementa con la otra (Ver Figura 21).

Figura 21. Izquierda: Estructura molecular de materiales poliméricos. Fuente: <http://www.uvmnet.edu/>. Derecha: Ejemplo de láminas de polímeros utilizadas en la investigación Fuente: El autor, año 2016.



- Polímeros objeto de estudio

Los polímeros objeto de la investigación fueron escogidos debido a que son los que más se producen comercialmente y los que cuentan con mayor literatura de referencia.

Según López(2004), existen plásticos de uso general denominados “comodities” los cuales se pueden fabricar en grandes cantidades y a un bajo costo. Los polímeros objeto

de estudio se encuentran dentro de este grupo (con excepción del PC el cual no fue mencionado):

PET (Politereftalato de etileno)

Es un tipo de materia plástica derivada del petróleo, su denominación técnica es polietilén tereftalato o politereftalato de etileno y forma parte del grupo de termoplásticos, razón por la cual es reciclable.

Fue descubierto por los científicos británicos Whinfield y Dickson, en el año 1941. Su aplicación más significativa surgió en el año de 1976 en la fabricación de envases rígidos. El PET se caracteriza generalmente por su alta pureza, su elevada resistencia y tenacidad. De acuerdo a la orientación de sus moléculas presenta propiedades de transparencia (aunque también admite colorantes) y resistencia química. Dependiendo de su peso molecular y cristalinidad, el PET se clasifica en diferentes grados, los que presentan menor peso se denominan grado fibra, los de peso intermedio grado película y los de mayor peso molecular, grado ingeniería. Este polímero no se estira, es resistente al calor, forma fibras fuertes y flexibles así como también películas, se encuentra ranqueado como No. 1 en reciclado (Mariano, 2011 - 2014).

PVC (Policloruro de Vinilo)

Es uno de esos descubrimientos curiosos que tuvo que ser realizado dos veces. En 1912 un químico alemán, Fritz Klatte, produjo un cloruro de vinilo pero en aquella época nadie sabía qué hacer con él, así que lo dejó en un estante y con el tiempo, éste se polimerizó, fue patentado en Alemania pero en 1925 esta patente expiró. En 1926, el químico norteamericano Waldo Semon, inventó “otra vez” el PVC con la diferencia de que ésta vez sí se le encontró aplicación. Él y sus jefes en B.F. Goodrich patentaron el PVC en los Estados Unidos y posteriormente surgieron miles de nuevas aplicaciones para este material.

Dentro de sus características se encuentra una elevada resistencia a la abrasión, una baja densidad, una buena resistencia mecánica y al impacto lo que permite su utilización en el sector de la construcción. Debido a su resistencia los productos de PVC pueden durar hasta más de 60 años.

Dentro de los procesos de modelado se puede destacar el proceso de “Calandrado” a través del cual se elaboran principalmente películas y láminas las cuales pueden ser flexibles o rígidas y transparentes u opacas (Mariano, 2011 - 2014).

Hermida (2008) agrega además que es un material que tiene una baja cristalinidad pero con frecuencia suele ser opaco.

PC (Policarbonato)

Fue descubierto a mediados de 1953 en el laboratorio de la fábrica de Uerdingen. Fue registrado con el nombre comercial de Makrolon®, nombre que se mantiene hasta la fecha. Casi al mismo tiempo en 1953 Daniel W. Fox, descubrió una resina de policarbonato tenaz y resistente al calor el cual fue registrado con el nombre de Lexan®. Entre las características principales del policarbonato se encuentran su transparencia, su resistencia frente a impactos y su buen comportamiento a temperaturas relativamente elevadas. Sus aplicaciones son muy variadas y en ocasiones es un buen sustituto para el vidrio en el sector de la construcción. Se utiliza en la fabricación de lentes ultra-livianas ya que para personas con una visión mala, si estas lentes se hicieran de vidrio resultarían muy pesadas. Además del peso, el policarbonato permite utilizar lentes más finos ya que posee un índice de refracción más alto que el vidrio. Pueden contener agregados que permiten tener propiedades adicionales como la absorción de los rayos ultravioleta (UV), su estructura química ocasiona que las moléculas sean muy rígidas lo que causa que éste material tenga una estructura amorfa, una baja contracción durante el moldeo y sea transparente (Mariano, 2011 - 2014).

PE (Polietileno)

El polietileno o polieteno es el plástico más común de todos. Al año se producen aproximadamente 80 millones de toneladas métricas.

Fue obtenido por primera vez por el químico alemán Hans von Pechmann que lo preparó por accidente en 1898, al principio esta sustancia fue calificada como polimetileno. La primera mezcla industrialmente práctica fue descubierta nuevamente por accidente en 1933 por Eric Fawcett y Reginald Gibson en ICI (Imperial Chemical Industries) en Northwich, Inglaterra. Al principio fue difícil de reproducir pero en 1935 Michael Perrin, realizó un nuevo avance que se convirtió en la base para la producción industrial de polietileno de baja densidad en 1939.

El PE es un polímero termoplástico conformado por largas cadenas de hidrocarburos y dependiendo de su fabricación pueden ser de baja, media y alta densidad. En general este material tiene una excelente resistencia química, sus propiedades mecánicas dependen la extensión, el tipo de ramificación de sus moléculas, su estructura cristalina y

su peso molecular. Así por ejemplo sus aplicaciones van desde piezas para máquinas o chalecos antibalas, hasta la fabricación de botellas y bolsas. (Mariano, 2011 - 2014)

Dependiendo de su clasificación, López (2004) agrega además que el polietileno de baja densidad (LDPE - Low-density polyethylene) y el de alta densidad (HDPE - High-density polyethylene) se diferencian por su grado de cristalinidad. Dice que el LDPE posee una estructura muy ramificada y por ende una baja cristalinidad mientras que el HDPE posee una mayor cristalinidad debido a su estructura prácticamente lineal.

PS (Poliestireno)

Es un plástico económico, reciclable y muy resistente. Se obtuvo por primera vez en Alemania por la I.G. Faberindustrie, en el año 1930.

Por debajo de 100 °C posee un estado sólido vítreo; por encima de esta temperatura se puede moldear y procesar. Entre sus métodos de fabricación podemos destacar su fabricación por extrusión (XPS – Poliestireno extruido) lo que da como resultado elementos como películas.

Entre los principales tipos de PS se encuentra el poliestireno cristal, el cual se caracteriza por ser un sólido transparente, duro y frágil; este material es atáctico, es decir que carece de tacticidad y que la configuración de sus unidades repetitivas no es constante, por esta razón se trata de un polímero completamente amorfo y transparente.

Dentro de sus propiedades ópticas se destaca la transparencia del PS cristal y su índice de refracción similar al PC y al PVC.

Por otro lado encontramos el poliestireno expandido (EPS – Expanded Polystyrene) comúnmente conocido como “icopor”, que es un plástico bastante frágil y muy sensible a casi todos los disolventes (Mariano, 2011 - 2014).

PP (Polipropileno)

En la década de 1950 surge casi de manera simultánea entre numerosos grupos de investigadores alrededor del mundo.

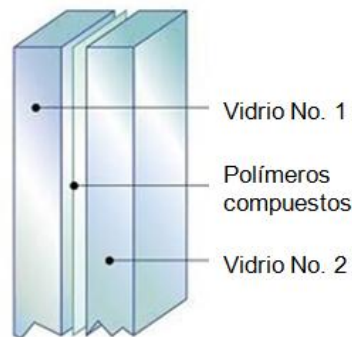
El polipropileno es un tipo de termoplástico que tiene propiedades únicas difíciles de encontrar en otro material como por ejemplo su alta estabilidad térmica lo que le permite trabajar a temperaturas de 100°C. Dentro del rango de productos fabricados con este material podemos destacar los homopolímeros los cuales son altamente isotácticos y por ende muy cristalinos. El PP es el polímero comercial de más baja densidad y facilidad de moldeo, se utiliza en la fabricación de una gran cantidad de láminas, fibras y filamentos.

Dentro de sus propiedades se destaca su baja densidad, su índice refractivo, una resistencia aceptable a la radiación UV, y una baja conductividad térmica (Mariano, 2011 - 2014). López (2004) agrega además que en términos generales posee propiedades similares a las del HDPE. De igual forma Hermida(2008), agrega además que este material tiene una desventaja importante, es susceptible a la degradación ocasionada por la luz, el calor y el oxígeno. Recomienda además que para evitar esto se debe añadirle un antioxidante y un estabilizador a la luz ultravioleta lo que puede acarrear en mayores costos.

3.4 Nuevos materiales

Teniendo en cuenta las deficiencias y potencialidades del vidrio mencionadas anteriormente, la propuesta de nuevos materiales trata de avanzar en la búsqueda de soluciones que permitan por un lado mejorar las prestaciones energéticas de éste material y por el otro, conservar sus propiedades funcionales y estéticas (transparencia). La inclusión de polímeros en medio de dos láminas de vidrio para efectos del presente trabajo se denominará “nuevos materiales”. Este sistema se define como el resultado de la combinación de varias capas que originan una unidad con unas características únicas. Dómina (2010) clasifica este sistema como vidrio laminado, el cual consiste en la inclusión de un material en medio de dos láminas de vidrio con el fin de alterar su función (panel tipo sándwich).

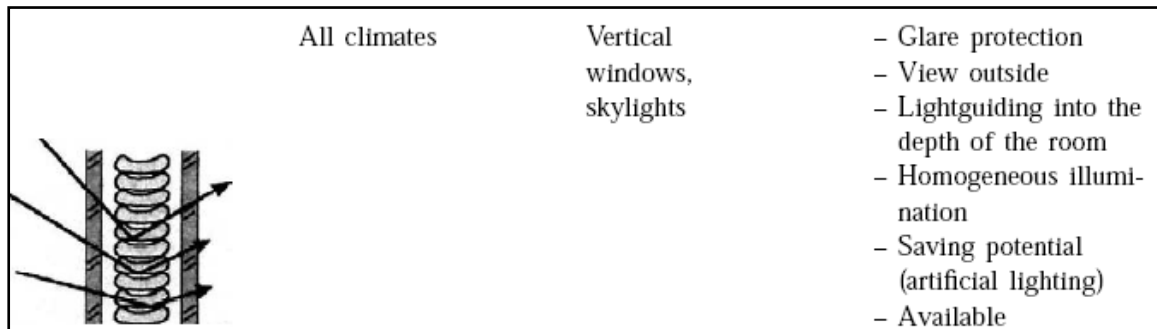
Figura 22. Nuevos materiales (vidrio laminado). Fuente: elaboración propia basado en <http://www.todochimeneas.com/>



Kischkoweit (2002) clasifica éste tipo de avances como sistemas ópticos de guiado de la luz directa. Los sistemas de guiado de la luz directa, tienen la finalidad de aprovechar el rayo directo del sol y mediante sus propiedades ópticas corregir aspectos negativos del vidrio como efectos de deslumbramiento, ganancias solares en el interior y en ocasiones,

distribuir uniformemente la luz evitando sombras y contrastes en el espacio de trabajo (Ver Figura 23).

Figura 23. Sistemas de guiado de la luz directa. Fuente: (Kischkoweit - Lopin, 2002).



La descripción de los beneficios y conclusiones de los nuevos materiales evaluados se realizará únicamente bajo los criterios ganancias solares generadas hacia el interior. Aspectos como la protección contra el deslumbramiento, visibilidad hacia el exterior, capacidad de re-direccionar la luz directa como luz difusa al interior, homogeneidad en la iluminación, potencial del ahorro en la utilización de la iluminación artificial, la necesidad de seguimiento y control, no hacen parte de los objetivos finales del presente trabajo, pero se deben tener en cuenta a la hora de utilizar éste tipo de materiales.

Los resultados obtenidos en la investigación del profesor Pérez Marín se presentan en el Capítulo No. 5 (Numeral 5.1.1_ Parámetros de medición paneles tipo sándwich) dentro de los cuales se destacan los parámetros exigidos por el software Design Builder como el factor solar el cual resulta de la sumatoria entre la transmisión solar directa (SHGC) y el coeficiente de transmisión de calor K, el cual para un cerramiento compuesto se obtiene de la siguiente ecuación (Ver Ecuación 2):

Ecuación 2. Cálculo del coeficiente de transmisión de calor K de cerramientos compuestos. Fuente: (NBE CT-79, 1979)

$$\frac{1}{K} = \sum \frac{L}{\lambda} + \left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} \right)$$

En donde:

K: Coeficiente de transmisión de calor

$\sum L/\lambda$: Suma de las resistencias térmicas de las diferentes láminas que conforman el cerramiento

h_i y h_e : Coeficientes superficiales de transmisión de calor

El otro parámetro exigido por el software corresponde al Valor U, es decir la transmitancia térmica a través del material o de manera inversa, la resistencia térmica “R” del mismo ($U=1/R$). Este valor se obtiene de las siguientes ecuaciones (Ver Ecuación 3 y Ecuación 4):

Ecuación 3. Cálculo de la resistencia térmica en capas homogéneas. Fuente: (ISO 6946, 1996)

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

En donde:

R: Resistencia térmica

d: Espesor de la capa del material

λ : Conductividad térmica del material de acuerdo a ISO/DIS 10456.2 o obtenida de tablas de valores.

Ecuación 4. Cálculo de la resistencia térmica total. Fuente: (ISO 6946, 1996)

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots R_n + R_{se}$$

En donde:

R_t: Resistencia térmica total

R_{si}: Resistencia de la superficie interna

R₁, R₂ ... R_n: Resistencias térmicas del diseño de cada capa

R_{se}: Resistencia de la superficie externa

Finalmente el último parámetro exigido por el software corresponde a la transmisión visible del nuevo material. Este valor se obtiene directamente de los resultados obtenidos en la investigación a cargo del profesor Pérez Marín y depende de la selectividad espectral de cada uno de los polímeros compuestos ensayados.

3.5 Recursos

Después de haber realizado una descripción de los materiales que se van a evaluar dentro de la presente investigación, se procede a describir los recursos utilizados para el análisis. Cabe destacar que en cuanto a los equipos, aquellos utilizados para analizar las propiedades de los polímeros hacen parte de una primera etapa de la investigación a

cargo del profesor Pérez Marín, los equipos que nos competen son aquellos utilizados para medir las condiciones de los espacios objeto de estudio escogidos.


3.5.1 Equipos de medición

Con el fin de conocer el estado actual de los espacios objeto de estudio, de corroborar la problemática presentada, es decir de confirmar si existen problemas térmicos y lumínicos en el interior, y de tener una información veraz que nos permita escoger un solo día (el más crítico) como ejemplo para la realización de una simulación aproximada a la realidad, se realizaron mediciones ambientales en los espacios utilizando los siguientes equipos:

Datalogger EBCHQ (Ref: 94150)

Un datalogger (registrador de datos) es un dispositivo que registra datos de temperatura y humedad relativa en un periodo determinado. Las especificaciones del datalogger escogido para la realización de las mediciones son las siguientes (Ver Tabla 5):


Tabla 5. Especificaciones Datalogger. Fuente: Elaboración propia basado en especificaciones técnicas del equipo.

		Mínimo	Tipo	Máximo	Unidad	
Datalogger instalado en los espacios objeto de estudio: 	Humedad relativa	Rango de medida	0		100	%
		Repetibilidad		± 0,2		%
		Precisión		± 3,0		%
		Tiempo de respuesta		5		seg.
		Estabilidad a largo plazo		1		%/año
Temperatura	Rango de medida	-40		70	°C	
	Repetibilidad		± 0,2		°C	
	Precisión		± 1,0		°C	
	Tiempo de respuesta		20		seg.	
Punto de rocío	Precisión (25°C, 40-100% RH)		± 2,0		°C	
Intervalo de medición		Desde 2 segundos hasta 24 horas				
Rango de temperatura de funcionamiento		-40		70	°C	
Vida de una batería de litio de 3,6V (Intervalo de medición de 5 segundos)			1		año	

Anemómetro digital EBCHQ (Ref: 94204)

Un anemómetro es un instrumento utilizado para efectuar la medición de un fluido gaseoso, principalmente el viento. Las especificaciones del anemómetro escogido para la realización de las mediciones son las siguientes (Ver Tabla 6):

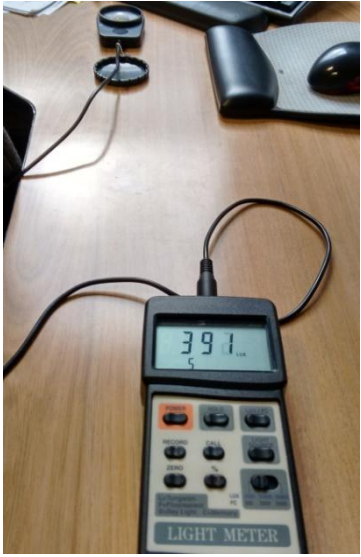
Tabla 6. Especificaciones Anemómetro. Fuente: Elaboración propia basado en especificaciones técnicas del equipo.

		Minimo	Tipo	Máximo	Unidad
Anemómetro utilizado en las mediciones realizadas: 	Velocidad del aire	Rango	0,4	30	m/s
		Precisión		± 3,0	%
	Temperatura del aire		-10	60	°C
	CFM (cubic feet per minute)/CMM (Coordinate-measuring machine)		0	999,9	

Luxómetro digital LUTRON (Ref: 95105):

Es un instrumento de medición que permite medir la iluminancia real de un ambiente. Las especificaciones del luxómetro escogido para la realización de las mediciones son las siguientes (Ver Tabla 7):

Tabla 7. Especificaciones Luxómetro. Fuente: Elaboración propia basado en especificaciones técnicas del equipo.

		Mínimo	Tipo	Máximo	Unidad
	Rango de medida	1er rango: 2.000 lux	0	1.999	lux
		2nd rango: 20.000 lux	1.800	19.990	lux
		3er rango: 50.000 lux	18.000	50.000	lux
Precisión			± 4,0 (más 2 dígitos)		%
Selección de tipo de luz		Luz día (S), tungsteno (L), fluorescente (F), lámpara de mercurio (C)			
Tiempo de muestra			0,4		seg.

3.5.2 Estaciones meteorológicas

Con el fin de analizar el clima del lugar, se consultaron los datos climáticos de tres fuentes, la primera corresponde a los miles de registros incluidos en el archivo del clima de Bogotá .epw descargado de la página web de Energy Plus, la segunda es la estación meteorológica 21206970 UNISALLE CENTRO (IDEAM, 2015), y la tercera es el artículo “Variación temporal de la humedad relativa del aire en Santa Fe de Bogotá” (Eslava R., 1992) basado en mediciones tomadas en la estación “Observatorio Meteorológico Nacional” ubicada en la Ciudad Universitaria Nacional de Colombia.

La escogencia de la estación meteorológica UNISALLE se llevó a cabo teniendo en cuenta su cercanía a los espacios objeto de análisis, el tipo de estación y su estado. Lo anterior debido a que se identificó la existencia de varias estaciones más cercanas pero que eran pluviométricas o se encontraban suspendidas.

3.5.3 Software de simulación

Dentro del proceso de investigación se utilizan varios software disponibles tanto para la realización de renders como para la simulación ambiental.

Así por ejemplo para el estudio de sombras e incidencia del sol de acuerdo a la monea solar se utiliza el software Autodesk 3ds Max.

Para la realización de simulaciones ambientales inicialmente se pensó en el software Ecotect, pero después de consultar la tesis doctoral de Giménez Molina (2011) en donde se reconocen las cualidades que tiene pero se indica también que “los métodos de cálculo utilizados, no son los más avanzados en el campo Hensen & Radošević, 2004”(Giménez Molina, 2011, pág. 141), se optó por realizar el modelo virtual en el Software Design Builder versión 4.5.0.148. Afirma que el software Design Builder cuyo motor de cálculo es de Energy Plus se encuentra validado por el “IEA BESTEST Building load and HVAC tests”¹⁰ (pág. 141), permite el cálculo de cargas mediante el método de balance térmico aprobado por ASHRAE y se ha mostrado como el más competente para llevar a cabo este tipo de simulaciones.

Posteriormente los datos obtenidos en la simulación serán ingresados al software Comfort calculator ISO7730-1993 (Healthy Heating, s.f.) con el fin de aplicar el “modelo de balance térmico Fanger P. O. 1973” (Godoy Muñoz, 2012, pág. 10) calculando el PMV (Predictive mean vote – Voto medio progresivo) y el PPD (Predictive percentage dissatisfied – porcentaje previsto de insatisfechos).

Para la obtención del archivo del clima de Bogotá es importante destacar la página web de Energy Plus que cuenta con más de 2.100 archivos de los cuales más de 1.000 corresponden ciudades en todo el mundo (EnergyPlus, s.f.). Estos archivos se componen por mediciones registradas en estaciones meteorológicas y generalmente se incluyen datos como la temperatura de aire seco, temperatura de bulbo húmedo, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento, dirección del viento, radiación directa, radiación difusa, radiación global, radiación horizontal infrarroja, entre otros. Como veremos más adelante, una vez obtenido éste archivo del clima, surge la necesidad de editarlo mediante la utilización del software Weather tool de Autodesk, el asistente Weather Statistics and Conversions del software EnergyPlusV8-4-0 y del software Climate Consultant 5.4 para su verificación y consulta de variables.


¹⁰ IEA BESTEST – International Energy Agency Building Energy Simulation Test (Agencia Internacional de la Energía, Prueba de simulación energética del edificio). Prueba para cargas del edificio y HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning)



3.6 Técnica

Después de realizar la descripción de los materiales y los recursos utilizados en la investigación, se procede a describir la manera cómo serán utilizados para el cumplimiento del objetivo final de la tesis.

Como se mencionó anteriormente, la finalidad de las mediciones realizadas es comprobar la presunta problemática detectada en los espacios objeto de estudio. Tomando como base las asesorías prestadas por el profesor Jorge Ramírez Fonseca, el registro de datos a través de los equipos mencionados se basó en el siguiente protocolo de medición (Ver Tabla 8):

Tabla 8. Protocolo de medición. Fuente: Elaboración propia

Equipo	Proceso		Descripción	Registro fotográfico
Datalogger	Programación	Intervalo medición de	30 min	Mediciones en espacios objeto de estudio:  Fuente: El autor
		Tiempo grabación de	19 a 22 días (De acuerdo a disponibilidad y permisos concedidos en los espacios)	
		Puntos muestreo de	912 a 1.000 puntos	
	Localización	General	Espacio ubicado hacia cada una de las fachadas. Nota: Se instaló además un datalogger en el exterior con el fin de conocer la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior.	
		Específica	30 a 50cm descolgado de cieloraso	
	Descarga de datos	Software	DataLogger versión 4.2	
		Procedimiento	Conexión datalogger y exportación de gráficas y archivos en formatos .rec y .xls	
	Recomendaciones tenidas en cuenta	Lejos de cualquier elemento radiante (luminaria, equipo, ocupante). Protegido de lugares de incidencia directa del sol. Encendido inmediatamente después de instalado. Adicional a lo anterior se instala un Datalogger en cubierta con el fin de tener una temperatura de referencia, exterior vs. interior. De manera simultánea se lleva un control diario de las condiciones climáticas a través de la página web http://www.accuweather.com/ . La información obtenida de esta página es corroborada de manera visual, principalmente el nivel de nubosidad de la mañana o la tarde durante estos días, esto con el fin de evaluar la influencia que tiene la radiación directa del sol en el incremento de la temperatura interior durante los días de medición.		
Anemómetro	Programación	Velocidad de aire	m/s	Mediciones en espacios objeto de estudio:

	Temperatura	N/A	 <p>Fuente: El autor</p>		
	CFM - CMM	N/A			
	Toma de datos	Intervalo de medición		de 15 segundos	
		Tiempo de medición		de 5 minutos (En cada apertura)	
		Puntos de muestreo		de 20 puntos	
	Localización	General		N/A	
		Específica		Aperturas en la envoltente y posibles extractores ubicados en cieloraso	
Descarga de datos	Software de procedimiento	N/A			
Recomendaciones tenidas en cuenta	Veleta libre de obstáculos. Grabación de audio sincronizada con cronómetro para toma de datos y posterior registro en ficha. Medición de ráfagas. Registro de cambios de dirección del aire (inyección o extracción).				
Luxómetro	Programación	Tiempo de muestra	de 0,4 seg.	 <p>Mediciones en espacios objeto de estudio: Fuente: El autor</p>	
		Rangos de medida	0 a 1.999 lux (iluminación artificial espacios alejados envoltente). 1.800 a 19.990 lux (iluminación natural espacios cercanos envoltente). 18.000 a 50.000 lux (ocasionalmente espacios cercanos a envoltente e incidencia directa del sol).		
		Selección tipo de luz	"F = Fluorescente" Medición iluminación artificial "S = Luz día" Medición iluminación natural		
	Toma de datos	Tiempo de medición	de 5 a 10 seg.		
		Puntos de muestreo	de 4 registros en cada puesto de trabajo analizado		
	Localización	General	N/A		
		Específica	Sobre puesto de trabajo ubicado a una altura de 0,8 a 0,9m de altura		
Descarga de datos	Software de procedimiento	N/A			
Recomendaciones tenidas en cuenta	Ropa oscura para no interferir con las mediciones. No se ocasionan sombras sobre el sensor. Tapar y destapar el sensor cada vez que se cambia el lugar de medición. Registro de las 4 mediciones en una ficha de toma de datos para luego obtener el promedio.				

Con respecto a la edición del archivo del clima .epw, ésta se realiza después de analizar los datos meteorológicos consultados. Posteriormente y como se mencionó anteriormente, mediante los software Weather tool de Autodesk, el asistente Weather Statistics and Conversions del software EnergyPlusV8-4-0 los datos de temperatura y humedad relativa son “escalados” para que coincidan con los datos de la estación

meteorológica UNISALLE y con el artículo “Variación temporal de la humedad relativa del aire en Santa Fe de Bogotá” (Eslava R., 1992) respectivamente. Posteriormente los resultados obtenidos son verificados mediante la utilización del software Climate Consultant 5.4.

Con respecto al modelo virtual, éste se lleva a cabo después del desarrollo del capítulo No. 4 el cual consiste en el análisis detallado de los espacios objeto de estudio, éste análisis concluye con la evaluación de los sistemas pasivos existentes mediante la realización de una ficha de diagnóstico bioclimático. Posteriormente los datos obtenidos son ingresados en una ficha de parámetros requeridos por el software Design Builder con el fin de generar el modelo virtual inicial o punto de referencia en donde se evaluará la aplicación de los nuevos materiales.

Capítulo 4. Escogencia espacios objeto de estudio y evaluación de sistemas pasivos

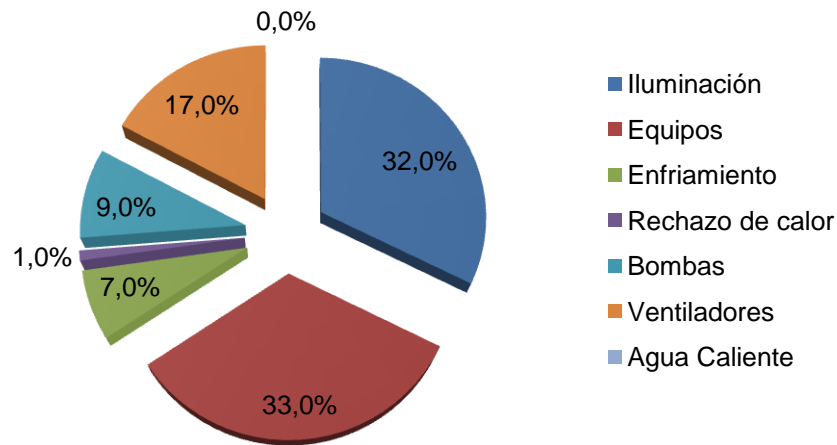
Dentro de este capítulo se explica el proceso a través del cual se realizó la escogencia de los espacios objeto de estudio, el análisis de las condiciones locales, es decir de aquellas que pueden generar ganancias térmicas externas e internas, la realización de mediciones con el fin de comprobar la problemática presentada y finalmente la evaluación de los sistemas pasivos existentes a través de la realización de un diagnóstico bioclimático.

4.1 Escogencia espacios objeto de estudio

El proceso de escogencia de los espacios objeto de estudio se realizó en varias fases: La primera consistió en escoger un sector objeto de estudio mediante el análisis comparativo de estadísticas sobre el consumo de energía en un clima frío realizadas por CORPOEMA (Corporación para la Energía y el Medio Ambiente) y CAMACOL (Cámara Colombiana de la construcción)(CORPOEMA & CAMACOL, 2014) en varios sectores de la construcción. La característica más relevante que se tuvo en cuenta para la escogencia de este sector corresponde a la relación Vanos – Muro, en donde las oficinas se constituyen el sector con mayor utilización de vidrio en la envolvente con un 50%. Dentro de este estudio se pudieron encontrar además datos sobre el uso de aire acondicionado, en donde todos los sectores con excepción del residencial, en un clima frío, tienen algún tipo de uso de climatización artificial.

Teniendo en cuenta lo anterior, se escoge el sector de oficinas, dentro del cual podemos destacar que la iluminación (32%), enfriamiento (7%), ventiladores (17%), en conjunto suman el mayor consumo energético de todo el edificio con un total de 56% para edificios de oficinas en Bogotá (Ver Figura 24).

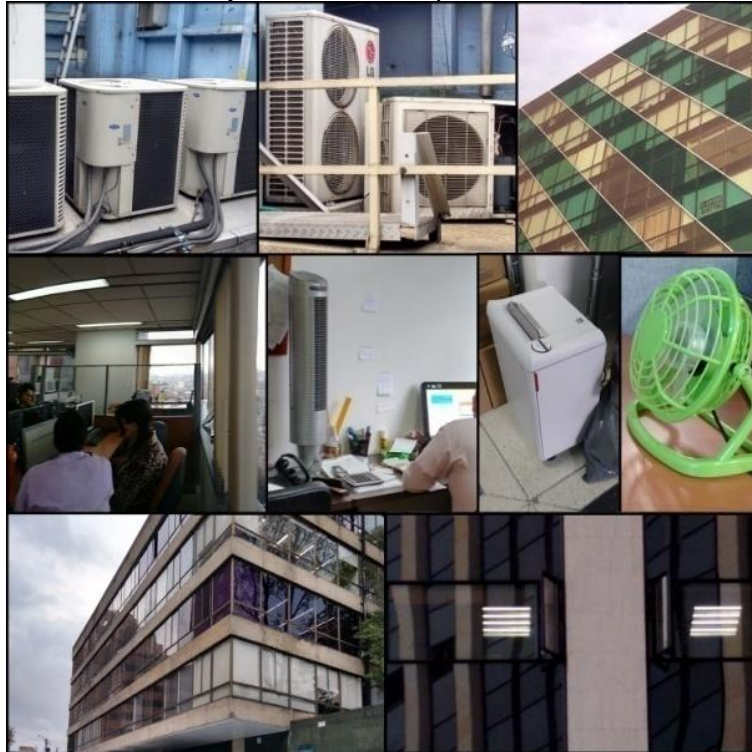
Figura 24. Consumo energético en oficinas en Bogotá. Fuente: (CORPOEMA & CAMACOL, 2014)



La segunda fase consiste en escoger los espacios objeto de estudio dentro de éste sector. Para esto, se revisa inicialmente el estado del arte de la arquitectura en Bogotá con el fin de establecer a partir de qué época comienzan a surgir y las características que presentan algunos edificios principalmente en la utilización del vidrio en fachada. Como se mencionó anteriormente, a partir de la década de los 50s se comenzó a importar un estilo internacional cuya principal característica fue una gran utilización del vidrio; este tipo de arquitectura tuvo su principal auge durante la década de los 60s y 70s.

Finalmente, después de haber identificado el sector y la época, se recurrió a experiencias laborales y visitas de campo con el fin de identificar ejemplos de edificios con presuntos problemas térmicos y visuales en el interior. Durante éstas visitas se identificaron evidencias de los inconvenientes presentados como por ejemplo, el hecho de que en ciertos sectores de la fachada se instalen vidrios con colores más oscuros a los utilizados en el resto de la envolvente, el uso de persianas o lonas permanentes, inclusive papeles pegados en el vidrio y por ende el uso de iluminación artificial todo el día, dispositivos de climatización artificial ubicados en los espacios como ventiladores, equipos enfriadores de aire e inclusive, equipos de aire acondicionado (Ver Figura 25).

Figura 25. Evidencias de los inconvenientes térmicos y visuales encontrados durante experiencias laborales y visitas de campo. Fuente: Elaboración propia



Identificados los inconvenientes en el análisis de envolventes de edificaciones en Bogotá, se escogieron tres edificios con 3 tipologías de edificación distintas y dentro de ellos se escoge un piso para el análisis. (Ver Figura 26).

Figura 26. Izquierda: IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), centro: Edificio FENIX - TELESENTINEL y derecha: Edificio FONADE - DNP. Fuente: El autor.



El primer espacio objeto de estudio se encuentra en el edificio del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). Este edificio fue diseñado por el arquitecto Luis Augusto Izquierdo Puyana e inició su construcción a mediados de la década de los 50s, Posteriormente se realizaron los trámites de licencia de construcción modalidad ampliación en el año de 1965. Se encuentra ubicado en la Carrera 30 #48-51 en la ciudad de Bogotá; dentro de este edificio se escogió el piso No. 5 el cual tiene una planta libre.

El segundo espacio se encuentra en el edificio “FÉNIX”, más conocido como “TELESENTINEL”. Este edificio fue diseñado por los arquitectos Gustavo L Sarmiento y Roger Rickenmann. Se encuentra ubicado en la Cra. 7 No. 32-33 y su construcción inició a finales de la década de los 60s. Dentro de este edificio se escogió el piso 17 en donde funciona la empresa RST Asociados S.A.S. La particularidad de este piso es que no posee una planta libre, se divide en 4 oficinas ubicadas cada una hacia las esquinas de la planta. La empresa mencionada anteriormente funciona en las esquinas suroriental y noroccidental, de esta manera se logra abarcar las cuatro caras de la fachada.

El tercer espacio se encuentra en el edificio de FONADE y DNP¹¹, ubicado en la esquina sur – occidental de la calle 26 con la carrera 13 en la ciudad de Bogotá, diseñado por el arquitecto Enrique Gómez Grau y construido a principios de la década de los setenta. En este edificio, principalmente en los pisos en los cuales funciona FONADE (plantas superiores) se pudieron evidenciar grandes problemas térmicos y lumínicos, agravados por un alto índice de ocupación. Lastimosamente, ante la negativa por parte de la entidad FONADE de permitir la realización de las mediciones en estos espacios, se escogió el piso 4 en donde se encuentran las oficinas del DNP.

4.1.1 Condiciones locales

El análisis de los presuntos problemas térmicos y visuales se inicia con la evaluación de las condiciones locales. Esto se realiza mediante la revisión de aquellos factores que generan ganancias térmicas provenientes tanto del interior como del exterior.

¹¹ FONADE (Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo FONADE), DNP (Departamento Nacional de Planeación).

- Ganancias externas

Se definen los factores externos que inciden sobre los espacios objeto de estudio, así:

Clima

Se realiza inicialmente el análisis de este factor desde una perspectiva global ubicando a Bogotá dentro del globo terráqueo a una Latitud de 4° 35' 56" N y una Longitud de 74° 04' 51" W en el Trópico de Cáncer. En este tipo de regiones, la latitud no es una determinante del clima ya que no se presentan las 4 estaciones, por esta razón el clima termina siendo una consecuencia directa de otros factores como la altitud (perspectiva local). El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, clasifica el clima Colombiano en pisos térmicos "Clasificación climática de Caldas – Lang"(IDEAM, Grupo de Climatología y Agrometeorología, Subdirección de Meteorología, s.f.). La ciudad de Bogotá al encontrarse a una altitud de 2600 msnm posee un tipo de clima frío caracterizado por tener bajas temperaturas y variaciones considerables entre el día y la noche. Finalmente y como lo veremos más adelante se concluye con la perspectiva más importante de todas, la específica que estudia aquellas características que generan un microclima.

Temperatura

Por su altitud Bogotá presenta un clima frío, registrando según la estación meteorológica UNISALLE un promedio anual de 14,5°C, y en donde la temperatura es bastante uniforme a lo largo del año. Como se mencionó anteriormente, los datos de temperatura se encuentran contenidos dentro del archivo del clima .epw de Energy Plus, éstos datos fueron editados conforme a los registros obtenidos de la estación meteorológica UNISALLE debido a que se logró identificar el efecto isla de calor en el centro de la ciudad. Las diferencias encontradas entre estas dos fuentes serán analizadas más adelante cuando se haga referencia al microclima del lugar. A continuación se presenta un resumen de las temperaturas registradas en la estación UNISALLE (Ver Tabla 9).

Tabla 9. Temperaturas y gráfica con rango de temperaturas medias registradas en la estación meteorológica 21206970 UNISALLE CENTRO (°C) (IDEAM, 2015). Fuente:

Elaboración propia

		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
21206970 UNISALLE CENTRO	MEDIA	14,2	14,8	14,5	14,5	14,9	14,6	13,8	14,3	14,3	14,5	14,7	14,4	14,5
	MAX. ABSOLUTA	23,7	25,3	23,4	23,7	22,8	23,4	21,5	23,0	24,3	24,0	23,6	24,2	24,3
	MIN. ABSOLUTA	3,6	4,8	8,0	8,0	8,2	7,0	7,1	7,6	6,6	6,4	6,2	6,2	3,6
	MAX. MEDIA	23,2	23,1	22,6	23,1	22,4	22,5	21,3	22,2	23,0	22,6	23,4	23,0	22,7
	MIN. MEDIA	6,2	7,0	8,5	8,9	9,0	8,1	7,7	8,3	6,8	7,0	7,5	6,8	7,6

Según el IDEAM & FOPAE (2004) y como se puede observar en el resumen anterior, las mayores temperaturas se presentan en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, mientras que las menores temperaturas se presentan en los meses de junio, julio y agosto. Con respecto a las temperaturas máximas absolutas, es importante destacar que durante el fenómeno del niño experimentado a principios de éste año, se llegaron a temperaturas máximas entre 24,4°C en la mañana y 25,6°C a medio día en donde la ciudad estuvo a 0,6°C de sobrepasar la temperatura máxima de su historia (El espectador, 2016).

Humedad

Según el IDEAM & FOPAE (2004), el porcentaje de humedad en la ciudad de Bogotá presenta valores medios mayores durante los meses con más precipitaciones como son abril, mayo, octubre y noviembre; de igual forma los menores valores se presentan en los meses relativamente secos como enero, febrero, julio y agosto. En los demás meses la humedad varía debido a que son meses de transición estacional. A continuación se presenta el comportamiento horario de la humedad relativa durante los meses del año según Eslava (1992) (Ver Tabla 10).

Tabla 10. Variación del porcentaje de humedad relativa del aire por horas en Bogotá.

Fuente: Eslava (1992)

Hor	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Rango
01	88	88	87	87	90	87	88	87	90	92	92	90	89	5
02	89	88	88	90	90	91	89	89	90	93	93	90	90	5
03	90	89	89	91	91	91	90	90	91	94	94	91	91	5
04	91	90	90	91	92	92	91	91	92	94	94	92	92	4
05	92	91	90	91	92	92	92	92	92	95	94	92	92	5
06	92	92	90	91	92	93	92	92	92	95	93	91	92	3
07	89	90	89	89	89	87	87	87	87	91	90	88	89	4
08	80	80	79	80	79	78	77	78	77	80	79	80	79	3
09	67	65	67	69	70	69	68	67	65	68	68	67	68	5
10	57	58	58	63	65	63	62	61	58	62	61	59	61	6
11	51	52	54	60	62	60	59	57	55	58	58	54	57	11
12	48	49	51	59	61	58	56	55	53	58	56	52	55	13
13	48	50	51	59	60	57	55	54	53	60	58	54	55	12
14	50	52	54	60	60	57	55	54	53	63	61	56	56	13
15	53	55	58	62	62	58	55	55	54	65	66	60	59	13
16	58	58	61	65	64	60	56	56	56	68	70	65	61	12
17	62	62	64	69	67	63	59	59	59	71	73	69	65	12
18	69	68	70	74	72	68	63	64	65	76	77	75	70	14
19	75	73	74	79	77	73	68	70	71	81	81	79	75	13
20	79	76	77	82	81	76	73	74	75	84	84	82	79	11
21	82	79	79	85	83	79	77	77	79	87	86	85	82	10
22	84	82	81	86	85	82	80	80	82	89	88	86	84	9
23	86	84	83	87	87	86	83	83	85	90	90	87	86	7
24	87	86	85	88	88	87	86	85	87	91	91	88	87	6
M	74	73	74	77	77	75	73	73	73	79	79	76	76	6

Precipitación

Según el IDEAM & FOPAE (2004), en Bogotá se presentan dos periodos de lluvias, lo que comúnmente se conoce como “invierno” y dos periodos de menos lluvia que se conocen como “verano”. El primero se inicia en marzo y dura todo abril y mayo, el segundo inicia en septiembre y dura todo octubre y noviembre. Existen meses de transición, caracterizados por presentar días alternados con lluvias y tiempo seco como marzo, junio, septiembre y diciembre. A continuación se presentan los valores totales mensuales de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica UNISALLE. (Ver Tabla 11).

Tabla 11. Valores totales mensuales de precipitación (mms) y gráfica resumen comportamiento de precipitaciones a lo largo del año según datos registrados en la estación meteorológica 21206970 UNISALLE CENTRO (IDEAM, 2015). Fuente: Elaboración propia

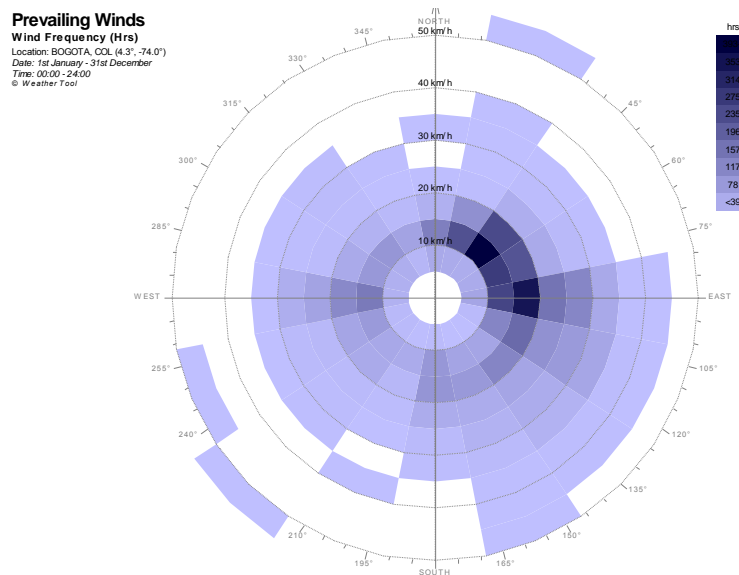
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
21206970 UNISALLE CENTRO	MEDIOS	64,2	115,4	135,9	189,3	78,1	41,1	58,6	43,0	27,9	162,4	142,9	84,2	1142,8
	MAXIMOS	99,3	200,0	185,4	229,5	159,5	55,7	67,6	60,1	31,0	202,9	244,3	125,7	224,3
	MINIMOS	5,6	13,5	59,5	110,1	29,5	110,1	16,2	32,0	21,9	138,0	75,4	36,1	5,6

Cabe destacar que según los datos de varias estaciones meteorológicas obtenidos del Estudio de la caracterización Climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelito (IDEAM & FOPAE, 2004), se puede observar un patrón de mayor cantidad de lluvias hacia el oriente de la ciudad y en menor medida hacia el occidente.

Viento

Según el IDEAM & FOPAE (2004), la posición geográfica de Colombia, hace que tenga una gran influencia de los vientos Alisios, los cuales soplan desde el Noreste en el hemisferio Norte y el Sureste en el hemisferio sur. Sin embargo, debido a su cercanía a la línea ecuatorial, las dos corrientes provenientes de los hemisferios tienden a quedar paralelas y su intensidad se debilita; este fenómeno se denomina Calmas Ecuatoriales. Además de este tipo de condiciones, Benavides Ballesteros & Ayala Poveda (2010) afirman que las condiciones fisiográficas son las que finalmente determinan en gran medida la dirección y velocidad del viento. Manifiestan que en la ciudad de Bogotá, los vientos tienen un comportamiento distinto en varios sectores de la ciudad; tanto en el sur como en el oriente, se tiene una influencia de los vientos alisios provenientes del sureste, sin embargo hacia el norte de la ciudad los vientos empiezan a cambiar su dirección proviniendo del oriente, en el centro y occidente de la ciudad existe una confluencia de vientos de baja velocidad, este comportamiento se puede entender por el calentamiento del aire dentro de la ciudad el cual tiende a subir generando vacíos o presiones negativas las cuales deben ser ocupadas por aire más fresco. (Ver Figura 27).

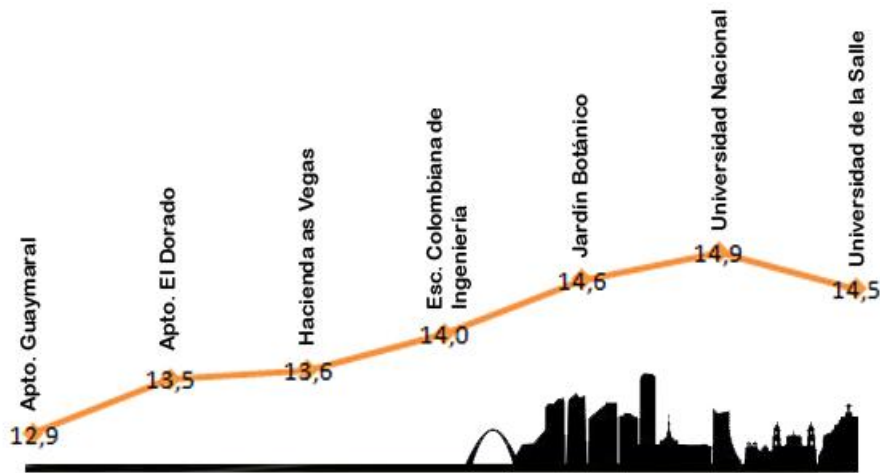
Figura 27. Rosa de los vientos para Bogotá. Fuente: Weather tool



Microclima

Dentro del Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelito (IDEAM & FOPAE, 2004), se citan datos de varias estaciones meteorológicas localizadas en la ciudad y con periodos superiores a los 10 años. De estas estaciones, se escogieron aquellas que estuvieran alrededor de los 2.600 msnm: Aeropuerto El Dorado, aeropuerto Guaymaral, escuela Colombiana de Ingeniería, Hacienda Las Vegas, Jardín Botánico y Universidad Nacional, citando también los datos de la estación meteorológica UNISALLE. Posteriormente se realizó un análisis comparativo entre éstas estaciones evidenciando un incremento considerable en la temperatura a medida que éstas se acercan al centro de la ciudad (Ver Figura 28). El análisis completo se puede consultar en el Anexo A.

Figura 28. Análisis comparativo entre temperaturas medias alcanzadas en la ciudad, efecto “Isla de Calor”. Fuente: Elaboración propia basado en (IDEAM & FOPAE, 2004)



Teniendo en cuenta lo anterior y como se mencionó anteriormente, se identificó la necesidad de “escalar” el archivo del clima .epw descargado debido a que tenía temperaturas muy inferiores a las registradas en la estación meteorológica UNISALLE. A continuación se relacionan los datos del archivo del clima original vs. los datos finales del archivo del clima actualizado en donde se puede evidenciar un incremento en la temperatura de 1°C a 3°C. De igual forma los porcentajes de humedad relativa también fueron editados de acuerdo a lo manifestado por Eslava (1992) (Ver Figura 29).

Figura 29. Análisis comparativo entre archivo del clima inicial (arriba) y archivo actualizado (abajo). (Temperatura y punto de rocío en °C, Humedad relativa en %).

Fuente: Climate Consultant 5.4

Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	12	13	13	13	13	13	12	12	13	13	13	12
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	9	9	10	10	10	9	9	8	8	8	10	9
Relative Humidity (Avg Monthly)	79	79	83	81	81	79	79	76	77	77	86	81
Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)	14	15	15	15	15	15	14	15	14	14	15	14
Dew Point Temperature (Avg Monthly)	9	10	10	11	10	10	9	10	9	10	11	9
Relative Humidity (Avg Monthly)	74	73	74	77	77	75	73	73	73	79	79	76

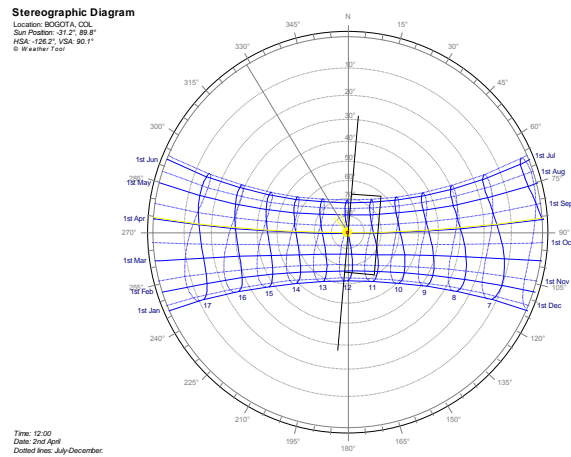
Sol

Después de analizar el clima del lugar, continuamos con el estudio de uno de los factores que mayor relevancia tiene en las condiciones ambientales de un espacio interior: “el sol”, por esta razón es elemental destacar la importancia que tiene el entorno inmediato de permitir o no su incidencia. Aparecen de esta manera elementos a nivel general y específico que pueden afectar la cantidad de horas de radiación que reciben los espacios. Para identificarlos, se realiza un análisis del entorno general de los edificios encontrando que en la ciudad de Bogotá los cerros orientales, algunos de ellos con alturas alrededor de los 3780msnm constituyen un obstáculo importante de la radiación solar en las primeras horas de la mañana. Mediante el software google earth se realizó un cálculo muy sencillo del ángulo de incidencia que genera este obstáculo en cada uno de los proyectos (distancia + altura), de igual forma a nivel específico se identificó la presencia de posibles obstáculos dentro del entorno inmediato o presentes en la volumetría del edificio que pueden afectar la incidencia directa del sol en el espacio. El análisis completo de incidencia del sol sobre cada uno de los espacios objeto de estudio se presenta en una ficha de análisis en el Anexo B.

Diagrama solar

Con esta herramienta se pueden determinar las horas de asoleamiento que tienen los edificios durante todo el año, tanto en sus fachadas como en los espacios interiores (Ver Figura 30).

Figura 30. Diagrama solar Bogotá. Fuente: Weather tool

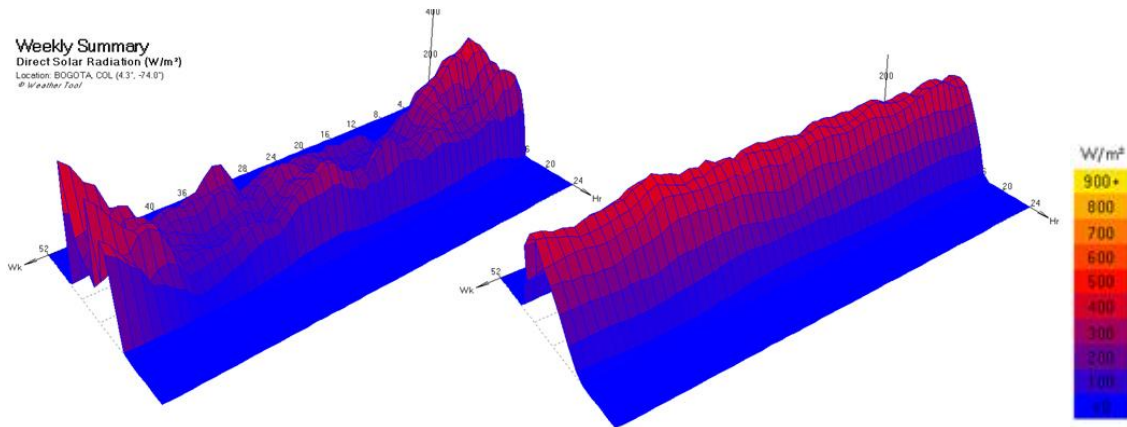


Como se pudo observar en el análisis anterior, el diagrama solar fue empleado para determinar el nivel de asoleamiento de las fachadas y las sombras generadas por el entorno general e inmediato sobre el edificio, esto se puede evidenciar en los esquemas volumétricos realizados. La incidencia de estas sombras será evaluada finalmente en el software Design Builder y se verá reflejada en las ganancias solares generadas en los espacios.

Radiación solar

Como se mencionó anteriormente, existen varios aspectos que inciden sobre la intensidad con que la radiación llega a la tierra. A continuación se presenta un resumen de la intensidad de la radiación solar a lo largo del año en la ciudad de Bogotá (Ver Figura 31).

Figura 31. Resumen semanal y horario de la incidencia de la radiación solar directa (izquierda) y difusa (derecha) a lo largo del año. Fuente: Weather tool



Como se puede observar, la intensidad aproximada para cada una de las radiaciones se encuentra en el rango de los 400W/m² y 500W/m², teniendo en cuenta que la radiación total incidente es igual a la directa más la difusa, se calcula una radiación máxima total entre los 800 W/m² y 999 W/m². Sin embargo vale la pena recordar que según Fuentes (1998), para aplicaciones arquitectónicas, considerando la posición del sol en el cenit, una atmósfera limpia y con un grado de turbiedad bajo se utiliza una constante de intensidad de 930 W/m². En la Figura 31 se puede observar que la radiación es mayor a inicios y finales del año, meses en los cuales se presentan las mayores temperaturas. Por el contrario, la radiación solar difusa es uniforme a lo largo del año y con una intensidad considerable.

Atmósfera

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de radiación solar depende además de otros factores, de las características presentes en la atmósfera, principalmente de la nubosidad. Teniendo en cuenta el análisis de los anteriores factores climáticos, se puede decir que en Bogotá, la nubosidad es directamente proporcional a las precipitaciones y los niveles de humedad relativa a lo largo del año e inversamente proporcional a la temperatura y los niveles de radiación solar. Según el IDEAM & FOPAE (2004) el mayor número de horas de radiación solar se presenta en los meses de diciembre, enero, febrero, julio y agosto, y los menores en los meses con mayores precipitaciones como abril, mayo, junio, octubre y noviembre.

Como se manifestó en el marco teórico, la nubosidad se mide en “octas” y determina las horas de radiación solar. A continuación se presentan los niveles de nubosidad y horas de radiación solar para la ciudad de Bogotá (Ver Tabla 12).

Tabla 12. Valores medios mensuales de nubosidad (octas) y horas de radiación solar.
Fuente: Elaboración propia según estación meteorológica 21205012 UNIVERSIDAD NACIONAL.

	UNIDAD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NUBOSIDAD (Octas)	MEDIOS	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6
	MAXIMOS	6	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8
	MINIMOS	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
HORAS RADIACION SOLAR	MEDIOS	161,2	129,3	116,4	84,3	83,9	93,1	119,7	118,5	108,8	94,5	106,5	139,4	#####
	MAXIMOS	214,5	206,9	173,0	133,9	111,0	104,7	150,9	150,8	140,5	164,3	161,4	199,4	214,5
	MINIMOS	114,3	83,9	61,6	46,1	39,9	69,1	69,6	84,4	64,0	65,2	67,6	80,5	39,9

- Ganancias internas

Después de analizar los factores externos que generan ganancias en cada uno de los espacios, se procede con el análisis de aquellos elementos que generan cargas térmicas internas y que dentro del presente trabajo se han clasificado en cargas generadas por ocupantes, equipos y luminarias.

Ocupantes

Se realiza un inventario de los puestos de trabajo con los que cuentan los espacios objeto de estudio y posteriormente de acuerdo a las visitas realizadas se determina un porcentaje de ocupación, es decir el número de ocupantes vs. el número de puestos libres encontrados pues en ninguno de los espacios se pudo evidenciar una ocupación total de los puestos disponibles. De esta manera se pudo identificar que el IGAC fue el espacio que contaba con un mayor porcentaje de ocupación con un 84% seguido del edificio FONADE – DNP con un 67% y finalmente el edificio FÉNIX con un 42%. Cabe destacar que este porcentaje puede ser muy variable pues depende de diversos factores como por ejemplo que en los edificios del IGAC y de FONADE – DNP los ocupantes salgan de comisión con frecuencia, o que en el edificio FENIX, factores como la demanda de trabajadores o rotación de personal, ocasionen que el índice de ocupación en los espacios no sea constante. El análisis completo se presenta en el Anexo C.

Dentro de la bibliografía revisada se pudo identificar que varios autores asignan valores diferentes a la tasa metabólica de los ocupantes de acuerdo con su actividad. Sin embargo dentro del software Design Builder se establece un valor predeterminado de 123 W/persona para una actividad de "Light office work /standing /walking" (Trabajo ligero de oficina/de pie/caminando). Este valor se multiplica por un factor de área que resulta de asumir que el cuerpo de un hombre adulto tiene una superficie típica de 1,8m². De esta manera se utiliza un factor de 1 para hombres, 0,85 para mujeres y 0,75 para niños. El software asume un factor predeterminado de 0,9 el cual se deduce incluye a hombres y mujeres adultos. Se realiza entonces el siguiente cálculo (Ver Ecuación 5):

Ecuación 5. Cálculo de ganancias internas generadas por ocupantes. Fuente:
Elaboración propia basado en Design Builder.

Ganancia interna ocupantes =
Tasa metabólica actividad (123/persona) x factor de área (0,9) x número de ocupantes

Teniendo en cuenta lo anterior, las ganancias internas generadas por los ocupantes en cada espacio objeto de estudio es la siguiente (Ver Tabla 13):

Tabla 13. Cálculo de ganancias internas generadas por ocupantes en espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en Ecuación 5 y Anexo C.

Espacio		Tasa metabólica (Watts/persona)	Factor de área	No. de ocupantes	Ganancia interna por ocupantes (Watts)	Área en m ² espacio	Ganancia interna por ocupantes (Watts/m ²)
IGAC		123	0,9	75	8302,50	555,68	14,94
FENIX	Costado suroriental	123	0,9	12	1328,40	99,97	13,29
	Costado noroccidental	123	0,9	21	2324,70	86,57	26,85
FONADE - DNP		123	0,9	38	4206,60	381,8	11,02

Como se puede observar, el costado noroccidental del edificio FÉNIX es el espacio que tuvo las mayores ganancias internas generadas por ocupantes (26,85 Watts/m²). Es importante destacar que el edificio FÉNIX fue el que tuvo el menor porcentaje de ocupación (42%), es decir en donde se encontraron mayores puestos libres, y que particularmente el costado noroccidental fue el que tuvo una mayor ausencia de trabajadores ya que de 61 puestos de trabajo solamente se ocuparon 21.

Tanto el porcentaje de ocupación de los espacios como las cargas internas generadas por los ocupantes depende de la densidad de personas por metro cuadrado, esto se encuentra ligado directamente al nivel de “aprovechamiento” de los espacios mediante la disposición del mayor número de puestos de trabajo posibles en un área determinada. Se puede concluir que éstas medidas, además de generar ambientes concurridos, pueden generar cargas ocupacionales para las que el edificio seguramente no fue diseñado. Los resultados de éste análisis serán ingresados en la ficha de datos tomados en cuenta para la realización del modelo virtual en el software Design Builder (Anexo H).

Equipos y luminarias

Se realiza un inventario del número total de equipos con los que cuenta cada espacio, sin embargo aunque cada puesto de trabajo cuenta con su computador, su funcionamiento dependerá de los porcentajes de ocupación mencionados anteriormente. El número de

impresoras también fue inventariado al momento de la visita. El análisis completo se presenta en el Anexo C.

Según lo identificado en el espacio objeto de estudio y según ASHRAE 2013 (Orfanou, 2014), cada equipo posee las siguientes características:

- Pantalla plana de 380mm= 19 W
- CPU con procesador de 3,0Ghz y 2Gb de ram: 48 W
- Impresora (Tipo 1) laser típica de escritorio tipo oficina (Velocidad impresión 35 páginas por minuto): 74W.
- Impresora (Tipo 2) multifuncional (copiadora, impresora y escáner), pequeña tipo escritorio: 30W.

Se realizan entonces los siguientes cálculos con el fin de determinar la ganancia interna generada por equipos (Ver Ecuación 6 y Ecuación 7):

Ecuación 6. Cálculo de ganancias internas generadas por computadores. Fuente: Elaboración propia basado en ASHRAE 2013 (Orfanou, 2014)

$$\textit{Ganancia interna por computadores} = (\text{Ganancia pantalla (19W)} + \text{Ganancia CPU (48W)}) \times \text{número de computadores}$$

Ecuación 7. Cálculo de ganancias internas generadas por computadores. Fuente: Elaboración propia basado en ASHRAE 2013 (Orfanou, 2014)

$$\textit{Ganancia interna por equipos (impresoras)} = (\text{Ganancia Impresora tipo 1 (Grande) (74W)} \times \text{Número de impresoras}) + (\text{Ganancia impresora tipo 2 (Pequeña) (30W)} \times \text{Número de impresoras})$$

Teniendo en cuenta lo anterior, las ganancias internas generadas por los equipos en cada espacio objeto de estudio es la siguiente (Ver Tabla 14):

Tabla 14. Cálculo de ganancias internas generadas por equipos en espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en Ecuación 6, Ecuación 7 y Anexo C.

Espacio		No. Equipos		Carga por equipo(Watts)	Ganancia interna por equipos (Watts)	Total (Watts)	Área en m ² espacio	Ganancia interna por equipos (Watts/m ²)
IGAC		Computadores	75	67	5025,00	5811,00	555,68	10,46
		Impresoras grandes	9	74	666,00			
		Impresoras pequeñas	4	30	120,00			
FENIX	Costado suroriental	Computadores	12	67	804,00	908,00	99,97	9,08
		Impresoras grandes	1	74	74,00			
		Impresoras pequeñas	1	30	30,00			
	Costado noroccidental	Computadores	21	67	1407,00	1407,00	86,57	16,25
		Impresoras grandes	0	74	0,00			
		Impresoras pequeñas	0	30	0,00			
FONADE - DNP		Computadores	38	67	2546,00	2888,00	381,80	7,56
		Impresoras grandes	3	74	222,00			
		Impresoras pequeñas	4	30	120,00			

Como se puede observar, nuevamente el costado noroccidental del edificio FÉNIX es el espacio que tuvo las mayores ganancias internas generadas por equipos con 16,25Watts/m². Se puede observar este resultado se encuentra ligado a las cargas ocupacionales del espacio, sin contar con que dentro del mismo no había equipos de impresoras. Los resultados obtenidos serán ingresados en la ficha de datos tomados en cuenta para la realización del modelo virtual del punto de referencia en el software Design Builder (Anexo H).

En cuanto a las ganancias internas generadas por iluminación, Design Builder establece una energía de iluminación (densidad de potencia normalizada) de 2,5 W/m²-100lux para luminarias tipo LED y de 3,3 W/m²-100lux para luminarias fluorescentes, sin embargo el porcentaje de encendido de las luminarias de acuerdo a las visitas realizadas tampoco fue del 100%, por esta razón se optó por establecer el porcentaje de luminarias encendidas en función del número de ocupantes, exceptuando el IGAC en donde se identificó una situación particular ya que de 120 luminarias disponibles solo se encendieron 38 (Ver Anexo C). Estas condiciones además de aspectos como por ejemplo que dentro del edificio FONADE – DNP la iluminación en los espacios haya sido fluorescente con excepción del cubículo No. 2 ubicado hacia la fachada oriental en donde se tenía una iluminación tipo LED, se tuvieron en cuenta para calcular la densidad de potencia normalizada para cada uno de los espacios (Ver Tabla 15):

Tabla 15. Cálculo de densidad de potencia normalizada (W/m²-100lux) de acuerdo a porcentaje de ocupación de los espacios. Fuente: Elaboración propia basado en Design Builder y Anexo C

Espacio		Tipo de luminarias	Densidad de potencia normalizada según Design Builder (W / m ² -100lux)	Porcentaje de ocupación (con excepción del IGAC)	Densidad de potencia normalizada final (W / m ² -100lux)
IGAC		LED	2,5	31,66%	0,7915
FENIX	Costado suroriental	Fluorescente	3,3	42,00%	1,386
	Costado noroccidental	Fluorescente	3,3	42,00%	1,386
FONADE - DNP	Cubículo No. 2 (Fachada oriental)	LED	2,5	67,00%	1,675
	Otros	Fluorescente	3,3	67,00%	2,211

Una vez definida la densidad de potencia normalizada (W / m²-100lux) para cada uno de los espacios, Design Builder establece la siguiente ecuación para encontrar la potencia máxima de la iluminación en cada espacio (Ver Ecuación 8):

Ecuación 8. Cálculo de la potencia máxima de la iluminación (W). Fuente: Design Builder

$$Potencia\ máxima\ de\ la\ iluminación\ (W) = Energía\ de\ iluminación\ (W / m^2 - 100lux) \times área\ de\ piso\ de\ la\ zona\ (m^2) \times requisito\ de\ iluminancia\ de\ la\ zona / 100$$

Teniendo en cuenta lo anterior, y que los requisitos mínimos de iluminación para este tipo de espacios según el RETILAP es de 500lux se procede a aplicar la Ecuación 8 con el fin de calcular las ganancias internas generadas (Potencia máxima de iluminación en watts) por las luminarias en cada espacio objeto de estudio (Ver Tabla 16):

Tabla 16. Cálculo de ganancias internas generadas por luminarias en espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en Ecuación 8 y Anexo C.

Espacio		Densidad de potencia normalizada final (W / m ² -100lux)	Área de piso de la zona (m ²)	Requisito de iluminancia de la zona / 100	Potencia máxima de iluminación (Watts)	Ganancia interna de iluminación (Watts/m ²)
IGAC		0,7915	555,67	5	2199,06	3,96
FENIX	Costado suroriental	1,386	99,97	5	692,79	6,93
	Costado noroccidental	1,386	86,57	5	599,93	6,93
FONADE - DNP	Cubículo No. 2 (Fachada oriental)	1,675	10,15	5	85,01	8,37
	Otros	2,211	371,65	5	4108,59	11,06

Como se puede observar, el edificio FONADE – DNP presenta las mayores ganancias internas generadas por iluminación con 8,37 Watts/m² para el cubículo No. 2 ubicado hacia la fachada oriental y 11,06Watts/m² para los demás espacios, mientras que el IGAC, teniendo en cuenta las características particulares expuestas anteriormente posee las menores ganancias internas por iluminación.

Los resultados obtenidos serán ingresados en la ficha de datos tomados en cuenta para la realización del modelo virtual del punto de referencia en el software Design Builder (Anexo H).

4.1.2 Mediciones realizadas

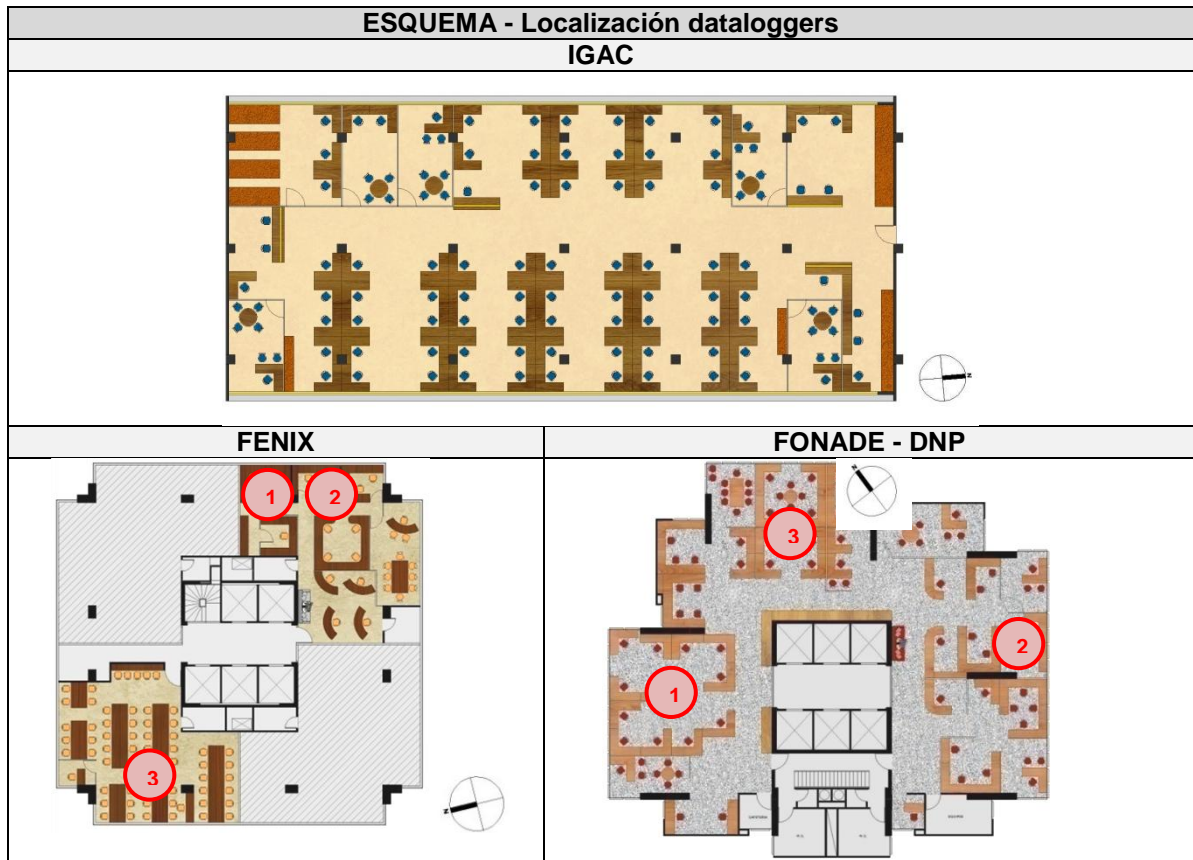
Después de realizar el análisis de las condiciones locales del espacio, de identificar los factores que presuntamente generan inconvenientes térmicos y lumínicos en el interior, se procede a realizar las mediciones térmicas y lumínicas para corroborarlos teniendo en cuenta el protocolo de medición establecido en el Capítulo 3 (Numeral 3.6 – Técnica_ Tabla 8).

- Temperatura y humedad relativa (Datalogger)

Teniendo en cuenta los parámetros mencionados en el protocolo de medición, se procede a instalar tres dispositivos en el interior de cada uno de los espacios y uno en

cubierta¹². A continuación se presenta un resumen de los datos obtenidos durante los días de medición (Ver Tabla 17), los resultados completos se presentan en el Anexo D.

Tabla 17. Resumen temperaturas registradas durante los días de medición. Fuente: Elaboración propia



RESUMEN - Resultados obtenidos durante días de medición								
	IGAC		FENIX		FONADE - DNP			
Fecha de medición	Abril 12 a Mayo 02 de 2016		Fecha de medición	Mayo 02 a Mayo 20 de 2016		Fecha de medición	Mayo 24 a Junio 14 de 2016	
Tiempo de grabación	21 días		Tiempo de grabación	19 días		Tiempo de grabación	22 días	
Puntos de muestreo	955 - 957		Puntos de muestreo	858 - 859		Puntos de muestreo	1.000	
Días laborados	15 días		Días laborados	17 días		Días laborados	13 días	
Jornada laboral	Lunes a viernes de 7:00 am a 4:00 pm		Jornada laboral	Lunes a viernes de 8:00am a 5:00pm y sábados de 8:00am a 4:00pm		Jornada laboral	Lunes a viernes de 8:30am a 5:30pm	

¹² La instalación del datalogger en cubierta se lleva a cabo solamente con el fin de registrar datos de referencia de las condiciones climáticas en el exterior.

Temperatura promedio durante jornada laboral más calurosa	Punto No. 1: 26,40°C Fecha: Abril 15 de 2016	Temperatura promedio durante jornada laboral más calurosa	Punto No. 1: 24,55°C Fecha: Mayo 05 de 2016	Temperatura promedio durante jornada laboral más calurosa	Punto No. 1: 23,35°C Fecha: Junio 01 de 2016
	Punto No. 2: 25,13°C Fecha: Abril 15 de 2016		Punto No. 2: 24,13°C Fecha: Mayo 12 de 2016		Punto No. 2: 23,92°C Fecha: Mayo 25 de 2016
	Punto No. 3: 26,39°C Fecha: Abril 15 de 2016		Punto No. 3: 25,02°C Fecha: Mayo 12 de 2016		Punto No. 3: 24,28°C Fecha: Mayo 25 de 2016
	Exterior: 21,22°C		Exterior: 21,80°C y 21,65°C (Mayo 05 y 12 de 2016 respectivamente)		Exterior: 18,9°C y 19,71°C (Junio 01 y Mayo 25 de 2016 respectivamente)
Temperatura máxima absoluta durante jornada laboral más calurosa	Punto No. 1: 28,7°C Hora: 8:40 am	Temperatura máxima absoluta durante jornada laboral más calurosa	Punto No. 1: 25,5°C Hora: 2:45pm y 3:15pm	Temperatura máxima absoluta durante jornada laboral más calurosa	Punto No. 1: 26,8°C Hora: 1:29pm
	Punto No. 2: 28,2°C Hora: 3:18 y 3:48pm		Punto No. 2: 25,7°C Hora: 11:44am		Punto No. 2: 25,5°C Hora: 12:24pm
	Punto No. 3: 28,5°C Hora: 3:14 y 3:44 pm		Punto No. 3: 27,7°C Hora: 4:52pm		Punto No. 3: 25,1°C Hora: 1:05, 1:35 y 2:05pm
Condiciones climáticas	Mañana parcialmente soleada y tarde muy soleada	Condiciones climáticas	Mayo 05: Mañana parcialmente soleada y tarde nublada Mayo 12: Mañana y tarde parcialmente soleadas	Condiciones climáticas	Junio 01: Mañana y tarde parcialmente soleadas Mayo 25: Mañana parcialmente nublada y tarde nublada con presencia de lloviznas
Temperatura máxima absoluta durante jornadas laborales días de medición	Punto No. 1: 28,7°C Fecha: Abril 15 de 2016	Temperatura máxima absoluta durante jornadas laborales días de medición	Punto No. 1: 25,6°C Fecha: Mayo 04 de 2016	Temperatura máxima absoluta durante jornadas laborales días de medición	Punto No. 1: 27,7°C Fecha: Mayo 27 de 2016
	Punto No. 2: 28,4°C Fecha: Abril 21 de 2016		Punto No. 2: 25,7°C Hora: Mayo 12 de 2016		Punto No. 2: 25,8°C Fecha: Mayo 27 de 2016
	Punto No. 3: 29°C Fecha: Abril 19 de 2016		Punto No. 3: 27,7°C Hora: Mayo 12 de 2016		Punto No. 3: 26°C Fecha: Mayo 27 de 2016

Como se puede observar, las fechas en las cuales se realizaron las mediciones corresponden a los meses que tienen el mayor grado de nubosidad durante todo el año, por esta razón se puede deducir que hay épocas en las cuales se podrían alcanzar mayores temperaturas en el interior.

Al realizar la comparación de las temperaturas obtenidas en los tres edificios, no se pudo identificar un patrón claro que dependa de la orientación, así por ejemplo en el edificio IGAC, contrario a lo que se piensa comúnmente de que la fachada occidental es la más crítica, la mayor temperatura promedio (26,40°C) se obtuvo hacia la fachada oriental, en cambio la temperatura máxima absoluta durante los días de medición se obtuvo hacia la fachada occidental (29°C). Es importante destacar que en el edificio IGAC los resultados obtenidos en cada punto tienen una gran influencia de la fachada opuesta pues se trata de una planta libre sin ningún tipo de división razón por la cual el espacio tiende a calentarse de manera homogénea. Esta situación no se presenta en el edificio FENIX pues los espacios en los cuales se realizaron las mediciones son independientes. En

este edificio la mayor temperatura promedio se obtuvo hacia el costado noroccidental (25,02°C), casi un grado por encima de los resultados obtenidos en el costado suroriental, la temperatura máxima absoluta se presentó hacia la fachada occidental (27,7°C) casi dos grados por encima de los resultados obtenidos en el costado suroriental, en estos resultados se puede evidenciar además de las cargas por ocupación mencionadas anteriormente, la influencia que tiene el entorno inmediato del edificio principalmente hacia el costado oriental en donde se tienen obstáculos muy importantes. En el edificio FONADE-DNP la mayor temperatura promedio se presentó hacia la fachada norte (24,28°C) con diferencias de menos de un grado en comparación con las demás fachadas, la temperatura máxima absoluta se presentó hacia la fachada occidental (27,7°C). Es importante destacar que sobre esta fachada se presentan obstáculos importantes que bloquean la incidencia directa del sol en la tarde, por esta razón se puede deducir que se podrían presentar mayores temperaturas en los pisos superiores.

Con respecto a las condiciones climáticas identificadas durante las jornadas laborales más calurosas en donde por lo general se presentaron cielos parcialmente despejados, se puede destacar la importancia que tiene la incidencia de la radiación solar directa en el comportamiento térmico de los espacios.

Los resultados obtenidos serán utilizados como referencia para ajustar las condiciones ambientales del modelo virtual en el Capítulo 5 (Numeral 5.1_ Punto de referencia – condiciones para la simulación).

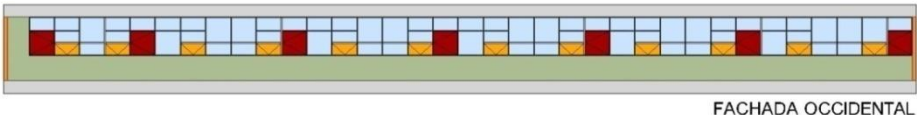
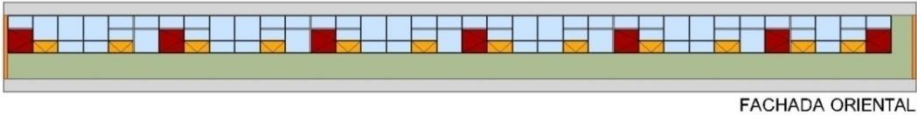
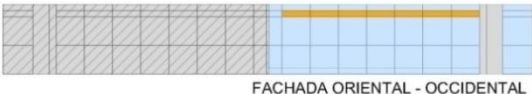
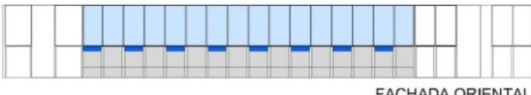
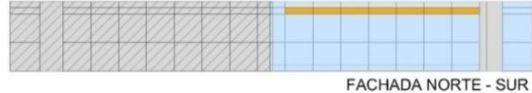





- Ventilación (Anemómetro)

Estas mediciones se realizaron con el fin de conocer el nivel de aprovechamiento de los vientos dominantes, el caudal de aire que ingresa o sale a través de las aperturas, el valor aproximado del volumen de renovación de aire, y si cumple o no con los estándares exigidos según ASHRAE. Posteriormente mediante el análisis de los resultados se podrá determinar la existencia o no de un sistema de ventilación natural que permita mantener un flujo constante de aire a través del espacio.

En primer lugar se realiza un análisis preliminar de la envolvente identificando tres tipos de aperturas, batientes, proyectantes y rejillas de ventilación según la Agencia Chilena de Eficiencia Energética (Agencia Chilena de Eficiencia Energética - AChEE, 2012, pág. 73).

(Ver Tabla 18)

Tabla 18. Tipos de aperturas presentes en las envolventes IGAC, FENIX y FONADE – DNP respectivamente: Proyectante (amarillo), batiente (rojo) rejillas (azul); y Características. Fuente: Elaboración propia basado en (Agencia Chilena de Eficiencia Energética - AChEE, 2012, pág. 73).

ESQUEMA – Aperturas envoltente						
IGAC						
						
FACHADA OCCIDENTAL						
						
FACHADA ORIENTAL						
Porcentaje de aperturas vs. superficie acristalada: 22,33%						
FENIX			FONADE - DNP			
						
FACHADA ORIENTAL - OCCIDENTAL			FACHADA ORIENTAL			
						
FACHADA NORTE - SUR			FACHADA NORTE			
Porcentaje de aperturas vs. superficie acristalada= 15,69%						
			FACHADA OCCIDENTAL			
Porcentaje de aperturas vs. superficie acristalada= 1,53%						
CARACTERISTICAS – Aperturas identificadas						
Esquema	Tipo de apertura	Flujo de aire	Control de la ventilación	Protección frente al clima	Ventilación nocturna	Comentarios
	Proyectante	Bueno, pero se reduce si la apertura es restringida	Regular	Muy bueno	Bueno	Puede reflejar el ruido desde abajo hacia el interior.
	Batiente	Bueno	Regular	Regular	Malo	Mala seguridad cuando se encuentra abierta. Permite el acceso a la lluvia
	Rejilla de ventilación	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Poseen deflectores con los cuales se puede regular la cantidad de aire.

En el IGAC se identificaron 12 aperturas proyectantes y 7 batientes en cada fachada. Las aperturas proyectantes de acuerdo a lo evidenciado in situ se clasificaron en dos niveles

de apertura, una apertura parcial que iba desde los 5 a 10cm y otra total con una apertura de 20 a 25cm. En el edificio FENIX se identificaron aperturas proyectantes ubicadas en la parte superior de cada piso, 14 hacia el costado suroriental y 14 hacia el noroccidental, 7 hacia las fachadas oriente y occidente, y 7 hacia las fachadas norte y sur. En el edificio FONADE – DNP se identificaron rejillas regulables de ventilación situadas en el antepecho, éstas se ubican división de por medio, es decir que de 60 divisiones identificadas en la envolvente, 30 poseen rejillas de ventilación, 12 hacia la fachada oriental, 9 hacia la fachada norte y 9 hacia la fachada occidental.

Después de haber realizado este análisis preliminar, se continúa con la realización de las mediciones, a continuación se presenta un resumen de los resultados (Ver Tabla 19). Los resultados completos se presentan en el Anexo E.

Tabla 19. Resumen velocidades de viento registradas durante los días de medición.
Fuente: Elaboración propia

RESUMEN - Resultados obtenidos durante días de medición								
IGAC			FENIX			FONADE - DNP		
Medición No. 1			Medición No. 1			Medición No. 1		
Fecha de medición		Abril 26 de 2016	Fecha de medición		Mayo 20 de 2016	Fecha de medición		Junio 10 de 2016
Hora		3:45 pm a 4:15 pm	Hora		12:04 pm a 12:33 pm	Hora		03:34 pm a 04:28 pm
Condiciones climáticas		Tarde con presencia de lluvias	Condiciones climáticas		Mañana parcialmente nublada	Condiciones climáticas		Cielo parcialmente despejado
Tiempo de grabación		5 minutos c/u	Tiempo de grabación		5 minutos c/u	Tiempo de grabación		5 minutos c/u
Puntos de muestreo		20 c/u	Puntos de muestreo		20 c/u	Puntos de muestreo		20 c/u
Fachada oriental (barlovento)	Número y tipo de aperturas empleadas	3 aperturas proyectantes	Costado suroriental (barlovento)	Número y tipo de aperturas empleadas	1 apertura proyectante	Fachada oriental (barlovento)	Número y tipo de aperturas empleadas	12 rejillas
	Nivel de apertura	Parcial (5 a 10cm)		Nivel de apertura	N/A		Nivel de apertura	11 cerradas y 1 abierta
	Velocidad del viento	Inyección: 0,25 m/s Extracción: 0 m/s		Velocidad del viento	Inyección: 0,47 m/s Extracción: 0 m/s		Velocidad del viento	Rejillas cerradas (Infiltración) Inyección: 0,77m/s Extracción: 0m/s Rejilla abierta Inyección: 3,33m/s Extracción: 0m/s
Fachada occidental (sotavento)	Número y tipo de aperturas empleadas	3 aperturas proyectantes	Costado Noroccidental (sotavento)	Número y tipo de aperturas empleadas	4 aperturas proyectantes	Fachada norte	Número y tipo de aperturas empleadas	9 rejillas
	Nivel de apertura	Parcial (5 a 10cm)		Nivel de apertura	N/A			
	Velocidad del aire	Inyección: 0,17 m/s Extracción: 0 m/s		Velocidad del aire	Inyección: 0,19 m/s Extracción: 0,31 m/s			

Velocidad del viento aproximada en el exterior		2,05 m/s proveniente del SE	Velocidad del viento aproximada en el exterior		1,64m/s proveniente del SE	Nivel de apertura	8 cerradas y 1 abierta			
Medición No. 2		Medición No. 2					Velocidad del aire	Rejillas cerradas (Infiltración) Inyección: 0m/s Extracción: 0m/s Rejilla abierta Inyección: 0,77m/s Extracción: 0,23m/s		
Fecha de medición		Mayo 02 de 2016	Fecha de medición		Mayo 24 de 2016			Número y tipo de aperturas empleadas	9 rejillas	
Hora		11:23 am a 12:33 pm	Hora		10:14 am a 11:36 am				Nivel de apertura	4 cerradas y 5 abiertas
Condiciones climáticas		Mañana soleada	Condiciones climáticas		Mañana parcialmente despejada					Velocidad del aire
Tiempo de grabación		5 minutos c/u	Tiempo de grabación		5 minutos c/u					
Puntos de muestreo		20 c/u	Puntos de muestreo		20 c/u					
Fachada oriental (barlovento)	Número y tipo de aperturas empleadas	10 aperturas proyectantes	Costado suroriental (barlovento)	Número y tipo de aperturas empleadas	2 aperturas proyectantes	Fachada occidental (sotavento)				
	Nivel de apertura	9 parcial (5 a 10cm) y 1 total (20 a 25cm)		Nivel de apertura	N/A					
	Velocidad del aire	Aperturas parciales Inyección: 1,70m/s Extracción: 0m/s Apertura total Inyección: 2,28m/s Extracción: 0,23m/s		Velocidad del aire	Inyección: 2,43m/s Extracción: 0m/s					
Fachada occidental (sotavento)	Número y tipo de aperturas empleadas	7 aperturas proyectantes	Velocidad del viento aproximada en el exterior		3,75m/s proveniente del S	Velocidad del viento aproximada en el exterior				
	Nivel de apertura	6 parcial (5 a 10cm) y 1 total (20 a 25cm)	Observaciones: En el edificio IGAC en la medición No. 1 solamente se escogió 1 de 3 aperturas disponibles hacia cada fachada para la toma de datos. En la medición No. 2 se escogen 4 de 10 y 4 de 7 aperturas disponibles en cada fachada. En el edificio FENIX, en la medición No. 1 se escogió la única apertura identificada hacia el costado suroriental y 2 de 4 aperturas disponibles hacia el costado noroccidental, 1 hacia cada fachada. En la medición No. 2 se escogieron las 2 aperturas disponibles hacia el costado suroriental, hacia el costado noroccidental no fue posible realizar mediciones debido a falta de autorización durante ese día. Sin embargo, se cuentan con los datos tomados en la primera medición. En el edificio FONADE - DNP, se escogieron dos rejillas hacia cada una de las fachadas (2 de 12, 2 de 9 y 2 de 9 respectivamente), una abierta, y una cerrada. Las mediciones en el exterior se realizaron en la terraza de cada uno de los edificios con el fin de tener una velocidad de referencia y establecer su dirección.							
	Velocidad del viento	Aperturas parciales Inyección: 0,12m/s Extracción: 0,36m/s Apertura total Inyección: 0m/s Extracción: 0,64m/s	No es posible realizar un análisis comparativo entre las velocidades registradas en el exterior y el interior debido a que fueron tomadas en momentos distintos.							
Velocidad del viento aproximada en el exterior		4,21m/s proveniente del SE								

Como se puede observar, el IGAC a pesar de contar con una planta libre y aperturas en cada una de sus fachadas (barlovento y sotavento), durante la medición No. 1 (día nublado) no se evidenció una ventilación cruzada pues solamente se registró inyección de aire en cada fachada; durante la medición No. 2 (día despejado) aunque se pudo evidenciar una ventilación cruzada, las velocidades de extracción de aire sobre la fachada occidental (sotavento) fueron mínimas en comparación con las velocidades de inyección de aire registradas hacia la fachada oriental (barlovento). Se puede decir que ésta pérdida de energía se debe a varios factores entre ellos la altura, el tipo y el número de aperturas empleadas en cada fachada, siendo menor las utilizadas hacia la fachada occidental. En el edificio FENIX, a pesar de que las aperturas se encuentran a una altura de 2m en cada piso, lo que hacía pensar que la extracción de aire se daría por diferencia de temperatura, sobre el costado suroriental (barlovento) primó la inyección de aire mientras que sobre el costado noroccidental (sotavento) primó la extracción. Se puede decir que este fenómeno se produce por varias razones, como por ejemplo el hecho de no contar con aperturas de ingreso de aire en un nivel inferior o que las ráfagas de viento superiores a los 3m/s en el exterior tiendan a anular la salida del aire en las aperturas superiores, por estas razones la inyección y extracción de aire en los espacios quedaría dependiendo solamente de las diferencias de presión en el exterior. En el edificio FONADE – DNP al igual que en el anterior, no se logró identificar un sistema de ventilación, por lo tanto se puede decir que la inyección y extracción de aire dentro de los espacios quedaría dependiendo también de las diferencias de presión generadas en el exterior. Esta situación que se puede observar de manera clara sobre la fachada oriental (barlovento) en donde se registró solamente inyección de aire tanto en rejillas abiertas como cerradas, sin embargo, a pesar de que la ventilación dependería solamente de las diferencias de presión, se pudo evidenciar que en todas las fachadas (barlovento y sotavento) la inyección de aire se impuso sobre la extracción.

Teniendo en cuenta los datos registrados en cada una de las aperturas, se procede a calcular el caudal de aire que ingresó o salió en cada uno de los espacios. Para esto inicialmente se plantea la siguiente ecuación establecida para el cálculo del caudal de aire que en teoría debía circular por cada una de las aperturas (Ver Ecuación 9).

Ecuación 9. Cálculo de caudal de aire que pasa por una apertura. Fuente: (Fuentes Freixanet & Rodríguez Viqueira, s.f.) según ASHRAE Handbook Fundamentals 2001. *ibid.* p 26.11.

$$Q = C_v \times A_e \times V$$

En donde:

Q = Tasa de ventilación (m³/s)

C_v = Efectividad de las aperturas (C_v = 0.5 a 0.6 para viento perpendicular, y 0.25 a 0.35 para viento diagonal).

A_e = Área libre de la abertura de entrada de viento (m²)

V = velocidad del viento (m/s)

Sin embargo, teniendo en cuenta que las mediciones se realizaron en periodos de 5 minutos registrando datos cada 15 segundos; que los ángulos de incidencia durante éstos periodos fueron variables e imposibles de determinar desde el interior, lugar en donde se realizaron las mediciones; que además las mediciones se realizaron en el barlovento y en el sotavento, es decir en lugares en donde el viento no tenía un ángulo de incidencia y en donde se registraron velocidades de extracción de aire ocasionadas por diferencias de presión; se procede a tomar en cuenta las asesorías brindadas por el profesor Jorge Ramírez Fonseca y se establece la siguiente ecuación para el cálculo del caudal de aire a través de las aperturas (Ver Ecuación 10):

Ecuación 10. Cálculo de caudal de aire que pasa a través de las aperturas. Fuente: Asesorías profesor Jorge Ramírez Fonseca.

$$Q = A \times V$$

En donde:

Q = Caudal de ventilación (m³/s)

A = Área de la apertura

V = velocidad del viento (m/s)

Teniendo en cuenta lo anterior, se procede a calcular el caudal de inyección y extracción de aire para cada uno de los espacios (Ver Tabla 20):

Tabla 20. Cálculo de caudales de inyección y extracción total de aire en espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en Anexo E y Ecuación 10.

	Tipo de apertura y nivel de apertura	No. De aperturas	A= Área apertura (m ²)	V= Velocidad de inyección (m/s)	V= Velocidad de extracción (m/s)	Q (Caudal de inyección apertura (m ³ /s))= A x V	Q (Caudal de extracción apertura (m ³ /s))= A x V	Caudal de inyección total (m ³ /h)= Q x No. Aperturas x 3,600	Caudal de extracción total (m ³ /h)= Q x No. Aperturas x 3,600	Qt= Caudal de extracción total por espacio (m ³ /h)	
IGAC											
Medición No. 1											
	Fachada oriental (barlovento)	Proyectante (Apertura parcial)	3	0,37	0,25	0	0,09	0,00	999	0	0
	Fachada occidental (sotavento)	Proyectante (Apertura parcial)	3	0,37	0,17	0	0,06	0,00	679,32	0	
Medición No. 2											
	Fachada oriental (barlovento)	Proyectante (Apertura parcial)	9	0,37	1,7	0	0,63	0,00	20379,6	0	4286,52
		Proyectante (Apertura total)	1	0,45	2,28	0,23	1,03	0,10	3693,6	372,6	
	Fachada occidental (sotavento)	Proyectante (Apertura parcial)	6	0,37	0,12	0,36	0,04	0,13	959,04	2877,12	
		Proyectante (Apertura total)	1	0,45	0	0,64	0,00	0,29	0	1036,8	
FENIX											
Medición No. 1											
	Costado suroriental (barlovento)	Proyectante	1	0,17	0,47	0	0,08	0,00	287,64	0	758,88
	Costado Noroccidental (sotavento)	Proyectante	4	0,17	0,19	0,31	0,03	0,05	465,12	758,88	
Medición No. 2											
	Costado suroriental (barlovento)	Proyectante	2	0,17	2,43	0	0,41	0,00	2974,32	0	0
	Costado Noroccidental (sotavento)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
FONADE - DNP											
Medición No. 1											
	Fachada oriental (barlovento)	Rejilla (cerrada)	11	0,04	0,77	0	0,03	0,00	1219,68	0	126,72
		Rejilla (abierta)	1	0,04	3,33	0		0,00	0	0	

Fachada norte	Rejilla (cerrada)	8	0,04	0	0	0,00	0,00	0	0
	Rejilla (abierta)	1	0,04	0,77	0,23		0,01	0	33,12
Fachada occidental (sotavento)	Rejilla (cerrada)	4	0,04	0	0	0,00	0,00	0	0
	Rejilla (abierta)	5	0,04	1,41	0,13	0,06	0,01	1015,2	93,6

Teniendo en cuenta el caudal total de extracción para cada uno de los espacios, se procede a calcular los cambios hora registrados en cada uno dividiendo el caudal de extracción total (Qt) entre el volumen del espacio, así (Ver Tabla 21):

Tabla 21. Cálculo de cambios hora para cada uno de los espacios de acuerdo a caudales de extracción. Fuente: Elaboración propia

Espacio		Medición No.	Volumen del espacio (m ³)	Qt =Caudal de extracción total (m ³ /h)	Cambios hora= (Qt / Volumen espacio)
IGAC		1	1400,29	0	0,00
		2	1400,29	4286,52	3,06
FENIX	Costado suroriental	1	227,93	0	0,00
	Costado noroccidental	1	197,38	758,88	3,84
FONADE - DNP		1	878,14	126,72	0,14

Como se puede observar, en el IGAC durante el día nublado (medición No. 1) no se tuvieron cambios hora mientras que en el día soleado (medición No. 2) se tuvieron 3,06 cambios hora. En el edificio FENIX en una mañana parcialmente nublada (medición No. 1) en el costado suroriental no se pudieron evidenciar cambios hora, mientras que en el costado noroccidental se presentaron 3,84 cambios hora. En el edificio FONADE – DNP se presentaron 0,14 cambios hora. Cabe destacar que dentro de estas mediciones no se tienen en cuenta los cambios hora ocasionados por infiltración en los elementos de la envolvente.

Teniendo en cuenta las mediciones realizadas y según el estándar ANSI/ASHRAE 62.1-2007 (2007), el mínimo caudal de ventilación para un espacio de oficinas por persona es de 5cfm/persona (pie cúbico por minuto por persona) por un área de 0,06cfm/ft² (pie cúbico por minuto por pie cuadrado), esto se encuentra expresado en la siguiente fórmula (Ver Ecuación 11):

Ecuación 11. Cálculo de caudal mínimo por persona. Fuente: ANSI/ASHRAE 62.1-2007 (2007)

$$Q_m = 5 \text{ cfm/persona} \times \text{No. personas} + 0,06 \text{ cfm/ft}^2 \times \text{ft}^2$$

En dónde:

Q_m= Caudal mínimo exigido para cada espacio (cfm)

Nota: El número de personas corresponde al número total de puestos de trabajo identificados en los espacios objeto de estudio.

Teniendo la Ecuación 11 se procede a calcular los niveles mínimos de ventilación para cada uno de los espacios, así (Ver Tabla 22):

Tabla 22. Cálculo de caudal mínimo exigido y cambios hora mínimos exigidos por ASHRAE Fuente: Elaboración propia basado en ANSI/ASHRAE 62.1-2007 (2007)

Espacio	Caudal mínimo exigido (cfm/persona)	No. Personas	Factor de área (cfm/ft ²)	Área espacio objeto de estudio(ft ²)	Q _m = Caudal mínimo de ventilación exigido (cfm)	Q _m = Caudal mínimo de ventilación exigido (m ³ /h)	Cambios hora mínimos exigidos
IGAC	5	89	0,06	5981,18	803,87	1365,78	0,98
FENIX	Costado suroriental	18	0,06	1076,07	154,56	262,61	1,15
	Costado noroccidental	61	0,06	931,83	360,91	613,19	3,11
FONADE - DNP	5	57	0,06	4109,66	531,58	903,16	1,03
Nota: Para las conversiones realizadas (de m ² a ft ² y de cfm a m ³ /h) se utilizó la página web http://www.endmemo.com/sconvert/							

De esta manera podemos concluir que para las mediciones realizadas el edificio IGAC no cumplió con los cambios hora mínimos exigidos durante el día nublado (medición No. 1), mientras que en el día soleado si cumplió (medición No. 2). El edificio FENIX no cumplió con los cambios hora mínimos exigidos en su costado suroriental, mientras que en el costado noroccidental si cumplió. El edificio FONADE – DNP no cumplió con los cambios hora mínimos exigidos. Es importante subrayar que dentro de estos cálculos no se tuvo en cuenta los cambios hora ocasionados por infiltración y que el cumplimiento de estos estándares no garantiza los niveles de confort térmico en el interior de los espacios.

Las mediciones de ventilación se hicieron con un carácter informativo pues se tomaron con el fin de comprobar la existencia o no de sistemas de ventilación en el interior, conocer si con el tipo, disposición y número de aperturas los espacios cumplen o no con los niveles establecidos por ASHRAE. Como se pudo observar, la ventilación es un

parámetro que tiene una gran variabilidad, es imposible determinar un número de cambios hora constantes en el interior pues esto depende de condiciones externas, factores como la velocidad y dirección del viento que no son constantes tienen una gran influencia en la renovación del aire en el interior. Por esta razón los datos obtenidos serán utilizados en la elaboración de la ficha de diagnóstico bioclimático (Anexo G) mas no serán utilizados en el software Design Builder, ya que el nivel de ventilación de los espacios en el modelo virtual dependerá solamente del porcentaje de apertura de la envolvente lo cual junto con la información contenida en el archivo del clima generará cambios de presión y por lo tanto una ventilación natural y cambios hora determinados por las condiciones externas en el edificio.

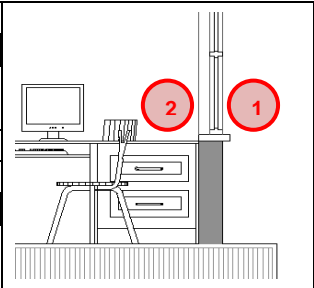
Iluminación (luxómetro)

Las mediciones de iluminación en los espacios se realizaron con dos objetivos, el primero verificar el aprovechamiento de la iluminación natural en el interior, y el segundo identificar la homogeneidad que debería existir en los niveles de iluminación (natural + artificial) de los puestos de trabajo. Los resultados obtenidos durante estas mediciones se presentan en el Anexo F.

En primer lugar se ejecutaron dos ejercicios de medición de la iluminación natural, el primero se realizó con el fin de medir los niveles de transmitancia visible del vidrio en un día nublado y un día despejado, cabe destacar que éste ejercicio solamente se pudo realizar en el IGAC debido a que en los demás edificios, el tipo de aperturas no permitieron registrar mediciones en el exterior (Ver Tabla 23).

Tabla 23. Transmitancia de la luz a través del vidrio Fuente: Elaboración propia

Día nublado		
Medición	luxes	% transmisión
1.Exterior vidrio	3360	41,25
2.Interior vidrio	1386	
Día parcialmente despejado		
Medición	luxes	% transmisión
1.Exterior	12850	47,51
2.Interior vidrio	6105	



Como se puede observar, menos de la mitad de la luz visible exterior ingresa al interior lo que difiere en gran medida con lo establecido en las fichas técnicas del material ya que se estima que cerca del 90% de la luz visible debería ingresar al interior. Dentro de los

factores que podrían influir en la transmitancia del vidrio está el grado de suciedad, la edad y las características únicas del material.

El segundo ejercicio consistió en medir el alcance que tiene la iluminación natural hacia el interior del espacio con y sin elementos de protección solar, en este caso persianas (Ver Tabla 24).

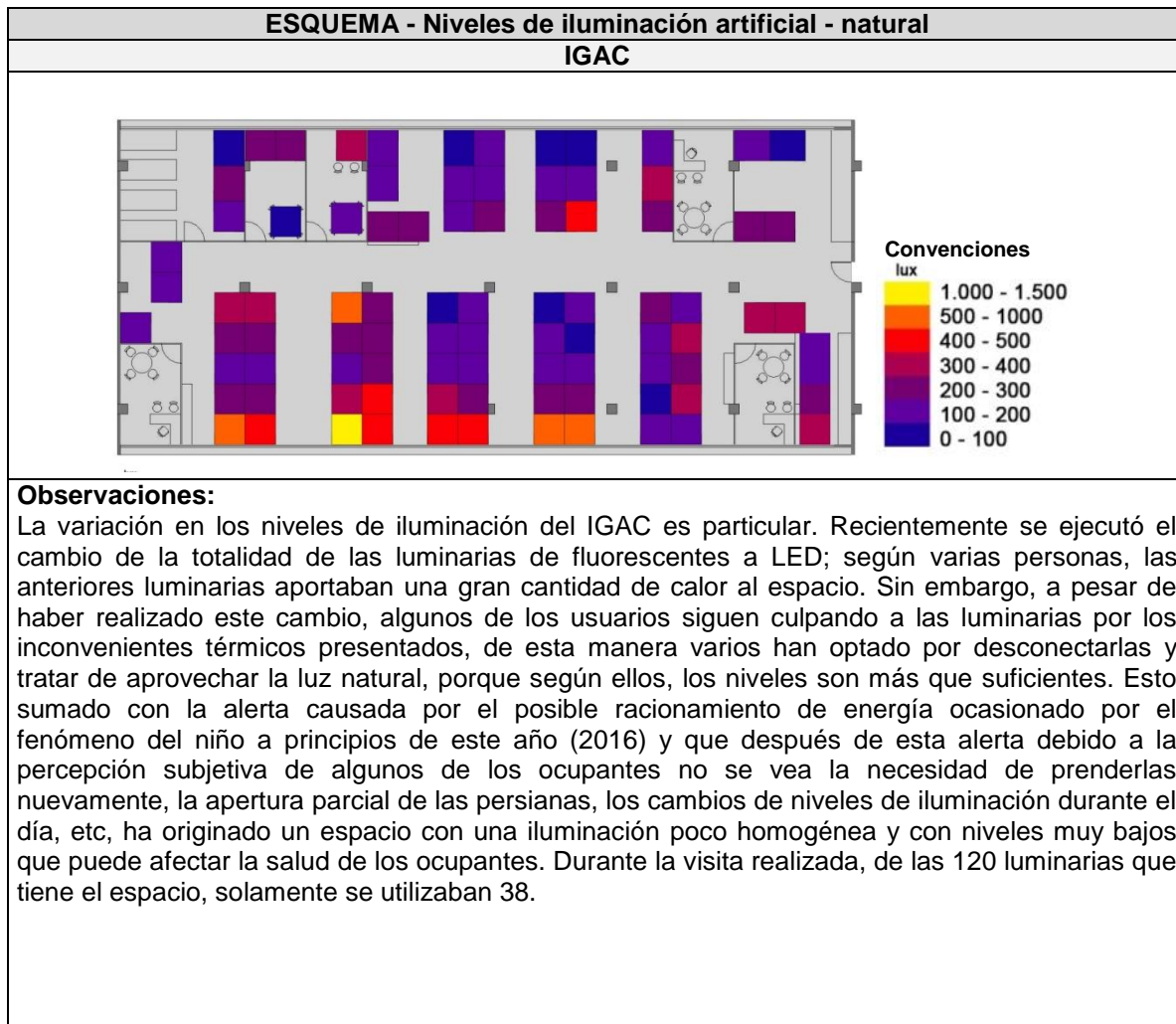
Tabla 24. IGAC, Comportamiento niveles de iluminación natural hacia el interior. Fuente: Elaboración propia

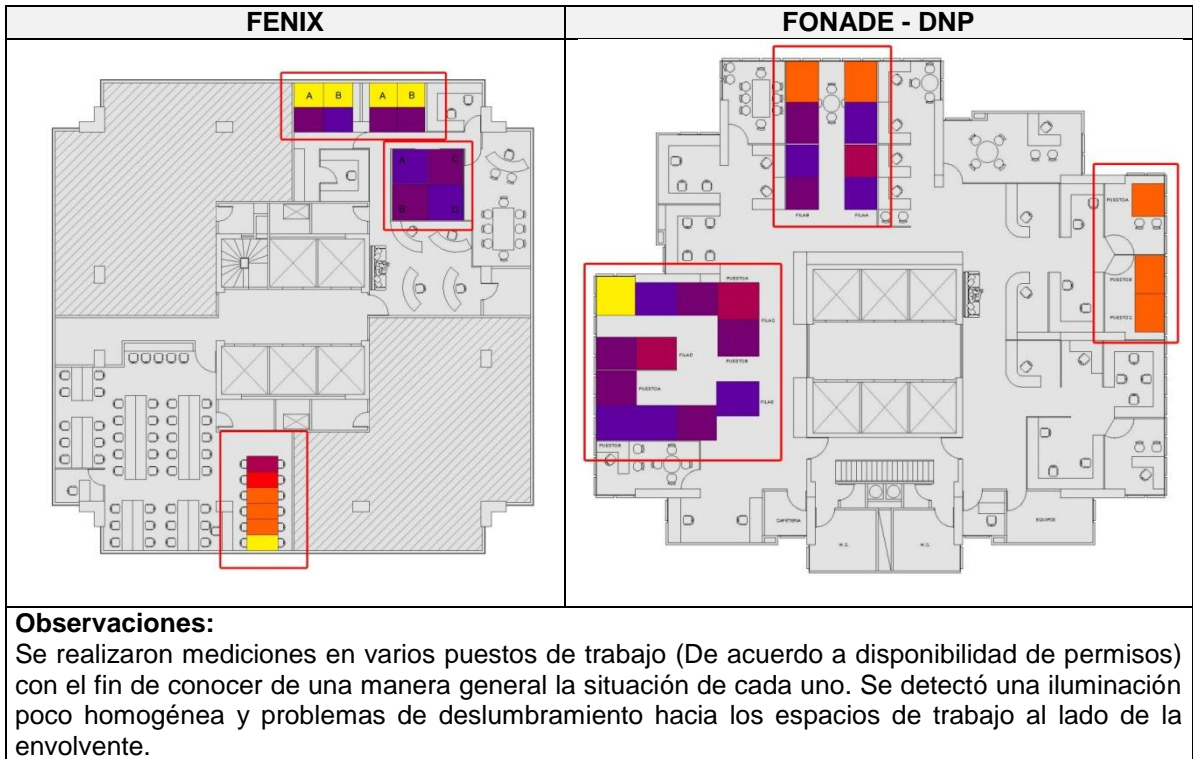
RESUMEN - Niveles de iluminación natural hacia el interior					
IGAC		FENIX		FONADE - DNP	
<p>Convenciones: Niveles de iluminación natural sin persianas (amarillo), con persianas abiertas (verde), con persianas cerradas (azul). Niveles de iluminación requeridos según RETILAP (franja rojo).</p>					
Fecha de medición	Mayo 02 de 2016	Fecha de medición	Mayo 20 de 2016	Fecha de medición	Junio 15 de 2016
Hora	12:00pm	Hora	11:00 a.m.	Hora	4:00pm
Condiciones climáticas	Día parcialmente despejado	Condiciones climáticas	Día parcialmente nublado	Condiciones climáticas	Día parcialmente nublado
Rango de medida	0 a 1.999 lux y 1.800 a 19.990 lux	Rango de medida	0 a 1.999 lux y 1.800 a 19.990 lux	Rango de medida	0 a 1.999 lux
Selección tipo de luz	"S = Luz día"	Selección tipo de luz	"S = Luz día"	Selección tipo de luz	"S = Luz día"
Tiempo de medición	5 a 10 segundos cada punto	Tiempo de medición	5 a 10 segundos cada punto	Tiempo de medición	5 a 10 segundos cada punto
Puntos de muestreo	4 registros en cada punto	Puntos de muestreo	4 registros en cada punto	Puntos de muestreo	4 registros en cada punto
Localización general	Fachada oriental	Localización general	Fachada oriental	Localización general	Fachada occidental
Localización específica	Cada metro contado desde la envolvente sobre puesto de trabajo (Altura: 0,8 a 0,9m)	Localización específica	Cada metro contado desde la envolvente sobre puesto de trabajo (Altura: 0,8 a 0,9m)	Localización específica	Cada metro contado desde la envolvente sobre puesto de trabajo (Altura: 0,8 a 0,9m)
<p>Observaciones: Se llevaron a cabo mediciones de iluminación natural en cada uno de los edificios siguiendo los protocolos de medición propuestos. Estas mediciones se realizaron en distintas condiciones climáticas, diferentes horas y con diferentes grados de protección solar (persianas). Cabe destacar que en el edificio FENIX, hacia la fachada oriental no se utilizan elementos de protección solar.</p>					

Como se puede observar, la utilización de persianas, ya sean abiertas o cerradas disminuye en gran medida el aprovechamiento de la iluminación natural en el interior, pero eliminarlas, generaría problemas de deslumbramiento en los puestos de trabajo colindantes con la envolvente. Se puede observar también que solo una pequeña franja cumple con los requerimientos del RETILAP.

El tercer y último ejercicio consistió en realizar una medición general en algunos puestos de trabajo (dependiendo de los permisos concedidos) con el fin de verificar la homogeneidad de los niveles de iluminación natural y artificial, identificar problemas de deslumbramiento y bajos niveles de iluminación (Ver Tabla 25).

Tabla 25. Niveles de iluminación natural y artificial en cada puesto de trabajo. Fuente: Elaboración propia.





Como se puede observar, los niveles de iluminación registrados en los espacios objeto de estudio no son homogéneos, se pueden evidenciar problemas de deslumbramiento en los puestos de trabajo ubicados al lado de la envolvente lo que ocasiona que los ocupantes tiendan a cerrar las persianas disminuyendo el aprovechamiento de la iluminación natural hacia el interior, esto junto con deficiencias en la iluminación artificial, ocasiona que los niveles de iluminación en los puestos no sean los correctos.

El RETILAP establece unos niveles mínimos de iluminación de 500luxes, medios de 750 luxes y máximos de 1.000 luxes para las actividades realizadas en una oficina abierta. Dentro de las mediciones realizadas, el porcentaje de puestos de trabajo que cumplen con estos niveles es mínimo, en el IGAC solamente el 4,44% de los datos registrados se encuentran dentro del rango establecido, en el edificio FENIX el 16,67% y en FONADE – DNP el 21,74%.

Como se mencionó anteriormente, las mediciones de iluminación también se realizaron con un carácter informativo, esto debido a que la investigación realizada por el profesor Pérez Marín no considera propiedades difusoras de la luz en los nuevos materiales, solamente de protección solar. Por esta razón, cualquier sistema de reforzamiento o

difusión de la luz hacia el interior implicaría la utilización de elementos adicionales los cuales no se encuentran contemplados dentro del objeto del presente trabajo. Los datos obtenidos también serán utilizados en la elaboración de la ficha de diagnóstico bioclimático (Anexo G).

4.2 Evaluación de sistemas pasivos

Después de haber constatado los inconvenientes térmicos y lumínicos presentados en los espacios mediante la realización de las mediciones, se procede a identificar y a analizar los sistemas pasivos empleados en cada edificio, esto con el fin de revelar posibles deficiencias que pueden aportar a los inconvenientes identificados en el interior, esto se realiza mediante una ficha de diagnóstico bioclimático.

4.2.1 Ficha de diagnóstico bioclimático

Teniendo en cuenta el diseño metodológico propuesto se realiza una ficha de diagnóstico bioclimático para cada uno de los espacios objeto de estudio, en ella se analiza su respuesta a las condiciones externas e internas y de las estrategias bioclimáticas empleadas. Dentro de esta ficha se establecen 9 parámetros de evaluación mencionados en el Capítulo 2 (Numeral 2.2.2_ Estrategias bioclimáticas) y se determina si el espacio cumple o no con aspectos como su orientación (1. Eje térmico y 2. Eje eólico), si tiene una forma adecuada (3. Volumetría y 4. Confinamiento - agrupación de elementos), la ubicación de los espacios (5. Distribución interna), envolvente acristalada y aperturas (6. Proporciones, 7. Dispositivos de control solar, 8. Ventilación natural y 9. Iluminación natural).

A continuación se presenta el resultado de este diagnóstico (Ver Tabla 26). Los resultados completos de éste análisis se presentan en el Anexo G.

Tabla 26. Resultados ficha de diagnóstico bioclimático. Fuente: Elaboración propia basado en Anexo G

Parámetros de evaluación		IGAC		FÉNIX		FONADE - DNP	
		CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
Orientación	Eje térmico		X		X		X
	Eje eólico	X			X		X
Forma	Volumetría	X			X		X
	Confinamiento - agrupación de elementos	X		X			X
Ubicación de los espacios	Distribución interna		X		X		X
Envolvente acristalada y aperturas	Proporciones		X		X		X
	Dispositivos de control solar		X		X		X
	Ventilación natural		X		X		X
	Iluminación natural		X		X		X

Como se puede observar, de los nueve parámetros evaluados el IGAC cumple con 3, el edificio FENIX cumple con 1 y el edificio FONADE – DNP cumple con 0.

Dentro de esta evaluación se evidencian parámetros comunes a todos los edificios como su mala orientación (eje térmico) que ocasiona que grandes superficies de vidrio queden expuestas al oriente y al occidente; la distribución interna de los espacios, la cual pudo ser acertada si se hubiese contado con sistemas que permitieran lograr un buen aprovechamiento de los factores externos, al no tenerlos y desde el punto de vista del confort de los usuarios que se ubican al lado de la envolvente, de las acciones que éstos deben tomar para protegerse de las condiciones externas y que afectan indirectamente a los demás, la distribución interna de los espacios no es acertada. Parámetros relacionados con la envolvente acristalada que son comunes en todos los espacios como el porcentaje de utilización del vidrio (proporción) que puede llegar hasta un 66%, la utilización de dispositivos de control solar internos como persianas o en algunos casos externos como los vidrios antisol, los cuales como se pudo observar no son suficientes para lograr espacios confortables, la carencia o ineficacia de sistemas de ventilación natural que permitan tener un flujo de aire constante en el interior, y finalmente el bajo aprovechamiento de la iluminación natural a pesar de contar con grandes superficies

acristaladas como se pudo evidenciar en las mediciones realizadas (Numeral 4.1.2_ Mediciones realizadas).

Además de los parámetros comunes a todos los espacios, existen diferencias ocasionadas principalmente por la tipología de los edificios y las condiciones externas propias de cada uno. Así por ejemplo, en cuanto al aprovechamiento de los vientos dominantes, se pudo observar que la tipología “alargada” del IGAC responde de una mejor manera a este factor mientras que en la tipología “centralizada” de los demás, no se evidencia alguna intención de aprovechar la influencia del viento exterior. Por esta razón, en los parámetros de forma (volumetría y confinamiento) el IGAC tiene una clara ventaja sobre los demás espacios. En cuanto al confinamiento y agrupación de elementos, tanto en el IGAC como en el edificio FENIX se pudo observar poca o ninguna influencia de su propia volumetría, es decir que los bloques que hacen parte de los mismos edificios no constituyen un obstáculo para el aprovechamiento de los factores externos, mientras que en el edificio FONADE – DNP, el piso analizado si sufre este tipo de afectación.

Como se mencionó anteriormente, este diagnóstico se realizó con el fin de identificar aquellos sistemas pasivos que puedan aportar al aprovechamiento de las energías naturales y si son suficientes para lograr un espacio confortable en el interior. Como se pudo observar los resultados no fueron favorables.

Capítulo 5. Punto de referencia y aplicación de polímeros para la protección solar de la envolvente

Con base en los resultados obtenidos en el Capítulo No. 4 se procede a establecer un punto de referencia mediante la realización de un modelo virtual en el software Design Builder sobre el cual se aplicarán los modelos de confort térmico para comprobar si los espacios cumplen o no con los estándares de confort establecidos. De igual forma, mediante éste modelo se determinarán las cargas solares que actúan en el espacio y se evaluarán las posibles mejoras generadas por la aplicación de los polímeros en la envolvente.

5.1 Punto de referencia – condiciones para la simulación

Después de haber realizado el análisis de las condiciones locales, las mediciones ambientales y el diagnóstico bioclimático de los espacios objeto de estudio; se procede a realizar un modelo virtual en el software Design Builder con el fin de simular un día que sea similar a uno de los días registrados durante las mediciones (el más crítico).

Los aspectos que se tuvieron en cuenta para la realización de cada modelo resultan del análisis de los espacios realizado en el Capítulo 4 y se presentan en una ficha de parámetros requeridos por el software (Anexo H). El resultado, un modelo virtual con unas condiciones similares a las registradas durante los días de medición.

Es importante destacar que aunque para la realización del modelo virtual se tuvieron en cuenta las características de todos los espacios habitables interiores con excepción de áreas de servicio, bloques colindantes o pisos superiores e inferiores los cuales fueron modelados como “adiabáticos” (que no generan ganancias ni pérdidas térmicas); de los

datos de análisis provenientes de la simulación solamente se tendrán en cuenta aquellos espacios en los cuales se localizaron los datalogger in situ, así (Ver Tabla 27):

Tabla 27. Correlación entre localización de dataloggers in situ (Ver esquemas Tabla 17) y espacios en modelo virtual Design Builder (Ver esquemas Anexo H). Fuente: Elaboración propia

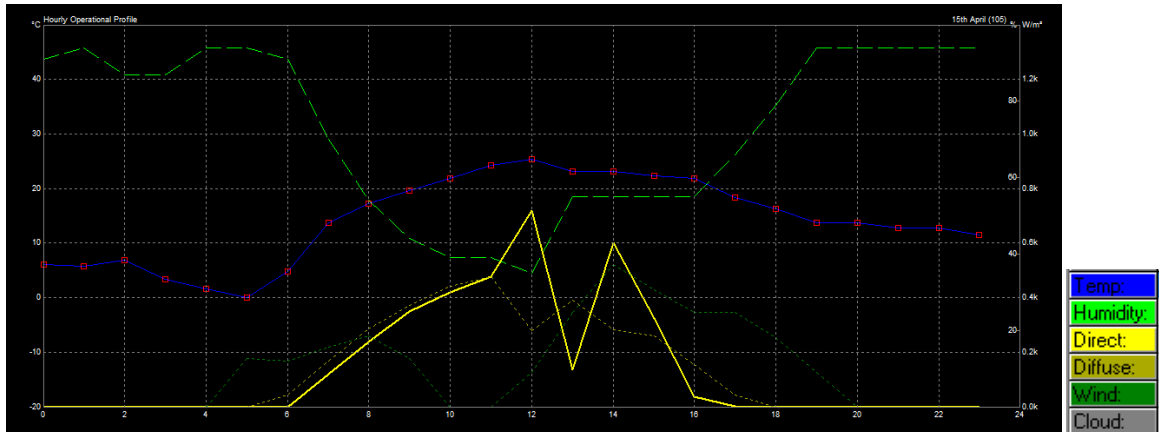
	Localización datalogger (in situ)	Espacio en modelo virtual Design Builder
IGAC	Punto No. 1	G. Planta libre (Fachada oriental)
	Punto No. 2	M. Planta libre (Fachada occidental)
	Punto No. 3	K. Cubículo No. 5 (Fachada occidental)
FENIX	Punto No. 1	B. Espacio No. 1 (Costado suroriental)
	Punto No. 2	D. Espacio No. 2 (Costado suroriental)
	Punto No. 3	J. Planta libre (Costado noroccidental)
FONADE - DNP	Punto No. 1	P. Planta libre No. 1 (Fachada occidental)
	Punto No. 2	J. Cubículo No. 2 (Fachada oriental)
	Punto No. 3	B. Planta libre No. 1 (Fachada norte)

Una vez definidos los espacios de los cuales se obtendrán los resultados de la simulación, nos remitimos al resumen de las mediciones de temperatura realizadas in situ el cual se presenta en el Capítulo 4 (Ver Tabla 17). En este resumen se presenta la jornada laboral más calurosa y la temperatura máxima absoluta registrada en cada espacio objeto de estudio. Una vez se identifican estos datos, se procede a escoger un día dentro del archivo del clima que se encuentre dentro del mes en que se realizaron las mediciones y que tenga características similares a las condiciones atmosféricas presentadas durante la jornada laboral más calurosa.

Debido a la imposibilidad de reproducir de manera exacta las condiciones de un día de medición pues existen una infinidad de factores que inciden sobre el comportamiento del clima y del espacio interior, se procuró no superar en más de 1°C la diferencia entre temperaturas, así:

IGAC: Dentro del archivo del clima .epw se escoge el día 15 de abril, el cual cuenta con unas condiciones similares a las presentadas durante la jornada más calurosa (mañana y tarde parcialmente soleadas) (Ver Figura 32).

Figura 32. Día escogido con características similares a las presentadas el día 15 de abril de 2016. Fuente: Weather tool



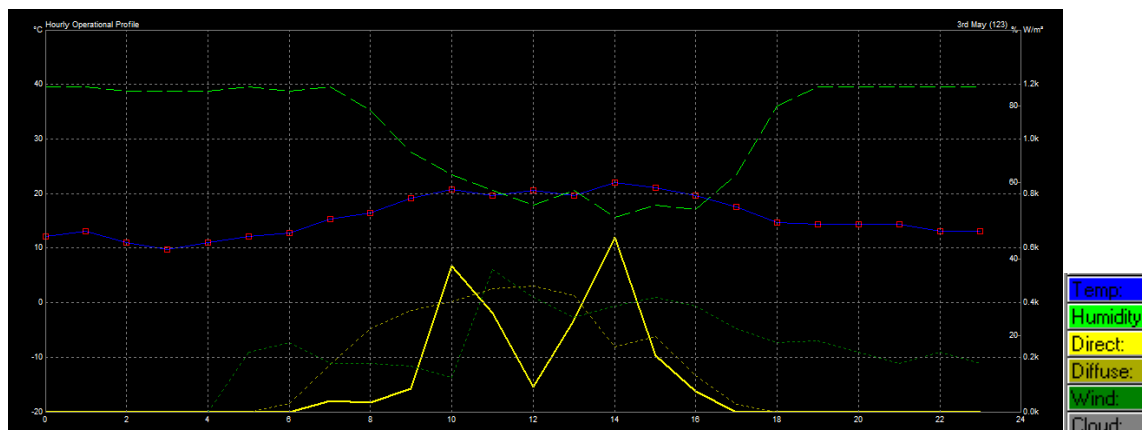
A continuación se presenta la diferencia entre las temperaturas promedio y máxima absoluta registradas durante la jornada laboral más calurosa (mediciones) vs. los resultados obtenidos en la simulación (Ver Tabla 28).

Tabla 28. IGAC_ Diferencia entre los datos obtenidos en la simulación vs. mediciones realizadas. Fuente: Elaboración propia.

	Modelo virtual Design Builder		Mediciones realizadas in situ	
	Temperatura promedio	Temperatura máxima absoluta	Temperatura promedio	Temperatura máxima absoluta
Costado occidental				
M. Planta libre	26,10	28,38	25,13	28,4
K. Cubículo No. 5	25,84	29,59	26,39	29
Costado oriental				
G. Planta libre	26,84	28,89	26,4	28,7

FENIX: Dentro del archivo del clima .epw se escoge el día 03 de mayo, el cual cuenta con unas condiciones similares a las presentadas durante las jornadas más calurosas (mañana y tarde parcialmente soleadas) (Ver Figura 32).

Figura 33. Día escogido con características similares a las presentadas los días 05 y 12 de Mayo de 2016. Fuente: Weather tool



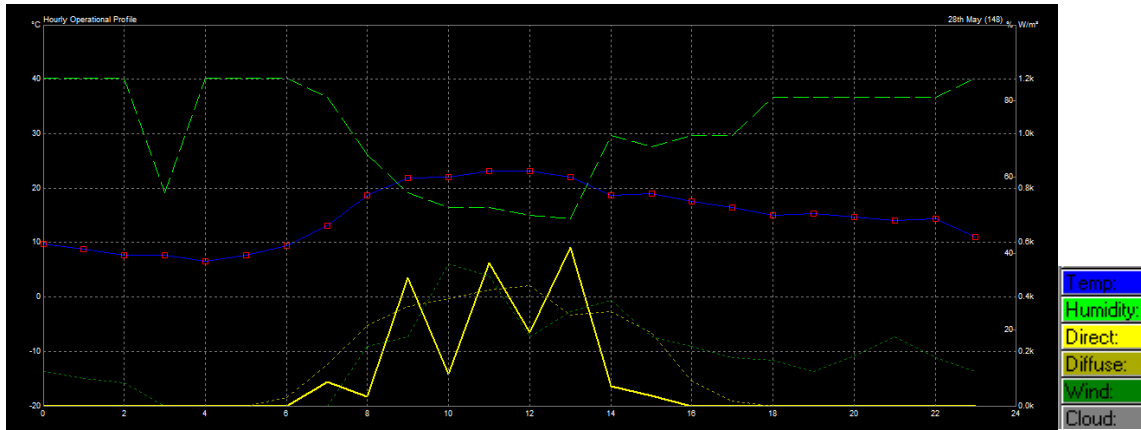
A continuación se presenta la diferencia entre las temperaturas promedio y máxima absoluta registradas durante la jornada laboral más calurosa (mediciones) vs. los resultados obtenidos en el software Design Builder (Ver Tabla 29).

Tabla 29. FENIX_ Diferencia entre los datos obtenidos en la simulación vs. mediciones realizadas. Fuente: Elaboración propia.

	Modelo virtual Design Builder		Mediciones realizadas in situ	
	Temperatura promedio	Temperatura máxima absoluta	Temperatura promedio	Temperatura máxima absoluta
Costado suroriental				
B. Espacio No. 1	24,57	25,46	24,55	25,60
D. Espacio No. 2	24,82	26,21	24,13	25,70
Costado noroccidental				
J. Planta libre	25,41	27,32	25,02	27,70

FONADE – DNP: Dentro del archivo del clima .epw se escoge el día 28 de mayo, el cual cuenta con unas condiciones similares a las presentadas durante las jornadas más calurosas (mañana y tarde parcialmente soleadas) (Ver Figura 32)

Figura 34. Día escogido con características similares a las presentadas los días 25 de mayo y 01 de junio de 2016. Fuente: Weather tool



A continuación se presenta la diferencia entre las temperaturas promedio y máxima absoluta registradas durante la jornada laboral más calurosa (mediciones) vs. los resultados obtenidos en la simulación (Ver Tabla 30).

Tabla 30. FONADE - DNP_ Diferencia entre los datos obtenidos en la simulación vs. mediciones realizadas. Fuente: Elaboración propia.

	Modelo virtual Design Builder		Mediciones realizadas in situ	
	Temperatura promedio	Temperatura máxima absoluta	Temperatura promedio	Temperatura máxima absoluta
Costado norte				
B. Planta libre No. 1	24,72	26,32	24,28	26
Costado oriental				
J. Cubículo No. 2	24,19	26,15	23,92	25,8
Costado occidental				
P. Planta libre No. 1	24,29	26,71	23,35	27,7

5.1.1 Niveles de confort punto de referencia

Para aplicar los modelos de confort mencionados, se toman las condiciones extremas de cada espacio objeto de estudio, es decir la hora en la cual se registró la temperatura máxima absoluta durante la simulación (Ver Tabla 28, Tabla 29 y Tabla 30). De esta manera se obtienen los parámetros requeridos para determinar si los espacios cumplen o no con los estándares de confort exigidos por cada uno. (Ver Tabla 31). Los resultados de las simulaciones se presentan en el Anexo I en el cual se incluyen también las ganancias solares en cada uno de los espacios.

Tabla 31. Horas críticas espacios objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia basado en datos de Design Builder

		IGAC		FENIX			FONADE - DNP			
		Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental
		M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1
Und.		4:00pm	4:00pm	4:00pm	11:00am	4:00pm	3:00pm	4:00pm	4:00pm	2:00pm
Temperatura del aire	°C	27,98	30,62	29,37	26,32	27,09	28,09	26,99	26,81	26,96
Temperatura radiante	°C	28,79	28,55	28,42	24,61	25,32	26,55	25,66	25,49	26,45
Temperatura operativa	°C	28,38	29,59	28,89	25,46	26,21	27,32	26,32	26,15	26,71
Humedad relativa	%	42,2	44,85	40,22	51,92	44,97	39,00	46,54	46,88	45,45

- Modelo de confort estático (PMV – PPD)

Para la aplicación de este modelo de confort ingresamos los datos del punto más extremo registrado durante el día de simulación en el software Comfort calculator ISO7730-1993 (Healthy Heating, s.f.) Además de los datos citados anteriormente (Ver Tabla 31), esta información se complementa con los siguientes parámetros los cuales serán constantes para todos los espacios objeto de estudio:

- Velocidad del aire: 0.5m/s (Teniendo en cuenta que ésta velocidad se considera como el límite en el cual una persona tiene una percepción agradable según Fuentes(1998).
- Tasa metabólica: 2,11met (Teniendo en cuenta el desempeño de una actividad de "Light office work /standing /walking" (Trabajo ligero de oficina/de pie/caminando) con una tasa metabólica por persona 123W/persona).
- Nivel de vestimenta: 0,8 clo.

A continuación se procede con la aplicación del modelo de confort estático para cada uno de los espacios objeto de estudio y en donde el voto medio progresivo (PMV) debería encontrarse entre -0,5 y 0,5, mientras que el porcentaje de personas insatisfechas (PPD) debería ser menor al 10% (Ver Tabla 32):

Tabla 32. Aplicación de modelo de confort estático (PMV – PPD) a las horas críticas obtenidas en la simulación. Fuente: Elaboración propia basado en Comfort calculator ISO7730-1993

	IGAC			FENIX			FONADE - DNP		
	Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental
	M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1
Voto medio progresivo (PMV)	1,7	2,1	1,79	1,3	1,4	1,6	1,5	1,4	1,5
Porcentaje de personas insatisfechas (PPD)	61,80%	81,10%	72,10%	40,30%	45,50%	56,3%	50,90%	45,50%	50,9%
Sensación térmica	Llegando a sensación térmica de bastante calor.	Sensación térmica de bastante calor.	Llegando a sensación térmica de bastante calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Llegando a sensación térmica de bastante calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Llegando a sensación térmica de bastante calor.

Como se puede observar, ninguno de los espacios cumple con los estándares de confort establecidos por el modelo estático, los porcentajes de personas insatisfechas varían entre 40,3% para el espacio No. 1 en el costado suroriental del edificio FENIX y el 81,1% en el cubículo No. 5 en el costado occidental del edificio IGAC.

Como se puede observar, a pesar de ser el edificio que tuvo el mayor puntaje dentro del diagnóstico bioclimático realizado, los espacios que tuvieron las peores condiciones de confort térmico se encuentran en el edificio IGAC con un promedio de personas insatisfechas del 71,67%, de esta manera se puede observar la influencia que tienen aspectos como el tipo de vidrio utilizado en la fachada, el número de ocupantes y por ende las cargas térmicas ocasionadas por equipos, factores por los cuales el IGAC se destaca entre los demás.

- Modelo de confort adaptativo

En cuanto al modelo de confort adaptativo, éste depende de datos más generales pues considera la temperatura media de bulbo seco de la región. Teniendo en cuenta que Bogotá posee una temperatura media de 14.5°C según la estación meteorológica 21206970 UNISALLE CENTRO, se realiza la siguiente operación (Ver Ecuación 12):

Ecuación 12. Cálculo de modelo de confort según modelo adaptativo para la ciudad de Bogotá. Fuente: Elaboración propia basado en (Brager & de Dear, 2001)

$$T_{\text{comf}} = 0.31 \times 14.5^{\circ}\text{C} + 17.8 (^{\circ}\text{C})$$

$$T_{\text{comf}} = 22.29^{\circ}\text{C}$$

En donde:

T_{comf} : Temperatura de confort según modelo adaptativo

De acuerdo a lo anterior, la temperatura de confort óptima en Bogotá sería de 22,29°C. De igual forma, para un grado de aceptabilidad del 90% se establece un rango de 5°C es decir entre los 19,79°C y los 24,79°C; y para un grado de aceptabilidad del 80% se establece un rango de 7°C, es decir entre los 18,79°C y los 25,79°C. A continuación se ubican las temperaturas extremas obtenidas en cada uno de los espacios objeto de estudio dentro de los rangos establecidos (Ver Tabla 33)

Tabla 33. Ubicación de la temperatura máxima absoluta dentro de los rangos de confort adaptativo establecidos para la temperatura media de Bogotá. Fuente: Elaboración propia basado en (Brager & de Dear, 2001)

Temperatura en °C	IGAC			FENIX			FONADE - DNP			
	Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental	
	M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1	
Fuera del límite de aceptabilidad	>25,79	28,38	29,59	28,89	-	26,21	27,32	26,32	26,15	26,71
Límite 80% aceptabilidad	25,79	-	-	-	25,46	-	-	-	-	-
Límite 90% aceptabilidad	24,79	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatura de confort	22,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Como se puede observar, de acuerdo al modelo adaptativo ninguno de los espacios se encuentra dentro de la temperatura óptima de confort ni dentro el rango del 90% de aceptabilidad (Colores verde y amarillo respectivamente), solo un espacio se encuentra dentro del rango de aceptabilidad del 80% (color anaranjado) y el resto se encuentra por fuera del rango de aceptabilidad. Las temperaturas más altas y por lo tanto los datos más alejados del límite de aceptabilidad del 80% corresponden al edificio IGAC.

Los datos obtenidos en la aplicación de los modelos de confort estático y adaptativo concluyen el análisis realizado en el Capítulo 4 a cada uno de los espacios objeto de estudio; es decir que después de haber escogido los edificios en los cuales presuntamente existían problemas térmicos en el interior, de haber realizado el análisis

de las condiciones locales, de haber realizado las distintas mediciones y haber evaluado la eficiencia de los sistemas pasivos empleados en cada espacio mediante la realización del diagnóstico bioclimático, se puede concluir mediante la aplicación de los modelos de confort que los espacios no cumplen con los estándares de confort térmico exigidos por dichos modelos.

De igual forma es importante destacar que según el análisis climático realizado, las mediciones se tomaron durante los meses más nublados y con las temperaturas más bajas de todo el año, de esta manera las condiciones internas podrían ser peores.

5.2 Aplicación de polímeros para la protección solar de la envolvente

Como se mencionó anteriormente, esta etapa consiste en aplicar las características resultantes de los nuevos materiales dentro del modelo virtual realizado, esto con el fin de verificar su porcentaje de incidencia en el mejoramiento de las condiciones del interior. Una vez establecido el punto de referencia sobre el cual se aplicarán los nuevos materiales, se procede a tomar una primera medida que consiste en eliminar las persianas interiores de protección solar en cada uno de los modelos, esto con el fin de no contar con una “doble protección solar” que pueda afectar la precisión de los resultados.

A continuación se presenta un análisis comparativo entre las temperaturas promedio y máximas absolutas de cada uno de los espacios con persianas (CP) y sin persianas (SP) (Ver Tabla 34). Los resultados de la simulación del modelo SP se presentan en el Anexo J.

Tabla 34. Análisis comparativo entre temperaturas promedio y máximas absolutas entre modelos virtuales CP y SP. Fuente: Elaboración propia

	Und	IGAC		FENIX			FONADE - DNP			
		Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental
		M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1
Temperatura promedio (CP)	°C	26,10	25,84	26,84	24,57 (SP)	24,82 (SP)	25,41	24,72	24,19	24,29
Temperatura máxima absoluta (CP)	°C	28,38	29,59	28,89	25,46 (SP)	26,21 (SP)	27,32	26,32	26,15	26,71
Temperatura promedio (SP)	°C	27,90	27,64	28,62	24,56	24,85	25,78	25,45	24,45	24,98
Temperatura máxima absoluta (SP)	°C	30,32	31,44	30,71	25,45	26,2	27,7	27,1	26,67	27,56

Como se puede observar, el uso de persianas interiores juega un papel importante en la protección solar del espacio, se destacan diferencias de temperaturas promedio de hasta 1,80°C o de temperaturas máximas de hasta 1,94°C alcanzadas en el edificio IGAC por encima de las temperaturas registradas en el modelo CP. En los edificios FENIX y FONADE – DNP que poseen un vidrio antisol, se destacan diferencias de temperaturas promedio de hasta 0,69°C o temperaturas máximas de hasta 0,85°C como es el caso del costado occidental del edificio FONADE – DNP, por encima de las temperaturas registradas en el modelo CP. De esta manera se puede concluir que la influencia en la utilización de persianas es menor si se utiliza un vidrio de protección solar en la envolvente. Es importante destacar que los espacios B y D ubicados hacia el costado suroriental en el edificio FENIX, no contaban con persianas desde el principio, por esta razón no se encontraron diferencias significativas entre los dos modelos.

De igual forma se presenta un resumen diario de las ganancias solares internas generadas en cada uno de los espacios con y sin la utilización de persianas (Ver Tabla 35). Los resultados de la simulación del modelo sin persianas se presentan en el Anexo J.

Tabla 35. Análisis comparativo entre ganancias internas generadas en los modelos virtuales CP y SP. Fuente: Elaboración propia

GANANCIAS INTERNAS	Und.	IGAC		FENIX			FONADE - DNP			
		Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental
		M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1
Iluminación (CP)	kWh	1,893	0,375	4,805	0,616 (SP)	0,274 (SP)	3,727	2,554	0,384	2,678
Computadores y equipos (CP)	kWh	6,849	1,788	29,589	1,683(SP)	0,948 (SP)	10,884	2,885	0,459	2,843
Ocupación (CP)	kWh	3,890	0,733	16,750	1,074 (SP)	0,570 (SP)	6,246	2,031	0,363	2,033
Radiación solar (CP)	kWh	0,565	0,111	14,367	2,148 (SP)	1,979 (SP)	2,383	1,390	0,576	1,414
Iluminación (SP)	kWh	1,893	0,375	4,805	0,616	0,274	3,727	2,554	0,384	2,678
Computadores y equipos (SP)	kWh	6,849	1,788	29,589	1,683	0,948	10,884	2,885	0,459	2,843
Ocupación (SP)	kWh	3,507	0,628	14,811	1,072	0,567	6,409	1,980	0,365	1,980
Radiación solar (SP)	kWh	34,818	6,960	62,513	2,148	1,979	18,209	10,811	3,728	9,885

Como se puede observar, suprimir el uso de persianas en el modelo virtual aumenta considerablemente las ganancias solares en el interior. En los modelos virtuales CP, las ganancias solares se encuentran dentro de un rango entre el 4% y el 32% de las ganancias internas totales (Iluminación, computadores, equipos, ocupación y radiación solar), esto sin contar los espacios que inicialmente no tenían persianas (Espacios B y D del edificio FENIX), mientras que en los modelos virtuales SP, las ganancias solares se encuentran dentro de un rango entre el 39% y el 76% de las ganancias internas totales.

Sobre los valores de ganancias solares obtenidos en los modelos SP en la Tabla 35 (color anaranjado) se evaluarán las posibles mejoras que se obtengan tras la aplicación de los nuevos materiales en la envolvente acristalada.

También es importante destacar que según el software Design Builder, a medida que aumenta la temperatura del espacio, las ganancias generadas por ocupantes disminuyen, esto debido al cálculo que realiza el programa de las ganancias latentes por ocupación y que se basa en la actividad metabólica en función de la temperatura interior del espacio.

5.2.1 Parámetros de medición paneles tipo sándwich

Dentro de la investigación realizada por el profesor Pérez Marín, se analizaron los resultados obtenidos de todas las combinaciones posibles entre dos láminas poliméricas (PET, PVC, PC, PE, PS y PP), de distintas referencias y espesores. Estos materiales tipo “blend” con propiedades únicas se ubicaron en medio de dos láminas de vidrio de diferentes espesores (4+4, 4+5, 4+6, 5+5, 5+6, 6+6 (mm)) formando paneles tipo sándwich. Los “mejores” resultados se obtuvieron con una combinación de láminas de vidrio de 6+6mm y los “peores” con la combinación de láminas de vidrio de 4+4mm. Al final de la investigación se escogieron las 6 mejores combinaciones entre polímeros, así:

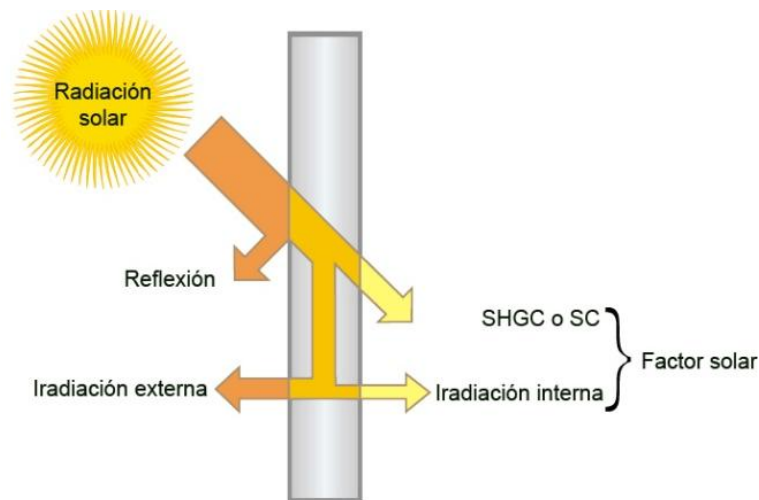
- PVC (Ref. FilmTex-VipackAtox PVC. Espesor: 160 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3 Espesor: 175 μ m).
- PVC (Ref. FilmTex-Clear Industrial. Espesor: 150 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3. Espesor: 175 μ m).
- PVC (Ref. Cristal Comercial. Espesor: 100 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3. Espesor 125 μ m).
- PVC (Ref. Cristal Comercial). Espesor: 125 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3. Espesor: 175 μ m).
- PVC (Ref. Cristal Comercial). Espesor: 150 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3. Espesor: 175 μ m).
- PE (Ref. LDPE-Plastilene. Espesor: 152 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3. Espesor: 175 μ m).

Aunque los resultados fueron escogidos teniendo en cuenta solamente parámetros térmicos (transmitancia, reflectancia, coeficiente de ganancia solar (SHGC), valor U,

selectividad espectral, factor solar, capacidad de admitir la radiación visible y rechazar el infrarrojo cercano) y en donde los mejores resultados se obtuvieron en los paneles de 6+6mm como ya se había mencionado, es importante destacar los resultados obtenidos en los paneles de 4+4mm, los cuales aunque térmicamente fueron inferiores a los resultados obtenidos en los paneles de 6+6mm, técnicamente y económicamente podrían convertirse en la opción más viable en el mercado.

Es importante destacar que dentro del Software Design Builder, el SHGC se define como la “transmisión solar total” e incluye la radiación solar transmitida y el flujo de calor hacia el interior derivado de la radiación solar absorbida por el vidrio. Teniendo en cuenta lo anterior, cuando se hable de SHGC se estará hablando básicamente del factor solar (Ver Figura 35).

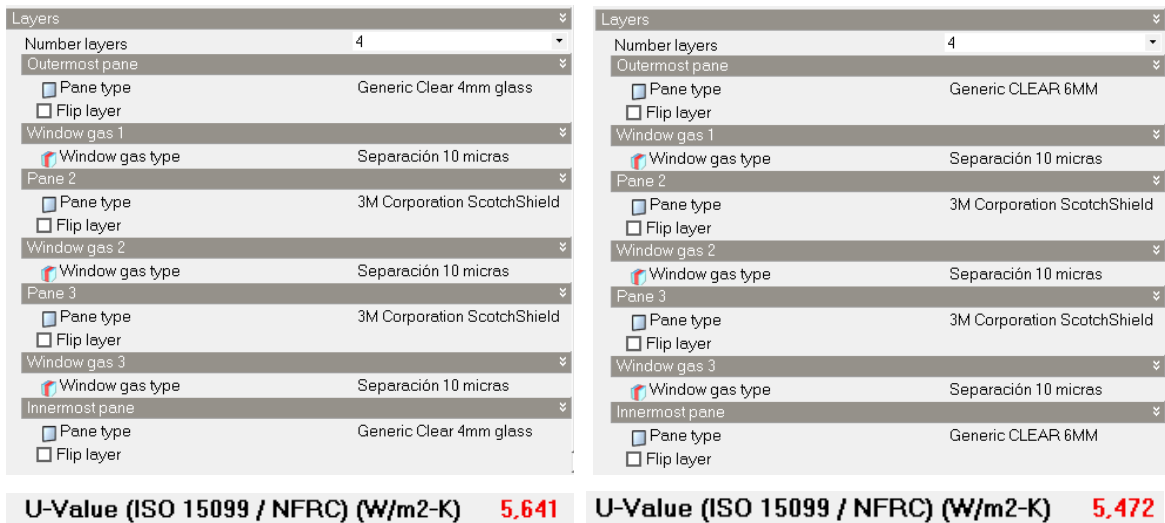
Figura 35. Transmisión solar total a través del vidrio. Fuente: Elaboración propia



El Valor U fue obtenido del software mediante la combinación de dos láminas de vidrio claro “genéricas” (6+6 y 4+4 (mm)) y la inclusión de dos películas poliméricas con espesores similares a las utilizadas en la investigación. La distancia de separación entre cada una de las capas se estableció en $10\mu\text{m}$ (valor mínimo permitido por el software). Teniendo en cuenta lo anterior se definió un valor U constante para los paneles de 6+6mm y otro para los paneles de 4+4mm, esto debido a que después de haber ensayado varios materiales en medio de las láminas de vidrio con espesores similares a los utilizados durante la investigación, no se pudo evidenciar una diferencia significativa entre los valores resultantes, por esta razón se puede concluir que el espesor y las

características del vidrio son los que tienen una mayor influencia en la definición del valor U (Ver Figura 36).

Figura 36. Cálculo del valor U panel de 4+4mm (izquierda) y panel de 6+6mm (derecha). Fuente: Elaboración propia software Design Builder



A continuación se realiza un análisis comparativo entre los tipos de vidrio pre-existentes en cada edificio y los resultados obtenidos en la investigación del profesor Pérez Marín, esto bajo los parámetros de medición exigidos por el Software Design Builder (Ver Tabla 36).

Tabla 36. Análisis comparativo entre vidrios pre-existentes y los nuevos materiales obtenidos en la investigación. Fuente: Elaboración propia basado en catálogo de vidrios (PELDAR S.A., s.f.) y resultados investigación profesor Pérez Marín.

Parámetros de medición	Vidrios pre-existentes edificios			Nuevos materiales											
	IGAC (Vidrio claro)	FENIX (Vidrio bronce antisol)	FONADE - DNP (Vidrio bronce antisol)	ATOX 160+FP3 175		ClearInd 150+FP3 175		Cristal Ccial 100 + FP3 125		Cristal Ccial 125 + FP3 175		Cristal Ccial 150 + FP3 175		LDPE Plastilene + FP3 175	
Espesor (mm)	5	5	5	6+6	4+4	6+6	4+4	6+6	4+4	6+6	4+4	6+6	4+4	6+6	4+4
Coefficiente de ganancia solar (SHGC – Solar Heat Gain Coefficient)	0,920	0,640	0,640	0,320	0,395	0,310	0,390	0,330	0,415	0,320	0,480	0,320	0,425	0,290	0,360
Transmitancia visible o transmisión de la luz día	0,892	0,580	0,580	0,605	0,620	0,600	0,610	0,625	0,640	0,590	0,620	0,590	0,655	0,480	0,500
Valor – U (ISO 15099/NFRC) (W/m ² -K)	5,816	3,497	3,497	5,472	5,641	5,472	5,641	5,472	5,641	5,472	5,641	5,472	5,641	5,472	5,641

Como se puede observar, dentro de los distintos tipos de vidrio comparados, el que peores características tiene es el vidrio plano claro de 5mm utilizado en el edificio IGAC,

esto debido a que aunque posee una buena transmitancia del rango visible (0,892), la transmisión solar total de energía es del 0,92, lo que como se pudo observar genera grandes problemas térmicos en el interior.

En cuanto al vidrio bronce antisol utilizado en los edificios FENIX y FONADE – DNP, se puede observar que aunque no tiene una buena transmitancia del rango visible con un valor de 0,58 y que visualmente este tipo de vidrio es oscuro, este material posee un buen coeficiente de sombra (SC) el cual según el catálogo consultado (PELDAR S.A., s.f.) es de 0.76; sin embargo la composición del material origina un mayor porcentaje de irradiación hacia el interior del espacio lo que ocasiona que la transmisión solar total de energía sea de 0,64, que aunque mejora las especificaciones del vidrio claro, también puede generar problemas térmicos en el interior.

En cuanto a los resultados obtenidos en la investigación realizada por el profesor Pérez Marín, los 12 paneles escogidos (6 de 6+6mm y 6 de 4+4mm) presentan mejores características que los vidrios pre-existentes, la transmisión solar total de energía (SHGC) se encuentra dentro de un rango entre 0,29 y 0,33 para los paneles de 6+6mm y entre 0,36 y 0,48 para los paneles de 4+4mm, siendo el blend “LDPE Plastilene + FP3 175” el que posee las mejores características térmicas para ambos casos.

Es importante destacar que de acuerdo a los resultados obtenidos, entre menor sea el valor de transmisión solar total de energía, menor será el valor de la transmitancia de la luz visible el cual se encuentra dentro de un rango entre 0,48 y 0,625 para los paneles de 6+6mm y entre 0,5 y 0,655 para los paneles de 4+4mm. Dentro de estos rangos se podría ubicar el valor de la transmitancia de la luz visible del vidrio bronce antisol (0,58).

5.2.2 Ganancias solares internas tras la aplicación de los nuevos materiales

Después de haber definido los parámetros de evaluación requeridos por el software, se procede a realizar la simulación de cada uno de los espacios objeto de estudio aplicando los resultados obtenidos en la investigación del profesor Pérez Marín. De esta manera se realiza un análisis comparativo entre las ganancias solares internas que se obtuvieron en el modelo virtual punto de referencia SP (Ver Tabla 35) y los resultados de las simulaciones realizadas en cada uno de los espacios objeto de estudio con cada uno de los nuevos materiales obtenidos SP (Ver Tabla 37).

Tabla 37. Ganancias solares internas tras aplicación de los nuevos materiales obtenidos.
Fuente: Elaboración propia

		Und	IGAC			FENIX		FONADE - DNP			
			Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental
			M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1
Punto de referencia (SP)		kWh	34,818	6,960	62,513	2,148	1,979	18,209	10,811	3,728	9,885
PANELES DE 6+6mm (SP)	ATOX 160+FP3 175	kWh	6,08	1,21	10,91	0,63	0,58	5,33	3,18	1,10	2,91
	ClearInd 150+FP3 175	kWh	5,78	1,16	10,38	0,60	0,56	5,07	3,02	1,04	2,77
	Cristal Ccial 100 + FP3 125	kWh	6,38	1,28	11,45	0,66	0,61	5,59	3,33	1,15	3,05
	Cristal Ccial 125 + FP3 175	kWh	6,08	1,21	10,91	0,63	0,58	5,33	3,18	1,10	2,91
	Cristal Ccial 150 + FP3 175	kWh	6,08	1,21	10,91	0,63	0,58	5,33	3,18	1,10	2,91
	LDPE Plastilene + FP3 175	kWh	5,21	1,04	9,35	0,54	0,50	4,56	2,72	0,94	2,49
PANELES DE 4+4mm (SP)	ATOX 160+FP3 175	kWh	8,50	1,70	15,27	0,89	0,82	7,45	4,44	1,53	4,06
	ClearInd 150+FP3 175	kWh	8,33	1,67	14,96	0,87	0,80	7,30	4,35	1,50	3,98
	Cristal Ccial 100 + FP3 125	kWh	9,21	1,84	16,54	0,96	0,88	8,07	4,81	1,66	4,40
	Cristal Ccial 125 + FP3 175	kWh	11,72	2,34	21,05	1,22	1,12	10,27	6,12	2,11	5,60
	Cristal Ccial 150 + FP3 175	kWh	9,58	1,91	17,20	1,00	0,92	8,39	5,00	1,73	4,58
	LDPE Plastilene + FP3 175	kWh	7,33	1,46	13,15	0,76	0,70	6,42	3,83	1,32	3,50

Los resultados de las simulaciones realizadas se presentan en el Anexo K.

Como se puede observar, todos los “nuevos materiales” evaluados poseen mejores características térmicas que los tipos de vidrios pre-existentes. Como se había mencionado anteriormente, el material que posee las mejores características térmicas es el “LDPE Plastilene + FP3 175”, y los mejores resultados se lograron en los paneles de 6+6mm. Las ganancias solares resultantes de la simulación realizada con éste blend en paneles de 6+6mm constituyen solamente el 15% de las ganancias solares del punto de referencia (SP) para el edificio IGAC y el 25% para los edificios FENIX y FONADE - DNP. Las ganancias solares con éste blend en paneles de 4+4mm constituyen el 21% de las ganancias solares del punto de referencia (SP) para el edificio IGAC y el 35% para los edificios FENIX y FONADE – DNP.

Los blends que generaron las mayores ganancias solares en el interior fueron el “Cristal Ccial 100 + FP3 125” para los paneles de 6+6mm, las cuales fueron del 18% de las ganancias solares del punto de referencia (SP) para el edificio IGAC y del 31% para los edificios FENIX y FONADE - DNP; y el “Cristal Ccial 125 + FP3 175” para los paneles de 4+4mm, las cuales fueron del 34% de las ganancias solares del punto de referencia (SP) para el edificio IGAC y del 56% – 57% para los edificios FENIX y FONADE – DNP.

La diferencia entre los resultados obtenidos para los paneles de 6+6mm y 4+4mm aplicando el blend “LDPE Plastilene + FP3 175” no es significativa, pues fue tan solo del 6% para el edificio IGAC y del 10% para los edificios FENIX y FONADE – DNP. Teniendo

en cuenta lo anterior, se podría pensar inicialmente que la aplicación de éste tipo de blend se podría realizar en medio de láminas de vidrio de 6+6mm y 4+4mm obteniendo buenos resultados en ambos casos.

La diferencia entre el “mejor” y el “peor” nuevo material evaluado en paneles de 6+6mm tampoco fue significativa, pues fue tan solo del 3% para el edificio IGAC y del 6% para los edificios FENIX y FONADE – DNP. De esta manera también se podría pensar que utilizando el blend “Cristal Ccial 100 + FP3 125” caracterizado térmicamente como el “peor” entre los blends evaluados se podrían lograr buenos resultados, generando además un mayor aprovechamiento de la iluminación natural ya que éste tipo de blend posee un mayor porcentaje de trasmittancia de la luz visible al interior. En cuanto a los paneles de 4+4mm las diferencias encontradas entre el “mejor” y el “peor” resultado tienden a ser más significativas pues fueron del 13% para el edificio IGAC y del 22% – 23% para los edificios FENIX y FONADE – DNP.

Teniendo en cuenta éste análisis, se procede a escoger solamente 4 de los nuevos materiales evaluados. Estos 4 paneles poseen los valores “extremos” de los resultados obtenidos, es decir por un lado tienen los mayores y menores espesores de láminas de vidrio utilizadas (6+6mm y 4+4mm), y en función de éste parámetro además de las características de cada uno de los blends, los “mejores” y los “peores” resultados térmicos obtenidos:

- PE (Ref. LDPE-Plastilene. Espesor: 152 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3. Espesor: 175 μ m). Vidrio: 6+6mm
- PVC (Ref. Cristal Comercial. Espesor: 100 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3. Espesor: 125 μ m). Vidrio: 6+6mm
- PE (Ref. LDPE-Plastilene. Espesor: 152 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3. Espesor: 175 μ m). Vidrio: 4+4mm
- PVC (Ref. Cristal Comercial). Espesor: 125 μ m) + PET (Ref. PetFilm FP3. Espesor: 175 μ m). Vidrio: 4+4mm

5.2.3 Comparación de los parámetros de confort obtenidos tras la aplicación de los nuevos materiales

Con el fin de comprobar si las diferencias encontradas entre los resultados obtenidos son o no significativas tal y como se manifestó anteriormente, se procede a comparar los

parámetros de confort obtenidos tras la aplicación de los nuevos materiales escogidos. Para esto se toman nuevamente las condiciones extremas de cada espacio objeto de estudio, es decir la hora en la cual se registró la temperatura máxima absoluta durante la simulación (Ver Tabla 38). Los resultados de las simulaciones realizadas se presentan en el Anexo L.

Tabla 38. Parámetros de confort obtenidos tras la aplicación de los nuevos materiales.
Fuente: Elaboración propia basado en datos de Design Builder

		IGAC			FENIX		FONADE - DNP					
		Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental		
		M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1		
		Und.	4:00pm	4:00pm	11:00am	4:00pm	4:00pm	4:00pm	4:00pm	1:00pm		
PANELES DE 6+6mm	LDPE Plastilene + FP3 175	Temperatura del aire	°C	25,64	27,18	27,03	24,91	25,47	26,07	25,60	25,32	24,58
		Temperatura radiante	°C	26,06	25,46	25,74	22,88	23,29	24,60	23,98	23,55	24,09
		Temperatura operativa	°C	25,85	26,32	26,39	23,90	24,38	25,33	24,79	24,43	24,33
		Humedad relativa	%	48,22	51,97	45,76	58,15	53,19	46,42	53,96	55,72	59,03
	Cristal Ccial 100 + FP3 125	Temperatura del aire	°C	25,79	27,49	27,22	25,03	25,58	26,22	25,87	25,50	24,96
		Temperatura radiante	°C	26,43	25,81	26,04	23,04	23,45	24,92	24,22	23,79	24,41
		Temperatura operativa	°C	26,11	26,65	26,63	24,03	24,52	25,57	25,04	24,65	24,68
		Humedad relativa	%	47,67	51,16	45,1	56,51	51,39	45,50	51,52	52,61	55,74
PANELES DE 4+4mm	LDPE Plastilene + FP3 175	Temperatura del aire	°C	25,95	27,69	27,42	25,06	25,64	26,57	25,85	25,63	25,09
		Temperatura radiante	°C	26,69	26,06	26,22	23,07	23,51	25,10	24,33	23,88	24,58
		Temperatura operativa	°C	26,32	26,87	26,82	24,07	24,57	25,84	25,09	24,75	24,84
		Humedad relativa	%	47,36	49,11	44,78	56,72	50,98	44,73	52,20	53,30	55,80
	Cristal Ccial 125 + FP3 175	Temperatura del aire	°C	26,38	28,66	27,91	24,90	26,06	26,82	26,45	26,24	25,68
		Temperatura radiante	°C	27,91	27,21	27,23	23,28	24,07	26,00	25,11	24,65	25,58
		Temperatura operativa	°C	27,15	27,93	27,57	24,09	25,07	26,41	25,78	25,45	25,63
		Humedad relativa	%	45,85	46,1	43,06	49,74	48,90	43,55	49,10	49,74	52,04

Como se puede observar, la diferencia entre los resultados obtenidos para los paneles de 6+6mm y 4+4mm aplicando el blend “LDPE Plastilene + FP3 175” continúa sin ser significativa, las diferencias encontradas en la temperatura operativa se encuentran en un rango entre los 0,17°C y 0,55°C.

La diferencia entre el “mejor” y el “peor” resultado en paneles de 6+6mm tampoco fue significativa, las diferencias encontradas entre las temperaturas operativas se encuentran entre los 0,13°C y los 0,35°C. En cuanto a los paneles de 4+4mm las diferencias entre las temperaturas operativas del “mejor” y el “peor” resultado tienden a ser más grandes, pues aunque existen diferencias muy bajas de 0,02°C, se pueden presentar diferencias de temperatura hasta de 1,06°C.

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a aplicar los modelos de confort para cada uno de los materiales evaluados, esto con el fin de verificar si las diferencias entre las temperaturas obtenidas influyen de manera significativa en la sensación térmica de los ocupantes.

5.2.4 Comparación de los niveles de confort entre los nuevos materiales evaluados

Con el fin de evaluar la efectividad de los polímeros de protección solar estudiados y verificar si las diferencias encontradas entre los resultados de los nuevos materiales influyen de manera significativa en la sensación de confort de los usuarios, se procede a aplicar los modelos de confort mencionados para cada uno de los paneles. Cabe destacar que aunque la efectividad de los nuevos materiales, es decir el grado de mejoramiento de los niveles de confort en el interior de los espacios se puede medir con ambos modelos, solamente el modelo de confort estático (PMV - PPD) brinda la posibilidad de medir con una mayor precisión las diferencias existentes entre los paneles evaluados, esto debido a que permite la utilización de un mayor número de parámetros de medición y por otro lado posee un mayor número de puntos de cuantificación de los niveles de confort que el modelo adaptativo, ya que éste último solamente define dos rangos de aceptabilidad, uno del 90% y otro del 80%.

Para la aplicación de los modelos de confort, nuevamente se toman las condiciones extremas de cada espacio objeto de estudio, es decir la hora en la cual se registró la temperatura máxima absoluta durante la simulación y de la cual se obtuvieron los parámetros de confort requeridos (Ver Tabla 38).

Modelo de confort estático (PMV – PPD)

Se procede a ingresar los parámetros de confort obtenidos tras la aplicación de los nuevos materiales (Ver Tabla 38) en el software Comfort calculator ISO7730-1993 (Healthy Heating, s.f.). Cabe recordar que los parámetros utilizados en el presente capítulo (Numeral 5.1.1_ Niveles de confort punto de referencia) como la velocidad de aire, la tasa metabólica y el nivel de vestimenta se mantienen.

Se procede entonces a aplicar éste modelo de confort para cada uno de los espacios objeto de estudio y para cada uno de los nuevos materiales evaluados (Ver Tabla 39).

Cabe recordar que los estándares de confort establecidos por este modelo se encuentran en un voto medio progresivo (PMV) entre el -0,5 y 0,5, mientras que el porcentaje de personas insatisfechas (PPD) debería ser menor al 10%.

Tabla 39. Aplicación del modelo de confort estático (PMV – PPD) para los nuevos materiales evaluados. Fuente: Elaboración propia basado en Comfort calculator ISO7730-1993

			IGAC			FENIX		FONADE - DNP			
			Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental
			M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1
PANELES DE 6+6mm	LDPE Plastilene + FP3 175	Voto medio progresivo (PMV)	1,3	1,5	1,5	1,1	1,2	1,3	1,2	1,2	1,1
		Porcentaje de personas insatisfechas (PPD)	40,30 %	50,90%	50,90%	30,50%	35,20%	40,3%	35,20%	35,20%	30,50%
	Cristal Ccial 100 + FP3 125	Voto medio progresivo (PMV)	1,4	1,6	1,5	1,1	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2
		Porcentaje de personas insatisfechas (PPD)	45,50 %	56,30%	50,90%	30,50%	35,2%	40,3%	40,30%	35,20%	35,20%
PANELES DE 4+4mm	LDPE Plastilene + FP3 175	Voto medio progresivo (PMV)	1,4	1,6	1,5	1,1	1,2	1,4	1,3	1,2	1,2
		Porcentaje de personas insatisfechas (PPD)	45,50 %	56,30%	50,90%	30,50%	35,2%	45,5%	40,30%	35,20%	35,20%
	Cristal Ccial 125 + FP3 175	Voto medio progresivo (PMV)	1,5	1,8	1,6	1,1	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3
		Porcentaje de personas insatisfechas (PPD)	50,90 %	67,00%	56,30%	30,50%	40,30%	45,5%	45,50%	40,30%	40,30%

Como se puede observar, aunque los espacios continúan sin cumplir con los estándares de confort establecidos por el modelo estático (PPD= 10%), la diferencia entre los resultados obtenidos para los paneles de 6+6mm y 4+4mm aplicando el blend “LDPE Plastilene + FP3 175” continúa siendo insignificante, las diferencias entre los porcentajes de personas insatisfechas se encuentra entre un 0% y un 5,40%, porcentaje que podría reducirse mejorando los sistemas pasivos empleados en los edificios.

La diferencia entre el “mejor” y el “peor” resultado en paneles de 6+6mm tampoco fue significativa, pues las diferencias entre los porcentajes de personas insatisfechas se encuentran también entre un 0% y un 5,40%, mientras que en los paneles de 4+4mm las diferencias entre los porcentajes de personas insatisfechas tienden a ser más significativas pues se encuentran entre un 0% y un 10,70%.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede concluir que la diferencia entre los resultados obtenidos para los paneles de 6+6mm y 4+4mm aplicando el blend “LDPE Plastilene + FP3 175”, al no ser significativa, permite que la utilización de paneles de 4+4mm sea viable. De igual forma la diferencia entre el “mejor” y el “peor” nuevo material evaluado en

Como se puede observar en ninguno de los casos se logró cumplir con la temperatura óptima de confort. En el edificio IGAC ninguno de los resultados logró ingresar a los rangos de confort establecidos.

En el edificio FENIX los espacios B y D ingresaron a los rangos de aceptabilidad del 90% con excepción del panel de 4+4mm con el blend “Cristal Ccial 125 + FP3 175” el cual se ubicó en un rango de aceptabilidad del 80%. En el espacio J en el edificio FENIX, los resultados se ubicaron en el rango de aceptabilidad del 80% con la utilización de paneles de 6+6mm, mientras que los paneles de 4+4mm quedaron por fuera de los rangos de confort establecidos.

En cuanto al edificio FONADE – DNP, el espacio B ingresó al rango de aceptabilidad del 80% con excepción del panel de 6+6mm con el blend “LDPE Plastilene + FP3 175” el cual pudo ingresar al rango de aceptabilidad del 90%, contrario a esto el espacio J ingresó al rango de aceptabilidad del 90% en todos los casos con excepción del panel de 4+4mm con el blend “Cristal Ccial 125 + FP3 175” el cual se ubicó dentro del rango de aceptabilidad del 80%. El espacio P se ubicó dentro del rango de aceptabilidad del 90% para los paneles de 6+6mm y dentro del rango de aceptabilidad del 80% para los paneles de 4+4mm.

5.3 Punto de referencia (CP) – Aplicación del nuevo material: Panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175”

Como se pudo observar en los análisis anteriores, aunque se lograron notables mejoras tras la aplicación de los nuevos materiales en los espacios objeto de estudio; dentro del modelo de confort estático, los porcentajes de personas insatisfechas continúan siendo altos y no cumplen con los mínimos establecidos (PPD= 10%). En cuanto al modelo de confort adaptativo, aunque muchos de los espacios evaluados lograron ingresar a los rangos de confort establecidos con excepción del edificio IGAC, los resultados deben acercarse más a la temperatura óptima de confort. Teniendo en cuenta lo anterior se escoge el “mejor” resultado obtenido que corresponde al panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” con el fin de aplicar sus características dentro del punto de referencia inicial con persianas (CP), esto con el fin de determinar si tras la aplicación de éste nuevo material como un sistema pasivo complementario al “estado actual” de los

espacios objeto de estudio, se pueden lograr unas condiciones de confort óptimas en el interior de manera natural.

5.3.1 Comparación de los parámetros de confort entre el punto de referencia (CP) y el nuevo material: panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (CP)

Con el fin de conocer el nivel de mejoramiento de las condiciones internas del estado actual de los espacios objeto de estudio, se procede a realizar un análisis comparativo entre los parámetros de confort del punto de referencia (CP) obtenidos en el presente capítulo (Numeral 5.1.1_ Niveles de confort punto de referencia) (Ver Tabla 31) y los parámetros de confort resultantes de la aplicación del panel de 6+6mm con el blend “LDPE Plastilene + FP3 175” al modelo virtual punto de referencia (CP). Para esto se toman nuevamente las condiciones extremas de cada espacio objeto de estudio, es decir la hora en la cual se registró la temperatura máxima absoluta durante la simulación (Ver Tabla 38).

Los resultados de la simulación realizada al modelo virtual (CP) tras aplicar las características del mejor nuevo material mencionado se presentan en el Anexo M.

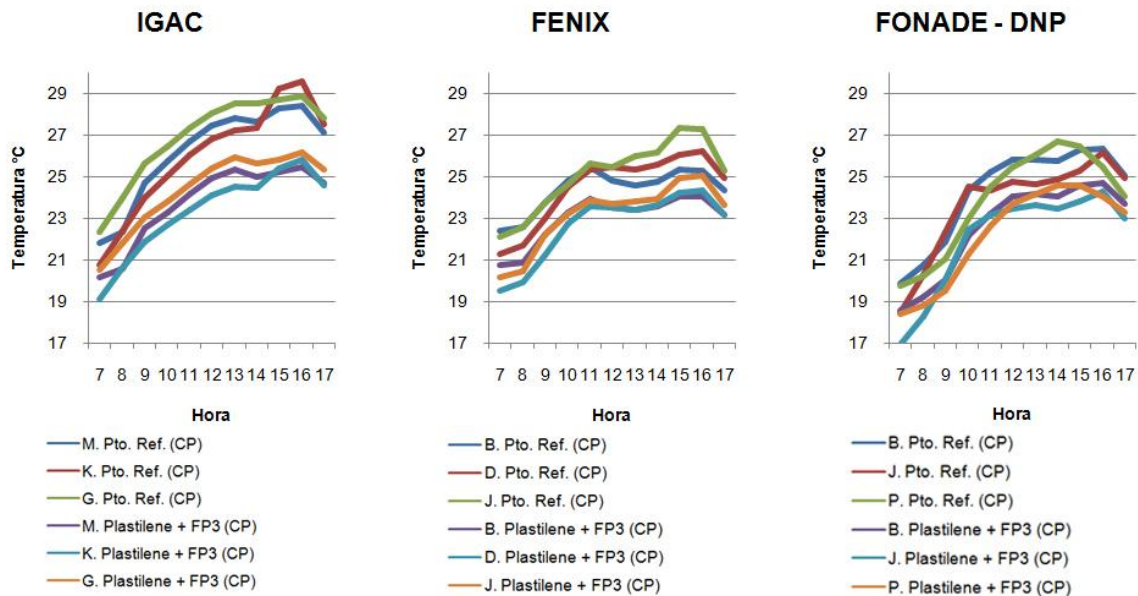
Tabla 41. Análisis comparativo entre parámetros de confort del punto de referencia con persianas (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175”. Fuente: Elaboración propia basado en datos de Design Builder

		IGAC			FENIX			FONADE - DNP			
		Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental	
		M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1	
		Und	4:00pm	4:00pm	4:00pm	11:00am	4:00pm	3:00pm	4:00pm	4:00pm	2:00pm
Punto de referencia (CP)	Temperatura del aire	°C	27,98	30,62	29,37	26,32	27,09	28,09	26,99	26,81	26,96
	Temperatura radiante	°C	28,79	28,55	28,42	24,61	25,32	26,55	25,66	25,49	26,45
	Temperatura operativa	°C	28,38	29,59	28,89	25,46	26,21	27,32	26,32	26,15	26,71
	Humedad relativa	%	42,2	44,85	40,22	51,92	44,97	39,00	46,54	46,88	45,45
			4:00pm	4:00pm	4:00pm	4:00pm	4:00pm	3:00pm	4:00pm	4:00pm	3:00pm
LDPE Plastilene + FP3 175. Panel de 6+6mm (CP)	Temperatura del aire	°C	25,68	26,86	26,94	24,60	25,46	26,03	25,51	25,08	25,06
	Temperatura radiante	°C	25,21	24,77	25,34	23,47	23,29	23,88	23,87	23,49	24,10
	Temperatura operativa	°C	25,44	25,82	26,14	24,03	24,37	24,95	24,69	24,29	24,58
	Humedad relativa	%	47,84	51,09	45,7	47,68	52,64	44,57	53,95	55,48	54,88

Como se puede observar, tras la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” se presentan mejoras significativas en las temperaturas operativas de los espacios

objeto de estudio. Estas mejoras se encuentran entre los 1,43°C y los 3,77°C. A continuación se presenta un análisis gráfico comparativo entre las temperaturas operativas registradas durante el transcurso del día en el punto de referencia (CP) y las registradas en el modelo virtual aplicando el panel ya mencionado (Ver Figura 37).

Figura 37. Análisis gráfico comparativo entre temperaturas operativas punto de referencia (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175”. Fuente: Elaboración propia.



Como se puede observar, aunque es evidente la disminución de la temperatura en todos los espacios, las diferencias más marcadas se presentan en el edificio IGAC, el cual al contar con un vidrio claro de 5mm pre-existente que admite grandes ganancias solares, tiende a disminuir en mayor medida sus temperaturas al interior tras la aplicación del nuevo material evaluado.

Con el fin de comprobar si las mejoras identificadas influyen de manera significativa en la sensación térmica de los ocupantes se procede a aplicar los modelos de confort.

5.3.2 Comparación entre los niveles de confort entre el punto de referencia (CP) y el nuevo material: panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (CP)

Como se mencionó anteriormente, con el fin de evaluar la efectividad del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” aplicado al estado actual de los espacios objeto de

estudio (CP), y comprobar además si las mejoras identificadas entre los parámetros de confort obtenidos en la Tabla 41 influyen de manera significativa en la sensación térmica de los usuarios, se procede a aplicar los modelos de confort mencionados a los resultados obtenidos tras la aplicación de éste nuevo material y se realiza un análisis comparativo entre los niveles de confort actuales en los espacios objeto de estudio (CP) y los niveles de confort resultantes tras la aplicación del nuevo material mencionado (CP).

Para la aplicación de los modelos de confort, nuevamente se toman las condiciones extremas de cada espacio objeto de estudio, es decir la hora en la cual se registró la temperatura máxima absoluta durante la simulación y de la cual se obtuvieron los parámetros de confort requeridos (Ver Tabla 41).

Modelo de confort estático (PMV – PPD)

Se procede a ingresar los parámetros de confort obtenidos tras la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (Ver Tabla 41) en el software Comfort calculator ISO7730-1993 (Healthy Heating, s.f.). Nuevamente se recuerda que los demás parámetros de confort utilizados en el Numeral 5.1.1_ Niveles de confort punto de referencia como la velocidad de aire, la tasa metabólica y el nivel de vestimenta se mantienen.

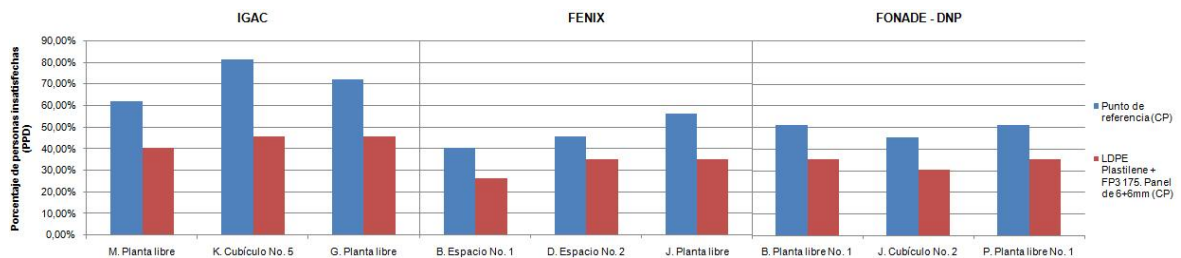
Cabe recordar que para que el espacio cumpla con los estándares de confort establecidos por este modelo, el voto medio progresivo (PMV) debería encontrarse entre el -0,5 y 0,5, mientras que el porcentaje de personas insatisfechas (PPD) debería ser menor al 10% (Ver Tabla 42).

Tabla 42. Análisis comparativo entre los niveles de confort estático (PMV - PPD) del punto de referencia con persianas (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (CP). Fuente: Elaboración propia basado en Comfort calculator ISO7730-1993

		IGAC			FENIX			FONADE - DNP		
		Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental
		M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1
Punto de referencia (CP)	Voto medio progresivo (PMV)	1,7	2,1	1,79	1,3	1,4	1,6	1,5	1,4	1,5
	Porcentaje de personas insatisfechas (PPD)	61,80%	81,10%	72,10%	40,30%	45,50%	56,3%	50,90%	45,50%	50,9%
	Sensación térmica	Llegando a sensación térmica de bastante calor.	Sensación térmica de bastante calor.	Llegando a sensación térmica de bastante calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Llegando a sensación térmica de bastante calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Llegando a sensación térmica de bastante calor.
LDPE Plastilene + FP3 175. Panel de 6+6mm (CP)	Voto medio progresivo (PMV)	1,3	1,4	1,4	1	1,2	1,2	1,2	1,1	1,2
	Porcentaje de personas insatisfechas (PPD)	40,30%	45,50%	45,50%	26,10%	35,2%	35,2%	35,2%	30,50%	35,20%
	Sensación térmica	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.	Sensación térmica de algo de calor.

Como complemento de la Tabla 42 se presenta un análisis gráfico comparativo en donde se puede evidenciar de una manera más clara el nivel de mejoramiento de los niveles de confort en el interior de los espacios (Ver Figura 38).

Figura 38. Análisis gráfico comparativo entre los niveles de confort estático (PMV - PPD) del punto de referencia con persianas (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (CP). Fuente: Elaboración propia basado en Tabla 42.



Como se puede observar en la Tabla 42, los espacios continúan sin cumplir con los estándares de confort establecidos por el modelo estático (PPD= 10%), los porcentajes de personas insatisfechas se encuentran entre el 26,10% y el 45,50%. A pesar de esto es importante destacar las mejoras que se obtuvieron en la sensación térmica de los ocupantes (Ver Figura 38), esto debido a que los porcentajes de personas insatisfechas

(PPD) disminuyeron de manera notable entre el 10,3% y el 21,10% para los edificios FENIX y FONADE – DNP y entre el 21,50% y el 35,60% para el edificio IGAC.

Modelo de confort adaptativo

Como se había mencionado anteriormente en el presente capítulo (Numeral 5.1.1_ Niveles de confort punto de referencia), la temperatura de confort óptima para Bogotá se estableció en 22,29°C, para un grado de aceptabilidad del 90% se estableció un rango entre los 19,79°C y los 24,79°C; y para un grado de aceptabilidad del 80% se estableció un rango entre los 18,79°C y los 25,79°C.

A continuación se procede a ubicar las temperaturas operativas obtenidas en la Tabla 41 dentro de los rangos de confort establecidos por el modelo adaptativo (Ver Tabla 43).

Tabla 43. Análisis comparativo entre los niveles de confort adaptativo del punto de referencia con persianas (CP) y la aplicación del panel de 6+6mm “LDPE Plastilene + FP3 175” (CP). Fuente: Elaboración propia

		Temperatura en °C	IGAC			FENIX			FONADE - DNP		
			Costado occidental		Costado oriental	Costado suroriental		Costado noroccidental	Costado norte	Costado oriental	Costado occidental
			M. Planta libre	K. Cubículo No. 5	G. Planta libre	B. Espacio No. 1	D. Espacio No. 2	J. Planta libre	B. Planta libre No. 1	J. Cubículo No. 2	P. Planta libre No. 1
Punto de referencia (CP)	Fuera del límite de aceptabilidad	>25,79	28,38	29,59	28,89		26,21	27,32	26,32	26,15	26,71
	Límite 80% aceptabilidad	25,79				25,46					
	Límite 90% aceptabilidad	24,79									
	Temperatura de confort	22,9									
LDPE Plastilene + FP3 175. Panel de 6+6mm (CP)	Fuera del límite de aceptabilidad	>25,79		25,82	26,14						
	Límite 80% aceptabilidad	25,79	25,44					24,95			
	Límite 90% aceptabilidad	24,79				24,03	24,37		24,69	24,29	24,58
	Temperatura de confort	22,9									

Como se puede observar, a pesar de las mejoras obtenidas en las condiciones de confort en el interior, los resultados obtenidos no lograron llegar a la temperatura óptima de confort. Sin embargo la mayoría de los espacios lograron ingresar al rango de aceptabilidad del 90% con excepción del espacio M del edificio IGAC y el J del edificio FENIX los cuales quedaron dentro del rango de aceptabilidad del 80%. Los espacios K y G del edificio IGAC quedaron por fuera de los rangos de confort establecidos por el modelo adaptativo.

6. Conclusiones y recomendaciones

Después de conocer los resultados de la presente investigación, se procede a dar respuesta a los objetivos planteados en la formulación del presente trabajo y se presentan alternativas para complementar y mejorar las características logradas por los espacios tras la aplicación de los polímeros de protección solar. Finalmente se presenta una serie de consideraciones que deberían tener presente a futuro para fortalecer la investigación realizada.

6.1 Conclusiones

En cuanto a la evaluación del comportamiento térmico de la combinación de diferentes tipos de polímeros aplicados al vidrio, se puede concluir que el nuevo material “panel de 6+6mm LDPE Plastilene + FP3 175” obtuvo los mejores resultados en cuanto a la reducción de las ganancias solares internas en el interior del espacio. Sin embargo se pudo observar también que éste blend puede generar buenos resultados al aplicarse en medio de láminas de vidrio de 4+4mm las cuales pueden ser técnica y económicamente más atractivas. Dentro del análisis se pudo observar también que el nuevo material “panel de 6+6mm Cristal Ccial 100 + FP3 125” el cual fue calificado como el “peor” térmicamente entre los paneles de 6+6mm evaluados, puede generar buenos resultados ya que la diferencia respecto al “mejor” resultado no fue significativa y no incidió de manera importante en los niveles de confort del espacio, aspecto que no se logró en el nuevo material “panel de 4+4mm Cristal Ccial 125 + FP3 175”. La importancia de los dos últimos materiales radica en que pueden generar un mayor aprovechamiento de la iluminación natural pues poseen valores más altos de transmisión del rango visible.

Con respecto al porcentaje de reducción de las ganancias generadas por la radiación solar después de haber aplicado las características de los nuevos materiales en la envolvente acristalada, se puede concluir que éste porcentaje depende del tipo de vidrio

pre-existente en un edificio determinado. Este puede llegar a ser hasta de un 85% si se compara con un vidrio plano claro de 5mm como el encontrado en el edificio IGAC o de un 75% si se compara con un tipo de vidrio bronce antisol de 5mm como el que se encontró en los edificios FENIX y FONADE – DNP.

En cuanto a la efectividad de los polímeros de protección solar como un sistema pasivo complementario, se puede concluir que a pesar de las deficiencias encontradas en el diagnóstico bioclimático realizado en los espacios objeto de estudio tales como la mala orientación de los edificios (eje térmico), el porcentaje de utilización del vidrio y la carencia de dispositivos de control solar eficientes; los polímeros de protección solar evaluados principalmente el nuevo material “panel de 6+6mm LDPE Plastilene + FP3 175” jugaron un papel importante en la reducción de la temperatura en el interior y en el mejoramiento de las condiciones ambientales de los espacios de manera natural. No obstante, la sola utilización de estos nuevos materiales no puede suplir de manera total las deficiencias encontradas y dependería también del mejoramiento de los sistemas pasivos utilizados en el edificio.

Ligada a la conclusión anterior, respecto a la aplicación de los modelos de confort de balance térmico y adaptativo en cada uno de los espacios para determinar si las condiciones térmicas resultantes cumplen o no con los estándares exigidos, se puede concluir que tras la aplicación de los polímeros de protección solar se lograron mejoras importantes en la sensación térmica de los usuarios dentro de los espacios objeto de estudio, principalmente con la aplicación del nuevo material “panel de 6+6mm LDPE Plastilene + FP3 175”. Con éste material se lograron conseguir mejoras en los porcentajes de personas insatisfechas de hasta un 35,60% y se logró ubicar a la mayoría de los espacios evaluados dentro de los rangos de confort establecidos por el modelo de confort adaptativo. No obstante como se mencionó anteriormente, estas mejoras no son suficientes y dependen de la corrección de las deficiencias encontradas en las estrategias bioclimáticas empleadas o que se encuentran ausentes en los espacios objeto de estudio, de acuerdo al diagnóstico bioclimático realizado.

Finalmente, además de las características térmicas de los nuevos materiales estudiados, el presente trabajo va más allá al generar una crítica hacia la manera cómo se conciben nuestros edificios y que depende de diversos factores como las “modas

transitorias”(Fuentes Freixanet V. A., 1998, pág. 101); su uso, su carácter público o privado, que como se pudo observar establece características térmicas propias para cada tipo de edificio principalmente en su índice de ocupación y las consecuencias que de ahí se derivan; su tendencia a ser cada vez más transparentes aportando al consumo innecesario de energía en sistemas de iluminación y climatización artificial, y finalmente la tipología que éstos deben adoptar teniendo en cuenta el planteamiento urbano de nuestras ciudades.

La aplicación de los polímeros compuestos para la protección solar de envolventes acristaladas en Bogotá como un sistema pasivo complementario, puede lograr espacios confortables de manera natural y por ende, energéticamente eficientes; sin embargo, esto no depende únicamente del uso de nuevas tecnologías, “la técnica”, es decir la manera cómo se emplean estos nuevos materiales en la envolvente juega un papel determinante, y en donde todos los componentes y dispositivos de climatización natural presentes en el espacio se deben complementar los unos a los otros para aprovechar al máximo los recursos renovables presentes en el exterior.

6.2 Recomendaciones

Teniendo en cuenta que el presente trabajo se enfocó solamente en evaluar el mejoramiento térmico de los espacios, se recomienda por un lado complementar la presente investigación evaluando las medidas que se deberían tener en cuenta para tener un máximo aprovechamiento de la iluminación natural bajo los criterios de protección contra el deslumbramiento, visibilidad hacia el exterior, re-direccionamiento de la luz directa como luz difusa, homogeneidad en la iluminación, potencial del ahorro en la utilización de la iluminación artificial, la necesidad de seguimiento y control de los nuevos materiales así como también, como sería su aceptación en el mercado; y por el otro se recomienda evaluar el comportamiento acústico de los nuevos materiales, aspecto que no se encuentra ligado directamente a la eficiencia energética pero que influye en el bienestar y salud de las personas en el interior y se encuentra incluido dentro del concepto “sistemas pasivos”.

Bibliografía

Agencia Chilena de Eficiencia Energética - AChEE. (2012). *Guía de Eficiencia Energética para Establecimientos Educativos - GEEEduc*. Santiago: Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción - Universidad del Bío Bío (CITEC UBB).

ASHRAE. (2007). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

ASHRAE. (s.f.). *ASHRAE*. Recuperado el 11 de Mayo de 2016, de ASHRAE, Shaping Tomorrow's Built Environment Today: <https://www.ashrae.org/about-ashrae/espanol-about-ashrae->

Beltrán Rico, M., & Marcilla Gomis, A. (2012). *Tecnología de polímeros, procesado y propiedades*. Valencia: Universidad de Alicante.

Benavides Ballesteros, H. O., & Ayala Poveda, L. (2010). *Análisis descriptivo de variables meteorológicas que influyen en la calidad del aire de los principales centros industriales del país*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible e IDEAM.

Brager, G., & de Dear, R. (2001). Climate, Comfort, & Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55. *Center for Environmental Design Research, Center for the Built Environment. University of California, Berkeley*, 1-18.

Cantarell Lara, J. (1990). *Geometría, Energía Solar y Arquitectura*. Ciudad de México: Trillas.

CORPOEMA & CAMACOL. (27 de Mayo de 2014). *CAMACOL Bogotá & Cundinamarca*. Recuperado el 11 de Mayo de 2016, de Reglamento técnico de construcción sostenible en uso eficiente de agua y energía. Taller Bogotá. Mayo de 2014: <http://www.camacolcundinamarca.co/documentos/actualidad/REGLAMENTO-TECNICO-DE-CONSTRUCCION.pdf>

Cromos. (9 de Abril de 2014). 9 de Abril de 1948, el día que cambió Bogotá. *Cromos*.

Dómina, J. S. (2010). *Las tesinas de Belgrano, Doble envoltente transparente*. Buenos Aires: Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Belgrano.

El espectador. (27 de Enero de 2016). El día más caluroso de 2016 en Bogotá. *El espectador*.

EnergyPlus. (s.f.). *EnergyPlus*. Recuperado el 11 de Mayo de 2016, de Weather Data: <https://energyplus.net/weather>

Eslava R., J. A. (1992). Variación temporal de la humedad relativa del aire en Santafé de Bogotá. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 18 (70): 333-344. ISSN 0370-3908.

Evans, J. M. (s.f.). *Técnicas de diseño bioclimático*. Buenos Aires: Centro de investigación, hábitat y energía, Facultad de arquitectura, diseño y urbanismo. Universidad de Buenos Aires.

Fuentes Freixanet, V. A. (1998). *Arquitectura Bioclimática*. México, D. F: Ed. U. A. M.- A.

Fuentes Freixanet, V., & Rodríguez Viqueira, M. (s.f.). *Ventilación natural en la arquitectura*. México D.F.: Laboratorio de investigaciones en Arquitectura Bioclimática.

Giménez Molina, M. d. (2011). *Alternativas para la mejora de la eficiencia energética de los acristalamientos: Los vidrios dinámicos*. Madrid: Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Godoy Muñoz, A. (2012). *El confort térmico adaptativo, Aplicación en la edificación en España*. Cataluña: Proyecto Final de Mater (PFM), Master en sostenibilidad. Universidad Politécnica de Cataluña.

Healthy Heating. (s.f.). *Healthy Heating*. Recuperado el 11 de Mayo de 2016, de Educational Resource site: <http://www.healthyheating.com/solutions.htm#.VzN0G4R97IV>

Hermida, É. B. (2008). *Módulo materiales poliméricos*. . Centro Nacional de Educación Tecnológica.

IDEAM & FOPAE. (2004). *Estudio de la caracterización Climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelito*. Bogotá D.C.: Convenio Interadministrativo No. 198/2004/01 .

IDEAM, Grupo de Climatología y Agrometeorología, Subdirección de Meteorología. (s.f.). *IDEAM*. Recuperado el 16 de Mayo de 2016, de Clasificaciones climáticas Colombia: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/climas+%5BModo+de+compatibilidad%5D.pdf/d8c85704-a07a-4290-ba65-f2042ce99ff9>

Igualador, F. (2007). La sostenibilidad en la edificación y la protección térmica de la envolvente del edificio. *El instalador: Revista de técnicas ambientales e instalaciones*. Vol. 2007 – 447/dic. , 23-27.

ILCE. (s.f.). *Biblioteca digital del ILCE (Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa)*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2016, de ¿Cómo y con qué se hace el

vidrio?:

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/137/html/sec_4.html

ISO 6946. (1996). *Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method*. INTERNATIONAL STANDARD ISO 6946: 1996 (E).

Kischkoweit - Lopin, M. (2002). An overview of daylighting systems. *Solar Energy Vol. 73, No. 2*, 77-82.

Lawrence Berkeley National Laboratory & U. S Department of Energy . (2013). Glazing Selection. En L. B. Energy, *The integrated approach. Tips for daylighting with Windows* (págs. 35-43). California.

López Carrasquero, F. (2004). *Fundamentos de polímeros*. Mérida: VI Escuela Venezolana para la enseñanza de química.

Mariano. (2011 - 2014). *Tecnología de los Plásticos*. Recuperado el 12 de Mayo de 2016, de Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/p/indice.html>

Ministerio de Cultura, República de Colombia. (Septiembre de 2008). Ciudad y arquitectura moderna en Colombia 1950 – 1970. *Presencia y vigencia del patrimonio moderno*. Colombia.

Monroy, M. M. (2003 - 2006). *Manuales de diseño ICARO de Calidad Ambiental, Manual de la iluminación*. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.

NBE CT-79. (1979). *Normas Básicas de la Edificación - Condiciones térmicas en los edificios*. España: Real Decreto 2.429/79 de 6 de Julio.

Orfanou, K. (25 de Enero de 2014). *Environmental design practice 13/14 - Art 081*. Recuperado el 17 de Mayo de 2016, de Building design and comfort criteria: <http://edplondon.weebly.com/activity/building-design-and-comfort-criteria>

PELDAR S.A. (s.f.). *Vidrio plano para la construcción y la decoración*. Envigado: Peldar.

Rapoport, A. (1972). Los factores socioculturales y la forma de la casa. En A. Rapoport, *Vivienda y cultura* (págs. 65-111). Milwaukee: University of Wisconsin.

RETILAP. (2010). Capítulo 4. Diseños y cálculos de iluminación interior. En R. d. Ministerio de Minas y Energía, *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público - RETILAP*. (págs. 77 - 115). Bogotá D.C.

Sampieri Hernández, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw Hill / Interamericana editores S.A. de C.V.

Semana. (2010). El regreso de un genio incomprendido. *Semana* .

Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Ediciones UPC.

UNEP. (s.f.). *UNEP - United Nations Environment Programme*. Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de Iniciativa para Edificios Sostenibles y Clima (UNEP-SBCI). Promoviendo políticas y prácticas para edificios y construcciones: http://www.unep.org/sbci/pdfs/sbci_2pager_spanish.pdf