

EFICIENCIA TÉRMICA EN SISTEMA DE PROTECCIÓN SOLAR PARA EL CLIMA CÁLIDO HÚMEDO.

CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO SERFINANZAS

**Johan Sebastian Acevedo Niebles
Miguel Ángel Guevara Acuña**

Facultad de Arquitectura, Universidad de la Costa

PhD. María Machado

Barranquilla, 2021

Resumen.

Las edificaciones se han remodelado a la tendencia modernistas de fachadas vidriadas, las cuales están causando discomfort térmico en el interior por lo cual recurren a la implementación de mecanismos de ventilación mecánica para satisfacer el confort térmico en el interior.

En el presente trabajo pretende evaluar la influencia en el comportamiento térmico interior con un diseño de protección solar en un edificio de uso empresarial en la ciudad de Barranquilla, la cual es de tipo descriptivo – experimental, en el cual mediante a la búsqueda de factores a través de manipulación de variables, en simulaciones digitales en donde se integra, organiza y evalúa distintas informaciones teóricas existentes basadas en la problemática ya expuesta, el impacto de radiación de fachadas vidriadas y dar respuesta a los objetivos de estudios por lo tanto se generó una solución de diseño de tipo experimental en la protección solar, la fachada expuesta a la radiación solar se le analizó la incidencia del ángulo solar para que así poder inclinar la protección solar y que interseque la radiación directa disminuyendo la temperatura interior en un delta máximo de 2.6°C, la protección solar es diseñada en la materialidad de acero siendo así comparada con la materialidad de concreto 2.7 veces más ligera aportando menos carga muerta a edificaciones ya construidas.

Palabras clave: discomfort térmico, protección solar, confort, radiación solar.

Abstract.

The buildings have been remodeled to the modernist trend of glazed facades, which are causing thermal discomfort in the interior for which they resort to the implementation of mechanical ventilation mechanisms to satisfy the thermal comfort in the interior.

In the present work, it's intended to evaluate the influence on the interior thermal behavior with a solar protection design in a building for business use in the city of Barranquilla, which is descriptive - experimental, in which by searching for factors to Through the manipulation of variables, in digital simulations where different existing theoretical information is integrated, organized and evaluated based on the problems already exposed, the impact of radiation from glazed facades and responding to the study objectives, therefore, a solution was generated experimental type design in solar protection, the façade exposed to solar radiation was analyzed for the incidence of the solar angle so that the solar protection could be tilted so that the direct radiation intersects, reducing the interior temperature in a maximum delta of 2.6 ° C, the solar protection is designed in the materiality of steel being thus compared with the materiality of concrete. to 2.7 times lighter providing less dead load to buildings already built.

Keywords: thermal discomfort, solar protection, comfort, solar radiation

TABLA DE CONTENIDO

<i>Introducción</i>	9
<i>Objetivos</i>	12
<i>Objetivo General</i>	12
<i>Objetivos Específicos</i>	12
<i>Marco Teórico</i>	13
Factores Climáticos	13
<i>Clima</i>	13
Factores Climáticos en el Departamento del Atlántico	14
<i>Temperatura</i>	14
<i>Humedad</i>	16
<i>La Radiación</i>	17
<i>Precipitación</i>	18
<i>Velocidad del viento</i>	19
<i>Microclima</i>	20
Variables que inciden en el comportamiento térmico interior para el estudio de la influencia de las protecciones solares	21
<i>Radiación solar sobre superficies verticales</i>	21
<i>Irradiancia</i>	22
<i>Balance Térmico en las Edificaciones</i>	23
<i>Superficies</i>	26
<i>Control solar en las superficies vidriadas</i>	29
<i>La necesidad de protección solar en los edificios</i>	34
<i>Comportamiento energético interior en edificios vidriados</i>	39
<i>Confort térmico en edificios de oficina</i>	40
<i>Antecedentes</i>	45

<i>Estudio de investigaciones relacionadas con el comportamiento térmico y estrategias para el control solar</i>	45
Marco metodológico	52
Tipo de investigación	52
Localización	52
<i>Localización del sistema de protección solar</i>	52
Zona de bienestar térmico para Barranquilla	53
Muestra	53
<i>Tipología Arquitectónica</i>	53
<i>Materiales del edificio</i>	54
Instrumentos de Recolección de Datos	55
<i>Revit</i>	55
<i>Geosol</i>	59
<i>Earth-tools</i>	60
<i>Design Builder</i>	61
Solución de diseño protección solar	68
<i>Cálculo de peso de protección solar</i>	71
Discusión de resultados	72
Efectos de la protección solar sobre las superficies vidriadas	72
Análisis de evolución de la temperatura interior con la alternativa sin protección solar	75
<i>Comportamiento térmico en el interior en el mes de junio</i>	75
<i>Ganancia térmica interior durante el mes de junio</i>	77
<i>Comportamiento térmico en el interior en el mes de septiembre</i>	78
<i>Ganancia térmica interior durante el mes de septiembre</i>	79
<i>Comportamiento térmico en el interior en el mes de diciembre</i>	79
<i>Ganancia térmica interior durante el mes de diciembre</i>	80
Análisis bienestar térmico en el interior	83
<i>Bienestar térmico interior en el mes de junio</i>	83
<i>Bienestar térmico interior en el mes de septiembre</i>	85
<i>Bienestar térmico interior en el mes de diciembre</i>	87
Peso de la protección solar	90

Conclusiones.....	91
Referencias.....	94

FIGURAS

<i>Figura 1. Temperatura máxima y mínima promedio 2019, IDEAM.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. Nivel de Humedad en Barranquilla 2019, IDEAM</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3. Velocidad promedio del viento 2019, (Spark, 2019).....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 4. Duración del sol,. (Spark, 2019)</i>	<i>22</i>
<i>Figura 5. Determinación de factores de conversión para la irradiación solar directa. Radiación α) irradiancia horizontal superficial β) sobre superficie inclinada (Axaopoulos, 2007)</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6: comportamiento de los vidrios en diferentes tipos de radiación.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 7 clasificación de elementos horizontales y verticales de protección solar. (Gonzalez, 2015)</i>	<i>32</i>
<i>Figura 8. Mecanismos fijos horizontales y verticales según condición de asoleo</i>	<i>33</i>
<i>Figura 9. persiana enrollable casa Milá.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 10. Transmisión directa e indirecta en persiana veneciana plana 2008, Athanassios</i>	<i>38</i>
<i>Figura 11. Comportamiento térmico básico en laminas perforadas 2014, Blanco.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12. Grafico psicométrico de Givoni aplicado en la ciudad de Barranquilla. (Givoni, 1969)</i>	<i>53</i>
<i>Figura 13. Vista exterior edificio Serfinanza</i>	<i>54</i>
<i>Figura 14. Planta tipo edificio serfinanza 2020. (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 15. Utilización del software Revit. (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 16. Utilización del software Revit. (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 17. Isometría en corte tridimensional, (Acevedo, Guevara) ... ¡Error! Marcador no definido.</i>	
<i>Figura 18. Carta solar con coordenadas el día 21 en junio, septiembre y diciembre 2020, (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 19. Carta estereográfica con ángulos solares para protecciones el 21 de diciembre, (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 20. Carta estereográfica con ángulos para protecciones solares 2020, (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 21. Utilización del software Design Builder.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 22. Modelo exportado desde Revit a Design Builder</i>	<i>66</i>
<i>Figura 23. Utilización del software Design Builder.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 24. Utilización del software Design Builder.</i>	<i>67</i>

<i>Figura 25. Modulaci3n met3lica de la protecci3n solar 2020, (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 26. Trama de ubicaci3n del m3dulo 2020, (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 27. Funcionalidad del elemento de protecci3n 2020, (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 28. An3lisis solar con sistema de protecci3n solar dise1ado 2020, (Acevedo, Guevara)</i> <i>.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 29. Comportamiento t3rmico con y sin implementaci3n de protecci3n solar en junio</i> <i>2020. (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 30. Carga t3rmica interior en kW en el mes de junio. 2020 (Acevedo, Guevara)</i>	<i>77</i>
<i>Figura 31. Datos de temperaturas con y sin implementaci3n de quiebrasol en septiembre</i> <i>2020. (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 32. Cargas sobre vidrios en kW en el mes de septiembre. 2020 (Acevedo, Guevara)</i> <i>.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 33. Datos de temperaturas con y sin implementaci3n de quiebrasol en diciembre 2020.</i> <i>(Acevedo, Guevara).....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 34. Cargas sobre vidrios en kW en el mes de diciembre. 2020 (Acevedo, Guevara)</i>	<i>81</i>
<i>Figura 35. Datos de temperatura con alternativas en los meses de junio, septiembre y</i> <i>diciembre 2020 (Acevedo, Guevara).....</i>	<i>82</i>

TABLAS

Tabla 1. Temperaturas m3nimas y promedio, precipitaciones y brillo solar 2019, IDEAM	15
Tabla 2. Precipitaci3n anual en Barranquilla 2019, IDEAM.	19
Tabla 3. Tipos de vidrios Javier Neila.....	28
Tabla 4. Intervalos 3ptimos de actividades sedentarias 2006, ISO 7730.	41
Tabla 5. Variables y valores 2006, ISO 7730	41
Tabla 6. Recomendaciones para el bienestar termico en oficinas 2006	42
Tabla 7. Tabla de materiales de construcci3n en el edificio.....	55
Tabla 8. Horas y 3ngulos solares en la fachada 2020, (Acevedo, Guevara).....	74
Tabla 9 Datos de sensaci3n de temperatura sin protecci3n solar. (Acevedo, Guevara)	83
Tabla 10 Datos de sensaci3n de temperatura con protecci3n solar. (Acevedo, Guevara)	84
Tabla 11 Datos de sensaci3n de temperatura sin protecci3n solar. (Acevedo, Guevara)	85
Tabla 12 Datos de sensaci3n de temperatura con protecci3n solar. (Acevedo, Guevara)	86
Tabla 13 Datos de sensaci3n de temperatura sin protecci3n solar. (Acevedo, Guevara)	87
Tabla 14 Datos de sensaci3n de temperatura con protecci3n solar. (Acevedo, Guevara)	89

Introducción

La desventaja de la utilización de las fachadas vidriadas en climas cálidos húmedos es que la radiación de onda corta entra y al entrar se convierte en radiación de onda larga a la cual el vidrio es opaco, por lo tanto, en interior se calienta y no deja escapar el calor, produciendo el incremento de valores de temperatura y malestar en el interior de los espacios.

Esto no beneficia a las edificaciones vidriadas por lo cual implementan protecciones solares para disminuir la radiación directa. En Barranquilla aumento la construcción de edificaciones vidriadas, las cuales van tomando funciones en cada espacio según sus necesidades. En tanto, las edificaciones residenciales como empresariales valorizan la ciudad con la oferta y demanda con la modernidad (Acosta, 2018)

La ciudad de Barranquilla presenta un clima cálido húmedo extremo debido a los vientos alisios que provenientes del Rio Magdalena y del Mar caribe, con alto valores de temperatura que registran una media mínima de 24°C y una media máxima de 32.3°C y altos niveles de humedad llegando a producirse valores medios de hasta 80.1%. La velocidad del viento registra un valor promedio anual de 4m/seg. Además *“La atmósfera de la ciudad está condicionada por su ubicación, en una zona intermedia entre dos extremos climáticos: el árido del norte (desierto de la guajira) y la región húmeda al sur que se inicia en el valle medio del Magdalena y recibe la influencia del Mar Caribe”* (Suarez, 2016)

En Barranquilla el 2018 aumentó la construcción de edificios de uso empresarial satisfaciendo la oferta como la demanda de oficinas ante la avalancha de negocios que llegan a

esta ciudad. Por esta razón se han dejado llevar de las tendencias y los conceptos de fachadas vidriadas, el cual son fachadas vidriadas sin ventilación y sin protección a la radiación solar debido a que los constructores no se asesoran del tema y no usan o implementan protecciones para reducir la radiación en las fachadas (Acosta, 2018); así que los edificios no están respondiendo al confort térmico dentro de los edificios generando un consumo energético mayor debido a la implementación de ventilación artificial. En cambio, en Barranquilla a lo contrario a la idea de protecciones solares como una interfaz reguladora nos encontramos que los cerramientos de los edificios con fachadas vidriadas no tienen protección solares por lo tanto la radiación y la ganancia de calor aumenta, además que no cuentan con el direccionamiento de las brisas de este clima, la eficiencia energética se ve afectada, ya que utilizan grandes cantidades de energía para controlar el confort interior, *“el impacto de la radiación solar sobre las fachadas más asoleadas vidriadas está generando un consumo de calefacción o refrigeración representan un 60% de la energía consumida en los edificios”* (Omran, 2016).

¿Cómo se puede disminuir el impacto de la ganancia de calor a través de las fachadas para reducir el desconfort térmico en las edificaciones y el exceso de ganancia de calor?

Las protecciones en las fachadas han conseguido resultados positivos en confort y eficiencia, ya que esta protege de las radiaciones solares y brindan menos consumo y favorecen la estancia del residente de la construcción. (GÓMEZ, 2009-2011). Al observar los periodos de lluvia en la ciudad de Barranquilla son menos los meses con mayores valores de radiación difusa que, los valores de radiación directa, de esta manera, en la región Caribe la radiación o brillo solar incidente sobre el departamento del Atlántico, tiene una relación directa con los valores de precipitación; *“Los niveles de radiación varían durante el día y a lo largo del año, presentándose los mayores niveles en el día cuando el Sol se encuentra en su máxima elevación*

entre las 10 a.m. y las 2 p.m. (cerca del 60% de la radiación es recibida a estas horas)”

(Gonzalez, 2010). Por lo cual las fachadas al tener cubrimiento de un porcentaje tienen una ganancia en la disminución de las cargas térmicas, la protección solar de los cierres exteriores de los edificios tiene que ser una alternativa esencial para una eficiencia energética. (Olgyay, 1998). El bienestar higrotérmico no debe ser una tendencia, sino un requerimiento básico en las viviendas que asegure que las personas logren tener las condiciones de confort (Papparelli, 2003). El proceso o diseño lógico es trabajar a favor o de la mano de las fuerzas naturales y no en su contra, generando así una estancia adecuada, consiguiendo también una construcción confortable reduciendo la necesidad de aclimatación en los espacios internos la cual se podría catalogar “climatológicamente equilibrada” (Olgyay, 1998).

En base a los autores citados anteriormente como Gómez (2011), Gonzalez (2010), Papparelli (2003) y Olgyay (1998); Las envolventes como protección solares tienen unos factores funcionales tanto para el diseño como para la función de esta, deben manejar un control térmico, transmisión lumínica, redireccionamiento del viento y aislamiento acústico, para que así las envolventes sean sostenibles y aumenten el confort y las necesidades de sensaciones térmicas dentro de las edificaciones, agregándole valor al diseño y sostenible buscando disminuir los valores de demanda en el consumo energético contribuyendo a la mejora del bienestar térmico interior.

A lo largo de la investigación, se tiene en cuenta los factores climáticos de la ciudad de Barranquilla que son valores fundamentales para la ganancia térmica en el interior de las edificaciones en altura, los cuales se investigaran en apartados siguientes estos son: temperatura, humedad relativa, viento, todos estos valores servirán para el diseño de la propuesta de protecciones solares, se indagara sobre las protecciones solares para que así se realice una

propuesta adecuada para la ciudad de Barranquilla también se procede a enfocarse más en la muestra, la población, el uso de diferentes programas que servirán para digitalizar y así simular y analizar el comportamiento térmico.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la influencia en el comportamiento térmico interior de un diseño de protecciones solares para un edificio de oficina de la ciudad de Barranquilla.

Objetivos Específicos

- Investigar los factores climáticos que inciden en el comportamiento térmico de una edificación.
- Indagar en el diseño de protecciones solares para edificaciones vidriadas en latitudes intertropicales.
- Desarrollar diseños de prototipos de protecciones solares para una edificación vidriada en la ciudad de Barranquilla.
- Simular el comportamiento térmico de los prototipos de protecciones solares para una edificación vidriada ubicada en la ciudad de Barranquilla.
- Analizar el comportamiento térmico arrojado por la simulación para la edificación.

Marco Teórico

Factores Climáticos

Los factores climáticos de la ciudad de Barranquilla inciden en el comportamiento térmico interior de las edificaciones, En base a esto, se plantea la estructura del marco teórico, debido a que se encuentra relacionado con la implementación de envolventes y protecciones solares en edificaciones vidriadas la cual tiene como fin los espacios interiores confortables por parte de la implementación de las protecciones.

Clima

El clima es definido como: *“el conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado medio de la atmósfera en un punto de la superficie terrestre”* (Freixanet, 1998, pág. 22). Las variaciones atmosféricas, ecosistémicas y el relieve definen la variación climática, así como nos encontramos en un clima tropical en la desembocadura del Rio Magdalena hay que tomar en cuenta los factores como la temperatura, humedad, viento, microclimas y las precipitaciones. (Marengo, 2010).

Desde la antigüedad, la palabra “clima” está asociada con la “inclinación” de los rayos solares sobre la superficie terrestre. La incidencia de los ángulos solares influye en la radiación solar, según esto determinaríamos el nivel de intensidad de dicha radiación en el espacio. La inclinación del sol depende de la situación relativa entre la tierra y el sol y es, por tanto, un factor astronómico de carácter periódico condicionante del clima. (Machado, 2000)

El clima es diferente al estado en que se encuentre la atmosfera, en que este concepto indica el conjunto de variables en un espacio o entorno urbano. Los elementos del clima son valores atmosféricos que, se tienen presente en conjunto, definen el clima de un lugar para un

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

período de tiempo determinado. Existe gran variedad de elementos climáticos, entre los que hay que destacar los siguientes: la temperatura del aire, la humedad, la presión atmosférica, el viento, la radiación solar, las precipitaciones. Dicho anteriormente, el elemento fundamental que determina el clima y todas las otras variables climáticas es la radiación solar (Neila, 1982). Estos son los valores climáticos que han conformado las regiones biológicas de la tierra, Los seres humanos se han adaptado en el medio que se encuentre. De hecho, puede decirse que el clima atraviesa todas las actividades naturales y humanas. Es la fuerza fundamental que conforma los lugares y es responsable de las diferencias entre ellos. Al mismo tiempo, los asentamientos humanos han modificado los microclimas para adecuarlos a sus necesidades particulares y las condiciones locales. El confort humano o el bienestar, en casos han dependido a la adaptabilidad que los edificios han tenido en el medio climático.

Factores Climáticos en el Departamento del Atlántico

En Colombia los estudios y el comportamiento del clima son realizados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. Los indicadores que registran dichas instituciones son: Temperatura en grado centígrado ($^{\circ}\text{C}$), humedad relativa en porcentaje (%), radiación en vatios sobre m^2 (W/m^2) precipitación en milímetros (mm) y velocidad del viento en (m/seg).

El régimen de las temperaturas del aire está determinado por la latitud, los accidentes geográficos del planeta y las particularidades fisiográficas de su territorio.

Temperatura

Los datos de temperatura de la ciudad de Barranquilla que son obtenidos en el aeropuerto Ernesto Cortissoz de una estación meteorológica generalmente son la temperatura máxima

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

absoluta, máxima, media, mínima, mínima absoluta. Por lo tanto, las temperaturas medias máximas superan siempre los 31.0°C mientras las temperaturas medias mínimas están por encima de los 23.3 grados centígrados hasta los 24.8 grados centígrados. (Caribe, 2020), por medio de esta se quiere observar cómo se puede disminuir la temperatura en los interiores usando protecciones solares, en la “Tabla 1” registra las temperaturas máximas y mínimas promedio a lo largo del año.

Tabla 1

.Temperaturas mínimas y promedio, precipitaciones y brillo solar 2019, IDEAM

Climatología de Barranquilla													
Temperatura (°C)													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Min. Promedio	23.3	23.4	23.7	24.4	24.8	24.6	24.4	24.4	24.0	23.8	24.0	23.7	
Promedio	26.6	26.6	26.9	27.5	28.1	28.1	28.0	28.0	27.8	27.4	27.4	27.0	
Max. Promedio	31.3	31.4	31.9	32.7	33.3	32.9	32.7	33.1	32.8	32.3	32.0	31.5	
Precipitación, brillo solar y humedad relativa													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Precipitación (mm)	5	1	1	25	91	104	70	102	143	178	79	24	
Días lluvia	0	0	0	3	9	9	7	10	13	14	9	2	
Humedad Relativa (%)	78	77	77	78	80	80	80	81	83	84	83	80	
Brillo solar (hora/mes)	282	245	240	207	188	195	215	207	164	166	191	253	
Datos medidos en: Aeropuerto Internacional Ernesto Cortissoz			Promedio s anuales	Temperatura Me s °C			Ma x °C	Tota l mm	Precipitación Lluvi a Días		Humedad %		Brillo solar Horas
				27. 24	4	32.3	821	76	80		253		

Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/cclimatologicas/>

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

La época del año que la temperatura máxima promedio es de 31°C, va desde abril hasta el mes de julio. En el mes de mayo es donde se llega a una temperatura máxima promedio de 32 °C y una temperatura mínima promedio de 26 °C, en cambio en otros meses del año la temperatura máxima promedio diaria es menos de 30 °C, y se evidencia una temperatura mínima promedio de 24°C.

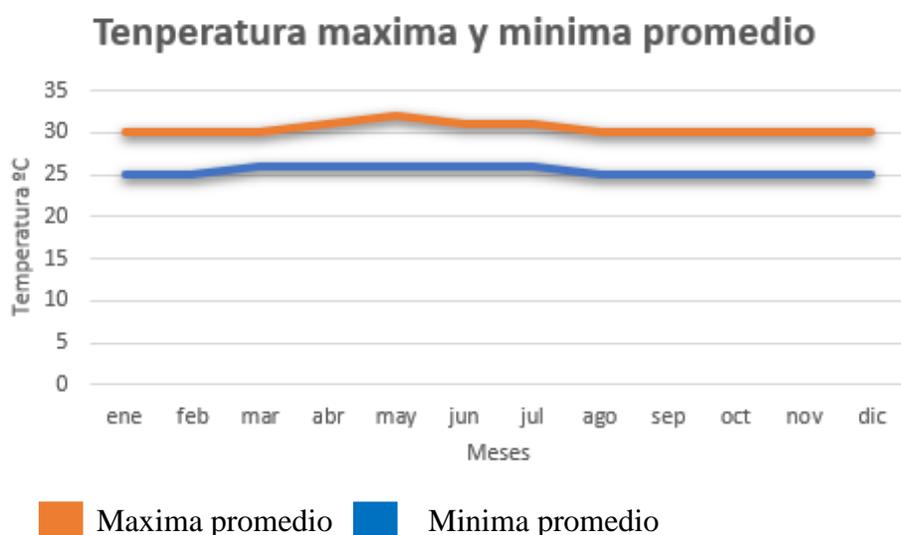


Figura 1. Temperatura maxima y minima promedio 2019, IDEAM Fuente:

<http://atlas.ideam.gov.co/cclimatologicas/>

Humedad

La humedad es la variable que más influye en la sensación de confort térmico debido a que Barranquilla presenta un clima cálido húmedo extremo, por lo cual, es escasa la oscilación térmica y puede ser medida de una manera “absoluta” o “relativa” que es la manera más usada y comprensible de mostrar la real 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, 2000).

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

La humedad relativa de Barranquilla se basa por la cercanía al mar, la ubicación a orillas del río Magdalena, zona parque natural nacional isla Salamanca, los humedales del delta de la desembocadura del río Magdalena, hace que esta zona tenga la humedad en 80.1%, pero esta humedad es modificada por los vientos direccionados hacia el interior de la región para producir abundantes lluvias en las estribaciones de los Andes. (Caribe, 2020)

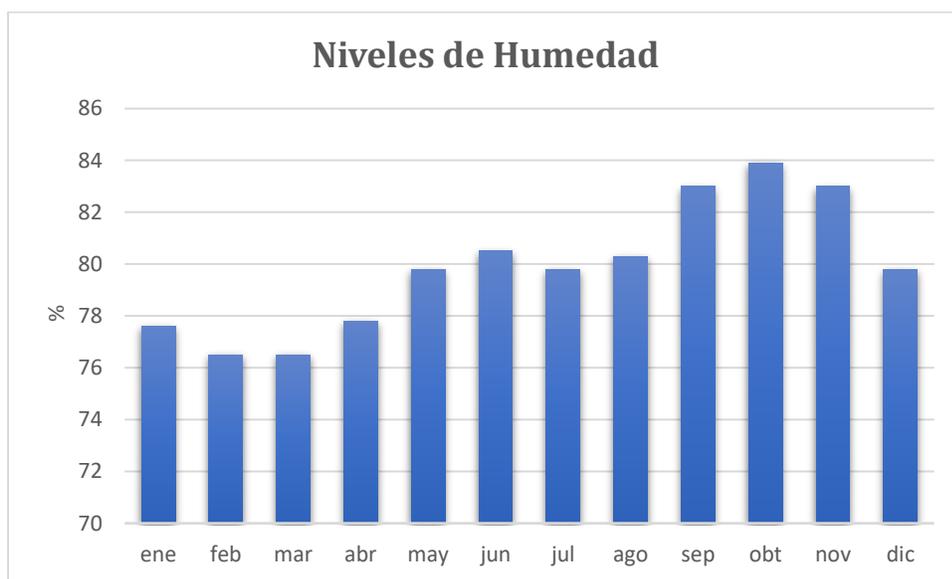


Figura 2. Nivel de Humedad en Barranquilla 2019, IDEAM Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/cclimatologicas/>

La Radiación

Los componentes de la radiación que atraviesa la atmosfera se pueden dividir en radiación difusa y radiación directa, ya que a la tierra llegan de varias formas, parte de esta radiación que atraviesa la atmosfera y llega a la tierra sin ninguna intervención o sin sufrir cambios de dirección es la radiación directa. Por otra parte, la radiación difusa es la que es absorbida o desviada por las nubes, vapor de agua, etc. (Vallés, 2018)

En climas cálido-húmedos como el caso de Barranquilla, donde las temperaturas son altas durante las 24 horas y durante todo el año, evitar el calentamiento de los cierres exteriores es un

recurso esencial del diseño bioclimático en cualquier época del año. La situación se agrava cuando sus fachadas son vidriadas donde se produce efecto de invernadero, efecto que se explicará en apartados posteriores de esta investigación.

Sin embargo, el sol tiene alta incidencia debido a que Barranquilla se encuentra en el trópico y las fachadas sur y norte reciben alta radiación, al hablar de edificaciones en alturas, estaríamos hablando de mayor incidencia sobre las fachadas debido al área. En Barranquilla al tener una latitud de 10.96N la fachada sur tiene mayor radiación debido a los ángulos de incidencia, siendo así una de las fachadas más afectada. Debido a esto las fachadas sur pueden bajar el impacto de radiación implementando protecciones solares que mitiguen la carga calorífica. (Indriago, 2002)

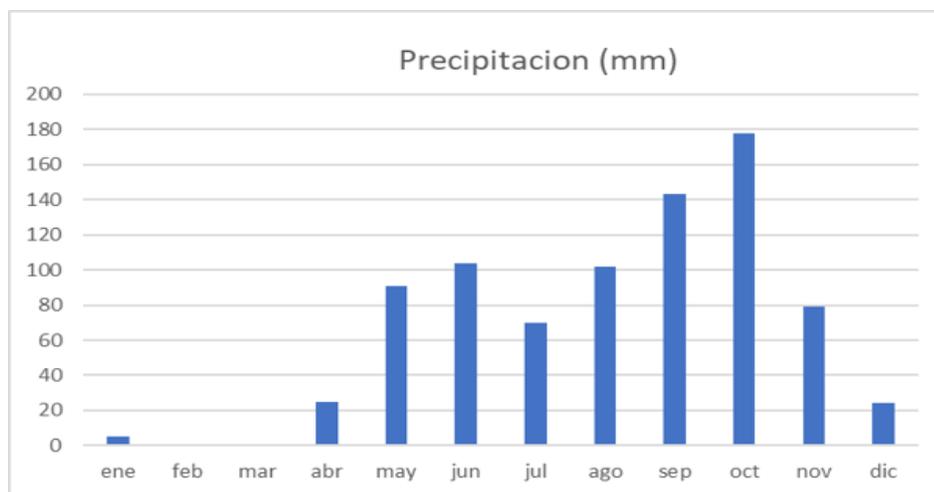
Precipitación

Los periodos de precipitación en Barranquilla son demarcados, pueden diferenciarse en estación seca y estación húmeda. La estación seca es donde la precipitación es muy escasa, con jornadas típicamente calientes y soleadas con un cielo lleno de nubes cumuliformes, que son nubes claramente definidas y que su aspecto comúnmente se le llama “algodonoso”, la estación húmeda es la época del año en la cual se produce la mayor parte de la precipitación media anual de una región, en la estación húmeda se presenta una nube de altura media que produce precipitación. Por lo general, la precipitación llega al suelo en forma de lluvia,

En Barranquilla los meses con mayor precipitación van desde mayo a octubre, con promedios superiores a los 6 mm diarios. (IDEAM, 2019), según (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.

Tabla 2

. Precipitación anual en Barranquilla 2019, IDEAM.



Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/cclimatologicas/>

Velocidad del viento

En la ciudad de Barranquilla los vientos son presentes debido a que estamos cerca del mar Caribe, el viento 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). El viento es un gran aliado para disipar o regular zonas de confort siendo direccionado dentro de la construcción. (IDEAM, 2019).

La velocidad del viento por hora en Barranquilla tiene variaciones estanciales extremadas en el transcurso del año. Los meses con mayores vientos del año dura 5 meses, con velocidades promedio del viento de más de 17,6 kilómetros por hora. En febrero se presentan los mayores vientos con una velocidad promedio del viento de 24,3 kilómetros por hora. El tiempo más calmado del año dura 6,9 meses. En el mes de octubre presenta la menor velocidad promedio del viento que es de 10,9 kilómetros por hora.

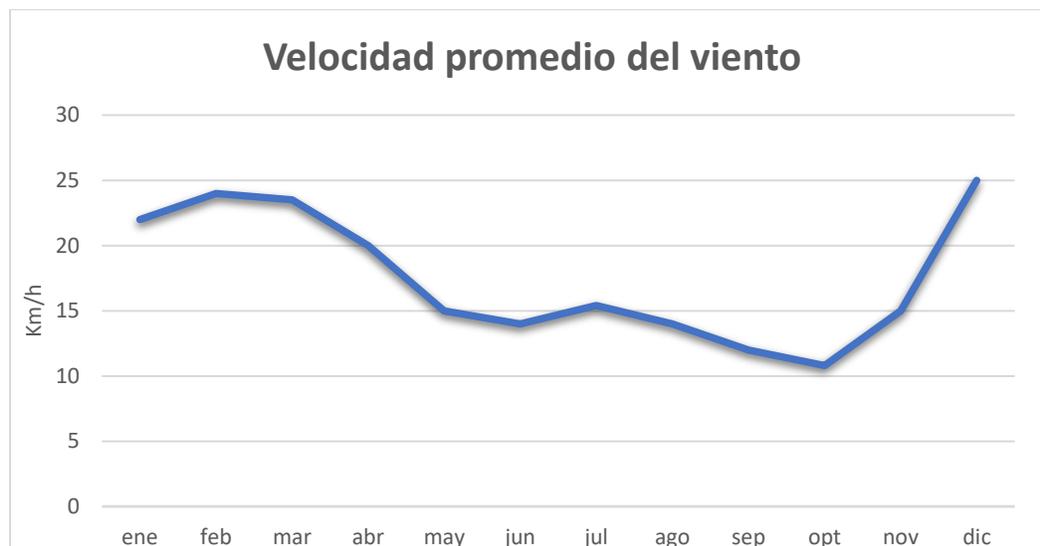


Figura 3. Velocidad promedio del viento 2019, (Spark, 2019) Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/23451/Clima-promedio-en-Barranquilla-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Sun>

Microclima

El microclima juega un rol importante en el consumo energético de los edificios y en las sensaciones de confort térmico de los espacios exteriores. El microclima cambia acentuando según las modificaciones de la forma urbana, teniendo un impacto en el consumo energético para alivianar las temperaturas y sensaciones de confort (Villadiego, 2014).

Evans (2000) afirma que saber que los datos meteorológicos tomados en zonas abiertas, como lo ejemplifica generalmente en un aeropuerto, no siempre es posible comparar determinando condiciones presentes como los alrededores de los edificios, ya que estos factores tienen capacidades de alterar estas condiciones. En las grandes ciudades, debido a la alta densidad de edificaciones, 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 como en los edificios como los pavimentos cuyos ciclos energéticos son distintos a los ciclos energéticos de

los ecosistemas naturales, es decir, que los ecosistemas urbanos son generadores de una alta entropía mientras que los ecosistemas naturales son de baja entropía (Evans, 2000). Además, la falta de vegetación y la utilización de superficies absorbentes pueden disminuir la humedad relativa.

El microclima urbano puede variar según la zona de la ciudad, debidamente ligado a como está compuesto la morfología del área urbana, así como la implementación de materiales que puedan disminuir la ganancia de calor en las fachadas. Influyendo en el consumo energético de las edificaciones y sensación de confort térmico interior (Nieto, 2019).

Variables que inciden en el comportamiento térmico interior para el estudio de la influencia de las protecciones solares

Radiación solar sobre superficies verticales

Los datos de radiación siempre van dirigidos a superficies horizontales, debido a que las superficies horizontales el rayo solar incide más en esta superficie, pero al momento de referirnos a superficies verticales en edificaciones en altura, hablamos de mayor área por ende mayor superficie de incidencia de los rayos solares en la superficie vertical, es importante tener en cuenta la cantidad de energía solar que incide en el plano vertical, la radiación total será la suma de la radiación directa. Es decir, la radiación solar produce un incremento de la temperatura en las envolventes que luego emanan calor en el interior de las edificaciones. (Olgyay, 1998)

La duración del día en Barranquilla no varía considerablemente durante el año, solamente varía 46 minutos de las 12 horas en todo el año. En 2020, el día más corto fue en el mes de diciembre teniendo menos minutos de luz natural a diferencia con el mes de junio que fue el día más largo con luz natural.

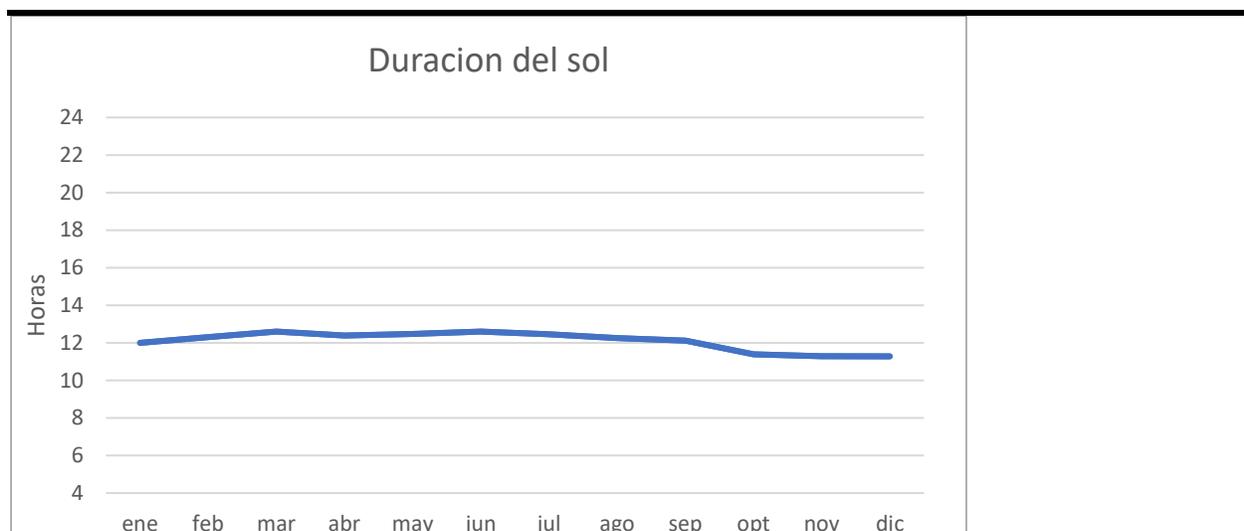


Figura 4. Duración del sol., (Spark, 2019) Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/23451/Clima-promedio-en-Barranquilla-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Sun>

Irradiancia

La radiación solar global que alcanza la superficie terrestre se puede descomponer en tres componentes: irradiancia directa, difusa y reflejada. Los valores de irradiancia son dados sobre superficies horizontales y dado que la posición del sol con la superficie plana en posición estática, las estaciones meteorológicas no suministran la radiación directa y difusa por lo tanto en superficies inclinadas realizar estimaciones a partir de la irradiación global diaria para la obtención de valores horarios. (Coronas, 1983)

La radiación directa que recibe una superficie depende del ángulo de incidencia de los rayos solares. La radiación difusa recibida por la superficie inclinada no depende de la orientación. Por lo tanto, para el cálculo de la radiación solar sobre una superficie inclinada, un factor de conversión debe tenerse en cuenta para cada uno de los componentes.

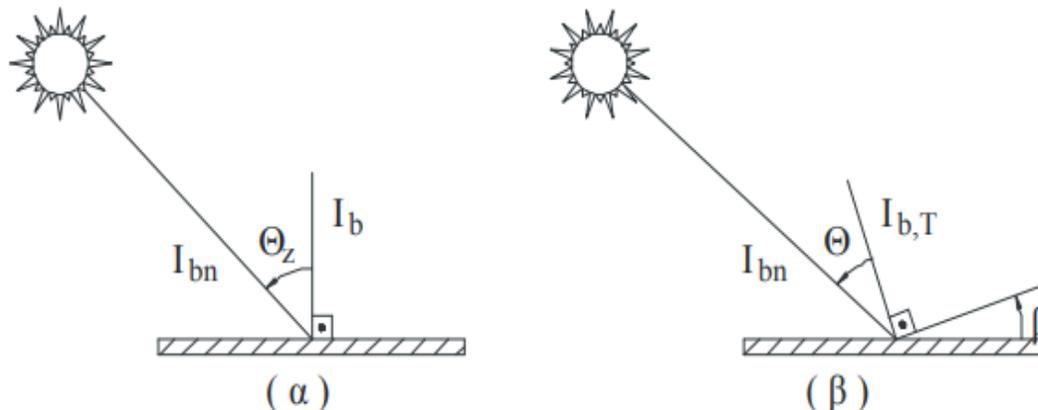


Figura 5. Determinación de factores de conversión para la irradiación solar directa. Radiación α) irradiancia horizontal superficial β) sobre superficie inclinada (Axaopoulos, 2007) Fuente: https://www.labri.fr/perso/billaud/travaux/Helios/Helios2/resources/es04/chapter_4_ES.pdf

El factor de conversión de la radiación solar directa (R_b), es la relación entre la irradiancia solar directa sobre la superficie inclinada ($I_{b,T}$), para una superficie horizontal (I_b). (Axaopoulos, 2007)

La radiación solar afecta en los balances térmicos de las edificaciones generando una ganancia de calor en el interior, el balance térmico depende de la interacción de la edificación con exterior.

Balance Térmico en las Edificaciones

El balance térmico de una edificación es medidos o calculados debido a un cerramiento o unas protecciones para saber que ganancia o pérdida de calor hay en dicho edificio, el balance térmico es producto de las interacciones entre el edificio y el medio, y el edificio y el espacio interior que envuelve. Para establecer el balance térmico de una edificación se deben tener en cuenta diferentes flujos que existen y actúan sobre este.

Los flujos de calor pueden clasificarse en flujos externos y flujos internos y cada uno de ellos se pueden subdividir en sensible y latentes.

Los flujos **externos** están relacionados con los fenómenos meteorológicos y el clima; como la temperatura del aire exterior, la velocidad y dirección del viento, la radiación solar, la humedad y la precipitación, estos fenómenos producen flujos por transmisión y radiación solar a través de los elementos opacos, por transmisión mediante elementos acristalados, por renovación del aire, por radiación solar por medio de elementos acristalados y los flujos **internos** son los que se refieren a la ocupación, equipos para generar iluminación, electrodomésticos, equipos de oficina y cualquier otro equipo que genere calor. (Machado, 2000)

Los flujos como fueron mencionados anteriormente se subdividen en sensible y latentes, los flujos de calor sensible son las que modifican la temperatura, y las latentes son la que tienen que ver con la modificación de la humedad, entre estos se encuentran otros flujos que son:

Qc: Flujo de calor por conducción.

Qcv: Flujo de calor por convección.

Qu: Flujo de calor generado por los usuarios.

Qi: Flujo de calor generado por la iluminación.

Qel: Flujo de calor generado por el equipo eléctrico.

Qr: Flujo de calor por radiación a través de las ventanas

Estos flujos pueden actuar de forma positiva o negativa dependiendo de la temperatura en el interior.

Flujo de calor por conducción Q_c : es la energía por transmisión a través de los elementos de la envolvente y el conjunto será igual a la sumatoria de los flujos de calor por transmisión de cada elemento.

Flujo de calor por convección Q_{cv} : es el intercambio de calor entre el interior y el exterior por medio de la ventilación que depende del número de renovaciones de aire por hora (ren/h).

Flujo de calor generado por los usuarios Q_u : depende directamente de la actividad, edad, sexo y del número de ocupantes dentro del espacio.

Flujo de calor generado por la iluminación Q_i : consiste en el cálculo de la cantidad de calor que producen las luminarias

Flujo de calor generado por el equipo eléctrico Q_{el} : es la cantidad de calor que produce el equipo eléctrico y se determina por el calor generado por cada equipo y luego se suman todos los flujos generados.

Flujo de calor por radiación a través de las ventanas Q_r : según investigaciones realizadas constituye una fuente importante de calor en el interior de las edificaciones.

Según (P. La Roche, 1995) el calor por radiación que penetra a través de una ventana depende de: la orientación de la fachada, la hora del día, la claridad del aire (lluvia, polvo, neblina, nubosidad, etc.), el tipo de ventana, la latitud geográfica y el nivel de protección solar.

Estos flujos influyen en las edificaciones, así como también en las superficies de la edificación, el empleo del material específicamente aislante en los cerramientos es el responsable

de la poca inercia térmica con la que generalmente se construye hoy. Para que un elemento aporte su inercia a la estabilidad térmica interior, es necesario situarla en el interior o si es un cerramiento exterior que la masa térmica está en contacto directo con el interior.

Superficies

Las superficies arquitectónicas también son conocidas como “el cuerpo y en la naturaleza, la piel, elástica y flexible, representa el filtro y la conexión con el mundo. A través de las expresiones de la piel y de la gestualidad el cuerpo se establecen relaciones interpersonales y se definen espacios” (Trovato, 2007). Para una aplicación pertinente de los diseño de una fachada en el ámbito de la eficiencia energética, es necesario tener en cuenta que cada edificación requerirá de unas habilidades específicas que se definen por la zona climática en que se ubica, características del clima local, su altitud sobre el nivel del mar, la presencia de obstáculos naturales o bien de edificaciones que pueden cambiar el aporte solar natural o la circulación y la dirección de los vientos predominantes, cercanía o proximidad al mar, etc. En cada caso, según estos factores el técnico debe analizar y valorar cuales son las estrategias más adecuadas. (Ovacen, 2014)

Hay diferentes superficies, que pueden aportar desde su materialidad a las fachadas, están son:

Superficies Opacas: se recibe el 100% de la radiación y en función del color, parte se absorbe y parte se refleja. La parte absorbida comienza a calentar y el calor se trasmite por esta por conducción para luego irradiar en el interior de la edificación y aumentar la temperatura.

Superficies traslucidas: una superficie es translúcida cuando deja pasar un porcentaje de la luz, pero no deja ver nítidamente los objetos.

Superficie reflectiva: tienen la habilidad de perder calor más eficientemente que otras superficies, lo que las mantiene mucho más frescas durante el día.

Superficie transparente: Son superficies transparentes aquellas que presentan una transparencia a la radiación solar y a la luz visible, aunque sea muy emisivo, solo refleja una pequeña parte de la radiación de onda larga que recibe.

Factor del sol en superficies vidriadas: el **factor solar en el vidrio** es el coeficiente de las radiaciones solares que afectan principalmente las fachadas de los edificios que atraviesan el acristalamiento de toda el área de la ventana.

En este caso los edificios de uso empresarial tienen fachadas vidriadas o simples ventanas, al tener contacto con las radiaciones solares en el exterior del vidrio las condiciones favorables de este son bajas en cuanto a temperaturas, la radiación de onda larga continuará hacia el interior del espacio, el vidrio refleja o transmite la radiación en el interior, la absorción dependerá del tipo de vidrio y así parte de la radiación se absorberá y otra se reflejará. (Zambrano 2013).

Existen diferentes tipos de vidrios los cuales se comportan diferente en cuanto al tipo de radiación, se observa (ver figura 6) que el vidrio **claro** presenta una elevada transparencia a la radiación solar y solo refleja una pequeña parte de la radiación, el vidrio **absorbente** reduce significativamente la transmisión de radiación solar, manteniendo una reflectividad baja y una emisividad alta, el vidrio **reflectante** en este caso reduce la transmisión y reflectancia proporcionalmente, el vidrio absorbente-reflectivo combina las características de ambos vidrios y reduce de manera notoria la transmitancia de radiación solar.

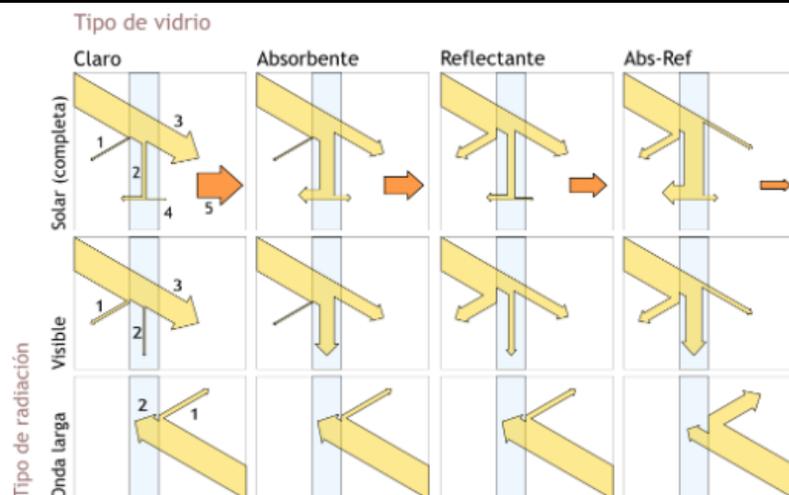


Figura 6: comportamiento de los vidrios en diferentes tipos de radiación Fuente:

<https://www.seiscubos.com/conocimiento/tipos-de-vidrio>

Tabla 3

. Tipos de vidrios Javier Neila

TIPO DE VIDRIO	FACTOR SOLAR
Luna incolora 6mm	0.85
Luna tonalidad gris	0.60
Luna tonalidad bronce	0.59
Luna tonalidad verde	0.57
Luna tonalidad rosa	0.78
Luna incolora reflectante en plata	0.17
Luna incolora reflectante en cromo	0.17
Luna incolora reflectante en oro	0.16
Luna incolora reflectante en ocre	0.22
Luna incolora reflectante en azul	0.37
Luna colorada en gris reflectante en gris	0.20
Luna colorada en bronce reflectante en bronce	0.20
Luna colorada en verde reflectante en verde	0.19
Luna colorada en ámbar reflectante en ámbar	0.19
Vidrio aislante 6+6+6 incolora	0.72
Vidrio aislante 6+6+6 color bronce	0.48
Vidrio aislante 6+6+6 color verde	0.47

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

Vidrio aislante 6+6+6 color rosa	0.72
Vidrio aislante 6+6+6 incolora reflectante en plata	0.13
Vidrio aislante 6+6+6 incolora reflectante en oro	0.11
Vidrio aislante 6+6+6 incolora reflectante en azul	0.31
Vidrio aislante 6+6+6 color bronce reflectante bronce	0.12
Vidrio aislante 6+6+6 color gris reflectante gris	0.12
Vidrio aislante 6+6+6 color verde reflectante verde	0.12
Vidrio aislante 6+6+6 color rosa reflectante rosa	0.13

Fuente: J. Neila, Arquitectura Bioclimática

El vidrio tiene diferentes comportamientos ante la energía radiante, los cuales pueden ir disminuyendo debido a la alteración de éste, estos comportamientos son en vidrios de transmitancia, absortancia y reflectivos, ya sea por la implementación de vidrios en conjunto, teñidos de color, o de tipo espejado, los cuales hacen que la radiación solar entre de forma diferente, siendo así un control solar en las superficies vidriadas.

Control solar en las superficies vidriadas

El control solar en las superficies vidriadas es importante, ya que este genera que la temperatura en el interior sea la adecuada para conseguir bienestar térmico. El hombre ha adaptado su entorno con respecto al clima, sin embargo, en los tiempos antiguos se reconocía que la adaptación era un principio esencial de la arquitectura, con esta transcendencia se ha logrado destacar que el control solar es prioridad para disminuir el impacto de la radiación en el interior, según (Olgyay, 1998) *"la principal estrategia de enfriamiento en climas cálidos es en definitiva el control solar, ya que de esta forma no tendrá que enfriarse aquello que no se ha calentado"*.

En el ámbito de la construcción, las edificaciones tienen grandes beneficios si se analiza su entorno, es ahí donde entran en juego muchos factores, tales como la luz solar, las radiaciones, el viento, la humedad y la temperatura, que influyen en los diseños. Estos factores deben tratarse

adecuadamente, por lo que surge la necesidad de crear nuevas estrategias de diseño en donde se garantice una mejor protección y eficiencia en las edificaciones. (Casas, 2015)

En Colombia en el año 2001 se promulgó la Ley 697, por medio de la cual el Ministerio de Minas y Energía de Colombia declara el Uso Racional y Eficiente de Energía (URE) y demás formas de energía no convencionales. Con esta Ley se pretende poner el foco en mejorar la eficiencia energética, de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales. (UPME, 2018)

Hoy en día las distintas propuestas de diseño que se realizan no tienen en cuenta el emplazamiento, clima y sol, la forma que se ejecutan proyectos poco adaptados al entorno y sus condiciones, generan grandes superficies vidriadas en climas cálido-húmedos en donde no es conveniente anular la ventilación natural, esto conlleva a generar importantes incrementos en el consumo energético con ventilaciones mecánicas para suplir el discomfort térmico en las edificaciones. (Perez, 2012)

Mecanismos de protección solar en la arquitectura: Se entiende que los sistemas de protección solar son un elemento fundamental para determinar el efecto de la componente reflejada del sol directo en los distintos comportamientos de la iluminación natural en los espacios interior y también el rendimiento térmico relacionado con la ganancia de calor.

Hoy en día se utilizan una gran variedad de dispositivos de control de la luz solar, que pueden ser eficaces con la capacidad de lograr luz natural donde se necesite y para eliminar las zonas con posibilidad de deslumbramiento.

Se entiende por protección solar a cualquier dispositivo fijo o móvil que impida total o parcialmente el ingreso de la radiación solar al interior de un local o habitación. Tendremos

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

así: persianas, cortinas de enrollar, postigos, pantallas, parasoles, toldos, balcones y voladizos, entre otros.

Los elementos de protección solar pueden ser fijos o móviles y también horizontales o verticales (ver figura 7), luego según su forma (recta, curva, quebrada o mixta) y, por último, a partir de su posición relativa (perpendicular, paralela u oblicua a la fachada). Adicionalmente, todos los tipos clasificados se pueden desarrollar a partir de elementos sólidos o en trama, (Gonzalez, 2015)

	FORMA	POSICIÓN RELATIVA		
		PERPENDICULARES	PARALELOS	OBLICUOS
HORIZONTALES	RECTOS			
	CURVOS			
	QUEBRADOS			
	MIXTOS			

	FORMA	POSICIÓN RELATIVA		
		PERPENDICULARES	PARALELOS	OBLICUOS
VERTICALES	RECTOS			
	CURVOS			
	QUEBRADOS			
	MIXTOS			

Figura

7 clasificación de elementos horizontales y verticales de protección solar. (Gonzalez, 2015)

Fuente: Sistema de elementos de protección solar para los edificios en Cuba.

Los sistemas de protecciones solares fijos, en el caso de instalar un sistema su inversión económica inicial es un poco costosa, por lo cual se descarta su aplicación sin tener en cuenta su beneficio. Sin embargo, es recomendable realizar una evaluación técnica y económica, debido a que este tipo de elementos de protección solar, cuando están bien diseñados para un correcto trabajo, aporta altos beneficios en la calidad térmica de los ambientes interiores de los edificios y la disminución de la carga de enfriamiento del sistema de aire acondicionado reflejándose en el bajo consumo eléctrico.

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

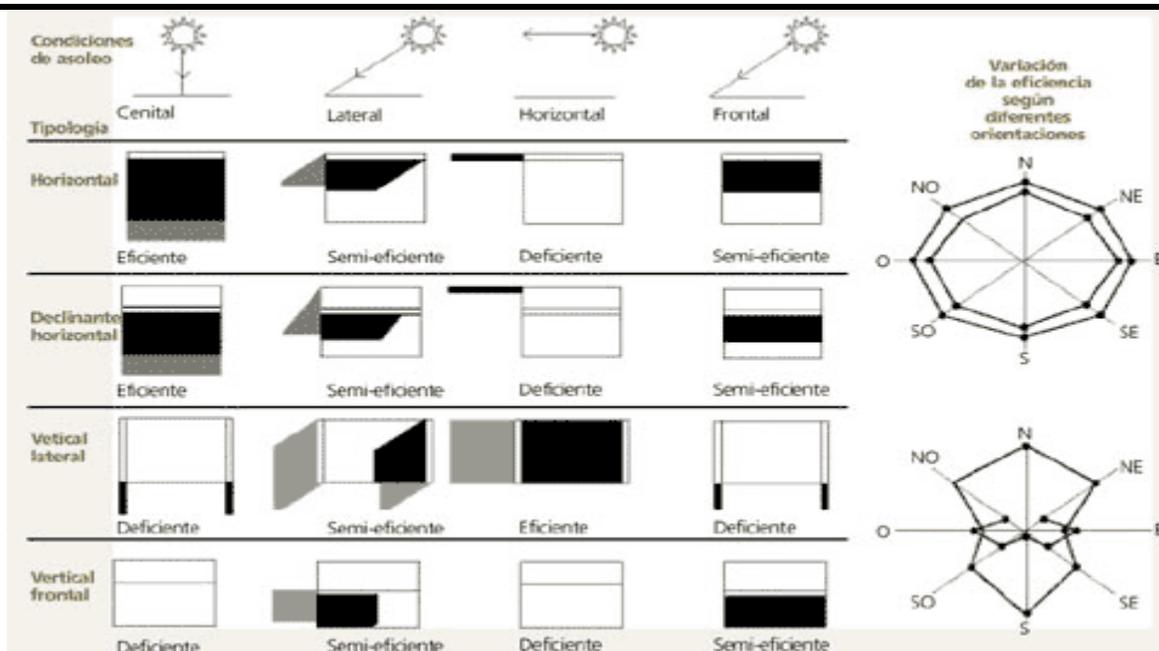


Figura 8. Mecanismos fijos horizontales y verticales según condición de asoleo Fuente: Comisión para el mejoramiento de la calidad térmica de las edificaciones y el espacio urbano. Maracaibo, 1999

En los **sistemas de protección solar** se encuentran unos mecanismos que disminuyen con mayor impacto, estos mecanismos de sombra son métodos de protección solar, se organizaran de la siguiente forma analizando de mayor efectividad hasta menor efectividad.

Árboles, protección externa, protección fija exterior, persiana exterior de lamas metálicas, cortina aislante, cristal tintado, persiana enrollable. El uso correcto de los mecanismos de sombra puede lograr reducir el pico de ganancia térmica del edificio, mejorar la calidad de iluminación natural en el interior el deslumbramiento y la reducción de índice de contraste (Gramá, 2013).

Siendo así que los mecanismos de protección solar en las edificaciones son una necesidad para disminuir el impacto de ganancia de calor dentro de las mismas.

La necesidad de protección solar en los edificios

La protección solar de los cierres exteriores de los edificios es un requisito esencial para la eficiencia energética en climas tropicales, en climas cálido-húmedos como el de Barranquilla, donde las temperaturas son altas a lo largo del año, evitar el calentamiento de las fachadas es primordial del diseño bioclimático en cualquier época del año. Beneficia evitar el calentamiento de las fachadas más asoleadas en el caso de Barranquilla la sur oeste para evitar la transmitancia de calor en los espacios interiores y con ello, la ganancia térmica, así mismo, resulta imprescindible proteger las ventanas de la penetración de la radiación solar directa, lo que además de contribuir a elevar la temperatura interior, provoca deslumbramiento. (Gonzalez, 2015)

En otro caso de estudio, la utilización de elementos que se interponen entre el sol y las aberturas de la envolvente, para el control parcial o total del ingreso de la radiación solar hacia el interior, es una constante de la arquitectura moderna

El estudio para analizar en las protecciones implementadas es entender lo que funcionalmente logran; sí controlar la radiación solar directa, el exceso de luz o el exceso de calor, a ambas cosas a la vez; si la protección debe ser continua o intermitente, aunque en todo caso se tratará de mediar para que la acción de controlar no impida el paso de la vista hacia el exterior.

En los edificios que se instalan protecciones solares han llegado ahorrar un 50% de consumo energético solo en adecuación y confort térmico. Según (Quirós, 2000) *“El uso de protecciones solares y del retranqueo en las aberturas en las edificaciones evidentemente reduce la ganancia de calor hacia el interior de los espacios, ya que la mayor parte del aporte*

calorífico a las edificaciones lo constituye la radiación solar que penetra a través de las ventanas”, por esto las protecciones solares son los encargados de regular el ambiente interior de una edificación manteniendo los niveles de temperatura y humedad para así lograr un bienestar térmico deseable para el cuerpo humano.

En el diseño de edificaciones que se encuentran en climas cálidos húmedos van estrechamente de la mano de las protecciones solares para disminuir la ganancia de calor en los edificios, *“La eficacia de las protecciones solares desde el punto de vista del sombreado de las aberturas, está íntimamente relacionada con en el control de la radiación solar y asociada a las ganancias de calor y a la evolución de las temperaturas interiores”* (Quirós, 1998).

Para que las protecciones solares sean eficientes se tienen que ubicar en el exterior de la construcción para que logre cubrir la fachada para reflejar y disipar la radiación solar, las protecciones solares pueden tener diferentes formas o movimientos para generar condensaciones, proteger las edificaciones o dejar el paso de la iluminación en las edificaciones. (Durmi, 2017).

Actualmente los diseños y la materialidad de los sistemas de protección solar en la arquitectura pueden representarse como tácticos o dinámicos de esta forma cualquier sistema de protección puede juzgar con la integración de los entornos que lo rodean con la función de determinar el confort y consumo energético, los nuevos sistemas en comparación del muro tradicional se logra evidenciar que tiene muchas diferencias como pueden ser en los acabados, aislamiento acústico, térmico la expresión con el entorno y tecnología entre otras. En la incorporación de tecnología un sistema de protección solar puede lograr una adaptación a un diseño específico o a las condiciones medio ambientales proporcionando una flexibilidad al sistema que puede ser fijo o movable.

Existen varios sistemas de protecciones solares que pueden incorporarse en las edificaciones.

El sistema tipo persiana es un elemento móvil mecánico que se coloca en el exterior o interior de un balcón o ventana para regular el paso de la luz y el control de la privacidad, los grandes tipos son las exteriores y las interiores a la ventana, las exteriores tienen la ventaja de que protegen el cristal cuando llueve, evitando así el tener que limpiarlo y como desventaja, se encuentra los puentes térmicos, por lo que necesitan aislarse o a veces suelen sustituirse por contraventanas.

Las persianas se subdividen y se distinguen una de las siguientes clases: enrollables, venecianas y romana.

Las enrollables son las más comunes, su principal ventaja, aparte de impedir totalmente el paso de la luz, consiste en el aislamiento de las ventanas del exterior, tanto de las inclemencias del tiempo, como añadiendo una cámara de aire extra que amortigua la contaminación sonora del exterior. además, una vez que se suben dejan la ventana completamente despejada.



Figura 9. persiana enrollable casa Milá Fuente: <https://www.lapedrera.com/es/la-pedrera>

La veneciana está compuesta de láminas de distintos materiales como madera, aluminio, plástico, PVC, entre otros dispuestas en forma horizontal. Según la inclinación que demos a las láminas nos permite regular el paso de luz. Su principal ventaja es una mejor regulación de la cantidad de luz que entra en la habitación, aunque sin poder eliminar por completo el paso de esta, también son consideradas como el mejor tipo para funciones de regulación de la temperatura de la habitación, ya que se logra el paso deseado de luz, mientras se refleja hacia el exterior el resto, y permitiendo el paso de una corriente de aire sin dificultad a través de ella.

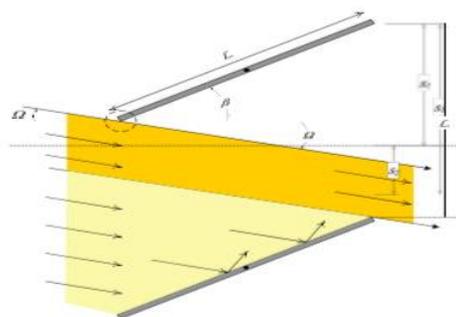


Figura 10. Transmisión directa e indirecta en persiana veneciana plana 2008, Athanassios Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X08001345>

La romana como la enrollable pueden bloquear totalmente el paso de la luz, pudiendo proteger la ventana de las inclemencias del tiempo, aunque no llegan a ser tan robustas como estas, teniendo problemas a largo plazo en sus juntas y problemas para el giro, y de polvo en las guías en el caso de las horizontales, lo que acaba con la degradación de la persiana.

Como solución inmediata de protección del sol directo mediante el uso de persianas que se manejan manualmente para proporcionar un efecto de sombreado completo, independientemente de la orientación de la fachada. La mayoría de la gente elegiría persianas debido a su costo beneficio. (Kim, 2010)

También se encuentran otras protecciones en las fachadas como las láminas perforadas.

Laminas Perforadas: la columna con los diagramas (a) muestra un ejemplo de la aparición de este sistema de construcción, utilizado en una fachada particular, también se logra ver desde el interior de un edificio con malla metálica perforada, mientras que la columna con los diagramas (b) representa el comportamiento térmico de la fachada expuesta a la radiación solar y el comportamiento térmico básico, ver (figura 11)

Las fachadas de doble piel como lo son las láminas perforada son un ejemplo de mecanismo de control solar para los edificios. Las sensaciones visuales que ofrecen estas chapas desde el interior son a veces consideradas el aspecto negativo en términos de funcionalidad.

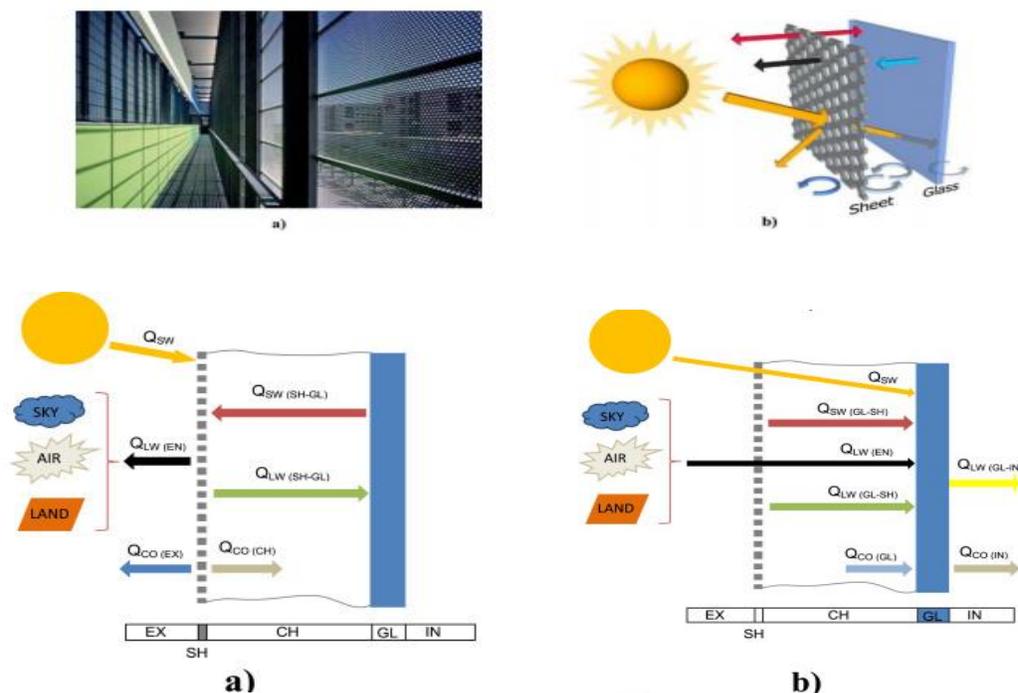


Figura 11. Comportamiento térmico básico en laminas perforadas 2014, Blanco Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132314002595>

Las protecciones solares en sus diferentes sistemas buscan disminuir el comportamiento térmico interior, sin embargo, las edificaciones tienen otros comportamientos energéticos y térmicos por otras ganancias de calor.

Comportamiento energético interior en edificios vidriados

Comportamiento térmico interior viene dado por los valores de temperatura interior las ganancias de calor por parte de la envolvente, los habitantes y los equipos eléctricos y la

sensación térmica interior dada por los índices de bienestar. En este apartado se explicarán lo concerniente a confort térmico de las edificaciones en el cual se consideran las temperaturas internas y los flujos energéticos interiores que determinan este comportamiento térmico interior.

Confort térmico en edificios de oficina

La molestia o comodidad que se ocasiona por las características y elementos ambientales en un espacio arquitectónico, abierto o cerrado es a lo que normalmente le llaman “bienestar”, que puede ser dependiente o independiente de nuestra percepción. Este bienestar puede ser una sensación inconsciente, que en casos sólo se reconocen si alguna circunstancia hace consciente determinada incomodidad.

Se entiende que *“la temperatura en la oficina forma parte del confort ambiental junto a la iluminación y al ruido, según el INSST hay confort térmico cuando las personas no sienten calor ni frío, se encuentran en una temperatura favorable para la actividad que están realizando. (Quiroprevencion, 2018).*

Es claro que el confort térmico es inherente a las personas y no a los espacios, es decir es el individuo el que define las condiciones de los índices aceptables de un estado de confort térmico, y son estas condiciones las que son aceptadas por contextos diversos, siendo estos contextos interiores o exteriores. Existen una diversidad de índices como el de intervalo óptimos de actividades que ejemplifica de acuerdo con diversos autores sobre lo que debería ser los índices que definen en confort térmico, pero se podría entender que esta diversidad es de valores que se enmarcan entre los 18 y 26°C y que, si se toman valores más concentrados, se entenderá que existen otros valores también dentro de lo permisible. (Cortes, 2015)

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

El balance térmico se produce cuando el cuerpo pierde y gana calor a la velocidad adecuada manteniendo su temperatura en 37°C logrando equilibrar los intercambios energéticos; si las pérdidas son más rápidas generan sensaciones de frío, pero si la velocidad es más lenta, de produce sensación de calor.

Se definen intervalos óptimos de temperaturas en actividades sedentarias:

Tabla 4.

Intervalos óptimos de actividades sedentarias 2006, ISO 7730.

		MINIMO U		MAXIMO U		
Temperatura del aire (Ta)	Confort	21	c°	26	c°	Givoni
	Permisible	20	c°	27	c°	
Temperatura del aire (Ta)	Confort	20	%	75	%	Givoni
	Permisible	20	%	80	%	
Temp. radiante media (Tr)	Confort		%		%	
Velocidad del viento (v)	Confort	21	m/min	30.5	m/min	ASHRAE

Fuente://multimat.es/wp-content/uploads/2017/05/Principios-basicos-instalaciones-domesticas-multimat.pdf

La norma ISO 7730 para el confort termico nos aclara que los resultados son razonablemente validos siempre que las variables esten en los rangos:

Tabla 5.

VARIABLES y valores 2006, ISO 7730

VARIABLES	VALORES
M (Actividad metabólica, 1 met=58w/m ²)	0.8-2 met
ICL (Resistencia ropa, 1 clo 0.155m ² c/w)	0-clo
Ta (Temperatura del aire)	10 - 30 °C
Pa (Presión del vapor de agua)	0 - 2700 Pa
Tmrt (Temperatura media radiante)	10 - 40 °C
V (Velocidad del aire)	0 - 1 m/s

Fuente: <https://multimat.es/wp-content/uploads/2017/05/Principios-basicos-instalaciones-domesticas-multimat.pdf>.

La “Tabla 6” muestra los valores de varios parámetros ambientales recomendados por la norma UNE EN ISO 7730:2006.

Tabla 6

. Recomendaciones para el bienestar termico en oficinas 2006

LOCALES CERRADOS, TRABAJOS SEDENTARIOS		
1. Para conseguir un bienestar térmico Global con un PPD<10%		
Temperatura operativa	Invierno (época calefacción)	20°C - 24°C (si se lleva ropa 1 clo)
	Verano (época refrigeración)	23°C - 26°C (si se lleva ropa 0.5 clo)
	Velocidad del aire	<0.1m/s
2. Para conseguir bienestar local con un PD < 5% (aparatos a y c) y un PD < 10% (aparatos b)		
a.	Diferencias entre la temperatura del aire a la altura de la cabeza (1.1m del suelo) y a la de los tobillos (0.1 m del suelo)	< 3°C
b.	Rango de temperatura del suelo	De 19°C a 29°C
c.	asimetría Debido a techo caliente	< 5°C
	de Debido a una pared/ ventana fría	< 10°C
	temperatura Debido a un techo frío	< 14°C
	radiante Pared/ventana caliente	< 23°C
3. Para bienestar térmico y evitar la humedad de la piel y la mucosa.		
	Humedad relativa del aire	30% - 70%

Fuente: <https://multimat.es/wp-content/uploads/2017/05/Principios-basicos-instalaciones-domesticas-multimat.pdf>

Para mantener el confort, el cuerpo debe disipar el calor metabólico hacia el exterior, pero solo hasta lograr el equilibrio térmico, resumido, las ganancias de calor en el cuerpo deben ser

proporcional al calor que va al exterior, al momento de perderse el equilibrio, debido al metabolismo u condiciones del ambiente se llega al discomfort.

Índice de Bienestar Térmico Personal: como el bienestar térmico es producto de una interacción compleja de parámetros ambientales, se crearon los índices de bienestar con la finalidad de intervenir en el bienestar térmico. Unos de los índices son:

El voto medio predicho (**PMV**), está concebido con la finalidad de cuantificar la desviación de los niveles de confort, es decir determinar el grado de incomodidad de un espacio determinado. Este es una ecuación compleja que agrupa, actividad, arropamiento, temperatura del aire, temperatura media radiante, humedad, y movimiento del aire mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 PMV = & (0,303 * e - 0,036 * M + 0,028) * \{(M - W) - 3,05 * 10 - 3 * [5733 * 6,99 \\
 & * (M - W) - pa] - 0,42 * [(M - W) - 58,15] - 1,7 * 10 - 5 * M * (5867 \\
 & - pa) - 0,0014 * M * (34 - ta) - 3,96 * 10 - 8 * f_{ropa} * [(T_{ropa} + 273)^4 \\
 & - (t_{mr} + 273)^4] - f_{ropa} * hc * (T_{ropa} - ta)
 \end{aligned}$$

El porcentaje de descontentos (**PPD**) es una ampliación del PMV, para establecer una relación porcentual de sujetos no satisfechos con las condiciones de los espacios.

El índice de verano tropical (**TSI**) es la temperatura del aire en calma a 50% de humedad relativa que imparte la misma temperatura sensación como el entorno dado.

El índice de estrés por calor (**HSI**) se define como la relación de la cantidad de transpiración requerida en relación con la capacidad máxima de la persona promedio para transpirar.

La sensación térmica (**TS**) es la sensación de temperatura, que refleja la respuesta de los termorreceptores. Como la sensación térmica está relacionada con cómo se "siente" la gente, no es posible definirla en términos físicos o psicológicos (Hensen 1991).

La temperatura equivalente (**T EQUIV**) es a la temperatura que deberían tener el aire y un espacio para provocar en el usuario una sensación térmica. Este índice relaciona parámetros como temperatura del aire, temperatura media de las superficies, humedad y velocidad del aire, se puede determinar (R. Serrá, 1995)

$$te = 0,6ta + 0,4tms + 2,85 \ln(v + 1) * Th[(ta - 37,5)/5] + 2Sgn(0,5 - HRu) * Th[(17 - ta)/4] * Th[(HRu - 0,5)/2]$$

Antecedentes

En este capítulo se muestran las investigaciones relacionadas con el comportamiento térmico y estrategias para el control solar que sirven para fortalecer determinadas funciones

Estudio de investigaciones relacionadas con el comportamiento térmico y estrategias para el control solar

Adaptación y control solar con protecciones sobre la fachada en climas tropicales

En la evaluación de estrategias de control solar en edificaciones con diseño bioclimático, su objetivo de estudio fue la Escuela de petróleo ubicada en la ciudad de Maracaibo Venezuela, por su posición geográfica esta ciudad es caracterizada por un clima de altas temperaturas relativas, los valores higrotérmicos de Maracaibo se ubican durante todo el año dejando por fuera zonas de confort térmico, en este estudio se presentan múltiples acertadas soluciones frente a la protección de los rayos solares para lograr evitar el calentamiento interno de la edificación y el deslumbramiento en los espacios de la Escuela de petróleo (Quirós 2005).

Aporta un soporte conceptual y científico a la investigación de elementos de protecciones solares en la ciudad de Barranquilla, ya que Maracaibo y Barranquilla tienen una latitud similar, Maracaibo con una latitud 10.6 y Barranquilla una latitud 10.9 siendo así que las soluciones realizadas en Maracaibo pueden emplearse en la ciudad de Barranquilla para disminuir la ganancia de calor en las edificaciones en climas cálidos, en estas condiciones, se requiere de la sombra y del movimiento del aire como constantes para reestablecer la condición de bienestar. El sombreado evita el impacto de la radiación solar directa sobre el cuerpo humano y las superficies que lo circundan, acentuando de esta manera, la diferencia de temperaturas entre dichas superficies mayores a 35°C y el cuerpo, lo que permite una mayor transferencia de calor desde el

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

cuerpo por radiación, conducción y convección. La ventilación es necesaria para producir pérdidas de calor del cuerpo por convección y evaporación, reduciendo así, el impacto de la temperatura y aliviando la sensación de incomodidad por el exceso de presión del vapor, los métodos para determinar los ángulos solares y sus herramientas, en las edificaciones la orientación influencia en las contribuciones energéticas hacia los espacios interiores. Las paredes más largas de las edificaciones del conjunto de la Escuela del Petróleo, destinadas a aulas de clases, laboratorios y administración académica que están orientadas hacia el norte y sur franco donde a pesar de su incidencia del sol en el período diurno, los rayos solares son menos intensos y más fáciles de controlar. Estas paredes en dirección este-oeste, representan cerca del 87% del área total de fachadas; mientras que las más cortas (cerca del 13%), están expuestas hacia el este y el oeste, donde la radiación es directa y es más difícil el control sobre esta fachada, en la Escuela de Petróleo se presentaron ejemplos de soluciones volumétricas frente al asoleamiento, usaron volúmenes articulados entre bloques que son capaces de reducir en un 60% la radiación solar sobre las fachadas, volúmenes voladizos que proporcionan sombra sobre las fachadas inferiores y también cuentan con el uso de dispositivos o mecanismos de control solar como: persianas verticales, romanillas móviles, sistemas de romanillas fijas, pantallas de celosías, cubiertas conectoras y aleros aislados, Estas envolventes de persianas se disponen en forma separada de la fachada, formando unos pasillos perimetrales, En síntesis, la Escuela del Petróleo es el resultado arquitectónico de la adaptación a las determinantes del diseño en un medio tropical: el sol y el viento, a la radiación solar se le aplicó criterios de orientación de las fachadas, distribución de las aberturas, concepción volumétrica de las edificaciones, uso de dispositivos de protección solar

Incidencia de las protecciones solares en el interior de las edificaciones.

Por otra parte, en la investigación de las incidencias de las protecciones solares en las temperaturas interiores en climas cálidos húmedos investigado por Quirós, Machado, Rubio y Bodington de la Universidad del Zulia, Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño, el análisis se enfoca al uso de las protecciones solares y del retranqueo en las aberturas reduciendo la ganancia de calor hacia el interior de los espacios, el retranqueo en las ventanas se utiliza para controlar el aporte energético solar en los años, el efecto consiste en generar sombra para así impedir la incidencia de la radiación solar directa sobre el vidrio y el ingreso al interior de la edificación. se analiza la estrategia de protección solar en aberturas para determinar la eficacia con respecto a la ganancia de calor o comportamiento térmico en el interior, la metodología se puede emplear en esta investigación, ya que se puede emplear la ganancia de calor en el interior con y sin protección solar. El análisis de esta investigación se llevó a cabo con las 8 orientaciones típicas de fachada que son (N, S, E, O, NE, SE Y SO) mostrados resultados acertados de la incidencia del sol en aberturas con o sin retranqueo con resultados favorables

Su información conceptual se centra en la determinación en la influencia del tamaño del retranqueo en la ventana los cuales se usaron 4 tipos de retranqueo, de 15cm, 60 cm, 120cm y 240cm, para así evaluar la ganancia de calor, en el mes de junio al usarse el retranqueo de 15 cm el factor solar es de 100%, es decir la radiación es directa; si se utiliza el retranqueo de 60 cm, la reducción será de un 40% respecto a la ventana sin retranqueo, al momento de usar el retranqueo de 120 cm, las fachadas N, S, SO, SE, no reciben radiación directa y la disminución será en un 60% aproximadamente, al usarse el de 240 cm el factor solar disminuye en un 50% respecto al anterior. (Quirós, 2000), el análisis también se hizo con tres alternativas, abierta las 24 horas con

una renovación de aire 30 cambios por hora, cerrada las 24 horas con aire acondicionado y cerrada durante el día con aire acondicionado y abierta durante la noche, esto concluyo que los espacios abiertos las 24 horas mantienen un intercambio de calor del interior con el exterior, no es necesario colocar protección solar, ya que las diferencias de temperaturas en el interior no son superiores a 1°C, es decir en los meses frescos (diciembre – abril) no se requieren aberturas con retranqueo, en cambio en los meses húmedos (mayo – noviembre) y sin movimiento de aire se necesita el retranqueo, en los modelos cerrados con aire acondicionado, es necesario utilizar un retranqueo en sus caras para disminuir las cargas térmicas en el interior y en modelos cerrados durante el día y con aire en la noche se recomienda al momento de usar el aire acondicionado proteger con retranqueo cuyas caras perpendiculares correspondan al 50% del área de la ventana y como conclusiones generales en modelos sin protección solar ni uso acondicionamiento mecánico la fachada más desfavorable es la este, también se observa que edificios de oficinas con sistemas de enfriamiento mecánico es necesario el uso de protecciones solares para disminuir el consumo energético.

Otra evaluación, basada en iluminación natural y asoleamiento en viviendas con climas cálidos húmedos, desarrollada por los arquitectos José Indriago, Rosalinda González, Pablo La Rache, Francisco Mustieles, María Machado e Ignacio Oteiza, este análisis se basa en latitudes con climas cálidos húmedos como Venezuela, que deben diseñarse edificaciones que permitan reducir la influencia en la radiación solar directa y reflejada, en este caso se observan las ventanas, ya que por estas hay ganancia de calor.

El trabajo trata dos aspectos importantes que inciden en el confort ambiental: la iluminación natural en los espacios, estudiada experimentalmente a través de una maqueta escala y el asoleamiento interior y exterior, analizado a través de un modelo digital tridimensional de la

vivienda bioclimática. Se realizó el análisis de la iluminación natural dentro de la vivienda, determinando valores (análisis cuantitativo) de iluminancia (luxes). y el asoleamiento interior (análisis cualitativo), para determinar de manera visual si la VME. estaba suficientemente protegida para impedir el paso de luz directa dentro de los recintos de la vivienda.

El procedimiento realizado, según especifica el método, es medir la iluminancia en el interior del modelo en los espacios seleccionados, dibujando una retícula (1 x 1 m, para este caso de estudio. a escala 1:20). El sensor del luxómetro se movió en cada uno de los puntos, que estaban identificados con números y letras. De acuerdo con esta investigación podemos aprender a predecir cambios y comportamiento de la iluminación natural y crear espacios confortables y también que la reflexión alta de las superficies también contribuye a la generación de calor en la vivienda, ya que la luz al ser absorbida por otras superficies, se transforma en calor y luego es emitida en el interior, por lo que se deben disminuir los niveles de iluminación natural dentro de la vivienda, esto se lograría con el uso de colores menos reflectivos que el blanco, también

Impacto del sol en envolventes vidriadas

En la evaluación del impacto del sol en envolventes vidriadas, analiza la alternativa y verifica las características, dimensiones y diseño de aberturas, cuya geometría proporciona protección solar en todas las fachadas, el proyecto contemplaba la completa climatización de los edificios, incorporando al mismo tiempo estrategias pasivas para reducir el consumo de energía. Así, la envolvente fue proyectada como una pantalla conformada por fachadas con doble piel vidriada y hormigón a fin de controlar las ganancias por radiación directa y las pérdidas térmicas, reduciendo las cargas del sistema de climatización.

Se evaluaron las ventanas constituidas por una continuidad de aberturas rectangulares de 2.84 m de altura y ancho variable entre 0.80 m exterior y 0.60 m interior. El dintel de la ventana presenta un espesor constante de 0.35 mts que alberga un vidrio simple exterior, cámara de aire ventilada y doble vidrio hermético interior, conformando de esta manera una doble piel de triple vidriado.

Los porcentajes de transmisión de radiación solar a través de las fachadas se determinaron a partir de la intensidad de radiación solar directa, difusa y reflejada sobre el exterior de cada fachada en verano, y la proporción de esta radiación transmitida, considerando la geometría y sombra producida por el diseño de las ventanas y la absorción del vidrio, 55 % aplicada a la superficie del vidrio o 27 % aplicada a la superficie de la fachada, la transmisión de luz visible de vidrio, con tres vidrios incoloros y tratamiento de baja emisividad es 66 %, este porcentaje representa la transmisión máxima posible con tres vidrios. Para este caso, la transmisión de radiación solar es 44 % con factor solar de 56 %

A tal fin, se elaboraron recomendaciones para las fachadas más críticas, tendientes a lograr adecuado control solar, reducir el impacto de las reflexiones provenientes de múltiples fachadas enfrentadas y disminuir los requerimientos energéticos para acondicionamiento térmico, también se mencionan que las fachadas más asoleadas son las E, SE, S, SO, O que presentan mayor incidencia en el interior de la edificación generando mayor ganancia de calor y que La utilización de protección solares móviles, como cortinas, persianas entre otros, resulta un recurso inevitable en la mayor parte de los casos, aún en aquellas orientaciones que no reciben ganancia solar directa. Esto se debe a la radiación solar sobre el vidrio producido en las fachadas que tienen incidencia solar directa.

(Evans, 2003)

Marco metodológico

Tipo de investigación

Este estudio es de tipo descriptiva – experimental, descriptiva debido a la búsqueda de factores a través de manipulación de variables, en simulaciones digitales en donde se integra, organiza y evalúa distintas informaciones teóricas existentes basadas en la problemática ya expuesta, el impacto de radiación de fachadas vidriadas y dar respuesta a los objetivos de estudios por lo tanto se generó una solución de diseño de tipo experimental debido a la búsqueda de factores a través de la manipulación de variables, simulaciones de casos y pruebas, esto dará paso a las conclusiones.

Localización.

Barranquilla está localizada en el vértice nororiental del departamento del Atlántico, sobre la orilla occidental del río Magdalena, a 7,5 km de su desembocadura en el mar Caribe. Tiene una extensión de 154 km² equivalentes al 4,5 % de la superficie del departamento del Atlántico. Las coordenadas geográficas se establecen tomando como referencia el punto cero de la ciudad ubicado en la plaza de la Paz. Según Google Earth, la altura de la ciudad varía entre los 0 msnm en el tajamar occidental, hasta máximo 142 msnm en el barrio La Cumbre, con una Latitud: 10.9878, Longitud: -74.7889, Latitud: 10° 59' 16" Norte, Longitud: 74° 47' 20" Oeste. El clima de Barranquilla es un clima tropical, cálido húmedo extremo.

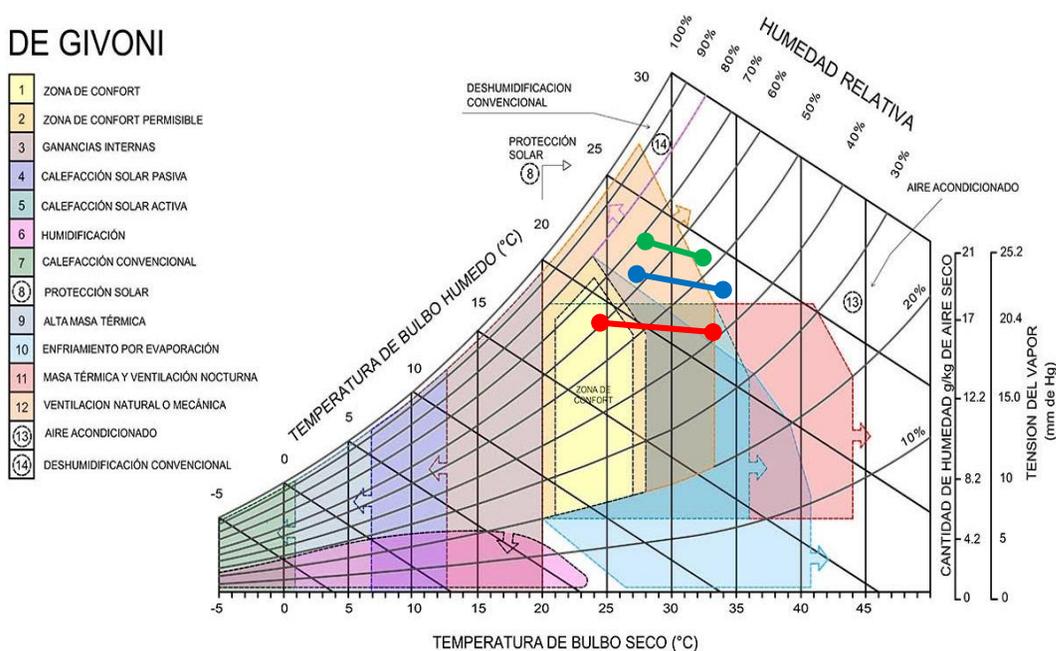
Localización del sistema de protección solar

El edificio de uso empresarial Serfinanza se encuentra ubicado la ciudad de Barranquilla, en la calle 72#54-35, con una latitud de 10.96 con longitud -74.78. Latitud con dirección al norte 10°59' 56"N y la longitud 74° 48' 04" O. la fachada vidriada se encuentra en la fachada sureste.

Zona de bienestar térmico para Barranquilla.

El climograma de Givoni (Figura 17) al aplicarlo en el clima de Barranquilla que son climas húmedos presenta como estrategia para llegar a confort se tiene que sombrear, otra estrategia es ventilar ya sea de forma mecánica o natural, también presenta en un punto zona de confort permisible y el uso de protecciones solares.

Figura 12. Grafico psicrométrico de Givoni aplicado en la ciudad de Barranquilla. (Givoni, 1966)



■ Calculo en el mes de junio. ■ Calculo en el mes de septiembre. ■ Calculo en el mes de diciembre.

Fuente: Elaboración propia a partir de <https://images.app.goo.gl/3o7ATKpa6heh1A3j6>

Muestra.

Tipología Arquitectónica

La tipología arquitectónica para analizar es una torre empresarial, es un bloque vidriado compuesto por dos volúmenes desfasados, el edificio tiene una fachada vidriada que va desde el

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

primer piso hasta el doceavo piso en su cara sureste, el edificio cuenta con doce pisos y un sótano, tienen un área por piso de 378m²



Figura 13. Vista exterior edificio Serfinanza Fuente: <https://www.google.com/maps/@10.9660905,-74.7936707,17z>

El edificio en la parte constructiva está elaborado con bloques, losas de entre piso de concreto con acabado en cerámica y divisiones interiores con muro de yeso cartón.

Materiales del edificio

Estos materiales presentan unas características termo físicas que vienen determinadas por la conductividad térmica, su densidad y peso específico estos materiales serán implementados en el programa Revit para una recolección de datos mas certera.

Tabla 7.**Tabla de materiales de construcción en el edificio.**

Materiales			
Pisos	Peso específico kg/m³	Conductividad W/m^{°K}	Densidad kg/m³
Concreto	2400	0.81	2200
Mortero	2100	0.817	1300
Muros	Peso Kg/m²	Conductividad W/m^{°K}	Densidad kg/m³
Bloque	205	0.35-0.79	23
Yeso cartón	>5.2	>0.23	800

Fuente: Elaboración propia.

Instrumentos de Recolección de Datos

Para llevar a cabo los análisis se implementaron varios programas de modelación que es Revit, permite las simulaciones 3D, en donde se incluye las estancias a estudiar, por lo tanto, se analiza los planos de fachadas y los elementos de configuración del entorno que puedan generar sombra, también programas de simulación de ángulos solares que fueron, Geosol y Earth Tools para identificar los ángulos solares y cálculos de posición del sol, y por último Design Builder es un software térmico que permite el análisis energético y medioambiental de edificios, que con ciertos parámetros se pueden manipular para obtener resultados más reales a las edificaciones a estudiar.

Revit

Es una herramienta informática de interfaz gráfica de diseño y modelación paramétrica en objetos inteligentes y en tres dimensiones, para plasmar el edificio y que sirva para diseñar el prototipo de quiebrasol, permite al usuario diseñar con elementos de modelación y dibujo

paramétrico. BIM es un paradigma del dibujo asistido por computador que permite un diseño basado en objetos inteligentes y en tres dimensiones. De este modo, Revit provee una asociatividad completa de orden bidireccional. Un cambio en algún lugar significa un cambio en todos los lugares, instantáneamente, sin la intervención del usuario para cambiar manualmente todas las vistas.

Procedimiento para el armado del modelo y la protección solar Software Revit:

1. Digitalización de la planta de la edificación.
2. Automáticamente se crea el modelo básico tridimensional del edificio.
3. Calibración del modelo.
4. Ubicación real del edificio.

Revit también permite la creación de masas con materialidad para así proceder a crear o diseñar complementos en la edificación, siendo así se prosigue a la elaboración del diseño.

5. Diseño de prototipo de protección solar para todas las orientaciones y digitalización de planos de la protección solar.

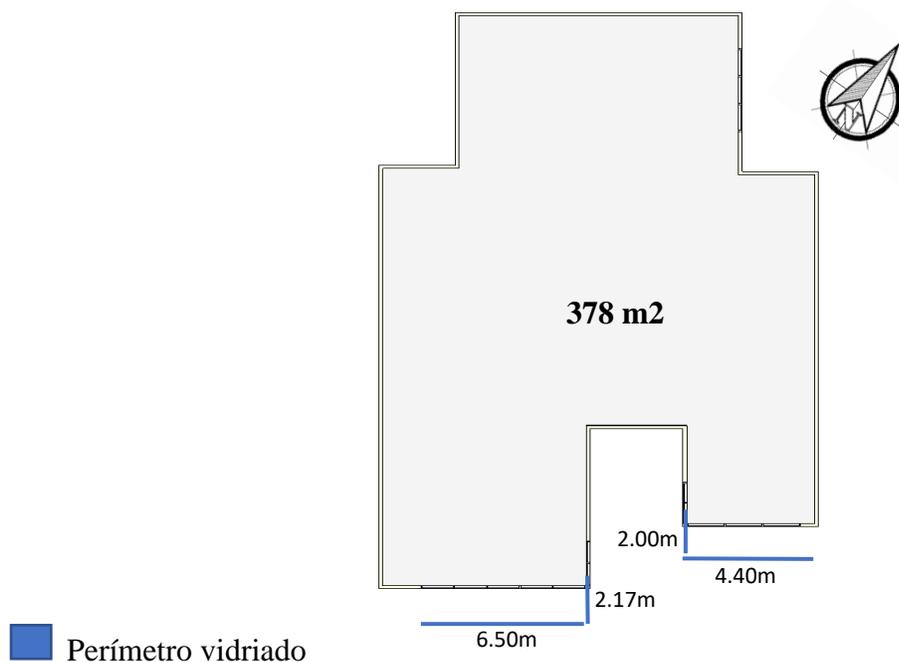


Figura 14. Planta tipo edificio serfinanza 2020. (Acevedo, Guevara) Fuente: elaboración propia

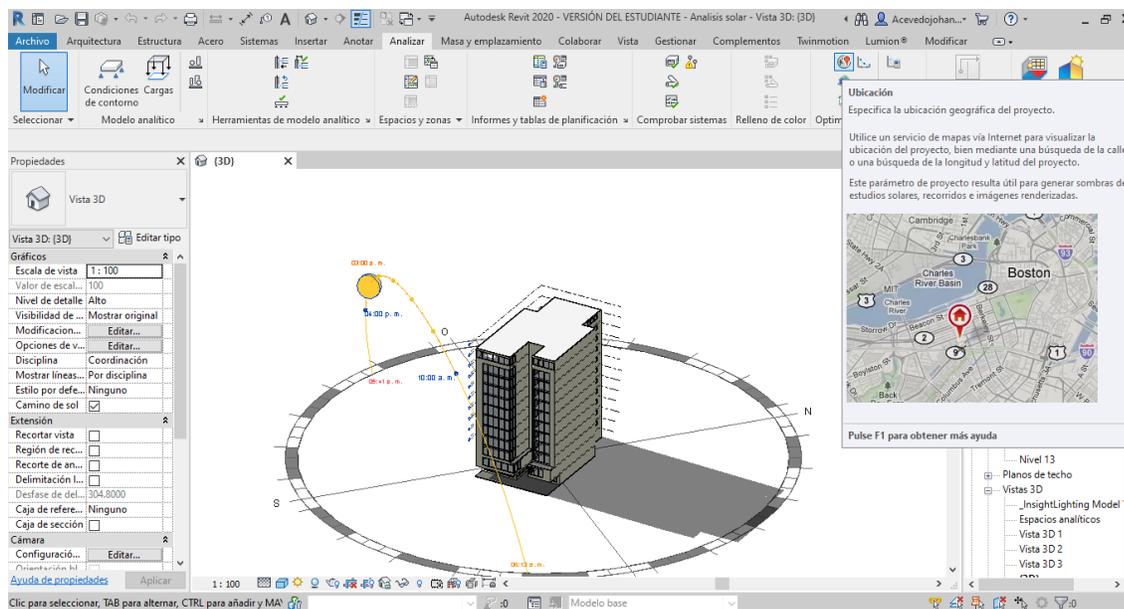


Figura 15. Utilización del software Revit. (Acevedo, Guevara) Fuente: Elaboración propia en software Revit.

Principalmente para que el software arroje los datos correctos se debe ubicar el proyecto en su ubicación real, para esto hay dos formas, ya sea por coordenadas o por uso del Maps.

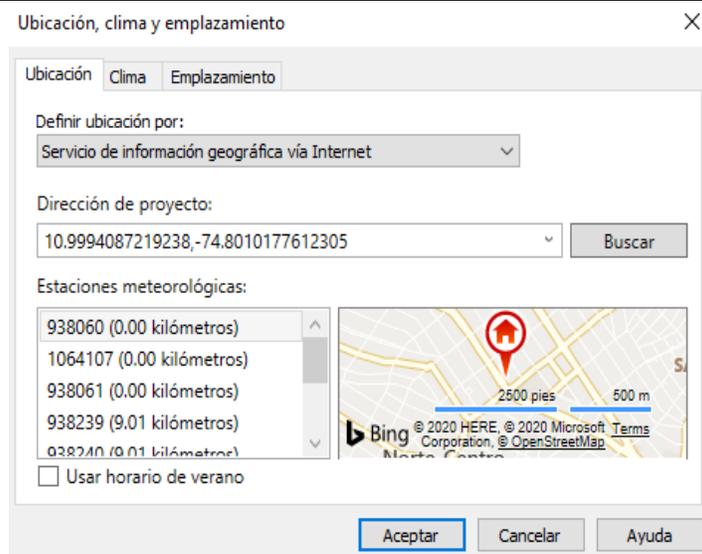


Figura 16. Utilización del software Revit. (Acevedo, Guevara) Fuente: Elaboración propia en software Revit.



Fuente: Elaboración propia. Software Revit

Después de la creación del edificio con la materialidad, se procede a la solución de diseño de la protección solar que evite la radiación solar directa y anule los rayos de onda larga en el interior.

Geosol

Es un software de cálculo y graficado que permite obtener horas solares, declinación solar en fechas consignadas, ángulo, altitud y azimut solares hora por hora e irradiación solar directa, difusa y total.

Procedimiento para simulaciones en Geosol.

1. Insertar datos específicos del lugar (latitud, longitud, horario de horas).
2. En datos del plano ingresar valores de pendiente y ángulo en grados ($^{\circ}$).
3. Analizar en carta solar diferentes ángulos en día y mes seleccionado.

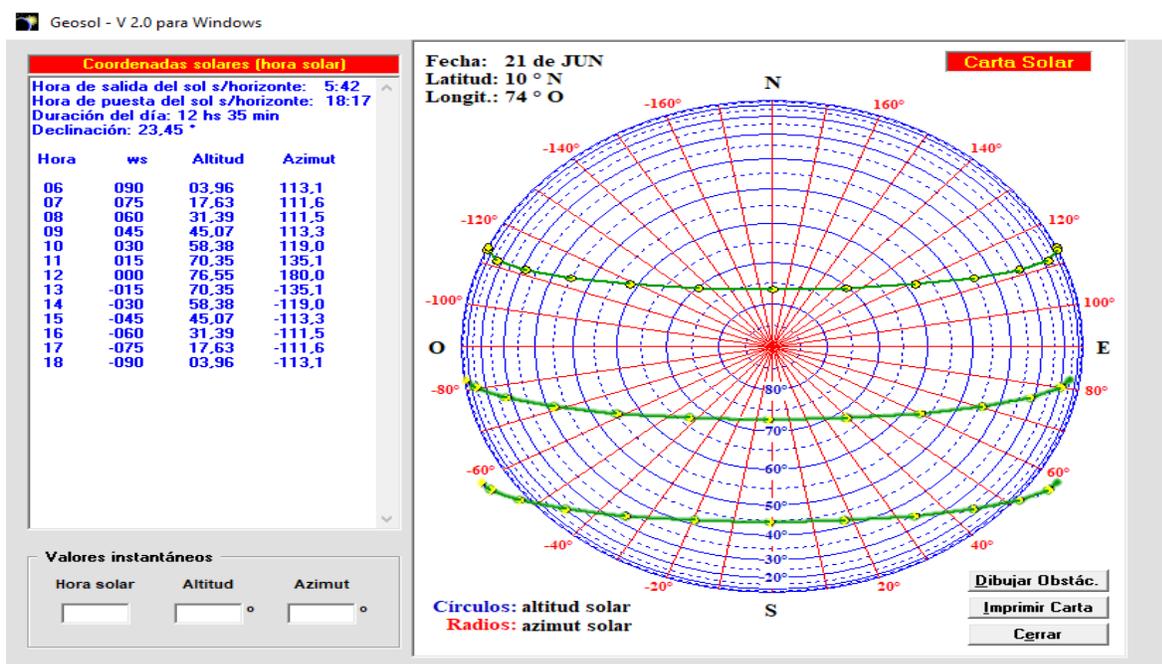


Figura 17. Carta solar con coordenadas el día 21 en junio, septiembre y diciembre 2020, (Acevedo, Guevara)
Fuente: Elaboración propia. Software Geosol.

Con la carta solar el día 21 en los meses de junio, septiembre y diciembre, arrojo los ángulos solares hora por hora en este día para así usarlos en el diseño de la protección solar.

Earth-tools

Es una herramienta para analizar los ángulos solares con respecto a un proyecto, también permite la trayectoria del sol en diferentes días y meses del año.

Procedimiento para simulaciones en Earth-tools.

1. Seleccionar modalidad de uso.
2. Seleccionar un punto en el mapa (pulsando clic izquierdo).
3. Visualizar menú (clic derecho) para guardar la referencia.
4. Observar diferentes opciones (posición del sol, sombra, trayectoria del sol).

En este apartado se analiza la fachada sureste, en donde se analizarán las diferentes horas de la mañana y sus respectivas fechas del año para así obtener la posición del sol o ángulo solar y el azimut con respecto a la ubicación del caso de estudio considerando la latitud, para ver cómo afecta el sol directo que se recibe en la fachada sureste.

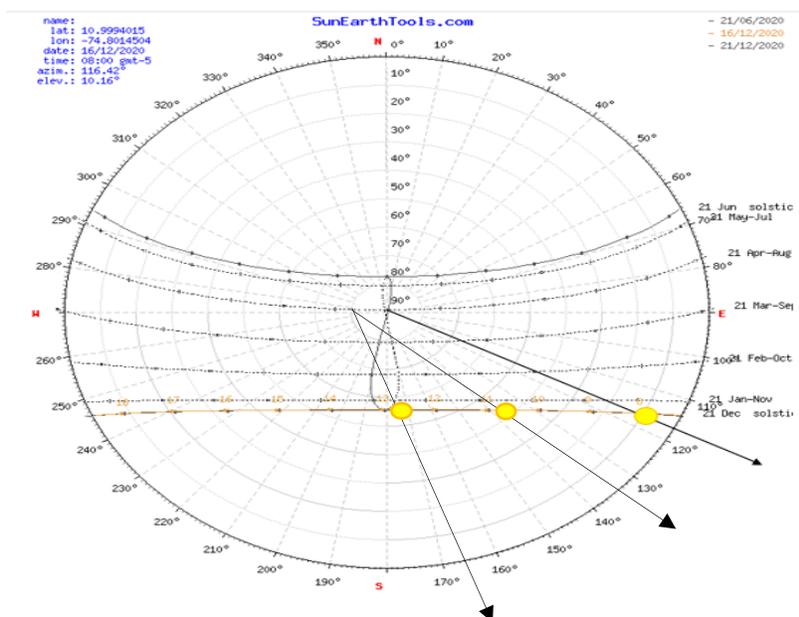


Figura 18. Carta estereográfica con ángulos solares para protecciones el 21 de diciembre, (Acevedo, Guevara)

Fuente: Elaboración propia. Software Earth-tools

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

Barranquilla el 21 diciembre a las 08:00 am tiene un azimut de 115° , con un ángulo solar de 10° , a las 10:00 am con un azimut de 129° , con un ángulo solar de 34.5° y a las 12:00 m el azimut está a 160° , con un ángulo solar de 53° .

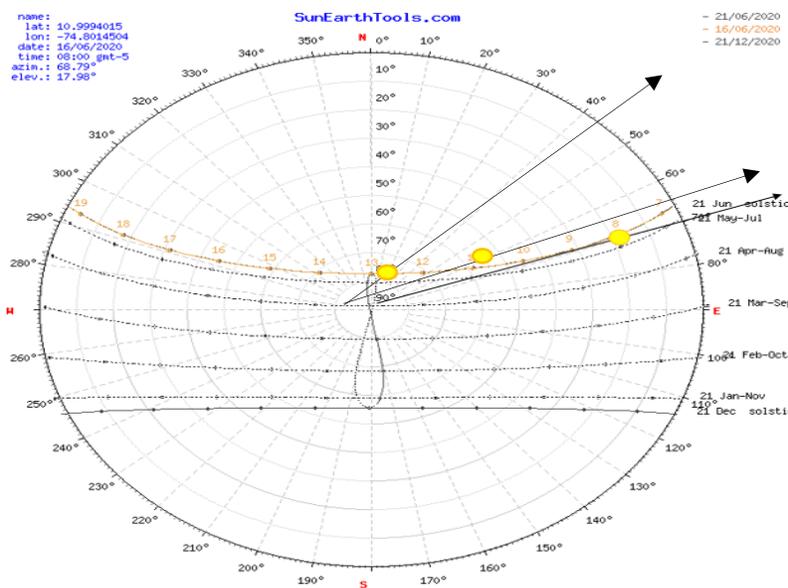


Figura 19. Carta estereográfica con ángulos para protecciones solares 2020, (Acevedo, Guevara) Fuente:

Elaboración propia. Software Earth Tools

Barranquilla el 21 diciembre a las 08:00 am tiene un azimut de 68° , con un ángulo solar de 18° , a las 10:00 am con un azimut de 68° , con un ángulo solar de 45.2° y a las 12:00 m el azimut está a 48° , con un ángulo solar de 78.5° .

Design Builder.

El programa Design Builder es un interfaz sólido y completo para, EnergyPlus, su motor de cálculo ofrece múltiples soluciones a todos los procesos energéticos y el manejo de etapas de simulaciones menores a una hora y calculo simultaneo, las simulaciones dinámicas con

EnergyPlus ofrece una comprensión detallada del desempeño ambiental y energético de los edificios en “tiempo real” empleando archivos de datos climáticos horarios

Para las simulaciones y cálculos se utilizará la herramienta Design Builder, que permite hacer los estudios exportando la volumetría realizada en Revit, en donde se incluirán las estancias a estudiar, por lo tanto, se analizará los espacios interiores y las temperaturas con y sin protecciones solares.

Design Builder es un software especializado en la simulación ambiental y energética de un edificio, ya que esta herramienta permite evaluar aspectos como los niveles de confort y sus diferentes simulaciones de alto desempeño para crear propuestas de diseño.

El software mide diferentes parámetros, el cual permite la opción de manipular diferentes variables como las renovaciones de hora dentro de la edificación, el uso de mecanismos de refrigeración, las ganancias de calor por medio de equipos, en este programa se procede a medir las cargas en KW en vidrios, muros, techos, suelos. También mide la temperatura del aire interior (°C), la temperatura radiante (°C), temperatura de bulbo seco (°C), humedad relativa (%), estos fueron los parámetros que se midieron con alternativa del uso protección solar y sin uso de la protección solar, estas variables las digitaliza en gráficos, los cuales son posibles exportarlos a Excel dando 5 decimales en el cálculo, se usan en el apartado de discusión de resultados.

- Parámetros de humedad relativa

Humidificación

Define un valor, entre 0% y 100% como consigna para humedad relativa en modo humidificación. El sistema de humidificación se activará cuando la humedad relativa sea igual o inferior al valor ingresado.

- Fracción radiante

Es un número decimal comprendido entre 0.0 y 1.0 se emplea para calcular la proporción de calor generado por los equipos que será emitido al espacio como radiación de onda larga. Un valor de 0.0 significa que las ganancias de calor serán emitidas exclusivamente por convección (todo el calor se transfiere al aire de la zona). Un valor de 1.0 significa que la ganancia de calor será emitida exclusivamente por radiación (todo el calor se transfiere a las superficies interiores) un valor típico es entre 0.1 y 0.2.

- Temperatura del bulbo seco

Cálculo de perfil diario de temperatura

Cuando se selecciona la opción 1-Multiplicadores predeterminados, los multiplicadores se toman del Handbook of reference ASHRAE 2009. EnergyPlus calcula una temperatura para cada hora a partir de la temperatura máxima. La ecuación es la siguiente:

$$T_{\text{actual}} = T_{\text{max}} - T_{\text{rango}} * T_{\text{multiplicador}}$$

Donde:

T actual = Temperatura en la hora actual del día

T Max = Temperatura máxima especificada

T rango = Rango diario de temperatura ($T_{mx} - T_{min}$)

T multiplicador = Multiplicador de rango

Los multiplicadores de ASHRAE, representa condiciones típicas durante el día. Por ejemplo, la temperatura más baja ocurre alrededor de las 5:00 y la más alta de las 15:00.

Según las investigaciones de ASHRAE indican que las temperatura del bulbo seco y las de bulbo húmedo tienen perfiles muy similares por lo que EnergyPlus usa el mismo perfil para determinar las condiciones de humedad.

Procedimiento para simulaciones Design Builder.

1. Primeramente, se realizó la escogencia de un software de simulaciones especializado para poder determinar análisis de soleamiento y cálculo de temperaturas (Design Builder)
2. Exportación del modelo de diseño Revit -Design Builder.
3. Configuración del diseño, ingreso de datos técnicos constructivos del objeto de estudio y climáticos de la ciudad a estudiar en este caso la ciudad de barranquilla.
4. Escogencia del tiempo de las simulaciones de estudio (Horas-Meses-Años).
5. Realización de simulaciones para determinar las condiciones en que se encuentre el objeto de estudio en este caso el edificio Serfinanza.
6. Implementación del sistema de protección solar en el programa de análisis Design Builder.
7. Realización de los cálculos climáticos del edificio.

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

Una vez iniciado el programa se procede introducir los datos climáticos del país y respectivamente la ciudad se verifican los datos climáticos del sitio.

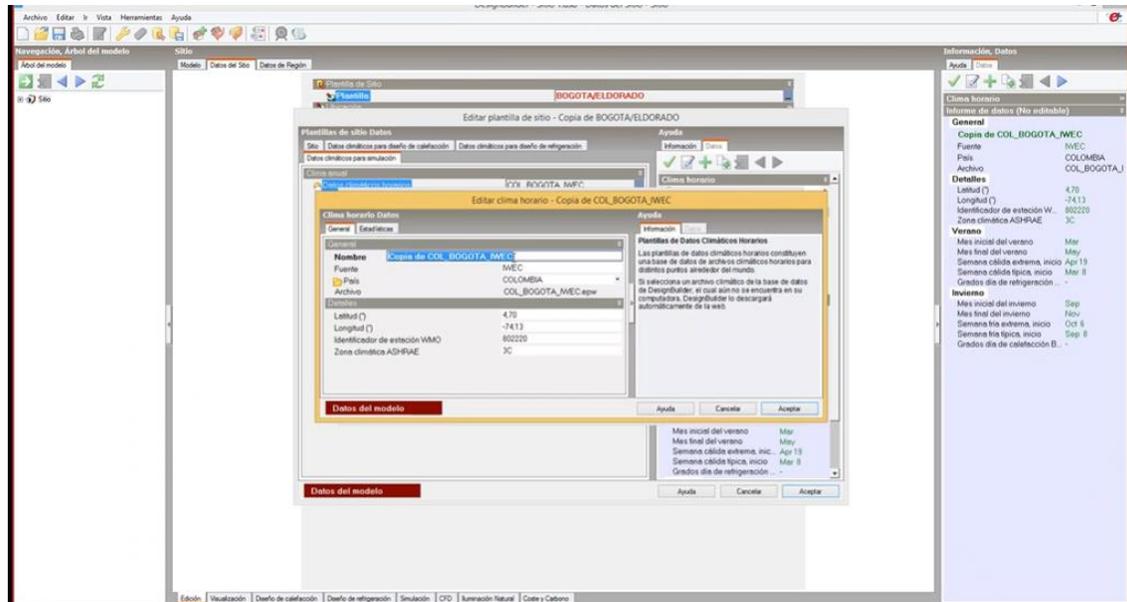


Figura 20. Utilización del software Design Builder. Fuente: Elaboración propia dentro del software Design Builder.

Luego se procede a realizar las simulaciones climáticas en el programa Design Builder, teniendo en cuenta los ajustes reales como los materiales los sistemas mecánicos de refrigeración, sistemas de vidrios cortinas que puede tener la edificación, sistemas de ventilación natural. Posteriormente se escoge el tiempo de simulación si es por horas, meses y años.

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

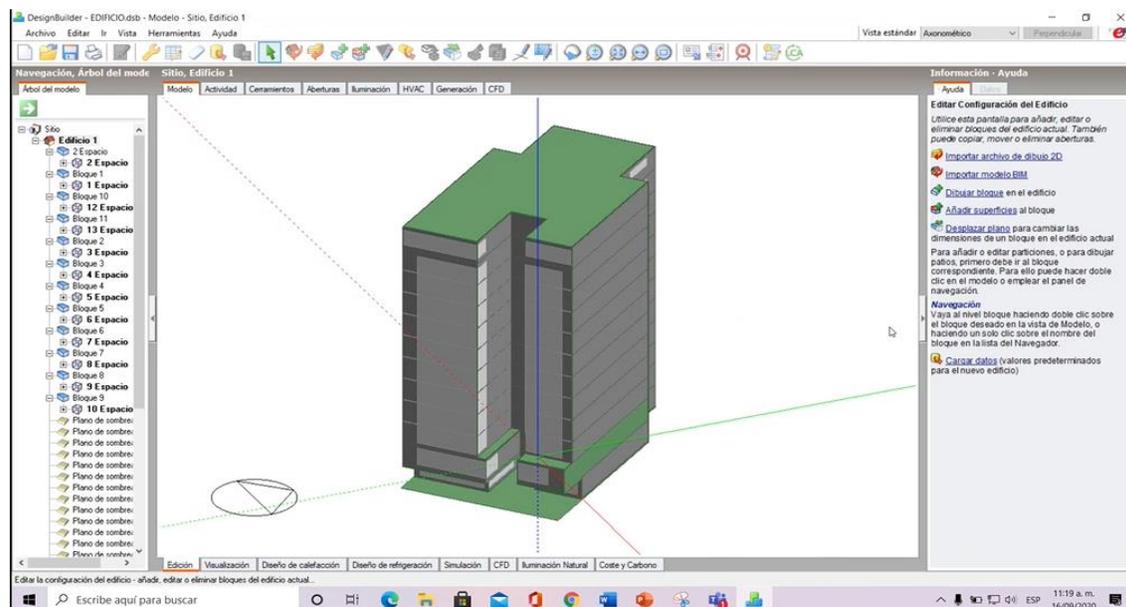


Figura 21. Modelo exportado desde Revit a Design Builder Fuente: Elaboración propia dentro del software Design Builder.

Una vez exportado y ajustado todos los datos climáticos y de materiales del edificio se procede a diseñar el sistema de protección solar en la fachada de estudio en este caso de edificio de oficinas.

Con las herramientas geometría en la sección de tipo de bloque seleccionando bloque de componente se utiliza para crear diseños de exteriores en este caso un sistema de protección solar.

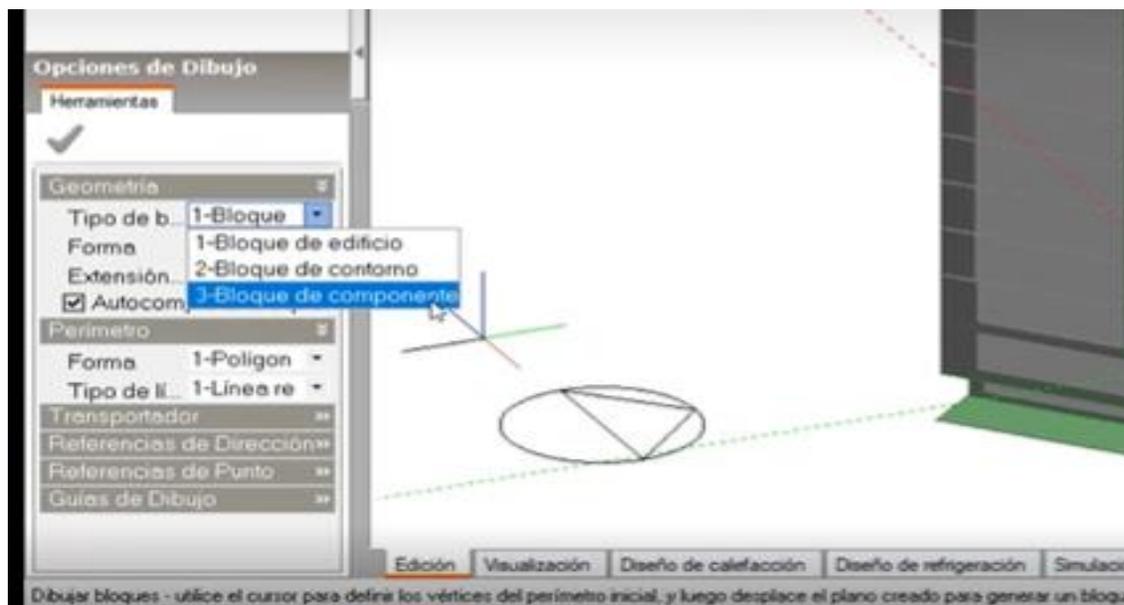


Figura 22. Utilización del software Design Builder. Fuente: Elaboración propia dentro del software Design Builder.

Para proceder a crear los quebrasoles, se toma el tipo de bloque como componente para así proceder a la creación del diseño en el edificio y realizar los cálculos dentro del programa.

Los cuales se presentan en gráficas y pueden ser exportados a Excel.

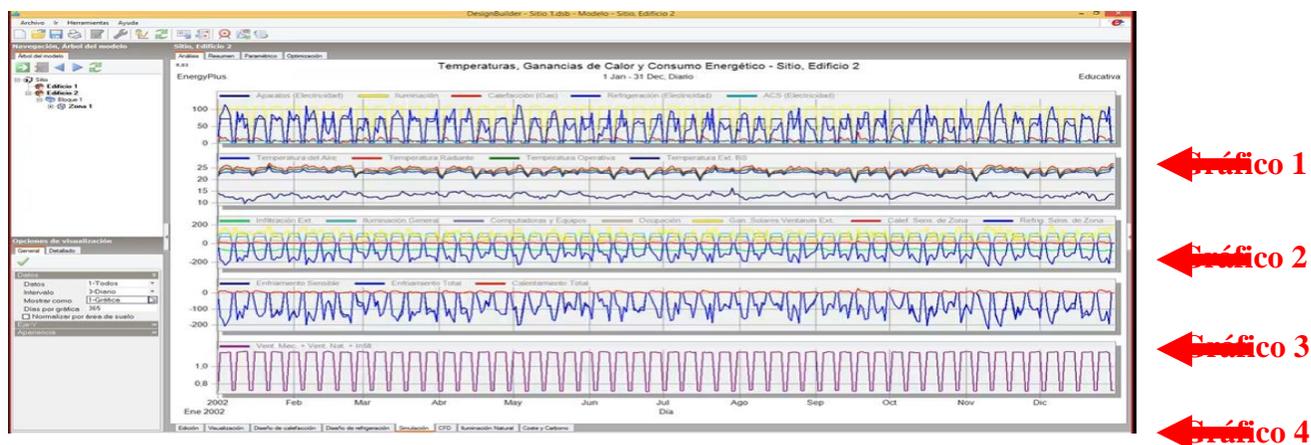


Figura 23. Utilización del software Design Builder. Fuente: Elaboración propia dentro del software Design Builder.

En el primer grafico Design Builder arroja las cantidades de ganancia de calor por **Gráfico 5** equipos, iluminación y personas, la segunda grafica va a fondo con las temperaturas del edificio

en el interior y exterior, también mide el consumo energético de la ventilación mecánica si se deja encendida, estas medidas son globales del edificio, también permite el cálculo desglosado por pisos.

El edificio es cerrado, debido a que si es abierto al aire exterior entraría a influenciar otro flujo de calor que es la ganancia de calor por convención, siendo así que es más difícil conseguir la efectividad de la protección solar así que de manera cerrada teniendo el espacio controlado se puede determinar la eficiencia de la protección solar, por eso se estima que el edificio sea cerrado las 24 horas para que solo se observe la carga térmica que proviene del vidrio que puede estar protegido o sin proteger.

Solución de diseño protección solar.

El diseño nace de la clase de diseño e innovación en el Programa Retos dictada por el arquitecto Emerson Martínez la cual se simula para analizar la efectividad de la protección solar, el diseño del quebrasol se realiza con el material de acero en contraposición de los quebrasoles de este tipo se hacen con la materialidad de concreto y también porque el acero proporciona menos carga muerta a la estructura de la edificación, por esta razón es una investigación experimental debido a que las protecciones solares en concreto tiene mayor carga en la edificación que se explicara en un apartado más adelante.

Por medio de simulaciones se analiza la propuesta de diseño como base de materiales locales disponibles en la ciudad como en el país para la elaboración del modelo de quebrasol. Se comenzó con el diseño geométrico de los elementos teniendo en cuenta los ángulos solares para obtener una buena protección solar en las diferentes orientaciones.

La geometría de este elemento responde a los ángulos de protección solar asumidos (ver *Tabla 8*) en las diferentes horas y fechas del año teniendo en cuenta la orientación real del edificio. En cuanto en la fachada responde como protecciones solares que además de cubrir aportan un nuevo diseño tecnológico en el tipo colmena esto permite que los espacios interiores no pierdan la iluminación y tengan mayor visual. Esta modulación escogida para este sistema de protección solar y todos sus elementos de diseño es de 50x18cm ver (*Figura 26*), una vez determinada la figura geométrica del elemento de protección solar y valorada todas sus posibles soluciones se logró obtener un resultado con un sistema de panel metálico como elementos de protección solar.

Por otra parte el módulo metálico seleccionado presenta un factor de apertura visual del de un 90% aproximado, es diseñado en lamina metálica de acero galvanizado pre pintada con una superficie de acabado homogéneo en pintura de poliéster con un espesor entre 18 y 20 micras con un espesor de lámina 3,00 mm, el módulo metálico se llegó a obtener unas características en cuanto a su altura 18 cm y sus anchura 50 cm y su profundidad de 30cm, el módulo metálico presenta una inclinación de un 10° para así poder llegar a abarcar más sombra. ver (*Figura 26*)

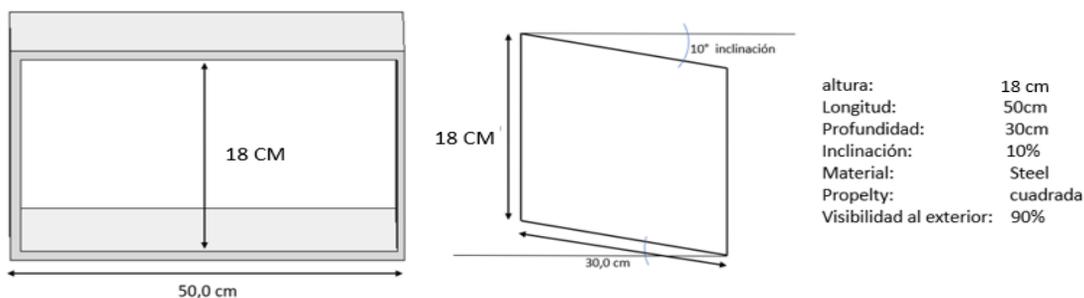


Figura 24. Modulaci3n met3lica de la protecci3n solar 2020, (Acevedo, Guevara) Fuente: Elaboraci3n propia en software Revit.

A partir de que el m3dulo es un elemento solido que es de materialidad de acero que es fija, se opt3 por una trama funcional y est3tica ubicadas de una forma manual para facilitar su montaje, ver (Figura 27)

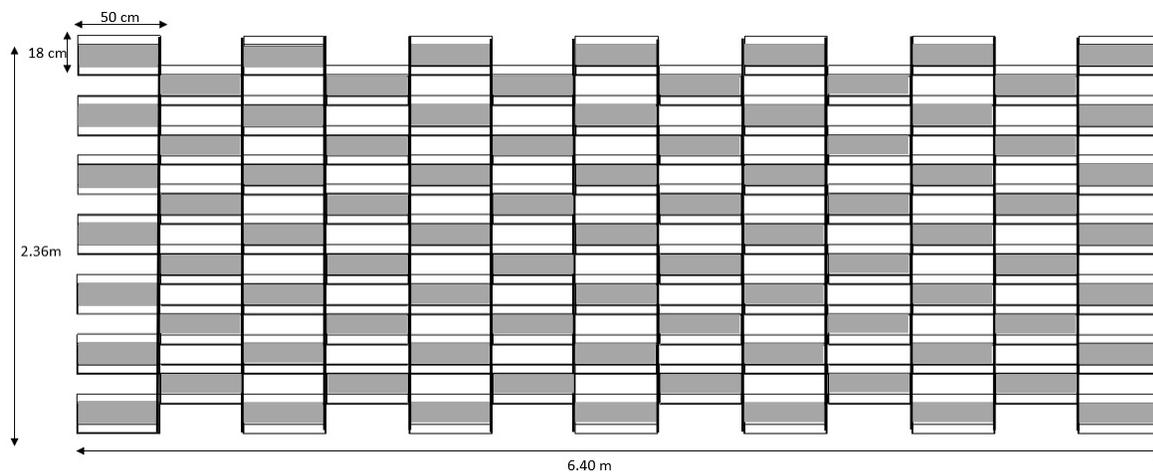


Figura 25. Trama de ubicaci3n del m3dulo 2020, (Acevedo, Guevara) Fuente: Elaboraci3n propia en software Revit.

La trama o ubicaci3n de esta permite protecci3n solar y tambi3n permite visibilidad hacia el exterior de las edificaciones. (Figura 28), al ser tipo cuadriculada las paredes del panel

alrededor generan las protecciones al lado siendo así menos uso de lámina para llegar a obtener una protección parcial en toda la doble piel.

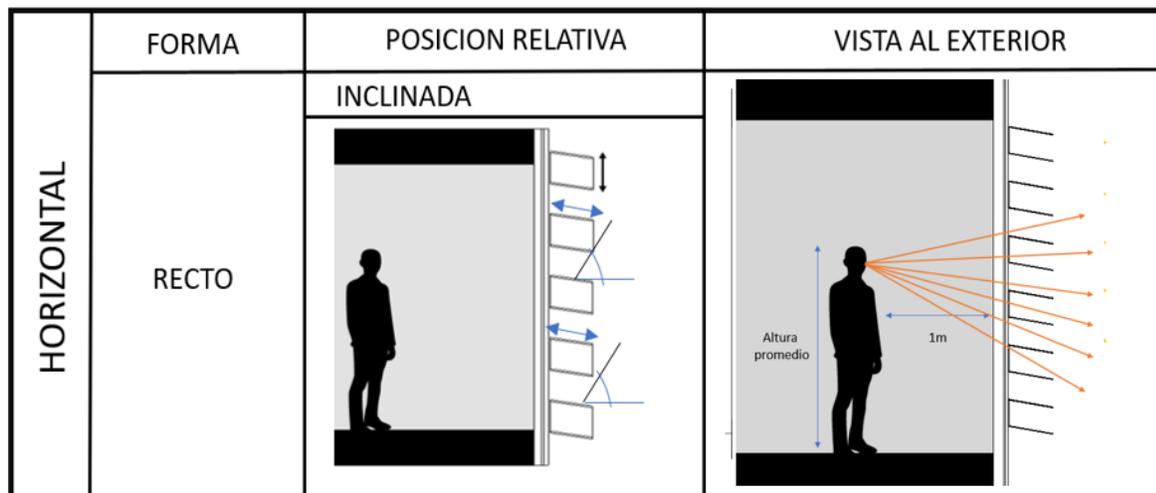


Figura 26. Funcionalidad del elemento de protección 2020, (Acevedo, Guevara) Fuente: Elaboración propia en software Revit.

Cálculo de peso de protección solar

Para el diseño de la protección se utilizará el material de láminas de acero pre pintadas por cuestiones térmicas las cual se pudo hallar peso específico y se comparara con otra protección de tipo colmena, pero de otra materialidad que es el concreto lo cual para cada una de ellas se procede hallar el volumen, que se hace por medio de la siguiente formula: $V = \text{Longitud} \times \text{Altura} \times \text{profundidad}$. Luego de hallar esto se procede a multiplicarlo por el peso específico de cada material, al ser vacías se procederá a hallar las dos formas sólidas y luego se le resta el tamaño de la parte vacía que sería $V1 - V2$, los valores se muestran en el apartado de discusión de resultados, se introdujo esta variable, ya que ayuda ver los beneficios de la protección solar en otra materialidad

Discusión de resultados.

En este capítulo del trabajo se explicarán los beneficios térmicos, la disminución de las cargas térmicas y el impacto sobre el bienestar en el espacio interior del edificio de oficina serfinanza, analizando la solución de la propuesta de protección solar, también se analizan los comportamientos térmicos del espacio exterior con una verificación que ha sido medida con el programa Design Builder, para estas simulaciones se han tomado los datos de un día promedio meteorológico, de tres meses al año representativos de los solsticios y equinoccio. Junio solsticio de verano, diciembre solsticio de invierno y septiembre equinoccio de otoño para la latitud norte como la ciudad de Barranquilla

La forma de simulación ha sido cerrada las 24 horas para determinar la temperatura interior sin sistemas de ventilación mecánicos o naturales.

Efectos de la protección solar sobre las superficies vidriadas

Al lograr la propuesta de diseño y los elementos de protección solar elaborados basados en los ángulos solares incidentes en la fachada en el mes de junio y diciembre, para que la protección solar pueda intersecar la radiación solar directa y disminuir el impacto en la superficie vidriada (*Figura 29*) fue sometida a un proceso en este caso en una software Design Builder para así observar la cantidad de radiación directa que entra en el espacio interior y respectivamente en su fachada, para así con la protección solar obtener un menor consumo energético.

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

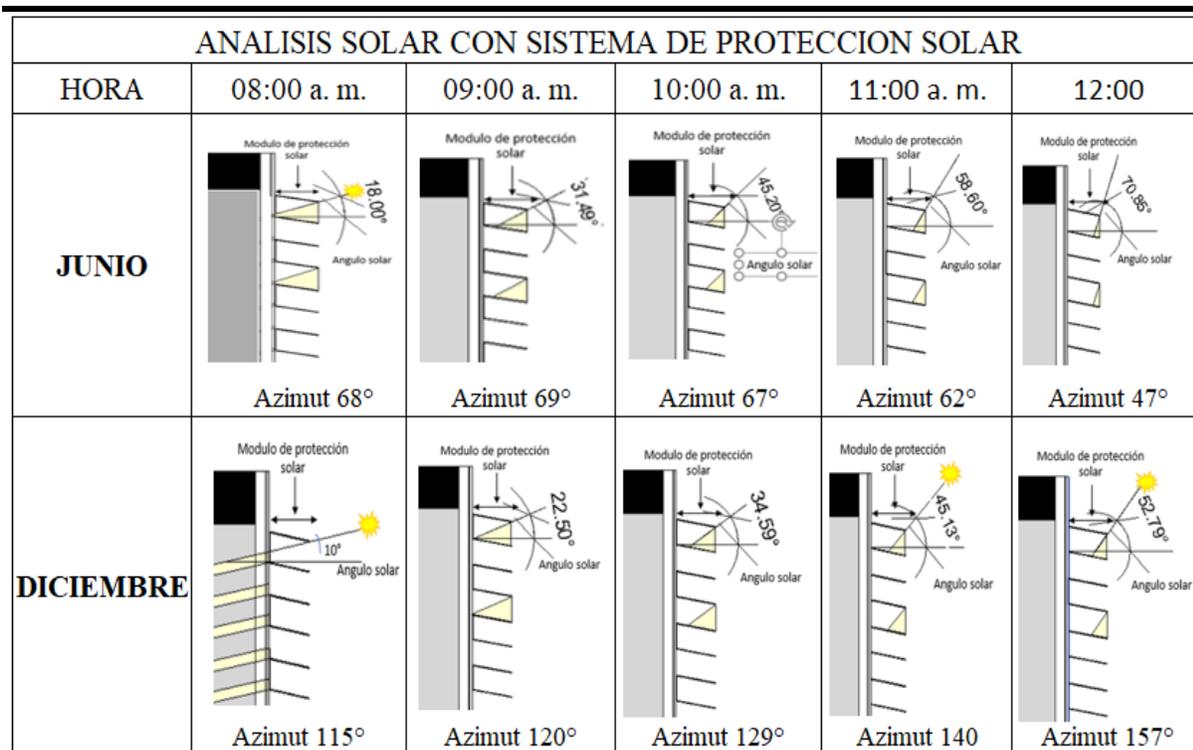


Figura 27. Análisis solar con sistema de protección solar diseñado 2020, (Acevedo, Guevara)
Fuente: elaboración propia.

A continuación de los resultados obtenidos (Figura 29) se observa que de 8:00 am a 12:00 m y en una orientación sureste del edificio, la protección solar implementada cubre en las diferentes horas que la radiación solar es directa, dejando así que solo en el mes de diciembre a las 8:00 am, con un ángulo solar de 10° grados entre la radiación directa en un 15.7% dentro de la edificación, solo unos 59m² de 378 m² de área total por piso y de 9:00 am a 12:00 m del mes de diciembre como de 8:00 am a 12:00 m del mes de junio se puede observar que la radiación no entra directamente así reduciendo el impacto energético buscando que el consumo baje, esto debido a que la inclinación de la protección solar genera que se intercepte la radiación directa debido al ángulo solar que está presente.

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

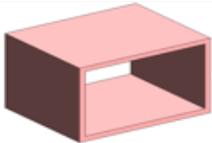
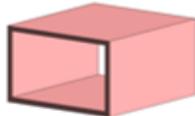
Se obtiene que en el mes de diciembre es cuando se debe proteger la fachada con un grado mayor a 10° para intersecar la radiación o con una dimensión mayor a 18 cm debido a que la fachada está en dirección sureste la luz penetra directamente.

Como se pudo apreciar en los meses de junio y diciembre, los meses más significantes se obtuvo una reducción del impacto solar implementando en la fachada sureste, reduciendo el impacto solar al interior de la edificación, pero dejando la radiación solar indirecta que también es reducida por el pre pintado con colores opacos para disminuir la radiación y el impacto sobre la fachada vidriada, se obtuvieron resultados como se muestran en las figuras pasadas demostrando así que la iluminación pasa de ser directa a difusa.

Los efectos que arrojo el sistema de protección solar de características específicas de material metálico en la protección solar en función de reducción del impacto solar y a su vez la reducción de los niveles de iluminación natural que penetraban al interior dejando los lúmenes necesarios para las actividades dentro de la oficina, con la utilización de la protección se creó una tabla con los valores angulares y eficiencia de sombra (*ver tabla 8*).

Tabla 8.

Horas y ángulos solares en la fachada 2020, (Acevedo, Guevara)

	Angulo de protección	Orientación de estudio	Fecha y hora	Eficiencia de sombra
	10°	Sur este	21 DIC. 08:00 AM	60-80%
	22.5°	Sur este	21 DIC. 09:00 AM	80-100%
	34.59°	Sur este	21 DIC. 10:00 AM	80-100%
	45.13°	Sur este	21 DIC. 11:00 AM	80-100%
	52.79°	Sur este	21 DIC. 12:00 AM	80-100%

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

18°	Sur este	21 JUN. 08:00 AM	80-100%
31.49°	Sur este	21 JUN. 09:00 AM	80-100%
45.2°	Sur este	21 JUN. 10:00 AM	80-100%
58.6°	Sur este	21 JUN. 11:00 AM	80-100%
70.85°	Sur este	21 JUN. 12:00 AM	80-100%

Fuente: Elaboración propia

La protección solar al ser inclinada 10° interviene en el ángulo solar protegiendo así un 80% la edificación de la radiación directa lo cual ayuda a reducir el impacto de la radiación solar dentro de la edificación, permite una mayor visibilidad debido a su calibre y a la leve inclinación presentada la cual deja tener varios puntos de vista hacia el exterior generando así una parcialidad en cuestión de protección y visibilidad.

Análisis de evolución de la temperatura interior con la alternativa sin protección solar

Con el uso de Design Builder se simuló el comportamiento térmico interior de la edificación con y sin protección solar, evaluada en los tres meses del año antes mencionados. El análisis se desglosará por mes de estudio y en cada mes se incluirán las alternativas de uso de protección.

Comportamiento térmico en el interior en el mes de junio

El comportamiento térmico interior de la edificación se analizó para el mes de junio comparando los valores de temperaturas interiores con la alternativa de protección solar y alternativa sin protección solar ambos valores se han comparado con la curva temperatura exterior presentada para el día tipo de este año. Como se puede visualizar (ver figura 30) es notorio que la alternativa sin protección solar y sin aire acondicionado se mantuvo durante las 24

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

horas del día por encima de la temperatura del aire interior de la alternativa con protección solar y sin aire acondicionado, la diferencia de variación fue 2.4° a 3°C, con la alternativa de uso de la protección solar se logra disminuir en promedio un delta máximo en 2.6° centígrados, una disminución considerable para la sensación térmica humana, lo que infiere que el comportamiento interior y yéndose al grafico psicrométrico de Givoni donde se establece los valores de temperatura y humedad para la ciudad de Barranquilla y los requerimientos para lograr el confort, se hace necesario establecer sistemas de ventilación mecánica o natural, sin embargo, el edificio fue evaluado cerrado las 24 horas sin el uso de aire acondicionado porque interesa conocer el impacto térmico que tiene la superficie vidriada con y sin protección en el espacio interior y se hace otra evaluación de estas alternativas sobre la ganancia de calor con el aire acondicionado y una temperatura de bienestar fijada 24°C en el apartado siguiente de este capítulo.

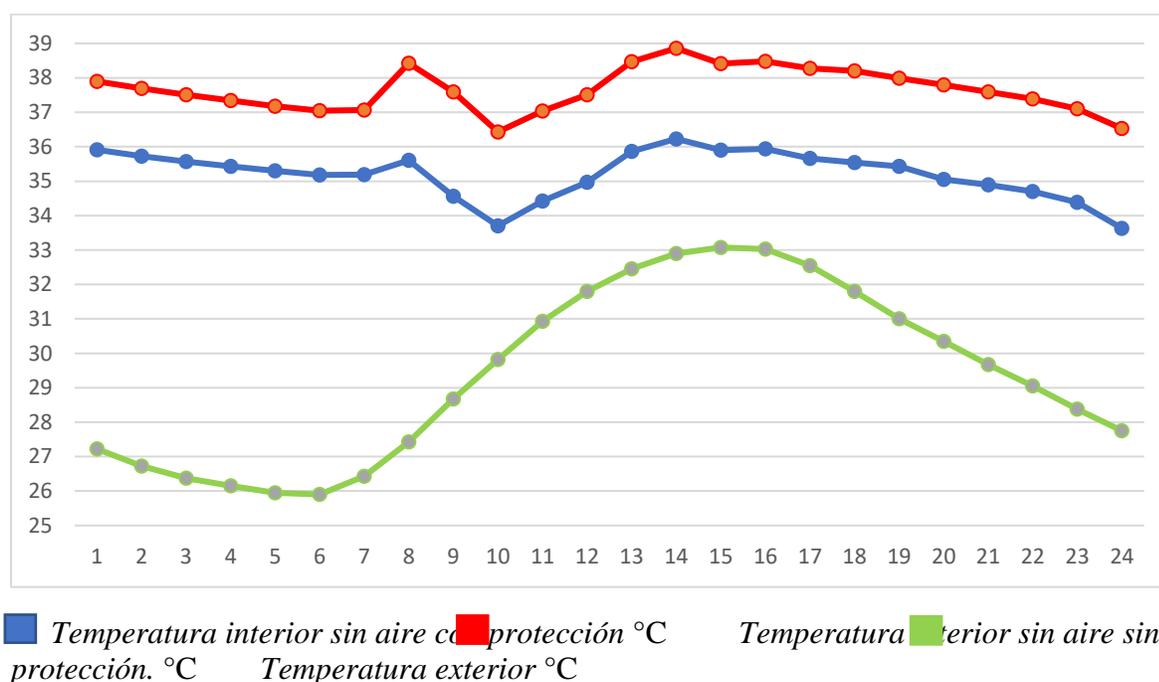


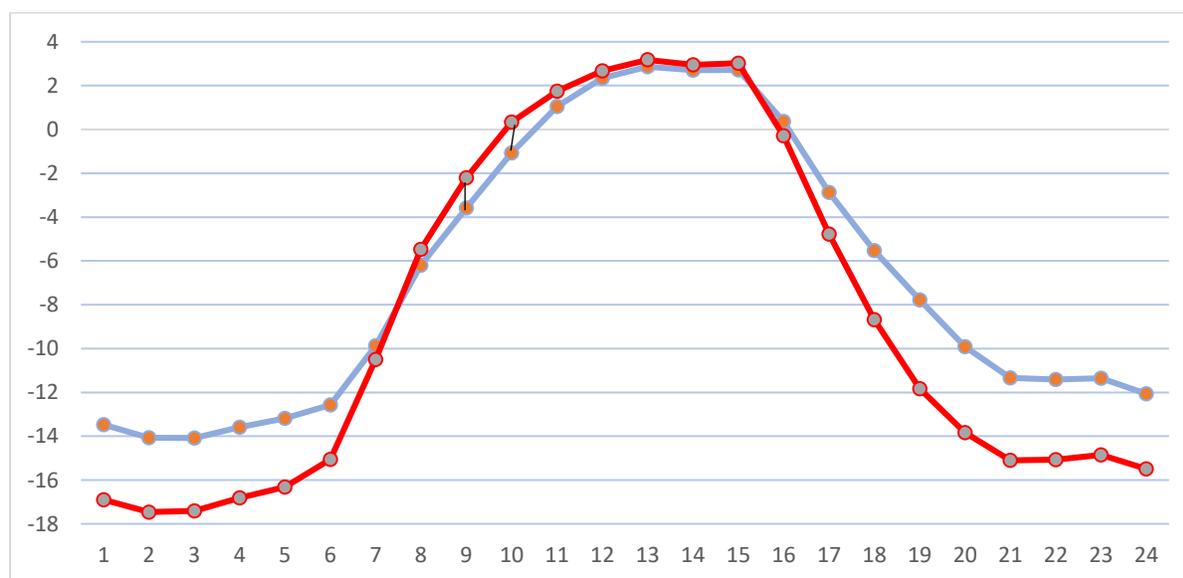
Figura 28. Comportamiento térmico con y sin implementación de protección solar en junio 2020. (Acevedo, Guevara)

Fuente: Elaboración propia

Ganancia térmica interior durante el mes de junio

La ganancia térmica en el interior en el mes de junio viene dada en esta grafica donde se muestra una curva celeste que indica los valores de perdida y ganancia de calor para la alternativa con protección solar y la curva roja para alternativa sin protección solar se puede percibir que es desde las 9:00 am cuando el impacto del sol incide en la fachada hasta las 4:00 pm que el edificio posee una ganancia de calor con un máximo de 3.5 kilovatios hora.

Se puede decir que la acción del vidrio sin protección solar durante la noche ofrece mayores pérdidas de calor, ya que en este caso la protección solar se interpone como una pantalla de resistencia a las emisividades de calor que pueden ir a la atmosfera.



■ Vidrios con protección solar. kW ■ Vidrios sin protección solar. kW

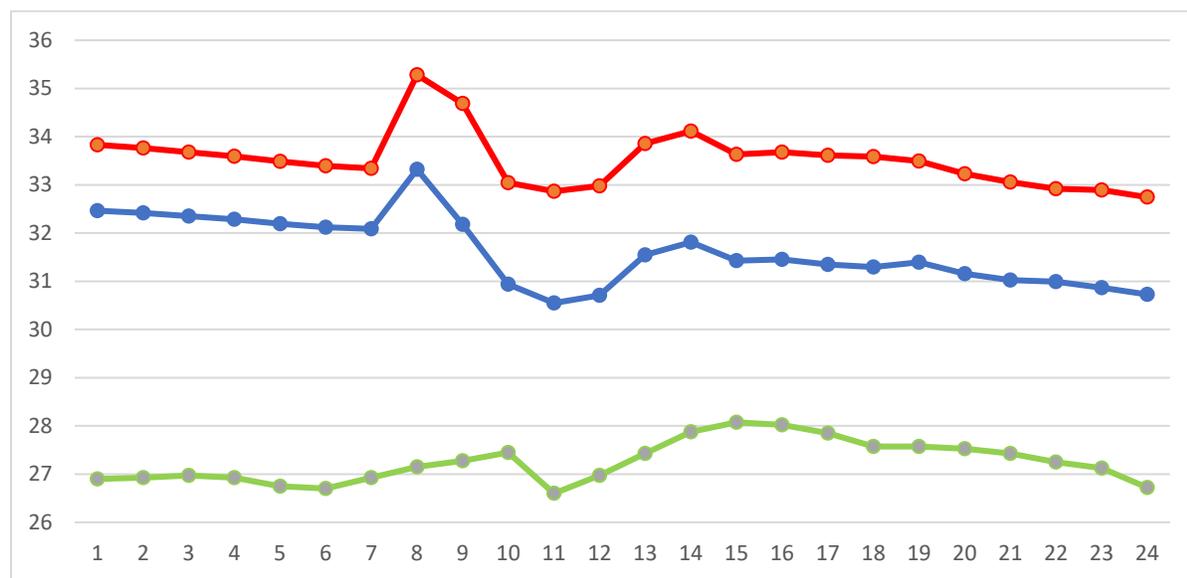
Figura 29. Carga térmica interior en kW en el mes de junio. 2020 (Acevedo, Guevara) Fuente: Elaboración propia

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

En el mes de junio la radiación sobre el vidrio es similar, generando así el mismo consumo energético con la implementación, pero se observa que las ganancias no son por radiación sino por la falta de renovaciones de aire, siendo así ganancia de calor por convección

Comportamiento térmico en el interior en el mes de septiembre

En el mes de septiembre el uso de la protección solar en la edificación disminuye la temperatura gradualmente con las horas de radiación sobre la fachada, los momentos más críticos es cuando la radiación solar es directa que llega al delta máximo, pero desciende rápidamente por los flujos que presenta la edificación, la diferencia de variación fue 2° a 3°C, el edificio fue evaluado cerrado las 24 horas sin el uso de aire acondicionado para conocer el impacto interior sobre la superficie.



■ Temperatura interior sin aire con protección °C ■ Temperatura exterior °C ■ Temperatura interior sin aire sin protección °C

Figura 30. Datos de temperaturas con y sin implementación de quiebrasol en septiembre 2020. (Acevedo, Guevara)

Fuente: Elaboración propia

Ganancia térmica interior durante el mes de septiembre

La carga solar sobre la fachada vidriada disminuye 1 kilovatio hora desde las 8:00am hasta las 4:00 pm en el mes de septiembre, en calor aportando al ahorro energético y que el aire acondicionado llegue a la temperatura estipulada a bienestar que es de 24°C,

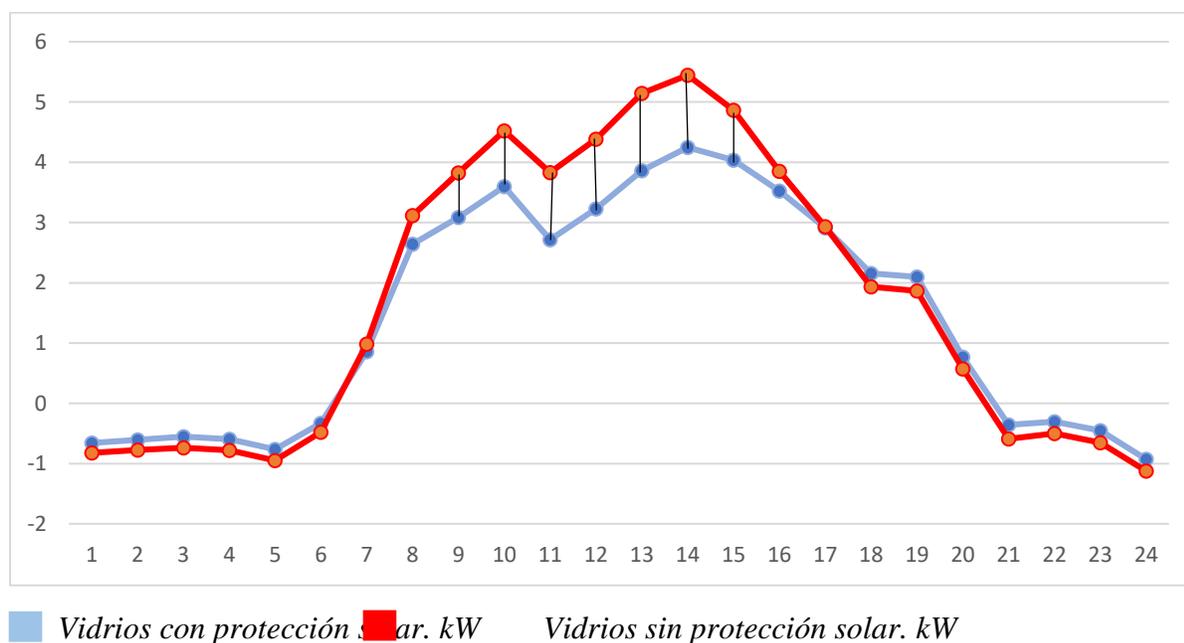
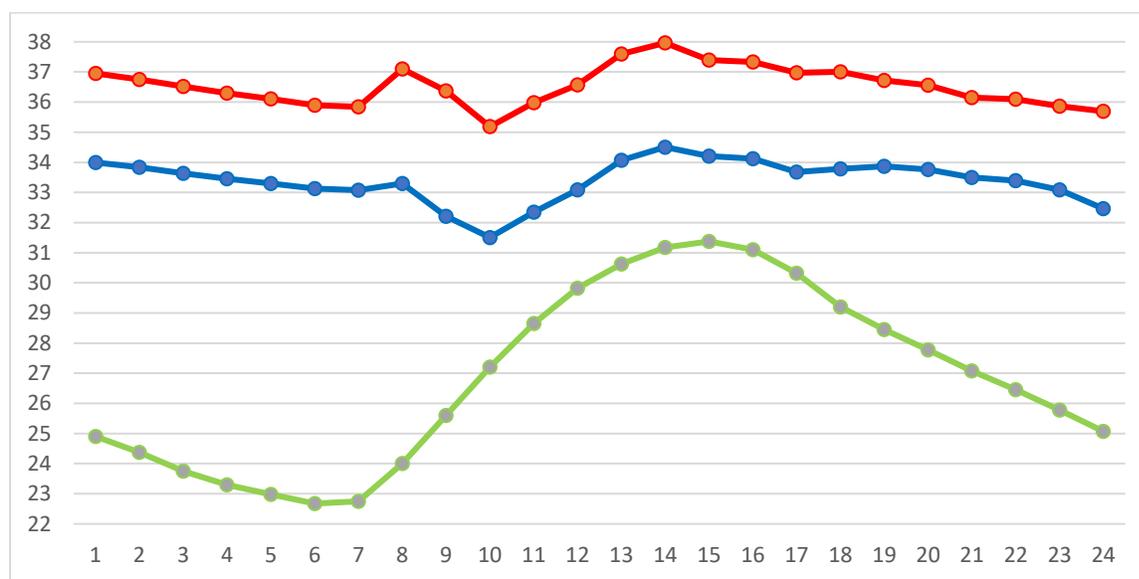


Figura 31. Cargas sobre vidrios en kW en el mes de septiembre. 2020 (Acevedo, Guevara) Fuente: Elaboración propia

Comportamiento térmico en el interior en el mes de diciembre

Como se puede analizar (ver figura 33) como las temperaturas internas están por encima de la temperatura exterior, esto debido a que no se propiciaron las renovaciones de aire por hora para generar enfriamiento por convección, al momento de comparar las temperaturas se logra observar como la temperatura interior con protección solar con respecto a la temperatura interior

sin la protección solar es menor con una diferencia de 3°C, siendo así que para llegar a un bienestar térmico se debe implementar el uso de ventilaciones mecánicas o naturales.



■ Temperatura interior sin aire ■ Temperatura interior sin aire sin protección. °C ■ Temperatura exterior °C ■ Temperatura interior sin aire sin protección. °C

Figura 32. Datos de temperaturas con y sin implementación de quebrasol en diciembre 2020. (Acevedo, Guevara)
Fuente: Elaboración propia

Ganancia térmica interior durante el mes de diciembre

La inclinación de la protección solar en el mes de diciembre disminuye satisfactoriamente la radiación directa sobre la fachada vidriada, disminuyendo la ganancia de calor en las horas que la fachada es expuesta y dejando el paso de la radiación difusa. La ganancia térmica en el interior en el mes de diciembre viene dada en esta grafica donde se muestra una curva celeste que indica los valores de perdida y ganancia de calor para la alternativa con protección solar y la curva roja

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

para alternativa sin protección solar, en las horas de la mañana de 8:00 a 10:00 am el uso de la protección indica pérdida de calor en comparación a la alternativa sin protección que solo presenta ganancias cuando la radiación solar es directa.

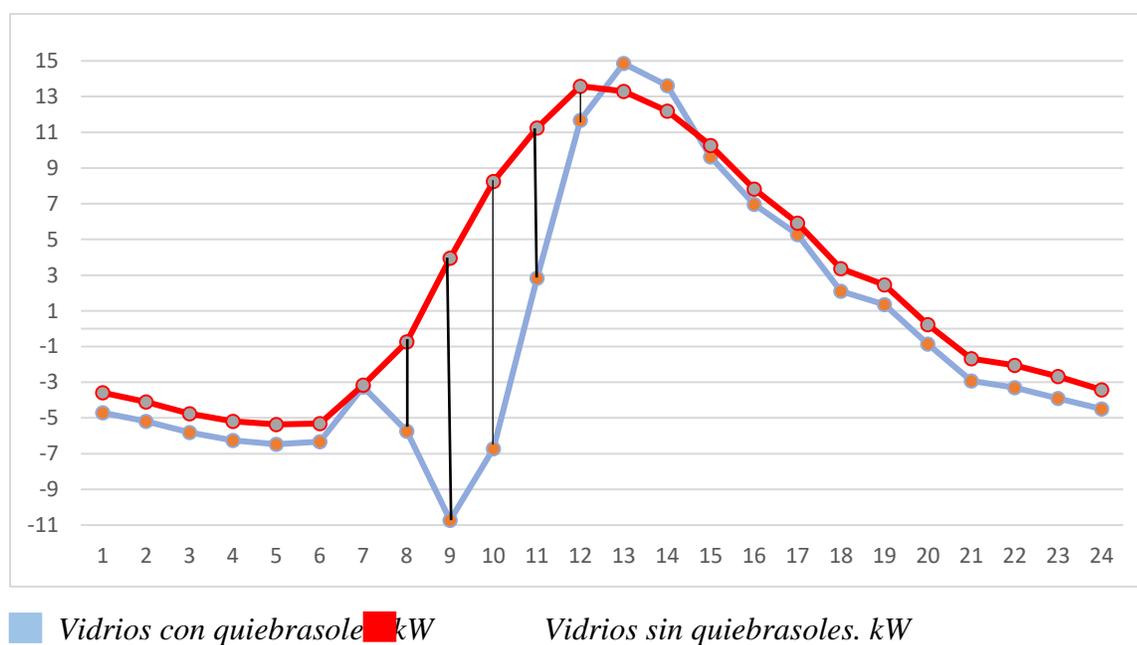


Figura 33. Cargas sobre vidrios en kW en el mes de diciembre. 2020 (Acevedo, Guevara) Fuente: *Elaboración propia*

La diferencia entre la alternativa con protección solar a la alternativa sin protección solar es en promedio de una delta máxima de 3° centígrados y una delta mínima de 2° centígrados en la temperatura interior comparados a la temperatura sin la implementación de los quebrasoles, siendo así que la temperatura promedio diaria con quebrasoles es de 33.87 °C mientras a la que no le implementó los quebrasoles es en promedio diario de 37.14°C, también se logra observar

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

que las gráficas presentan un pico debido lo que representa que ese es el inicio de periodo de radiación del día, por lo cual las mínimas diferencias se ven es en las horas de la madrugada siendo así que el edificio se ha enfriado y las máximas diferencias de temperaturas se comienzan a ver a las 09:00 de la mañana cuando se comienza a considerar la eficiencia de las tablas, las cargas térmicas en los vidrios también se evidencia una gran diferencia en las horas que la radiación solar es directa se usa los quebrasoles es menor levemente.

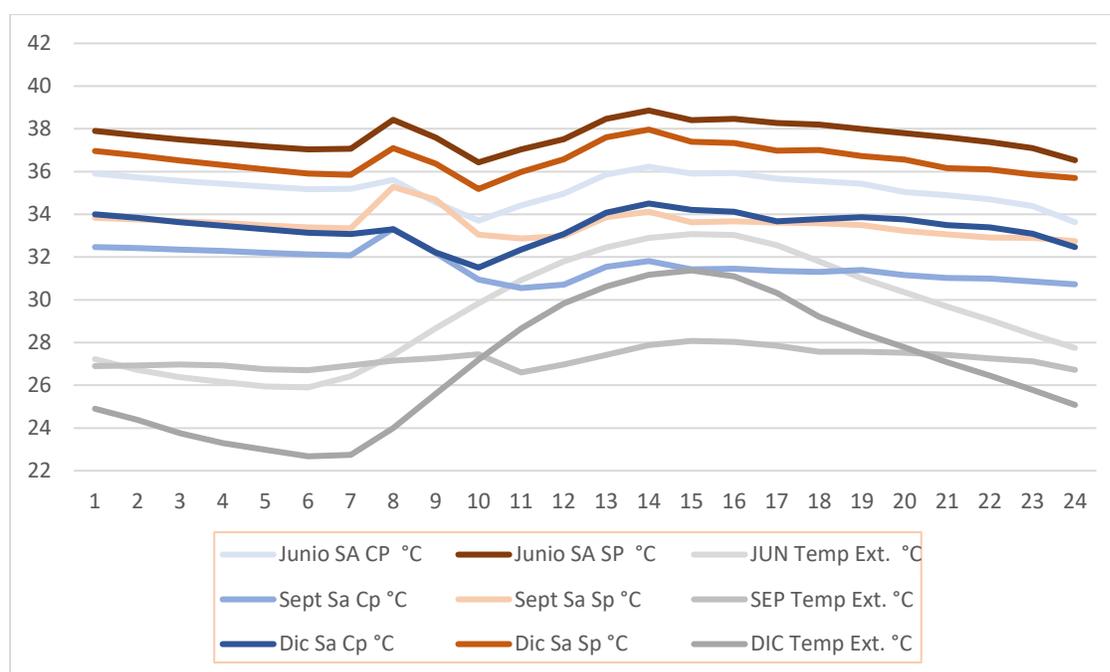


Figura 34. Datos de temperatura con alternativas en los meses de junio, septiembre y diciembre 2020 (Acevedo, Guevara) Fuente: Elaboración propia

En los meses de junio y septiembre la radiación solar no es directa sobre la fachada, en diciembre presenta mayores valores de radiación solar sobre la fachada debido a la declinación en esta latitud pero como las temperaturas de diciembre son 2°C por debajo que las temperaturas de junio, en el mes de septiembre se nota un comportamiento plano debido a la humedad del mes, a pesar de los altos niveles de humedad del mes de septiembre se logra disminuciones de temperaturas interiores que son similares al comportamiento interior del mes de diciembre.

Análisis bienestar térmico en el interior

Para el análisis del bienestar térmico interior, se usaron los valores de temperatura interior sin el uso de aire acondicionado, humedad relativa, velocidad del aire y temperatura media radiante, calculados anteriormente por el software de Design Builder. Estos datos se introdujeron en una tabla de Excel diseñada por María Machado en el año 2000 usada en “La cubierta ecológica en el diseño térmico de las edificaciones para climas cálido húmedos” con fórmulas para calcular los índices de bienestar, como lo son el (PMV), (TSI) y (TS) los cuales se tuvieron en cuenta para calcular en promedio el bienestar térmicas en las personas al interior de la edificación.

Bienestar térmico interior en el mes de junio

En el mes de junio sin el uso de la protección solar en la fachada vidriada, los índices de bienestar en la escala Fanger están por encima, causando discomfort en el 99-100% de las personas en el interior, lo cual era un resultado esperado, ya que las temperaturas interiores están por encima de la temperatura exterior.

Tabla 9

Datos de sensación de temperatura sin protección solar. (Acevedo, Guevara)

21 DE JUNIO SIN AIRE SIN PROTECCION								
HORA	PMV	PPD	T		TEMP. INT	TEMP. RAD	TSI	TS
			VOT E	EQUIVA L				
1	4.60	100	0	40.50	28.86	39.304	35.70	3.66
2	4.53	99	1	40.29	28.51	39.128	35.56	3.62
3	4.45	99	1	40.09	28.23	38.959	35.38	3.57
4	4.37	99	1	39.91	28.02	38.798	35.20	3.51
5	4.29	99	1	39.73	27.82	38.639	35.02	3.46
6	4.23	99	1	39.58	27.73	38.505	34.88	3.42
7	4.23	99	1	39.58	28.06	38.474	34.89	3.43
8	4.61	100	0	40.66	28.73	38.783	35.76	3.79
9	4.53	99	1	40.20	29.83	39.088	35.57	3.61

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

10	4.30	99	1	39.43	30.77	39.208	35.05	3.33
11	4.44	99	1	39.89	31.40	39.285	35.35	3.47
12	4.56	100	0	40.28	31.93	39.442	35.60	3.58
13	4.81	100	0	41.04	32.31	39.641	36.17	3.82
14	4.95	100	0	41.40	32.66	39.874	36.47	3.93
15	4.89	100	0	41.17	32.91	40.061	36.34	3.82
16	4.93	100	0	41.24	32.92	40.140	36.42	3.84
17	4.89	100	0	41.11	32.65	40.167	36.33	3.79
18	5.13	100	0	41.90	32.02	40.194	36.88	4.07
19	5.42	100	0	42.81	31.40	40.322	37.54	4.37
20	5.56	100	0	43.23	30.91	40.291	37.86	4.54
21	5.14	100	0	41.93	30.66	40.177	36.91	4.08
22	4.95	100	0	41.40	30.24	39.974	36.48	3.91
23	4.83	100	0	41.09	29.74	39.810	36.19	3.81
24	4.74	100	0	40.90	29.27	39.643	36.01	3.76
4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
MUY CALIENTE	CALIENTE	CALIDO	TIBIO	NEUTRAL	FRESCO	FRIO	HELADO	CONGELADO

Fuente: Elaboración propia

Con el uso de la protección solar en el mes de junio se logra disminuir 1.5 de escala Fanger, que es una disminución notoria, pero no alcanza a los índices de bienestar térmico debido a que las temperaturas interiores siguen estando por encima de los valores de temperatura de confort para clima cálido húmedos durante todo el año, lo que significa que con la protección solar no es suficiente para alcanzar los niveles de bienestar térmico en el interior y necesita mecanismos para proveer la temperatura estipulada de confort, pero es notorio en la escala que logro disminuir su influencia dentro del bienestar térmico.

Tabla 10

Datos de sensación de temperatura con protección solar. (Acevedo, Guevara)

21 DE JUNIO SIN AIRE CON PROTECCION								
HORA	PMV	PPD	VOTE	EQUIV	TEMP. INT	TEMP. RAD	TSI	TS
1	3.77	97	3	38.22	27.225	37.089	33.95	3.18

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

2	3.71	97	3	38.04	26.725	36.947	33.83	3.14
3	3.64	97	3	37.87	26.375	36.810	33.68	3.09
4	3.57	96	4	37.73	26.150	36.680	33.52	3.04
5	3.50	96	4	37.58	25.950	36.551	33.36	3.00
6	3.45	95	5	37.46	25.900	36.435	33.24	2.96
7	3.45	95	5	37.44	26.425	36.386	33.24	2.97
8	3.62	97	3	37.82	27.425	36.630	33.64	3.10
9	3.44	95	5	37.18	28.675	36.814	33.26	2.86
10	3.25	94	6	36.63	29.825	36.851	32.83	2.63
11	3.41	95	5	37.13	30.925	36.903	33.17	2.81
12	3.54	96	4	37.55	31.800	37.041	33.45	2.94
13	3.78	98	2	38.24	32.450	37.214	33.99	3.17
14	3.91	98	2	38.57	32.900	37.418	34.27	3.27
15	3.87	98	2	38.41	33.075	37.583	34.18	3.19
16	3.90	98	2	38.47	33.025	37.665	34.25	3.20
17	3.85	98	2	38.30	32.550	37.704	34.14	3.14
18	4.07	99	1	38.99	31.800	37.738	34.62	3.38
19	4.32	99	1	39.76	31.000	37.872	35.17	3.63
20	4.57	100	0	40.59	30.350	37.861	35.75	3.93
21	4.23	99	1	39.48	29.675	37.799	34.99	3.55
22	4.06	99	1	38.99	29.050	37.637	34.61	3.39
23	3.96	98	2	38.72	28.375	37.509	34.37	3.30
24	3.89	98	2	38.56	27.750	37.377	34.21	3.26
4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
MUY CALIENTE	CALIENTE	CALIDO	TIBIO	NEUTRAL	FRESCO	FRIO	HELADO	CONGELADO

Fuente: Elaboración propia

Bienestar térmico interior en el mes de septiembre

En el mes de septiembre el bienestar térmico se mantiene por encima de los índices de zona de confort o permisible para las personas, los picos de la sensación térmica se resaltan por la incidencia del sol en el interior

Tabla 11

Datos de sensación de temperatura sin protección solar. (Acevedo, Guevara)

21 DE SEPTIEMBRE SIN AIRE SIN PROTECCION								
HORA	T							
	PMV	PPD	VOTE	EQUIV AL	TEMP. INT	TEMP. RAD	TSI	TS

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

1	2.90	89	11	35.90	33.834	34.819	32.12	2.66
2	2.87	88	12	35.82	33.767	34.724	32.08	2.65
3	2.84	88	12	35.72	33.680	34.627	32.02	2.63
4	2.82	87	13	35.63	33.593	34.530	31.97	2.62
5	2.77	87	13	35.52	33.485	34.432	31.89	2.59
6	2.73	86	14	35.42	33.392	34.337	31.79	2.56
7	2.71	85	15	35.35	33.344	34.257	31.73	2.55
8	3.18	93	7	36.75	35.281	34.496	32.78	3.04
9	3.13	92	8	36.45	34.690	34.760	32.69	2.92
10	2.82	87	13	35.40	33.043	34.860	32.05	2.53
11	2.76	86	14	35.29	32.869	34.882	31.88	2.46
12	2.79	87	13	35.38	32.981	34.924	31.96	2.50
13	3.03	91	9	36.01	33.859	35.038	32.49	2.73
14	3.11	92	8	36.23	34.113	35.184	32.67	2.80
15	3.00	90	10	35.95	33.631	35.277	32.42	2.66
16	2.99	90	10	36.00	33.678	35.312	32.35	2.65
17	2.97	90	10	35.97	33.610	35.355	32.27	2.62
18	3.25	93	7	36.83	34.846	35.429	32.89	2.93
19	3.59	96	4	37.90	36.292	35.609	33.64	3.28
20	3.68	97	3	38.20	36.732	35.604	33.83	3.39
21	3.31	94	6	37.01	35.062	35.528	33.01	2.97
22	3.16	92	8	36.58	34.520	35.362	32.68	2.84
23	3.07	91	9	36.33	34.226	35.237	32.49	2.76
24	3.01	90	10	36.19	34.091	35.110	32.36	2.72
4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
MUY CALIENTE	CALIENTE	CALIDO	TIBIO	NEUTRAL	FRESCO	FRIO	HELADO	CONGELADO

Fuente: Elaboración propia

Con el uso de protección solar en el mes de septiembre se logra la disminución de 1.4 en la escala Fanger siendo así que el porcentaje de disconfort por persona disminuyo a un 70%

Tabla 12

Datos de sensación de temperatura con protección solar. (Acevedo, Guevara)

21 DE SEPTIEMBRE SIN AIRE CON PROTECCION								
HORA	T							
	PMV	PPD	VOTE	EQUIVALE	TEMP. INT	TEMP. RAD	TSI	TS

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

1	2.33	76	24	34.40	32.468	33.284	30.93	2.32
2	2.32	76	24	34.34	32.422	33.210	30.91	2.32
3	2.29	75	25	34.26	32.353	33.135	30.88	2.31
4	2.27	74	26	34.19	32.285	33.059	30.84	2.29
5	2.24	73	27	34.10	32.195	32.981	30.77	2.27
6	2.20	72	28	34.02	32.120	32.906	30.69	2.25
7	2.18	72	28	33.97	32.087	32.841	30.64	2.24
8	2.51	81	19	34.86	33.323	33.069	31.35	2.56
9	2.32	76	24	34.21	32.183	33.271	30.98	2.29
10	2.07	68	32	33.44	30.941	33.323	30.47	1.99
11	1.95	64	36	33.19	30.550	33.307	30.17	1.87
12	2.00	65	35	33.28	30.711	33.283	30.29	1.92
13	2.22	73	27	33.84	31.547	33.361	30.79	2.15
14	2.29	75	25	34.05	31.814	33.472	30.93	2.21
15	2.20	72	28	33.84	31.431	33.548	30.70	2.10
16	2.18	71	29	33.86	31.452	33.573	30.61	2.08
17	2.14	70	30	33.81	31.352	33.601	30.51	2.04
18	2.43	79	21	34.61	32.575	33.655	31.13	2.35
19	2.74	86	14	35.55	33.904	33.820	31.82	2.68
20	2.99	90	10	36.32	35.036	33.834	32.35	2.96
21	2.66	84	16	35.29	33.516	33.803	31.64	2.59
22	2.52	81	19	34.90	33.011	33.667	31.35	2.46
23	2.45	79	21	34.69	32.742	33.569	31.19	2.40
24	2.40	78	22	34.57	32.628	33.468	31.08	2.36
4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
MUY CALIENTE	CALIENTE	CALIDO	TIBIO	NEUTRAL	FRESCO	FRIO	HELADO	CONGELADO

Fuente: Elaboración propia

Bienestar térmico interior en el mes de diciembre

El mes de diciembre es el más afectado, ya que es cuando la radiación es directa en la fachada debido a la orientación del edificio que es sureste, pero con el uso de la protección solar se logra disminuir la sensación por radiación, en horas de la tarde es que aumenta por otros flujos en el interior de la edificación.

Tabla 13

Datos de sensación de temperatura sin protección solar. (Acevedo, Guevara)

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

21 DE DICIEMBRE SIN AIRE SIN PROTECCION								
HORA	T							
	PMV	PPD	VOT	EQUIVA	TEMP.	TEMP	TSI	TS
			E	L	INT	.RAD		
1	4.20	99	1	39.53	36.957	38.520	34.82	3.39
2	4.13	99	1	39.31	36.756	38.340	34.67	3.35
3	4.03	98	2	39.07	36.516	38.150	34.45	3.28
4	3.94	98	2	38.84	36.301	37.960	34.23	3.21
5	3.84	98	2	38.63	36.102	37.774	34.01	3.15
6	3.75	97	3	38.41	35.901	37.583	33.81	3.09
7	3.74	97	3	38.36	35.841	37.555	33.77	3.08
8	4.15	99	1	39.49	37.100	38.183	34.70	3.41
9	4.13	99	1	39.19	36.367	38.717	34.65	3.26
10	3.91	98	2	38.46	35.185	38.927	34.14	2.96
11	4.11	99	1	39.07	35.981	39.087	34.59	3.16
12	4.28	99	1	39.57	36.574	39.304	34.95	3.31
13	4.54	99	1	40.34	37.599	39.426	35.53	3.57
14	4.64	100	0	40.64	37.965	39.530	35.78	3.67
15	4.53	99	1	40.26	37.392	39.599	35.51	3.52
16	4.52	99	1	40.23	37.331	39.612	35.49	3.51
17	4.43	99	1	39.96	36.978	39.576	35.29	3.42
18	4.68	100	0	40.78	38.188	39.490	35.85	3.72
19	4.93	100	0	41.61	39.318	39.605	36.43	3.99
20	5.11	100	0	42.16	40.151	39.549	36.86	4.20
21	4.72	100	0	40.90	38.393	39.425	35.96	3.78
22	4.55	100	0	40.42	37.831	39.212	35.59	3.63
23	4.42	99	1	40.10	37.488	39.027	35.29	3.53
24	4.33	99	1	39.88	37.275	38.837	35.08	3.47
4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
MUY CALIENTE	CALIENTE	CALIDO	TIBIO	NEUTRAL	FRESCO	FRIO	HELADO	CONGELADO

Fuente: Elaboración propia

Al implementar la alternativa con protección solar se disminuye en el mes de diciembre 2 en la escala Fanger, pero no se llega a los índices de bienestar térmico en el interior. Entonces si bien no se llega al bienestar con las protecciones solares, ya que se habla de superficies vidriadas considerables para espacios que están viviendo en el interior, se podría ayudar a la protección solar

Eficiencia térmica en sistema de protección solar para el clima cálido húmedo

a generar bienestar con la ventilación natural, sin embargo, las oficinas usan aire acondicionado, pero este valor refleja que hay una disminución del malestar térmico.

Tabla 14

Datos de sensación de temperatura con protección solar. (Acevedo, Guevara)

21 DE DICIEMBRE SIN AIRE CON PROTECCION								
HORA	PMV	PPD	T		TEMP. INT	TEMP. RAD	TSI	TS
			VOT E	EQUIVA L				
1	2.66	84	16	36.17	33.994	35.233	31.18	2.41
2	2.57	82	18	36.02	33.835	35.100	30.97	2.35
3	2.49	80	20	35.82	33.633	34.956	30.76	2.29
4	2.41	78	22	35.65	33.457	34.811	30.58	2.23
5	2.34	76	24	35.49	33.297	34.669	30.39	2.18
6	2.26	74	26	35.32	33.134	34.522	30.21	2.13
7	2.24	73	27	35.27	33.074	34.482	30.14	2.11
8	2.35	77	23	35.57	33.296	34.866	30.38	2.16
9	2.18	72	28	34.90	32.206	34.974	30.01	1.93
10	2.06	68	32	34.44	31.508	34.921	29.78	1.79
11	2.26	74	26	35.00	32.350	34.983	30.24	2.00
12	2.45	79	21	35.54	33.084	35.159	30.71	2.19
13	2.71	85	15	36.28	34.073	35.368	31.30	2.44
14	2.85	88	12	36.66	34.507	35.597	31.63	2.55
15	2.84	88	12	36.54	34.209	35.780	31.62	2.50
16	2.86	88	12	36.52	34.125	35.885	31.65	2.48
17	2.76	86	14	36.24	33.678	35.911	31.41	2.37
18	2.89	89	11	36.75	34.473	35.876	31.72	2.54
19	3.14	92	8	37.50	35.499	35.993	32.29	2.80
20	3.43	95	5	38.36	36.751	35.973	33.00	3.13
21	3.11	92	8	37.33	35.301	35.921	32.26	2.77
22	2.95	90	10	36.88	34.733	35.761	31.87	2.62
23	2.83	88	12	36.62	34.424	35.626	31.59	2.53
24	2.77	86	14	36.45	34.254	35.485	31.43	2.48
4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4
MUY CALIENTE	CALIENTE	CALIDO	TIBIO	NEUTRAL	FRESCO	FRIO	HELADO	CONGELADO

Fuente: Elaboración propia

Peso de la protección solar

Se analizó el peso de protección en acero comparado con protecciones solares en concreto porque ayuda a determinar la eficiencia de la protección solar sin incluirle una carga excesiva a la estructura del edificio, como se tenía las especificaciones técnicas del material se adicionó en esta investigación para obtener dos indicadores de eficiencia con la protección solar.

Módulo en acero.

$$V_1 = 0.50 \text{ m} \times 0.18 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} = 0.027 \text{ m}^3 \times 7800 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{210,6 \text{ kg}}$$

$$V_2 = 0.494 \text{ m} \times 0.174 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} = 0.025 \text{ m}^3 \times 7800 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{195 \text{ kg}}$$

$$210,6 \text{ kg} - 195 \text{ kg} = \mathbf{15,6 \text{ kg}} \text{ (peso de cada módulo)}$$

Módulo en concreto.

$$V_1 = 0.50 \text{ m} \times 0.18 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} = 0.027 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{64,8 \text{ kg}}$$

$$V_2 = 0.40 \text{ m} \times 0.08 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} = 0.0096 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{23,04 \text{ kg}}$$

$$64,8 \text{ kg} - 23,04 \text{ kg} = \mathbf{41,76 \text{ kg}} \text{ (peso de cada módulo)}$$

Se observa que en ligereza modular realizar el módulo en acero es 2.7 veces más ligero que el módulo en concreto y con respecto al modelo propuesto de tipo panel que se usan 85 módulos en acero tendría un de peso 1326 kg y en concreto 3549,6 kg en proporción dicho anteriormente en acero es la tercera parte del peso en concreto.

Conclusiones

El presente trabajo muestra la evaluación térmica de una propuesta de diseño de un sistema de protección solar elaborado tomando en cuenta los factores climáticos de la ciudad de Barranquilla, para generar una disminución de consumo energético y una mejora en la condiciones de confort térmico en el interior de un edificio de oficinas, que como se ha dicho anteriormente, presenta una superficie vidriada orientada en la fachada sur-este y que recibe radiación solar durante todo el año, ya que por su orientación y la latitud del lugar es una de las fachadas más afectadas por la incidencia solar directa.

En este apartado de conclusiones se desglosarán los aportes de la protección solar sobre el comportamiento térmico interior desde el análisis de los valores de temperatura interior, índices de bienestar y la ganancia de calor, posteriormente se esbozarán las afectaciones en los índices de iluminancia interior, el ángulo de inclinación de las lamas horizontales del sistema de protección solar y la repercusión del peso de la protección solar diseñada en acero.

El sistema de protección solar disminuye las cargas térmicas y la temperatura en el interior, sin embargo, para una superficie vidriada utilizada en un clima cálido húmedo, requiere de otros factores para que, de manera natural o a través de la adición de sistemas pasivos o activos de enfriamiento, presente condiciones de bienestar térmico. No obstante, la protección solar por sí sola un rango de 2.3°C a 3°C promedio para los meses de medición que como se ha dicho son los meses tipos determinante por la declinación solar. Un rango perceptible desde la sensación térmica que, con el uso de protección solar en los tres meses hace una disminución promedio de 2.5°C. Si bien no se llega a los valores de bienestar, logra una disminución considerable, ya que el cuerpo humano es sensible a los incrementos o disminuciones de

temperaturas de 1°C. En consecuencia, al disminuir los valores de temperatura interior disminuyeron los valores de ganancia térmica interior.

Por otra parte, respecto a la consideración de los flujos de calor hacia el interior, horas hasta las durante las horas que el flujo de radiación solar es mínimo o nulo, es decir desde las 17 horas hasta las 8 horas, el espacio interior registra pérdidas de calor debido a la presencia de la gran superficie vidriada, lo cual sería beneficioso si el edificio se utilizara durante las horas de la noche. Durante las horas de radiación solar la diferencia de los máximos de ganancia de calor varía entre 2 a 4 kW/h, para lograr condiciones de bienestar a una temperatura fijada de los acondicionadores de aires de 24 °C

El sistema de protección solar diseñado en láminas de acero de espesor de 3 mm, no solo disminuye el impacto de la radiación solar sobre la edificación, sino que al mismo tiempo se logra reducir el 10% la visibilidad y comparado esto con el PPV tenemos que ha alcanzado un incremento del bienestar térmico interior en un 20%. Esta reducción del 10% de visibilidad que es lo que mismo que el porcentaje de obstrucción sobre la abertura, se estima no afecte las condiciones del bienestar lumínico, ya que se está haciendo referencia a una gran superficie de vidrio a una relación de 53 % de la fachada, respecto al área de la superficie a iluminar y su profundidad. Sin embargo, para tener certeza de esta condición, se abre aquí una posibilidad de plantear una investigación que analice el impacto de la proyección solar sobre el confort lumínico. El diseño de protección solar evaluado presenta una inclinación en sus lamas horizontales, ya que con estos se disminuye el impacto de la radiación solar directa sobre la superficie vidriada en los meses estimado un promedio de 2.5°C y por ende el impacto en el comportamiento térmico y la ganancia de calor en el interior.

El sistema de protección solar diseñado utiliza el acero como material, disminuyendo así 2.7 veces la carga estructural a la edificación respecto a su construcción en concreto, permitiendo al mismo tiempo, facilidad en el montaje. Esto induce a la realización de otra investigación en la cual se estime si este sistema de protección solar puede utilizarse en edificios construidos.

Es así como a través de esta investigación se ha logrado demostrar que el sistema de protección solar diseñado en acero repercute de manera global en las mejoras del comportamiento térmico interior de un edificio de oficina y sin comprometer considerablemente las cargas estructurales de la edificación.

Referencias

- A. Coronas, M. V. (1983). *RADIACION SOLAR TOTAL Y DIRECTA SOBRE SUPERFICIES DE CUALQUIER INCLINACION*. Barcelona.
- Acevedo, Guevara. (s.d.). Ilustraciones propias.
- Athanassios, T. (2008). *The impact of venetian blind geometry and tilt angle on view, direct light transmission and interior illuminance*. Sevilla: Solar Energy.
- Autodesk, R. (15 de Junio de 2019).
- Axaopoulos, P. (2007). *Radiacion solar sobre superficies inclinadas*.
- Blanco. (2014). Investigating the thermal behavior of double-skin perforated sheet façades: Part A: Model characterization and validation procedure. *Building and Environment*.
- Caribe, C. d. (2020). Fonte:
<https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/ResumenBarranquilla4.php>
- Carlos Quirós, M. M. (2000). El retranqueo y su influencia en el comportamiento térmico de. *Revista internacional: Informacion tecnologica*.
- Casas, N. (2015). Incidencia luminica y radiacion en el interior de edificios. Em *Estudio sobre protecciones solares en envolventes* (pp. 1-8). España: 1st ebook española.
- Coch, S. F. (1995). *Arquitectura y energia natural*. Barcelona: Edicion de la universidad politecnica de cataluña.
- Cortes. (2015). *caracterización de la calidad higrotérmica de los espacios exteriores*. Madrid.
- Duffie, J. A. (1991)., *Solar Engineering of Thermal Processes*. USA.
- DURMI. (23 de 06 de 2017). *Protecciones solares y arquitectura bioclimatica*. Fonte:
<https://durmi.com/es/protecciones-solares-y-arquitectura-bioclimatica/>
- Evans. (2000). Tecnicas de diseño bioclimatico. *Universidad de buenos aires*.
- Ferres, F. M. (2013). Chapas metalicas perforadas de control solar en fachadas ligeras. Em *Envolventes metalicas No 6* (pp. 6-10). envolvente arquitectonica.

-
- Freixanet, V. A. (1998). Arquitectura bioclimática. *Universidad autónoma metropolitana*. Fuente: <https://es.scribd.com/doc/102028439/Arquitectura-Bioclimatica-Victor-Armando-Fuentes-Freixanet>
- Givoni, B. (1969).
- GÓMEZ, E. M. (2009-2011). *ESTUDIO DE SUPERFICIES TRASPARENTES COMO FILTRO DE FACHADA*. CATALUÑA. Fuente: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13056/FILTROS_DE_FACHADA_-_ESTEBAN_MARTINEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gonzales, D. (2015). *Protección solar*. Habana : Universidad técnica de la Habana.
- Graziella. (2007). *Des-velos: . Akal madrid*.
- Graziella, T. (2007). *Autonomía de la envolvente en la arquitectura contemporánea*. Madrid: Des-velos.
- Herrera., F. y. (2005). *Técnicas e Instrumentos de recolección de datos*. Fuente: <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/06/tecnicas-e-instrumentos-de-recoleccion.html>
- IDEAM. (2016). *Radiación solar*. Fuente: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar>
- IDEAM. (2019). Fuente: <http://atlas.ideam.gov.co/cclimatologicas/>
- Jose Indriago, R. G. (2002). Evaluación de la iluminación natural . *Revista universidad de zulia*, 68-81.
- Kim, J. (2010). Advanced External Shading Device to Maximize Visual and View Performance. Em *Indoor Built Environ No6* (pp. 65-72).
- Lupiáñez, R. J. (2015). *ESTUDIO SOBRE PROTECCIONES SOLARES EN ENVOLVENTES Incidencia lumínica y radiación en el interior de los edificios* . Sevilla.
- Malory Acosta Martínez, J. B. (2018). El vidrio, la propuesta innovadora en las construcciones de Barranquilla. *unisimon*. Fuente: <http://revistas.unisimon.edu.co/index.php/identific/article/view/3483>
- Marengo, A. &. (2010). Evaluación de la previsibilidad regional estacional utilizando el sistema regional de modelación climática PRECIS en América del Sur. Fuente: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-009-0165-2>
- Martinez, G. y. (2016). *Protección solar para edificios en Cuba*.
- Martos, J. (18 de Junio de 2019). *Todo lo que debes saber sobre doble acristalamiento*. Fuente: <https://www.interempresas.net/Vidrio-plano/Articulos/247821-Todo-lo-que-debes-saber-sobre-doble-acristalamiento.html>

-
- Menjívar, G., & Roberto, M. (2015). *Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones*. Acceso em 9 de 2 de 2020, disponível em http://redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/1986/1/arquitectura_bioclimatica.pdf
- NORMA 7730, I. (2006). *Principios Básicos de instalaciones*. Fonte: <https://multimat.es/wp-content/uploads/2017/05/Principios-basicos-instalaciones-domesticas-multimat.pdf>
- Olgay, V. (1998). Arquitectura y clima. Em V. Olgay, *Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas* (pp. 9-10). Barcelona: Gustavo Gili.
- Omran, H., GhaffarianHoseini, A., GhaffarianHoseini, A., Raahemifar, K., & Tookey, J. (1 de 9 de 2016). Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1252-1269. Elsevier Ltd.
- OVACEN. (30 de 04 de 2014). *Diseño bioclimático en las fachadas de las viviendas*. Fonte: <https://ovacen.com/disenio-bioclimatico-fachadas-viviendas/>
- Pablo, G. (2010). *EL CLIMA Y PRINCIPIOS DE DISEÑO ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN LOS ANDES TROPICALES*. Cataluña. Fonte: EL CLIMA Y PRINCIPIOS DE DISEÑO ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN LOS ANDES TROPICALES
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., Montilla, E., & Ríos, E. (2003). Aporte del diseño bioclimático a la sustentabilidad de áreas urbanas en zonas áridas. *Revista Invi*, 18(46), 61-68. Acceso em 9 de 2 de 2020, disponível em <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/invi/article/view/402/836>
- Parra, B. (2014). La profundidad de la envolvente. 144-147.
- Perez. (2012). *Recurso arquitectónico de control solar*. Camaguey.
- Quiroprevencion. (5 de Junio de 2018). *La temperatura ideal en la oficina ¿la conoces?* Fonte: <https://prevencionar.com/2018/06/05/la-temperatura-ideal-en-la-oficina-la-conoces/>
- Ramírez-Cerpa, E., Acosta-Coll, M., & Vélez-Zapata, J. (2017). Análisis de condiciones climatológicas de precipitaciones de corto plazo en zonas urbanas: caso de estudio Barranquilla, Colombia. *Idesia (Arica)*, 35(ahead), 0-0.
- Sabino, C. (1992). *EL PROCESO DE INVESTIGACION*. Bogota: Panamericana.
- Sena. (2014). *Sistema Constructivo Tradicional*. Fonte: <http://blogdearquitectura-juli.blogspot.com/p/sistemaconstructivo-tradicional-podemos.html>
- Serfinanza, F. (04 de 03 de 2020). Consumo energético en los últimos años. (M. Guevara, Entrevistador)
- Sherif A.H., S. H. (2012). The impact of changing solar screen rotation angle and its opening aspect ratios on Daylight Availability in residential desert buildings. *Solar energy*, 3353-3363.

-
- Solarte. (6 de Octubre de 2014). *TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS*.
 Fuente: https://prezi.com/dz_u64vhztmu/tecnicas-de-procesamiento-y-analisis-de-datos/
- Spark, W. (2019). *Wheater spark*. Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/23451/Clima-promedio-en-Barranquilla-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Sun>
- Suarez, I. M. (8 de Mayo de 2016). *Arroyos de barranquilla*. Fuente:
<http://www.arroyosdebarranquilla.co/servicios/barranquilla/clima-escolar>
- Therán Nieto, K. R. (2019). MICROCLIMA Y CONFORT TÈRMICO. MÓDULO ARQUITECTURA CUC. Em M. Cabas, *Modulo Arquitectura cuc* (pp. 23(1), 49-88.). Barranquilla: Arquitectura cuc. Fuente: <https://doi.org/10.17981/mod.arq.cuc.23.1.2019.04>
- Tzempelikos, A. (2008). *The impact of venetian blind geometry and tilt angle on view, direct light transmission and interior illuminance*. Sevilla: Solar Energy.
- U.B.A. (2016). Balance termico Aire Acondicionado . *Universidad de buenos aires*, 3-4.
- UPME. (2018). *Guia para la formulacion e implementacion de planes de gestion de la energia*.
- Vallés, Á. L. (2018). MODALIDAD CONSTRUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE . *ESTUDIO Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS BIOCLIMÁTICOS. CASO PRÁCTICO: LAS FACHADAS DEL EDIFICIO C1 DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE LA EDIFICACIÓN DE LA UPV.* , 16-17.
- XM. (2020). *Precio promedio ponderado mensual y GWh de energia*. Medellin. Fuente:
http://www.xm.com.co/_layouts/xlviewer.aspx?id=/Informe%20Especial%20ResCREG%2013597/ReportePromPonderadoMensualEne2020.xlsx&Source=http%3A%2F%2Fwww%2Exm%2Ecom%2Eco%2FPaginas%2FMercado%2Dde%2Denergia%2Fprecios%2Dpromedios%2Dy%2Denergia%2Dtransada%2Ddel%2D
- Zambrano, P. (2013). *Control solar e iluminación natural en la Arquitectura*.