



Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Especialización en Arquitectura y Hábitat Sustentable



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

**TRABAJO INTEGRADOR FINAL**

**Medidas de acondicionamiento térmico de viviendas de alta  
densidad en clima tropical cálido húmedo**

Presentado por:

Juan David Giraldo Gallego

Director:

Dr. Alejandro Hernández

Noviembre de 2020

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi mamá por llenarme de amor y apoyarme en todas las locuras que quiero hacer en la vida. A mi papá por enseñarme cómo caminar en la vida, por convencerme de que puedo hacer lo que me proponga y por hacerme saber el valor de la dedicación y la honestidad. A mi hermano por ser el apoyo anímico, académico y económico a lo largo de mi formación académica. Y finalmente a Claudia Olmos, la persona que con su amor incondicional siempre estuvo apoyando este proceso y me dio fuerzas de continuar aun cuando el panorama estaba nublado. Todos ustedes logran sacar la mejor versión de mí.*

## Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS .....	2
INTRODUCCION .....	9
ESTADO DE LA CUESTIÓN. SUSTENTABILIDAD. ANTECEDENTES .....	9
Crisis energética y problema ambiental .....	9
La arquitectura sustentable en la historia .....	12
EL PLANO NORMATIVO COLOMBIANO .....	17
PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN .....	21
OBJETIVOS .....	22
OBJETIVO GENERAL .....	22
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	22
ESTUDIO DE CASO .....	22
METODOLOGÍA .....	26
DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE IMPLANTACIÓN .....	27
CONDICIONES CLIMATICAS .....	28
Rango de temperatura .....	28
Temperatura de bulbo seco representado en 3d .....	28
Humedad relativa .....	30
Radiación solar .....	31
Zona de convergencia intertropical y nubosidad .....	31
Precipitación .....	32
Viento .....	34
Cuadro psicométrico confort adaptativo .....	36
DIAGNOSTICO PROYECTO .....	38
ESTUDIO DE LA INCIDENCIA SOLAR .....	38
ESTUDIO DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA .....	48
SIMULACIONES TÉRMICAS ESTADO INICIAL .....	50
PROPUESTAS DE PROTECCIÓN SOLAR .....	56
PROPUESTAS PARA MEJORAR LA ENVOLVENTE TÉRMICA .....	63
PROPUESTAS DE VENTILACIÓN NATURAL .....	66
Cálculo de caudales de aire .....	67
Sistema de ventilación natural sótanos .....	70
Ventilación natural apartamentos .....	74
Confort dinámico .....	74
SIMULACIONES TÉRMICAS .....	77
SIMULACIONES LUMÍNICAS .....	84
CERTIFICACIÓN EDGE .....	85

CONCLUSIONES.....	89
REFERENCIAS.....	91



## Índice de figuras

Figura 1	Pueblo Bonito. Cañón del Chaco. Fuente: <a href="http://despiertaalfuturo.blogspot.com.co/2013/05/secretos-de-los-anasazi-el-canon-de.html">http://despiertaalfuturo.blogspot.com.co/2013/05/secretos-de-los-anasazi-el-canon-de.html</a>	13
Figura 2	Casa típica de la antigua Grecia. Fuente: <a href="http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo07.htm">http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo07.htm</a>	13
Figura 3	Construcciones en diferentes zonas climáticas colombianas. Fuente: Conferencia Jorge Ramírez. Cali, noviembre 2005.	14
Figura 4	Casa solar Sloan, diseñada por George Keck. Fuente: <a href="https://es.slideshare.net/SebastianGaviorno/tecn-altern-arq-solar">https://es.slideshare.net/SebastianGaviorno/tecn-altern-arq-solar</a>	15
Figura 5	Proyecto edificio Livorno en Barranquilla. Fuente Constructura INACAR.	22
Figura 6	Planta sótano -3.	23
Figura 7	Planta sótano -2.	23
Figura 8	Planta sótano -1.	24
Figura 9	Planta baja.	25
Figura 10	Piso tipo - Planta apartamentos del piso 1 al 7.	25
Figura 11	Piso 8 - Penhouse	26
Figura 12	Ubicación de la ciudad de Barranquilla. Fuente: Wikipedia	27
Figura 13	Zona de convergencia intertropical. Fuente: <a href="https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_convergencia_intertropical">https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_convergencia_intertropical</a> .	32
Figura 14	Diagrama de sombra Barranquilla. Fuente: PVG Arquitectos.	39
Figura 15	Análisis fachada noreste mediante diagrama de sombras. Elaboración propia	40
Figura 16	Análisis fachada suroeste mediante diagrama de sombras. Elaboración propia	40
Figura 17	Análisis fachada sureste mediante diagrama de sombras. Elaboración propia	41
Figura 18	Análisis fachada noroeste mediante diagrama de sombras. Elaboración propia	41
Figura 19	Diagnóstico de sombra en ventana pequeña retrocedida fachada suroeste	42
Figura 20	Diagnóstico de sombra en balcón de piso tipo fachada suroeste	42
Figura 21	Diagnóstico de sombra en balcón último piso fachada suroeste	43
Figura 22	Diagnóstico de sombra en ventana pequeña retrocedida fachada sureste	43
Figura 23	Diagnóstico de sombra en ventana pequeña con poco retroceso fachada sureste	43
Figura 24	Diagnóstico de sombra en balcón pequeño fachada sureste	44
Figura 25	Diagnóstico de sombra en balcón grande fachada sureste	44
Figura 26	Diagnóstico de sombra en ventana pequeña retrocedida fachada noroeste	44
Figura 27	Diagnóstico de sombra en ventana pequeña con poco retroceso fachada noroeste	45
Figura 28	Diagnóstico de sombra en balcón pequeño fachada noroeste	45
Figura 29	Diagnóstico de sombra en balcón grande fachada noroeste	45
Figura 30	Diagnóstico de sombra en ventana pequeña retrocedida fachada noreste	46
Figura 31	Diagnóstico de sombra en ventana pequeña con poco retroceso fachada noreste	46
Figura 32	Sombras arrojadas por edificaciones cercanas sobre las fachadas del proyecto	47
Figura 33	Sombras arrojadas por edificaciones cercanas sobre la fachada noroeste.	48
Figura 34	Modelo geométrico en OpenStudio	50
Figura 35	Corrección ángulo de protección solar - paso 1. Elaboración propia	56
Figura 36	Corrección ángulo de protección solar - paso 2. Elaboración propia	57

Figura 37. Corrección ángulo de protección solar - paso 3. Elaboración propia.....	57
Figura 38. Corrección ángulo de protección solar - paso 4. Elaboración propia.....	58
Figura 39. Ángulos de protección solar propuestos para cada fachada .....	59
Figura 40. Ejemplo de aplicación de los ángulos de protección solar.....	59
Figura 41. Propuesta de protección solar fachada suroeste.....	60
Figura 42. Propuesta de protección solar fachada sureste.....	60
Figura 43. Propuesta de protección solar fachada sureste - ventana pequeña .....	60
Figura 44. Propuesta de protección solar fachada noroeste.....	61
Figura 45. Propuesta de protección solar fachada noroeste - ventana pequeña.....	61
Figura 46. Propuesta de protección solar fachada noreste.....	62
Figura 47. Detalle cubierta . Elaboración propia a partir de detalle enviado por empresa Groncol .....	63
Figura 48. Detalle muro propuesto. Elaboración propia.....	63
Figura 49. Cuadro de Albedo.....	65
Figura 50. Esquema de presiones de viento en el proyecto .....	66
Figura 51. Esquema de ventilación natural cruzada. Fuente Climate Consultant.....	67
Figura 52. Esquema de ventilación natural por diferencia térmica. Fuente Climate Consultant.....	67
Figura 53. Esquema de ventilación natural para sótano 1 – Vista Planta baja .....	71
Figura 54. Esquema de ventilación natural sótano 1 .....	71
Figura 55. Esquema de ventilación natural sótano 2 .....	72
Figura 56. Esquema de ventilación natural sótano 3 .....	72
Figura 57. Detalles posibles para rejillas de ingreso de aire a sótano 1 .....	73
Figura 58. Esquema de salida de aire por efecto stack.....	73
Figura 59. Esquemas de comportamiento aerodinámico de barreras impermeables y porosas.....	75
Figura 60. Simulación aerodinámica espacio de piscina. Planta baja .....	76
Figura 61. Simulación aerodinámica espacio de piscina. Planta baja .....	76
Figura 62. Simulación aerodinámica espacio de piscina. Zoom barrera permeable .....	77
Figura 63. Modelo geométrico con propuestas en OpenStudio .....	77
Figura 64. Simulaciones lumínicas en planta.....	84
Figura 65. Simulación lumínica en perspectiva de un espacio de habitación .....	85

## Índice de gráficas

Gráfica 1 Crecimiento demográfico desde 1950 con proyección a 2100. Fuente: <a href="http://humanprogress.org/f1/2540">http://humanprogress.org/f1/2540</a> .....	10
Gráfica 2 Consumo energético por persona en millones de BTU anual. Fuente: <a href="http://humanprogress.org/static/1920">http://humanprogress.org/static/1920</a> .....	11
Gráfica 3. Rango de temperatura. Barranquilla. Fuente: Climate consultant. 2016 .....	28
Gráfica 4. Temperatura de Bulbo seco. Fuente: Climate consultant. 2016.....	29
Gráfica 5. Humedad Relativa. Fuente: Climate consultant. 2016 .....	30
Gráfica 6. Cobertura del cielo. Fuente Climate consultant 2016.....	32
Gráfica 7. Precipitación en Barranquilla. Fuente IDEAM .....	33
Gráfica 8. Rosa de los vientos Barranquilla. Fuente IDEAM.....	34
Gráfica 9. Dirección y velocidad de los vientos en Barranquilla. Fuente IDEAM .....	34
Gráfica 10. Promedio horario de la dirección y velocidad del viento l viento a nivel mensual y horario en Barranquilla. Fuente IDEAM .....	35
Gráfica 11. Cuadro Psicométrico clima Barranquilla - Confort adaptativo. Fuente: Climate Consultant. 2016.....	36

Gráfica 12. Cuadro Psicométrico clima de Barranquilla - Estrategias a aplicar. Fuente: Climate Consultant. 2016.....	37
Gráfica 13. Comportamiento térmico espacios Planta Baja. Estado Inicial.....	51
Gráfica 14. Comportamiento térmico espacios del Penthouse Este. Estado Inicial .....	52
Gráfica 15. Comportamiento térmico espacios del Penthouse Oeste. Estado Inicial .....	52
Gráfica 16. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo A. Estado Inicial .....	53
Gráfica 17. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo B. Estado Inicial .....	53
Gráfica 18. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo C y Tipo D. Estado Inicial .....	54
Gráfica 19. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo E. Estado Inicial .....	54
Gráfica 20. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo F. Estado Inicial .....	55
Gráfica 21. Consumo energético en climatización mecánica. Estado inicial.....	55
Gráfica 22. Comportamiento térmico espacios Planta Baja. Propuesta .....	78
Gráfica 23. Comportamiento térmico espacios del Penthouse Este. Propuesta.....	79
Gráfica 24. Comportamiento térmico espacios del Penthouse Oeste. Propuesta .....	79
Gráfica 25. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo A. Propuesta .....	80
Gráfica 26. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo B. Propuesta .....	80
Gráfica 27. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo C y Tipo D. Propuesta .....	81
Gráfica 28. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo E. Propuesta .....	81
Gráfica 29. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo F. Propuesta .....	82
Gráfica 30. Consumo energético en climatización mecánica. Propuesta .....	83
Gráfica 31. Comparativo resumen anual de consumo energético. Propuesta inicial y modelo mejorado.....	83

## Índice de tablas

Tabla 1. Políticas sectoriales sobre desarrollo urbano .....	17
Tabla 2. Iniciativas en materia de sostenibilidad y ecourbanismo .....	19
Tabla 3. Ahorros de energía exigidos en la normativa. Fuente Resolución 0549 de 2015 .....	20
Tabla 4. Ahorros de agua exigidos en la normativa. Fuente Resolución 0549 de 2015 .....	20
Tabla 5. Línea base de consumo energético. Fuente Resolución 0549 de 2015 .....	21
Tabla 6. Línea base de consumo de agua. Fuente Resolución 0549 de 2015 .....	21
Tabla 7. Niveles de radiación solar por hora en Barranquilla. Fuente IDEAM .....	38
Tabla 8. Valores de K máximo admisible para muros y techos según IRAM 11605.....	49
Tabla 9. Cálculo de la transmitancia térmica “K” del muro original .....	49
Tabla 10. Cálculo de la transmitancia térmica “K” de la cubierta verde original.....	49
Tabla 11. Cálculo de la transmitancia térmica “K” de la cubierta en grava original.....	50
Tabla 12. Parámetros para simulación térmica para cada uno de los espacios. ....	51
Tabla 13. Ángulos de azimut y altura solar en solsticios y equinoccio para la ciudad de barranquilla .....	56
Tabla 14. Ángulos de protección solar en cada fachada .....	58
Tabla 15. Cálculo de la transmitancia térmica “K” del muro propuesto.....	64
Tabla 16. Cálculo de la transmitancia térmica “K” de cubierta verde propuesta .....	64
Tabla 17. Cálculo de la transmitancia térmica “K” de cubierta en grava propuesta .....	65
Tabla 18. Caudales mínimos de ventilación según área y uso del espacio. ASHRAE 62.1 .....	68
Tabla 19. Cálculo de perfil vertical de la velocidad media de acuerdo a la fórmula de Hellmann.....	69
Tabla 20. Caudales requeridos y dimensiones de apertura mínimos para uno de los espacios.....	70

Tabla 21. Escala de Beaufort..... 74  
Tabla 22. Frecuencia de inconfort ..... 75  
Tabla 23. Niveles de iluminancia (lx) requeridos según uso del espacio ..... 84  
Tabla 24. Porcentajes de ahorro según Resolución 0549 de 2015 ..... 86

## **INTRODUCCION**

### **ESTADO DE LA CUESTIÓN. SUSTENTABILIDAD. ANTECEDENTES**

Las diferentes crisis energéticas han traído consigo la preocupación del mundo por mejorar diferentes aspectos que puedan estar generando los daños ambientales. En la arquitectura como una de las actividades que más impacto ambiental produce, se han dado respuestas al problema medioambiental con diferentes tendencias, desde las primeras propuestas de arquitectura solar, continuando con la arquitectura bioclimática, eco diseño, arquitectura ecológica, bioarquitectura y la arquitectura alternativa, las cuales se han ido nutriendo con el paso del tiempo, abarcando mayores problemáticas y llegando a la arquitectura sustentable que hoy conocemos.

En 1992 la IUA (International Union of Architects) y la AIA (American Institute of Architects) define el diseño sostenible de la siguiente manera: “El diseño sostenible integra consideraciones de eficiencia en el uso de recursos y de la energía, ha de producir edificios sanos, ha de utilizar materiales ecológicos y debe considerar la sensibilidad estética que inspire, afirme y emocione...”, mostrando la tendencia del ejercicio profesional del arquitecto a nivel mundial por afrontar de una mejor manera la problemática ambiental, entendiendo la gran responsabilidad que tiene la actividad edilicia en la crisis ambiental que hoy nos concierne.

Actualmente existe una creciente preocupación por involucrar análisis ambientales en las decisiones proyectuales, lo cual ha obligado a las diferentes facultades de arquitectura a involucrar el tema de la bioclimática en sus mallas curriculares, intentando dar respuesta a las exigencias de la sociedad contemporánea.

En este texto se presentará un panorama general del problema medioambiental y su relación con la actividad profesional de los arquitectos, mostrando un barrido general por la historia de la sustentabilidad en la profesión del arquitecto e ilustrando mejor los conceptos con una obra arquitectónica que refleja un análisis y entendimiento del clima en el cual se ubica, para generar un proyecto que cumple con los requisitos de la arquitectura sustentable.

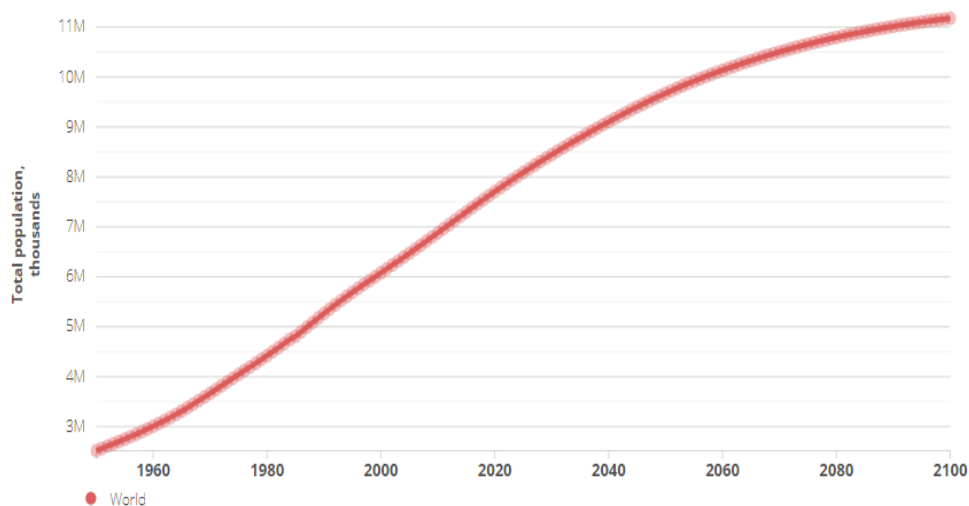
#### **Crisis energética y problema ambiental**

Si volvemos en el tiempo para encontrar los momentos claves que detonaron el interés contemporáneo por reducir los efectos negativos sobre el medio ambiente de nuestras acciones, tenemos que hablar del libro escrito por la bióloga marina Rachel Carson “Primavera silenciosa” en 1962, en el cual se cuestiona la lógica de inundar de pesticidas DDT el medio ambiente sin considerar los daños ocasionados por estos químicos en la cadena alimenticia, llegando a su acumulación en los tejidos grasos de los animales y las personas, causando cáncer y/o degeneraciones genéticas. El libro generó tal polémica en Estados Unidos que el presidente Kennedy tuvo que realizar una consulta con su comité científico sobre el tema, demostrando lo ya planteado en el libro de Rachel Carson, por lo cual el DDT fue prohibido en este país.

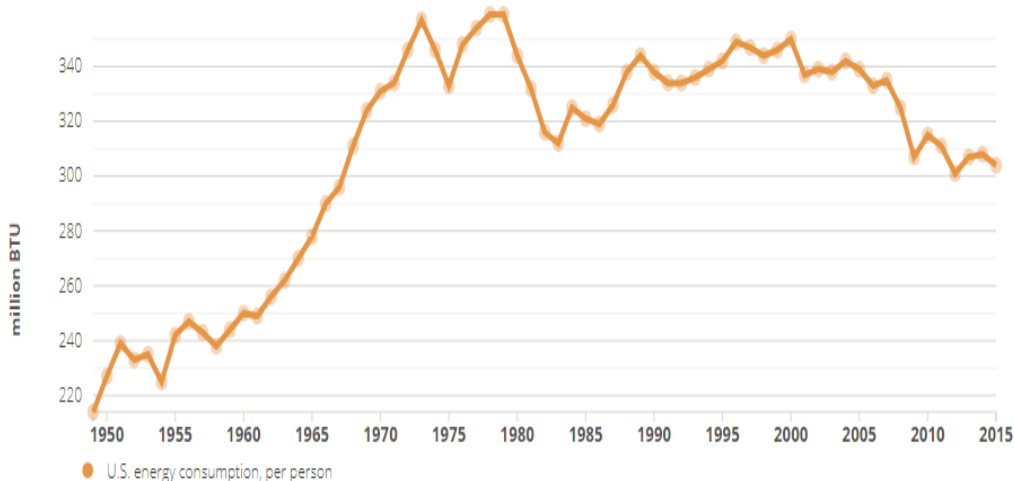
En 1972 la organización de las Naciones Unidas celebró en Estocolmo, Suecia la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, la cual fue la

primera gran reunión de la ONU para tratar la temática ambiental, siendo este el primer paso para iniciar políticas ambientales globales. Con la asistencia de los representantes de 113 países, 19 organismos intergubernamentales, y más de 400 organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales, es ampliamente reconocida como el comienzo de la conciencia política y pública de los problemas ambientales (Agustin, 2011). En este primer encuentro político mundial se establecieron 26 artículos para orientar la toma de decisiones enfocadas a reducir el daño ambiental.

En la década de los 70 un grupo de académicos reunidos en el Club de Roma, encargo al MIT un análisis sobre la tendencia global de desarrollo económico. Mediante un software el MIT simuló las diferentes variables involucradas, el aumento de la población, el crecimiento económico y con esto la huella de carbono estimada en la tierra para los próximos 100 años. Los resultados fueron publicados en el libro “Los límites del crecimiento”. La conclusión principal de este análisis, fue que existen límites de crecimiento debido a la dependencia de recursos naturales no renovables, la tierra cultivable finita y la capacidad de los ecosistemas para contrarrestar el impacto ambiental resultado de las actividades humanas, por lo cual se considera que el modelo de desarrollo llevado hasta el momento no es para nada sostenible.



Gráfica 1 Crecimiento demográfico desde 1950 con proyección a 2100. Fuente: <http://humanprogress.org/f1/2540>



Gráfica 2 Consumo energético por persona en millones de BTU anual. Fuente: <http://humanprogress.org/static/1920>

Con las primeras dos crisis del petróleo, en 1973 y 1979, la preocupación mundial por entender las diferentes afectaciones ambientales en cada una de las actividades humanas creció. Como resultado de estas preocupaciones globales, nacen la WWF (World Wildlife Fund) y la Greenpeace entre otras instituciones que trabajan por la conservación del planeta.

En 1983, la ONU convocó a la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo, la cual tenía como objetivo analizar la progresiva amenaza al deterioro medioambiental, de la cual se proclamó el interés común de todas las naciones para establecer políticas de desarrollo sostenible y así mitigar el daño ambiental que se venía presentando por las políticas establecidas hasta el momento.

En 1987, la Comisión publicó “Nuestro Futuro Común” el cual fundó las bases para la Conferencia de Río en 1992 e introdujo la definición de desarrollo sostenible que ha sido citada y presentada en variados ámbitos académicos “El desarrollo que cubre las necesidades actuales sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

Como resultado de la Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro 1992, se establece el **Programa 21** o **Agenda 21**, en el cual se plantea un programa de acciones a nivel internacional, nacional y local para afrontar el problema ambiental. El Programa 21 considera todos los temas que tienen relación con la crisis climática, como la contaminación del aire, la desertificación, la gestión de los mares y todos los recursos hídricos, la gestión de la agricultura, bosques y montañas, la gestión de residuos, la salud y la vivienda. Aún hoy, la Agenda 21 es un documento de referencia para plantear políticas de desarrollo sostenible en los territorios.

Posterior a la Cumbre de Río, se han realizado encuentros mundiales para evaluar los avances en el tema ambiental y proponer nuevas actuaciones en la materia. La conferencia Río+10 tuvo lugar en Johannesburgo en 2002, a modo de evaluación y seguimiento de la aplicación de los acuerdos de Río 92 y, en 2012, una vez más en Río de Janeiro, se realizó la conferencia Río+20.

Hoy en día conceptos como crisis ambiental y calentamiento global son de constante repetición en los diferentes medios de comunicación, la sociedad actual presenta un mayor interés por esta temática, desde los primeros años de estudio se incorporan conceptos como reciclar o reutilizar en los niños, generando cada día una mayor conciencia ambiental y encaminando los diferentes productos y servicios del mercado a ser cada vez más amigables con el medio ambiente.

La arquitectura no es ajena a este fenómeno global, considerando que la industria de la construcción es la responsable del consumo de más del 50% de los recursos naturales y energéticos del planeta, concentrando la población en centros urbanos (Edwards, 2006), por esta razón, arquitectos en distintos lugares del mundo han buscado retomar y profundizar en diferentes conceptos relacionados con el diseño arquitectónico ambientalmente consciente, para enfocar de mejor manera las profesiones que intervienen en la actividad constructiva y así minimizar los impactos ambientales de nuestra profesión

### **La arquitectura sustentable en la historia**

La arquitectura proyectada antes del auge energético y tecnológico mundial, debía considerar la variabilidad climática de acuerdo a su localización. El edificio mismo debía garantizar el mejor comportamiento higrotérmico al interior de los espacios, debido a que no se contaba con tecnologías de refrigeración y/o calefacción que pudieran contrarrestar los efectos de malas decisiones proyectuales. Es por esto, que a lo largo de la historia los diferentes asentamientos humanos han practicado la integración de sus construcciones con la naturaleza.

Desde las primeras preocupaciones del hombre primitivo de generar un espacio de cobijo, la vivienda, se plantearon construcciones muy rudimentarias, sin embargo, esta arquitectura primitiva es muy racional y responde perfectamente a las necesidades ecológicas. Según Buigas (1976), se hace evidente un entendimiento del lugar donde se ubicaban para adaptarse de la mejor manera posible, pues en una vivienda no se debe pensar únicamente en el factor estético de las formas, sino en las estrategias para garantizar el máximo de confort y salubridad interior posible.

La arquitectura vernácula, que basa sus intervenciones en los conocimientos transmitidos de generación en generación, y habitualmente es realizada sin arquitectos, refleja una clara postura de las construcciones hacia su entorno ambiental, debido a la necesidad de aprovechamiento de los recursos naturales presentes para brindar construcciones de calidad y espacios confortables.

Es por lo anterior que vemos aldeas como Dogon en Malí, África o Pueblo Bonito en Cañón del Chaco, Nuevo México, las cuales a pesar de estar en lugares muy diferentes del mundo, responden a la condicionante ambiental de fuerte calor aprovechando la inercia térmica de la tierra, plantean sus edificaciones enterradas o semienterradas, consiguiendo espacios interiores mucho más frescos.





Figura 1 Pueblo Bonito. Cañón del Chaco. Fuente:  
<http://despiertaalfuturo.blogspot.com.co/2013/05/secretos-de-los-anasazi-el-canon-de.html>

Como respuesta a los rayos solares y las altas temperaturas del verano, en las ciudades mediterráneas prevalecen los colores claros, buscando la mayor reflexión de la energía solar y reducir considerablemente los aportes de calor por radiación solar incidente.

Un buen ejemplo del aprovechamiento de las condiciones naturales en la arquitectura ha podido encontrarse en numerosas ciudades de la antigua Grecia, que se ordenaban en cuadrícula, donde los espacios habitables eran orientados al sur y relacionados con un patio a través de un pórtico que los protegía del sol alto del verano, a la vez que dejaba penetrar en ellos el sol bajo del invierno (Rosell Crespo, 2011), demostrando la respuesta dada a la necesidad térmica interior de los edificios, con un buen análisis y entendimiento de la mecánica solar.

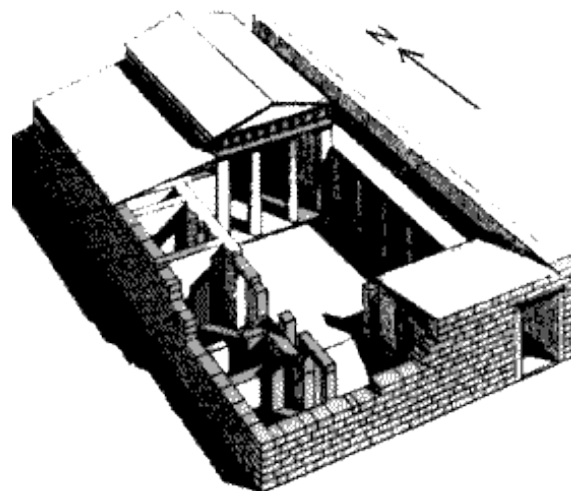


Figura 2 Casa típica de la antigua Grecia. Fuente:  
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo07.htm>

Fueron los romanos los primeros en reconocer y aprovechar el efecto invernadero para calentar sus espacios en invierno, usando capas delgadas de mica generaban una especie de vidrio que disponían generalmente en las

fachadas de la tarde, y orientadas de tal manera que se aprovechara en mayor medida el sol de invierno.

En Matmata, Túnez, se construye la vivienda alrededor de un patio central de aproximadamente 10 metros de profundidad. Las zonas de dormitorio se ubican alrededor de este patio, en varios niveles. En este clima cálido y árido, las ventajas del patio son múltiples: inercia térmica de la tierra, disminución de la incidencia directa del sol, reserva de aire fresco al fondo del patio, reducción de la exposición al viento y con esto al polvo.

En un contexto más local, cuando se analizan las construcciones vernáculas en varias zonas climática colombianas, se observan diferencias en las respuestas arquitectónicas a las distintas determinantes climáticas, aprovechando el uso de inercias térmicas altas en climas con gran amplitud térmica, variabilidad de materiales de acuerdo a la disponibilidad del lugar, circulaciones exteriores cubiertas que a su vez brindan protección solar (zona cafetera y valle del cauca), construcciones palafíticas para alejarse de la humedad del terreno o de los mismos cuerpos de agua, techos en paja o barro, etc. Todas las decisiones en este tipo de arquitectura son en respuesta al clima, disponibilidad de materiales y determinantes ambientales del lugar.



Figura 3 Construcciones en diferentes zonas climáticas colombianas. Fuente: Conferencia Jorge Ramírez. Cali, noviembre 2005.

Los estilos arquitectónicos del siglo XX, acompañados de la poca o inexistente preocupación por el consumo de recursos naturales, generó un largo periodo de tiempo en que la arquitectura se alejó totalmente del clima y su entorno, concibiendo el mismo tipo de edificios en la gran variedad de climas mundiales, sin ser consciente del consumo energético que producía.

El movimiento moderno da origen al estilo internacional, planteando el concepto de vivienda típica, repetitiva y estandarizada que se basaba en un ideal de industrialización de la construcción que nunca logró alcanzarse, partía del modelo productivista y mecanicista del desarrollo que ha sido ampliamente cuestionado desde las últimas décadas del siglo XX. (González Couret, 2003), pero que aún hoy se sigue enseñando en las facultades de arquitectura, lo que genera un gran número de profesionales que desconocen o no les importa el

contexto ambiental para sus planteamientos arquitectónicos, dando como resultado muchos edificios de ningún lugar, en todos los lugares del mundo.

Cabe destacar que entre todos estos errores arquitectónicos del siglo XX, desde el punto de vista ambiental, se presentaron algunas corrientes arquitectónicas que fueron sentando las bases de la arquitectura sustentable.

Iniciando con las primeras propuestas de arquitectura solar, la cual, a través del entendimiento de la mecánica solar, aprovecha la energía calórica de los rayos solares como sistemas de calefacción en invierno y los evita en verano para mantener los espacios más frescos, este tipo de arquitectura plantea un mayor entendimiento de las propiedades físicas de los materiales para poder seleccionar el adecuado de acuerdo a los requerimientos del proyecto, ya sea aislación o acumulación. El arquitecto George Keck es considerado pionero en este tipo de arquitectura, planteando viviendas solares desde los años 1933 con la "Casa del mañana" y posteriormente la casa Sloan, en 1940, la cual fue la primera en ser llamada casa solar.



Figura 4 Casa solar Sloan, diseñanda por George Keck.  
Fuente:<https://es.slideshare.net/SebastianGaviorno/tecn-altern-arq-solar>

Otra corriente arquitectónica que surge en el siglo anterior es la arquitectura bioclimática, que es aquella que considera las variables climáticas (sol, viento, vegetación, lluvia y ruido) para la toma de decisiones proyectuales y así reducir los consumos de energía y con esto los impactos ambientales de las edificaciones. Los pioneros de este tipo de arquitectura son los hermanos Olgay, los cuales con sus planteamientos pretenden un vínculo entre la vida, el clima y el diseño. Posterior a ello, nacieron otros conceptos similares como diseño ambiental, eco diseño, diseño natural, biodiseño, entre otros; aunque con el mismo fin de establecer una relación entre el hombre, la naturaleza y la arquitectura. En esencia, la arquitectura bioclimática intenta armonizar los espacios, creando óptimas condiciones de confort y bienestar. (ARQHYS 2012).

Con el tiempo se han dado propuestas adicionales al problema ambiental, como el enfoque de la arquitectura alternativa, la cual tiene los principios de la arquitectura sustentable, pero esta se enfoca principalmente en las construcciones que utilizan materiales no convencionales y en la creación de

nuevas técnicas y métodos de construcción a partir de la utilización de este tipo de productos, apoyando fuertemente el reciclaje y reutilización de diferentes materiales.

Hoy hablamos de arquitectura sustentable, la cual se ha nutrido de todas las corrientes anteriores, estableciendo un ideal de arquitectura que analiza las determinantes ambientales del lugar, realiza una buena selección de los materiales, analizando su disponibilidad en el lugar y su impacto por ciclo de vida, logrando proyectos que responden adecuadamente a las condiciones solares, régimen de lluvias y vientos; su consumo energético es el menor posible y su huella de carbono es significativamente baja respecto a las construcciones convencionales, todo lo anterior sin sacrificar salubridad y confort al interior de los espacios.

Como respuesta a las dinámicas de la sociedad contemporánea, a lo largo del mundo se han creado certificados para edificios que son eficientes energéticamente, ejemplos de este tipo de certificación son LEED de Estados Unidos, BREEAM del Reino Unido y HQE de Francia como los más conocidos. Todos buscando mediante el cumplimiento de ciertos ítems catalogar los edificios de acuerdo a su nivel de eficiencia. Pero muchas veces este proceso de certificación se hace siguiendo un “chek list” sin el verdadero juicio que acarrea realizar un análisis ambiental y generar un proyecto realmente sustentable. De este tipo de certificaciones es importante rescatar el aporte que realiza al pensamiento colectivo, debido a que han generado una mayor preocupación o interés del mercado constructivo por plantear propuestas con mejores respuestas ambientales.

La tendencia actual hacia lo verde o sustentable, debido al creciente interés de la sociedad por “salvar el planeta”, ha generado que las personas quieren consumir cada día más productos amigables con el ambiente, vivir o trabajar en edificios con sellos verdes. En respuesta a este mercado, los productos y servicios ofrecidos, incluyendo los edificios que se diseñan y construyen, buscan mostrarse como amigables con el medio ambiente, y muchas veces las políticas mercantiles se enfocan en el Greenwashing, engañando al usuario final, mediante publicidad que da la percepción de que las decisiones y enfoques de una empresa son respetuosas con el medio ambiente.

En el gremio de la construcción colombiana a menudo vemos publicidad de ventas de proyectos de vivienda con nombres como: “jardines de...”, “bosques de...”, “Los arrayanes”, “Los Sauces”, etc, y en ninguno de ellos se percibe el más mínimo respeto por su entorno natural, por el contrario muchos de estos proyectos arrasaron con bosques para la construcción de torres de apartamentos que no consideran el clima, el sol, los vientos y que se repiten en los diferentes climas colombianos, generando problemas de habitabilidad interior, ya sea por sobrecalentamiento de los espacios, temperaturas muy bajas al interior o mala calidad del aire interior, lo cual puede llevar que los proyectos sufran del Síndrome del Edificio Enfermo (SEE).

La OMS, en 1982, definió el SEE como: Conjunto de enfermedades originadas o estimuladas por la contaminación del aire en espacios cerrados que produce, en al menos un 20% de los ocupantes, un conjunto de síntomas tales como, sequedad e irritación de las vías respiratorias, piel y ojos, dolor de cabeza, fatiga

mental, resfriados persistentes e hipersensibilidades inespecíficas, sin que sus causas estén perfectamente definidas. En los estudios realizados en edificios que padecen el SEE, se ha encontrado que los principales motivos son el estancamiento del aire, las altas temperaturas, gases y vapores en el espacio y altas concentraciones de dióxido de carbono, debido a una mala ventilación.

Para evitar problemas de salud en los futuros ocupantes de los proyectos, los arquitectos deberían realizar análisis ambientales en el proceso de diseño, para así lograr concebir proyecto ambientalmente sanos.

Es importante resaltar la tarea de algunos arquitectos para demostrar que la arquitectura sustentable ya es una realidad, y se debe acabar ese mito del gremio de la construcción de que hacer los edificios ambientalmente correctos genera grandes sobrecostos, catalogando este enfoque arquitectónico como un lujo de una minoría, y demostrar que por el contrario realizar diseños ambientalmente correctos genera grandes beneficios y ahorros económicos en la vida útil de la edificación. Ningún arquitecto debe dejar al azar la responsabilidad de equilibrar bienestar, proyecto y lugar. (Salazar et al, 2006).

## **EL PLANO NORMATIVO COLOMBIANO**

En el contexto Colombiano se percibe un interés histórico por la problemática ambiental. Desde el primer acercamiento en el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente con el Decreto Ley 2811 de 1974. Esta preocupación se reconoce en la Constitución Nacional, la cual vela por un ambiente sano, en su Artículo 79, dice “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarla. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”

Como respuesta a las dinámicas internacionales, el Congreso de Colombia en 1994 mediante la Ley 164, aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Adicionalmente con la Ley 629 de 2000 y el Decreto 1546 de 2005, se ratificó el Protocolo de Kioto. Igualmente, se adoptó la Agenda 21, un programa con objetivos globales pero que se lleva a la práctica de manera local. Estos objetivos están relacionados con la construcción, la aplicación de estrategias sostenibles y la mejora del medio ambiente para garantizar una mejor calidad de vida de los habitantes (Naciones Unidas, 2002)

Actualmente, se cuenta en el país con diversos documentos para promover un mejor accionar frente al medio ambiente, muchos de estos se terminan volviendo lineamientos que nadie conoce o nadie les da importancia. En la Tabla 1 podemos observar las políticas sobre el desarrollo urbano catalogadas de acuerdo a su afectación directa.

Tabla 1. Políticas sectoriales sobre desarrollo urbano

Ambiente	<p>Política de Gestión Ambiental Urbana (2008).</p> <p>Política de Producción y Consumo Sostenible (2010).</p> <p>Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (2012).</p>
----------	--

	Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas (POMCAs).
Agua	<p>CONPES 3343 de 2005. Lineamientos y estrategias de desarrollo sostenible para los sectores de agua, ambiente y desarrollo sostenible.</p> <p>CONPES 3383 de 2005. Plan de desarrollo del acueducto y el alcantarillado.</p> <p>CONPES 3550 de 2008. Lineamientos para la formulación de política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química.</p> <p>Política Nacional de Gestión Integral de Recurso Hídrico (2010).</p>
Aire	<p>CONPES 3343 de 2005. Lineamientos y estrategias de desarrollo sostenible para los sectores de agua, ambiente y desarrollo territorial.</p> <p>CONPES 3344 de 2005. Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación de aire.</p> <p>CONPES 3550 de 2008. Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de la calidad del aire, del agua y la seguridad química.</p>
Energía	CONPES 3343 de 2005. Lineamientos y Estrategias de desarrollo sostenible para los sectores de agua, transporte, energía, ambiente y desarrollo territorial.
Residuos líquidos y sólidos	<p>CONPES 3343 de 2005. Lineamientos y Estrategias de desarrollo sostenible para los sectores de agua, ambiente y desarrollo territorial.</p> <p>CONPES 3177 de 2002. Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del Plan Nacional de manejo de aguas residuales.</p> <p>CONPES 3383 de 2005. Plan de desarrollo del acueducto y el alcantarillado.</p> <p>CONPES 3530 de 2008. Lineamientos y estrategias para el fortalecimiento del servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos.</p> <p>CONPES 3874 de 2016. Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos.</p>
Clima	CONPES 3242 de 2003. Establece la estrategia institucional para la venta de servicios ambientales de mitigación del cambio climático.

	<p>CONPES 3700 de 2011. Estrategia institucional para la articulación de políticas y acciones en materia de cambio climático en Colombia.</p> <p>Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2012).</p>
--	--

Fuente: Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario. (Potes, L et al, 2018).

Además, se han presentado algunas iniciativas entorno a la arquitectura y urbanismo sostenible, algunas de ellas con iniciativa gubernamental y otras con iniciativa desde diferentes sectores del sector productivo. En la Tabla 2 se pueden observar estas iniciativas y quienes las lideraron.

Tabla 2. Iniciativas en materia de sostenibilidad y ecurbanismo

<b>Acciones desde el Estado</b>
Política Pública de Urbanismo y Construcción Sostenible. Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS).
Política Pública de Construcción Sostenible de la ciudad de Bogotá. Secretaria Distrital de Planeación de Bogotá (SDP) y Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA).
Reglamento Técnico de Eficiencia Energética en la Vivienda de Interés Social. Ministerio de Minas y Energía y Unidad de Planeación Energética (UPME).
Reglamento Técnico de Agua y Energía. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Departamento Nacional de Planeación (DNP), Sociedad Colombiana de Arquitectos (SCA), Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS).
Política Pública de Construcción Sostenible para el Valle de Aburrá. Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Colegio Mayor de Antioquia.
Sellos de Vivienda con Calidades Ambientales. Fondo Nacional de Ahorro (FNA).
<b>Acciones de iniciativa mixta</b>
Código de Construcción Sostenible. Ministerio de Vivienda, con el apoyo de la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y la Internacional Finance Corporation (IFC) del Banco Mundial.
Norma Técnica NTC Colombiana 6112. Etiquetas ambientales tipo I. Sello Ambiental Colombiano (SAC). Criterios ambientales para diseño y construcción de edificaciones sostenibles para uso diferente a vivienda. Ministerio de Medio Ambiente e Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC). Ministerio de Vivienda y el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS).

Ciudades Sostenibles. Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Financiera de Desarrollo Territorial (FINDETER) y Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Fuente: Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario. (Potes, L et al, 2018).

Como normativa final para regular la actividad constructiva, en el 2015, con el Decreto 1285 y la Resolución 0549, se establecen los lineamientos de construcción sostenible en Colombia, enfocando esfuerzos en el ahorro de agua y energía en las edificaciones.

La resolución clasifica las medidas de ahorro como pasivas y activas, y determina los niveles mínimos de ahorro en relación al clima y al uso final de la edificación. En las Tabla 3 y Tabla 4 se observan los porcentajes de ahorro exigidos en la normativa.

Tabla 3. Ahorros de energía exigidos en la normativa. Fuente Resolución 0549 de 2015

Energía	Año 2			
	Frío	Templado	Cálido seco	Cálido húmedo
Con respecto a la línea base				
Hoteles	20	35	25	45
Hospitales	35	25	35	30
Oficinas	30	30	40	30
Centros comerciales	25	40	35	30
Educativos	45	40	40	35
Vivienda NO VIS	25	25	25	45
Vivienda VIS	20	15	20	20
Vivienda VIP	15	15	20	15

Tabla 4. Ahorros de agua exigidos en la normativa. Fuente Resolución 0549 de 2015

Agua	Año 2			
	Frío	Templado	Cálido seco	Cálido húmedo
Con respecto a la línea base				
Hoteles	25	10	35	45
Hospitales	10	40	10	40
Oficinas	30	35	45	20
Centros comerciales	25	15	45	20
Educativos	45	40	40	40
Vivienda NO VIS	25	25	20	20
Vivienda VIS	10	15	10	15
Vivienda VIP	10	15	10	15

Los porcentajes de ahorro presentados están dados en relación a una línea base que fue creada por medio de relevamientos, encuestas, revisión de



factura de servicios públicos y simulaciones dinámicas de diferentes proyectos a nivel nacional. En las Tabla 5 y

Tabla 6 se presentan las líneas base para los diferentes usos y climas.

Tabla 5. Línea base de consumo energético. Fuente Resolución 0549 de 2015

kWh/m <sup>2</sup> -año	Frío	Templado	Cálido seco	Cálido húmedo
Hoteles	96,1	151,3	132,5	217,8
Hospitales	249,6	108,3	344,1	344,1
Oficinas	81,2	132,3	318,2	221,3
Centros comerciales	403,8	187,8	187,8	231,5
Educativos	40,0	44,0	72,0	29,8
Vivienda no VIS	46,5	48,3	36,9	50,2
Vivienda VIS	44,6	44,0	34,6	49,3
Vivienda VIP	48,1	53,3	44,9	50,6

Tabla 6. Línea base de consumo de agua. Fuente Resolución 0549 de 2015

lt/pers/día	Frío	Templado	Cálido seco	Cálido húmedo
Hoteles	188,5	564,0	242,0	278,9
Hospitales	620,2	600,0	438,0	800,0
Oficinas	45,0	45,0	52,0	45,8
Centros comerciales	6 lt/m <sup>2</sup>	6 lt/m <sup>2</sup>	6 lt/m <sup>2</sup>	6 lt/m <sup>2</sup>
Educativos	50,0	50,0	50,0	24,8
Vivienda no VIS	145,4	145,3	189,8	174,9
Vivienda VIS	105,7	113,9	156,7	125,4
Vivienda VIP	78,1	98,3	189,8	110,6

## PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

A pesar de contar con una serie de políticas y normas entorno a las temáticas ambientales, y de contar con una normativa específica para limitar los consumos de energía y agua en edificaciones nuevas; en el medio Colombiano aún se continua diseñando y construyendo sin tener en consideración el clima donde se ubica el proyecto. Este factor genera una alta demanda de energía en los sistemas de climatización mecánica, sobre todo en las zonas costeras, donde la temperatura media anual se encuentra cercana a los 28°C.

En la búsqueda de involucrar los aspectos de diseño ambientalmente consciente en el sector de la construcción en Colombia, se pretende desarrollar un análisis y aplicación de medidas de eficiencia energética y acondicionamiento térmico en un edificio de 8 pisos, con 6 departamentos por planta, con planta baja de zonas sociales y tres subsuelos de parqueaderos, ubicado en la ciudad de Barranquilla Colombia (temperatura media anual 27.7°C). Demostrando con este ejemplo los beneficios en confort y ahorro energético de aplicar dichas estrategias, y buscar una mayor difusión y aplicación de los diseños ambientalmente correctos en el medio colombiano, y con esto un mayor cumplimiento de la normativa nacional.

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un proyecto con criterios DAC en un clima tropical cálido húmedo y demostrar los beneficios en confort y ahorro energético al aplicar las estrategias de diseño pasivo y activo, buscando una mayor difusión de la construcción sustentable en el medio colombiano.

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir las estrategias de climatización pasiva mínimas a considerar en un edificio en clima ecuatorial cálido húmedo.
- Aplicar la propuesta de intervención a un edificio previamente diseñado, en búsqueda de una mayor eficiencia energética.
- Simular térmicamente las propuestas realizadas y verificar la mejora en eficiencia y confort en el proyecto trabajado.

### ESTUDIO DE CASO

El edificio propuesto para el trabajo ya se encuentra en etapa avanzada de diseño, lo que limita algunas modificaciones como orientación y zonificación interior. Por sus dimensiones y cantidad de apartamentos (46) se considera un buen ejemplo para aplicación de estrategias arquitectónicas para mejorar la eficiencia energética en un clima cálido húmedo, volviéndose un referente para una mayor difusión del diseño ambientalmente consciente.

El proyecto cuenta con 3 sótanos de parqueaderos, planta baja con gimnasio y zonas comunes y 8 pisos de apartamentos. Se cuenta con una buena variedad de espacios a analizar, lo cual nos da más posibilidades de aplicación de estrategias.



Figura 5. Proyecto edificio Livorno en Barranquilla. Fuente Constructora INACAR

Los 3 niveles de sótanos ocupan todo el terreno y están destinados a parqueos, con algunos depósitos y cuartos técnicos.



Figura 6. Planta sótano -3



Figura 7. Planta sótano -2

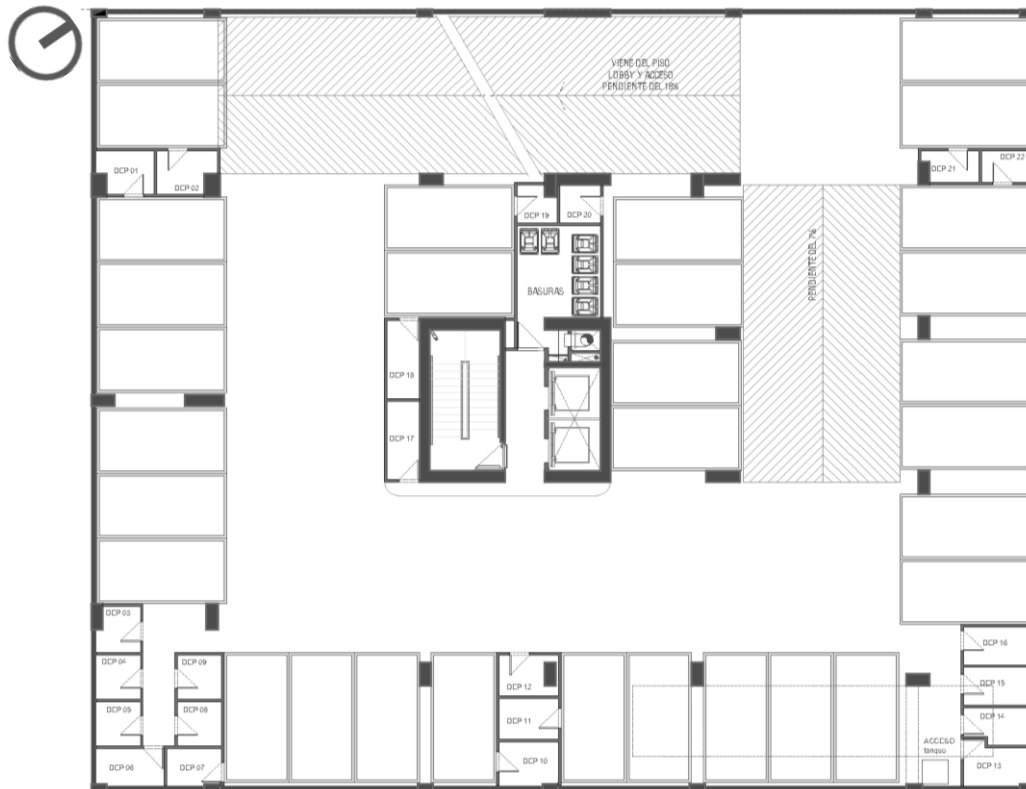


Figura 8. Planta sótano -1

En planta baja encontramos los uso comunes del proyecto, el ingreso al proyecto se encuentra sobre la fachada suroeste, con un Lobby una oficina destinada a la administración del edificio. Sobre la fachada noreste se encuentra un salon social con zona de BBQ y un gimnasio que tambien cuenta con fachada al sureste. Sobre esta última fachada se dispone la zona de piscina, la cual está parcialmente cubierta por el volumen superior del proyecto.

En los pisos del 1 al 7 encontramos un piso tipo con 6 apartamentos en cada uno, y rematando el piso 8 con 4 apartamentos.

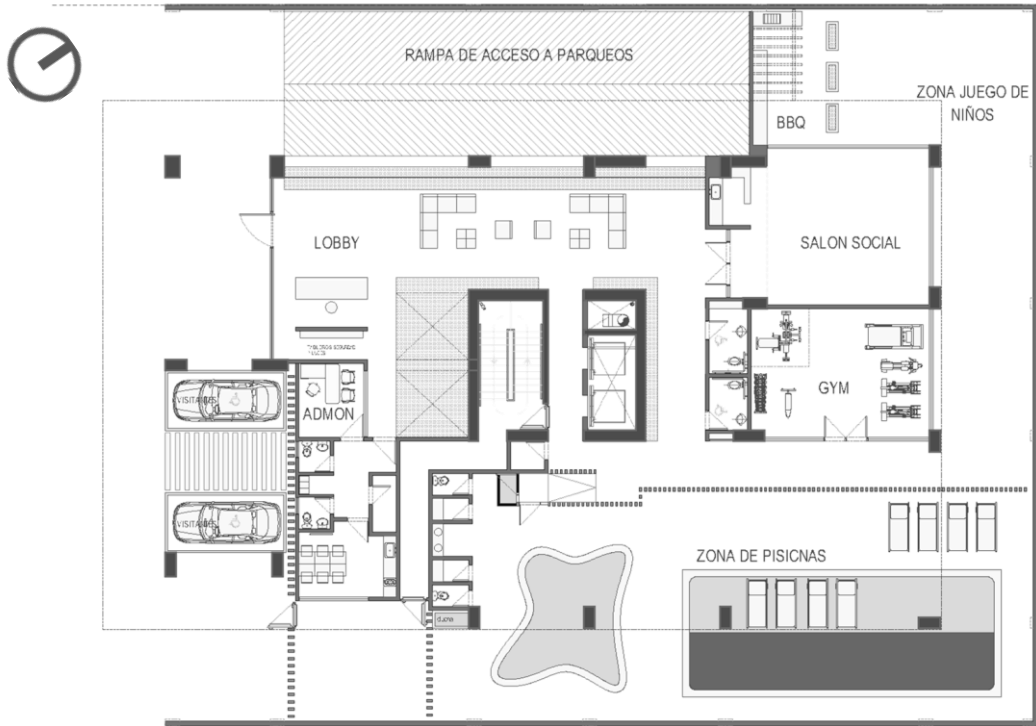


Figura 9. Planta baja

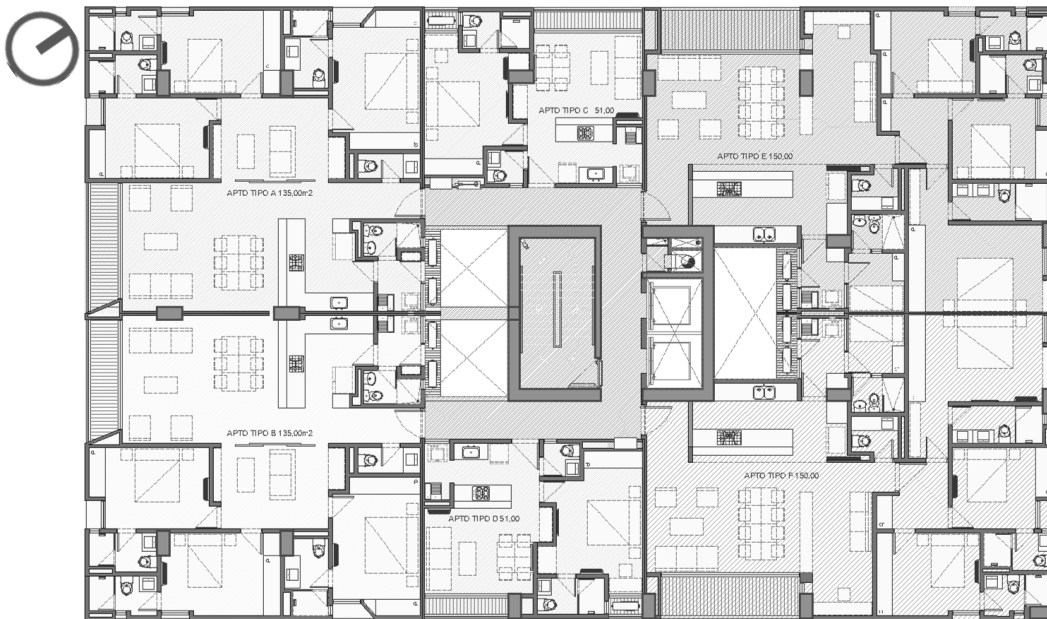


Figura 10. Piso tipo - Planta apartamentos del piso 1 al 7



Figura 11. Piso 8 - Penhouse

## METODOLOGÍA

Como metodología de trabajo se estudiará el clima de la ciudad de Barranquilla con apoyo del software Climate Consultant y de esta manera determinar las principales afectaciones y estrategias arquitectónicas de climatización pasiva a aplicar.

Se contará con la carpeta de planos y toda la información del proyecto suministrada por la constructora INACAR, con los cuales se realizará un diagnóstico inicial del proyecto en relación al clima en el que se ubica.

Posteriormente se realizará un estudio de mejora de envolvente de acuerdo a los requerimientos del lugar, en procura de mejorar tanto el confort interior como la eficiencia energética del edificio.

Se estudiará la respuesta de las diferentes propuestas de fachada del proyecto de acuerdo a la incidencia real del sol y de esta manera poder determinar los cambios necesarios para mejorar la eficiencia general del proyecto.

Se estudiarán y propondrán sistemas de ventilación natural en los diferentes espacios del proyecto, para garantizar niveles de confort en los diferentes momentos del día.

Se simulará el comportamiento lumínico del proyecto y verificará el cumplimiento de los niveles lumínicos de acuerdo a la normativa nacional RETILAB 2013.

Se realizarán los cálculos iniciales y planteamiento de uso sustentable del agua en el proyecto, buscando la eficiencia hídrica.

Finalmente se evaluará mediante simulación térmica, mediante el software EnergyPlus, con la interfaz de OpenStudio, la incidencia de las estrategias planteadas en confort interior y la reducción en consumos de sistemas de climatización.

## DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE IMPLANTACIÓN

El municipio de Barranquilla es una de las 4 ciudades más grandes de Colombia, cuenta con 1.228.621 habitantes, siendo una de las ciudades en las que inicio la aplicación de la normativa de Eficiencia Energética en Edificaciones en el 2016. Se encuentra ubicada en la costa norte del país, al Norte del departamento de Atlántico. A una Altitud de 18. Msnm. Latitud: 10°57"N Longitud: 74°47' O.

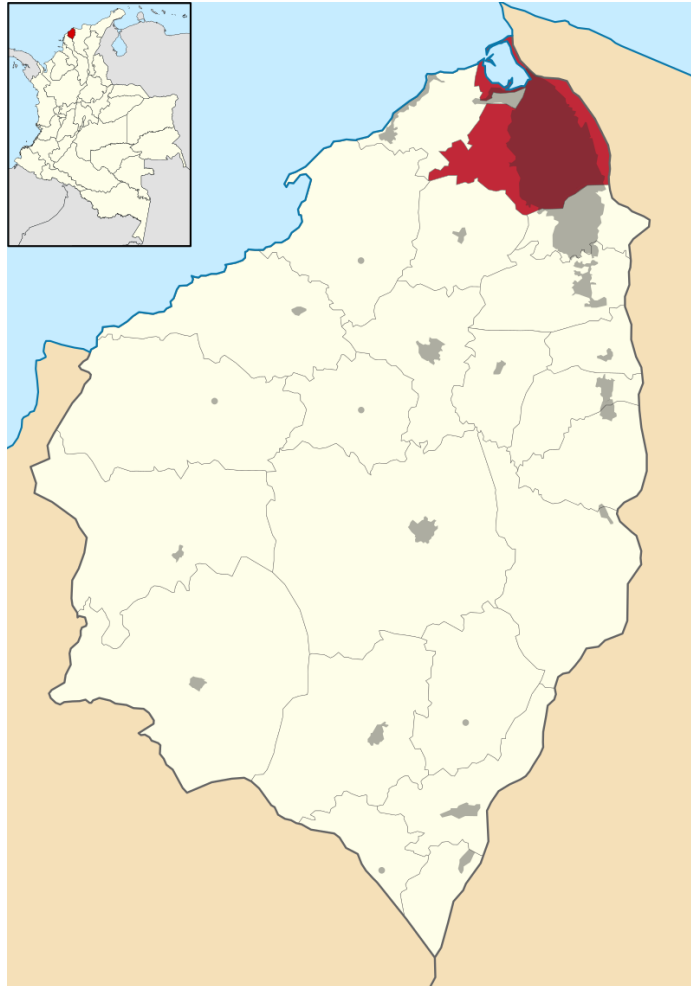


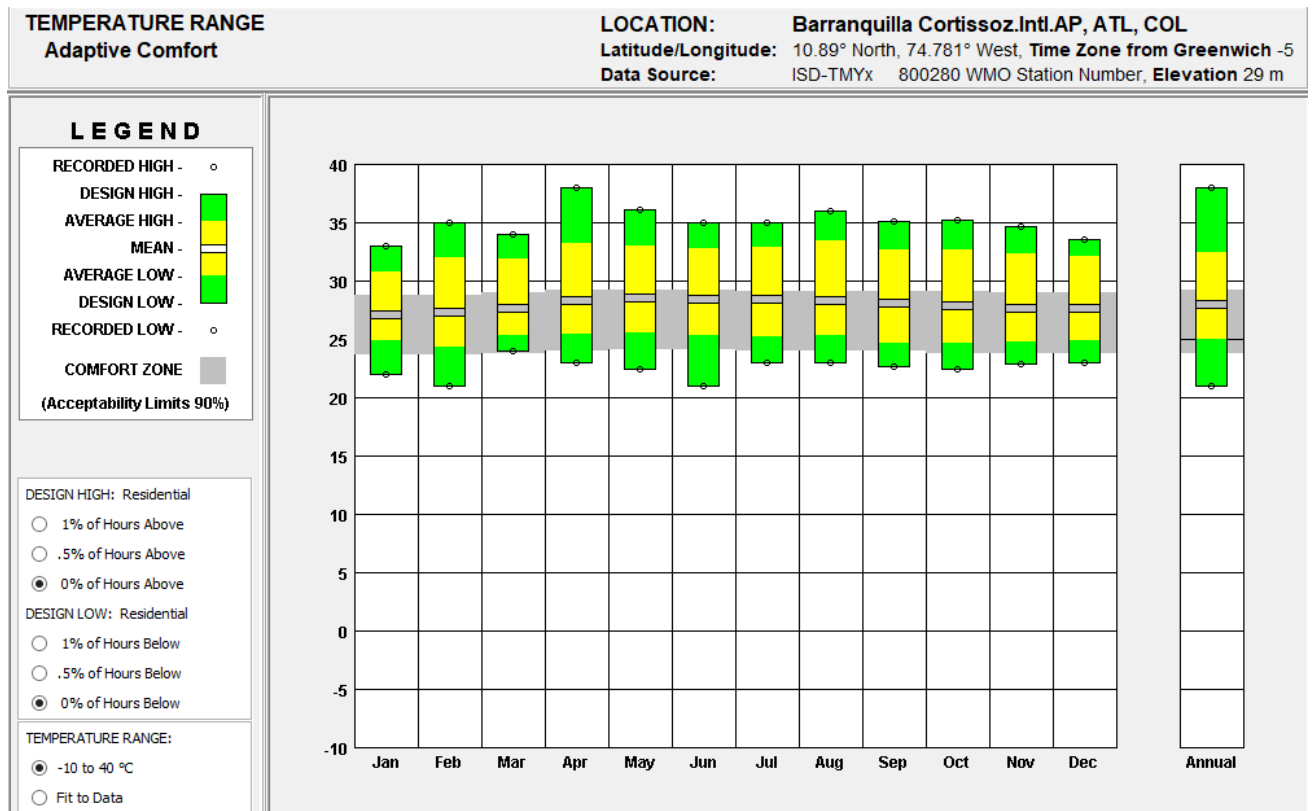
Figura 12. Ubicación de la ciudad de Barranquilla. Fuente: Wikipedia

## CONDICIONES CLIMATICAS

Los datos meteorológicos para el análisis son suministrados por la estación del Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) No. 29045020 Aeropuerto Ernesto Cortissoz situada en el aeropuerto de la ciudad.

El clima de Barranquilla se analizó mediante el software Climate Consultant, considerando el estándar de confort “Adaptive Comfort Model in ASHRAE Standard 55-2010”

### Rango de temperatura



Gráfica 3. Rango de temperatura. Barranquilla. Fuente: Climate consultant. 2016

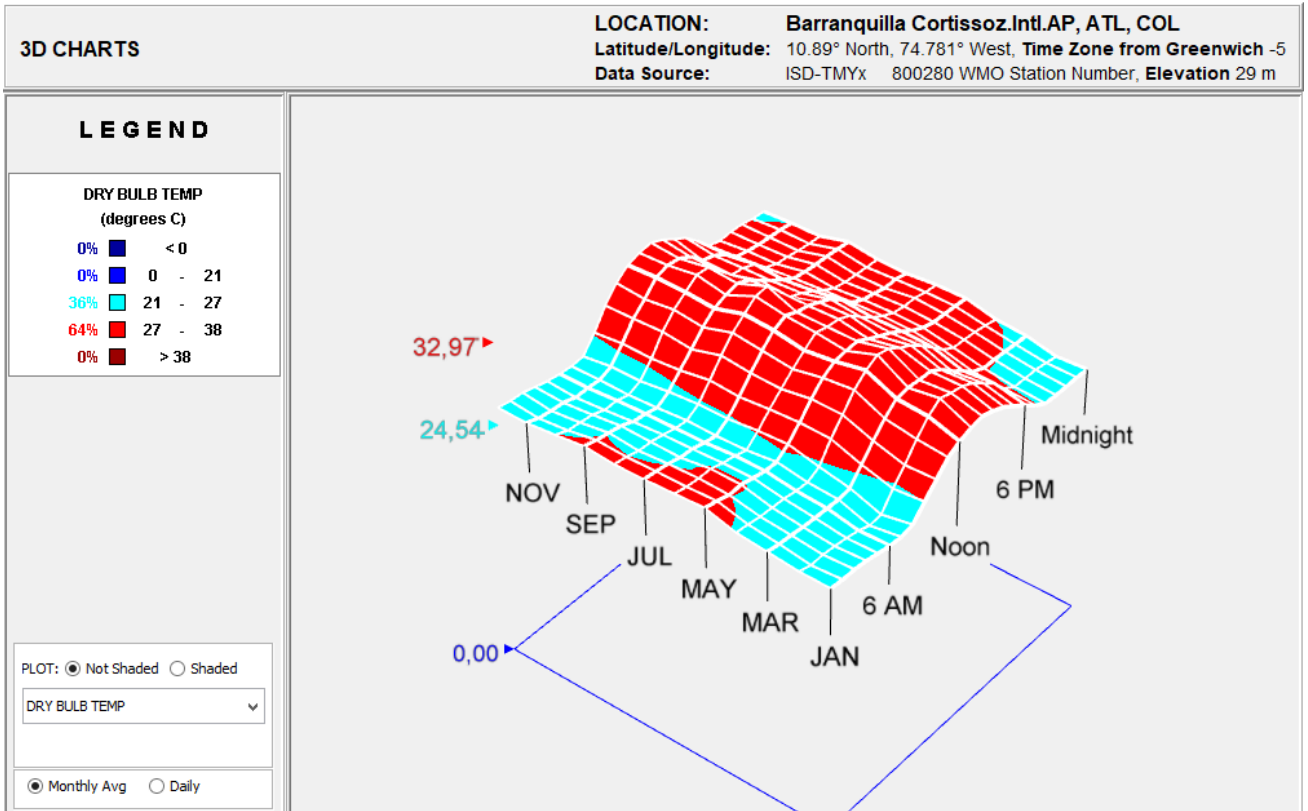
Debido a la latitud de la ciudad de Barranquilla, el clima no presenta grandes variaciones en su temperatura a lo largo del año. El clima Barranquillero está clasificado como clima Tropical Húmedo. En un solo día se puede presentar temperaturas desde 20,7°C hasta los 35°C. La temperatura promedio anual oscila alrededor de 27,7°C con una humedad relativa del 83%.

El mes más caluroso es el mes de abril, en el cual se ha alcanzado temperaturas cercanas a los 38°C en el día y bajando únicamente a los 23,8°C en horario nocturno.

El mes que presenta las menores temperaturas tanto en el día como en la noche es el mes de enero, con máximas de 33°C y mínimas de 22,6°C.

### Temperatura de bulbo seco representado en 3d



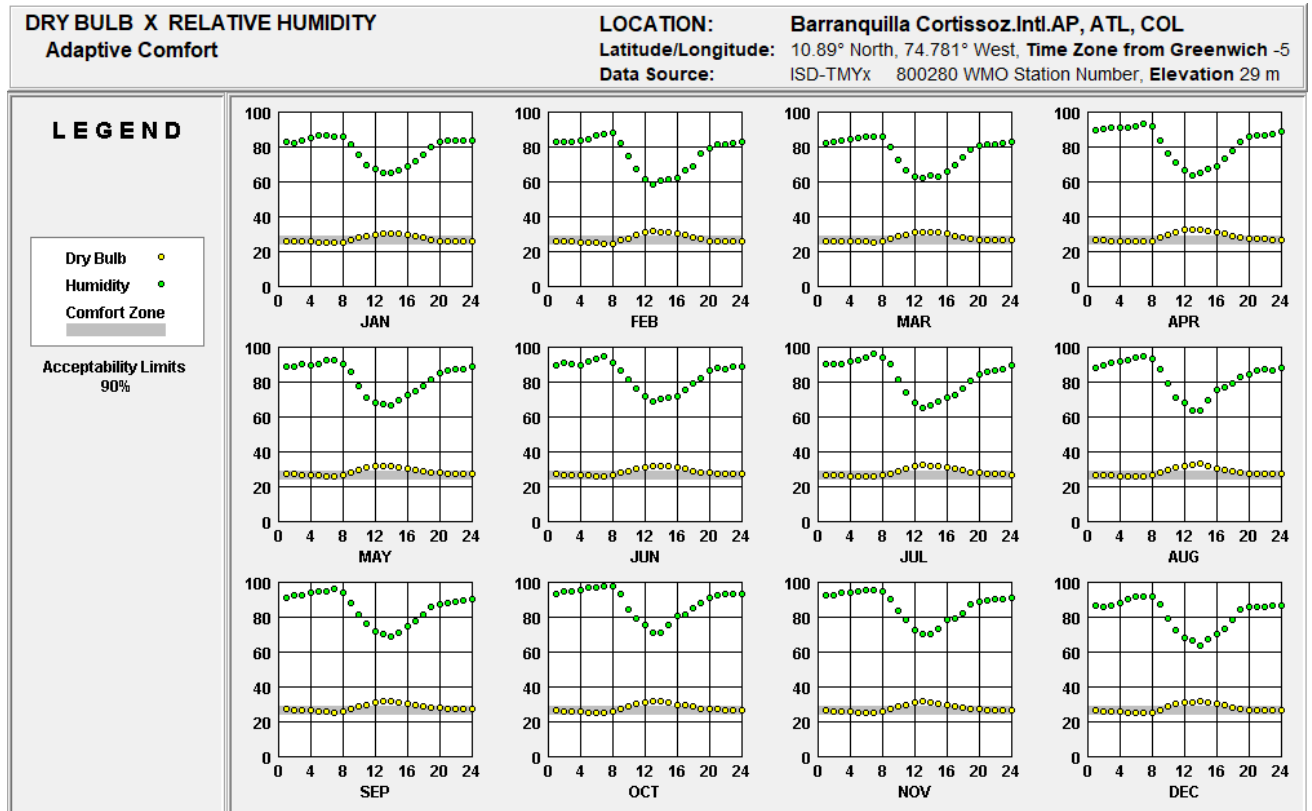


Gráfica 4. Temperatura de Bulbo seco. Fuente: Climate consultant. 2016

En Barranquilla se presentan una temperatura promedio entre 27°C y 38°C un 64% del tiempo, entre las 8:00 a.m. y las 11 p.m. aproximadamente, el 36% restante corresponde a temperaturas promedio entre 21°C y 27°C entre las 12 PM y las 8:00 a.m.

Es importante aprovechar los flujos de viento en horario nocturno para refrescar los espacios interiores.

## Humedad relativa



Gráfica 5. Humedad Relativa. Fuente: Climate consultant. 2016

Con las condiciones de temperatura presentes en la ciudad de Barranquilla el aire tiene la capacidad de contener grandes cantidades de vapor de agua por kilogramo de aire seco, obteniendo valores de humedad específica entre 14 g y 25g de agua/kg de aire seco, los cuales son valores bastante elevados.

Durante todo el año la humedad relativa se encuentra entre el 70% y 90%. Entre las 8 am y las 4 pm la humedad desciende al 70 % y entre las 8 pm y las 6 am los rangos de humedad relativa aumentan entre el 80 y 90 %.

## Radiación solar

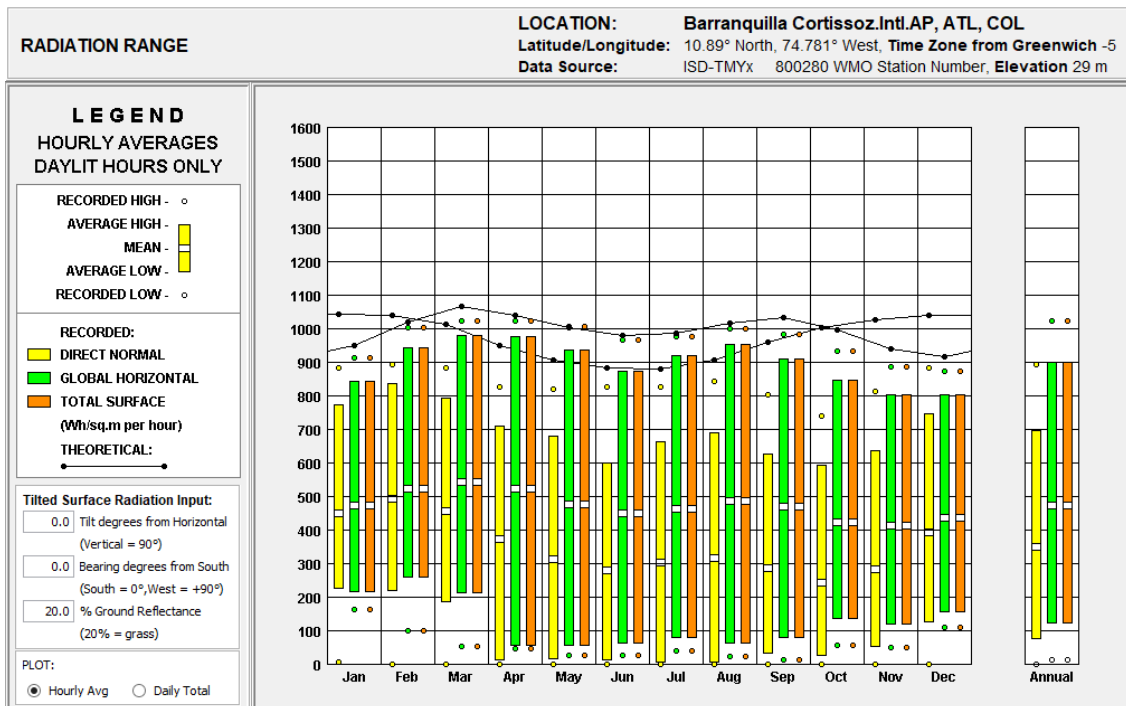


Grafico 4. Radiación solar. Fuente: Climate consultant. 2016

La irradiación global horizontal, que es la suma de las componentes directa y difusa, es el parámetro más importante para la evaluación del potencial de la energía solar en una región en particular.

Radiación solar directa: se produce cuando el cielo no presenta nubosidad, es la radiación directa del sol.

Radiación difusa: es aquella que proviene de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de la radiación solar en la misma, una fracción de radiación difusa que proviene de las nubes (que filtran el rayo directo del sol), del cielo, del aro circunsolar del sol y del horizonte.

Durante los meses de noviembre a febrero se presentan los niveles de radiación más elevados del año, contando con una mayor incidencia de radiación directa y menor radiación difusa. Se percibe una corta amplitud entre la radiación directa y la radiación global debido a la poca nubosidad presente en la cúpula celeste.

Los niveles de radiación global durante el mes de marzo son los más elevados del año, presentando una media de 550 W/m<sup>2</sup>.

Por otra parte, en el periodo comprendido entre los meses de junio y septiembre, la radiación solar global promedio se encuentra entre 450 W/m<sup>2</sup> y 480 W/m<sup>2</sup>

En el periodo comprendido entre abril y noviembre la amplitud entre la radiación directa y la global se amplía, debido a una mayor presencia de nubes en la cúpula celeste, lo cual es resultado de la zona de convergencia intertropical que se encuentra situada sobre la región caribe.

### Zona de convergencia intertropical y nubosidad

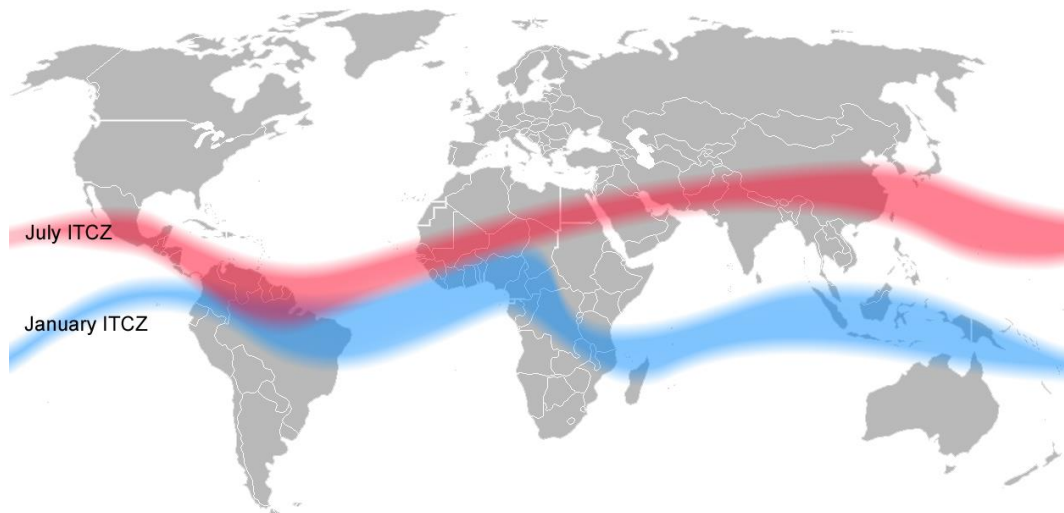
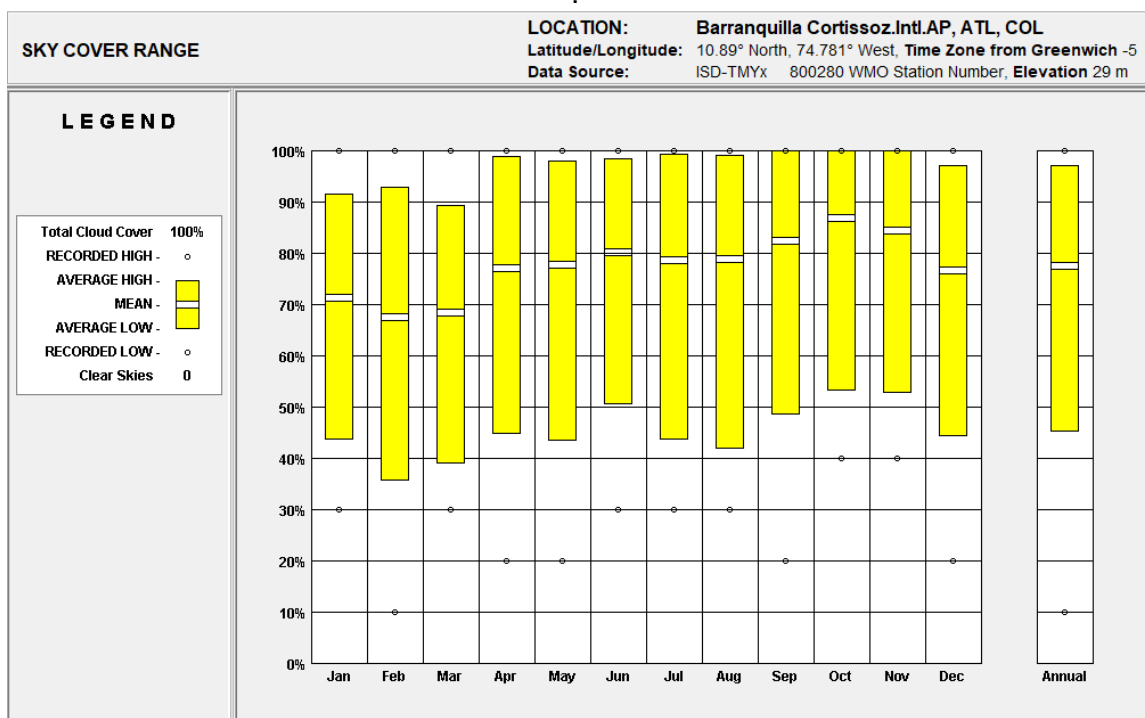


Figura 13. Zona de convergencia intertropical. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Zona\\_de\\_convergencia\\_intertropical](https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_convergencia_intertropical)



Gráfica 6. Cobertura del cielo. Fuente Climate consultant 2016

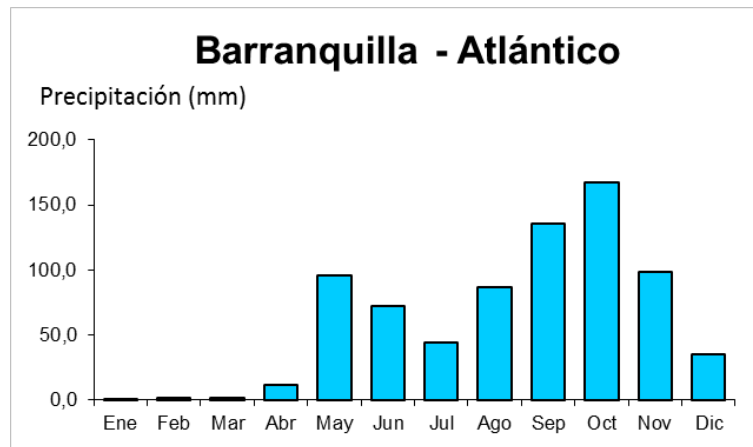
A pesar de estar situado sobre la zona ecuatorial, los niveles de nebulosidad son elevados, por la presencia de la zona de convergencia intertropical, presentando un promedio anual del 58% de cobertura de nubes en la bóveda celeste.

Aún con el alto porcentaje de nubosidad que se presenta, en Barranquilla se cuenta con un importante potencial de energía solar, entre 5 y 5.5 Kwh/m<sup>2</sup> como promedio multianual. Lo cual muestra lo importante de generar sombras tanto en los espacios exteriores y espacios interiores.

### Precipitación

La cantidad de precipitación es el volumen de agua de lluvia que pasa a través de una superficie en un tiempo determinado. Como unidades de volumen y

superficie se utilizan el litro y el metro cuadrado, respectivamente. La unidad de precipitación es el milímetro (mm). Un milímetro de precipitación equivale a un (1) litro de agua por metro cuadrado de superficie.



Gráfica 7. Precipitación en Barranquilla. Fuente IDEAM

Los niveles de precipitación en Barranquilla alcanzan los 814.4 mm anuales según la estación del IDEAM ubicada en el aeropuerto Rafael Núñez. Esto significa que sobre cada metro cuadrado de superficie horizontal caerá anualmente una cantidad considerable de 814 litros de agua lluvia.

El periodo de lluvias inicia en el mes de mayo y se prolonga hasta finales de diciembre, siendo octubre el mes con mayor índice de precipitación con valores cercanos a los 170 mm.

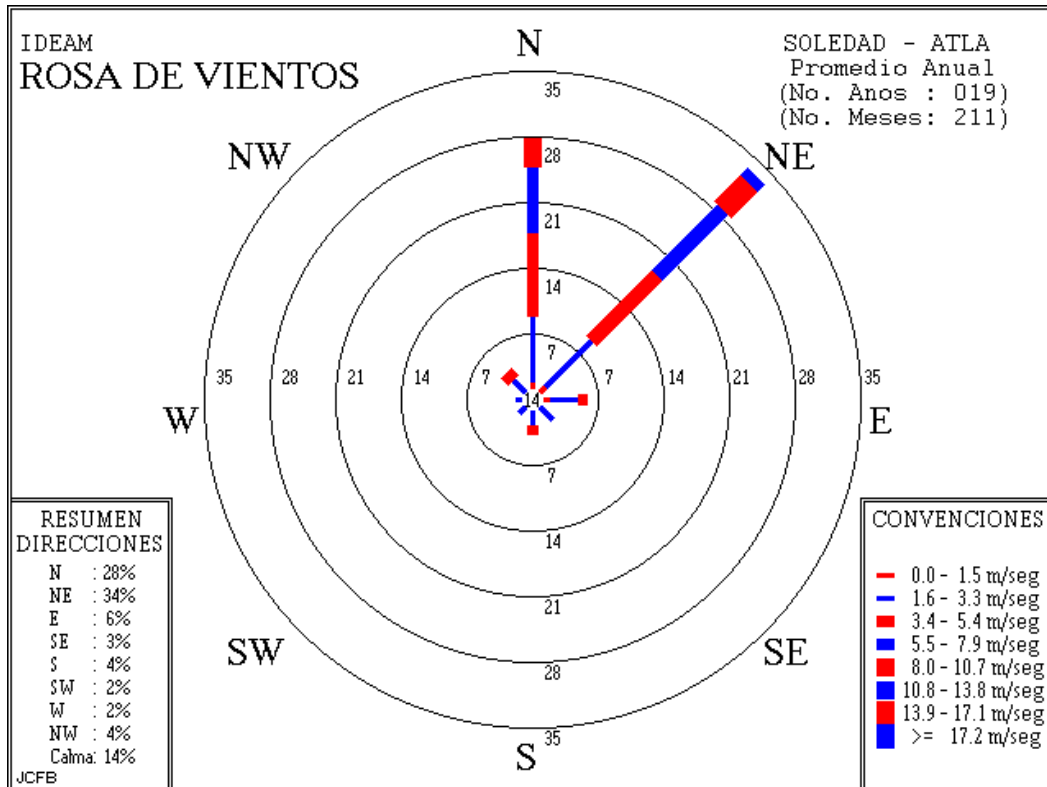
Es importante plantear estrategias de captación y uso de aguas lluvias para reducir el consumo de agua potable en sanitarios y riego de plantas del diseño paisajístico del proyecto arquitectónico.

Los niveles de precipitación en la ciudad de Barranquilla son de 814.4 mm al año, lo que equivale a 814.4 litros de agua al año por cada metro cuadrado de cubierta que se disponga para recolección y tratamiento de aguas lluvia.

Según la Organización Meteorológica Mundial entre 500 y 1000 mm de lluvia al año se catalogan como suficientes, por lo tanto se recomienda considerar sistemas de recolección de aguas lluvias para reutilización en los baños y aseo de la edificación.

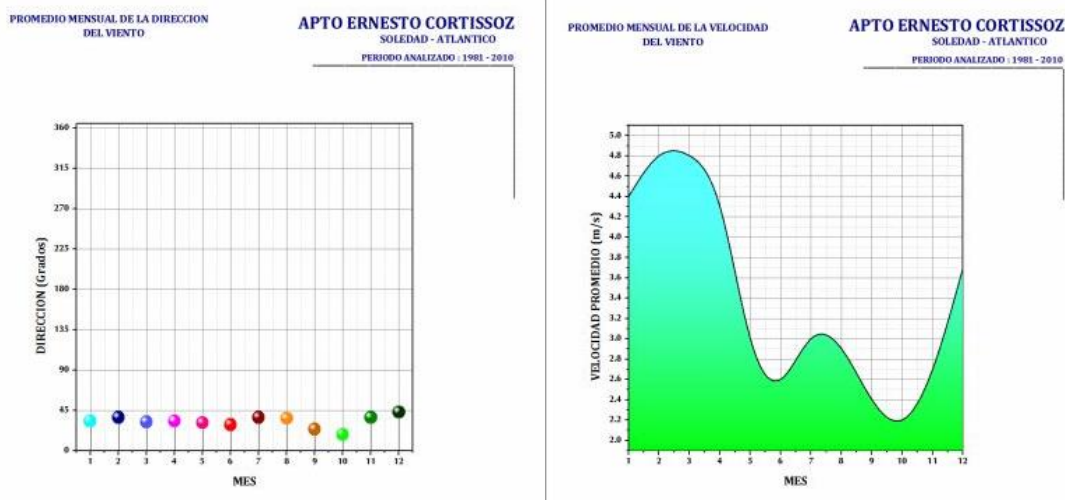
## Viento

Para el análisis de los flujos de viento tomamos de base la rosa de los vientos, la cual nos permite ver la dirección, velocidad y frecuencia de los vientos predominantes de un lugar.



Gráfica 8. Rosa de los vientos Barranquilla. Fuente IDEAM

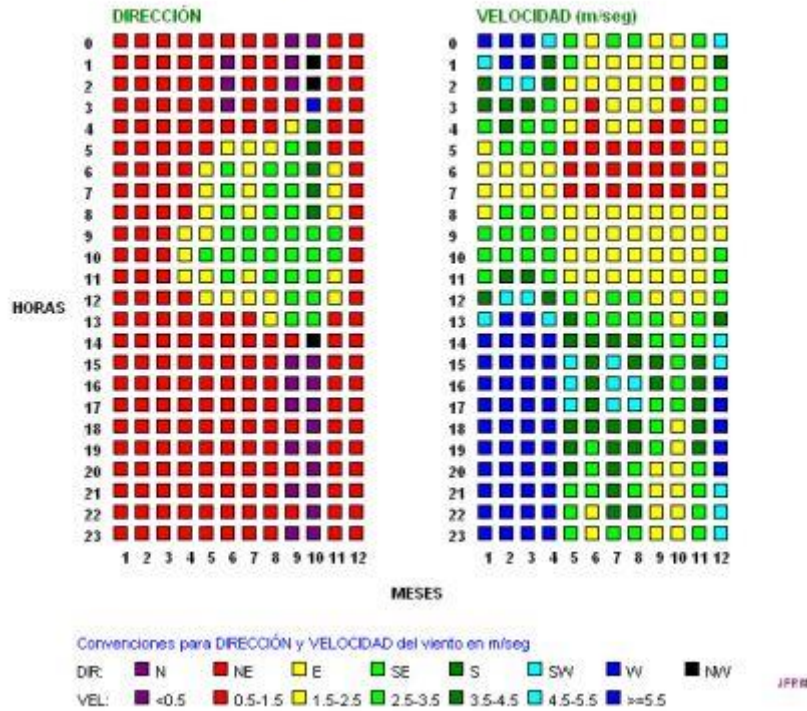
El fenómeno del viento en Barranquilla se caracteriza por tener dos comportamientos diferentes durante dos periodos de tiempo durante el año. Los vientos alisios llegan en el periodo comprendido entre los meses de diciembre a abril, con una media promedio de 4.3 m/s. El 62% del año se cuenta con vientos provenientes del Norte y Noreste.



Los vientos Alisios aminoran en el periodo comprendido entre los meses de agosto

a noviembre. En este periodo se presentan vientos de otras direcciones, con una media promedio de 1 m/s. Este movimiento de aire se presenta durante el 21 % del año con vientos provenientes del Este, Sureste, Sur, Suroeste y Oeste.

**ATLANTICO - SOLEDAD (APTO E. CORTISSOZ)**  
 Promedio horario de la dirección y velocidad del viento a nivel mensual

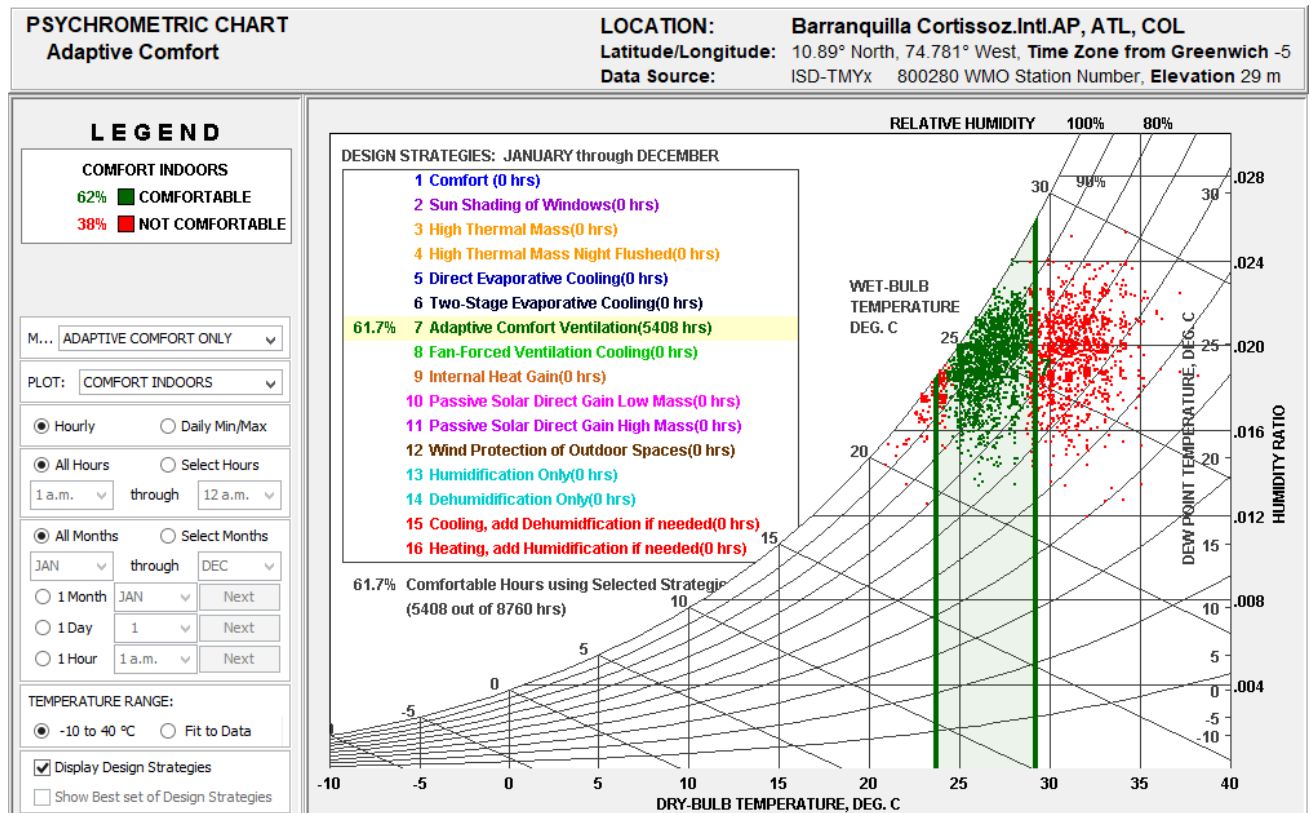


Gráfica 10. Promedio horario de la dirección y velocidad del viento a nivel mensual y horario en Barranquilla. Fuente IDEAM



## Cuadro psicrométrico confort adaptativo

Se evalúan los datos presentados anteriormente utilizando el método de confort adaptativo en base al ASHRAE Standard 55-2010.

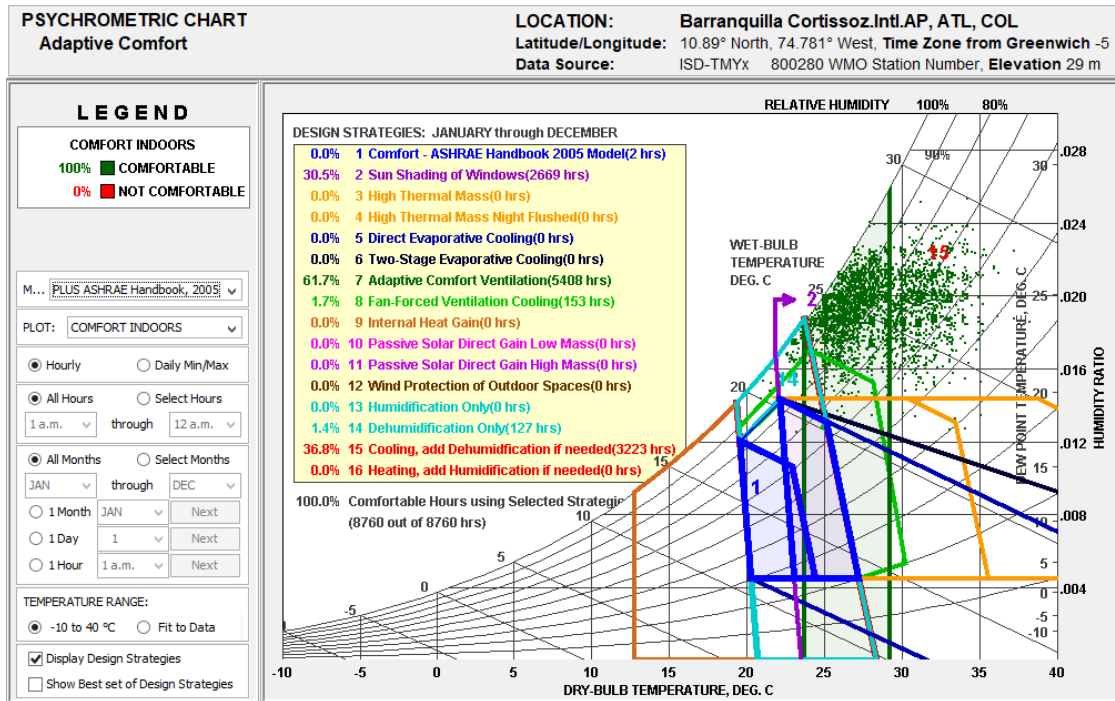


Gráfica 11. Cuadro Psicrométrico clima Barranquilla - Confort adaptativo. Fuente: Climate Consultant. 2016

Teniendo en cuenta las condiciones definidas por el concepto del confort adaptativo, Barranquilla presenta condiciones de confort durante el 61.7% del año, con un rango de temperatura entre los 23.5°C y los 29°C, siempre que se garantice la ventilación del espacio.



Adicionalmente se realiza el análisis de confort interior considerando las estrategias restantes para contar con un 100% de confort.



Gráfica 12. Cuadro Psicométrico clima de Barranquilla - Estrategias a aplicar. Fuente: Climate Consultant. 2016

Se concluye que es necesario aplicar estrategias de sombras en las ventanas, garantizar una buena ventilación natural y apoyo con ventiladores en algunos momentos del año.

En los momentos más calurosos del día se hace necesario el apoyo de sistemas mecánicos de aire acondicionado para garantizar un confort del 100%.

Se realiza el análisis climático de Barranquilla con el diagrama psicométrico, obteniendo un 67.1% de confort en espacios interiores aplicando estrategias pasivas de climatización.

Entre las estrategias a utilizar de acuerdo al clima están:

- Buen uso de los materiales, buena selección de los materiales a utilizar considerando su inercia térmica, aislamiento y conductividad térmica.
- Sistemas de protección solar en todas las superficies del proyecto, reduciendo o evitando el ingreso directo de los rayos solares dentro del rango de mayor incidencia solar, entre 9 am y 4 pm, según datos de radiación suministrados por el IDEAM. Ver Tabla 7.
- Sistemas de ventilación natural, con ventilación nocturna cumpliendo los mínimos recomendados por AHSRAE 62.1 de 2007, y garantizar una temperatura más fresca en los espacios interiores.
- EL 36.8% restante se requiere aire acondicionado. Se reducirá el uso del mismo y con esto el consumo energético al aplicar las estrategias antes planteadas.

## DIAGNOSTICO PROYECTO ESTUDIO DE LA INCIDENCIA SOLAR

Considerando la importancia del sombreado en las superficies acristaladas en el proyecto se realiza un análisis inicial de incidencia solar.

Se realiza el análisis de la radiación solar incidente por m<sup>2</sup> para establecer las ganancias energéticas por incidencia directa de los rayos solares, confirmando la necesidad de los sistemas de protección solar en todas las superficies acristaladas que genere el proyecto. Con base a los niveles de radiación solar incidente se define un rango de protección solar entre las 9 am y las 4 pm, franja en la cual los niveles de radiación superan los 500 Wh/m<sup>2</sup>.

Tabla 7. Niveles de radiación solar por hora en Barranquilla. Fuente IDEAM

ESTACION LAS FLORES (BARRANQUILLA)												
PROMEDIO HORARIO DE LA RADIACIÓN (Wh/m <sup>2</sup> )												
HORA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0-1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
1-2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
2-3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
3-4	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
4-5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,0
5-6	0,0	0,0	0,0	0,5	3,1	2,9	1,1	0,6	1,5	1,2	0,5	0,0
6-7	21,2	19,8	38,0	70,4	99,7	83,9	92,2	85,7	89,7	84,7	73,2	40,8
7-8	180,2	158,7	191,8	249,4	294,9	258,1	213,8	242,7	288,2	287,8	284,5	225,4
8-9	438,7	397,7	437,0	485,7	515,1	493,8	443,0	473,0	542,2	513,7	528,9	494,7
9-10	708,6	683,2	729,8	759,3	740,8	706,8	701,2	690,0	720,9	703,8	698,2	753,6
10-11	920,6	900,1	871,5	874,4	710,3	758,4	846,5	751,5	742,9	707,9	743,4	910,0
11-12	944,5	893,7	874,4	824,8	730,4	746,7	896,0	743,1	687,3	670,6	689,7	866,1
12-13	942,9	924,5	879,9	784,1	699,1	787,8	857,5	718,3	666,5	626,3	674,4	853,4
13-14	944,9	954,7	872,6	674,6	710,6	773,6	774,9	585,7	647,3	627,8	688,7	842,1
14-15	802,4	857,6	872,0	601,0	658,8	652,4	663,3	580,6	581,6	517,5	534,3	690,3
15-16	584,8	621,7	617,0	419,5	469,5	411,3	446,6	417,3	363,6	358,0	332,6	426,3
16-17	306,4	336,5	332,0	247,0	267,9	219,1	261,2	234,1	194,0	166,8	138,0	187,9
17-18	60,2	82,6	88,0	80,9	70,2	70,5	94,2	70,4	47,8	20,9	12,5	20,5
18-19	0,2	0,5	0,2	0,6	1,2	3,6	5,8	2,0	0,1	0,0	0,2	0,0
19-20	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
20-21	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0
21-22	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
22-23	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
23-0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0
Acumulada diaria	6855,6	6831,5	6804,4	6072,2	5971,7	5968,9	6297,3	5594,7	5573,7	5286,9	5399,2	6311,3

Entre 0 y 200 (Wh/m<sup>2</sup>)

Entre 200 y 400 (Wh/m<sup>2</sup>)

Entre 400 y 600 (Wh/m<sup>2</sup>)

Entre 600 y 800 (Wh/m<sup>2</sup>)

Mayor a 800 (Wh/m<sup>2</sup>)

## DIAGRAMA DE SOMBRAS

Para identificar la incidencia solar en cada una de las fachadas del proyecto se utiliza el diagrama de sombras de la ciudad de Barranquilla, Latitud 11°N, el cual fue generado con la herramienta lsp "dsombra" para Autocad de Autodesk, por la empresa PVG Arquitectos.

Se dispone sobre el diagrama cada una de las fachadas que posee superficie acristalada del proyecto para identificar las fechas y horas de incidencia solar, y de acuerdo al rango establecido anteriormente se evalúa la necesidad de generar protección solar.

El diagrama de sombras es una herramienta que sirve para conocer el recorrido solar en una localidad específica, el cual mediante una representación gráfica nos muestra la ubicación de la sombra de un elemento vertical ubicado en el centro del diagrama, con lo cual inmediatamente podemos deducir la ubicación del sol, y con esto sacar el ángulo de azimut y ángulo de altura solar.

Para efectos de este trabajo, se utiliza el diagrama de sombras para conocer los meses y horas en las cuales una fachada específica presente incidencia solar directa; esto se realiza ubicando una línea con el mismo ángulo de inclinación respecto al norte de la fachada a analizar sobre el centro del diagrama, posteriormente se proyecta de tal manera que llegue a los extremos del mismo y luego se oculta la parte del diagrama a la cual mira la fachada, ya que si la sombra del elemento vertical, que genera el diagrama de sombras, proyecta sombra hacia este costado, querrá decir que el sol se encuentra incidiendo en otra fachada. Los días y horas que quedan visibles, son todos aquellos en los cuales la fachada analizada recibirá radiación solar directa.

El procedimiento antes descrito se realiza con cada una de las fachadas del proyecto, ya que por su orientación cada una recibirá incidencia solar directa en diferentes épocas del año y horas del día.

A continuación vemos el diagrama de sombra de la ciudad de Barranquilla:

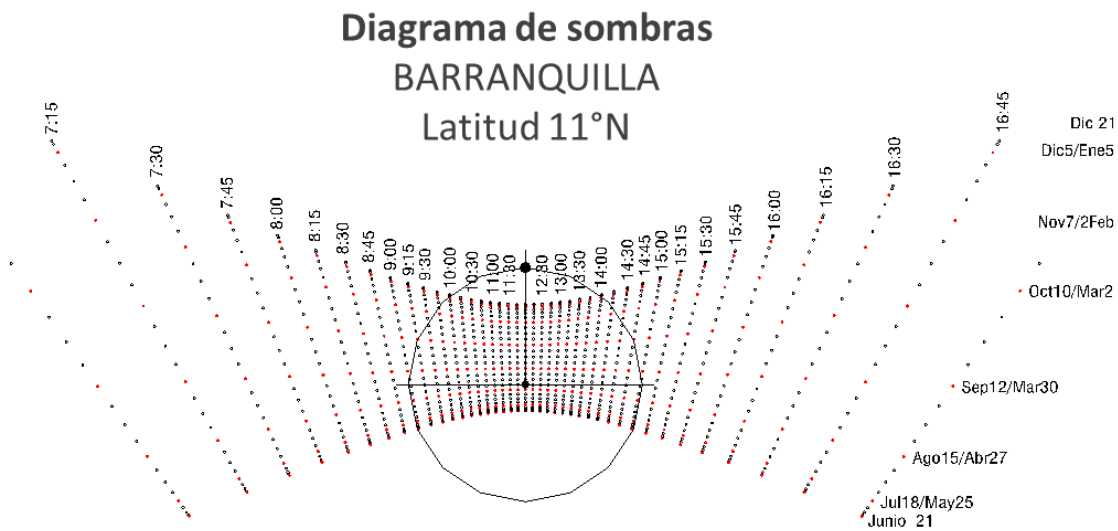


Figura 14. Diagrama de sombra Barranquilla. Fuente: PVG Arquitectos.

Las protecciones solares se determinan de acuerdo a los niveles de radiación solar incidente: **se define un rango de protección solar entre las 9 am y las 4 pm, franja en la cual los niveles de radiación superan los 500 Wh/m<sup>2</sup>**, valores que se consideran los suficientemente altos para generar grandes sobrecalentamientos al interior del proyecto.

## FACHADA NORESTE



La fachada noreste presenta exposición solar todo el día en el mes de junio, en marzo y septiembre la incidencia es hasta las 12m.

En diciembre no presenta incidencia solar. Es necesario plantear sistemas de protección solar para junio 21 a partir de las 9 am.

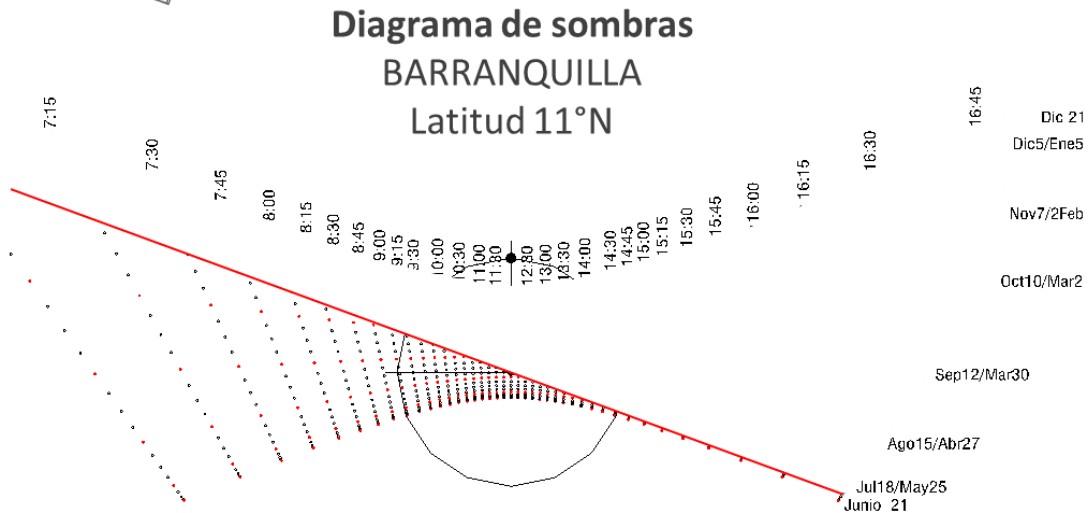
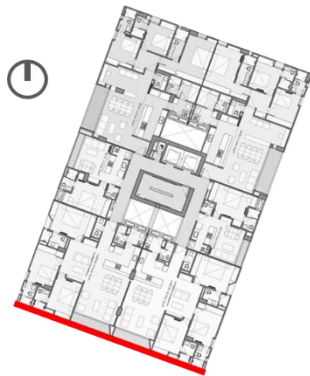


Figura 15. Análisis fachada noreste mediante diagrama de sombras. Elaboración propia

## FACHADA SUROESTE



La fachada suroeste presenta exposición solar todo el día en el mes de diciembre, en marzo y septiembre la incidencia sobre esta fachada inicia a las 12m.

En junio no presenta incidencia solar. Es necesario plantear sistemas de protección solar para diciembre 21 a las 4 pm.

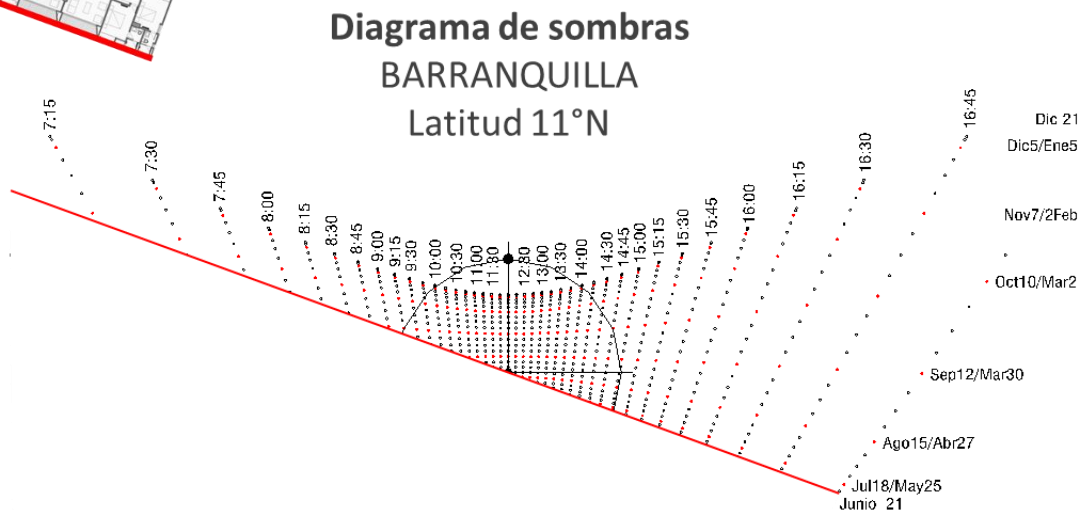


Figura 16. Análisis fachada suroeste mediante diagrama de sombras. Elaboración propia

## FACHADA SURESTE



La fachada sureste presenta exposición solar todo el año en las horas de la mañana, en el mes de diciembre la incidencia es desde el amanecer hasta la 1 pm, en marzo y septiembre la incidencia sobre esta fachada termina a las 12m y en el mes de junio la incidencia solar es desde el amanecer hasta las 11:30 am.

Es necesario plantear sistemas de protección solar para diciembre 21 a partir de las 9 am.

### Diagrama de sombras

BARRANQUILLA

Latitud 11°N

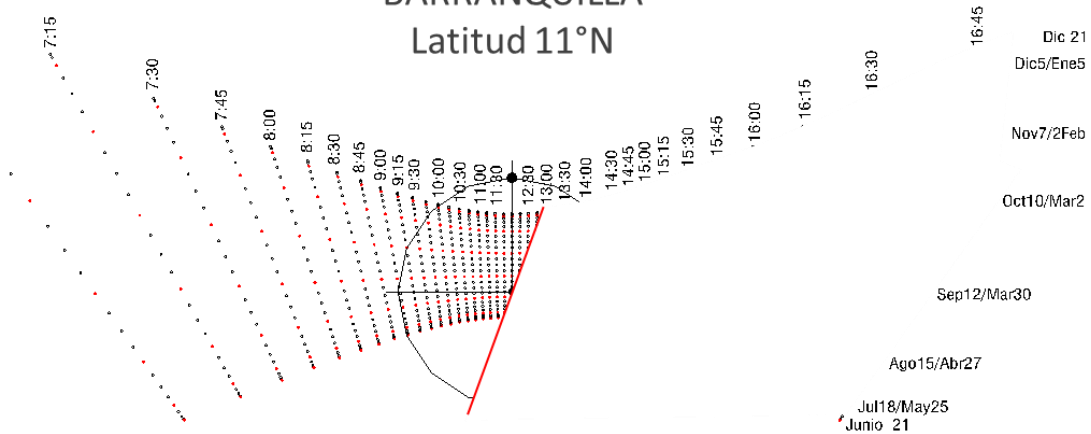
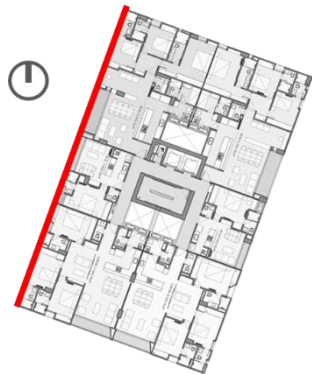


Figura 17. Análisis fachada sureste mediante diagrama de sombras. Elaboración propia

## FACHADA NOROESTE



La fachada noroeste presenta exposición solar todo el año en las horas de la tarde, en el mes de diciembre la incidencia inicia a la 1 pm, en marzo y septiembre la incidencia sobre esta fachada inicia a las 12m y en el mes de junio la incidencia solar sobre esta fachada inicia las 11:30 am.

Es necesario plantear sistemas de protección solar para junio 21 a las 4 pm.

### Diagrama de sombras

BARRANQUILLA

Latitud 11°N

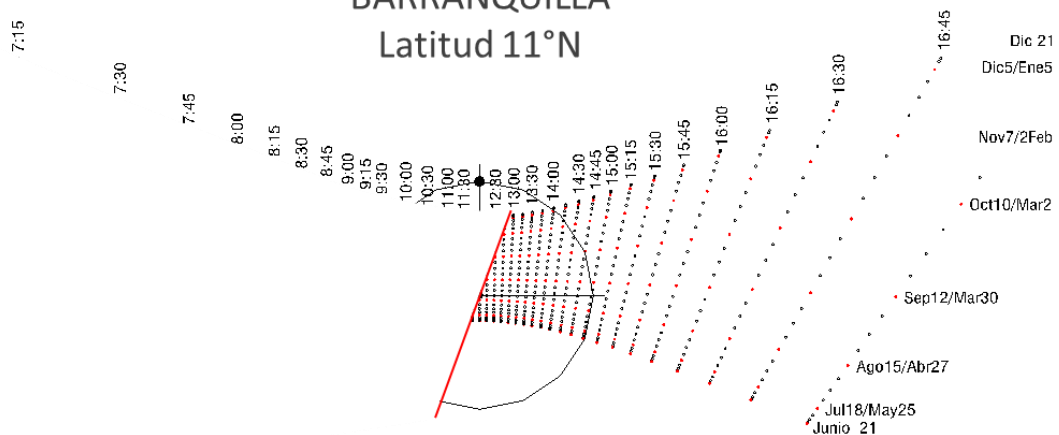


Figura 18. Análisis fachada noroeste mediante diagrama de sombras. Elaboración propia



Después de tener clara la incidencia solar en cada una de las fachadas, se realiza un diagnóstico inicial de la protección solar ofrecida por los balcones, los retrocesos y todas las estrategias arquitectónicas planteadas que pueda generar sombra sobre las superficies acristaladas del proyecto.

Se calcula según planimetría el ángulo de protección que genera el diseño actual de fachada y a través de la máscara de sombras y el diagrama solar en proyección cilíndrica, con el software Climate Consultant, se calcula el nivel de protección ofrecido por el diseño existente.

El análisis se realiza para cada una de las fachadas, en todas las superficies acristaladas, a excepción de las ventanas de los baños, las cuales no se consideran de gran importancia energética debido a su dimensión y el uso del espacio interior.

En cada una de las figuras de análisis, la mancha gris representa las fechas y horas en que el vidrio analizado estará 100% en sombra.

## FACHADA SUROESTE

### Ventana pequeña retrocedida

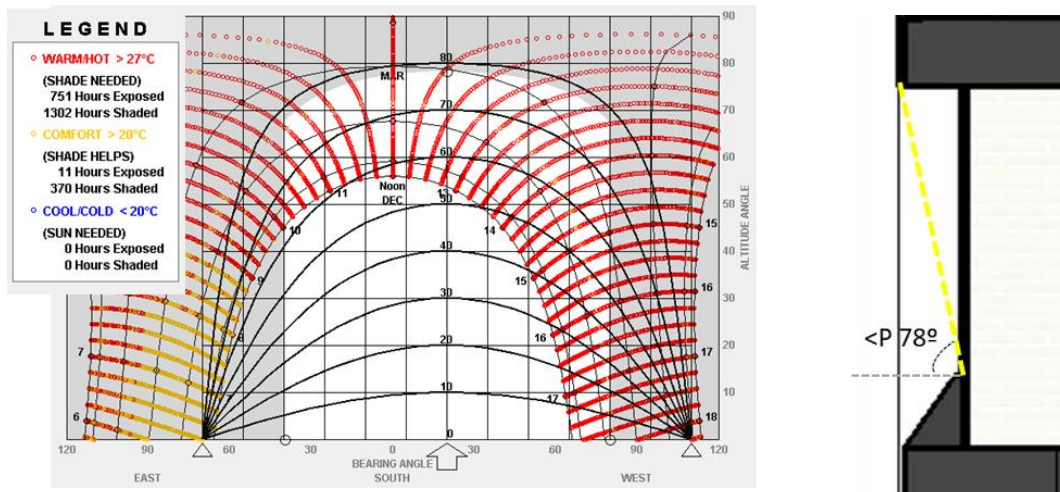


Figura 19. Diagnóstico de sombra en ventana pequeña retrocedida fachada suroeste

### Balcón piso tipo

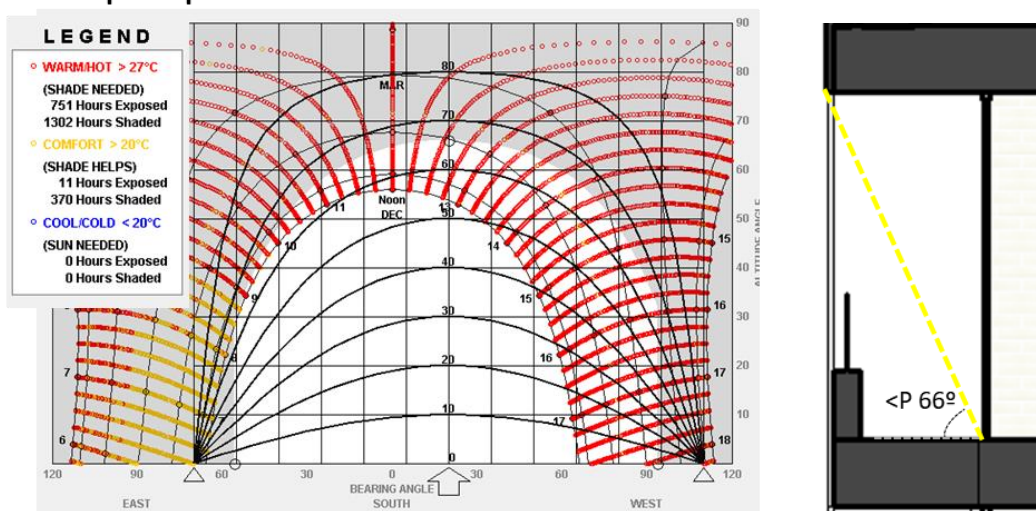


Figura 20. Diagnóstico de sombra en balcón de piso tipo fachada suroeste

### Balcón último piso

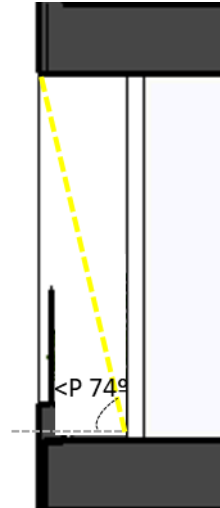
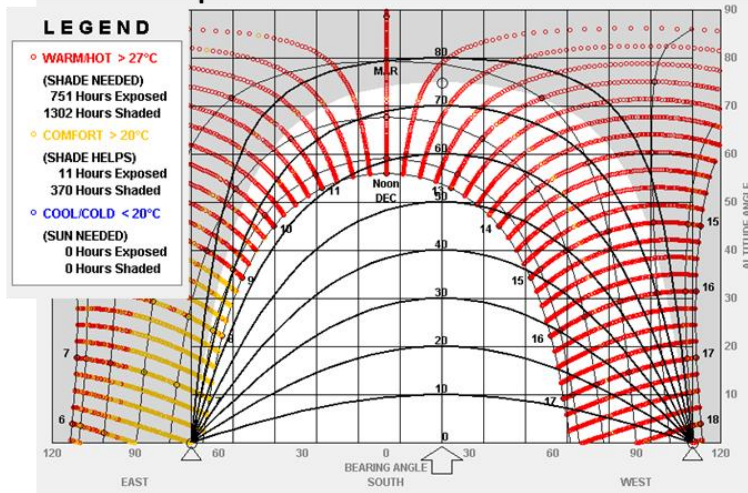


Figura 21. Diagnóstico de sombra en balcón último piso fachada suroeste

### FACHADA SURESTE

#### Ventana pequeña retrocedida

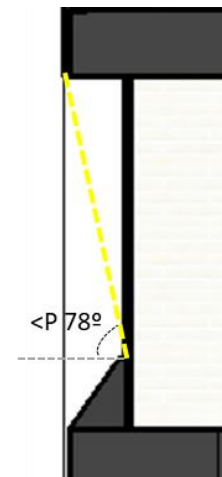
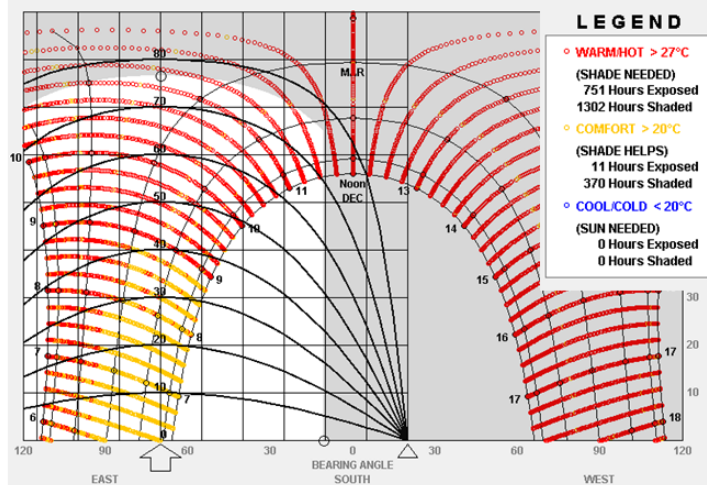


Figura 22. Diagnóstico de sombra en ventana pequeña retrocedida fachada sureste

#### Ventana pequeña con poco retroceso

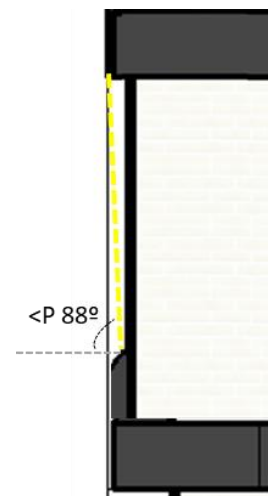
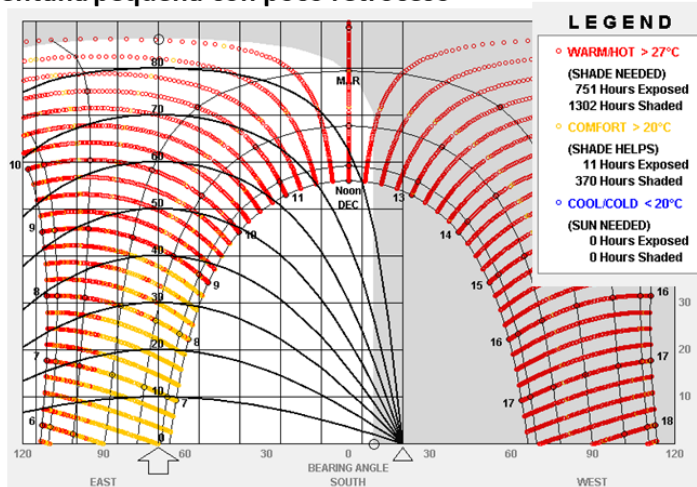


Figura 23. Diagnóstico de sombra en ventana pequeña con poco retroceso fachada sureste

### Balcón pequeño

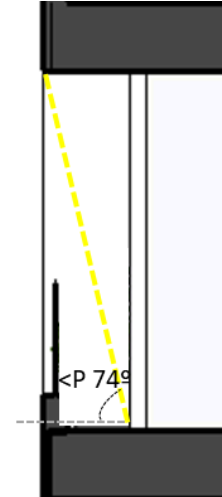
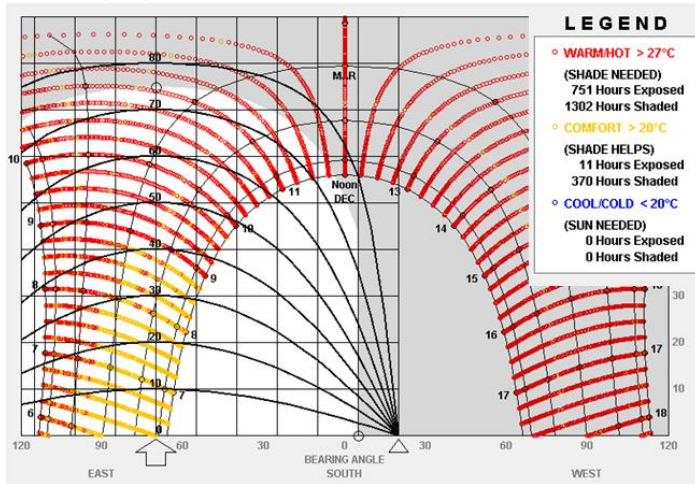


Figura 24. Diagnóstico de sombra en balcón pequeño fachada sureste

### Balcón grande

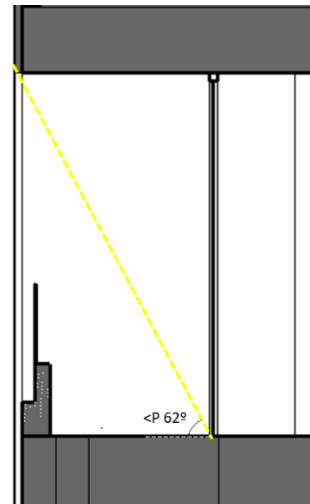
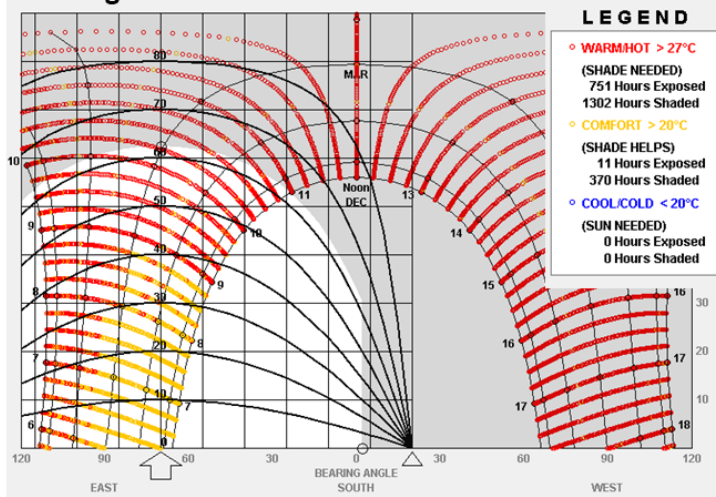


Figura 25. Diagnóstico de sombra en balcón grande fachada sureste

## FACHADA NOROESTE

### Ventana pequeña retrocedida

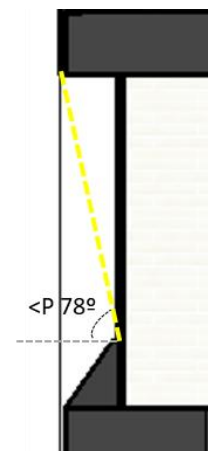
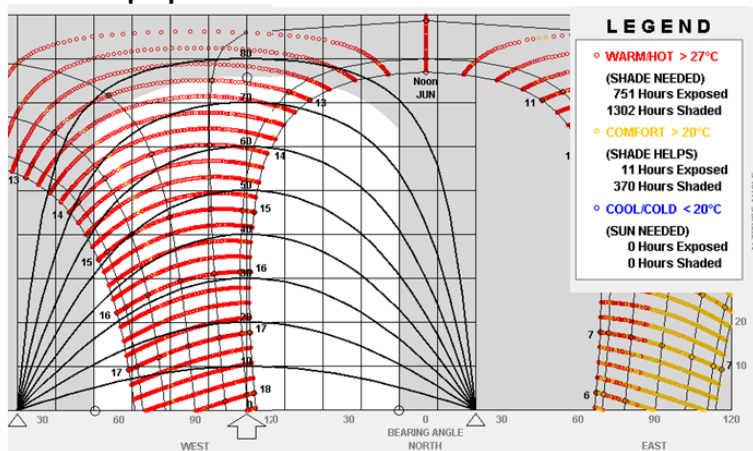


Figura 26. Diagnóstico de sombra en ventana pequeña retrocedida fachada noroeste



### Ventana pequeña con poco retroceso

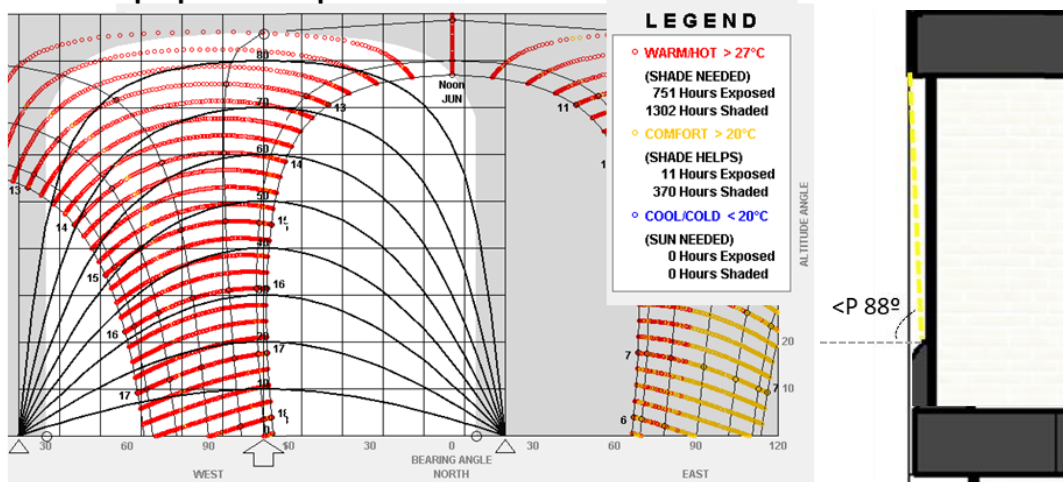


Figura 27. Diagnóstico de sombra en ventana pequeña con poco retroceso fachada noroeste

### Balcón pequeño

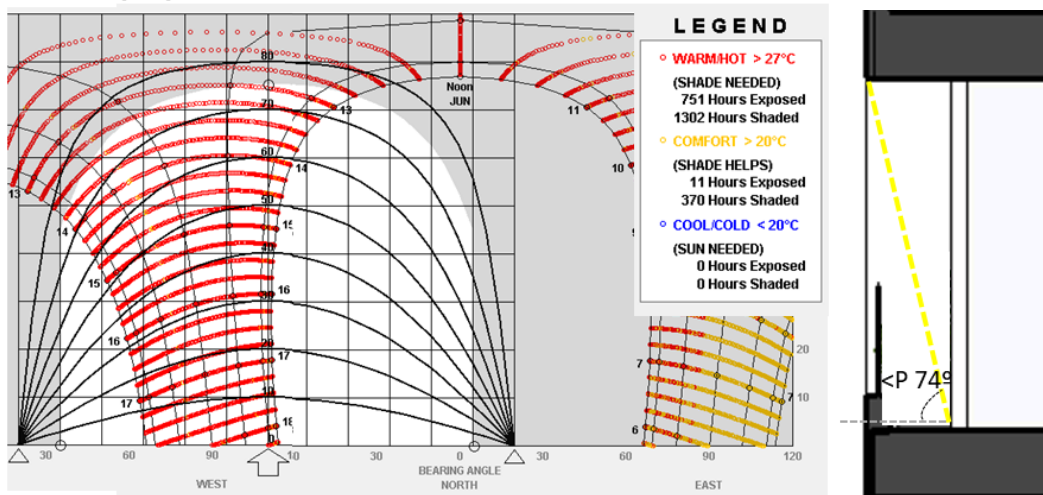


Figura 28. Diagnóstico de sombra en balcón pequeño fachada noroeste

### Balcón grande

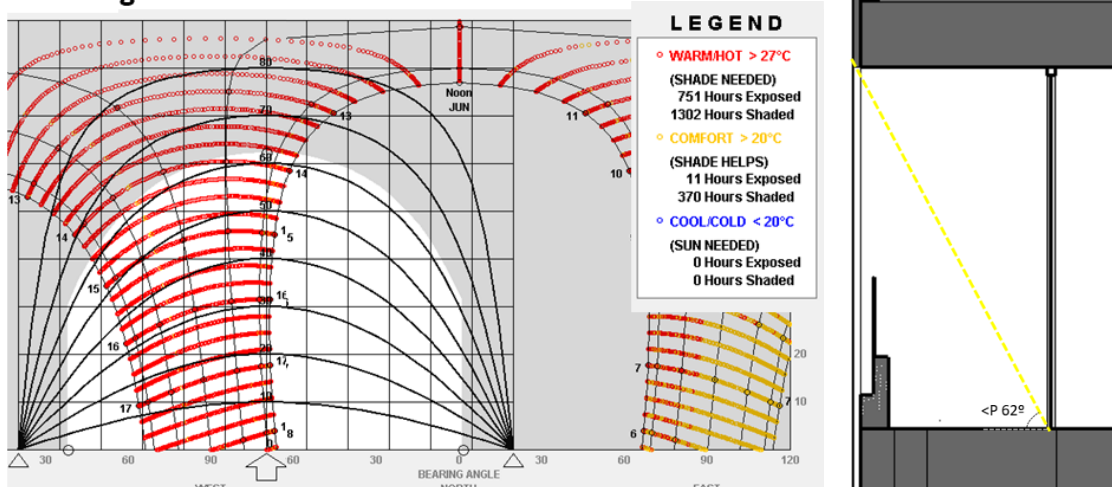


Figura 29. Diagnóstico de sombra en balcón grande fachada noroeste

F,

### Ventana pequeña retrocedida

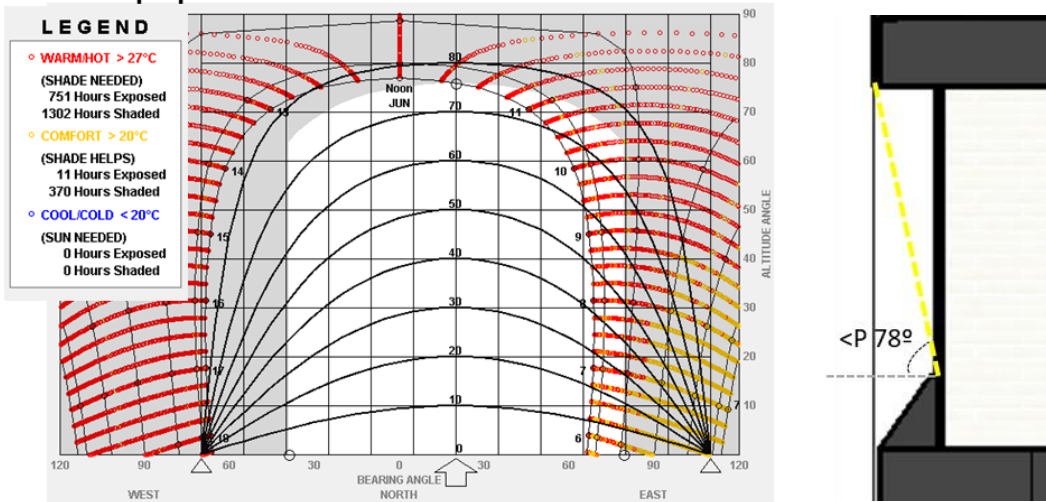


Figura 30. Diagnóstico de sombra en ventana pequeña retrocedida fachada noreste

### Ventana pequeña con poco retroceso

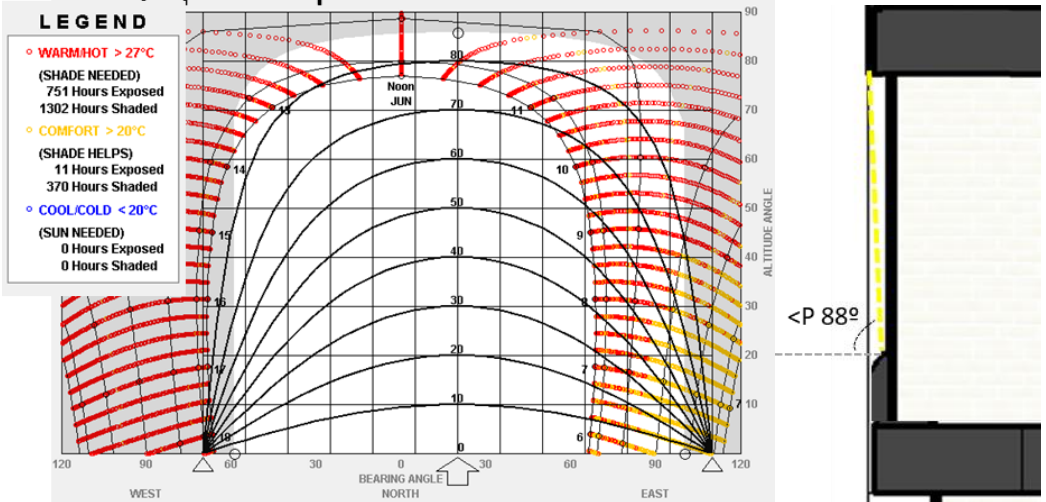


Figura 31. Diagnóstico de sombra en ventana pequeña con poco retroceso fachada noreste

## CONCLUSIONES

**Fachada suroeste:** La sombra arrojada por los dispositivos actuales no cumplen con los requerimientos para esta fachada, presentando la mayor incidencia solar en el mes de diciembre en las horas de la tarde. Es necesario plantear sistemas de protección solar adicionales.

**Fachada sureste:** La sombra arrojada por los dispositivos actuales no cumplen con los requerimientos para esta fachada. El mejor comportamiento lo vemos en el balcón grande donde se controla la incidencia solar a partir de las 10.50 am. Es necesario plantear sistemas de protección solar adicionales.

**Fachada noroeste:** La sombra arrojada por los dispositivos actuales no cumplen con los requerimientos para esta fachada, presentando la mayor incidencia solar en el mes de junio en las horas de la tarde. Es necesario plantear sistemas de protección solar adicionales.

**Fachada noreste:** La ventana con mayor retroceso presenta un comportamiento más aceptable, por lo cual se considera necesario igualar el retroceso en las demás superficies acristaladas que dan a espacios de permanencia.

### Sombra arrojada por edificaciones aledañas

Adicionalmente se realiza un heliodón para verificar las sombras arrojadas por las edificaciones cercanas al proyecto y de esta manera proyectar los sistemas de protección solar necesarios considerando las sombras existentes.

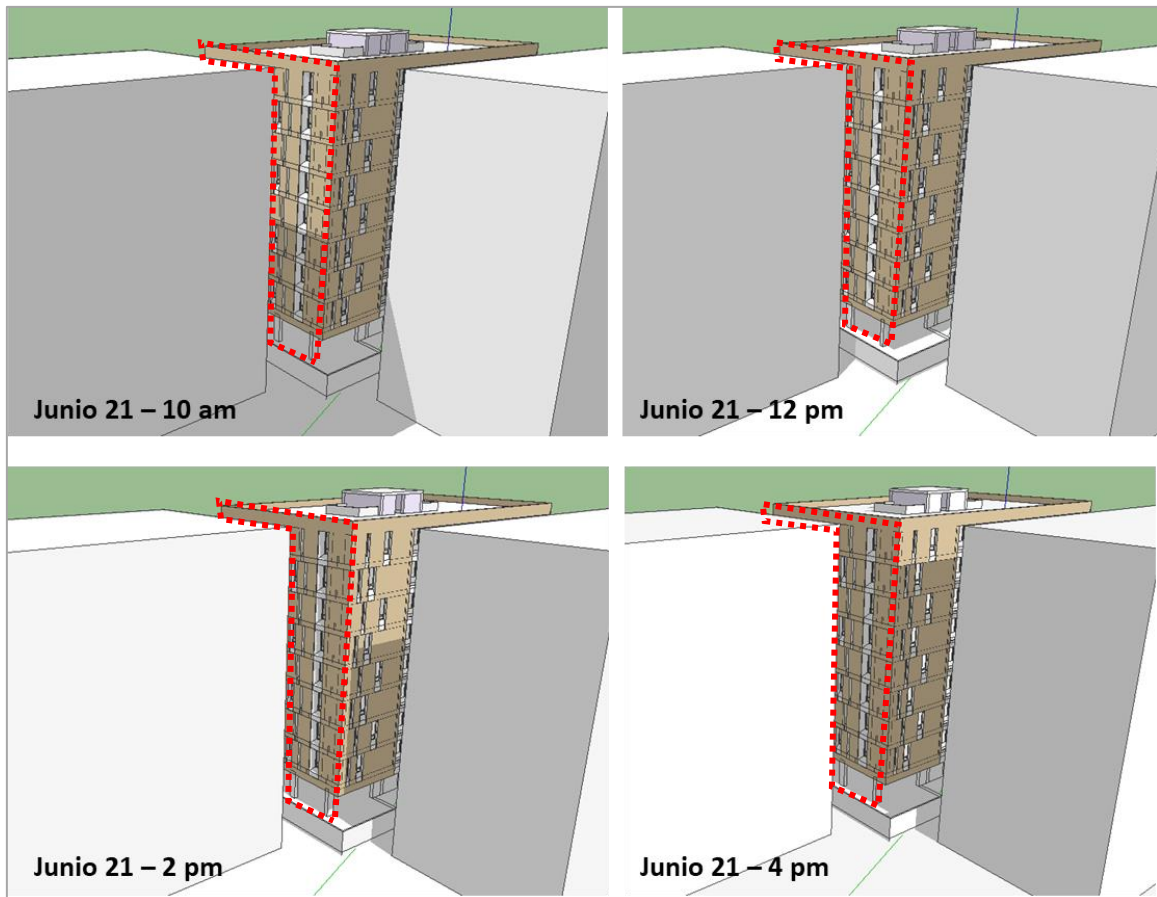


Figura 32. Sombras arrojadas por edificaciones cercanas sobre las fachadas del proyecto

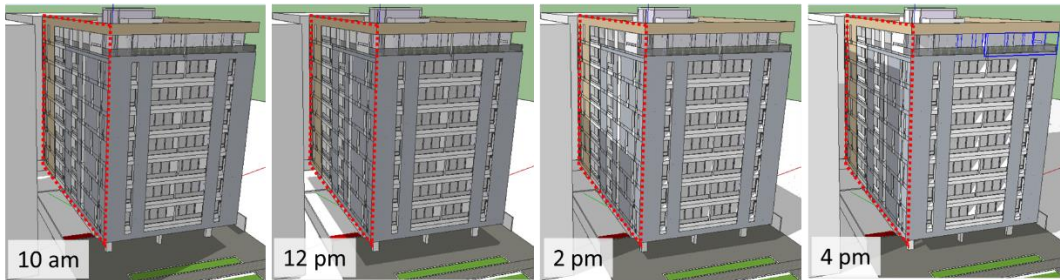
La zona de gimnasio y social presentan poca incidencia directa de los rayos solares, por lo cual no se considera necesario plantear sistemas de protección solar adicional.

La fachada noreste (señalada en rojo en la Figura 32) presenta una buena proporción de sombra en los primeros pisos, por lo cual únicamente será necesario mejorar los sistemas de protección solar a partir del piso 5.

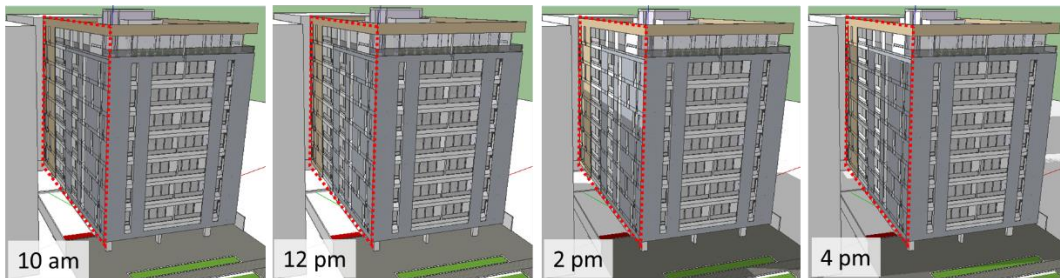


Se verifica la sombra arrojada de las edificaciones vecinas en la fachada noroeste.

#### MARZO 21



#### JUNIO 21



#### DICIEMBRE 21

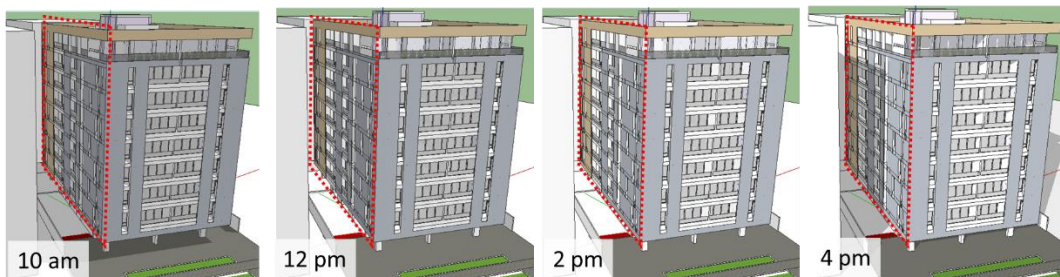


Figura 33. Sombras arrojadas por edificaciones cercanas sobre la fachada noroeste.

Podemos observar que los apartamentos entre los pisos 2 y 6 se encuentran en sombra, por lo tanto no requieren sistemas de protección adicional.

## ESTUDIO DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA

Los materiales del proyecto se eligieron considerando únicamente el coste económico inicial, sin considerar las afectaciones que puede traer la envolvente en el desempeño energético del edificio. Los muros exteriores se tienen proyectados en ladrillo cerámico hueco de 12 cm con pañete en ambas caras, en la cubierta se plantea una terraza verde con caminos en grava, la cual se definió únicamente por criterios estéticos y de marketing, no se tenía pensada en relación a su aporte en la reducción de ganancias térmicas.

Considerando que en Colombia no se cuenta con normativa de higrotermia, y no se plantea en ningún documento los lineamientos a considerar para definir la conductividad térmica de la envolvente edilicia, se toma como referencia los valores admisibles establecidos en las Tabla 2 y 3 de la IRAM 11 605, retomando los valores de la zona Bioambiental I y II, considerando que el clima trabajado cuenta con una media anual de 27.7°C.

Tabla 8. Valores de K máximo admisible para muros y techos según IRAM 11605

<b>IRAM 11605: Tabla 2: Valores de <math>K_{MAX ADM}</math> para condición de verano en <math>W/m^2.K</math> para MUROS</b>			
Zona Bioambiental de IRAM 11.603	Nivel A	Nivel sugerido LAyHS	Nivel B
I y II	0,45	0,78	<b>1,10</b>
III y IV	0,50	0,88	<b>1,25</b>

<b>IRAM 11605: Tabla 3: Valores de <math>K_{MAX ADM}</math> para condición de verano en <math>W/m^2.K</math> para TECHOS</b>			
Zona Bioambiental de IRAM 11.603	Nivel A	Nivel Sugerido LAyHS	Nivel B
I y II	0,18	0,31	<b>0,45</b>
III y IV	0,19	0,34	<b>0,48</b>

El valor de transmitancia térmica "K" para muros es de 2.54  $W/m^2K$  (Tabla 9), en cubierta 0.7  $W/m^2K$  en la zona de cubierta verde (Tabla 10) y 2.86  $W/m^2K$  en la cubierta con grava (Tabla 11). Estos valores no verifican el cumplimiento de la norma ya que el máximo admisible tomado como referencia es 1.10  $W/m^2K$  para muros y 0,45  $W/m^2K$  para techos.

Tabla 9. Cálculo de la transmitancia térmica "K" del muro original

Capa del elemento constructivo - Muros		Espesor de cada capa	Coficiente conductividad térmica	Resistencia térmica
		m	W/m.K	$m^2.K/W$
<b>Resistencia superficial interior</b>				0.130
1	Morteros de revoque y juntas (interior)	0.015	0.930	0.016
2	Ladrillo ceramico hueco 12 cm	0.120	-	0.360
3	Morteros de revoque y juntas (exterior)	0.020	1.160	0.017
<b>Resistencia superficial exterior</b>				0.040
<b>TOTAL</b>		<b>0.155</b>		<b>0.393</b>
<b>Transmitancia térmica del componente <math>W/m^2.K</math></b>				<b>2.542</b>
<b>Transmitancia térmica máxima de acuerdo IRAM 11605</b>				<b>1.10</b>
<b>Cumple con la IRAM 11605</b>			<b>NO</b>	

Tabla 10. Cálculo de la transmitancia térmica "K" de la cubierta verde original

Capa del elemento constructivo - Cubierta verde		Espesor de cada capa	Coficiente conductividad térmica	Resistencia térmica
		m	W/m.K	$m^2.K/W$
<b>Resistencia superficial interior</b>				0.120
1	Placa de yeso (600kg/m3)	0.010	0.310	0.032
2	Camara de aire 100 mm	0.100	-	0.210
3	Homigón normal con agregados pétreos (2500kg/m3)	0.150	1.740	0.086
4	Bituminosa	0.001	0.230	0.004
5	Lámina de drenaje - Aire 20 mm	0.020	-	0.180
6	Suelo Natural	1.100	1.200	0.917
<b>Resistencia superficial exterior</b>				0.040
<b>TOTAL</b>		<b>1.381</b>		<b>1.429</b>
<b>Transmitancia térmica del componente <math>W/m^2.K</math></b>				<b>0.700</b>
<b>Transmitancia térmica máxima de acuerdo IRAM 11605</b>				<b>0.45</b>
<b>Cumple con la IRAM 11605</b>			<b>NO</b>	

Tabla 11. Cálculo de la transmitancia térmica “K” de la cubierta en grava original

Capa del elemento constructivo - Cubierta con grava		Espesor de cada capa	Coefficiente conductividad térmica	Resistencia térmica
		m	W/m.K	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Resistencia superficial interior</b>				0.120
1	Placa de yeso (600kg/m <sup>3</sup> )	0.010	0.310	0.032
2	Camara de aire 100 mm	0.100	-	0.210
3	Homigón normal con agregados pétreos (2500kg/m <sup>3</sup> )	0.150	1.740	0.086
4	Bituminosa	0.001	0.230	0.004
5	Gravas	0.015	0.930	0.016
<b>Resistencia superficial exterior</b>				0.040
<b>TOTAL</b>		<b>0.276</b>		<b>0.349</b>
<b>Transmitancia térmica del componente W/m<sup>2</sup>.K</b>				<b>2.866</b>
<b>Transmitancia térmica máxima de acuerdo IRAM 11605</b>				<b>0.45</b>
<b>Cumple con la IRAM 11605</b>			<b>NO</b>	

## SIMULACIONES TÉRMICAS ESTADO INICIAL

Mediante el software OpenStudio, complemento del software Sketchup se realiza la modelación del proyecto para ser simulado con el motor de cálculo EnergyPlus.

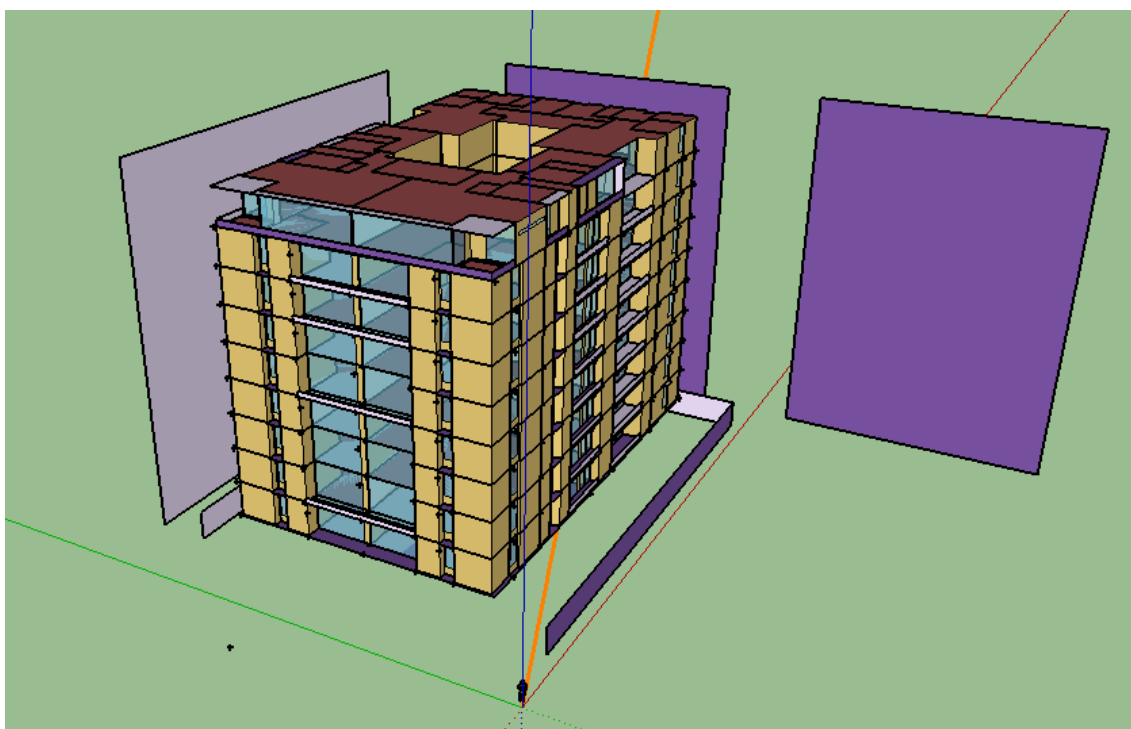


Figura 34. Modelo geométrico en OpenStudio

Con el modelo presentado en la Figura 34 se realiza la comprobación térmica del estado inicial de cada uno de los espacios para verificar su funcionamiento en relación al clima de la ciudad de Barranquilla.

Se toman para análisis los apartamentos tipo en el proyecto para verificar su funcionamiento considerando la carga por iluminación, por número de personas

y equipos en el espacio, además se consideran los materiales utilizados y la orientación respecto al norte.

Los parámetros utilizados para cada uno de los espacios son los siguientes:

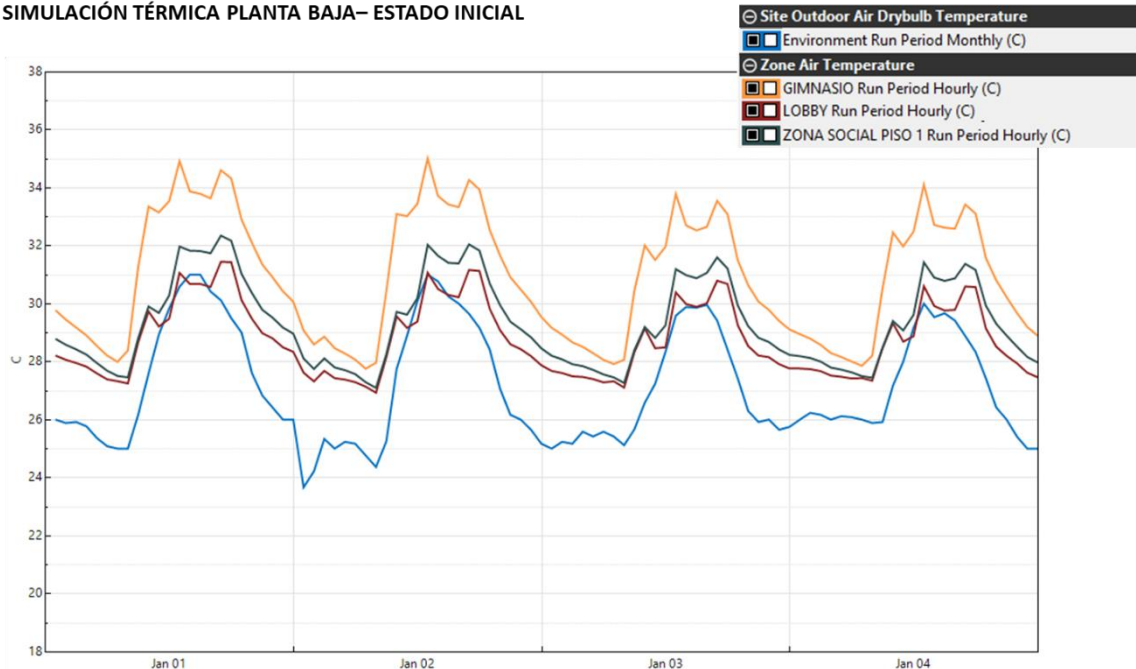
Tabla 12. Parámetros para simulación térmica para cada uno de los espacios.

ZONA	PERSONAS	WATS POR PERSONA	ILUMINACIÓN W/M2	CARGA DE EQUIPOS WATS
Habitación	2	80 w	12 W/M2	160 W
Sala	6	110 w	12 W/M2	240 W
Gimnasio	10	350 w	12 W/M2	800 W
Zona social	20	110 w	12 W/M2	480 W
Lobby	15	120	12 W/M2	240 W

Inicialmente se realizan simulaciones térmicas de todo el año, planteando el proyecto sin aire acondicionado y de esta manera verificar el comportamiento térmico de cada uno de los espacios, posteriormente se realiza una comprobación de las cargas de aire acondicionado para mantener los niveles de temperatura interior con un máximo de 24°C.

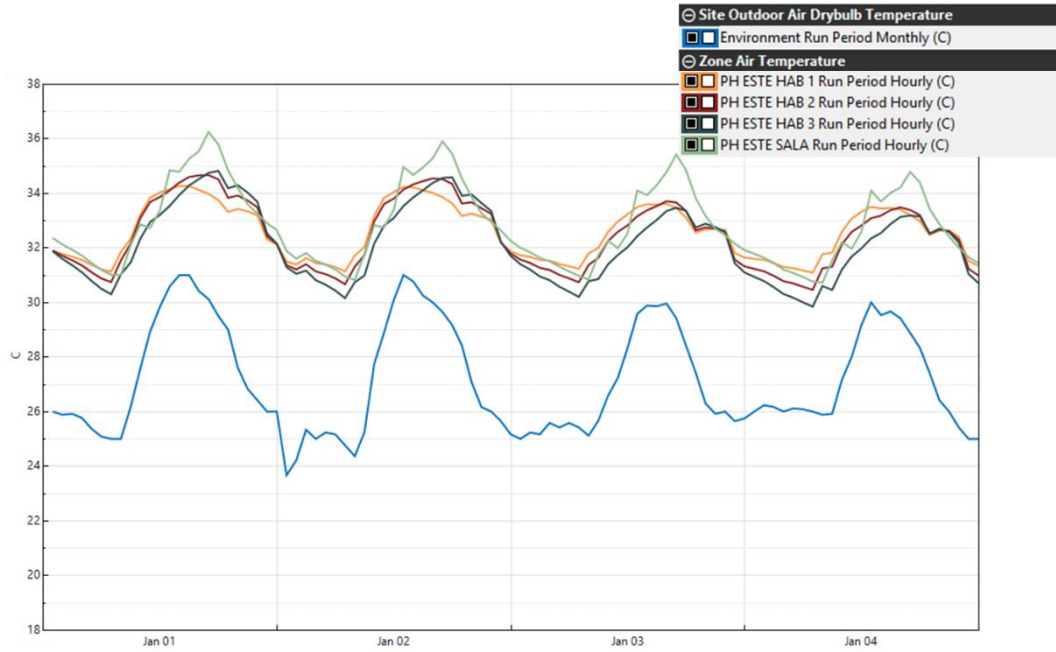
Para considerar un análisis más detallado de las simulaciones térmicas se realiza un zoom en las curvas de temperatura en los días que presentaban temperaturas pico (01 de enero al 04 de enero) y de esta manera poder ver el comportamiento hora a hora de los espacios analizados.

SIMULACIÓN TÉRMICA PLANTA BAJA- ESTADO INICIAL



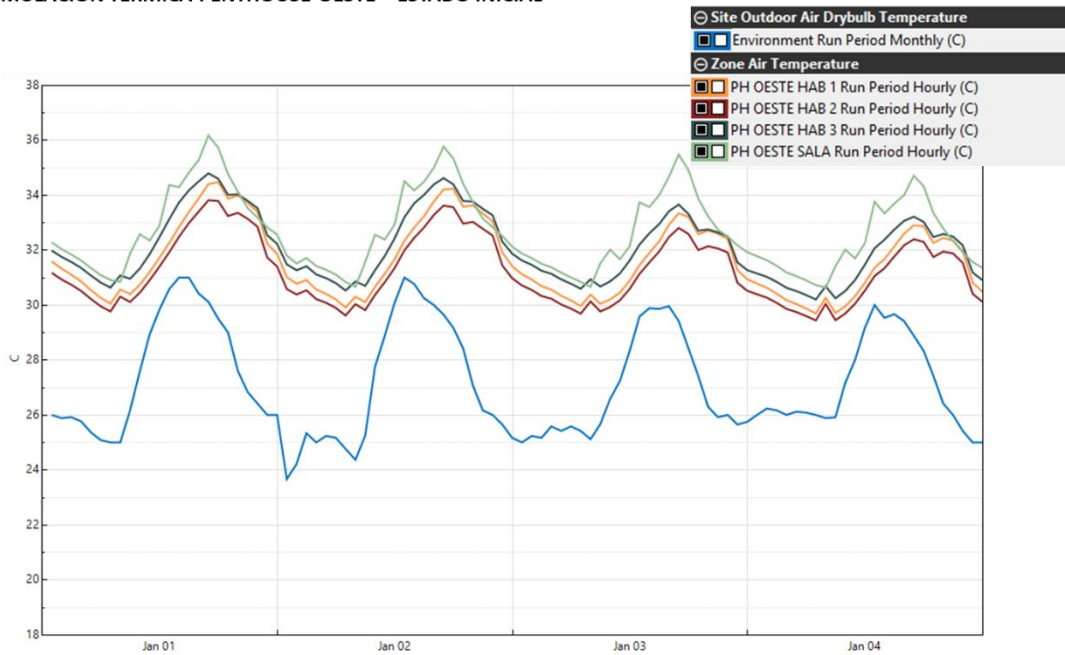
Gráfica 13. Comportamiento térmico espacios Planta Baja. Estado Inicial

**SIMULACIÓN TÉRMICA PENTHOUSE ESTE – ESTADO INICIAL**



Gráfica 14. Comportamiento térmico espacios del Penthouse Este. Estado Inicial

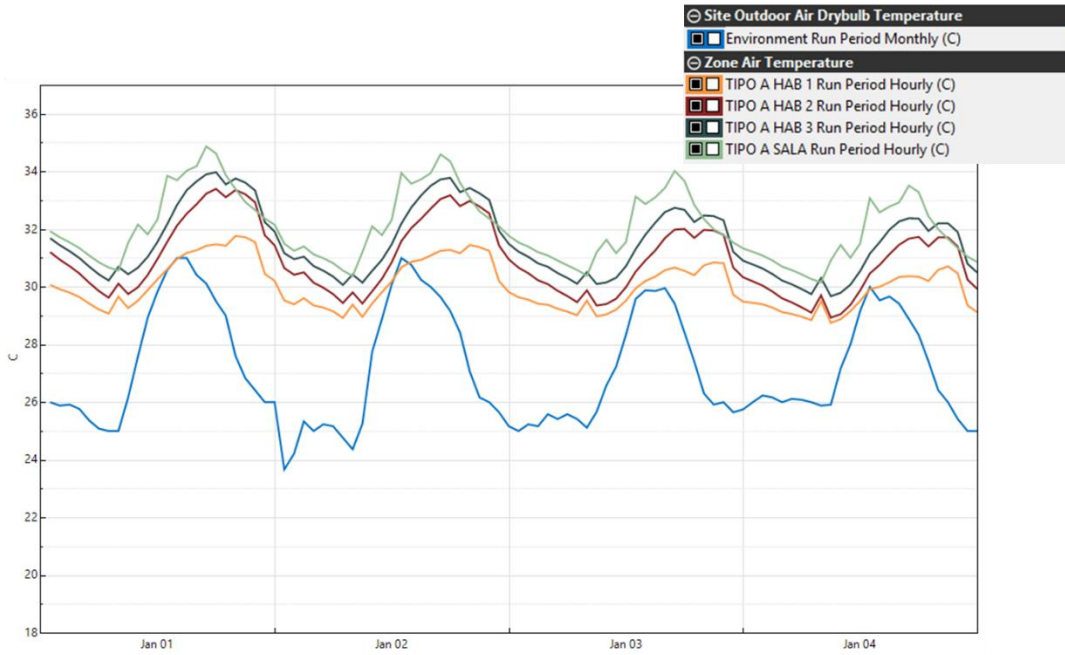
**SIMULACIÓN TÉRMICA PENTHOUSE OESTE – ESTADO INICIAL**



Gráfica 15. Comportamiento térmico espacios del Penthouse Oeste. Estado Inicial

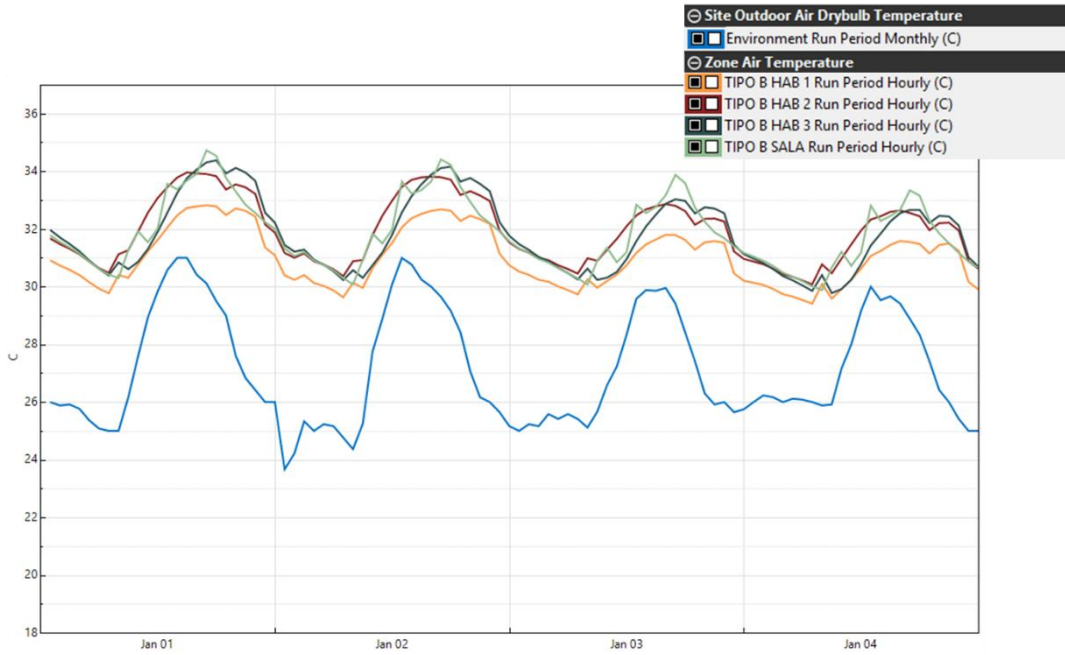


**SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO A – ESTADO INICIAL**



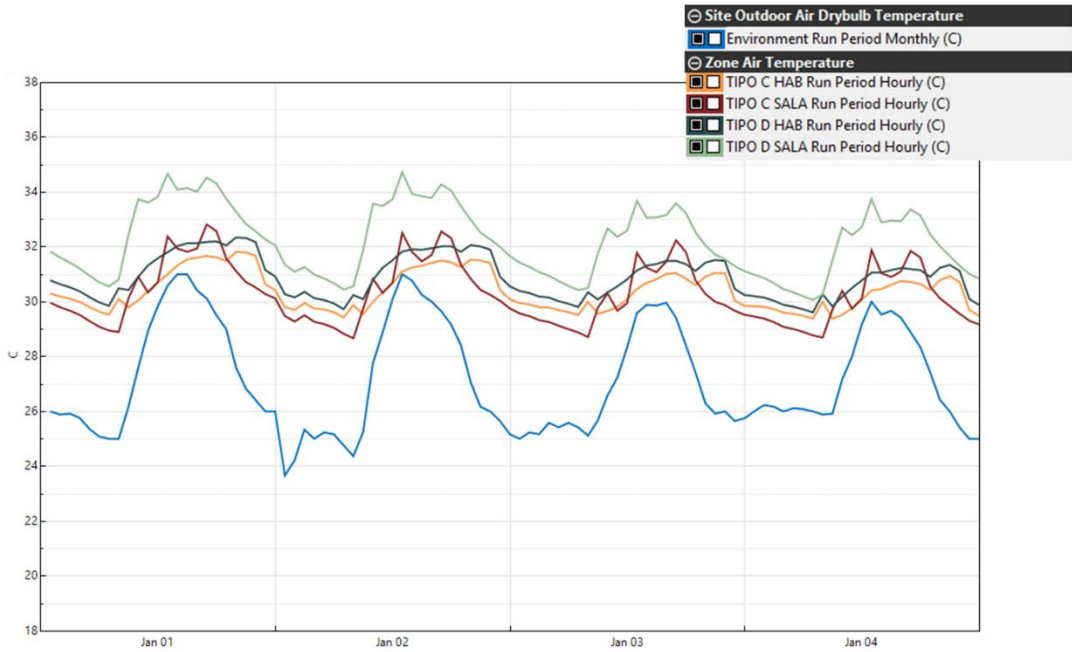
Gráfica 16. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo A. Estado Inicial

**SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO B – ESTADO INICIAL**



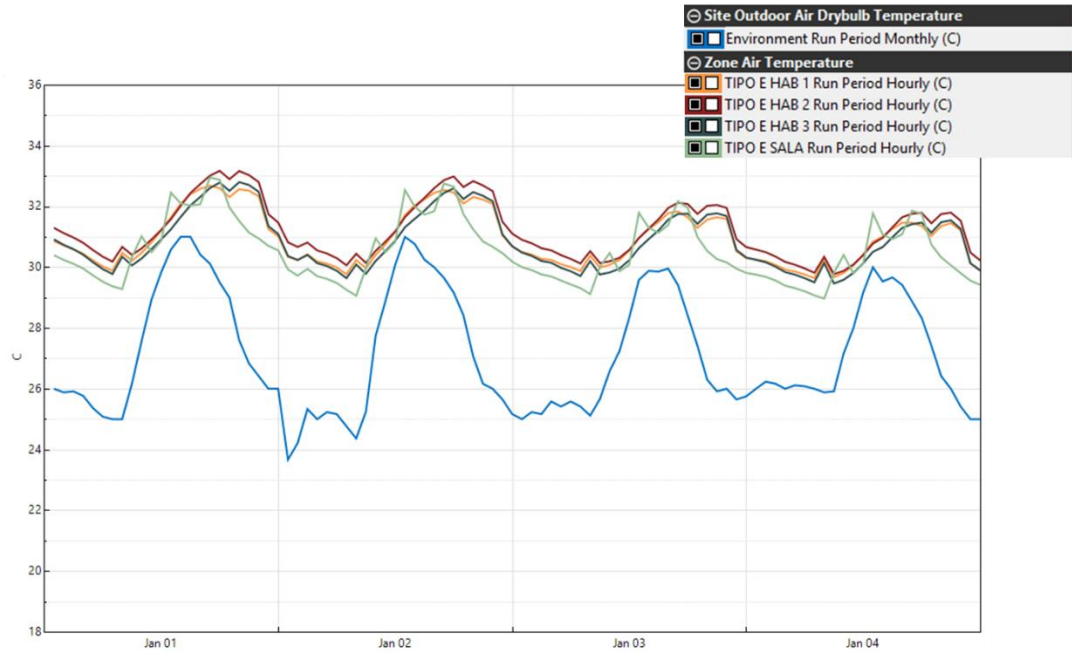
Gráfica 17. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo B. Estado Inicial

**SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO C Y D – ESTADO INICIAL**



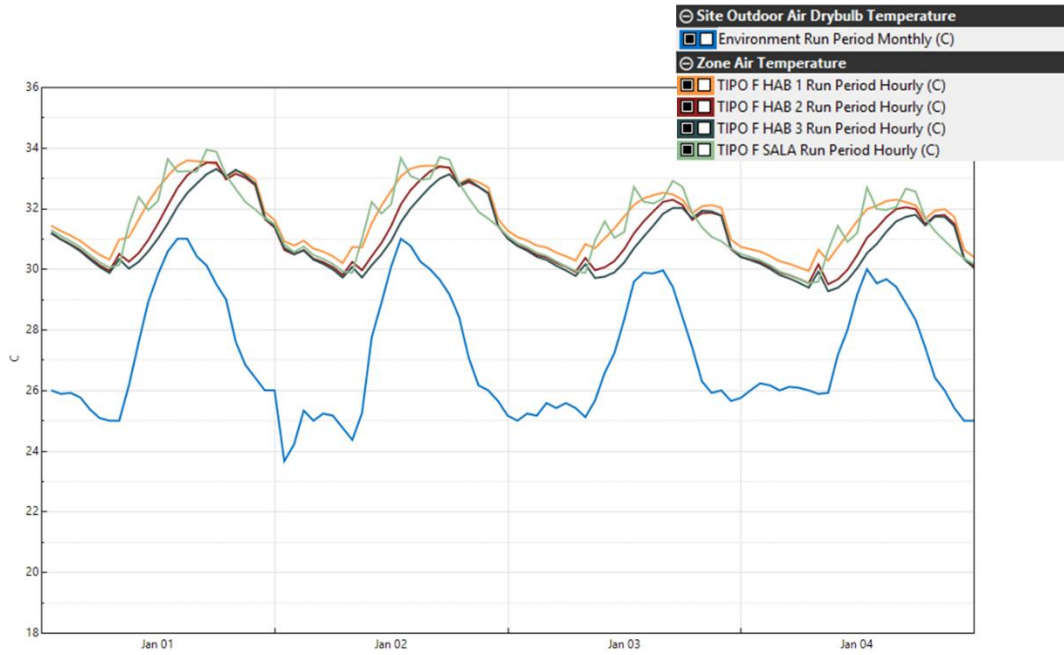
Gráfica 18. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo C y Tipo D. Estado Inicial

**SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO E – ESTADO INICIAL**



Gráfica 19. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo E. Estado Inicial

**SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO F – ESTADO INICIAL**

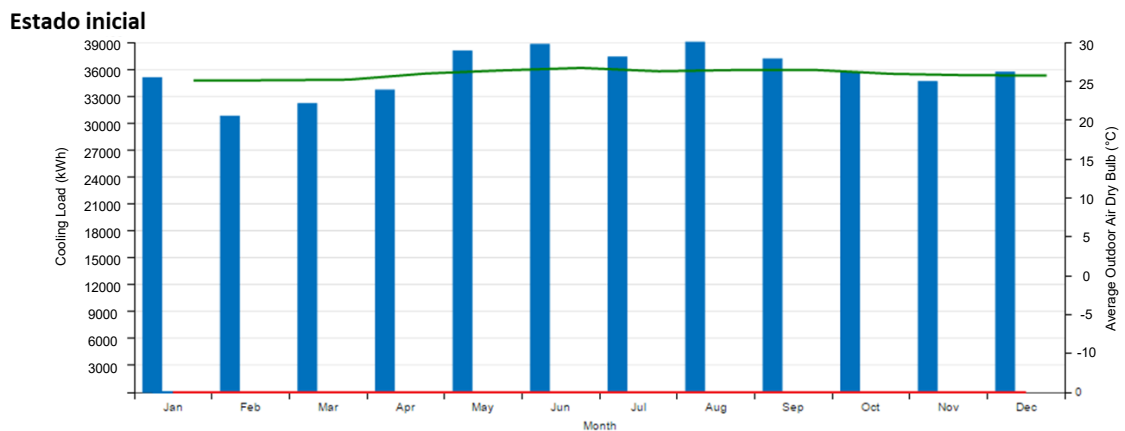


Gráfica 20. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo F. Estado Inicial

En las gráficas anteriores vemos como los espacios interiores presentan temperaturas muy por encima del rango de confort, llegando a presentar temperaturas hasta 5°C por encima de la temperatura exterior, lo cual generará una dependencia continua de sistemas de climatización mecánica.

Las decisiones tomadas en el diseño de fachadas y la selección de materiales generaron espacios interiores que se calientan con gran facilidad, en los cuales los flujos de aire por ventilación natural no son suficientes para regular las altas temperaturas.

Se realiza un cálculo de cargas para determinar el consumo requerido del proyecto para mantener la temperatura interior dentro de los niveles confort higrotérmico. Se obtiene un promedio de 34582.38 kWh mensual de consumo energético.



Gráfica 21. Consumo energético en climatización mecánica. Estado inicial

## PROPUESTAS DE PROTECCIÓN SOLAR

Considerando que uno de los factores que incrementa la temperatura interior es la incidencia directa de los rayos solares, se calculan los ángulos de protección solar para cada una de las fechas y horas de incidencia crítica (ver Tabla 7), en cada una de las fachadas del proyecto.

Con el rango de protección solar definido (9am a 4 pm) **franja en la cual los niveles de radiación superan los 500 Wh/m<sup>2</sup>**, valores que se consideran los suficientemente altos para generar grandes sobrecalentamientos al interior del proyecto. (Ver Tabla 7. Niveles de radiación solar por hora en Barranquilla. Fuente IDEAM) y con ayuda de la carta solar se definen los ángulos de azimut y altura solar para las fechas y horas definidas.

Tabla 13. Ángulos de azimut y altura solar en solsticios y equinoccio para la ciudad de barranquilla

Datos a analizar	Mes	Hora	Azimut	Altura
Barranquilla	21-jun	9:00	67.47	45.40
	21-jun	16:00	291.03	31.78
	21-dic	9:00	128.52	34.02
	21-dic	16:00	238.82	21.97
	21-sep	9:00	101.54	43.77
	21-sep	16:00	263.07	29.31

Debido a que el ángulo de azimut solar no es perpendicular a ninguna de las fachadas, se realiza una corrección geométrica del ángulo incidente y de esta manera poder determinar las dimensiones reales de los sistemas de protección solar.

A continuación se presentará la metodología utilizada para esta corrección de ángulo, se tomará de ejemplo la primer fecha del cuadro anterior. Fecha a proteger junio 21 a las 9 am. Azimut: 67.47° - Altura solar: 45.40°

Inicialmente se toma la planta del proyecto orientada al norte y un corte esquemático (únicamente ambas placas). Se traza el ángulo de azimut en planta y el ángulo de altura solar en corte.

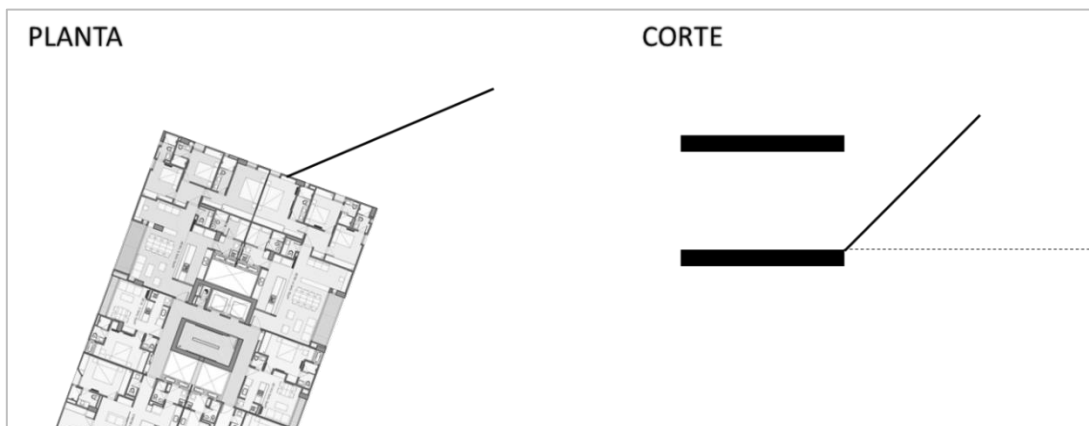


Figura 35. Corrección ángulo de protección solar - paso 1. Elaboración propia

Se traza una horizontal desde la placa superior en el corte hasta que intersecte la línea de altura solar trazada anteriormente, esto nos genera una línea que llamamos “X”, la cual trasladamos a la planta en la dirección del azimut.

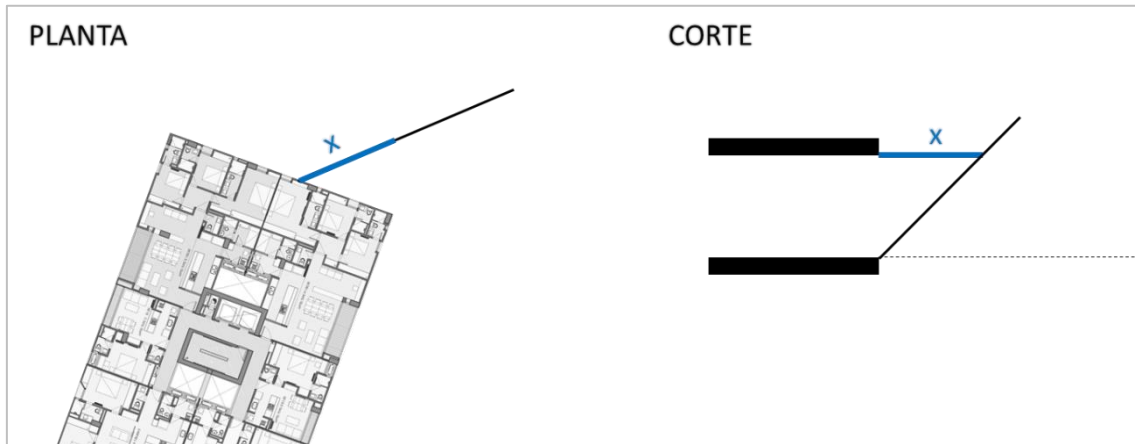


Figura 36. Corrección ángulo de protección solar - paso 2. Elaboración propia

Trazamos una perpendicular a la fachada y proyectamos “X” a esta perpendicular para hallar “Y”

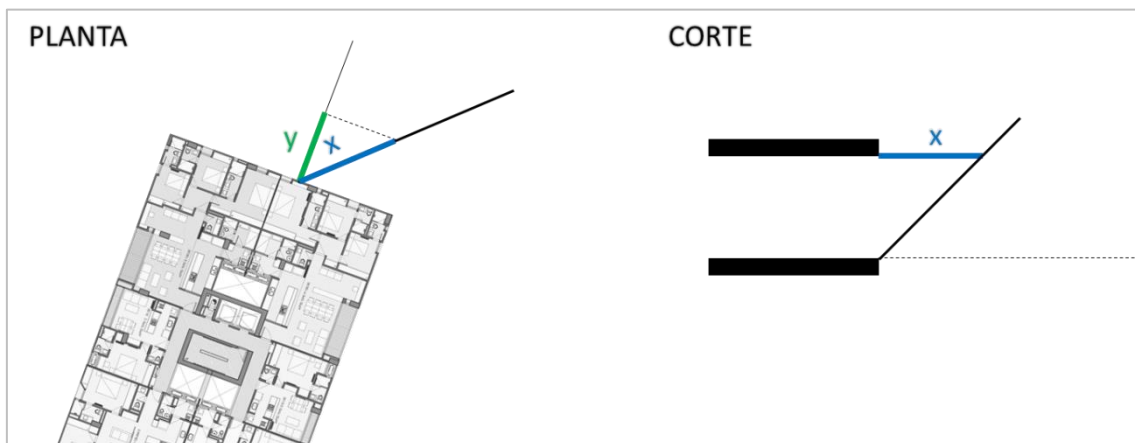


Figura 37. Corrección ángulo de protección solar - paso 3. Elaboración propia

Posteriormente trasladamos “Y” sobre el corte, trazamos una línea desde la placa inferior (el mismo punto desde donde se trazó la altura solar inicialmente) hasta “Y”, medimos el ángulo y obtenemos el ángulo de protección solar para esta fachada a la hora analizada.

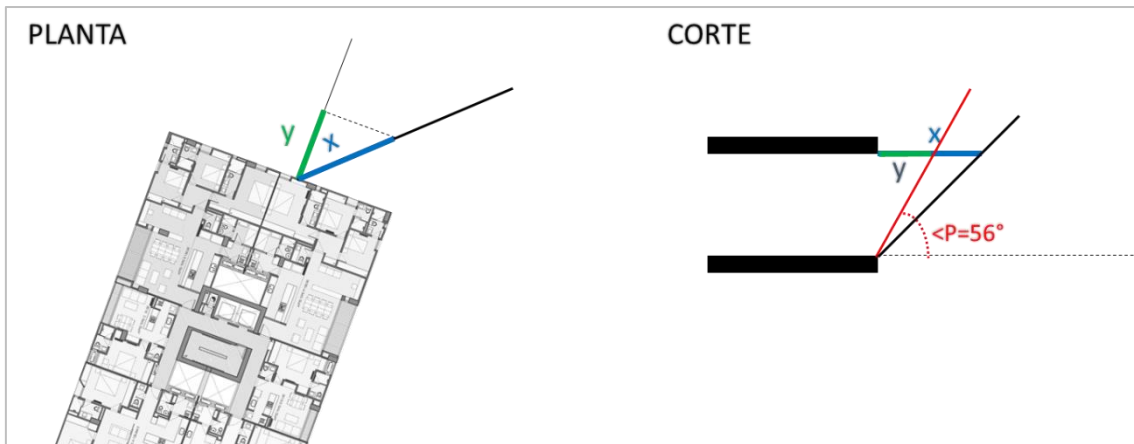


Figura 38. Corrección ángulo de protección solar - paso 4. Elaboración propia

El ángulo de protección solar en la fachada noreste para junio 21 a las 9 am es de  $56^\circ$ . Este procedimiento se realiza con todas las fechas de la Tabla 13 y en cada una de las fachadas. En la Tabla 14 se presentan los resultados.

Tabla 14. Ángulos de protección solar en cada fachada

Fachadas	Fecha	Hora	Ángulos de protección
Noreste	21-jun	9:00	56
	21-jun	16:00	88
	21-dic	9:00	No recibe sol
	21-dic	16:00	No recibe sol
	21-sep	9:00	81
	21-sep	16:00	No recibe sol
Sureste	21-jun	9:00	54
	21-jun	16:00	No recibe sol
	21-dic	9:00	35
	21-dic	16:00	No recibe sol
	21-sep	9:00	44
	21-sep	16:00	No recibe sol
Suroeste	21-jun	9:00	No recibe sol
	21-jun	16:00	No recibe sol
	21-dic	9:00	65
	21-dic	16:00	27
	21-sep	9:00	No recibe sol
	21-sep	16:00	51
Noroeste	21-jun	9:00	No recibe sol
	21-jun	16:00	32
	21-dic	9:00	No recibe sol
	21-dic	16:00	33
	21-sep	9:00	No recibe sol
	21-sep	16:00	32

Con los datos obtenidos se define el ángulo crítico en cada una de las fachadas y con estos se plantean los ángulos de protección solar en cada una de las



fachadas, para de esta manera controlar las ganancias energéticas solares al interior del proyecto.



Figura 39. Ángulos de protección solar propuestos para cada fachada

A continuación un ejemplo de la aplicación del ángulo de protección solar, considerando el ángulo resultante de la fachada sureste.

Ángulo de protección solar Diciembre 21 a las 9 am = 35°.

Un solo elemento, tipo pérgola.

Varios elementos, cortasoles.

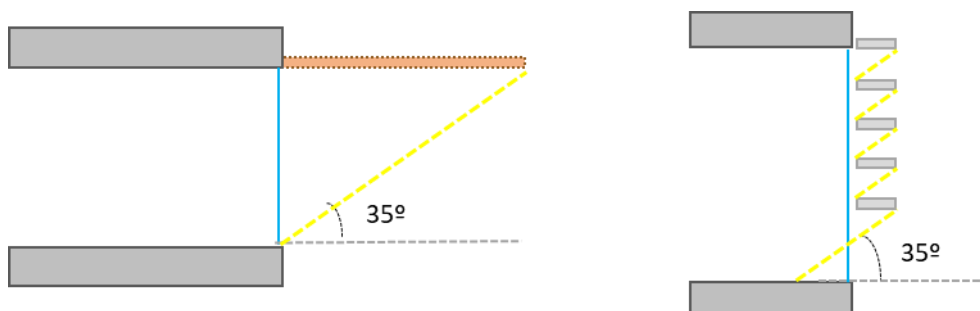


Figura 40. Ejemplo de aplicación de los ángulos de protección solar

Considerando el diagnóstico realizado y el ángulo de protección solar para cada fachada se realiza una propuesta de protección en las superficies acristaladas.

En todas las fachadas se plantean estrategias similares para mantener una imagen exterior uniforme.

### Propuesta fachada suroeste

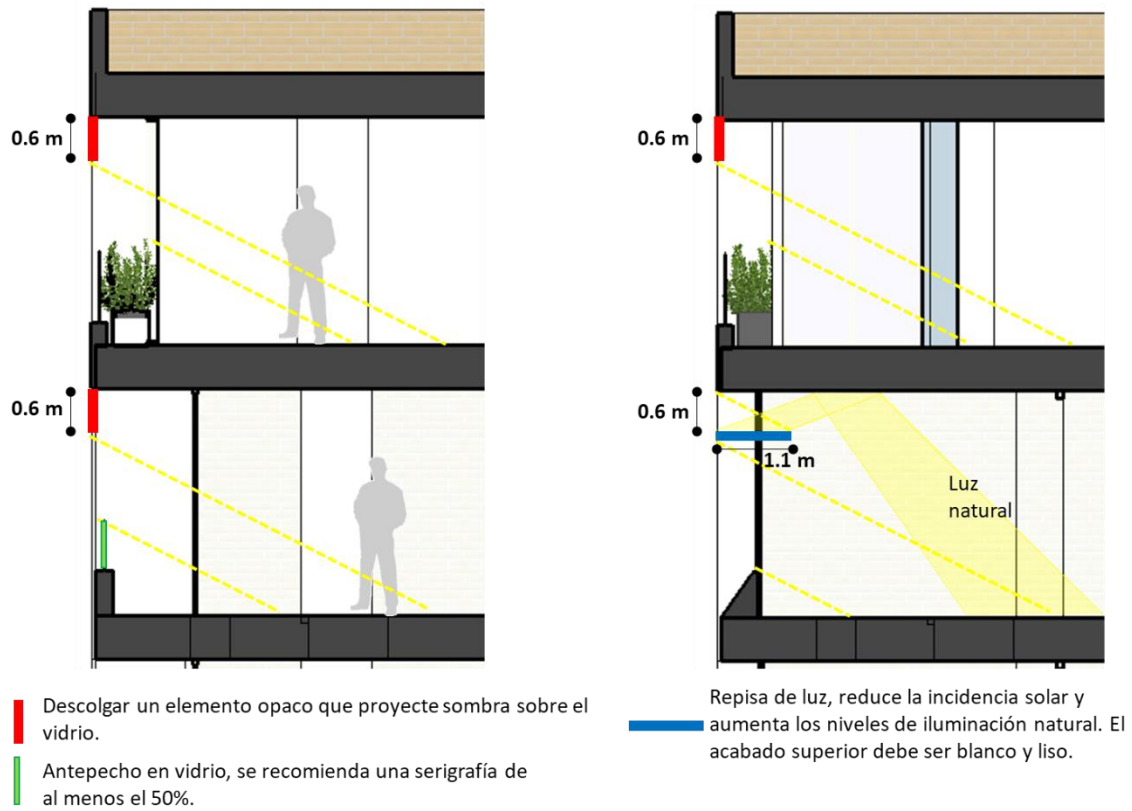


Figura 41. Propuesta de protección solar fachada suroeste

### Propuesta fachada sureste

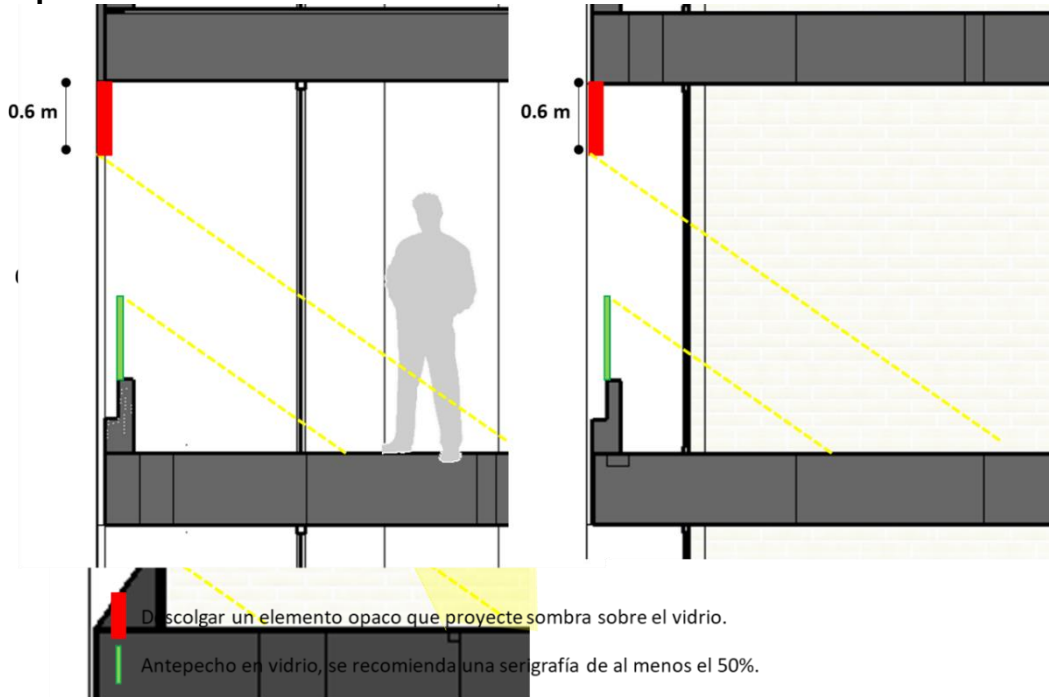


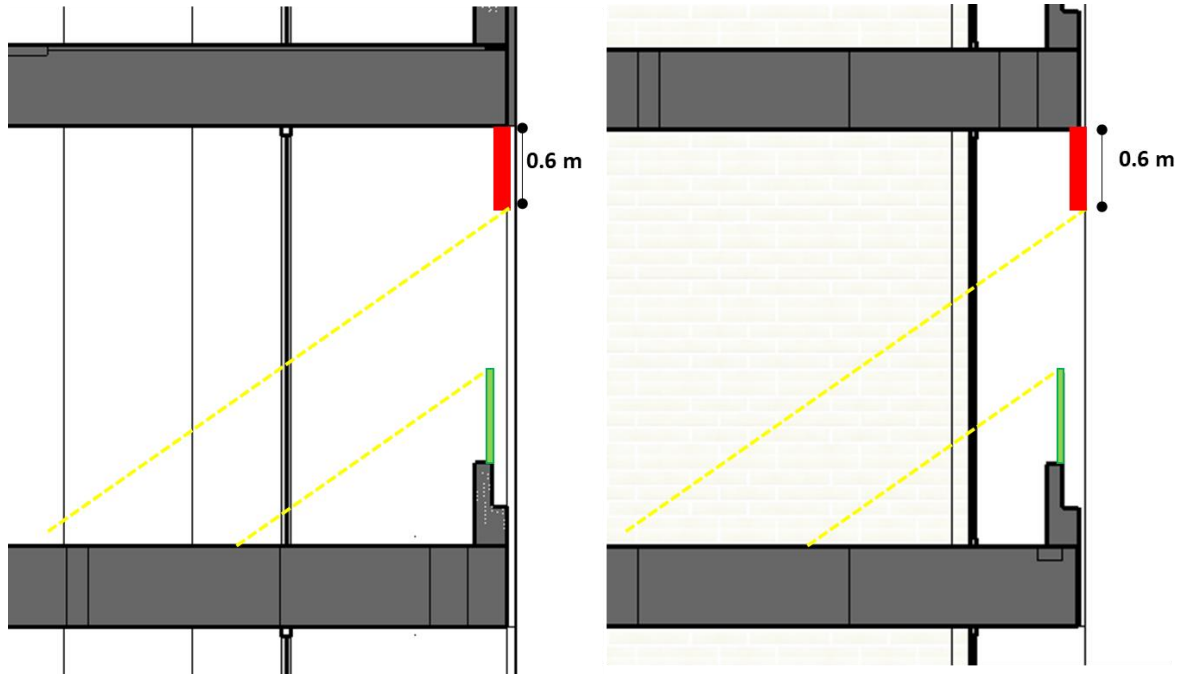
Figura 42. Propuesta de protección solar fachada sureste

Figura 43. Propuesta de protección solar fachada sureste - ventana pequeña



## Propuesta fachada noroeste

Debido a la sombra arrojada por las edificaciones cercanas, sobre la fachada noroeste, los apartamentos "TIPO E" entre el piso 2 y piso 6, no requieren aplicar ninguna propuesta de protección solar.



- █ Descolgar un elemento opaco que proyecte sombra sobre el vidrio.
- █ Antepecho en vidrio, se recomienda una serigrafía de al menos el 50%.

Figura 44. Propuesta de protección solar fachada noroeste

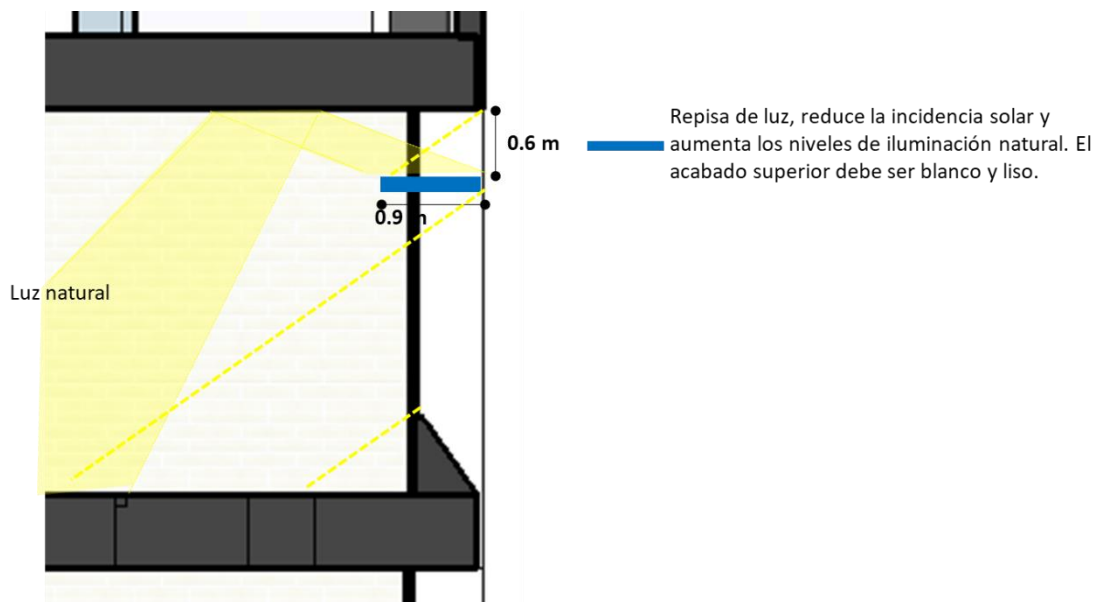


Figura 45. Propuesta de protección solar fachada noroeste - ventana pequeña

## Propuesta fachada noreste

Debido a la sombra arrojada por las edificaciones cercanas, sobre la fachada noreste únicamente es necesario aplicar la propuesta de protección solar a partir del piso 5

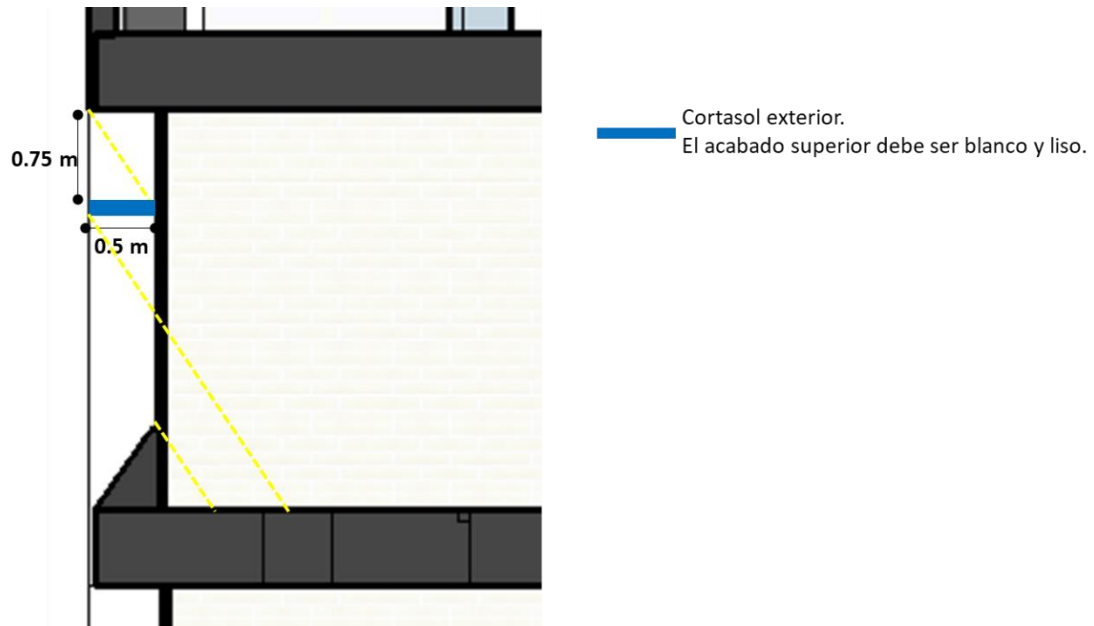


Figura 46. Propuesta de protección solar fachada noreste

## PROPUESTAS PARA MEJORAR LA ENVOLVENTE TÉRMICA

Considerando que ninguna de las propuestas de envolvente cumplía la referencia establecida por la IRAM 11605, se plantea aumentar el aislamiento térmico en muros y techos.

### CUBIERTA Y MUROS AISLADOS TÉRMICAMENTE

La cubierta es el único elemento del proyecto expuesto a la radiación solar durante todo el día todo el año, por lo cual se convierte en un elemento caliente que incrementa la temperatura al interior de los espacios. Por esta razón se plantea adicionar un aislamiento térmico de 7.5 cm.

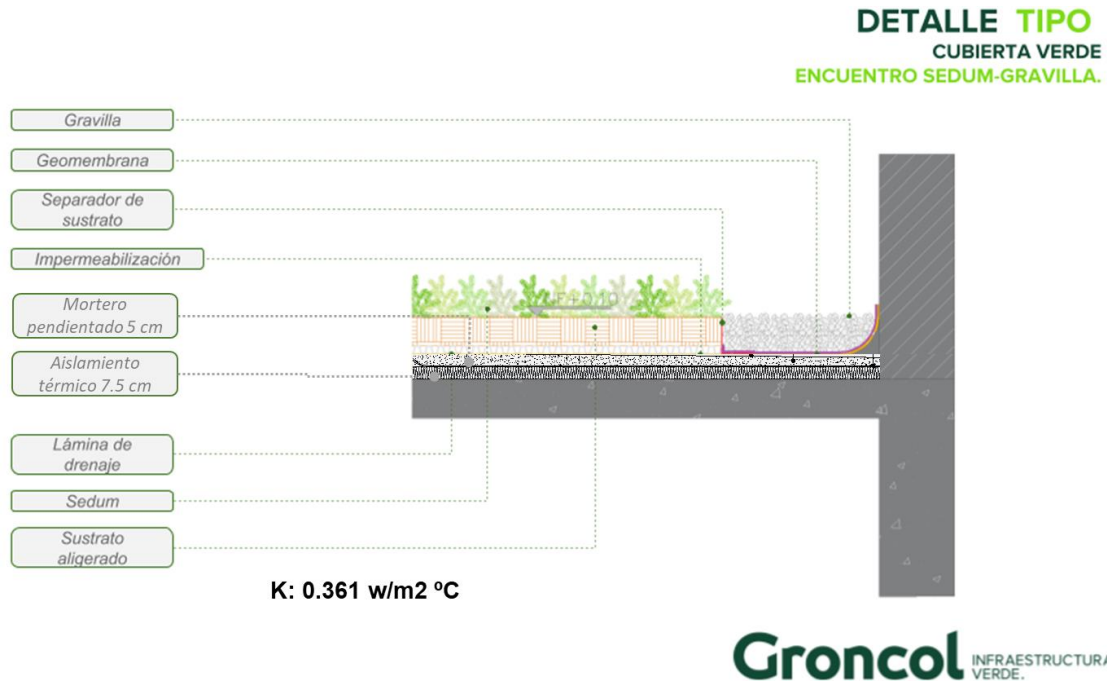


Figura 47. Detalle cubierta . Elaboración propia a partir de detalle enviado por empresa Groncol

En los muros se tienen en cuenta dos consideraciones, la transmisión térmica y la capacidad de acumular calor, por lo cual se plantea cambiar el ladrillo hueco por un ladrillo macizo, además de plantear aislamiento térmico de 5 cm y finalmente un acabado con superboard hacia el exterior.

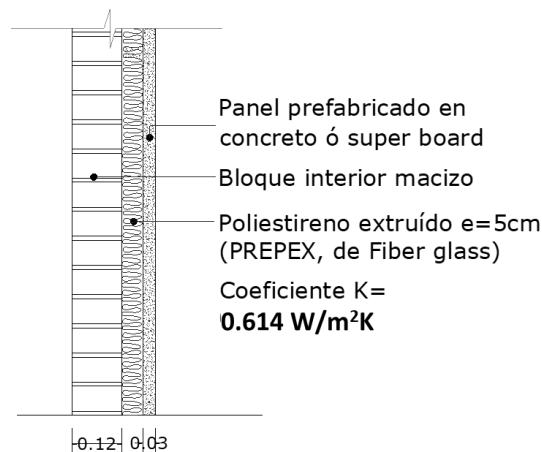


Figura 48. Detalle muro propuesto. Elaboración propia

El valor de transmitancia térmica "K" para el muro propuesto es de 0.614 W/m<sup>2</sup>K (Tabla 9), en cubierta 0.361 W/m<sup>2</sup>K en la zona de cubierta verde (Tabla 10) y 0.397 W/m<sup>2</sup>K en la cubierta con grava (Tabla 11). Estos valores verifican el cumplimiento de la norma ya que el máximo admisible tomado como referencia es 1.10 W/m<sup>2</sup>K para muros y 0,45 W/m<sup>2</sup>K para techos.

Tabla 15. Cálculo de la transmitancia térmica "K" del muro propuesto

Capa del elemento constructivo - Muros		Espesor de cada capa	Coefficiente conductividad térmica	Resistencia térmica
		m	W/m.K	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Resistencia superficial interior</b>				0.130
1	Morteros de revoque y juntas (interior)	0.015	0.930	0.016
2	Ladrillo cerámico macizos (2000kg/m <sup>3</sup> )	0.120	1.100	0.109
3	Polietileno alta densidad	0.020	0.500	0.040
4	Poliestireno extruido	0.050	0.035	1.429
5	Placa de yeso (1000kg/m <sup>3</sup> )	0.015	0.440	0.034
<b>Resistencia superficial exterior</b>				0.040
<b>TOTAL</b>		<b>0.220</b>		<b>1.628</b>
<b>Transmitancia térmica del componente W/m<sup>2</sup>.K</b>				<b>0.614</b>
<b>Transmitancia térmica máxima de acuerdo IRAM 11605</b>				<b>1.10</b>
<b>Cumple con la IRAM 11605</b>			<b>SI</b>	

Tabla 16. Cálculo de la transmitancia térmica "K" de cubierta verde propuesta

Capa del elemento constructivo - Cubierta verde		Espesor de cada capa	Coefficiente conductividad térmica	Resistencia térmica
		m	W/m.K	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Resistencia superficial interior</b>				0.120
1	Placa de yeso (600kg/m <sup>3</sup> )	0.010	0.310	0.032
2	Camara de aire 100 mm	0.100	-	0.210
3	Homigón normal con agregados pétreos (2500kg/m <sup>3</sup> )	0.150	1.740	0.086
4	Poliestireno extruido	0.075	0.035	2.143
5	Homigón normal con agregados pétreos (2500kg/m <sup>3</sup> )	0.050	1.740	0.029
6	Bituminosa	0.001	2.230	0.000
7	Lámina de drenaje - Aire 20 mm	0.020	3.230	0.006
8	Suelo Natural	1.100	4.230	0.260
<b>Resistencia superficial exterior</b>				0.040
<b>TOTAL</b>		<b>1.506</b>		<b>2.767</b>
<b>Transmitancia térmica del componente W/m<sup>2</sup>.K</b>				<b>0.361</b>
<b>Transmitancia térmica máxima de acuerdo IRAM 11605</b>				<b>0.45</b>
<b>Cumple con la IRAM 11605</b>			<b>SI</b>	

Tabla 17. Cálculo de la transmitancia térmica "K" de cubierta en grava propuesta

Capa del elemento constructivo - Cubierta con grava		Espesor de cada capa	Coefficiente conductividad térmica	Resistencia térmica
		m	W/m.K	m <sup>2</sup> .K/W
<b>Resistencia superficial interior</b>				0.120
1	Placa de yeso (600kg/m <sup>3</sup> )	0.010	0.310	0.032
2	Camara de aire 100 mm	0.100	-	0.210
3	Homigón normal con agregados pétreos (2500kg/m <sup>3</sup> )	0.150	1.740	0.086
4	Poliestireno extruido	0.075	0.035	2.143
5	Homigón normal con agregados pétreos (2500kg/m <sup>3</sup> )	0.050	1.740	0.029
6	Bituminosa	0.001	0.230	0.004
7	Gravas	0.015	0.930	0.016
<b>Resistencia superficial exterior</b>				0.040
<b>TOTAL</b>		<b>0.401</b>		<b>2.521</b>
<b>Transmitancia térmica del componente W/m<sup>2</sup>.K</b>				<b>0.397</b>
<b>Transmitancia térmica máxima de acuerdo IRAM 11605</b>				<b>0.45</b>
<b>Cumple con la IRAM 11605</b>			<b>SI</b>	

Para la selección de acabados exteriores se realiza el análisis de absorción de radiación solar del material utilizado con el cuadro de Albedo, para verificar su afectación en la energía que ingresaría al proyecto. Para el clima de la ciudad de Barranquilla se propone utilizar materiales selectivos fríos, los cuales tienen un factor de absorción bajo.

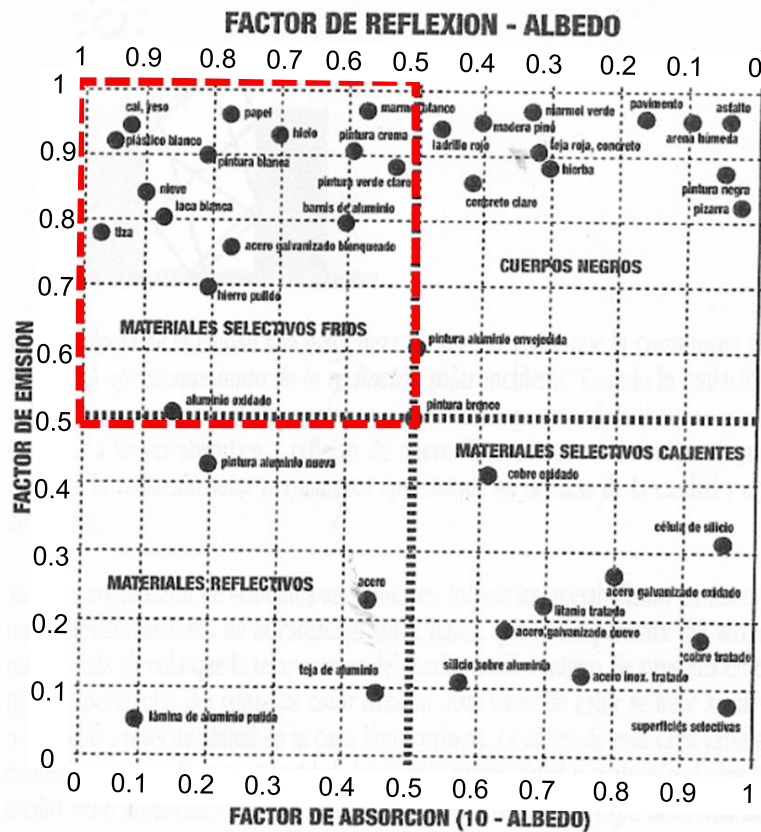


Figura 49. Cuadro de Albedo

## PROPUESTAS DE VENTILACIÓN NATURAL

La geometría y la disposición del proyecto con respecto a los vientos dominantes generan automáticamente zonas de presiones diferentes. Con el fin de ventilar de manera natural el proyecto, las fachadas opuestas pueden ponerse en relación mediante rejillas o vanos localizados en ambas fachadas.

Es muy importante lograr dentro de cualquier espacio el continuo movimiento del aire, pues este se lleva a su paso el calor acumulado en muros, techos y suelos por el fenómeno de convección, así como el aire viciado. En ese sentido, los sistemas de ventilación natural consisten en aprovechar los vientos predominantes según sea la orientación del proyecto.

Para realizar la propuesta de ventilación natural del proyecto se dispone la rosa de los vientos de la ciudad de Barranquilla sobre cada una de las fachadas del proyecto para identificar las zonas que recibe el viento dominante y presentan presión positiva o empuje y las zonas de presión negativa o fuerza de succión, para definir los sistemas de ventilación de acuerdo a las direcciones de viento.

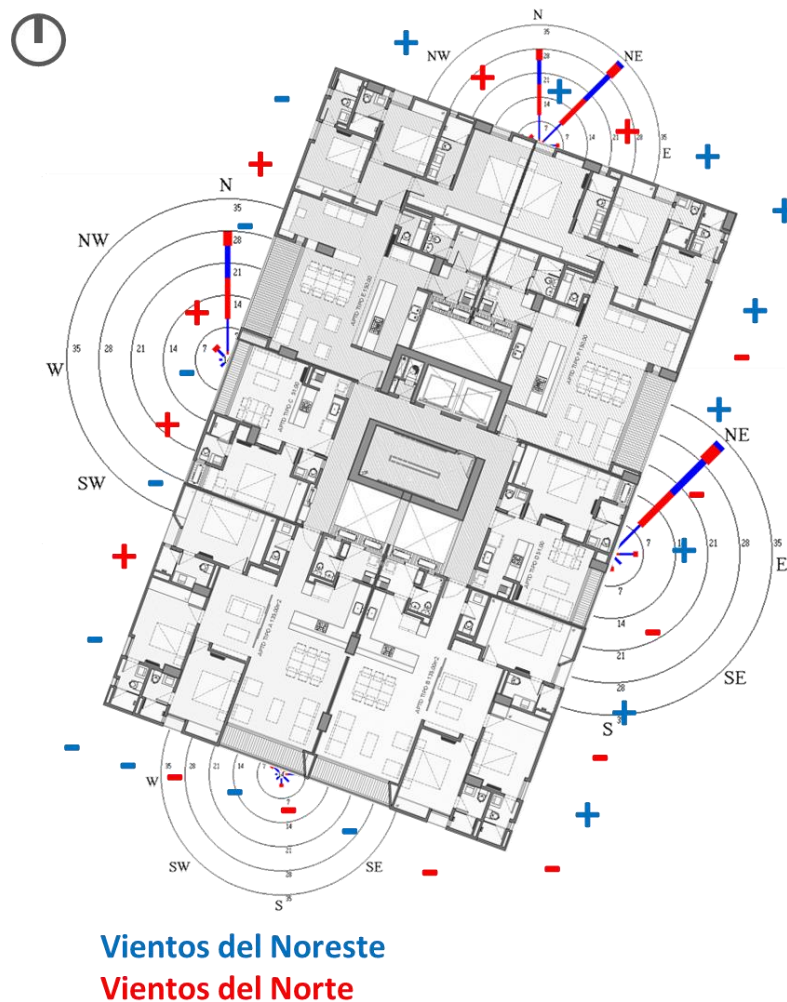


Figura 50. Esquema de presiones de viento en el proyecto

En el esquema identificamos las fachadas con presión positiva (+) y presión negativa (-) para los vientos predominantes de la ciudad de Barranquilla.

En la imagen se representa en color azul los vientos del noreste y en color rojo los vientos del norte. Para los vientos del noreste, se presenta presión positiva sobre los costados noreste y sureste, y presión negativa en los costados noroeste y suroeste del proyecto. Para los vientos del norte, se presenta presión positiva sobre los costados noreste y noroeste, y presión negativa en los costados sureste y suroeste del proyecto.

Los sistemas de ventilación cruzada se realizan considerando estas presiones de viento.

Para la correcta ventilación de los espacios se utilizan sistemas de ventilación cruzada y sistemas de ventilación por diferencial térmico.

### **Ventilación Cruzada (Cross)**

El sistema de ventilación cruzada consiste en aprovechar las presiones del viento (positivas y negativas), para ventilar un espacio interior por medio de la conexión de las fachadas generando aberturas en cada una de ellas. Estas aberturas se dimensionan de acuerdo a la necesidad de caudal a mover dentro de cada espacio.

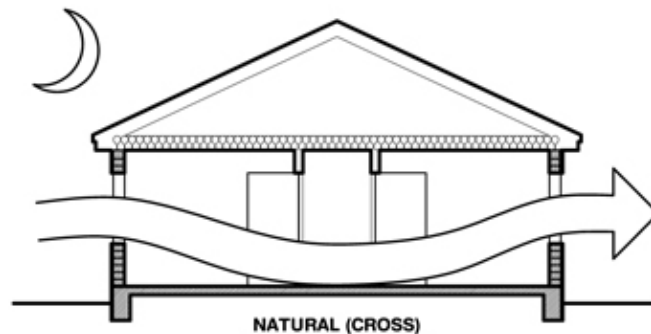


Figura 51. Esquema de ventilación natural cruzada. Fuente Climate Consultant

### **Ventilación por diferencia térmica (Stack)**

Al existir diferencias de temperatura entre el interior y el exterior, por diferencia de presiones y niveles, el aire más frío del exterior succiona el aire caliente, el cual se encuentra en ascenso en el interior. Este sistema, permite una ventilación adecuada dentro de diferentes espacios.

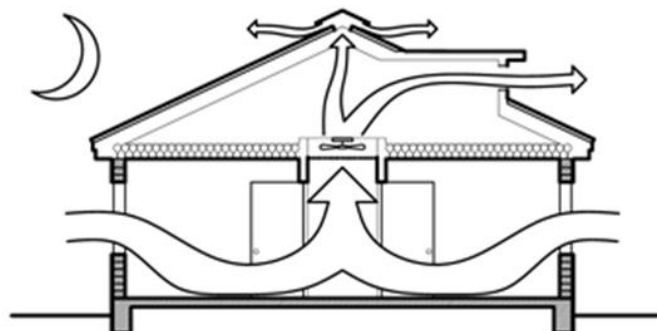


Figura 52. Esquema de ventilación natural por diferencia térmica. Fuente Climate Consultant

### **Cálculo de caudales de aire**

Para establecer los caudales de aire necesarios en cada espacio nos basamos en el estándar ASHRAE 62.1 de 2007, el cual en sus tablas 6.1 y 6.4 presenta los caudales mínimos requeridos de acuerdo al área y uso de cada espacio.



Tabla 18. Caudales mínimos de ventilación según área y uso del espacio. ASHRAE 62.1

**TABLE 6-1 MINIMUM VENTILATION RATES IN BREATHING ZONE**  
(This table is not valid in isolation; it must be used in conjunction with the accompanying notes.)

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate		Area Outdoor Air Rate		Notes	Default Values		Air Class	
	$R_p$		$R_a$			Occupant Density (see Note 4)	Combined Outdoor Air Rate (see Note 5)		
	cfm/person	L/s·person	cfm/ft <sup>2</sup>	L/s·m <sup>2</sup>		#/1000 ft <sup>2</sup> or #/100 m <sup>2</sup>	cfm/person		L/s·person
<b>Residential</b>									
Dwelling unit	5	2.5	0.06	0.3	F,G	F		1	
Common corridors	–	–	0.06	0.3				1	
Gym, stadium (play area)	–	–	0.30	1.5		30		2	
Main entry lobbies	5	2.5	0.06	0.3		10	11	5.5	1

**TABLE 6-4 Minimum Exhaust Rates**

Occupancy Category	Exhaust Rate, cfm/unit	Exhaust Rate, cfm/ft <sup>2</sup>	Notes	Exhaust Rate, L/s·unit	Exhaust Rate, L/s·m <sup>2</sup>	Air Class
Parking garages	–	0.75	C	–	3.7	2
Toilets—private	25/50	–	E	12.5/25	–	2
Kitchenettes	–	0.30		–	1.5	2

Se debe garantizar el ingreso de este caudal mínimo a cada uno de los espacios para evitar concentraciones altas de CO<sub>2</sub> en los espacios habitables y CO en los parqueaderos y así evitar el síndrome del edificio enfermo.

Para cada uno de los espacios del proyecto se realiza el cálculo de caudal mínimo ASHRAE.

### Cálculo de caudales mínimos según ASHRAE

Se identifican los usos de los espacios para determinar el caudal de aire requerido para cada uno de ellos con la siguiente fórmula:

$$\text{Caudal (Q)} = (\text{cfm/person} \times \text{número de personas}) + (\text{cfm/ft}^2 \times \text{área en ft}^2)$$

**Habitación:** Espacio de 12 m<sup>2</sup> con ocupación de 2 personas

Área se multiplica por 10,7639 para pasar a ft<sup>2</sup>, se obtiene un área de 129.17 ft<sup>2</sup>

$$Q = (5 \text{ cfm/person} \times 2 \text{ personas}) + (0.06 \text{ cfm/ft}^2 \times 129.17 \text{ ft}^2)$$

$$Q = 10 \text{ cfm} + 7.75 \text{ cfm}$$

$$Q = 17.75 \text{ cfm} \times 1,699 \text{ para pasar a m}^3/\text{h}$$

$$Q = 30.1575 \text{ m}^3/\text{h}$$

**De esta manera, y considerando la información de la Tabla 18, se determinan los caudales para cada uno de los espacios del proyecto.**

Posteriormente para el cálculo de aperturas para cumplir con caudales de ventilación natural, se utiliza la fórmula CIBSE, en la que se considera el tamaño de la apertura, el coeficiente de fricción de esta misma, además de la velocidad y la dirección de incidencia de los vientos predominantes.



Para determinar la velocidad de viento se realiza la corrección por perfil vertical de la velocidad media, considerando la fórmula de Hellmann.

$$v_h = v_{10} \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha$$

Donde,

$v_h$ : es la velocidad de viento a la altura  $h$

$h$ : es la altura a la cual se desea hacer el cálculo

$v_{10}$ : es la velocidad de viento a una altura de 10m. Tomada de estación meteorológica

$\alpha$ : es el exponente de Hellmann que varía con la rugosidad del terreno, y cuyos valores figuran en la siguiente tabla:

Lugares llanos con hielo o hierba	$\alpha = 0,08 \div 0,12$
Lugares llanos (mar, costa)	$\alpha = 0,14$
Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0,13 \div 0,16$
Zonas rústicas	$\alpha = 0,2$
Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0,2 \div 0,26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0,25 \div 0,4$

Para el análisis utilizamos una velocidad de viento de 4.3 m/s, tomada de los datos históricos de la ciudad de Barranquilla. El exponente de rugosidad utilizado es de 0.35 de terrenos muy accidentados y ciudades, ya que el proyecto se encuentra en medio de una ciudad.

En la Tabla 19 podemos ver los datos de velocidad de viento final para cada uno de los pisos.

Tabla 19. Cálculo de perfil vertical de la velocidad media de acuerdo a la fórmula de Hellmann

NÚMERO DE PISO	VELOCIDAD METEOROLÓGICA (m/s)	ALTURA DE CÁLCULO	EXPONENTE DE HELLMANN	VELOCIDAD DE VIENTO FINAL (m/s)
PLANTA BAJA	4.3	2.5	0.35	2.65
PISO 1	4.3	6.2	0.35	3.64
PISO 2	4.3	9.5	0.35	4.22
PISO 3	4.3	12.8	0.35	4.69
PISO 4	4.3	16.1	0.35	5.08
PISO 5	4.3	19.4	0.35	5.42
PISO 6	4.3	22.7	0.35	5.73
PISO 7	4.3	26	0.35	6.01
PISO 8	4.3	29.3	0.35	6.26

Para los espacios con ventilación cruzada se calculó con el escenario crítico con un ángulo de incidencia  $60^\circ$  y velocidad de viento de acuerdo al análisis de velocidades realizado.

En los espacios con ventilación por diferencia térmica se tomó para el cálculo una diferencia de altura de 3m (altura del piso) y una diferencia de temperatura de 6°C.

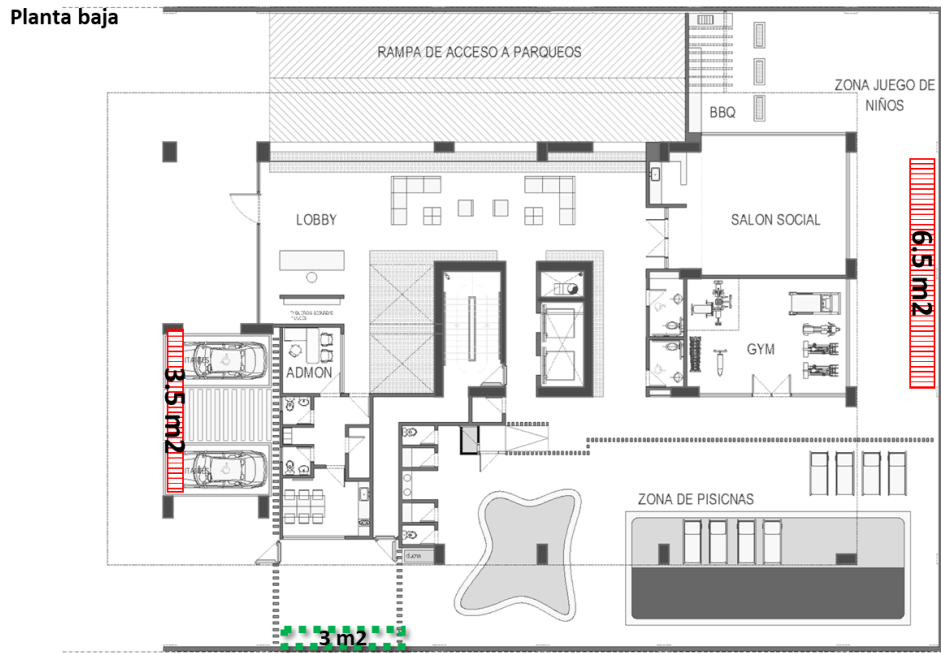
Tabla 20. Caudales requeridos y dimensiones de apertura mínimos para uno de los espacios

PISO	ESPACIO	Cálculo de caudal				Cálculo de dimensión de apertura		
		AREA EN M2	NUMERO DE PERSONAS	CAUDAL SEGÚN ASHRAE m3/h	Cambios por hora de aire	VELOCIDAD DE VIENTO m/s	AREA DE INGRESO REQUERIDA m2	AREA DE SALIDA REQUERIDA m2
PLANTA BAJA	Lobby	130	13	253.08	0.68	2.65	0.30	0.30
	Gimnasio	39.2	8	215.07	1.93	2.65	0.26	0.26
	Salón social	52.7	40	397.63	2.65	2.65	0.48	0.48
PISO 1	Habitación - 2 personas	12	2	30.16	0.88	3.64	0.03	0.03
	Habitación - 1 persona	11	1	20.57	0.66	3.64	0.02	0.02
	Sala comedor	26	6	162.04	2.19	3.64	0.14	0.14
	Baño	3.2	1	42.48	4.66	3.64	0.04	0.04
	Cocina	8.8	1	48.28	1.93	3.64	0.04	0.04
PISO 2	Habitación - 2 personas	12	2	30.16	0.88	4.22	0.02	0.02
	Habitación - 1 persona	11	1	20.57	0.66	4.22	0.02	0.02
	Sala comedor	26	6	162.04	2.19	4.22	0.12	0.12
	Baño	3.2	1	42.48	4.66	4.22	0.03	0.03
	Cocina	8.8	1	48.28	1.93	4.22	0.04	0.04
PISO 3	Habitación - 2 personas	12	2	30.16	0.88	4.69	0.02	0.02
	Habitación - 1 persona	11	1	20.57	0.66	4.69	0.01	0.01
	Sala comedor	26	6	162.04	2.19	4.69	0.11	0.11
	Baño	3.2	1	42.48	4.66	4.69	0.03	0.03
	Cocina	8.8	1	48.28	1.93	4.69	0.03	0.03
PISO 4	Habitación - 2 personas	12	2	30.16	0.88	5.08	0.02	0.02
	Habitación - 1 persona	11	1	20.57	0.66	5.08	0.01	0.01
	Sala comedor	26	6	162.04	2.19	5.08	0.10	0.10
	Baño	3.2	1	42.48	4.66	5.08	0.03	0.03
	Cocina	8.8	1	48.28	1.93	5.08	0.03	0.03
PISO 5	Habitación - 2 personas	12	2	30.16	0.88	5.42	0.02	0.02
	Habitación - 1 persona	11	1	20.57	0.66	5.42	0.01	0.01
	Sala comedor	26	6	162.04	2.19	5.42	0.10	0.10
	Baño	3.2	1	42.48	4.66	5.42	0.02	0.02
	Cocina	8.8	1	48.28	1.93	5.42	0.03	0.03
PISO 6	Habitación - 2 personas	12	2	30.16	0.88	5.73	0.02	0.02
	Habitación - 1 persona	11	1	20.57	0.66	5.73	0.01	0.01
	Sala comedor	26	6	162.04	2.19	5.73	0.09	0.09
	Baño	3.2	1	42.48	4.66	5.73	0.02	0.02
	Cocina	8.8	1	48.28	1.93	5.73	0.03	0.03
PISO 7	Habitación - 2 personas	12	2	30.16	0.88	6.01	0.02	0.02
	Habitación - 1 persona	11	1	20.57	0.66	6.01	0.01	0.01
	Sala comedor	26	6	162.04	2.19	6.01	0.09	0.09
	Baño	3.2	1	42.48	4.66	6.01	0.02	0.02
	Cocina	8.8	1	48.28	1.93	6.01	0.03	0.03
PISO 8	Habitación - 2 personas	12	2	30.16	0.88	6.26	0.02	0.02
	Habitación - 1 persona	11	1	20.57	0.66	6.26	0.01	0.01
	Sala comedor	26	6	162.04	2.19	6.26	0.08	0.08
	Baño	3.2	1	42.48	4.66	6.26	0.02	0.02
	Cocina	8.8	1	48.28	1.93	6.26	0.02	0.02
Parqueadero Sótano 1	Parqueadero Sótano 1	643	-	8819.38	4.81	2.65	5.33	5.33
*Parqueadero Sótano 2	*Parqueadero Sótano 2	612	-	8394.18	4.81	-	63.21	63.21
*Parqueadero Sótano 3	*Parqueadero Sótano 3	612	-	8394.18	4.81	-	63.21	63.21

\*El cálculo de dimensión de apertura para ventilación de los sótanos 2 y 3 se realiza por medio de diferencia térmica

### Sistema de ventilación natural sótanos

Se realiza el planteamiento de ventilación natural para cada uno de los espacios considerando las áreas resultantes del cálculo realizado.



Salida de aire con doble muro – Ver Figura 57

Rejilla de piso – Ver figura 56

Figura 53. Esquema de ventilación natural para sótano 1 – Vista Planta baja

**Sótano 1**



Salida de aire con doble muro - Ver Figura 57

Rejilla de piso – 63.2 m<sup>2</sup>


Cerramiento permeable lateral de la rampa

Proyección rejilla superior – Ver Figura 56

Figura 54. Esquema de ventilación natural sótano 1

Sótano 2



 Rejilla de piso – 63.2 m2


 Cerramiento permeable lateral de la rampa

Figura 55. Esquema de ventilación natural sótano 2

Sótano 3



 Proyección Rejilla de piso - 63.2 m2


 Cerramiento permeable lateral de la rampa

Figura 56. Esquema de ventilación natural sótano 3

A continuación se presentan las diferentes opciones para la rejilla de piso para ventilar el sótano 1.

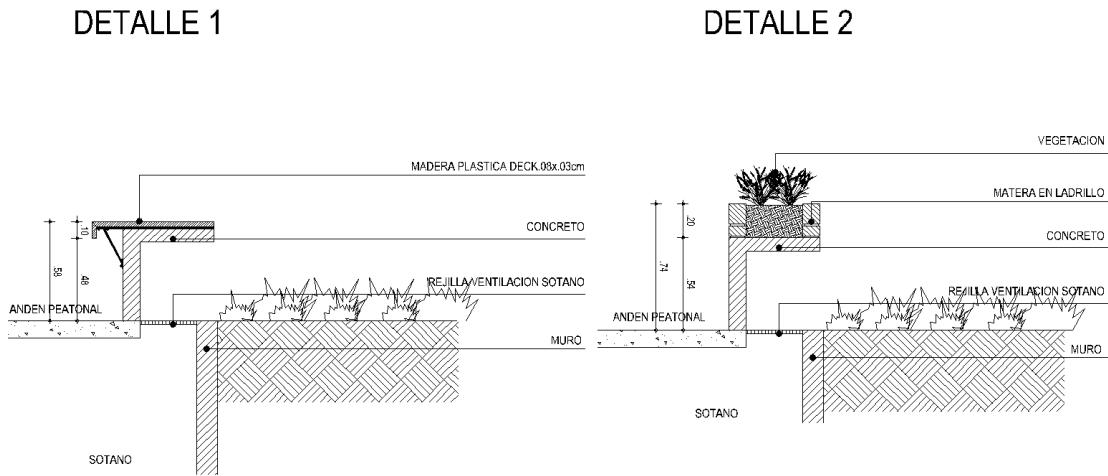


Figura 57. Detalles posibles para rejillas de ingreso de aire a sótano 1

Adicionalmente como mecanismo de ventilación por diferencia térmica se propone un doble muro en una zona de la planta para generar el efecto chimenea y garantizar los caudales requeridos en los sótanos.

**Esquema salida de aire con doble muro**

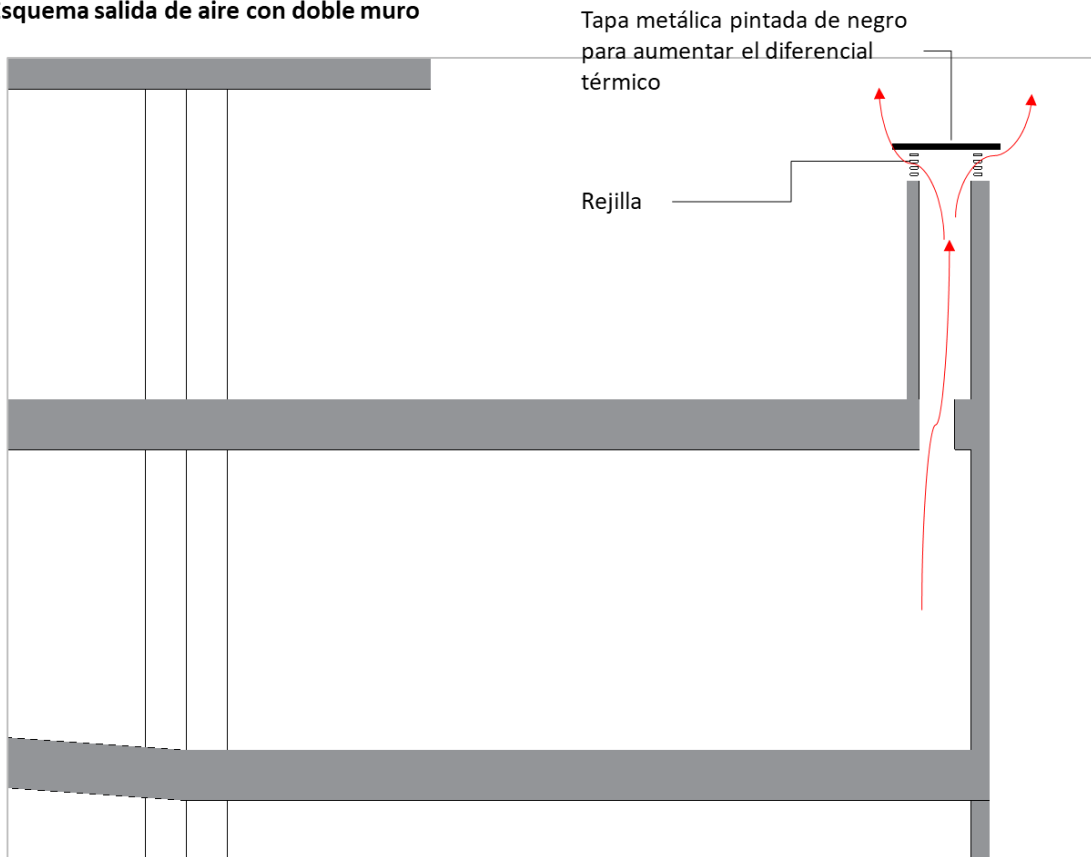


Figura 58. Esquema de salida de aire por efecto stack

### Ventilación natural apartamentos

Para garantizar la ventilación de los apartamentos, en todos los apartamentos tipo se debe generar las aperturas de ventilación mínima de acuerdo a la Tabla 20. Caudales requeridos y dimensiones de apertura mínimos para uno de los espacios.

### Confort dinámico

La noción de confort dinámico está relacionada directamente con la velocidad de viento y su incidencia sobre los usuarios del proyecto, ya que si se desplaza éste tiene que vencer la resistencia que ejerce el viento y si se encuentra en una actividad sedentaria puede llegar a afectar actividades como leer libros o tomar un café.

En planta baja en el proyecto encontramos la zona de piscina, la cual podría llegar a presentar problemas en relación al confort dinámico.

La escala de Beaufort, establece algunos parámetros de las características del viento con respecto a su velocidad y las molestias que puede ocasionar.

Tabla 21. Escala de Beaufort

fuerza	velocidad m/s	Características del viento
2	1.5-3	Sentimos el movimiento de aire en la cara. Se escucha el murmullo de las hojas de los árboles.
3	3-4.5	Las hojas de los arboles y las ramas pequeñas se mueven constantemente. Ondeán las banderas al igual que las ropas amplias.
4	4.5-7	El polvo depositado sobre el piso y los papeles se levantan. Las ramas de los árboles se agitan. Se despeinan los cabellos.
5	7-9	Oscilan los arbustos. Se perturba la marcha del peatón.
6	9-11	Se mueven las grandes ramas de los árboles. El viento silba al contacto con los cables de las redes telefónicas. Se utilizan difícilmente los paraguas. La marcha se vuelve muy inestable.
7	11-14	Se mueven totalmente los árboles. La marcha contra el viento es muy difícil.
8	14-17	Se rompen las ramas de los árboles. La progresión peatonal es muy difícil y peligrosa.
9	17-20	El peatón corre el riesgo de ser violentamente arrastrado por el efecto de las borrascas.

De acuerdo a la escala de Beaufort podemos definir 5 m/s como el límite tolerable antes de sentir molestias. Adicionalmente debemos considerar el factor tiempo, la frecuencia con la que el viento supera esta barrera de velocidad limitará el nivel de confort dinámico de acuerdo a la actividad a realizar.

Tabla 22. Frecuencia de inconfort

Actividad	límite superior de las molestias resentidas para unas condiciones de confort - en % de tiempo
Situación de pie inmóvil prolongada, ventas al aire libre, terrazas de café, espectáculos al aire libre, piscina al aire libre.	5
Situación de pie inmóvil corta, parque, zonas de juegos, calle comercial, pequeñas plazas.	10
Marcha a ritmo normal, calle peatonal, entrada a edificios, etc.	15
Marcha rápida, zonas de parqueos, andenes de avenidas, miradores, etc.	25

Por lo tanto para espacios de permanencia prolongada no se debería de sobrepasar la velocidad límite en más de un 5% del día.

Como mecanismo de control de estos flujos de viento, se plantean **barreras aerodinámicas**, las cuales son más eficientes si son permeables a los vientos, ya que reducen la fuerza del mismo sin generar turbulencias o fenómenos molestos en las zonas de permanencia.

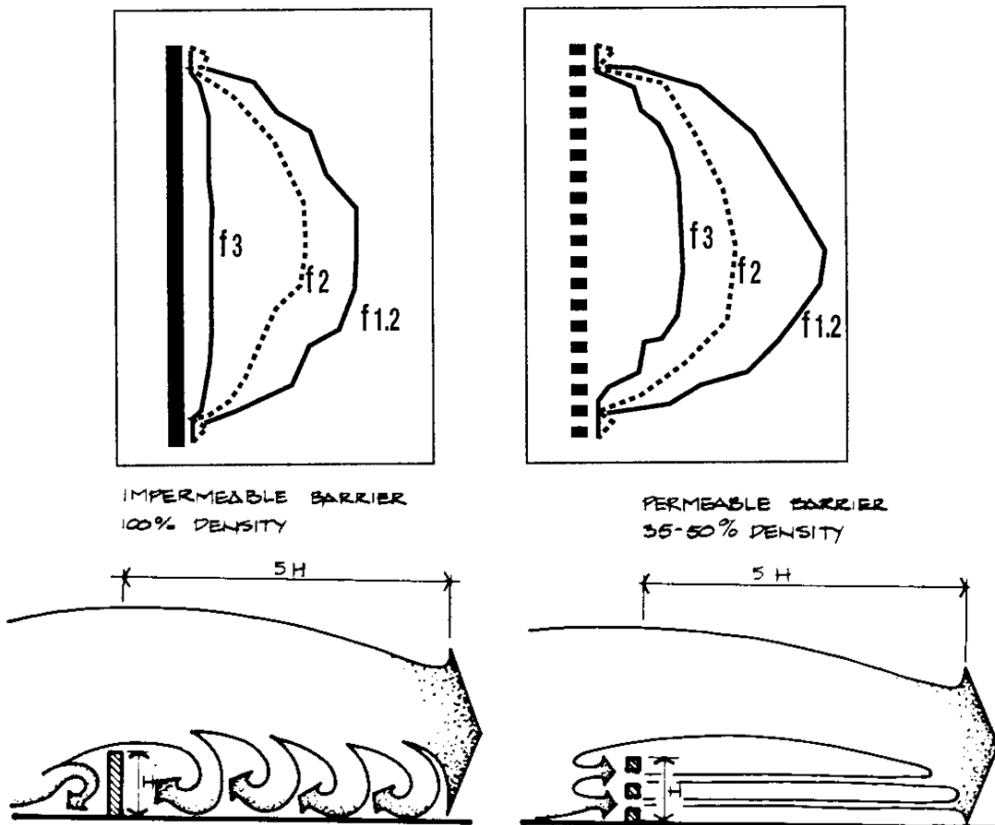


Figura 59. Esquemas de comportamiento aerodinámico de barreras impermeables y porosas



Considerando que el proyecto desde su diseño inicial ya consideraba un cerramiento permeable en la zona de la piscina, se somete a software de simulación aerodinámica la propuesta inicial.

Las simulaciones se realizan con el software Autodesk Flow Desing versión educativa, en el software se ingresan los valores de dirección y velocidad obtenidos en el análisis climático presentado en este documento. Las mayores velocidades de viento se presentan en la dirección norte y noreste, por lo cual las simulaciones de flujo se realizan con estas direcciones a una velocidad de viento de 4.8 m/s de acuerdo a los datos estadísticos suministrados por el IDEAM. Ver Gráfica 9. Dirección y velocidad de los vientos en Barranquilla. Fuente IDEAM

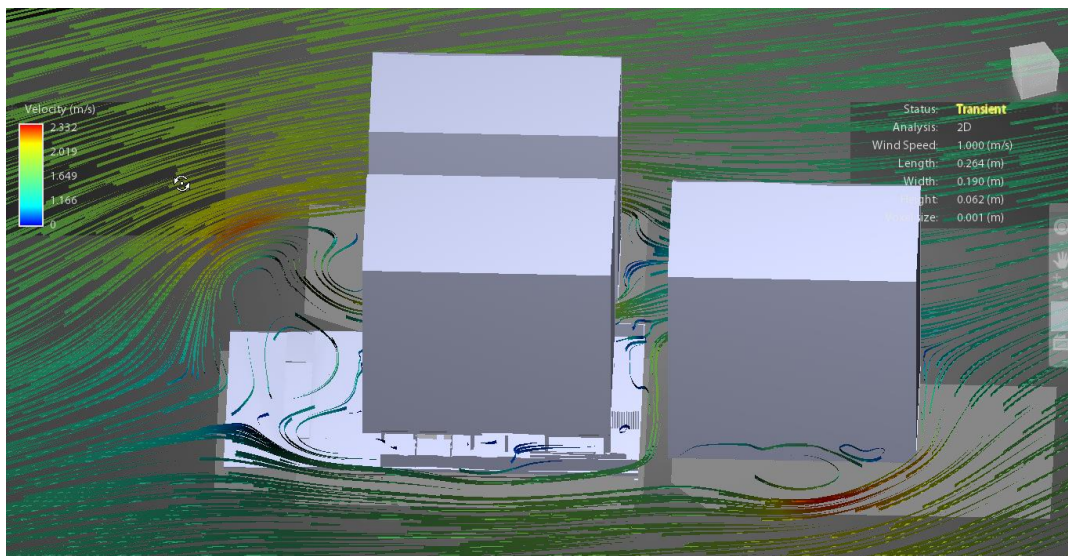


Figura 60. Simulación aerodinámica espacio de piscina. Planta baja

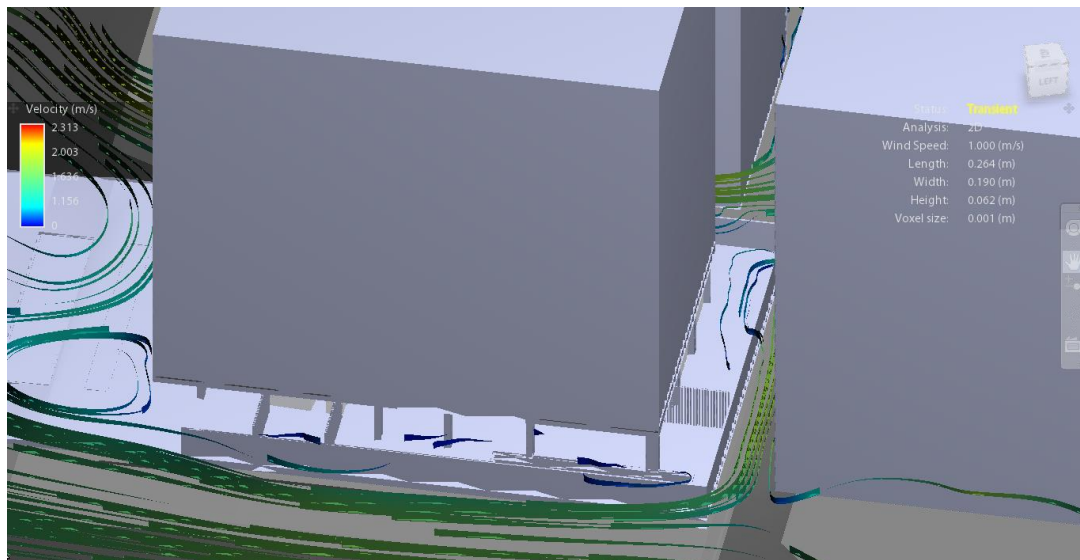


Figura 61. Simulación aerodinámica espacio de piscina. Planta baja

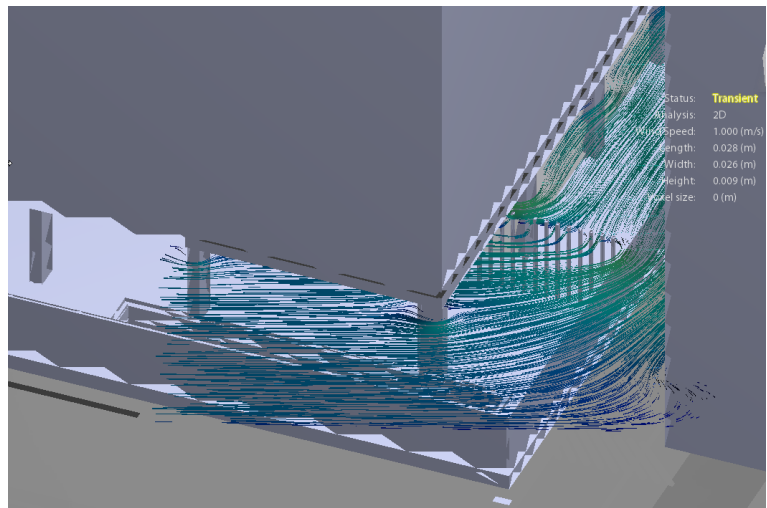


Figura 62. Simulación aerodinámica espacio de piscina. Zoom barrera permeable

Según las simulaciones realizadas, las construcciones aledañas y las barreras permeables propuestas desde el diseño inicial en planta baja, hacen una barrera de viento suficiente para las direcciones predominantes, y no presentan aceleraciones en los flujos en las zonas de permanencia, por lo cual se concluye que no se tiene problemas con el confort dinámico en los espacios de permanencia exterior en planta baja.

### **SIMULACIONES TÉRMICAS**

Mediante el software OpenStudio, complemento del software Sketchup se modifica el modelo utilizado para el diagnóstico, agregándole todos los cambios propuestos en este documento para ser simulador con el motor de cálculo EnergyPlus.

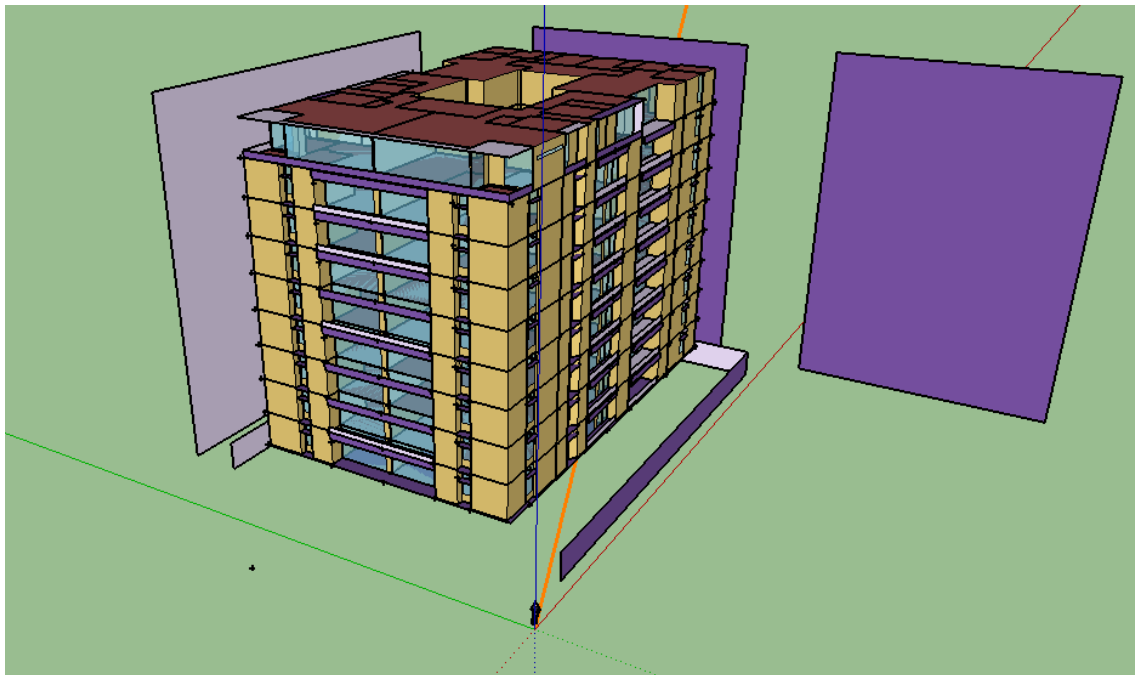


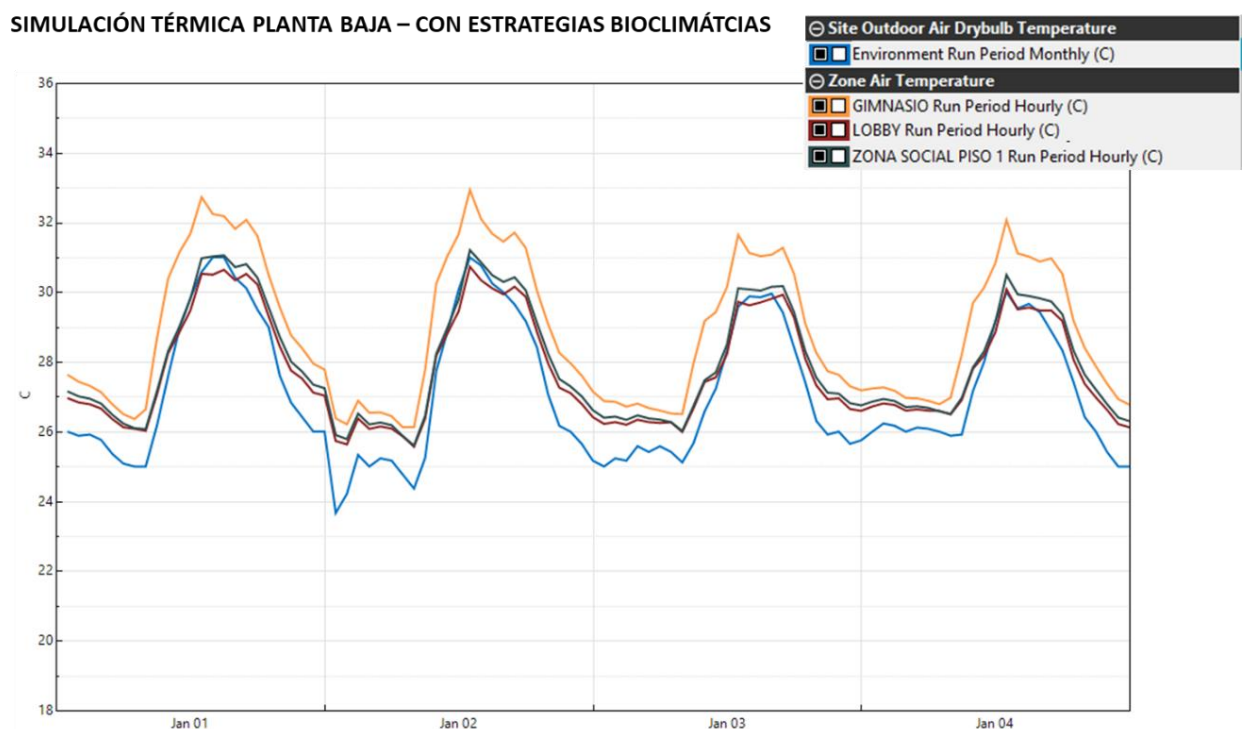
Figura 63. Modelo geométrico con propuestas en OpenStudio

Con el modelo presentado en la Figura 63 se realiza la comprobación térmica del estado final con las estrategias planteadas de cada uno de los espacios para verificar su funcionamiento en relación al clima de la ciudad de Barranquilla.

Se toman para análisis los apartamentos tipo en el proyecto para verificar su funcionamiento considerando la carga por iluminación, por número de personas y equipos en el espacio, además se consideran los materiales propuestos y la orientación respecto al norte.

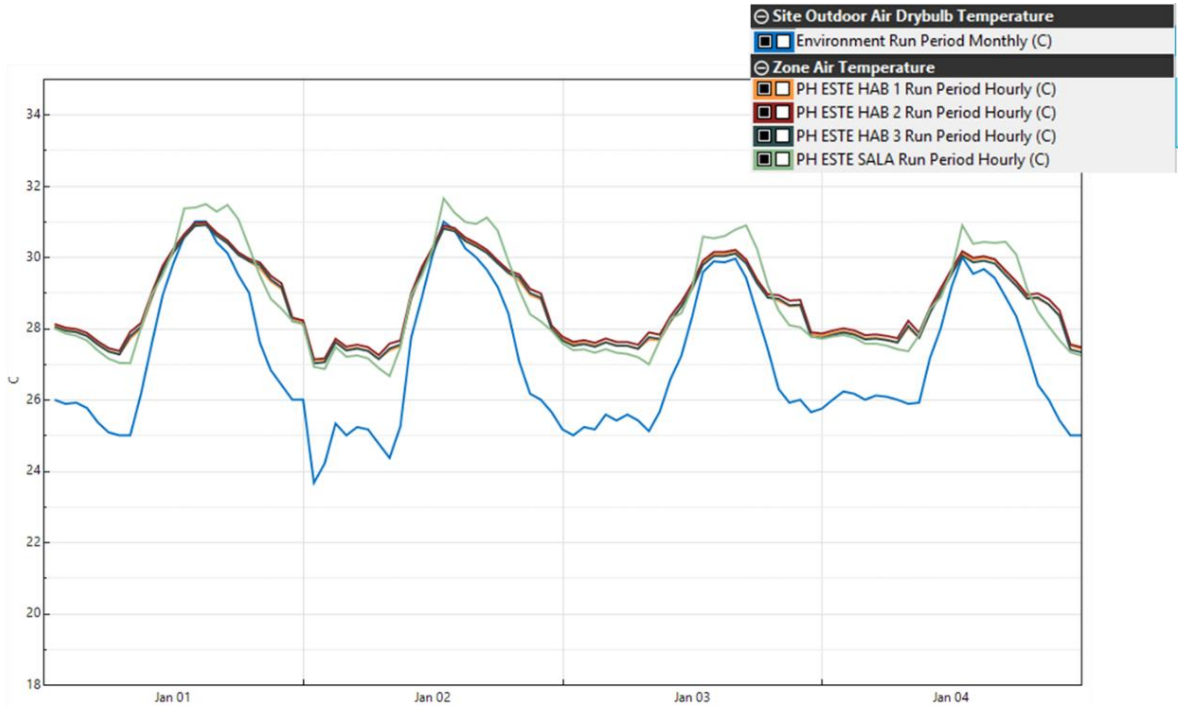
Los parámetros utilizados para cada uno de los espacios son los mismos utilizados en la fase de diagnóstico. Ver Tabla 12. Parámetros para simulación térmica para cada uno de los espacios.

Al igual que las simulaciones diagnóstico se realiza simulaciones de temperaturas interiores y cálculo de cargas de aire acondicionado.



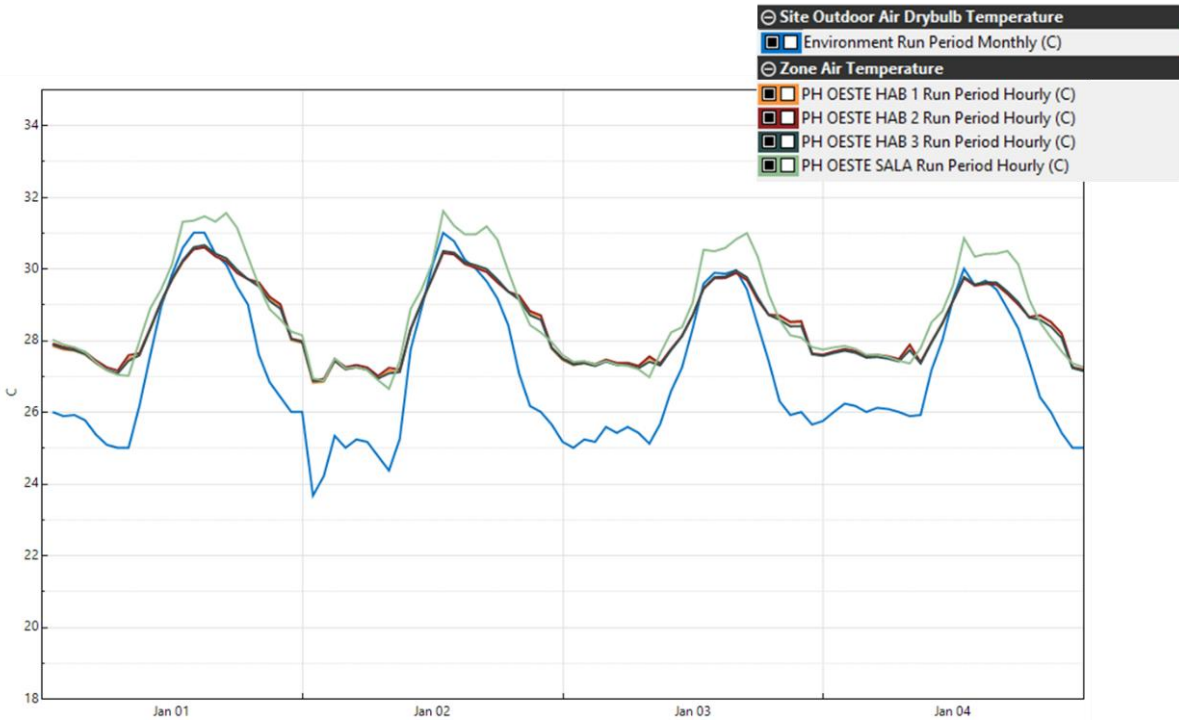
Gráfica 22. Comportamiento térmico espacios Planta Baja. Propuesta

**SIMULACIÓN TÉRMICA PENTHOUSE ESTE – CON ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS**



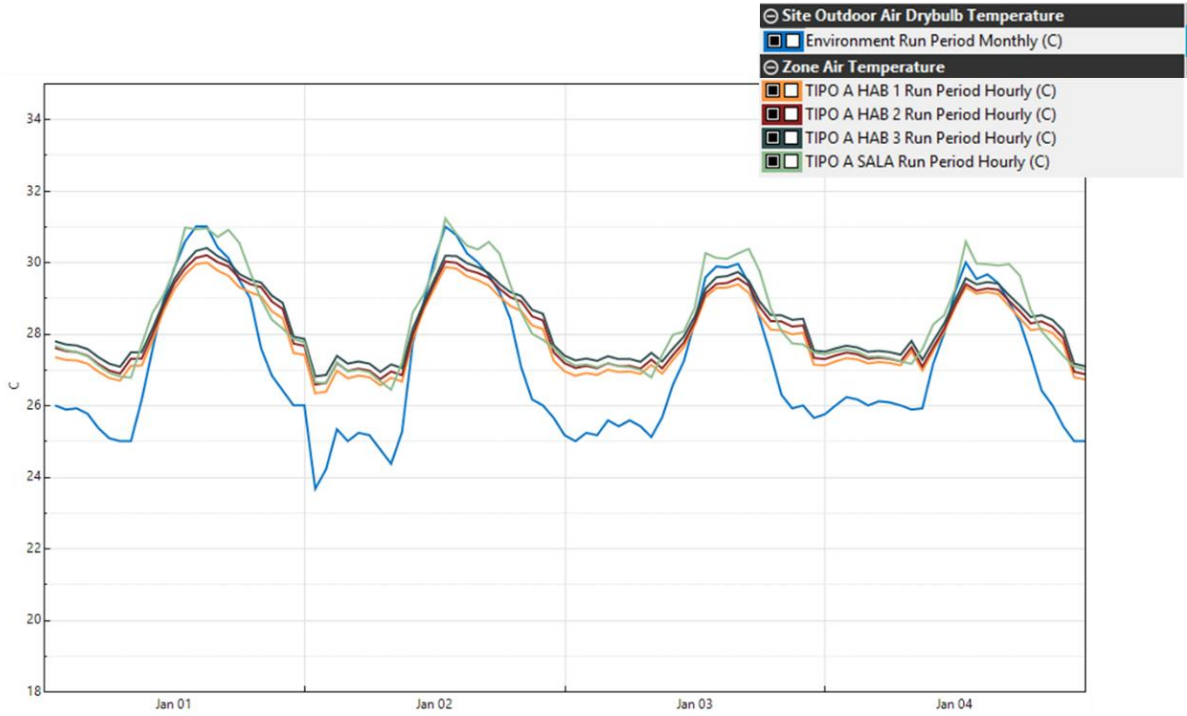
Gráfica 23. Comportamiento térmico espacios del Penthouse Este. Propuesta

**SIMULACIÓN TÉRMICA PENTHOUSE OESTE – CON ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS**



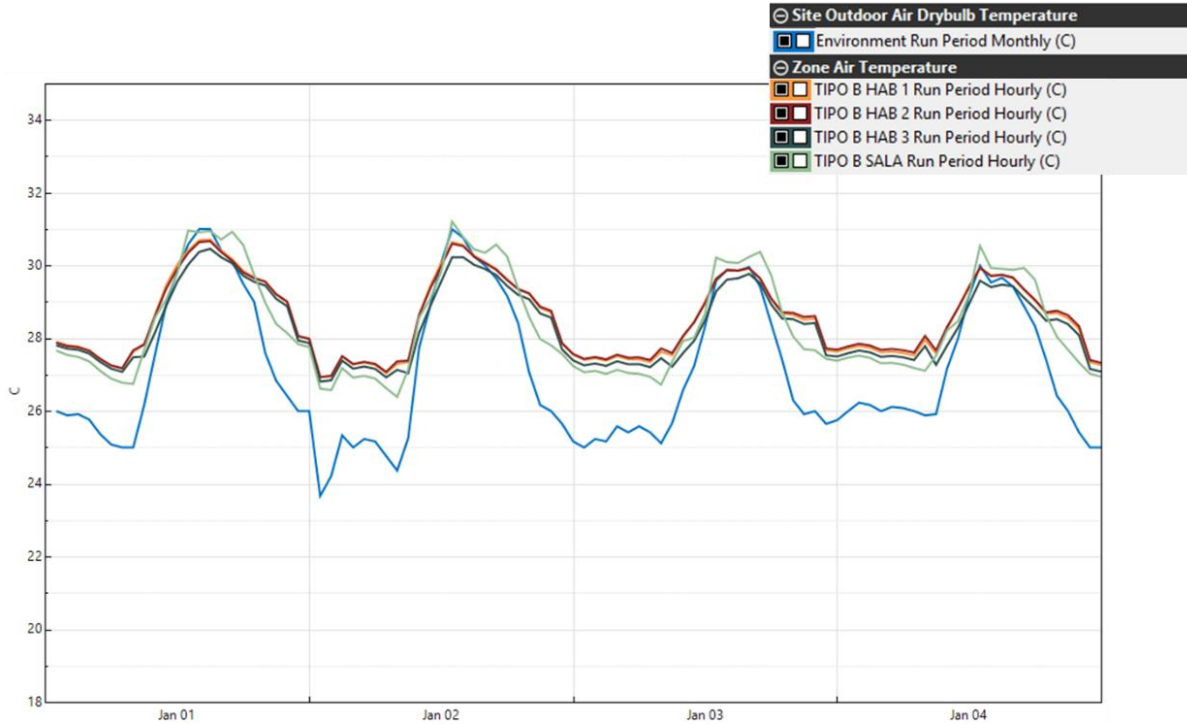
Gráfica 24. Comportamiento térmico espacios del Penthouse Oeste. Propuesta

**SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO A – CON ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS**



Gráfica 25. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo A. Propuesta

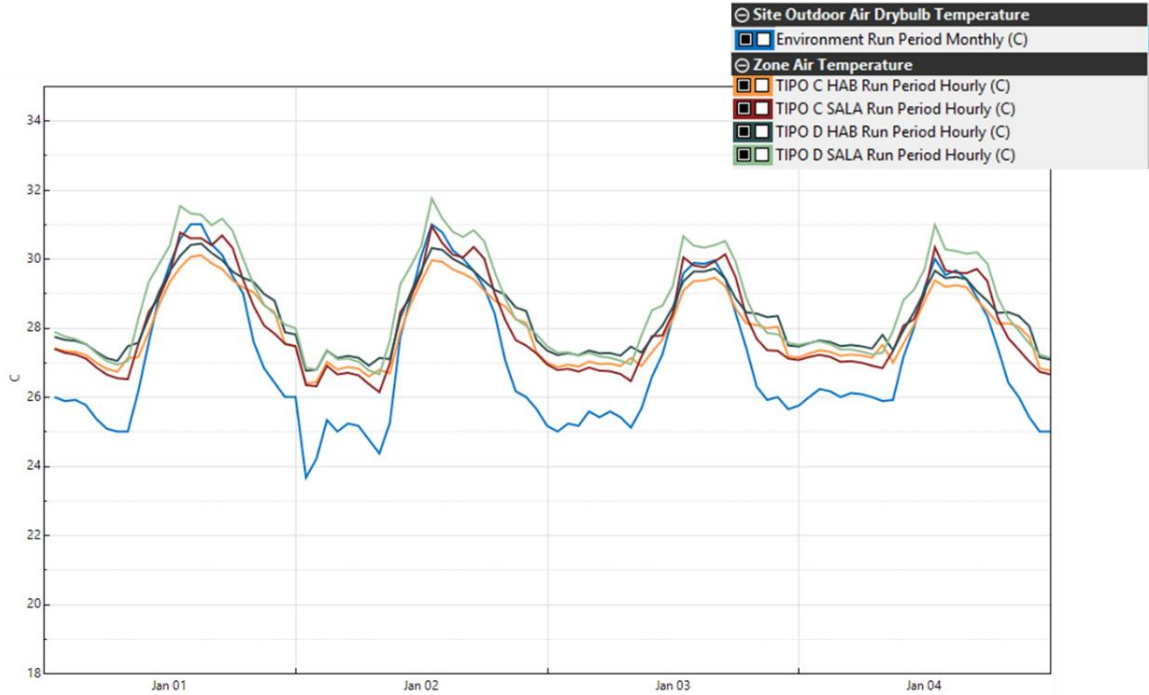
**SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO B – CON ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS**



Gráfica 26. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo B. Propuesta

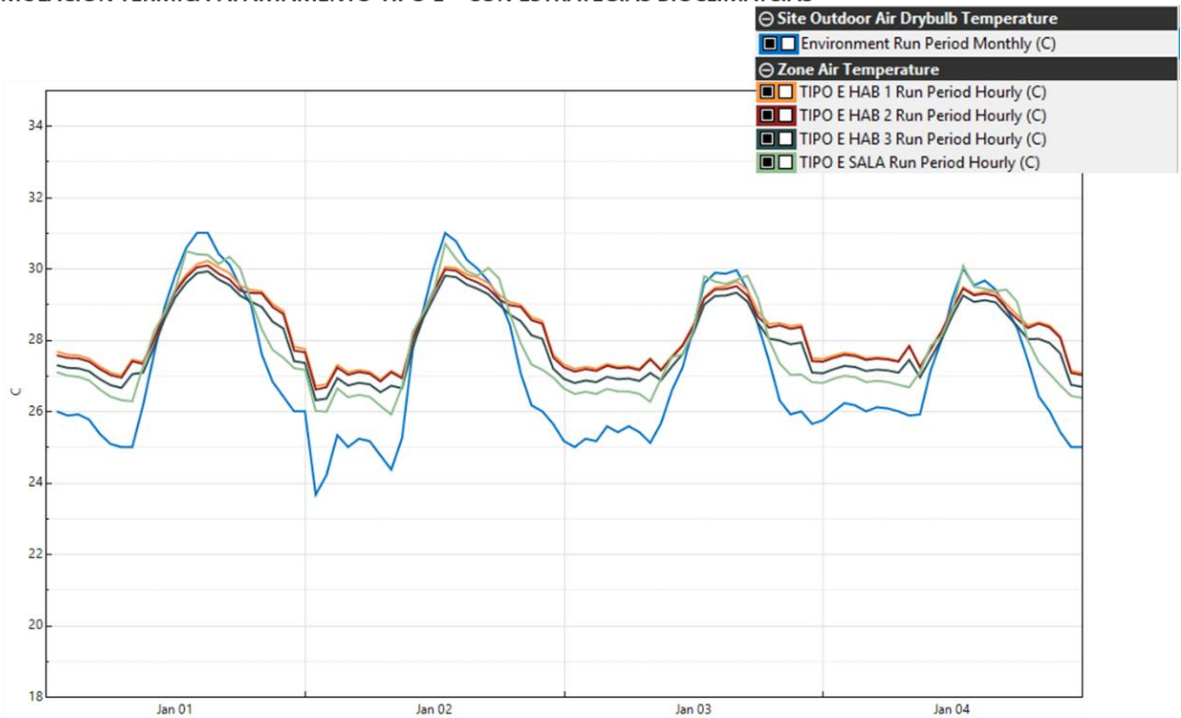


**SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO C Y D – CON ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS**



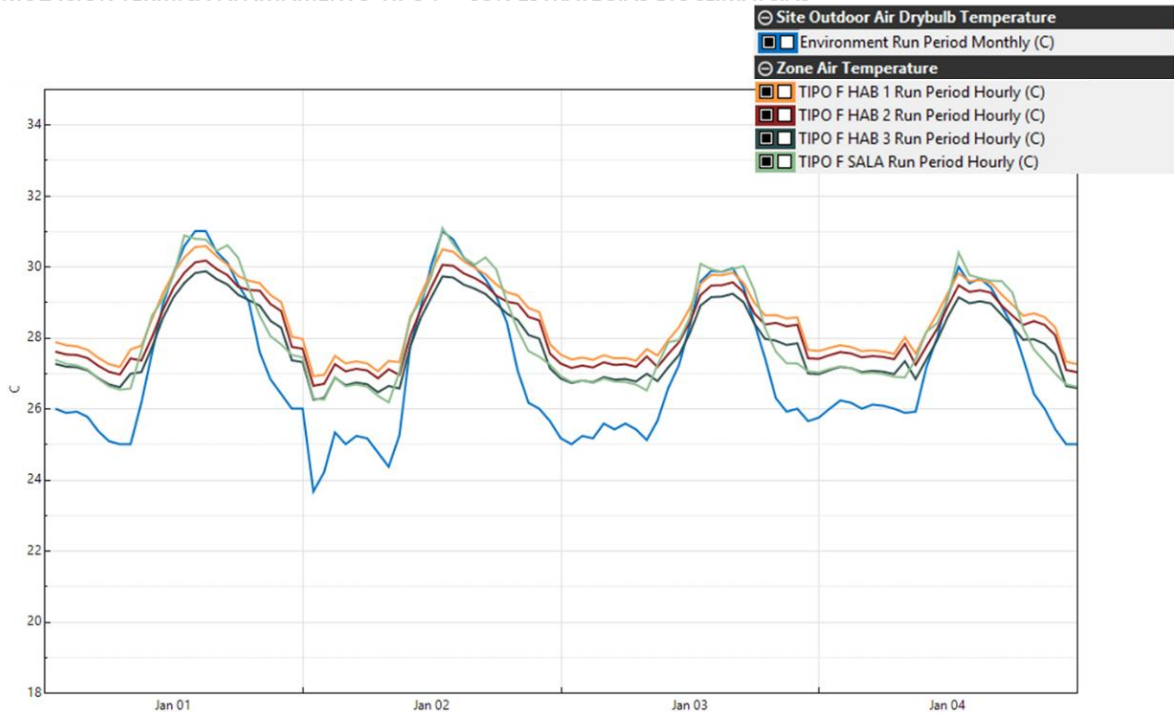
Gráfica 27. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo C y Tipo D. Propuesta

**SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO E – CON ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS**



Gráfica 28. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo E. Propuesta

## SIMULACIÓN TÉRMICA APARTAMENTO TIPO F – CON ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS



Gráfica 29. Comportamiento térmico espacios Apartamento Tipo F. Propuesta

En todos los espacios se hace evidente la reducción en la temperatura resultante después de aplicar estrategias de climatización pasiva.

El uso de la inercia térmica interior y el aislamiento térmico en los muros exteriores generan un amortiguamiento en la onda térmica, lo cual da como resultado espacios que presentan menores temperaturas al interior cuando el exterior se encuentra en su pico de temperatura, lo que garantiza una sensación de confort.

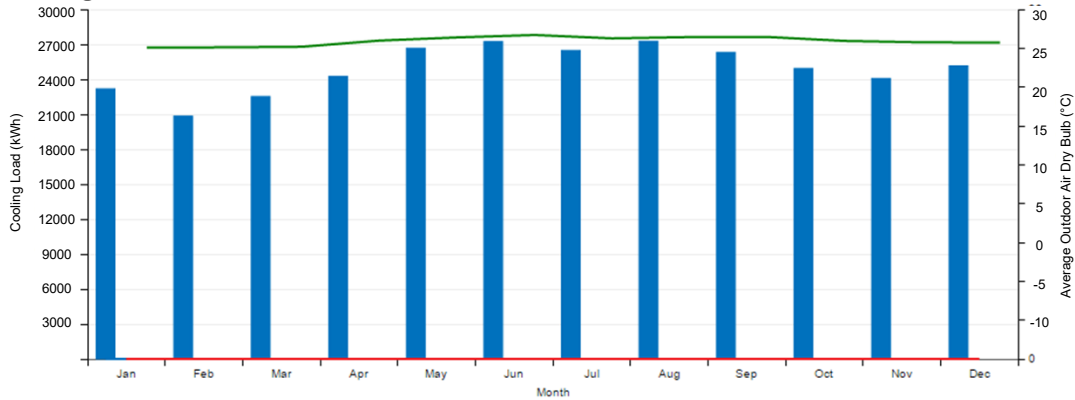
El tener temperaturas interiores inferiores a la temperatura exterior puede generar una mejor sensación de confort, debido a que el cuerpo humano puede percibir este cambio.

Las temperaturas resultantes se encuentran por debajo a la temperatura exterior en sombra, lo cual genera una posibilidad de uso del espacio sin necesidad constante de los aires acondicionados.



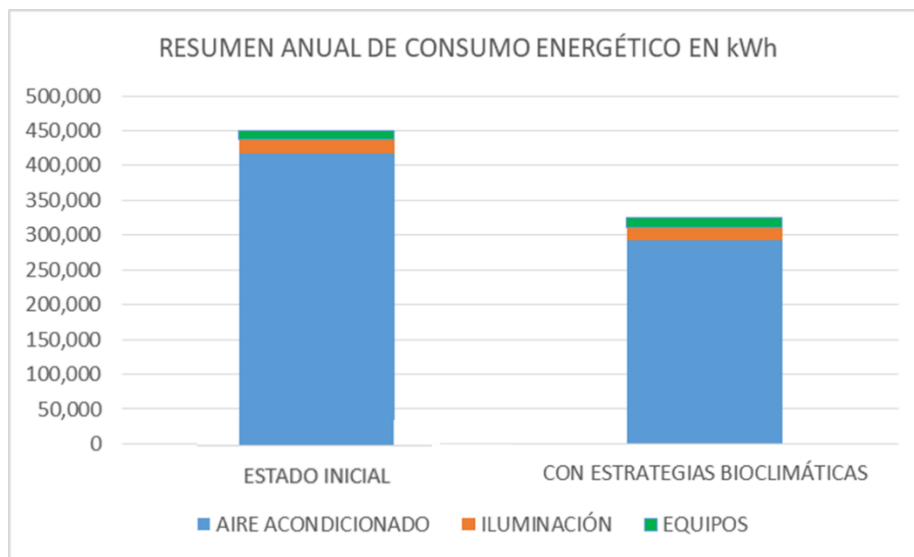
Adicionalmente se realiza un cálculo de cargas para determinar el consumo requerido del proyecto para mantener la temperatura interior dentro de los niveles confort higrotérmico. Se obtiene un promedio de 23445.68 kWh mensual de consumo energético.

Con estrategias bioclimáticas



Gráfica 30. Consumo energético en climatización mecánica. Propuesta

Se realiza el comparativo de los consumos anuales de energía de la propuesta inicial con el modelo mejorado.



Gráfica 31. Comparativo resumen anual de consumo energético. Propuesta inicial y modelo mejorado

La reducción anual en consumo de aire acondicionado es de 30%, considerando nunca sobrepasar los 24°C. Si los propietarios de los apartamentos tienen un mayor control del uso del aire acondicionado, este ahorro será mucho mayor considerando las buenas temperaturas obtenidas en las simulaciones térmicas presentadas.

Este potencial ahorro garantiza cumplir la normativa 0549 de 2015 en eficiencia en el consumo de energía, y se traduce en ahorro económico para los futuros propietarios y/o arrendatarios de los apartamentos.

## SIMULACIONES LUMÍNICAS

Se realizan simulaciones de comportamiento lumínico con el software VELUX Daylight Visualizer 3, para verificar los niveles lumínicos en los diferentes espacios y validar el cumplimiento de los niveles de iluminación planteados en el REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO. RETILAP 2013.

Tabla 23. Niveles de iluminancia (lx) requeridos según uso del espacio

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR <sub>L</sub>	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo.	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
<i>Salas</i>				
Iluminación general	22	50	100	150
Examen	19	200	300	500
Lectura	16	150	200	300

Los materiales considerados en la simulación son: vidrio claro en fachada (transmisión lumínica 0,88), acabados de paredes interiores color claro blanco mate (Reflectancia 0.74), cielo raso material blanco (Factor de reflectancia 0,84) y piso en madera con factor de reflectancia de 0,45.

La simulación se realiza para los solsticios y equinoccio con condiciones de cielo parcialmente nublado.

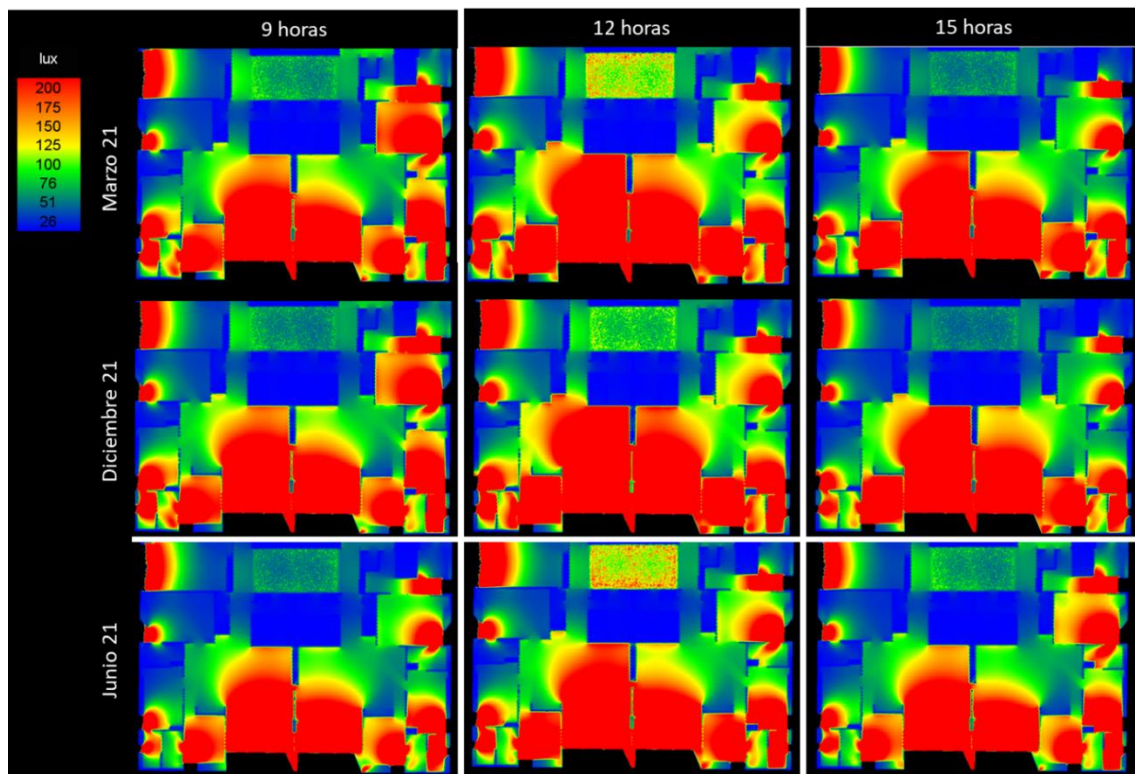


Figura 64. Simulaciones lumínicas en planta

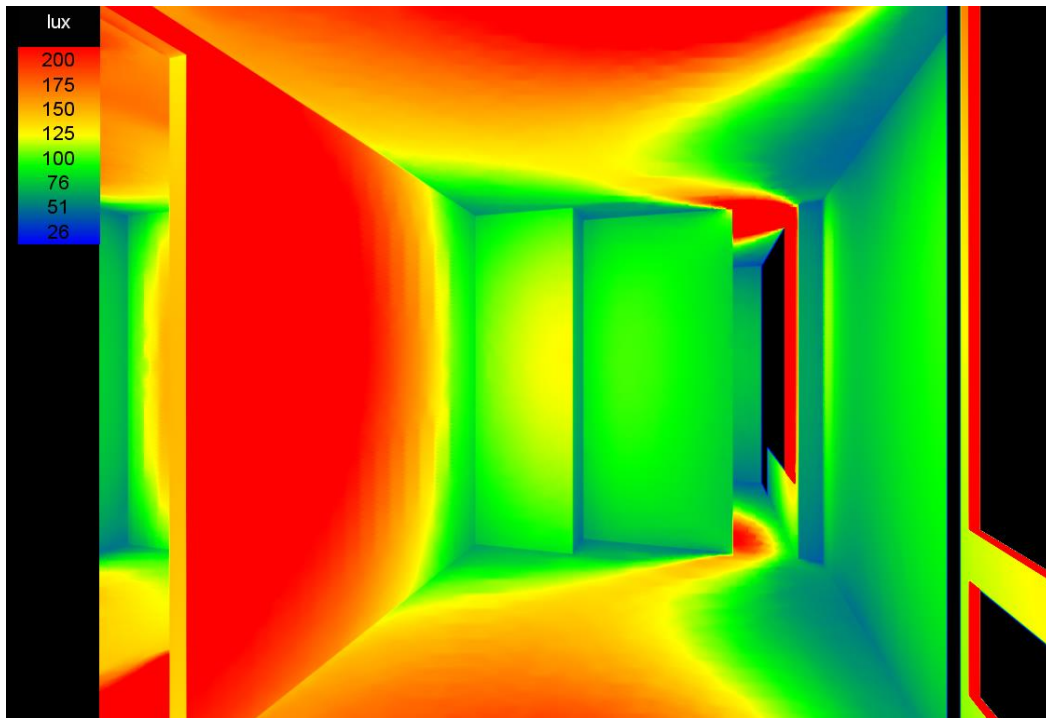


Figura 65. Simulación lumínica en perspectiva de un espacio de habitación

Los niveles de iluminación natural al interior de los espacios se encuentran dentro del rango requerido para el buen funcionamiento de las actividades en cada uno de ellos. Por lo cual la necesidad de consumo en iluminación artificial se reduce considerablemente.

### **CERTIFICACIÓN EDGE**

Se opta por la certificación ambiental edilicia EDGE, la cual es impulsada por la Corporación Financiera Internacional (IFC), miembro del Grupo Banco Mundial, esta certificación busca masificar la construcción de edificios ecológicos en los países en vía de desarrollo, presentando una herramienta rápida, fácil y asequible. Adicionalmente la certificación EDGE tiene un punto de referencia idéntico al punto de referencia de la normativa Nacional de Construcción Sostenible, Resolución No. 0549 del 2015.

Considerando que EDGE exige un 20% de ahorro en energía, agua y energía embebida en los materiales, y la normativa nacional en algunos usos y climas tiene diferentes exigencias, la certificación exige que en casos donde los porcentajes de ahorro exigidos sean diferentes, se deberá cumplir el más exigente de ambos.

*“Todo proyecto con un permiso de construcción de fecha posterior al 1 de agosto de 2017 debe cumplir con el cuadro n. ° 2 (en página 6) de la Resolución No. 0549 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, al solicitar la certificación EDGE.”* Fuente <https://www.edgebuildings.com/certify/colombia/?lang=es>

Tabla 24. Porcentajes de ahorro según Resolución 0549 de 2015

TABLA No. 2				
Energía	Año 2			
	Frío	Templado	Cálido seco	Cálido húmedo
Con respecto a la línea base				
Hoteles	20	35	25	45
Hospitales	35	25	35	30
Oficinas	30	30	40	30
Centros comerciales	25	40	35	30
Educativos	45	40	40	35
Vivienda NO VIS	25	25	25	45
Vivienda VIS	20	15	20	20
Vivienda VIP	15	15	20	15
Agua	Año 2			
Con respecto a la línea base				
Hoteles	25	10	35	45
Hospitales	10	40	10	40
Oficinas	30	35	45	20
Centros comerciales	25	15	45	20
Educativos	45	40	40	40
Vivienda NO VIS	25	25	20	20
Vivienda VIS	10	15	10	15
Vivienda VIP	10	15	10	15

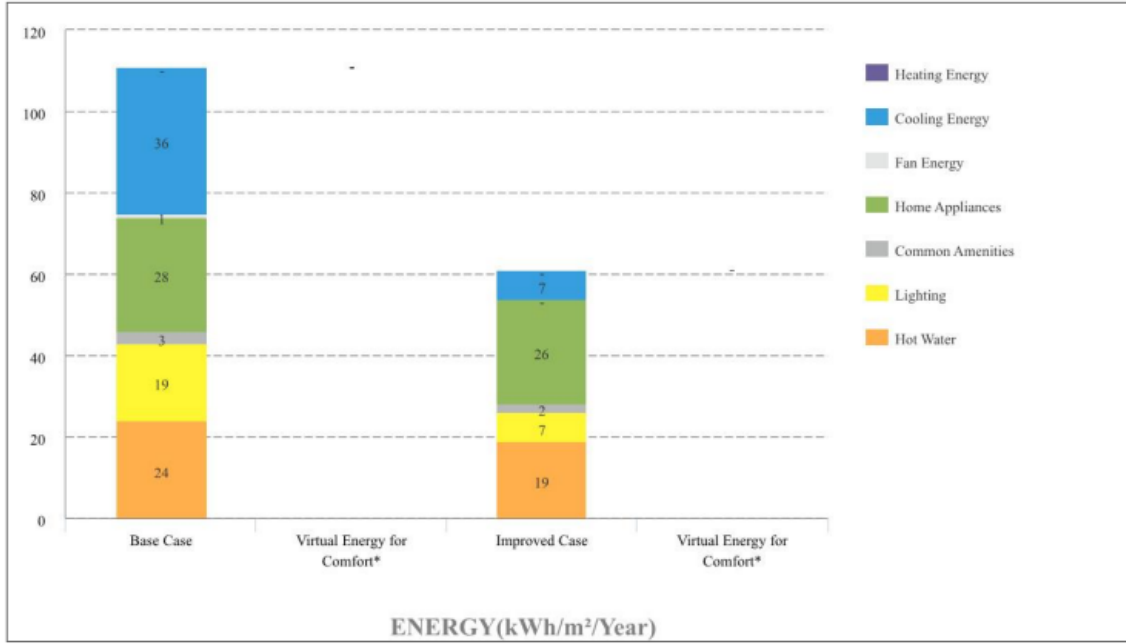
Los niveles mínimos requeridos, según el clima y uso del proyecto, para certificación EDGE serán: 45% Energía y 20% Agua.

Se realiza un cálculo preliminar de ahorros bajo el estándar EDGE, considerando toda la información suministrada por el equipo de diseño, se obtienen los siguientes resultados.

Energy Efficiency Measures 45.03%

ENERGY SAVINGS

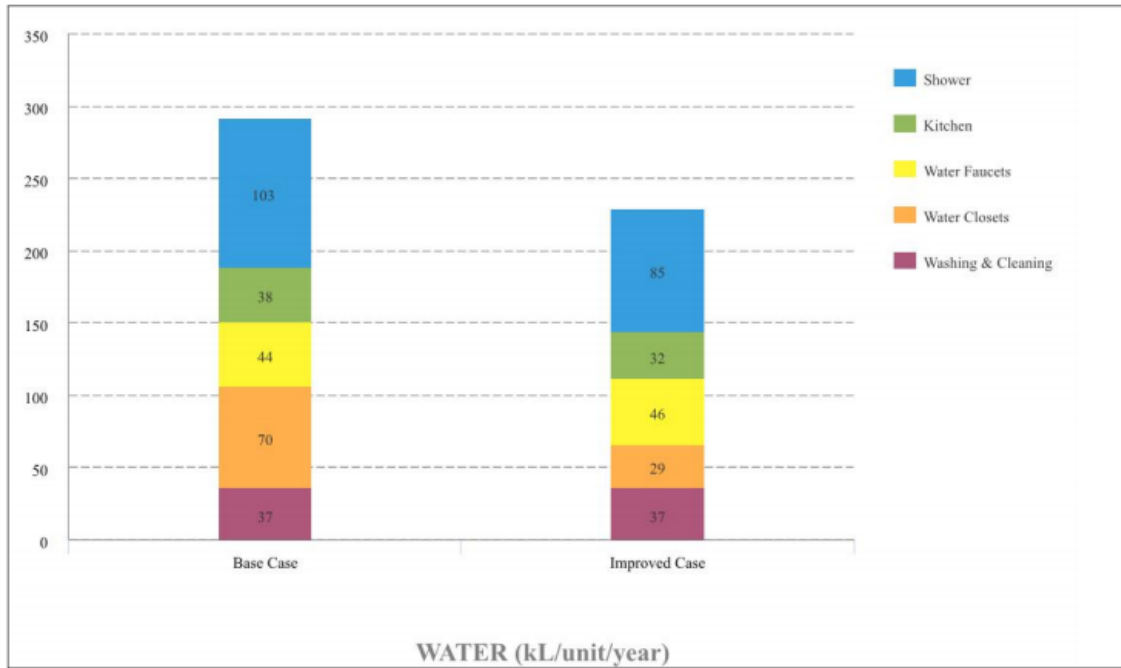
Meets EDGE Energy Standard



Water Efficiency Measures 21.33%

WATER SAVINGS

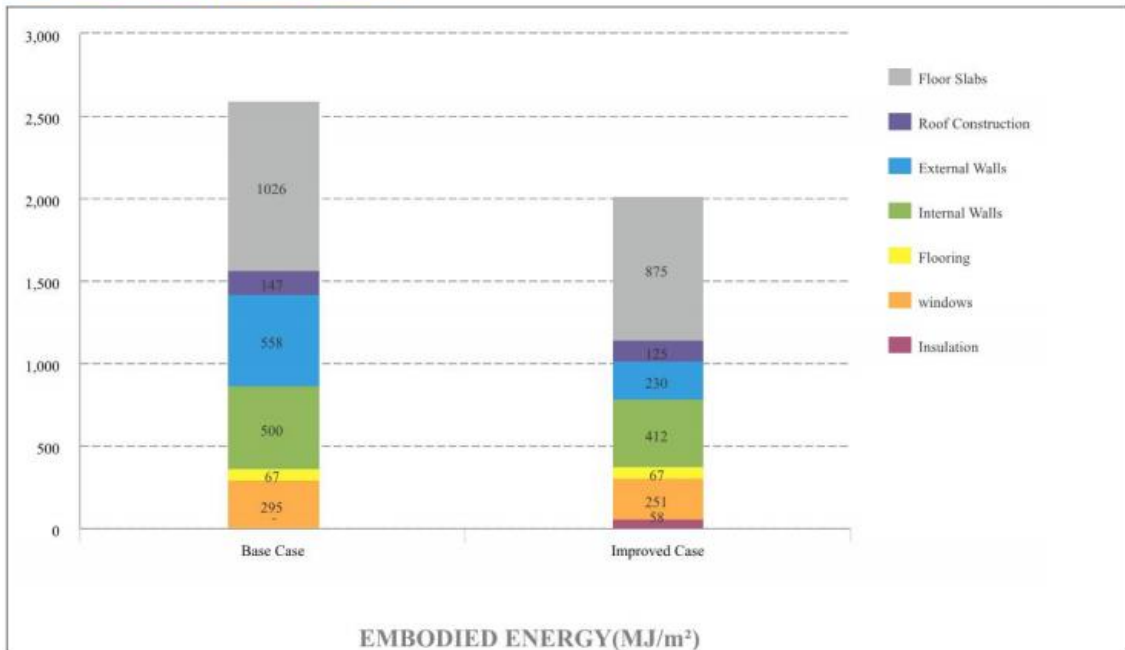
Meets EDGE Water Standard



Materials Efficiency Measures 22.16%

Embodied Energy Savings

Meets EDGE Materials Standard



RESULTADOS	
Consumo final de energía : 693.71 kWh/Mes/Unidad Vivienda	Ahorro de CO <sub>2</sub> durante el uso : 1.49 tCO <sub>2</sub> /Año/Unidad Vivienda
Consumo final de agua : 19.12 kL/Mes/Unidad Vivienda	Ahorro de energía incorporada en materiales : 84825.92 MJ/unidad
Costos de servicios públicos - Línea base : 79.88 \$/mes/unidad	Costo incremental : 2,917.42 \$/unidad
Reducción en el costo de servicios públicos : 40.11 \$/mes/unidad	Retorno en años : 6.06 Años
Energy Savings : 327.35 MWh/Year	Water Savings : 2985.76 m <sup>3</sup> /año
Embodied Energy in Materials Savings : 4071.64 GJ	Aggregate Floor Space Including Multiplier : 8100.00 m <sup>2</sup>

Los porcentajes de ahorro obtenidos fueron: Energía 45.03%, Agua 21.33% y Energía embebida en materiales 22.16%, cumpliendo el estándar EDGE y la normativa nacional de eficiencia energética.

**Se estima un costo incremental de US\$ 2917.42 por unidad de vivienda y un retorno de la inversión en un periodo de 6 años.**

## CONCLUSIONES

En el desarrollo del presente trabajo se evidenció la factibilidad de involucrar estrategias arquitectónicas para mejorar las condiciones de confort higrotérmico interior en los proyectos de vivienda de alta densidad en un clima tropical cálido húmedo.

La posibilidad de involucrar cada una de las estrategias está ligada al avance en el que se encuentre el proyecto en su etapa de diseño, por lo cual se recomienda que todos los análisis del lugar de implantación y el planteamiento de estrategias de climatización pasiva se realice desde etapas tempranas del diseño, reduciendo reprocesos y sobre costos en el mismo.

El análisis climático del lugar de implantación es crucial en el proceso de selección de las estrategias arquitectónicas de climatización, por lo cual debe de realizarse con absoluta rigurosidad y preferiblemente antes de iniciar cualquier esquema conceptual del proyecto. Este ejercicio direccionará el proyecto a un resultado óptimo, donde se equilibra el coste energético de funcionamiento del proyecto y la sensación de confort interior en los diferentes espacios.

En un clima ecuatorial cálido húmedo las estrategias recomendables a considerar son:

- Orientación: garantizar la orientación óptima para que las superficies más grandes del proyecto reciban el mínimo de radiación solar posible.
- Reducción de superficie acristalada: lograr un equilibrio entre las superficies acristaladas mínimas para garantizar iluminación natural, sin sean lo suficientemente grandes para que generen grandes sobrecalentamientos al interior del proyecto.
- Plantear dispositivos de control solar: en las fachadas que por diseño se dispongan superficies acristalada, generar estrategias de control solar, aumentando la sombra sobre el vidrio y de esta manera mitigar el fenómeno invernadero al interior de los espacios.
- Buena selección de materiales opacos: en la envolvente opaca se recomienda plantear un muro compuesto por un material que aisle térmicamente de las condiciones extremas de temperatura exterior, y un segundo material interior con alta masa térmica que permita reducir la amplitud térmica interior y con esto mantener la temperatura dentro del rango de confort térmico.
- Plantear sistemas de ventilación natural: estos sistemas reducen la dependencia del proyecto a los sistemas de climatización mecánica, y con esto mejora su eficiencia energética.

A través de la simulación dinámica con el software OpenStudio y motor de cálculo EnergyPlus, se logró evidenciar el impacto de las estrategias mencionadas en un edificio previamente diseñado, logrando tener datos de temperatura y consumo energético del caso base (diseño convencional) y del escenario mejorado (diseño con estrategias arquitectónicas de climatización pasiva); obteniendo una disminución en la temperatura máxima interior entre 4°C



y 5°C en escenarios de ventilación natural, y una reducción hasta un 30% en el consumo de energía por aire acondicionado.

Lo anterior demuestra los beneficios de generar proyectos con criterios bioclimáticos, estableciendo la posibilidad de plantarnos el objetivo de reducir entre un 20% y un 30% el consumo energético en los nuevos edificios. Esto representaría un gran aporte en la dinámica mundial de reducir los impactos ambientales asociados a los altos consumos energéticos en las grandes ciudades.

Es posible y debemos hacer mejores ciudades para el planeta.

*“Las ciudades del mundo ocupan solo el 3% de la tierra, pero representan entre el 60% y el 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones de carbono” Naciones Unidas (2015)*

## REFERENCIAS

American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, "ASHRAE HandBook", (2007) ASHRAE Standing Standard Project Committee 62.1. Ventilation Requirements and Infiltration

American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, "ASHRAE HandBook", (2007) ASHRAE Standing Standard Project Committee 90.1. Systems Energy Utilization

American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, "ASHRAE HandBook", (2013) ASHRAE Standard Project Committee 55. Physiology and Human Environment

Atlas IDEAM (28 de octubre de 2015). IDEAM. Recuperado de <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>

Barranquilla (s.f.). En Wikipedia. Recuperado el 12 de diciembre de 2018 de <https://es.wikipedia.org/wiki/Barranquilla>

Carrasco, C., & Morillón, D. (2004). ADECUACIÓN BIOCLIMÁTICA DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL DEL NOROESTE DE MÉXICO CON BASE AL ANÁLISIS TÉRMICO DE LA ARQUITECTURA VERNÁCULA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8, N° 1*. 74-80.

CIBSE, (1997), *AM10 Natural Ventilation in Non Domestic Buildings*, Londres, Reino Unido, CIBSE.

Department of Energy (2018). Climate Consultant (Version 6.0) [Windows]. California, USA: Department of Energy USA

Giraldo Castañeda, Walter. (2018). Optimización del confort térmico en clima ecuatorial con tecnologías pasivas en fachadas: el caso de las viviendas de interés social de Cali. Tesis de Doctorado en Arquitectura, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.

Gómez-Muñoz, V., & Porta-Gándara, M. (2009). Índice para Evaluar el Desempeño Solar de Edificaciones en Clima Cálido. *Ingeniería Mecánica. Tecnología y Desarrollo*, 3 (3), 77-83.

Herrera Sosa, L. (2014). Eficiencia de estrategias de enfriamiento pasivo en clima cálido seco. *Revista de Arquitectura*, (16), 86-95.

Olgay, V. (1998), *Arquitectura y Clima*, Barcelona España, Gustavo Gili.

Potes, L. M. R., Chavez, H. O., Bernal, K. D. C. V., & Llano, S. P. (2018). Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario. *Bitácora Urbano-Territorial*, 28(3), 19-26.

Rodríguez, Humberto. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, (28), 83-89.

Roux Gutiérrez, R., & Garcia Izaguirre, V. (2014). CONFORT TÉRMICO VERSUS CONSUMO ENERGÉTICO EN VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN CLIMA CÁLIDO HÚMEDO. *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, (16), 123-140.

ROSELL CRESPO, J. A. (2011). Metodología de adaptación de edificios existentes en edificios sostenibles y eficazmente energéticos: propuesta de aplicación (Doctoral dissertation).

Rubiano Martín, M. (2016). La fachada ventilada y el confort climático: un instrumento tecnológico para edificaciones de clima cálido en Colombia. *Dearq*, (18), 138-145.

SOSA G, MARIA EUGENIA. (2007). Estrategias de diseño de fachadas en clima cálido-húmedo para reducir las cargas de enfriamiento de edificios en Venezuela. Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela, 22(4), 89-98.

Zona de convergencia intertropical (s.f.). En Wikipedia. Recuperado el 16 de diciembre de 2018 de [https://es.wikipedia.org/wiki/Zona\\_de\\_convergencia\\_intertropical](https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_convergencia_intertropical)