

**DIAGNOSTICO DEL FUNCIONAMIENTO BIOCLIMATICO DEL MUSEO DE  
ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE  
BOGOTA, DISEÑADO POR EL ARQUITECTO LEOPOLDO ROTHER**

Presentado Por:  
OLGA LUCIA QUIROGA MOLINA

Trabajo Integrador Final para optar por el título de  
Especialista en Arquitectura y Hábitat Sustentable

Presentado a  
Doctorado JORGE DANIEL CZAJSKOWSKI

ESPECIALIZACION DE ARQUITECTURA Y HABITAT SUSTENTABLE  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA  
LA PLATA - BUENOS AIRES, ARGENTINA  
2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo integrador final TIF es el resultado de un proceso de investigación, realizado con la colaboración de la Arq. Norma Barreto, Compañera de estudio de la Especialización de Arquitectura y Hábitat Sustentable. Por ende mi agradecimiento a su apoyo en la elaboración de la fase 1, denominada Argumentativa.

Agradecimientos al Museo de Arquitectura Leopoldo Rother, su Director, Arq. Memet Charum Bayaz, y a su equipo de trabajo, por apoyarnos durante el proceso de investigación, facilitándonos material de consulta y la disponibilidad de los espacios para llevar a cabo las mediciones para este estudio.

Al Director de Trabajo de Grado, Arq. Jorge Ramírez Fonseca, por guiarnos en el desarrollo del Trabajo Integrador Final.

## PROLOGO

Este documento se centra en el estudio del comportamiento bioclimático del Museo de Arquitectura Leopoldo Rother, edificio de interés cultural ubicado en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

La elección del edificio se fundamenta en la importancia histórica y el aporte estético que representa esta obra para la arquitectura nacional, por ser uno de los mejores exponentes de la arquitectura moderna del país, en los inicios de los años 40's.

Basados en los tres talleres prácticos (Diseño Ambientalmente Consiente, Simulación Energética y Certificación Americana de edificaciones LEED) vistos durante la Especialización de Arquitectura y Hábitat Sustentable se analizara el Museo de Arquitectura con el fin de aplicar los conceptos allí adquiridos.

El objetivo principal al desarrollar este trabajo de investigación es establecer una hoja de ruta para hacer un diagnóstico bioclimático y posteriormente sugerir mejoras de optimización climática que contribuyan a la restitución de la edificación, luego de cumplir 70 años en funcionamiento.

Como componentes importantes del estudio de caso se analizara: El Confort térmico, el Confort Lumínico y la Calidad de Aire en el edificio.

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	II
PROLOGO.....	III
INTRODUCCION .....	1
METODOLOGIA .....	2
HISTORIA DE LOS INICIOS DE LA ARQUITECTURA DE LEOPOLDO ROTHER EN COLOMBIA. ....	3
INFLUENCIA DE LEOPOLDO ROTHER EN LA ARQUITECTURA COLOMBIANA .....	8
BIOCLIMATICA SEGÚN EL ARQUITECTO LEOPOLDO ROTHER.....	14
MARCO NORMATIVO LOCAL .....	21
ANALISIS DE LOS PARAMETROS BIOCLIMATICOS ESTABLECIDOS POR EL ARQUITECTO LEOPOLDO ROTHER EN EL EDIFICIO, DEL MUSEO DE ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL.....	23
Justificación .....	23
Marco Conceptual.....	24
Confort Térmico.....	24
Confort Lumínico.....	24
Calidad de Aire .....	24
Condiciones Climáticas de COLOMBIA .....	25
La Zona De Confluencia Intertropical. ....	26
CONDICIONES CLIMÁTICAS DE BOGOTÁ .....	27
Comportamiento Horario de la Temperatura Media.....	29
Humedad .....	30
Brillo Solar.....	30
Precipitación .....	31
Vientos .....	31

Comportamiento de la Dirección y Velocidad del Viento.....	32
Descripción Física del Edificio.....	37
Tecnología Constructiva.....	39
Características Termofísicas.....	39
Calculo del Coeficiente K de Transmitancia Térmica.....	44
Calculo de la Condensación Superficial e Intersticial de la Envolvente .....	48
Criterios de Diseño .....	49
Comportamiento de la trayectoria solar en el edificio .....	49
Heliodon Numérico.....	50
Comportamiento de la ventilación natural en el edificio .....	52
Criterios de Medición .....	54
PARAMETROS BIOCLIMATICOS NORMA INTERNACIONAL.....	58
Confort Térmico: Temperatura, Humedad Relativa .....	58
Climograma Higrotermico de Givoni .....	58
Nomograma Higrotermico de Olgyay .....	61
Resultados de Medición de Temperatura y Humedad Relativa Mediante DATA LOGGER ..	66
Climograma de Givoni para el Museo de Arquitectura .....	67
Condiciones de Confort Según PMV (Predicted Mean Vote Iso 7730-1993).....	68
Aplicación del método Fanger en el Museo de Arquitectura Leopoldo Rother .....	69
Calculo de PMV y PPD para la Sala No. 3_Fernando Martínez .....	72
Calculo de PMV y PPD para la Sala de Conferencias No. 4 _Bruno Violi.....	73
Calculo de PMV y PPD para Archivo de Colecciones de Arquitectura .....	75
Confort Lumínico: Rango de Luxes Exigidos .....	78

Parámetro de Iluminación Exigida por Retilap.....	78
Calidad de Aire: Caudal Mínimo de Ventilación .....	85
DIAGNOSTICO BIOCLIMATICO MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER.	89
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	91
ANEXOS .....	93
PLANILLAS DE MEDICION EN CAMPO .....	93

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Analisis de Funcionamiento para Vivienda .....	15
Tabla 2 Análisis de la Actividad del Usuario .....	15
Tabla 3. Datos Meteorológicos Periodo 2014.....	35
Tabla 4. Carta Climática, IDEAM, Año 2014 .....	35
Tabla 5. Transmitancia Térmica Cubierta .....	44
Tabla 6. Transmitancia Térmica Muro Doble.....	44
Tabla 7. Transmitancia Térmica Placa Entrepiso .....	45
Tabla 8. Transmitancia Térmica Cubierta .....	45
Tabla 9. Transmitancia Carpintería Metálica.....	45
Tabla 10, Transmitancia Térmica Carpintería Mejorada .....	46
Tabla 11. Transmitancia Térmica Cubierta Mejorada .....	47
Tabla 12. Calculo de Condensación, Muro Doble .....	48
Tabla 13. Comportamiento Térmico, Sala Bruno Violi.....	66
Tabla 14. Comportamiento Térmico, Sala Fernando Martinez .....	66
Tabla 15. Medición de Iluminación, Sala Fernando Martinez.....	80
Tabla 16. Medición de Iluminación, Sala Bruno Violi.....	82
Tabla 17. Medición de Iluminación, Archivo de Colecciones de Arquitectura.....	83
Tabla 18. Área y Capacidad Locales Analizados .....	85
Tabla 19. Calculo Caudal Standard ASHRAE 62.1 -2007, Tabla 6.1 .....	85
Tabla 20. Resultados de Caudales (Q) por Local .....	85
Tabla 21. Diagnostico Bioclimático Museo de Arquitectura LR. UNAL. ....	89

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema de Orientación Habitaciones en Vivienda Colombia .....	16
Ilustración 2. Orientación de la Habitaciones de Mayor Uso .....	16
Ilustración 3. Asoleación, Estrategias de Climatización.....	17
Ilustración 4. Aprovechamiento de los Aleros.....	17
Ilustración 5. Comportamiento del Viento.....	18
Ilustración 6. Renovación de Aire .....	18
Ilustración 7. Esquemas de Ventilación.....	18
Ilustración 8. Protección por Asoleación .....	19
Ilustración 9. Tipos de Aleros.....	19
Ilustración 10. Proyección de las Sombras .....	20
Ilustración 11. Esquema de la Circulación General de la Atmosfera. en los Trópicos Predominan los Alisios. (Fuente: Universidad de Oklahoma).....	25
Ilustración 12. Campos medios del viento en superficie, para los vientos de febrero y agosto, con base en los datos del Reanalysis NCEP/NCAR, para periodo 1968-1996. ....	26
Ilustración 13. Posición media de la ZCIT para los periodos enero- febrero y julio – agosto. (Fuente: Atlas Climatológico Nacional IDEAM 2005).....	27
Ilustración 14. Perfil de un efecto de Isla de Calor Urbano. (Fuente Enviromental Science Publisher for Everyboby Round the Earht, Adaptación German Bernal).....	29
Ilustración 15. Comportamiento Horario de Temperatura Media, Aeropuerto El Dorado, Bogotá. (Fuente IDEAM).....	30
Ilustración 16. Rosa de los Vientos, IDEAM .....	36
Ilustración 17. Reportes Climáticos, IDEAM, Año 2014.....	36

Ilustración 18. Aleros, Fachada Oriental, MALR. UNAL.....	40
Ilustración 19. Fachada Occidente, MALR. UNAL. ....	40
Ilustración 20. Influencia de la Masa Térmica en el Confort, The Concrete Center, Reino Unido .....	41
Ilustración 21. Espesor de Muros Captadores de Energía .....	42
Ilustración 22. Ventana Abatible, MALR. UNAL.....	42
Ilustración 23. Sala 3, Fernando Martinez .....	43
Ilustración 24. Ventanas Tipo VitroBlock .....	43
Ilustración 25. Heliodon Fachada Nord- Oriente.....	50
Ilustración 26. Heliodon Corte Longitudinal .....	50
Ilustración 27. Heliodon Fachada Sur Occidente .....	51
Ilustración 28. Heliodon Corte Transversal .....	51
Ilustración 29. Asoleación Corte Longitudinal.....	52
Ilustración 30. Asoleación Corte Transversal.....	52
Ilustración 31. Ventilación Corte Transversal .....	54
Ilustración 32. Esquema de Ventilación, Plantas Arquitectónicas .....	54
Ilustración 33. Planta Piso 1.....	55
Ilustración 34. Planta Piso 2.....	55
Ilustración 35. Sala 3, Fernando Martinez .....	56
Ilustración 36. Sala 4, Bruno Violi .....	57
Ilustración 37. Planta Semisotano.....	57
Ilustración 38. Archivo de Colecciones de Arquitectura .....	58
Ilustración 39. Psicograma Givoni, Tomado de PVG Arquitectos.....	59

Ilustración 40. Nomograma Higrotermico Olgyay .....	61
Ilustración 41. Psicograma Givoni, Locales Medidos .....	67
Ilustración 42. Tipo de Ropa, PMV. Tomado de Publicación, McGraw Hill, 1973.....	70
Ilustración 43. tasa Metabólica, PMV. Tomado de Publicación McGraw Hill, 1973 .....	70
Ilustración 44. Rango Sensación Térmica, PMV. Tomado de Publicación McGraw Hill, 1973 .	71
Ilustración 45. CBE Thermal Comfort, Sala 3 Fernando Martinez .....	72
Ilustración 46. Índice UGR Máximo y Niveles de Iluminación exigibles para diferentes áreas y actividades.....	78
Ilustración 47. Coeficiente de Luz Diurna. Fuente Retilap .....	79
Ilustración 48. Valores mínimos de Coeficiente de Luz Diurna (CLD). Fuente, Retilap.....	79
Ilustración 49. Categoría y Valores de Iluminancia para Superficies de Trabajo .....	80
Ilustración 50. Luxometria Sala Fernando Martinez .....	81
Ilustración 51. Iluminación Existente y Mejorada para la Galería de Arte .....	81
Ilustración 52. Luxómetro Sala Bruno Violi.....	82
Ilustración 53. Luxómetro del Archivo de Colecciones .....	83
Ilustración 54. Iluminación Museo de Arquitectura, a las 5 de la Tarde. ....	84
Ilustración 55. Ventilación Sala 3, Fernando Martinez, Galería de Exhibición .....	86
Ilustración 56. Ventilación Sala 4, Bruno Violi, Conferencias.....	87
Ilustración 57. Ventilación Archivo de Colecciones de Arquitectura .....	87

## INTRODUCCION

El momento en que la ciudad de Bogotá, tuvo el mayor desarrollo urbanístico, y se dio origen a los inicios de la arquitectura moderna en nuestro país, es según, algunos historiadores de arquitectura, el periodo, comprendido, entre los años 40's y 60's.

Por ello, con el objeto de redimir los principios heredados de la arquitectura de esa época, y con el propósito de reflexionar la arquitectura actual desde el aspecto bioclimático, este trabajo, se ocupara de resaltar la obra de uno de los arquitectos más influyentes en la arquitectura colombiana, Arq. Leopoldo Rother, y de estudiar el comportamiento bioclimático del representativo edificio del Museo de Arquitectura Leopoldo Rother de la Universidad Nacional de Colombia con casi 70 años de funcionamiento.

Con este propósito, de análisis, se elaborara un diagnóstico del actual funcionamiento del edificio, en el que se identificara a partir de las diferentes mediciones, el nivel de satisfacción climática de los habitantes al interior del Museo. A partir de tres criterios de confort, se revisara si se cumple o no, con los estándares de calidad de las normas internacionales americanas, normas que se intentan ensamblar en la legislación colombiana para fijar un parámetro de funcionamiento que sea acorde al clima ecuatorial.

## METODOLOGIA

El diagnóstico del funcionamiento bioclimático del Museo de Arquitectura de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, se desarrollara en tres fases de investigación.

La fase 1. Denominada fase **Argumentativa**, describe los sucesos que dieron origen a los inicios de la arquitectura moderna a principios de los años 30's, en Colombia y destaca la influencia del arquitecto Leopoldo Rother en la formación profesional de los primeros egresados de la facultad de Arquitectura del país.

La fase 2. Denominada fase **Diagnostico**, analiza el comportamiento bioclimático de La imprenta de la Universidad Nacional de Colombia. Diseñada y construida en el año 1947, hoy reconocido como, Museo de Arquitectura Leopoldo Rother. En esta fase se estudian los criterios de diseño y construcción con los cuales fue concebido el edificio en su momento y se evalúan a partir de mediciones numérica in situ el comportamiento de tres variables bioclimáticas: Confort Térmico, Confort Lumínico y Calidad de Aire, con el fin de valorar bajo la óptica de la normativa internacional vigente, si el edificio cumple con los estándares de calidad sin necesidad de utilizar sistemas de climatización mecánica.

La fase 3. Denominada fase **Concluyente**, evalúa el comportamiento del edificio y el cumplimiento de la norma a partir de los resultados de la medición in situ para los tres aspectos bioclimáticos valorados, y los presenta en un cuadro resumen de diagnóstico, en el que se pueden hacer recomendaciones de mejora.

*FASE 1*  
*ARGUMENTATIVA*

**HISTORIA DE LOS INICIOS DE LA ARQUITECTURA DE LEOPOLDO ROTHER EN  
COLOMBIA.**

El arquitecto de origen Alemán, Leopoldo Rother llegó a Colombia en el año 1936. Motivado por la oferta laboral que se suscitaba por parte del gobierno colombiano, a través del Ministerio de Relaciones Exteriores en diferentes ciudades europeas, entre ellas Alemania, Rother se presentó a la convocatoria para profesionales en arquitectura, que desearan conformar el equipo de trabajo de la Dirección de Edificios Nacionales de Colombia en la Ciudad de Bogotá. Ante tal ofrecimiento y ante el inminente crecimiento de la ola del régimen nazista alrededor de 1935, el Arquitecto Rother, decidió que era momento de abandonar su país y emigrar a Colombia para atender el ofrecimiento del presidente Alfonso López Pumarejo, quien iniciaba su tercer año de gobierno, del periodo comprendido entre los años 1934 a 1937.

Para ese tiempo, Colombia estaba atravesando una crisis económica que había sido originada a finales del año 1929, debido a la caída de la bolsa de valores de los Estados Unidos. La crisis económica mundial que se generó alrededor de dicho acontecimiento fue conocida como la Gran Depresión, por sus repercusiones devastadoras en casi todos los países americanos, ocasionando: la caída en el flujo de ingresos de divisas al país, la caída de los precios de las exportaciones como el café, entre otros y en la agricultura en general, la caída de los precios de las cosechas y ante la caída de la demanda, pocas fuentes alternas de empleo. Situación que le tomaría al país, casi una década para recuperarse, y que traería repercusiones en el crecimiento de la ciudad y en el desarrollo arquitectónico durante ese tiempo.

Por los sucesos económicos y políticos acontecidos durante los primeros años del siglo XX y debido a la necesidad de buscar un camino hacia el progreso, la nueva generación centenarista de ideólogos, que regresaban al país a ocupar cargos políticos, luego de culminar sus estudios en Europa, fueron quienes gestaron desde 1925 a 1940 la lucha de la renovación y el despertar a la modernización, de un país rural hacia un país desarrollado económicamente. Lo que inició desde el gobierno del presidente Enrique Olaya Herrera (1930-1934), dando inicio al Plan de Ordenamiento Urbano de Bogotá, con la participación del urbanista austriaco Karl Brunner, quien fue invitado en 1933 por el presidente con el firme propósito de que la capital de Colombia estuviera al nivel de las más importantes urbes del capitalismo desarrollado. De este modo se empezó a recorrer el camino hacia la conversión de Bogotá en una capital moderna. La arquitectura republicana fue un fenómeno urbano que expresó la aspiración de urbanización. Con este deseo de transformación se marca un acelerado avance en la construcción de edificaciones de arquitectura de tipo republicano o arquitectura de estilos, tal como fue interpretada en Colombia, por arquitectos, ingenieros y maestros de obra, puesto que no se tomaron los argumentos teóricos del estilo propio, si no, se tomaron los elementos netamente ornamentales icónicos de la arquitectura europea del siglo XIX y se aplicaron con un espíritu cosmopolita con sentido de actualización. Como lo menciona la autora Silvia Arango en su libro *Historia de la Arquitectura en Colombia*.(Arango, 1989)

Los inicios de la arquitectura moderna de Leopoldo Rother en Colombia estuvieron marcados por los estilos neoclásicos de la arquitectura del siglo XIX originados en Europa, e instaurados en su mayoría, en los edificios de tipo oficial del país y por las clases altas, que iniciaron una tendencia a construir residencias lujosas en las afueras de la ciudad. Un ejemplo de la

arquitectura destinada a edificios públicos fue, el Capitolio Nacional. Diseñado en 1847 por Thomas Reed y remodelada en 1923 por Alberto Manrique Martín, la Escuela Nacional de Medicina de Bogotá, construida en 1916 – 1931, el Instituto Pedagógico de Bogotá en 1927 y la Plaza Central de Mercado de Bogotá, construida en 1925, entre otros, y por otro lado la arquitectura doméstica o residencial diseñada al estilo inglés y español, que se convirtieron en las nuevas fisonomías de los nacientes barrios al centro y norte de la ciudad. Como por ejemplo los barrios: La Merced, Quinta Camacho, Teusaquillo, inaugurado en 1927, urbanizados entre 1930 a 1940 con formas que representaron a la sociedad burguesa. Estos estilos se fueron traduciendo a lenguajes locales utilizados bajo los criterios e ideas propias de los diseñadores.

Las principales acciones tomadas por el urbanista Karl Brunner en el Plan de Ordenamiento Urbano de Bogotá, consistieron, en primer lugar, en ampliar las vías vehiculares existentes con un carácter monumental, para hacer de los recorridos a pie un paseo por amplias peatonales, de modo similar a los corredores parisinos, denominados *Boulevares*, y crear vías de comunicación que conectaran la vía principal norte sur con los nuevos barrios desarrollados hacia el oriente de la ciudad. En segundo lugar, frenar el desordenado crecimiento de los barrios obreros en el centro de Bogotá, dado que en las primeras décadas del siglo XX, se experimentó un crecimiento urbano hacia la periferia de la zona céntrica de la ciudad de manera fragmentada, extendiéndose linealmente de norte a sur. Se consideraba que el centro, al igual que la topografía montañosa, debía ser desarrollada por una clase social superior. Estas acciones estuvieron enfocadas a que las construcciones de los barrios obreros fueran incorporadas en las políticas de Estado con programas de acción. Por ello de manera paralela al desarrollo del Plan de Ordenamiento Urbano, las políticas financieras de gobierno se encaminaron hacia el fomento de la construcción

de vivienda, iniciativa que favoreció la creación de entidades estatales como el Banco Central Hipotecario (1930) y el Instituto de Crédito Territorial (1939).

Las políticas de gobierno orientadas hacia la modernización del país no solo fueron los ideales del presidente Olaya Herrera, estas ideas también tuvieron continuidad en el gobierno del presidente Alfonso López Pumarejo, quien llevo a cabo la reforma de educación para impulsarla a todo nivel, con la concepción y creación de una gran Ciudad Universitaria en las afueras de la capital. Su intención fue reunir todas las escuelas e institutos que se encontraban dispersas en edificios viejos de la ciudad, en un solo campus universitario. E iniciar nuevas formas de enseñanza, mediante la reestructuración docente, la apertura de nuevas carreras, el estímulo de la investigación y la presencia de la mujer en el ámbito intelectual. Esta iniciativa fue puesta en marcha gracias al empeño de López Pumarejo y represento para la historia y el desarrollo de la Arquitectura en Colombia una hazaña, debido a los recursos limitados con que contaba el país, como reflejo de la crisis mundial.

Con las reformas adelantadas en el gobierno de López Pumarejo, el clima social y político desincentivó la construcción de edificios simbólicos desde 1930, y en adelante se diseñó de manera modesta en busca de despojar el carácter demostrativos que se había sustentado durante el periodo republicano. Con ello surge el deseo de introducir los principios modernistas a la construcción local, en la búsqueda de una arquitectura de expresión estética sencilla, libre de connotaciones estilísticas más apropiadas para los edificios institucionales. Esta transición en el lenguaje arquitectónico de lo ornamental a las formas simples se conoció como estilo Decó, el cual influencio a lo largo de 15 años, como ejemplo de esta aplicación se construyó: El nuevo

edificio para la Biblioteca Nacional de Bogotá en 1938 entre otros, Este proceso evolutivo de la historia arquitectónica en Colombia, se llevó a cabo, con el apoyo de la Oficina de la Dirección de Edificios Nacionales del Ministerio de Obras Públicas. Ministerio que fue creado por la Asamblea Nacional Constituyente y Legislativa según la Ley 44 del 29 de abril de 1905, y por el decreto Legislativo número 7 del mismo año como parte de la reorganización de la administración pública. La Dirección de Edificios Nacionales asumió a dirección y planeación de todas las construcciones del Estado a nivel Nacional y estuvo conformada por un grupo de destacados arquitectos, entre ellos el Arq. Leopoldo Rother, los cuales, contribuyeron con la implementación de nuevos materiales para la construcción como el hierro, el acero y el concreto a la vista y por supuesto con la utilización del ladrillo artesanal, fabricado en arcilla. Materiales que enriquecieron las nuevas experiencias de diseño arquitectónico colombiano y son reconocidos como parte de la identidad arquitectónica del país.

## **INFLUENCIA DE LEOPOLDO ROTHER EN LA ARQUITECTURA COLOMBIANA**

Leopoldo Rother es considerado en la historia de la arquitectura colombiana, uno de los arquitectos más influyentes del medio, desde su llegada a la oficina de Edificios Nacionales de Colombia en 1936, por su apoyo en el diseño de muchos de los edificios públicos que hoy representan la evolución de la arquitectura moderna en el país, su obra más representativa: el diseño de la Universidad Nacional de Colombia en Bogotá.

El arquitecto Rother nace en Breslau, Alemania en el año 1894. Su vocación por la arquitectura surge, gracias a su afinidad por las artes plásticas, la música clásica y el gusto por la historia. Sus estudios de arquitectura los inicio en la Universidad de Karlsruhe en 1913, y los termino en la Universidad de Berlín Charlottenburg, en 1920. Como estudiante, Rother se destacó por su interés en la investigación y por sus calificaciones sobresalientes. Su formación estuvo a cargo de ilustres personalidades de la academia, por ello en su trayectoria profesional alcanzo un alto nivel de exigencia en su técnica constructiva y diseño arquitectónico en los que se destacó en todas sus obras.

La tendencia de diseño que adopto Rother durante su época de estudio fue de tipo clasicista. En el ámbito profesional, sus primeras obras fueron de tipo racionalista. Posteriormente incursiona con un estilo neoclásico estilizado y años más tarde, sus obras más significativas, se destacan por sus formas completamente modernas. Estilo que le permitió desarrollar técnicas constructivas de avanzada con la implementación de materiales nuevos a principios de los años 40's como el concreto y el acero.

La trayectoria de Leopoldo Rother inicio en Berlín y Muenster en 1920, con su participación en la ejecución de múltiples obras de tipo gubernativo, hizo su carrera administrativa, como funcionario del estado de Prusia y se especializo en edificios públicos de todo tipo, en los que tuvo reconocimientos importantes: Clínica y edificios universitarios, edificio para el juzgado de primera instancia y presidio de Oldenburg, albergue de policía en Aachen, la academia de minería de Clausthal y el reformatorio de Brandenburg a. d. Havel, Institución modelo de su género para toda Alemania, entre otros. Su trabajo como arquitecto del estado alemán duró 15 años, hasta 1935, tras la llegada de la legislación nazista que lo obligó a abandonar su cargo debido a la religión de sus padres.

En 1936 Rother inicia su labor en la Dirección de Edificios Nacionales del Ministerio de Obras Publicas de Colombia. El equipo de arquitectos para ese entonces se encontraba a cargo de Alberto Wills Ferro, quien había participado en el primer curso de arquitectura dictado en Colombia en el año 1928, del cual únicamente habían surgido cinco egresados. Desde la oficina de Edificios Nacionales, Rother debía hacerse cargo del diseño, el cálculo estructural y la construcción de las obras nacionales y algunos edificios asignados por convenio particular. La tarea, debía ejecutarse con limitaciones económicas en el presupuesto, debido a la crisis que atravesaba el país para esa época. Las dificultades se presentaban en el inicio y la terminación de las obras, en el pago de los honorarios del grupo de profesionales en arquitectura, que había en el país, siendo este un grupo muy pequeño y en la escasez de materiales de construcción importados como el acero estructural, el cemento y el vidrio entre otros, los cuales también limitaban los diseños de las edificaciones.

Aunque habían recurso limitados en las entidades públicas, para ejecución de obras. Era necesario que el país iniciara su proceso de desarrollo. Por ello el Presidente Alfonso López entregó el proyecto de la ciudad universitaria al Arquitecto Leopoldo Rother y con ello comenzó a tejerse la evolución de la arquitectura en Colombia, dando lugar a la primer facultad de arquitectura del país.

El trabajo realizado por Rother en la Universidad Nacional estuvo acompañado de otros profesionales también extranjeros quienes aportaron sus conocimientos en asesorar al gobierno colombiano, La planeación académica de esta nueva universidad estuvo a cargo del Dr. Fritz Karsen, también alemán, que había dirigido en los años 20 en Alemania un sistema integrado de educación media y elemental. El ejercicio previo al diseño urbanístico de la universidad, consistió en analizar la relación entre el pensum de todas las carreras e identificar su relación en el campo científico y el sistema pedagógico, para que se pudieran reunir en un solo departamento la enseñanza de varias carreras, permitiendo la interacción de los estudiantes desde diferentes ópticas.

En 1938 el proyecto ya estaba consolidado y dejaba ver la tendencia modernista y la madurez del arquitecto Rother a sus 42 años de edad. Los diseños de algunos de los edificios para las distintas facultades fueron concebidos por otros arquitectos de la oficina de Edificios Nacionales. Las formas de las edificaciones fueron el dilema siguiente a la zonificación del urbanismo realizado por Rother en el 36, así el diseño original del campus se mantuvo hasta el día de hoy.

La mayor influencia del arquitecto Rother fue en las aulas, alrededor de 1938, debido a que impartió la primera cátedra de teoría de la arquitectura a los alumnos de primer semestre, dando a conocer la obra de grandes maestros como Gropius, Le Corbusier y Berlage.

De 1938 a 1940 Rother diseñó varios edificios, entre los que se destacan la facultad de Ingeniería en colaboración con el arquitecto Bruno Violi, las porterías de la universidad, el laboratorio de ensayo de materiales, la ciudad escolar de Santa Marta, la escuela normal de varones en Pamplona, edificios para la UN que no se construyeron, el hospital de Concordia en Antioquia y el Estadio en Santa Marta.

En 1940, Rother recibe por parte del entonces director General de las Oficinas de Edificios Nacionales, Dr Eusebio de Santamaría, el cuidado del proyecto de la Ciudad Universitaria y de la Escuela Normal de Pamplona, dándole total autonomía para resolver todos los detalles relacionados con ambos proyectos. Diseñó el Instituto de Química y la facultad de Química, en el 1945, diseñó el Edificio Nacional y el Centro Cívico de Barranquilla, La Imprenta de la universidad y la Plaza de Mercado de Girardot, este último edificio se llevó a cabo, gracias al trabajo de los ingenieros Guillermo González Zuleta, Subdirector de Edificios Nacionales y José Antonio Parra, trabajo conjunto con el arquitecto Rother para concebir edificaciones más esbeltas, con secciones delgadas en concreto armado, construcción de bóvedas tipo membrana y utilización de grandes vidrieras. Lo anterior debido a que la oficina de Edificios Nacionales contaba con un mayor presupuesto, dispuesto por el gobierno para ejecución de algunas obras en otras ciudades, en vista de que las condiciones económicas del país tendían a mejorar, al finalizar la guerra.

Las obras de la Plaza de Girardot y el edificio del Centro Cívico de Barranquilla, fueron diseños aclamados por el Arquitecto Le Corbusier en 1948, durante su visita a Colombia, por ser una propuesta de diseño atrevida y hermosa.

La oficina de Edificios Nacionales, fue perdiendo fuerza, debido a la creación por parte de los ministerios, de áreas especializadas en proyectos que funcionaban de manera independiente y autónoma, así que, desde los años 50's, en la oficina de Edificios Nacionales, el grupo de diseñadores se fue reduciendo significativamente, hasta cuando decide retirarse en el 1961, luego de 25 años de servicio.

Su vocación como maestro de arquitectura, lo mantuvo en la docencia hasta 1976, dictando clases en cinco universidades: La Nacional, La Javeriana, Los Andes, La Gran Colombia y La América. Cuando sus condiciones de salud se fueron deteriorando, sus clases fueron suspendidas y se transformaron en reuniones de consulta. Durante el periodo de los años 60's a los 70's. El Arq. Leopoldo Rother escribió tres libros de gran valía para la facultad de arquitectura: El primero, corresponde a: la introducción al diseño y la arquitectura tropical, publicado con el título de: Tratado de Diseño Arquitectónico I. Asolación. Por la Universidad Nacional. El segundo y tercero, corresponden a dos ensayos inéditos sobre Urbanismo y Diseño Vecinal y Prefabricación, respectivamente.

Por su trayectoria y su aporte a la facultad de arquitectura del país, el honorable arquitecto, recibió la Cruz de Boyacá, por solicitud de la Sociedad Colombiana de Arquitectos el 13 de Junio de 1977, siendo profesor emérito en muchas universidades.

Se conocen cerca de 57 obras realizadas por el arquitecto, en su mayoría, cuentan con reconocimiento a la innovación, hoy representan el crecimiento del país y la historia de la Arquitectura en Colombia.

## BIOCLIMATICA SEGÚN EL ARQUITECTO LEOPOLDO ROTHER

El denominado estilo Rotheriano, se caracterizó por la arquitectura de tipo funcionalista, arquitectura basada en el principio de que la forma, debe estar determinada por la función. Este principio aplicado por Rother, no solo respondió a un tema netamente espacial, sino que, se preocupó por dar soluciones a las condiciones climáticas del lugar, mediante estudios de iluminación, asolación y calidad ambiental. E incorporo nuevas técnicas constructivas, para optimizar los recursos a su alcance, sabiendo que debía trabajar con limitados presupuestos en los proyectos gubernamentales que estaban a su cargo.

La economía fue una constante en sus obras, por ello Leopoldo Rother desarrolló su estilo propio vanguardista, como resultado de su intensa actividad de estudio, observación y práctica. Su arquitectura es reconocida por los materiales, y por su recursividad en la técnica constructiva. Sus diseños revelan líneas curvas en techos, paredes y escaleras, y una marcada simetría en la composición. La mayoría de sus diseños interiores cuentan con espacios de doble altura, logrados mediante esbeltas estructuras ovaladas y amplios ventanales.

Evidentemente, el avance creativo que tuvo Rother, estuvo influenciada por los variados climas y paisajes que descubrió en la geografía Colombiana, y por ello, durante su larga trayectoria como arquitecto, desarrolló un método de diseño, el cual esta especificado en su libro: “Tratado del Diseño Arquitectónico” publicado por la Universidad Nacional de Colombia en el año 1970. Escrito que define, la utilización de los seis principios fundamentales básicos para concebir un proyecto arquitectónico, que responda a las condiciones climáticas del lugar.

A continuación se mencionan los seis principios fundamentales del diseño:

### Tratado de Diseño Arquitectónico

#### *Fundamentos y Gráficos Descriptivos*

1. **Funcionamiento:** Definir los espacios de la edificación de acuerdo al uso y sugerir las áreas aproximadas en metros cuadrados por número de ocupantes.

**Tabla 1. Analisis de Funcionamiento para Vivienda**

**EJEMPLO DE ANALISIS DE FUNCIONAMIENTO EN LA VIVIENDA**

AREA POR HABITACION	MATRIMONIO SIN HIJOS	FAMILIAS DE		
		2 HIJOS	4 HIJOS	6 HIJOS
NUMERO ALCOBAS	1	2	3	4
HALL DE ENTRADA (M2)	1.20	3.00	5.00	5.00
ESTAR (M2)	7.00	9.00	10.00	13.00
COMEDOR (M2)	6.50	8.00	10.00	12.00
COCINA (M2)	2.50	4.00	5.00	6.00
ALCOBA PADRES (M2)	11.00	11.00	11.00	11.00
ALCOBAS HIJOS (M2)		8.00	16.00	24.00
BAÑO (M2)	3.00	3.00	4.00	6.00
AREA TOTAL	31.20	46.00	61.00	77.00
NUMERO DE HABITANTES	2	4	6	8
AREA POR HABITANTE	15.60	11.50	10.17	9.63

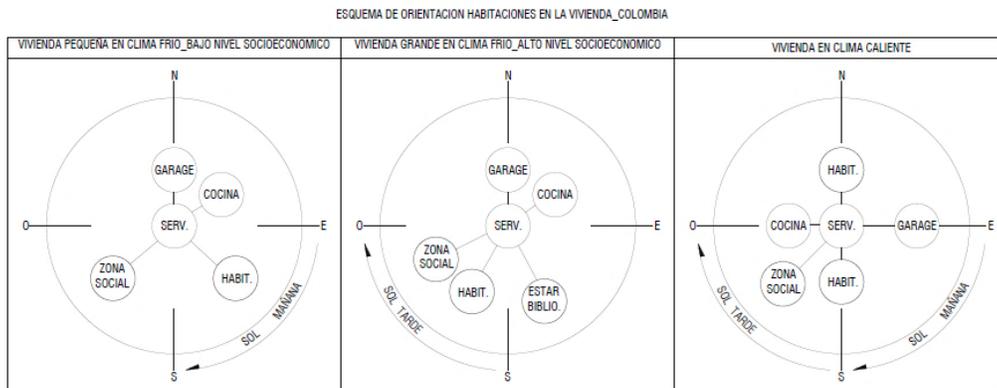
2. **Análisis de las actividades del usuario:** Identificar la frecuencia y el horario con que el usuario realiza sus actividades en las diferentes áreas que conforman la edificación: Áreas de servicio, áreas sociales, áreas comunales, áreas privadas.

**Tabla 2 Análisis de la Actividad del Usuario**

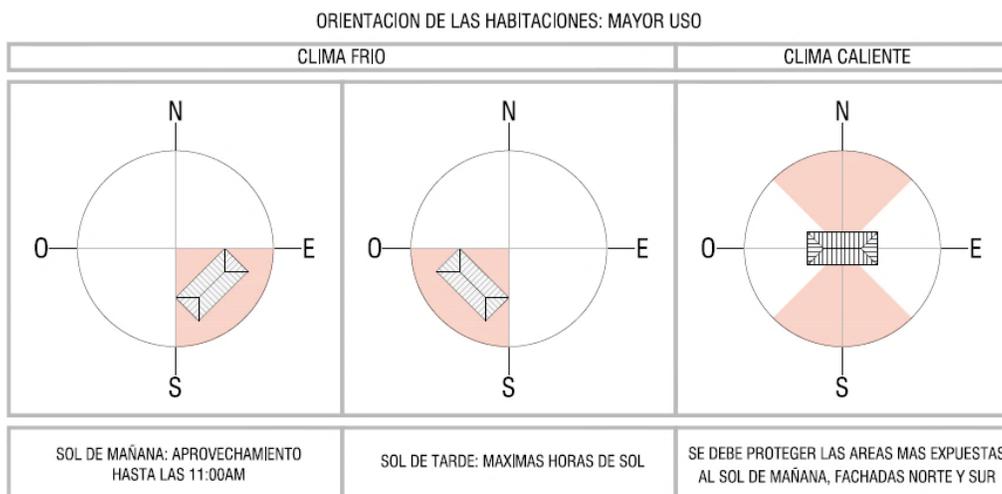
**EJEMPLO DE ANALISIS DE LA ACTIVIDAD DEL USUARIO**

ZONA	ACTIVIDAD	ESPACIO
ZONA DE RECIBO	ENTRAR	HALL GARAGE GUARDARROPA
ZONA SOCIAL	CONVERSAR DESCANSAR ESTUDIAR COMER	ESTAR COMER
ZONA DE DESCANSO DURANTE LA NOCHE	DORMIR ASEO PERSONAL	ALCOBA BAÑO
ZONA DE SERVICIO	COCINA TRABAJO DOMESTICO ALMECENAR	COCINA PLANCHA CLOSET DESPENSA
CIRCULACION	CIRCULAR	HALL DISTRIBUCION

3. **Orientación de las habitaciones:** Identificar los espacios que se utilizan con mayor frecuencia según el usuario, y definir cuáles de ellos requieren mayor aprovechamiento de la energía solar, la iluminación y la ventilación natural.



**Ilustración 1. Esquema de Orientación Habitaciones en Vivienda Colombia**

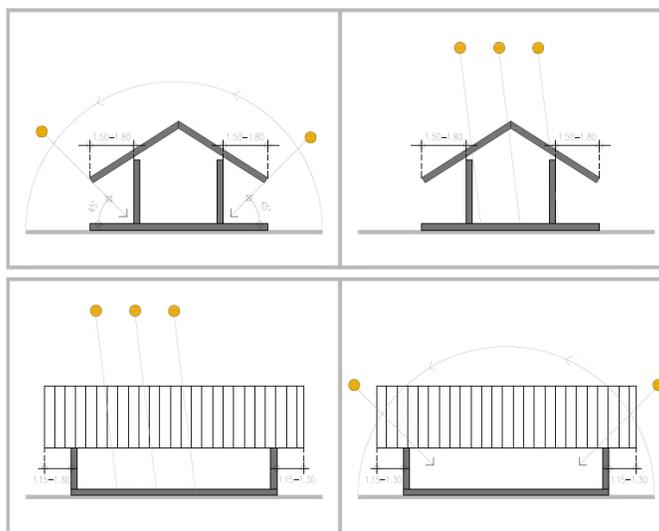


**Ilustración 2. Orientación de la Habitaciones de Mayor Uso**

4. **Asoleamiento:** Identificar la temperatura higrotermica del lugar, y definir las estrategias de climatización pasiva en la edificación para un mayor aprovechamiento de la energía solar.



**Ilustración 3. Asoleación, Estrategias de Climatización**



**Ilustración 4. Aprovechamiento de los Aleros**

5. **Ventilación:** Identificar la dirección de las corrientes de aire y orientar la edificación de manera que se produzca la renovación de aire de forma natural al interior de los espacios.

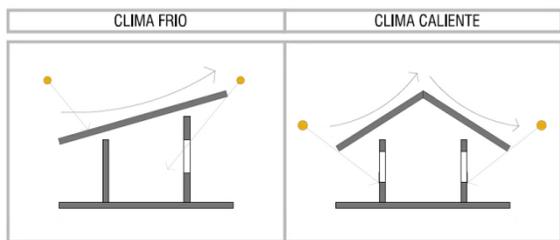


Ilustración 5. Comportamiento del Viento

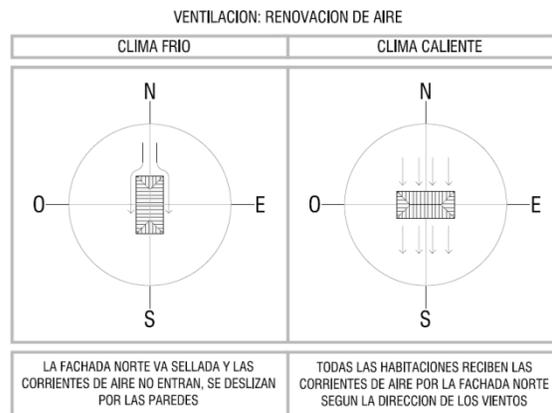


Ilustración 6. Renovación de Aire

ESQUEMA DE VENTILACION: ESTUDIO ORIGINAL GIORGIO CANTILIS

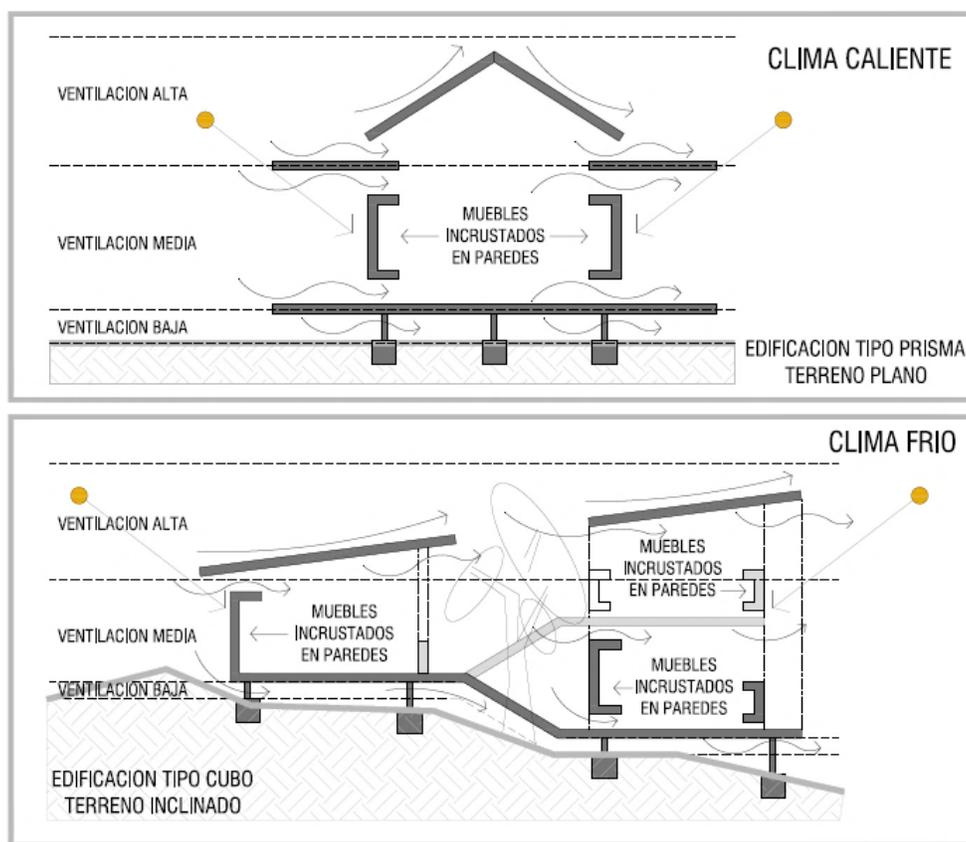
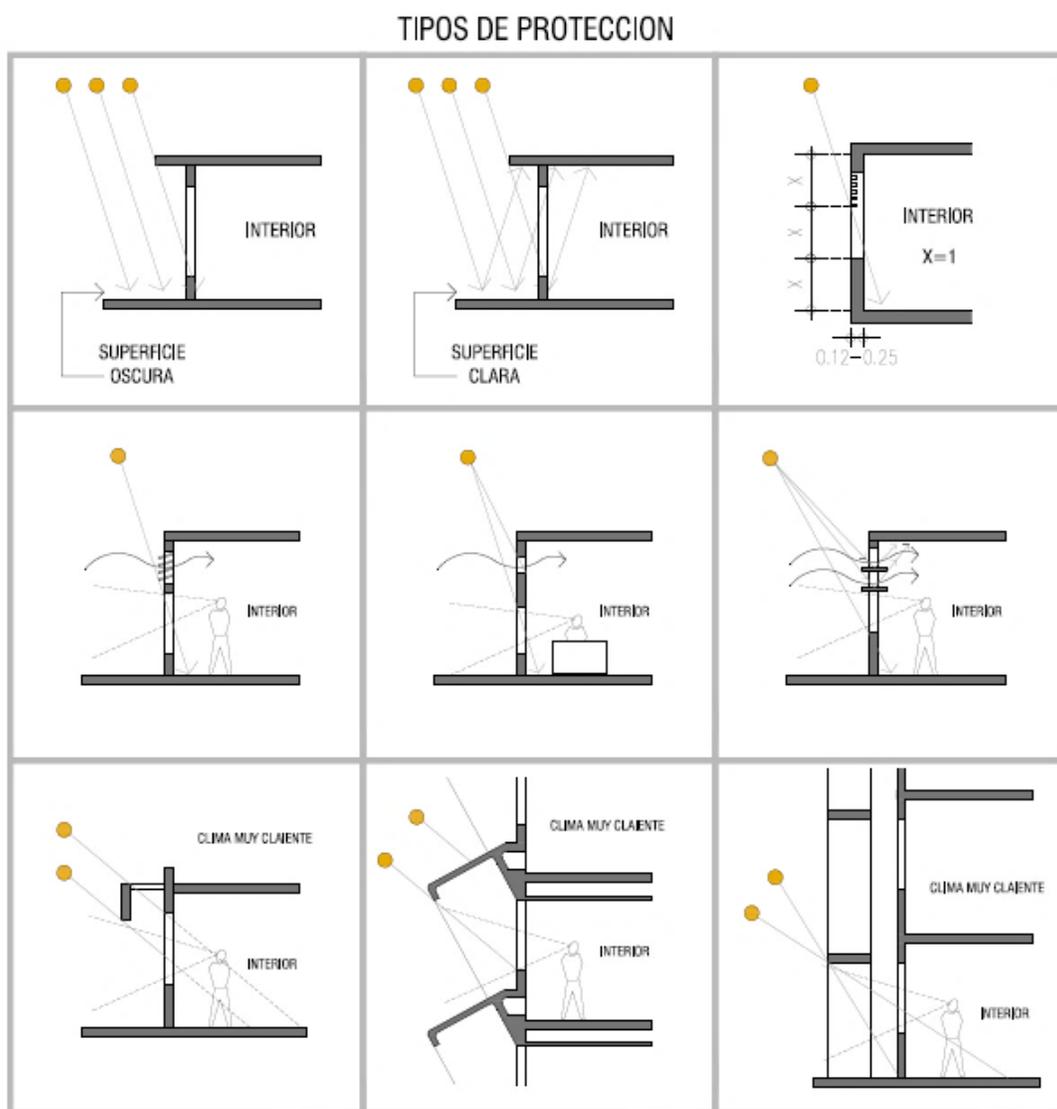


Ilustración 7. Esquemas de Ventilación

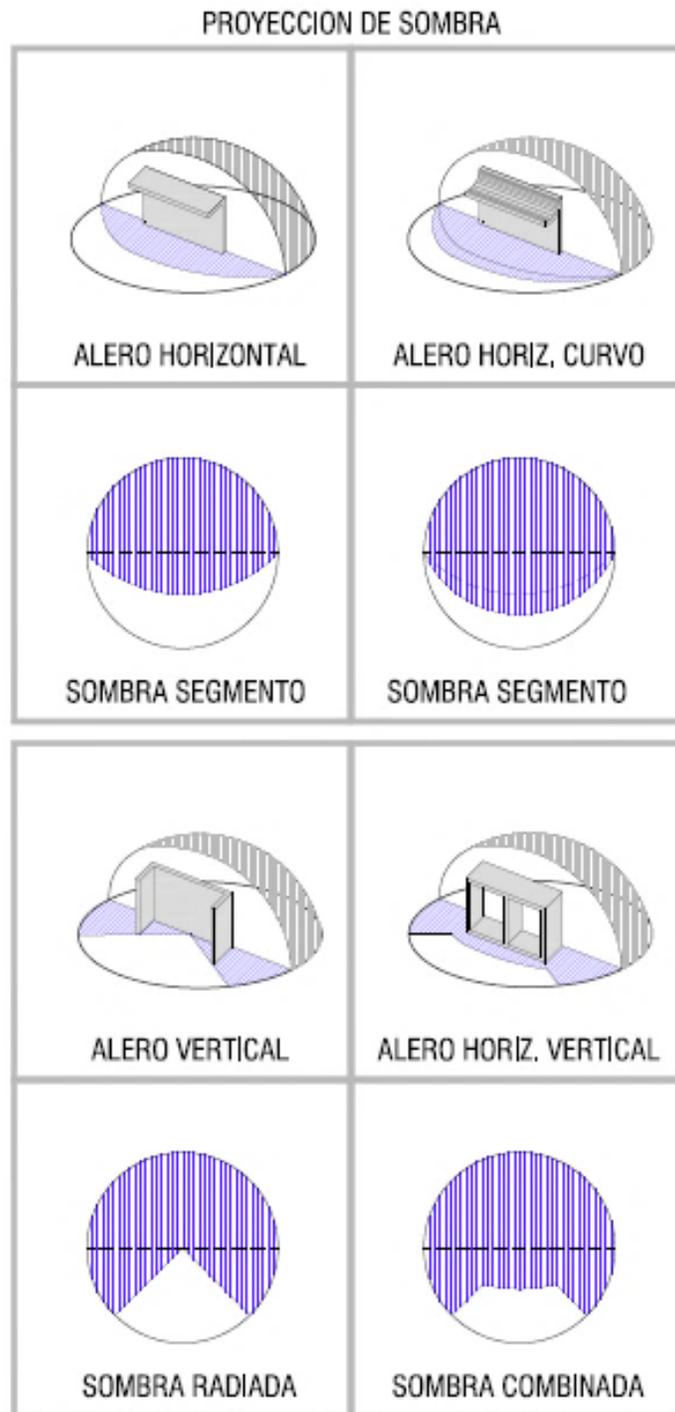
6. **Protección por asolación:** Identificar las fachadas de la edificación que están más expuestas al sol y diseñar un elemento de protección para las ventanas que, favorezcan la disipación del calor y a su vez provean el espacio interior de iluminación natural.



**Ilustración 8. Protección por Asoleación**



**Ilustración 9. Tipos de Aleros**



**Ilustración 10. Proyección de las Sombras**

## MARCO NORMATIVO LOCAL

El Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, estableció los lineamientos para la Construcción Sostenible tal como se indica en la **Resolución No. 0549 del 10 de Jul de 2015**, “Por el cual se reglamenta el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del libro 2 del decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía de edificaciones” en cumplimiento con lo señalado en el Decreto Ley 3571 de 2011 y el Decreto 1077 de 2015. Resolución que entrara en vigencia a nivel nacional un año después de su publicación, por ende, será exigible a partir del 10 de julio de 2016, La Guía, define los porcentajes de ahorro en relación al consumo de agua y energía, que deberán cumplirse durante el segundo año de su puesta en marcha de acuerdo a las características térmicas del lugar y al uso específico de proyecto a desarrollar al momento de la solicitud de Licencia de Construcción, adicionalmente La Guía dispone de una lista de medidas de referencia y recomendaciones para la implementación de buenas prácticas en la técnica constructiva y en la utilización de estrategias de ahorro en general, lo anterior como resultado de estudios técnicos, orientados al mejoramiento de la calidad de vida, en un compromiso ambiental y social.

El Gobierno Distrital, presentó el Plan de Acción de la Política Pública de Ecurbanismo y Construcción Sostenible en el marco de la Cumbre del Cambio Climático de 2015, realizado en Paris. Y mediante la **Resolución No. 1319 del 11 del Nov de 2015**, “Por la cual se adopta el Plan de Acción de la Política Pública de Ecurbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá, Distrito Capital 2012-2024” expedido por la Secretaria Distrital de Planeación, instauro su inmediata aplicación en cumplimiento con lo señalado en el Artículo 18, Parágrafo 2 del Decreto 566 de

2014, “Por el cual se adopta la Política Pública de Ecourbanismo y Construcción sostenible de Bogotá, Distrito Capital 2014-2024” expedidos por la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Plan en el que, se establecen: los ejes, las metas, las líneas de acción, los responsables y los indicadores para su correcta implementación, el cual, debe ser acogido en un plazo máximo de vigencia, hasta el año 2024 por las entidades que hacen parte de la Mesa de la Comisión Intersectorial CISPAER (Comisión Intersectorial para la Sostenibilidad, la Protección Ambiental, el Ecourbanismo y la Ruralidad) conformada por las Secretarías Distritales de Movilidad, Hábitat, Ambiente, Planeación, Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático y la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos.

El Ministerio de Minas y Energía, Expidió el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP, mediante Resolución 18 1331 del 6 de agosto de 2009 y debido a que su aplicación presentó complicaciones, se convocó a los interesados a participar en la mesa de trabajo durante tres días en el mes de marzo de 2010 y como resultado de dicha validación se expide la Resolución 18 0540 del 30 de marzo de 2010, “Por el cual se modifica el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público –Retilap, se establecen los requisitos de eficacia mínima y vida útil de las fuentes lumínicas y se dictan otras disposiciones. Para su inmediato cumplimiento a partir del 30 de marzo de 2010.

*FASE 2*  
*DIAGNOSTICO*

**ANALISIS DE LOS PARAMETROS BIOCLIMATICOS ESTABLECIDOS POR EL  
ARQUITECTO LEOPOLDO ROTHER EN EL EDIFICIO, DEL MUSEO DE  
ARQUITECTURA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL.**

**Justificación**

Esta investigación se lleva a cabo, con el fin de demostrar, que la Imprenta de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, diseñada y construida por el arquitecto Leopoldo Rother en el año 1946, conocida actualmente como Museo de Arquitectura Leopoldo Rother, es un edificio, que fue concebido bajo unos criterios de diseño ambientalmente consientes, a partir del aprovechamiento de la asoleación y la ventilación natural, para su óptimo funcionamiento. Y que al estudiar tres componentes bioclimáticos: Confort Térmico, Confort Lumínico y Calidad de Aire, mediante mediciones in situ, el edificio, hoy día, cumple con los lineamientos establecidos en la normativa internacional vigente, (*ASHRAE 62.1 de 2007 para calidad de aire; ANSI American National Standard Institute, para condiciones lumínicas y el Método FANGER, PMV -Predicted Mean Vote- ISO7730-1993 y Climograma de Givoni para confort térmico.*) y por ello, no requiere de la implementación de sistemas sofisticados de climatización mecánica.

## MARCO CONCEPTUAL

### Confort Térmico

El confort térmico es la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico (requiere evaluación subjetiva). Las condiciones de Confort dependen de la actividad física desarrollada, del tipo de vestimenta de los ocupantes del edificio, la edad, la constitución corporal, los factores fisiológicos del sexo, factores ambientales como la presión de vapor en el aire y la velocidad del aire. Sin embargo, como norma general, el confort térmico se obtiene a una temperatura entre 21°C y 25°C, con una humedad relativa comprendida entre el 20% y el 75%

### Confort Lumínico

Proporcionar la iluminación directa, indirecta y ambiental acorde al espacio y a las necesidades, según la actividad que se realiza en el mismo con una provisión de niveles adecuados de iluminación sobre el puesto de trabajo para generar mayor productividad.

### Calidad de Aire

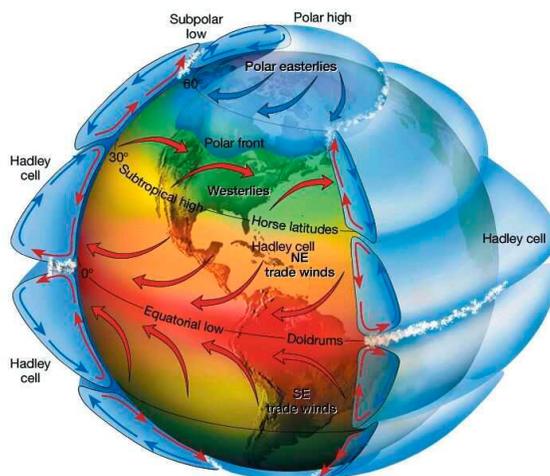
La calidad de aire es una indicación de cuanto el aire este exento de polución atmosférica, y por lo tanto apto para ser respirado. La calidad de aire también puede ser comprometida por causas naturales como erupciones volcánicas o vientos fuertes con partículas en suspensión.

## CONDICIONES CLIMÁTICAS DE COLOMBIA

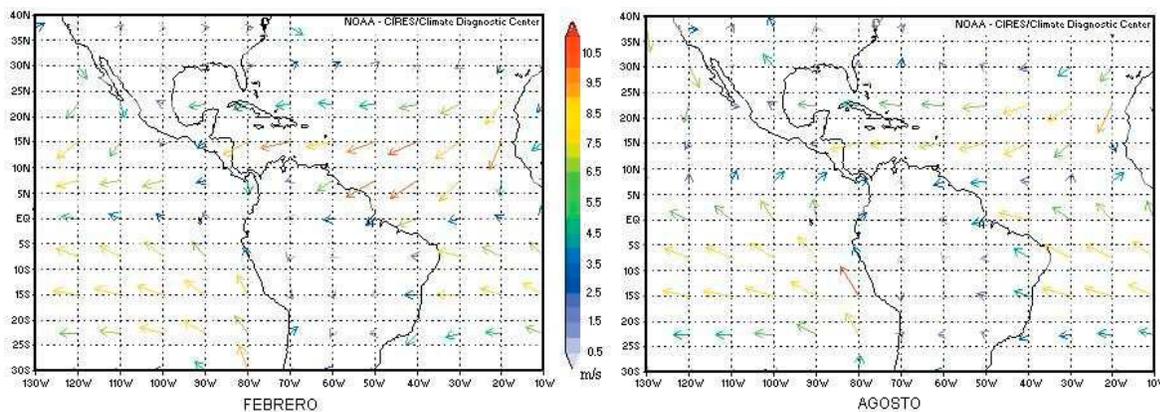
Debido a que Colombia se encuentra ubicada sobre la línea del ecuador, en la zona tropical, es posible aprovecha en toda la extensión del territorio la energía que trasmite el sol.

También se aprovecha, gracias a la ubicación geográfica, los vientos que viajan por la superficie de la zona tropical, son vientos generados por la rotación terrestre, los denominados, vientos alisios, que provienen del noreste y del sureste y al llegar a la línea ecuatorial por su condición de viento cálido, toma un sentido ascendente que proporciona un enfriamiento en el aire y posteriormente la condensación o lluvias. (Costa; C. 2005)

Los vientos alisios pueden variar por condiciones locales de topografía y rozamiento.



**Ilustración 11. Esquema de la Circulación General de la Atmósfera. en los Trópicos Predominan los Alisios. (Fuente: Universidad de Oklahoma)**



**Ilustración 12. Campos medios del viento en superficie, para los meses de febrero y agosto, con base en los datos del Reanalysis NCEP/NCAR, para periodo 1968-1996.**

### **La Zona De Confluencia Intertropical.**

La Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) está definida como una estrecha banda zonal de gran convección, que se manifiesta en los hemisferios norte y sur. En la ZCIT los vientos Alisios del noreste, se reúnen con los vientos alisios del sureste, formados como un flujo alrededor de las altas del Pacífico Sur y Atlántico Sur. El flujo proveniente de la alta del Pacífico Sur rutinariamente cruza el ecuador y se recurva hacia el Oriente, en tales casos se conocen como los suroestes u oestes ecuatoriales, tal como se aprecia frecuentemente sobre la costa Pacífica colombiana. La penetración de este aire depende de la época del año y de la localización del alta del Pacífico Sur. Debido al flujo convergente, la ZCIT es la zona de máxima nubosidad y lluvia.

Las observaciones indican que dentro de la ZCIT, la precipitación excede grandemente la humedad suministrada por la evaporación desde el océano, situado por debajo de ella. (Costa; C. 2005)



**Ilustración 13. Posición media de la ZCIT para los periodos enero- febrero y julio – agosto. (Fuente: Atlas Climatológico Nacional IDEAM 2005)**

La Zona de Confluencia Intertropical se mueve latitudinalmente, siguiendo el desplazamiento aparente del sol con respecto a la Tierra, con un retraso aproximado de dos meses. Sobre Colombia y áreas vecinas (Ilustración 13.), (COSTA, 2005)

## **CONDICIONES CLIMÁTICAS DE BOGOTÁ**

El área de estudio es la ciudad de Bogotá y la parte alta de la cuenca del río Tunjuelo; está localizada en la Sabana de Bogotá, sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental del territorio nacional. Se encuentra enmarcada por los cerros orientales donde se localizan entre otros Guadalupe y Monserrate y por el occidente con el río Bogotá. La delimitan dos unidades fisiográficas, una zona plana localizada hacia el norte y que comprende el Altiplano de Bogotá; y una zona montañosa que se inicia al sur del altiplano y se prolonga hasta el límite del Distrito, incluyendo la región del Sumapaz. Los puntos extremos de la zona de estudio se ubican con las siguientes coordenadas geográficas:

Límite norte: 04° 50' 30'' Latitud Norte, en el límite urbano norte de Bogotá.

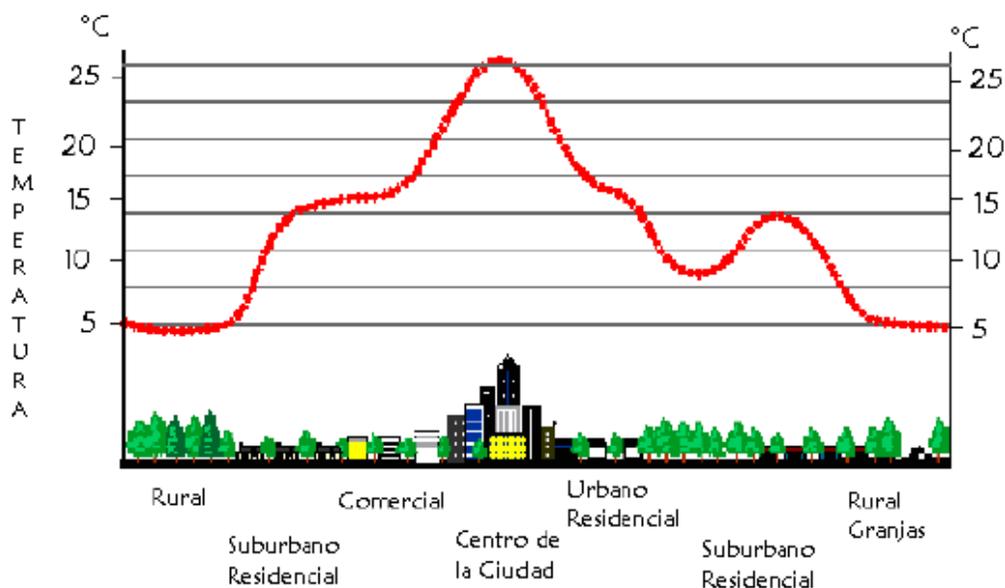
Límite sur:  $04^{\circ}17'37''$  Latitud Norte, divisoria de aguas, nacimiento del río Tunjuelo, Laguna de los Tunjos.

Límite oriental:  $74^{\circ}00'$  Longitud oeste, divisoria de los cerros orientales de la ciudad.

Límite occidental:  $74^{\circ}13'$  Longitud oeste, en el sector de la confluencia del río Tunjuelo con el río Bogotá. (IDEAM. 2007)

La elevación sobre el nivel del mar, se encuentra entre los 2510 msnm y los 3780 msnm. El área total de la zona de estudio es de 868 kilómetros cuadrados y su perímetro es de 238 kilómetros. (IDEAM. 2007)

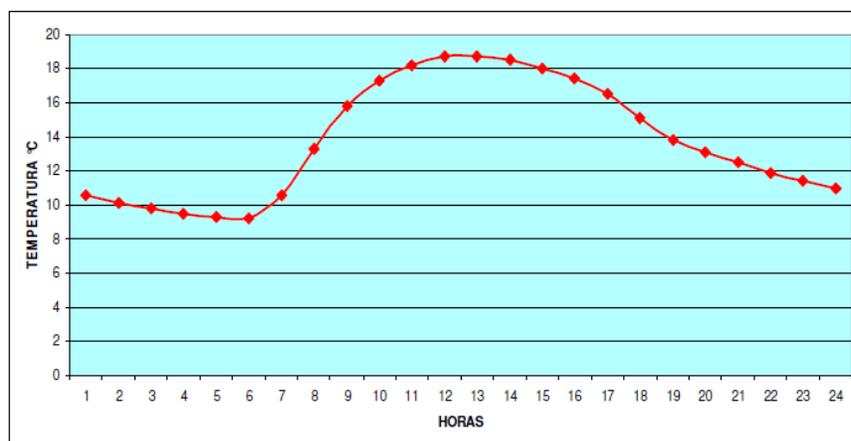
La denominada “Isla de Calor”, presente hoy en día en las grandes urbes, se da debido a la incidencia de las emisiones de calor antropogénicas de gases, efecto de invernadero, producido principalmente por las fuentes móviles, como se muestra en la Figura N° 3. El fenómeno de la Isla de Calor se define como: “el exceso de calor generado en un ambiente urbano por efecto de la acción antrópica”, e indica que las ciudades son, en general, más cálidas que su periferia. La forma e intensidad de este fenómeno varía con el tiempo y el espacio, siendo un resultado de las características meteorológicas, geográficas y urbanas.



**Ilustración 14. Perfil de un efecto de Isla de Calor Urbano. (Fuente Enviromental Science Publisher for Everyboby Round the Earht, Adaptación German Bernal)**

### **Comportamiento Horario de la Temperatura Media**

El comportamiento de la temperatura media horaria en Bogotá, con base en la información de la estación localizada en el Aeropuerto El Dorado, en un período de 1992 a 1998, como se muestra en la Ilustración 15, permite observar que existe una oscilación de  $9.5^{\circ}\text{C}$  durante las 24 horas, alcanzando valores más bajos en las horas de la madrugada entre las 5 y 6 A. M. con  $9,2$  y  $9,3^{\circ}\text{C}$ , para luego subir en forma rápida con la salida del sol o comienzo del día, registrando  $10,6^{\circ}\text{C}$ , para posteriormente aumentar significativamente a  $13,3^{\circ}\text{C}$  sobre las 8 A. M. y así sucesivamente hasta alcanzar la máxima a la 1 P. M. aproximadamente, permaneciendo sobre los  $18,0^{\circ}\text{C}$  hasta las 3 P. M., con el ocaso del sol la temperatura comienza a disminuir en forma lenta. (IDEAM. 2007)



**Ilustración 15. Comportamiento Horario de Temperatura Media, Aeropuerto El Dorado, Bogotá. (Fuente IDEAM)**

## **Humedad**

El vapor de agua es uno de los componentes de la atmósfera de la Tierra. La humedad es un elemento meteorológico que tiene una relación estrecha con la componente en la estabilidad atmosférica y por consiguiente con la ocurrencia y distribución de la precipitación en una zona o porción terrestre. (IDEAM. 2007)

El comportamiento temporal de la humedad presenta valores medios mayores en los meses de lluvias altas como son: abril, mayo, octubre y noviembre respectivamente; en tanto, que las menores se presentan en los meses relativamente secos o de bajas lluvias como: enero, febrero, julio y agosto. En los demás meses la humedad fluctúa mucho dado que son meses de transición donde hay presencia de masas húmedas y secas. (IDEAM. 2007)

## **Brillo Solar**

La cantidad de insolación que se recibe en un área cualquiera es uno de los factores más importantes en la determinación de la caracterización climática de cualquier zona.

La distribución de los valores de insolación o brillo solar están relacionadas en forma inversa con otros elementos como la nubosidad y la precipitación en una región. (IDEAM. 2007)

## **Precipitación**

La ciudad de Bogotá, presenta dos períodos de más lluvias durante el año, el que popularmente se denomina “invierno”, y dos períodos de menos lluvias que llamamos verano. El primero, se inicia en marzo y dura todo abril y mayo; el segundo, empieza en septiembre y dura todo octubre y noviembre; existen meses de transición entre los diferentes períodos como son: los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre, los cuales se presentan con días alternados de lluvias y tiempo seco. (IDEAM. 2007)

## **Vientos**

En Bogotá existen vientos generales y vientos locales, los primeros, son los de influencia sinóptica que son los alisios, los cuales toman direcciones noreste y sureste en el área de la ciudad y en el Altiplano. Estos traen consigo lloviznas a partir de la última semana de junio o comienzos de julio, pues una vez entra la influencia de este viento, las lluvias del primer período lluvioso (marzo, abril y mayo) cesan del todo y las reemplazan las lloviznas sobre todo en los cerros orientales y en la ciudad a lo largo de las estribaciones de la cadena montañosa que la enmarca.

Aunque los vientos Alisios disminuyen paulatinamente su intensidad, no dejan de presentarse algunas lluvias eventuales de corta duración, las cuales son precedidas por tiempo seco durante los meses de julio y agosto. Luego que abandona la influencia de los vientos Alisios, aproximadamente en septiembre, aumenta el cubrimiento de la nubosidad y aparecen las primeras lluvias producto de la presencia del viento.

Posteriormente, en la segunda temporada de lluvias de septiembre, octubre y noviembre, los vientos locales son bastante variables y dependen de la distribución de las precipitaciones; los vientos más dominantes en la temporada son los del noreste, este y oeste, con velocidades hasta de 6 a 8 m/s; esta situación en particular de los vientos encontrados de diferentes direcciones, da lugar a condiciones de discontinuidad y presencia de corrientes convectivas que junto con el calentamiento del día, favorecen enormemente las precipitaciones fuertes y ocurrencia de formaciones de tormentas eléctricas en zonas locales y a veces de poca extensión. (IDEAM. 2007)

### **Comportamiento de la Dirección y Velocidad del Viento**

En términos generales, se observa un comportamiento de la dirección Este, oscilando entre el Norte y el Este durante todos los meses del año, regularmente entre las 7 y 8 de la noche hasta las 9 a 10 de la mañana; sin embargo, el comportamiento cambia en las horas del día hacia otras direcciones, lo cual permite establecer que la presencia del sol y su calentamiento, elevan paulatinamente la temperatura y por tanto cambian la mayoría de variables en su

estado, permitiendo la formación de corrientes convectivas y advecciones de masas de aire de un sector a otro.

Por lo anterior, se ha encontrado que a partir de las 10 de la mañana se definen los vientos de direcciones entre Este y Sur, con predominio de flujo del Sureste, hasta aproximadamente las 6 de la tarde; esta situación se presenta desde el mes de mayo hasta septiembre con buena definición y persistencia, no obstante, que en los meses de julio, agosto y septiembre, la hora de ocurrencia comienza a las 8 - 9 horas de la mañana, hasta las 8 de la noche.

En los meses de octubre a abril continúa, como ya se anotó, el predominio de la dirección Este, pero en horas del día el cambio se observa de la dirección entre Sur al Oeste, con predominio del Suroeste, la cual obtiene su más alta persistencia en horas de la tarde a partir de la 1 p.m. hasta las 5 p.m.; posteriormente, a partir de las 5 p.m. hasta las 7 p.m. se observa un cambio significativo de la dirección oscilante entre el Oeste al Norte, lo que se determina particularmente entre los meses de noviembre y abril. (IDEAM. 2007)

Precisamente uno de los factores dinámicos importantes es el flujo de viento que da origen a lluvias fuertes con presencia de tormentas eléctricas. Esto sucede cuando se encuentran los vientos del Este, usualmente en horas de la mañana y noche, con los vientos del Oeste hacia el mediodía hasta algunas horas de la tarde, dando lugar a severas y significativas cargas de nubosidad de carácter convectivo, originando eventos fuertes de precipitación, tormentas eléctricas y algunas veces granizo.

En lo relacionado con la velocidad del viento, se presenta un rango menor o igual a 1.5 m/seg a lo largo del año; sin embargo, a partir de las 7 y hasta las 10 de la mañana, la velocidad en todos los meses aumenta por encima de los 1.5 m/seg hasta 2.8 m/seg.

A partir de junio y hasta el mes de agosto se experimenta un aumento de la velocidad desde las 7 de la mañana hasta las 12 de la noche, con valores superiores a 1.5 e inferiores a 3.8 m/seg.

En los meses de enero febrero, marzo y septiembre, particularmente, se prolonga la ocurrencia de vientos por encima de los 1.5 m/seg regularmente entre las 2 y las 4 de la tarde.

Finalmente los meses de junio, julio y agosto se definen como los más representativos en cuanto a la mayor fuerza del viento en el área urbana de Bogotá, con valores de 2,8 m/s, 3,7 m/s y 3,8 m/s, respectivamente. (IDEAM, 2007)

(IDEAM . Estudio de la Caracterización Climática De Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo. Bogotá D.C., 2007.)

A continuación se presenta los Datos Climáticos reportados por la estación meteorológica 802220 SKBO en el año 2014 y Carta Climatológica media mensual con la tabla de valores reportada por el IDEAM. (Tablas. 3 y 4)



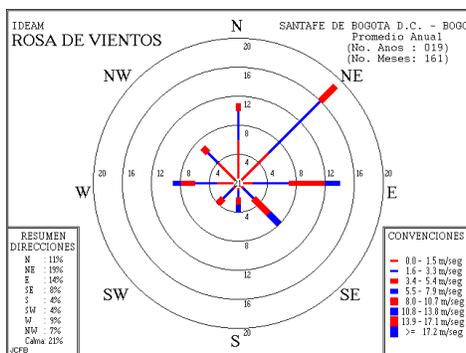


Ilustración 16. Rosa de los Vientos, IDEAM

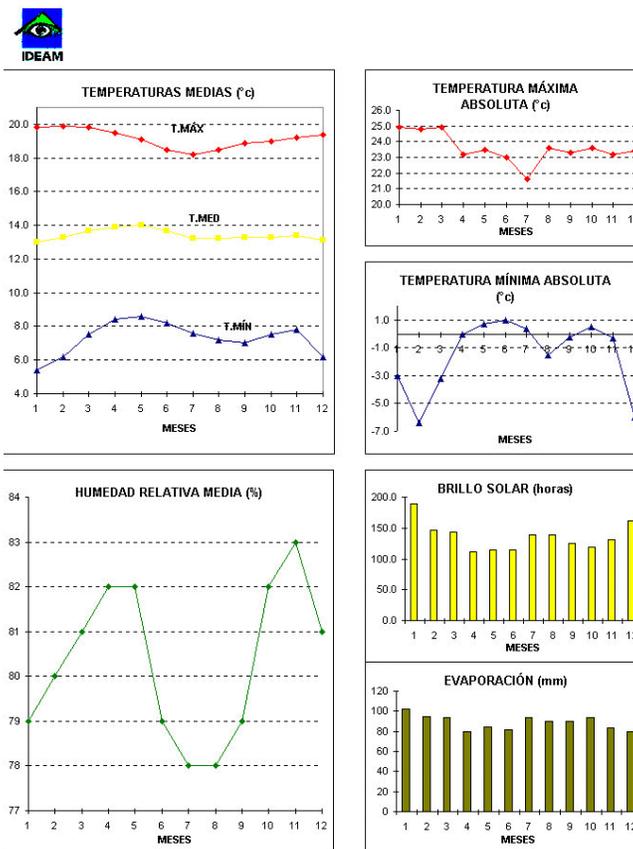


Ilustración 17. Reportes Climáticos, IDEAM, Año 2014

## **Descripción Física del Edificio**

El diseño original del edificio que hoy alberga el Museo de Arquitectura, responde al uso para el que fue construido inicialmente como Imprenta de la Universidad Nacional de Colombia. Razón por la cual, el edificio está provisto de amplios aleros a lo largo de sus cuatro fachadas, permitiendo la iluminación natural al interior de los espacios, de manera indirecta con el fin de conservar y proteger del daño del sol, el papel y las tintas que en su momento, se utilizaban en la imprenta.

Tras albergar la imprenta universitaria hasta 1952, el edificio fue adaptado para el Departamento de Filosofía y Letras, y más tarde para el Instituto de Psicología entre los años 1956 y 1964. A partir de 1964, sus luminosos espacios sirvieron como Biblioteca de la Universidad. En 1972 se readaptaron algunos espacios para volver a instalar la Imprenta, una librería y papelería en el semisótano y en 1976 se realizaron algunas modificaciones en el segundo piso para el uso de la oficina de Admisiones y Registro.

En 1986 la Asociación de Arquitectos egresados de la Universidad Nacional y la Facultad de Artes presentaron ante el Consejo Superior Universitario el proyecto de creación de un Museo Nacional de Arquitectura de la Facultad de Artes para conmemorar los 50 años de existencia de la facultad de artes, la primera en Colombia. El objeto anotado entonces fue conocer, recopilar y difundir la arquitectura colombiana. El Consejo creó el Museo mediante el acuerdo No. 52 de 1986, y a partir de 1992 fue entregado a la Facultad de Artes y adoptó el nombre de “Museo de Arquitectura Leopoldo Rother” en memoria de su aporte arquitectónico al país.

Finalmente, desde 1986 se convierte en sede del primer y único Museo de Arquitectura del país. Siendo un espacio tanto de conservación y exposición de documentos, así como de reflexión crítica sobre el pensamiento y trabajo arquitectónico nacional e internacional.

Con el propósito de compilar documentación arquitectónica significativa en el ámbito nacional e internacional para constituir las colecciones patrimoniales del Museo.

El Museo de Arquitectura cuenta con un área de 643.00 m<sup>2</sup>, distribuidos en salas de exposición temporal, archivo de las colecciones de arquitectura, depósitos de material museológico y museográfico, servicios de dependencias administrativas y una sala de conferencia.

#### Salas de Exposición:

Sala 1 Enrique Triana (primer piso) 110 m<sup>2</sup>

Sala 2 Gabriel Serrano (segundo piso) 74 m<sup>2</sup>

Sala 3 Fernando Martínez (segundo piso) 175 m<sup>2</sup>

Sala 4 Bruno Violi (Conferencias / segundo piso) 110 m<sup>2</sup>

Sala 5 Guillermo Bermúdez (tercer piso) 102 m<sup>2</sup>

#### Otras Instalaciones:

Archivo, administración, depósitos y servicios

Archivo de colecciones de arquitectura (primer piso) 65 m<sup>2</sup>

Archivo de colecciones en otros papeles y material documental (planta semisótano) 95 m<sup>2</sup>

Oficinas administrativas, área de trabajo y monitores 160 m<sup>2</sup>

Servicios y circulaciones 427 m<sup>2</sup>

### **Tecnología Constructiva**

Su tecnología constructiva es convencional conformada por columnas y vigas fundidas en concreto reforzado. Entrepiso en placa maciza sobre vigas con torta inferior. Muros dobles y sencillos en ladrillo cerámico recocida con revestimiento interior en pañete, estuco y pintura color blanco. Cubierta maciza fundida en concreto apoyada sobre vigas. Carpintería metálica color negro con vidrios simple incoloro de 4 mm combinada con cerramientos traslucidos en vitrobloc. Los pisos son cerámicos sobre contrapiso de 0.20 m de espesor sobre terreno natural. No cuenta con sistemas de refrigeración ni calefacción.

### **Características Termofísicas**

Al fijar la orientación del edificio respecto a las trayectoria solar ya se puede contribuir a reducir las pérdidas de calor, la forma del edificio también contribuye a que las superficies exteriores estén en contacto con la radiación solar directa cediendo energía valiosa a la atmosfera circundante, la energía solar es almacenada en las paredes, los pisos, las ventanas y la cubierta, el grado de eficacia depende de la capacidad de absorción de los materiales que conforman las diferentes capas de la envolvente del edificio.

El aprovechamiento pasivo de la energía solar en el diseño del Museo de Arquitectura Leopoldo Rother está determinado por su orientación respecto a la trayectoria solar, sus cuatro fachadas cuentan con una exposición directa al sol, pero la mayor absorción térmica está en las fachadas ubicadas en sentido oriente occidente, gracias a sus muros dobles que disminuyen las pérdidas de calor al presentarse las bajas en la temperatura exterior.

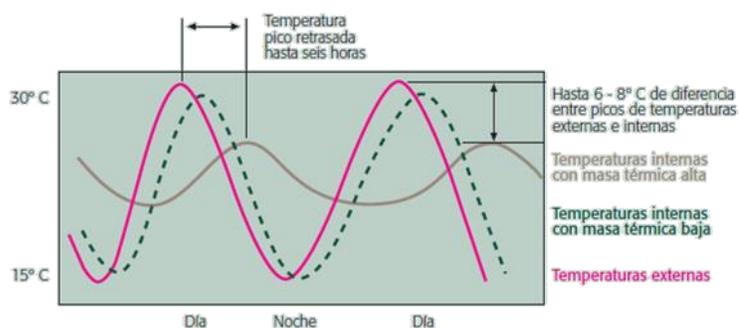


**Ilustración 18. Aleros, Fachada Oriental, MALR. UNAL.**



**Ilustración 19. Fachada Occidente, MALR. UNAL.**

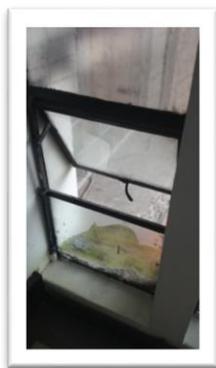
El edificio en su totalidad fue construido en hormigón, material energéticamente eficiente por su conocida versatilidad, resistencia, protección frente al fuego, aislamiento acústico y su inercia térmica, Su principal ventaja energética deriva de su elevada masa térmica que conduce a la estabilidad térmica, reduciendo los picos de temperaturas máximas y mínimas, lo cual permite el ahorro de la energía y proporciona un mejor ambiente interior para los usuarios del edificio.



**Ilustración 20. Influencia de la Masa Térmica en el Confort, The Concrete Center, Reino Unido**

La fachada principal del Museo de Arquitectura está orientada hacia el Nor-Este, su diseño de tipo modernista configurado con amplios ventanales de extremo a extremo, permite que esta fachada en comparación con las demás facilite la mayor entrada lumínica a lo largo de todo el recinto. Las demás ventanas que conforman los espacios cuentan con una iluminación difusa a través de bloques de cristal dispuestos en una franja angosta en el área superior de los muros de doble altura.

Las ventanas fueron fabricadas en ángulos metálicos y vidrio simple de 4mm de espesor y no utiliza ningún tipo de tecnología que permita conservar la temperatura absorbida durante el día, su coeficiente K no cumple con el parámetro de transmitancia térmica para el clima de las zonas frías en relación a la altitud de Bogotá.

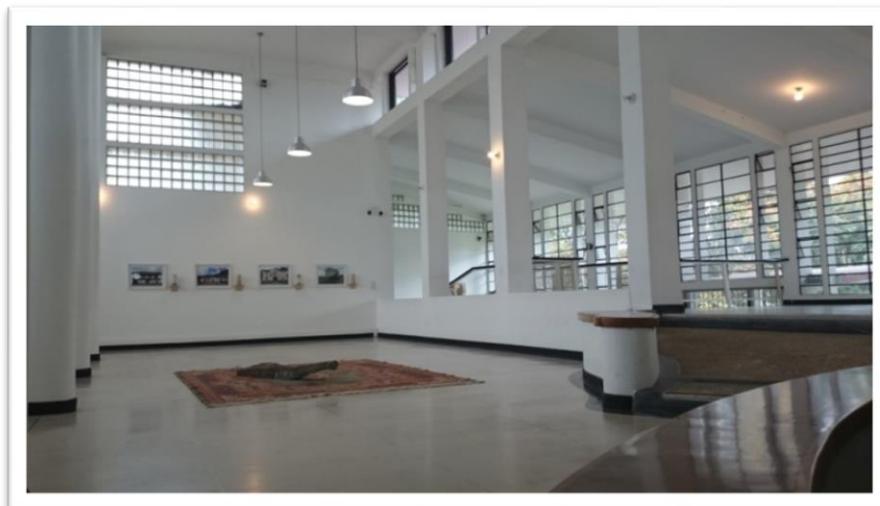


**Ilustración 22. Ventana Abatible, MALR. UNAL.**

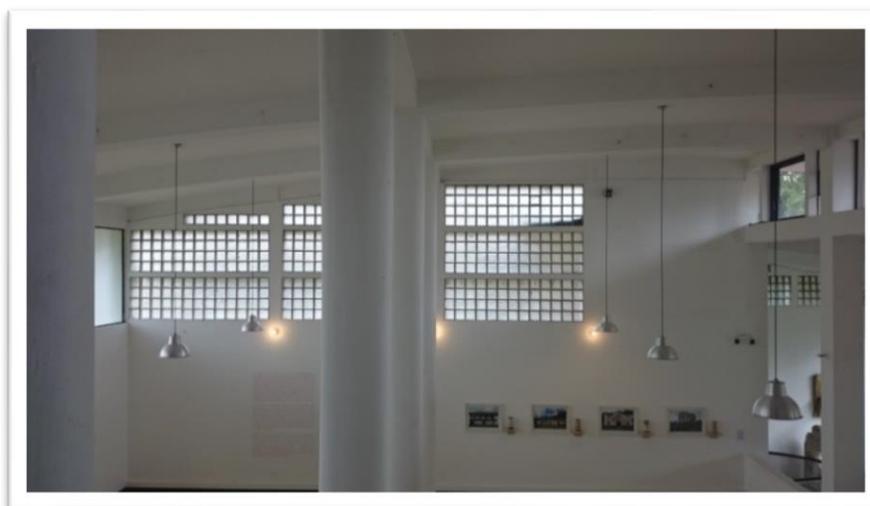


**Ilustración 21. Espesor de Muros Captadores de Energía**

Actualmente la iluminación que se emplea para las exposiciones temporales del Museo se logra a partir de lámparas incandescentes distribuidas en el cielorraso y paredes de manera reticulada, la disposición y el tipo de luminarias no favorece el flujo lumínico debido a la doble altura de los espacios, por lo tanto los espacios permanecen oscuros la mayoría del tiempo. En el registro fotográfico se puede evidenciar la calidad lumínica durante el día y a su vez el consumo energético y económico que genera mantener la iluminación artificial encendida durante toda la jornada.



**Ilustración 23. Sala 3, Fernando Martinez**



**Ilustración 24. Ventanas Tipo VetroBlock**

Respecto a la ventilación del edificio, los vientos dominantes afectan la fachada Nor-Este, y al ser una edificación implantada de forma independiente dentro del campus universitario sus cuatro fachadas están constantemente expuestas a las corrientes de aire que resultan de su forma volumétrica, lo que disminuye la absorción térmica de los muros perimetrales haciendo que al interior de los espacios del Museo la sensación térmica disminuya.

## Calculo del Coeficiente K de Transmitancia Térmica

A continuación los cálculos de Transmitancia térmicas K de las capas de la envolvente edilicia existentes

**Tabla 5. Transmitancia Térmica Cubierta**

CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA				
PROYECTO	MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER UNIVERSIDAD NAL COLOMBIA, CIUDAD BOGOTA			
EPOCA DE AÑO	JUNIO	FLUJO DE CALOR	Ascendente(techos)	
ZONA BIOMABIENTAL	ZONA CLIMA FRIO (Paramentros Colombia Zona: Fria 1.5 a 1.8)			
NIVEL DE CONFORT	18°C A 23.5°C			
<b>ELEMENTO</b>	<b>CUBIERTA</b>			<b>Ascendente(techos)</b>
Capa del elemento constructivo	e espesor (m)	λ conductividad termica w/m.k	R resistencia termica m².k/w	
Resistencia superficial exterior			0.040	
Membrana Asfáltica	0.01	0.70	0.010	
Mortero 1:3	0.03	0.89	0.034	
Hormigón Normal con Agregados Ptreos	0.15	0.97	0.155	
Resistencia superficial interior			0.100	
RESISTENCIA TÉRMICA DEL ELEMENTO R m².k/w			0.338	
TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL PROYECTO K= 1/R			2.956	<b>NO CUMPLE</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA ZONA CLIMA FRIO COLOMBIA 1.5 A 1.8</b>				

**Tabla 6. Transmitancia Térmica Muro Doble**

CALCULO DE TRANSMITANCIA TÉRMICA				
PROYECTO	MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER UNIVERSIDAD NAL COLOMBIA, CIUDAD BOGOTA			
EPOCA DE AÑO	JUNIO	FLUJO DE CALOR	Horizontal (muro)	
ZONA BIOMABIENTAL	ZONA CLIMA FRIO (Paramentros Colombia Zona: Fria 1.5 a 1.8)			
NIVEL DE CONFORT	18°C A 23.5°C			
<b>ELEMENTO</b>	<b>MURO DOBLE CON BLOQUE CERAMICO Y LADRILLO A LA VISTA</b>			
Capa del elemento constructivo	e espesor (m)	λ conductividad termica w/m.k	R resistencia termica m².k/w	
Resistencia superficial interior			0.130	
Pintura Interior				
Revoque interior	0.02	0.93	0.022	
Ladrillo hueco 8x15x25			0.210	
Ladrillo Cerámico Macizo	0.24	1.33	0.180	
Resistencia superficial exterior			0.040	
RESISTENCIA TÉRMICA DEL ELEMENTO R m².k/w			0.582	
TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL PROYECTO K= 1/R			1.718	<b>CUMPLE</b>
<b>TRANSMITANCIA TÉRMICA ZONA CLIMA FRIO COLOMBIA 1.5 A 1.8</b>				

Tabla 7. Transmitancia Térmica Placa Entrepiso

CALCULO DE TRANSMITANCIA TERMICA				
PROYECTO	MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER UNIVERSIDAD NAL COLOMBIA, CIUDAD BOGOTA			
EPOCA DE AÑO	JUNIO	FLUJO DE CALOR	Descendentes (Pisos)	
ZONA BIOMABIENTAL	ZONA CLIMA FRIJO (Paramentros Colombia Zona: Fria 1.5 a 1.8)			
NIVEL DE CONFORT	18°C A 23.5°C			
ELEMENTO	PLACA DE ENTREPISO			
Capa del elemento constructivo	e espesor (m)	$\lambda$ conductividad termica w/m.k	R resistencia termica m <sup>2</sup> .k/w	
Resistencia superficial interior				0.170
Granito	0.02	2.22		0.009
Mortero 1:3 Cemento y Arena	0.03	0.89		0.034
Hormigon Normal con Agregados Ptreos	0.10	0.97		0.103
Camara de Aire				0.210
Hormigon Normal con Agregados Ptreos	0.03	0.97		0.031
Pintura interior				
Resistencia superficial exterior				0.040
RESISTENCIA TERMICA DEL ELEMENTO R m <sup>2</sup> .k/w			0.597	
TRANSMITANCIA TERMICA DEL PROYECTO K= 1/R			1.676 <b>CUMPLE</b>	
<b>TRANSMITANCIA TERMICA ZONA CLIMA FRIJO COLOMBIA 1.5 A 1.8</b>				

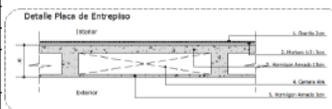


Tabla 8. Transmitancia Térmica Cubierta

ELEMENTO	CUBIERTA			Descendente(techo)
Capa del elemento constructivo	e espesor (m)	$\lambda$ conductividad termica w/m.k	R resistencia termica m <sup>2</sup> .k/w	
Resistencia superficial exterior				0.040
Membrana Asfaltica	0.01	0.70		0.010
Mortero 1:3	0.03	0.89		0.034
Hormigon Normal con Agregados Ptreos	0.15	0.97		0.155
Resistencia superficial interior				0.170
RESISTENCIA TERMICA DEL ELEMENTO R m <sup>2</sup> .k/w			0.408	
TRANSMITANCIA TERMICA DEL PROYECTO K= 1/R			2.449 <b>NO CUMPLE</b>	
<b>TRANSMITANCIA TERMICA ZONA CLIMA FRIJO COLOMBIA 1.5 A 1.8</b>				

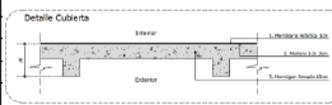


Tabla 9. Transmitancia Carpintería Metálica

Norma IRAM 11507 - 4		CARPINTERIAS DE OBRA					
PROYECTO	MUSEO DE ARQ. LEOPOLDO ROTHER UNIVERSIDAD NAL DE COLOMBIA, CIUDAD BOGOTA						
ZONA BIOMABIENTAL	ZONA CLIMA FRIJO (Paramentros Colombia Zona: Fria 1.5 a 1.8)						
<b>VENTANA SIMPLE SIN RUPTOR DE PUENTE TERMICO, VIDRIO SIMPLE 6 (mm) - PUERTA MADERA K=0,50</b>							
TIPO	CANT	ALTURA	ANCHO	SUP Vent.	SUP Puert.	K	TOTAL
VENTANA No. 1	8	6.05	2.80	16.94		5.86	46.88
VENTANA No. 2	7	1.00	2.80	2.80		5.86	41.02
VENTANA No. 3	6	0.50	1.75	0.88		5.86	35.16
VENTANA No. 4	50	0.85	1.75	1.49		5.86	293.00
VENTANA No. 5	8	1.80	2.80	5.04		5.86	46.88
PUERTA VENTANA No. 6	1	2.50	2.80	7.00		5.86	5.86
PUERTA ENTAMBORADA No. 7	5	2.10	0.90		1.890	0.50	2.50
<b>K 3 ADM = 1,5 ≤ K ≥ 2,0 NO CUMPLE</b>							

El parámetro de Transmitancia térmica (K) w/m<sup>2</sup>k para la zona de clima frío es de 1.5 a 1.8 y de acuerdo con los cálculos realizados en muros, placas, cubiertas y ventanas que conforman la envolvente edilicia del Museo, tanto la cubierta como las ventanas no cumplen con los rangos establecidos. Lo anterior indica que en dichas capas se deben hacer mejoras en la capacidad aislante. En el gráfico porcentual del coeficiente K del edificio original se evidencia que las pérdidas energéticas de la edificación superan el 72% de la energía calórica acumulada.

Teniendo en cuenta lo anterior la mejora que se propone para reforzar la capacidad aislante de la cubierta deberá ser la inclusión de una lámina de panel yeso de espesor de 0.01m, con una conductividad térmica de 0.31 w/mk y una resistencia térmica de 0.032 m<sup>2</sup>k/w.

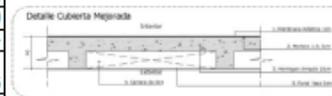
Para el caso de las ventanas estas deberán ser reemplazadas por doble ventana con ruptor de puente térmico con vidrio simple de 6mm. Tal como se indica en el cuadro de carpintería de obra mejorada y cálculo de cubierta mejorada.

**Tabla 10, Transmitancia Térmica Carpintería Mejorada**

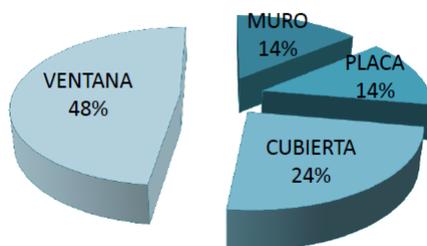
Norma IRAM 11507 - 4		CARPINTERÍAS DE OBRA MEJORADA					
PROYECTO		MUSEO DE ARQ. LEOPOLDO ROTHER UNIVERSIDAD NAL DE COLOMBIA, CIUDAD BOGOTÁ					
ZONA BIOMABIENTAL		ZONA CLIMA FRÍO (Parametros Colombia Zona: Fría 1.5 a 1.8)					
DOBLE VENTANA CON RUPTOR DE PUENTE TÉRMICO, VIDRIO SIMPLE 6 (MM) - PUERTA MADERA K=0,50							
TIPO	CANT	ALTURA	ANCHO	SUP Vent.	SUP Puert.	K	TOTAL
VENTANA No. 1	8	6.05	2.80	16.94		1.99	15.92
VENTANA No. 2	7	1.00	2.80	2.80		1.99	13.93
VENTANA No. 3	6	0.50	1.75	0.88		1.99	11.94
VENTANA No. 4	50	0.85	1.75	1.49		1.99	99.50
VENTANA No. 5	8	1.80	2.80	5.04		1.99	15.92
PUERTA VENTANA No. 6	1	2.50	2.80	7.00		1.99	1.99
PUERTA ENTAMBORADA No. 7	5	2.10	0.90		1.890	0.50	2.50
<b>K 3 ADM = 1,5 ≤ K ≤ 2,0 CUMPLE</b>							

Tabla 11. Transmitancia Térmica Cubierta Mejorada

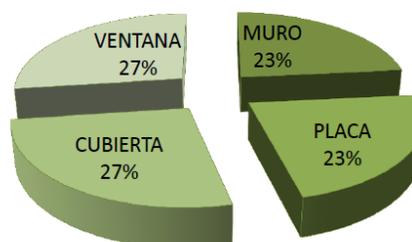
CALCULO DE TRANSMITANCIA TERMICA CUBIERTA MEJORADA			
PROYECTO	MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER UNIVERSIDAD NAL COLOMBIA, CIUDAD BOGOTA		
EPOCA DE AÑO	JUNIO	FLUJO DE CALOR	Ascendente(techos)
ZONA BIOMABIENTAL	ZONA CLIMA FRIO (Parametros Colombia Zona: Fria 1.5 a 1.8)		
NIVEL DE CONFORT	18°C A 23.5°C		
<b>ELEMENTO</b>	<b>CUBIERTA MEJORADA</b>	<b>Ascendente(techos)</b>	
Capa del elemento constructivo	Ø espesor (m)	λ conductividad termica w/m.k	R resistencia termica m².k/w
Resistencia superficial exterior			0.040
Membrana Asfáltica	0.01	0.70	0.010
Mortero 1:3	0.03	0.89	0.034
Hormigon Normal con Atragados Petreos	0.15	0.97	0.155
Camara de aire			0.140
Panel Yeso	0.01	0.31	0.032
Resistencia superficial interior			0.100
<b>RESISTENCIA TERMICA DEL ELEMENTO R m².k/w</b>			<b>0.511</b>
<b>TRANSMITANCIA TERMICA DEL PROYECTO K= 1/R</b>			<b>1.958</b> <b>CUMPLE</b>
<b>TRANSMITANCIA TERMICA ZONA CLIMA FRIO COLOMBIA 1.5 A 1.8</b>			



COEFICIENTE K EDIFICIO ORIGINAL



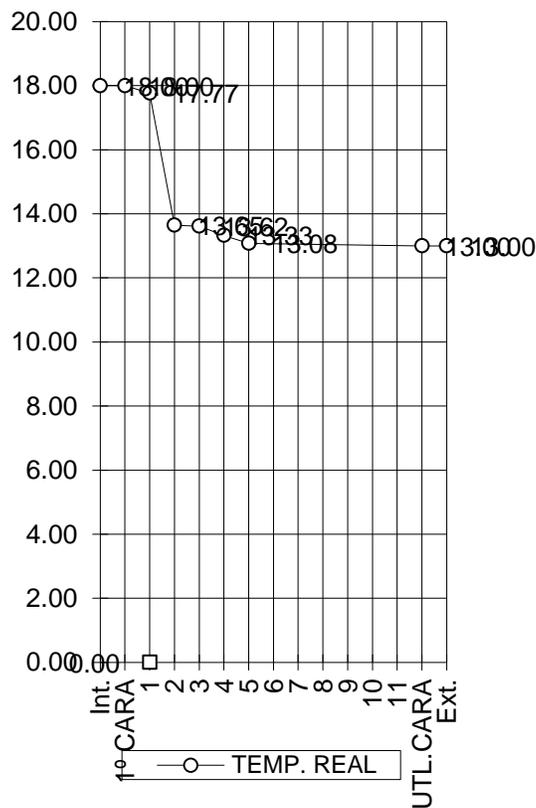
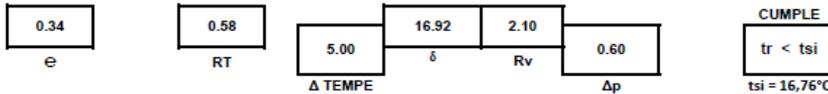
COEFICIENTE K EDIFICIO MEJORADO



### Calculo de la Condensación Superficial e Intersticial de la Envolvente

Tabla 12. Calculo de Condensación, Muro Doble

Norma IRAM 11825		CALCULO DE RIESGO DE CONDENSACION INTERSTICIAL									
ELEMENTO		MURO DOBLE DE BLOQUE CERAMICO Y LADRILLO A LA VISTA									
Capa del elemento constructivo	E espesor (m)	λ conductividad termica w/m.k	R resistencia termica m².k/w	ΣR	Temp capas	Permeabilidad	RV e/δ	Presion vapor kPa	HR %	Temp rocio (tr)	Difer. Temp Δt
AIRE INTERIOR					13.00			1.46	80	11.00	2.00
Resistencia superficial interior			0.13	0.13	11.88			1.33		9.80	2.08
Pintura Interior	0.0001			0.13	11.88	16.00	0.00	1.33		9.80	2.08
Revoque interior	0.02	0.93	0.02	0.15	11.70	0.02	1.00	1.30		9.60	2.10
Ladrillo hueco 8x18x25	0.08		0.21	0.36	9.89	0.10	0.80	1.09		8.00	1.89
Ladrillo ceramico macizo	0.24	1.33	0.18	0.54	8.34	0.80	0.30	0.90		7.50	0.84
				0.54	8.34			0.90			8.34
				0.54	8.34			0.90			8.34
				0.54	8.34			0.90			8.34
				0.54	8.34			0.90			8.34
Resistencia superficial exterior			0.04	0.58	8.34			0.90			8.34
AIRE EXTERIOR				0.58	18.00			2.08	90		



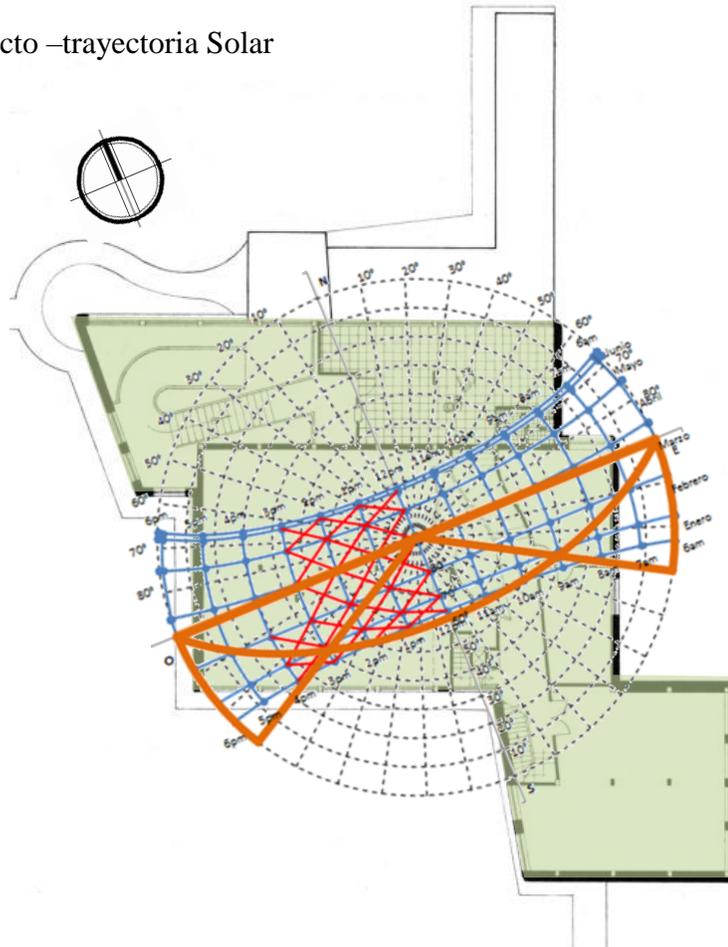
## Criterios de Diseño

### Comportamiento de la trayectoria solar en el edificio

Se analiza los porcentajes de exposición directa del sol sobre las fachadas del Museo de Arquitectura en los días en que se producen el equinoccio de verano (21 de Junio) y el equinoccio de invierno (21 de Diciembre), siendo estos los días de mayor incidencia solar durante todo el año, para determinar el tipo de protección solar y los aportes energéticos al interior del edificio.

### Diagrama Solar Bogotá

Localización del proyecto –trayectoria Solar



## Heliodon Numérico

### HELIODON FACHADAS NOR-ORIENTE



**Ilustración 25. Heliodon Fachada Nord- Oriente**

El sol realiza su trayectoria en el sentido oriente occidente y al analizar la exposición directa del sol sobre la fachada Nord-Oriente se evidencia que durante las horas de la mañana de 8 am a 10 am el sol hace una incursión con protección solar a través de las ventanas conformadas por sistema vitrobloc en el área de oficinas de la edificación, al analizar dicha trayectoria en el corte longitudinal se puede observar que el área se ilumina de manera difusa gracias a la protección del alero



**Ilustración 26. Heliodon Corte Longitudinal**

Después de las 10 am las fachadas permanecen en completa penumbra debido a la amplia protección de los aleros y a la disposición de las ventanas. Esto en respuesta al uso inicial para el que fue diseñado el edificio: la imprenta de la Universidad Nacional de Bogotá. Siendo su principal interés la protección en la manipulación del papel y las tintas.

#### HELIODON FACHADAS SUR-OCCIDENTE



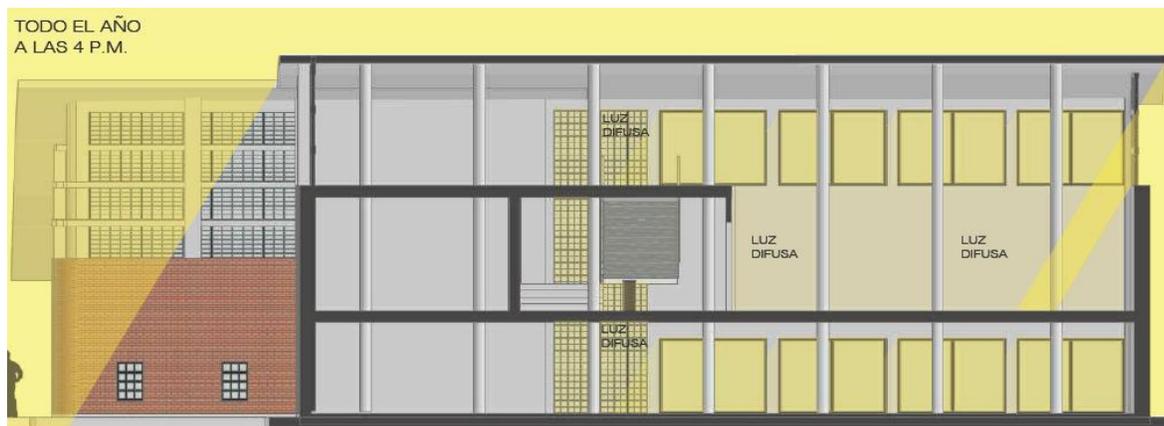
**Ilustración 27. Heliodon Fachada Sur Occidente**

Por la fachada Sur- Occidente el sol realiza una corta incursión con protección solar durante las 2 pm a las 4pm, durante el resto del día permanece en penumbra debido a los amplios aleros que rodean toda la edificación. La zona de mayor aprovechamiento solar es el área de los salones de doble altura donde hoy día se realizan las exposiciones temporales del Museo de Arquitectura Leopoldo Rother.



**Ilustración 28. Heliodon Corte Transversal**

En el corte transversal a las 2 pm, a las 4 pm y las 6 pm se puede ver la entrada de la iluminación difusa al salón de exposición. En esta área se debe mejorar la iluminación artificial.



**Ilustración 29. Asoleación Corte Longitudinal**



**Ilustración 30. Asoleación Corte Transversal**

### **Comportamiento de la ventilación natural en el edificio**

De acuerdo con la ubicación de la edificación los vientos dominantes que afectan a Bogotá ingresan por el Nord-oriente, el oriente y el Sur-oriente. En la dirección Nord-Este se indica en la rosa de los vientos una frecuencia de 10% con una intensidad menor con un valor 1.6-3.3 m/seg, por lo cual esta predomina y debe ser la dirección tenida en cuenta al momento de diseñar.

En la planta se muestra la presión que ejerce el viento en las fachadas ubicadas el Sur-Occidente debido a los vientos alisios que van en dirección Sur- Occidente, las presiones positivas deben contrarrestarse mediante una ventilación cruzada con ventanas ubicadas en el sentido opuesto, en este caso la ventilación hacia la fachada ubicada al Sur-Oriente, favoreciendo la renovación del aire y la refrigeración al interior del espacio, mediante evacuación el aire caliente que se produce al interior de los espacios, gracias a la ganancia térmica solar, a la ganancia calórica generada por la actividad y al uso de ciertos electrodomésticos al interior del Museo.

En el corte transversal, se muestra el recorrido de las corrientes de aire natural, las flechas azules indican el aire fresco que intenta ingresar por la ventana, pero que no lo logra, dado que están completamente cerradas, sin lograr el efecto de la renovación de aire en el espacio. Es evidente la necesidad de mejora para el caso de la Sala de Exhibición, en la actualidad el Museo no cuenta con sistema de ventanas abatibles. Se recomienda hacer mejoras a nivel general en la toda la carpintería metálica, en especial para los espacios que aunque tienen ventana no cuentan con ventilación, adicionalmente en el análisis de Transmitancia Térmica K estos elementos no cumplen con el coeficiente K exigido para la ubicación geográfica y generan a la edificación pérdidas calóricas durante la época de invierno o de lluvias, por lo tanto, dicha mejora no comprometerá la salud de sus ocupantes, así las ventanas permanecerán abiertas optimizando la condiciones de permanencia de la población flotante y durante la noche se cierran para evitar la condensación del aire en las primeras horas del día.

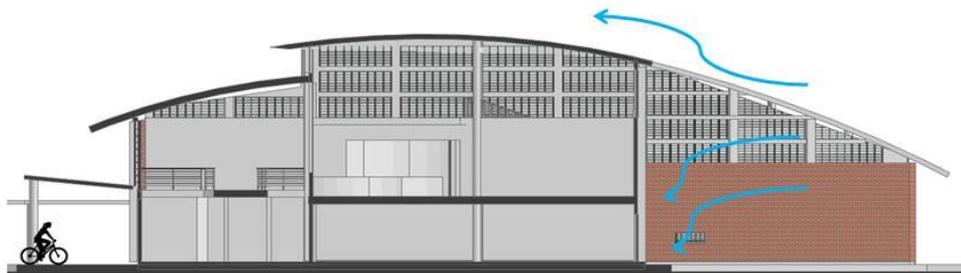


Ilustración 31. Ventilación Corte Transversal

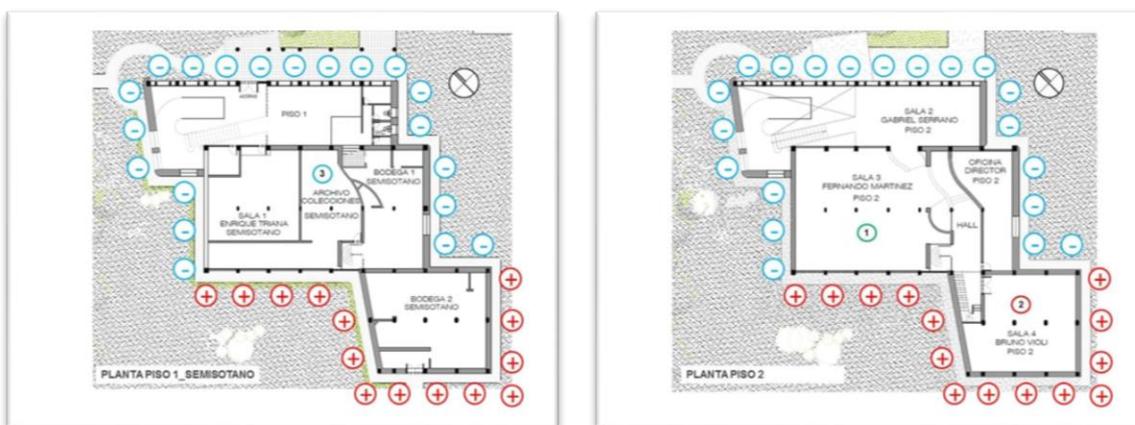
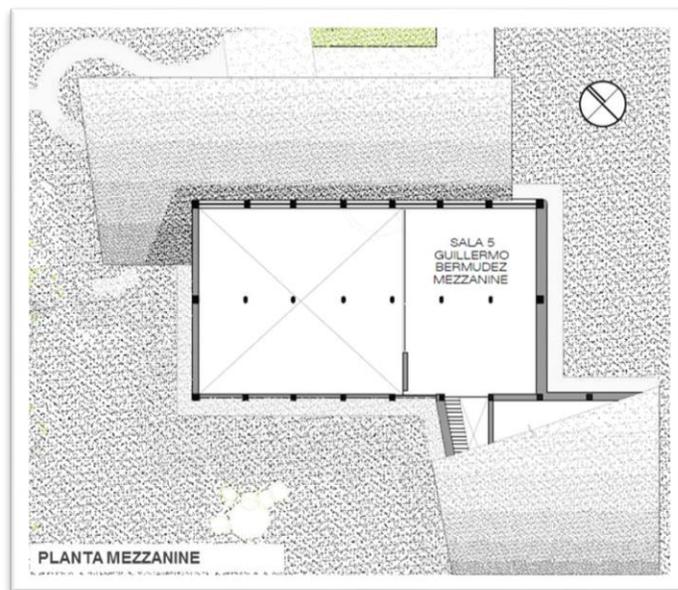


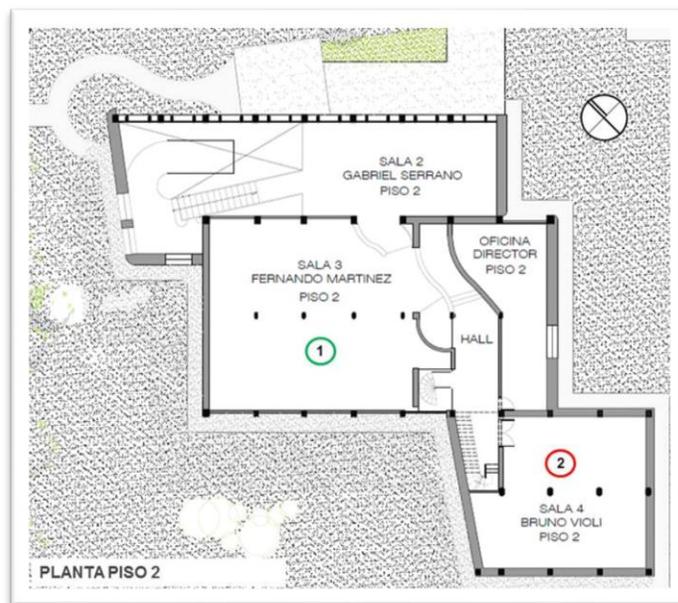
Ilustración 32. Esquema de Ventilación, Plantas Arquitectónicas

## Criterios de Medición

Para la medición bioclimática en el Museo de Arquitectura Leopoldo Rother, se caracterizaron tres locales de la edificación: Sala Fernando Martínez que corresponde al salón principal de exposiciones, espacio de doble altura, ubicado en el piso 2 con vista hacia el costado sur-occidente de la edificación; Sala Bruno Violi que funciona como salón de conferencias, ubicada en el piso 2 con vista hacia el costado sur-oriental de la edificación y el Archivo de Colecciones de Arquitectura, ubicado en el semisótano con vista al costado occidental de la edificación.



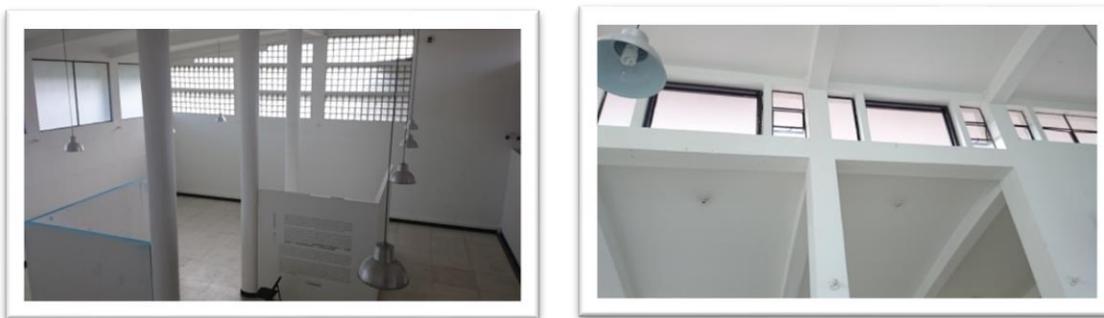
**Ilustración 33. Planta Piso 1**



**Ilustración 34. Planta Piso 2**

Se eligieron los tres espacios que se consideran de mayor importancia en el Museo por su ubicación y su uso: El Salón de Exposiciones es un área central de doble altura que se abre hacia

todos los espacios. Debido a su integración con los demás espacios, está más expuesto a la iluminación natural indirecta en las horas de la tarde, debido a que la sala esta provista de ventanas en las cuatros paredes que configuran el espacio y a su vez las ventanas están protegidas con amplios aleros, tal como se concibió inicialmente para el edificio de la imprenta. Aunque cuenta con amplios ventanales, ninguna de ellas tiene sistema de apertura hacia el occidente, así que los vientos que soplan desde ese costado no pueden ingresar al espacio, la única ventilación con que cuenta el local, ingresa por el costado oriental por ventana aérea sobre la cubierta.

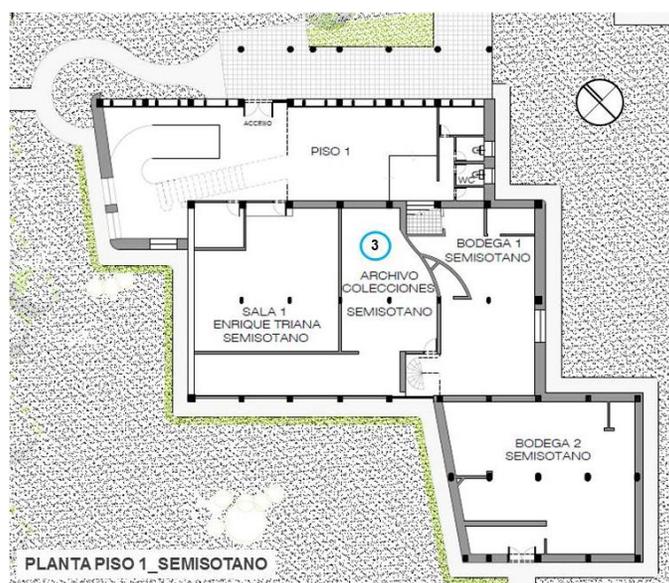


**Ilustración 35. Sala 3, Fernando Martinez**

La Sala de Conferencias Bruno Violi, es un espacio de doble altura, ubicado en la esquina sur-oriental, conformado por amplios ventanales por donde se aprovecha la ventilación natural, la mejor iluminación natural se obtiene en las horas de la mañana, los muros que conforman el espacio del salón son muros dobles construidos en bloque y ladrillo a la vista los cuales facilitan la captación de la energía solar para mantener la temperatura cuando esta comienza a descender en las horas de la tarde.



**Ilustración 36. Sala 4, Bruno Violi**



**Ilustración 37. Planta Semisotano**

El Archivo de Colecciones de Arquitectura, es un espacio ubicado en el semisótano del edificio, y hace parte de la remodelación que sufrió el edificio original en el año 1972. Por su ubicación este espacio recibe la ventilación natural que entra por la fachada occidental y mantiene su temperatura a 25°C a pesar de estar en el semisótano, lo anterior, debido a que se

encuentra protegida entre dos espacios continuos, conservando más temperatura almacenada durante el día.



**Ilustración 38. Archivo de Colecciones de Arquitectura**

## **PARAMETROS BIOCLIMATICOS NORMA INTERNACIONAL**

### **Confort Térmico: Temperatura, Humedad Relativa**

#### **Climograma Higrotermico de Givoni**

El Diagrama Higrotermico de Givoni nos permite evaluar la sensación térmica del lugar a partir del comportamiento climático anual (aire, humedad relativa y temperatura) dando soluciones de climatización para el diseño del edificio cuando no se alcanza el confort higrotermico deseado.

En el caso de Bogotá, el siguiente Diagrama de Givoni (Figura 6) nos sugiere las estrategias de diseño bioclimático para alcanzar el Confort mediante 1: Calefacción por ganancia interna; 2: Calefacción solar pasiva; 3: Calefacción solar activa.

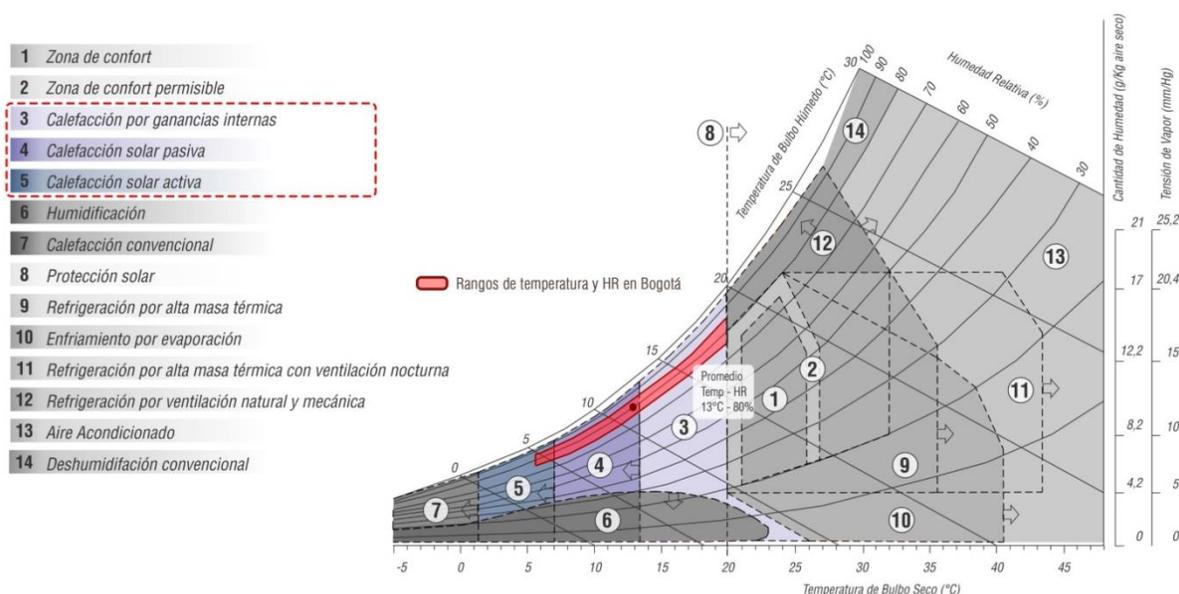


Ilustración 39. Psicograma Givoni, Tomado de PVG Arquitectos

Las condiciones térmicas de un edificio dependen de la magnitud de las pérdidas y ganancias de calor que está teniendo en un momento dado. El edificio tenderá a calentarse cuando las ganancias de calor sean mayores que las pérdidas, y a enfriarse en la situación contraria.

Las ganancias internas en una edificación representan fuentes de calor al interior del edificio e incluyen personas, estufas, focos y prácticamente todos los aparatos que consumen energía. Una persona desarrollando actividades ligeras puede añadir unos 180W de energía calorífica al espacio, mientras que una televisión puede añadir más de 300W, las ganancias internas de calor en watts por metro cuadrado de superficie de piso ( $W/m^2$ ), deben calcularse de acuerdo al tipo de

actividades que se desarrollan al interior del edificio. En ese caso será necesario multiplicar dicha tasa por la superficie total de piso para estimar las ganancias totales.

La calefacción solar pasiva en el edificio se genera de manera indirecta a través de superficies opacas como los muros y las cubiertas y de manera directa cuando ocurre a través de superficies transparentes, como el vidrio.

La calefacción solar pasiva es un término referido a aquellas tecnologías utilizadas para transformar la energía solar en calor utilizable, para producir corrientes de aire para ventilación o refrigeración o para almacenar el calor para uso futuro.

En el caso del Museo de Arquitectura se utilizó como estrategia de climatización la calefacción por ganancia interna y la calefacción solar pasiva para alcanzar el confort térmico.

## Nomograma Higrotermico de Olgay

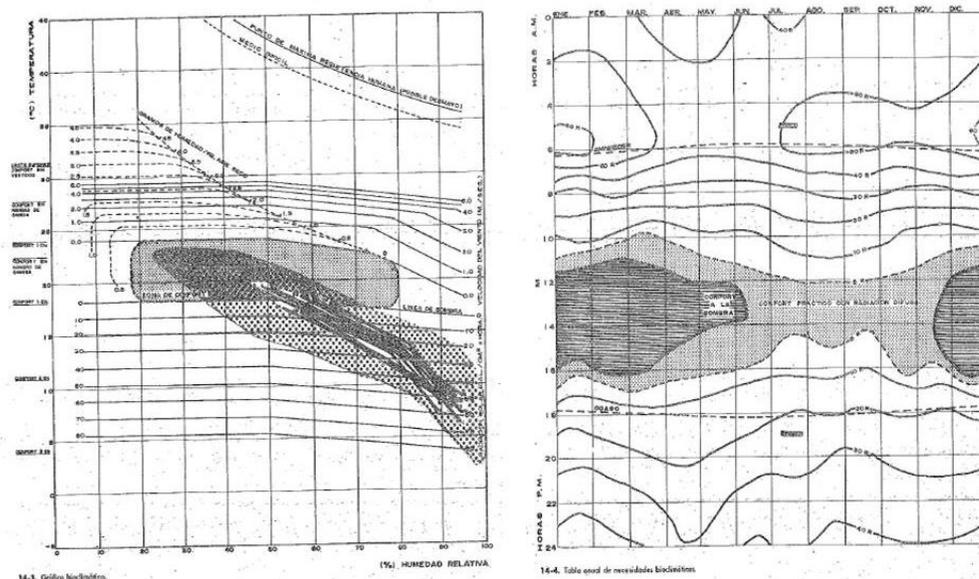


Ilustración 40. Nomograma Higrotermico Olgay

De acuerdo al análisis realizado por Víctor Olgay en su libro *Clima y Arquitectura en Colombia*. Las variaciones anuales de temperatura media en Bogotá son muy pequeñas en comparación con las fluctuaciones diarias. Permaneciendo la mayor parte del tiempo en temperaturas por debajo del confort térmico. Este clima llega a ser confortable al medio día, pero suele llegar a niveles muy fríos en las horas de la madrugada, generalmente cuenta con una humedad relativa en niveles altos entre 70% y 85%, así mismo la pluviosidad varía mucho, aunque cuenta con la constante de 12 horas de sol que aporta entre 4 y 5 Kwh/m<sup>2</sup>.

Según la *Tabla Anual de Necesidades Bioclimáticas de Olgay* la banda de confort para el clima típico de Bogotá, esta aproximadamente entre los 18°C y los 23.5°C.

Indicando, que durante las horas de 6 de la mañana a 6 de la tarde las necesidades promedio son 81.8% con protección contra el viento 18.2% de protección solar, 81.8% de impacto solar (hasta 60 cal por cm<sup>2</sup>/hora) alcanzando confort el 18.2% del tiempo y el 20.2% al tener en cuenta la radiación difusa, lográndose un confort posible total de 38.2% del tiempo.

Como objetivo general por lograr en una región fría templada, recomienda:

Aumentar la producción de calor; Aumentar la absorción de radiación; Disminuir la pérdida de radiación; Reducir la pérdida de calor por conducción y evaporación.

El autor Víctor Olgyay hace las siguientes recomendaciones climáticas y define los criterios a tener en cuenta para un diseño ambientalmente consciente en la ciudad de Bogotá, de acuerdo a sus variables ambientales:

1. Selección de los sitios. Terrenos horizontales o pendientes que reciban el sol de la mañana son benéficos. Las pendientes contrarias son también aceptables pero ofrecen desequilibrio térmico. Para evitar vientos excesivos y lagos de aire frío, se prefiere ubicar a media altura en terrenos pendientes.
2. Tejido Urbano. Se debe proveer protección contra los vientos. Los edificios más altos se pueden agrupar para lograr la detención y desvío de las brisas pero, al mismo tiempo, deben permitir el impacto del sol. Las edificaciones tienden a unirse para evitar la pérdida de calor. El tejido urbano se torna aislado y denso.

3. Espacios Públicos. Las áreas libres deben estar protegidas de los vientos y poseer algunos árboles para protección solar. Debe proveerse protección contra la lluvia.
4. Paisajismo. La variedad topográfica de esta región hace que las calles y los espacios tengan un carácter irregular.
5. Vegetación. Es deseable plantar árboles que actúen como parabrisas en el sentido OSO y ENE. La “sombra” de viento actúa más eficientemente, entre 5 y 7 veces la altura del árbol. Para evitar “empantanamiento”, no debe plantarse vegetación muy densa cerca de la edificación.
6. Tipos de vivienda. En las edificaciones destinadas a vivienda, las casas de un piso ofrecen ventajas si el impacto solar sobre la cubierta puede utilizarse en el interior. En otra forma son recomendables las viviendas en dos pisos o bajo una sola cubierta, para lograr una estructura compacta. Las viviendas en serie o los edificios unidos tienen la ventaja de evitar gran pérdida de calor. En los tipos de edificios con gran número de apartamentos se prefieren disposiciones muy compactas.
7. Plantas. El diseño está determinado principalmente por la forma compacta con un mínimo de superficies expuestas, a excepción de las necesarias para recibir la radiación solar. Es práctico proponer pequeñas terrazas o solárium (como se usan en Suecia, para recibir radiación durante el corto periodo de brillo solar). En los edificios de apartamentos es conveniente localizar todos los servicios comunes bajo un solo techo.

8. Forma, Volumen. Las estructuras deben ser compactas con gran volumen contenido y poca superficie expuesta. El efecto del volumen es muy recomendable. Los edificios alargados sobre el eje norte-sur reciben radiación benéfica.
9. Orientación. Las estructuras ubicadas sobre el eje norte-sur reciben la mayoría de la radiación solar. Este eje, inclinado  $11^\circ$  al este-sur produce una distribución de calor anual más equilibrado y esta menos expuesta al impacto de los vientos. Los edificios de planta cuadrada pero haciendo un giro de  $34^\circ$  con relación a las direcciones cardinales (sentido contrario de las manecillas del reloj) se encuentran en posición equisolar.
10. Calor. Las superficies exteriores deben ser de tonos medios u oscuros para obtener recepción solar más eficaz.
11. Aperturas y ventanas. En esta región, la insolación es la fuente de calor más importante. Las ventanas deben localizarse en donde sean más benéficas. Debido a que el impacto solar sobre la superficie horizontal es seis veces mayor que sobre la superficie sur, las iluminaciones y aperturas en la cubierta son ventajosas, aunque ese impacto produzca desequilibrio térmico. Las aperturas al este y al oeste son eficientes. La ventilación es de importancia secundaria y solo debe proveer cambios de aire.
12. Paredes. Las superficies exteriores, construidas con materiales suaves y no absorbentes son preferibles ya que evitan el paso de la humedad.

13. Cubierta. Este elemento horizontal recibe la mayor carga de radiación. Para guardar el calor son preferibles materiales de baja reflectividad y de baja emisividad hacia el exterior.

Es también recomendable que en la construcción de la cubierta se utilice aislamiento por capacidad que permita la transferencia de calor por radiación, al exterior.

14. Parasoles. No se necesitan parasoles muy elaborados en los edificios a excepción de los que tengan demasiada área de vidrio expuesta. Los excesos de insolación se pueden controlar con elementos internos flexibles y por medio de la ventilación.(OLGYAY, 1910)

## Resultados de Medición de Temperatura y Humedad Relativa Mediante DATA LOGGER

Tabla 13. Comportamiento Térmico, Sala Bruno Violi

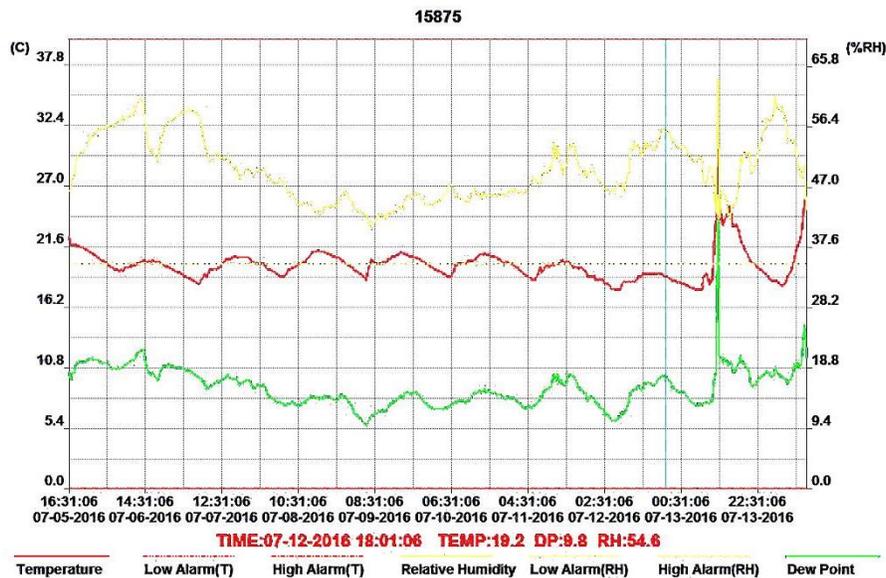
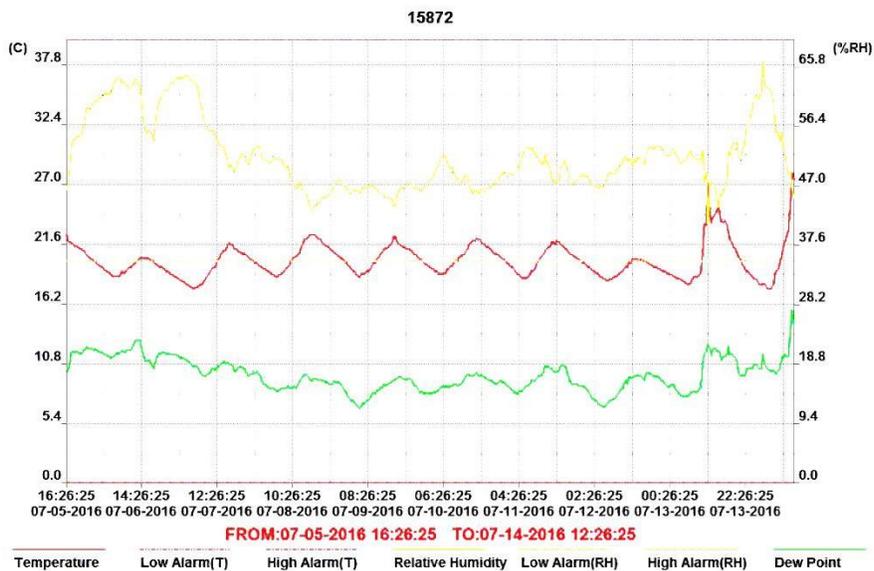


Tabla 14. Comportamiento Térmico, Sala Fernando Martinez



## Climograma de Givoni para el Museo de Arquitectura

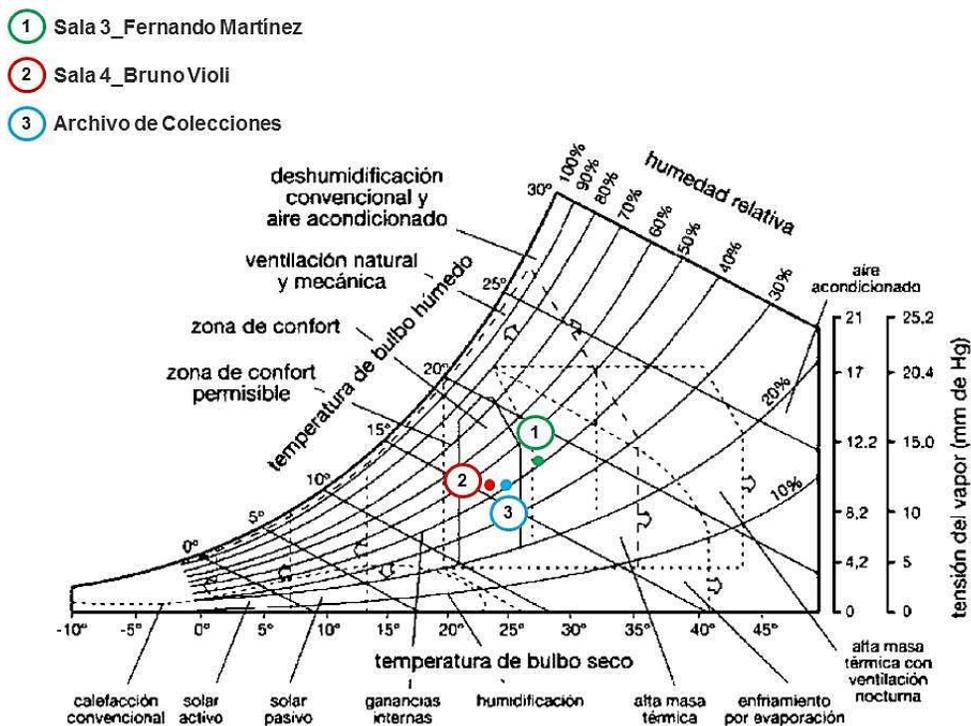


Ilustración 41. Psicograma Givoni, Locales Medidos

### 1. Sala Fernando Martínez

Temperatura: 26.9°C

HR: 41.5%

### 2. Sala Bruno Violi

Temperatura: 23.4°C

HR: 46.9%

### 3. Archivo de Colecciones de Arquitectura

Temperatura: 25.9°C

HR: 41.4%

De acuerdo al Psicrograma de Givoni, las condiciones térmicas de las tres zonas evaluadas arrojan que, dos de las zonas medidas: Sala de Conferencias y Archivo de Colecciones se encuentran en estado de confort térmico, dado que las temperaturas oscilan entre los 23°C y los 26°C con posibilidad de refrescamiento gracias a la ventilación natural que ingresa por el costado sur-occidental, mientras que la temperatura en el Salón de Exposiciones es de 27°C y no cuenta con buena ventilación natural dadas las características de sus ventanas tipo vitrobloc. Para este caso, el Psicrograma de Givoni, sugiere la refrigeración por alta masa térmica.

### **Condiciones de Confort Según PMV (Predicted Mean Vote Iso 7730-1993)**

El método Fanger para la valoración del confort térmico, fue propuesto en 1973 por P.O. Fanger, en la publicación *Thermal Comfort* (New York, McGraw- Hill, 1973). Este método es en la actualidad uno de los más utilizados para la estimación del confort térmico.

A partir de la información relativa a la vestimenta, la tasa metabólica, la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad relativa del aire y la humedad relativa o la presión parcial del vapor de agua, el método calcula dos índices denominados Voto medio estimado (PMV- predicted mean vote) y porcentaje de personas insatisfechas (PPD- predicted porcentaje dissatisfied), valores ambos, que aportan información clara y concisa sobre el ambiente térmico al evaluador.

El voto medio estimado es un índice que refleja el valor de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles (frio, fresco,

ligeramente fresco, neutro, ligeramente caluroso, caluroso, muy caluroso), basados en el equilibrio térmico del cuerpo humano (la producción interna de calor del cuerpo es igual a su pérdida hacia el ambiente).

El equilibrio térmico depende de la actividad física, de la vestimenta, y de parámetros ambientales.

El voto medio estimado predice el valor medio de la sensación térmica. No obstante, los votos individuales se distribuirán alrededor de dicho valor medio, por lo que resulta útil estimar el porcentaje de personas insatisfechas por notar demasiado frío o calor, es decir aquellas personas que considerarían la sensación térmica provocada por el entorno como desagradable.

### **Aplicación del método Fanger en el Museo de Arquitectura Leopoldo Rother**

El método está especialmente diseñado para el estudio de condiciones ambientales estacionarias, aunque resulte de buena aproximación ante pequeñas variaciones de las condiciones en estudio utilizando en este caso valores medios ponderados en el tiempo.

1. Aislamiento de la ropa: El valor del aislamiento térmico proporcionado por la ropa puede estimarse mediante la tabla ISO 7730, ISO 9920. Esta tabla permite el cálculo a partir de combinaciones habituales de vestimenta.

Tipo de ropa	Aislamiento (clo.)
Desnudo	0 clo.
Ropa Ligera (ropa de verano)	0,5 clo.
Ropa Media (traie completo)	1 clo.
Ropa Pesada (uniforme militar de invierno)	1,5 clo.

Ilustración 42. Tipo de Ropa, PMV. Tomado de Publicación, McGraw Hill, 1973

Para la obtención del voto medio estimado se requiere el valor del aislamiento de la ropa medido en  $m^2K/W$ , si se dispone de la medida en unidades clo, se aplicara la siguiente conversión  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2K/W$

2. Tasa Metabólica: En ella se mide el gasto energético muscular que experimenta el trabajador cuando desarrolla una tarea, gran parte de dicha energía es transformada directamente en calor. Aproximadamente solo el 25% de la energía es aprovechada en realizar el trabajo, el resto se convierte en calor.
- 3.

CLASE	Tasa metabólica en $W/m^2$	EJEMPLOS DE ACTIVIDADES
Descanso	65	Descansando, sentado cómodamente.
Tasa metabólica baja	100	Escribir, teclear, dibujar, coser, anotar contabilidad, manejo de herramientas pequeñas, caminar sin prisa ( velocidad hasta 2,5 Km./h)
Tasa metabólica moderada	165	clavar clavos, limar, conducción de camiones, tractores o máquinas de obras, caminar a una velocidad de 2,5 Km./h hasta 5,5 Km./h.
Tasa metabólica alta	230	Trabajo intenso con brazos y tronco, transporte de materiales pesados, Pedalear, empleo de sierra, caminar a una velocidad de 5,5 Km./h hasta 7 Km./h.
Tasa metabólica muy alta	260	Actividad muy intensa a ritmo de muy rápido a máximo, trabajo con hacha, cavado o pelado intenso, subir escaleras, caminar a una velocidad superior a 7 Km./h.

Ilustración 43. tasa Metabólica, PMV. Tomado de Publicación McGraw Hill, 1973

Para el cálculo del voto medio estimado la tasa metabólica deberá estar medida en  $W/m^2$ , si se dispone de la medida en unidades met. Se aplicara la siguiente conversión  $1 \text{ met} = 58,15 \text{ W}/m^2$ .

4. Cálculo del PMV: -1.14 (-3 frío a +3 caliente)

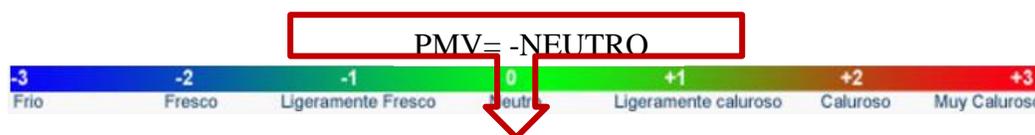
5. Cálculo del PPD: 32.5%

6. Análisis de los resultados

El valor obtenido de PMV se compara con la siguiente escala de sensación térmica organizada en siete niveles, con el fin de determinar la sensación térmica global percibida por la mayoría de las personas del Museo de Arquitectura.

Rango de valores	Sensación térmica
+3	Muy caluroso
+2	Caluroso
+1	Ligeramente caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresco
-3	Frio

Ilustración 44. Rango Sensación Térmica, PMV. Tomado de Publicación McGraw Hill, 1973



El valor obtenido de PPD se analiza en porcentaje, son aquellos votos dispersos alrededor del valor medio obtenido, que representa a las personas que considerarían la condición térmica como desagradable

## Calculo de PMV y PPD para la Sala No. 3\_Fernando Martínez

Características del Ambiente según Medición del 5 de Julio de 2016.

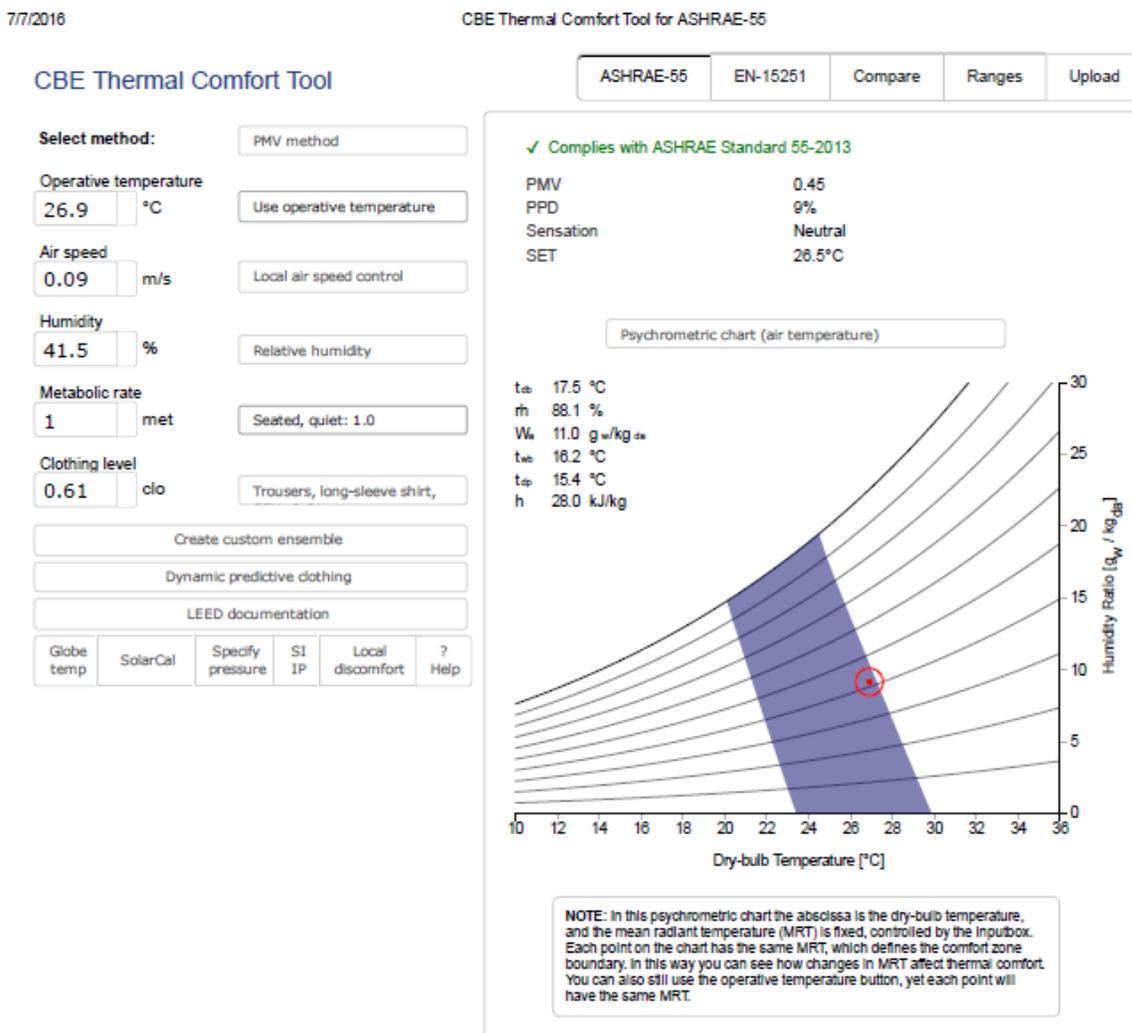
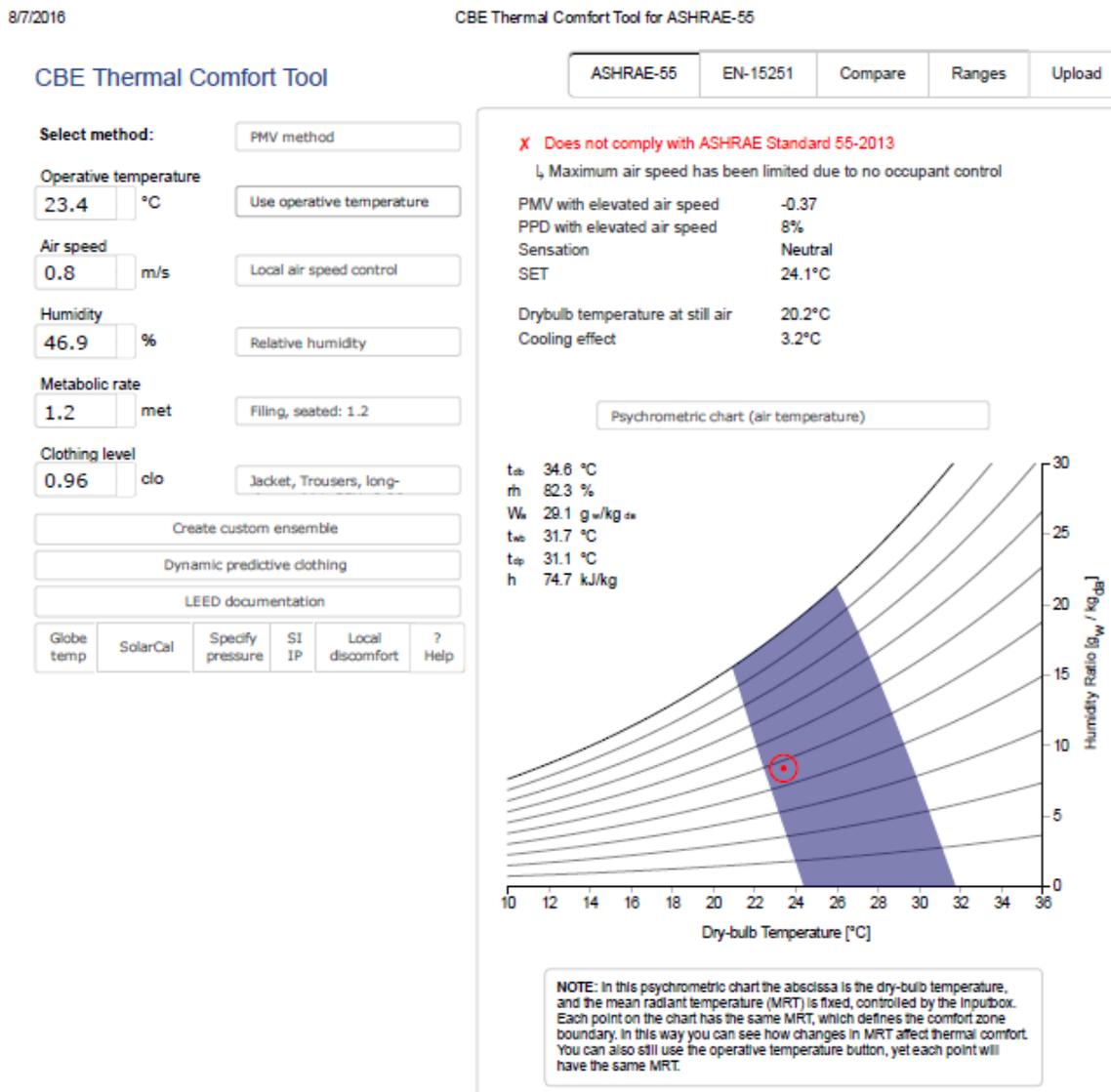


Ilustración 45. CBE Thermal Comfort, Sala 3 Fernando Martinez

El valor del voto estimado PMV pertenece al rango de valores comprendidos entre 0 a +1, reflejando una sensación térmica de 26.5°C en un rango neutral, no confortable para el 9% de las personas que trabajan y visitan el Museo de Arquitectura.

## Calculo de PMV y PPD para la Sala de Conferencias No. 4 \_Bruno Violi

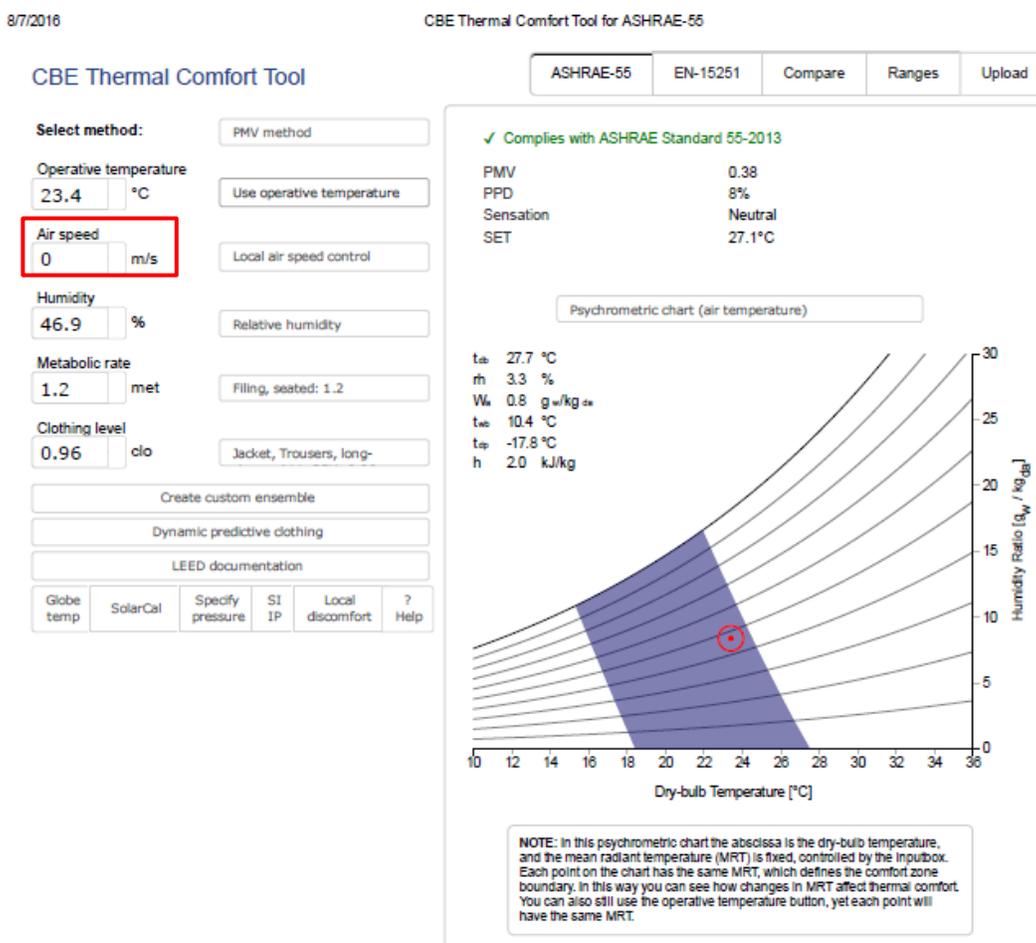
Características del Ambiente según Medición del 5 de Julio de 2016.



El valor del voto estimado PMV pertenece al rango de valores comprendidos entre 0 a -1, reflejando una sensación neutral, no confortable para el 8% de las personas que trabajan y asisten a las conferencias en el Museo de Arquitectura.

De acuerdo a la simulación del CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE Standard 55-2013, la Sala para Conferencias Bruno Violi, no estaría cumpliendo con los parámetros del ASHRAE, por la elevada velocidad del aire. Pero teniendo en cuenta, que el valor de la velocidad del viento corresponde al promedio de medición con las ventanas abiertas se recomienda mantener muy pocas ventanas abiertas para obtener confort térmico al interior del espacio.

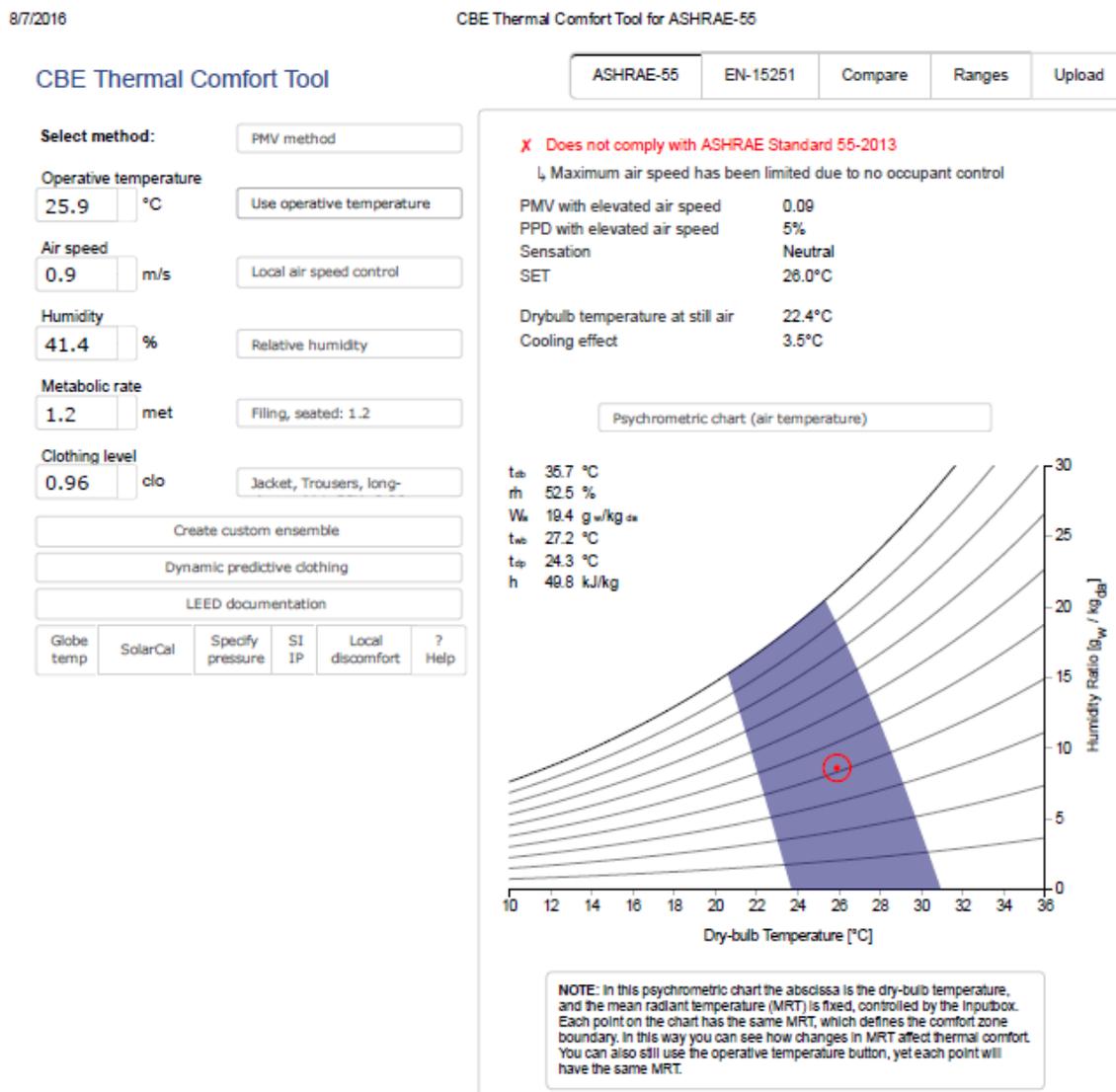
El siguiente Climograma muestra la simulación para la Sala de Conferencias con las ventanas totalmente cerradas:



El valor del voto estimado PMV pertenece al rango de valores comprendidos entre 0 a +1, y su valor ascendente indica que la sensación térmica al interior del espacio mejora reflejando una temperatura de 27.1°C manteniendo el rango neutral, no confortable para el 8% de las personas que trabajan y asisten a las conferencias del Museo de Arquitectura.

## Calculo de PMV y PPD para Archivo de Colecciones de Arquitectura

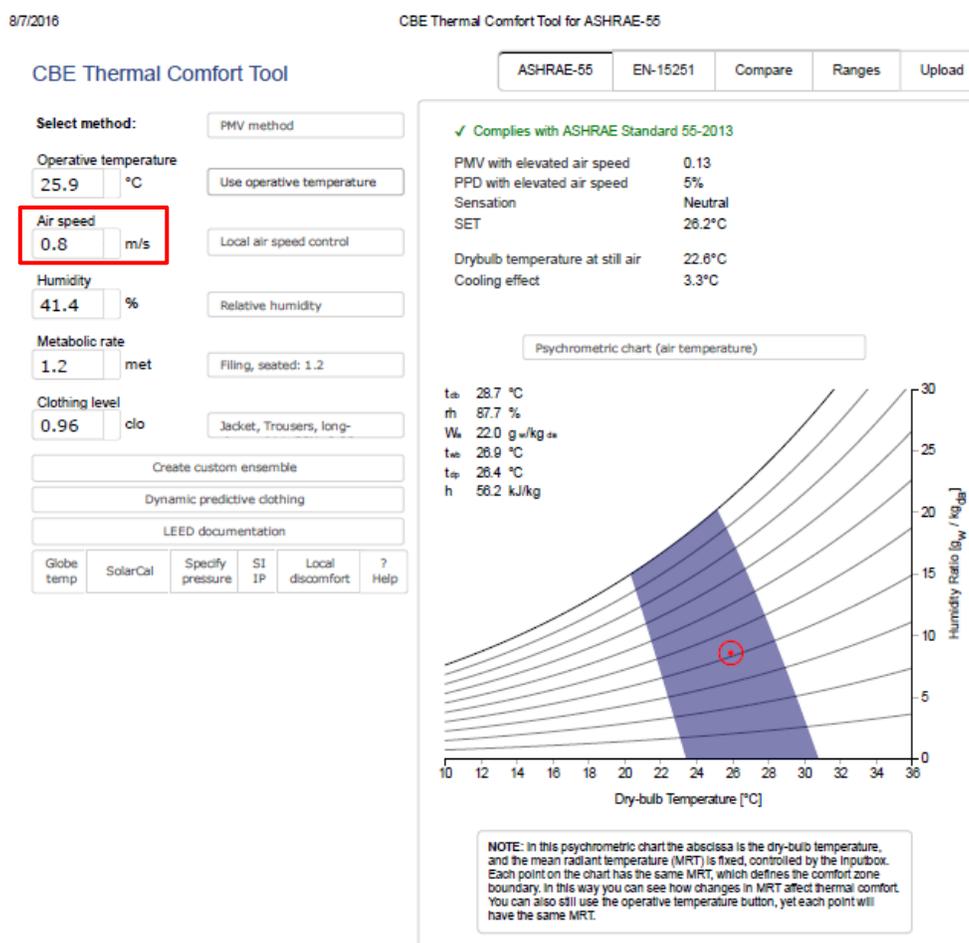
Características del Ambiente según Medición del 7 de Julio de 2016.



El valor del voto estimado PMV pertenece al rango de valores comprendidos entre 0 a +1, reflejando una sensación neutral, no confortable para el 5% de las personas que trabajan y visitan el Archivo de Colecciones del Museo de Arquitectura

De acuerdo a la simulación del CBE Thermal Comfort Tool for ASHRAE Standard 55-2013, el Archivo de Colecciones no estaría cumpliendo con los parámetros del ASHRAE, por la elevada velocidad del aire. Pero teniendo en cuenta, que el valor de la velocidad del viento corresponde al promedio de la medición de las ventanas abiertas se recomienda, mantener pocas ventanas abiertas para mejorar el confort térmico al interior.

El siguiente Climograma muestra la simulación para Archivo con menos ventanas abiertas



El valor del voto estimado PMV pertenece al rango de valores comprendidos entre 0 a +1, su valor ascendente indica que la sensación térmica al interior del espacio aumenta la temperatura a 26.2°C manteniendo el rango neutral, no confortable para el 5% de las personas que trabajan y visitan el Archivo de Colecciones del Museo de Arquitectura.

## Confort Lumínico: Rango de Luxes Exigidos

### RETILAP\_ Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

Resolución 180540 del 30 Marzo de 2010

- ① Sala 3\_Fernando Martínez
- ② Sala 4\_Bruno Violi
- ③ Archivo de Colecciones

### Parámetro de Iluminación Exigida por Retilap

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR L	NIVELES DE ILUMINANCIA (LX)		
		MINIMO	MEDIO	MAXIMO
<b>COLEGIOS Y CENTROS EDUCATIVOS</b>				
<b>SALONES DE CLASES</b>				
ILUMINACION GENERAL	19	300	500	750
TABLERO	19	300	500	750
ELABORACION DE PLANOS	16	500	750	1000
<b>SALA DE CONFERENCIAS</b>				
ILUMINACION GENERAL	22	300	500	750
TABLEROS	19	500	750	1000
BANCOS DE DEMOSTRACION	19	500	750	1000
LABORATORIOS	19	300	500	750
SALAS DE ARTE	19	300	500	750
TALLERES	19	300	500	750
SALAS DE ASAMBLEA	22	150	200	300
<b>OFICINAS</b>				
OFICINAS DE TIPO GENERAL Y COMPUTACION	22	300	500	750
OFICINAS ABIERTAS	19	500	750	1000
OFICINAS DE DIBUJO	19	500	750	1000
SALA DE CONFERENCIAS	19	300	500	750

Ilustración 46. Índice UGR Máximo y Niveles de Iluminación exigibles para diferentes áreas y actividades.

Fuente para UGR, Norma UNE EN 12464-1 de 2003

En los lugares de trabajo se debe asegurar el cumplimiento de los niveles de iluminación de la tabla anterior, por ello, dichos valores deben considerarse como el objetivo de diseño y como referencia para la medición de un proyecto, por lo tanto en ningún momento la iluminación promedio de un proyecto, no podrá ser superior a los niveles máximos permitidos en la tabla, ni por debajo del mínimo valor establecido.

También se deben tener en cuenta, los máximos valores establecidos para el deslumbramiento en la referencia UGRL

En la tabla del coeficiente de luz diurna se establecen los valores medios para la realización de tareas en función de su dificultad visual en locales de trabajo. Valores que deberán ser aplicados por los diseñadores tanto de iluminación como de los responsables del dimensionamiento y construcción de ventanas, claraboyas y similares.

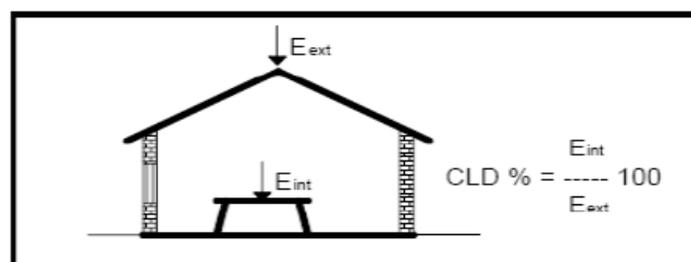


Ilustración 47. Coeficiente de Luz Diurna. Fuente Retilap

#### Continuación Anexo General del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

CLD en edificaciones no residenciales		CLD en edificaciones residenciales	
Fábricas	5	Alcobas a $\frac{1}{4}$ del ancho del recinto	0,5
Oficinas	2	Cocina en la mitad del ancho del recinto	2
Salones de Clase	2	Sala en la mitad del ancho del recinto	1
Hospitales	1		

Ilustración 48. Valores mínimos de Coeficiente de Luz Diurna (CLD). Fuente, Retilap

## I. Categorías y valores de iluminancia para tipos genéricos de actividades en interiores

Tipo de actividad	Categoría de iluminancia	Rangos de iluminancia		Plano de trabajo de referencia
		Luxes	Pies candela	
		Espacios públicos con alrededores oscuros. Orientación simple para visitas temporales cortas.	A	
	B	50-75-100	5-7.5-10	
Espacios de trabajo donde las tareas visuales se realizan sólo ocasionalmente	C	100-150-200	10-15-20	
Realización de tareas visuales de alto contraste o gran tamaño	D	200-300-500	20-30-50	
Realización de tareas visuales de contraste medio o tamaño pequeño	E	500-750-1000	50-75-100	Iluminación sobre trabajo
Realización de tareas visuales de bajo contraste y tamaño muy pequeño	F	1000-1500-2000	100-150-200	
Realización de tareas visuales de bajo contraste y tamaño muy pequeño por un periodo prolongado	G	2000-3000-5000	200-300-500	Iluminancia sobre el trabajo obtenida por una combinación (iluminación suplementaria general y local

## Ilustración 49. Categoría y Valores de Iluminancia para Superficies de Trabajo

## Iluminación Museo de Arquitectura, Medición del 5 de Julio de 2016.

Tabla 15. Medición de Iluminación, Sala Fernando Martinez

FECHA: 05 DE JULIO DE 2016  
HORA DE INICIO: 15:29 EQUIPO USADO: LT LUTRON LM-8000A  
LUGAR: MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER HORA DE FIN: 15:45

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	LECTURA NO.	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	NIVEL DE ILUMINACIÓN EXTERNA (LUX)	NIVEL DE ILUMINACIÓN INTERNA (LUX)	COEFICIENTE DE LUZ NATURAL (%)
SALA 3 FERNANDO MARTINEZ	1	1	17340	535	3%
	2	1		438	3%
	3	1		441	3%
	4	1	7580	312	4%
	5	1		407	5%
	6	1		673	9%
	7	1	6900	413	6%
	8	1		770	11%
	9	1		625	3%
			<b>513.8</b>	<b>6%</b>	

**NIVEL MEDIO EXIGIDO**

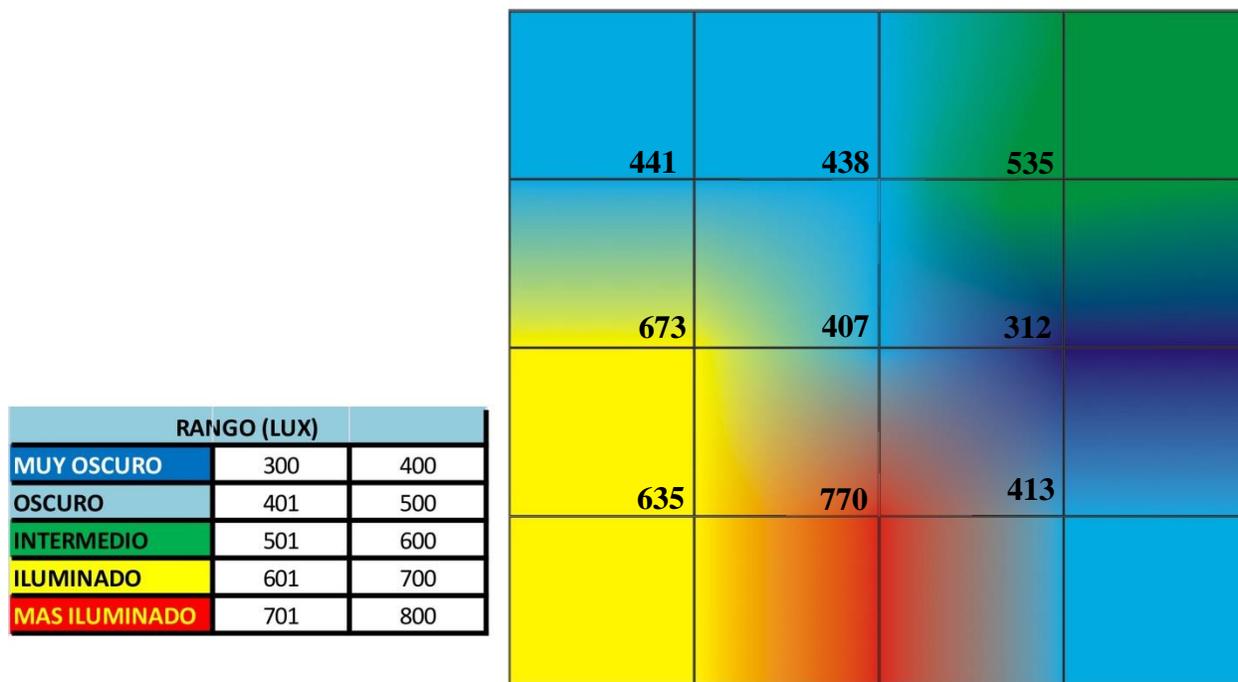


Ilustración 50. Luxometría Sala Fernando Martínez



Ilustración 51. Iluminación Existente y Mejorada para la Galería de Arte

Se sugiere reforzar la iluminación artificial en las áreas en las que, la medición lumínica de la galería, arroja luxes por debajo del mínimo exigido por la Norma Retilap de 300 luxes, teniendo en cuenta que para superficies verticales, como, tablero y exhibición los niveles de exigidos son mayores

Tabla 16. Medición de Iluminación, Sala Bruno Violi

FECHA: 05 DE JULIO DE 2016  
 HORA DE INICIO: 16:30 EQUIPO USADO: LT LUTRON LM-8000A  
 LUGAR: MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER HORA DE FIN: 16:39

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	LECTURA NO.	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	NIVEL DE ILUMINACIÓN EXTERNA (LUX)	NIVEL DE ILUMINACIÓN INTERNA (LUX)	COEFICIENTE DE LUZ NATURAL (%)
SALA BRUNO VIOLI	1	0.8	12074	107	0.9%
	2	0.8		146	1.2%
	3	0.8		92	0.8%
	4	0.8	11071	46	0.4%
	5	0.8		67	0.6%
	6	0.8		53	0.5%
				85.2	0.7%

**NIVEL INFERIOR AL MINIMO EXIGIDO**

RANGO (LUX)		
MUY OSCURO	0	25
OSCURO	26	50
INTERMEDIO	51	75
ILUMINADO	76	100
MAS ILUMINADO	101	150

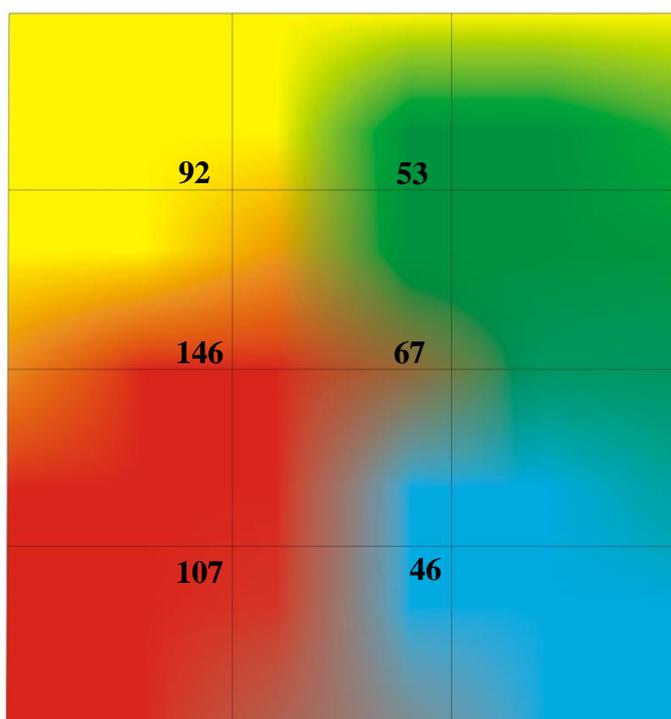


Ilustración 52. Luxómetro Sala Bruno Violi

Tabla 17. Medición de Iluminación, Archivo de Colecciones de Arquitectura

FECHA: 05 DE JULIO DE 2016  
 HORA DE INICIO: 16:13 EQUIPO USADO: LT LUTRON LM-8000A  
 LUGAR: MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER HORA DE FIN:

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	LECTURA NO.	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	NIVEL DE ILUMINACIÓN EXTERNA (LUX)	NIVEL DE ILUMINACIÓN INTERNA (LUX)	COEFICIENTE DE LUZ NATURAL (%)
ARCHIVO DE COLECCIONES DE ARQUITECTURA	1	0.59	5840	1040	18%
	2	0.59	5380	1312	24%
	3	0.59	6520	1180	18%
	4	0.59	6740	901	13%
	5	0.59		620	9%
	6	0.59		696	10%
	7	0.59		370	5%
	8	0.59		304	5%
	9	0.59		7650	411
	10	0.59	4930	99	2%
				693.3	11%

**NIVEL MEDIO EXIGIDO**

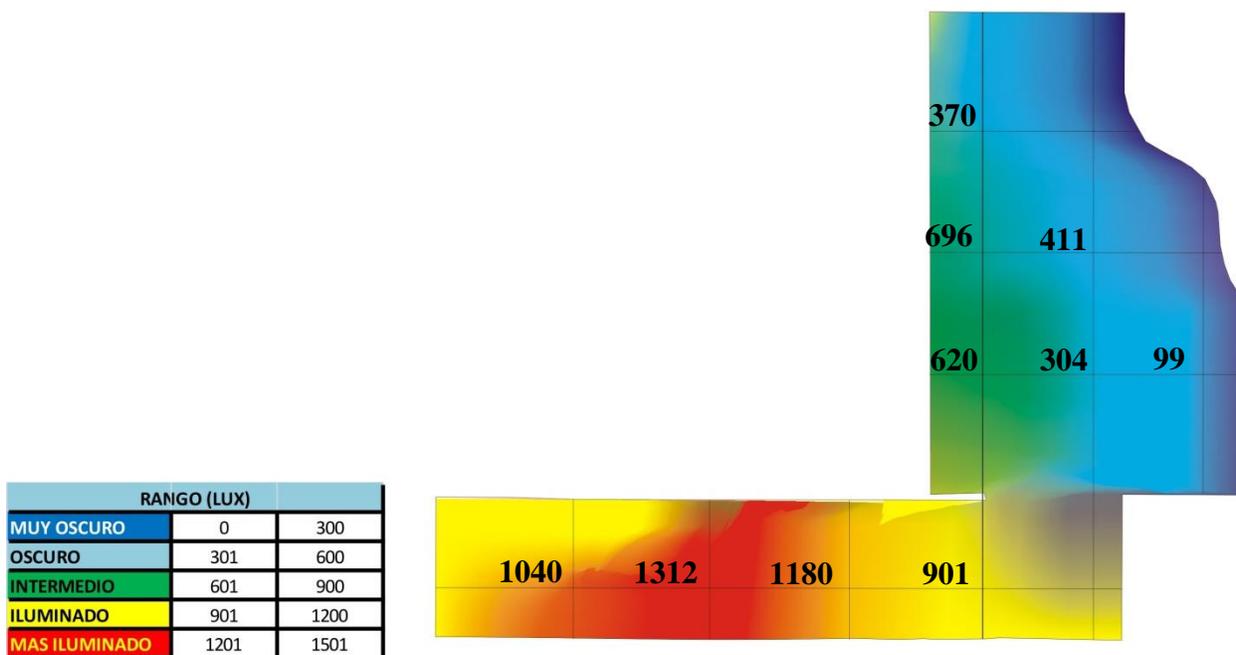


Ilustración 53. Luxómetro del Archivo de Colecciones



Ilustración 54. Iluminación Museo de Arquitectura, a las 5 de la Tarde.

## Calidad de Aire: Caudal Mínimo de Ventilación

ASHRAE 62.1 de 2007

Cuadro de metros cuadrados y usuarios por espacio

Tabla 18. Área y Capacidad Locales Analizados

<b>MUSEO DE ARQUITECTURA</b>			
<b>LOCAL</b>	<b>M2</b>	<b>CAPACIDAD</b>	<b>HORARIOS</b>
SALA 3_FERNANDO MARTINEZ	161.45	10	8:00 - 19:00
SALA 4_BRUNO VIOLI	92.15	90	8:00 - 19:00
ARCHIVO DE COLECCIONES	85.78	2	8:00 - 19:00

Calculo de Caudal permitido por la norma internacional para los espacios analizados en el Museo de Arquitectura.

Tabla 19. Calculo Caudal Standard ASHRAE 62.1 -2007, Tabla 6.1

<b>CALCULO DE CAUDAL _STANDARD ASHRAE 62.1 DE 2007_ TABLA 6.1</b>					
<b>USO</b>	<b>cfm/person</b>	<b>cfm/ft2</b>	<b>ft2</b>	<b>Q (ft2)</b>	<b>Q (m3/h)</b>
GALERIA	7.5	0.06	1743.66	179.62	303.56
SALON DE CLASES	7.5	0.06	995.22	734.71	1241.67
OFICINA	5	0.06	926.424	65.59	110.84

Resultados de los Caudales de Aire en m3/h medidos por cada espacio.

Tabla 20. Resultados de Caudales (Q) por Local

<b>CAUDALES MUSEO DE ARQUITECTURA</b>	
<b>LOCAL</b>	<b>Q</b>
SALA 3_FERNANDO MARTINEZ	49,93 <b>NO CUMPLE</b>
SALA 4_BRUNO VIOLI	1126,08 <b>NO CUMPLE</b>
ARCHIVO DE COLECCIÓN	513,81 <b>CUMPLE</b>

Los caudales de aire medidos en el Museo de Arquitectura, no cumplen los estándares mínimos permitidos en ASHRAE, en la Tabla 6.1, para las áreas de la Sala Fernando Martínez y la Sala Bruno Violi, lo que indica que al interior de los espacios el aire se encuentra contaminado y afecta la salud de sus ocupantes, es necesario generar aire sano para garantizar la calidad de aire, por lo tanto, se recomienda mejorar el nivel de la ventilación de cada espacio.

Para la Sala Fernando Martínez y la Sala Bruno Violi, se debe implementar una mejora en la carpintería metálica existente, dado que se conserva la ventanería original, diseñada por el arquitecto, para dejar entrar la luz a través de bloques de vidrio conocidos también como vitrobloc, ventanas que no permiten la ventilación natural, tal como se evidencia en las imágenes.

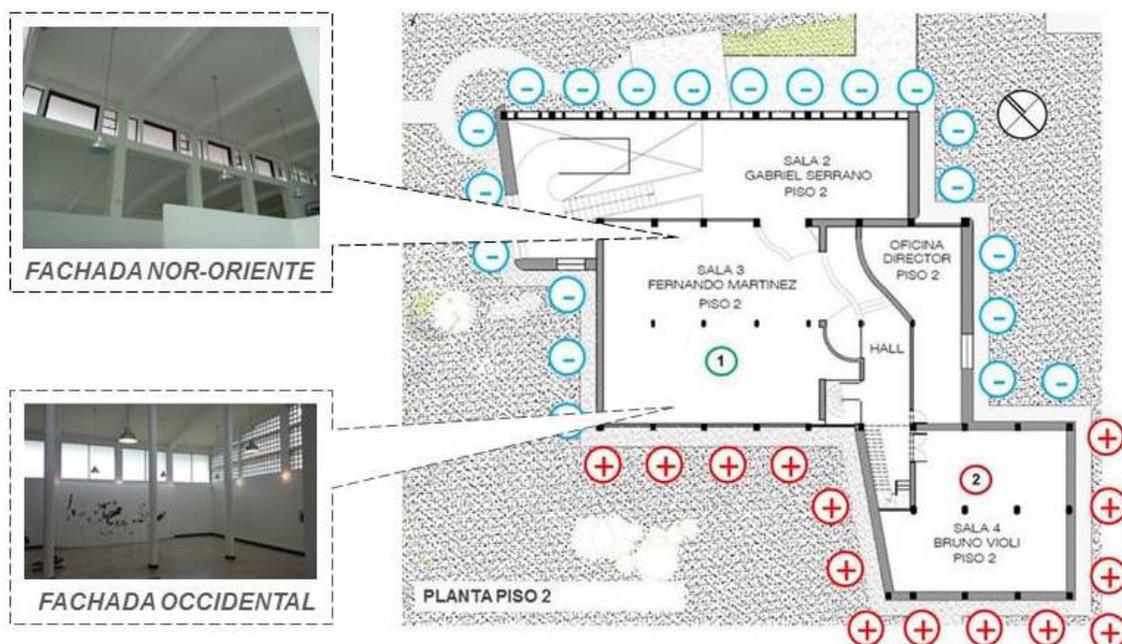


Ilustración 55. Ventilación Sala 3, Fernando Martínez, Galería de Exhibición

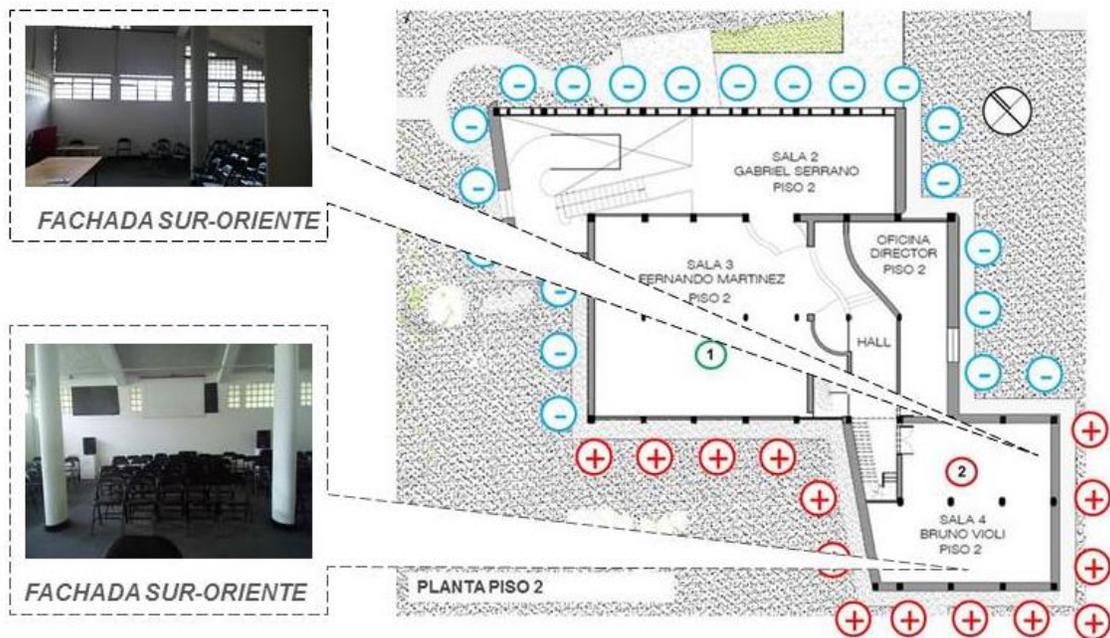


Ilustración 56. Ventilación Sala 4, Bruno Violi, Conferencias

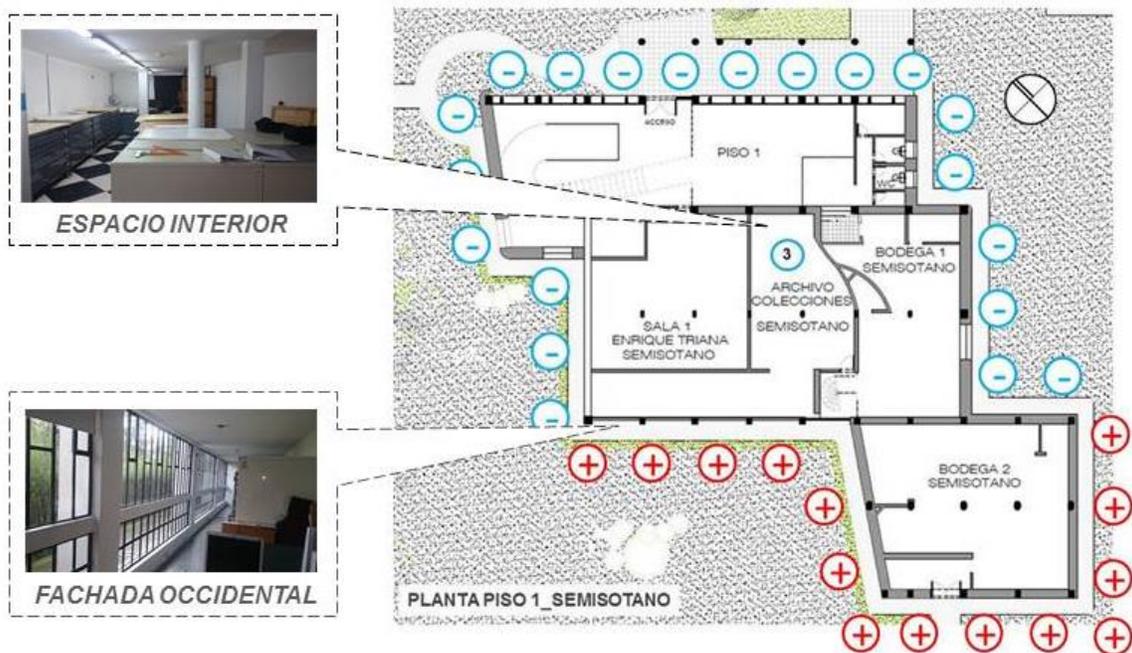
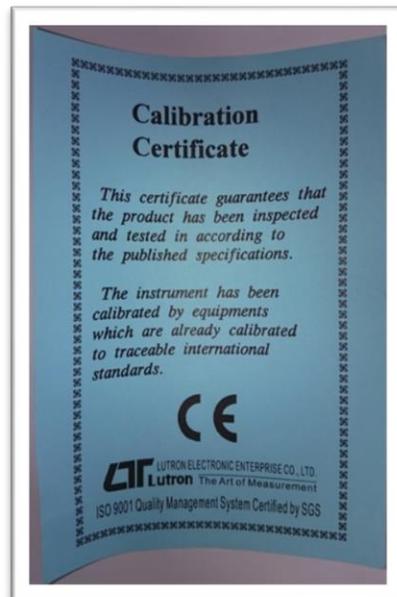
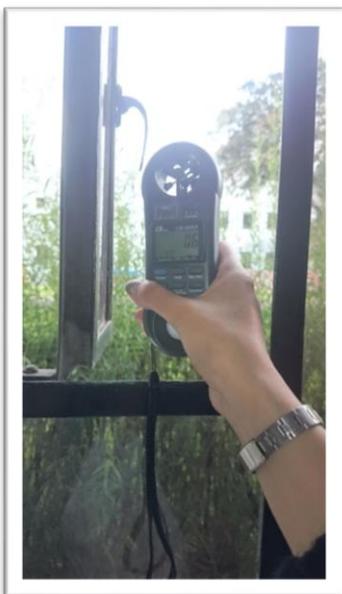


Ilustración 57. Ventilación Archivo de Colecciones de Arquitectura

Anemómetro Marca Lutron LM-8000<sup>a</sup> utilizado para las respectivas mediciones y certificado de calibración Producto Lutron, ISO 9001 Quality Management System Certified by SGS



FASE 3  
CONCLUYENTE

**DIAGNOSTICO BIOCLIMATICO MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO  
ROTHER.**

Tabla 21. Diagnostico Bioclimático Museo de Arquitectura LR. UNAL.

DIAGNOSTICO BIOCLIMATICO EDIFICIO MEDIDO				
CRITERIOS MEDICION	ESTANDAR INTERNACIONAL	MUSEO DE ARQUITECTURA		
		SALA FERNANDO MARTINEZ	SALA BRUNO VIOLI	ARCHIVO DE COLECCIONES
CONFORT TERMICO				
	METODO GIVONI	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
	METODO FANGER PMV_ASHRAE 55-2013	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
CONFORT LUMINICO				
	RETILAP	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
CALIDAD DE AIRE				
	ASHRAE 62.1-2007	NO CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE
	RECOMENDACIONES	REFRIGERACION (VENTILACION NATURAL)	REFRIGERACION E ILUMINACION ARTIFICIAL	

Una vez realizadas las mediciones in situ se obtienen los siguientes resultados:

La temperatura y la HR interior promedio, en los tres espacios analizados fue de 25.4°C con una HR de 43.2%, clasificando el Museo en zona de confort con sensación térmica neutral con un promedio en el rango de personas insatisfechas del 7.33% inferior al 10% permitido en la norma.

La iluminación en términos generales cumplió con los parámetros internacionales, pero la Sala Bruno Violi, debe mejorar las condiciones de iluminación artificial a pesar de ser un espacio que funciona como sala de proyecciones con video beam para la maestría de Teoría e Historia de la Arquitectura.

La calidad de aire es un aspecto que requiere ser atendido de inmediato, por no tener condiciones salubres para los que trabajan y visitan el Museo, por ello la principal intervención sería el cambio de la carpintería metálica existente por una de tipo abatible, que pueda cerrarse durante la noche para no generar humedad en los archivos de colección ni en la galería de arte

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ROTHER Hans, 1984, *Arquitecto Leopoldo Rother, Vida y Obra*, Editorial Fondo Editorial ESCALA.
- SAMPER MARTINEZ Eduardo, 2000, *Arquitectura Moderna en Colombia, Época de Oro*, Ediciones Diego Samper.
- ROTHER Leopoldo, 1970, *Tratado de Diseño Arquitectónico*, Edic. Universidad Nacional de Colombia.
- ARANGO, Silvia, 1989, *Historia de la Arquitectura en Colombia*, Centro Editorial y Facultad de Artes Universidad Nacional de Colombia.
- OLGAYAY Víctor, 1910, *Arquitectura y Clima*, Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas, Edic. FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNIVERSIDAD DEL VALLE, Colombia, Año 1998.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [www.ideam.gov.co/](http://www.ideam.gov.co/) / [www.pronosticosyalertas.gov.co](http://www.pronosticosyalertas.gov.co)
- (IDEAM. Estudio de la Caracterización Climática De Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo. Bogotá D.C., 2007.)
- CZAJKOWSKI, Jorge y GÓMEZ, Analía. 1991. *Introducción al diseño bioclimático y la economía energética edilicia*. Edic. FAU-UNLP. La Plata, Argentina.
- COSTA, Carlos & HENRÍQUEZ Max. 2005, Atlas Climatológico Nacional, IDEAM, Bogotá.
- Museo De Arquitectura Leopoldo Rother, Universidad Nacional De Colombia Sede Bogotá [www.museos.unal.edu.co](http://www.museos.unal.edu.co)
- Centro virtual de Noticias [www.mineduccion.gov.co](http://www.mineduccion.gov.co)

- Método de Evaluación Fanger, Universidad Politécnica de Valencia, España  
[www.ergonautas.upv.es](http://www.ergonautas.upv.es)
- CBE Thermal Comfort Tool  
<http://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- IRAM 11507-4, Norma Argentina
- DIAGRAMA DE GIVONI BOGOTA, Tomado de presentación corporativa: PVG Arquitectos S.A.S. Medellín Colombia, Año 2015
- MORILLON GALVEZ David y MEJIA DOMINGUEZ David, 2004, Modelo para Diseño y Evaluación del Control Solar en Edificios, Serie Investigación y Desarrollo, Instituto de Ingeniería UNAM.
- PRECIADO OLVERA Oscar Ulises y MORILLON GALVEZ David, Programa Cálculo de Trayectoria y Control Solar. Instituto de Ingeniería UNAM,
- THE CONCRETE CENTRE, 2008, Reino Unido. Publicación: Hormigón para Edificios Energéticamente Eficientes, Beneficios de la Inercia Térmica, Plataforma Tecnológica Española.
- FOTOGRAFIAS MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER  
Tomadas del archivo personal de BARRETO Norma y QUIROGA Olga Lucia  
Año 2016

## ANEXOS

## PLANILLAS DE MEDICION EN CAMPO

FECHA: 05 DE JULIO DE 2016  
 HORA DE INICIO: 16:30 EQUIPO USADO: LT LUTRON LM-8000A  
 LUGAR: MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER HORA DE FIN: 16:39

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	LECTURA NO.	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	NIVEL DE ILUMINACIÓN EXTERNA (LUX)	NIVEL DE ILUMINACIÓN INTERNA (LUX)	COEFICIENTE DE LUZ NATURAL (%)	HORA DE TOMA DE MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	*HR (%)
SALA BRUNO VIOLI	1	0.8	12074	107	0.9%	16:30:00	23.1	53.3
	2	0.8		146	1.2%	16:31:00	23.2	48.9
	3	0.8		92	0.8%	16:32:00	23.4	45.7
	4	0.8	11071	46	0.4%	16:37:00	23.5	44.3
	5	0.8		67	0.6%	16:38:00	23.5	44.5
	6	0.8		53	0.5%	16:39:00	23.6	44.5
			85.2	0.7%	PROMEDIO	23.4	46.9	

## MEDICIÓN DEL VIENTO

VENTANA 1					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	1	0.64	0.6	0.384	0.2496
20	0.7	0.64	0.6	0.384	0.2496
30	0	0.64	0.6	0.384	0.2496
40	0.6	0.64	0.6	0.384	0.2496
50	1.1	0.64	0.6	0.384	0.2496
60	0.5	0.64	0.6	0.384	0.2496
PROMEDIO	0.65				

VENTANA 2					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.7	0.64	0.6	0.384	0.2688
20	0.5	0.64	0.6	0.384	0.2688
30	0.7	0.64	0.6	0.384	0.2688
40	1	0.64	0.6	0.384	0.2688
50	0.9	0.64	0.6	0.384	0.2688
60	0.4	0.64	0.6	0.384	0.2688
PROMEDIO	0.7				

VENTANA 3					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.64	0.6	0.384	0.2112
20	0.9	0.64	0.6	0.384	0.2112
30	0.7	0.64	0.6	0.384	0.2112
40	0.8	0.64	0.6	0.384	0.2112
50	0.5	0.64	0.6	0.384	0.2112
60	0.4	0.64	0.6	0.384	0.2112
PROMEDIO	0.55				

VENTANA 4					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.6	0.64	0.6	0.384	0.3136
20	1.1	0.64	0.6	0.384	0.3136
30	1.2	0.64	0.6	0.384	0.3136
40	1	0.64	0.6	0.384	0.3136
50	0.7	0.64	0.6	0.384	0.3136
60	0.3	0.64	0.6	0.384	0.3136
PROMEDIO	0.8166667				

VENTANA 5					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.64	0.6	0.384	0.3264
20	0.8	0.64	0.6	0.384	0.3264
30	1	0.64	0.6	0.384	0.3264
40	1.2	0.64	0.6	0.384	0.3264
50	1.1	0.64	0.6	0.384	0.3264
60	1	0.64	0.6	0.384	0.3264
PROMEDIO	0.85				

VENTANA 6					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	1	0.64	0.6	0.384	0.16
20	0.7	0.64	0.6	0.384	0.16
30	0.4	0.64	0.6	0.384	0.16
40	0	0.64	0.6	0.384	0.16
50	0.4	0.64	0.6	0.384	0.16
60	0	0.64	0.6	0.384	0.16
PROMEDIO	0.4166667				

VENTANA 7					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.64	0.6	0.384	0.3072
20	0	0.64	0.6	0.384	0.3072
30	0.7	0.64	0.6	0.384	0.3072
40	1.2	0.64	0.6	0.384	0.3072
50	1.3	0.64	0.6	0.384	0.3072
60	1.6	0.64	0.6	0.384	0.3072
PROMEDIO	0.8				

VENTANA 8					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	1.7	0.64	0.6	0.384	0.6656
20	1.9	0.64	0.6	0.384	0.6656
30	2	0.64	0.6	0.384	0.6656
40	1.8	0.64	0.6	0.384	0.6656
50	1.6	0.64	0.6	0.384	0.6656
60	1.4	0.64	0.6	0.384	0.6656
PROMEDIO	1.7333333				

FECHA: 05 DE JULIO DE 2016  
 HORA DE INICIO: 15:29 EQUIPO USADO: LT LUTRON LM-8000A  
 LUGAR: MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER HORA DE FIN: 15:45

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	LECTURA NO.	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	NIVEL DE ILUMINACIÓN EXTERNA (LUX)	NIVEL DE ILUMINACIÓN INTERNA (LUX)	COEFICIENTE DE LUZ NATURAL (%)	HORA DE TOMA DE MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	°HR (%)
SALA 3 FERNANDO MARTINEZ	1	1	17340	535	3%	15:29:00	26.7	41.1
	2	1		438	3%	15:30:00	26.8	41.8
	3	1		441	3%	15:31:00	26.9	42.3
	4	1	7580	312	4%	15:37:00	27.1	41.0
	5	1		407	5%	15:38:00	27.0	40.9
	6	1		673	9%	15:39:00	26.9	41.9
	7	1	6900	413	6%	15:43:00	27.0	39.9
	8	1		770	11%	15:44:00	27.0	41.3
	9	1		635	9%	15:45:00	27.0	43.7
				513.8	6%	PROMEDIO	26.9	41.5

VENTANA 1					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.8	0.445	0.34	0.1513	0.032781667
20	0.5	0.445	0.34	0.1513	0.032781667
30	0	0.445	0.34	0.1513	0.032781667
40	0	0.445	0.34	0.1513	0.032781667
50	0	0.445	0.34	0.1513	0.032781667
60	0	0.445	0.34	0.1513	0.032781667
PROMEDIO		0.21666667			

VENTANA 2					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.4	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
20	0.3	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
30	0	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
40	0	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
50	0	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
60	0	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
PROMEDIO		0.11666667			

VENTANA 3					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
20	0	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
30	0	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
40	0	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
50	0.1	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
60	0.1	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
PROMEDIO		0.03333333			

VENTANA 4					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.445	0.34	0.1513	0.025216667
20	0.4	0.445	0.34	0.1513	0.025216667
30	0.5	0.445	0.34	0.1513	0.025216667
40	0.1	0.445	0.34	0.1513	0.025216667
50	0	0.445	0.34	0.1513	0.025216667
60	0	0.445	0.34	0.1513	0.025216667
PROMEDIO	0.16666667				

VENTANA 5					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.2	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
20	0	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
30	0	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
40	0	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
50	0	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
60	0	0.445	0.34	0.1513	0.005043333
PROMEDIO	0.03333333				

VENTANA 6					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.1	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
20	0	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
30	0.3	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
40	0	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
50	0.3	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
60	0	0.445	0.34	0.1513	0.017651667
PROMEDIO	0.11666667				

VENTANA 7					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.445	0.34	0.1513	0
20	0	0.445	0.34	0.1513	0
30	0	0.445	0.34	0.1513	0
40	0	0.445	0.34	0.1513	0
50	0	0.445	0.34	0.1513	0
60	0	0.445	0.34	0.1513	0
PROMEDIO	0				

VENTANA 8					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.445	0.34	0.1513	0.007565
20	0	0.445	0.34	0.1513	0.007565
30	0	0.445	0.34	0.1513	0.007565
40	0.1	0.445	0.34	0.1513	0.007565
50	0.1	0.445	0.34	0.1513	0.007565
60	0.1	0.445	0.34	0.1513	0.007565
PROMEDIO	0.05				

FECHA:

05 DE JULIO DE 2016

HORA DE INICIO:

16:13

EQUIPO USADO:

LT LUTRON LM-8000A

LUGAR:

MUSEO DE ARQUITECTURA LEOPOLDO ROTHER

HORA DE FIN:

LUGAR DE TOMA DE MUESTRA	LECTURA NO.	ALTURA SOBRE EL PISO (m)	NIVEL DE ILUMINACIÓN EXTERNA (LUX)	NIVEL DE ILUMINACIÓN INTERNA (LUX)	COEFICIENTE DE LUZ NATURAL (%)	HORA DE TOMA DE MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	°HR (%)
ARCHIVO DE COLECCIONES DE ARQUITECTURA	1	0.59	5840	1040	18%	16:13:00	25.7	41.4
	2	0.59	5380	1312	24%		25.8	44.0
	3	0.59	6520	1180	18%		25.9	42.2
	4	0.59	6740	901	13%		26.0	42.0
	5	0.59		620	9%		26.0	41.0
	6	0.59		696	10%		26.0	40.5
	7	0.59		370	5%		26.0	40.5
	8	0.59		304	5%		25.8	40.6
	9	0.59		7650	411		5%	25.8
	10	0.59	4930	99	2%		25.7	41.3
			693.3		11%	PROMEDIO	25.9	41.4

## MEDICIÓN DEL VIENTO

VENTANA 1					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	1.1	0.445	0.34	0.1513	0.103388333
20	1.2	0.445	0.34	0.1513	0.103388333
30	0.7	0.445	0.34	0.1513	0.103388333
40	0.3	0.445	0.34	0.1513	0.103388333
50	0.8	0.445	0.34	0.1513	0.103388333
60	0	0.445	0.34	0.1513	0.103388333
PROMEDIO	0.68333333				

VENTANA 2					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	1.7	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
20	0.9	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
30	1.6	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
40	2.8	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
50	1.4	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
60	1	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
PROMEDIO	1.56666667				

VENTANA 3					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	1.7	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
20	0.9	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
30	1.6	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
40	2.8	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
50	1.4	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
60	1	0.445	0.34	0.1513	0.237036667
PROMEDIO	1.56666667				

VENTANA 4					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.6	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
20	0.6	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
30	2.2	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
40	1.5	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
50	0.6	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
60	0	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.91666667</b>				

VENTANA 5					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	1.9	0.445	0.34	0.1513	0.131126667
20	2	0.445	0.34	0.1513	0.131126667
30	0.6	0.445	0.34	0.1513	0.131126667
40	0	0.445	0.34	0.1513	0.131126667
50	0.7	0.445	0.34	0.1513	0.131126667
60	0	0.445	0.34	0.1513	0.131126667
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.86666667</b>				

VENTANA 6					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.5	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
20	0.3	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
30	1.9	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
40	1.4	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
50	0.7	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
60	0.7	0.445	0.34	0.1513	0.138691667
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.91666667</b>				

VENTANA 7					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.4	0.445	0.34	0.1513	0.126083333
20	0.6	0.445	0.34	0.1513	0.126083333
30	0	0.445	0.34	0.1513	0.126083333
40	0.9	0.445	0.34	0.1513	0.126083333
50	2	0.445	0.34	0.1513	0.126083333
60	1.1	0.445	0.34	0.1513	0.126083333
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.83333333</b>				

VENTANA 8					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.3	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
20	0.7	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
30	0.4	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
40	1.2	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
50	0.9	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
60	1.1	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.76666667</b>				

VENTANA 9					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
20	0	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
30	0.7	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
40	1.4	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
50	2	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
60	2.3	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.06666667</b>				

VENTANA 10					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
20	0	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
30	0.7	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
40	1.4	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
50	2	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
60	2.3	0.445	0.34	0.1513	0.161386667
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.06666667</b>				

VENTANA 11					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	1	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
20	2.2	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
30	1.6	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
40	1.1	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
50	0.8	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
60	1.3	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.33333333</b>				

VENTANA 11					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	1	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
20	2.2	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
30	1.6	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
40	1.1	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
50	0.8	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
60	1.3	0.445	0.34	0.1513	0.201733333
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.33333333</b>				

VENTANA 13					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.6	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
20	0.5	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
30	0.5	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
40	1.2	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
50	1.5	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
60	0.3	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
PROMEDIO		0.76666667			

VENTANA 14					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
20	0.5	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
30	0	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
40	0.8	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
50	1.2	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
60	0.7	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
PROMEDIO		0.53333333			

VENTANA 15					
TIEMPO (s)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)
10	0.1	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
20	1.2	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
30	0	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
40	0.9	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
50	0	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
60	0	0.445	0.34	0.1513	0.115996667
PROMEDIO		0.36666667			