

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y ARTES

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA Y SOSTENIBILIDAD

**PROCESO DE ESTUDIO DE ILUMINACION NATURAL PARA
GARANTIZAR EL CONFORT LUMINICO EN ESPACIOS INTERIORES EN
LA CIUDAD DE QUITO.**

MST. ARQ. ALVARO FRANCISCO GUZMÁN RODRÍGUEZ

DIRECTOR: MST. ARQ. ANDRÉS CEVALLOS

QUITO – PUCE

2018



Presentación:

El “Proceso de Estudio de Iluminación Natural para garantizar el confort lumínico en espacios interiores en la ciudad de Quito”, consta de un volumen escrito donde se revisa literatura sobre iluminación natural, su importancia y comportamiento con respecto al clima y nubosidad.

Se adjunta a este documento, un archivo ejecutable de AutoCAD con la proyección estereográfica de iluminación en Latitud 0° con los datos tanto de iluminancia horizontal exterior como porcentaje de nubosidad.

Finalmente se incorpora a este documento un archivo ejecutable Excel, que permite pre-dimensionar la iluminación natural en espacios interiores en la Ciudad de Quito.



Agradecimiento

A mi director Mst. Arq. Andrés Cevallos, por apoyarme y guiarme de forma profesional en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mi esposa María Cristina, a mi hijo Álvaro José, a mi madre Alicia del Consuelo, a mis hermanos y familia; por su apoyo incondicional en logro de mis metas.



A mi esposa María Cristina y mi hijo Álvaro José, quienes son el motor e impulso de mi vida.

A mi papá Luis Homero y a mi mamá Alicia del Consuelo por guiarme y apoyarme siempre, en los retos que me he propuesto salvar.

Contenido:

1.	Introducción.....	9
1.1	Problemática.....	9
1.2	Justificación.....	10
1.3	Objetivos.....	11
1.3.1	Objetivo General.....	11
1.3.2	Objetivos Específicos.....	11
1.4	Hipótesis.....	11
1.5	Pertinencia del Estudio.....	11
1.6	Alcance.....	12
2	Importancia y Características de la Luz Natural	14
2.1	La Iluminación Natural.....	14
2.1.1	Características de la Luz.....	16
2.1.2	Percepción y aspectos psicológicos de la Iluminación Natural.....	16
2.2	Conceptos fundamentales de Iluminación.....	17
2.2.1	Factor de Luz de Día.....	18
2.2.2	Albedo.....	19
2.3	Tipos de Cielo.....	20
2.3.1	Cielos Cubiertos.....	20
2.3.2	Cielos parcialmente despejados.....	20
2.3.3	Cielos Claros.....	20
2.4	Métricas Dinámicas.....	21
2.5	Propiedades de Iluminación de los Materiales.....	22
2.5.1	2.4.1. Propiedades Aparentes de los Sólidos.....	22
2.5.2	Fenómenos de la propagación de la luz.....	24
2.6	Conclusiones.....	27
3	El Clima y la Arquitectura.....	29
3.1	El Clima y su Influencia en la Arquitectura.....	29
3.2	Generalidades Climáticas del Ecuador.....	30
3.3	El Clima en la Ciudad de Quito.....	31
3.4	Nubosidad.....	33
3.4.1	La Nubosidad en la Ciudad de Quito.....	34

3.5	Conclusiones	34
4	Metodología.....	36
4.1	Caso de Estudio.	36
4.2	Toma de Medidas In-Situ.....	38
4.3	Análisis del Factor de Luz del Día (FLD).....	39
4.4	Medias Interiores de Iluminancia Horizontal.....	40
4.5	Análisis de la nubosidad en Quito y su efecto en la iluminación natural.	41
4.6	Análisis de tendencia del Uso del Espacio.....	43
4.7	Aplicativo para Pre-Dimensionamiento para espacios Interiores en Quito.....	43
5	Resultados y Discusión.	44
5.1	Medidas In-Situ.	44
5.1.1	Iluminancia Horizontal Interior.....	44
5.1.2	Iluminancia Horizontal Exterior.....	47
5.1.3	Factor de Luz del Día en Espacios de Estudio.	49
5.2	Afectación de la nubosidad a la iluminación natural en las áreas de estudio.....	51
5.2.1	Análisis de la Iluminación Horizontal Exterior y la Densidad de Nubosidad acorde al Año Meteorológico Tipo 2005.....	53
5.3	Análisis del Uso del Espacio.....	54
5.4	Entregables.....	57
5.4.1	Matriz General de Iluminancia Exterior - Densidad de Nubosidad / Orientación.....	57
5.4.2	Matriz Horaria / Diaria de Radiación / Nubosidad / Iluminancia en Quito..	60
5.4.3	Análisis de la Orientación en Quito.....	65
5.5	Limitaciones de la investigación.	66
6	Conclusiones y Recomendaciones.....	67
6.1	Conclusiones.	67
6.2	Recomendaciones.	70
7	Bibliografía:.....	99

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Espectro de Radiación Electromagnética y Espectro Visible.....	14
Ilustración 2: Variación de la Radiación Solar diaria.	15
Ilustración 3: Fenómenos de la propagación de la luz.....	24
Ilustración 4: Mapa climatológico del Distrito Metropolitano de Quito.	32
Ilustración 5: Influencia de la orografía en la nubosidad.....	33
Ilustración 6: Tipo de nubes.	33
Ilustración 7: Distribución de nubosidad porcentual-mensual en Quito.	34
Ilustración 8: Proyección Estereográfica Solar en el sitio de estudio.	37
Ilustración 9: Planta y Corte Arquitectónico de las Aulas del caso de estudio.	37
Ilustración 10: Muestra de toma de medidas de Iluminancia Horizontal Interior in-situ.	38
Ilustración 11: Grilla para toma de manual de medidas de Iluminancia Horizontal Interior in-situ.	41
Ilustración 12: Iluminancia Horizontal Promedio in-situ (luxes) Aula 1	47
Ilustración 13: Iluminancia Horizontal Promedio in-situ (luxes) Aula 2.	47
Ilustración 14: Matriz simplificada de Quito con datos promedio horarios - mensuales de Iluminancia Natural Exterior (luxes) e Índice de Nubosidad (%).	57
Ilustración 15: Proyección Estereográfica para Quito con datos promedio horarios - mensuales de Iluminancia Natural Exterior (luxes).....	58
Ilustración 16: Proyección Estereográfica para Quito con datos promedio horarios - mensuales de Densidad de Nubosidad (%).	59
Ilustración 17: Métrica Dinámica Enero - Marzo de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.....	60
Ilustración 18: Métrica Dinámica Abril - Junio de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.....	61
Ilustración 19: Métrica Dinámica Julio - Septiembre de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.	62
Ilustración 20: Métrica Dinámica Octubre - Diciembre de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.	63
Ilustración 21: Métrica Dinámica Anual de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.....	64

Índice de Tablas

Tabla 1: Condiciones generales de Incidencia Solar en Quito.....	12
Tabla 2: Materiales - Porcentajes de radiación reflejada.	19
Tabla 3: Índice de Refracción de medios.....	25
Tabla 4: Características y dimensiones Aulas del caso de Estudio.	36
Tabla 5: Variación de Iluminancia (luxes) horaria-diaria Aula 1.....	44
Tabla 6: Variación de Iluminancia (luxes) horaria-diaria Aula 2.....	45
Tabla 7: Incidencia de Nubosidad (%) en Quito - Marzo 2017	49
Tabla 8: Valores de FLD en Aulas del caso de estudio (%)	49
Tabla 9: Promedio Iluminancia natural horizontal exterior (luxes) y Promedio de Nubosidad (%) horaria / mensual en Quito.....	53
Tabla 10: Cuadro técnico - comparativo de Uso del Espacio Aula 1.....	55
Tabla 11: Cuadro técnico - comparativo de Uso del Espacio Aula 2.....	56
Tabla 12: Condiciones de Deslumbramiento - Orientación para espacios interiores en Quito.	65

1. Introducción

1.1 Problemática.

Las afectaciones generadas por el cambio climático, están produciendo variaciones climatológicas importantes en todo el mundo. La utilización de estrategias pasivas y sostenibles en la forma en que diseñamos y construimos los espacios que habitamos, son fundamentales para contrarrestar los efectos nocivos al medio ambiente. Estudios realizados en 45 ciudades de los Estados Unidos, desde 1900 hasta 1982, demostraron que en la segunda mitad del Siglo XX aumentaron la cantidad de días nublados debido al incremento de concentración de partículas de hollín y otros contaminantes, generadas por motores, industria y otras actividades humanas. La nubosidad en la atmósfera, regula y determina junto a otros factores la temperatura ambiental. El aumento de la nubosidad puede generar 1). Reflexión de la radiación solar hacia el espacio, por impedimento del traspaso de esta a la superficie; bajando la temperatura ambiental, o 2). Retención del calor en la atmósfera por generación del Efecto Invernadero, y el consiguiente aumento de la temperatura ambiental. (Erickson, 1992). El aprovechamiento y maximización del uso de la iluminación natural en los espacios arquitectónicos, incidirá en la reducción del consumo energético de las edificaciones y las implicaciones negativas que este involucra para el medio ambiente.

La luz natural provee en el usuario una mayor sensación de bienestar que la luz artificial. Esta ayuda efectivamente a la adecuada producción y a la concentración de las personas para el desarrollo de sus distintas actividades. El no obtener en espacios interiores un adecuado nivel de calidad de iluminación natural, porque esta incide de forma excesiva o deficiente; deriva en pérdida de confort visual, deslumbramiento y fatiga del usuario. La exposición en espacios interiores por más de cinco minutos a grandes cantidades de radiación solar directa, deriva en la utilización de cortinas u otros sistemas de protección solar, y sistemas de iluminación artificial por largos períodos de tiempo en horas de claridad, y la pérdida de confort térmico por excesivas ganancias térmicas internas. Esta problemática deriva, en aumento del consumo energético de las edificaciones y sus consiguientes efectos.

Una serie de sistemas informáticos, así como metodologías de análisis de iluminación natural desarrolladas en otras latitudes, permiten en la actualidad generar modelos y

estudios de incidencia solar en espacios interiores. La poca difusión en nuestro medio de estas herramientas, genera que en la actualidad no se desarrollen proyectos arquitectónicos que garanticen el confort lumínico del usuario. Es necesario entender el comportamiento de la incidencia solar en Quito, para poder generar estrategias considerando las condiciones propias de iluminancia; que permita a arquitectos y diseñadores locales generar soluciones efectivas que garanticen el confort lumínico interior.

La ciudad de Quito al estar emplazada sobre la línea ecuatorial a una altura de 2850 msnm, recibe la radiación solar de forma perpendicular y sin mayores variaciones en los ángulos de incidencia durante los diferentes meses del año, generando condiciones lumínicas y térmicas particulares, que pueden afectar al confort del usuario si no son evaluadas de forma efectiva. Las condiciones climáticas de la ciudad cambian constantemente durante el transcurso de las horas del día, haciendo difícil la predicción de nubosidad y condiciones del cielo, factores fundamentales en el análisis de la iluminación natural en espacios interiores.

1.2 Justificación.

El inadecuado o inexistente estudio de iluminación natural en espacios interiores en la ciudad de Quito, deriva en el uso innecesario de sistemas de iluminación artificial durante las horas de claridad, así como pérdida de confort lumínico y térmico por parte del usuario. Los ángulos de incidencia de la radiación solar no varían en Quito de manera tan marcada como en otras ciudades de otras latitudes, sin embargo, las condiciones climáticas en un mismo día sí, lo que dificulta el diseño de iluminación natural. Sistemas y metodologías para estos estudios, han sido desarrollados considerando condiciones de contexto distintas a la ciudad de Quito. Factores como la altitud sobre el nivel del mar, así como el emplazamiento sobre la línea ecuatorial; son variables gravitantes en el estudio de las condiciones lumínicas en espacios interiores.

El presente trabajo de investigación pretende sentar las bases para futuros estudios de iluminación natural, considerando las características físicas y climatológicas de Quito; que permitan mejorar la calidad lumínica de los espacios interiores, así como mejorar el confort de estos durante las horas de incidencia de luz natural. El uso y difusión de un

“Proceso de Estudio de Iluminación Natural”, depende de su capacidad de aplicación de forma sencilla y práctica, por parte de quienes diseñan los espacios arquitectónicos interiores en la ciudad.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Mejorar el confort lumínico en espacios interiores de Quito, a través de la generación de un “Proceso para Estudio de Iluminación Natural”, considerando las características geográficas y climatológicas propias de esta ciudad.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Generar una matriz horaria/diaria de iluminancia horizontal exterior incidente en la Ciudad de Quito, que permita visualizar el comportamiento, variaciones y rangos críticos de esta; para diseñar espacios arquitectónicos lumínicamente confortables.
- Generar una herramienta de aplicación práctica, que permita analizar de forma sencilla y conjunta: iluminancia, nubosidad y orientación; para generar espacios arquitectónicos interiores eficientes desde el punto de vista de la iluminación natural en Quito.
- Comprender el comportamiento climático de la ciudad y su afectación en las condiciones de iluminación natural, para facilitar la generación de adecuadas estrategias de iluminación natural en espacios interiores localizados en la ciudad de Quito.

1.4 Hipótesis.

¿Puede un Proceso de Estudio de Iluminación Natural garantizar el confort lumínico en espacios interiores de la ciudad de Quito?

1.5 Pertinencia del Estudio.

La iluminación natural en espacios interiores es factor fundamental para garantizar el adecuado desarrollo de las distintas actividades humanas. Existe, además evidencia sobre los beneficios en la salud de las personas cuando estas se encuentran en ambientes con adecuada incidencia de luz solar. La ciudad de Quito al estar emplazada sobre los

0° de latitud, cuenta con condiciones de radiación y geometría solar que no varían mayormente durante los diferentes meses del año; condiciones que deberían ser utilizadas para el beneficio del confort del usuario.

Tabla 1: Condiciones generales de Incidencia Solar en Quito

Condiciones generales de Incidencia Solar													
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Unidades
Promedio mensual de horas de luz.	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	horas
Luz Difusa	2.16	2.27	2.35	2.23	2.06	1.96	1.99	2.13	2.28	2.28	2.18	2.11	(kWh/m2/day)
Luz Directa	2.98	3.00	3.10	3.01	3.07	3.16	3.46	3.38	2.80	2.80	3.15	2.85	(kWh/m2/day)
Promedio de días nublados (22 años)	77.2	79.0	79.1	79.9	79.0	73.5	68.8	69.2	77.8	82.1	80.0	78.5	%

Fuente: https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=102090&lat=-0.21&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&step=2&lon=-78.491

La configuración longitudinal de la ciudad de Quito dentro de la cordillera de los Andes, deriva en que una gran cantidad de edificios se emplacen con grandes superficies vidriadas verticales de forma perpendicular al eje de asoleamiento este-oeste, intensificando problemas de sobrecalentamiento y deslumbramiento durante gran parte del día. La variación en la nubosidad en el cielo, modifica la distribución y contribución real de iluminancia en espacios interiores.

Para un adecuado estudio lumínico (en luxes), es necesario entender cómo incide la radiación solar (Kwh/m2) en un área determinada y cómo esta varía durante el transcurso de las horas en día y días en los meses del año, y los tipos de cielo referidos a: 1) densidad de nubosidad, 2) frecuencia de cielos claros o nublados y 3) predominancia en % de estos, durante los diferentes meses del año. La comprensión de estas variables, permitirá la generación de estudios más precisos y simplificados de iluminación natural.

1.6 Alcance.

El objetivo del presente trabajo de investigación, es el explorar los principales aspectos de la iluminación natural en Quito; problemática que no ha sido abordada a profundidad para el adecuado diseño de espacios arquitectónicos interiores en la ciudad. Se analizarán los conceptos fundamentales de la incidencia de iluminación natural: 1) Factor de Luz del Día y 2) Métricas Dinámicas de Iluminación Natural, su aplicabilidad

para el caso de estudio. Se observará el comportamiento de la iluminación natural durante el mes de marzo de 2017 en dos espacios interiores. A través del análisis de estas variables, se propondrá un Proceso de Estudio de Iluminación Natural, que considere las características físicas y climáticas de Quito.

2 Importancia y Características de la Luz Natural

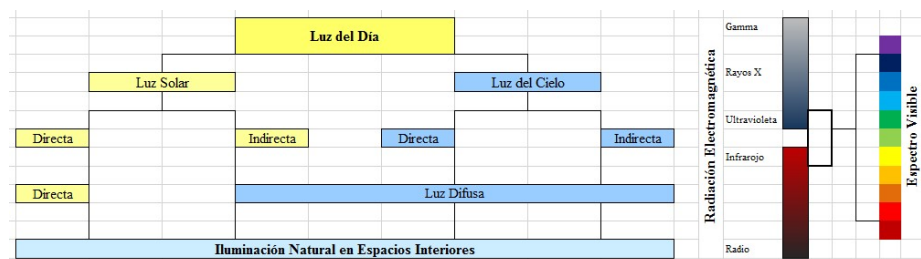
2.1 La Iluminación Natural.

La luz natural es una radiación particular proveniente del Sol, que genera elevados rendimientos lumínicos y térmicos; que son utilizados en la naturaleza y deben ser aprovechados en la arquitectura. La iluminación natural reproduce de mejor manera los colores, siendo superior a cualquier tipo de iluminación artificial. El sistema visual de los animales y de los seres humanos, están adaptados a la longitud de onda y niveles radiación solar incidente. El ojo humano no percibe los niveles o cantidad de iluminación incidente, percibe el reflejo de esta en las superficies o luminancia. (Serra, 1999).

La luz diurna proviene de la radiación directa solar y/o de la iluminancia generada en la bóveda celeste. Las dos, se presentan de forma directa y reflejada. La Luz Difusa, se genera con la interacción de la luz indirecta del cielo, del sol y la luz directa de la bóveda celeste. (Mardaljevic, 2017).

La luz visible por el ojo humano, es una región del total del espectro electromagnético cuyas ondas van desde los 780nm (color rojo), hasta los 380nm (color violeta), y se denomina “Espectro Visible”. La luz natural incorpora todo el espectro visible, incluyendo variaciones de intensidad, tono y distribución lumínica. El clima, la calidad del aire, latitud, época del año, hora del día, proximidad a la costa, altitud; inciden en las características de la luz natural; lo cual hace que la luz natural incidente en un espacio pueda ser predecible o impredecible. (CEI & IDAE, 2005).

Ilustración 1: Espectro de Radiación Electromagnética y Espectro Visible

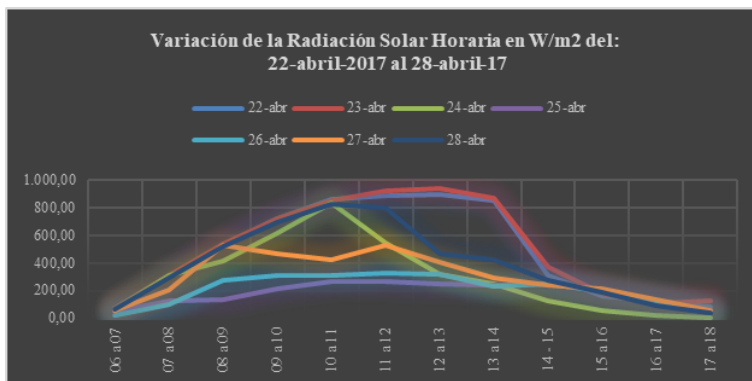


Fuente: Elaboración Propia

La iluminación natural posee una relación directa con la expresión de los espacios. Factores como color (efectos de amplitud, claridad, calidez, frialdad), textura, material (absorción y reflejo de la luz, transparencia y reflectividad) y morfología (forma de las perforaciones que permiten el ingreso de luz en un espacio) y forma (ortogonal, proporciones, orgánico); son determinantes para el adecuado diseño lumínico de un espacio con relación a las actividades que en él se vayan a desarrollar. (Jaramillo, 2012).

La iluminación natural es factor fundamental para el adecuado confort lumínico y térmico del usuario de un espacio arquitectónico; así como para su salud y productividad. Para conseguir confort lumínico, es importante diferenciar la “Radiación Solar Directa” que supone efectos negativos de excesiva luz y calor; con la difusa, reflejada, o “Luz del Cielo” (Kwork , AIA, & Grondzik, 2011).

Ilustración 2: Variación de la Radiación Solar diaria.



Fuente: www.meteoblue.com

La luz natural influencia la sensación del usuario en un espacio arquitectónico y es un factor determinante en el consumo energético de las edificaciones. Los valores de iluminación natural directa, en muchas ocasiones no son medidas por las estaciones meteorológicas, sin embargo, estas pueden ser cuantificadas de forma indirecta con el uso y análisis de otras variables. El método de la Eficacia Luminosa, permite obtener la iluminancia con datos de Radiación Solar, donde están considerados implícitamente las variables de clima y latitud. La Eficiencia Luminosa (K) se expresa cómo la relación entre la Iluminancia (Ev) y la Radiación (Ee). Los valores del factor K en una superficie horizontal no son constantes, están afectados por variables cómo: altura solar, cobertura de nubes, concentración de aerosoles y vapor de agua en la atmósfera. (Oteiza, Soler, &

Yáñez, 1992). Muchas de las estaciones meteorológicas alrededor del mundo toman medidas de radiación solar más no de iluminancia, variable fundamental para el diseño de iluminación natural en espacios interiores. Se han desarrollado por ejemplo modelos de iluminancia directa para cielos claros utilizando como variable la elevación solar. A través de medidas de radiación se puede determinar índices de claridad, estimar la iluminancia directa como una alternativa para modelos eficientes de iluminación. La localización, las condiciones de cielo cubierto, parcial cubierto y despejado, afectan los índices de claridad y la variación de estos. (Robledo & Soler, 1999).

La sensibilidad al rango visible del espectro de radiación electromagnético puede diferir entre observadores, es recomendable la evaluación de la conversión considerando el rango completo de luz visible. El valor de conversión para el rango visible (400 y 700 nm) utilizado en el presente trabajo de estudio es de: 0.0079 w/m² por lux

2.1.1 Características de la Luz.

La luz o Energía Radiante es un tipo de radiación electromagnética, capaz de generar excitaciones en el ojo humano, y producir sensaciones visuales. La luz permite a las personas el conectarse visualmente con su entorno. Esta fluye en forma de ondas en dirección rectilínea, y solamente es perceptible cuando incide con un objeto. Esta interacción puede darse por: reflexión o absorción; he implica la interacción de un cuerpo emisor de luz y un cuerpo receptor de energía radiante. La transferencia de esta energía se denomina Radiación. (Sirlin, 2006). Las características físicas de la luz son:

- Amplitud, o altura de la onda.
- Longitud de onda, comportamiento espacial de la onda medida nanómetros (nm).
- Velocidad¹, medida en Km/Seg.
- Frecuencia, comportamiento temporal de la onda. Medida en hertzios (hz), se define como el número de ondas que pasan por un punto en un segundo.

2.1.2 Percepción y aspectos psicológicos de la Iluminación Natural.

El tipo de luz y su intensidad, provengan estas de forma natural o artificial, afectan la percepción de los espacios por parte del usuario. Repercuten en su estado de ánimo y en

¹ La teoría de la relatividad de Einstein, define la velocidad de la luz en el vacío en 299792.458 Km/Seg., comprendiendo diferentes longitudes de onda y frecuencias. Cuando la luz cambia de medio (agua, vidrio o aire), cambian su velocidad y longitud de onda, pero no su frecuencia. (Sirlin, 2006).

las respuestas de los individuos. El manejo de la luz, es factor definitivo en la sensación de confort de las personas. El manejo adecuado de la luz e iluminación, puede llevar al usuario a diversas sensaciones como erotismo, melancolía, romanticismo, agresividad, alegría, entre otras. (Fuentes, 2012)

La iluminación natural es un recurso renovable virtualmente inagotable, que proporciona adecuados niveles de iluminación en horas diurnas, genera menos calor por lumen que sistemas artificiales de luz, es dinámica durante las diferentes horas del día y días en año, integra elementos que favorecen necesidades biológicas y psicológicas de los seres humanos, y puede mejorar la calidad o valor de un espacio arquitectónico interior. Las percepciones psicológicas de las personas en espacios, pueden variar de acuerdo al tipo de luz incidente. La luz intensa conlleva emoción, motivación y en general sensaciones positivas. La luz tenue puede causar somnolencia. La luz excesiva crea sensaciones de incomodidad física y visual, obligando al usuario a dirigir la vista a otro sitio. La luz fluctuante roba la atención del usuario. La luz de tonos cálidos genera espacios acogedores, la luz fría tranquiliza y aclara. El excesivo contraste de luz sombra en ambientes interiores, genera fatiga y pérdida de confort visual. (Jaramillo, 2012).

2.2 Conceptos fundamentales de Iluminación.

La luz natural incidente en espacios arquitectónicos interiores, puede llegar a estos, de forma directa, de forma indirecta o forma difusa. La luz del Sol pasa a través de la atmósfera terrestre, sufriendo fenómenos de: transmisión, absorción, dispersión y reflexión. Variables como la nubosidad, las características de las superficies donde incide la radiación solar y las obstrucciones que pueda tener esta; varían y afectan los niveles de iluminación natural en espacios interiores (Jaramillo, 2012). La tierra, las plantas, las construcciones existentes son parte del análisis de la iluminación natural. Es posible obtener una iluminancia interior homogénea de alrededor de 1000 lux, a través del adecuado estudio lumínico. (Pattini, 2007).

La luz solar directa, es una porción de luz natural incidente en un espacio específico de forma directa desde el sol. Esta cambia constantemente de dirección e ilumina de forma horizontal cuando no es obstruida. La luz solar indirecta, incide en un espacio de forma reflejada en paredes, pisos y cielos falsos. Su análisis en climas soleados es fundamental, para la generación de estrategias de superficies reflectoras, que ayuden a

mejorar la distribución de la luz directa en espacios interiores. La luz natural difusa, posee la misma intensidad sin importar la dirección en que esta venga; proviene del cielo y de la reflexión de la luz en las nubes, sin considerar el sol. (Pattini, 2007).

La “Iluminancia” o Nivel de Iluminación (E) [$\text{lux} = \text{lumen} / \text{m}^2$], se define como la cantidad de luz que incide sobre una superficie. La “Luminancia” o Brillo (L) [cd/cm^2] es la cantidad de luz emitida por una superficie. (Monroy, 2006). El confort lumínico tiene una estrecha relación con la “Visibilidad” o capacidad de ver sin mayor esfuerzo, que viene de la relación entre Iluminancia y Luminancia. El “Deslumbramiento”, es un efecto o caso particular de la Visibilidad (Serra, 1999), y se define como una sensación visual negativa causada por: 1. Excesivo brillo, o 2. Excesivo contraste. (Kwork , AIA, & Grondzik, 2011).

2.2.1 Factor de Luz de Día

La fuente de luz natural es el Sol. Para el análisis de iluminación natural en espacios arquitectónicos, se considera la iluminancia de la bóveda celeste. La radiación solar directa en zonas ecuatoriales implica pérdidas de confort debido a excesivo contraste, brillo y deslumbramiento. La iluminancia del cielo es variable durante el transcurso de las horas del día, y se calcula en un punto, considerando la iluminación natural exterior e interior simultáneamente. La relación de **Factor de Luz de Día** se expresa como un porcentaje, para una misma fecha es constante en un punto, aunque la iluminancia exterior varíe de forma continua. Para puntos interiores horizontales sin obstrucciones, se considera como factor de cálculo el 100% de la iluminación de la bóveda celeste. Para puntos verticales interiores sin obstrucciones, se considera como factor de cálculo el 50% de la iluminación de la bóveda celeste. (Girardín, 1994).

El Factor de Luz de Día, proviene de la sumatoria de la componente de la iluminancia del cielo (CC), la componente reflejada exterior (CRE) y la componente reflejada interior (CRI); aplicados coeficientes de corrección del vidrio (T_v), del mantenimiento de este (C_m) y del marco de la ventana (C_e). (Girardín, 1994). El promedio de factor de luz de día en ambientes interiores debe ser de un 2%, para garantizar la adecuada realización de actividades. Si el factor de luz del día promedio repartido de forma uniforme en un espacio es superior al 5%, en condiciones normales no se requiere la

utilización de iluminación artificial. El valor mínimo del factor para la realización de una actividad es del 0.70% (Mardaljevic, 2017).

El Factor de Luz de Día tiene ciertas limitantes que deben ser consideradas al momento de hacer análisis lumínicos en espacios interiores. Es necesario entonces no mezclar metodologías incompatibles de análisis de iluminación natural, para evitar la generación de estrategias contradictorias (Mardaljevic, 2017).

2.2.2 Albedo.

Tabla 2: Materiales - Porcentajes de radiación reflejada.

Superficie	%	Superficie	%	Superficie	%
Hielo	60	Concreto	15-37	Nube densa	70-95
Agua, profunda	5-20	Piedra	20-30	Nube fina	20-65
Arcilla húmeda	16	Bosque, coníferas	5-15	Urbano	15
Arcilla seca	23	Gramma, verde	26	Cal	45
Arena	20-25	Granito	12-18	Yeso	55

Fuente: (Vera, 2017).

Albedo es la relación de reflexión de radiación solar desde la superficie hacia el espacio. Se define como la “Reflectividad” de una superficie terrestre, y esta varía por factores como: color, humedad, contenido de materia orgánica y/o mineral y rugosidad. El albedo varía con el tipo de cubierta terrestre. Las superficies claras y secas tienen índices de albedo superiores a superficies humedecidas o rugosas. El CO₂, polvo y ceniza volcánica en la atmósfera disminuye el albedo, debido a la obstrucción generada por estas partículas. (Vera, 2017).

La radiación solar incidente puede ser reflejada, absorbida o dispersada por la atmósfera y sus distintos componentes. Del 100% de la radiación solar incidente en la atmósfera, solo el 51% de esta llega a superficie terrestre (25% de forma directa y 26% de forma difusa). El 49% restante es absorbido (19% por nubes y gases atmosféricos, 30% se pierde hacia el espacio). (Inzunza, 2017). La nubosidad y la identificación de esta es

factor fundamental en los estudios de iluminación natural, debido a que esta distorsiona la reflectividad real de la superficie terrestre. El albedo superficial mensual puede cambiar de acuerdo a las condiciones climáticas y ángulos de incidencia de la radiación solar, así como por el tipo de superficie donde esta incide. (Vera, 2017).

2.3 Tipos de Cielo.

La radiación solar directa genera excesivos contrastes y deslumbramiento, por lo que debe evitarse su acción directa sobre planos horizontales dentro de espacios interiores. Ventanas con orientaciones perpendiculares al eje Este-Oeste, deben generar estrategias de difusión y reflexión de los rayos solares; para evitar excesivas ganancias térmicas y deslumbramientos. Los cielos tienen distintas características, por lo tanto, difieren en su grado de iluminancia. Los cielos difieren en cuanto a su color de acuerdo a sus condiciones de nubosidad, diferenciándose de forma general las bóvedas azules, blancas y grises. (Pattini, 2007).

2.3.1 Cielos Cubiertos.

Es también conocido como cielo de iluminancia de distribución uniforme o Cielo Uniforme, donde se asume una nubosidad de espesor y turbiedad constante. Acorde con la estandarización británica de cielos CIBSE, los Cielos Cubiertos se presentan una cobertura del 90%, con imposibilidad de visión del sol. En el zenit, la iluminancia del cielo puede ser entre 2.5 y 3 veces mayor que en el horizonte. Este tipo de cielo es definido para el análisis lumínico en climas fríos, donde es factible la utilización de aperturas cenitales sin riesgo de deslumbramiento. La uniformidad y valores de iluminancia dependen de las características climáticas propias del sitio, densidad y uniformidad de las nubes; y condiciones atmosféricas de turbiedad. (Pattini, 2007).

2.3.2 Cielos parcialmente despejados.

La característica principal de este tipo de cielo, es la variabilidad de nubosidad o alternancia de la visibilidad del sol en el cielo. La iluminancia exterior sin obstrucciones sobre superficies horizontales, puede oscilar entre valores de 10000 a 100000 luxes. Estos cielos, son comunes en zonas de climas templados húmedos y cálidos húmedos; y resultan difíciles de predecir y modelar. (Pattini, 2007).

2.3.3 Cielos Claros.

Definido por la CIBSE (Estandarización Británica) como un cielo sin obstrucción de nubes y por la IESNA (Estandarización Estados Unidos) como un cielo obstruido hasta

un 30%. Bajo los dos estándares de estudio, este tipo de cielo considera una bóveda celeste sin obstrucción por nubosidad. (Pattini, 2007).

Los cielos cubiertos son entre 2.5 y 3 veces más luminosos en el cenit que en el horizonte, mientras que para cielos claros la relación es de 1 en el horizonte y 0.5 en el cenit. Los cielos parcialmente despejados como sucede la mayor parte de horas con incidencia de luz natural en Quito, no dispone de un modelo de cálculo específico simple, debido a la variabilidad de índices de nubosidad. (Pattini, 2007).

2.4 Métricas Dinámicas.

El deslumbramiento y el sobrecalentamiento son fenómenos dinámicos que se dan en espacios arquitectónicos interiores, cuando estos poseen grandes superficies vidriadas que permiten el excesivo paso de la radiación solar. Entendiendo las consideraciones climáticas y sus tendencias de variación en un lugar, es posible generar estrategias adecuadas de control de incidencia de radiación solar. Los valores de iluminancia y luminancia en un espacio varían y evolucionan durante el tiempo, situación que no es considerada por el FLD. A partir de archivos meteorológicos es posible determinar o modelar cielos específicos para horas del día en lugar puntual, lo cual ayuda a entender la evolución de incidencia de radiación solar en un punto durante los distintos días del año. (Bodart, Waldo, & Encinas).

Para entender el comportamiento de la radiación solar (w/m^2) en un punto en el espacio con este método, es necesaria la realización de un mapa temporal, donde sobre el eje "X" se emplazan los días del año y sobre el "Y" las horas, de tal manera que se puede entender la evolución de los fenómenos dinámicos de la iluminación natural de manera simplificada. (Bodart, Waldo, & Encinas). Es factible realizar una métrica dinámica, y aplicarla a varios puntos en un espacio o edificio. Con la finalidad de reducir el número de datos y generar un análisis más eficiente, se puede determinar para un punto en el espacio:

- Autonomía Dinámica (DA). Se define como el porcentaje de tiempo durante el que se mantiene un nivel de iluminación natural mínimo en un plano de trabajo, para lo cual es necesario determinar la evolución de la radiación solar. Esta puede ser calculada en mediciones en maquetas o por algunos sistemas informáticos.

- Autonomía Dinámica Continua, indica los valores de iluminación natural que se encuentran entre 0 y el valor en luxes requerido para el desarrollo de cierta actividad. (Bodart, Waldo, & Encinas).
- Autonomía Dinámica Máxima, indica la cantidad de tiempo en que se tendrá valores muy altos de iluminación natural en un punto en el espacio y que pueden generar deslumbramiento. (Bodart, Waldo, & Encinas).
- Iluminancia Natural Útil (UDI). Se basa en el estudio de la iluminación natural (IN) en un punto de trabajo y determinar si ésta es adecuada para la actividad que el usuario efectúe en el espacio. Se puede considerar por ejemplo como valores adecuado de trabajo a aquellos que se encuentran entre los 100 y 2000 luxes, e indicar en un cuadro con porcentajes, los niveles IN en sus respectivos rangos. (Bodart, Waldo, & Encinas).

2.5 Propiedades de Iluminación de los Materiales.

Los materiales que se utilizan en la construcción de edificaciones tienen un conjunto de diversas propiedades y complejidades. En las últimas décadas, se ha incrementado de manera exponencial la oferta de dichos materiales y productos, así como: aditivos, componentes y métodos de fabricación de estos. Masa, peso, densidad; son propiedades físicas comunes a todos los materiales. Combustibilidad, inflamabilidad, oxidación, corrosión, carbonatación, entre otras; son propiedades Físico-Químicas de los materiales. Las propiedades comunes a todos los sólidos incluyen: aspectos de la materia, aspectos mecánicos, aspectos geológicos, aspectos térmicos y aspectos relacionados con ondas (luz, radiación y sonido). (Sastre & Muñoz, 2010).

2.5.1 2.4.1. Propiedades Aparentes de los Sólidos.

El ser humano es capaz de distinguir las Propiedades Aparentes de un elemento constructivo o material de construcción, a través de: la percepción y de los sentidos corporales (visual, tacto, olfato, gusto). Las propiedades aparentes de los materiales, pueden ser evaluadas de forma científica mediante ensayos y pruebas in-situ o en laboratorios. (Sastre & Muñoz, 2010).

2.5.1.1 Propiedades Aparentes al Tacto.

Acorde con (Sastre & Muñoz, 2010), las cualidades aparentes al tacto de la superficie de un cuerpo son:

- Textura: Proviene de la disposición de las partículas de un material.
- Rugosidad: Cualidad de la superficie de un material cuando este presenta porosidad, protuberancias, surcos, hendiduras. Esta propiedad afecta de manera directa la absorción acústica y lumínica de un material.
- Pulidez: Cualidad de una superficie de poseer una textura llana y brillante.

2.5.1.2 *Propiedades Aparentes a la Vista*

Acorde con (Sastre & Muñoz, 2010), las cualidades aparentes a la vista de la superficie de un cuerpo son:

- El Color de los Objetos: Viene de la radiación solar visible, que la retina del ojo humano la percibe de color blanco, es una mezcla heterogénea de diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético.
- La Brillantez: Los materiales en virtud de su estructura molecular interna absorben y reflejan ciertas longitudes de onda del espectro de la radiación solar. Esta cualidad tiene una relación directa con la rugosidad y pulidez de una textura. Superficies pulidas generan brillos extremos o especulares (reflexión similar a un espejo).
- Transmisión de la luz: Color o longitud de onda del espectro visible que pretende traspasar el material.
 - Transparencia: Se refiere a la cualidad de un material o elemento constructivo, que admite el traspaso de la luz y tener visibilidad de objetos a través de estos.
 - Factor de transmisión luminosa: Es la relación porcentual entre el flujo de luz transmitido y el flujo de luz incidente.
 - Translucidez: Es la cualidad de un material o elemento constructivo de admitir el traspaso de la luz, sin tener una visibilidad o definición perfecta de los objetos a través de estos.
 - Opacidad: Es la cualidad del material o elementos constructivo que no permite el paso de la luz a través de estos.

(Sastre & Muñoz, 2010).

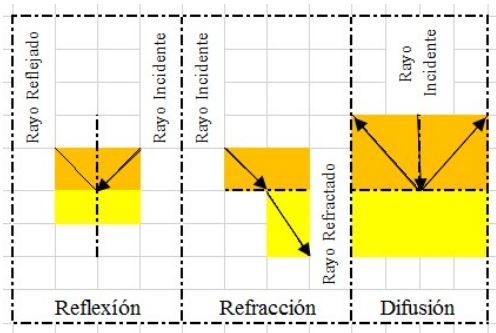
La cantidad de luz transmitida a través de un objeto o material, consta de una componente de luz directa y una componente de luz difusa. La TRANSMITANCIA, depende también de las propiedades Absorción y Reflexión de los materiales.

2.5.2 Fenómenos de la propagación de la luz.

En el siglo XVII Pierre de Fermat definió que “La dirección tomada por la luz es la del trayecto que demanda menos tiempo, es decir, el más corto”. De esta premisa, nacen las tres leyes fundamentales del comportamiento o posibles trayectorias de la luz:

- Propagación directa.
- Reflexión.
- Refracción.

Ilustración 3: Fenómenos de la propagación de la luz.



Fuente: Elaboración Propia

Cuando un haz de luz atraviesa un material, cambia de dirección dependiendo de las características del material del elemento, siendo las más comunes: la reflexión, refracción, dispersión, absorción, difusión, polarización, difracción e interferencia. (Sirlin, 2006).

2.5.2.1 Reflexión.

Este fenómeno acontece cuando la radiación electromagnética incide sobre una superficie que no absorbe la energía radiante. Cuando el “Rayo Incidente” se refleja generando un haz de luz o “Rayo Reflejado”, sobre una superficie lisa con 0% de absorción ocurre la “Reflexión Espectacular”. (Sirlin, 2006).

2.5.2.2 Refracción.

Tabla 3: Índice de Refracción de medios.

Medio	Índice de refracción
Vacio	1,00
Aire	1,0029
Agua (Cuando la luz pasa del aire al agua)	1,33
Cuarzo (Cuando la luz pasa del aire al cuarzo)	1,47
Vidrio (Cuando la luz pasa del aire al vidrio)	1,53
Agua (Cuando la luz pasa del agua al aire)	0,752
Cuarzo (Cuando la luz pasa del cuarzo al aire)	0,68
Vidrio (Cuando la luz pasa del vidrio al aire)	0,654

Fuente: (Sirlin, 2006).

Se produce cuando existe un cambio de velocidad de propagación de la luz cuando esta traspasa de un medio transparente a otro con distinta densidad, generando un cambio de dirección. El “Índice de Refracción”, es la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de propagación en un medio distinto. (Sirlin, 2006).

Si la luz pasa de un medio rápido (aire) a una superficie con índice de refracción lento (vidrio), el ángulo de refracción disminuye con respecto al ángulo de incidencia. Cuando la pasa de un medio lento a uno rápido, el ángulo de refracción aumenta con respecto al ángulo de incidencia. (Sirlin, 2006).

2.5.2.3 Dispersión.

El efecto de la Dispersión ocurre cuando la luz atraviesa un medio o superficie, la velocidad de esta disminuye y varía para todas las longitudes de onda del espectro visible. El índice de refracción de un material, varía acorde la longitud de onda. Las ondas rojas (largas), se desvían más que las ondas violetas (cortas). Este efecto permite separar las distintas longitudes de onda de un rayo incidente, y evidenciar el espectro visible. (Sirlin, 2006).

2.5.2.4 Absorción.

Es la transformación de la luz en energía calórica, eléctrica o química. Los rayos solares, pierden energía al traspasar por un medio. La transparencia u opacidad de un material, genera una pérdida de energía que es cuantificada a través de un “Coeficiente de Absorción”. El porcentaje de transparencia es inversamente proporcional al coeficiente de absorción. En ciertas materias, este coeficiente difiere para las distintas longitudes de onda, lo que permite la generación de filtros de color. Superficies pintadas

pueden servir como películas de selección de longitudes de onda. El color negro absorbe todas las longitudes de onda del espectro visible, mientras que el color blanco refleja todas. (Sirlin, 2006).

2.5.2.5 Difusión.

Es generada por las múltiples reflexiones y refracciones simultáneas de la luz, al incidir esta sobre un cuerpo o material con irregularidades mayores al tamaño de la longitud de onda. El rayo de luz incidente sobre una superficie heterogénea se transforma en varios rayos reflejados y refractados, distribuyendo la energía luminosa en todas direcciones desde el punto de incidencia. Fuente: (Sirlin, 2006).

La niebla y las nubes en la atmósfera generan un efecto de Difusión, debido a que pequeñas gotas de agua están suspendidas en el aire de forma dispersa y aleatoria; afectando el traspaso de la luz. La mayor parte de los rayos solares que inciden en un medio difusor pueden ser dispersados hacia el exterior, sin generar mayores pérdidas por absorción. La luz que regresa al medio luego de incidir sobre una superficie heterogénea se conoce como luz “Reflejada Difusa”, mientras que la que atraviesa el segundo medio se denomina luz “Transmitida Difusa”. Fuente: (Sirlin, 2006).

2.5.2.6 Polarización.

El haz luminoso está conformado por campos eléctricos y por campos magnéticos, que son perpendiculares a la dirección de la propagación. Para cada onda existe un plano que contiene la dirección del campo y la dirección de propagación, que es conocida como “Plano de Polarización de la Onda”. La mayor parte de las fuentes luminosas emiten ondas que poseen planos de propagación que se orientan aleatoriamente. Algunos cristales transparentes transmiten sólo las ondas perpendiculares a los planos de polarización, lo cual puede ser utilizado para reducir deslumbramiento. Fuente: (Sirlin, 2006).

2.5.2.7 Difracción e Interferencia.

Este efecto se da cuando una misma superficie es iluminada por dos fuentes luminosas separadas, que irradian longitudes de onda iguales. El resultado de la mixtura de estas ondas, es que en algunos lugares estas se suman, y en otros se anulan; generando interferencia, creando patrones luminosos y oscuros en la superficie. Este efecto se evidencia por ejemplo cuando la luz incide en partículas de aceite sobre el agua, o también sobre burbujas de jabón. La Difracción, es consecuencia de la interferencia de

ondas secundarias, generadas al atravesar un haz de luz por un orificio de similar tamaño de la longitud de onda. Este efecto es imperceptible para el ojo humano, pero es importante para la fabricación de ciertos equipos ópticos tecnológicos. Fuente: (Sirlin, 2006). Cuando la luz incide sobre una superficie que separa dos medios, ocurre Reflexión y Refracción. En el vacío, la velocidad de la luz es la misma para todas las longitudes de onda del espectro visible. En el vacío, el rayo de luz no es afectado por pérdidas energéticas.

2.6 Conclusiones.

- La cantidad de luz solar incidente en un punto puede variar considerablemente durante una misma hora del día, durante distintos días de un mes o estación. En el caso de la ciudad de Quito, es necesario considerar no sólo el ángulo de incidencia solar sino además las condiciones climatológicas y de nubosidad.
- Un correcto diseño de iluminación natural para espacios interiores en Quito, debe analizar el comportamiento de esta tanto con valores mínimos, cómo con valores máximos de radiación solar. Estos valores, no necesariamente pueden coincidir con valores de iluminancia dados bajo condiciones de cielo nublado.
- La predominancia de cielos semi-cubiertos en la ciudad de Quito, así como su emplazamiento sobre los 0° de latitud a 2850 msnm; generan un alto riesgo de generación de estrategias inadecuadas de iluminación natural en espacios interiores, cuando estas son analizadas solamente bajo el método del FLD y condiciones de cielo cubierto.
- El FLD no considera al clima, componentes térmicos de la radiación solar, orientación del edificio, ni las horas en de uso del espacio; por lo tanto, no permite diseñar elementos de control solar específicos para cada fachada.
- El FLD no considera el dinamismo de las condiciones de luz natural incidentes en un espacio durante las diferentes horas y días del año, fenómeno que puede ser aprovechado para garantizar la calidad lumínica en un espacio interior, considerando que distintas actividades requieren distintas condiciones de iluminancia.
- El FLD no considera la actividad que se realiza en el espacio, ni si los niveles de iluminación son adecuados para el desarrollo de dicha actividad. En el caso de

la ciudad de Quito, este método no nos ayuda de forma efectiva para el diseño de aperturas cenitales.

- El adecuado diseño de un espacio interior en términos de iluminación natural, debe considerar tanto las condiciones de incidencia de luz solar (geometría solar), así como el comportamiento de esta sobre los distintos materiales y formas que determinan dicho espacio.

3 El Clima y la Arquitectura.

3.1 El Clima y su Influencia en la Arquitectura.

El clima, sus condiciones, componentes y variables; caracterizan e identifican a una región, generando en los usuarios estilos de vida con características físicas y psicológicas particulares. El diseño arquitectónico no debe emanciparse de su contexto, debe optimizar el uso de recursos naturales y energéticos; así como propiciar la conservación de estos. Los efectos del medio ambiente en la arquitectura inciden directamente: 1). en el uso de energía y 2). en la salud de las personas. La iluminación artificial, así como otros adelantos de la tecnología moderna, han permitido generar espacios con condiciones estables pero desligadas de su contexto climático. (Lacomba, 2012).

La climatología encierra todas las variables meteorológicas, las cuales actúan de forma combinada: temperatura, humedad, presión, precipitaciones, nubosidad, visibilidad, viento, radiación solar; las cuales caracterizan una zona geográfica. (Olgyay, 2010). Al analizar los efectos del clima en los espacios arquitectónicos, se debe considerar: 1). Los niveles macro-climatológicos, 2). Los niveles micro-climatológicos, y 3). Las condiciones ambientales variables en el tiempo, que hacen del clima un ciclo dinámico. (Lacomba, 2012).

Acorde con (Lacomba, 2012), los factores climáticos, dependen de las condiciones físicas de una zona particular, siendo estas:

- Latitud: Es la distancia angular de un punto sobre la superficie a la línea ecuatorial.
- Altitud: Es la distancia medida a un plano desde el nivel medio del mar.
- Relieve: Es la configuración de la superficie terrestre,
- Distribución de tierra y agua: Se define como la relación entre cuerpos de agua y tierra firme.
- Corrientes marinas: Son los movimientos continuos de aguas marinas en una dirección.
- Modificaciones al terreno: pueden ser naturales o generadas por los seres humanos.

El clima tiene una influencia sobre los asentamientos humanos, distribución de flora y fauna, plantaciones y cultivos, fisiología y bienestar de las personas. El Ecuador tiene una gran cantidad de climas, con importantes variaciones anuales. La zona central del territorio está atravesada por la cordillera de los Andes, cuyo ancho varía entre los 100 y 140km. El valle inter andino está conformado por una sucesión de hoyas con anchos de unos 40km y alturas que oscilan entre los 1300 y 3000 msnm. (Paurrut, Acosta, Winckell, & Rojas, 1983). Hasta los 80° de longitud en adelante, se desarrolla la zona de la costa del Ecuador con alturas que oscilan entre los 0 y 1500 msnm. Entre los 80° y 79° de longitud, se despliega la zona interandina. El valle donde se emplaza la ciudad de Quito está a los 2850 msnm, conformado por las Cordilleras Occidental y Central con alturas de 4800 msnm. Las hoyas orientales se desarrollan entre los 79 y 78° de longitud a unos 1000 msnm, con la presencia de la Cordillera Oriental o Real con alturas de 2000 a 2500 msnm. (Naranjo, 1981).

Los factores principales que determinan las condiciones climáticas del Ecuador son:

- Latitud: asociada con la radiación solar incidente y circulación atmosférica a escala del planeta.
- Relieve-Altitud: la cordillera de los Andes es una gigante barrera natural que desplaza masas de aire local o regional.
- Océano Pacífico: genera masas de aire con temperatura y humedad. (Paurrut, Acosta, Winckell, & Rojas, 1983).

La circulación general atmosférica, se compone de la interacción de fenómenos y factores complejos como: presión, temperatura, viento, entre otros. En la franja ecuatorial la incidencia de radiación solar es hasta ocho veces mayor que en los polos, calentando y elevando el aire. Este, es reemplazado por masas de aire más frío provenientes de zonas alejadas la línea ecuatorial, el cual vuelve a ser reemplazado por aire ecuatorial que baja. De esta manera se regula el equilibrio térmico en el planeta. (Paurrut, Acosta, Winckell, & Rojas, 1983).

3.2 Generalidades Climáticas del Ecuador.

El Ecuador está emplazado climatológicamente dentro de un sistema de bajas presiones, donde masas de aire de ambos hemisferios convergen, en alturas entre los 500 y 1500 msnm, generando zonas atmosféricas inestables, con presencia de tormentas y otras

perturbaciones. Al recibir estas masas de aire con diferencias de temperatura y humedad durante el transcurso del año, se genera cambios en la dirección de los flujos. En términos generales, entre mayo-junio y septiembre-octubre encontramos la estación seca, mientras que desde octubre-noviembre hasta mayo la estación húmeda. Las zonas emplazadas entre los 2000 y 3000 msnm, se encuentran influenciadas de forma alternada por masas de aire tropical marítimo y tropical continental, el aire es denso con rangos de humedad variable, generando un clima más estable y menos lluvioso que en zonas más bajas. Las distintas masas de aire por su ubicación y acción, afectan constantemente al clima. (Paurrut, Acosta, Winckell, & Rojas, 1983).

En la región andina ecuatoriana, encontramos cuatro tipos principales de climas, siendo el de mayor presencia el “ECUATORIAL MESOTÉRMICO SEMI-HÚMEDO A HÚMEDO”. Este se extiende por gran parte de la zona interandina exceptuado áreas de valles abrigados y áreas con alturas mayores al rango entre los 3000 y 3200 msnm. Las lluvias varían entre los 500 y 2000 mm, temperaturas medias anuales que oscilan entre los 12 y 20°C, humedad relativa en rangos entre 65 y 85%, y períodos de duración de insolación favorables. (Paurrut, Acosta, Winckell, & Rojas, 1983).

La distribución estacional de las lluvias y la precipitación media mensual en el Ecuador, está delimitada en tres regímenes claramente diferenciados: 1) Costa, 2) Sierra y 3). Oriente. En el callejón interandino, las precipitaciones están relacionadas a la cercanía con la línea equinoccial, a la altitud, topografía, efecto Foehn² y a las corrientes de aire. La zona al norte de la línea ecuatorial tiene una sola estación lluviosa comprendida entre septiembre y abril-mayo, con picos máximos en días cercanos a los equinoccios (septiembre y marzo son los meses más lluviosos). La zona del callejón interandino emplazada al sur de línea equinoccial, posee un comportamiento pluvial similar; con la diferencia que los picos son febrero-abril y octubre-noviembre (Cañadas, 1983).

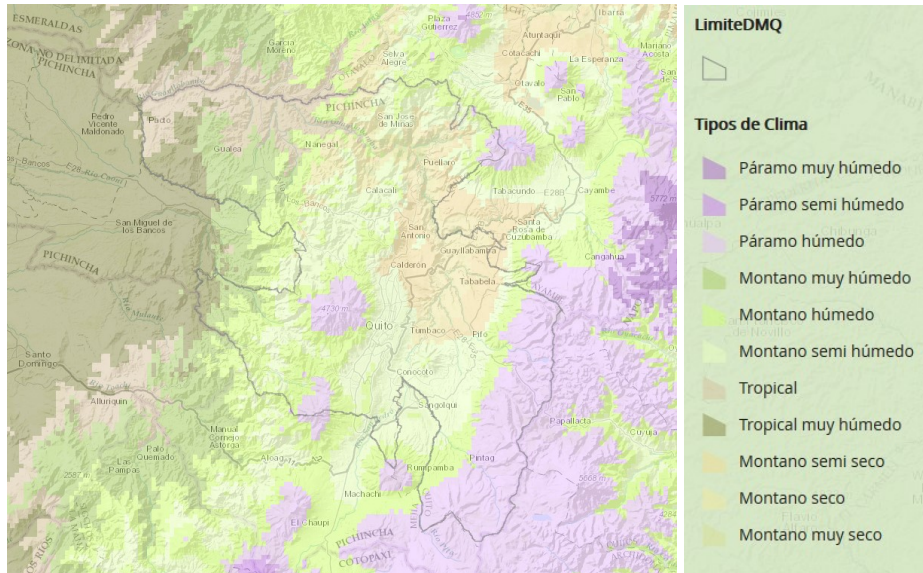
3.3 El Clima en la Ciudad de Quito.

El Distrito Metropolitano de Quito (DQM), reparte su territorio dentro de una importante amplitud altitudinal que va desde los 500 hasta los 4780 msnm, con una humedad relativa promedio del 75% y una temperatura promedio de 14.78 °C. Se

² Efecto Foehn: Es el calentamiento del aire producido cuando este desciende por la vertiente de la montaña opuesta a la dirección del viento. (Ministerio de Fomento, 2017)

compone por varios tipos de climas que varían de forma considerable entre sí. Los vientos alisios provocan precipitaciones durante la mayor parte de los meses del año. El cañón del Guayllabamba, la cuenca amazónica, entre otras; generan variaciones pluviales importantes dentro del territorio. (Secretaría de Ambiente, 2017).

Ilustración 4: Mapa climatológico del Distrito Metropolitano de Quito.



Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2017)

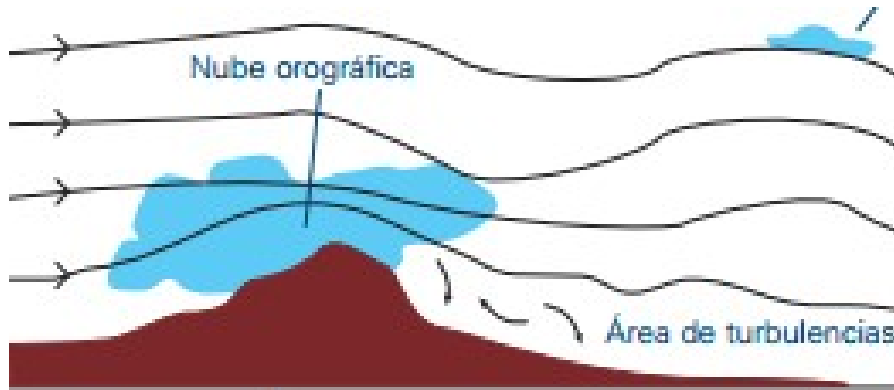
<http://geocentro.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=f03443b940e045d4a2a007fd530bab61>

El área urbana de la ciudad de Quito se emplaza en latitud 0° a unos 2850 msnm, en la zona ecuatorial templada. Su clima predominante es el Montano semi-húmedo 3, con sustanciales variaciones de temperatura durante las diferentes horas del día.

³ Los bosques de montaña poseen cualidades especiales de humedad y temperatura, caracterizados por una alta diversidad de flora y fauna en diferentes escalas, siendo particularmente frágiles. Los valles interandinos, son una sucesión de Hoyas; con gran presencia de matorrales secos y húmedos, árboles pequeños y arbustos, que en la actualidad están casi destruidos. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2012).

3.4 Nubosidad.

Ilustración 5: Influencia de la orografía en la nubosidad.

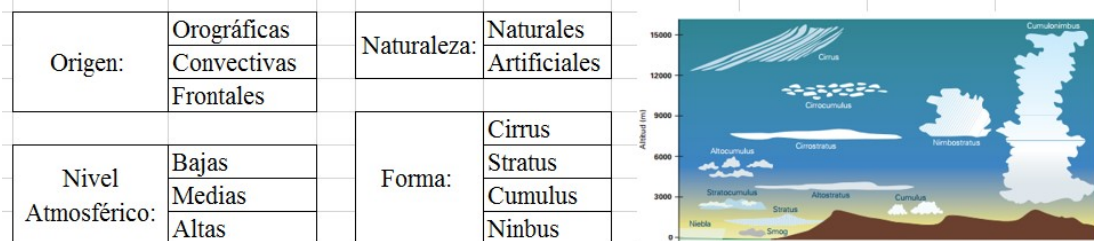


Fuente: (León & Quirantes , 2017)

Las nubes son partes de aire enturbiada por vapor de agua que se condensa como un conjunto de numerosas gotas de agua en estado líquido, cristalinios de hielo, esferas de hielo y/o la combinación de estos, que se encuentran suspendidos en la atmósfera. Las nubes son estructuras que al aglutinarse cubren total o parcialmente el cielo. Las nubes son la manifestación física y visual del vapor de agua en la atmósfera. La interacción de la luz con distintas concentraciones de gotas de agua y cristales de hielo, deriva en que estas sean percibidas en ocasiones de color blanco, gris o negro. (León & Quirantes , 2017)

La topografía no genera por si misma nubosidad en la bóveda celeste, pero interfiere u obstaculiza el movimiento de las masas de aire. Las montañas son entonces barreras naturales que frecuentemente obligan a las masas de aire a ascender y enfriarse, dando como resultado el aparecimiento de nubosidad orográfica. (León & Quirantes , 2017)

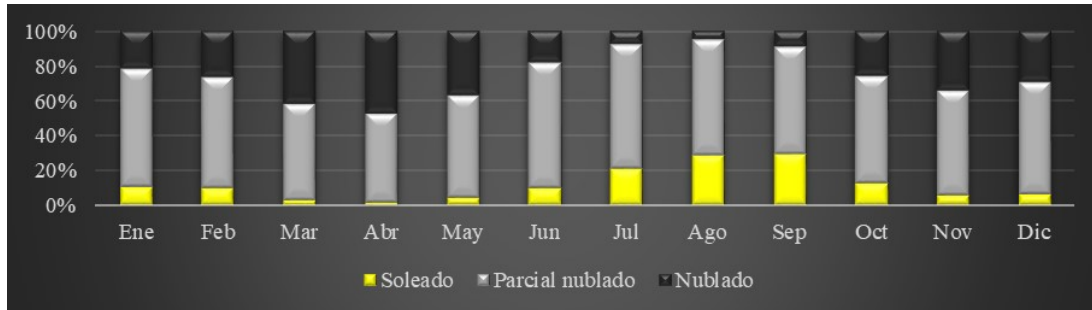
Ilustración 6: Tipo de nubes.



Fuente: (León & Quirantes , 2017)

3.4.1 La Nubosidad en la Ciudad de Quito.

Ilustración 7: Distribución de nubosidad porcentual-mensual en Quito.



Fuente: www.meteoblue.com

Para el presente análisis se utilizará diagramas climáticos basados en simulaciones de modelos meteorológicos horarios, tomados de la estación meteorológica de Iñaquito de los últimos 30 años. Estos tienen una resolución espacial de 30 Km, y pueden brindar una acertada indicación de patrones climáticos típicos como: temperatura, precipitación, radiación solar, viento y nubosidad. Los días con una nubosidad que representa menos del 20% de cobertura de la bóveda celeste se denominan soleados. Los días con una cobertura de cielo con rangos entre el 20 y 80% se consideran parcial nublados, y los días con porcentajes de nubosidad mayores al 80% se consideran nublados. Los rangos de días parcialmente nublados durante el transcurso del año, fluctúan entre el 51.33% y 72.33%. Los porcentajes de nubosidad comparando las mismas horas a día seguido durante los meses del año, pueden tener considerables diferencias.

3.5 Conclusiones

- La incidencia de iluminación natural está determinada por la posición de un espacio en términos de su emplazamiento latitudinal y orientación. La radiación solar puede verse afectada ya sea por reflexión o absorción producida en la atmósfera principalmente por la densidad de la nubosidad. La ciudad de Quito, al estar emplazada dentro del callejón interandino presenta condiciones muy variables de nubosidad las cuales afectan de forma determinante las condiciones de iluminación natural horizontal interior.
- La iluminancia directa en zonas ecuatoriales bajo condiciones de cielo claro puede presentar valores extremos de entre 60000 y 100000 luxes. Estos valores tienden a variar o atenuarse, en cuanto nos alejamos de línea ecuatorial debido al

ángulo del eje de rotación del planeta⁴, que genera las estaciones. En el caso de la ciudad de Quito, las diferencias climatológicas y de nubosidad son muy marcadas entre los períodos secos y lluviosos; los cuales inciden y afectan las condiciones de iluminancia horizontal interior en espacios arquitectónicos.

- El clima en un área determinada, es un ciclo dinámico el cual debe ser estudiado y entendido por quienes diseñan espacios arquitectónicos, con el fin de conseguir confort en los usuarios. La determinación de patrones y tendencias del comportamiento climático, nos ayudarían a la generación de una arquitectura correctamente ligada a su entorno. La comprensión de estos ciclos, son factores determinantes al momento de establecer estrategias sostenibles en la forma en la que diseñamos los espacios. La particularidad de la ciudad de Quito tanto por su locación ecuatorial, encajonamiento topográfico y emplazamiento en altura; generan condiciones y ciclos climatológicos poco comunes, que merecen una comprensión a profundidad.

⁴ El planeta tierra tiene un eje de rotación de 23°. Durante su recorrido (movimiento de traslación) produce dos solsticios (21 de junio y 21 de diciembre) y dos equinoccios (21 de marzo y 21 de septiembre) cada año, produciendo las estaciones y variaciones solares. Los ángulos de incidencia solar a una misma en un mismo espacio, difieren cada día. (Jaramillo, 2012)

4 Metodología.

El presente trabajo de estudio observará tres Dimensiones de Análisis, con la finalidad de entender la dinámica de la iluminación natural para espacios interiores en la Ciudad de Quito:

- 1). Incidencia de la iluminancia horizontal,
- 2). Uso del espacio por el usuario, y
- 3). Nubosidad en la ciudad de Quito.

Para generar el Proceso de Estudio de Iluminación Natural en Quito, se considerarán una serie de variables incluidas en las dimensiones de análisis y examinadas dentro de un caso de estudio. Se analizará:

- Determinación de valores de Iluminancia Horizontal Interior con relación a la Norma NEC2011 Cap. 13
- Variabilidad de la Iluminancia Horizontal en espacios interiores.
- Determinación de valores de Factor de Luz del Día con relación a porcentajes recomendados.
- Variabilidad horaria del Factor de Luz del Día en los espacios interiores del caso de estudio.
- Tendencia del uso de los espacios analizados en el caso de estudio.
- Determinación de valores de densidad de la nubosidad.
- Variabilidad de la nubosidad en la ciudad de Quito.

4.1 Caso de Estudio.

Tabla 4: Características y dimensiones Aulas del caso de Estudio.

	Área efectiva	Orientación Ventanas	Número de usuarios.	Áreas superficies vidriadas. Exteriores	Áreas superficies vidriadas. Interiores	Altura hasta cara inferior de losa.	Altura hasta cara inferior de loseta de compresión.	Acabado de Piso	Acabado de Paredes	Contexto construido
Aula 1	49,11 m ²	O - E	19	7,15	2,84	2,89	3,14	Cerámica color crema + emporado café oscuro.	Ladrillo rebocado + pintura blanca.	Patio central encespado.
Aula 2	48,78 m ²	E - O	19	10,76	2,84	2,89	3,14	Cerámica color crema + emporado café oscuro.	Ladrillo rebocado + pintura blanca.	Parqueadero vehicular + obstrucciones.

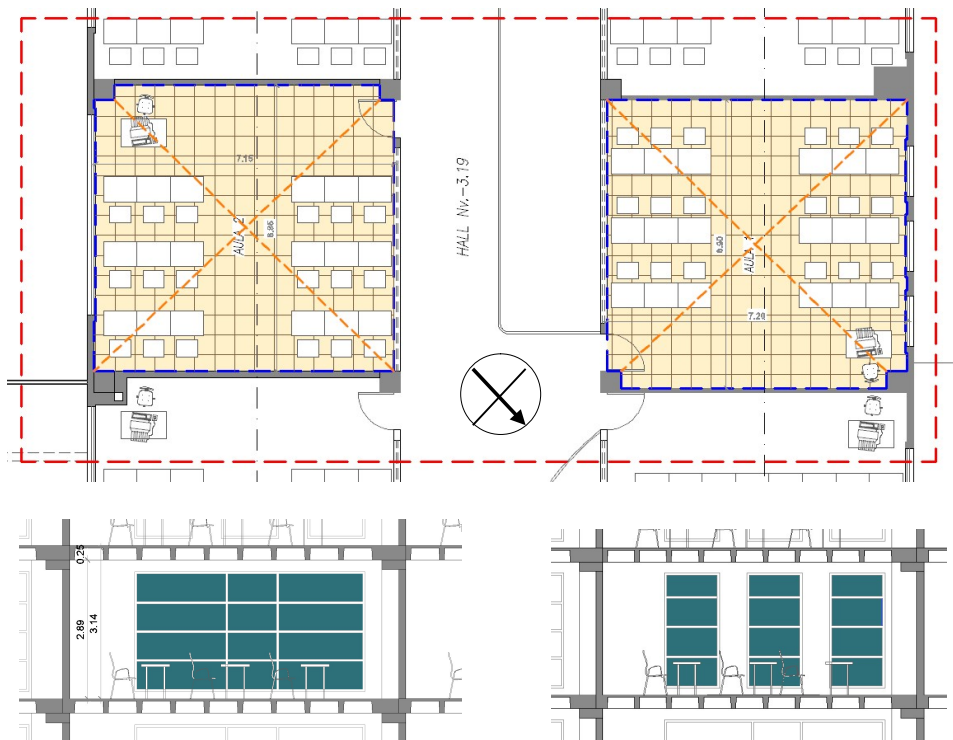
Fuente: Elaboración Propia.

Ilustración 8: Proyección Estereográfica Solar en el sitio de estudio.



Fuente: sunearthtools.com

Ilustración 9: Planta y Corte Arquitectónico de las Aulas del caso de estudio.



Fuente: Elaboración Propia.

Se analizará la incidencia y variabilidad de la iluminación natural en dos aulas con características similares, en la Facultad de Arquitectura y Diseño (FADA) de la

Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Se ha considerado estos espacios por la accesibilidad a toma de medidas y control del espacio con el fin de evitar alteraciones en las medidas, y por la relevancia de la adecuada iluminación natural para actividades referentes a la enseñanza de arquitectura.

4.2 Toma de Medidas In-Situ.

Se tomará medidas de iluminancia interior y exterior durante el mes de marzo de 2017, período en el cual están suspendidas las actividades académicas las aulas del caso de estudio; con el fin de precautelar la calidad de las muestras, sin que estas sean afectadas por sombras producidas por los usuarios. La toma de medidas interiores será realizada con la ayuda de dos equipos HOBO Data Logger U-12, ubicados cada uno en los centros geométricos de los espacios del caso de estudio. Estos equipos estarán ubicados sobre una base estable horizontal a 85 cm de altura (Altura de trabajo). Estos equipos tomarán las medidas en intervalos de treinta minutos desde las 7:30 am hasta las 17:30 pm, horario que coincide con la mayor parte de la permanencia y uso de los espacios por parte de los usuarios.

Ilustración 10: Muestra de toma de medidas de Iluminancia Horizontal Interior in-situ.



Fuente: Elaboración Propia.

Los datos de medias in-situ de Iluminancia Interior Centro del Espacio, están detallados dentro de los Anexo No. 1A y 1B del presente trabajo de estudio. El análisis de la física de luz, incluye examinar una serie de variables que afectan de mayor o menor forma el comportamiento de esta dentro de espacios interiores. Con el fin de garantizar la calidad del estudio lumínico interior y eliminar variables innecesarias como sombras, absorción y reflexión de luz dentro de los espacios, las mesas y sillas fueron retiradas de las áreas de estudio. Tanto las mesas como las sillas dentro de los espacios del caso de estudio, presentan características diferentes en cuanto a color, altura y horizontalidad con respecto al nivel del piso, y el estado de rugosidad; todas variables que determinan y afectan la iluminancia en espacios interiores.

Las medidas de iluminancia exterior, serán efectuadas sobre la terraza superior del edificio de la FADA, donde no existen obstrucciones directas a la luz solar por otros volúmenes. Las medidas serán tomadas con un luxómetro móvil VOLTCRAFT LX-1108, en períodos de tiempo de dos horas considerados desde las 7:30 am hasta las 17:30 pm. Los datos de iluminancia exterior, están detallados en el Anexo No. 2 del presente estudio.

Se podrá determinar a través del análisis de estos datos:

- Períodos horarios de mayor variación de iluminancia interior.
- Períodos horarios estables o de menor variación de iluminancia interior.
- Períodos de mayor incidencia de iluminación interior.
- Períodos de menor incidencia de iluminación interior.

4.3 Análisis del Factor de Luz del Día (FLD).

Partiendo de la premisa que el FLD no considera gravitante la orientación de las ventanas, puesto que su cálculo considera un cielo de densidad de nubes e iluminancia uniforme, no se consideró necesario en este estudio el buscar espacios con orientaciones alineadas o contrapuestas en su totalidad al eje de asoleamiento Este-Oeste.

Se medirá los valores de FLD dentro de las aulas del caso de estudio, para determinar los valores de cuando este excede, está dentro, y está por debajo de los porcentajes

recomendados. Se medirá además los períodos de tiempo en los que este indicador presenta las condiciones de más alta variación, estabilidad y menor variación.

Valor de FLD

- % excedente a valor recomendado: mayor al 5%
- % dentro de valores recomendados: entre el 2 y 5%
- % bajo valor recomendado: menor al 2%.

Se estudiará el comportamiento del factor de luz del día, con el fin de poder establecer su aplicabilidad en el caso de estudio, y cómo este es efectivamente replicable o no para otros espacios interiores de edificaciones en la ciudad de Quito. Se analizará este indicador en base a las medidas exteriores e interiores tomadas en períodos de dos horas contados desde las 7:30 am hasta las 17:30 pm, detallados en el punto anterior. Los resultados y cálculos obtenidos en este indicador, se detallarán en los Anexos No. 3A Y 3B de esta investigación.

La fórmula que se utilizará para el cálculo del FLD es:

$$FLD = (I_i / I_e) \times 100$$

Dónde:

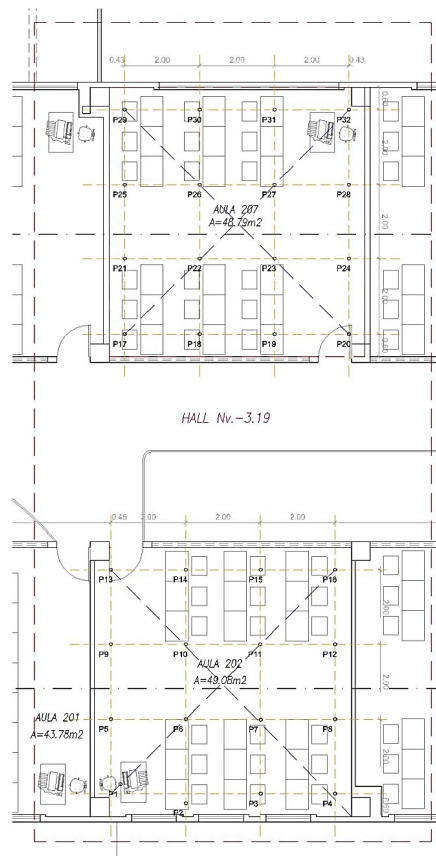
- I_i = Iluminancia interior, medida en luxes.
- I_e = Iluminancia exterior, medida en luxes.

Los resultados arrojados por estos indicadores, serán comparados y analizados con la ayuda y determinación de la “Desviación Media Estándar” (DME).

4.4 Medias Interiores de Iluminancia Horizontal.

Con el fin de entender el comportamiento y variaciones de la iluminación natural en espacios interiores en la Ciudad de Quito, se tomó medidas puntuales en las aulas del caso de estudio repartidas en una grilla simétrica con 16 puntos por espacio. Si bien es cierto el procedimiento adecuado sería el tomar las medidas de iluminancia horizontal en dichos puntos de forma simultánea, por carencia de recursos tecnológicos fueron tomados de forma manual punto por punto en intervalos de 10 segundos, con la ayuda de un luxómetro móvil VOLTCRAFT LX-1108.

Ilustración 11: Grilla para toma de manual de medidas de Iluminancia Horizontal Interior in-situ.



Fuente: Elaboración Propia.

Las medidas de iluminancia horizontal puntual, fue realizada 5 minutos después de las medidas de iluminancia interior y exterior detalladas en punto 4.3. del presente trabajo de estudio. Los datos obtenidos en este levantamiento están detallados en los Anexo No. 4 Iluminancia Horizontal Interior punto por punto Aula 1 y Aula 2 de la presente investigación. Los resultados arrojados por estos indicadores, serán comparados, analizando valores Promedio y su DME.

4.5 Análisis de la nubosidad en Quito y su efecto en la iluminación natural.

Con el fin de entender el comportamiento histórico de la nubosidad, se analizará la conducta horaria, diaria y mensual de esta; a partir de medidas meteorológicas obtenidas de la Base de Datos METEOBLUE, que dispone de mediciones realizadas desde la Estación Meteorológica IÑAQUITO localizada en el centro-norte de la ciudad. Se

analizará las tendencias de la dinámica de la nubosidad y radiación, considerando datos desde el año 2000 hasta el 2016.

El análisis de la nubosidad en este rango de tiempo permitirá establecer un Año Meteorológico Tipo actualizado para la ciudad de Quito. Este análisis excluirá a aquellos años donde las condiciones climatológicas fueron afectadas por los Fenómenos del Niño y de la Niña, puesto que estos influyen de forma importante en las condiciones atmosféricas: nubosidad, temperatura, humedad relativa, entre otras; las cuales afectan la Iluminancia y la incidencia de la radiación solar. Se determinarán entonces los Años Útiles de Análisis, se examinarán las medidas de Densidad Total de Nubosidad de estos, las cuales incluyen los porcentajes de nubosidad alta, media y baja.

A las medidas de Densidad Total de Nubosidad de los Años Útiles se las analizará con la ayuda de la DME, con la finalidad de determinar los años que presenten:

- Comportamientos climatológicos iguales.
- Años de menor variación de DME.

Una vez determinados los resultados óptimos de DME de los años Útiles se obtendrá un Promedio Simple de estos. Este resultado será restado de los valores de DME de los Años Óptimos para el Análisis, siendo el valor más cercano a cero el que determine el Año Meteorológico Tipo. Los datos y cuadro resumen de cálculos de este análisis están descritos en el Anexo Digital No. 5 del presente trabajo de estudio.

La estación meteorológica IÑAQUITO, mide y registra datos de Radiación Solar más no de Iluminancia Horizontal. Con la finalidad de poder entender el comportamiento histórico de la Iluminancia Exterior, se convertirán los datos de Radicación de onda corta⁵ en w/m² en luxes, bajo la relación: $0.0079 \text{ w/m}^2 = 1 \text{ lux}$ (Chambers, 2018)

Con el análisis de estos indicadores, se establecerá los rangos de mayor, media y menor variabilidad de la nubosidad; se establecerá la relación de esta con la radiación incidente (w/m²), con el fin de establecer los rangos horarios y temporales más desfavorables. El resultado de este análisis permitirá generar las Métricas Dinámicas de la Iluminación

⁵ La radiación de onda corta está contenida dentro de rango del espectro electromagnético entre los 290 y 3000 nm, incluyendo en su totalidad el rango visible por el ojo humano. Fuente: <http://www.aemet.es>

Natural para la ciudad de Quito, y posibilitar la generación de estrategias que mitiguen las peores condiciones de iluminación natural para espacios interiores.

4.6 Análisis de tendencia del Uso del Espacio.

Se analizará de manera porcentual las horas: mayoritarias, de mediano y bajo uso de los espacios arquitectónicos del caso de estudio, con la finalidad de contrastar con los períodos de mayor, media y menor iluminancia al interior de los locales; así como con los valores de mayor, media y baja variabilidad de iluminancia interior.

Se analizará porcentualmente, los rangos horarios de mayor, media y menor variabilidad de uso del espacio; con la finalidad de compararlos con los períodos donde encontramos las mejores condiciones dinámicas de iluminación natural interior; y contrastar la eficiencia con la que se utilizan los espacios arquitectónicos.

Con el análisis de estos factores, se podrá establecer los rangos o períodos de tiempo más adecuados para el uso de dichos espacios aprovechando la incidencia confortable de la luz natural, para generar estrategias de uso del espacio para minimizar la posibilidad de uso de iluminación artificial.

Los datos de uso de espacios utilizados para el cálculo de este indicador, se recopilarán de las Coordinaciones de la FADA, de la mayor cantidad de períodos académicos disponibles. Los datos de uso del espacio, se detallarán en el Anexo No. 6 del presente trabajo de investigación.

4.7 Aplicativo para Pre-Dimensionamiento para espacios Interiores en Quito.

Como producto entregable del presente trabajo de investigación, se entregará un aplicativo de uso práctico y sencillo que permita entender el comportamiento lumínico y pre-dimensionar espacios arquitectónicos emplazados en la ciudad de Quito. El aplicativo conjugará las variables de orientación, índices de nubosidad, índices de iluminancia natural exterior y tiempo; para obtener índices de iluminancia natural interior en el centro del espacio, que permita tomar las primeras decisiones de diseño de manera de optimizar la incidencia de la luz natural y disminuir el consumo energético. El uso del Sistema de Aplicativo se detallará en el Anexo No. 7 del presente trabajo de investigación.

5 Resultados y Discusión.

Las medidas de iluminancia interior tomadas en los espacios de estudio demuestran que en el Aula 1 cuyas ventanas están orientadas al nororiente, las principales variaciones las encontramos entre las 11:30 am y las 16:00 pm. El Aula 2 cuyo ventanal está dirigido al noroccidente, las variaciones las encontramos desde las 8:00 am y las 13:30 pm. En ambos casos encontramos que no existe suficiente iluminancia interior entre las 7:30 y 8:30 am y desde las 16:30 pm.

5.1 Medidas In-Situ.

5.1.1 Iluminancia Horizontal Interior.

Tabla 5: Variación de Iluminancia (luxes) horaria-diaria Aula 1.

	23M	22M	20M	17M	16M	15M	14M	13M	10M	9M	8M	7M	
7:30	79	80	81	79	99	67	67	75	122	59	67	104	Baja variación de valores de iluminancia, baja iluminancia en el centro del Aula
8:00	119	120	132	98	170	99	99	122	122	138	83	115	
8:30	198	146	201	194	193	162	209	138	280	209	209	187	
9:00	233	233	280	233	264	248	367	185	280	209	288	275	Media variación de valores de iluminancia, media variación de iluminancia en el centro del Aula
9:30	351	311	430	248	193	296	248	296	162	217	359	274	
10:00	343	343	367	359	351	225	296	359	375	453	422	347	
10:30	335	406	390	532	414	209	296	327	288	264	422	305	
11:00	256	611	430	422	367	170	587	390	390	311	469	516	
11:30	375	267	469	587	438	248	430	414	375	390	516	456	
12:00	114	516	501	177	170	367	453	516	390	453	501	423	Alta variación de valores de iluminancia, alta variación de iluminancia en el centro del Aula
12:30	130	382	414	162	67	264	516	382	548	477	311	289	
13:00	225	335	304	122	154	201	343	201	445	477	170	207	
13:30	296	162	248	122	106	114	51	296	335	524	280	403	
14:00	382	91	99	67	114	122	59	1013	4	296	130	118	
14:30	501	36	122	248	280	138	162	406	20	682	36	245	
15:00	170	130	43	422	122	603	130	248	28	572	20	247	
15:30	217	146	91	351	36	146	162	59	36	130	36	68	
16:00	209	106	4	390	12	36	359	67	114	91	99	148	
16:30	99	106	86	99	12	20	193	83	185	28	51	99	
17:00	91	59	75	296	12	20	43	36	106	36	20	79	
17:30	75	36	40	83	20	43	12	12	59	4	20	52	

Fuente: Elaboración Propia.

Las medidas tomadas in-situ en este espacio con orientación NW, muestran una importante amplitud en la variación de medidas de iluminancia horizontal interior.

Encontramos un importante período estable entre las 9:00 am 11:30 am – 12:00 pm, con condiciones adecuadas o dentro de la norma para el desenvolvimiento de actividades educativas. El período de mayor variación de iluminancia horizontal interior en el centro geométrico del aula, dado entre las 12:00 pm y 15:30 pm, podemos encontrar medidas que sobrepasan los 1100 luxes y otras muy bajas de entre 20 y 100 luxes, las cuales generarían en el usuario pérdidas de confort tanto por deslumbramiento como por penumbra. Este importante rango de variación de medidas coincide con los grandes rangos de variación de densidad de nubosidad, que podemos observar en el gráfico de los año meteorológico tipo 2005 para Quito realizados en la presente investigación. Los rangos de mayor estabilidad de iluminancia interior, se encuentran en los rangos de tiempo donde las ventanas al exterior no son afectadas por la incidencia solar directa.

Tabla 6: Variación de Iluminancia (luxes) horaria-diaria Aula 2.

	23M	22M	20M	17M	16M	15M	14M	13M	10M	9M	8M	7M	
7:30	153	148	219	140	217	91	130	138	248	138	67	97	Baja variación de valores de iluminancia, baja iluminancia en el centro del Aula
8:00	356	319	289	302	1029	146	319	154	256	461	83	112	
8:30	689	304	1510	715	1581	241	627	170	1636	1541	209	256	
9:00	414	406	1604	461	1636	398	1258	256	1281	595	288	756	Alta variación de valores de iluminancia, alta variación de iluminancia en el centro del Aula
9:30	753	540	1604	635	840	422	769	382	580	737	359	1297	
10:00	556	666	737	974	1226	319	1848	706	1589	1234	422	761	
10:30	564	787	840	1258	982	343	666	777	516	343	422	989	
11:00	485	848	769	769	635	311	1013	887	714	351	469	871	
11:30	603	556	682	769	745	311	627	627	572	375	516	950	
12:00	264	674	556	509	438	564	564	658	524	619	501	595	
12:30	233	627	509	217	91	461	611	524	753	430	311	650	
13:00	327	453	272	225	162	453	453	288	698	658	170	658	
13:30	430	469	422	177	51	154	225	461	548	627	280	666	
14:00	382	170	99	170	106	248	51	658	12	390	130	603	media variación de valores de iluminancia, media variación de iluminancia en el centro del Aula
14:30	382	75	146	343	248	217	106	382	28	509	36	438	
15:00	248	138	67	351	193	343	99	256	36	296	20	532	
15:30	288	130	83	272	43	241	233	146	67	225	36	241	
16:00	335	154	12	272	12	59	177	91	154	83	99	343	
16:30	130	99	100	106	12	28	146	146	177	43	51	209	
17:00	130	59	85	193	12	28	83	51	67	59	20	138	Baja variación de valores de iluminancia, baja iluminancia en el centro del Aula
17:30	99	36	60	146	20	43	12	12	36	12	20	36	

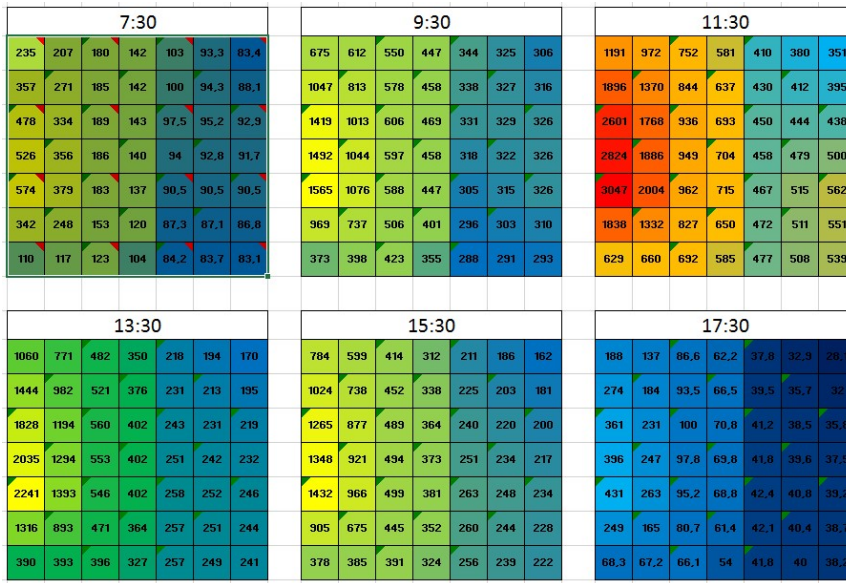
Las medidas tomadas in-situ en esta aula, cuyas ventanas al exterior están orientadas al SE, demuestran que existe un importante rango de mayor variación que empata con el período de mayor incidencia de iluminancia horizontal. Un 80 % de medidas en este

rango muestran óptimas condiciones de iluminación natural para actividades educativas. Dependiendo de la ubicación en el aula y del ángulo de incidencia solar, generarían pérdida de confort lumínico por excesivo contraste. Menos de un 5% de las muestras corresponden a medidas de iluminancia horizontal interior menores a 200 luxes, las cuales corresponden a días con bóveda 100% cubierta gris oscuro con presencia de lluvia.

Los períodos de mayor estabilidad y menor incidencia de radiación solar se dan entre las 14:00 pm y 17:30 pm, cuando esta no incide de forma directa sobre las aperturas acristaladas. Sin embargo, es posible afirmar que en un 50% del tiempo del rango entre las 14:00 pm y 16:00 pm, el aula en estudio cuenta con condiciones de iluminación natural suficientes para actividades educativas.

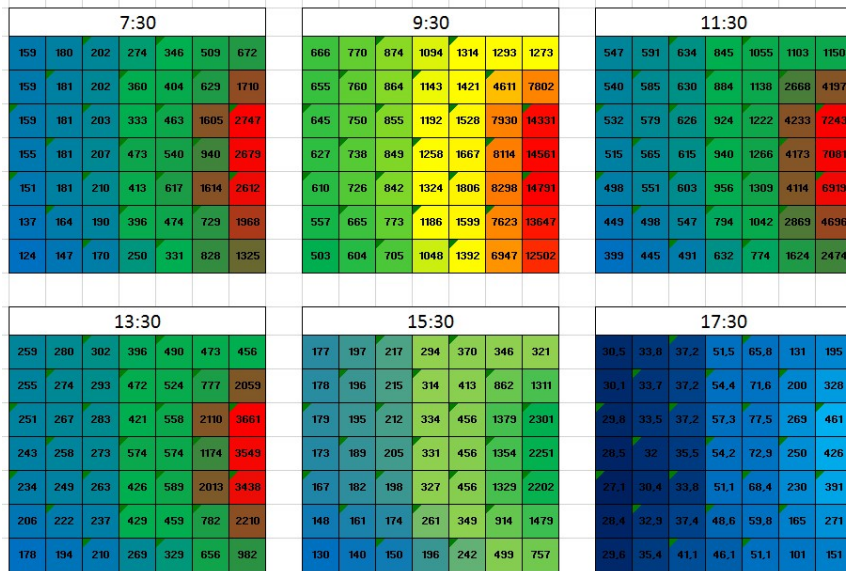
El levantamiento lumínico demuestra que, para ambas aulas del caso de estudio en los rangos de más alta variación, podemos encontrar diferencias en mismos períodos horarios que oscilan entre 400-600 luxes o inclusive más, en días de una misma semana. Las condiciones altamente variables de: 1). Densidad de Nubosidad y 2). Tonalidad de las nubes, generan grandes variaciones de iluminancia horizontal. Las condiciones de cielo parcial cubierto con rápidos movimientos de nubosidad preponderantes en la ciudad de Quito, dificultan el pronóstico de condiciones óptimas de iluminancia horizontal interior; por lo que es imprescindible comprender el comportamiento de las condiciones climáticas que afectan a la ciudad para el adecuado diseño arquitectónico interior.

Ilustración 12: Iluminancia Horizontal Promedio in-situ (luxes) Aula 1



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 13: Iluminancia Horizontal Promedio in-situ (luxes) Aula 2.



Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Iluminancia Horizontal Exterior.

Las medidas de iluminancia horizontal exterior libre de obstáculos realizada en el presente trabajo de investigación, demuestran que al igual que lo que sucede en espacios

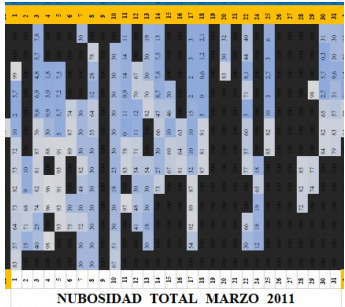
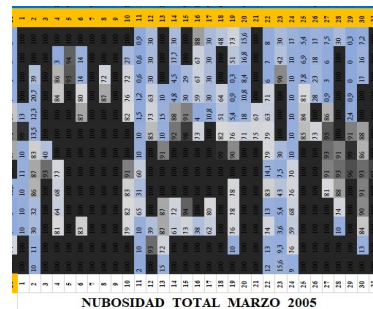
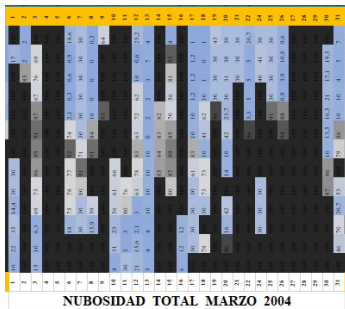
interiores; los períodos en los que el sol se acerca al zenit son los que presentan mayores variaciones. Las medidas de iluminancia horizontal exterior tomadas en periodos cercanos al amanecer y al atardecer, tienden a variar considerablemente menos comparadas con las condiciones de medio día. El apareamiento y ocultamiento de del sol en días semi-cubiertos, genera importantes variaciones de medidas inclusive en períodos muy cortos de tiempo. Por esta razón, la toma de medidas de iluminancia horizontal interiores y exteriores de forma simultánea; fue factor fundamental en el presente trabajo de estudio.

Durante el período en el que se tomaron las medidas de iluminancia interior y exterior del presente trabajo de investigación, un 50% del tiempo las condiciones del cielo son parcial nubladas. Un 30% corresponden a cielos cubiertos color blanco, óptimos para el estudio del FLD y que generan condiciones de luz natural confortables en los espacios interiores bajo estudio. Cerca de un 10% del tiempo en análisis corresponden a cielos cubiertos color gris que absorben importantes cantidades de luz, generando condiciones desfavorables de iluminación natural interior. Un 10% de las condiciones estudiadas del tiempo corresponden a cielos despejados, los que generan buenas condiciones de iluminación natural, cuando la incidencia no es de forma directa en el espacio interior.

Debido al Fenómeno del Niño que afectó al clima de la Ciudad de Quito en el 2017, encontramos un claro aumento en la densidad de nubosidad y pluviosidad, si las comparamos con las condiciones en el mismo periodo de tiempo determinados en el año meteorológico tipo; las cuales afectaron las condiciones de iluminancia horizontal interior y exterior, humedad ambiental y temperatura. La comprensión de los ciclos del tiempo en la ciudad, y como estos afectan las condiciones que generan confort; son aspectos fundamentales para el adecuado diseño arquitectónico interior.

Tabla 7: Incidencia de Nubosidad (%) en Quito - Marzo 2017

		% NUBOSIDAD TOTAL QUITO - 2017																															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
6:00	100	38	100	90	100	18	53	100	100	100	100	100	60	100	100	100	100	100	99	100	100	100	68	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
7:00	100	14	100	100	100	14	54	100	100	100	100	100	53	100	100	17	100	100	100	100	65	30	94	100	100	100	100	100	37	100	100		
8:00	100	18	54	88	100	88	99	100	100	100	100	100	58	100	100	23	100	100	97	100	11	30	87	100	100	100	32	74	51	100	100		
9:00	84	10	30	100	30	77	100	100	100	100	100	100	87	100	100	11	100	11	100	79	5,7	19	99	100	100	100	8	67	100	100	100		
10:00	100	16	18	100	67	91	100	94	100	100	100	100	100	100	100	77	100	30	100	68	32	91	85	100	100	100	25	100	44	100	100		
11:00	100	24	70	100	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	30	100	100	86	86	80	100	100	100	75	100	33	100	100		
12:00	93	37	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	76	100	100		
13:00	100	81	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80	100	30	100	100		
14:00	100	100	86	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
15:00	100	100	25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
16:00	100	100	37	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
17:00	100	100	24	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	12	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
18:00	100	100	22	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



Fuente: Meteorblue

5.1.3 Factor de Luz del Día en Espacios de Estudio.

Tabla 8: Valores de FLD en Aulas del caso de estudio (%)

	FLD > 5%	FLD 5 - 2%	FLD < 2%
Aula 1	0,00%	2,86%	91,14%
Aula 2	2,86%	14,29%	82,85%

Fuente: Elaboración propia

Los cálculos del FLD para el centro de los espacios acorde a las medidas de iluminancia horizontal tanto interior como exterior, arrojan como resultado que para ambos casos cerca entre un 80% y 90% del tiempo los valores porcentuales se encuentran entre 1% y 2%; es decir bajo condiciones recomendadas. Es importante considerar sin embargo que la alta variabilidad de las condiciones de nubosidad especialmente en días semi-cubiertos, generan constantes distorsiones que podrían derivar en toma de decisiones equívocas en cuanto a diseño de aperturas verticales.

Los resultados de las tomas In-Situ para el cálculo del FLD, demuestran que los períodos de tiempo con mayores valores porcentuales de este indicador dados ente las 11:30 am y 13:30 pm; corresponden también a los períodos de mayor variabilidad de condiciones, acorde al estudio de Desviación Media Estándar aplicado en el presente trabajo de estudio. Los períodos de menor variación del FLD, los encontramos de 7:30 am a 9:30 am y 5:30 pm. Analizando las condiciones de radiación solar y nubosidad en el Año Meteorológico Tipo realizado en la presente investigación, encontramos que los períodos de mayor estabilidad medidos in-situ en marzo 2017, corresponden a la realidad de las condiciones de estos indicadores correspondientes en casi la totalidad del año.

Ángulos bajos de incidencia solar (7:30 am - 8:30 am y 15:00 pm – 16:00 pm) penetran de forma más profunda el espacio, generando condiciones de iluminancia horizontal adecuadas para actividades educativas (entre 200 y 600 luxes), sin que necesariamente estos arrojen valores recomendables de FLD.

Si bien es cierto el FLD nos puede brindar en ciertas condiciones climáticas más estables una idea muy clara de la repartición del porcentaje de iluminación del cielo en un espacio interior, para ángulos de incidencia solar altos los valores de este indicador pueden resultar notoriamente bajos en áreas lejanas a las aperturas verticales transparentes, sin que esto necesariamente signifique que el luxes, tenemos condiciones insuficientes de luz natural. De igual manera dependiendo del ángulo de incidencia solar en áreas cercanas a las aperturas transparentes verticales podemos obtener valores de FLD muy altos, sin que esto necesariamente signifique en todos los casos que el usuario estaría bajo condiciones de deslumbramiento. La densidad y coloración de las nubes, así como el porcentaje de partículas flotantes en la atmósfera, generan fenómenos físicos en

el comportamiento de la luz natural tales como: reflexión, absorción, difusión y dispersión, que inciden en la luz incidente.

El FLD parte de una limitación enorme en cuanto al tipo de cielo con el cual se calcula, el cual se presenta en forma minoritaria en Quito (20%). En la revisión bibliográfica que se realizó para la presente investigación, no se pudieron encontrar datos o estadísticas que indiquen que porcentajes de cielo cubierto son de color blanco y que porcentaje grises, lo cual representa un problema para el análisis de la iluminancia horizontal interior; debido a que las condiciones de iluminancia del cielo en ambas circunstancias son considerablemente distintas.

El FLD es un método de análisis de la iluminancia puntal en tiempo y espacio, el cual puede brindar conclusiones concluyentes en espacios en otras latitudes con condiciones de cielo cubierto blanco, durante un número considerable de días del año. La variabilidad de condiciones del cielo en Quito por aspectos topográficos que generan turbiedad, debido a su latitud y altura sobre el nivel del mar; imposibilitan la utilización de cielos cubiertos de densidad constante, puesto que esta condición no representa las condiciones mayoritarias de cielo, acorde a los resultados, medidas e información obtenidas en el presente trabajo de estudio.

Una de las limitantes más grandes del presente trabajo de investigación, fue la imposibilidad por acceso a recursos tecnológicos, de tomar medidas in-situ simultáneas exteriores e interiores en varios puntos geoméricamente repartidos en el aula. De esta manera, se podría entender de menor manera las grandes variaciones de FLD que existen con ángulos altos y bajos incidencia solar. La ciudad de Quito, al estar emplazada dentro de un estrecho valle a 2850 msnm; presenta lamentablemente una acumulación de partículas de contaminación del aire, la cual es perfectamente visible en días despejados. Futuros trabajos de investigación, podrían determinar cómo esta situación ambiental afecta las condiciones de iluminación natural en espacios interiores; puesto que partículas en suspensión en la atmósfera interfieren la física de la luz.

5.2 Afectación de la nubosidad a la iluminación natural en las áreas de estudio.

En el presente trabajo de estudio se pudo constatar, que los valores de iluminancia interior horizontal, pueden sufrir grandes variaciones en cortos períodos de tiempo;

debido al rápido y constante cambio de posición, densidad y coloración de las nubes. Las zonas de las aulas cercanas al centro del edificio poseen lecturas de Iluminancia más estables, comparadas con las zonas de los espacios de estudio cercanos a las aperturas acristaladas.

Cuando la posición del Sol en el firmamento está en ángulos bajos, la radiación incidente libre de obstáculos generará en el usuario pérdida de confort por deslumbramiento, si las ventanas están en posición perpendicular e inclusive oblicua a la trayectoria solar. Los ángulos solares altos, generarán deslumbramiento en los usuarios localizados en el tercio del espacio más cercano a las aperturas transparentes horizontales. Este fenómeno lo encontramos tanto en cielos despejados como en semi-cubiertos. Es preciso entender que el usuario en la Ciudad de Quito, puede bloquear el acceso directo de la luz natural, ya sea por encontrarse fuera de confort por aspectos lumínicos y/o térmicos.

Las medidas de iluminancia interior tomadas en la presente investigación bajo condiciones de cielo cubierto blanco y gris claro, muestran condiciones de iluminación natural confortables, inclusive en ángulos solares bajos en ventanas emplazadas en ángulos oblicuos-perpendiculares a la trayectoria del sol. Las medidas de iluminancia interior horizontal tomadas bajo condiciones de cielo cubierto gris oscuro demuestran pobres condiciones de calidad, que obligarían a la utilización de luz artificial por parte del usuario; inclusive en ángulos altos de incidencia solar.

Los cielos semi-cubiertos o turbios, los cuales se presentan en condiciones mayoritarias en la Ciudad de Quito, presentaron variaciones entre 100 y 400 luxes en un mismo punto, a una misma hora, en diferentes días de un mes, dentro de las aulas del caso de estudio. Las mayores variaciones de estos rangos las encontramos en el primer $\frac{1}{4}$ del espacio de mayor cercanía a las aperturas verticales, en ángulos solares medios. Este rango crítico, coincide con los períodos de mayor variabilidad de condición de densidad de nubosidad, que se puede observar en las gráficas del cielo del Año Meteorológico Tipo realizado en el presente trabajo de investigación.

La nubosidad alta, media y baja incidente en la Ciudad de Quito; cambia de manera independiente una de otra. El presente trabajo de estudio consideró en su gráfica de Coberturas de Cielo, a los porcentajes de nubosidad total; futuras investigaciones

podrían determinar que altura y densidad de la nubosidad afecta de mayor manera a la física de luz en cuanto a variar las condiciones de iluminación natural en espacios interiores.

5.2.1 Análisis de la Iluminación Horizontal Exterior y la Densidad de Nubosidad acorde al Año Meteorológico Tipo 2005.

Tabla 9: Promedio Iluminancia natural horizontal exterior (luxes) y Promedio de Nubosidad (%) horaria / mensual en Quito.

Promedio Horario / Mensual de Iluminancia Horizontal Exterior en la Ciudad de Quito (luxes)												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
6:00	4655,33	3906,83	4931,52	6654,35	7359,13	6057,26	4597,18	5640,18	9564,68	13729,77	11093,08	8140,47
7:00	28851,41	29826,27	29305,68	29407,55	29618,21	28923,12	26311,15	30047,04	38386,41	43140,83	34950,34	32067,62
8:00	51804,61	54421,97	52524,17	49592,15	47621,72	49224,14	49522,38	53908,78	65082,66	67195,18	56009,92	53258,27
9:00	71756,02	72185,76	65018,33	62052,15	57673,74	58950,30	65625,23	71926,83	84309,66	79460,39	67737,64	57891,79
10:00	80703,27	84018,90	70342,34	64312,83	56518,09	63190,00	76611,23	83381,63	90179,16	82803,80	73483,21	62470,80
11:00	76760,23	81339,24	65508,94	56967,51	58353,33	60963,12	82196,90	81898,90	85120,80	78987,95	71507,93	60944,47
12:00	66479,26	73847,47	50990,57	46441,48	53599,88	55442,87	84104,82	76992,81	72859,83	69510,13	60722,78	51924,54
13:00	56183,75	67763,92	41261,98	37977,09	47807,06	58920,25	81564,56	73954,68	65841,22	54675,58	52352,28	44518,17
14:00	45306,78	57499,95	36621,19	32336,67	45910,04	53463,84	72948,02	65894,16	62821,98	48025,11	42547,26	37489,75
15:00	37475,21	45063,29	31478,89	27864,14	36752,02	40722,19	59570,76	55605,92	50985,36	37260,80	35059,24	28415,31
16:00	29905,31	34742,99	24933,81	23222,62	26347,49	29775,57	41872,52	40829,52	36152,03	26176,68	22760,72	19511,68
17:00	13835,16	19763,47	13922,38	11006,71	10738,87	13289,92	19835,12	18330,58	14713,16	8983,59	7762,15	8903,63
18:00	1261,05	1955,42	1224,70	458,14	228,95	518,23	1224,70	963,05	262,87	7,27	0,00	243,49
Promedio Horario / Mensual de Densidad de Nubosidad en la Ciudad de Quito (%)												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
6:00	37,92%	34,96%	59,29%	58,10%	56,42%	52,49%	57,54%	56,85%	46,85%	33,43%	61,64%	68,87%
7:00	30,00%	30,54%	53,45%	55,47%	53,70%	42,28%	53,75%	45,25%	22,20%	28,83%	50,27%	57,39%
8:00	27,70%	30,04%	51,76%	56,24%	56,75%	44,14%	42,18%	42,78%	20,84%	28,13%	45,27%	55,37%
9:00	23,87%	29,41%	58,49%	59,04%	53,73%	55,34%	37,55%	34,05%	21,09%	38,46%	47,35%	63,95%
10:00	34,84%	38,68%	63,37%	71,15%	64,49%	59,12%	38,09%	39,33%	22,43%	51,95%	56,78%	69,74%
11:00	34,93%	47,54%	80,82%	84,87%	66,53%	74,07%	37,92%	37,19%	32,00%	59,55%	62,27%	77,97%
12:00	44,52%	45,07%	84,23%	90,30%	71,94%	73,77%	31,68%	36,03%	37,53%	70,10%	69,47%	79,71%
13:00	58,90%	42,11%	86,47%	93,97%	74,84%	65,21%	28,29%	37,65%	33,73%	68,74%	78,55%	82,85%
14:00	56,10%	42,30%	87,68%	93,17%	70,71%	65,67%	29,77%	38,68%	32,37%	71,39%	76,33%	88,19%
15:00	58,26%	39,13%	81,11%	87,47%	64,60%	69,07%	32,99%	38,12%	28,88%	69,10%	74,48%	87,13%
16:00	61,45%	34,56%	72,89%	89,40%	70,15%	71,91%	29,09%	35,39%	32,47%	64,71%	81,83%	93,26%
17:00	65,76%	56,32%	80,88%	89,43%	91,48%	81,07%	28,84%	43,45%	41,75%	79,43%	92,37%	95,29%
18:00	85,87%	86,15%	82,70%	94,90%	80,84%	84,40%	34,75%	47,20%	50,61%	88,00%	97,00%	100,00%

Fuente: Meteorblue

Las gráficas de iluminación horizontal exterior y densidad total de nubosidad del año meteorológico tipo correspondiente al período 2005 para Quito en el presente trabajo de estudio, muestran importantes variaciones que ocurren durante las diferentes horas del día, durante el transcurso de los días del año. Encontramos en general períodos bajos, variables y altos de iluminancia horizontal exterior, que se relacionan notoriamente tanto con la radiación incidente y niveles de iluminación, como con la densidad de nubosidad.

Los periodos de menor iluminancia exterior horizontal los encontramos entre:

- 11:00 am y 18:00 pm entre marzo y junio,
- 06:00 am y 18:00 pm entre noviembre y diciembre.

Los períodos de mayor variabilidad de iluminancia exterior horizontal los encontramos entre:

- 06:00 am y 18:00 pm entre enero y febrero.
- 06:00 am y 18:00 pm de octubre.

El período de mayor iluminancia exterior horizontal los encontramos entre:

- 06:00 am y 18:00 pm entre julio y septiembre.

Como afectan estas medidas exteriores a la iluminancia horizontal interior de un local, depende de otros factores como obstáculos físicos que impidan el paso de la radiación solar, materiales con los que están construidos dichos espacios, orientación de aperturas con respecto a la trayectoria solar, aumento o disminución de partículas en suspensión en el ambiente, entre otras.

5.3 Análisis del Uso del Espacio.

Las normas de iluminación natural internacionales e inclusive las propias del Ecuador, establecen niveles o rangos en luxes mínimos o recomendables, basados en usos generales de los espacios, como actividades educativas, trabajo en oficina, etc. Sin embargo, distintas actividades educativas, requieren diferentes condiciones de luz natural. Dentro del mismo caso de estudio, por ejemplo, materias teóricas como Historia y Teoría de la Arquitectura, requieren niveles de iluminancia horizontal interior menores a otras materias de trabajo práctico como Dibujo o Talleres de Diseño. Entendiendo el clima y las condiciones de nubosidad en la ciudad, los obstáculos visuales que bloquean o distorsionan la física de la luz; y como estos afectan de forma específica a las diferentes aulas del edificio, se podría generar un Cuadro Técnico de Asignación de Aulas, donde este se realice en base a las condiciones lumínicas naturales interiores, de acuerdo a las diferentes horas y meses del año; todas estas en relación a la cantidad de lúmenes requeridos de acuerdo a la actividad a ser realizada. De esta forma garantizamos: 1). Confort al usuario de acuerdo a la actividad o requerimiento lumínico, y 2). Disminución del consumo energético por fuentes de iluminación, debido al eficiente uso del espacio arquitectónico.

Tabla 10: Cuadro técnico - comparativo de Uso del Espacio Aula 1.

Esp.	Orien.	Hora	Condición	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Aula 1	NW	7:00	Iluminación Exterior	2851,41	2926,27	2935,68	29407,85	29618,21	28923,12	26311,15	30047,04	38386,41	43140,83	34950,34	32047,62
			Humedad	30%	30,54%	53,45%	55,47%	55,47%	42,28%	53,75%	45,25%	22,20%	28,83%	50,27%	57,34%
			Uso Actual	60%	60%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	60%	60%	60%
Aula 1	NW	8:00	Iluminación Exterior	51904,61	54421,97	52524,17	49592,15	47621,72	49224,14	49522,38	53908,78	65082,66	67195,18	56009,92	53258,27
			Humedad	27,70%	30,04%	51,76%	56,24%	56,75%	44,14%	42,18%	42,78%	20,84%	28,13%	45,27%	55,37%
			Uso Actual	60,00%	60,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	60%	60%	60%	
Aula 1	NW	9:00	Iluminación Exterior	71756,02	72185,76	65010,33	62052,15	57673,74	58950,30	65625,23	71926,83	84309,66	79460,39	67737,64	57891,79
			Humedad	23,87%	29,41%	58,49%	59,04%	53,73%	55,34%	37,55%	34,05%	21,09%	38,46%	47,35%	63,95%
			Uso Actual	60,00%	60,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	60%	60%	60%
Aula 1	NW	10:00	Iluminación Exterior	80702,27	84018,90	70242,34	64212,83	56518,09	62190,00	76412,23	82281,63	90179,16	82802,80	73483,21	62470,80
			Humedad	34,84%	38,68%	63,37%	71,15%	64,49%	59,12%	38,09%	39,33%	22,43%	51,95%	56,78%	69,74%
			Uso Actual	60,00%	60,00%	0,00%	100,00%	60,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	40%	100,00%	100,00%
Aula 1	NW	11:00	Iluminación Exterior	76760,23	81239,24	65590,94	56967,51	58253,23	60962,12	82196,90	81898,90	85120,80	78987,95	71507,93	60944,47
			Humedad	34,93%	47,54%	80,82%	84,87%	66,53%	74,07%	37,92%	37,19%	32,00%	59,55%	62,27%	77,97%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	100,00%	60,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	40%	100,00%	100,00%	
Aula 1	NW	12:00	Iluminación Exterior	66479,26	73847,47	50990,57	46441,48	53599,88	55442,87	84104,82	76992,81	72859,83	69510,13	60722,78	51924,54
			Humedad	44,51%	45,07%	84,23%	90,30%	71,94%	73,77%	31,68%	36,03%	37,53%	70,10%	69,47%	79,71%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	60,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	40%	100,00%	100,00%
Aula 1	NW	13:00	Iluminación Exterior	56182,75	67763,92	41261,98	37977,09	47807,06	58920,25	81564,56	73954,68	65841,22	54675,58	52352,28	44518,17
			Humedad	58,90%	42,11%	86,47%	92,97%	74,84%	65,21%	28,29%	37,65%	33,73%	68,74%	78,55%	82,85%
			Uso Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Aula 1	NW	14:00	Iluminación Exterior	45306,78	57499,95	36621,19	32236,67	45910,04	53463,84	72948,02	65894,16	62821,98	48025,11	42547,26	37469,75
			Humedad	56,10%	42,30%	87,68%	93,17%	70,71%	65,67%	29,77%	38,68%	32,37%	71,39%	76,33%	88,19%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%	60,00%	60,00%	0,00%	0,00%	40,00%	40,00%	100,00%
Aula 1	NW	15:00	Iluminación Exterior	37475,21	45063,29	31478,89	27864,14	36752,02	40722,19	59570,76	55605,92	50985,36	37260,80	35059,24	28415,31
			Humedad	59,26%	39,13%	81,11%	87,47%	64,60%	69,07%	32,99%	38,12%	28,88%	69,10%	74,48%	87,13%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%	60,00%	60,00%	0,00%	0,00%	40,00%	40,00%	100,00%
Aula 1	NW	16:00	Iluminación Exterior	29905,21	34742,99	24923,81	23222,62	26247,49	29775,57	41872,52	40829,52	36152,03	26176,68	22760,72	19511,68
			Humedad	61,45%	34,56%	72,89%	89,40%	70,15%	71,91%	29,09%	35,39%	32,47%	64,71%	81,83%	93,26%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%	60,00%	60,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Aula 1	NW	17:00	Iluminación Exterior	13835,16	19763,47	139922,38	11006,71	10738,87	13289,92	19835,12	18330,58	14713,16	8983,59	7762,15	8903,63
			Humedad	65,76%	56,32%	80,88%	89,43%	91,48%	81,87%	28,84%	43,45%	41,75%	79,43%	92,37%	95,29%
			Uso Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Aula 1	NW	18:00	Iluminación Exterior	1261,05	1955,42	1224,70	458,14	228,95	518,23	1224,70	963,05	262,87	7,27	0,00	243,49
			Humedad	85,87%	86,15%	82,70%	94,90%	90,84%	84,40%	34,75%	47,20%	50,61%	88,00%	97,00%	100,00%
			Uso Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Fuente: Elaboración propia.

El diseño arquitectónico sostenible debe necesariamente considerar el usuario y el uso destinado de los espacios. Para equipamientos dedicados a la educación como en el presente caso de estudio, es preciso conocer entonces los rangos horarios / mensuales donde existan mayores posibilidades de encontrar confort lumínico para el usuario, asignar uso y de esta manera disminuir el consumo energético.

Tabla 11: Cuadro técnico - comparativo de Uso del Espacio Aula 2.

Esp.	Orien.	Hora	Condición	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Aula 2	SE	7:00	Iluminación Exterior	28851,41	29826,27	29305,68	29407,55	29616,21	28923,12	26311,15	30047,04	38386,41	43140,83	34950,34	32067,62
			Humididad	30%	30,54%	53,45%	55,47%	55,47%	42,28%	53,75%	45,25%	22,20%	28,83%	50,27%	57,39%
			Uso Actual	100%	100%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	60%	100%	100%
Aula 2	SE	8:00	Iluminación Exterior	51804,61	54421,97	52524,17	49592,15	47621,72	49224,14	49522,38	53908,78	65082,66	67195,18	56009,92	53258,27
			Humididad	27,70%	30,04%	51,76%	56,24%	56,75%	44,14%	42,18%	42,70%	20,84%	28,13%	45,27%	55,37%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	60%	100%	100%
Aula 2	SE	9:00	Iluminación Exterior	71756,02	72185,76	65018,33	62052,15	57673,74	58950,30	65625,23	71926,83	84309,66	79460,39	67737,64	57891,79
			Humididad	23,87%	29,41%	58,49%	59,04%	53,73%	55,34%	37,95%	34,05%	21,09%	38,46%	47,35%	63,95%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	60%	100%	100%
Aula 2	SE	10:00	Iluminación Exterior	80703,27	84018,90	70342,24	64312,83	56518,09	63190,00	76611,23	83381,63	90179,16	82803,80	73483,21	62470,80
			Humididad	34,84%	38,68%	63,37%	71,15%	64,49%	59,12%	38,09%	39,33%	22,43%	51,95%	56,78%	69,74%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100%	60%	60%
Aula 2	SE	11:00	Iluminación Exterior	76760,23	81339,24	65508,94	59967,51	58353,33	60963,12	82196,90	81898,90	85120,80	78987,95	71507,93	60944,47
			Humididad	34,93%	47,54%	80,82%	84,87%	66,53%	74,07%	37,92%	37,19%	32,00%	59,55%	62,27%	77,97%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100%	60%	60%
Aula 2	SE	12:00	Iluminación Exterior	66479,26	73847,47	50990,57	46441,48	53599,88	55442,87	84104,92	76992,81	72859,83	69510,13	60722,78	51924,54
			Humididad	44,51%	45,07%	84,23%	90,30%	71,94%	73,77%	31,68%	36,03%	37,53%	70,10%	69,47%	79,71%
			Uso Actual	100,00%	100,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%	100%	60%	60%
Aula 2	SE	13:00	Iluminación Exterior	56183,75	67763,92	41261,98	37977,09	47807,06	58920,25	81564,56	73954,68	65841,22	54675,58	52352,28	44518,17
			Humididad	58,90%	42,11%	86,47%	93,97%	74,84%	65,21%	28,29%	37,65%	33,73%	68,74%	78,55%	82,85%
			Uso Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%	0%	60%
Aula 2	SE	14:00	Iluminación Exterior	45306,78	57499,95	36621,19	32336,67	45910,04	53463,84	72948,02	65894,16	62821,98	48825,11	42547,26	37489,75
			Humididad	56,10%	42,30%	87,68%	93,17%	70,71%	65,67%	29,77%	38,68%	32,27%	71,39%	76,32%	88,19%
			Uso Actual	0,00%	0,00%	0,00%	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Aula 2	SE	15:00	Iluminación Exterior	37475,21	45063,29	31478,89	27864,14	36752,02	40722,19	59570,76	55605,92	50985,36	37260,80	35059,24	28415,31
			Humididad	58,26%	39,13%	81,11%	87,47%	64,60%	69,07%	32,99%	38,12%	28,88%	69,10%	74,48%	87,13%
			Uso Actual	20,00%	20,00%	0,00%	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Aula 2	SE	16:00	Iluminación Exterior	29905,31	34742,99	24933,81	23222,62	26347,49	29775,57	41872,52	40829,52	36152,03	26176,68	22760,72	19511,68
			Humididad	61,45%	34,56%	72,89%	89,40%	70,15%	71,91%	29,09%	35,39%	32,47%	64,71%	81,83%	93,26%
			Uso Actual	20,00%	20,00%	0,00%	80,00%	80,00%	80,00%	80,00%	0,00%	0,00%	100,00%	100,00%	100,00%
Aula 2	SE	17:00	Iluminación Exterior	12825,16	19762,47	129922,38	11066,71	10738,87	13289,92	19835,12	18230,58	14712,16	8982,59	7762,15	8992,62
			Humididad	65,76%	56,32%	80,88%	89,43%	91,48%	81,07%	28,84%	43,45%	41,75%	79,43%	92,37%	95,24%
			Uso Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Aula 2	SE	18:00	Iluminación Exterior	1261,05	1955,42	1224,70	458,14	228,95	518,23	1224,70	963,05	262,87	7,27	0,00	243,49
			Humididad	85,87%	86,15%	82,70%	94,90%	90,84%	84,40%	34,75%	47,20%	50,61%	88,00%	97,00%	100,00%
			Uso Actual	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0%	0%	0%

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del cuadro técnico demuestra que 2/3 de los tiempos de asignación puede ser realizado de forma más eficiente. Para ambos casos de estudio de la presente investigación, apenas 1/3 de la asignación (marcada en verde) coincide con períodos horarios donde la iluminación natural generaría confort lumínico en los usuarios. El segundo tercio de asignación (marcado en amarillo), muestra los períodos horarios donde se podría y debería aprovechar de mejor manera las condiciones de iluminación natural. El tercer tercio (marcado en rojo) deja ver los períodos de tiempo asignados, que generan pérdida de confort lumínico en el usuario tanto por deslumbramiento como

por penumbra; los cuales obligan al estudiante a bloquear el ingreso de luz natural y encender el sistema de iluminación artificial, en períodos de tiempo donde esto podría ser evitado.

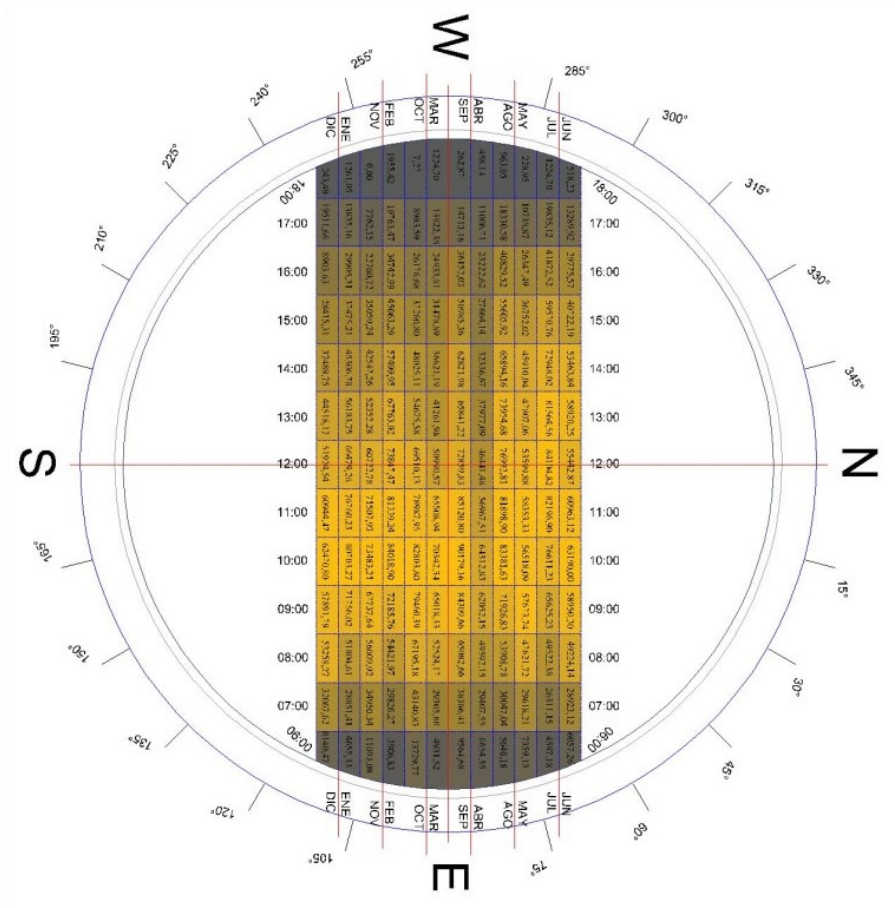
5.4 Entregables

5.4.1 Matriz General de Iluminancia Exterior - Densidad de Nubosidad / Orientación

Ilustración 14: Matriz simplificada de Quito con datos promedio horarios - mensuales de Iluminancia Natural Exterior (luxes) e Índice de Nubosidad (%).

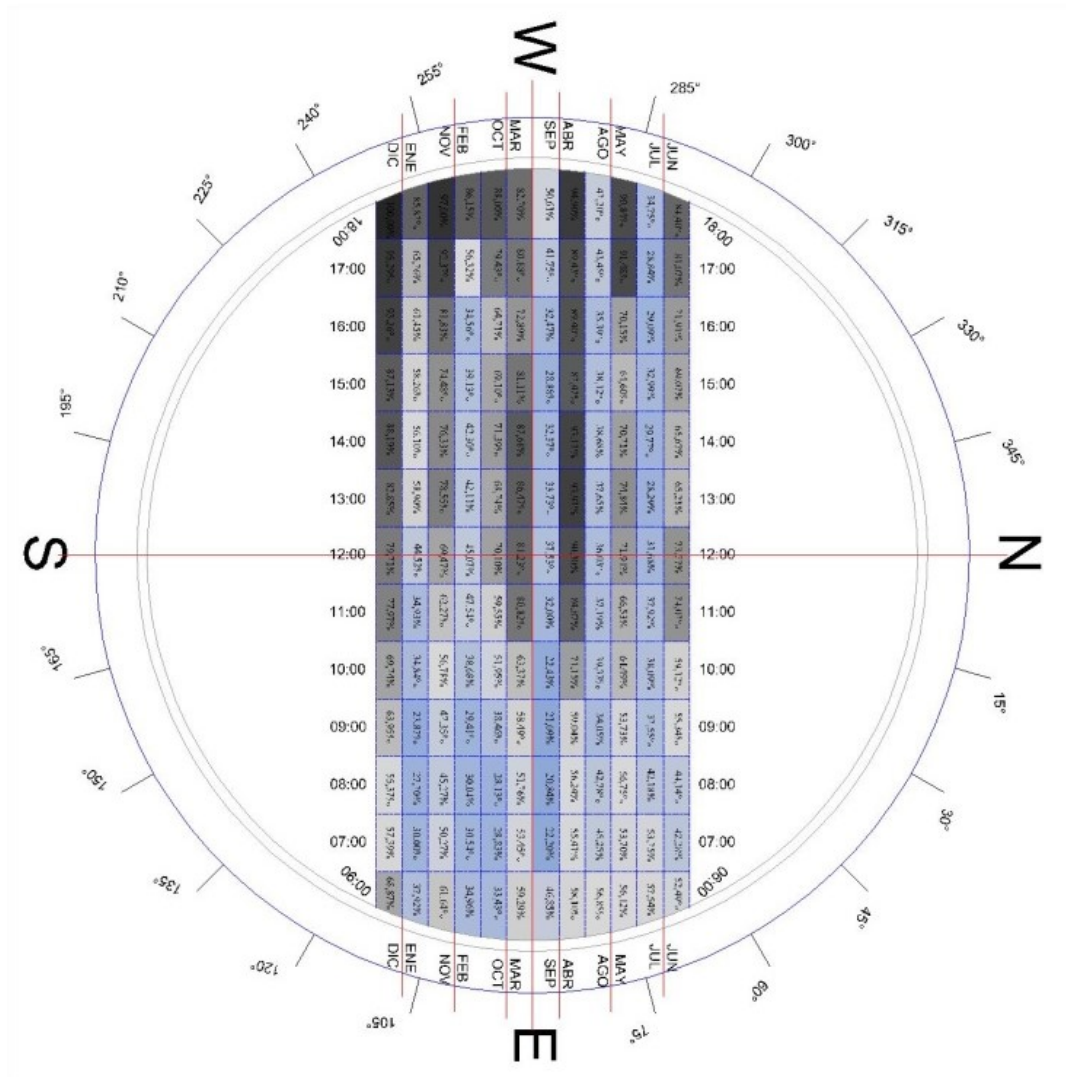
		N														
		18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	9:00	8:00	7:00	6:00		
	JUN	518,23	13289,92	29775,57	40722,19	53463,84	58920,25	55442,87	60963,12	63190,00	58950,30	49224,14	28923,12	6057,26	JUN	
	MAY	228,95	10738,87	26347,49	36752,02	45910,04	47807,06	53599,88	58353,33	56518,09	57673,74	47621,72	29618,21	7359,13	MAY	
	JUL	1224,70	19835,12	41872,52	59570,76	72948,02	81564,56	84104,82	82196,90	76611,23	65625,23	49522,38	26311,15	4597,18	JUL	
	ABR	458,14	11006,71	23222,62	27864,14	32336,67	37977,09	46441,48	56967,51	64312,83	62052,15	49592,15	29407,55	6654,35	ABR	
	AGO	963,05	18330,58	40829,52	55605,92	63894,16	73954,68	76992,81	81898,90	83381,63	71926,83	53908,78	30047,04	5640,18	AGO	
	MAR	1224,70	13922,38	24933,81	31478,89	36621,19	41261,98	50990,37	65508,94	70342,34	65018,33	52524,17	29305,68	4931,52	MAR	
W	SEP	262,87	14713,16	36152,03	50985,36	62821,98	65841,22	72859,83	83120,80	90179,16	84309,66	65082,66	38396,41	9564,68	SEP	E
	FEB	1953,42	19763,47	34742,99	45063,29	57499,95	67763,92	73847,47	81339,24	84018,90	72185,76	54421,97	29826,27	3906,83	FEB	
	OCT	7,27	8983,59	26176,68	37260,80	48025,11	54675,58	69510,13	78987,95	82803,80	79460,39	67195,18	43140,83	13729,77	OCT	
	ENE	1261,05	13835,16	29905,31	37475,21	45306,78	56183,75	66479,26	76760,23	80703,27	71756,02	51804,61	28851,41	4655,33	ENE	
	NOV	0,00	7762,15	22760,72	35059,24	42547,26	52352,28	60722,78	71507,93	73483,21	67737,64	56009,92	34950,34	11093,08	NOV	
	DIC	243,49	8903,63	19511,68	28415,31	37489,75	44518,17	51924,54	60944,47	62470,80	57891,79	53258,27	32067,62	8140,47	DIC	
		18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	9:00	8:00	7:00	6:00		
	JUN	84,40%	81,07%	71,9%	68,07%	65,67%	65,2%	73,77%	74,07%	59,12%	55,34%	44,14%	42,28%	52,48%	JUN	
	MAY	90,84%	81,48%	70,15%	64,60%	70,7%	74,84%	71,94%	66,53%	64,48%	63,73%	66,75%	63,70%	66,42%	MAY	
	JUL	34,75%	28,84%	29,08%	32,38%	29,77%	28,28%	31,68%	37,82%	38,08%	37,85%	42,18%	53,75%	57,54%	JUL	
	ABR	84,98%	88,43%	88,40%	87,47%	83,17%	83,97%	80,38%	84,87%	71,1%	69,04%	66,24%	65,47%	68,10%	ABR	
	AGO	47,20%	43,45%	35,3%	38,12%	38,68%	37,65%	38,03%	37,1%	39,33%	34,05%	42,78%	45,25%	56,85%	AGO	
	MAR	82,70%	80,88%	72,89%	81,1%	87,88%	86,47%	84,23%	80,82%	63,37%	68,49%	51,7%	53,45%	59,29%	MAR	
W	SEP	50,8%	41,75%	32,47%	28,88%	32,37%	33,73%	37,53%	32,00%	22,43%	21,08%	20,84%	22,20%	46,85%	SEP	E
	FEB	86,9%	86,32%	84,86%	83,13%	82,30%	82,1%	85,07%	87,54%	88,68%	89,41%	80,04%	80,54%	84,96%	FEB	
	OCT	89,0%	79,45%	64,7%	68,10%	71,38%	68,74%	70,10%	59,55%	51,95%	38,46%	28,15%	28,83%	33,43%	OCT	
	ENE	85,97%	65,76%	61,45%	68,26%	66,10%	68,90%	44,62%	34,83%	34,84%	23,87%	27,70%	30,00%	37,82%	ENE	
	NOV	87,0%	82,37%	81,83%	74,48%	76,33%	78,55%	69,47%	62,27%	56,78%	47,35%	45,27%	50,27%	61,84%	NOV	
	DIC	80,00%	85,28%	83,28%	87,13%	88,1%	82,85%	79,7%	77,97%	69,74%	63,85%	55,37%	57,38%	68,87%	DIC	
		18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	9:00	8:00	7:00	6:00		
	JUN	84,40%	81,07%	71,9%	68,07%	65,67%	65,2%	73,77%	74,07%	59,12%	55,34%	44,14%	42,28%	52,48%	JUN	
	MAY	90,84%	81,48%	70,15%	64,60%	70,7%	74,84%	71,94%	66,53%	64,48%	63,73%	66,75%	63,70%	66,42%	MAY	
	JUL	34,75%	28,84%	29,08%	32,38%	29,77%	28,28%	31,68%	37,82%	38,08%	37,85%	42,18%	53,75%	57,54%	JUL	
	ABR	84,98%	88,43%	88,40%	87,47%	83,17%	83,97%	80,38%	84,87%	71,1%	69,04%	66,24%	65,47%	68,10%	ABR	
	AGO	47,20%	43,45%	35,3%	38,12%	38,68%	37,65%	38,03%	37,1%	39,33%	34,05%	42,78%	45,25%	56,85%	AGO	
	MAR	82,70%	80,88%	72,89%	81,1%	87,88%	86,47%	84,23%	80,82%	63,37%	68,49%	51,7%	53,45%	59,29%	MAR	
W	SEP	50,8%	41,75%	32,47%	28,88%	32,37%	33,73%	37,53%	32,00%	22,43%	21,08%	20,84%	22,20%	46,85%	SEP	E
	FEB	86,9%	86,32%	84,86%	83,13%	82,30%	82,1%	85,07%	87,54%	88,68%	89,41%	80,04%	80,54%	84,96%	FEB	
	OCT	89,0%	79,45%	64,7%	68,10%	71,38%	68,74%	70,10%	59,55%	51,95%	38,46%	28,15%	28,83%	33,43%	OCT	
	ENE	85,97%	65,76%	61,45%	68,26%	66,10%	68,90%	44,62%	34,83%	34,84%	23,87%	27,70%	30,00%	37,82%	ENE	
	NOV	87,0%	82,37%	81,83%	74,48%	76,33%	78,55%	69,47%	62,27%	56,78%	47,35%	45,27%	50,27%	61,84%	NOV	
	DIC	80,00%	85,28%	83,28%	87,13%	88,1%	82,85%	79,7%	77,97%	69,74%	63,85%	55,37%	57,38%	68,87%	DIC	
		18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	9:00	8:00	7:00	6:00		
	JUN	84,40%	81,07%	71,9%	68,07%	65,67%	65,2%	73,77%	74,07%	59,12%	55,34%	44,14%	42,28%	52,48%	JUN	
	MAY	90,84%	81,48%	70,15%	64,60%	70,7%	74,84%	71,94%	66,53%	64,48%	63,73%	66,75%	63,70%	66,42%	MAY	
	JUL	34,75%	28,84%	29,08%	32,38%	29,77%	28,28%	31,68%	37,82%	38,08%	37,85%	42,18%	53,75%	57,54%	JUL	
	ABR	84,98%	88,43%	88,40%	87,47%	83,17%	83,97%	80,38%	84,87%	71,1%	69,04%	66,24%	65,47%	68,10%	ABR	
	AGO	47,20%	43,45%	35,3%	38,12%	38,68%	37,65%	38,03%	37,1%	39,33%	34,05%	42,78%	45,25%	56,85%	AGO	
	MAR	82,70%	80,88%	72,89%	81,1%	87,88%	86,47%	84,23%	80,82%	63,37%	68,49%	51,7%	53,45%	59,29%	MAR	
W	SEP	50,8%	41,75%	32,47%	28,88%	32,37%	33,73%	37,53%	32,00%	22,43%	21,08%	20,84%	22,20%	46,85%	SEP	E
	FEB	86,9%	86,32%	84,86%	83,13%	82,30%	82,1%	85,07%	87,54%	88,68%	89,41%	80,04%	80,54%	84,96%	FEB	
	OCT	89,0%	79,45%	64,7%	68,10%	71,38%	68,74%	70,10%	59,55%	51,95%	38,46%	28,15%	28,83%	33,43%	OCT	
	ENE	85,97%	65,76%	61,45%	68,26%	66,10%	68,90%	44,62%	34,83%	34,84%	23,87%	27,70%	30,00%	37,82%	ENE	
	NOV	87,0%	82,37%	81,83%	74,48%	76,33%	78,55%	69,47%	62,27%	56,78%	47,35%	45,27%	50,27%	61,84%	NOV	
	DIC	80,00%	85,28%	83,28%	87,13%	88,1%	82,85%	79,7%	77,97%	69,74%	63,85%	55,37%	57,38%	68,87%	DIC	
		18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	9:00	8:00	7:00	6:00		
	JUN	84,40%	81,07%	71,9%	68,07%	65,67%	65,2%	73,77%	74,07%	59,12%	55,34%	44,14%	42,28%	52,48%	JUN	
	MAY	90,84%	81,48%	70,15%	64,60%	70,7%	74,84%	71,94%	66,53%	64,48%	63,73%	66,75%	63,70%	66,42%	MAY	
	JUL	34,75%	28,84%	29,08%	32,38%	29,77%	28,28%	31,68%	37,82%	38,08%	37,85%	42,18%	53,75%	57,54%	JUL	
	ABR	84,98%	88,43%	88,40%	87,47%	83,17%	83,97%	80,38%	84,87%	71,1%	69,04%	66,24%	65,47%	68,10%	ABR	
	AGO	47,20%	43,45%	35,3%	38,12%	38,68%	37,65%	38,03%	37,1%	39,33%	34,05%	42,78%	45,25%	56,85%	AGO	
	MAR	82,70%	80,88%	72,89%	81,1%	87,88%	86,47%	84,23%	80,82%	63,37%	68,49%	51,7%	53,45%	59,29%	MAR	
W	SEP	50,8%	41,75%	32,47%	28,88%	32,37%	33,73%	37,53%	32,00%	22,43%	21,08%	20,84%	22,20%	46,85%	SEP	E
	FEB	86,9%	86,32%	84,86%	83,13%	82,30%	82,1%	85,07%	87,54%	88,68%	89,41%	80,04%	80,54%	84,96%	FEB	
	OCT	89,0%	79,45%	64,7%	68,10%	71,38%	68,74%	70,10%	59,55%	51,95%	38,46%	28,15%	28,83%	33,43%	OCT	
	ENE	85,97%	65,76%	61,45%	68,26%	66,10%	68,90%	44,62%	34,83%	34,84%	23,87%	27,70%	30,00%	37,82%	ENE	
	NOV	87,0%	82,37%	81,83%	74,48%	76,33%	78,55%	69,47%	62,27%	56,78%	47,35%	45,27%	50,27%	61,84%	NOV	
	DIC	80,00%	85,28%	83,28%	87,13%	88,1%	82,85%	79,7%	77,97%	69,74%	63,85%	55,37%	57,38%	68,87%	DIC	
		18:00	17:00	16:00	15:00	14:00	13:00	12:00	11:00	10:00	9:00	8:00	7:00	6:00		
	JUN	84,40%	81,07%	71,9%	68,07%	65,67%	65,2%	73,77%	74,07%	59,12%	55,34%	44,14%	42,28%	52,48%	JUN	
	MAY	90,84%	81,48%	70,15%	64,60%	70,7%	74,84%	71,94%	66,53%	64,48%	63,73%	66,75%	63,70%	66,42%	MAY	
	JUL	34,75%	28,84%	29,08%	32,38%	29,77%	28,28%	31,68%	37,82%	38,08%	37,85%	42,18%	53,75%	57,54%	JUL	
	ABR	84,98%	88,43%	88,40%	87,47%	83,17%	83,97%	80,38%	84,87%	71,1%	69,04%	66,24%	65,47%	68,10%	ABR	
	AGO	47,20%	43,45%	35,3%	38,12%	38,68%	37,65%	38,03%	37,1%	39,33%	34,05%	42,78%	45,25%	56,85%	AGO	
	MAR	82,70%	80,88%	72,89%	81,1%	87,88%	86,47%	84,23%	80,82%	63,37%	68,49%	51,7%	53,45%	59,29%	MAR	
W	SEP	50,8%	41,75%	32,47%	28,88%	32,37%	33,73%	37,53%	32,00%	22,43%	21,08%	20,84%	22,20%	46,85%	SEP	E
	FEB	86,9%	86,32%	84,86%	83,13%	82,30%	82,1%	85,								

Ilustración 15: Proyección Estereográfica para Quito con datos promedio horarios - mensuales de Iluminancia Natural Exterior (luxes).



Fuente: Elaboración Propia

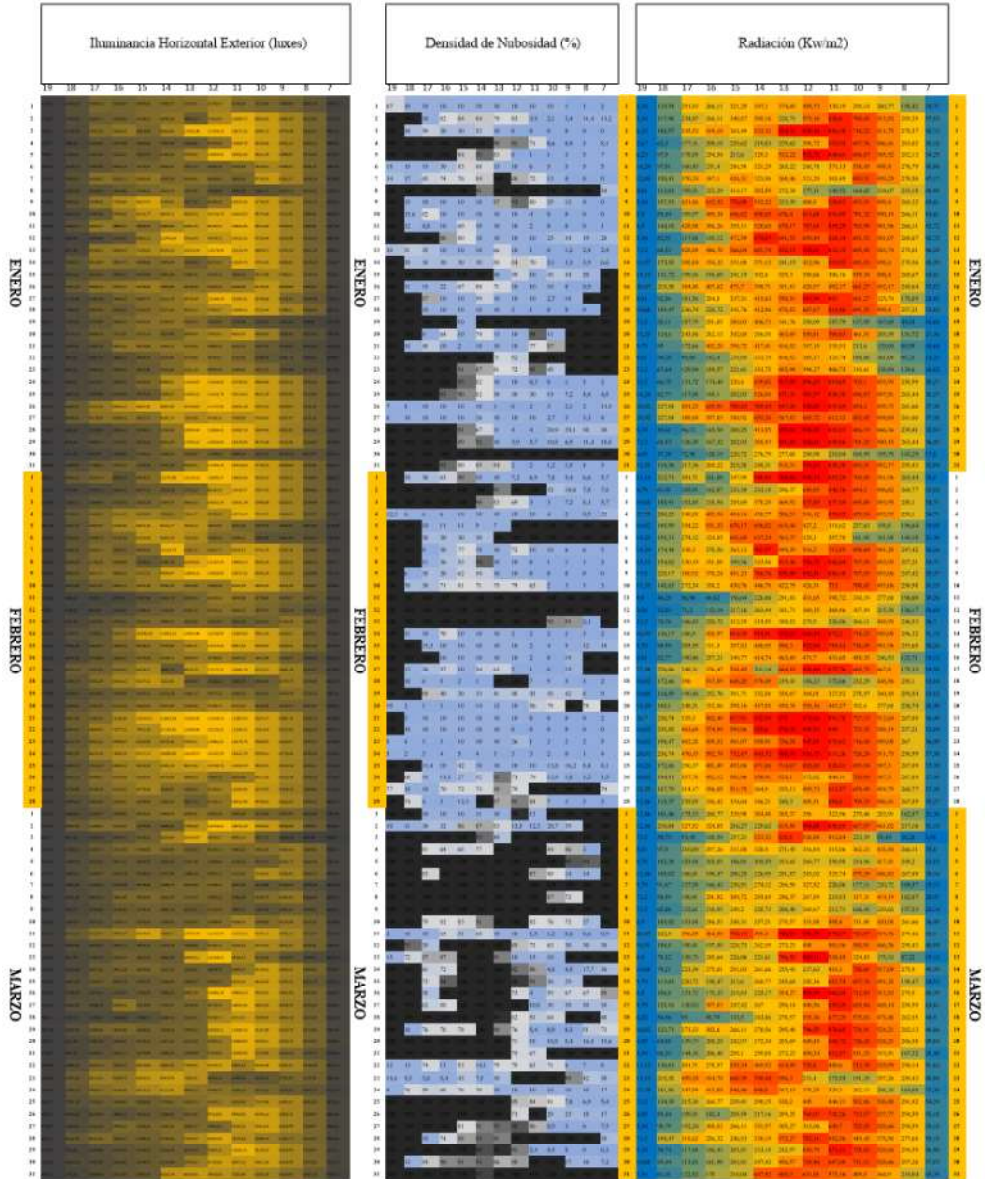
Ilustración 16: Proyección Estereográfica para Quito con datos promedio horarios - mensuales de Densidad de Nubosidad (%).



Fuente: Elaboración Propia

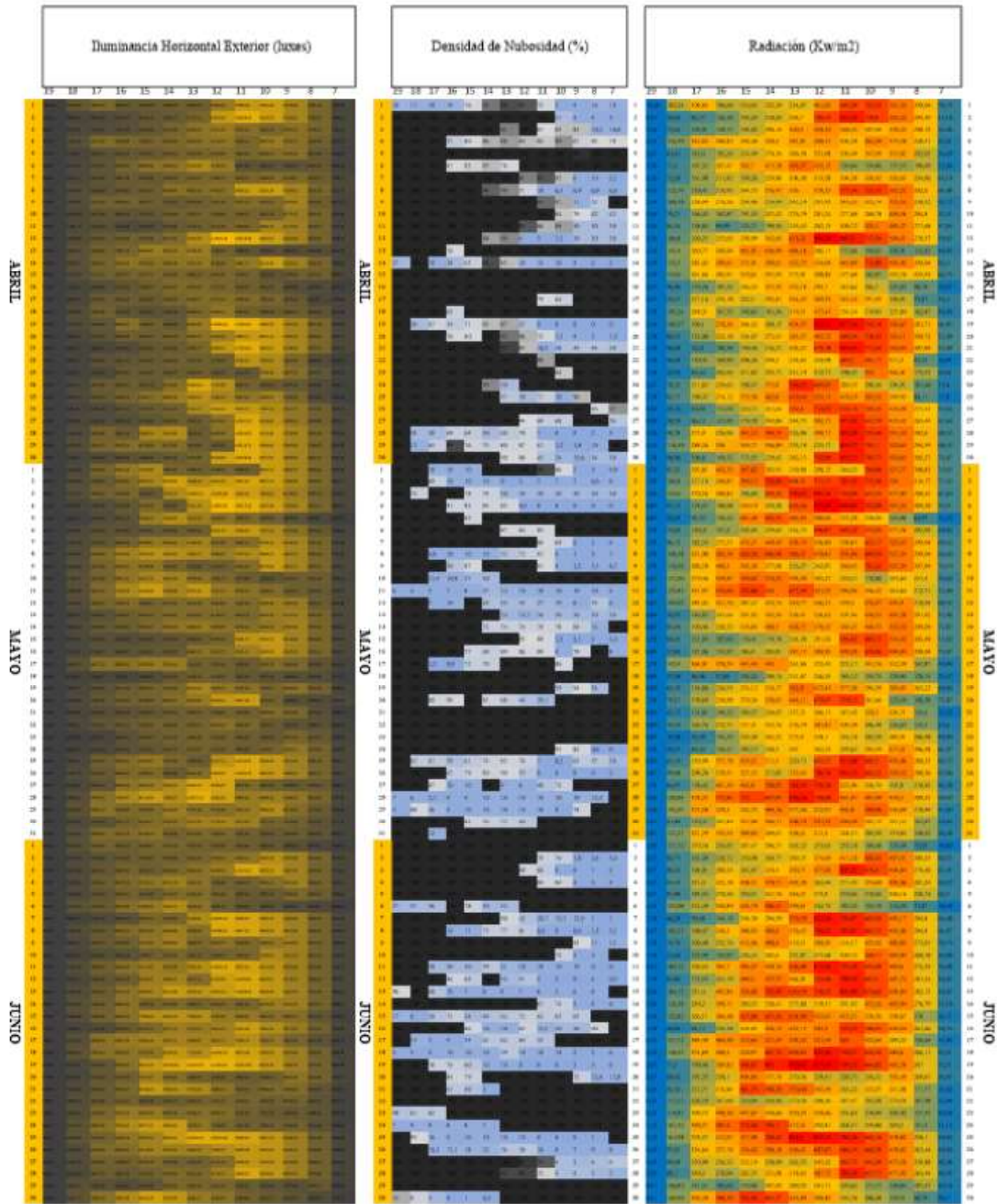
Adjunto al presente documento de investigación se adjuntarán: 1) Archivo Ejecutable AutoCAD DWG versión 2016 con los datos de Iluminancia (luxes) y densidad de nubosidad (%), detallados en Proyección Estereográfica. 2) Archivo Ejecutable Excel SLSX con los datos y tabla de cálculo de Iluminancia Referencial para la ciudad de Quito.

5.4.2 Matriz Horaria / Diaria de Radiación / Nubosidad / Iluminancia en Quito.
Ilustración 17: Métrica Dinámica Enero - Marzo de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.



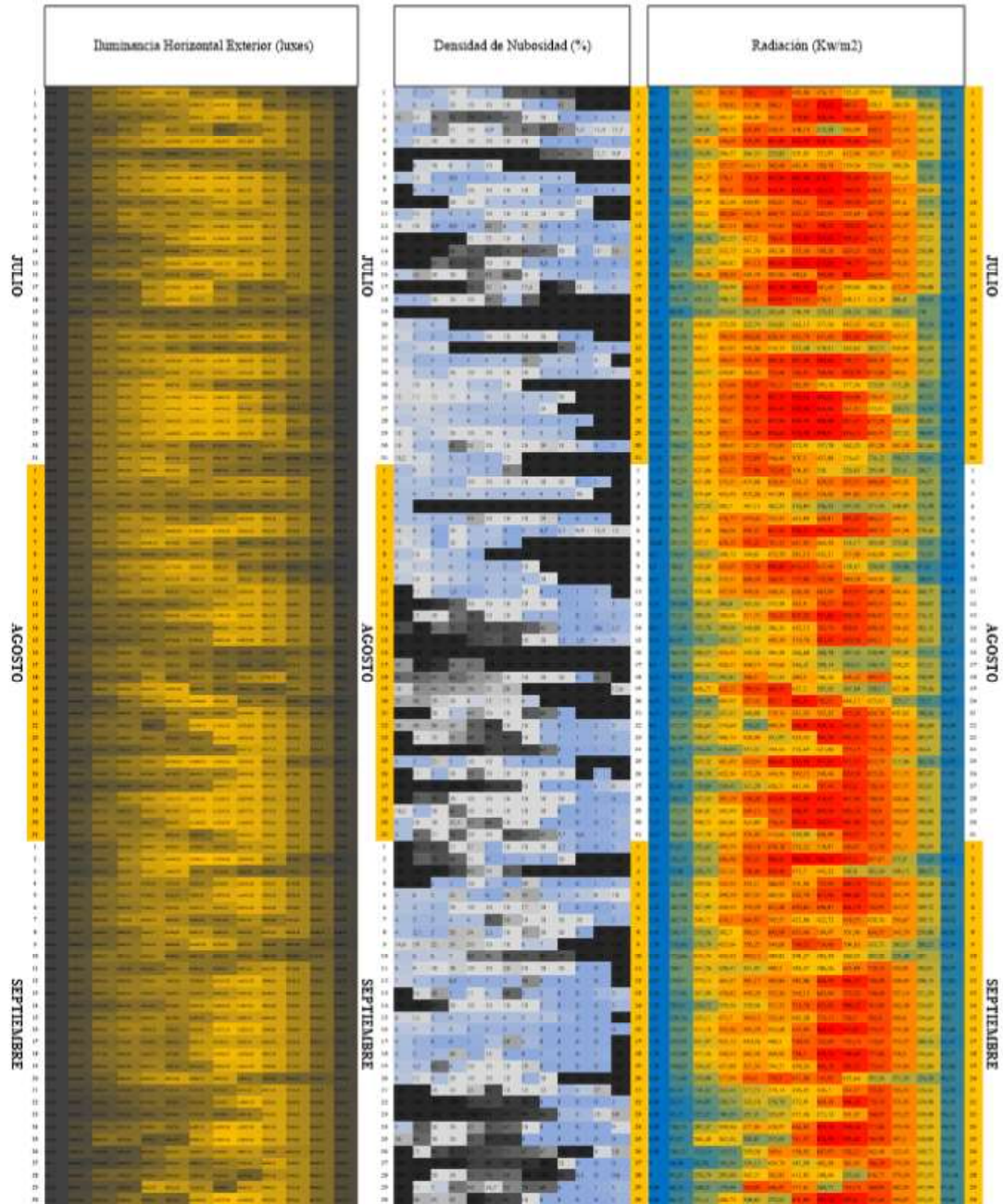
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 18: Métrica Dinámica Abril - Junio de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.



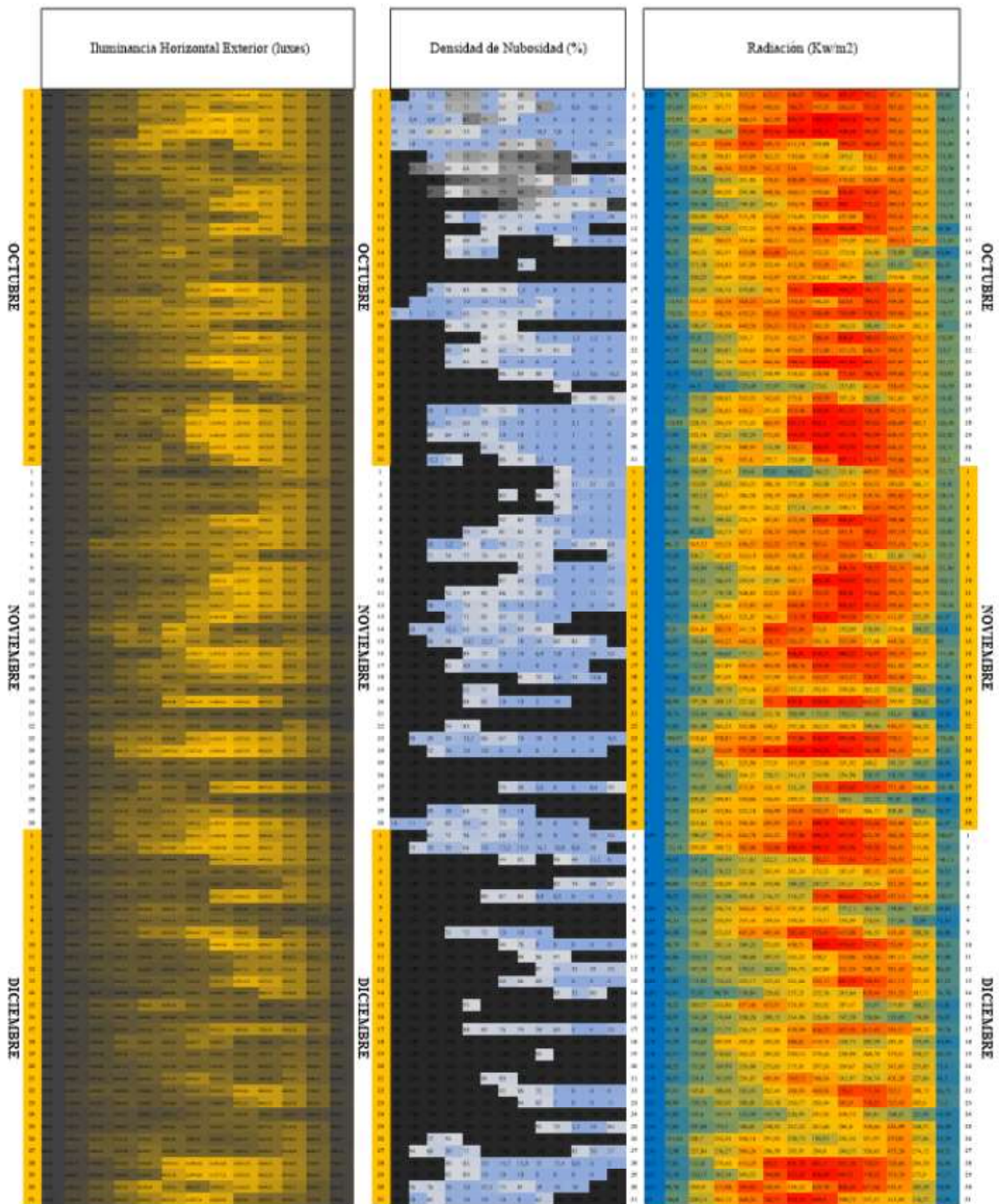
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 19: Métrica Dinámica Julio - Septiembre de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.



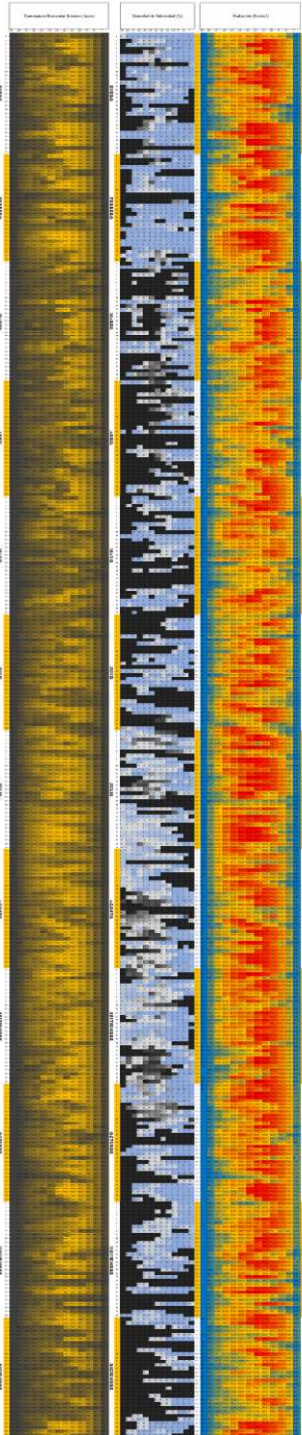
Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 20: Métrica Dinámica Octubre - Diciembre de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 21: Métrica Dinámica Anual de Iluminancia natural Exterior (luxes), Densidad de Nubosidad (%) y Radiación (Kw/m2) en Quito.



El presente gráfico permite al proyectista entender de manera precisa y detallada el comportamiento lumínico, de radiación y de nubosidad incidente en la Ciudad de Quito, de acuerdo al Año Meteorológico Tipo. Con la finalidad de brindar mayor facilidad de lectura, se ha subdividido estos datos de forma trimestral.

Este cuadro permite conocer al diseñador, de forma precisa horaria-diaría-mensual el comportamiento y variación de las condiciones de radiación, nubosidad e iluminancia horizontal exterior.

Análisis similares en históricos anuales, permitiría entender cómo han cambiado las condiciones climáticas en la Ciudad de Quito. Sin lugar a dudas el aumento de partículas en suspensión en el ambiente debido a los cada vez más altos índices de contaminación ambiental, genera distorsiones en la física de luz que afectan las condiciones de iluminación natural, así como en otros aspectos del confort del usuario.

5.4.3 Análisis de la Orientación en Quito.

La orientación es factor fundamental en el análisis de iluminación natural horizontal en espacios arquitectónicos. Quito, al estar emplazada sobre la línea equinoccial a 2850 msnm, presenta condiciones particulares de incidencia solar. Corridas realizadas en el Aplicativo Ejecutable Excel adjunto al presente trabajo de investigación, demuestran lo siguiente:

Tabla 12: Condiciones de Deslumbramiento - Orientación para espacios interiores en Quito.

Azimut (°)	Meses	Condición Deslumbramiento.
Orientaciones entre 0°-75°	Julio – Septiembre	Alta cantidad de horas-mes de deslumbramiento en horas de la mañana.
Orientaciones entre 300°-359°	Julio -Agosto	Alta cantidad de horas-mes de deslumbramiento en horas de la mañana.
Orientaciones entre 0°-360°	Abril -Junio	Baja cantidad de horas-mes de deslumbramiento entre las 06:00 am y 18:00 pm
Orientaciones entre 210°-255°	Abril - Junio	Menor cantidad de horas-mes de deslumbramiento en horas de la tarde.

Fuente: Elaboración Propia

5.5 Limitaciones de la investigación.

El presente trabajo de estudio buscó a través de la aplicación de distintas metodologías, el entender de manera precisa el comportamiento de la Iluminación Natural en ambientes interiores en la ciudad de Quito, puesto que esta cuenta con condiciones físicas, topográficas y climáticas particulares; distintas a las características climáticas de las ciudades o sitios donde se desarrollan la mayoría de estudios de iluminación natural y simuladores de esta. Las principales limitaciones que se presentaron en la presente investigación fueron:

- **Datos Climáticos:** La estación meteorológica IÑAQUITO a cargo del INAMHI, ofrece importante información climatológica de la ciudad de Quito en cuanto a valores de humedad, temperatura, precipitación, velocidad y dirección del viento, y radiación solar. Sin embargo, no se publican estudios de iluminancia horizontal exterior, así como tampoco estudios o registros profundos de nubosidad a través de las distintas horas y días del año. Con estudios científicos precisos del clima de la ciudad, podríamos llegar a comprender como este afecta a los espacios interiores; con la finalidad de mejorar códigos u ordenanzas de arquitectura que garanticen confort al usuario y corroboren de manera eficaz a la disminución del consumo energético.

No se cuenta por ejemplo con registros fotográficos históricos de la nubosidad, los cuales nos ayudarían a entender de mejor manera cómo ha afectado el cambio climático a la Ciudad de Quito, y las implicaciones que este ha tenido en términos del confort del usuario en espacios arquitectónicos.

- **Tecnología y equipos:** Se trabajó con dos luxómetros fijos programables colocados en el centro geométrico de los espacios en estudio y un luxómetro móvil, con el que se realizaron medidas de iluminancia exterior, y posteriores medidas de iluminancia interior de manera no simultánea. Se plantea para subsiguientes investigaciones, el tomar un mayor número de medidas interiores simultáneas (en al menos 16 puntos por espacio) junto con las mediciones exteriores, con el fin de poder comprender de mejor manera las variaciones y comportamiento del FLD, así como los distintos grados de variación de iluminancia horizontal de acuerdo a las horas del día.

- Aperturas cenitales: La investigación se limitó al estudio de la iluminación natural incidente en espacios interiores solamente a través de ventanas en fachada. La incidencia cenital se descartó en el presente trabajo, puesto que se tomó como Caso de Estudio espacios de una institución educativa, donde prácticamente todas las aulas cuentan con condiciones similares a aulas utilizadas.
- Tiempo: Investigaciones subsiguientes, podrían hacer estudios comparativos de incidencia e iluminancia horizontal interior en Quito, considerando datos obtenidos en una mayor cantidad de años. Esto podría ayudar a determinar meses o períodos de tiempo críticos donde las condiciones presenten mayores cambios, o los períodos de tiempo con mayor recurrencia de condiciones desfavorables para el usuario tanto por penumbra como por deslumbramiento.

6 Conclusiones y Recomendaciones.

6.1 Conclusiones.

- La iluminación natural es un fenómeno físico dinámico al igual que el clima y las condiciones de densidad y coloración de la nubosidad. Para contextos tropicales de altura de altura como es el caso de Quito, es preciso entender el comportamiento climático en la totalidad del año. El estudio puntual por fecha y hora de iluminación natural acorde a los datos arrojados en la presente investigación, con cielo de iluminancia constante, no empata con la realidad de la mayoría de las condiciones climáticas de la ciudad, y no nos ayudará a entender o solucionar los problemas de iluminación natural para condiciones extremas de deslumbramiento (cielos claros) y penumbra (cielos cubiertos grises oscuros).
- El emplazamiento equinoccial de Quito, la ausencia marcada de estaciones al contrario de lo que ocurre en otras latitudes; deriva en carencias o inexistencias de estudios de asoleamiento adecuados para espacios interiores. Se ha asumido erróneamente que la ciudad cuenta con magníficas condiciones de iluminación natural, desconociendo factores fundamentales como: orientación, clima y nubosidad; lo cual deriva en pérdidas de confort en el usuario y utilización innecesaria de energía. Soles altos, medios y bajos, pueden generar pérdidas de

confort por deslumbramiento y sobreexposición en locaciones cercanas a aperturas orientadas perpendicularmente al eje de asoleamiento, en condiciones de cielo despejados y parciales cubiertos. Espacios interiores en Quito bajo las mismas condiciones de orientación, pueden verse afectados por penumbra sin importar el ángulo de incidencia del sol, debido a cambios repentinos de las condiciones de nubosidad. En términos generales el período más crítico de iluminancia se da durante las mañanas y tardes entre julio y septiembre. Espacios a ser utilizados en estas fechas, deberían estar orientados perpendicularmente hacia el norte o sur. El contar con trece horas diarias promedio de luz, no necesariamente implica tener condiciones adecuadas de luz natural.

- El adecuado análisis de la incidencia de iluminación natural en espacios interiores, implica estudios adecuados de orientación de la habitación, uso principal del espacio y tiempo en horas y meses del año donde se utilizará este mayoritariamente. La utilización del Aplicativo de Pre-Dimensionamiento Lumínico, puede ayudar al diseñador a encontrar la proporción del área adecuada del espacio (largo y profundidad), así como la proporción de área de ventanas (largo y alto) para conseguir aumentar la Autonomía Lumínica del espacio. Se podría empezar a diseñar espacios arquitectónicos en la ciudad de Quito en función de la cantidad de luxes requeridos, considerando: orientación, ocupación, permanencia, proporción; para efectivizar el uso de la luz natural y garantizar la disminución energética de los edificios.
- Para el caso de la ciudad de Quito por su marcada simetría de geometría solar, es factible pre-dimensionar proporciones con respecto al tiempo de uso del espacio. Espacios profundos orientados hacia el eje de soleamiento este-oeste, se verán beneficiados en términos de iluminación natural si estos son utilizados en horas de sol bajo (06:00 am – 08:00 am y 16:00 pm-18:00 pm) por la capacidad de penetración de la luz al espacio, bajo la condición de contar con sistemas de control incidencia solar. Espacios de profundidad reducida orientados hacia el eje de soleamiento este-oeste se verán beneficiados si son utilizados en horas de sol alto (10:00 am y 14:00 pm) por la limitada capacidad de penetración de luz

al espacio, bajo la condición de precautelar la(s) zona(s) de la habitación cercanas a las aperturas acristaladas.

- Las condiciones de baja iluminancia horizontal exterior se mantienen mayoritariamente constantes durante todos los meses del año, por lo que esta circunstancia se vería reflejada de igual forma en la iluminancia horizontal interior en un espacio arquitectónico. Los meses de julio, agosto, septiembre y octubre presentan altas condiciones de radiación, iluminancia y bajas condiciones nubosidad, por lo que son en general los períodos más críticos que generarán condición de deslumbramiento si las aperturas verticales acristaladas se orientan de forma perpendicular al eje de soleamiento este-oeste. En este período de tiempo, la cantidad de horas en confort lumínico en el espacio interior es casi igual a las horas que causarían deslumbramiento, salvo que se reduzca la proporción de las aperturas acristaladas de forma considerable. El uso de lamas, repisas u otros medios de limitación del acceso de la luz solar ayudaría; sin embargo, se debe considerar el bloqueo visual hacia el exterior que generan este tipo de elementos.
- Los meses de marzo, abril, mayo y junio presentan en general las mejores condiciones de autonomía lumínica, analizando los datos del conteo hora por hora del aplicativo ejecutable Excel. Condiciones climatológicas de nubes negras con presencia de lluvias importantes en el caso de Quito, pueden disminuir temporalmente de forma notable las condiciones de luz natural interior, generando penumbra especialmente en las áreas del espacio lejanas a las aperturas acristaladas, si este es generoso en su proporción largo-profundidad.
- Es preciso encontrar la relación adecuada entre el área interior y el área de acristalamiento para un adecuado nivel de iluminancia. El aumentar la proporción de acristalamiento puede reducir mínimamente la cantidad de horas anuales de condiciones de penumbra, reducir significativamente la cantidad de horas anuales de condiciones óptimas de iluminancia, y aumentar gravitadamente la cantidad de horas anuales de condiciones de deslumbramiento. La relación 10 a 1 entre área del espacio interior y área de acristalamiento, genera en el cálculo de pre-dimensionamiento hasta un 71% de horas adecuadas de iluminancia horizontal interior, 13% de horas de

deslumbramiento y 16% de horas de penumbra. La relación 5 a 1 entre ambas áreas genera 49% de horas adecuadas de niveles de iluminancia, 41% de horas de deslumbramiento y 10% de horas penumbra. Se puede concluir indicando que, para el caso de la ciudad de Quito, la estrategia de iluminación natural debe apuntar hacia la resolución de los problemas de deslumbramiento, más no los de penumbra.

- La estrategia de protección solar para el caso de la ciudad de Quito, debe considerar resolver los problemas de deslumbramiento que van en relación a los días y horas de año donde la incidencia solar llega de manera directa al espacio. El estudio de la orientación de la habitación es fundamental para conseguir adecuados y estables niveles de iluminancia. Edificaciones cuyo uso mayoritario está entre las 07:00 am y 16:00 pm como centros de educación y oficinas, deben orientar sus aperturas acristaladas mayores hacia el eje norte-sur. En el caso de residencias el mayor uso del espacio está en las tardes y noches, por lo que la orientación del espacio debe considerar además otras variables bioclimáticas para su correcto diseño.

6.2 Recomendaciones.

- Los estudios del clima para la ciudad de Quito consideran registros muy importantes de: radiación solar, velocidad y dirección de vientos, humedad ambiental, temperatura (máxima, media y mínima), pluviosidad, entre otras. En cuanto a estudios de iluminancia y condiciones de nubosidad del cielo, las estaciones meteorológicas realizan estudios perceptuales en “Octavas” cuyo aporte científico puede resultar poco útil y muy discutible para estudios de iluminación natural en espacios interiores. Los anuarios climáticos no estudian de ninguna manera de forma técnica (en luxes) las condiciones de iluminancia del cielo. Es necesario, el levantamiento de esta información a través de tiempo, para generar archivos climáticos más precisos, que permitan hacer estudios de iluminación natural más precisos.
- La norma de arquitectura de la ciudad de Quito, podría incluir un estudio profundo y detallado de tiempo (horas y meses) de uso equipamientos y espacios arquitectónicos, en base a promedios o previsiones lógicas; con la finalidad proliferar la generación de espacios sostenibles y eficientes. Por ejemplo,

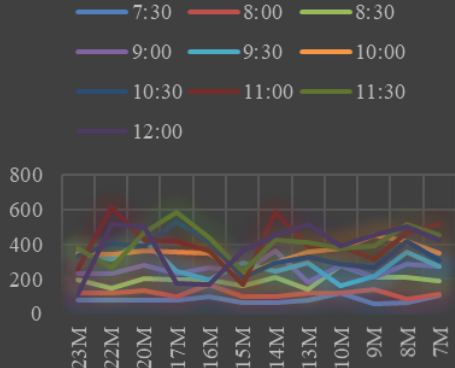
edificios de oficinas y de educación, cuyo uso mayoritario es diurno; deberían por norma su mayor proporción de superficies acristaladas estar orientadas en sentido contrario al eje de asoleamiento, y beneficiar dichos espacios de la luz difusa o reflejada del cielo.

- La ciudad debe brindar las facilidades para la correcta implantación de sus edificios. Con el fin de brindar accesibilidad de forma adecuada a los beneficios de la luz natural en los espacios interiores a la mayoría de usuarios, la ciudad de Quito en la medida de lo posible debe incentivar la adecuada orientación de espacios arquitectónicos. Los nuevos desarrollos territoriales en la ciudad, deben considerar y ser emplazados de acuerdo a condiciones óptimas de iluminancia relacionadas al Uso de Suelo previsto para ese territorio, y no solamente a condiciones topográficas, económicas o de otra índole.
- Quito cuenta con condiciones físicas, climáticas, topográficas, tipo de suelo y vegetación, geográficas e inclusive de contaminación ambiental; particulares. La incidencia perpendicular de la radiación solar a 2850 msnm merece un tratamiento especial. Futuras investigaciones de iluminación natural en la ciudad, podrían encaminar sus esfuerzos en estudiar las condiciones de Albedo, que son fundamentales para estudios más profundos de iluminación natural interior. Siendo tan variadas dichas condiciones a lo largo de la Quito, es importante establecer esta variable de forma sectorizada:
 - Calderón / Mitad del Mundo / Guayllabamba
 - Zona Norte de Quito
 - Zona Casco colonial.
 - Zona Sur de Quito / Valle de los Chillos
 - Zona Valle de Tumbaco.

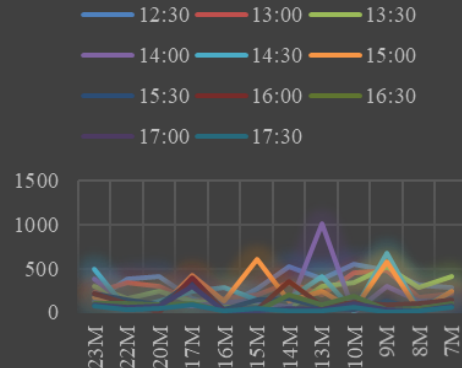
Anexo 1A: Iluminancia Interior Aula 1

	23 M	22 M	20 M	17 M	16 M	15 M	14 M	13 M	10 M	9M	8M	7M	MEDI A ART.	DES. MED. EST
7:30	79	80	81	79	99	67	67	75	122	59	67	104	82	18
8:00	119	120	132	98	170	99	99	122	122	138	83	115	118	23
8:30	198	146	201	194	193	162	209	138	280	209	209	187	194	37
9:00	233	233	280	233	264	248	367	185	280	209	288	275	258	46
9:30	351	311	430	248	193	296	248	296	162	217	359	274	282	75
10:00	343	343	367	359	351	225	296	359	375	453	422	347	353	57
10:30	335	406	390	532	414	209	296	327	288	264	422	305	349	87
11:00	256	611	430	422	367	170	587	390	390	311	469	516	410	128
11:30	375	267	469	587	438	248	430	414	375	390	516	456	414	95
12:00	114	516	501	177	170	367	453	516	390	453	501	423	382	146
12:30	130	382	414	162	67	264	516	382	548	477	311	289	329	154
13:00	225	335	304	122	154	201	343	201	445	477	170	207	265	115
13:30	296	162	248	122	106	114	51	296	335	524	280	403	245	139
14:00	382	91	99	67	114	122	59	1013	4	296	130	118	208	274
14:30	501	36	122	248	280	138	162	406	20	682	36	245	240	203
15:00	170	130	43	422	122	603	130	248	28	572	20	247	228	202
15:30	217	146	91	351	36	146	162	59	36	130	36	68	123	93
16:00	209	106	4	390	12	36	359	67	114	91	99	148	136	125
16:30	99	106	86	99	12	20	193	83	185	28	51	99	88	58
17:00	91	59	75	296	12	20	43	36	106	36	20	79	73	76
17:30	75	36	40	83	20	43	12	12	59	4	20	52	38	26

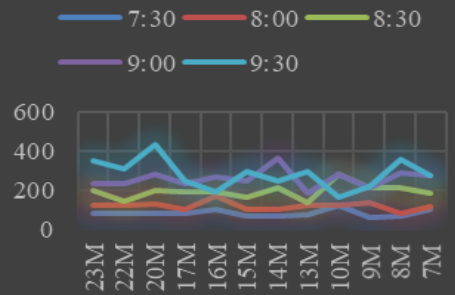
ILUMINANCIA AULA 1 (MAÑANA)



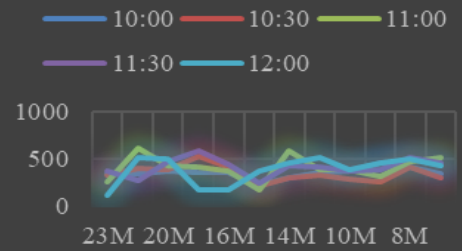
ILUMINANCIA AULA 1 (TARDE)



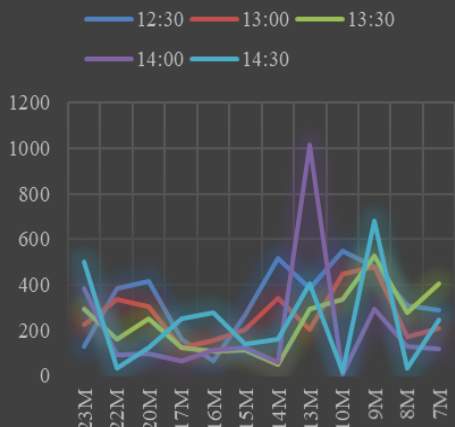
ILUMINANCIA AULA 1 7:30 AM - 9:30 AM



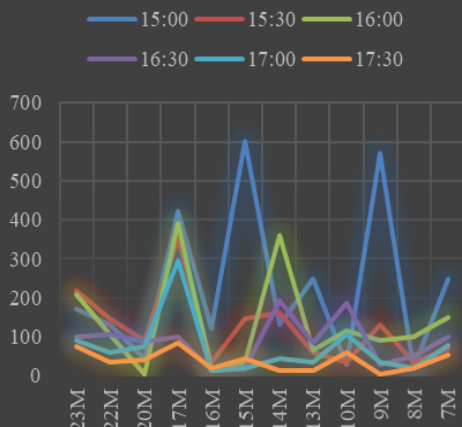
ILUMINANCIA AULA 1 10:00 AM - 12:00 PM



ILUMINANCIA AULA 1 12:30 PM - 14:30 PM

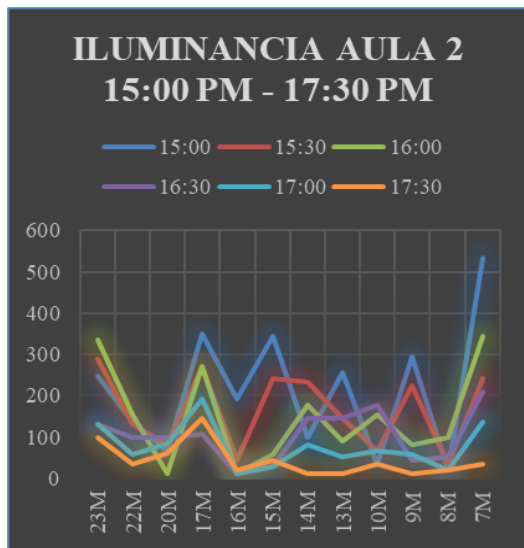
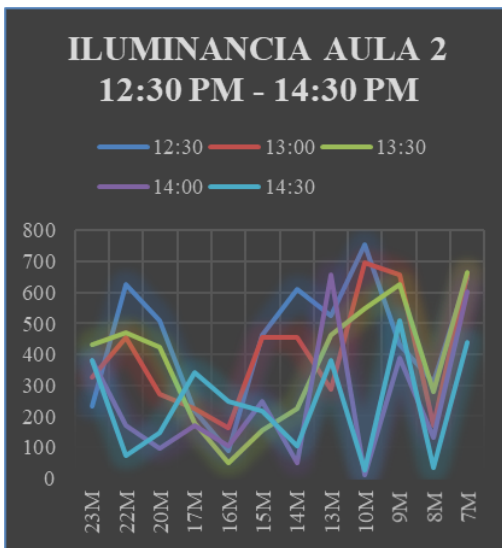
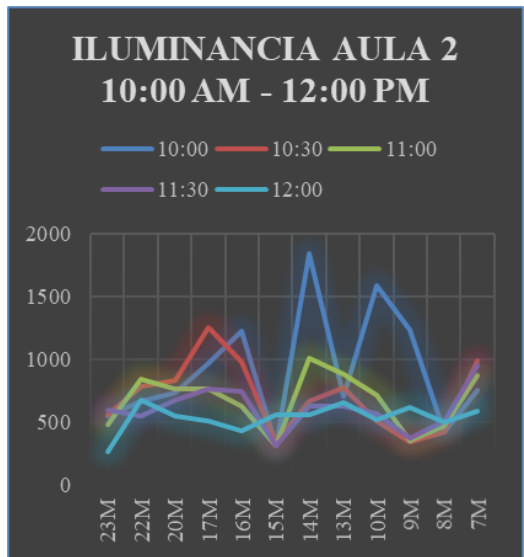
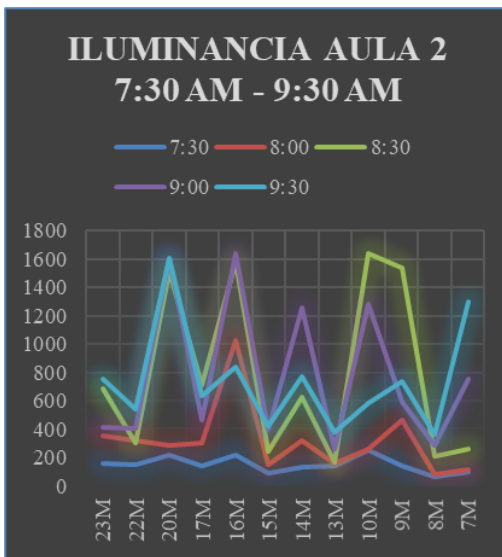
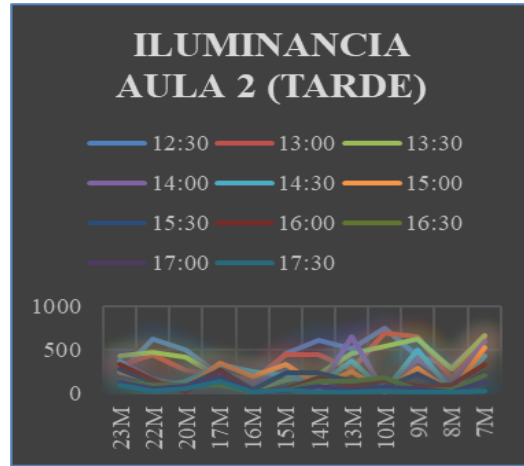
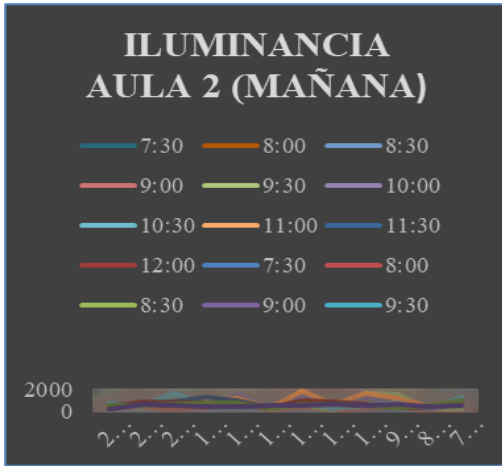


ILUMINANCIA AULA 1 15:00 PM - 17:30 PM



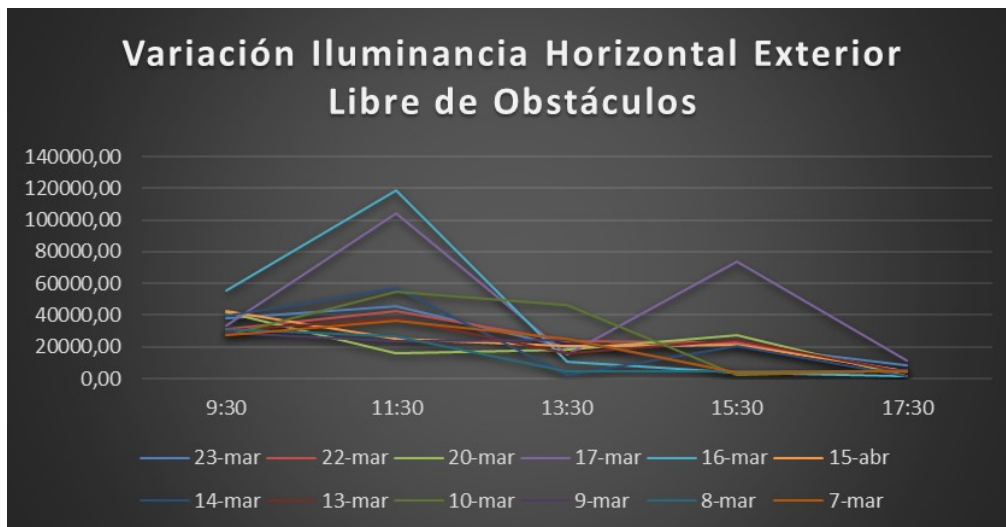
Anexo 1B: Iluminancia Interior Aula 2

	23 M	22 M	20 M	17 M	16 M	15 M	14 M	13 M	10 M	9 M	8 M	7 M	MEDI A ART.	DES. MED . EST
7:30	153	148	219	140	217	91	130	138	248	138	67	97	148	57
8:00	356	319	289	302	1029	146	319	154	256	461	83	112	315	262
8:30	689	304	1510	715	1581	241	627	170	1636	1541	209	256	799	633
9:00	414	406	1604	461	1636	398	1258	256	1281	595	288	756	813	531
9:30	753	540	1604	635	840	422	769	382	580	737	359	1297	742	390
10:00	556	666	737	974	1226	319	1848	706	1589	1234	422	761	953	476
10:30	564	787	840	1258	982	343	666	777	516	343	422	989	720	295
11:00	485	848	769	769	635	311	1013	887	714	351	469	871	694	229
11:30	603	556	682	769	745	311	627	627	572	375	516	950	612	180
12:00	264	674	556	509	438	564	564	658	524	619	501	595	564	71
12:30	233	627	509	217	91	461	611	524	753	430	311	650	471	199
13:00	327	453	272	225	162	453	453	288	698	658	170	658	408	200
13:30	430	469	422	177	51	154	225	461	548	627	280	666	371	205
14:00	382	170	99	170	106	248	51	658	12	390	130	603	240	218
14:30	382	75	146	343	248	217	106	382	28	509	36	438	230	168
15:00	248	138	67	351	193	343	99	256	36	296	20	532	212	160
15:30	288	130	83	272	43	241	233	146	67	225	36	241	156	89
16:00	335	154	12	272	12	59	177	91	154	83	99	343	132	103
16:30	130	99	100	106	12	28	146	146	177	43	51	209	102	67
17:00	130	59	85	193	12	28	83	51	67	59	20	138	71	56
17:30	99	36	60	146	20	43	12	12	36	12	20	36	37	40



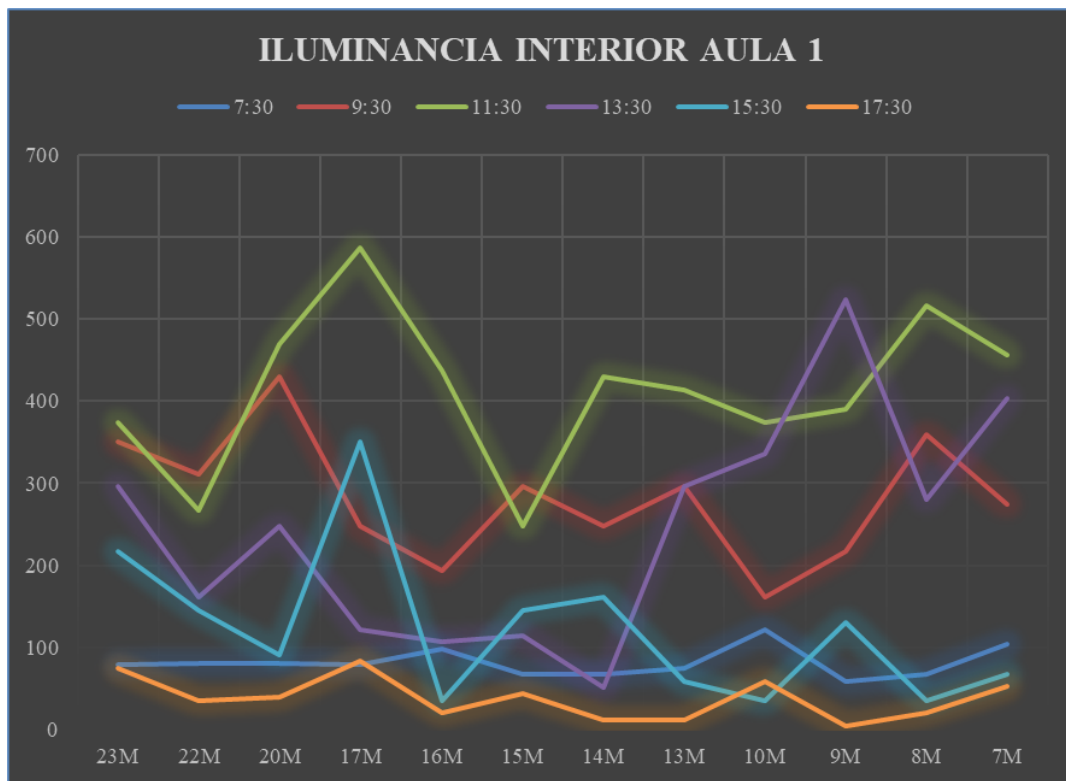
Anexo 2: Iluminancia Horizontal Exterior Libre de Obstáculos.

	23-mar	22-mar	20-mar	17-mar	16-mar	15-abr	14-mar	13-mar	10-mar	9-mar	8-mar	7-mar	PROM.	DESV. MED. EST.
7:30	8456,00	7563,00	3217,00	2560,00	6750,00	8960,00	7390,00	10860,00	13400,00	11256,00	10256,00	11451,00	8509,92	3268,94
9:30	38145,00	31021,00	42100,00	33710,00	55500,00	42900,00	39570,00	30440,00	27420,00	28563,00	31140,00	27389,00	35658,17	8359,30
11:30	45625,00	42365,00	15623,00	104400,00	119000,00	25390,00	57100,00	38300,00	54600,00	23891,00	26500,00	36502,00	49108,00	31909,33
13:30	20140,00	23656,00	18547,00	151300,00	10850,00	20190,00	2000,00	15700,00	46500,00	24563,00	4856,00	25478,00	18967,50	11422,03
15:30	21560,00	22894,00	27563,00	73900,00	3815,00	21040,00	20820,00	24690,00	2568,00	3569,00	4381,00	3956,00	19229,67	19833,44
17:30	8562,00	4731,00	1156,00	11470,00	1750,00	4310,00	1236,00	3958,00	5070,00	5236,00	4651,00	4874,00	4750,33	2940,93



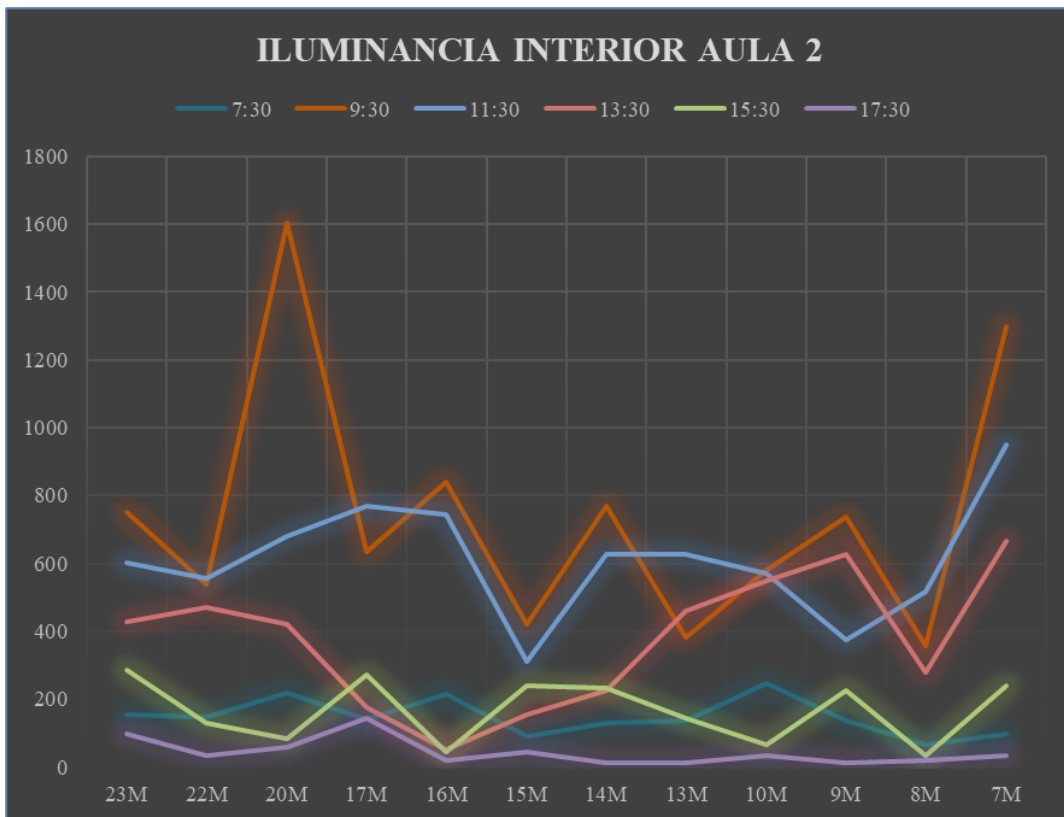
Anexo 3A: Factor de Luz de Día Aula 1

	23M	22M	20M	17M	16M	15M	14M	13M	10M	9M	8M	7M	MEDIA ART.	DES. MED. EST.
7:30	79	80	81	79	99	67	67	75	122	59	67	104	82	18
9:30	351	311	430	248	193	296	248	296	162	217	359	274	282	75
11:30	375	267	469	587	438	248	430	414	375	390	516	456	414	95
13:30	296	162	248	122	106	114	51	296	335	524	280	403	245	139
15:30	217	146	91	351	36	146	162	59	36	130	36	68	123	93
17:30	75	36	40	83	20	43	12	12	59	4	20	52	38	26

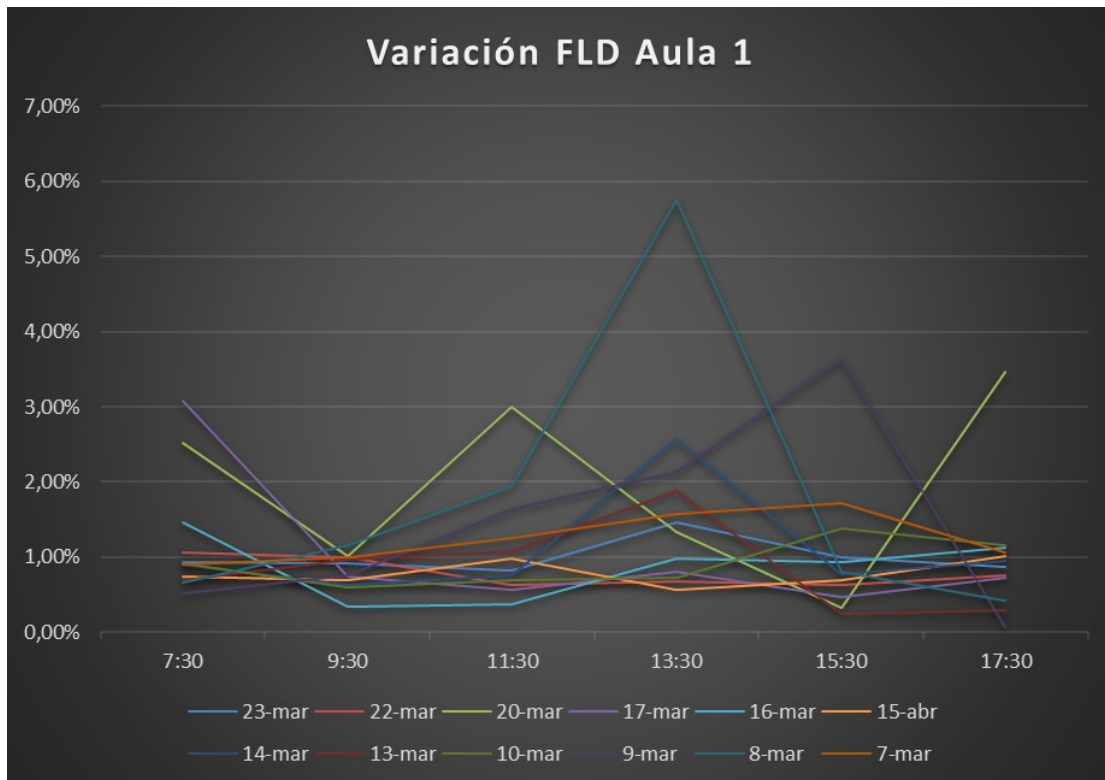


Anexo 3A: Factor de Luz de Día Aula 1

	23M	22M	20M	17M	16M	15M	14M	13M	10M	9M	8M	7M	MEDIA ART.	DES. MED. EST
7:30	153	148	219	140	217	91	130	138	248	138	67	97	148	57
9:30	753	540	1604	635	840	422	769	382	580	737	359	1297	742	390
11:30	603	556	682	769	745	311	627	627	572	375	516	950	612	180
13:30	430	469	422	177	51	154	225	461	548	627	280	666	371	205
15:30	288	130	83	272	43	241	233	146	67	225	36	241	156	89
17:30	99	36	60	146	20	43	12	12	36	12	20	36	39	39

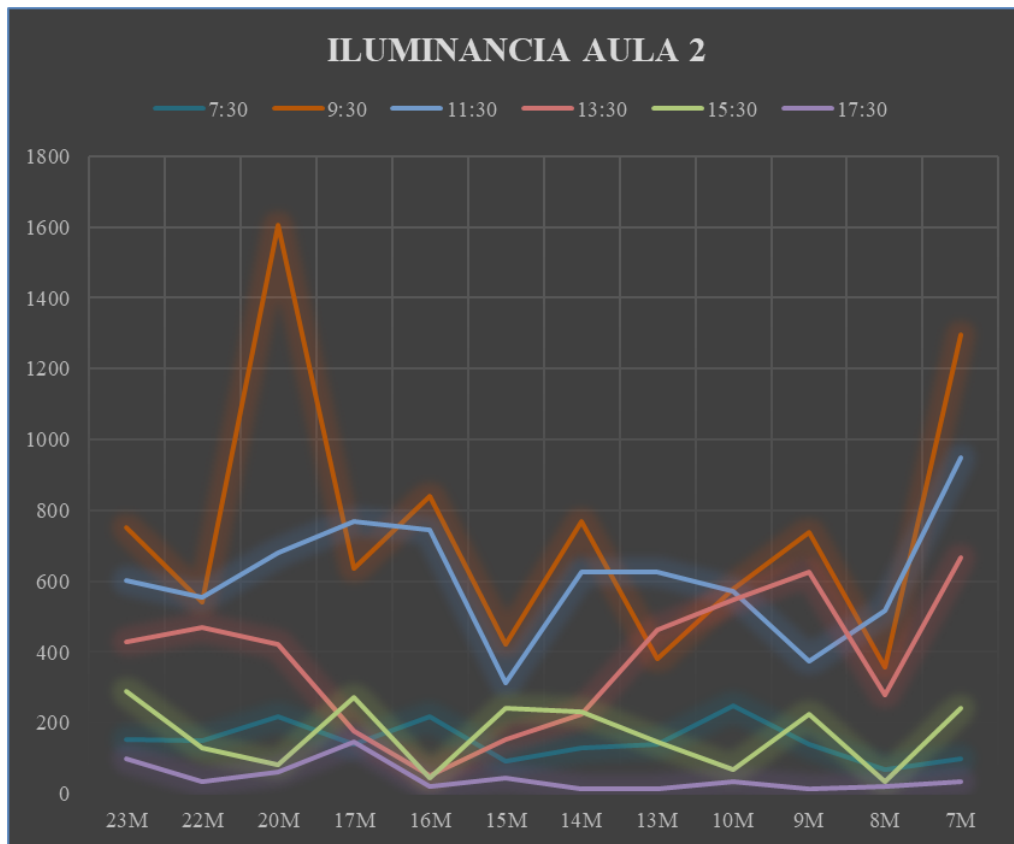


	23-mar	22-mar	20-mar	17-mar	16-mar	15-abr	14-mar	13-mar	10-mar	9-mar	8-mar	7-mar	PROM.	DES.V. MED. EST.
7:30	0,93%	1,06%	2,52%	3,09%	1,46%	0,75%	0,91%	0,69%	0,91%	0,53%	0,65%	0,91%	1,20%	0,008
9:30	0,92%	1,00%	1,02%	0,74%	0,35%	0,69%	0,63%	0,97%	0,59%	0,76%	1,15%	1,00%	0,82%	0,002
11:30	0,82%	0,63%	3,00%	0,56%	0,37%	0,98%	0,75%	1,08%	0,69%	1,63%	1,95%	1,25%	1,14%	0,007
13:30	1,47%	0,68%	1,34%	0,81%	0,98%	0,57%	2,56%	1,88%	0,72%	2,13%	5,76%	1,58%	1,71%	0,014
15:30	1,01%	0,64%	0,33%	0,47%	0,93%	0,69%	0,78%	0,24%	1,38%	3,65%	0,81%	1,72%	1,05%	0,009
17:30	0,87%	0,75%	3,46%	0,72%	1,13%	1,01%	0,95%	0,30%	1,17%	0,07%	0,42%	1,07%	0,99%	0,008

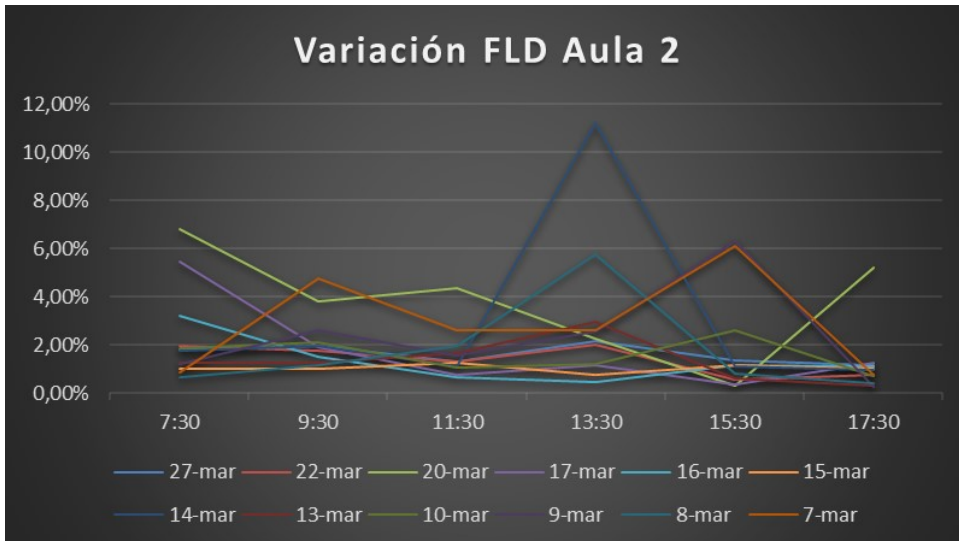


Anexo 3B: Factor de Luz de Día Aula 2

	23M	22M	20M	17M	16M	15M	14M	13M	10M	9M	8M	7M	MEDIA ART.	DES. MED. EST
7:30	153	148	219	140	217	91	130	138	248	138	67	97	148	57
9:30	753	540	1604	635	840	422	769	382	580	737	359	1297	742	390
11:30	603	556	682	769	745	311	627	627	572	375	516	950	612	180
13:30	430	469	422	177	51	154	225	461	548	627	280	666	371	205
15:30	288	130	83	272	43	241	233	146	67	225	36	241	156	89
17:30	99	36	60	146	20	43	12	12	36	12	20	36	39	39



	27-mar	22-mar	20-mar	17-mar	16-mar	15-mar	14-mar	13-mar	10-mar	9-mar	8-mar	7-mar
7:30	1,81%	1,96%	6,81%	5,47%	3,21%	1,01%	1,76%	1,27%	1,85%	1,23%	0,65%	0,85%
9:30	1,97%	1,74%	3,81%	1,88%	1,51%	0,98%	1,94%	1,26%	2,11%	2,58%	1,15%	4,74%
11:30	1,32%	1,31%	4,36%	0,74%	0,63%	1,23%	1,10%	1,64%	1,05%	1,57%	1,95%	2,60%
13:30	2,13%	1,98%	2,27%	1,17%	0,47%	0,76%	#####	2,94%	1,18%	2,55%	5,76%	2,61%
15:30	1,33%	0,57%	0,30%	0,37%	1,14%	1,14%	1,12%	0,59%	2,61%	6,30%	0,81%	6,09%
17:30	1,15%	0,75%	5,19%	1,27%	1,13%	1,01%	0,95%	0,30%	0,70%	0,23%	0,42%	0,74%



Anexo 4: Iluminancia Horizontal Interior punto por punto Aula 1 y Aula 2

		7:30 a. m.												PROM.	DME
		7/3/2017	8/3/2017	9/3/2017	10/3/2017	13/3/2017	14/3/2017	15/3/2017	16/3/2017	17/3/2017	20/3/2017	22/3/2017	23/3/2017		
AULA 1	1	259	215	137	378	242	268	263	282	256	169	135	274	239,8	68,2
	2	533	448	305	785	543	525	557	510	456	330	248	315	462,9	148,0
	3	627	501	355	984	633	581	660	573	523	475	354	519	565,4	164,6
	4	122	89,3	83,6	204	125	105	120	121	89	82	50,7	87	106,4	37,7
	5	256	156	105	375	155	152	144	256	159	122	81,8	125	173,8	82,2
	6	259	167	118	367	191	165	163	217	185	146	94,7	93	180,5	75,8
	7	266	166	125	357	171	161	168	180	168	141	99,5	135	177,9	69,2
	8	160	105	88,7	239	130	114	120	121	148	101	52,2	112	124,2	45,5
	9	144	83,6	59,4	244	80,8	78,8	73,4	166	95	70,4	32,7	89	101,5	57,3
	10	134	82,1	61,7	219	89	81,5	78,9	130	83,6	70,1	28,8	85,6	95,4	47,8
	11	125	76,1	63,7	194	92,9	82,2	83,6	91,8	112	63,2	31,9	101	93,1	40,0
	12	114	68,5	62,2	170	91,2	81,2	74,1	88,1	92	62,8	30,2	89	85,3	33,8
	13	106	62,4	50,3	191	66,3	72,8	63,8	143	83,2	54,1	24,1	78,9	83,0	45,1
	14	132	64,4	67,7	228	75,5	78,4	73,5	121	92,3	60,9	27,4	112	94,4	50,8
	15	124	68,9	69,5	193	85,6	85,8	86,1	96,3	95,3	65,2	31,3	117	93,1	39,7
	16	109	61,5	64,6	173	80,4	84,1	86,7	89,9	89	53,7	27,8	56	81,3	36,0
AULA 2	17	285	162	132	300	96,6	156	90,8	218	156	99,1	55,7	114	155,4	76,5
	18	303	169	133	289	92,6	157	90,4	196	189	103	61,5	98	156,7	77,5
	19	307	172	131	237	85,8	151	84,5	183	143	100	61,2	114	147,3	70,0
	20	231	154	99,6	195	72,1	130	69,3	159	125	72,4	52,7	89,7	120,9	55,4
	21	412	196	172	377	118	197	111	231	204	125	75,8	185	200,3	101,8
	22	454	210	164	340	119	201	107	225	256	130	81,3	156	203,6	106,7
	23	506	235	168	323	116	205	104	231	248	131	83,1	301	220,9	118,3
	24	376	204	143	262	95,1	174	86,1	206	155	82,5	68,7	178	169,1	87,9
	25	636	528	285	611	197	334	183	326	341	218	138	311	342,3	165,5
	26	958	862	382	583	263	476	222	372	423	289	221	413	455,4	238,1
	27	1803	549	525	821	279	573	242	815	786	305	255	526	623,2	428,8
	28	734	271	297	497	161	373	142	538	289	144	155	316	326,5	183,7
	29	478	3252	257	411	195	312	185	264	625	164	1205	415	646,9	868,6
	30	4030	3582	2703	3990	1869	3200	1660	1998	1480	2726	1710	1235	2515,3	996,9
	31	4320	2175	2699	3840	1772	3310	1602	2432	1452	2350	1621	1285	2404,8	977,5
	32	2292	2175	1219	1707	674	1686	536	1658	785	645	655	614	1220,5	652,2

		9:30 a. m.													PROM.	DME
		7/3/2017	8/3/2017	9/3/2017	10/3/2017	13/3/2017	14/3/2017	15/3/2017	16/3/2017	17/3/2017	20/3/2017	22/3/2017	23/3/2017			
AULA 1	1	784	734	512	329	828	714	1126	606	685	512	600	645	672,9	197,3	
	2	1685	1413	1202	715	1647	1458	2132	1170	1464	1078	1640	1356	1413,3	357,8	
	3	1919	1481	1244	855	1981	1413	2494	1185	1535	1183	1920	1523	1561,1	449,0	
	4	498	385	408	209	331	371	489	460	364	169	418	381	373,6	100,3	
	5	683	624	578	340	495	545	654	581	524	214	807	554	549,9	154,4	
	6	750	723	633	369	543	606	720	616	559	312	840	601	606,0	151,3	
	7	785	538	636	374	541	625	712	574	551	321	815	536	584,0	146,2	
	8	583	523	528	248	335	424	489	498	364	190	468	421	422,6	118,5	
	9	454	613	457	204	206	297	305	449	247	110	443	256	336,8	145,0	
	10	406	543	415	207	219	302	308	403	245	141	455	244	323,9	119,9	
	11	265	457	393	215	226	290	312	372	245	147	434	295	304,2	93,8	
	12	326	384	377	215	222	276	308	382	244	130	302	293	288,3	76,7	
	13	371	583	369	281	164	271	259	472	217	106	268	310	305,9	130,1	
	14	514	506	473	302	181	281	277	445	247	130	234	256	320,4	130,5	
	15	474	472	441	288	205	298	303	455	262	136	251	334	326,4	111,3	
	16	402	376	378	262	200	296	301	420	248	117	230	301	294,1	90,0	
AULA 2	17	909	1002	840	1131	258	554	332	1093	485	176	548	652	664,9	327,4	
	18	880	1029	696	1188	249	502	318	1029	429	180	590	623	642,8	330,0	
	19	852	862	661	1218	230	463	298	975	402	177	575	612	610,4	319,5	
	20	657	641	588	1062	195	399	247	833	311	141	460	510	503,7	271,7	
	21	1151	1142	1362	1696	323	767	387	1263	576	228	714	875	873,7	457,0	
	22	1183	1362	1134	1591	318	696	368	1218	573	233	728	890	857,8	442,2	
	23	1167	1180	1052	1652	327	685	361	1264	580	219	778	856	843,4	434,9	
	24	792	1058	847	1503	254	589	294	1136	474	170	635	724	706,3	393,7	
	25	1486	2125	1563	2585	639	1176	663	1796	983	391	1048	1256	1309,3	641,8	
	26	1299	2653	1699	3046	756	1451	769	1992	1195	558	1392	1460	1522,5	745,9	
	27	1637	3380	2034	3572	839	1639	821	2380	1301	629	1630	1678	1795,0	935,4	
	28	1414	2791	1434	2789	483	1192	515	2066	834	314	1480	1478	1399,2	825,2	
	29	1380	2432	1391	2549	545	1193	652	1816	902	281	858	1357	1279,6	708,1	
	30	2388	6810	3580	6780	4720	2530	5390	5440	1131	3370	1372	3568	3923,3	1924,4	
	31	2583	7170	3140	6990	4590	3020	5170	5880	1103	3350	1420	3568	3998,7	1991,0	
	32	2267	6470	2320	6230	1867	3140	1967	5560	6230	1426	867	3487	3485,9	2072,8	

		11:30 a. m.														
		7/3/2017	8/3/2017	9/3/2017	10/3/2017	13/3/2017	14/3/2017	15/3/2017	16/3/2017	17/3/2017	20/3/2017	22/3/2017	23/3/2017	PROM.	DME	
AULA 1	1	1293	1418	1274	1412	597	1260	918	842	1816	1408	865	1256	1196,6	333,0	
	2	2786	2760	2692	2779	1300	2752	1812	1726	3597	3779	2623	2412	2584,8	714,5	
	3	3158	3130	3227	3189	1371	3488	2188	1861	3816	4990	3097	2569	3007,0	943,8	
	4	806	589	665	625	313	697	372	550	937	740	626	714	636,2	171,8	
	5	940	963	883	586	457	699	482	635	969	1150	510	781	754,6	226,8	
	6	1049	1253	989	689	551	1014	530	790	1120	1420	895	912	934,3	267,6	
	7	1082	1301	1018	734	583	998	539	824	1165	1265	1074	856	953,3	249,2	
	8	829	876	663	595	421	874	373	653	867	840	618	646	687,9	173,9	
	9	524	587	373	322	238	432	213	307	527	575	406	402	408,9	125,7	
	10	561	621	405	347	257	470	228	310	529	610	609	495	453,5	141,3	
	11	585	585	432	366	273	486	242	334	584	620	632	315	454,5	145,0	
	12	587	575	434	344	273	488	247	465	659	574	604	356	467,2	137,6	
	13	447	486	274	253	210	528	176	366	479	265	382	311	348,1	117,3	
	14	537	562	327	298	255	530	223	436	591	371	689	401	435,0	147,0	
	15	589	611	362	355	284	450	255	711	986	515	1065	514	558,0	257,6	
	16	554	558	345	354	282	349	255	735	987	495	1017	589	543,3	257,1	
AULA 2	17	848	615	309	505	435	550	252	669	643	753	438	310	527,2	186,7	
	18	853	577	288	483	421	556	240	636	587	765	448	423	523,1	178,7	
	19	751	585	269	451	393	508	223	587	533	748	433	562	503,7	163,0	
	20	580	448	225	379	314	417	184	480	445	612	310	443	403,1	129,1	
	21	847	695	382	664	566	499	302	753	760	937	574	587	630,6	184,4	
	22	838	706	364	648	529	629	286	711	704	903	573	614	625,4	175,4	
	23	805	644	347	641	543	630	275	698	633	884	534	511	595,4	171,3	
	24	510	542	280	531	437	626	226	595	509	719	421	474	489,2	137,7	
	25	1272	1212	706	1182	1038	1012	550	1082	1104	1495	952	741	1028,8	263,6	
	26	1281	1403	825	1364	1245	1200	660	1299	1109	1740	1315	944	1198,8	285,6	
	27	1325	1526	847	1466	1319	1325	702	1529	1086	1950	1329	985	1282,4	338,5	
	28	761	879	494	915	730	814	390	949	680	1193	710	563	756,5	217,5	
	29	1112	1085	697	1251	972	2860	547	970	1144	1187	829	1147	1150,1	578,2	
	30	9930	7970	5980	9870	8190	8810	4430	8100	7620	1198	7580	1344	6751,8	2968,7	
	31	8960	7070	5130	9210	7800	9950	4070	7960	7120	1187	7650	3258	6613,8	2654,6	
	32	2402	2148	1598	2956	2746	999	1079	3524	2541	4560	2658	1569	2398,3	1024,7	

		13:30 PM												PROM.	DME
		7/3/2017	8/3/2017	9/3/2017	10/3/2017	13/3/2017	14/3/2017	15/3/2017	16/3/2017	17/3/2017	20/3/2017	22/3/2017	23/3/2017		
AULA 1	1	1681	1095	2234	1236	549	57	594	795	1816	495	1107	896	1046,3	622,9
	2	3289	2469	4270	2470	1414	37	1113	1265	1117	1110	1553	1645	1812,7	1138,4
	3	4130	3041	5340	2906	1895	154	1314	1424	1190	1247	2011	1841	2207,8	1431,7
	4	691	406	1072	563	319	33	222	163	192	258	375	256	379,2	281,5
	5	868	649	980	625	573	39,2	278	240	258	282	513	436	478,5	276,8
	6	933	686	1150	660	627	68	303	225	269	391	845	411	547,3	323,7
	7	920	641	1160	566	639	65,6	298	176	230	482	826	512	543,0	322,9
	8	726	412	977	625	368	56	218	127	196	280	376	523	407,0	267,6
	9	423	206	539	311	223	29	133	70,6	116	162	190	174	214,7	146,1
	10	459	216	618	339	238	31,2	143	74,4	118	173	267	219	241,3	165,7
	11	496	224	684	366	247	32,4	149	76,8	123	166	274	301	261,6	184,7
	12	501	220	681	371	246	31,7	149	76,4	123	161	264	245	255,9	184,9
	13	320	144	403	257	193	31,2	108	45,2	87,8	113	172	101	164,6	112,2
	14	453	162	554	329	225	32	128	53,6	103	125	243	184	216,0	158,6
	15	506	181	638	376	245	29,7	146	62	117	143	264	195	241,9	181,7
	16	498	172	637	373	227	24,7	143	66,1	115	147	252	197	237,7	180,6
AULA 2	17	581	89,7	538	433	294	47,5	132	28,4	94,9	169	441	278	260,5	196,4
	18	564	89,3	481	405	273	47,5	127	27,3	93,2	174	480	209	247,6	189,0
	19	529	86,6	439	388	259	45,6	116	25,8	88,9	163	437	199	231,4	174,9
	20	406	71,8	363	283	216	37,6	94,4	22,9	70,4	112	286	189	179,3	130,8
	21	719	105	571	464	386	48,1	159	32,5	102	201	534	156	289,7	233,5
	22	666	107	553	406	372	59,7	150	30,9	101	215	455	256	281,0	207,2
	23	628	104	542	385	367	60,9	147	29	99,4	224	313	200	258,2	192,0
	24	529	84,6	457	279	290	62,5	111	27,4	73,6	148	248	204	209,4	159,1
	25	1304	161	927	747	799	106	264	58,7	160	310	559	412	483,9	388,5
	26	1531	202	928	843	889	133	321	63,6	203	495	532	601	561,8	427,9
	27	1553	218	1085	801	880	147	339	69,3	226	610	552	613	591,1	437,4
	28	871	128	695	374	531	78,1	171	48,5	91,5	255	373	311	327,2	259,7
	29	1236	132	1017	542	679	264	272	74,6	153	222	429	423	453,7	363,0
	30	9630	1189	7380	4840	6610	961	1960	468	991	2980	3265	2001	3522,9	2959,0
	31	8930	1061	6820	4399	6390	1042	1905	456	984	2287	3540	1985	3316,6	2749,6
	32	2626	301	2070	547	1845	107	549	177	276	718	1589	1145	995,9	844,5

		15:30 PM												PROM.	DME
		7/3/2017	8/3/2017	9/3/2017	10/3/2017	13/3/2017	14/3/2017	15/3/2017	16/3/2017	01/1/900	20/3/2017	22/3/2017	23/3/2017		
AULA 1	1	1275	120	324	107	469	527	470	88,1	1671	2886	682	645	783,6	816,5
	2	2202	250	790	242	882	1060	1013	174	3136	3140	1023	1175	1264,6	1031,6
	3	2447	287	886	271	1006	1301	1078	189	3786	3217	1280	1156	1431,7	1155,0
	4	489	60,7	221	59,5	206	235	243	40,4	647	1730	226	315	378,0	462,0
	5	529	77,4	216	69,7	215	330	233	48,2	642	1870	323	401	413,9	493,4
	6	587	88,8	267	82,1	242	385	275	53,1	788	2120	496	412	489,4	559,8
	7	593	90,3	275	88,9	254	438	300	52,8	849	2063	491	489	499,5	544,9
	8	482	70,3	236	67,2	203	258	239	39,1	663	1815	231	314	391,3	483,6
	9	252	50,1	134	40,5	123	160	141	22,7	375	905	119	159	211,1	239,9
	10	286	52,2	152	44,1	129	173	150	24	416	1048	160	183	239,5	277,7
	11	314	52,9	170	47,9	131	183	160	25,3	450	1192	164	218	262,7	316,6
	12	319	51,2	175	48,3	128	184	162	25,5	452	1122	154	191	256,4	298,8
	13	197	42,3	110	34,2	88,8	137	116	18,9	268	667	102	156	161,9	174,0
	14	275	48,9	163	44,3	110	162	139	22,6	346	744	145	215	199,9	195,2
	15	311	52,9	185	50	115	181	160	25,6	398	935	157	286	233,7	246,3
	16	314	46,1	182	48,4	105	185	159	25,4	398	830	148	314	222,0	222,1
AULA 2	17	228	94,1	221	78	116	180	185	29,6	281	294	243	187	177,2	82,9
	18	229	92,8	201	69,8	110	174	179	27,8	295	327	263	205	178,9	91,9
	19	219	83,6	184	65,1	103	163	171	25,8	278	302	241	262	166,7	89,7
	20	166	67,2	152	53,4	82,6	134	143	41,2	218	211	159	211	129,8	62,6
	21	301	124	271	97,9	140	219	222	33,9	315	372	294	301	217,3	103,7
	22	286	123	266	94,6	138	215	214	33,2	318	390	253	265	211,8	102,2
	23	280	111	243	87,7	136	207	213	31,8	309	381	179	174	198,1	98,7
	24	219	89	185	66,9	100	169	167	24,8	254	231	142	241	149,7	74,1
	25	572	249	529	177	198	386	363	56,4	494	730	321	345	370,4	189,4
	26	726	279	636	206	265	478	447	68,3	614	987	314	256	456,4	261,2
	27	771	269	617	208	301	479	479	72,2	685	810	323	298	455,8	235,9
	28	401	145	280	119	155	264	254	36,8	422	370	217	165	242,1	119,2
	29	482	214	448	167	169	458	329	47,9	478	494	246	169	321,2	158,2
	30	4010	1995	3621	1547	1553	3469	2673	386	3549	524	1981	502	2300,7	1308,7
	31	3890	1786	3303	1455	1427	3260	2620	353	3464	580	2086	498	2202,2	1243,3
	32	1322	449	772	423	261	944	884	102	1177	1080	908	451	756,5	386,3

		17:30 PM														
		7/3/2017	8/3/2017	9/3/2017	10/3/2017	13/3/2017	14/3/2017	15/3/2017	16/3/2017	01/1/2000	20/3/2017	22/3/2017	23/3/2017	PROM.	DME	
AULA 1	1	312	66,4	16,7	457	61,6	22,9	130	70,7	221	452	258	162	185,8	156,2	
	2	640	145	34,6	762	155	46,4	300	155	521	718	492	289	354,8	261,9	
	3	796	174	43,9	858	188	53	350	179	633	914	548	381	426,5	315,3	
	4	133	31,1	7,59	99,4	37,2	10,6	69,4	34,4	138	113	77,9	82	69,4	45,4	
	5	169	39,1	9,37	168	41,2	13,2	73,5	35,7	139	132	132	85,6	86,5	59,4	
	6	216	45,7	10,5	172	48,5	14,9	89,4	42,2	167	151	147	95,6	100,0	69,0	
	7	168	46,2	10,6	145	51,7	15,2	94,4	43,8	176	141	155	91	94,9	60,7	
	8	121	30,7	6,75	95,9	36,2	10,9	65,4	31,5	131	111	86,8	40,5	64,0	43,8	
	9	64,3	21,8	3,77	61,6	21,1	7,1	36,3	17,7	76,4	57,7	47,6	51,2	38,9	24,2	
	10	78,3	20,8	4,02	62,8	21,4	7,22	39,1	19,2	83,7	63,5	53	61	42,8	27,8	
	11	76,5	21,6	4,16	62,3	23,3	7,46	41,8	20,2	89,4	66,2	53,1	46,3	42,7	27,7	
	12	78,8	21,5	4,08	62	23	7,44	41,7	20,5	89,7	67,2	43,9	49,7	42,5	28,0	
	13	49,2	18,1	2,57	45,7	16,5	5,94	29,1	13,9	62,8	34,3	31,3	38	28,9	18,3	
	14	66	18,8	3,32	52,1	20,5	6,32	34,2	17,1	79,3	49,4	46,6	39,1	36,1	23,7	
	15	72,8	20,7	3,5	57,8	20,9	7,32	39,5	19,8	89,3	50,7	49,1	42	39,5	26,2	
	16	71,6	20,1	3,37	58,7	21,3	7,25	39	19,5	89,2	47,1	43,5	39	38,3	25,9	
AULA 2	17	33,2	31,2	2,64	27	17,8	10,1	41,3	13,4	90,7	23,8	44,1	41,3	31,4	22,9	
	18	30,7	30,7	2,35	28,5	16,9	10,5	40,4	12,9	83,9	25,8	45,3	56,3	32,0	22,4	
	19	25,1	29,2	1,92	28,2	15,8	9,82	38,3	12,1	69,3	24,6	44	44,6	28,6	18,5	
	20	42,6	23,4	3,36	23,4	13,1	7,65	31,6	9,9	118	20,4	32,8	39	30,4	30,2	
	21	34,9	37,9	3,07	32,6	19,6	12,4	50,4	15,1	118	31,8	53,1	46	37,9	29,7	
	22	33,3	41,2	2,95	35,1	19,9	12,7	49,3	15,2	114	33,7	51,8	42	37,6	28,4	
	23	26,7	39,1	2,34	36,4	19,5	13,1	48,1	14,8	94,1	32,7	44,6	52	35,3	24,0	
	24	57,3	29,5	5,38	28,6	15,9	9,06	39,9	11,5	192	26,9	36,2	44	41,3	49,8	
	25	61,8	62,3	6,28	51,1	29,8	18,7	82	23,2	236	69,5	83,5	59	65,2	59,2	
	26	67,8	83,1	6,46	71,7	39,1	25	106	27,5	250	78,8	96,2	56	75,7	62,8	
	27	38,2	83	3,76	83,4	43,2	26,8	122	30,8	148	78,5	94,8	61	67,8	42,0	
	28	45,8	50,7	5,57	49,5	23,7	13,7	66,4	18,3	184	43,7	60,6	53,6	51,3	46,2	
	29	48,2	57,5	5,14	50,6	27,2	15,9	80,4	23,6	1691	85,5	62,9	112	188,3	474,2	
	30	366	675	42	324	248	137	720	202	1558	104	697	387	455,1	418,3	
	31	357	584	39,4	317	237	131	713	195	406	688	632	356	388,0	223,2	
	32	120	203	11,3	132	68,1	47,1	259	74,3	406	117	227	115	148,3	109,6	

Anexo 5: Datos Horarios – Anuales de Radiación (Kw/m2) y Nubosidad (%)

(Muestra Ejemplo).

MES	DIA	2001			2003			2004			2005			2007			2008		
		HORA	% NUB.	RAD	HORA	% NUB.	RAD	HORA	% NUB.	RAD	HORA	% NUB.	RAD	HORA	% NUB.	RAD	HORA	% NUB.	RAD
1	1	7	100	30,3	7	100	16,9	7	100	28,5	7	2	34,7	7	12	55,2	7	100	24,9
1	1	8	100	183	8	100	70,3	8	100	298	8	1	158	8	100	245	8	100	103
1	1	9	62	342	9	100	101	9	100	470	9	1	261	9	100	201	9	100	255
1	1	10	10	607	10	100	202	10	10	507	10	10	290	10	100	134	10	86	516
1	1	11	10	723	11	100	283	11	4	623	11	10	330	11	100	225	11	87	375
1	1	12	0	901	12	100	360	12	4	692	12	10	496	12	100	368	12	100	212
1	1	13	0	901	13	2	471	13	4,5	624	13	10	375	13	100	369	13	100	257
1	1	14	10	910	14	2	549	14	5,4	695	14	10	347	14	100	426	14	100	486
1	1	15	10	760	15	33	573	15	3,3	625	15	10	321	15	10	417	15	100	337
1	1	16	62	523	16	3	480	16	7	505	16	10	266	16	13	346	16	100	265
1	1	17	82	250	17	7	233	17	7	344	17	10	291	17	10	369	17	100	195
1	1	18	82	104	18	100	158	18	6	157	18	10	130	18	100	145	18	100	88,1
1	1	19	100	6,23	19	100	7,12	19	6	11,6	19	67	5,34	19	100	8,9	19	100	4,45
1	2	7	0	51,6	7	100	35,6	7	100	28,5	7	13,2	57,9	7	100	32	7	2	53,4
1	2	8	0	277	8	100	153	8	100	160	8	11,4	289	8	100	182	8	1	282
1	2	9	69	499	9	100	275	9	100	180	9	2,4	514	9	100	363	9	2	514
1	2	10	11,4	507	10	100	395	10	100	175	10	2,1	700	10	100	290	10	1	711
1	2	11	62	514	11	61	467	11	100	191	11	3,9	837	11	100	232	11	10	818
1	2	12	51	567	12	0	796	12	100	252	12	83	573	12	100	303	12	10	764
1	2	13	2	934	13	4	848	13	100	473	13	79	229	13	100	332	13	10	663
1	2	14	11	869	14	4	861	14	12	744	14	84	395	14	100	326	14	10	627
1	2	15	74	625	15	3	492	15	13	789	15	84	341	15	100	392	15	56	359
1	2	16	83	271	16	2	312	16	12	578	16	82	266	16	100	369	16	100	281
1	2	17	50	229	17	1	416	17	24	378	17	10	234	17	100	260	17	100	184
1	2	18	100	132	18	10	182	18	22	147	18	100	117	18	100	116	18	100	89,9
1	2	19	100	7,12	19	3	9,79	19	18	7,12	19	100	5,34	19	100	6,23	19	100	5,34
1	3	7	0	50,7	7	100	31,2	7	100	32,9	7	0	50,7	7	100	44,5	7	6	54,3
1	3	8	0	276	8	100	188	8	100	211	8	0	279	8	100	224	8	4	287
1	3	9	0	507	9	0	491	9	100	281	9	0	512	9	61	443	9	3	519
1	3	10	10	682	10	0	711	10	100	413	10	0	710	10	52	477	10	2	716
1	3	11	10	805	11	10	835	11	10	376	11	0	856	11	74	533	11	1	861
1	3	12	10	887	12	10	894	12	4	434	12	0	929	12	86	501	12	2	936
1	3	13	76	662	13	10	793	13	70	459	13	10	925	13	87	394	13	10	916
1	3	14	84	396	14	10	748	14	4	561	14	52	523	14	100	376	14	10	754
1	3	15	57	424	15	60	658	15	4	671	15	30	303	15	100	275	15	10	561
1	3	16	16	274	16	10	470	16	3	417	16	30	419	16	100	189	16	10	436
1	3	17	6	414	17	0,3	407	17	4	258	17	59	336	17	100	152	17	2	300
1	3	18	6,3	141	18	100	174	18	15	136	18	30	101	18	100	112	18	100	158
1	3	19	4,2	6,23	19	100	7,12	19	5	6,23	19	100	6,23	19	100	7,12	19	100	6,23
1	4	7	1	49,8	7	100	49	7	100	35,6	7	8,1	55,2	7	100	40,1	7	55	54,3
1	4	8	2	276	8	100	200	8	100	182	8	3	283	8	100	169	8	100	208
1	4	9	1	507	9	100	244	9	100	250	9	0,9	506	9	100	179	9	100	159
1	4	10	2	701	10	100	214	10	100	240	10	0,6	698	10	100	166	10	100	172
1	4	11	75	709	11	100	302	11	100	261	11	71	834	11	100	187	11	100	218
1	4	12	74	512	12	10	535	12	100	302	12	91	399	12	100	176	12	100	246
1	4	13	83	411	13	30	417	13	34	425	13	90	230	13	100	243	13	100	298
1	4	14	90	228	14	30	481	14	3	473	14	100	220	14	100	272	14	100	307
1	4	15	79	207	15	30	341	15	3,3	440	15	100	230	15	100	255	15	100	338
1	4	16	81	358	16	30	294	16	2,1	355	16	100	209	16	100	215	16	100	357
1	4	17	30	217	17	30	226	17	10	241	17	100	177	17	100	173	17	100	252
1	4	18	100	101	18	100	176	18	100	135	18	100	62,3	18	100	102	18	100	122
1	4	19	100	6,23	19	100	7,12	19	100	7,12	19	100	2,67	19	100	8,01	19	100	8,01
1	5	7	100	24,9	7	100	32,9	7	100	23,1	7	7	54,3	7	0	48,1	7	100	40,1
1	5	8	100	206	8	100	189	8	2,1	286	8	5	282	8	0	271	8	100	193
1	5	9	10	411	9	10	433	9	1,8	511	9	3	506	9	0	502	9	100	311
1	5	10	0	684	10	0	701	10	10	679	10	1	697	10	76	481	10	100	351
1	5	11	10	821	11	0	857	11	10	797	11	1	845	11	77	408	11	100	392
1	5	12	10	890	12	2	877	12	10	758	12	0	933	12	100	366	12	100	384
1	5	13	75	591	13	10	473	13	71	533	13	83	532	13	100	384	13	100	396
1	5	14	68	409	14	70	611	14	78	540	14	93	329	14	100	350	14	100	363
1	5	15	24	370	15	3	662	15	66	474	15	84	214	15	100	398	15	100	284
1	5	16	25	297	16	3	448	16	10	294	16	100	255	16	100	401	16	100	223
1	5	17	65	145	17	1	320	17	1	303	17	100	179	17	100	210	17	100	183
1	5	18	100	62,3	18	3	158	18	100	129	18	100	97,9	18	100	79,2	18	100	89,9
1	5	19	100	3,56	19	20	12,5	19	100	6,23	19	100	6,23	19	100	4,45	19	100	6,23
1	6	7	0	48,1	7	100	27,6	7	100	52,5	7	5	48,1	7	100	40,9	7	28	41,8
1	6	8	0	274	8	100	168	8	2	280	8	5	277	8	100	214	8	70	257
1	6	9	0	508	9	100	395	9	4	508	9	5	498	9	100	379	9	88	198
1	6	10	0	709	10	0	668	10	4	703	10	5	538	10	53	450	10	100	216
1	6	11	0	859	11	0	751	11	3	846	11	6	371	11	62	611	11	100	241
1	6	12	0	943	12	0	935	12	10	883	12	10	269	12	55	643	12	62	357
1	6	13	2	867	13	10	687	13	88	481	13	13	265	13	53	595	13	73	635
1	6	14	10	671	14	10	645	14	92	296	14	68	321	14	54	436	14	63	474
1	6	15	0	587	15	10	481	15	72	231	15	83	287	15	10	619	15	62	433
1	6	16	1	564	16	5	470	16	100	244	16	30	231	16	10	407	16	62	349

1	6	17	1	292	17	3	439	17	100	199	17	15	166	17	10	300	17	3	289
1	6	18	11	117	18	4	201	18	100	125	18	15	97	18	14	190	18	21	191
1	6	19	100	12,5	19	3	13,4	19	100	7,12	19	18	14,2	19	19	12,5	19	28	11,6
1	7	7	100	48,1	7	100	12,5	7	6	34,7	7	0	47,2	7	8	46,3	7	3	46,3
1	7	8	100	239	8	100	68,5	8	33	184	8	0	271	8	9	270	8	2	280
1	7	9	3	510	9	100	156	9	45	425	9	0	499	9	100	501	9	78	499
1	7	10	1	714	10	100	212	10	43	581	10	13	693	10	100	350	10	81	393
1	7	11	0	863	11	100	241	11	84	637	11	72	303	11	100	290	11	80	450
1	7	12	0	946	12	100	268	12	96	327	12	86	321	12	100	308	12	85	481
1	7	13	0	979	13	100	271	13	95	234	13	100	368	13	100	340	13	82	553
1	7	14	0	912	14	100	267	14	93	254	14	84	324	14	100	323	14	77	448
1	7	15	10	783	15	100	335	15	77	248	15	76	426	15	100	267	15	74	464
1	7	16	10	611	16	100	459	16	62	339	16	74	347	16	100	204	16	70	356
1	7	17	10	416	17	8	400	17	96	194	17	65	370	17	100	160	17	100	277
1	7	18	12	191	18	7	204	18	100	87,2	18	17	150	18	100	60,5	18	100	107
1	7	19	100	14,2	19	5	14,2	19	100	6,23	19	34	12,5	19	100	4,45	19	100	6,23
1	8	7	4	46,3	7	100	32,9	7	100	11,6	7	34	49	7	32	47,2	7	30	49
1	8	8	8	273	8	64	167	8	1	269	8	100	233	8	4	269	8	30	269
1	8	9	3	508	9	0	374	9	0	502	9	100	234	9	100	500	9	12,9	497
1	8	10	3	708	10	0	708	10	0	702	10	100	165	10	64	590	10	3,3	697
1	8	11	2	855	11	2	858	11	0	851	11	100	150	11	100	334	11	11	839
1	8	12	10	900	12	2	860	12	10	912	12	100	177	12	100	354	12	48	717
1	8	13	73	815	13	3	613	13	71	708	13	100	272	13	100	292	13	81	404
1	8	14	88	287	14	3	904	14	86	383	14	91	384	14	100	349	14	100	237
1	8	15	100	219	15	10	585	15	75	273	15	100	314	15	100	319	15	100	387
1	8	16	100	171	16	10	459	16	40	415	16	100	232	16	100	323	16	100	315
1	8	17	100	195	17	10	372	17	11	392	17	100	159	17	100	175	17	100	249
1	8	18	100	145	18	3	167	18	12	142	18	100	113	18	100	76,5	18	100	143
1	8	19	100	8,01	19	4	15,1	19	100	13,4	19	100	8,01	19	100	6,23	19	100	7,12
1	9	7	30	48,1	7	100	15,1	7	100	26,7	7	0	43,6	7	5	46,3	7	100	39,2
1	9	8	18,9	276	8	100	86,3	8	0,3	268	8	0	265	8	2	271	8	100	251
1	9	9	12,9	507	9	100	178	9	2,4	506	9	13	498	9	21	501	9	100	197
1	9	10	9,3	700	10	83	286	10	1,2	697	10	25	693	10	37	692	10	100	182
1	9	11	10	842	11	100	443	11	10	833	11	80	835	11	100	748	11	100	294
1	9	12	10	886	12	100	380	12	10	886	12	93	401	12	92	351	12	100	254
1	9	13	1	935	13	10	679	13	10	428	13	87	223	13	100	234	13	100	315
1	9	14	10	711	14	10	549	14	10	407	14	10	532	14	100	223	14	100	441
1	9	15	43	607	15	10	587	15	10	343	15	10	776	15	100	249	15	100	375
1	9	16	90	226	16	6	560	16	67	280	16	10	612	16	100	329	16	100	298
1	9	17	92	118	17	7	444	17	10	194	17	10	422	17	100	211	17	100	206
1	9	18	100	72,1	18	15	182	18	100	103	18	15	158	18	100	184	18	100	67,6
1	9	19	100	12,5	19	18	8,9	19	100	5,34	19	100	5,34	19	100	11,6	19	100	7,12
1	10	7	100	33,8	7	100	19,6	7	100	37,4	7	0	43,6	7	0	43,6	7	100	37,4
1	10	8	100	228	8	100	148	8	3	279	8	0	266	8	0	270	8	100	231
1	10	9	10	434	9	81	250	9	0,9	506	9	0	500	9	0	501	9	85	311
1	10	10	0,6	633	10	70	384	10	3	700	10	0	701	10	61	651	10	81	322
1	10	11	1	838	11	0	771	11	5,7	841	11	4	841	11	76	529	11	75	376
1	10	12	10	899	12	10	570	12	10	815	12	10	812	12	100	422	12	70	564
1	10	13	4	980	13	10	442	13	10	681	13	10	676	13	100	359	13	100	566
1	10	14	10	888	14	7	545	14	10	630	14	10	699	14	100	315	14	100	515
1	10	15	10	523	15	24	488	15	10	457	15	10	657	15	100	356	15	100	460
1	10	16	10	534	16	8	474	16	10,5	286	16	10	450	16	100	392	16	100	344
1	10	17	67	231	17	10	328	17	10	206	17	82	190	17	100	321	17	100	199
1	10	18	78	117	18	16	169	18	12,6	102	18	15,6	85,4	18	100	115	18	100	101
1	10	19	6	979	19	100	15,1	19	100	15,1	19	100	8,9	19	100	8,01	19	100	8,01
1	11	7	100	24	7	100	26,7	7	100	36,5	7	1	42,7	7	100	16,9	7	100	33,8
1	11	8	100	158	8	100	182	8	8,7	279	8	0	266	8	100	71,2	8	100	177
1	11	9	100	407	9	100	387	9	9	508	9	0	502	9	100	133	9	100	336
1	11	10	0	686	10	100	459	10	5,7	703	10	0	704	10	100	228	10	100	475
1	11	11	0	843	11	10	830	11	2,1	827	11	2	855	11	100	198	11	12	483
1	11	12	2	852	12	10	418	12	1,2	895	12	10	788	12	100	409	12	2	893
1	11	13	2,7	950	13	100	345	13	10	914	13	10	670	13	100	605	13	10	907
1	11	14	10	875	14	100	349	14	10	755	14	10	521	14	100	452	14	10	417
1	11	15	43	769	15	10	463	15	10	568	15	69	355	15	100	328	15	45	236
1	11	16	88	174	16	2	400	16	10	465	16	10	386	16	100	215	16	18,3	258
1	11	17	93	114	17	2	326	17	11,1	195	17	4,8	429	17	100	158	17	100	220
1	11	18	100	59,6	18	12	188	18	10	92,6	18	12	144	18	100	84,6	18	100	98,8
1	11	19	81	534	19	100	10,7	19	10	16	19	100	8,9	19	100	7,12	19	100	8,01
1	12	7	10,5	47,2	7	100	15,1	7	100	43,6	7	28	42,7	7	9	43,6	7	27	46,3
1	12	8	8,4	274	8	100	88,1	8	11,4	275	8	19	270	8	100	261	8	3	272

Anexo 6A: Uso del Espacio Aula 1

	AULA 1										
	7:30	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
SEPTIEMBRE	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
OCTUBRE	60%	60%	60%	40%	40%	40%	40%	40%	40%		
NOVIEMBRE	60%	60%	60%	100%	100%	100%	40%	40%	40%		
DICIEMBRE	60%	60%	60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
ENERO	60%	60%	60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
FEBRERO	60%	60%	60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
MARZO	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
ABRIL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
MAYO	100%	100%	100%	60%	60%	60%	100%	100%	100%		
JUNIO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	60%	60%	60%		
JULIO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	60%	60%	60%		
AGOSTO	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		

Anexo 6B: Uso del Espacio Aula 2

	AULA 2										
	7:30	8:30	9:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30
SEPTIEMBRE	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
OCTUBRE	60%	60%	60%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		
NOVIEMBRE	100%	100%	100%	60%	60%	60%	100%	100%	100%		
DICIEMBRE	100%	100%	100%	60%	60%	60%	100%	100%	100%		
ENERO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	20%	20%	20%		
FEBRERO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	20%	20%	20%		
MARZO	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
ABRIL	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	80%	80%		
MAYO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	80%	80%		
JUNIO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	80%	80%		
JULIO	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	80%	80%		
AGOSTO	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		

Anexo 7: Manual de uso del Aplicativo de Pre-Dimensionamiento de Iluminación natural Interior para Quito.

El sistema de pre-dimensionamiento cuenta con dos archivos ejecutables, el primero en formato Excel y el Segundo en formato DWG. Los datos utilizados para los cálculos en ambos archivos provienen de los resultados obtenidos en el estudio del Año Meteorológico Tipo obtenido en el presente trabajo de investigación.

1.1. Archivo Ejecutable Excel ILUMINANCIA QUITO

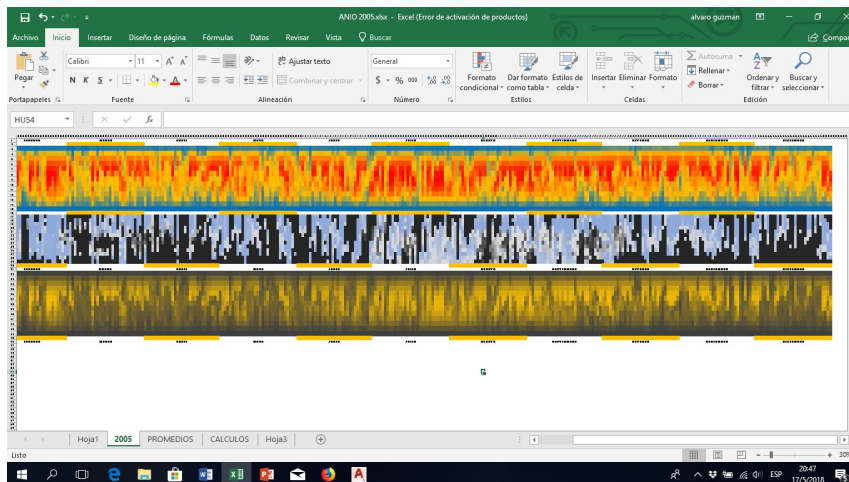
Este archivo cuenta con 5 pestañas, las cuales guardan la siguiente información:

HOJA	INFORMACION	EDITABLE/N O EDITABLE	PROTECCION
INFORMACION	Detalla valores horarios/diarios/ anuales de radiación solar (w/m2), Porcentaje total de Nubosidad (%) e Iluminancia Horizontal Exterior libre de obstáculos (Luxes)	No	SI
2005	Métricas Dinámicas de datos de radiación, nubosidad e iluminancia horizontal exterior. El eje horizontal de las gráficas muestra los días del año. El eje vertical de las gráficas muestra las horas del día.	No	Si
PROMEDIOS	Se muestra los promedios horarios / mensuales de iluminancia horizontal exterior y porcentajes de densidad de nubosidad, expresados sobre el eje de soleamiento Este-Oeste.	No	Si
CALCULOS	Muestra las variables principales que inciden en el cálculo de la iluminancia horizontal interior.	Si	No
RESULTADOS	La hoja calculará de forma automática los valores de iluminancia interior en el centro del espacio durante todos los días y horas del año. Marcará con código color de forma automática los valores con deficiente, adecuado y excesivo valor de luxes en el centro del espacio interior.	No	Si

1.2. Hoja 2005

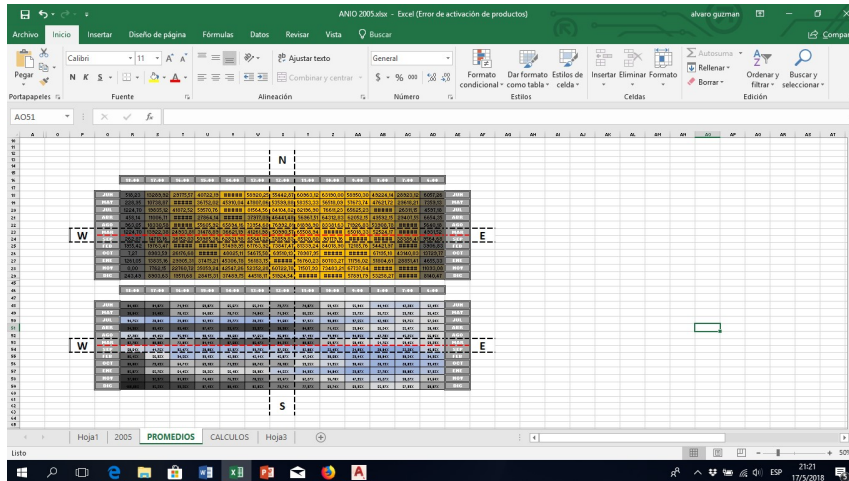
Permite ver de forma gráfica y con código de color los datos de las Métricas Dinámicas de radiación, nubosidad e iluminancia horizontal. Los cuadros muestran los diferentes valores durante todos los días del año, desde las 7:00 am hasta las 19:00 pm. Los datos que se obtienen de la observación de los códigos de colores del presente anexo, permite al diseñador tomar las primeras de decisiones de posibles mejores orientaciones de los espacios; así como visualizar los rangos de tiempo donde se puede presentar pérdidas de confort tanto por deslumbramiento como por penumbra.

- Radiación (w/m^2). Códigos de colores azules indican valores de bajos de radiación, colores amarillos indican valores medios de radiación y colores rojos indican los valores de mayor incidencia de radiación solar.
- Nubosidad (%). Códigos de colores grises oscuros indican cielos con mayor índice de nubosidad, códigos de colores grises claros indican cielos nublados y colores celestes indican cielos despejados.
- Iluminancia horizontal exterior (Luxes). Códigos de colores grises oscuros indican valores de iluminancia bajos, códigos de colores grises claros indican valores de iluminancia medios y códigos de color amarillo indican valores de iluminancia altos.

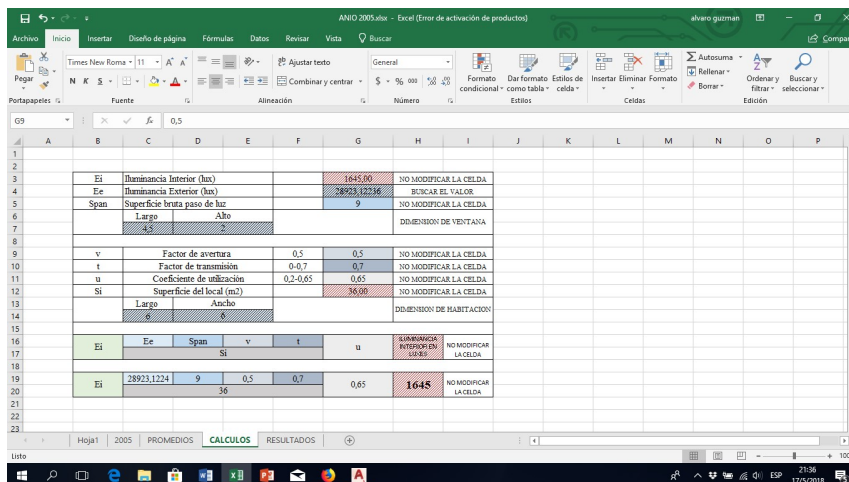


1.3. Hoja PROMEDIOS

Permite visualizar de forma resumida con respecto al eje de soleamiento y a los distintos meses del año, el comportamiento horario / mensual tanto de las variaciones del porcentaje de nubosidad en el cielo, como los valores de iluminancia horizontal exterior. Los datos obtenidos en estos cuadros, se encuentran expuestos en el Archivo Ejecutable Acad. Códigos grises oscuros indican períodos de tiempo de mayor densidad de nubosidad, por lo tanto, de menor iluminancia natural horizontal exterior. Colores celestes en la gráfica del cielo y amarillos en la gráfica de iluminancia exterior horizontal indican respectivamente cielos despejados, por lo tanto, de mayor iluminancia exterior horizontal.



1.4. Hoja CALCULOS.



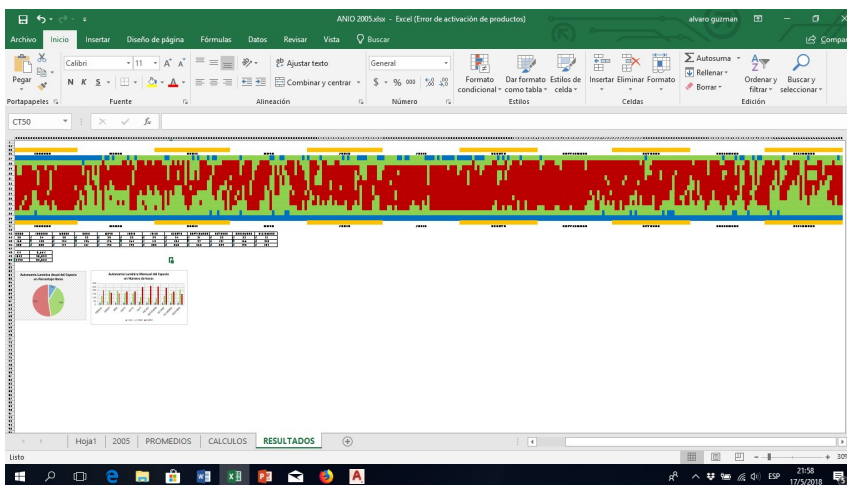
Ei	Iluminancia Interior (lux)			1645,00	NO MODIFICAR LA CELDA	
Ee	Iluminancia Exterior (lux)			28923,1224	ESTABLECER EL VALOR	
Span	Superficie bruta paso de luz			9	NO MODIFICAR LA CELDA	
	Largo				DIMENSION DE VENTANA	
	Alto			2		
v	Factor de advertencia		0,5	0,5	NO MODIFICAR LA CELDA	
t	Factor de transmisión		0,07	0,7	NO MODIFICAR LA CELDA	
u	Coefficiente de utilización		0,2-0,65	0,65	NO MODIFICAR LA CELDA	
Si	Superficie del local (m ²)			36,00	NO MODIFICAR LA CELDA	
	Largo				DIMENSION DE HABITACION	
	Ancho			6		
Ei	Ee	Span	v	t	u	ILUMINANCIA INTERIOR (lx)
		Si				NO MODIFICAR LA CELDA
Ei	28923,1224	9	0,5	0,7	0,65	1645
		36				NO MODIFICAR LA CELDA

Esta Hoja del anexo permitirá calcular de forma simplificada, la Iluminancia Natural Interior (E_i) en el centro de un espacio arquitectónico, en base a las siguientes variables:

- Iluminancia Exterior en luxes (E_e). Estos datos están detallados en la Hoja 2005 del presente Anexo. Para cálculos rápidos que nos den una idea en un mes y hora determinada los valores de iluminancia interior, se podrá escoger dando clic en la celda el valor promedio de iluminancia exterior. La Hoja del presente anexo, calculará de forma automática en valor E_i en el centro del espacio.
- Superficie Bruta del Paso de Luz en m^2 (Span). Los de datos de largo y alto de la ventana deberán ser ingresados de forma manual por el diseñador en las casillas designadas. El cálculo de esta área se realizará de forma automática en el presente anexo.
- Factores constantes del cálculo, Apertura (v), Transmisión (t) y Coeficiente de Utilización (u), se recomienda no ser modificados.

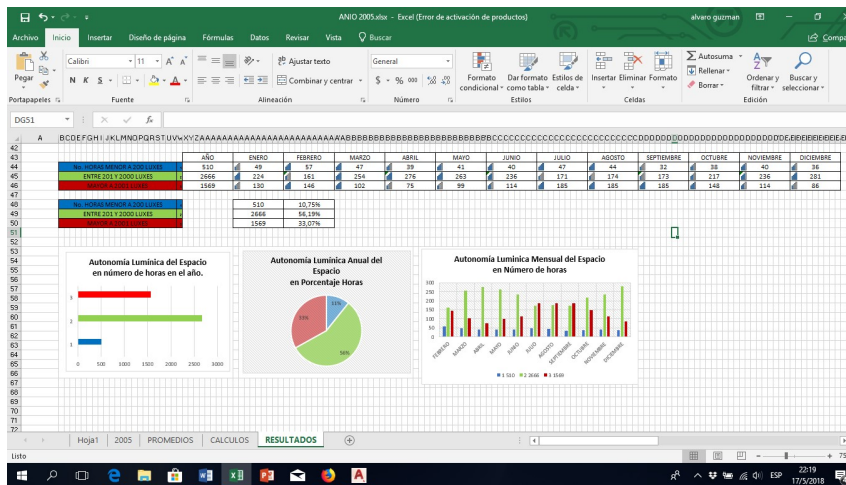
Superficie del Local en m^2 (S_i). Los datos de largo y ancho del espacio arquitectónico deberán ser ingresados de forma manual por el diseñador en las casillas designadas. El cálculo de esta área se realizará de forma automática en el presente anexo. (Edificios T. E., 2018)

1.5. Hoja RESULTADOS



La hoja resultados calculará de forma automática los valores de iluminancia natural horizontal interior en el centro del espacio, durante todos los días del año desde las

07:00 am hasta las 19:00 pm. Asignará de forma automática código de color azul, a aquellos valores E_i que se encuentren por debajo de los 200 luxes. Asignará código de verde a todos aquellos valores E_i que se encuentren dentro del rango de 201 a 2000 luxes. Asignará código de color rojo a todos aquellos valores E_i que en centro del espacio tengan valores superiores a los 2000 luxes, los cuales implican periodos de tiempo donde potencialmente el usuario estaría en riesgo de deslumbramiento.

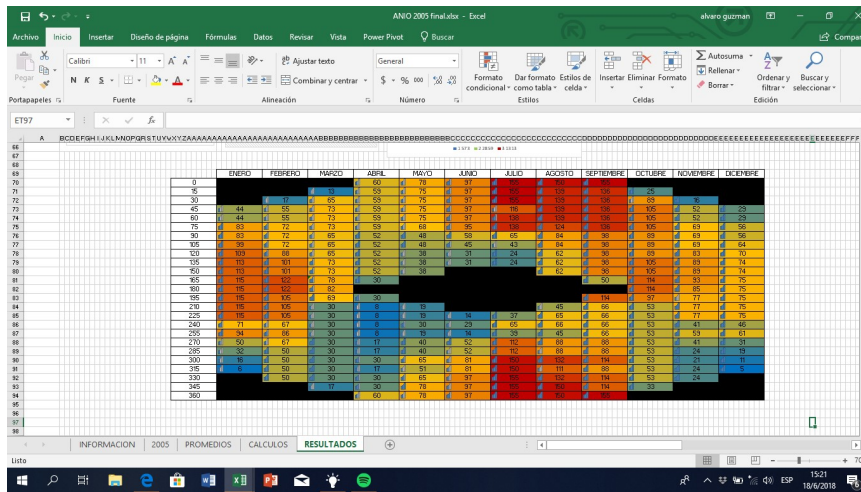


La hoja cantará de forma automática mes por mes, la cantidad de horas que se encuentran dentro de los tres distintos rangos E_i . Estos valores se detallan en el segundo cuadro de la Hoja RESULTADOS, se mostrarán en gráficas de barras y pastel, donde se podrá determinar la autonomía lumínica del espacio.

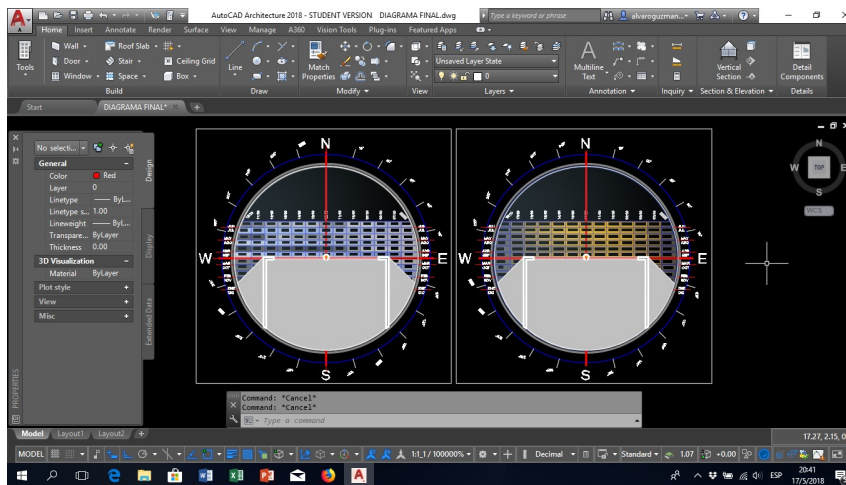
El archivo ejecutable mostrará de forma mensual el número de horas mayores a 2000 luxes de acuerdo a la orientación del espacio y al pre-dimensionamiento expresado en la hoja CALCULOS. Los espacios marcados en negro, corresponden a los que no tienen incidencia solar directa por Geometría Solar. Los datos marcados en este cuadro corresponden solamente a las horas en las que existe incidencia directa solar. Se marcará en rojo, los periodos de tiempo con mayores cantidades de horas de deslumbramiento, en tonos amarillos la cantidad de horas intermedias y en azul las menores cantidades de horas de deslumbramiento en el espacio.

En la zona izquierda del cuadro se encuentran los ángulos de cálculo, los cuales deben ser comparados a los del espacio del proyecto bajo análisis. Este cuadro, puede ayudar al diseñador a escoger la mejor orientación posible para un espacio, así como determinar

de forma clara el rango horario crítico de horas de deslumbramiento de acuerdo al pre-dimensionamiento del espacio. Ayudaría inclusive, a determinar el ángulo adecuado de lamas solares u otros elementos de protección solar de acuerdo a la orientación del espacio en la ciudad de Quito.

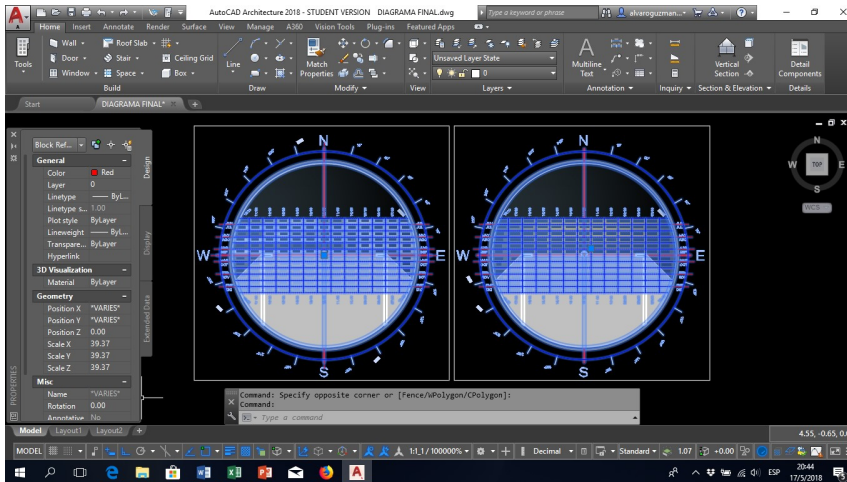


2.1. Archivo Ejecutable Acad.



Este archivo cuenta con 2 bloques dinámicos, en el primero se muestra los datos de porcentajes promedio de nubosidad horaria / mensual asignadas un código color según su densidad, siendo los grises oscuros los días con mayor índice de nubosidad, mientras que los celestes los días despejados. El segundo bloque dinámico muestra la iluminancia horizontal exterior promedio horaria / mensual asignadas un código de color, siendo los

grises los rangos de menor incidencia de radiación solar y los amarillos los de mayor incidencia.



Los datos de ambos bloques, están graficados sobre la gráfica de proyección solar para latitud 0°, donde se detalla además las horas y meses del año; que permite entender de manera clara la trayectoria de los rayos del sol. Los bloques cuentan con la abstracción de un espacio arquitectónico con una ventana, que permite ver gráficamente los meses y horas del año donde habrá incidencia directa de la radiación solar, así como también cuando este sea iluminado de forma indirecta o por iluminancia del cielo. Al seleccionar ambos bloques simultáneamente, se debe ingresar el ángulo de la orientación del espacio en la barra de Propiedades del Programa AutoCAD.

3.1. Consideraciones Importantes.

- Se deben utilizar los dos aplicativos de forma simultánea para el pre-dimensionamiento lumínico. Es importante establecer los rangos de código rojo que tengan incidencia directa sobre la superficie acristalada, pues la estrategia de protección solar debería estar dirigida a este período de tiempo.
- Es importante considerar los principales periodos de horarios de uso del espacio arquitectónico, y no solo considerar la orientación de este.
- Espacios de dimensiones pequeñas, pueden presentar problemas de deslumbramiento y excesiva ganancia térmica, en zonas cercanas a las superficies acristaladas orientas hacia el eje de soleamiento este-oeste.

- El pre-dimensionamiento lumínico de los aplicativos, es para uso exclusivo de espacios interiores en la ciudad de Quito. Los datos del Año Meteorológico 2005 fueron obtenidos de la base de datos METEOBLUE que se basa en estudios realizados en la estación climatológica IÑAQUITO.
- El aplicativo Excel ha sido diseñado para marcar automáticamente los rangos de horas adecuadas, de deslumbramiento y deficientes en rangos de luxes, previamente determinados en las fórmulas, en base a la norma INEN nacional vigente. Con la opción buscar y reemplazar, es posible modificar los rangos de cálculo si se requiere hacer el análisis bajo los parámetros de otra norma.

7 Bibliografía:

- Bodart, M., W. B., & Encinas, F. (s.f.). Iluminación Natural de Edificios de Oficina. *ARQ 76*, 44-49.
- Cañadas, L. (1983). *El mapa climatológico del Ecuador*. Quito - Ecuador: MAG - PRONAREG.
- Environmental Growth Chambers (2018). http://www.egc.com/useful_info_lighting.php
- CEI, C., & IDAE, I. y. (2005). *Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Madrid, España: Comité Español de Iluminación.
- Erickson, J. (1992). *El efecto invernadero. El desastre de mañana, hoy.* . Madrid, España: McGraw-Hill.
- Fuentes, D. A. (2012). *Arquitectura Bioclimática*. México.
- Girardín, M. (1994). *Iluminación Natural método de cálculo y conceptos fundamentales*. Obtenido de <http://www.fadu.edu.uy/>: <http://www.fadu.edu.uy/acondicionamiento-luminico/wp-content/blogs.dir/28/files/2012/02/Iluminacion-natural-Arq.-M.-Girardin-5.pdf>
- Inzunza, J. (12 de Mayo de 2017). *Instituto Geofísico del Perú*. Obtenido de http://www.met.igp.gob.pe/users/yamina/meteorologia/radiacion_doc_Univ_CHile.pdf
- Jaramillo, N. (2012). *Iluminacion Natural en el Espacio Interior de Viviendas*. Cuenca, Ecuador: Universidad del Azuay.
- Kwork , A., AIA, & Grondzik, W. (2011). *The Green Studio Handbook*. New York, USA: Architectural Press.
- Lacomba, R. c. (2012). *Arquitectura Solar y Sostenibilidad*. México: Trillas.
- León , F., & Quirantes , J. (26 de Abril de 2017). *Observación e Identificación de Nubes*. Recuperado el 26 de Abril de 2017, de Explora la Ciencia : http://www.exploraciencia.profes.net/ArchivosColegios/Ciencia/Archivos/Explora%20la%20ciencia/unidad_nubes.pdf
- Mardaljevic, J. (14 de 03 de 2017). *Daylighting and Compliance: Are current standards sufficient?* Obtenido de <http://www.cibse.org/>: http://www.cibse.org/getmedia/a8fa9439-773f-4bdc-bb15-38ab6d9113b4/Daylighting-and-Compliance_small.pdf.aspx
- Monroy, M. (2006). Manual de la Iluminación . *Manual de la Iluminación* . Gran Canarias , España : Laboratorio de Paisaje de Gran Canaria.
- Naranjo, P. (1981). *El Clima del Ecuador*. Quito: Casa de la Cultura Ecuatoriana.

New-learn.info(2018)
learn.info/packages/tareb/docs/ecb/ecb_ch4_es.pdf

[https://www.new-](https://www.new-learn.info/packages/tareb/docs/ecb/ecb_ch4_es.pdf)

- Olgay, V. (2010). *Arquitectura y Clima*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- Oteiza, P., Soler, A., & Yáñez, G. (1992). *Eficacia Luminosa de la Radiación Solar Global para superficie horizontal en Madrid, España*. Madrid, España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas .
- Pattini, A. (11 de 01 de 2007). *EDUTECNE*. Obtenido de <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap11.pdf>
- Paurrut, P., Acosta, J., Winckell, A., & Rojas, J. (1983). *Los Climas del Ecuador*. Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica.
- R. G., L. P., G. B., E. G., & E. T. (2008). *Daylighting evaluation of the prototype bioclimatic house (VBP-1)*. Maracaibo, Venezuela: Sección Acondicionamiento Ambiental, Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño (IFAD), Universidad del Zulia.
- S. R., & M. S. (2010). *Propiedades de los materiales y elementos de construcción*. . Barcelona, España: Edicions UPC, 2010.
- Secretaría de Ambiente, Q. (22 de Febrero de 2017). <http://www.quitoambiente.gob.ec>.
Obtenido de
<http://geocentro.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=f03443b940e045d4a2a007fd530bab61>.
- Serra, R. (1999). *Arquitectura y Climas*. Barcelona, España. : GG Básicos.
- Sirlin, E. (2006). *La luz en el teatro*. Buenos Aires, Argentina: Ed. Atuel .
- Vera, N. (05 de Mayo de 2017). *Tesis Doctorales en Red*. Obtenido de
<http://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6839/06Nvm06de17.pdf?sequence=7>