UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA DE MADRID

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA ARQUITECTÓNICA

VALIDACIÓN DE LA ILUMINANCIA DE LOS METODOS EXPERIMENTALES CIE E IES EN UN MODELO REAL CON VENTANAS EN DOS ORIENTACIONES

Tesis Doctoral

Marina Pérez Pérez. Arquitecta

Director de la Tesis:

Prof. Dr. RAFAEL GONZÁLEZ GONZÁLEZ.
Doctor Ingeniero en Construcción

Madrid, 2008

ABSTRACT

The architect like designer of inhabitable spaces knows the light estates the same as the goods that it causes the users. Along the history of the architecture one has worked with the qualities of the natural light, distinguishing the orientation of the building, the natural illumination and the protection of the excess of sun, to complete the architectural work.

This investigation is the result of a qualitative and quantitative study of the natural illumination in a study location located in Madrid, as well as the application and the validation of the methods of calculation of natural illumination CIE and IES, institutional methods of Europe and of North America respectively. The high number of parameters to have a scientific base and technique in the luminous conditioning of a building and the interest that investigation is carried out on real data, they served as base to select as module for the experimental investigation, a local that can be used as offices or house.

The preliminary information of diverse studies and made about similar topics have allowed to structure this doctoral thesis.

The investigation is developed in six phases:

I. Introduction.
II. State of the question.
III. Materials and methods.
IV. Obtained results.
V. Validation of the iluminancia of the experimental methods CIE and IES in a real model with windows in two orientations.
VI. Conclusions.

Finally the records, graphics and charts of the data of obtained iluminancia have been annexed by means of measure, in the period of investigation in the study local.

A. Records of the daily iluminancias obtained in the study local, in the different points and different hours of measure.

INDICE

Agradecimientos.....I
Resumen.....VIII
Abstract.....XII
Lista de figuras.....XVI
Lista de fotografías.....XX
Lista de tablas. XXI

I. INTRODUCCIÓN
Objetivos.....1
Metodología de la tesis.....2

II. ESTADO DE LA CUESTIÓN
1. ANTECEDENTES
1.1. LA LUZ NATURAL.....6
1.1.1. Naturaleza de la luz y sus definiciones.....8
1.2. EL SOL COMO FUENTE DE LUZ.....10
1.2.1. Disponibilidad de la luz natural por ubicación y orientación del local.....13
1.3. INVESTIGACIONES REALIZADAS DE LA LUZ NATURAL EN EL INTERIOR DE LOS LOCALES....14
1.3.1. Métodos de cálculo de iluminación natural.....17
1.4. NORMATIVAS PARA LA INCORPORACIÓN DE LA LUZ NATURAL.....20

2. LA LUZ NATURAL EN LA ARQUITECTURA
2.1. LA ILUMINACIÓN NATURAL EN EL INTERIOR.....23
2.1.1. La relación de la luz natural y los usuarios.....27
2.1.2. La arquitectura con iluminación natural determinada por el usuario.....29
2.1.3. El Ambiente Luminoso Confortable.....37
2.2. COMPONENTES DE ILUMINACIÓN NATURAL.....47
2.2.1. La ventana como elemento básico de la Iluminación Natural.....50
2.3. EL USO DE LA ILUMINACÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA 58
2.3.1. Reseña del Uso de la Iluminación Natural en la arquitectura.....59
2.4. RECOMENDACIONES DE DISEÑO CON ILUMINACIÓN NATURAL.....66

3. MODELOS DE CIELOS EMPLEADOS EN LOS MÉTODOS DE CÁLCULO DE ILUMINACIÓN NATURAL
3.1. TIPOS DE MODELO DE CIELO EXISTENTES.....68
3.2. MODELOS DE CIELO DE CÁLCULO DE ILUMINACIÓN NATURAL.....72
3.3. LÍNEA SIN CIELO.....77

III. MATERIALES Y MÉTODOS
4. EQUIPOS UTILIZADOS
4.1. MEDIDAS DE ILUMINANCIAS.....81
4.1.1. Características técnicas del Luxómetro
4.2. FOTOGRAFIAS DEL TIPO DE CIELO 82

5. LOCAL DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. DESCRIPCIÓN BÁSICA DEL LOCAL……85

5.1.1. Localización del local……85

5.1.2. Descripción de paramentos interiores……90

5.2. REFLECTANCIAS DEL LOCAL DE ESTUDIO AMUEBLADO……92

5.2.1. Alzados Amueblados……94

5.3. UBICACIÓN DE LAS VENTANAS……96

6. PROCEDIMIENTO DE MEDIDAS REALIZADO

6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE MEDIDAS……98

6.2. PERIODOS DE MEDIDAS……99

6. 3. HORARIOS DE MEDIDA……99

6.4. UBICACIÓN DEL PLANO DE TRABAJO……99

6.5. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MEDIDA…… 100

6.6. JUSTIFICACIÓN DE ELECCION DE LOS MÉTODOS EXPERIMENTALES DE CÁLCULO CIE E IES PARA SU VALIDACIÓN CON UN MODELO REAL……105

7. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO DE CÁLCULO DE ILUMINACIÓN NATURAL DE CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE)

7.1. MODELO DE CIELO CIE PARA EL CÁLCULO DE ILUMINACIÓN NATURAL……108

7.2. PARÁMETROS DE CÁLCULO DE ILUMINACIÓN NATURAL CIE PARA VENTANA LATERAL….111

7.3. MÉTODO DE CALCULO DE ILUMINACIÓN NATURAL CIE……118

7.3.1. Procedimiento Simplificado del método de cálculo de iluminación natural CIE……131

8. FUNDAMENTOS DEL MÉTODO DE CÁLCULO DE ILUMINACIÓN NATURAL DE IES (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY)

8.1. PARÁMETROS DE CALCULO IES DE ILUMINACIÓN NATURAL……134

8.2. MÉTODO DE CALCULO IES DE ILUMINACIÓN LATERAL……136

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

9. APLICACIÓN DEL MÉTODO CIE (COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE) AL LOCAL DE ESTUDIO CON VENTANA UNILATERAL PARA EL CÁLCULO DE LA ILUMINANCIA MÍNIMA INTERIOR

9.1. MÉTODO DE CALCULO CIE……155

9.2. PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO……165

10. APLICACIÓN DEL MÉTODO IES (ILLUMINATING ENGENEERING SOCIETY) AL LOCAL DE ESTUDIO PARA EL CÁLCULO DE LAS ILUMINANCIAS INTERIORES

10.1. CÁLCULO DE LAS ILUMINANCIAS INTERIORES MÁXIMA, MEDIA Y MÍNIMA DEL LOCAL DE ESTUDIO SEGÚN EL MÉTODO IES, PARA EL 21 DE DICIEMBRE, CON CIELO NUBLADO……175

10. 2. CÁLCULO DE LAS ILUMINANCIAS INTERIORES MÁXIMA, MEDIA Y MÍNIMA DEL LOCAL DE ESTUDIO SEGÚN EL MÉTODO IES, PARA EL 21 DE JUNIO, CON CIELO PARCIALMENTE NUBLADO……183

10. 3. CÁLCULO DE LAS ILUMINANCIAS INTERIORES MÁXIMA, MEDIA Y MÍNIMA DEL LOCAL DE ESTUDIO SEGÚN EL MÉTODO IES, PARA EL 21 DE MARZO Y 21 DE SEPTIEMBRE, CON CIELO CLARO……185

11. VALORES DE ILUMINANCIAS OBTENIDOS EN EL LOCAL DE ESTUDIO

11.1. FICHAS DE LAS ILUMINANCIAS DIARIAS EN LOS DIFERENTES PUNTOS Y DISTINTAS HORAS DE MEDIDA (Anexo A)

11.2. TABLAS DE LOS VALORES MÁXIMOS, MEDIOS Y MÍNIMOS DE LAS ILUMINANCIAS MENSUALES.....190

V. VALIDACIÓN DE LA ILUMINANCIA DE LOS MÉTODOS EXPERIMENTALES CIE E IES EN UN MODELO REAL CON VENTANAS EN DOS ORIENTACIONES.

12. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LOCAL DE ESTUDIO POR LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CALCULO CIE E IES Y LOS VALORES MEDIDOS EN DICHO LOCAL

12. 1. ÁNALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MÉTODO CIE Y LOS VALORES MEDIDOS EN EL LOCAL DE ESTUDIO 206

12. 2. ÁNALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MÉTODO IES Y LOS VALORES MEDIDOS EN EL LOCAL DE ESTUDIO.....213

VI. CONCLUSIONES.....224

VII. BIBLIOGRAFÍA.....229

VIII. ANEXOS

A. Fichas de las iluminancias diarias obtenidas en el local de estudio, en los diferentes puntos y distintas horas de medida.

Anexo A 1/4 Fichas de datos Diciembre 2003 a marzo del 2004

Anexo A 2/4 Fichas de datos Abril a junio del 2004

Anexo A 3/4 Fichas de datos Julio a septiembre del 2004

Anexo A 4/4 Fichas de datos Octubre 2004 a enero del 2005.

RESUMEN

El arquitecto como diseñador de espacios habitables es conocedor de las propiedades lumínicas al igual que de los efectos ocasionados a los usuarios, a lo largo de la historia de la arquitectura ha trabajado con las cualidades de la luz natural, distinguiendo la orientación del edificio, la iluminación natural y la protección del exceso de sol, para enriquecer la obra arquitectónica.

Esta tesis doctoral es el resultado de una investigación consistente en un estudio cualitativo y cuantitativo de la iluminación natural en un local de estudio tipo situado en Madrid, así como la aplicación y la validación de los métodos de cálculo de iluminación natural CIE e IES, métodos institucionales de Europa y de Norteamérica respectivamente.

El elevado número de parámetros para tener una base científica y técnica en el acondicionamiento luminoso de un edificio y el interés que está investigación se realice sobre datos reales, sirvieron de base para seleccionar como módulo para la investigación experimental, un local que de igual manera puede utilizarse como oficinas o como vivienda.

LA INVESTIGACIÓN

La información preliminar recopilada de los estudios y trabajos realizados sobre temas semejantes, los métodos experimentales CIE e IES y la aplicación de estos métodos de cálculo a un local de estudio real ubicado en Madrid, han permitido estructurar esta tesis doctoral en las seis fases de la investigación:

I. Introducción
II. Estado de la cuestión
III. Materiales y métodos
IV. Resultados obtenidos
V. Validación de la iluminancia de los métodos experimentales CIE e IES en un modelo real con ventanas en dos orientaciones.
VI. Conclusiones.

La INTRODUCCIÓN es la primera de dos fases documentales, en la cual se han incluido los objetivos y la metodología los cuales se han empleado en el desarrollo de esta tesis doctoral.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación aplicado a esta tesis doctoral se ha desarrollado en cuatro etapas:

1. La documental, en la cual se analizaron las tesis doctorales que hacen referencia al tema de los cálculos de iluminación natural, conocer el alcance que obtuvieron y fijar los objetivos de esta tesis doctoral.
2. Determinado los objetivos de esta investigación, la fase de consulta se realizó con las fuentes de la Biblioteca Nacional, la biblioteca de la ETSAM, la biblioteca del INM (Instituto Nacional de Meteorología) y la biblioteca del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) así como las páginas de Internet relativas al tema

propuesto en la tesis. También se han estudiado los métodos de cálculo de luz natural, más usuales en Europa y Norteamerica, CIE e IES.

3. En la fase técnica, la investigación de campo se realizó en el periodo de catorce meses seguidos, cuatro veces al día, en la cual se midió el nivel de iluminancia en 39 puntos ubicados en un plano de trabajo imaginario, a la altura modelo de las mesas de trabajo, en un modelo real con ventanas en dos direcciones.

Para obtener un mayor número de datos que sirvieran en la investigación, las medidas de las iluminancias, se realizaron considerando el flujo que se lograba según la ventana abierta, siendo que el local de estudio tiene tres ventanas, se obtuvo un numero de datos variables que permitieron la comparación en la evolución de la luz natural que incide en el interior del local.

4. Con los datos obtenidos y la información documental recopilada, se ha realizado un análisis de los valores obtenidos, validando los resultados de la toma de datos con los obtenidos de la aplicación de los métodos de cálculo CIE e IES al modelo real; con esas bases se han llegado a unas conclusiones.

ESTADO DE LA CUESTIÓN, es la segunda fase documental, es un recorrido por las investigaciones anteriores, la importancia de la luz natural en los espacios arquitectónicos, estudiando la problemática en general de la iluminación natural, su incidencia en la historia, la cultura y la arquitectura, así como el beneficio del buen manejo del comportamiento lumínico en los espacios arquitectónicos. Está constituido por tres capítulos:

1. Antecedentes.
2. La luz natural en la arquitectura.
3. Modelos de cielos empleados en los métodos de cálculo de iluminación natural.

METODOS DE CÁLCULO DE ILUMINACIÓN NATURAL

Para la determinación de la iluminación natural se tienen en cuenta tres actuaciones básicas que son:

→ Los distintos tipos de ventanas, del espacio arquitectónico en el cual incide la luz natural.
→ Validar la iluminación natural en los edificios, con datos de referencia que sirvan para la incorporación de la luz natural en el edificio proyectado.
→ Disponer de métodos para el diseño de los edificios con luz natural.

Investigadores de diversos países han desarrollado diferentes métodos de cálculo para cuantificar la aportación de la luz natural en el interior de los locales. No obstante en el desarrollo de esta investigación se han utilizado los principales métodos para el análisis y la cuantificación de la luz natural, que basan sus cálculos en:

→ Diferentes tipos de cielo.
→ La determinación del Factor de Iluminación Natural.
→ Distintos tipos y ubicación de la ventana.
→ Locales experimentales de formas regulares.

- Método de la Commission Internationale de L´Eclairage (CIE) basado en el cálculo de iluminancia mínima media anual por medio de gráficos, según la proporción de la ventana con respecto a la fachada, el tipo de cielo, la ubicación y el uso del local.
- Método de la Illuminating Engineering Society of America (IES) que calcula tres iluminancias la mínima, media y máxima, con tablas de datos según el horario, la fecha y el tipo de cielo.

Además de ser los métodos más importantes del Continente Europeo (CIE) y del Continente Americano (IES).

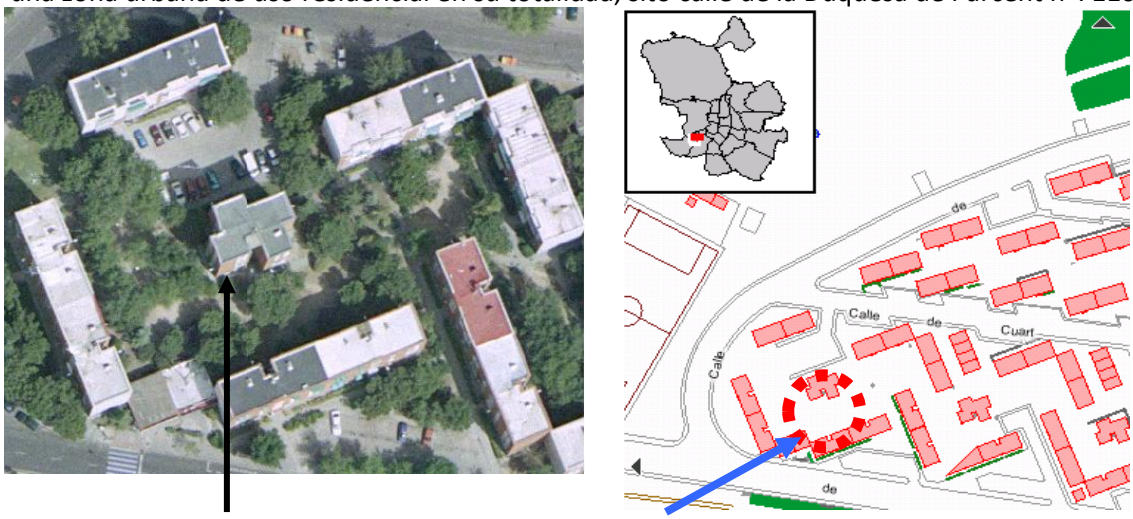
En términos generales las dos fases documentales han sentado las bases para delimitar los aspectos prácticos el uso de la luz natural en los espacios interiores, identificar que en gran medida el grupo multidisciplinario, que interviene en el estudio de las iluminancias, posiciona al arquitecto como agente determinante para la aplicación de los planteamientos teóricos, de manera tal que en la iluminación de los espacios arquitectónicos esté considerada la luz natural. De igual modo también han determinado la importancia de la investigación analítica y critica.

La fase: **MATERIALES Y MÉTODOS,** es una fase técnica, en la cual se presenta el equipo utilizado en la investigación, las características del local de estudio, el esquema del procedimiento que se ha aplicado en la toma de datos y se estudian los parámetros de cálculo de los métodos experimentales CIE e IES. En los capítulos:

4. Equipos utilizados.
5. Local de estudio de la investigación.
6. Procedimiento de medidas realizado.
7. Fundamentos del cálculo de iluminación natural de CIE.
8. Fundamentos del cálculo de iluminación natural de IES.

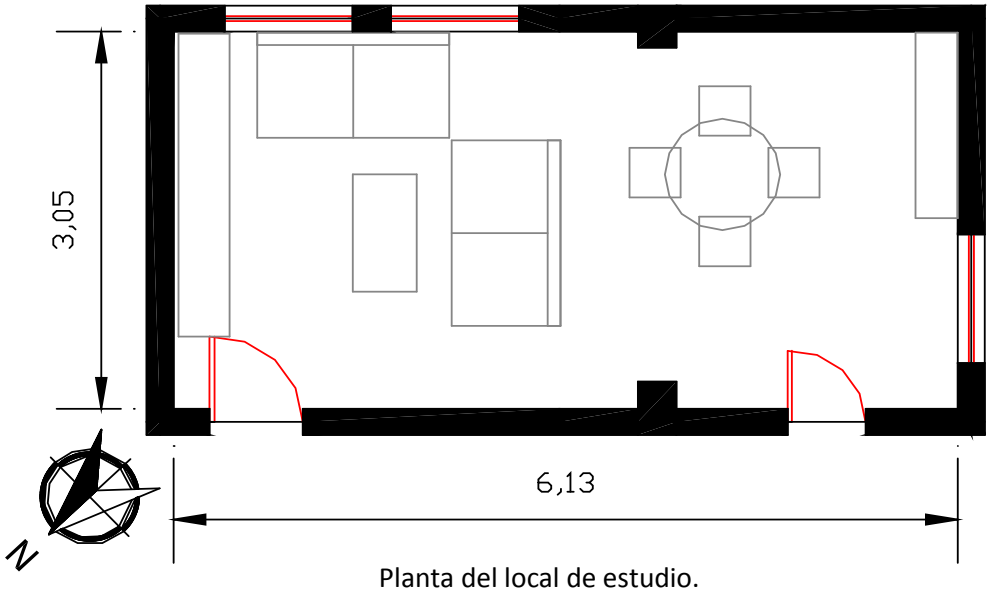
LOCAL DE ESTUDIO DE LA INVESTIGACIÓN.

El local está ubicado al suroeste de Madrid, en el quinto piso de un edificio de cinco niveles, en una zona urbana de uso residencial en su totalidad, sito calle de la Duquesa de Parcent nº. 110.



Localización del edificio en el que está ubicado el local modelo de estudio

El local de estudio tiene planta rectangular, sus dimensiones son: ancho 3,05m, longitud 6,13m y la altura es 2,42m.



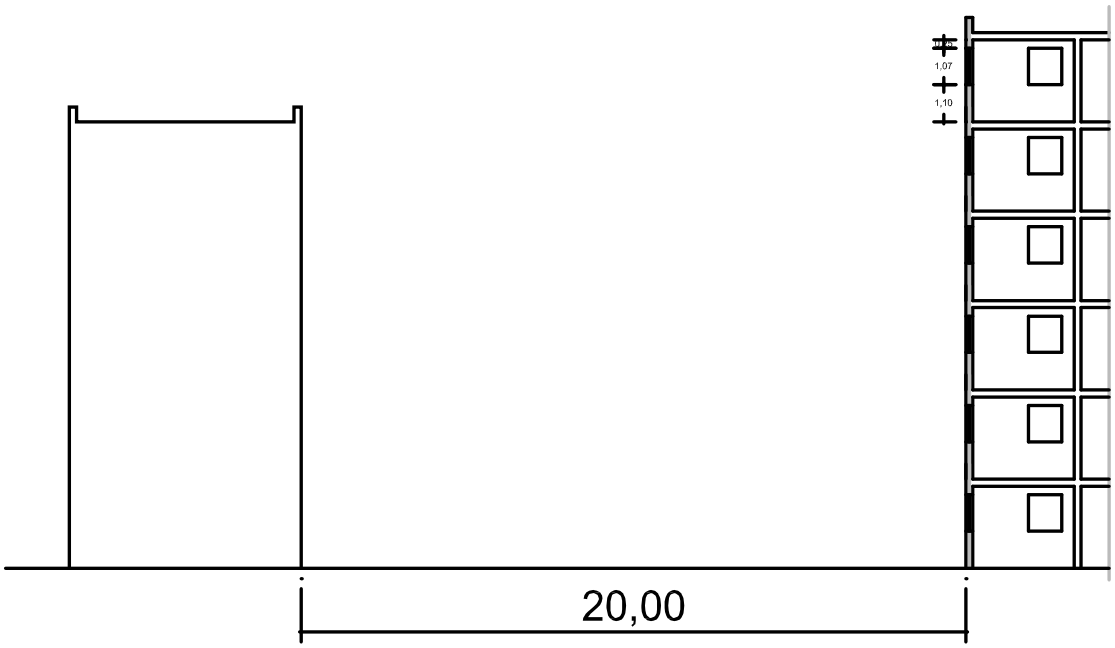
Planta del local de estudio.

El local de estudio tiene una superficie acristalada distribuida en tres ventanas de iguales dimensiones, 1,00 m de longitud por 1,07 m de altura, al sureste tiene dos ventanas y al suroeste una ventana; alféizar de 1,10 m y dintel de 0,25 m. En uno de los paramentos interiores existen dos puertas.

El edificio, en el cual está ubicado el local de estudio, no tiene colindancia en ninguna de sus fachadas y los edificios y árboles cercanos no le originan obstrucción alguna para la penetración de la luz exterior a través de sus ventanas.

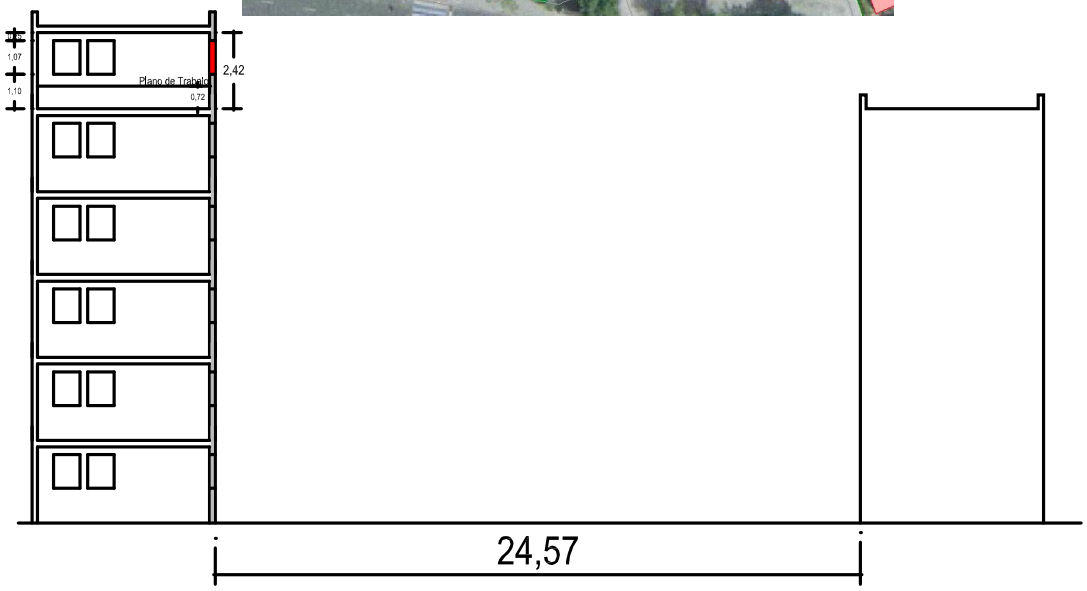
La distancia que tiene el edificio, donde está ubicado el local de estudio, con los edificios más cercanos está esquematizada en los siguientes dibujos:





Perfil Urbano de la Fachada Sureste





Perfil Urbano de la Fachada Suroeste

El local de estudio es un modelo habitado, un local con uso, por lo que el amueblado junto con las puertas, los marcos y los cristales de las ventanas afectan la reflectancia media de las paredes, el techo y el suelo.

La transmitancia de los vidrios de las ventanas se definió por medidas, por la relación del flujo transmitido entre el flujo incidente. Las medidas se realizaron de la siguiente manera:

- medir el flujo transmitido al interior de la ventana se colocó el aparato de medida en el interior de la ventana.
- medir el flujo incidente en el exterior de la ventana, se colocó el aparato de medida en el exterior de la ventana.

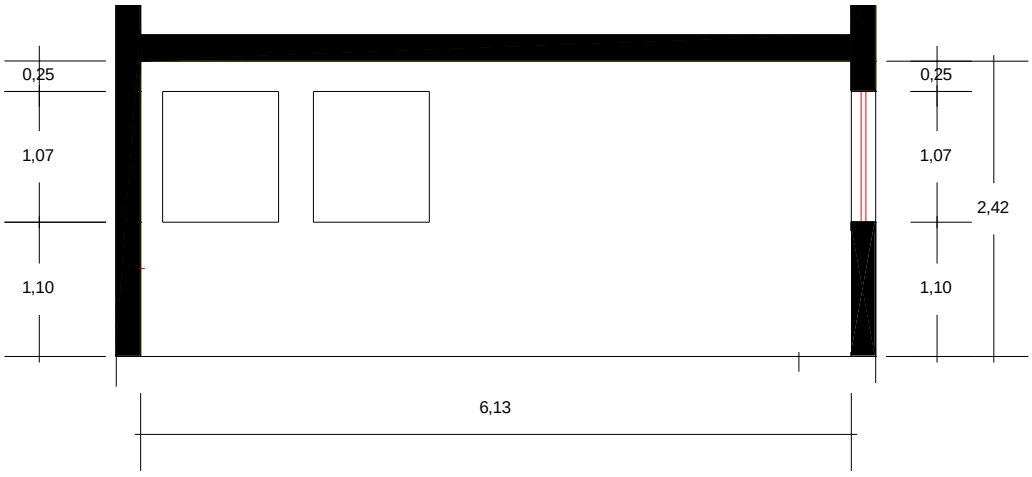
Las reflectancias de los elementos interiores se han definido por medida, mediante la relación del flujo reflejado por la superficie entre el flujo incidente en la superficie.

- Para medir el flujo incidente se colocó la cedula fotovoltaica paralela a la superficie a medir
- Para medir el flujo reflejado se colocó la cedula de frente a la superficie a medir.

Posteriormente para determinar las reflectancias medias, se realizó el siguiente cálculo, considerando el amueblado del local de estudios.

Las ventanas están constituidas de carpintería de aluminio y superficie acristalada compuesta de vidrio sencillo.

Dos ventanas están ubicadas en el cerramiento de la fachada con orientación SE y la tercera en el cerramiento de la fachada con orientación al SO, sus dimensiones son 100 cm. de ancho por 107 cm. de alto, la altura del friso es de 110 cm. y 25 cm. de cabezal al techo.



Ubicación de las ventanas en la Sección del local de estudio**.**

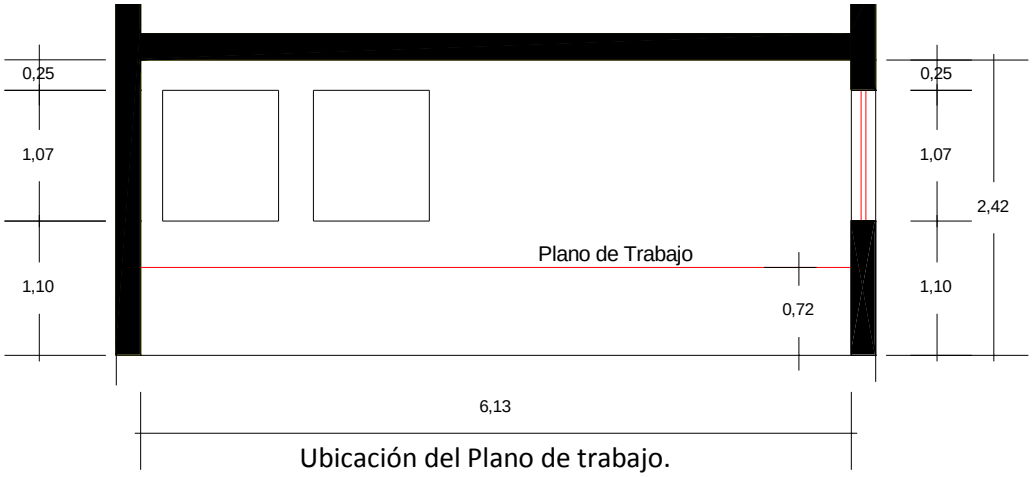
PROCEDIMIENTO DE MEDIDAS REALIZADO.

En la toma de datos de las iluminancias, durante catorce meses se han medido las iluminancias con un registro fotográfico del tipo de cielo que se presentó a través de la ventana abierta; se inició en Diciembre de 2003, todos los meses de 2004 y enero de 2005, ambos meses inclusive.

Las medidas de iluminancias se realizaron en cuatro periodos al día, a las 9, 12, 16 y 20 horas de los días de lunes a viernes, durante los 14 meses de medición, excepto en los días en los que la ausencia de luz natural impidió el registro de medidas de iluminancia a las 20hrs.

En puntos ubicados en un plano de trabajo imaginario, en recta perpendicular a la pared donde está ubicada la ventana por la que se filtra la luz natural.

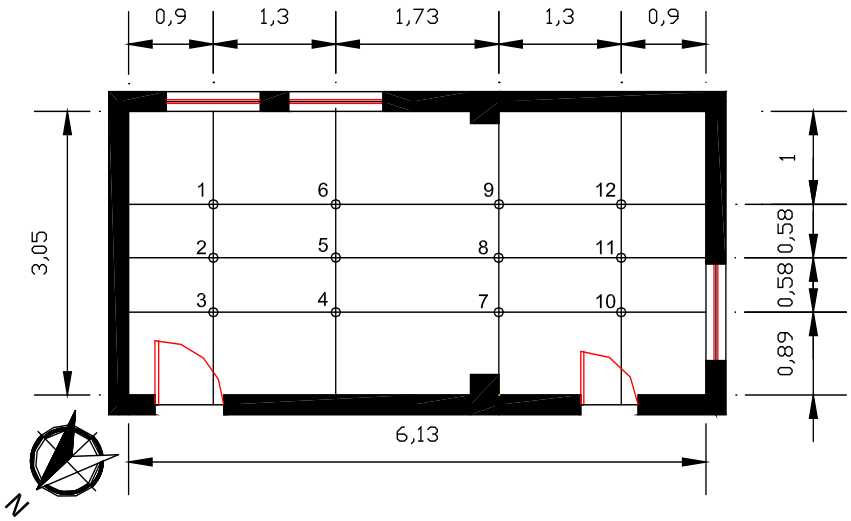
El plano de trabajo supuesto, cuyo eje longitudinal es perpendicular a la ventana, tiene una altura sobre el nivel del suelo a 72 cm. (altura normal de los mesas de trabajo).



Ubicación del Plano de trabajo.

Las medidas de las iluminancias se realizaron en los diferentes puntos ubicados en el plano de trabajo imaginario. Tomando como referencia una ventana abierta y las otras dos cerradas, según el procedimiento que se explica a continuación.

1. A cada ventana se identificó con las letras mayúsculas A, B y C.
2. Se ubicaron los puntos de medida en el plano de trabajo, considerando que se tomarían las medidas de las iluminancias cuando sólo estuviese abierta una ventana y las otras dos ventanas permanecieran cerradas; y por último con las tres ventanas abiertas.
   En la siguiente figura se indican los puntos de medida con **las tres ventanas (A, B y C) abiertas,** se ha empleado la misma metodología para la ubicación en el plano de trabajo. Los puntos de medidas resultantes están ubicados en igual posición que en el caso de la ventana B abierta y las ventanas A y C cerradas; dando como resultado <u>12 puntos de medida</u>.



En total, durante los cuatro periodos de medida, se realizó la medida de iluminancias en 39 puntos.

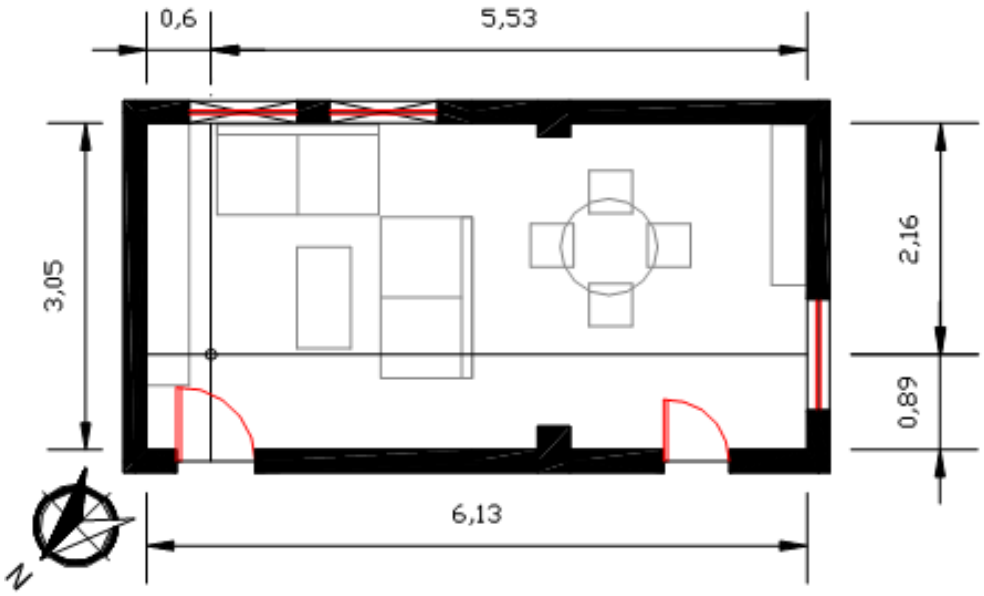
También en cada periodo de lectura, a las 9, 12, 16 y 20 hrs., se fotografió el tipo de cielo que se observó a través de las respectivas ventanas A, B y C, con el objetivo de tener la muestra del tipo de cielo a las horas de medida.

Los valores de iluminancia, han quedado reflejados en las fichas y tablas incluidas en los anexos.

La cuarta fase: **RESULTADOS OBTENIDOS**, es una fase crítica, en la cual se ha tomado de referencia el modelo de estudio, un local real con ventanas en dos orientaciones. Con los datos de este local, se ha calculado la iluminancia incidente aplicando los métodos experimentales CIE e IES, y en paralelo desarrolla la toma de datos de la iluminancia incidente en el local de estudio, con el procedimiento ya explicado. Estos valores sirven para estructurar los capítulos en los que se exponen los resultados:

APLICACIÓN DEL MÉTODO CIE AL LOCAL DE ESTUDIO CON VENTANA UNILATERAL PARA EL CÁLCULO DE LA ILUMINANCIA MÍNIMA INTERIOR.

El método experimental CIE, calcula la iluminancia anual, en un punto ubicado a 60cm de la pared opuesta a la ventana, en un punto medio de la ventana desde la cual penetra la luz natural, en base a porcentajes anuales de jornadas de trabajo; de acuerdo a la aplicación de las fórmulas de cálculo y los gráficos, los resultados obtenidos de la aplicación del método CIE están en la siguiente tabla.

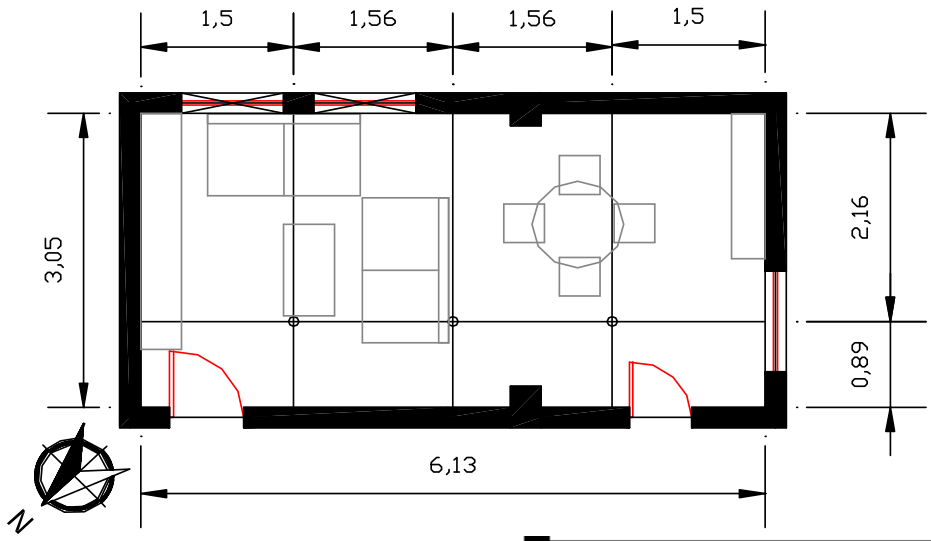


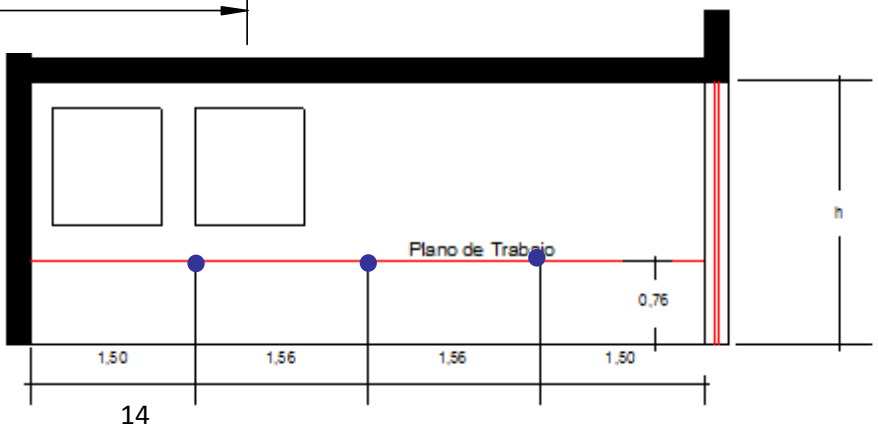
Ubicación del punto de medida en el local de estudio, según el procedimiento de medida, más cercano al que el método CIE utiliza.

Porcentaje de la disponibilidad de Iluminancia en la jornada de trabajo.	Ubicación del punto de cálculo de iluminancia mínima anual.	Iluminancia (lx)	
		Exterior	Interior
95	a 60 cm de la pared opuesta a la ventana en medio de la misma	3550	7
90		6750	14
85		9250	19
80		11800	24
70		14800	30

APLICACIÓN DEL MÉTODO IES AL LOCAL DE ESTUDIO PARA EL CÁLCULO DE LAS ILUMINANCIAS INTERIORES

El método experimental IES, calcula la iluminancia en tres puntos, mínimo, medio y máximo, en una línea imaginaria en medio de la ventana y la pared opuesta a la ventana, desde la cual penetra la luz natural, para cuatro fechas anuales para tres tipo de cielos y cuatro horarios. Para esta tesis doctoral se calculó la iluminancia considerando las condiciones que se presentaron en la toma de datos de las iluminancias, de manera que se aplicó para dos
en la siguiente tabla.





IMÁGENES DEL CIELO EN EL DÍA Y FECHA DE MEDIDA			
Fechas de medida	**Tipo de Cielo**	**Imágenes por horas**	
		12 Hrs.	**16 Hrs.**
21 de marzo	Claro		
21 de junio	Parcialmente nublado		
21 de septiembre	Claro		
21 de diciembre	Nublado		

Fechas	**Tipo de Cielo**	**Nivel de iluminancia**	**Iluminancia por horas (lx)**	
			12 Hrs.	**16 Hrs.**
21 de marzo	Claro	Máxima	1332	564
		Media	631	268
		Mínima	357	152
21 de junio	Parcialmente nublado	Máxima	645	236
		Media	246	96

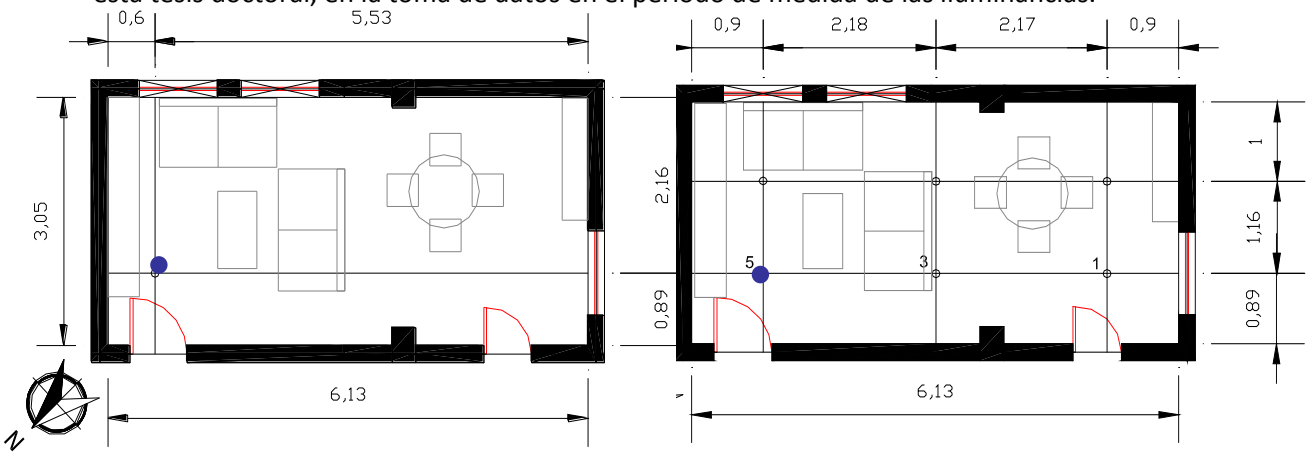
		Mínima	157	61
21 de septiembre	Claro	Máxima	1332	564
		Media	631	268
		Mínima	357	152
21 de diciembre	Nublado	Máxima	75	19
		Media	33	8
		Mínima	18	4

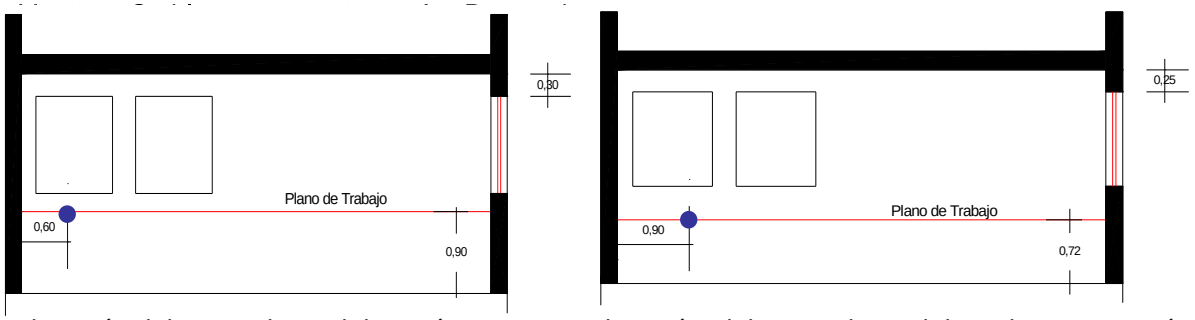
Estos capítulos contienen los valores de las iluminancias, resultados de la aplicación de los métodos de cálculo CIE e IES y las tablas de los valores máximos, medios y mínimos de iluminación natural mensuales, iluminancias obtenidas en la toma de datos mediante medidas, estos valores se han incluidos en unas fichas anexas.

La quinta fase: **VALIDACIÓN DE LA ILUMINANCIA DE LOS MÉTODOS EXPERIMENTALES CIE E IES EN UN MODELO REAL CON VENTANAS EN DOS ORIENTACIONES**, es una fase analítica, de los resultados de la aplicación de los métodos de cálculo CIE e IES y los valores de la iluminancia incidente en la toma de datos, en igualdad de fechas, horarios y condiciones del cielo. Expuestos en el capítulo:

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL LOCAL DE ESTUDIO POR LA APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE CÁLCULO CIE E IES Y LOS VALORES MEDIDOS EN DICHO LOCAL.

En los siguientes dibujos de planta y sección del local de estudio, se ubican los puntos de incidencia de iluminancia, según el método de cálculo CIE y según los hemos ubicado, para esta tesis doctoral, en la toma de datos en el periodo de medida de las iluminancias.



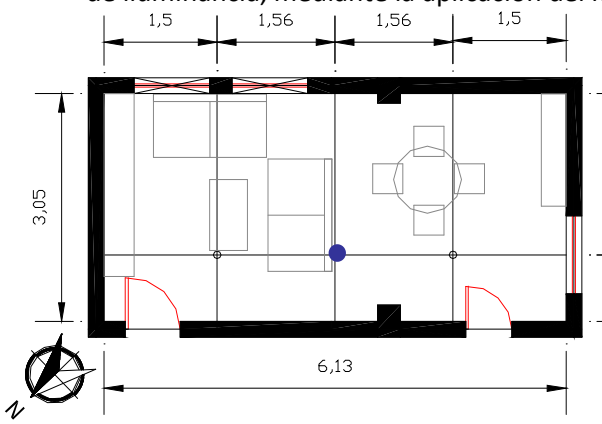


Ubicación del punto de medida según CIE. Ubicación, del punto de medida en la investigación.

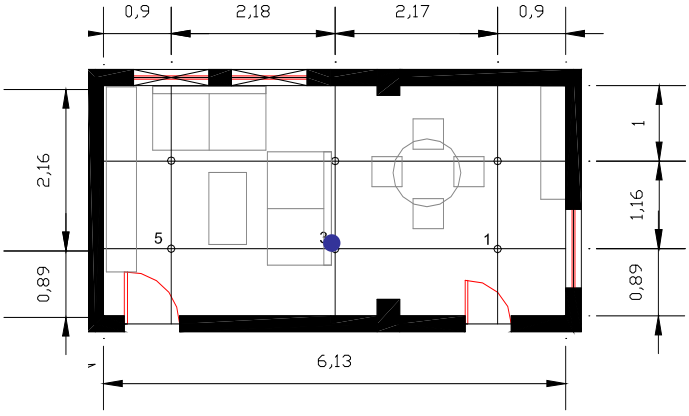
Iluminancias media anual según el método CIE y el valor medio obtenidos mediante medida.

Porcentaje de la disponibilidad de Iluminancia en la jornada de trabajo.	Iluminancia (lx)		Periodo de medida 9 a 16 hrs.
	Media anual CIE	Media anual por medida	
90	14	60	90

En el análisis de los valores resultantes de la aplicación del método de cálculo IES y los valores registrados en el periodo de medida de las iluminancias incidentes en el local de estudios, se ha determinado que para igualar condiciones, los datos obtenidos mediante medida en el punto 3 con la ventana C abierta son los más cercanos, por ubicación en el plano de trabajo y en distancia entre la pared opuesta y la ventana, con los obtenidos del cálculo del nivel medio de iluminancia, mediante la aplicación del método de cálculo IES.



Ubicación del punto de iluminancia media según IES.



Ubicación, del punto más cercano de medida en la investigación.

En los dibujos anteriores de la planta del local de estudio, se indican en plano la ubicación de los puntos para la aplicación del método IES y según los hemos ubicado, para la toma de datos de los valores de la iluminancia en el periodo de investigación de esta tesis doctoral.

Iluminancias medias según el método de cálculo IES y los valores obtenidos mediante medida.

Fechas y Tipo de Cielo	Nivel de iluminancia	Iluminancia por horas (lx)				Puntos de medida
		Método IES		Medida		
		12 H.	16 H.	12 H.	16 H.	
21 de marzo Claro	Media	631	238	96	630	3
21 de junio Parcialmente nublado		246	96	66	255	
21 de septiembre Claro		631	238	94	370	

21 de diciembre Nublado		33	8	64	40	

A manera de epilogo la tesis doctoral finaliza con las **CONCLUSIONES**, basadas en los resultados de la fase analítica, y en el entendido que el conocimiento es ilimitado y una tesis doctoral abre la ventana para nuevas líneas de investigación se han indicado futuras líneas de investigación con las cuales se puede dar continuidad a esta investigación y complementar esta tesis doctoral.

CONCLUSIONES

Realizadas la validación y el análisis de los resultados obtenidos de aplicar los métodos de cálculo CIE e IES al local de estudio, con los valores de las iluminancias obtenidos mediante medidas, se establecen las conclusiones.

1. Conclusiones de los resultados obtenidos aplicando el método CIE al local de estudio en relación con las medidas realizadas en el mismo. Se concluye que con el método de cálculo CIE se obtienen valores seguros de iluminancia mínima anual para condiciones de cielos españoles que son más luminosos que el cielo de cálculo, completamente nublado uniforme, utilizado en el método de cálculo CIE.
2. Conclusiones entre los resultados obtenidos aplicando el método IES al local de estudio y los valores mediante medidas realizadas en el mismo. Las diferencias de los valores de las iluminancias, en gran medida, es debido a que el cálculo IES está diseñado para cielos de los EE.UU., mientras que los datos obtenidos en la investigación, con cielos de España, son resultados diferentes por las características de los cielos Americanos en comparativa con las del local de estudio ubicado en España. No obstante, se observó que con la aplicación del método de cálculo IES se obtienen resultados de iluminancias validos en locales reales.
3. Conclusiones de los resultados de las iluminancias obtenidas mediante medida en el local de estudio**.** Se observó que cuando el cielo es parcialmente nublado y el sol incide sobre la ventana abierta se obtienen valores muy altos de iluminancia, en los puntos de medida del plano de trabajo próximo a dicha ventana.

La toma de datos de la iluminancia incidente en el local de estudio, ha permitido obtener:

1. Datos de Iluminancia para cada día del mes y hora de medida, de acuerdo con la ventana abierta, en 9 puntos cuando la ventana A estuvo abierta; en 12 puntos cuando la ventana B estuvo abierta; en 6 puntos cuando la ventana C estuvo abierta y en 12 puntos cuando estuvieron abiertas las tres ventanas.
2. Iluminancia mínima, media y máxima para cada día del mes, hora de medida, ventana abierta y punto de medida en que se obtuvieron estos valores.
3. Iluminancia media diaria y mensual obtenida en el plano de trabajo según la ventana abierta.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

• Realizar las medidas de forma continuada a lo largo del día, con un sistema de adquisición de datos electrónico, constituido básicamente por cédulas fotovoltaicas, canales de entrada y

salida, analógicos y digitales y programas para el tratamiento de datos y su presentación gráfica.

• Realizar medidas de iluminancia durante un tiempo mayor, para obtener valores estadísticamente consistentes.

• Estimar la variación de la iluminancia de un local tipo, determinada por la superficie acristalada según las orientaciones, en situación extremas de cielo completamente nublado y cielo claro, cielos tipos en España.

PROCESOS DE REELABORACIÓN PARA ADAPTAR LA TESIS A LA LINEA EDITORIAL DE LA COLECCIÓN ARQUIA/TESIS DE LA FUNDACIÓN CAJA DE ARQUITECTOS.

Esta tesis doctoral es una investigación en la línea de estudios que se requieren en estos tiempos que España está potenciando los edificios de consumo energético cero, edificios que lejos de ser idílicos se logran en la medida que los espacios arquitectónicos se enriquecen de las energías renovables, siendo la luz natural una de las más. Razones más que suficientes para que se publique lo que se está logrando desde los laboratorios de las universidades, que no pasen desapercibidas las investigaciones académicas de las tesis doctorales y que la historia del uso de la luz natural no sea indiferente en los cálculos de la iluminación en los espacios arquitectónicos.

En opinión personal el documento de tesis está listo para publicación, salvo consideraciones particulares de la línea editorial de la fundación Caja de Arquitectos.