

**CARACTERIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN LOS ESPACIOS INTERIORES
DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DIEGO ANDRÉS GALVIS NEIRA
CARLOS ANDRÉS EXPÓSITO CÁCERES**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2015**

**CARACTERIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN LOS ESPACIOS INTERIORES
DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DIEGO ANDRÉS GALVIS NEIRA
CARLOS ANDRÉS EXPÓSITO CÁCERES**

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Electricista

Director

**GERMAN ALFONSO OSMA PINTO
Magister en Ingeniería Eléctrica**

Codirectores

**GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA
Doctor Ingeniero Industrial
LAURA YAZMIN AMADO DUARTE
Ingeniera Electrónica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
DE TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

A mi Dios primeramente quien fue el guía y el proveedor en todo tiempo, a mi padre Waldo Expósito hombre sabio a quien le agradezco todo el esfuerzo dado día a día y del cual me siento orgulloso de alcanzar esta meta por que fue gracias a él que logre cumplir con este objetivo, a mi madre Elvia Cáceres quien agradezco todo el apoyo dado y el esfuerzo entregado en pro de mi bienestar.

A mis amigos Diego Pinto, Nixon Ortiz, Alberto Pérez, Daniel Almeida, Feisal Antonio, Luis Rivera, Brayan Roa, Tatiana Castillo, Paola Muños, Luis Mauricio Cala, Rafael Valencia, Jorge Paternina, Henry Arteaga, Jairo Martínez, Cristian Zambrano y Yesid Calderón.

Carlos Andrés Expósito

Esta sección en su mayoría está adjudicada a mis padres, Patricia y Donaldo quienes a base de su esfuerzo, la educación que me impartieron, sus acciones y sus palabras han moldeado al hombre que está consiguiendo este título. También hace falta incluir a mi hermano Donald, quien ha hecho suficiente para ganarse la etiqueta de hermano mayor y por ende, servir como ejemplo; De igual manera a mi novia Jeimy quien ha sido gran parte de mi inspiración en varias metas cumplidas y por cumplir.

Diego Andrés Galvis

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander, por brindarnos los espacios de formación y lograr ser profesionales, a la escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones por brindarnos las herramientas necesarias para el buen desarrollo de este trabajo de investigación.

Un agradecimiento especial al MSc German Alfonso Osma Pinto, por su apoyo, ejemplo y excelencia en su trabajo como director.

Igualmente agradecemos a nuestros codirectores Dr. Gabriel Ordóñez Plata y Laura Amado Duarte por sus consejos y acompañamiento en este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. CONSIDERACIONES GENERALES	25
1.1 SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL	25
1.2 IMPORTANCIA E IMPACTOS DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN CLIMAS TROPICALES	29
1.3 MOVIMIENTO SOLAR APARENTE.....	31
1.4 NECESIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN HÍBRIDOS	34
1.5 ESTRATEGIAS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE ILUMINACIÓN	35
1.6 DISPOSITIVOS USADOS EN EL CONTROL DE ILUMINACIÓN	38
1.7 MEDICIÓN DE LA ILUMINANCIA PROMEDIO DE UN ESPACIO	41
2. MEDICIÓN DE LA ILUMINACIÓN INTERIOR EN EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	42
2.1 ZONAS DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.....	42
2.2 MODELADO DE LA TRAMA DE PUNTOS DE MEDICIÓN	43
2.3 METODOLOGÍA DE LA MEDICIÓN	46
2.3.1 Medición de la iluminación natural	46
2.3.2 Medición de la iluminación artificial	47
2.3.3 Medición de los niveles críticos de iluminación.	48
2.4 CURVAS DE COMPORTAMIENTO LUMÍNICO	48
2.4.1 Curvas características iluminación natural.....	48
2.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	66
2.6 NIVEL DE ILUMINACIÓN MÍNIMO <i>SET POINT</i>	73

2.7 ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL PROCESO DE MEDICIÓN	74
3. MODELO VIRTUAL DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	76
3.1 MODELADO INTERIOR DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	76
3.1.1 Importación del plano CAD a Dialux.	77
3.1.2 Creación de la estructura del modelo.....	79
3.1.3 Inserción de puertas y ventanas	81
3.1.4 Inserción de elementos del ambiente.....	82
3.1.5 Inserción de la trama de cálculo	83
3.1.6 Detalles y características del modelo.....	83
3.1.7 Sistema de iluminación artificial	84
3.2 MODELADO EXTERIOR DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	86
3.3 PARÁMETROS A ESPECIFICAR PREVIOS A SIMULAR.....	90
3.4 ANÁLISIS COMPARATIVO PARA LOS VALORES OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN Y MEDICIÓN	91
3.4.1 Análisis Df fachada	91
3.4.2 Selección del modelo de cielo.....	99
3.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR DIALUX	100
4. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL ALE3T	102
4.1 GUÍA DEL USUARIO	102
4.2 TERMINOLOGÍA EMPLEADA	117
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
5.1 CONCLUSIONES	122
5.2 RECOMENDACIONES	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125
BIBLIOGRAFÍA	128
ANEXOS	132

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diferentes combinaciones entre repisas de luz y celosías [10].....	26
Figura 2. Túnel solar en Santiago de Chile [10].....	27
Figura 3. Esquemas de organización del atrio en el edificio [10].	27
Figura 4. Distribucción luminica para diferentes formas de ventana [10].	28
Figura 5. Distribución de la iluminancia en el plano de trabajo [12].	30
Figura 6. Distribución de la iluminancia en el plano de trabajo con un difusor [12].	30
Figura 7. Esquema del cambio de declinación del Sol respecto al plano del Ecuador [14].....	32
Figura 8. Variación mensual de la declinación del Sol (δ) [14].....	33
Figura 9. Movimiento aparente del sol [14].	34
Figura 10. Sistema típico de control de iluminación natural [18].	38
Figura 11. Trípode usado para medir.....	47
Figura 12. Representación 3D del comportamiento del Df en el aula 201, 8:00 am, radiación fachada sur.....	50
Figura 13. (a). Df del aula 201 respecto a la radiación incidente en la fachada sur.	51
Figura 14. (b). Df del Aula 201, según radiación incidente en la terraza.....	52
Figura 15 Curva promedio Df Vs d, aula 201, según radiación en las fachadas.	53
Figura 16. Df Vs distancia, aula 202, respecto a la radiación en las fachadas.	53
Figura 17. Curva promedio Df Vs d, aula 202, respecto a la radiación en las fachadas.	54

Figura 18. Curvas comparativas promedio Df Vs d, aula 402 respecto a fachadas.	56
Figura 19. Curva promedio <i>SI</i>	57
Figura 20. Df Vs d, aula 404 respecto a la fachada.	58
Figura 21. Df Vs d, <i>SEP</i> respecto a la fachada.	59
Figura 22. Movimiento solar aparente para el edificio IE [21].	60
Figura 23. Curvas promedio Df Vs d, piso 2, respecto a la radiación en la fachada Sur.	61
Figura 24. Curvas promedio Df Vs d, piso 3, respecto a la radiación en la fachada Sur y Norte.....	61
Figura 25. Curvas promedio Df Vs d, piso 4, respecto a la radiación en la fachada Sur y Norte.....	62
Figura 26. Curvas promedio Df Vs d, pasillo 2, respecto a la radiación en la fachada.	63
Figura 27. Curvas promedio Df Vs d, pasillo 3, respecto a la radiación en la fachada.	63
Figura 28. Curvas promedio Df Vs d, pasillo 4, respecto a la radiación en la fachada.	64
Figura 29. Curvas Df Vs d, Zona Lockers, respecto a la radiación en la fachada. .	65
Figura 30. Sistema de iluminación artificial aula 201.	67
Figura 31. Curva iluminación artificial aula 201.....	67
Figura 32. Sistema de iluminación artificial aula 202.	68
Figura 33. Curva iluminación artificial aula 202.....	69
Figura 34. Sistema de iluminación artificial <i>SEDE3T</i>	70
Figura 35. Curva iluminación artificial sala de espera <i>DE3T</i>	71
Figura 36. Plano arquitectónico piso 2 del edificio <i>IE</i>	77
Figura 37. Modelo básico piso 2 del edificio <i>IE</i>	77
Figura 38. Ejecución comando Limpiar en AutoCAD.	78
Figura 39. Asistente de importación de archivos Dialux.....	79
Figura 40. Esquema básico 2D del modelo.	79

Figura 41. Elaboración de la geometría del local.....	80
Figura 42. Geometría exterior del local.....	80
Figura 43. Geometría interior del local.....	81
Figura 44. Inserción y características de las ventanas exteriores.....	81
Figura 45. Inserción y características de elementos del ambiente.....	82
Figura 46. Modelo aproximado del aula 201 del edificio <i>IE</i>	83
Figura 47. Sistema de iluminación artificial aula 201.	85
Figura 48. Modelo final piso 2.	85
Figura 49. (a). Vista panorámica del modelo virtual del edificio <i>IE</i>	89
Figura 50. (b). Vista frontal del modelo virtual del edificio <i>IE</i>	89
Figura 51. (c). Vista posterior del modelo virtual del edificio <i>IE</i>	90
Figura 52. Curvas medida y simuladas. Hora 10:00 am.	92
Figura 53. Curvas medida y simuladas. Hora 4:00 pm.	92
Figura 54. Modelo cielo despejado.	96
Figura 55. Modelo cielo cubierto.	96
Figura 56. Modelo de valores obtenidos en medición.....	97
Figura 57. Comportamiento diario.....	98
Figura 58. Ventana emergente inicial.	103
Figura 59. Menú principal.....	104
Figura 60. Marco Selección de espacio (Marco 1).....	105
Figura 61. Formulario UBICACIÓN DE ESPACIOS POR NIVELES.....	105
Figura 62. Marco Condición de uso (Marco 2).....	106
Figura 63. Curva de uso. Análisis ideal.....	106
Figura 64. Curva de uso. Análisis ajustado.....	107
Figura 65. Marco determinación del mes (Marco 3).....	107
Figura 66. Marco Nivel de Set Point (Marco 4).	108
Figura 67. Marco radiación solar horizontal (Marco 5).....	109
Figura 68. Marco análisis actual y resumen general (Marco 6).....	109
Figura 69. Pestaña “Información general” del formulario INFORME.....	110
Figura 70. Pestaña “Gráficos1”. Ver análisis ideal.	111

Figura 71. Pestaña “Gráficos1”. Ver análisis ajustado.	112
Figura 72. Pestaña “Gráficos2”.....	113
Figura 73. Pestaña “Gráficos3A”.....	114
Figura 74. Pestaña “Gráficos3B”.....	115
Figura 75. Formulario histórico.	116
Figura 76. Marco Archivo (Marco 7) e Información adicional (Marco 8).....	116
Figura 77. Plano horizontal imaginario ubicado en la terraza del edificio.	117
Figura 78. Condición de uso para el análisis ideal. Todas las horas registran presencia.	119
Figura 79. Condición de uso para el análisis ajustado. Todas las horas registran presencia.	119
Figura 80. Edición de la figura 3.2.	120

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Niveles de iluminancia [5].	21
Tabla 2. Espacios considerados en el desarrollo del trabajo de grado.	23
Tabla 3. Valores de reflectancias de superficies interiores [10].	28
Tabla 4. Promedio mensual de horas de luz solar para el Edificio IE [7].	34
Tabla 5. Características de algunos elementos de control de iluminación [19].	39
Tabla 6. Ahorro energético máximo anual según el elemento de control y el tipo de instalación [20].	40
Tabla 7. Tipos de espacio edificio IE	43
Tabla 8. Modelos enmallado espacios edificio IE.	44
Tabla 9. Calculo del Df según el espacio.	49
Tabla 10. Iluminancia media medida de los espacios del edificio <i>IE</i>	72
Tabla 11. Lectura del nivel crítico <i>SET POINT</i>	73
Tabla 12. Promedio puntos equidistantes a la ventana de la fachada Sur.	73
Tabla 13. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 201.	74
Tabla 14. Magnitudes de los Df VS distancia aula 201, fachada.	75
Tabla 15. Grados de reflexión usados en el modelo.	84
Tabla 16. Rho de los objetos usados en el modelo	88
Tabla 17. Coeficientes de determinación según fachada.	93
Tabla 18. Clasificación según curvas de simulación.	95
Tabla 19. Zonas de tendencias.	95
Tabla 20. Valores en lux para tres puntos a distintos y fachada para cada hora del día.	98

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Curvas de comportamiento lumínico (Iluminación natural)	132
ANEXO B. Curvas de comportamiento lumínico (Iluminación artificial)	173
ANEXO C. CONSTRUCCIÓN DE PUERTAS EN DIALUX.....	189
ANEXO D. Curvas de comportamiento lumínico (Simulación).....	198
ANEXO E: Metodología para el cálculo del Df según el modelo de enmallado ...	237
ANEXO F. Cálculo de la incertidumbre en el proceso de medida.....	246

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN LOS ESPACIOS INTERIORES DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA*

AUTORES: Carlos Andrés Expósito Cáceres**
Diego Andrés Galvis Neira

PALABRAS CLAVES: Factor de luz diurna, Dialux, Iluminancia, Radicación solar.

DESCRIPCIÓN

El ahorro energético se ha convertido en uno de los factores más importantes en el diseño de edificaciones. Acorde con esto, es necesario investigar y buscar nuevas técnicas para obtener mayor conocimiento sobre los sistemas de iluminación, logrando así integrar de manera eficiente y eficaz la iluminación natural y artificial lo que hoy en día se conoce como sistemas de iluminación híbridos.

Con base en lo anterior, este trabajo de grado se propone dar una perspectiva sobre el comportamiento de la luz solar y la iluminancia artificial en los espacios del edificio de Ingeniería Eléctrica teniendo como factor determinante el clima tropical de la zona geográfica de Bucaramanga. Con su aplicación se busca generar curvas de comportamiento del factor de luz diurna (Df. Según RETI-LAP CLD) y con el cual se pueden describir las características de iluminación de cada espacio.

En la primera etapa del proyecto se midió la iluminancia natural y artificial durante las horas de luz solar, con estas lecturas se crearon las curvas de comportamiento de iluminación natural y posteriormente se realiza la medición de la iluminación artificial con la cual se crean las curvas de comportamiento de la iluminación artificial. Siguiendo con la metodología propuesta se realiza un modelo 3D en Dialux con el cual se simula la iluminación natural y artificial en cada área del edificio, estas son validadas mediante los resultados hallados mediante la medición y por último se crea una herramienta computacional en Excel que permite estimar el consumo de energía del sistema de iluminación bajo condiciones de uso, radiación solar, técnicas de automatización existentes y curva establecidas.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: MSc. German Osma Pinto. Co-directores: Dr. Gabriel Ordóñez Planta, Ing. Laura Amado Duarte

ABSTRACT

TITLE: CHARACTERIZATION OF INDOOR LIGHTING IN ELECTRICAL ENGINEERING BUILDING*

AUTHORS: Carlos Andrés Expósito Cáceres**
Diego Andrés Galvis Neira

KEYWORDS: Daylight Factor, Dialux, illuminance, solar radiation.

DESCRIPTION

Energy saving has become one of the most important building design factors. Consistent with this, it is necessary to investigate and find new techniques to obtain more knowledge about lighting systems, achieving integrate efficiently and effectively natural and artificial lighting what today is known as hybrid lighting systems.

Based on the above, this paper grade is proposed to give an insight into the behavior of sunlight and artificial lighting in the building's spaces Electrical Engineering having as determinant the tropical climate of the geographical area of Bucaramanga. Its application is to generate performance curves daylight factor (Df. According RETILAP CLD) and which can describe the characteristics of each space lighting.

In the first stage of the illuminance was measured during natural and man- hours of sunlight, With These readings curves and natural behavior of light created post - quently the measurement is made with artificial lighting which create the curves behavior of artificial lighting. Following the methodology proposed UN 3D model is done in Dialux with which the natural and artificial lighting is simulated in each area of the building, these are validated by the results found by measuring and finally a computational tool is created in Excel to estimate the energy consumption of the lighting system under the conditions of use, solar radiation, existing automation techniques and established curve.

* Degree work.

** Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director: MSc. German Osma Pinto. Co-directors: Dr. Gabriel Ordóñez Plata, Ing Laura Amado Duarte

INTRODUCCIÓN

La iluminación de espacios se divide según su fuente, en luz natural y luz artificial [1]. Si bien la luz natural tiene numerosas ventajas en los contextos psicológico, medio ambiental y económico, carece de control por sí sola en cuanto intensidad luminosa se refiere, por lo cual es necesario complementarla o reemplazarla por luz artificial.

En la actualidad, existen diversas estrategias para integrar la luz natural y la luz artificial mediante sistemas de control del alumbrado artificial en respuesta al aporte de luz natural, consiguiendo un ahorro sustancial de energía, entre otros beneficios [2], sin sacrificar la calidad de la iluminación [3], y se denominan sistemas de iluminación híbrido inteligente.

La integración consiste en implementar un sistema de control de luz eléctrica que tenga en cuenta los cambios de la luz natural del día. Tal sistema detecta la ausencia de luz en determinado espacio y proporciona una cantidad predeterminada de iluminación artificial y según el tipo de tecnología empleado, el sistema puede aportar sólo la cantidad necesaria procurando uniformidad de la iluminancia del espacio. El sistema puede incluir detectores de ocupación que enciendan las luces cuando la habitación está ocupada o las apague cuando esté vacía [4].

Así mismo, los proyectos de iluminación interior tratan de incorporar en menor o mayor grado la iluminación híbrida debido a los beneficios mencionados y al marco reglamentario existente en algunos países, como es el caso del RETILAP en Colombia. Este reglamento da lineamientos básicos sobre cómo llevar a cabo el aprovechamiento de la luz natural [5]; aunque no se exige el cumplimiento de un ahorro energético específico.

La Universidad Industrial de Santander, en aras de apropiarse de diversas estrategias energéticas verdes, entre ellas la estrategia de iluminación híbrida automatizada, impulsó la construcción del Edificio de Ingeniería Eléctrica como piloto de construcción verde. Esta edificación ha permitido analizar el desempeño de algunas técnicas de iluminación.

Su diseño propende por garantizar un nivel de iluminación adecuado según el RETILAP y tiene en sus instalaciones un conjunto de elementos con el fin de aprovechar la iluminación natural. Sin embargo, en lo que respecta al desempeño lumínico en los espacios interiores aún no ha sido caracterizada la reducción del consumo energético debido a la iluminación artificial.

Para determinar tal información, se realizaron mediciones intensivas en los espacios del Edificio de Ingeniería Eléctrica (aulas, oficinas y espacios comunes), con el fin de obtener el aporte de iluminación natural, la iluminancia artificial y el set point ajustado en las fotoceldas; para esto se consideró un plano horizontal de referencia a una altura de 0,75 metros. A partir de esto, se establecieron curvas de comportamiento lumínico natural por espacio.

Con el propósito de obtener un modelo confiable de la caracterización, surge la necesidad de verificar el modelo con otra fuente de datos; dicha fuente es la simulación, que en el mejor de los casos brinda las características antes mencionadas y también incluirá flexibilidad en el modelo, de la forma en que si son necesarios datos futuros sea posible utilizar el modelo virtual.

Las simulaciones de iluminación natural y artificial se realizaron en la herramienta computacional Dialux, que por medio de la definición de características propias del espacio y tiempo permite realizar el modelado virtual del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Entre los parámetros a definir figuran: Ubicación geográfica, dimensio-

namiento, materiales constructivos, movimiento aparente solar, modelo de cielo y permisividad en el manejo de obstrucciones solares.

Finalmente, se desarrolló un aplicativo computacional en EXCEL para visualizar las curvas características y el consumo energético de los sistemas de iluminación para los espacios del Edificio de Ingeniería Eléctrica según escenarios de presencia, comportamiento dinámico del sol y técnicas de control de la iluminación artificial las estrategias de control a ser consideradas son control ON/OFF total, dimerizado total, control ON/OFF zonificado y dimerizado zonificado

Declaración del problema y justificación para su solución

Se puede afirmar es que la iluminación constituye uno de los mayores consumos de energía eléctrica en edificaciones de uso académico (colegios y universidades) en ciudades colombianas. Este servicio representa un valor cercano a 70% en colegios y al 30% en universidades en las ciudades de Bogotá y de Medellín [6].

Dentro de este grupo de edificaciones de uso académico se encuentra el Edificio de Ingeniería Eléctrica de la UIS, el cual se caracteriza por:

- Su funcionamiento con variedad de sistemas de iluminación que incluyen sensores de presencia, fotoceldas y demás componentes.
- Su ubicación geográfica y su uso que la categoriza como una edificación de uso mayormente diurno con exigencia visual media ubicada en un entorno tropical, donde el recurso solar está disponible todo el año como mínimo 11,7 horas al día (dato promedio mensual) [7].

El sistema de iluminación artificial está diseñado para garantizar un nivel de iluminación artificial según RETILAP. La Tabla 1 muestra los niveles de iluminación máximos y mínimos para espacios en instituciones educativas. Su instalación eléc-

trica incluye un conjunto de dispositivos para aprovechar la iluminación natural; la cual es significativa debido a su orientación, ubicación y diseño arquitectónico de fachada. Sin embargo, no se ha estimado el aporte de iluminación natural y la disminución del consumo energético por iluminación artificial.

Tabla 1. Niveles de iluminancia

COLEGIOS Y CENTROS EDUCATIVOS	UGR L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo	Medio	Máximo
Salones de clase				
Iluminación general	19	300	500	750
Tableros	19	300	500	750
Elaboración de planos	16	500	750	1000
Salas de conferencias				
Iluminación general	22	300	500	750
Tableros	19	500	750	1000
Bancos de demostración	19	500	750	1000
laboratorios	19	300	500	750
Salas de arte	19	300	500	750
Talleres	19	300	500	750
Salas de asamblea	22	150	200	300

Fuente: M. de M. y E. República de Colombia, *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP*, 1st ed. Bogota, Colombia, 2009

Objetivos del trabajo

El trabajo de grado permitió caracterizar el comportamiento lumínico de espacios interiores del Edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de simulaciones y mediciones en campo según escenarios de iluminación natural.

En el desarrollo de la investigación se cumplieron los siguientes objetivos:

- Establecer curvas de comportamiento lumínico de la iluminación natural y artificial de cada espacio.

- Realizar el modelo virtual de espacios del Edificio de Ingeniería Eléctrica en el software de simulación lumínica DIALux.
- Desarrollar un aplicativo que permita estimar el consumo energético por espacio según condiciones de uso, radiación solar, curvas lumínicas establecidas y estrategias de automatización de la iluminación artificial.

Alcance del trabajo

Se modelaron virtualmente los espacios del Edificio de Ingeniería Eléctrica (aulas, oficinas y espacios comunes) en un software de iluminación. Se realizó un análisis de la iluminación natural según variación horaria y nivel de obstrucción y parasoles existentes, a partir de lo cual se estableció curvas de comportamiento lumínico por espacio. Esto fue validado según mediciones en sitio. Posteriormente, se realizaron simulaciones del comportamiento lumínico y con ello establecer el comportamiento de la iluminación natural y artificial de cada espacio.

Por último, se desarrolló un aplicativo en Excel que permite estimar el consumo energético por espacio según las condiciones de uso, comportamiento dinámico de la radiación solar, curvas lumínicas establecidas (iluminación natural y artificial) y estrategias de control de la iluminación artificial.

Las estrategias de control a ser consideradas son control ON/OFF total, dimerizado total, control ON/OFF zonificado y dimerizado zonificado. Los espacios considerados se especifican en la Tabla 2.

Tabla 2. Espacios considerados en el desarrollo del trabajo de grado.

Piso	Contiene:	Piso	Contiene:
Cero (0)	Zona cátedra para atención a los estudiantes (ZCP)	Tres (3)	Aula 301
	Cafetería docentes cátedra (CAFC)		Aula 302
	Pasillo		Aula 304
	Baños		Aula 305
Uno (1)	Sala de estudio grupal (CE2)		IEEE
	Secretaría centro de estudios (CE1)		Pasillos
	Sala de estudio individual (SI)		Baños
	Aula 103		Cuarto técnico (CT3)
	Pasillo		Aula 401
	Baños		Aula 402
	Cuarto técnico (CT1)	Aula 404	
Dos (2)	Aula 201	Cuatro (4)	Aula 405
	Aula 202		Aula 406
	Aula 204		Pasillos
	Aula 205		Baños
	Aula 206		Cuarto técnico (CT4)
	Aula 207		Sala de espera pregrado (SEP)
	Pasillos		Coordinación de pregrado (CP)
	Baños		Secretaría posgrado (SP)
Cuarto (4)	Cuarto técnico (CT2)	Quinto (5)	Proyectos y servicios (PS)
			Coordinación de calidad (CC)
			Dirección E3T (DE3T)
			Sala de espera Dirección E3T (SEDE3T)
			Sala de reuniones (SR)
	Pasillo exterior a oficinas		

Descripción del documento

Este trabajo de grado tiene por finalidad establecer el consumo energético del sistema de iluminación del Edificio de Ingeniería Eléctrica mediante las curvas de comportamiento lumínico. Las curvas serán construidas a partir de mediciones en

sitio, validadas y extrapoladas a través del análisis resultante de los valores obtenidos en simulación.

El documento consta de seis capítulos; sus dos primeros son introductorios a la temática; en un tercer capítulo se aborda la presentación de la medición de iluminancia natural y artificial de los espacios interiores del Edificio de Ingeniería Eléctrica. Asimismo, el cuarto capítulo trata sobre el modelado virtual de la edificación y la simulación de iluminancia. El aplicativo computacional de cálculo del consumo de energía eléctrica del sistema de iluminación artificial es mostrado en el quinto capítulo. Las conclusiones y recomendaciones se exponen en el sexto capítulo. La parte final del documento contiene los anexos que complementan y profundizan la realización del trabajo de grado.

1. CONSIDERACIONES GENERALES

En este capítulo se presentan los tópicos generales del trabajo de grado tales como: los sistemas de iluminación híbridos, el uso eficiente de la luz natural mediante estrategias de control y regulación y la medición en campo como estudio del comportamiento lumínico de los espacios de una edificación verde.

1.1 SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL

Se denomina sistema de iluminación natural al conjunto de componentes que en un edificio o construcción son utilizados para iluminar con luz natural. La cantidad, calidad y distribución de la luz interior depende del funcionamiento conjunto de los sistemas de iluminación, ubicación de las aberturas y de las superficies envolventes [8].

Básicamente, existen tres tipos de sistemas de iluminación natural: Iluminación lateral, cenital y combinada [8]. Mientras la iluminación lateral aprovecha la luz solar que ingresa por los costados del edificio, la iluminación cenital es más dinámica aprovechándose de la posición del sol y su incidencia en el techo [4].

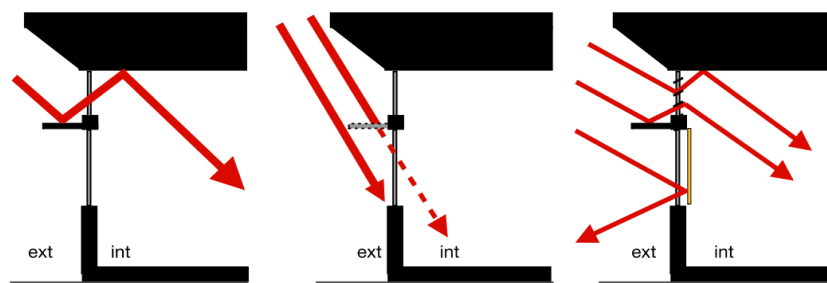
Los sistemas de iluminación cenital se caracterizan por su potencial para iluminar con calidad y cantidad, obteniendo más fácil iluminación homogénea que en el caso lateral, además de que se puede conseguir una iluminación profunda, pero por sí solos estos sistemas presentan problemas de calentamiento excesivo, deslumbramiento y reflejos molestos [9].

Uno de los problemas de la iluminación lateral es su ostensible disminución de iluminación al alejarse de la ventana y como dato no menos importante, un aumento en el área de la ventana no es proporcional a un aumento de la iluminación (es menor) [9].

Por lo tanto, en la mayoría de los casos lo mejor es usar una iluminación combinada en la que se saque máximo provecho de los beneficios de la iluminación natural, donde los elementos más usados son las repisas de luz, túneles solares, atrios, ventanas (ubicación y forma) y características de los materiales en la edificación [10].

A continuación se dan ejemplos sobre los elementos anteriormente mencionados. En la Figura 1 se muestran distintas combinaciones de repisas de luz donde con ayuda de celosías se puede direccionar la luz que incide; la Figura 2 muestra un estante de iluminación cenital como lo es el túnel solar; la Figura 3 son distintas combinaciones para utilizar atrios, los que se pueden emplear como iluminación cenital o iluminación combinada; la Figura 4 destaca el comportamiento de la distribución lumínica según la forma de la ventana y ubicación dentro del mismo muro y la Tabla 1 relaciona características de los espacios interiores (color y material) con el nivel de reflectancia.

Figura 1. Diferentes combinaciones entre repisas de luz y celosías [10].



Fuente: “Estrategias de transmisión de la luz natural.” [Online]. Available: [http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos_Parte2.pdf](http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif-Publicos_Parte2.pdf). [Accessed: 10-Jul-2014]

Figura 2. Túnel solar en Santiago de Chile [10].



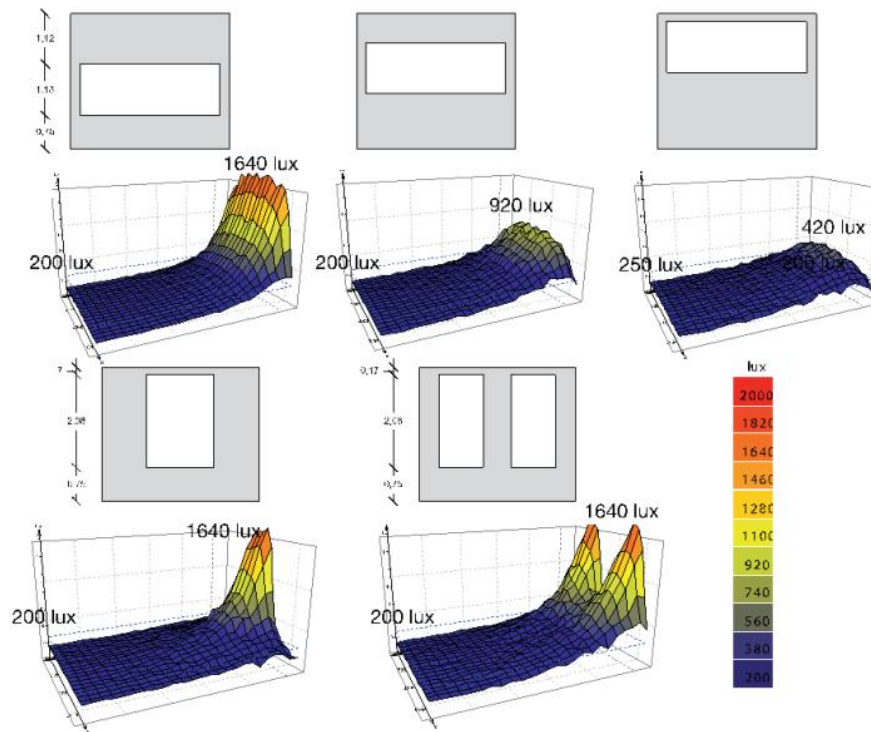
Fuente: “Estrategias de transmisión de la luz natural.” [Online]. Available: http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos_Parte2.pdf. [Accessed: 10-Jul-2014]

Figura 3. Esquemas de organización del atrio en el edificio



Fuente: “Estrategias de transmisión de la luz natural.” [Online]. Available: http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos_Parte2.pdf. [Accessed: 10-Jul-2014]

Figura 4. Distribución luminica para diferentes formas de ventana



Fuente: “Estrategias de transmisión de la luz natural.” [Online]. Available: http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos_Parte2.pdf. [Accessed: 10-Jul-2014]

Tabla 3. Valores de reflectancias de superficies interiores

COLORES	REFLECTANCIA	MATERIALES	REFLECTANCIA
Blanco	0.70 - 0.85	Pintura blanca nueva	0.65 - 0.75
Amarillo	0.50 - 0.75	Hormigón	0.25 - 0.50
Azul	0.40 - 0.55	Ladrillo claro	0.45 - 0.50
Verde	0.45 - 0.65	Ladrillo oscuro	0.30 - 0.40
Rojo	0.30 - 0.50	Mármol blanco	0.60 - 0.70
Granito	0.15 - 0.25	Madera	0.25 - 0.50
Marrón	0.30 - 0.40	Espejos	0.80 - 0.90
Gris oscuro	0.10 - 0.20	Acero pulido	0.50 - 0.65
Negro	0.03 - 0.07	Vidrio reflectante	0.20 - 0.30
		Vidrio transparente	0.07 - 0.08

Fuente: “Estrategias de transmisión de la luz natural.” [Online]. Available: http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos_Parte2.pdf. [Accessed: 10-Jul-2014]

1.2 IMPORTANCIA E IMPACTOS DE LA ILUMINACIÓN NATURAL EN CLIMAS TROPICALES

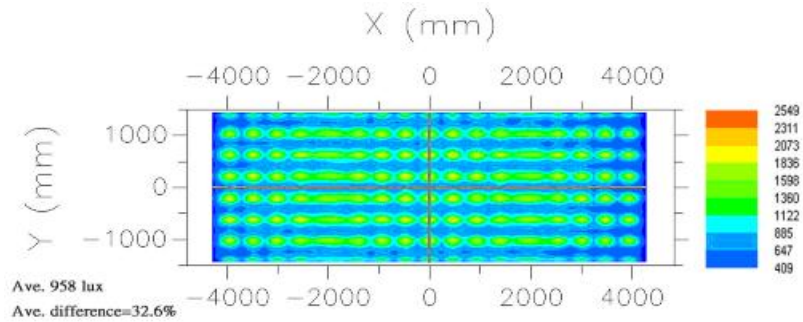
La importancia de la implementación de sistemas de iluminación híbridos (luz solar y luz artificial), nace de la necesidad de atenuar los efectos del calentamiento global, como parte del diseño de edificaciones amigables con el medio ambiente o edificios verdes.

Al comparar el uso de la luz día como fuente de iluminación y los sistemas de iluminación artificiales (sistemas LED o fluorescentes) ofrecen información sobre las ventajas y desventajas de los sistemas híbridos; sin embargo, al profundizar en estos aspectos se encuentra la complejidad de los factores que involucran esta comparación.

La iluminación disponible por las mejores condiciones de luz del día es mucho mayor que la aportada por la artificial; por otra parte la luz del día es una cantidad muy variable. Al realizar mediciones fotométricas se puede observar que pueden ocurrir cambios notables en la intensidad de luz en periodos cortos de tiempo. Por tanto, es deseable seleccionar métodos que propendan por mantener constante la intensidad de luz dentro de un espacio de trabajo. Esto es factible a partir de sistemas de iluminación híbridos o mixtos [11].

Utilizando técnicas de simulación se logra obtener una imagen de los resultados de la combinación de la luz día y la luz dada por los sistemas artificiales, un caso es mostrado por Tsuei en donde se realiza la simulación de la luz solar y un sistema de luminarias LED, según la Figura 5 da como resultados, que mediante el aporte del sol y 168 luminarias LED, para un espacio no mayor a 200 m² se obtiene una iluminancia media de 958 lx y una diferencia promedio en el plano de trabajo del 32,6% [12].

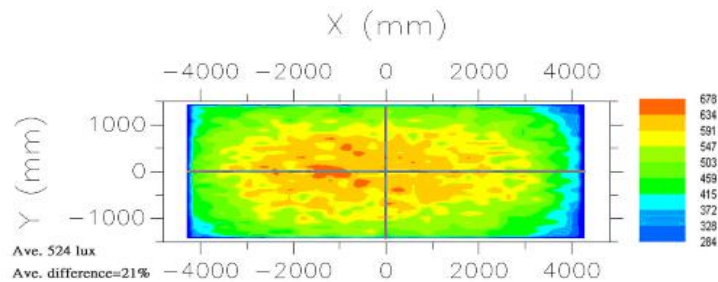
Figura 5. Distribución de la iluminancia en el plano de trabajo



Fuente: XÓCHITL GÁLVEZ, B. "Diseño de Edificios Verdes e Inteligentes," Universidad Autónoma de México, Ciudad de México, México, 2010

Teniendo en cuenta la incomodidad visual causada por el deslumbramiento, se instaló un difusor LG VEGACHEM Gr1 (2t) debajo de la abertura de luz natural, con lo cual se redujo el deslumbramiento, se consiguieron 524 lux en promedio, y se mejoró la uniformidad como se muestra en la Figura 2.6

Figura 6. Distribución de la iluminancia en el plano de trabajo con un difusor



Fuente: XÓCHITL GÁLVEZ, B. "Diseño de Edificios Verdes e Inteligentes," Universidad Autónoma de México, Ciudad de México, México, 2010

Guiando la luz del sol en los espacios interiores, se puede realizar una disminución en el consumo de energía de 1.1W a 2.38W por luminaria, de la iluminancia media entre la iluminación LED y la luz solar. Suponiendo dos horas del mediodía,

la luz del sol en un día soleado, a 200 días de sol al año, se puede calcular fácilmente el ahorro de carga de energía durante un año de 512 Wh [12].

Un ejemplo del impacto de los climas tropicales en el diseño de sistemas de iluminación híbridos se visualiza en el Centro Corporativo Santafé ubicado en la Ciudad de México, donde la iluminación artificial fue reformada y combinada con elementos electrónicos que permiten combinar el uso de la luz diurna y la compensación con iluminación artificial empleando dimmer, lámparas dimerizables, balastos electrónicos, fotoceldas, sensores de presencia, etc.

Los datos que se consideraron fueron los siguientes: El sistema de alumbrado contaba con 3 593 luminarias. El sistema de iluminación artificial se operaba un promedio de 16 horas diarias de lunes a viernes (de 6 am a 10 pm); los sábados operaba 6 horas (de 8 am a 2 pm) y los domingos no operaba; lo cual representaba un total de 86 horas por semana y 3 949 horas por año, con el uso del dimmer y los sensores de presencia se redujo en promedio un 43,7% el tiempo de uso del sistema en días soleados, lo cual permite un ahorro máximo de energía por gabinete del 16% [12].

El porcentaje de reducción en el sistema instalado no representa un descenso importante en niveles de iluminación ya que es menor al 1% y a que se respeta la luminosidad (lux) requerida para los diferentes espacios de trabajo en oficinas [12].

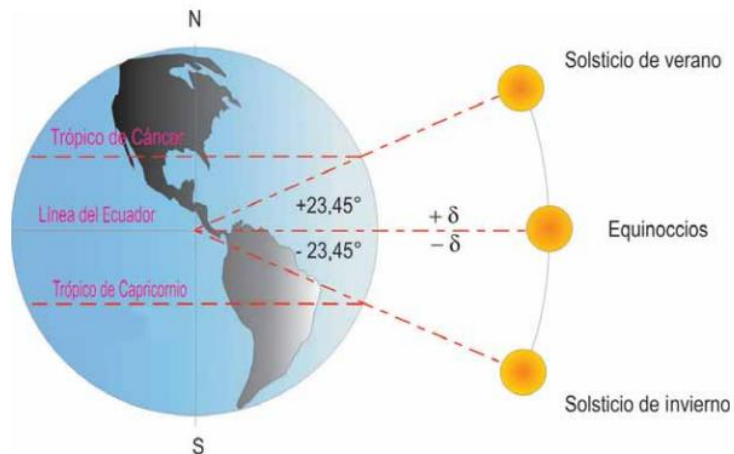
1.3 MOVIMIENTO SOLAR APARENTE

La cantidad y distribución de luz solar que ingresa lateralmente a través de una abertura de muro depende fundamentalmente de la coordinación entre la orienta-

ción del muro y el movimiento aparente solar, que se ve afectado por la fecha, la hora y la latitud de la zona [13].

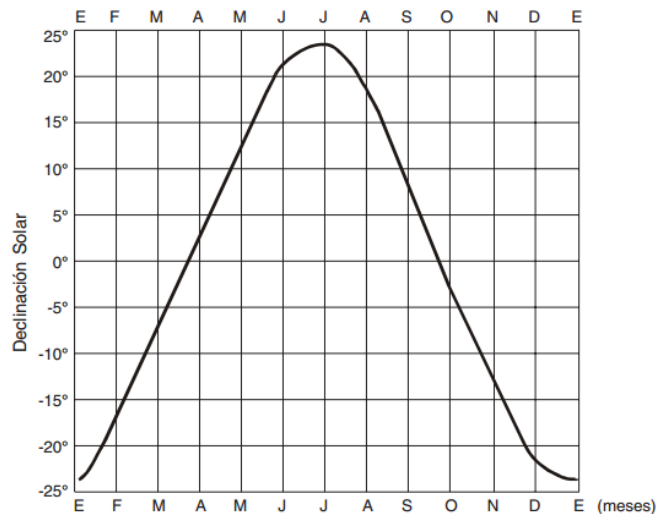
Como se puede apreciar en las figuras 7 y 8, a partir de la fecha se puede conocer la declinación del sol respecto al plano del Ecuador, siendo máxima para el solsticio de verano (21 de junio), mínima en el solsticio de invierno (22 de diciembre) y siendo cero en los equinoccios de primavera y otoño [13], [14]. En el caso de las zonas tropicales, cuando la declinación solar coincide con la latitud de una determinada zona, la radiación solar incide perpendicularmente a la superficie terrestre [13].

Figura 7. Esquema del cambio de declinación del Sol respecto al plano del Ecuador



Fuente: MACIAS, A. M. and ANDRADE, J. "Estudio de generación bajo escenarios de cambio climático," Bogota, Colombia, 2014

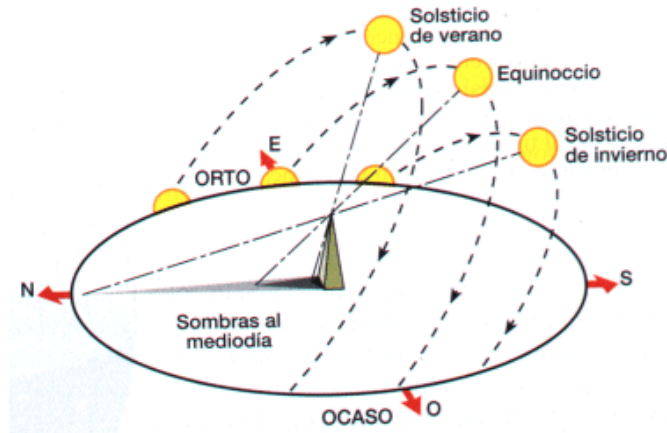
Figura 8. Variación mensual de la declinación del Sol (δ)



Fuente: MACIAS, A. M. and ANDRADE, J. "Estudio de generación bajo escenarios de cambio climático," Bogotá, Colombia, 2014

Lo anterior conlleva a que las coordenadas por donde el sol sale y se pone cambien mensualmente (ver Figura 9). El primer día de la primavera y del otoño el sol sale exactamente por el Este y se oculta por el Oeste. Al acercarse al solsticio de verano, las posiciones de salida y ocaso avanzan hacia el Norte, aumentando también el recorrido del sol en el cielo, que es máximo en este solsticio (día más largo) [14], lo que conlleva a tener el máximo promedio mensual de horas de luz solar (ver Tabla 2). Desde el equinoccio de otoño la salida y puesta del sol retroceden hacia el Sur, alcanzando la trayectoria del sol un valor mínimo en el solsticio de invierno (día más corto) [14], provocando menor promedio de horas de luz solar y de los promedios más bajos de insolación incidente sobre una superficie horizontal. La Tabla 2 presenta la duración diaria promedio de exposición solar para la ciudad de Bucaramanga (Latitud: 7,103; Longitud: -73,103).

Figura 9. Movimiento aparente del sol



Fuente: MACIAS, A. M. and ANDRADE, J. “Estudio de generación bajo escenarios de cambio climático,” Bogota, Colombia, 2014

Tabla 4. Promedio mensual de horas de luz solar para el Edificio IE

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Tiempo promedio	11,7	11,9	12,0	12,2	12,4	12,5	12,5	12,3	12,1	11,9	11,8	11,7

Fuente: NASA, “NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data,” 2014. [Online]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>. [Accessed: 25-Jul-2014]

El ángulo con el que la luz solar incide sobre cierta superficie o edificación dependerá de la hora, debido a la semicircunferencia que traza el Sol desde su salida hasta su puesta. En Bucaramanga la hora de salida oscila entre las 5:34 y 6:11 mientras que el ocaso está entre 17:30 y 18:13 [15].

1.4 NECESIDAD DE LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN HÍBRIDOS

Los sistemas de iluminación híbridos brindan beneficios globales, en la medida de que instalándolos es posible ahorrar energía eléctrica, costos en facturación por

consumo energético y la reducción de la huella de carbono de las edificaciones [16].

Un estudio hecho por la Green Light New York¹ sobre las oficinas en NewYork dio como resultado que se ahorrarían cerca de 70 millones de dólares al año por costos en consumo energético del sistema de iluminación artificial si todos sus espacios fueran adaptados para usar luz natural [16]. Adicional a esto, también se podría tener ahorro por mantenimiento, mejora en las prácticas de construcciones sustentables, aumento de la seguridad de personas y bienes, todo esto sin afectar el confort y las facilidades de uso [17].

La implementación de la temática de edificios verdes es de obligatorio cumplimiento según el REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO (RETILAP) en su sección 450 “EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE CONTROL DEL ALUMBRADO” establece que “Las nuevas edificaciones industriales, comerciales o de uso oficial con más de 500 m² de construcción deben disponer de sistemas de control de iluminación, con criterio URE”, lo que obliga en cuanto sea posible al aprovechamiento de la iluminación natural y control de la iluminación artificial [5].

1.5 ESTRATEGIAS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE ILUMINACIÓN

Las formas de control de iluminación artificial pueden ser agrupadas en su mayoría según como sigue:

¹ Organización que proporciona una educación sobre el uso eficiente de la energía.

- I. Control de encendido y apagado manual: Es la acción ejecutar manualmente el apagado de la iluminación artificial cuando la iluminancia interior de luz del día excede la iluminancia de diseño.
- II. Atenuación del flujo luminoso de las bombillas o dimerización manual: Con el fin de evitar los cambios bruscos de la técnica anterior se usan dispositivos y fuentes que permitan dimerizar la iluminancia a un nivel requerido.
- III. Control de encendido y apagado automático: Utilizando elementos fotoeléctricos y sistemas detectores de presencia se consigue que la iluminación artificial se encienda o se apague según criterios preestablecidos.
- IV. Pasos escalonados con control automático: Haciendo uso de luminarias con balastos multitensión o sistemas de cableado especial se fragmenta el paso de encendido y apagado obteniéndose más niveles de iluminancia.
- V. Sistemas de control automáticos de niveles de iluminación (SACI): Se controla el alumbrado artificial, con el fin de obtener una iluminancia lo más constante posible al transcurrir el día; para dicho fin el sistema debe controlar individualmente o en conjunto los siguientes parámetros:
 - Nivel de iluminancia por la luz artificial o natural.
 - Ocupación de los locales.
 - Horario de ocupación de los locales.

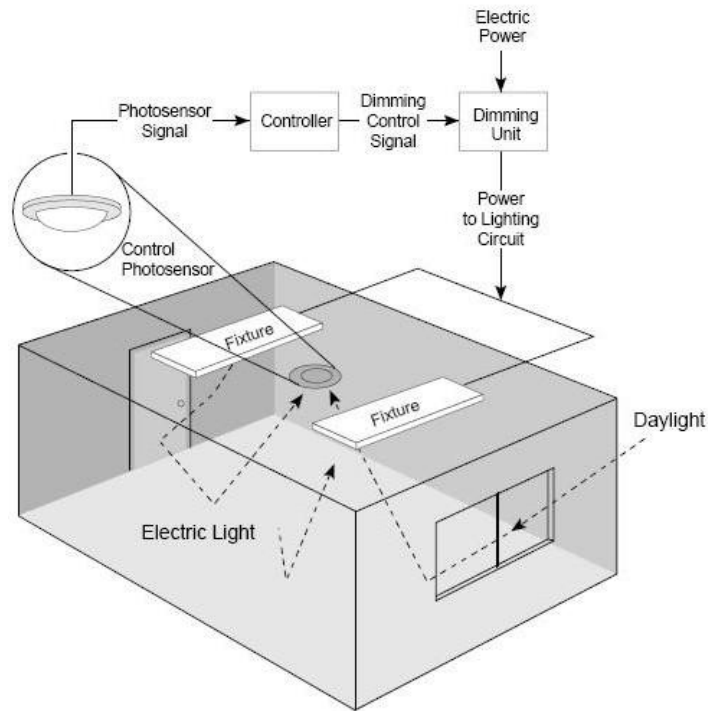
Con la finalidad de mejorar el control del sistema de iluminación híbrido es posible integrarlo con un sistema de domótica o inmótica, aplicando alguno de los métodos de control que se mencionan a continuación [17] [5]:

- a) Control por presencia: Es un sistema de encendido o apagado automático de luminarias que responde a si el local está o no ocupado.

- b) Medir la luz: Según la cantidad de luz en el espacio, tanto natural como artificial, se regula la luz artificial para garantizar un flujo luminoso constante.
- c) La actividad/escenas: La iluminación artificial responde a la actividad de las personas en el espacio.
- d) Programación horaria: Los niveles de iluminación artificial son determinados según fecha y/o hora.
- e) Simulación de presencia: Es la acción de hacer parecer que la edificación está habitada aún sin importar que esté vacía, encendiendo y apagando la iluminación artificial, de manera programada, aleatoria, o de unas rutinas aprendidas por el sistema de domótica.
- f) Limitación de la demanda: Consiste en regular la iluminación en condiciones de emergencia o en previsión de cortes.
- g) Compensación adaptiva: Manejar a disposición los niveles de iluminación en el atardecer para un mejor acomodo visual.

A continuación, en la Figura 10, se muestra un sistema de iluminación híbrido básico que realiza control por fotocelda y luminarias dimerizables:

Figura 10. Sistema típico de control de iluminación natural



Fuente: "Designing a Daylight Harvesting System: Part One." [Online]. Available: <http://www.automatedbuildings.com/news/aug07/articles/zing/070723051101dilouie.htm>. [Accessed: 09-Dec-2014]

1.6 DISPOSITIVOS USADOS EN EL CONTROL DE ILUMINACIÓN

En la Tabla 3 se muestran algunos de los elementos más empleados para el control de la iluminación, junto a la estrategia de control, función y aplicación respectiva.

Tabla 5. Características de algunos elementos de control de iluminación [19].

ESTRATEGIA DE CONTROL	DISPOSITIVO	FUNCIÓN	APLICACIONES
Apagado automático	Sensor de ocupación	Detecta espacios vacíos y nivel de luz	Ubicaciones con presencia y actividad intermitentes
	Detectores de movimiento	Detectar movimiento	Oficinas privadas, salas de conferencias, servicios, salas de descanso
	Planificador	Controlar relés para apagar luces según horario programado	Locales donde resulta aconsejable mantener las luces encendidas durante el horario habitual de trabajo.
	Conmutador de tiempo	De encendido manual y apagado automático tras un intervalo de tiempo preestablecido.	Espacios de poca actividad: Almacenes, salas de equipos mecánicos y eléctricos, espacios de portería.
Control de luz natural	Controladores de conmutación automática	Consiste en resistencias regulables de controladores de atenuación automático y control de luz natural con atenuación automática	Espacios interiores que permiten una iluminación natural adecuada.
Control de iluminación exterior	Célula fotoeléctrica	La célula se ajusta automáticamente a los cambios de salida, puesta de Sol estacional, así como los cambios transitorios de las condiciones de iluminación.	Iluminación interior y exterior de edificios, aparcamientos, carteles, pasillos, etc.
	Reloj astronómico	Reloj que calcula la salida/puesta del sol y envía las señales	

Fuente: SCHNEIDER, E. "Introducción al Control de Iluminación LONWORKS." pp. 8–12, 2010

Como es de esperarse, cada elemento de control aportará más o menos beneficios, según la aplicación donde se le instale. La Tabla 6 muestra el ahorro energético potencial que puede ser conseguido a partir de elementos de control en ubicaciones de distintos usos.

Tabla 6. Ahorro energético máximo anual según el elemento de control y el tipo de instalación [20].

Tipo de instalación	Elemento de Control	Ahorro energético máximo anual
Despacho	Sensor de presencia	45%
	Fotocélula e interruptor	35%
	Dínamo manual o iluminación multinivel	30%
Oficina	Fotocélula e interruptor	40%
	Sensor de presencia	35%
Aula de Enseñanza	Fotocélula e interruptor	40%
	Iluminación multinivel	15%
	Sensor de presencia	25%
Supermercado	Fotocélula e interruptor	15%
	Iluminación adaptativa	40%
Grandes almacenes	Fotocélula e interruptores	60%
	Iluminación multinivel	10%

Fuente: JOS, C. and GONZ, C. "Eficiencia y Sostenibilidad Energética en la Empresa." Bogota, Colombia, p. 12, 2009

1.7 MEDICIÓN DE LA ILUMINANCIA PROMEDIO DE UN ESPACIO

Según el Artículo 410.2.1 del RETILAP, el coeficiente de luz diurna promedio de un espacio interior (CLD) o factor de luz diurna (Df) se calcula como se expresa la Ecuación 2.1.

$$Df = \frac{E_{int}}{E_{ext}} \quad (2.1)$$

El término Df es la relación porcentual de la iluminancia promedio interna producida por la luz natural a la altura del plano de trabajo (E_{int}) y la iluminancia en el exterior (E_{ext}), determinada en el mismo instante con un cielo uniformemente nublado y sin obstrucciones [5].

El Df se mide según lo indicado en la sección 490 del RETILAP. Para lograr una medición adecuada, el espacio debe ser mallado y la iluminancia medida en el centro de cada sección a la altura del plano de trabajo. La iluminancia promedio del área total se puede obtener al promediar todas las mediciones. Este método aplica tanto para iluminación natural como para la artificial, teniendo en cuenta que el aporte artificial se debe medir de noche o evitando el ingreso de iluminación natural, para lo cual se han de tapar las aberturas.

En la toma de lecturas, el equipo de medida (Luxómetro digital) se debe colocar en una base que garantice la distancia del suelo al plano de trabajo. En este caso la altura es 75 cm para salones y oficinas [5].

2. MEDICIÓN DE LA ILUMINACIÓN INTERIOR EN EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

El proceso de medición se centra en describir el comportamiento de la iluminación natural y artificial de los espacios del edificio de Ingeniería Eléctrica. Esto mediante el coeficiente de luz diurna (Df), tomando como referencia para el cálculo la radiación solar incidente en las fachadas y la radiación solar medida por el sensor ubicado en la terraza del edificio. Con lo cual permite comparar estos dos métodos y obtener la mejor descripción de las características de cada espacio del edificio.

De aquí en adelante el factor de luz diurna se representa por la abreviatura Df por sus siglas en inglés Daylight Factor y no por medio de las siglas presentadas por el RETILAP CLD (coeficiente de luz diurna). Se define como la iluminación de luz natural medida en un punto situado en un plano determinado, debido a la luz recibida directa o indirectamente desde un cielo de supuesta o conocida distribución de iluminación y se expresa en porcentaje.

2.1 ZONAS DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

El Edificio de Ingeniería Eléctrica está conformado por oficinas, aulas de clases, baños, cuartos técnicos, corredores, escaleras y salas de estudio. El número de espacios que se caracterizaron se definen en la Tabla 11.

Tabla 7. Tipos de espacio edificio IE

ESPACIO	CANTIDAD
Aulas de clase	16
Oficinas	6
Salas de estudio	2
Baños	10
Cuartos Técnicos	5
Pasillos	5
Sala de profesores cátedra	1
Salas de espera	2
Otros	3

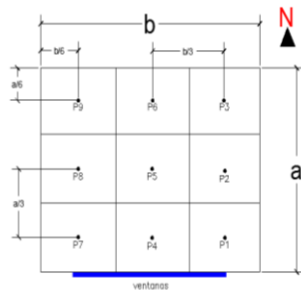
2.2 MODELADO DE LA TRAMA DE PUNTOS DE MEDICIÓN

Para establecer la trama de puntos a medir en cada lugar, se procede a levantar un enmallado según la Sección 490.1 del RETILAP, donde se divide el área de cada espacio en cuadrados y se ubica el punto a medir en el centro de cada cuadro [5].

En la Tabla 4 se definen doce modelos de enmallado para todas las zonas del edificio, los cuales se establecen según las características de cada espacio.

Tabla 8. Modelos enmallado espacios edificio IE.

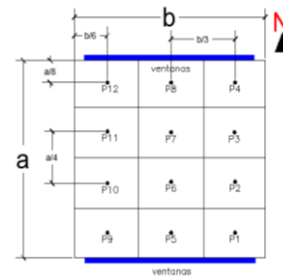
Caso 1



Espacio: 201, 205, 206, 207, 301, 305, 401, 405, 406, IEEE y SRE3T.

Se establece una trama de 9 puntos, usado en las aulas de clase, salas de espera y oficinas que tienen un solo grupo de ventanas.

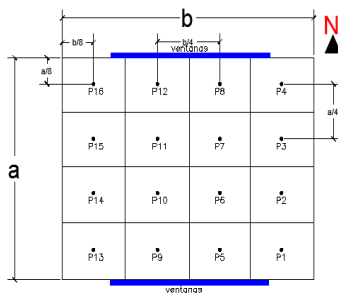
Caso 2



Espacio: 103, 202, 204, 302, 402, 404, CE1, CE2 y SEP.

Trama de 12 puntos distribuidos uniformemente en el área del espacio y se establece en aulas de clase, oficinas, salas de espera y salas de estudio que tienen dos grupos de ventanas en dos de sus superficies laterales.

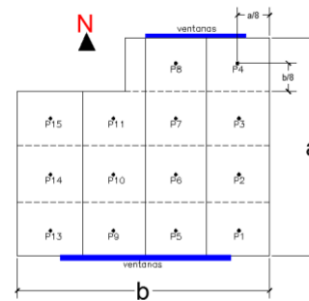
Caso 3



Espacio: SI y ZCP.

Se delimita por una trama de 16 puntos, este modelo está dado por las características del aula ya que presenta dos conjuntos de ventanas y tienen un área promedio mayor a las aulas de clase de edificio IE y debido a esto es necesario agregar una cuarta fila de puntos con el fin de reducir la distancia entre puntos y obtener mayor información.

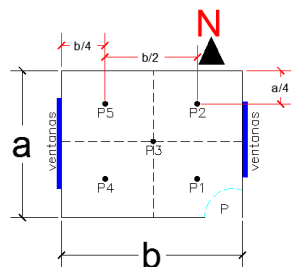
Caso 4



Espacio: 304

Se modela con una trama de 16 puntos, pero debido a la geometría irregular que presenta, dos de los puntos quedan por fuera del área del salón y solo se toman datos de los 14 puntos restantes.

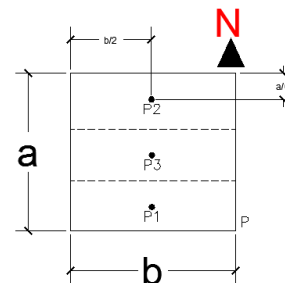
Caso 5



Espacio: CC y CP.

Enmallado de 5 puntos, uno de los cuales está ubicado en el centro del espacio.

Caso 6

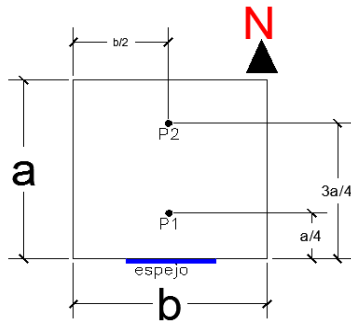


Espacio: PS, DE3T, SP y SEDE3T.

Comprende una trama de 3 puntos, situando a $b/2$ y $a/6$ su punto inicial y una distancia entre puntos de $a/3$.

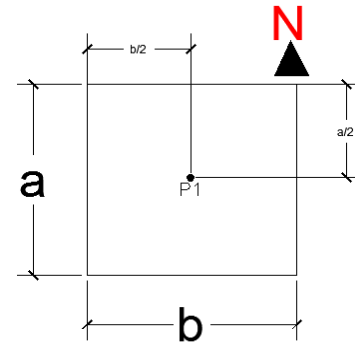
Caso 7

Caso 8



Espacio: Baños del primer nivel al cuarto nivel

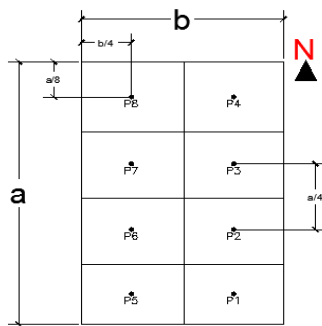
Trama de 2 puntos, la distancia entre puntos se describe en el diagrama del espacio.



Espacio: ZCP, E2C, BCH, BCM, PC y CAFC.

Comprende un único punto centrado. Se considera este punto como suficiente para el estudio del comportamiento lumínico en estos espacios debido a que no tienen una entrada significativa de luz solar como por ejemplo un ventanal.

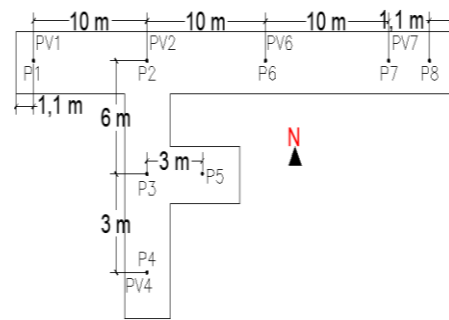
Caso 9



Espacio: E1C

Modelo de 8 puntos distribuidos uniformemente en el espacio y cuya separación entre puntos se describe en el diagrama.

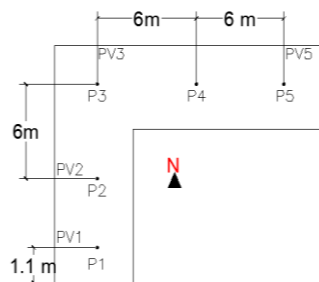
Caso 10



Espacio: Piso 2, Piso 3, Piso 4

Enmallado de 8 puntos, distanciados entre si según el diagrama del modelo.

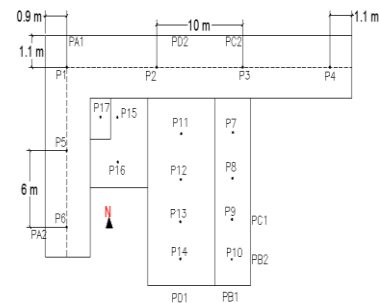
Caso 11



Espacio: Piso 5

La trama de puntos está definida por 5 puntos distribuidos a lo largo del pasillo.

Caso 12



Espacio: Piso 1

Las zonas comunes del primer nivel del edificio se modelan en conjunto, este presenta irregularidades en su geometría y la disposición de las ventanas no es uniforme por ende se plantea el enmallado mostrado.

2.3 METODOLOGÍA DE LA MEDICIÓN

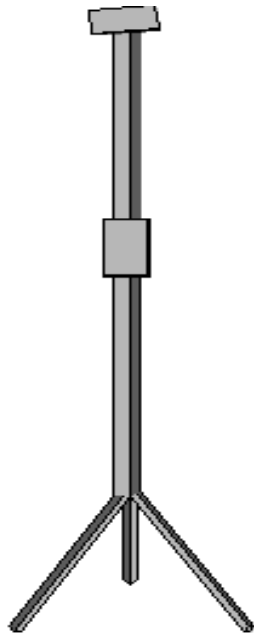
Para el estudio del comportamiento de la iluminación se tomaron tres tipos de lecturas: Iluminación natural, iluminación artificial y nivel de iluminación mínimo requerido por el sistema para activarse.

2.3.1 Medición de la iluminación natural. El proceso de medida se realiza tomando la medida en el punto central de cada rectángulo, definiendo un plano de trabajo imaginario según sea el tipo de labor a realizar, según RETILAP una altura de 0,75 metros para trabajos hechos sentados y 0,85 metros para trabajos hechos de pie [5].

Una segunda medición se hace en los puntos que se ubican en frente de cada fila de puntos y que tienen entrada de iluminación directa por las ventanas, denotados como Pai, Pbi, Pci, y Pdi.

Para tomar las lecturas, se coloca el sensor del luxómetro paralelo al plano de trabajo y a la altura del mismo, esta altura se garantiza mediante una base tripoidal según se muestra la Figura 17, en la cual se ubica el sensor que tiene un grosor de 2 cm y la base de 73 cm, el display del equipo de medida se asegura a la base inferior del tripode. Todas las lecturas se realizan con los circuitos de iluminación TAUL desenergizados y en donde existan tubos solares, se realiza la medida con estos abiertos y una segunda (si es posible) con los tubos cerrados. Como condiciones adicionales en este proceso se abren las ventanas, se cierra la puerta y se verifica que los telones estén arriba.

Figura 11. Trípode usado para medir.



Se toman dos lecturas en cada punto trazado en el enmallado esperando un laxo de tiempo entre cada medida para que la lectura se estabilice. Cada lectura se toma durante un intervalo de tiempo de una hora es decir se toman las lecturas correspondientes a un espacio y este proceso se repite una hora después, llevándolo a cabo desde las 8:00 am hasta las 5:00 pm.

2.3.2 Medición de la iluminación artificial. La lectura del nivel de iluminación artificial dado por el sistema de luminarias, se toma en las horas de la noche en promedio a las 6:10 pm, garantizando la ausencia por completo de la iluminación natural.

Todos los circuitos se habilitan, se procede a energizar todas las luminarias, se toman dos lecturas por punto y se halla un promedio de la medida en cada punto.

2.3.3 Medición de los niveles críticos de iluminación. El nivel crítico de iluminación hace referencia al valor el cual fue ajustada la fotocelda en el espacio, para que bajo la condición de si la iluminación actual es menor a la ajustada (insuficiente), la fotocelda enviará una señal para que el sistema de iluminación artificial se encienda.

Para obtener esta lectura es necesario estar presente en el salón hasta el momento en que se de dicha condición, luego se procede a des-energizar el circuito de iluminación y se toman los datos en cada punto de la trama del espacio, se promedian los valores de puntos equidistantes a la ventana sur y se toma como resultado el valor del punto más alejado a la ventana.

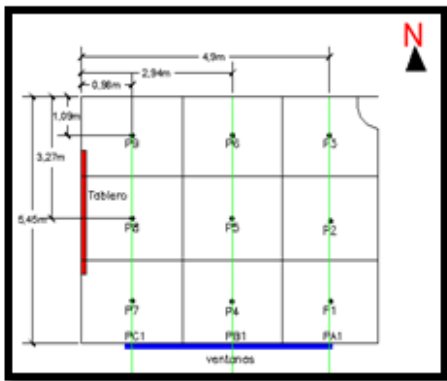
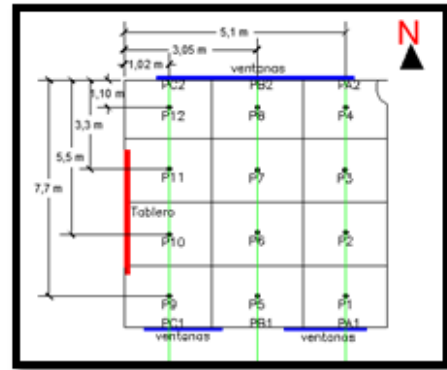
2.4 CURVAS DE COMPORTAMIENTO LUMÍNICO

Como resultado de las mediciones hechas en los espacios del edificio de Ingeniería Eléctrica, se obtuvieron las curvas de comportamiento lumínico para la iluminación natural y artificial que se detallan a continuación.

2.4.1 Curvas características iluminación natural. Los resultados obtenidos en el proceso de medición se describen mediante las siguientes curvas de comportamiento, donde se grafica el D_f respecto a la distancia horizontal desde la ventana representado por la letra d [m], tomando como origen la ventana ubicada en la fachada Sur y se incrementa la distancia hacia la fachada Norte. En el caso de los espacios que poseen ventanales en las fachadas Este y Oeste, se toma como origen la ventana ubicada en la fachada Este y se incrementa la distancia en dirección del Oeste.

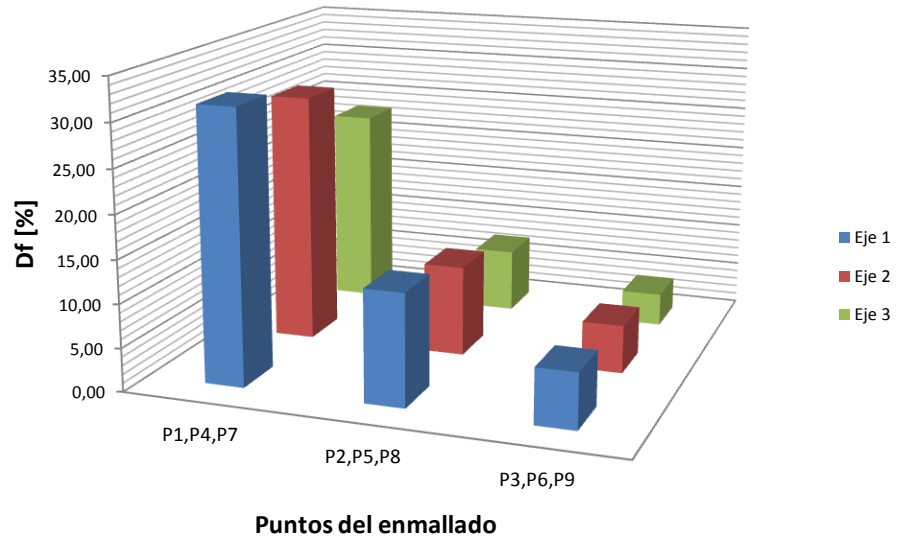
El cálculo del Df se realiza según la metodología presentada por la Tabla 9 para dos modelos de enmallado, el de ventana sencilla y ventana doble. Los diez casos restantes se encuentran plasmados en el Anexo E:

Tabla 9. Cálculo del Df según el espacio.

Caso	Expresión para el cálculo del Df	
	Según radiación fachada	Según radiación terraza
 <p>Caso 1: Ventana sencilla</p>	<p>De los puntos P1 a P3:</p> $Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PA1}}$ <p>De los puntos P4 a P6</p> $Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PB1}}$ <p>De los puntos P7 a P8</p> $Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PC1}}$	<p>Todos los puntos se dividen sobre el valor de la radiación captado por la estación meteorológica ubicada en la terraza del edificio.</p> $Df = \frac{E_{Pi}}{E_{Pest}}$
 <p>Caso 2: Doble ventana</p>	<p>De los puntos P1 a P4:</p> $Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PA1} + E_{PA2}}$ <p>De los puntos P5 a P8</p> $Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PB1} + E_{PB2}}$ <p>De los puntos P9 a P12</p> $Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PC1} + E_{PC2}}$	<p>Todos los puntos se dividen sobre el valor de la radiación captado por la estación meteorológica ubicada en la terraza del edificio.</p> $Df = \frac{E_{Pi}}{E_{Pest}}$

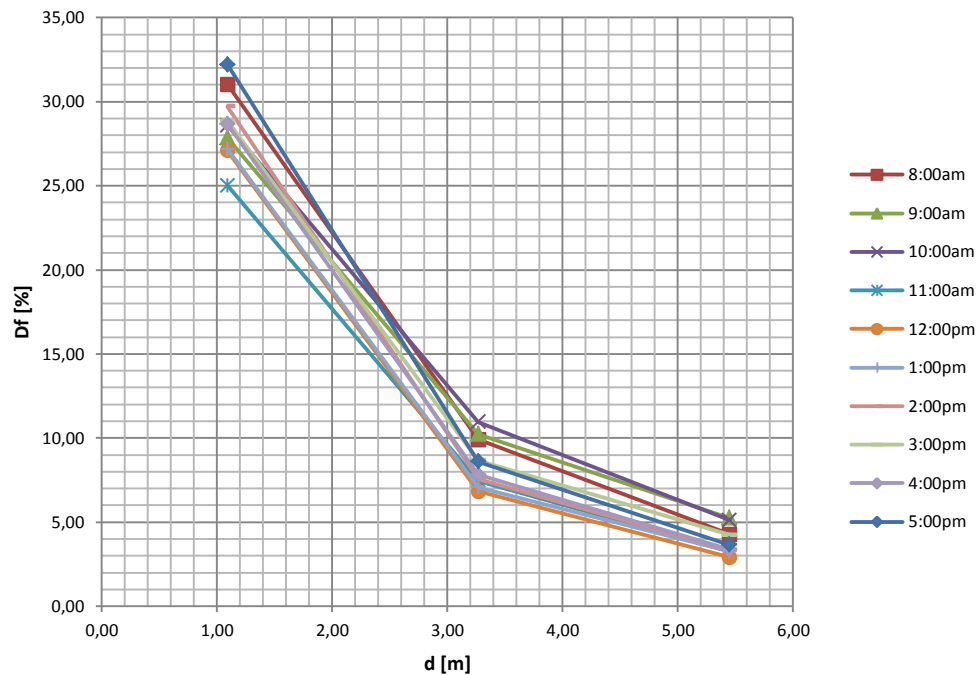
A continuación se presenta los resultados del cálculo del Df para el aula de clases 201 usando la metodología del caso 1 mostrado en la Tabla 9. La Figura 12 describe el comportamiento del Df en todos los puntos del espacio para las 8:00 am, según la radiación incidente en la fachada sur.

Figura 12. Representación 3D del comportamiento del Df en el aula 201, 8:00 am, radiación fachada sur.



Posteriormente se promedian los puntos equidistantes a la ventana, dando como resultado los tres puntos característicos $P_v = \text{Prom}(P_1, P_4, P_7)$, $P_w = \text{Prom}(P_2, P_5, P_8)$ y $P_x = \text{Prom}(P_3, P_6, P_9)$ con los cuales se grafican las curvas presentadas en la Figura 3.3(a).

Figura 13. (a). Df del aula 201 respecto a la radiación incidente en la fachada sur.

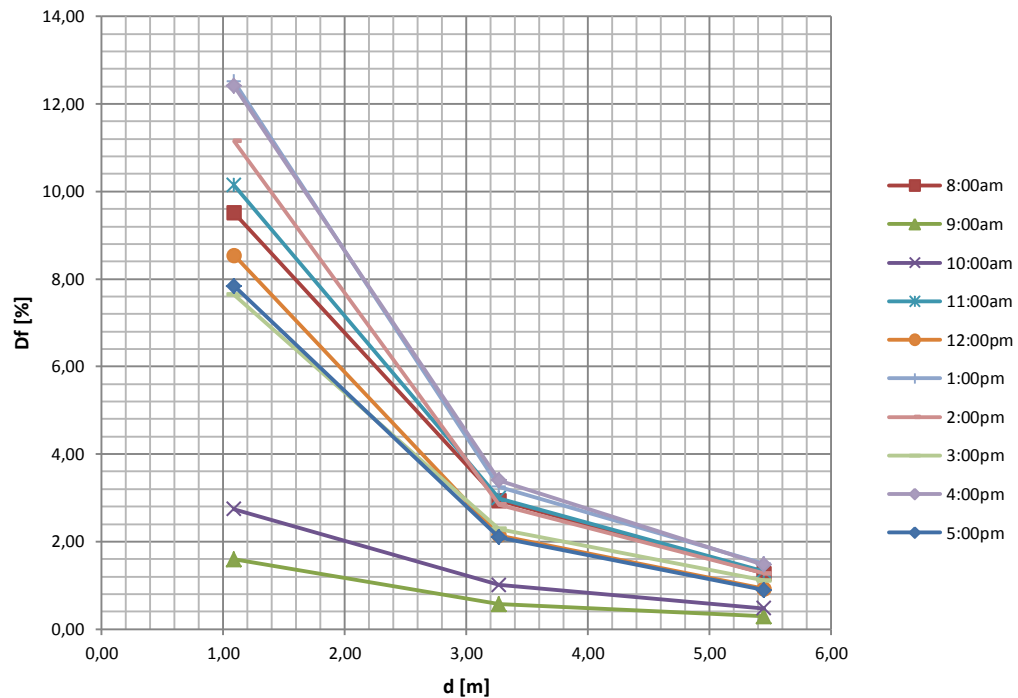


Las curvas resultantes en la Figura 13 (a) detallan una conducta similar del Df respecto a la radiación incidente en la fachada durante las diez horas del día. En este caso el salón de clases cuenta con un solo conjunto de ventanas ubicadas en la fachada sur. Se puede observar un comportamiento coherente en donde el Df es mayor en los puntos más cercanos a la ventana y disminuye al incrementar la distancia de los puntos a la fachada sur.

Al comparar las magnitudes de los DF de las curvas mostradas en la Figura 13(a) con los obtenidos en la Figura 14 (b). Se observa una diferencia significativa donde el punto más alejado de la ventana tiene un valor para las 12:00 pm de 0,92% y el punto más cercano de 8,54% y según la Figura 13(a) de 2,91% y de 27,08% respectivamente. Calculando una diferencia del 31,61% para el punto más lejano a la ventana y un 31,53% en el punto más cercano a la misma, en conclusión la dife-

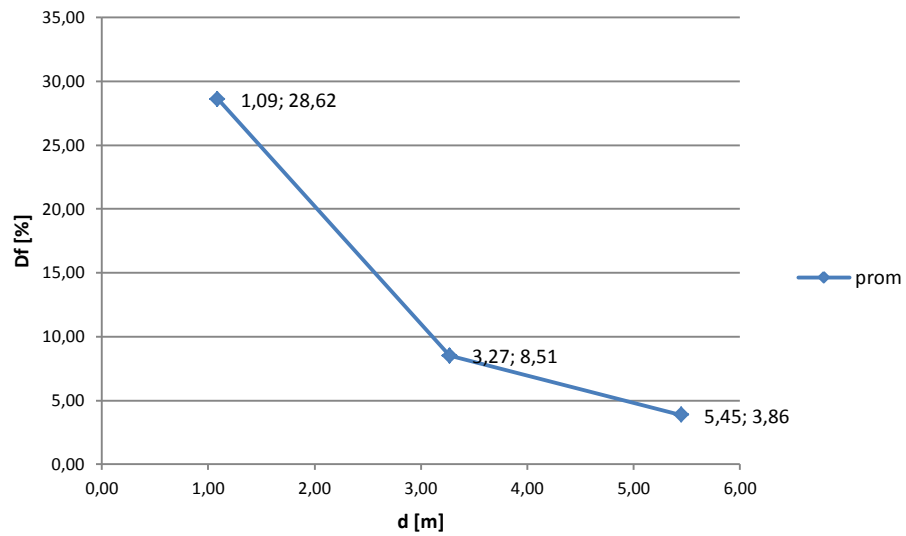
rencia de los métodos de cálculo del Df para el caso en particular del aula 201, arroja una diferencia aproximada del 31% y es por esta razón que para edificios ubicados en zonas de clima tropical es conveniente usar el método que toma como referencia la radiación incidente en la fachada para el cálculo del Df.

Figura 14. (b). Df del Aula 201, según radiación incidente en la terraza.



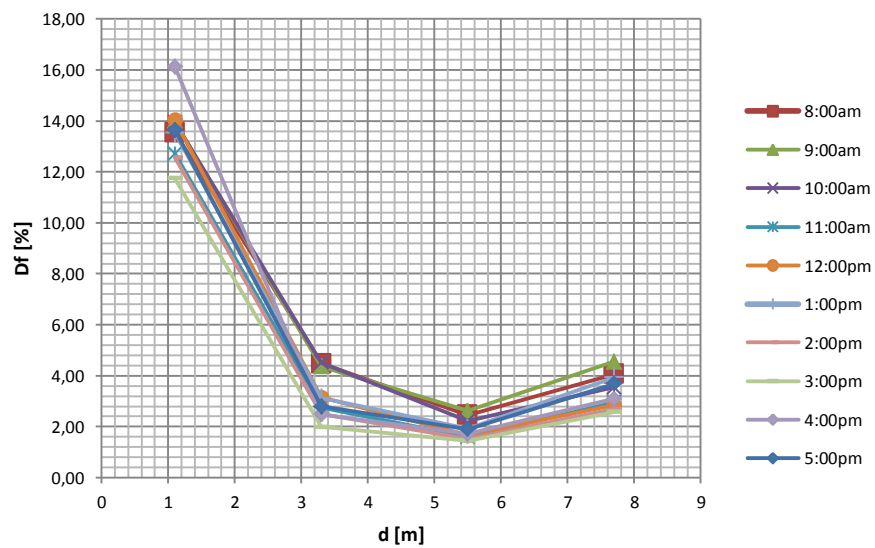
Como la diferencia entre las curvas de la Figura 13(a) no son significativamente grandes, entonces se pueden promediar los resultados y obtener una curva promedio representativa del Df para este espacio (Ver Figura 15).

Figura 15 Curva promedio Df Vs d, aula 201, según radiación en las fachadas.



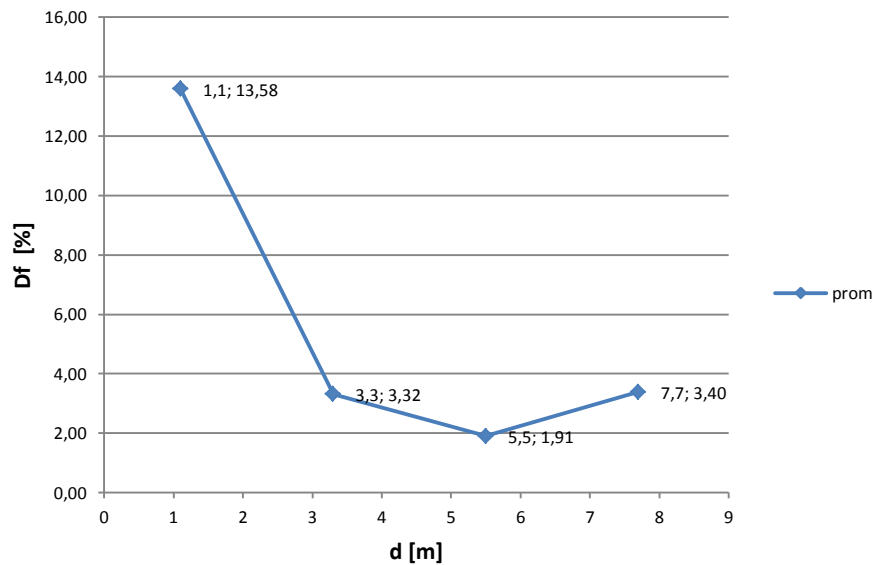
El comportamiento del Df para el aula 202 se representa en la Figura 16.

Figura 16. Df Vs distancia, aula 202, respecto a la radiación en las fachadas.



El análisis de la Figura 16 permite ver que la luz solar ingresa mayormente por la fachada sur, ya que este espacio cuenta con dos conjuntos de ventanas uno ubicado al norte y la otra en el sur del edificio y los puntos críticos se encontraran en el centro de la trama de medida. Las curvas tienden a tener una misma conducta a lo largo de la distancia horizontal desde la ventana ubicada en la fachada sur y por ende es válido obtener una curva promedio del Df para el aula 202 que se puede ver en la Figura 17.

Figura 17. Curva promedio Df Vs d, aula 202, respecto a la radiación en las fachadas.



Con la curva característica promedio se obtiene una expresión matemática según la Ecuación 3.1, que describe el comportamiento lumínico en el interior del espacio.

$$E_{int} = Df * E_{ext} \quad (3.1)$$

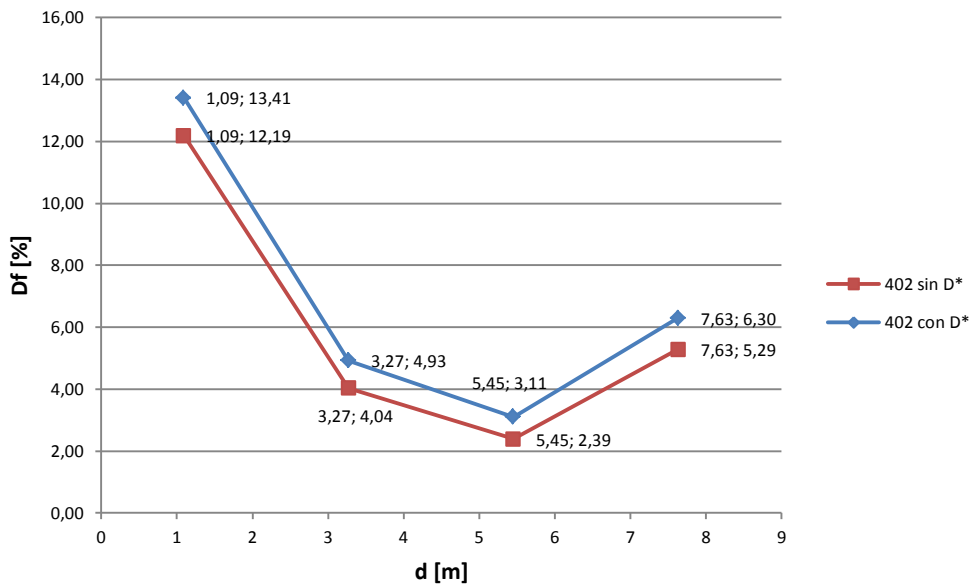
Como la iluminancia exterior cambia a medida que pasa el tiempo, entonces se obtiene una expresión de la iluminancia interna de un espacio en función del tiempo:

$$E_{int}(t) = Df * E_{ext}(t) \quad (3.2)$$

La Ecuación 3.2 permite determinar la iluminación en cualquier punto de la trama de puntos del aula en un instante de tiempo t . Donde el Df depende de los cambios arquitectónicos como por ejemplo el color de los muros y el material de los pisos. La componente $E_{ext}(t)$ representa el aporte del cielo como fuente de luz [8].

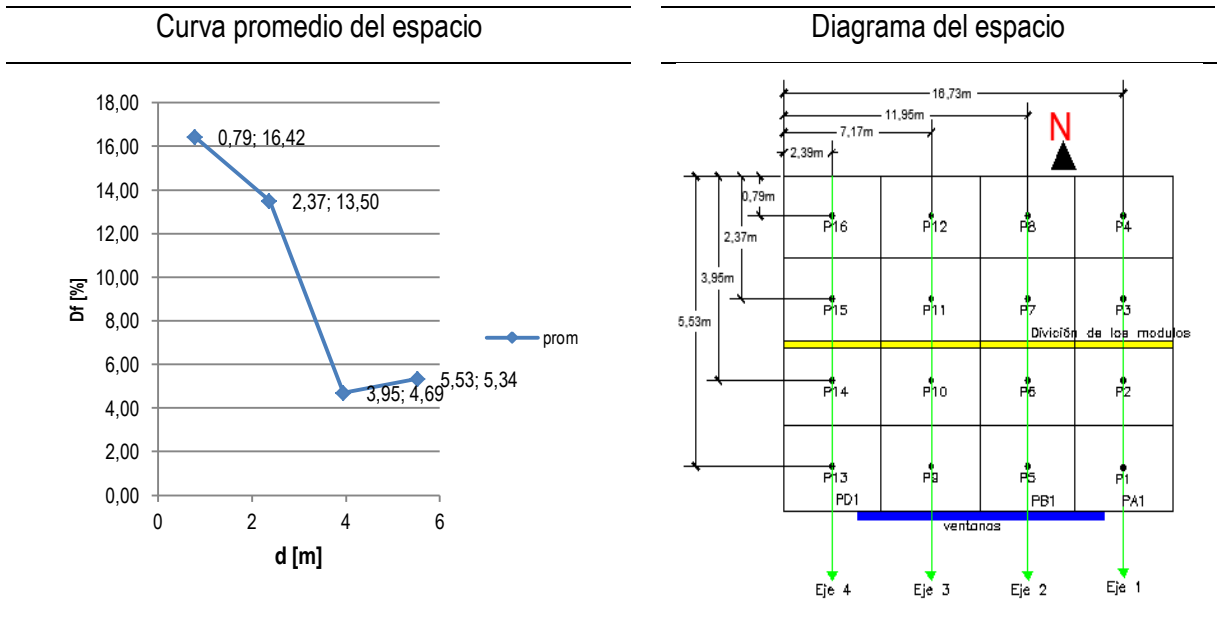
De igual modo, las curvas promedios del aula 402 con el aporte de luz solar dado por los tubos solares y sin tener el efecto de ellos se establecen en la Figura 18. Que al comparar los datos de estas dos curvas, se puede determinar que los tubos solares aportan en promedio un 10% más de iluminación natural dentro del aula de clases 402.

Figura 18. Curvas comparativas promedio Df Vs d, aula 402 respecto a fachadas.



La sala de estudio individual muestra un comportamiento excepcional, en la manera que al ser un espacio que cuenta únicamente con un conjunto de aberturas o ventanas en una fachada, lo más lógico así como se puede ver en los demás espacios con tal condición, es que el punto más alejado de esta sea el más desfavorecido en cuanto a iluminancia, pero tal como se aprecia, las curvas se precipitan en el punto P3 a valores inferiores en comparación con los puntos P1, P2 y P4. Siendo P3 este el punto crítico del espacio a un sin ser el punto más alejado a la fachada como se puede ver en la Figura 19. De observaciones en sitio se aprecia que tal comportamiento se debe a una obstrucción entre los puntos a 2,37 [m] y 3,95 [m] de la ventana referente ubicada en la fachada sur.

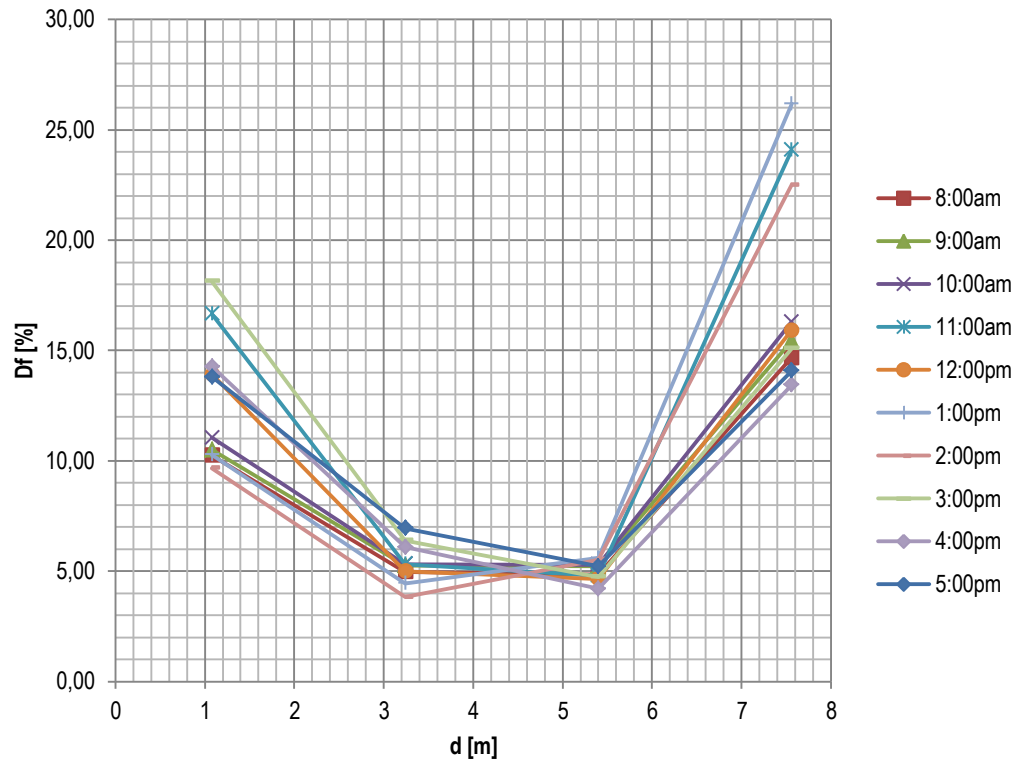
Figura 19. Curva promedio SI.



En la Figura 20 se muestra la variación del Df hora a hora durante el día para el aula 404 la cual refleja que la luz solar es mayor en la fachada norte y a medida que pasa el tiempo tiende a disminuir y aumenta en la fachada sur.

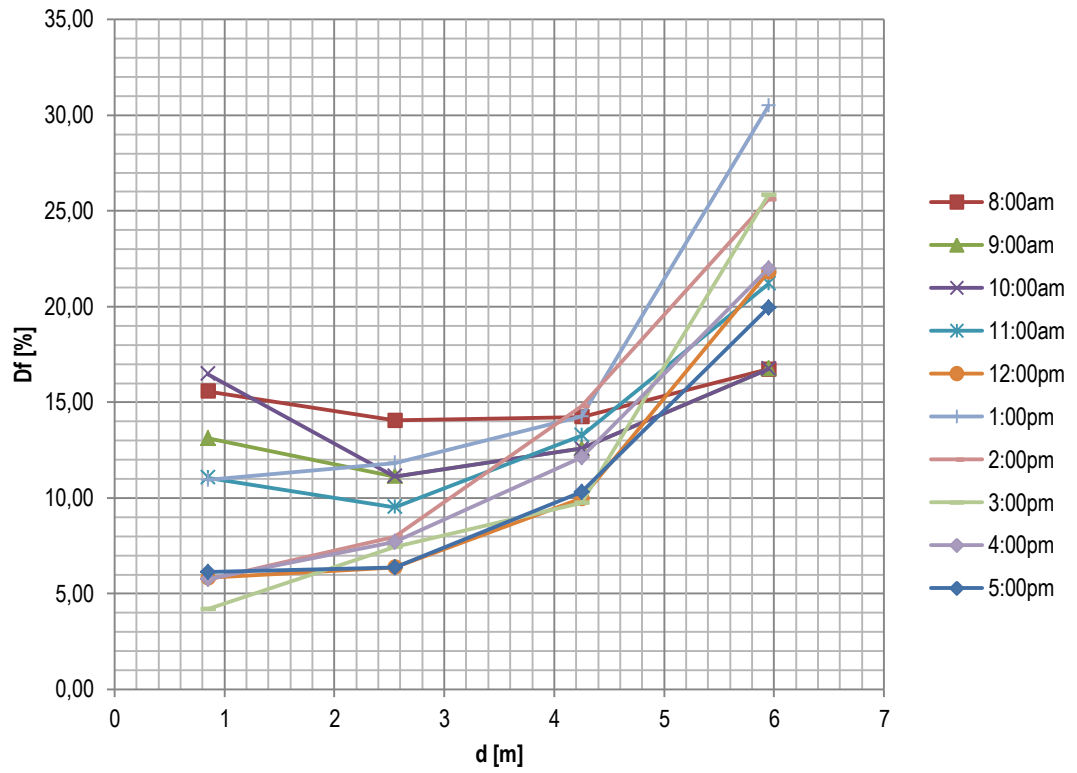
*Tubo solar ubicado en el aula de clases 402

Figura 20. Df Vs d, aula 404 respecto a la fachada.



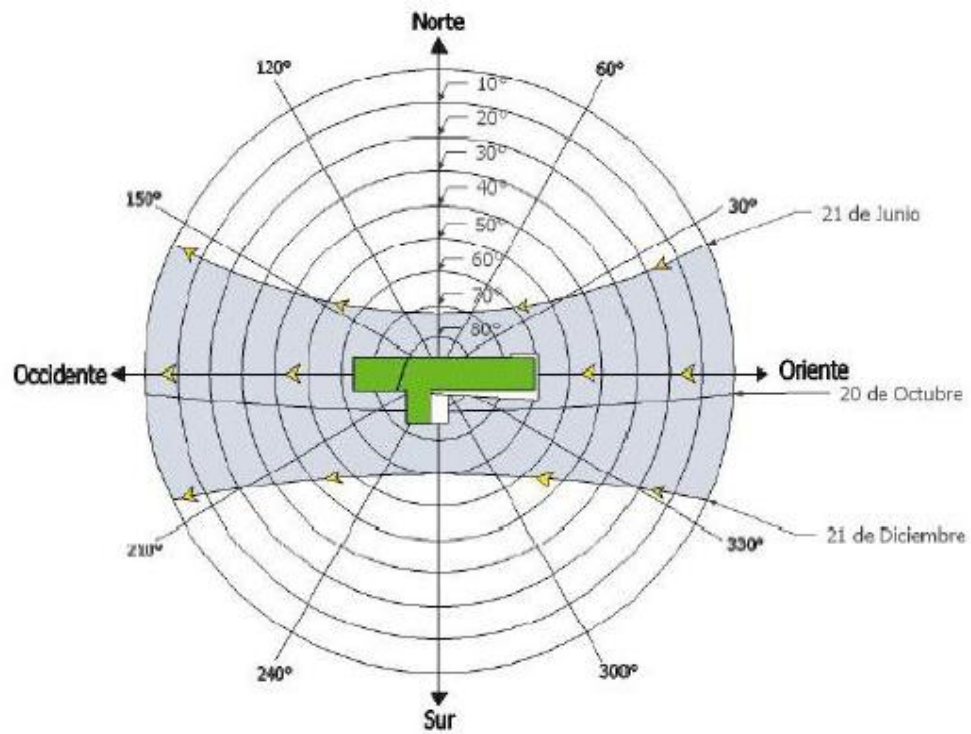
Si siguiendo con el análisis, la Figura 20 muestra el efecto del sol en las fachadas Este y Oeste en la sala de espera de la coordinación de pregrado (SEP), teniendo en cuenta que el gráfico toma como origen las aberturas de la fachada Este. La radiación es mayor en la fachada Este en las horas de la mañana y a partir de las 11:00 am tiende a ser mayor en la fachada Oeste donde finalmente se oculta el Sol.

Figura 21. Df Vs d, SEP respecto a la fachada.



La Figura 21 ilustra el movimiento solar aparente en el edificio de Ingeniería Eléctrica.

Figura 22. Movimiento solar aparente para el edificio IE



Fuente: J. C. Gabriel Anaya, AVELLANADA, Cesar. "Influencia de parámetros de diseños de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energetico en las instalaciones del quinto piso del edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de simulaciones con Designbuildder," Universidad Industrial de Santander, 2013

Figura 23. Curvas promedio Df Vs d, piso 2, respecto a la radiación en la fachada Sur.

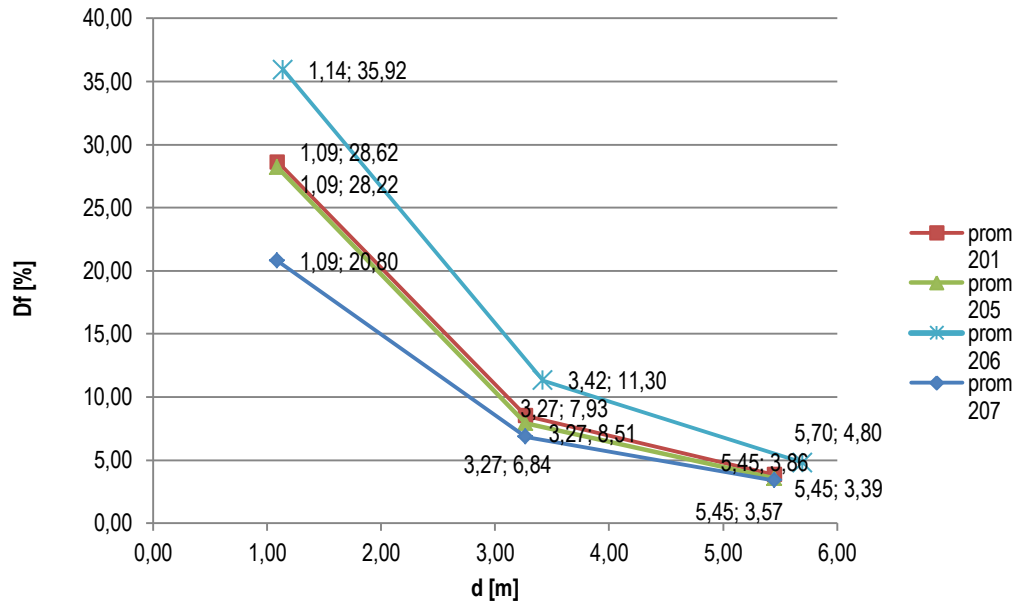


Figura 24. Curvas promedio Df Vs d, piso 3, respecto a la radiación en la fachada Sur y Norte.

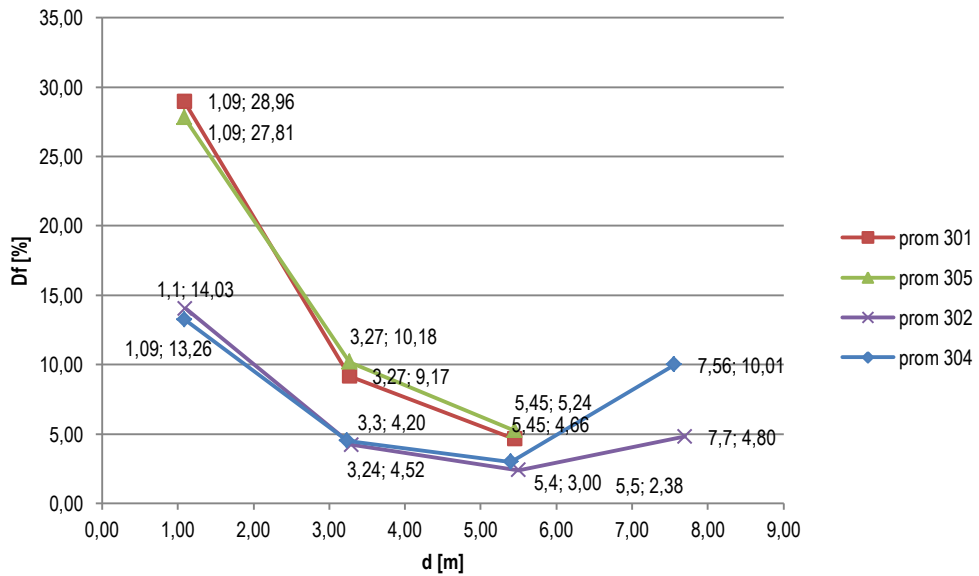
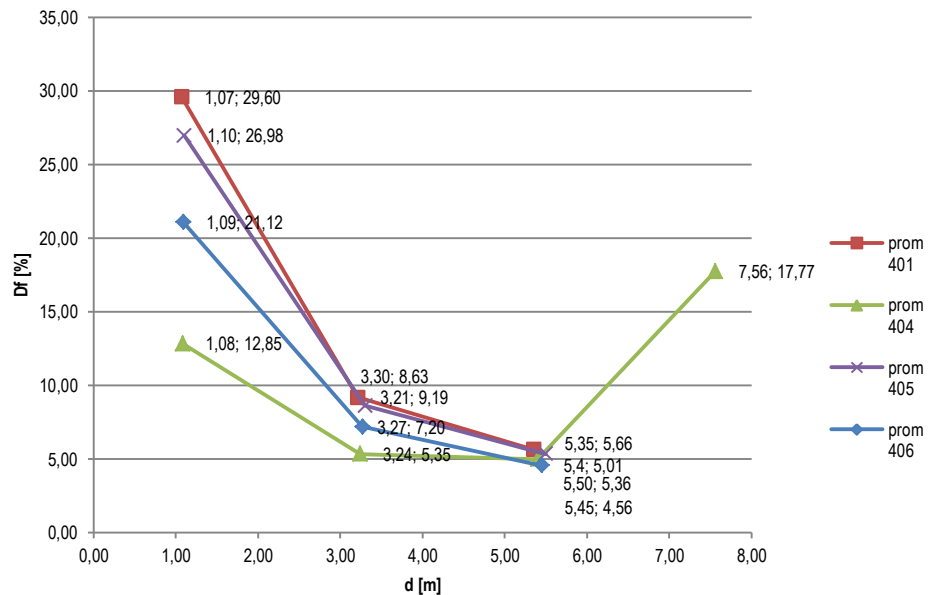


Figura 25. Curvas promedio Df Vs d, piso 4, respecto a la radiación en la fachada Sur y Norte.



Las figuras 22 a 24 muestran las curvas promedio de penetración de luz solar (%Df) en los pisos 2, 3 y 4 que corresponden en su mayoría a salones de clases y de ellas se puede verificar que cumplen con la tabla 410.2.2.a del RETILAP donde se establecen los valores medios del Df para la realización de tareas en función de su dificultad visual en locales de trabajo. Siendo el edificio de Ingeniería Eléctrica un complejo de aulas de clases y oficinas cabe dentro de la dificultad mediana o media, que exige un valor medio del Df de 2% tanto en los cálculos hecho con el punto externo de la fachada como el de terraza. Los resultados obtenidos en el edificio de ingeniería eléctrica respecto a la fachada cumplen con este valor mínimo exigido según la tabla 410.2.2.c para aulas de clase [5].

Figura 26. Curvas promedio Df Vs d, pasillo 2, respecto a la radiación en la fachada.

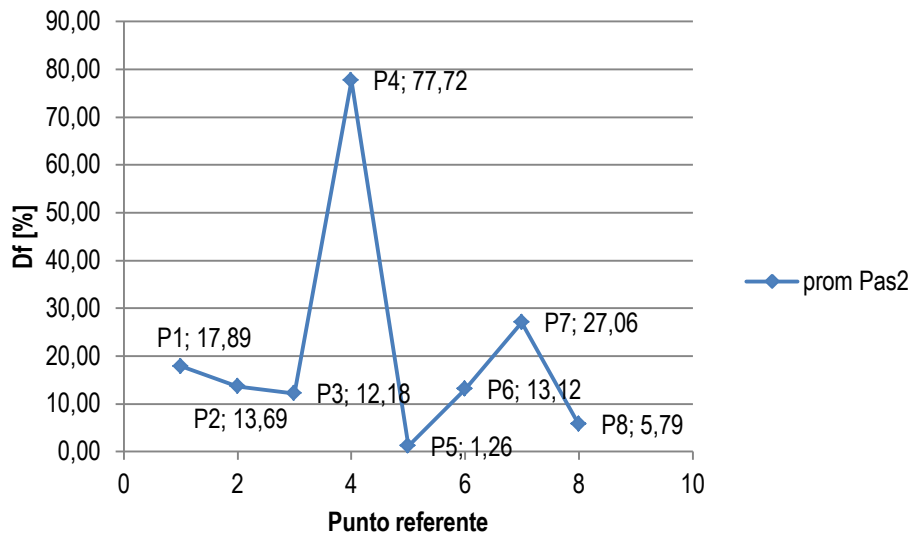


Figura 27. Curvas promedio Df Vs d, pasillo 3, respecto a la radiación en la fachada.

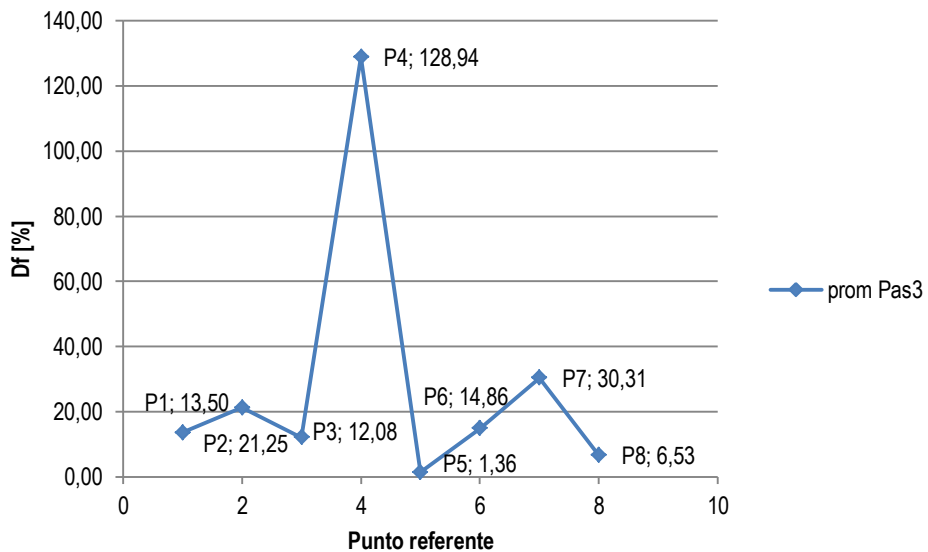
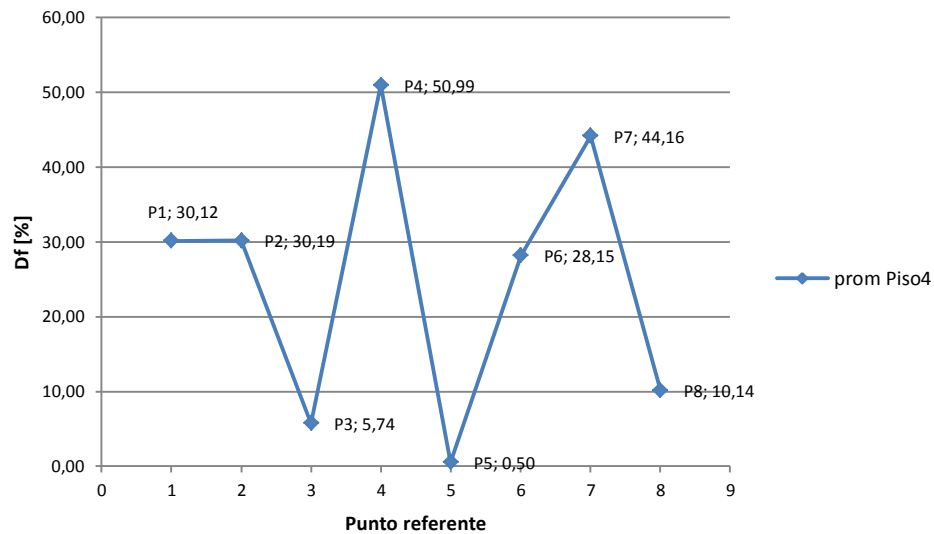


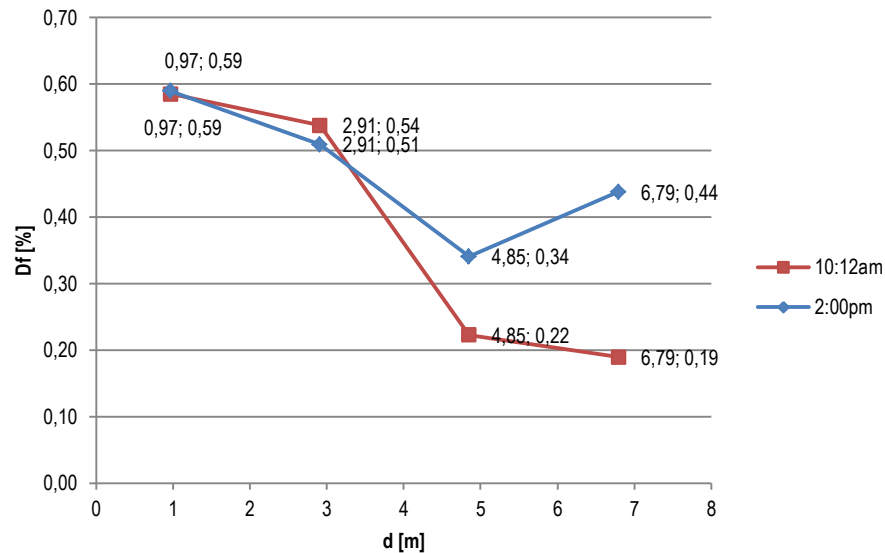
Figura 28. Curvas promedio Df Vs d, pasillo 4, respecto a la radiación en la fachada.



Las curvas presentadas en las figuras 25, 26 y 27 constituyen el promedio de luz incidente en los pasillos del segundo piso, tercero y cuarto. Los puntos P1, P2, P6, P7 y P8 reciben luz solar proveniente de la fachada norte del edificio y los puntos P3, P4 y P5 toman el mayor aporte de luz de la fachada oeste.

Conforme al análisis presentado a lo largo de este capítulo, se obtienen los resultados para las zonas comunes de la sala de profesores cátedra que está conformado por la zona de armarios, pasillo, cocina, cafetería y los baños. En el caso de la zona de los armarios se enmalla con una trama de ocho puntos (ver Tabla 8) donde se obtienen las curvas mostradas por la Figura 28.

Figura 29. Curvas Df Vs d, Zona Lockers, respecto a la radiación en la fachada.



Se puede apreciar que tanto para las horas de la mañana como para las horas de la tarde el coeficiente de luz diurna es muy bajo debido a que el grado de transmisión medido en las ventanas son del 0,57% lo que genera que el sistema de iluminación artificial este continuamente encendido en las horas de ocupación de los espacios.

De igual modo los baños, pasillo y cocina de la zona cátedra requieren que el sistema de iluminación artificial permanezca encendido en las horas de servicio.

Es válido indicar que el Df posiblemente puede variar según la fecha en que se mida la iluminación natural y el tipo de cielo presente en el momento de la medición, ya que todos los datos con los que se obtuvieron las curvas para los espacios fueron medidos durante un periodo de tiempo de 10 horas (De 8:00 am a 5:00 pm) para cada espacio en particular. En el capítulo seis se hacen las respectivas recomendaciones para verificar esta posible variación.

Las curvas características de la iluminación natural de los espacios restantes se encuentran en el Anexo A.

2.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

La iluminación artificial se caracteriza mediante la toma del nivel de iluminación dado por el sistema de luminarias a la altura del plano de trabajo (0,75 m), se obtiene la iluminancia media medida (E_{media}) del espacio y las curvas lumínicas respecto a la distancia desde la ventana hasta el fondo del espacio.

Este proceso se realiza a puertas cerradas. Se toma como origen para las curvas la fachada Sur y la Fachada Este según la orientación de las ventanas en el espacio.

En relación con el aula 201, cuenta con un sistema de iluminación artificial (ver Figura 29) compuesta por diez luminarias Philips referencia TBS 299 4x14W, distribuidas de forma simétrica en el espacio y dos luminarias Philips referencia TCW 060 1x28W ubicadas frente al tablero cuya función es iluminar el área usada por el docente para dictar sus clases.

Conforme a lo anterior, la Figura 30 describe la contribución de luz dada por el sistema de iluminación artificial en donde se puede observar que este valor no es constante y depende de la configuración de los fluorescentes.

Figura 30. Sistema de iluminación artificial aula 201.

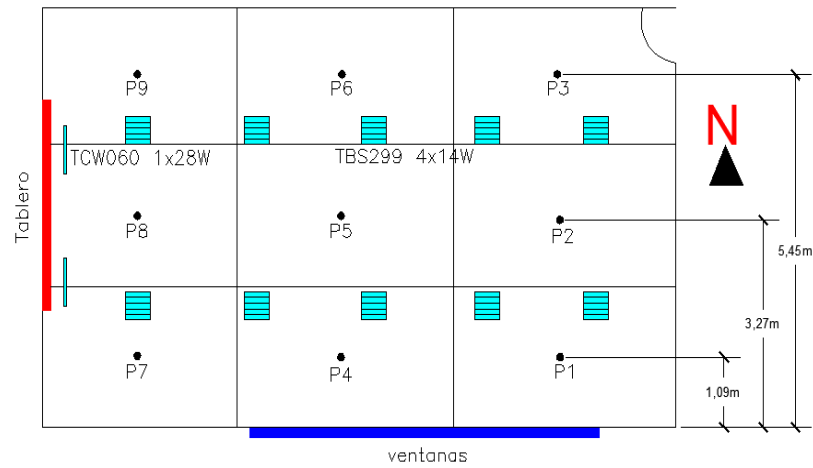
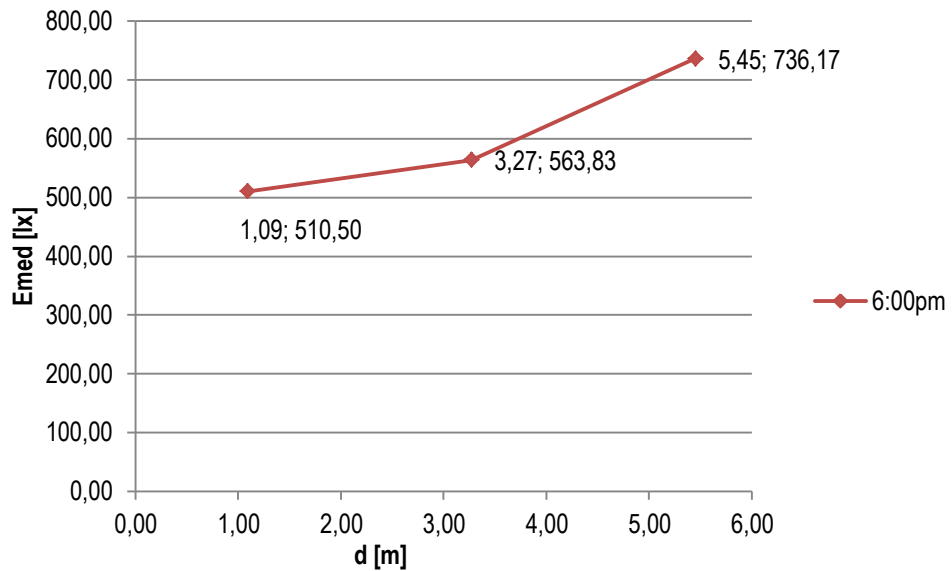


Figura 31. Curva iluminación artificial aula 201.



Con las lecturas de iluminación artificial en cada punto de la trama del espacio, se calcula la media que da como resultado 548,17 [lx], este valor cumple con el exigido por la Tabla 410.1 del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

RETILAP, donde se especifica un valor medio de iluminancia de 500 [lx] para salones de clase.

Así mismo la Figura 32 muestra el comportamiento variable de la iluminación artificial dentro del aula 202, donde se puede observar que la iluminancia es mayor en la zona central del área lo que es un resultado esperado debido a que en esta zona recibe la contribución luminosa de las dos filas de luminarias.

Figura 32. Sistema de iluminación artificial aula 202.

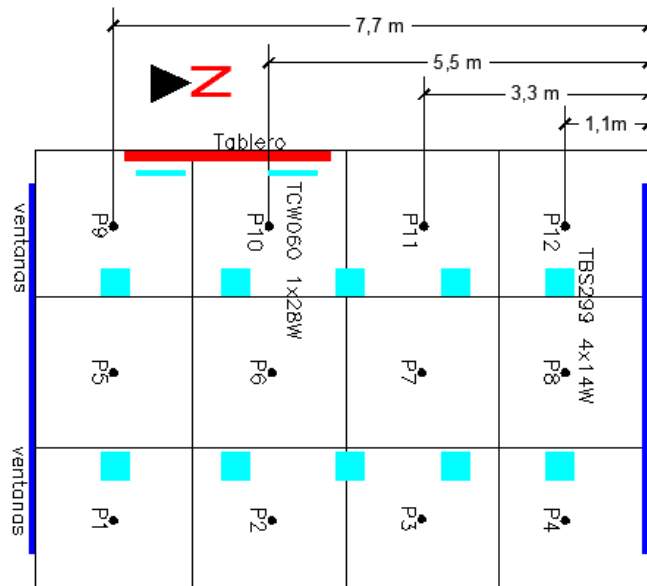
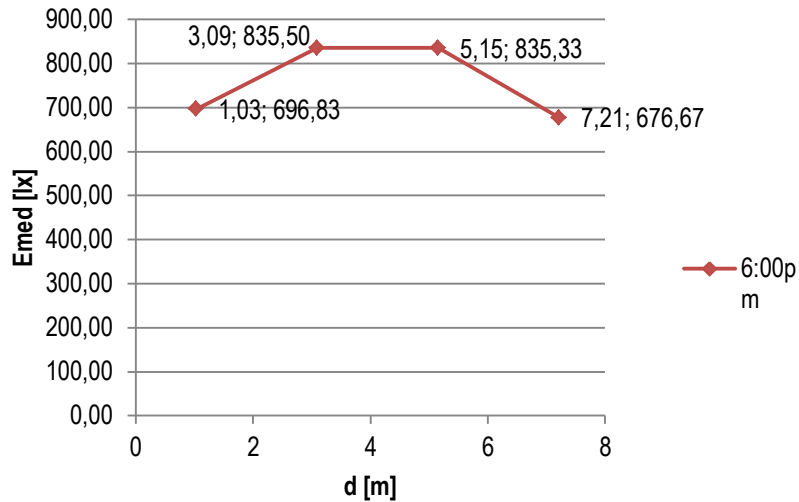


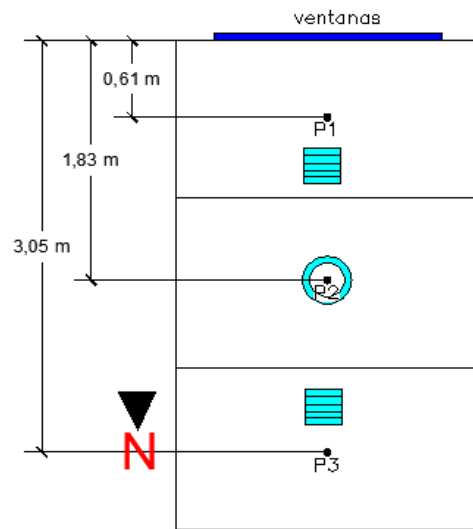
Figura 33. Curva iluminación artificial aula 202.



El sistema de iluminación artificial tiene una configuración de dos filas por cinco columnas de luminarias Philips referencia TBS 299 4x14W y dos luminarias Philips referencia TCW 060 1x28W ubicadas en frente del tablero (Ver Figura 31). De manera que la iluminancia media medida para este espacio es de 761,08 [lx] lo cual cumple con los valores medios exigidos por la Tabla 410.1 del RETILAP, pero supera el valor máximo establecido por la misma, lo cual puede llegar a crear un efecto de deslumbramiento.

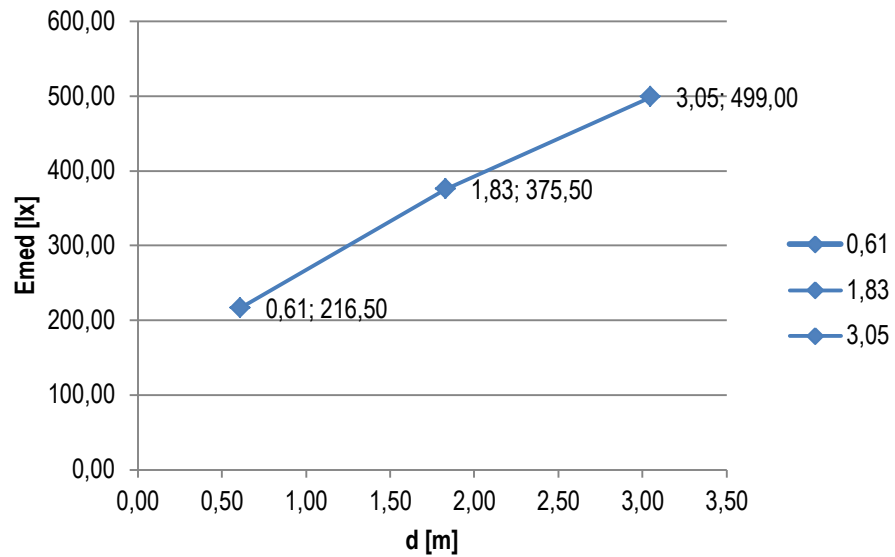
De manera semejante, el sistema de iluminación de la sala de espera de la dirección E3T está conformado por dos luminaria Philips TBS 299 4x14W centrada en el espacio como se puede ver en la Figura 33, el cual proporciona una curva de comportamiento descrito por la Figura 34, al igual que los resultados ya analizados la iluminancia no es uniforme y es menor en las zonas laterales del espacio.

Figura 34. Sistema de iluminación artificial SEDE3T.



Al calcular la iluminancia media da como resultado 363,67 [lx], este espacio no está discriminado en la Tabla 410.1 del RETILAP, por lo tanto se compara con un espacio similar de la tabla, logrando así la verificación del nivel de iluminación que se considera aceptable y brinda el confort suficiente para los usuarios de este recinto.

Figura 35. Curva iluminación artificial sala de espera DE3T.



Las gráficas de iluminación artificial de los espacios restantes se encuentran en el Anexo B de este libro.

A continuación se muestran en la Tabla 11 las iluminancias medias resultantes para todos los espacios del edificio de Ingeniería Eléctrica.

Tabla 10. Iluminancia media medida de los espacios del edificio IE.

Espacio	E med [lx]	Espacio	E med [lx]	Espacio	E med [lx]
103	622,87±24,9	CP	372,5±14,9	SEP	718,58±28,8
201	603,5±24,2	CC	779,5±31,2	CE1	462,25±18,5
202	761,08±30,5	SP	527,67±21,1	CE2	650,17±26,06
204	587,08±23,5	PS	575,83±23,09	ZLOCKERS	587,43 ±22,5
205	603,61±24,2	DE3T	688,83±21,16	PC	676,5 ±22,6
206	514,39±20,6	SEDE3T	363,67±23,09	Pasillo 1	152,09±10,4
207	564,39±22,6	BH1	285,62±12,7	Pasillo 2	137,75±11,6
301	646,33±25,9	BM1	383,75±11,8	Pasillo 3	147,31 ±18,3
302	660,63±26,4	BH2	326±10,7	Pasillo 4	210,87±12,4
304	588,07±23,1	BM2	444±14,8	Pasillo 5	157,10±14,3
305	549,17±22,02	BH3	272,25±13,1	CAFC	676,50±22,8
401	584,5±23,4	BM3	358,25±15,6	CT1	446±21,6
402	394,17±15,8	BH4	287±11,1	CT2	506,5±25,8
404	843,83±33,8	BM4	293±12,7	CT3	549±20,6
405	666,28±26,7	BHC	311±12,8	CT4	374±16,7
406	770,11±30,8	BMC	299,5±13,9	CT5	414,5±14,6
SR	544,56±21,8	IEEE	689,28±27,6		
SI	689,31±32,4	ZCP	698,23±27,9		

Según los resultados de la Tabla 11, en el caso del aula 402 no cumple con el valor medio de 500 lx especificado por la Tabla 410.1 (RETILAP) no obstante supera el valor mínimo de 300 lx para este tipo de espacios. De manera semejante se comparan los resultados encontrados en los baños, donde todos superan el valor máximo de 200 lx sin embargo estos niveles de iluminación no representan un problema en el confort proporcionado por estas áreas.

2.6 NIVEL DE ILUMINACIÓN MÍNIMO *SET POINT*

La lectura del nivel de iluminación mínimo del sistema programado en el edificio IE se tomó en el aula 301 (ver Tabla 12) arrojando los siguientes resultados:

Tabla 11. Lectura del nivel crítico *SET POINT*

Punto	E [lx]	Punto	E [lx]
P1	1904,5	P6	357,5
P2	558,5	P7	1678,5
P3	312	P8	571
P4	2008,5	P9	350,5
P5	712

Al promediar los puntos equidistantes se encuentran los resultados mostrados en al tabla 13.

Tabla 12. Promedio puntos equidistantes a la ventana de la fachada Sur.

Punto	E [lx]
Pv	1863,8
Pw	613,83
Px	340

Dónde: Pv= Promedio (P1, P4, P7)

Pw= Promedio (P2, P5, P8)

Px= Promedio (P3, P6, P9)

Por tanto, se toma 340 [lx] como el nivel mínimo de iluminación natural requerido por el sistema, siendo este el valor de Px que es el punto más alejado de la ventana.

2.7 ANÁLISIS DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL PROCESO DE MEDICIÓN

Es necesario realizar la estimación de la incertidumbre asociada a los resultados obtenidos para cada espacio caracterizado, con el fin de que quienes utilicen los datos mostrados en este trabajo de grado puedan evaluar la idoneidad de la medición. Es conveniente que el resultado de la medida vaya acompañado de alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado. Para que las mediciones puedan compararse entre sí y con otros valores de referencia.

Tomando como caso particular el aula de clases 201, la incertidumbre asociada a sus curvas de comportamiento se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 201.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	3,1	0,39	0,585	0,349	0,216	0,24	0,24	0,74	1,27	1,35
Pw	0,8	0,42	0,319	0,229	0,194	0,23	0,28	0,59	0,77	1,13
Px	0,54	0,42	0,289	0,228	0,191	0,24	0,27	0,37	0,54	1,09

Tabla 14. Magnitudes de los Df VS distancia aula 201, fachada.

Factor de luz diurna Df [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	31,03	27,85	28,60	25,02	27,08	27,18	29,72	28,86	28,66	32,20
Pw	9,91	10,23	10,96	7,45	6,82	7,07	7,57	8,67	7,81	8,59
Px	4,28	5,24	5,12	3,26	2,91	3,24	3,35	4,23	3,37	3,65

Expresando los resultados para las 11:00 am como $Y = \bar{X} \pm \mu_E$:

$$Pv = 25,02 \pm 0,35 \text{ [%]}$$

$$Pw = 7,45 \pm 0,23 \text{ [%]}$$

$$Px = 3,26 \pm 0,23 \text{ [%]}$$

De esta manera es posible comparar los resultados con valores de referencia y poder validar hasta cierto punto las curvas obtenidas para todos los espacios. Teniendo en cuenta estos resultados es posible reducir la incertidumbre en el proceso de medición si se realiza con equipos certificados con baja incertidumbre y con metodologías de medición más completas y complejas. Los cálculos de incertidumbre para todos los espacios se encuentran anexados en el Anexo F.

3. MODELO VIRTUAL DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

La construcción virtual del edificio de Ingeniería Eléctrica se realiza con la herramienta computacional Dialux; es un software gratuito, potente, de fácil uso, que facilita una gama alta de posibilidades en cuanto a modelado 3D, permitiendo modelar ambientes interiores y exteriores, con cálculos que involucren la iluminación artificial y/o iluminación diurna. Trabaja conjuntamente con archivos CAD, modelos 3D procedentes de internet y actualizaciones de las luminarias de una gran lista de fabricantes de luminarias líderes a nivel mundial. Documenta los resultados de los parámetros luminotécnicos en forma textual y gráfica (visualizaciones foto realistas) de manera sencilla y eficaz, incluyendo en estos resultados la evaluación energética [22].

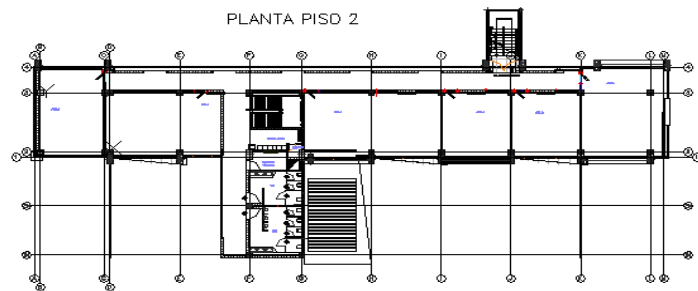
3.1 MODELADO INTERIOR DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

El modelo del edificio se genera usando archivos de extensión “.CAD” de cada piso del edificio (ver Figura 36), y mediciones en sitio de parámetros propios de los componentes internos de la edificación.

Dialux no permite crear un modelo completo del edificio en un solo archivo, por ende es necesario crear cada nivel de este individualmente (Piso 1, Piso 2, Piso 3, Piso 4, Piso 5 y el sótano) y posteriormente crear un esquema del edificio completo en donde se sitúa cada modelo según sea su ubicación.

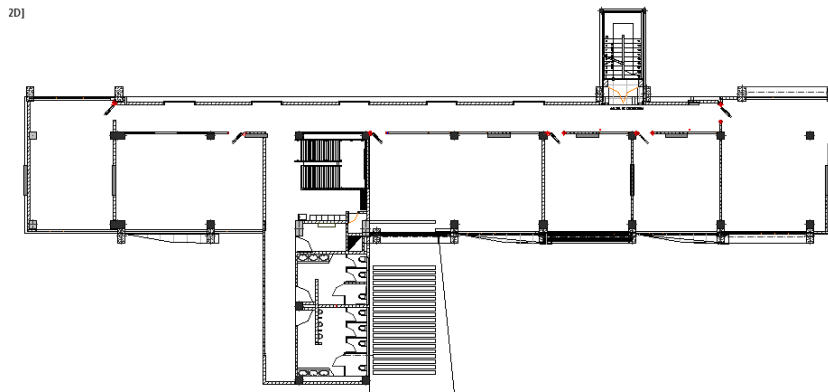
3.1.1 Importación del plano CAD a Dialux. Dialux posee una limitación a la hora de importar un archivo DWG a su interfaz inicial, es necesario realizar un trabajo previo en AutoCAD donde se debe llevar un plano arquitectónico completo como se muestra en la Figura 36 a un archivo menos complejo y pesado.

Figura 36. Plano arquitectónico piso 2 del edificio IE.



Para efectos de simplicidad al plano mostrado en la Figura 36 se le retira todos los detalles arquitectónicos que no se necesitan al trabajar en Dialux, como ejes de referencia, muebles, cotas, textos, etc. hasta lograr obtener un esquema estructural del edificio como se ve en la Figura 37.

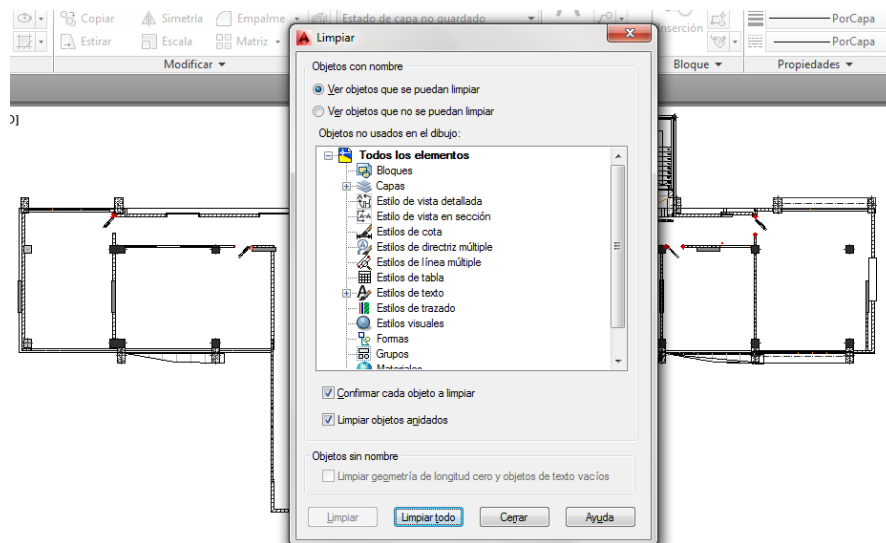
Figura 37. Modelo básico piso 2 del edificio IE.



Se recomienda antes de importar el plano CAD a Dialux seguir los siguientes pasos en AutoCAD:

- Activar y desbloquear todas las capas del archivo DWG.
- Aplicar el comando Limpiar y limpiar todos los elementos (ver Figura 38).
- Aplicar los comandos Z+Enter y E+Enter para verificar que el plano no tiene elementos constructivos aledaños al plano, se recomienda borrar si se visualizan líneas o textos aledaños.

Figura 38. Ejecución comando Limpiar en AutoCAD.



Al aplicar los pasos mencionados anteriormente se procede a cargar el archivo en formato DWG a la interfaz de Dialux (ver Figura 39). Al terminar este proceso se obtiene la plantilla base para la construcción del modelo 3D del edificio según se ve en la Figura 40.

Figura 39. Asistente de importación de archivos Dialux.

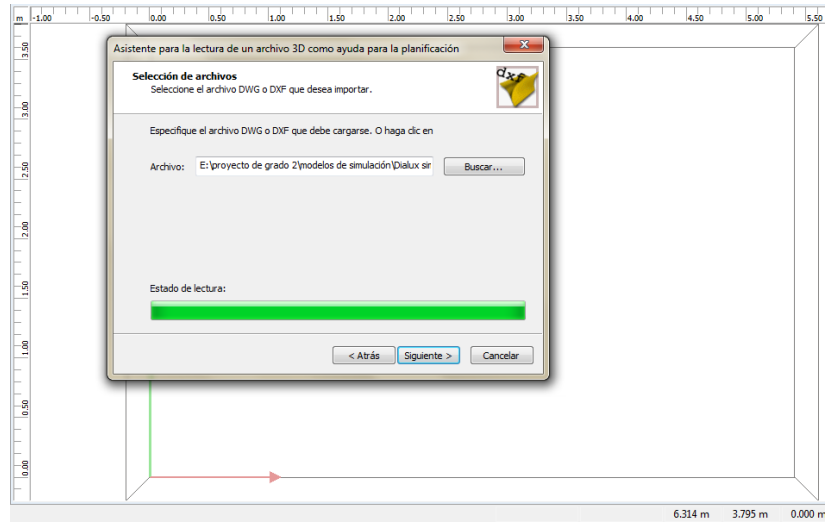
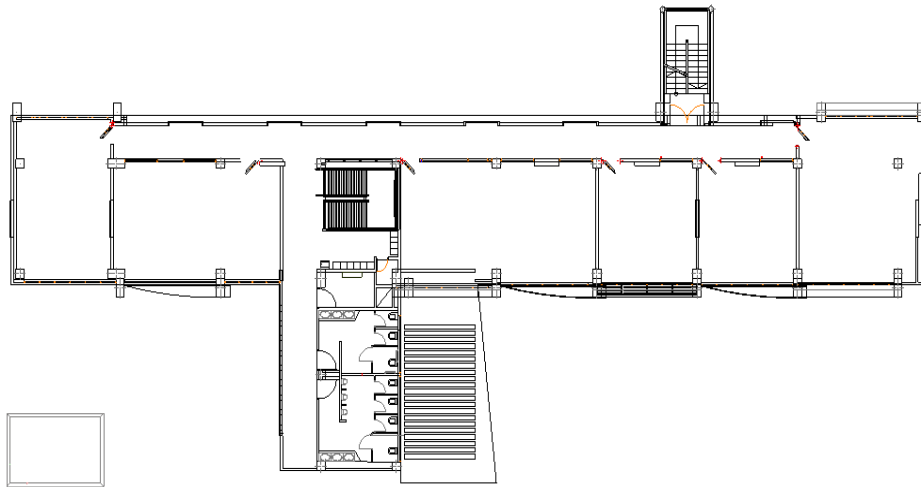


Figura 40. Esquema básico 2D del modelo.



3.1.2 Creación de la estructura del modelo. El modelo 3D se inicia delimitando las superficies exteriores mediante la inserción de puntos de referencias unidos por rectas según la Figura 41 y al terminar se logra un modelo 3D inicial (ver Figura 42).

Figura 41. Elaboración de la geometría del local.

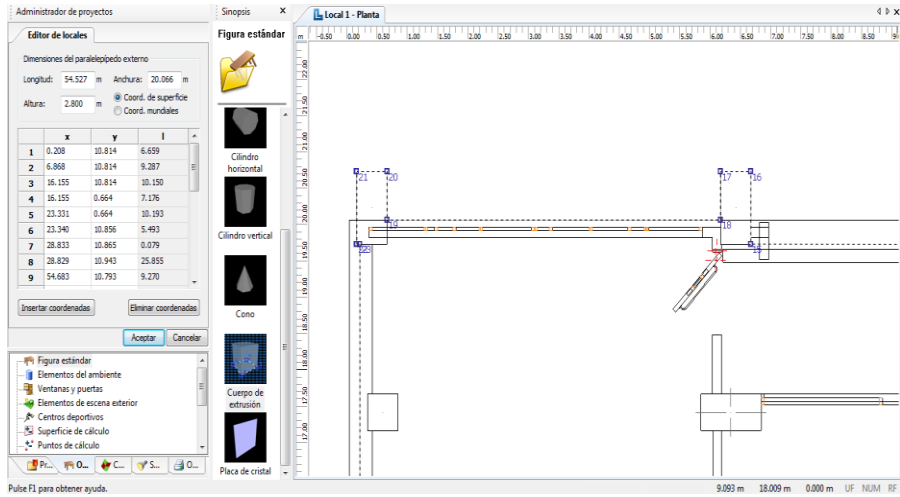
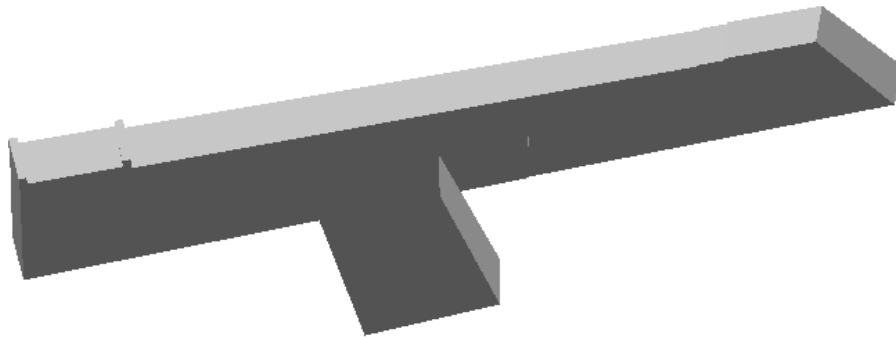
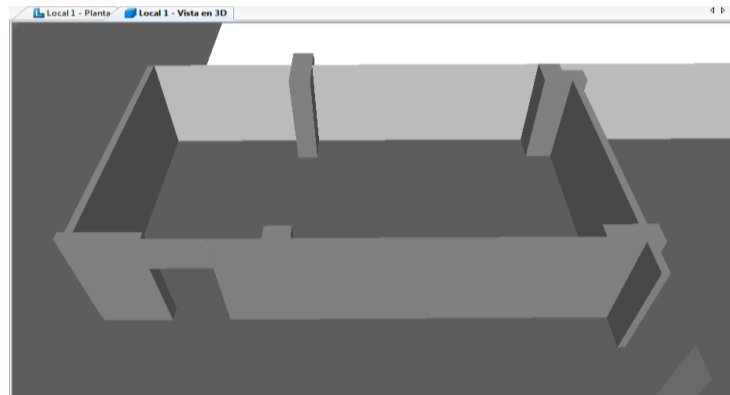


Figura 42. Geometría exterior del local.



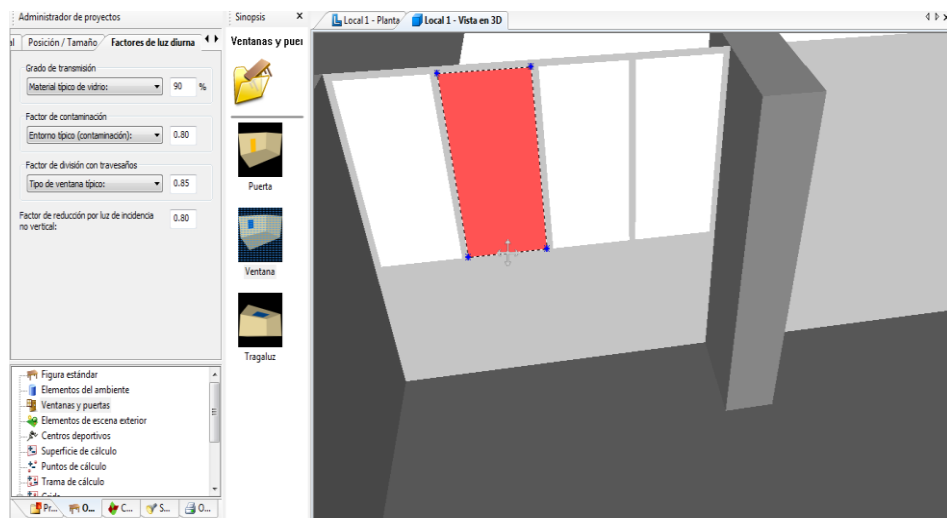
La estructura interna como paredes y columnas se construyen con cuerpos de extrusión, la Figura 43 permite visualizar el modelo 3D de un aula de clases.

Figura 43. Geometría interior del local.



3.1.3 Inserción de puertas y ventanas. Con la estructura del modelo definido se insertan ventanas y puertas, el software tiene por defecto ventanas en su biblioteca de elementos, a las cuales se les modifican sus dimensiones, factores de luz diurna y el material. Se definen todas las características de las superficies como los cristales de las ventanas y grados de reflexión de las puertas (Ver Figuras 44).

Figura 44. Inserción y características de las ventanas exteriores.



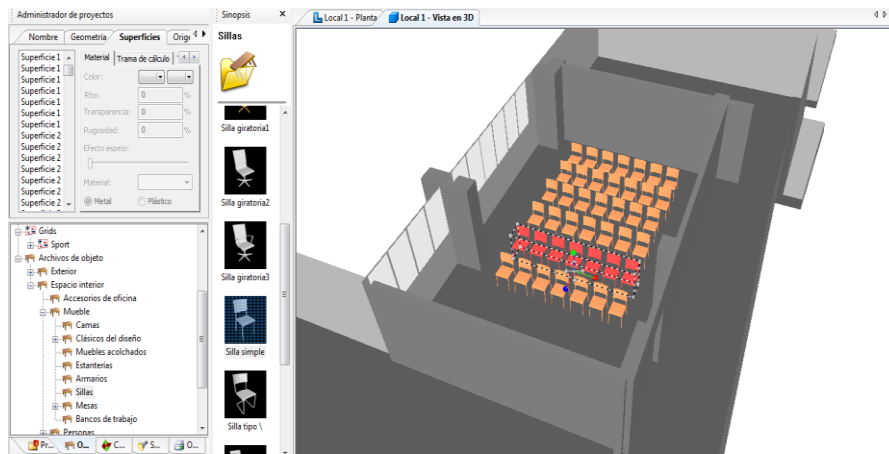
En el caso de las ventanas se define el grado de transmisión, factor de contaminación, factor de división con travesaños, grado de reflexión y la transparencia.

Para el caso de las puertas, la biblioteca ofrece solo un tipo de puerta, que consiste en un cubo de un solo material al que se le puede modificar el coeficiente de reflexión del material y las dimensiones; teniendo en cuenta lo anterior y que el edificio tiene más de un tipo de puerta, las cuales en su mayoría están constituidas por más de dos materiales se hace necesario crearlas (ver detalle en el Anexo C).

3.1.4 Inserción de elementos del ambiente. Los elementos que se deben insertar al modelo que hacen parte del ambiente interno del edificio en este caso como son salones se insertan sillas, mesas y armarios (ver Figura 45).

Las propiedades que se definen en los muebles son el Rho (reflectividad), rugosidad y el grado de transparencia.

Figura 45. Inserción y características de elementos del ambiente.

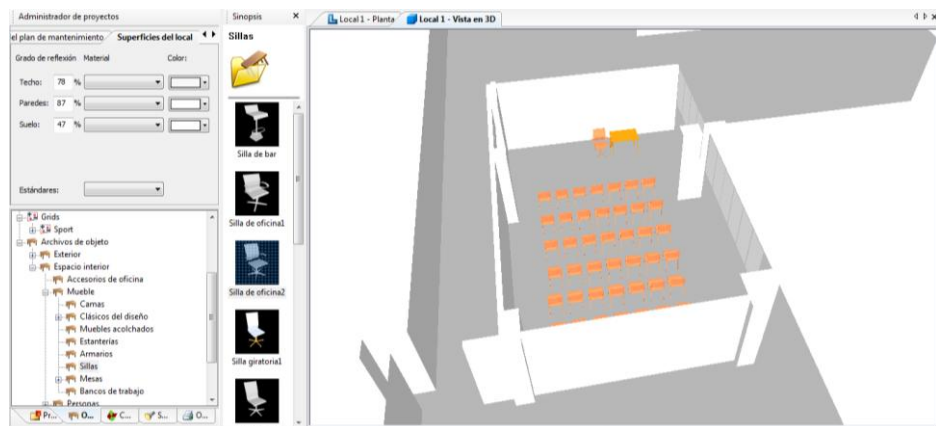


3.1.5 Inserción de la trama de cálculo. Las tramas de cálculo se pueden insertar por medio de la barra de menús, opción insertar o a través de la pestaña objetos del administrador de proyectos. Dialux permite utilizar tres tramas de cálculo diferenciadas por su forma (rectangular, radial y definida por el usuario); debido a que Dialux es usado para poder comparar los valores medidos, la forma de trama usada es rectangular y fueron necesarias tres tipos de tramas de cálculo; cada tipo obtendrá valores en luxes:

- El primero para el plano útil ubicado a 0,75 metros por encima del suelo del espacio.
- El segundo ubicado en las fachadas para obtener el aporte de luz natural.
- El último a 18 metros del suelo, para obtener la iluminancia debida a la radiación solar horizontal en la terraza.

3.1.6 Detalles y características del modelo. Para lograr obtener un modelo 3D muy aproximado al edificio real, es necesario modificar todas las características de los elementos constructivos como muros, techo, pisos, escaleras y los muebles que anteriormente se definieron. La Figura 46 ilustra el modelo con mayor detalle que el modelo inicial.

Figura 46. Modelo aproximado del aula 201 del edificio IE.



La Tabla 15 enlista el valor de los grados de reflexión para las ventanas y/o el Rho (reflectividad) según mediciones y apreciaciones para cada elemento usado en el modelo interior.

Tabla 15. Grados de reflexión usados en el modelo.

Objeto	Valor (%)	Objeto	Valor (%)
Ventana doble estándar	20	Mesas	52
Ventana simple estándar	20	Paredes interior	87
Ventana de Cristal polarizada	14	Suelo interior	43
Vidrio esmerilado	3	Techo interior	78
Cuerpo de vidrio de las puertas	13	Lockers	6
Sillas	52	Madera de la puerta	50

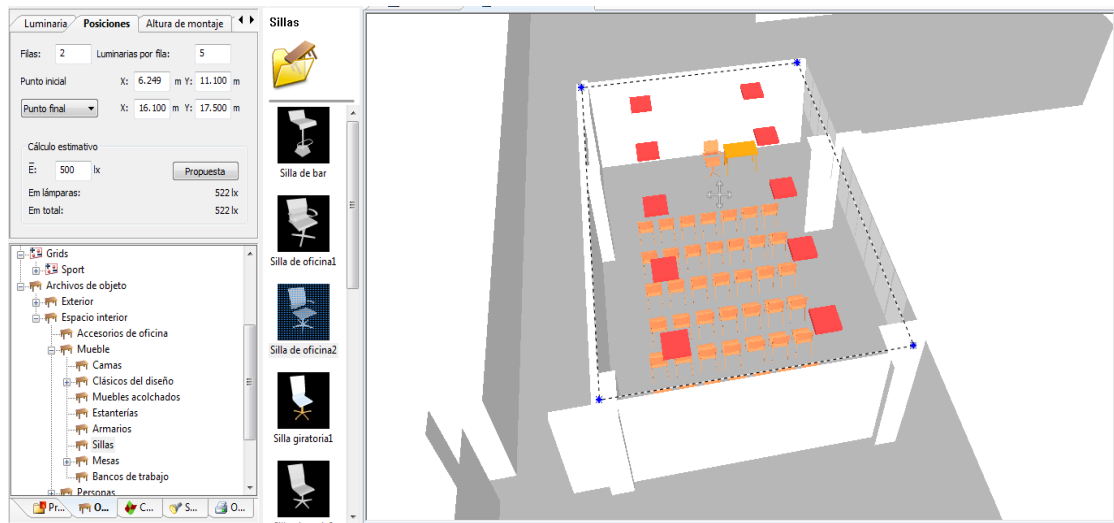
Para crear las aberturas hacia el exterior se insertan ventanas y se establece un grado de transmisión de luz del 100 % para garantizar que cumpla como una abertura sin vidrio y no una ventana común.

3.1.7 Sistema de iluminación artificial. El sistema de iluminación artificial es pieza fundamental del modelo del edificio, cada espacio posee diferentes tipos de luminarias y de configuraciones, para poder generar una buena aproximación del sistema de iluminación se insertan los elementos de iluminación según su referencia, esto es posible gracias a los archivos fotometricos dados por los fabricantes. Las referencias usadas según el diseño del edificio son:

- Philips TCW060 1x28W TS, bañadora pared
- Philips TBS299 4x14W M2 (aulas de clase)
- Philips TCW060 2xTL5 28W HF (corredores, baños y cuartos técnicos)

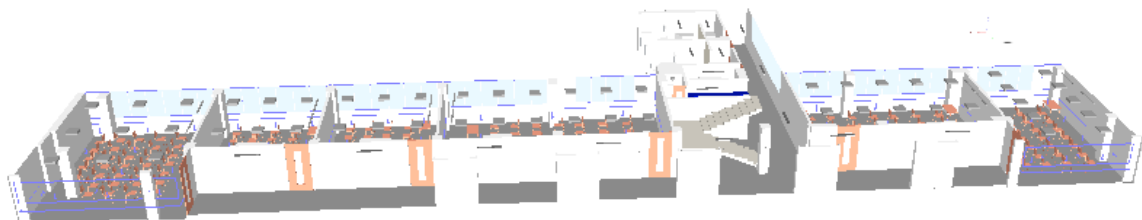
Dialux tiene opciones de disposición de luminarias como la disposición en campo, circular, en línea recta o inserción individual. En el caso del edificio tiene un sistema de iluminación simétrico y esto permite usar la disposición en campo para realizar un montaje más rápido y eficiente del sistema de iluminación artificial (ver Figura 47).

Figura 47. Sistema de iluminación artificial aula 201.



Al finalizar todos los detalles de cada espacio, se puede apreciar el modelado interior terminado en la Figura 48.

Figura 48. Modelo final piso 2.



3.2 MODELADO EXTERIOR DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Los componentes exteriores son cada uno de los elementos que al insertarlos en el diseño del local, por ubicarse fuera de la construcción Dialux los trata como elementos por fuera del ambiente y no los toma en cuenta en sus cálculos, para agregar estos componentes y que hagan parte del diseño, es necesario hacer clic derecho en la construcción en desarrollo en el administrador de proyectos y seleccionar la opción *Editar obstrucción con luz diurna*. Hecho esto aparecerá una nueva pestaña en el administrador de proyectos denominada *Construcción para Proyecto 1*, la que a su vez contiene las pestañas, *Local 1*, *Elementos del suelo*, y contendrá la pestaña *Objetos*, una vez que se haya agregado alguno.

La pestaña *Local 1*, se refiere a las características exteriores de dicho local, tal como características constructivas de la pared exterior, la cual, si bien es la misma pared interior, puede presentar diferencias en pintura, mayor exposición a suciedad o cualquier otro parámetro que afecte su reflexión; el otro aspecto que se maneja desde esta pestaña es la altura sobre el nivel piso, la cual se especifica según planos.

En la pestaña *Elementos del Suelo*, se manejará todo lo pertinente a la disposición del terreno sobre el que esté situado la construcción. Para este trabajo de grado se crearon cinco elementos de suelo, uno general para representar las zonas verdes y los otros cuatro superpuestos a este para modelar aceras y zonas de tránsito vehicular. El modelado de estos elementos de suelo es sencillo debido a los límites que impone Dialux, permitiendo modificar solo la geometría, el material del elemento y su posición respecto otros suelos.

El último componente a modelar son los objetos, los cuales pueden ser construidos o pueden ser tomados de la biblioteca de Dialux. Los elementos exteriores y su construcción, considerados en el trabajo de grado son:

- Árboles: Fueron considerados los árboles que estuvieran en un radio de treinta y seis (36) metros respecto al centro del Edificio, además de los más cercanos a los edificios adyacentes, con la condición que su forma fuera tal que podría causar impacto significativo en los cálculos. En total fueron 36 árboles de los que su emplazamiento y tamaño son aproximaciones de la realidad basadas en mediciones; la forma de cada uno se generalizó y se usó el modelo *árbol02* de la biblioteca de Dialux.
- Edificios adyacentes: Se tomaron a consideración cuatro edificios (Diseño Industrial, Ingeniería Industrial, Instituto de Lenguas y Laboratorio de Hidráulica), de los cuales su disposición geográfica se basa en reconocimiento en sitio. Sus dimensiones hacen referencia a también mediciones, excepto, el edificio de Ingeniería Industrial, que se realizó sobre planos. Se modeló cada edificio usando el objeto cubo.
- Pisos: Basándose en planos se usó el cuerpo de extracción para crear cada piso, por lo que es un bloque sólido sin puertas ni ventanas, esto último debido a que Dialux no permite ingresar estos elementos en objetos exteriores.
- Detalles en fachadas: Su desarrollo virtual se basó en planos y reconocimiento en sitio:
 - o Voladizos: Se modelaron usando cristales y cubos para recrear el vidrio y las bases que sostienen el vidrio respectivamente.
 - o Escalera de emergencia: Para cada nivel de las escaleras se usó el objeto de la biblioteca denominado *escalera de dos tramos, ida y vuelta*; las bases cilíndricas que atraviesan la armazón se modelaron con cilindros verticales; para los descansos intermedios entre escaleras se utilizaron cubos y la estructura que rodea el primer nivel de la escalera se desarrolló virtualmente por medio de cubos.

- Placas y fachada tipo persianas: Para su desarrollo virtual se manipularon los objetos cuerpo de extracción y cubo.

En seguida se tabulan los coeficientes de reflexión o Rho usando la nomenclatura de Dialux para cada objeto del modelo exterior en la Tabla 4.2; estos valores debido a la dificultad e incluso algunos por la imposibilidad en el momento no pudieron ser medidos, por lo que se tratan de valores por defecto de Dialux o suposiciones hechas por los autores. En la Tabla 16 se presentan los valores de Rho de cada uno de los objetos incluidos en el modelo del edificio.

Tabla 16. Rho de los objetos usados en el modelo

Objeto	Valor (%)	Objeto	Valor (%)
Suelo tipo para zonas verdes	15	Placa vertical y horizontal gris	45
Suelo tipo para acera y zonas vehiculares	27	Bloque tipo persiana	30
Paredes del Edificio de Ingeniería Industrial	78	Escalera de emergencia	45
Paredes del Edificio de Diseño Industrial	20	Columnas de la Escalera de emergencia y techo	45
Paredes del Edificio de Instituto de Lenguas	25	Estructura que rodea el primer nivel es la escalera	45
Paredes del Edificio de Laboratorio de Hidráulica	20	Cristal del Voladizo	5
Paredes del Edificio de Ingeniería Eléctrica	78	*Transparencia del cristal del voladizo	30
Hojas de los árboles	11	Bases que sostienen el cristal del voladizo	45
Tallo de los árboles	19	Zona verde quinto y sexto piso	15
Placa horizontal blanca	78		

Las figuras 49 (a), 50 (b) y 51 (c) muestran distintas vistas del modelo exterior concluido:

Figura 49. (a). Vista panorámica del modelo virtual del edificio *IE*.

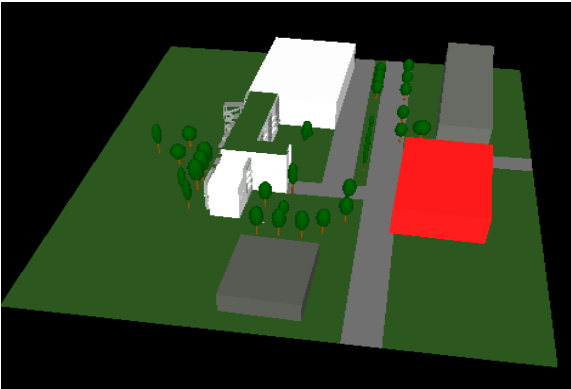


Figura 50. (b). Vista frontal del modelo virtual del edificio *IE*.

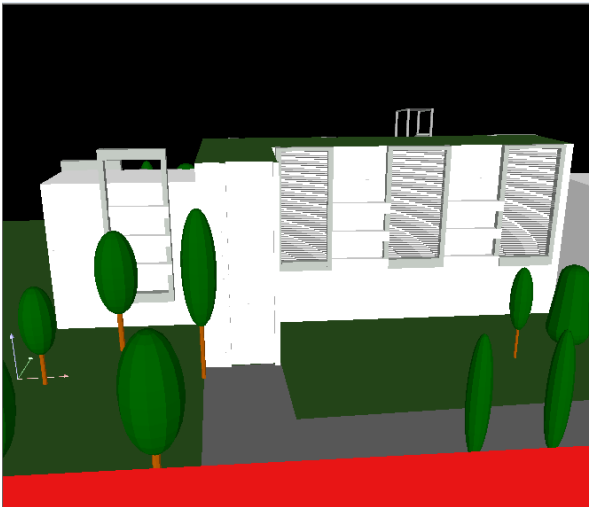
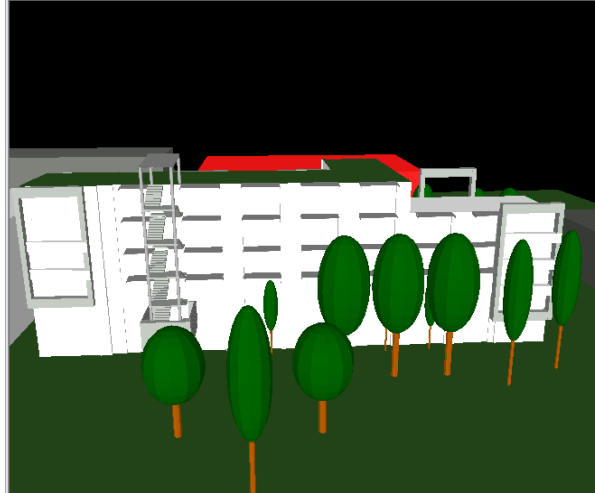


Figura 51. (c). Vista posterior del modelo virtual del edificio *IE*.



3.3 PARÁMETROS A ESPECIFICAR PREVIOS A SIMULAR

Son los parámetros que se pueden especificar en cualquier etapa del modelado y que son de gran impacto en la simulación de iluminación natural; estos parámetros son:

- Ubicación: Se configura al dar clic al nombre del proyecto en el administrador de proyectos y luego seleccionado la pestaña con ese nombre. Para el proyecto en cuestión se modifica longitud, latitud y zona horaria a los valores -73,12; 7,14 y -5 respectivamente.
- Orientación: Para modificar este parámetro se da clic en Local1, en el árbol del proyecto y luego en la pestaña de dicho nombre. Se cambia su valor a -2,0 [23].
- Escenas de luz: Se agregan a través de la barra de menú, menú Insertar, opción *Insertar Escena de Luz*. Para cada escena de luz insertada se debe seleccionar la opción *Tener en cuenta la luz diurna durante el cálculo* y se debe establecer la fecha, tiempo (hora) y el modelo de cielo a simular.

3.4 ANÁLISIS COMPARATIVO PARA LOS VALORES OBTENIDOS MEDIANTE SIMULACIÓN Y MEDICIÓN

Con el fin de obtener conclusiones generales, se realizó la simulación del modelo virtual del aula 301 para los tres modelos de cielo que permite Dialux y se halló el promedio entre los resultados de los cielos cubierto (caso desfavorable) y despejado (caso favorable); por lo que en total se consideran cinco escenas (cielo cubierto, cielo despejado, cielo parcialmente nublado, promedio cielos cubierto y despejado, y medición). En el siguiente paso se compararon para cada hora los coeficientes de luz diurna (Df) o porcentajes de penetración obtenidos mediante simulación y medición.

El análisis se realizó para Df fachada y se examinaron los siguientes comportamientos:

- Por hora para el conjunto de escenas.
- Diario para cada escena.
- Promedio diario para el conjunto de escenas.

3.4.1 Análisis Df fachada. Las figuras 52 y 53 son pertinentes para realizar el estudio por hora para el conjunto de escenas; si bien el análisis se hizo para cada hora, en seguida se enseñan las más representativas y en los anexos se pueden encontrar el resto de ellas.

Figura 52. Curvas medida y simuladas. Hora 10:00 am.

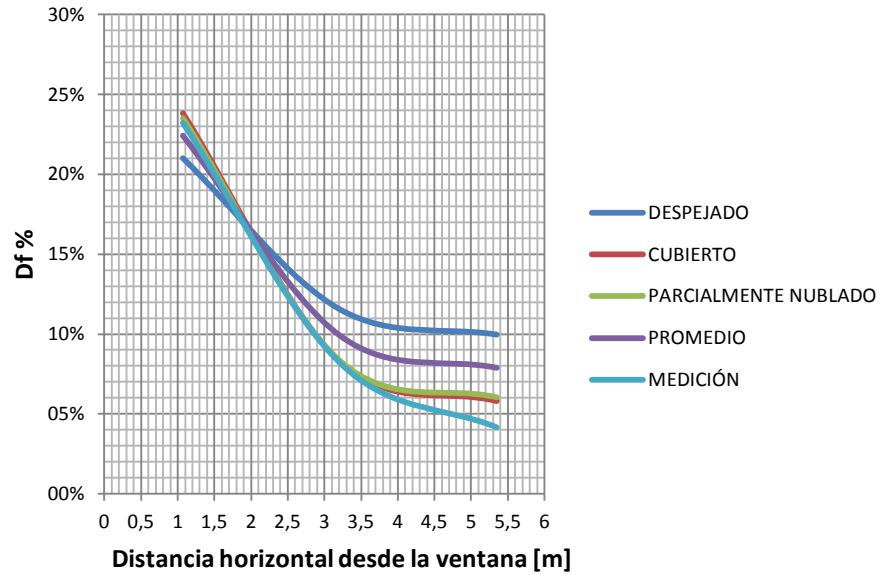
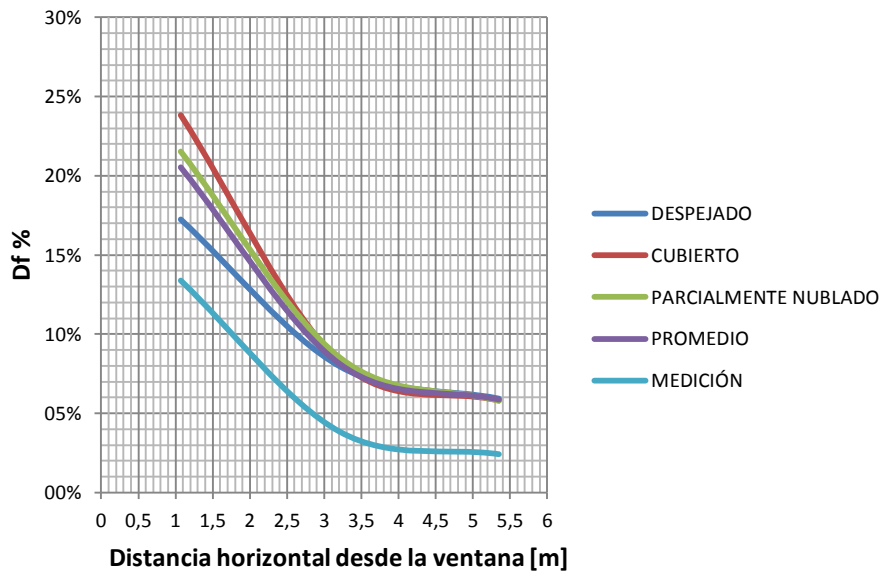


Figura 53. Curvas medida y simuladas. Hora 4:00 pm.



Producto de la similitud entre tendencias e incluso series de valores iguales que obstaculizan observar la curva más apropiada para representar los valores de medición, se hace necesario hallar el coeficiente de determinación para cada par de curvas. Los resultados se tabulan en la Tabla 17; a cada fila se le agregó un formato condicional tal que el color verde es el máximo valor y el color rojo representa el mínimo valor:

Tabla 17. Coeficientes de determinación según fachada.

Hora	Despejado	Cubierto	Parcialmente	
			nublado	Promedio
8	0,9979229	0,9944624	0,9961011	0,9958956
9	0,9985318	0,9941974	0,9949931	0,9962080
10	0,9951902	0,9942217	0,9933971	0,9945996
11	0,9903501	0,9999263	0,9993455	0,9982724
12	0,9936586	0,9999957	0,9984869	0,9993447
13	0,9864380	0,9919444	0,9892030	0,9900310
14	0,9812164	0,9852796	0,9883290	0,9837994
15	0,9969937	0,9952256	0,9981438	0,9959343
16	0,9974550	0,9999469	0,9980472	0,9994353
17	0,9900167	0,9989765	0,9951980	0,9965573

Tal como se observa, todos los modelos tiene un coeficiente de determinación mayor al 0,98, por lo que guiándose por este valor, cualquiera de ellos podría representar los valores obtenidos en medición. La tabla también permite ver la tendencia que tiene el máximo coeficiente de determinación hora a hora, y se deduce que la curva real es mejor representada en la mañana por los cielos despejado y cubierto, y en la tarde por los cielos cubierto y parcialmente nublado. De igual manera, es posible concluir que el modelo de cielo que marca pauta por tener la mayoría de los máximos valores de los coeficientes de determinación es el cubierto, seguido del despejado, parcialmente nublado, y por último, promedio.

Para el análisis siguiente se agrega el concepto “zona de tendencia” al área donde las curvas establecidas para el análisis tienden al mismo valor; la zona de tendencia tendrá las siguientes tres opciones:

- Zona de tendencia primera: Se refiere al área más cercana a la fachada. Su intervalo es de 0 a 2 metros.
- Zona de tendencia segunda: Tiene ubicación en la mitad de la fachada. Sus valores van desde 2 a 4 metros.
- Zona de tendencia tercera: Es el área más alejada de la fachada. Su rango inicia en 4 y termina en 6 metros.

Los intervalos dados anteriormente son para el salón 301, del cual se está haciendo el análisis; en general los rangos son de 0 a $z/3$, de $z/3$ a $2z/3$ y $2z/3$ a z , siendo z la distancia entre la fachada donde se ubica la ventana hasta su pared opuesta.

Con el concepto establecido se procede a hacer la clasificación según las curvas de simulación (DESPEJADO, CUBIERTO Y PARCIALMENTE NUBLADO), encontrando una dependencia en la que entre el intervalo de la zona de tendencia es mayor cuando la hora es mayor (entre más tarde sea). Esta información se muestra en la Tabla 18.

Coefficiente de determinación: Es un estadístico usado en el contexto de un modelo estadístico cuyo principal propósito es predecir futuros resultados o probar una hipótesis. El coeficiente determina la calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo. Adaptación de la enciclopedia virtual de Wikipedia, tomada de: Steel, R.G.D, and Torrie, J. H., Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences., McGraw Hill, 1960, pp. 187, 287.)

Tabla 18. Clasificación según curvas de simulación.

Hora	Zona de tendencia
8	Primera
9	Primera
10	Segunda
11	Segunda
12	Segunda
13	Segunda
14	Segunda
15	Tercera
16	Tercera
17	Tercera

Al incluir en el análisis de zona de tendencia a la curva de MEDICIÓN, no se puede concluir una dependencia como la que se encontró en las curvas de simulación; pero sí es posible apreciar que las zonas de tendencia segunda y tercera marcan pauta, dejando la primera como la zona menos favorecida, o manejando el concepto asociado, la zona de menos tendencia, obteniéndose en ella las diferencias más grande entre simulado y medido en la mayoría de las horas. El detalle antes descrito se puede apreciar a continuación en la Tabla 19.

Tabla 19. Zonas de tendencias.

Hora	Zona de tendencia
8	Tercera
9	Tercera
10	Primera
11	Segunda
12	Segunda
13	Tercera
14	Tercera
15	Segunda
16	**
17	Segunda

*Nota: La etiqueta ** se refiere para el caso donde no existió zona de tendencia o no es apreciable.*

Otra etapa a tener en cuenta en la comparación es realizar el análisis del comportamiento individual de cada modelo de cielo. Aunque el estudio fue hecho para cada modelo, en seguida se ilustran únicamente las curvas que dieron orientación al análisis en las figuras 54 a 55.

Figura 54. Modelo cielo despejado.

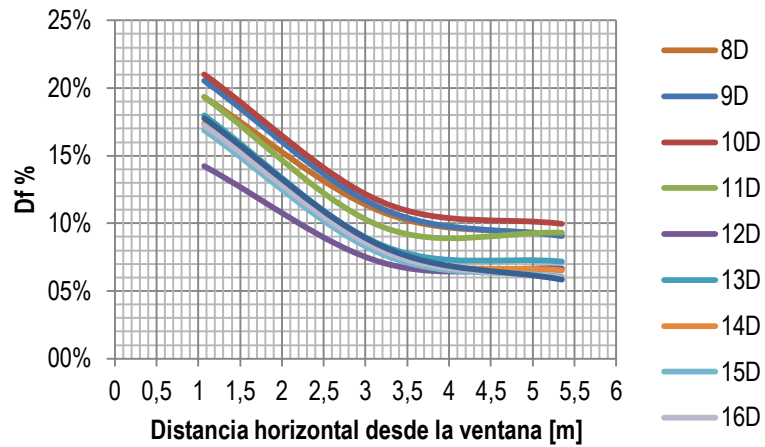


Figura 55. Modelo cielo cubierto.

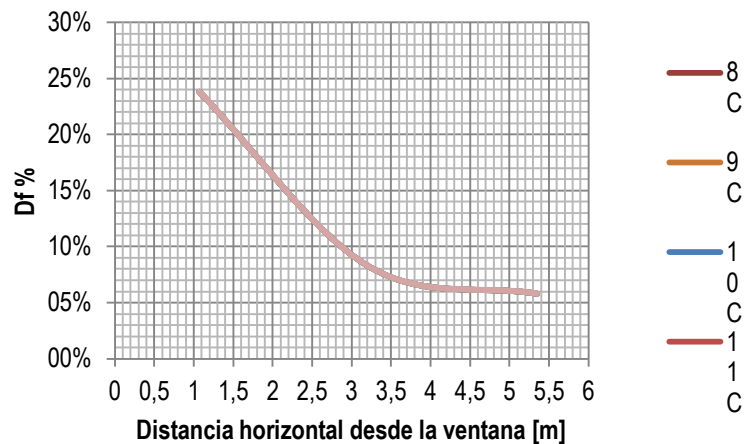
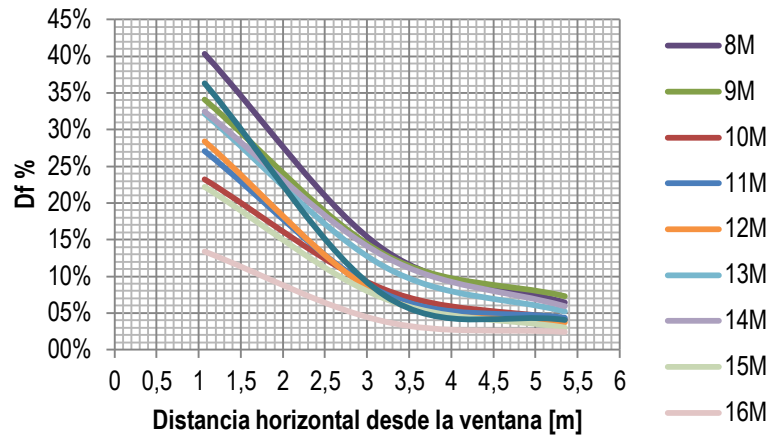


Figura 56. Modelo de valores obtenidos en medición.



Tal como se ve, en cada modelo las curvas tienden a unirse, observándose el caso excepcional del cielo cubierto donde la misma curva se repite en todas las horas; también se aprecia que la mayor diferencia entre curvas se encuentra para cielo despejado mostrando la conducta más parecida al caso real (medición).

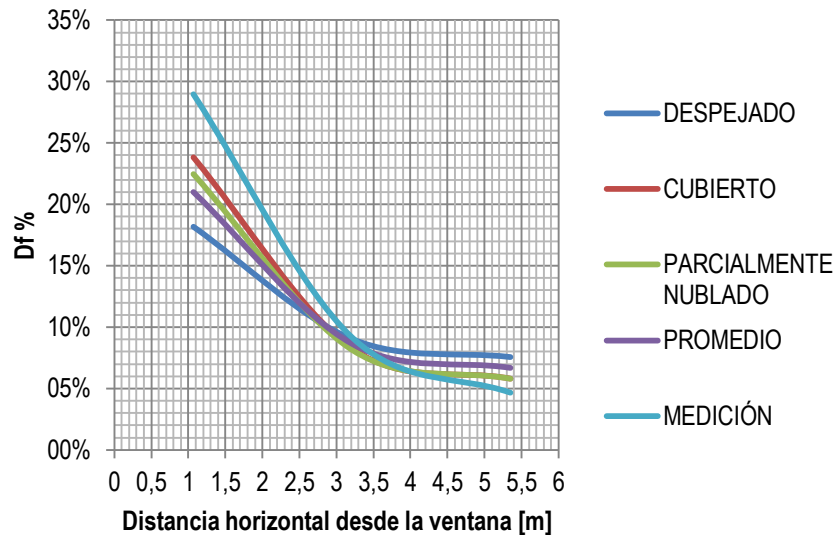
El comportamiento que presenta el cielo cubierto es incorrecto porque no es posible que el coeficiente de luz diurna (Df) sea igual para todas las horas; partiendo que el Df es la división entre los lux de un punto al interior del local y los lux de un punto al exterior del local, solo hay dos maneras para que el Df se mantenga constante; la primera que la iluminancia de ambos parámetros sea el mismo valor para todas las horas y la segunda que el porcentaje de iluminancia que aumenta o disminuye de una hora a otra sea aproximadamente el mismo para ambos parámetros. Es precisamente este último lo que sucede (ver Tabla 19) y la posible explicación de este acontecimiento es que para el cálculo de este modelo de cielo, Dialux no toma en cuenta el movimiento aparente solar si no que probablemente toma un movimiento alternativo, en la que el Sol al haber recorrido la mitad de su trayecto se devolverá.

Tabla 20. Valores en lux para tres puntos a distintos y fachada para cada hora del día.

Distancia/hora	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00
5.35[m]	213.0	272.3	324.7	355.0	362.0	344.3	304.0	243.3	168.0	77.3
3.21[m]	303.0	387.3	462.0	505.0	515.0	490.3	432.7	346.7	239.0	109.7
1.07[m]	870.0	1110.7	1324.7	1448.3	1477.3	1405.7	1240.7	994.0	685.3	314.3
Luxes fachada	3830	4891	5832	6377	6504	6189	5464	4378	3018	1383

El último estudio a realizar para Df fachada es para el promedio diario del conjunto de escenas, el cual se describe en la Figura 57.

Figura 57. Comportamiento diario.



Después de los anteriores análisis realizados no hay otro aporte significativo que puede entregar esta gráfica, debido a que sigue manteniendo el mismo comportamiento, donde la zona de tendencia secundaria sigue marcando pauta y la zona de tendencia primaria sigue siendo la de más desigualdad.

3.4.2 Selección del modelo de cielo. Teniendo en cuenta que los tiempos de simulación son considerables, resulta un proceso tedioso simular todos los modelos de cielo para la totalidad de espacios; precisamente por esto se realizó el trabajo completo para el aula 301 y se consideró que los demás espacios desarrollarían una tendencia similar, por lo que se seleccionó un modelo de cielo de acuerdo a las características encontradas para cada uno, las cuales se describen a continuación:

Modelo de cielo cubierto:

- Es para la mayoría de las horas el modelo que mejor representa los valores reales.
- Ahorra el cálculo del Df, ya que tiene la opción para insertar una superficie de cálculo que lo estime. Su falencia en este aspecto está en que calcula el Df solo respecto a terraza.
- Su comportamiento constante para el promedio diario lo aleja del comportamiento del fenómeno real.

Modelo de cielo despejado:

- Es para la mayoría de las horas el modelo que de peor manera podría representar los valores reales.
- Debido a que sus curvas horarias no tienden a unirse con el mismo ímpetu que en los otros modelos, presenta el comportamiento más cercano a los valores reales si se analiza desde esa perspectiva.

Modelo de cielo parcialmente nublado:

- Al analizarlo individualmente para el caso fachada sus curvas horarias tienden a ser las mismas, teniendo la misma desventaja del modelo de cielo Cubierto solo que no tan marcada.

Promedio de cielos cubierto y despejado (Seleccionado, ver anexo D salón 301):

- Es el que mejor representaría el modelo real partiendo desde el punto de vista de ser el que menos veces tiene el coeficiente de determinación menor hora a hora.
- Promedia los casos límites que maneja Dialux, resultando un modelo general, removiendo las falencias de los modelos que componen el cálculo y al mismo tiempo obtiene sus características beneficiosas en cierto grado.
- Requiere de los de datos de dos simulaciones, además de un tiempo de procesado más extenso.

3.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE USAR DIALUX

A continuación se enuncian las principales características de Dialux:

Ventajas:

- Especialista en simulación de luz artificial.
- Acceso a catálogos: Philips, Sylvania, Toshiba, Osram entre otros.
- Permite simular luz diurna en espacios interior y externos.
- Modela todo tipo de obstrucción como árboles y edificios aledaños.
- Permite especificar la altitud del espacio simulado con respecto al suelo.
- Tiene tres tipos de cielos: cielo cubierto, cielo despejado y cielo parcialmente nublado.
- Se puede definir la longitud, latitud y zona horaria de la ubicación del local [22] [24].

Desventajas:

- Según la cantidad de detalles tomados en consideración la iluminación natural podría tomar tiempos de cálculos extensos.

- Imposibilidad de crear suelo inclinado.
- No procesamiento del aporte lumínico que puede proceder del inicio o final de una escalera que conduce de un nivel a otro.
- Inconveniente al considerar en los cálculos los tubos solares, debido a que realiza la estimación sin tomar a consideración la radiación horizontal, es decir que ni las fotometrías como Dialux en sus herramientas tienen la opción directa para que la iluminancia del tubo solar varíe de acuerdo a la radiación horizontal del modelo puesto a análisis en Dialux.

4. HERRAMIENTA COMPUTACIONAL ALE3T

ALE3T es una herramienta computacional desarrollada en Microsoft Excel por medio del editor de Visual Basic. La finalidad principal del aplicativo es estimar el consumo de energía eléctrica para el sistema de iluminación del Edificio de Ingeniería Eléctrica de la sede principal ubicada en Bucaramanga; su otra función es permitir visualizar las curvas de comportamiento energético, la variación de la iluminancia y el Daylight Factor según su fuente para diferentes horas y/o distancias. El consumo mencionado de energía eléctrica se obtiene a partir de la definición de los siguientes parámetros:

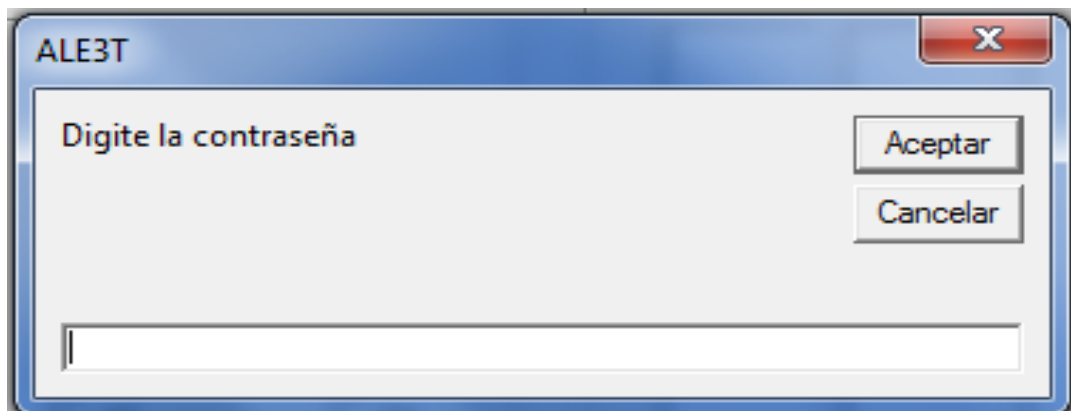
- Espacio
- Condición de uso
- Set Point establecido en las fotoceldas
- Radiación solar horizontal/mes

4.1 GUÍA DEL USUARIO

A continuación se dará una guía detallada sobre el uso de ALE3T, si bien la numeración no es estricta debido a que algunos pasos se pueden hacer antes que otros (las instrucciones del 2 al 7 no tienen orden específico dentro de ese rango), con el fin de que el usuario tenga en mente la funcionalidad de la herramienta, es conveniente darle el primer uso de acuerdo a la siguiente rutina:

1. Al ingresar a ALE3T aparece una ventana emergente (ver Figura 58) la cual solicita una contraseña, la cual permitirá que el usuario ingrese en modo programador con lo que podrá hacer variaciones al código y a los datos de que se manejan en las hojas de Excel. Si la contraseña es nula, incorrecta o se da clic en cancelar, el usuario ingresará en modo invitado y le será posible calcular y visualizar las variables antes mencionadas.

Figura 58. Ventana emergente inicial.



2. Después de ingresar como invitado, el usuario dispondrá del formulario MENU PRINCIPAL, el cual consta de ocho marcos los cuáles contienen diferentes opciones como se muestra en la Figura 59.

Figura 59. Menú principal

MENU PRINCIPAL

Seleccione el espacio
[Dropdown] Ubicación

Condición de uso

<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 16
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 17
<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 10	<input type="checkbox"/> 18
<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 11	<input type="checkbox"/> 19
<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 12	<input type="checkbox"/> 20
<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> 13	<input type="checkbox"/> 21
<input type="checkbox"/> 6	<input type="checkbox"/> 14	<input type="checkbox"/> 22
<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 15	<input type="checkbox"/> 23

Visualizar curva de uso

Determine el mes a realizar el análisis
abril
Varie el mes, para modificar las magnitudes de los casos tipos de radiación solar.

Modificar Set Point
450
Se refiere al valor mínimo de iluminancia (lux), el cual hará que se active el sistema de iluminación artificial

Establezca la radiación solar horizontal [W/m²]

Hora Caso editado Caso tipo I (media) Caso tipo II (baja)

Hora	Caso editado	Caso tipo I (media)	Caso tipo II (baja)
07:00	180	147,31	115,18
08:00	435,4	320,95	252,66
09:00	649,6	468,46	369,72
10:00	742	581,03	459,37
11:00	914,2	651,62	515,53
12:00	991,2	675,62	534,67
13:00	914,2	651,62	515,53
14:00	742	581,03	459,37
15:00	649,6	468,46	369,72
16:00	435,4	320,95	252,66
17:00	184,8	147,31	115,18

Totales 6838,4 5014,3 3959,5

Editar caso

Consulta actual y general
Visualizar informe diario Ir a histórico energético

Archivo
Cerrar Guardar Guardar y cerrar

Información adicional
Acerca de los autores

3. La primera opción que debería ser modificada es la selección del espacio, donde se da una lista con abreviaturas que identifican los espacios del Edificio, el botón Ubicación por niveles permitirá ver una lista donde se da el nombre real de cada abreviatura y se muestran las figuras con la estructura de los diferentes niveles en la construcción (ver Figura 60).

Figura 60. Marco Selección de espacio (Marco 1).

Selección de espacio

Ubicación por niveles

que hubo presencia.

00 16:00

00 17:00

Para poder observar los espacios y la ubicación que contienen cada nivel del edificio, se debe elegir alguno piso y luego dar clic en Ver, como se muestra en la Figura 61.

Figura 61. Formulario UBICACIÓN DE ESPACIOS POR NIVELES.

UBICACIÓN DE ESPACIOS POR NIVELES

Espacio:	Se refiere a:
103	Aula 103
201	Aula 201
202	Aula 202
204	Aula 204
205	Aula 205
206	Aula 206
207	Aula 207
301	Aula 301
302	Aula 302
304	Aula 304
305	Aula 305
401	Aula 401
402	Aula 402
404	Aula 404
405	Aula 405
406	Aula 406
CE1	Sala de estudio grupal
CE2	Secretaría Centro de estudios
SI	Sala de estudio individual
PASILLO PISO1	PASILLO PISO1
PASILLO PISO2	PASILLO PISO2
PASILLO PISO3	PASILLO PISO3
PASILLO PISO4	PASILLO PISO4
PASILLO PISO5	PASILLO PISO5
SDE	Sala de espera coordinación de pregrado (SE)
CP	Coordinación de pregrado
SP	Secretaría de posgrados
PS	Proyectos y servicios
CC	Coordinación de calidad
DE3T	Dirección E3T
SR	Sala de reuniones
SEDEST	Sala de espera dirección E3T

Seleccione el nivel de la construcción que desea observar

Nivel 0 Nivel 1 Nivel 2 Nivel 3 Nivel 4 Nivel 5

Ver

AULA 302 AULA 301 IEEE AULA 305 AULA 304

CUARTO TÉCNICO

EM 3

4. Otra característica a establecer es la condición de uso en la que por medio de un listado de tiempo se puede chequear las horas en las cuales hubo, hay o habrá presencia en el espacio (ver Figura 62).

Figura 62. Marco Condición de uso (Marco 2).

Condición de uso.

Chequeé las horas en las que hubo presencia.

<input checked="" type="checkbox"/> 00:00	<input checked="" type="checkbox"/> 08:00	<input checked="" type="checkbox"/> 16:00
<input checked="" type="checkbox"/> 01:00	<input checked="" type="checkbox"/> 09:00	<input checked="" type="checkbox"/> 17:00
<input checked="" type="checkbox"/> 02:00	<input checked="" type="checkbox"/> 10:00	<input type="checkbox"/> 18:00
<input type="checkbox"/> 03:00	<input type="checkbox"/> 11:00	<input checked="" type="checkbox"/> 19:00
<input type="checkbox"/> 04:00	<input type="checkbox"/> 12:00	<input checked="" type="checkbox"/> 20:00
<input checked="" type="checkbox"/> 05:00	<input checked="" type="checkbox"/> 13:00	<input checked="" type="checkbox"/> 21:00
<input checked="" type="checkbox"/> 06:00	<input type="checkbox"/> 14:00	<input checked="" type="checkbox"/> 22:00
<input checked="" type="checkbox"/> 07:00	<input type="checkbox"/> 15:00	<input type="checkbox"/> 23:00

Visualizar curva de uso

Si se le hace clic al comando Visualizar curva de uso se abrirá un nuevo formulario, en el que el usuario podrá elegir entre ver la condición de uso para los dos análisis ya expuestos (ver figuras 63 y 64).

Figura 63. Curva de uso. Análisis ideal.

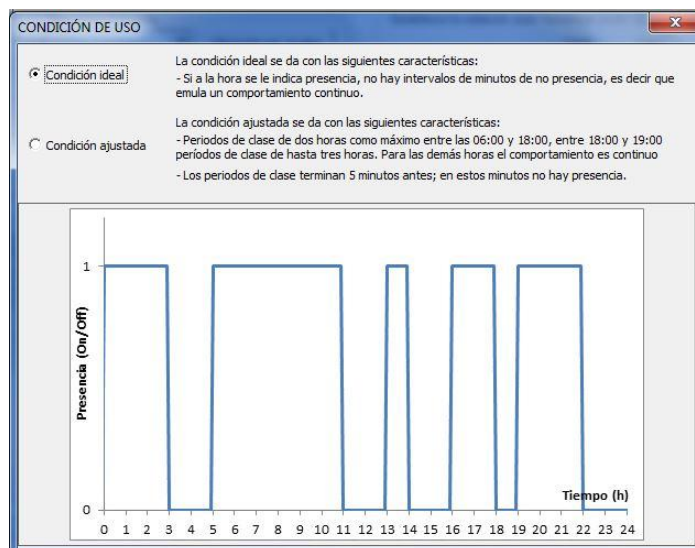
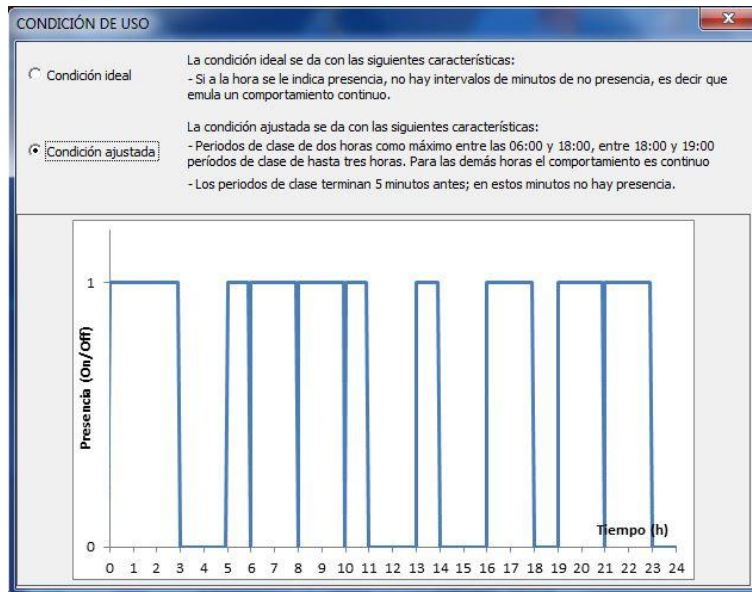
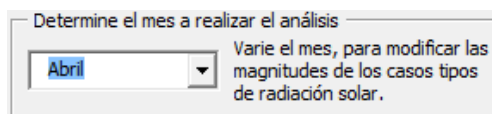


Figura 64. Curva de uso. Análisis ajustado.



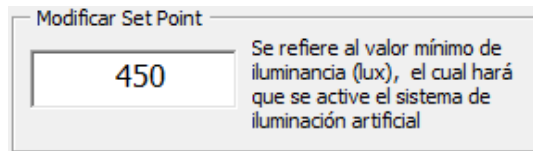
5. El siguiente paso es elegir el mes sobre el que se está haciendo los cálculos, el usuario podrá observar que cada cambio produce variaciones en las magnitudes de los casos tipos de radiación solar horizontal (ver Figura 65).

Figura 65. Marco determinación del mes (Marco 3).



6. Posteriormente se debe si es necesario, modificar el Set Point, este es el mínimo valor en el espacio que es detectado por la fotocelda para en tal caso activar el sistema de iluminación artificial (ver Figura 66).

Figura 66. Marco Nivel de Set Point (Marco 4).



Modificar Set Point

450

Se refiere al valor mínimo de iluminancia (lux), el cual hará que se active el sistema de iluminación artificial

7. La última magnitud a tener en cuenta es la radiación horizontal, en ella se dan tres alternativas, dos de ellas son valores extraídos de la aplicación SOLEA y la otra permite que el usuario ingrese los datos a su disposición haciendo uso del comando Editar caso. En SOLEA se estableció la latitud, las Horas Sol y la fecha (se hicieron los cálculos para el día 21 de cada mes, de ahí a que al modificar el mes en el Marco 3 la radiación varíe). La inclusión de esos valores en el aplicativo se hace con el fin de darle una referencia al usuario aproximada, dándole dos casos que se diferencia en sus Horas Sol, siendo 0,3 (radiación solar baja) para el caso tipo II y 0,5 (radiación solar media) para el caso tipo I. Horas Sol es un número de 0 a 1 que representa el coeficiente entre el número de horas Sol efectivas respecto a las horas sol teóricas [Información obtenida del propio software “SOLEA”]. La Figura 5.9 muestra la ventana desplegada con esta opción.

Figura 67. Marco radiación solar horizontal (Marco 5).

Establezca la radiación solar horizontal [W/m²]

Hora Caso editado Caso tipo I (media) Caso tipo II (baja)

07:00	170	147,31	115,18
08:00	435	320,95	252,66
09:00	649	468,46	369,72
10:00	742	581,03	459,37
11:00	914	651,62	515,53
12:00	991	675,62	534,67
13:00	914	651,62	515,53
14:00	742	581,03	459,37
15:00	649	468,46	369,72
16:00	435	320,95	252,66
17:00	184	147,31	115,18
Totales	6825	5014,3	3959,5

8. Después de haber realizado los pasos anteriores, el cálculo es efectuado. Para verlo se debe dar clic en Visualizar informe, en la pestaña mostrada en la Figura 67. Realizado esto, se desplegará el formulario mostrado en la Figura 68. El comando Visualizar informe únicamente estará activo cuando el usuario haya seleccionado un espacio.

Figura 68. Marco análisis actual y resumen general (Marco 6).

Consulta actual y general

<input type="button" value="Visualizar informe"/>	<input type="button" value="Ir a registro energético"/>
---	---

Figura 69. Pestaña “Información general” del formulario INFORME.

INFORME

Información general | Gráficos1 | Gráficos2 | Gráficos3A | Gráficos3B

ESPACIO: 201 **SISTEMA:** Iluminación híbrida tipo I. Tiene sensor combinado (presencia + fotocelda ON/OFF) y las luminarias fluorescentes son ON/OFF.

MES: Abril

CONSUMO IDEAL: 8,904 kWh

CONSUMO AJUSTADO: 8,904 kWh

Este espacio cuenta tubos solares de ajuste manual, si desea hacer de nuevo el cálculo para tenerlos en cuenta, chequeé la siguiente opción y a continuación haga click en recalcular

Activar tubo solar RECALCULAR

DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS PRESENTADO

El informe luminotécnico del espacio seleccionado se expone en cinco pestañas, explicadas a continuación:

- En la pestaña "Información general" (pestaña actual) se encuentra el resumen general de los parámetros elegidos por el usuario, y así mismo el consumo calculado. Adicionalmente en los espacios que cuenta con tubos solares de funcionamiento manual, se da la opción para que se activen y se hagan de nuevo los cálculos, teniéndolos en cuenta.
- La pestaña "Gráficos1" se compone por dos figuras; la primera ("Gráfico 1.1") caracteriza el comportamiento lumínico horario para las diferentes fuentes de iluminación según las condiciones impuestas; la segunda ("Gráfico 1.2") muestra la curva de potencia y energía vs tiempo.
- La pestaña "Gráficos2" está constituida por dos figuras; la primera ("Gráfico 2.1") hace referencia a la iluminancia existente horaria según condición de uso para cada punto ubicado a lo largo de una línea imaginaria perpendicular respecto a la fachada; el segundo esquema ("Gráfico 2.2") no toma a consideración la condición de uso; enseña para cada hora del día:
 - La curva característica de la iluminación natural vs distancia desde la fachada.
 - La curva característica post proceso de automatización, siendo la misma en el caso que no supere el set point establecido o en el caso contrario siendo la suma de la iluminación natural y la iluminación artificial respectiva de cada espacio y de cada sistema híbrido de automatización.

En Las pestañas "Gráficos3A" y "Gráficos3B" se podrá apreciar en los "Gráfico3.1", "Gráfico3.2" y "Gráfico3.3" que representan en el orden respectivo la relación de las magnitudes DF, iluminancia natural e iluminancia mixta versus distancia respecto a fachada y tiempo; por último el "Gráfico3.4" muestra la característica iluminancia-tiempo para las diferentes fuentes de luz

Aclaración: Todas las gráficas presentadas en este informe se obtuvieron usando únicamente el análisis ideal, exceptuando las gráficas de la primera pestaña a las que se les hizo ambos análisis.

Si está de acuerdo con la información suministrada haga clic en el botón "Agregar condición diaria" para añadir los resultados al histórico energético.

Agregar condición diaria Características análisis ideal y ajustado

El formulario es un informe luminotécnico del espacio seleccionado que se expone en cinco pestañas y en su mayoría es resumido por gráficas; tales gráficas fueron obtenidas empleando el análisis ideal; a excepción de las gráficas de la pestaña “Graficas1” que se elaboraron para ambos análisis por ser las gráficas que resumen el informe. Las pestañas del informe son explicadas a continuación:

- En la pestaña "Información general" se encuentra el resumen general de los parámetros elegidos por el usuario, y así mismo el consumo calculado para cada análisis. Adicionalmente en los espacios que cuenta con tubos solares de funcionamiento manual, se da la opción para que se activen y se hagan de nuevo los cálculos, teniéndolos en cuenta (ver Figura 69).

- La pestaña "Gráficos1" se compone por dos figuras; la primera ("Gráfico 1.1") caracteriza el comportamiento lumínico horario para las diferentes fuentes de iluminación según las condiciones impuestas; la segunda ("Gráfico 1.2") muestra la curva de potencia y energía vs tiempo como se muestra en la Figura 70.

Figura 70. Pestaña "Gráficos1". Ver análisis ideal.

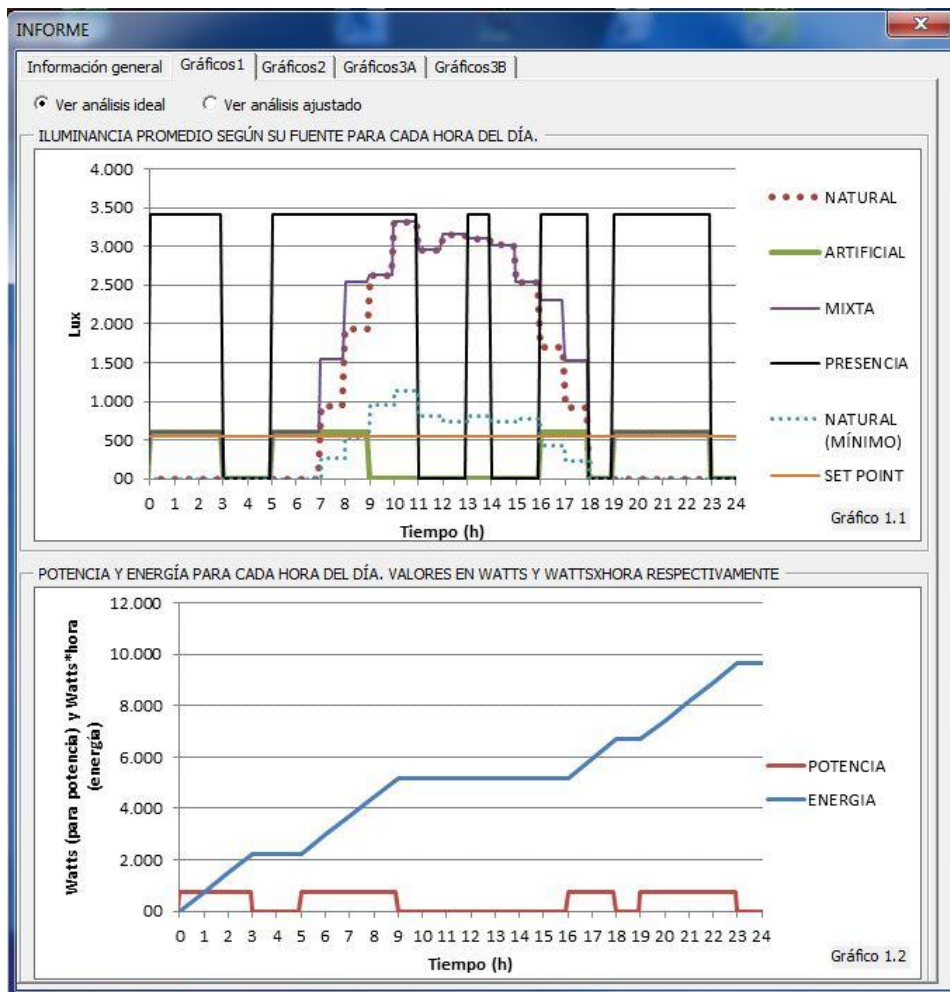
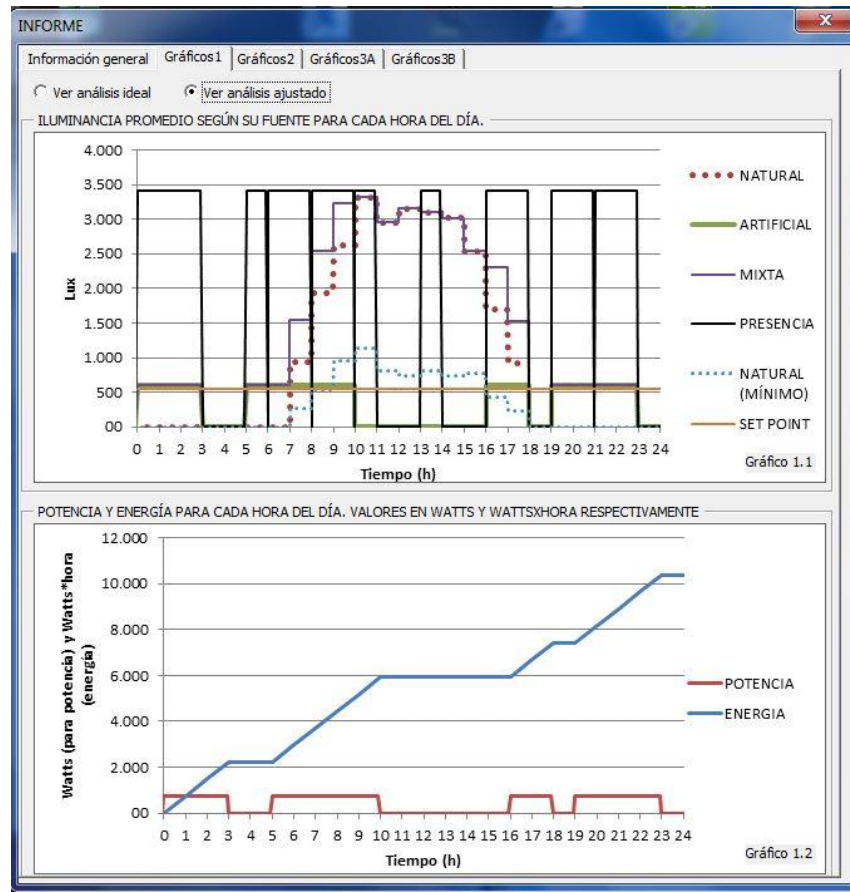


Figura 71. Pestaña “Gráficos1”. Ver análisis ajustado.

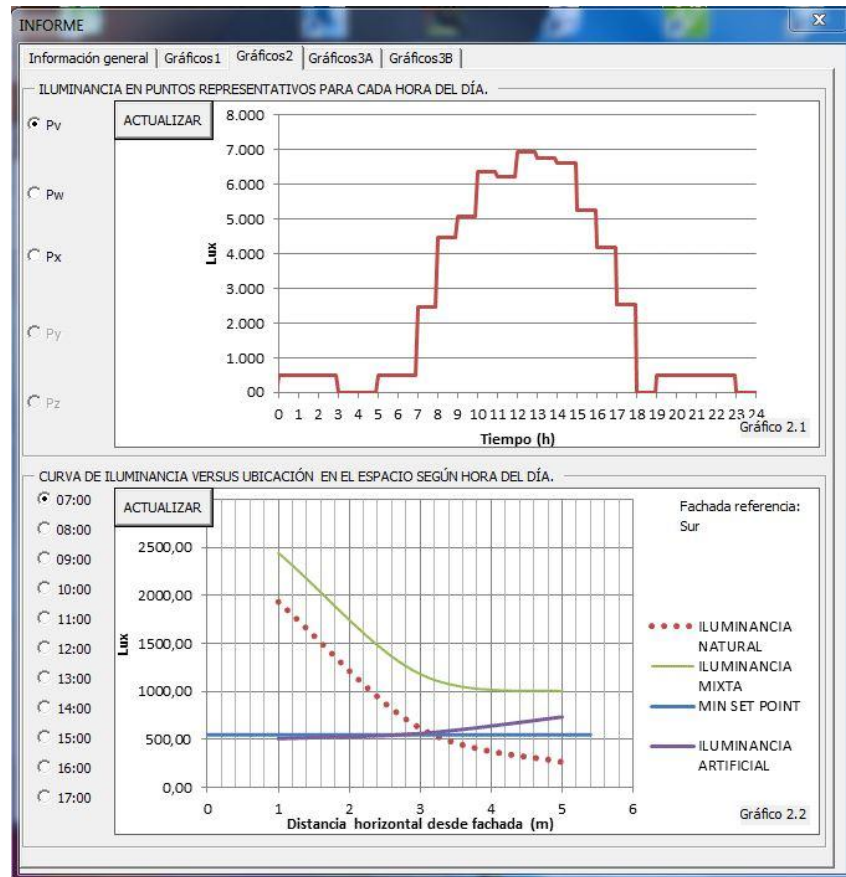


- La pestaña "Gráficos2" está constituida por dos figuras; la primera ("Gráfico 2.1") hace referencia a la iluminancia existente horaria según condición de uso para cada punto equidistante ubicado a lo largo de una línea imaginaria perpendicular respecto a la fachada. El segundo esquema ("Gráfico 2.2") no toma a consideración el parámetro presencia ingresado anteriormente, es decir, que la gráfica es obtenida con la condición de presencia para todas las horas de luz natural (07.00 a 17.00) con lo que enseña para cada hora:
 - La curva característica de la iluminación natural vs distancia desde la fachada.

- La curva característica post proceso de automatización, siendo la misma en el caso que no supere el Set Point establecido o en el caso contrario siendo la suma de la iluminación natural y la iluminación artificial respectiva para cada espacio y de su sistema híbrido de automatización.

La Figura 72 muestra el despliegue de la pestaña Gráficos 2.

Figura 72. Pestaña “Gráficos2”.



- Las figuras 73 y 74 muestran el despliegue de las pestañas "Gráficos3A" y "Gráficos3B", donde se podrá apreciar en los "Gráfico3.1", "Gráfico3.2" y "Gráfico3.3" que representan en el orden respectivo la relación de las magnitudes

DF, iluminancia natural e iluminancia mixta versus distancia respecto a fachada y tiempo; por último el "Gráfico3.4" muestra la característica iluminancia-tiempo para las diferentes fuentes de luz (natural, artificial y mixta).

Figura 73. Pestaña "Gráficos3A".

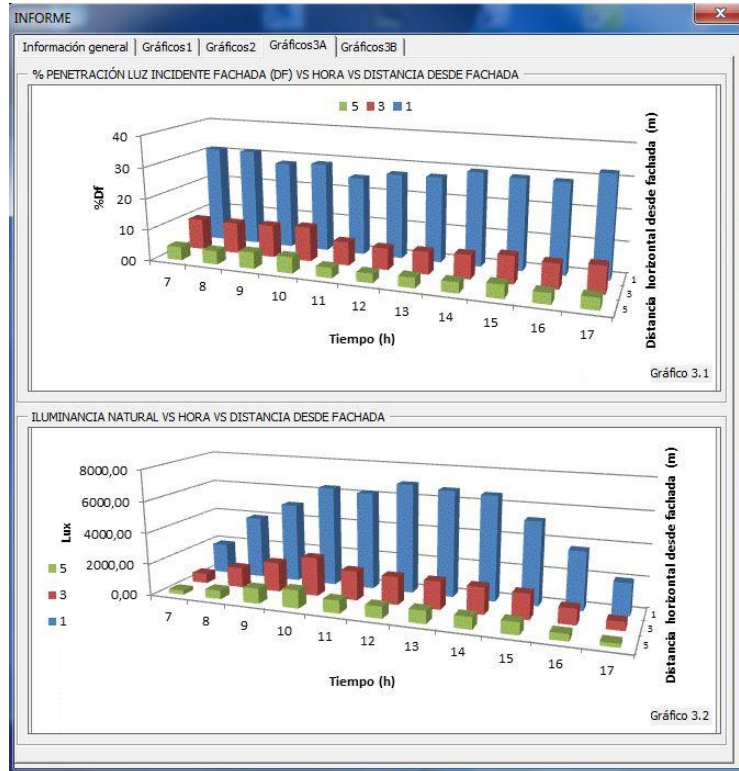
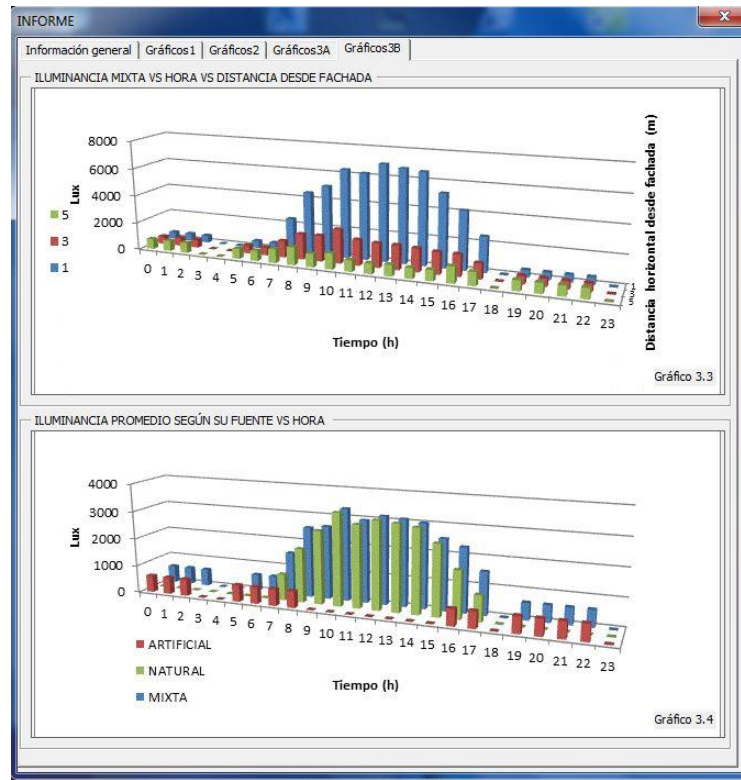


Figura 74. Pestaña “Gráficos3B”.



Se da la posibilidad de si el usuario lo desea llevar un registro que resuma los cálculos energéticos efectuados; para ello se debe presionar sobre Agregar condición actual en la pestaña “Información general”.

El comando próximo a Agregar condición actual es decir Características análisis ideal y ajustado abre un nuevo formulario con información sobre los análisis.

Luego de haber o no agregado los detalles de los cálculos, se cierra el formulario y se procede a ver un informe global dando clic en Ir a registro energético, en este se podrá apreciar los parámetros más influyentes en el cálculo del consumo de energía eléctrica, como espacio, radiación solar y condición de uso. En el momento que el usuario desea modificar dicha lista, lo podrá hacer eliminando cada regis-

tro o el registro en su totalidad, haciendo clic en Borrar registro o Vaciar registros respectivamente como se muestra en la Figura 75.

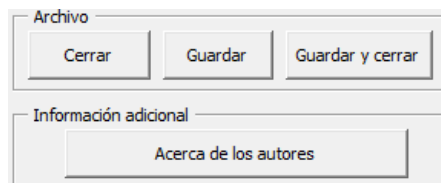
Figura 75. Formulario histórico.

Espacio	Consumo ideal [kWh]	Consumo ajustado [kWh]	Radiación horizontal total [W/m2]	Total de horas de uso	Horas uso diario
201	2,968	3,71	6825	7	5
201	3,71	3,71	3959,59	7	5
201	3,71	3,71	3959,59	9	7
201	9,646	10,388	3959,59	16	7

Total consumo ajustado [kWh]: 21,518
 Total consumo ideal [kWh]: 20,034

9. Dando clic al botón Acerca de los autores, el usuario podrá ver la información más relevante de las personas que estuvieron a cargo del proyecto y el grupo de investigación del que hace parte. Al terminar los análisis el usuario puede guardar y/o cerrar usando los comandos respectivos, de esa manera podrá mantener su registro histórico y le será posible continuar en cualquier momento (ver Figura 76).

Figura 76. Marco Archivo (Marco 7) e Información adicional (Marco 8).

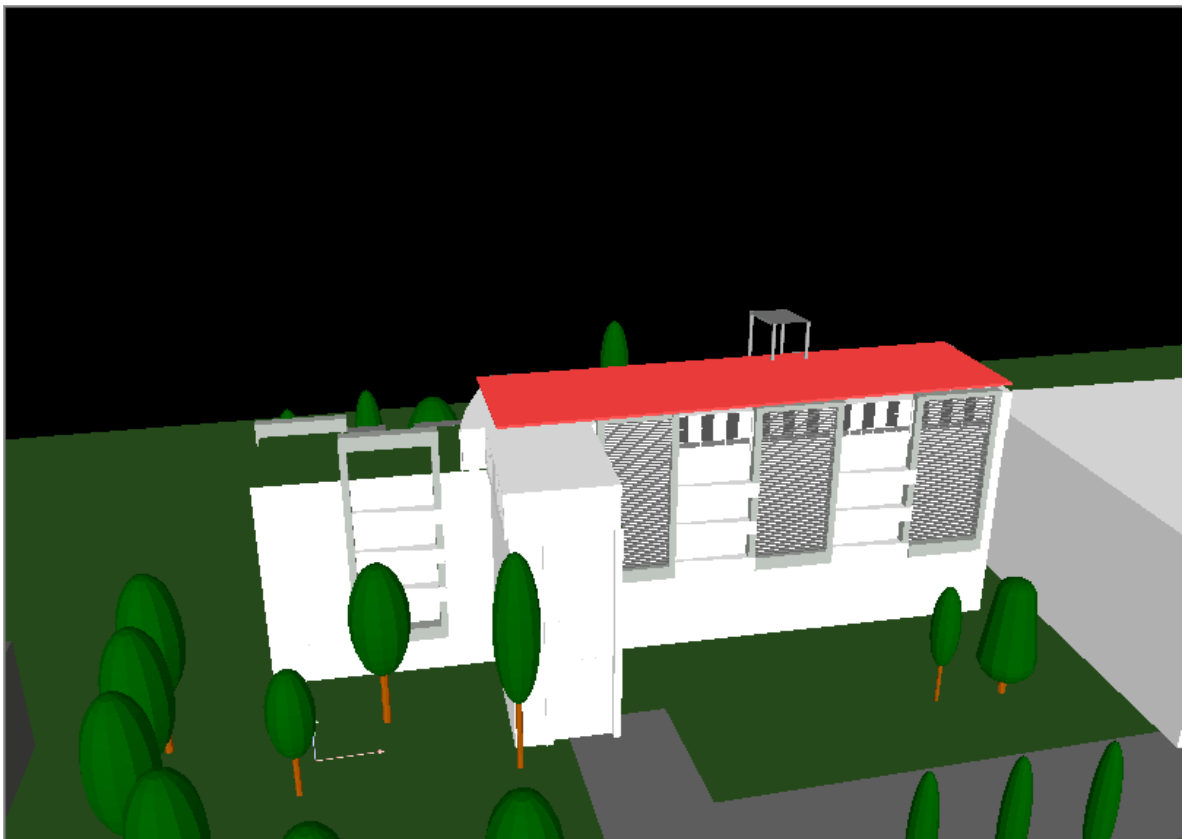


4.2 TERMINOLOGÍA EMPLEADA

A lo largo del capítulo se usaron términos específicos de la investigación, por lo que se hace necesario explicarlos como sigue:

- **Radiación solar horizontal:** Hace referencia a la radiación solar incidente en un plano horizontal imaginario ubicado en la terraza del edificio. En la siguiente figura, el rectángulo de color rojo, es el plano imaginario mencionado.

Figura 77. Plano horizontal imaginario ubicado en la terraza del edificio.



- **Características del análisis ideal:**

- Presencia continua; es decir si alguna hora fue chequeada, siempre hubo presencia en dicha hora.
- La prioridad uno del control del sistema automatizado es la fotocelda y el sensor de presencia; por lo que el sistema de iluminación artificial se encenderá solo cuando exista presencia y la fotocelda detecte que la iluminancia actual no es suficiente.

- **Características del análisis ajustado:**

- Periodos de clase de dos horas como máximo entre las 06:00 y 18:00, entre 18:00 y 19:00 períodos de clase de hasta tres horas. Para las demás horas el comportamiento es continuo
- Los periodos de clase terminan 5 minutos antes; en estos minutos no hay presencia.
- La prioridad uno del control del sistema automatizado es el sensor de presencia; por lo que el sistema de iluminación artificial se encenderá cuando exista presencia y la fotocelda detecte que la iluminancia actual no es suficiente o en el caso que exista presencia y la iluminancia de la hora anterior no fue suficiente. La hora anterior aplica la primera hora de un periodo de clase; es decir: 07:00, 09:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00 y 20:00.

Para dar claridad a los análisis en cuanto la presencia; las figuras 78 y 79 muestra para cada análisis el comportamiento de la curva de uso a las que se le ha seleccionado la condición de presencia en todas las horas.

Figura 78. Condición de uso para el análisis ideal. Todas las horas registran presencia.

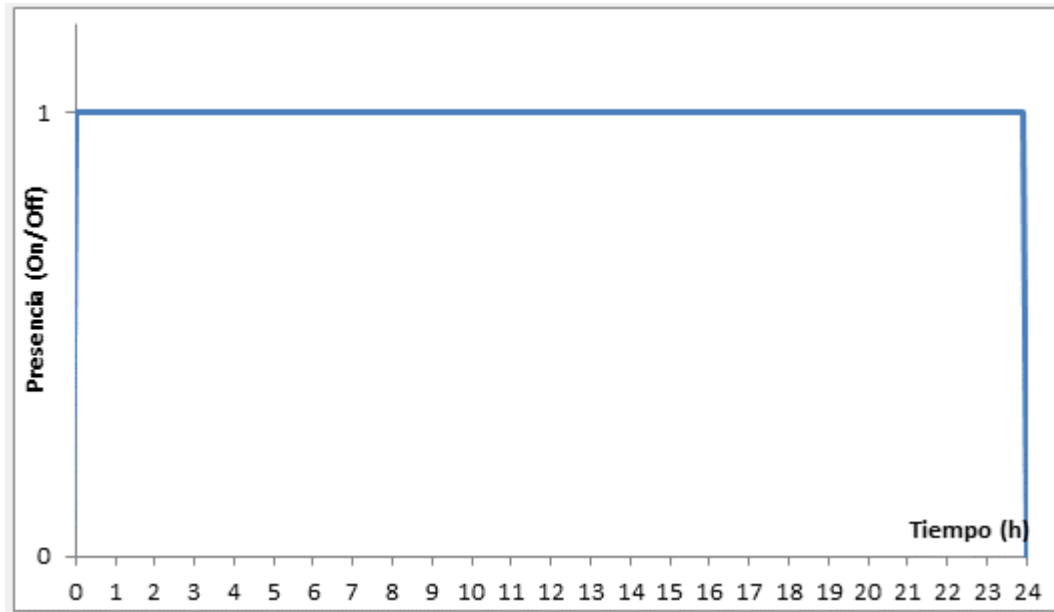
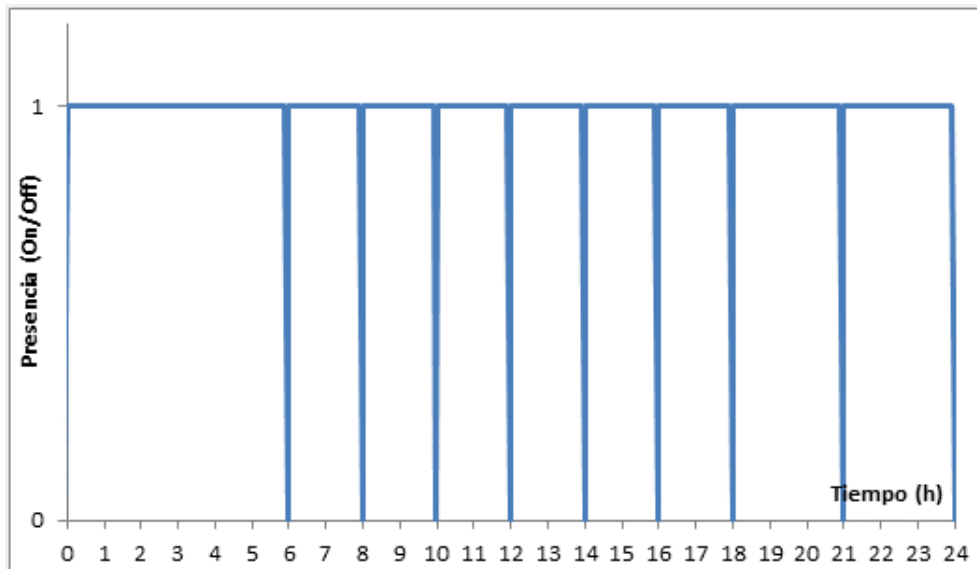


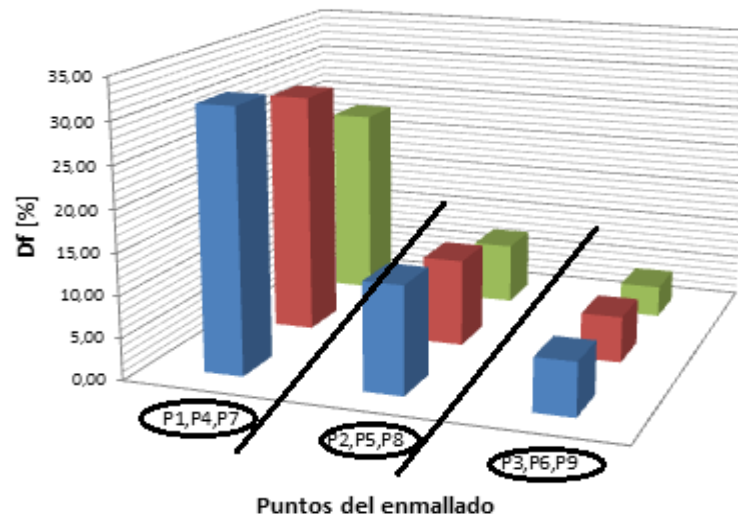
Figura 79. Condición de uso para el análisis ajustado. Todas las horas registran presencia.



- **Puntos representativos o equidistantes (Pv, Pw, Px, Py, y Pz):** Hacen mención a valores que de una manera más concreta pueden emular lo que está pasando en el espacio; en el caso de los espacios considerados cada punto representativo es el promedio de los puntos equidistantes (distancia referida desde la fachada, donde está la ventana o la abertura).

Para dar más claridad al término anterior se explica el procedimiento para el espacio 201, remitiéndose al gráfico 3.2 de la presente investigación:

Figura 80. Edición de la figura 3.2.



Para este espacio la fachada donde está la ventana estaría representada por el rectángulo de la izquierda, sobre el que está etiquetado el Df[%]; siendo así, al mencionar equidistancia desde la fachada se refiere a los puntos que tiene la misma proximidad desde la ventana; por lo que si se busca cuáles son los puntos que están igual de cercanos a la ventana como P1, se encontrará que son P4 y P7; haciendo la misma pregunta para P2, se puede verificar que sus iguales en

distancia respecto a fachada son P5 y P8, y por último si se pregunta por los puntos que están igual de alejados de la ventana como lo está P3, con seguridad se puede decir que son P6 y P9.

Sobre la nomenclatura usada en el aplicativo; Pv, Pw, Px, Py, y Pz son los promedios de los puntos equidistantes y en cuando a distancia Pv hace referencia al punto más cerca de la fachada de referencia, un poco más lejos estará Pw y se irá alejando hasta llegar a Pz. En el caso de no haya 5 puntos equidistantes en el espacio se seguirá la misma tendencia pero con los puntos existentes; es decir, aplicándolo al caso específico; el salón 201 contaría con Pv (promedio de P1, P4 y P7), Pw (promedio de P2, P5 y P8) y Px (promedio de P3, P6 y P9).

- **Fachada de referencia:** Corresponde a la fachada respecto a la cual se está midiendo las distancias hasta los puntos. Para la presente investigación si el espacio contaba con una sola ventana esa es su fachada de referencia, en el caso de dos fachadas con ventanas (Norte y Sur) la fachada de referencia es Sur y por último los espacios que poseen ventanales en las fachadas Este y Oeste, se toma como origen la ventana ubicada en la fachada Este.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo plasman las principales conclusiones del trabajo de grado y se dan algunas recomendaciones para la continuación de trabajos de grado en esta línea. Las conclusiones se organizan según el orden de cada objetivo del trabajo de grado.

5.1 CONCLUSIONES

Medición y curvas de comportamiento

- Al comparar los resultados halladas con los dos métodos de cálculo del D_f , se observó un comportamiento uniforme en las curvas de iluminación natural con el método de cálculo de fachada y mediante la radiación captada en la terraza se observan cambios bruscos en las curvas del comportamiento de la iluminación natural. A partir de lo cual fue posible concluir que, para zonas con climas tropicales el método de cálculo del D_f tomando como referencia la radiación captada en la terraza no es el método más recomendable, debido principalmente al movimiento aparente solar en estas zonas.
- De acuerdo con las curvas de comportamiento de la iluminación artificial halladas en el proceso de medición, fue posible deducir que la iluminancia del espacio no es uniforme y varía según este configurado el sistema de luminarias y el grado de reflexión de las paredes y ventanas.
- Se comprobó mediante los resultados de los niveles de iluminancia media medidos, que todas las aulas de clase, oficinas, pasillos, cuartos técnicos, baños y zonas comunes del Edificio de Ingeniería Eléctrica cumplen con los niveles de iluminación exigidos RETILAP según la tarea visual de cada espacio.

Modelado virtual

- En general, tanto para el comportamiento de la iluminación natural representada por el D_f y el promedio de la iluminación artificial, se logró confirmar que los resultados de las simulaciones pueden usarse para modelar el fenómeno real; esto mediante la comparación de los valores obtenidos por Dialux y la medición en campo.
- Específicamente, en el análisis de iluminación natural, la relación encontrada entre el modelo virtual y el fenómeno real, cuantificada según el coeficiente de determinación es de mínimo el 98%, por lo que se apreció que por medio de Dialux se obtienen curvas características cercanas a las reales; esto debido a características del programa como su flexibilidad en cuanto a la gama de opciones en el manejo de iluminación; pero, se encontró que el software es sensible de tal manera que mínimas variaciones en los parámetros del modelo (reflectividad, transparencia, dimensiones, ubicación, cantidad y exactitud en el manejo de obstrucciones a considerar, entre otras) pueden generar errores significativos en los resultados finales de la simulación de la iluminación natural interna para un espacio. Se debe tener en cuenta en el inciso presente la importancia de tener equipos de medición con incertidumbres adecuadas para poder realizar las medidas y que las comparaciones sean válidas.

Herramienta computacional

- La herramienta computacional ALE3T cumple con su objetivo principal que consiste en estimar el consumo energético del sistema de iluminación, además de que obtiene las curvas de comportamiento lumínico del Edificio IE. El aplicativo está restringido para un rango de condiciones, y precisamente por esta razón se considera necesario que en una investigación futura se modifique el aplicativo con el fin de aumentar las opciones en sus cálculos y así tener en cuenta más escenarios de proyección (presencia y radiación solar en intervalos más cortos, disponibilidad de manejar elementos de ambiente como telones, facultad de

contemplar en los análisis de los tubos solares de acción manual su operación para cualquier porcentaje de abertura, entre otros).

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar futuros trabajos de grado que aborden la medición de los espacios nuevamente de forma intensa durante todo un año, para apreciar si existen cambios significativos debidos al mes del año.
- Actualizar los parámetros de las ventanas, puertas, paredes, techos, pisos y todos los elementos internos del modelo virtual, en el momento de utilizar este modelo para nuevos estudios de iluminación, debido a que las características de estos pueden cambiar.
- Calibrar el nivel de iluminación mínimo o *SET POINT*, previo a realizar nuevos procesos de medición de iluminación en el edificio de ingeniería Eléctrica, con el fin de evitar retrasos e inconvenientes en la toma de datos.
- Se recomienda reubicar las fotoceldas de todas las aulas y oficinas, a los puntos de los espacios donde según las curvas de comportamiento de la iluminación natural presentan los niveles más bajos de iluminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Facultad de Ingeniería Industrial, “ILUMINACIÓN PROTOCOLO.” Laboratorio de Producción, Bogota, Colombia, p. 47, 2008.
- [2] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio Exterior. “GUIA TÉCNICA: APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL DE EDIFICIOS.” Madrid, España, p. 87, 2005.
- [3] Diccionario de Arquitectura y Construcción, “Definición de iluminación mixta.” [Online]. Available: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-iluminacion+mixta>. [Accessed: 04-Aug-2014].
- [4] Comité Español de Iluminación and Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, *Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios*. Madrid, España, 2005.
- [5] Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia, *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP*, 1st ed. Bogota, Colombia, 2010.
- [6] Universidad Nacional de Colombia, “Caracterización del consumo de energía final en los sectores terciarios, grandes establecimientos comerciales, centros comerciales y determinación de consumos para sus respectivos equipos de uso de energía final,” Bogota, Colombia, 2007.
- [7] NASA, “NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data,” 2014. [Online]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>. [Accessed: 25-Jul-2014].
- [8] PATTINI Andrea. “Luz natural e iluminación de interiores.” [Online]. Available:

<http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/dllyv/files/2011/06/cap11.pdf>.

[Accessed: 10-Jul-2014].

- [9] SARMIENTO Pedro. *Energía solar en arquitectura y construcción*, 2nd ed. Mexico DC: RIL Editores, 2007.
- [10] “Estrategias de transmisión de la luz natural.” [Online]. Available: http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseño-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif Publicos_Parte2.pdf. [Accessed: 10-Jul-2014].
- [11] EBERHARDT Oliver. “THE COMPARISON OF NATURAL AND ARTIFICIAL LIGHTING.” IEEE, p. 2, 2009.
- [12] GÁLVEZ Xóchitl. “Diseño de Edificios Verdes e Inteligentes,” Universidad Autónoma de México, Ciudad de México, México, 2010.
- [13] VILORIA Jose. “Estudio de la Viabilidad de Instalaciones Solares. Determinación del Potencial Solar.” Madrid, España, p. 34, 2012.
- [14] MACIAS Ana, ANDRADE Jaime. “Estudio de generación bajo escenarios de cambio climático,” Bogota, Colombia, 2014.
- [15] AIP Colombia, “Tablas de salida y puesta del sol año 2014,” Colombia, 2014.
- [16] California Commission's Energy. California, “Daylight Harvesting Made Simple,” no. C. California, Estados Unidos, pp. 1–2, 2009.
- [17] LEGRAND, “Ahorro de Energía y Control de Iluminación Soluciones de Eficiencia Energética.” pp. 3–4, 2009.
- [18] “Designing a Daylight Harvesting System: Part One.” [Online]. Available: <http://www.automatedbuildings.com/news/aug07/articles/zing/070723051101dilouie.htm>. [Accessed: 09-Dec-2014].
- [19] Schneider, Electric. “Introducción al Control de Iluminación LONWORKS.” pp. 8–12, 2010.
- [20] CARRILLO Camilo, GONZALES Jose . “Eficiencia y Sostenibilidad Energética en la Empresa.” Bogota, Colombia, p. 12, 2009.
- [21] ANAYA Andrés, AVELLANEDA Cesar, CARDENAS Jorge. “Influencia de parámetros de diseños de aplicaciones sostenibles sobre el consumo

energetico en las instalaciones del quinto piso del edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de simulaciones con Designbuilbder,” Universidad Industrial de Santander, 2013.

- [22] Dial Official, *DIALux, Manual del usuario*, vol. 1. 2013, p. 158.
- [23] Universidad Industrial de Santander, “Detalle de las Puertas.” Bucaramanga, Colombia, p. 1, 2010.
- [24] PULIDO Oscar, MENESES Marvin “EVALUACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONFORT VISUAL Y TÉRMICO ESTABLECIDAS PARA EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA SEGÚN LINEAMIENTO DEL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED A PARTIR DE LA HERRAMIENTA DESIGNBUILDER,” Universidad Industrial de Santander, 2013.
- [25] GARCIA Alfonso, REYES Maria. “La Importancia de la Estimación de la Incertidumbre en las Mediciones y la Validación de las Hojas de Cálculo.” Durango, Mexico, pp. 1–2, 2012.

BIBLIOGRAFÍA

AIP Colombia, "Tablas de salida y puesta del sol año 2014," Colombia, 2014.

C. E. California, "Daylight Harvesting Made Simple," no. C. California, Estados Unidos, pp. 1–2, 2009

ANAYA Andrés, AVELLANEDA Cesar, CARDENAS Jorge. "Influencia de parámetros de diseños de aplicaciones sostenibles sobre el consumo energetico en las instalaciones del quinto piso del edificio de Ingeniería Eléctrica a partir de simulaciones con Designbuilbder," Universidad Industrial de Santander, 2013.

California Commission's Energy. California, "Daylight Harvesting Made Simple," no. C. California, Estados Unidos, pp. 1–2, 2009.

CARRILLO Camilo, GONZALES Jose . "Eficiencia y Sostenibilidad Energética en la Empresa." Bogota, Colombia, p. 12, 2009.

Comité Español de Iluminación and Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, *Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios*. Madrid, España, 2005

"Designing a Daylight Harvesting System: Part One." [Online]. Available: <http://www.automatedbuildings.com/news/aug07/articles/zing/070723051101dilouie.htm>. [Accessed: 09-Dec-2014]

Dial Official, *DIALux, Manual del usuario*, vol. 1. 2013, p. 158

Diccionario de Arquitectura y Construcción, "Definición de iluminación mixta." [Online]. Available: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-iluminacion-mixta>. [Accessed: 04-Aug-2014]

EBERHARDT Oliver. "THE COMPARISON OF NATURAL AND ARTIFICIAL LIGHTING." IEEE, p. 2, 2009.

"Estrategias de transmisión de la luz natural." [Online]. Available: http://www.arquitecturamop.cl/centrodocumental/Documents/Manual-de-diseno-pasivo-y-eficiencia-energetica-en-edif-Publicos_Parte2.pdf. [Accessed: 10-Jul-2014]

Facultad de Ingeniería Industrial, "ILUMINACIÓN PROTOCOLO." Laboratorio de Producción, Bogota, Colombia, p. 47, 2008.

GARCIA Alfonso, REYES Maria. "La Importancia de la Estimación de la Incertidumbre en las Mediciones y la Validación de las Hojas de Cálculo." Durango, Mexico, pp. 1–2, 2012.

GÁLVEZ Xóchitl. "Diseño de Edificios Verdes e Inteligentes," Universidad Autónoma de México, Ciudad de México, México, 2010.

LEGRAND, "Ahorro de Energía y Control de Iluminación Soluciones de Eficiencia Energética." pp. 3–4, 2009

MACIAS Ana, ANDRADE Jaime. "Estudio de generación bajo escenarios de cambio climático," Bogota, Colombia, 2014.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio Exterior. “GUIA TÉCNICA: APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL DE EDIFICIOS.” Madrid, España, p. 87, 2005

Ministerio de Minas y Energia. República de Colombia, *Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP*, 1st ed. Bogota, Colombia, 2010.

NASA, “NASA Surface meteorology and Solar Energy: RETScreen Data,” 2014. [Online]. Available: <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>. [Accessed: 25-Jul-2014]

PATTINI Andrea. “Luz natural e iluminación de interiores.” [Online]. Available: <http://www1.herrera.unt.edu.ar/faceyt/dllyv/files/2011/06/cap11.pdf>. [Accessed: 10-Jul-2014].

PULIDO Oscar, MENESES Marvin “EVALUACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE CONFORT VISUAL Y TÉRMICO ESTABLECIDAS PARA EL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA SEGÚN LINEAMIENTO DEL SISTEMA DE CERTIFICACIÓN LEED A PARTIR DE LA HERRAMIENTA DESIGNBUILDER,” Universidad Industrial de Santander, 2013.

SARMIENTO Pedro. *Energía solar en arquitectura y construcción*, 2nd ed. Mexico DC: RIL Editores, 2007.

Schneider, Electric. “Introducción al Control de Iluminación LONWORKS.” pp. 8–12, 2010.

Universidad Industrial de Santander, "Detalle de las Puertas." Bucaramanga, Colombia, p. 1, 2010

Universidad Nacional de Colombia, "Caracterización del consumo de energía final en los sectores terciarios, grandes establecimientos comerciales, centros comerciales y determinación de consumos para sus respectivos equipos de uso de energía final," Bogota, Colombia, 2007

VILORIA Jose. "Estudio de la Viabilidad de Instalaciones Solares. Determinación del Potencial Solar." Madrid, España, p. 34, 2012.

ANEXOS

ANEXO A. Curvas de comportamiento lumínico (Iluminación natural)

Usar la luz natural como fuente de iluminación de tareas en el entorno de trabajo o incluso en el interior de viviendas requiere de estudios previos para manejar esta fuente de luz cambiante. Este anexo presenta todas las curvas de comportamiento lumínico enfatizados en la iluminación natural tanto de aulas de clases como de oficinas y zonas comunes del edificio de ingeniería Eléctrica de la UIS.

Curvas características aulas de clases

El comportamiento de la luz diurna dentro de las aulas de clases se representa mediante el conjunto de Tablas y Figuras que se presentan a continuación, las cuales se describen mediante el Df (daylight factor) en función de la distancia a la ventana ubicada en la fachada referente las cuales son la fachada sur y la fachada este según sea el caso.

Tabla A.1. Df aula 205.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 205										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	23,90	31,57	21,76	24,71	24,70	32,54	33,00	25,59	31,57	32,88
3,27	7,29	9,64	7,27	6,47	6,34	7,74	8,04	7,64	9,59	9,29
5,45	3,08	4,06	3,53	2,81	2,62	3,61	3,31	4,29	4,00	4,39
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 205										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	14,90	3,72	3,15	10,10	10,55	13,94	13,16	8,83	8,37	10,74
3,27	4,53	1,13	1,07	2,65	2,74	3,30	3,18	2,64	2,54	3,01
5,45	1,92	0,48	0,52	1,15	1,12	1,53	1,31	1,47	1,06	1,43

Figura A.1(a). Df Vs distancia, aula 205, respecto a la radiación en las fachadas.

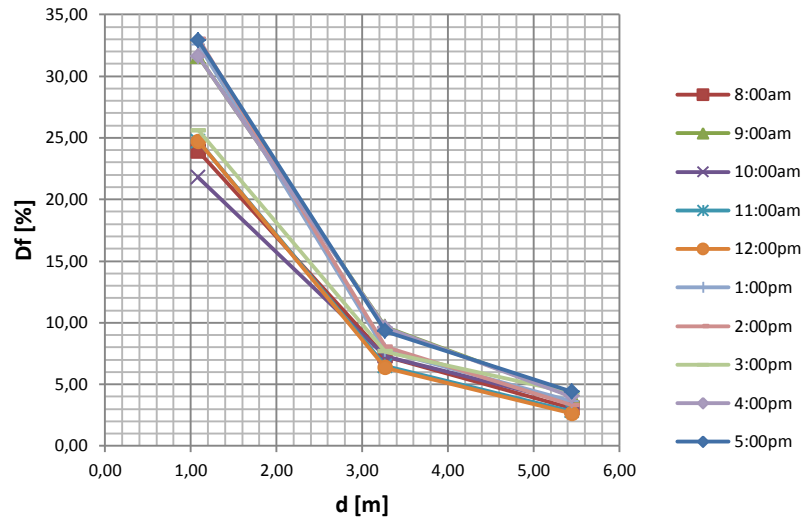


Figura A.1(b). Df Vs distancia, aula 205, respecto a la radiación en la terraza.

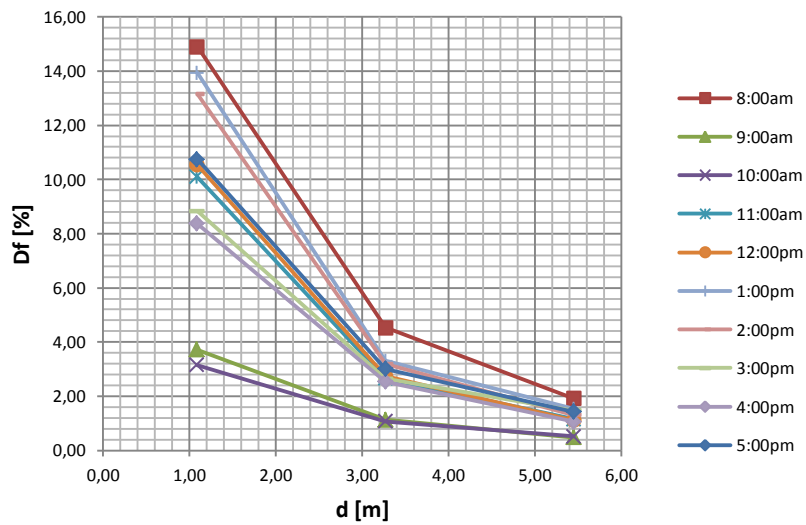


Tabla A.2. Df aula 206.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 206										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,44	31,40	29,51	36,39	34,88	39,19	39,18	34,29	36,06	40,20	38,13
3,42	9,88	9,51	13,53	9,04	9,25	11,14	10,79	10,30	16,15	13,38
5,70	4,27	4,47	5,35	3,84	4,02	4,65	4,88	4,05	6,36	6,07

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 206										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,44	10,54	2,72	1,99	7,90	7,02	8,86	4,71	7,57	8,87	4,46
3,42	3,32	0,88	0,74	2,05	1,66	2,52	1,48	2,17	3,56	1,57
5,70	1,42	0,41	0,29	0,86	0,72	1,05	0,67	0,85	1,40	0,71

Figura A.2(a). Df Vs distancia, aula 206, respecto a la radiación en la fachada.

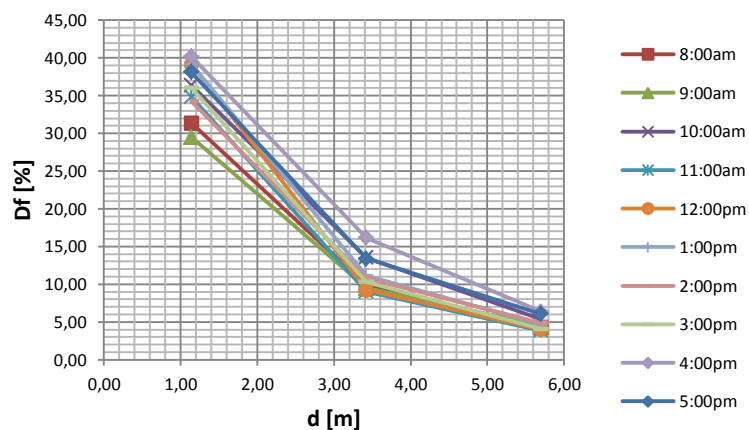


Figura A.2(b). Df Vs distancia, aula 206, respecto a la radiación en la terraza.

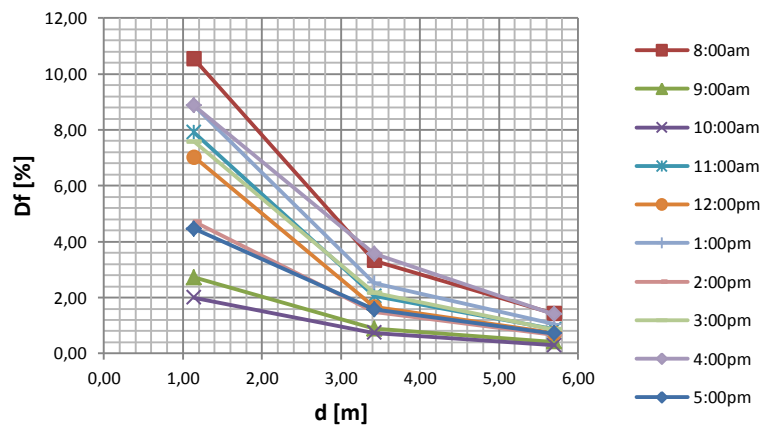


Tabla A.3. Df aula 207.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 207										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	13,63	20,31	17,29	15,50	17,80	24,76	20,59	27,26	23,53	27,30
3,27	4,65	6,49	4,79	4,98	6,02	9,07	6,92	9,91	6,37	9,18
5,45	2,54	3,26	2,61	2,53	2,49	3,71	3,48	5,73	2,99	4,55

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 207										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	7,02	7,92	8,65	11,70	9,68	3,25	3,69	3,21	2,31	5,92
3,27	2,45	2,65	2,40	3,55	3,46	1,08	1,14	0,99	0,57	2,03
5,45	1,37	1,31	1,39	1,94	1,41	0,43	0,56	0,53	0,26	1,03

Figura A.3(a). Df Vs distancia, aula 207, respecto a la radiación en la fachada.

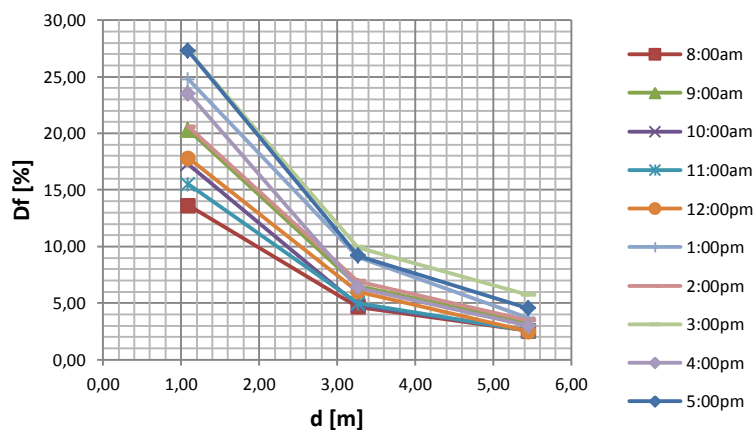


Figura A.3(b). Df Vs distancia, aula 207, respecto a la radiación en la terraza.

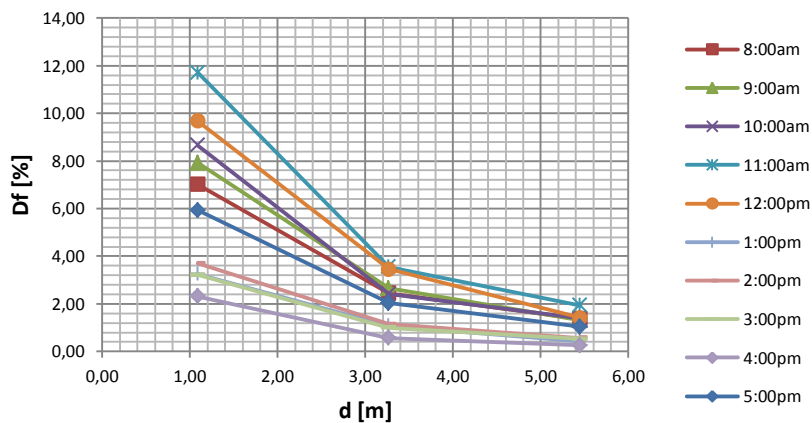


Tabla A.4. Df aula 301.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 301										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	3.00 pm	5.00 pm
1,09	40,32	34,09	23,22	27,07	28,40	32,17	32,47	22,20	13,38	36,31
3,27	13,56	12,98	8,20	7,65	7,15	11,29	12,70	6,96	3,84	7,38
5,45	6,44	7,30	4,16	4,35	3,73	5,21	5,92	3,01	2,42	4,06

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 301										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	3.00 pm	5.00 pm
1,09	18,78	3,84	3,17	4,09	7,11	12,41	15,55	17,14	3,85	14,10
3,27	6,25	1,38	1,09	1,15	1,80	4,33	6,10	5,39	1,09	2,85
5,45	2,87	0,78	0,54	0,66	0,93	1,98	2,82	2,31	0,70	1,56

Figura A.4(a). Df Vs distancia, aula 301, respecto a la radiación en la fachada.

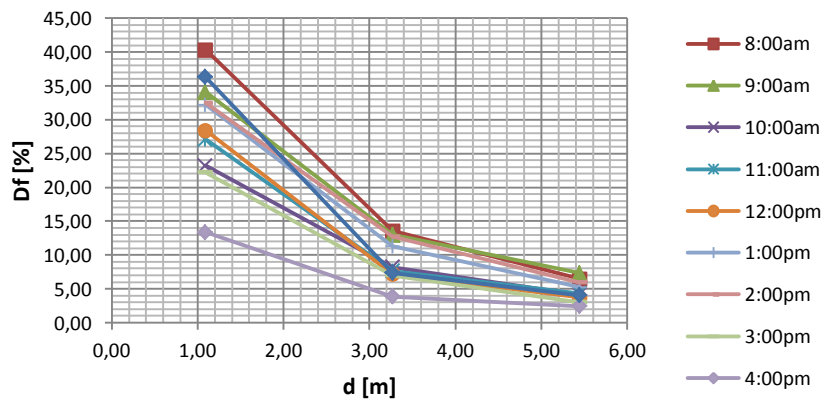


Figura A.4(b). Df Vs distancia, aula 301, respecto a la radiación en la terraza.

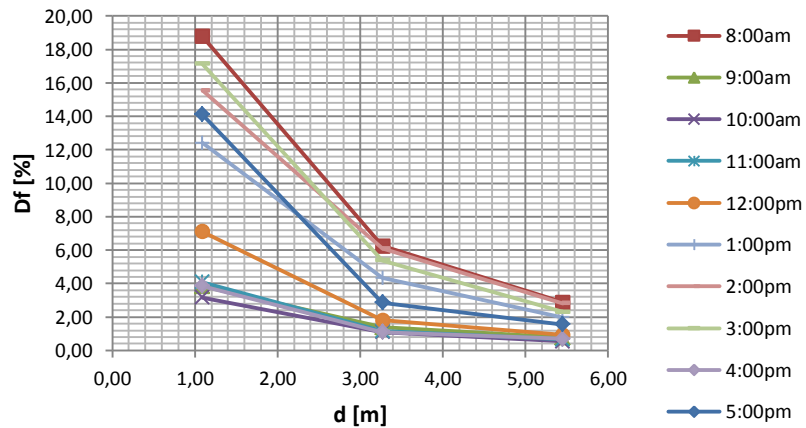


Tabla A.5. Df aula 305.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 305										
D [m]	8.00 am	9.00am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	18,54	28,66	27,11	29,90	32,56	32,72	30,43	28,49	27,81	21,92
3,27	9,25	10,98	11,07	10,69	9,79	13,34	10,10	9,17	10,22	7,18
5,45	5,86	6,09	5,10	5,53	4,46	6,34	5,19	5,00	5,10	3,74

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 305										
D [m]	8.00 am	9.00am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	2,92	3,19	13,24	7,88	9,82	10,62	3,83	12,98	6,16	4,32
3,27	1,39	1,22	5,10	2,64	2,97	4,29	1,27	4,19	2,24	1,35
5,45	0,78	0,67	2,34	1,31	1,33	2,03	0,64	2,24	1,11	0,68

Figura A.5(a). Df Vs distancia, aula 305, respecto a la radiación en la fachada.

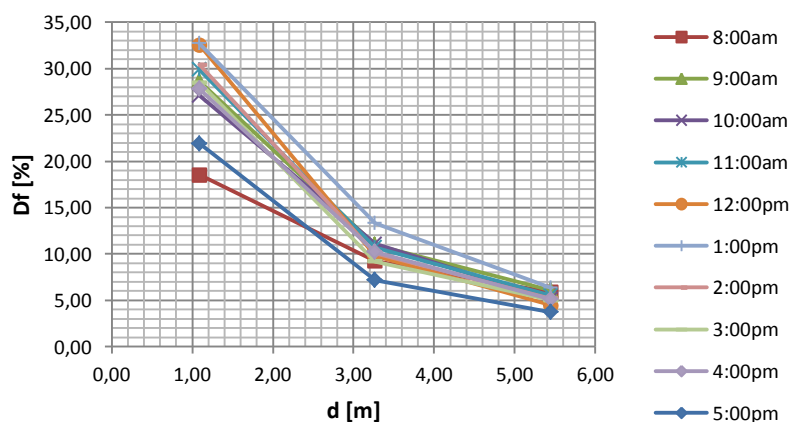


Figura A.5(b). Df Vs distancia, aula 305, respecto a la radiación en la terraza.

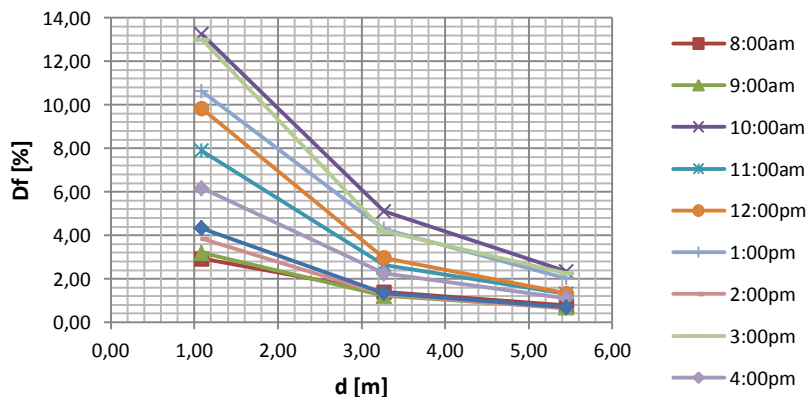


Tabla A.6. Df aula 401.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 401										
D [m]	8.00 am	9.00am	10.00 am	11.00am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,07	37,93	31,11	45,89	20,24	21,76	31,45	24,99	25,67	31,71	25,29
3,21	18,54	9,56	10,67	5,32	5,26	9,98	6,35	8,90	8,68	8,68
5,35	9,88	5,72	7,38	3,15	3,13	5,79	3,83	5,88	5,61	6,26

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 401										
D [m]	8.00 am	9.00am	10.00 am	11.00am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,07	9,24	7,46	13,68	13,10	5,36	13,20	10,50	16,35	22,94	14,95
3,21	4,47	2,15	3,22	3,46	1,28	4,18	2,70	5,58	4,86	4,90
5,35	2,36	1,20	2,23	2,04	0,76	2,44	1,62	3,65	3,20	3,19

Figura A.6(a). Df Vs distancia, aula 401, respecto a la radiación en la fachada.

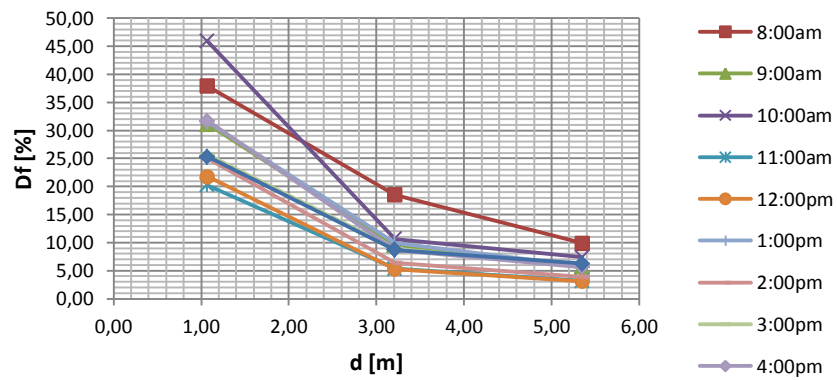


Figura A.6(b). Df Vs distancia, aula 401, respecto a la radiación en la terraza.

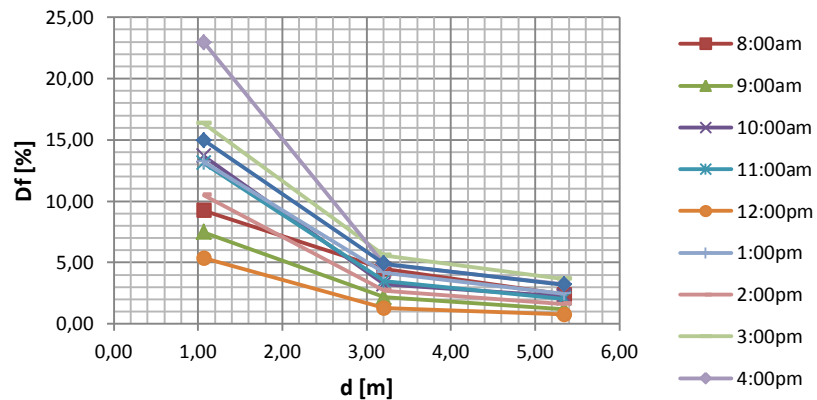


Tabla A.7. Df aula 405.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 405										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,10	27,90	26,66	25,78	27,06	26,68	26,96	26,55	27,01	24,10	31,06
3,30	8,55	9,02	9,51	8,31	7,58	8,73	8,20	8,95	7,83	9,66
5,50	4,89	6,05	7,83	4,35	3,95	5,65	4,76	5,95	5,03	5,12
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 405										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,10	14,05	3,95	3,16	6,94	10,78	9,70	4,55	11,51	5,29	11,00
3,30	4,33	1,34	1,16	2,12	3,07	3,07	1,38	3,71	1,68	3,44
5,50	2,48	0,88	0,96	1,11	1,62	2,00	0,80	2,43	1,04	1,81

Figura A.7(a). Df Vs distancia, aula 405, respecto a la radiación en la fachada.

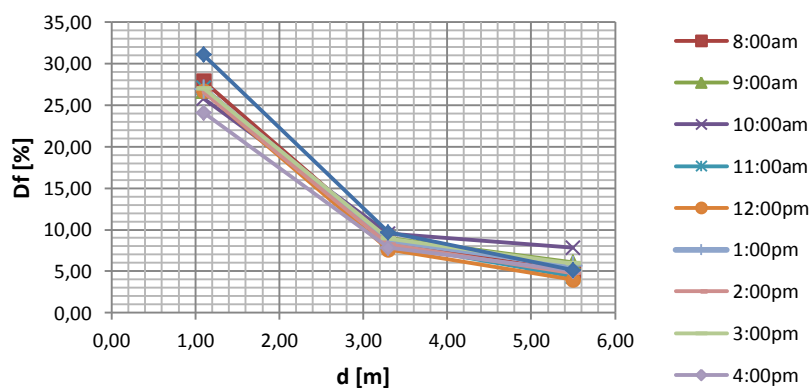


Figura A.7(b). Df Vs distancia, aula 405, respecto a la radiación en la terraza.

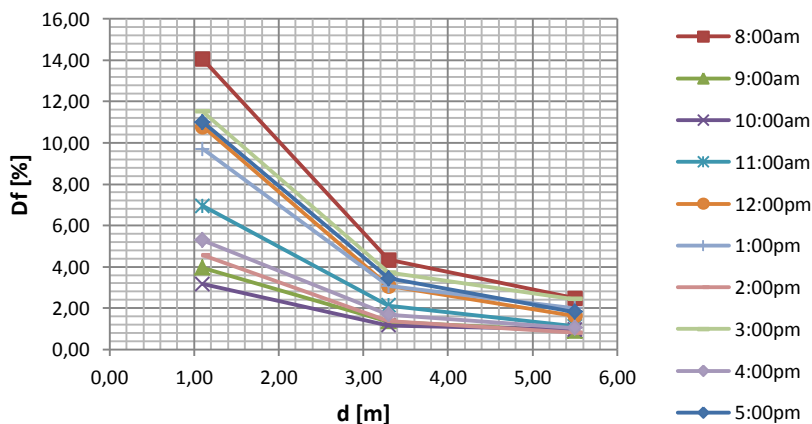


Tabla A.8. Df aula 406.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 406										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	18,81	15,74	15,76	22,28	24,57	23,81	21,85	22,11	19,89	26,34
3,27	8,11	7,12	7,03	6,33	6,59	7,58	7,59	7,76	7,19	6,74
5,45	5,89	5,07	4,71	3,85	3,84	4,60	4,40	4,68	4,82	3,80
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 406										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	8,17	2,98	2,25	8,34	3,22	10,54	5,35	12,87	9,71	12,01
3,27	3,52	1,32	1,00	2,35	0,84	3,36	1,75	4,39	3,43	3,10
5,45	2,55	0,94	0,67	1,39	0,48	1,94	1,01	2,65	2,24	1,71

Figura A.8(a). Df Vs distancia, aula 406, respecto a la radiación en la fachada.

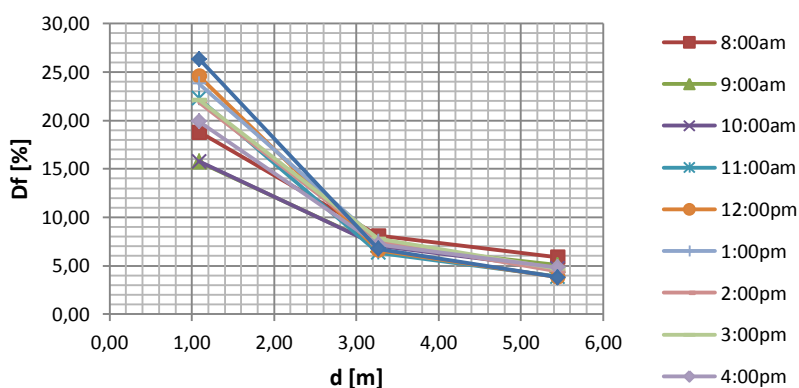
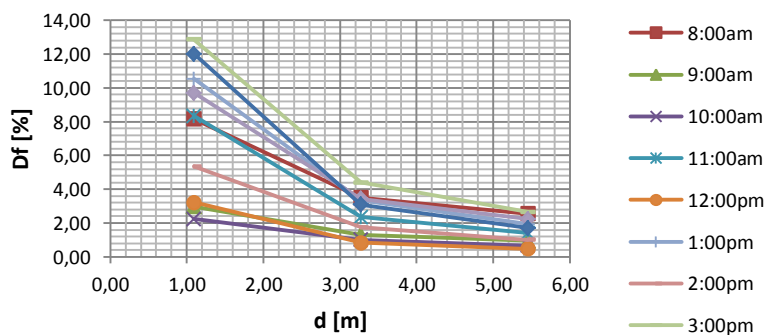


Figura A.8(b). Df Vs distancia, aula 406, respecto a la radiación en la terraza.



De las Figuras A.1 hasta las Figuras A.8 detallan el comportamiento del Df para las aulas de clase con una sola entrada de luz solar, todas estas tienen ventanales en la fachada sur del edificio, lo cual es un factor determinante en la tendencia de

cada curva puesto que la luz es mayor en los puntos más cercanos a la ventana y el Df disminuye conforme aumenta la distancia.

Tabla A.9. Df aula 103.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 103										
D [m]	8.00.am	9.00.am	10.00.am	11.00.am	12.00.am	1.00.pm	2.00.pm	3.00.pm	4.00.pm	5.00.pm
1,03	3,09	3,01	5,09	5,79	3,19	2,48	2,42	2,43	2,55	1,82
3,09	2,06	1,68	2,66	3,14	1,76	1,41	1,41	1,34	1,47	1,06
5,15	1,85	1,29	1,71	2,08	1,28	1,25	1,04	1,08	1,01	0,64
7,21	1,52	1,21	1,57	1,87	1,15	1,10	0,92	0,99	0,81	0,53

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 103										
D [m]	8.00.am	9.00.am	10.00.am	11.00.am	12.00.am	1.00.pm	2.00.pm	3.00.pm	4.00.pm	5.00.pm
1,03	0,22	0,44	0,73	0,78	1,27	0,86	0,83	1,33	0,92	1,02
3,09	0,15	0,25	0,38	0,42	0,70	0,49	0,48	0,73	0,53	0,60
5,15	0,13	0,19	0,25	0,28	0,51	0,43	0,36	0,59	0,37	0,36
7,21	0,11	0,18	0,23	0,25	0,46	0,38	0,32	0,54	0,29	0,30

Figura A.9(a). Df Vs distancia, aula 103, respecto a la radiación en la fachada.

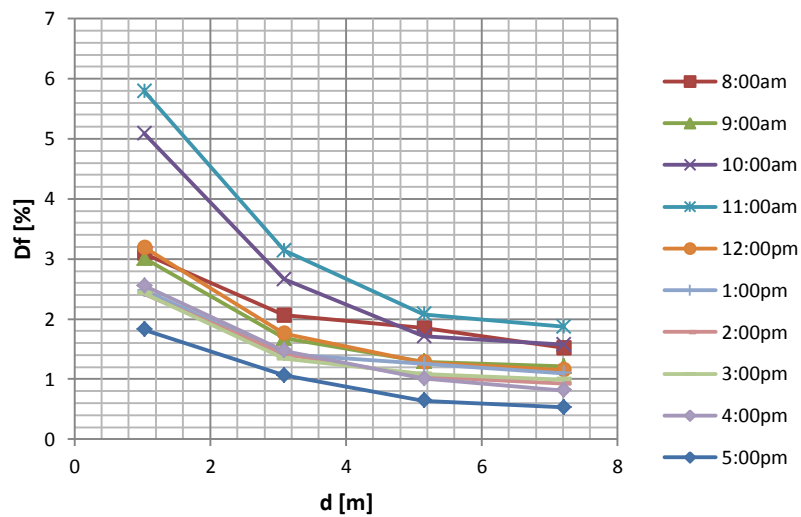


Figura A.9(b). Df Vs distancia, aula 103, respecto a la radiación en la terraza.

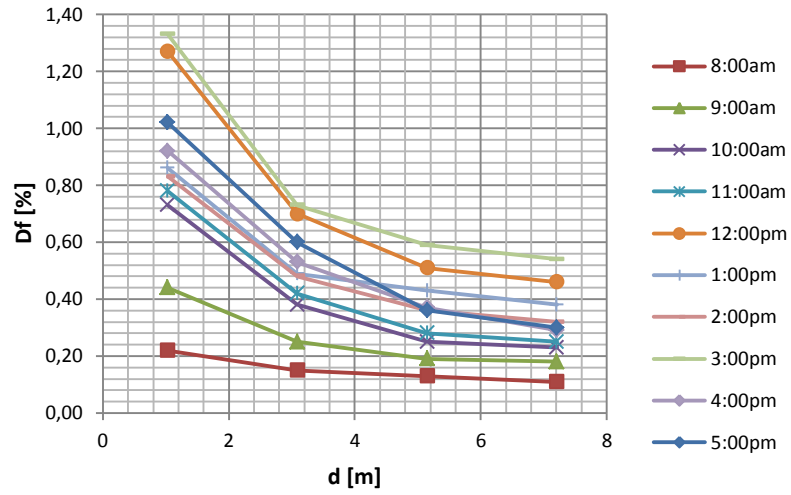


Tabla A.10. Df aula 204.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 204										
D [m]	8.00 am	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm
1,1	8,93	9,24	11,45	9,80	12,29	8,04	10,02	11,09	10,99	16,63
3,3	3,52	4,47	5,02	4,29	4,08	3,32	4,54	3,16	3,84	6,36
5,5	2,75	3,26	3,38	2,27	2,51	2,24	2,65	2,23	2,32	2,82
7,7	8,64	11,24	10,30	12,20	10,02	15,72	13,89	10,94	12,25	8,33
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 204										
D [m]	8.00 am	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm
1,1	1,23	1,40	1,72	5,46	6,44	4,99	4,35	4,72	3,93	7,43
3,3	0,48	0,67	0,75	2,39	2,15	2,06	1,98	1,36	1,37	2,85
5,5	0,37	0,49	0,51	1,27	1,33	1,39	1,15	0,96	0,83	1,26
7,7	1,18	1,69	1,54	6,80	5,27	9,77	6,05	4,67	4,37	3,72

Figura A.10(a). Df Vs distancia, aula 204, respecto a la radiación en la fachada.

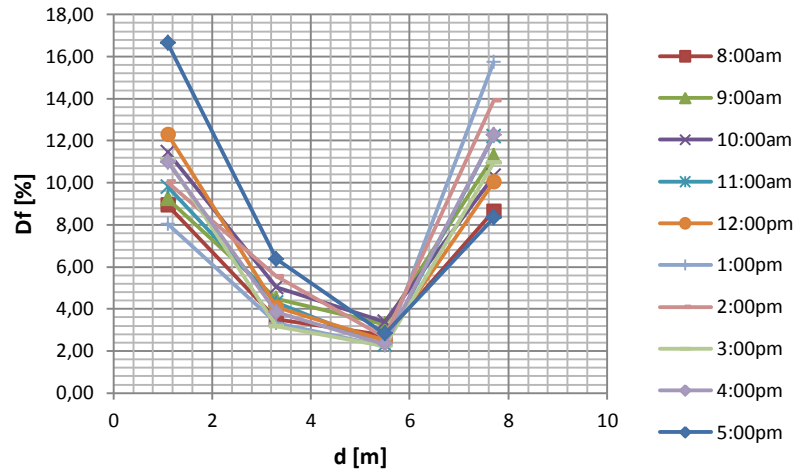


Figura A.10(b). Df Vs distancia, aula 204, respecto a la radiación en la terraza.

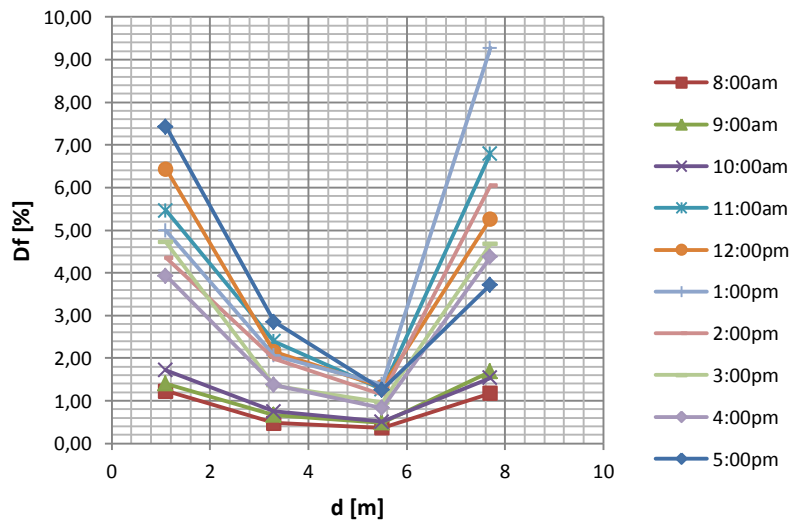


Tabla A.11. Df aula 302.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 302										
D [m]	8.00 am	9.00am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,1	11,85	13,26	14,54	12,37	15,19	15,32	14,14	13,51	16,04	14,12
3,3	5,11	5,35	6,02	3,78	4,07	3,53	3,58	2,76	4,18	3,66
5,5	3,05	2,95	3,13	1,95	2,17	2,14	1,98	1,84	2,26	2,33
7,7	5,48	5,12	4,92	4,34	4,05	5,45	4,28	4,97	4,16	5,24

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 302										
D [m]	8.00 am	9.00am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,1	2,56	2,29	7,84	8,10	7,75	9,47	4,60	11,92	10,97	12,52
3,3	1,18	0,87	2,59	2,81	2,04	3,35	1,39	4,36	2,84	4,67
5,5	0,65	0,50	1,64	1,26	1,09	1,31	0,64	1,61	1,54	2,08
7,7	1,09	0,92	3,20	2,45	2,06	2,17	1,16	2,42	2,86	3,27

Figura A.11(a). Df Vs distancia, aula 302, respecto a la radiación en la fachada.

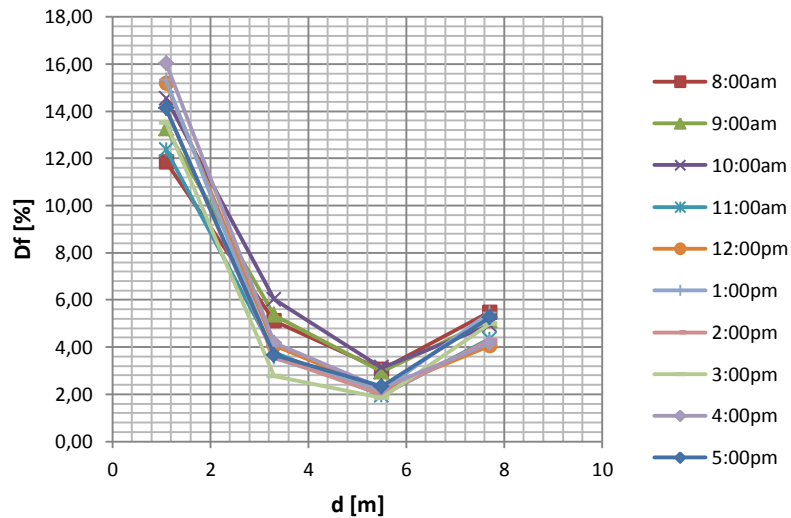


Figura A.11(b). Df Vs distancia, aula 302, respecto a la radiación en la terraza.

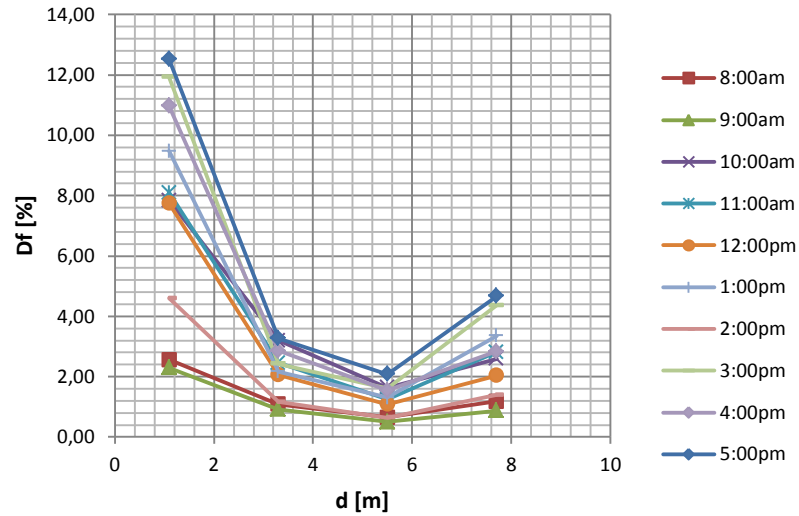


Tabla A.12. Df aula 304.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 304										
D [m]	8.00 am	9.00am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	11,71	11,97	11,37	14,06	10,97	12,39	16,93	16,42	14,46	12,32
3,24	5,01	5,81	3,95	4,15	3,20	3,73	5,13	5,12	4,91	4,17
5,40	3,85	4,02	3,13	2,47	2,22	2,52	3,26	3,01	3,13	2,39
7,56	8,68	9,62	8,92	6,96	11,55	12,48	8,49	10,60	7,66	15,09
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 304										
D [m]	8.00 am	9.00am	10.00 am	11.00 am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	0,90	0,98	6,97	4,75	7,79	8,14	1,98	5,15	4,80	6,72
3,24	0,47	0,48	2,96	2,04	1,61	1,84	0,85	1,68	2,38	1,17
5,40	0,63	0,71	3,94	3,53	2,41	2,81	1,36	2,95	3,92	2,08
7,56	1,49	1,46	12,19	12,40	8,35	9,36	4,55	9,61	11,90	6,30

Figura A.12(a). Df Vs distancia, aula 304, respecto a la radiación en la fachada.

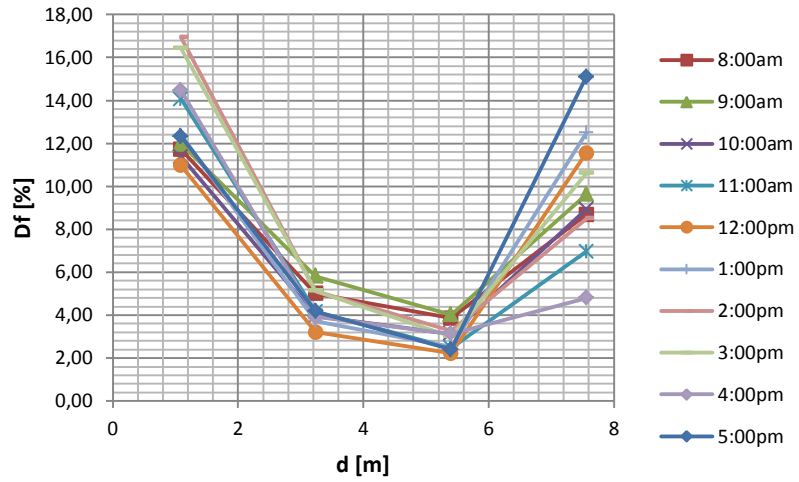


Figura A.12(b). Df Vs distancia, aula 304, respecto a la radiación en la terraza.

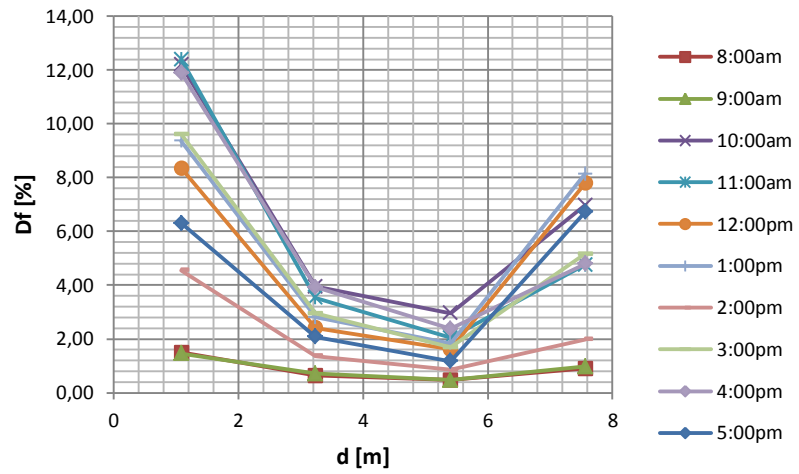


Tabla A.13. Df aula 404.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas aula 404										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,08	10,25	10,50	11,05	16,66	13,91	10,27	9,66	18,14	14,27	13,79
3,24	4,97	5,25	5,32	5,31	4,99	4,44	3,82	6,38	6,09	6,94
5,4	4,85	5,22	5,29	4,80	4,65	5,59	5,52	4,74	4,20	5,22
7,56	14,67	15,44	16,30	24,09	15,92	26,17	22,50	15,09	13,43	14,07

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza aula 404										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,08	2,87	1,26	1,24	2,45	8,52	7,74	8,58	7,19	8,30	7,30
3,24	1,38	0,63	0,60	0,77	3,03	3,40	2,92	2,50	3,49	3,67
5,4	1,35	0,63	0,60	0,69	2,80	4,26	4,26	1,87	2,40	2,76
7,56	4,07	1,87	1,85	3,45	9,64	20,29	17,49	6,05	7,77	7,52

Figura A.13(a). Df Vs distancia, aula 404, respecto a la radiación en la fachada.

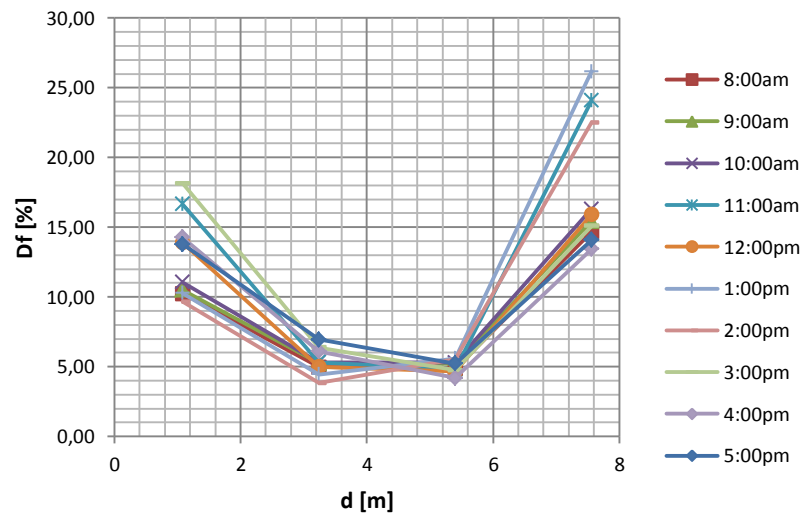
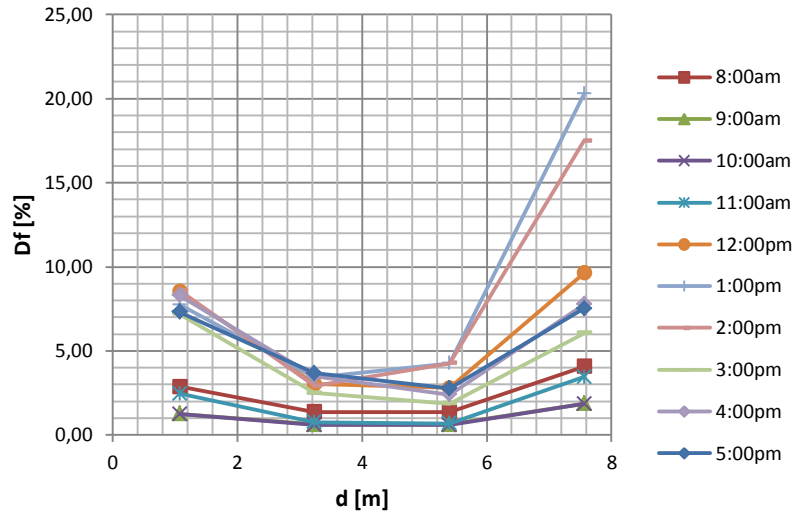


Figura A.13(b). Df Vs distancia, aula 404, respecto a la radiación en la terraza.



Curvas características Oficinas

El comportamiento de la luz diurna dentro de las oficinas del edificio de Ingeniería Eléctrica se exponen mediante el conjunto de Tablas y Figuras que se exhiben a continuación.

Tabla A.14. Df Sala de reuniones SR.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas SR										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,60	22,54	23,15	19,74	18,68	18,40	18,12	18,90	14,39	15,90	12,97
1,80	10,41	10,84	9,68	7,80	8,73	10,53	10,52	9,98	9,13	7,34
3,00	7,78	7,57	7,04	6,72	6,68	6,86	8,65	7,65	6,11	5,29
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza SR										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,60	1,64	2,92	1,19	1,30	2,05	1,05	4,29	3,58	1,61	1,57
1,80	2,17	4,17	1,62	1,50	2,67	1,62	5,20	4,66	2,41	2,11
3,00	4,74	9,07	3,31	3,62	5,67	2,76	9,36	6,71	4,19	3,94

Figura A.14(a). Df Vs distancia, SR, respecto a la radiación en la fachada.

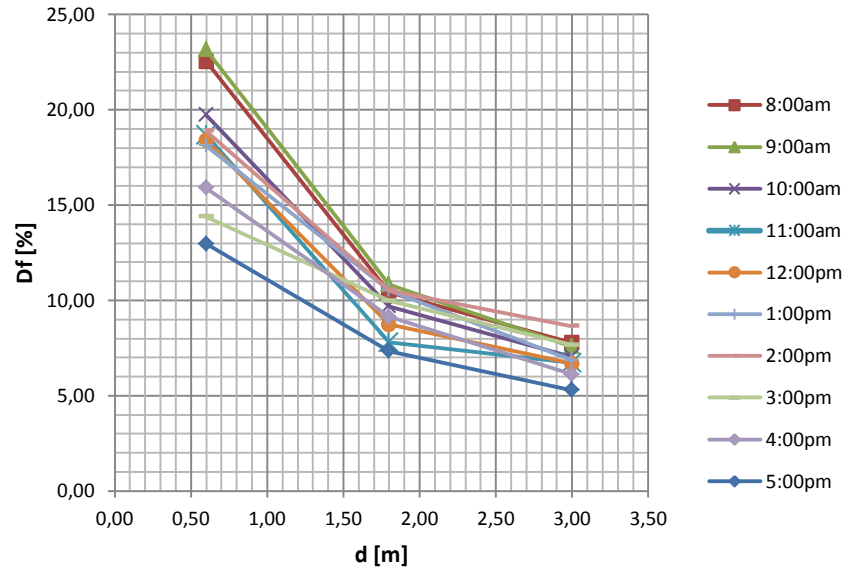


Figura A.14(b). Df Vs distancia, SR, respecto a la radiación en la terraza.

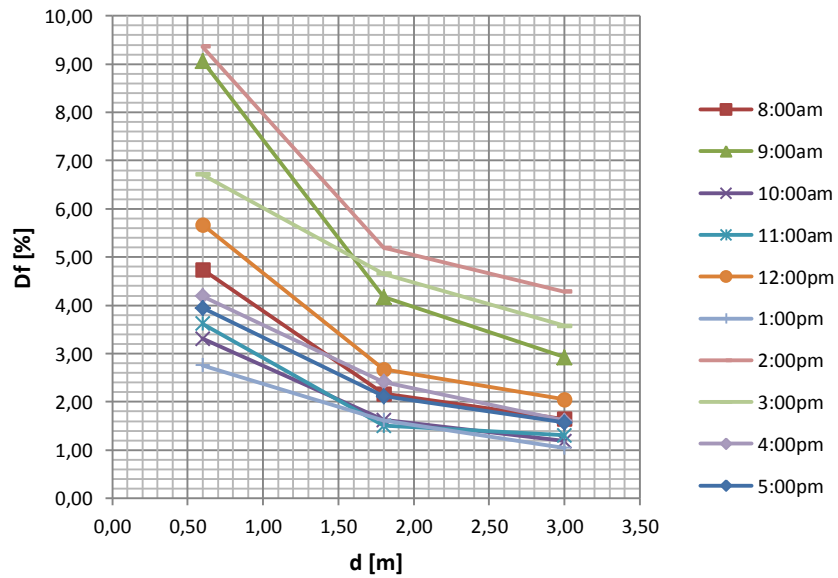


Tabla A.15. Df, Rama estudiantil IEEE.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas IEEE										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	2,59	2,87	2,34	2,53	2,73	4,34	2,88	2,61	2,51	2,63
3,27	5,78	6,59	5,34	6,11	5,18	9,91	6,27	5,82	6,05	6,22
5,45	20,82	22,38	19,28	21,01	17,90	28,88	19,65	21,00	21,76	23,81

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza IEEE										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,09	0,45	0,47	0,56	0,44	1,08	0,36	0,76	0,75	0,74	0,37
3,27	1,00	1,08	1,28	1,06	2,04	0,83	1,66	1,67	1,79	0,87
5,45	3,59	3,68	4,61	3,65	7,05	2,41	5,21	6,03	6,44	3,34

Figura A.15(a). Df Vs distancia, IEEE, respecto a la radiación en la fachada.

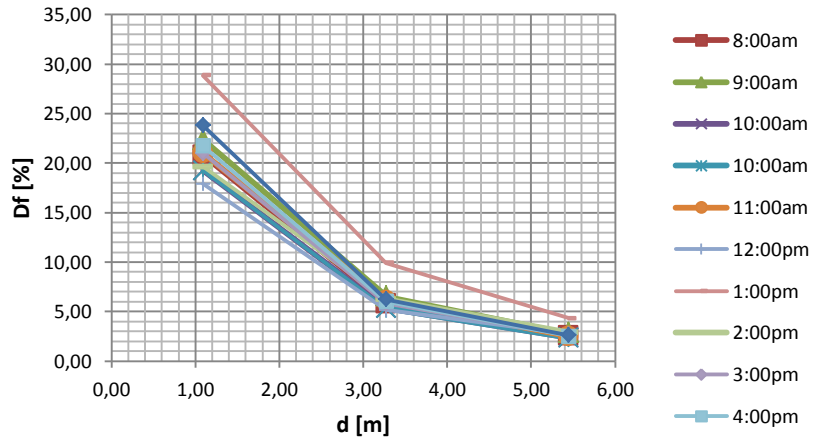


Figura A.15(b). Df Vs distancia, IEEE, respecto a la radiación en la terraza.

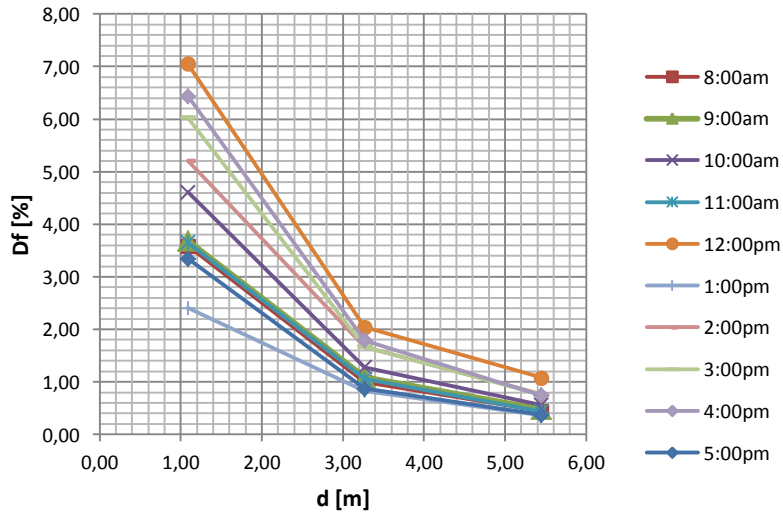


Tabla A.16. Df, Sala de estudio individual SI.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas SI										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,79	9,42	6,15	4,97	4,92	4,85	6,96	3,94	3,66	4,43	4,07
2,37	7,21	5,85	4,48	4,78	4,19	6,78	3,42	3,44	3,68	3,10
3,95	11,25	16,59	14,03	14,34	12,58	16,27	13,23	10,51	12,73	13,47
5,53	14,96	20,06	16,90	16,47	15,82	19,18	16,02	13,10	14,76	16,92

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza SI										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,79	0,67	0,20	0,54	0,39	0,19	0,29	0,28	0,58	0,12	0,10
2,37	0,51	0,19	0,48	0,38	0,17	0,28	0,24	0,55	0,10	0,08
3,95	0,79	0,54	1,53	1,14	0,48	0,66	0,92	1,67	0,35	0,33
5,53	1,04	0,61	1,73	1,30	0,59	0,77	1,16	2,15	0,40	0,50

Figura A.16(a). Df Vs distancia, SI, respecto a la radiación en la fachada.

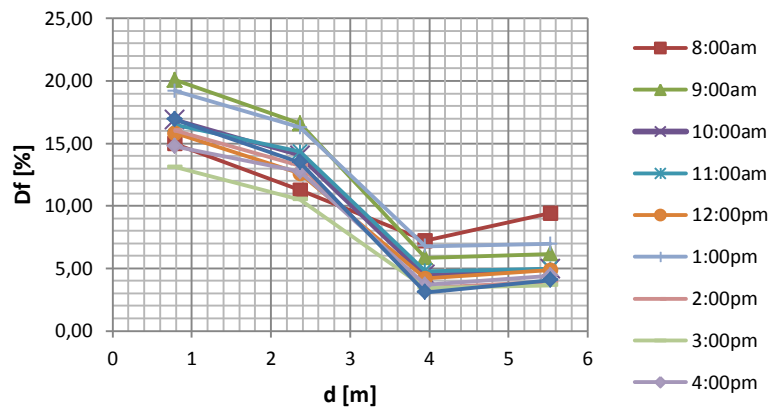


Figura A.16(b). Df Vs distancia, SI, respecto a la radiación en la terraza.

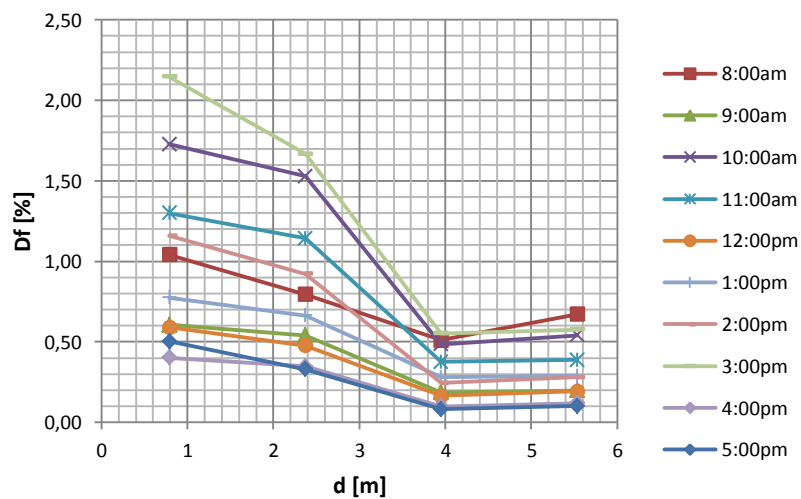


Tabla A.17. Df, Sala de profesores cátedra ZCP.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas ZCP										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,97	10,06	10,44	9,09	8,69	6,81	5,40	4,55	5,03	11,74	6,43
2,91	5,09	5,22	4,26	4,32	3,67	3,24	2,55	3,28	2,95	3,92
4,85	4,68	4,54	4,23	4,33	4,82	5,28	4,31	4,85	3,55	3,63
6,79	11,08	10,27	10,74	11,34	10,95	13,13	10,47	10,67	9,01	5,92

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza ZCP										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00am	12.00 pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,97	0,14	0,54	0,30	0,45	0,38	0,30	0,29	0,26	0,78	0,43
2,91	0,07	0,27	0,14	0,22	0,21	0,18	0,16	0,17	0,23	0,26
4,85	0,06	0,24	0,14	0,22	0,27	0,30	0,28	0,26	0,28	0,24
6,79	0,14	0,54	0,35	0,58	0,64	0,77	0,68	0,59	0,71	0,40

Figura A.17(a). Df Vs distancia, ZCP, respecto a la radiación en la fachada.

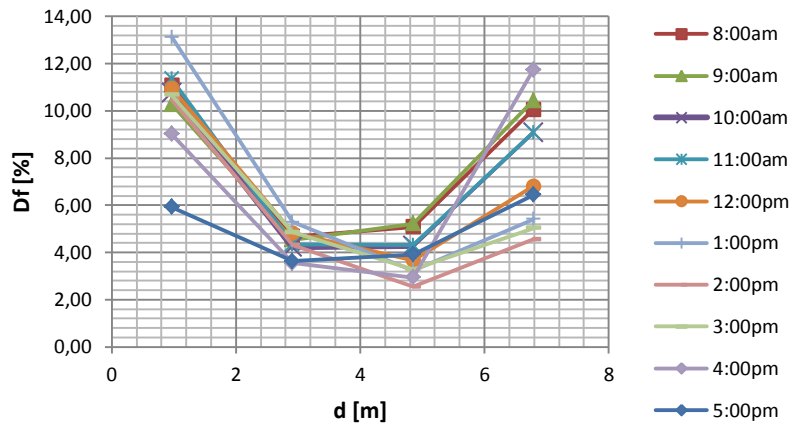


Figura A.17(b). Df Vs distancia, ZCP, respecto a la radiación en la terraza.

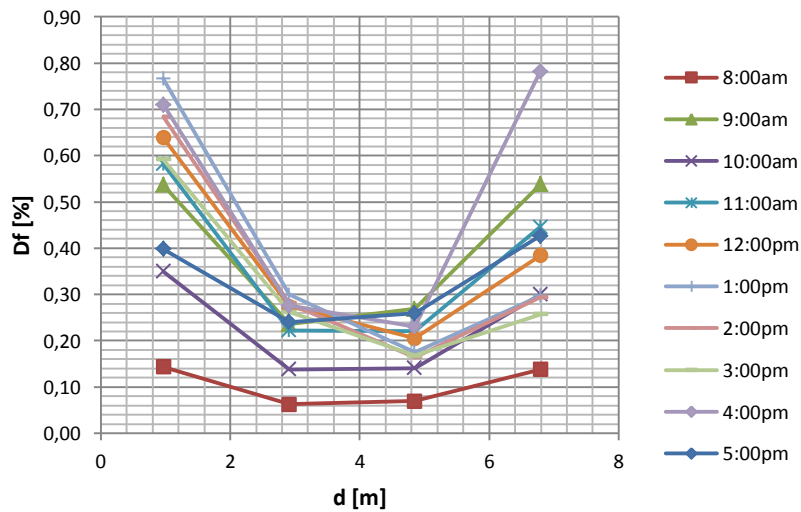


Tabla A.18. Df, Sala espera pregrado SEP.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas SEP										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,85	15,58	13,12	16,47	11,06	5,82	10,95	5,74	4,19	5,76	6,13
2,55	14,05	11,12	11,12	9,52	6,37	11,83	7,98	7,44	7,70	6,36
4,25	14,24	12,58	12,58	13,27	9,98	14,25	14,79	9,74	12,12	10,31
5,95	16,72	16,75	16,75	21,20	21,80	30,49	25,58	25,83	21,98	19,94

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza SEP										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,85	3,78	7,59	3,90	5,17	13,55	5,58	15,29	16,53	17,36	17,36
2,55	3,22	5,72	2,02	3,24	6,16	2,57	8,83	6,08	8,94	8,94
4,25	3,17	5,05	2,18	2,32	3,93	2,15	4,74	4,64	5,21	5,32
5,95	3,52	5,95	3,23	2,70	3,59	1,96	3,40	2,59	3,74	5,15

Figura A.18(a). Df Vs distancia, SEP, respecto a la radiación en la fachada.

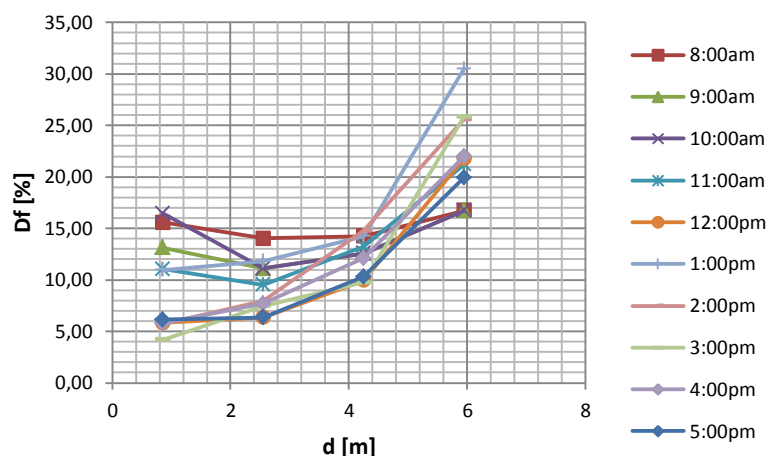


Figura A.18(b). Df Vs distancia, SEP, respecto a la radiación en la terraza.

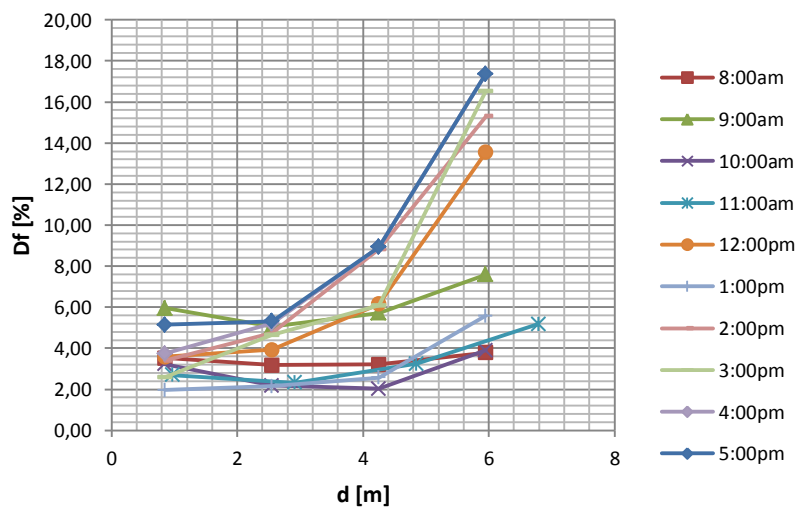


Tabla A.19. Df, Secretaria CIEE CE2.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas CE2										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,85	26,98	27,78	17,55	18,15	19,96	20,57	20,24	14,54	23,25	28,58
2,55	5,44	4,44	2,29	2,54	2,18	3,12	2,49	2,13	2,93	3,12
4,25	2,82	2,18	1,35	1,92	2,05	2,73	2,12	1,76	1,91	1,78
5,95	7,62	7,39	4,81	5,74	5,47	8,00	6,95	6,68	5,71	4,82

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza CE2										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,85	7,18	6,78	7,00	5,47	5,46	1,62	1,18	1,78	4,72	5,22
2,55	1,42	1,06	0,90	0,77	0,59	0,24	0,14	0,26	0,55	0,57
4,25	0,74	0,52	0,52	0,58	0,56	0,21	0,12	0,21	0,36	0,32
5,95	1,98	1,76	1,87	1,73	1,49	0,63	0,40	0,82	1,08	0,87

Figura A.19(a). Df Vs distancia, CE2, respecto a la radiación en la fachada.

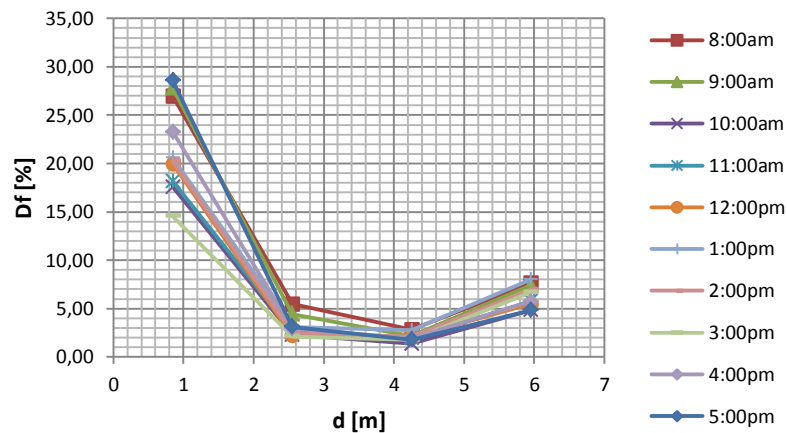


Figura A.19(b). Df Vs distancia, CE2, respecto a la radiación en la terraza.

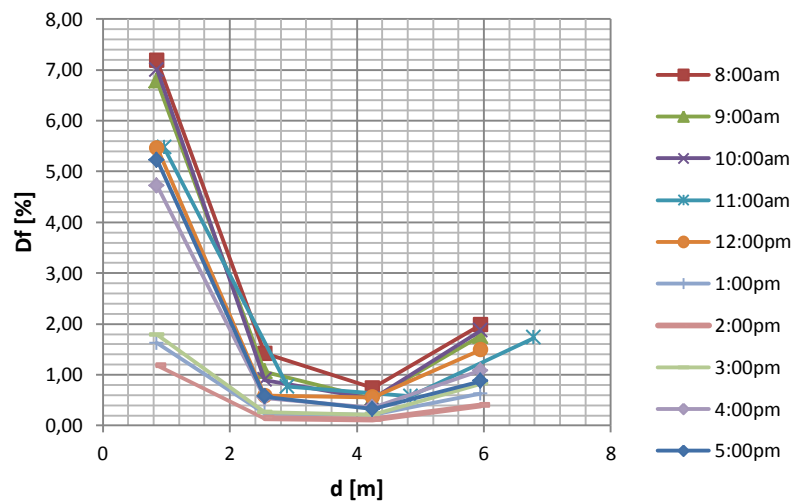


Tabla A.20. Df, Sala de estudio grupal CE1.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas CE1										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,85	12,95	11,47	12,27	11,30	8,85	11,85	11,06	17,51	14,69	11,92
2,55	9,33	8,00	8,43	8,50	6,90	9,74	10,91	11,47	6,33	8,22
4,25	11,93	9,19	8,86	9,35	7,46	10,33	11,52	11,57	8,67	10,01
5,95	8,00	4,74	5,61	5,63	5,34	8,88	6,10	8,43	6,23	7,56
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza CE1										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,85	2,66	2,52	3,02	2,00	1,18	1,85	3,45	3,21	3,56	3,38
2,55	1,95	1,76	1,77	1,42	0,94	1,59	2,79	1,90	1,73	2,23
4,25	2,54	2,01	1,82	1,43	0,97	1,63	2,78	1,82	2,35	2,69
5,95	1,71	1,03	0,94	0,75	0,70	1,41	1,31	1,15	1,61	1,89

Figura A.20(a). Df Vs distancia, CE1, respecto a la radiación en la fachada.

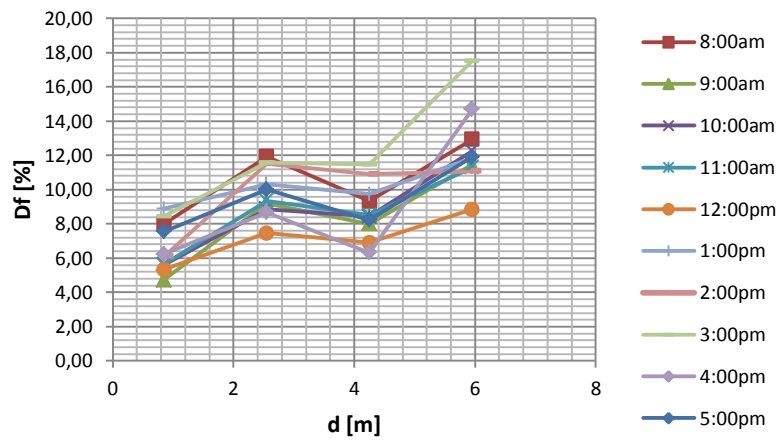


Figura A.20(b). Df Vs distancia, CE1, respecto a la radiación en la terraza.

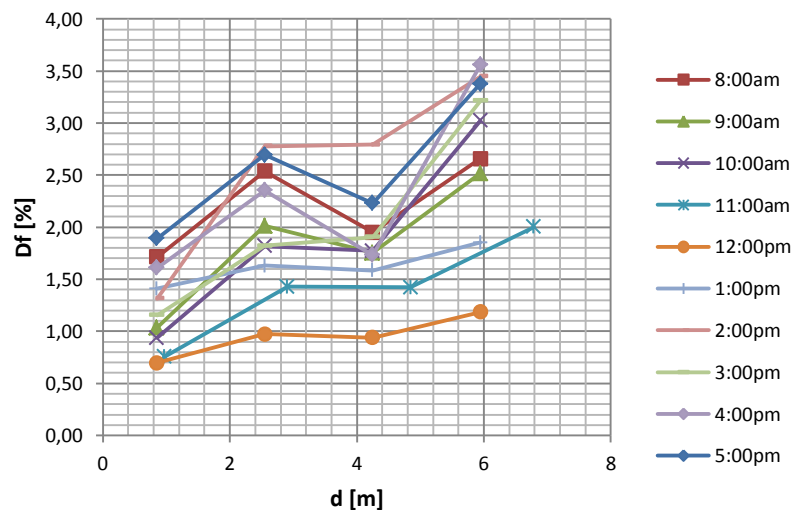


Tabla A.21. Df, Coordinación de pregrado CP.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas CP										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,21	19,48	21,65	21,65	20,07	18,46	13,30	16,56	17,03	20,60	19,07
2,42	20,27	22,18	22,18	23,29	20,55	14,68	21,51	24,76	24,97	25,53
3,63	11,75	14,19	14,41	14,83	14,89	11,32	13,29	16,11	14,61	17,84
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza CP										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
1,21	3,24	4,17	3,54	1,54	2,04	0,89	2,13	2,01	1,89	2,23
2,42	3,78	4,12	3,40	1,47	2,24	1,14	2,75	2,51	2,32	3,21
3,63	1,98	2,75	2,52	1,18	1,68	0,74	1,70	1,91	1,34	2,22

Figura A.21(a). Df Vs distancia, CP, respecto a la radiación en la fachada.

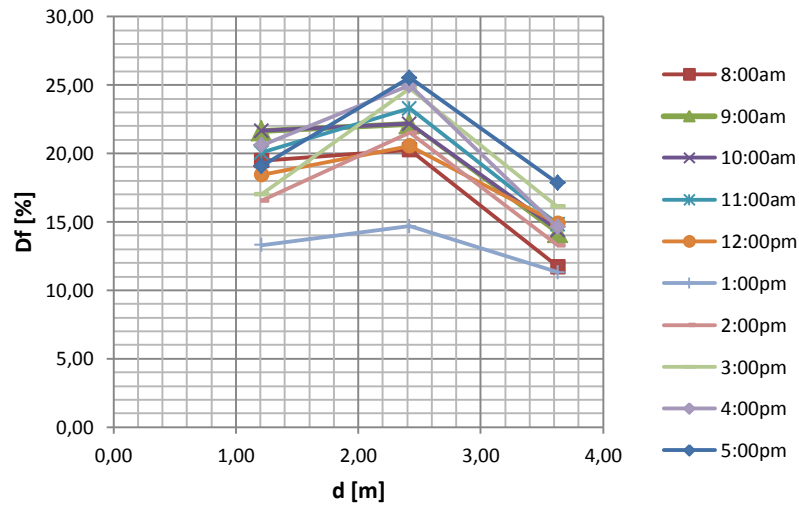


Figura A.21(b). Df Vs distancia, CP, respecto a la radiación en la terraza.

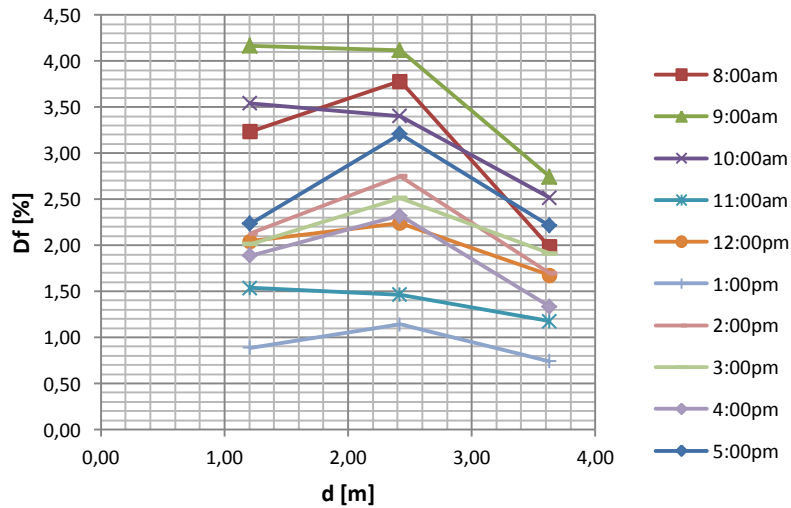


Tabla A.22. Df, Coordinación de calidad CC.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas CC										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,76	31,99	34,29	35,42	36,51	36,91	27,98	35,34	36,09	35,51	34,25
1,53	28,61	32,31	32,31	29,77	34,05	25,58	30,16	30,12	28,59	27,82
2,28	15,04	21,51	21,51	16,10	16,07	12,72	13,71	14,98	15,24	16,03
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza CC										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,76	7,33	4,21	9,75	9,54	3,04	2,29	10,75	6,21	8,05	6,60
1,53	5,91	4,03	7,35	7,18	2,64	1,85	8,64	5,35	6,62	5,72
2,28	3,41	2,63	3,69	3,67	1,35	1,03	4,28	2,61	3,42	3,07

Figura A.22(a). Df Vs distancia, CC, respecto a la radiación en la fachada.

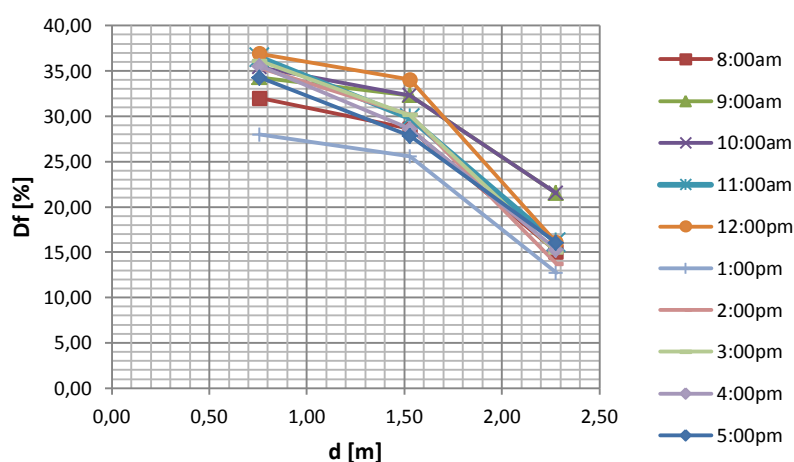


Figura A.22(b). Df Vs distancia, CC, respecto a la radiación en la terraza.

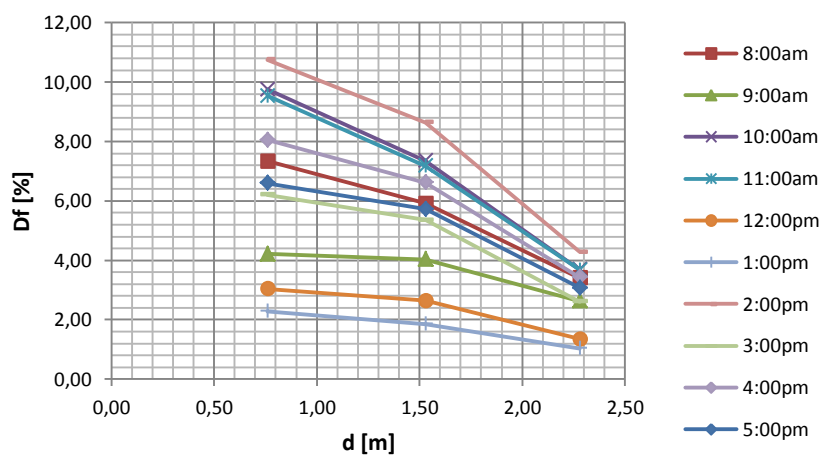


Tabla A.23. Df, Secretaria de posgrado SP.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas SP										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,53	23,61	16,02	20,78	20,99	23,62	22,81	21,61	17,07	19,16	14,45
1,59	13,92	10,91	13,11	12,65	15,41	14,27	11,58	9,15	10,81	7,85
2,65	6,06	5,17	5,21	5,47	6,89	6,54	4,28	5,02	5,15	4,19

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza SP										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,53	1,20	1,06	2,12	2,11	0,71	0,67	2,14	0,75	0,71	1,54
1,59	2,75	2,23	5,32	4,87	1,58	1,47	5,79	1,36	1,49	2,88
2,65	4,67	3,28	8,44	8,09	2,43	2,34	10,80	2,54	2,64	5,30

Figura A.23(a). Df Vs distancia, SP, respecto a la radiación en la fachada.

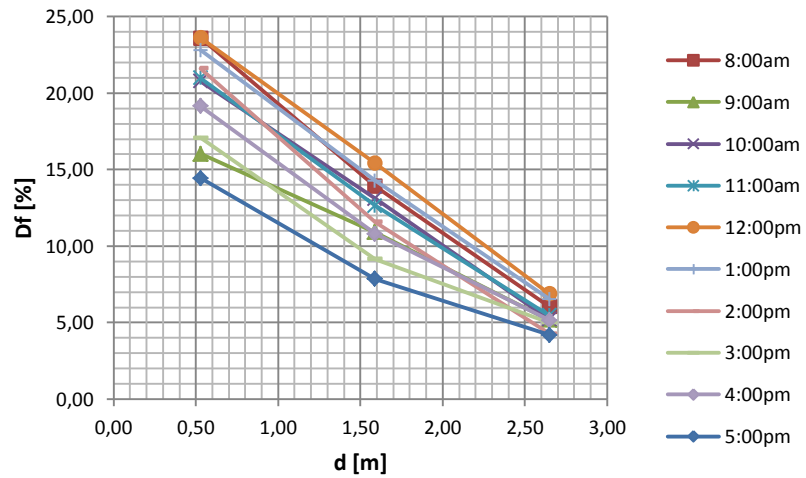


Figura A.23(b). Df Vs distancia, SP, respecto a la radiación en la terraza.

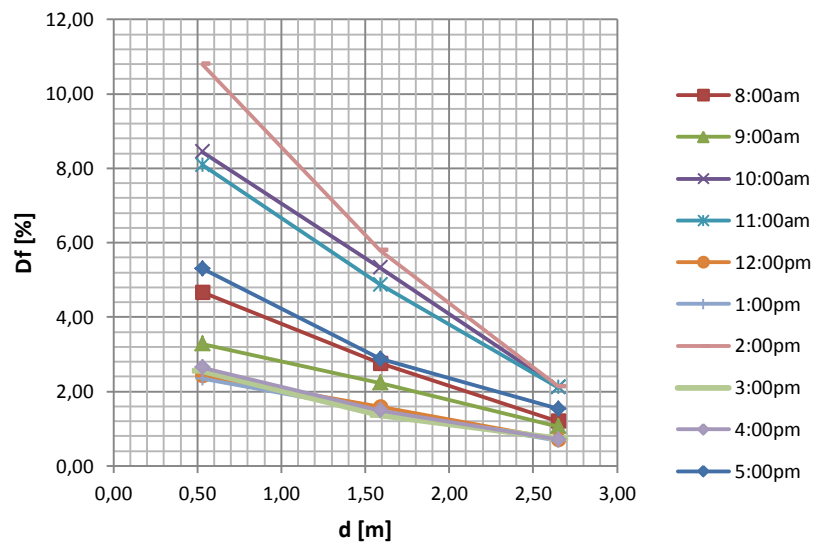


Tabla A.24. Df, Proyectos y servicios PS.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas PS										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,52	2,79	2,25	2,10	1,91	2,29	2,43	2,01	2,26	1,95	2,70
1,56	2,27	1,96	1,95	1,78	1,82	1,98	1,69	1,70	1,71	2,33
2,60	1,73	1,68	1,38	1,21	1,19	1,35	1,30	1,29	1,34	1,68

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza PS										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,52	0,55	0,46	0,84	0,64	0,24	0,25	0,96	0,89	0,67	0,97
1,56	0,45	0,40	0,78	0,60	0,19	0,20	0,81	0,67	0,59	0,83
2,60	0,34	0,34	0,55	0,41	0,12	0,14	0,62	0,51	0,46	0,60

Figura A.24(a). Df Vs distancia, PS, respecto a la radiación en la fachada.

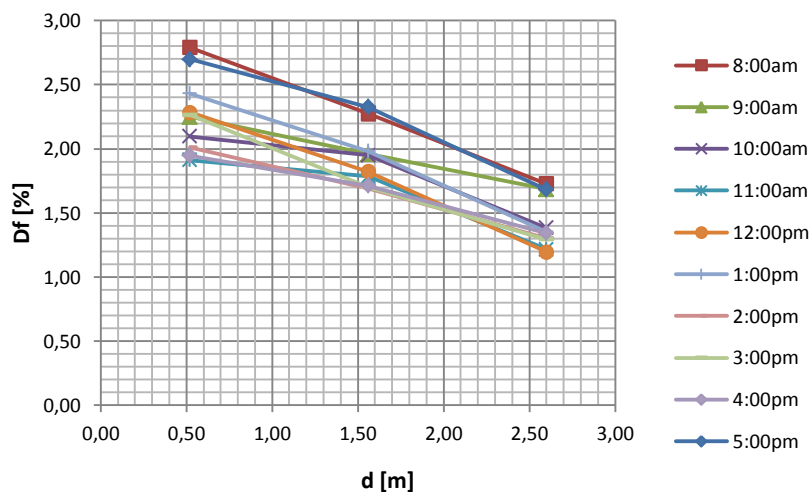


Figura A.24(b). Df Vs distancia, PS, respecto a la radiación en la terraza.

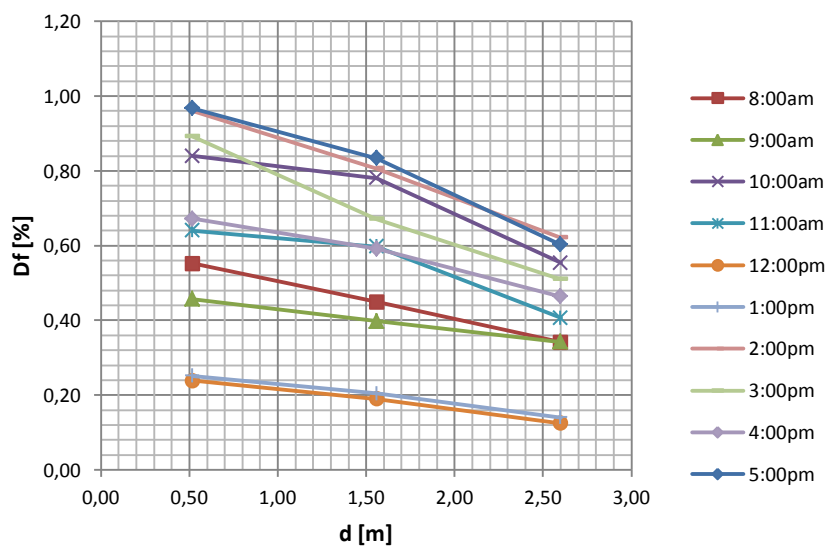


Tabla A.25. Df, Dirección E3T.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas DE3T										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,70	9,17	8,94	11,05	9,06	11,95	8,26	7,80	7,25	6,91	8,32
2,10	11,69	12,26	14,70	13,16	14,44	12,73	10,45	9,27	9,61	10,85
3,50	16,67	16,99	19,10	19,05	17,57	21,42	14,02	14,12	18,05	21,61

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza DE3T										
D [m]	8.00 am	9.00 am	10.00 am	11.00 am	12.00pm	1.00 pm	2.00 pm	3.00 pm	4.00 pm	5.00 pm
0,70	1,25	0,91	0,81	0,71	1,10	0,75	1,09	1,27	1,02	1,19
2,10	1,59	1,25	1,08	1,03	1,33	1,15	1,45	1,62	1,42	1,55
3,50	2,26	1,73	1,41	1,50	1,62	1,93	1,95	2,47	2,68	3,09

Figura A.25(a). Df Vs distancia, DE3T, respecto a la radiación en la fachada.

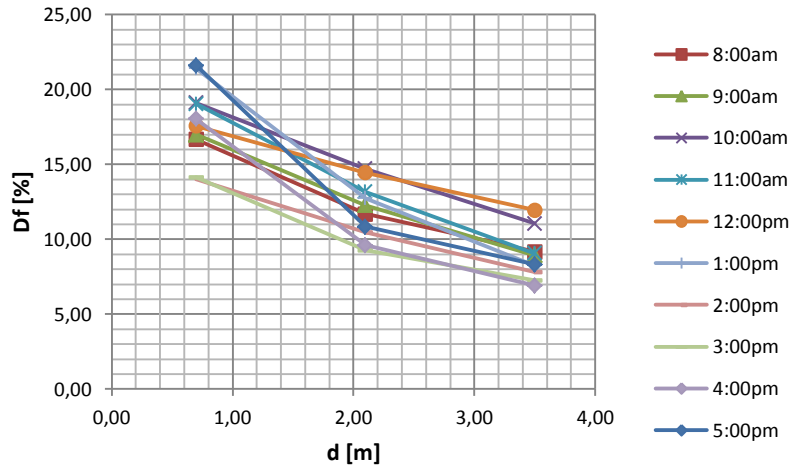


Figura A.25(b). Df Vs distancia, DE3T, respecto a la radiación en la terraza.

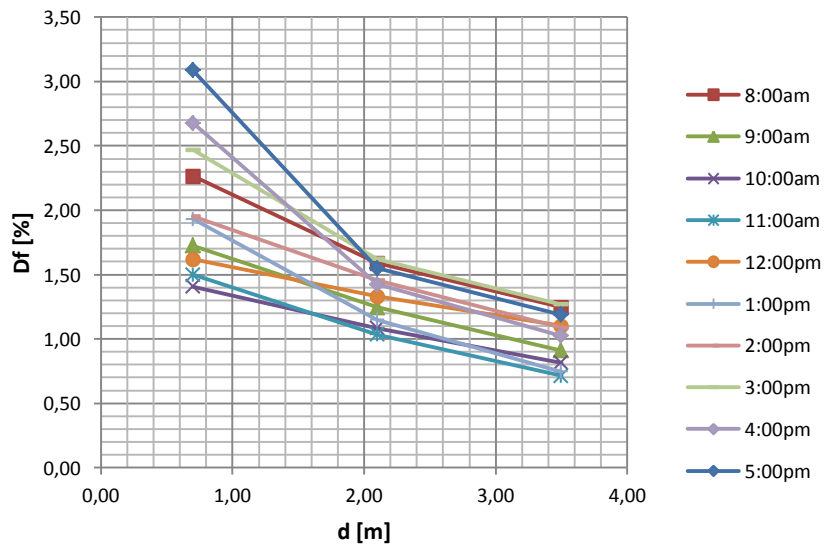


Tabla A.26. Df, Sala de espera Dirección E3T.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas SEDE3T										
D [m]	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00pm	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
0,61	25,09	27,15	23,81	24,46	24,68	21,72	20,79	22,37	22,83	21,94
1,83	11,96	13,23	12,52	11,57	13,60	11,64	13,85	16,70	15,58	12,52
3,05	7,32	7,39	7,09	5,95	8,46	7,38	9,09	12,58	12,59	6,82
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza SEDE3T										
D [m]	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00pm	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00
0,61	3,23	9,09	2,49	3,58	7,30	2,49	8,40	6,13	7,80	6,72
1,83	1,54	4,43	1,31	1,69	4,02	1,33	5,59	4,57	5,32	3,84
3,05	0,94	2,47	0,74	0,87	2,50	0,85	3,67	3,45	4,30	2,09

Figura A.26(a). Df Vs distancia, SEDE3T, respecto a la radiación en la fachada.

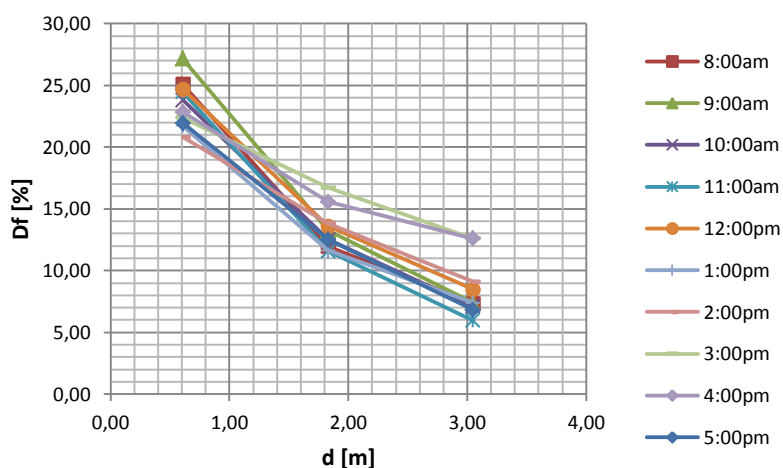
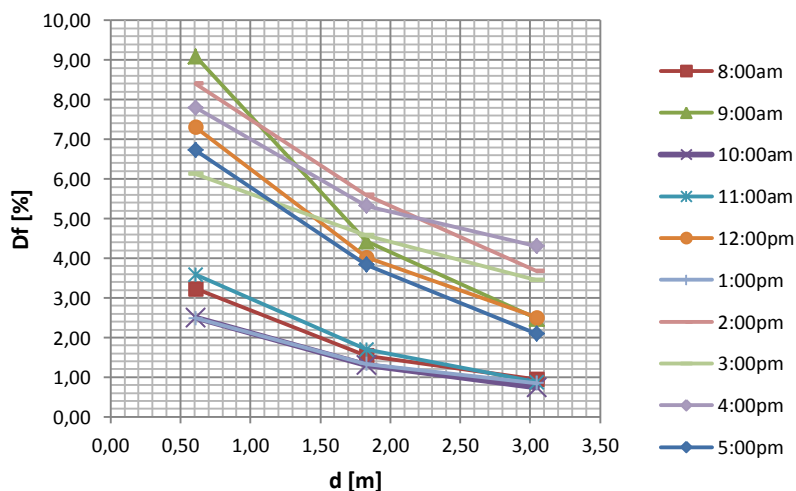


Figura A.26(b). Df Vs distancia, SEDE3T, respecto a la radiación en la terraza.



Curvas características Pasillos

El pasillo del primer piso se analiza según los resultados arrojados por las tablas y gráficos que a continuación se muestran, donde se obtienen 17 puntos los cuales están referenciados de acuerdo a la contribución de luz recibida (Ver Tabla A27).

Tabla A.27. Coeficientes de referencia pasillo 1.

Punto	Punto referente según la fachada
P1	PA1
P2	PA1+PD2
P3	PD2
P4	PC2
P5	PA1+PA2
P6	PA2
P7 y P8	PC2+PB1
P9	PC2+PB1+PC1
P10	PC1+PB1+PB2
P11 y P12	PD1+PD2
P13	PD1+PD2+PC1
P14	PB2+PD1+PD2
P15, P16 y P17	PB2+PB1+PC1+PA2+PD1

Tabla A.28. Df pasillo 1 según fachada.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas										
Punto	8.00am	9.00am	10.00am	11.00am	12.00pm	1.00pm	2.00pm	3.00pm	4.00pm	5.00pm
P1	17,36	18,16	21,18	21,86	19,57	15,64	21,55	21,78	23,94	14,69
P2	1,04	2,57	4,56	3,78	4,32	6,35	3,85	3,14	3,46	5,85
P3	0,46	1,89	5,73	3,60	6,08	10,75	4,25	3,67	4,84	9,06
P4	2,82	1,94	2,03	2,30	2,00	9,06	2,04	1,94	2,91	2,85
P5	9,02	6,55	7,54	6,82	8,71	2,64	5,54	3,00	3,08	7,98
P6	56,23	68,96	63,71	61,78	52,61	54,52	45,73	67,41	55,28	63,69
P7	4,47	2,00	5,71	4,59	5,14	2,20	4,10	4,33	4,56	23,70
P8	8,81	3,48	6,22	8,80	8,00	3,02	4,80	5,92	6,14	18,63
P9	8,08	40,32	10,50	15,52	15,30	9,27	6,73	8,26	8,48	8,60

P10	17,38	47,39	26,19	26,04	30,54	17,82	20,20	16,45	16,23	16,87
P11	2,57	6,25	3,75	5,28	1,33	5,82	4,65	4,56	5,05	19,06
P12	4,76	10,94	5,33	7,22	1,42	8,03	5,81	5,42	7,76	17,66
P13	7,64	6,22	7,83	8,86	2,87	8,46	7,27	8,76	13,50	18,83
P14	13,63	10,73	17,38	17,01	6,36	16,02	13,48	15,83	19,53	30,10
P15	0,26	0,12	0,35	0,21	0,13	0,17	0,35	0,23	0,34	0,65
P16	0,87	0,41	0,67	0,54	0,22	0,35	0,53	0,35	0,37	1,67
P17	0,32	0,16	0,50	0,23	0,17	0,16	0,40	0,24	0,47	0,76

Tabla A.29. Df pasillo 1 según terraza.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza										
Punto	8.00am	9.00am	10.00am	11.00am	12.00pm	1.00pm	2.00pm	3.00pm	4.00pm	5.00pm
P1	0,35	0,33	0,57	1,55	1,06	0,72	0,70	2,18	1,22	0,86
P2	0,37	0,28	0,36	0,96	0,73	0,63	0,40	1,00	0,64	0,67
P3	0,16	0,17	0,30	0,66	0,70	0,57	0,30	0,80	0,65	0,50
P4	0,03	0,03	0,05	0,13	0,12	0,92	0,05	0,15	0,12	0,10
P5	0,55	0,46	0,69	2,65	4,70	2,11	2,32	8,05	4,76	1,59
P6	2,26	3,61	4,11	19,67	13,46	17,70	17,65	8,81	7,51	8,97
P7	0,75	0,48	0,35	1,29	1,35	0,55	0,46	1,23	0,72	2,24
P8	1,48	0,84	0,39	2,48	2,10	0,75	0,54	1,69	0,96	1,76
P9	4,34	13,54	1,62	14,01	13,18	4,74	1,76	4,78	2,99	2,03
P10	9,41	18,87	4,14	22,09	23,09	9,33	5,39	9,78	5,93	3,96
P11	0,93	0,68	0,28	1,31	1,21	0,66	0,47	1,37	0,95	1,95
P12	1,71	1,20	0,40	1,78	1,30	0,92	0,59	1,63	1,46	1,80
P13	5,57	4,23	1,31	7,69	4,34	3,19	1,82	5,21	5,18	4,58
P14	9,99	7,20	2,98	13,84	8,96	6,23	3,43	9,68	7,75	7,29
P15	0,24	0,17	0,11	0,39	0,33	0,26	0,29	0,81	0,70	0,34
P16	0,83	0,58	0,21	0,97	0,57	0,53	0,42	1,21	0,76	0,88
P17	0,31	0,23	0,16	0,41	0,44	0,24	0,32	0,83	0,97	0,40

Figura A.27(a). Df Vs Punto Ref, Pasillo 1, respecto a la radiación en la fachada.

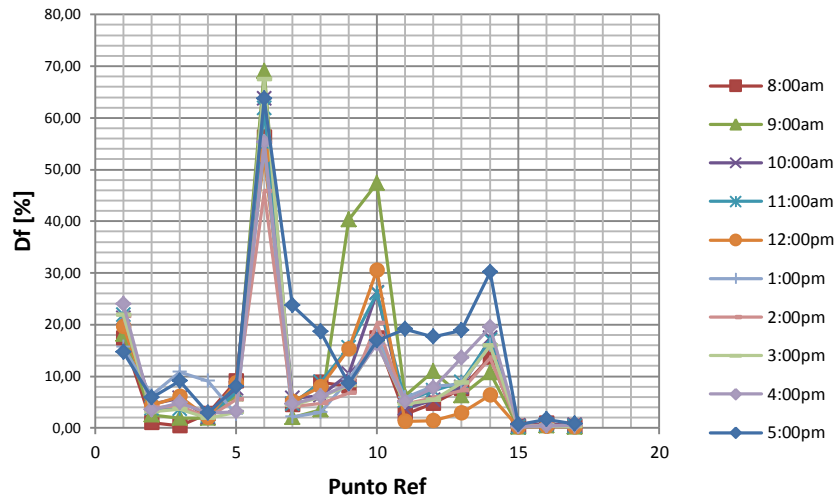
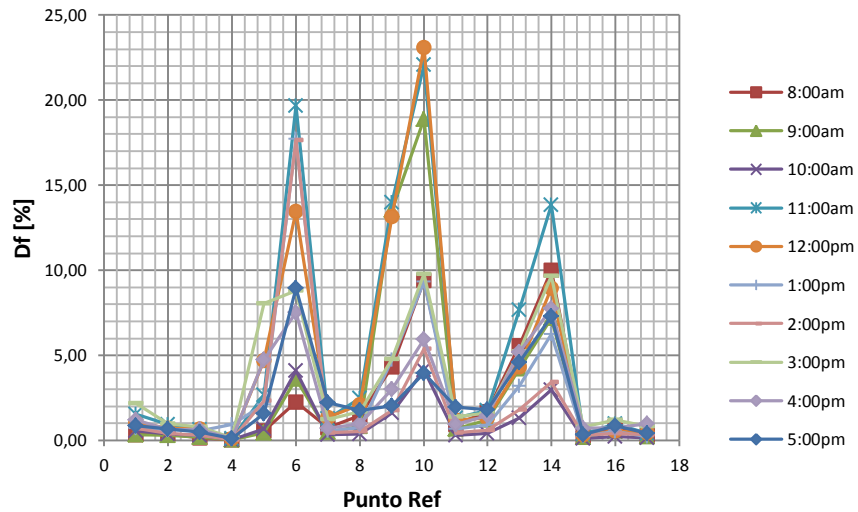


Figura A.27(b). Df Vs Punto Ref, Pasillo 1, respecto a la radiación en la terraza.



Los pasillos del segundo, tercero y cuarto piso del edificio se caracterizan mediante las Figuras y Tablas que a continuación se muestran, se grafican los Df según los puntos establecidos en el área respecto a la radiación entrante por la fachada norte para los puntos P1, P2, P6, P7 y P8, los puntos P3 y P5 con respecto a la

suma de la radiación entrante por la fachada norte y oeste y el punto P4 con la fachada oeste.

Tabla A.30. Df, Pasillo 2.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas Pasillo 2										
Punto	8.00am	9.00am	10.00am	11.00am	12.00am	1.00pm	2.00pm	3.00pm	4.00pm	5.00pm
P1	9,47	14,21	12,76	11,94	18,32	23,03	28,32	18,55	10,95	31,32
P2	10,39	12,20	12,75	7,99	13,90	16,61	21,93	13,21	8,50	19,41
P3	4,05	8,97	10,71	4,67	4,97	9,18	10,48	5,77	3,68	6,39
P4	36,97	34,85	38,83	33,83	21,07	11,75	36,10	37,80	36,11	33,17
P5	2,24	3,63	3,80	2,29	1,93	3,70	5,12	1,75	1,89	3,55
P6	8,54	7,62	20,02	7,34	15,09	10,99	35,68	18,95	29,63	76,30
P7	49,46	53,64	62,45	57,82	50,80	35,89	33,72	72,62	48,89	37,01
P8	0,78	0,68	1,56	0,96	1,80	1,65	3,41	5,85	4,51	6,45
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza Pasillo 2										
Punto	8.00am	9.00am	10.00am	11.00am	12.00am	1.00pm	2.00pm	3.00pm	4.00pm	5.00pm
P1	0,67	1,09	1,45	1,02	1,99	4,88	4,75	1,28	1,91	2,57
P2	0,73	0,94	1,45	0,68	1,51	3,52	3,67	0,91	1,48	1,59
P3	0,44	1,01	1,96	0,56	1,33	4,05	3,10	0,60	0,86	1,18
P4	1,37	1,27	2,67	1,16	3,35	2,69	4,61	1,31	2,15	3,42
P5	0,24	0,41	0,69	0,27	0,52	1,63	1,51	0,18	0,44	0,66
P6	0,60	0,59	2,28	0,63	1,64	2,33	5,98	1,30	5,17	6,26
P7	3,50	4,12	7,11	4,92	5,52	7,60	5,65	5,00	8,52	3,04
P8	0,06	0,05	0,18	0,08	0,20	0,35	0,57	0,40	0,79	0,53

Figura A.28(a). Df Vs Punto Ref, Pasillo 2, respecto a la radiación en la fachada.

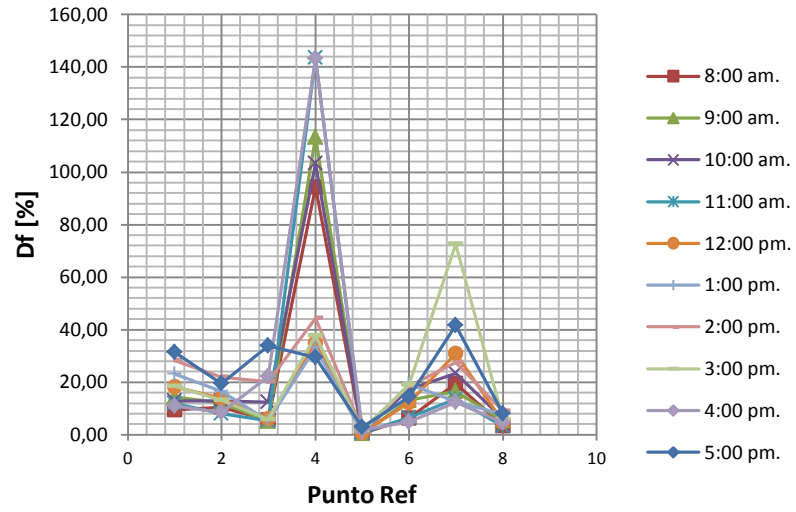


Figura A.28(b). Df Vs distancia, Pasillo 2, respecto a la radiación en la terraza.

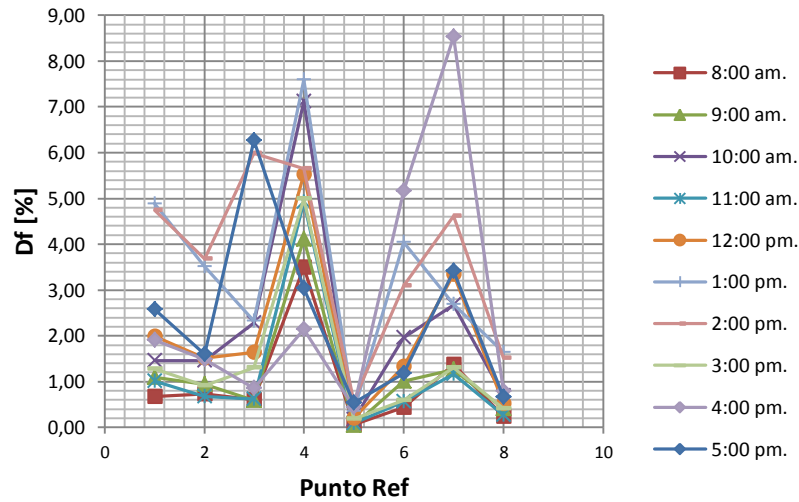


Tabla A.31. Df, Pasillo 3.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas Pasillo 3										
Punto	8.00am	9.00am	10.00am	11.00am	12.00am	1.00pm	2.00pm	3.00pm	4.00pm	5.00pm
P1	16,69	25,77	13,49	15,06	14,74	10,34	5,80	8,72	8,72	15,68
P2	20,56	25,99	22,06	15,23	27,33	29,77	10,45	16,34	15,93	28,84
P3	7,88	8,57	8,63	8,51	11,01	8,15	5,67	6,70	6,39	8,82
P4	32,68	31,98	30,81	30,49	48,33	53,83	38,27	35,01	33,80	29,08
P5	3,34	5,02	3,77	3,59	3,74	4,43	2,15	2,80	2,75	3,43
P6	14,27	17,68	21,82	14,07	14,17	11,82	15,15	40,14	35,10	24,07
P7	79,51	91,41	125,02	116,86	109,67	82,21	94,95	93,57	79,36	68,99
P8	1,20	1,51	1,39	1,00	1,61	1,65	1,44	3,88	4,02	6,32
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza Pasillo 3										
Punto	8.00am	9.00am	10.00am	11.00am	12.00am	1.00pm	2.00pm	3.00pm	4.00pm	5.00pm
P1	0,95	2,74	1,72	0,94	1,42	1,24	1,10	1,02	1,73	2,96
P2	1,17	2,77	2,81	0,95	2,63	3,56	1,98	1,91	3,16	5,45
P3	0,94	1,74	2,14	0,97	1,93	2,13	1,52	1,15	1,96	3,36
P4	2,04	3,08	3,70	1,58	3,81	7,63	3,01	1,93	3,68	5,59
P5	0,40	1,02	0,93	0,41	0,65	1,16	0,58	0,48	0,85	1,31
P6	0,81	1,88	2,78	0,88	1,36	1,41	2,87	4,69	6,96	4,55
P7	4,51	9,74	15,93	7,30	10,54	9,84	17,98	10,93	15,73	13,03
P8	0,07	0,16	0,18	0,06	0,15	0,20	0,27	0,45	0,80	1,19

Figura A.29(a). Df Vs Punto Ref, Pasillo 3, respecto a la radiación en la fachada.

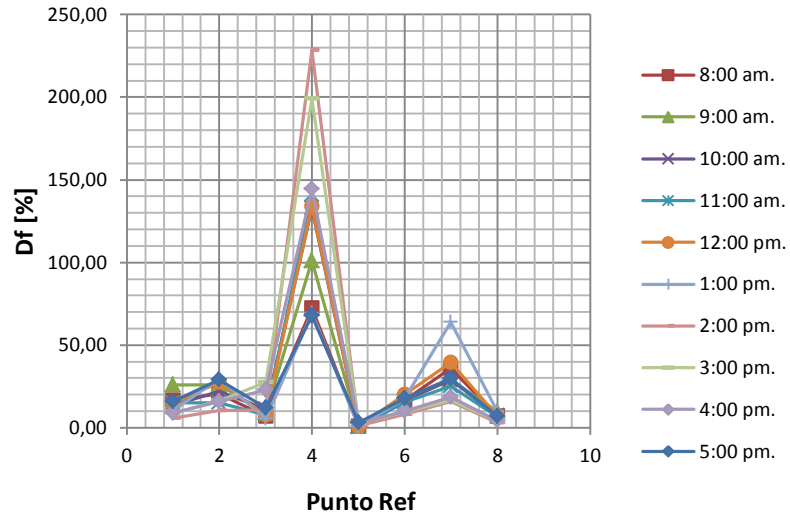


Figura A.29(b). Df Vs distancia, Pasillo 3, respecto a la radiación en la terraza.

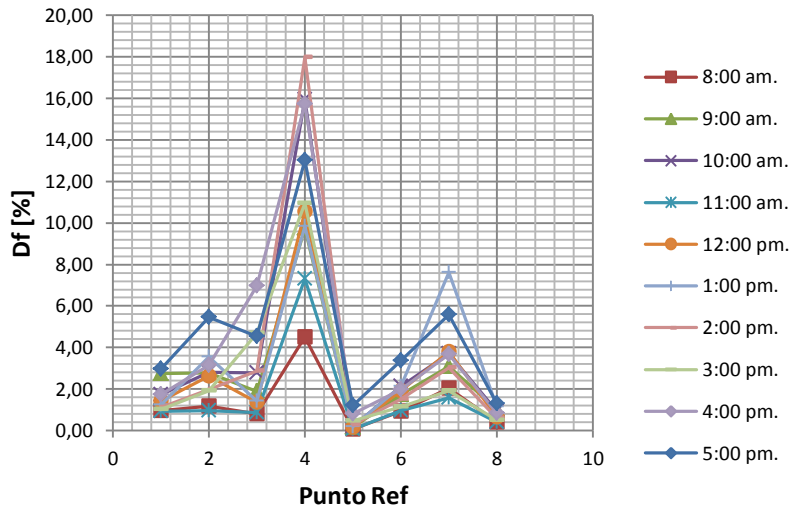


Tabla A.32. Df, Pasillo 4.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas Pasillo 4										
Punto	8.00am.	9.00am.	10.00am.	11.00am.	12.00am.	1.00pm.	2.00pm.	3.00pm.	4.00pm.	5.00pm.
P1	41,83	41,65	41,39	32,27	21,92	26,48	25,57	19,40	22,20	28,50
P2	36,43	31,23	34,78	26,80	18,08	28,52	29,32	29,20	29,77	37,74
P3	5,67	5,67	6,37	3,79	4,98	4,62	5,92	5,81	6,51	8,07
P4	48,49	41,68	53,34	50,99	60,03	53,64	51,38	47,08	48,41	54,83
P5	0,57	0,53	0,57	0,33	0,40	0,50	0,46	0,56	0,51	0,60
P6	29,69	30,65	28,66	31,17	20,26	27,22	29,41	28,57	27,34	28,57
P7	41,84	35,68	33,44	39,59	47,38	43,39	50,82	42,70	57,80	48,95
P8	13,87	13,38	12,49	10,27	8,71	8,74	8,86	8,49	8,71	7,92
Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza Pasillo 4										
Punto	8.00am.	9.00am.	10.00am.	11.00am.	12.00am.	1.00pm.	2.00pm.	3.00pm.	4.00pm.	5.00pm.
P1	3,76	2,85	2,55	6,60	2,66	6,80	6,39	5,76	6,72	2,90
P2	3,28	2,14	2,14	5,48	2,19	7,32	7,33	8,67	9,01	3,84
P3	1,10	0,88	0,85	2,28	1,51	3,85	4,69	5,44	8,99	3,94
P4	5,06	3,61	3,87	20,30	10,96	30,92	27,88	30,06	36,73	21,22
P5	0,11	0,08	0,08	0,20	0,12	0,42	0,36	0,52	0,71	0,30
P6	2,67	2,10	1,76	6,38	2,46	6,99	7,35	8,48	8,27	2,91
P7	3,77	2,44	2,06	8,10	5,74	11,14	12,70	12,68	17,49	4,99
P8	1,25	0,91	0,77	2,10	1,06	2,24	2,21	2,52	2,64	0,81

Figura A.30(a). Df Vs Punto Ref, Pasillo 4, respecto a la radiación en la fachada.

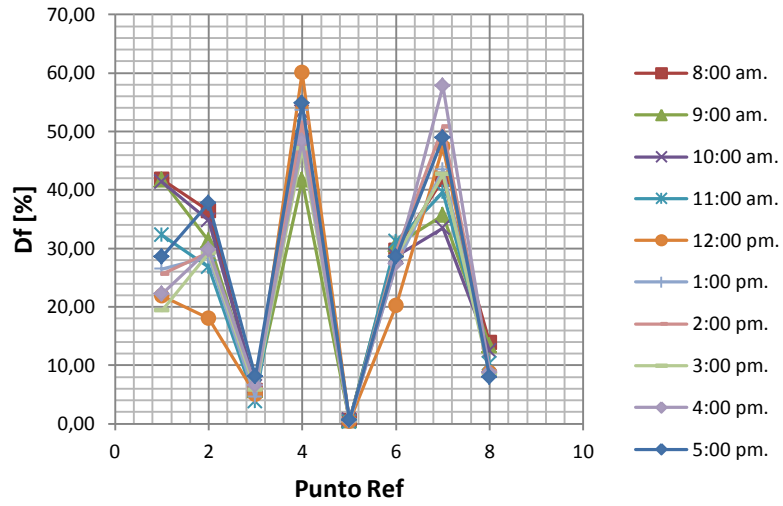


Figura A.30(b). Df Vs distancia, Pasillo 4, respecto a la radiación en la terraza.

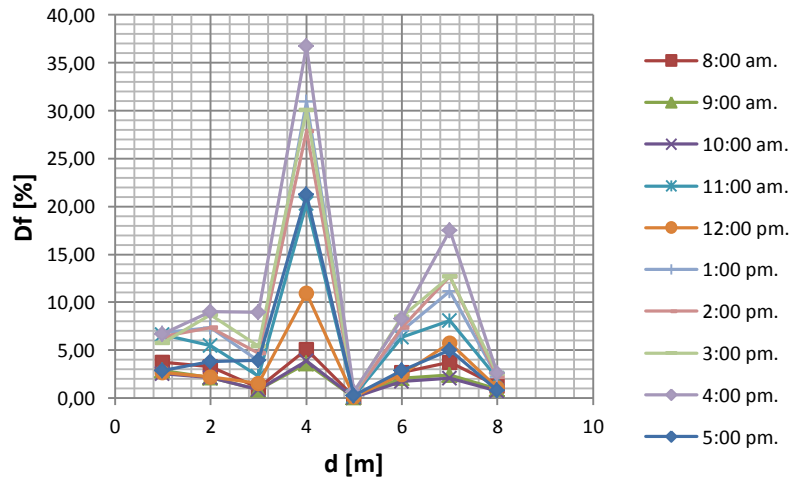


Tabla A.33. Df, Pasillo 5.

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en las fachadas Pasillo 5										
Punto	8.00am	9.00am	10.00am	11.00am	12.00am	1.00pm	2.00pm	3.00pm	4.00pm	5.00pm
P1	17,32	19,69	19,96	25,33	13,39	12,89	14,17	17,49	13,00	13,28
P2	25,82	31,94	23,35	19,21	36,37	27,67	30,34	31,89	26,63	27,40
P3	34,77	32,62	35,46	38,16	36,67	42,89	43,93	38,17	52,35	56,85
P4	8,69	8,36	9,18	7,96	7,48	6,73	7,40	7,07	10,02	10,42
P5	11,17	13,66	13,28	13,45	12,42	8,46	11,17	10,00	12,69	11,94

Factor de luz diurna respecto a la incidencia en la terraza Pasillo 5										
Punto	8.00am	9.00am	10.00am	11.00am	12.00am	1.00pm	2.00pm	3.00pm	4.00pm	5.00pm
P1	2,35	2,10	1,94	2,51	3,89	6,84	8,53	11,98	13,66	5,70
P2	2,80	2,30	1,74	2,50	3,91	9,80	11,89	15,54	18,60	6,28
P3	4,82	3,15	2,98	4,83	4,58	13,16	14,64	19,29	24,82	8,35
P4	2,55	1,66	1,61	2,00	1,89	4,35	5,08	7,46	9,63	3,04
P5	1,72	1,40	1,21	1,68	1,58	2,88	3,95	5,50	6,18	1,73

Figura A.31(a). Df Vs Punto Ref, Pasillo 5, respecto a la radiación en la fachada.

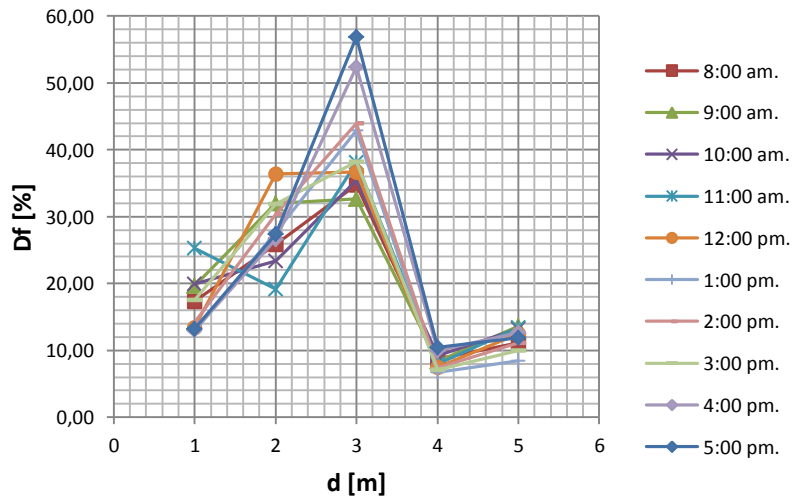
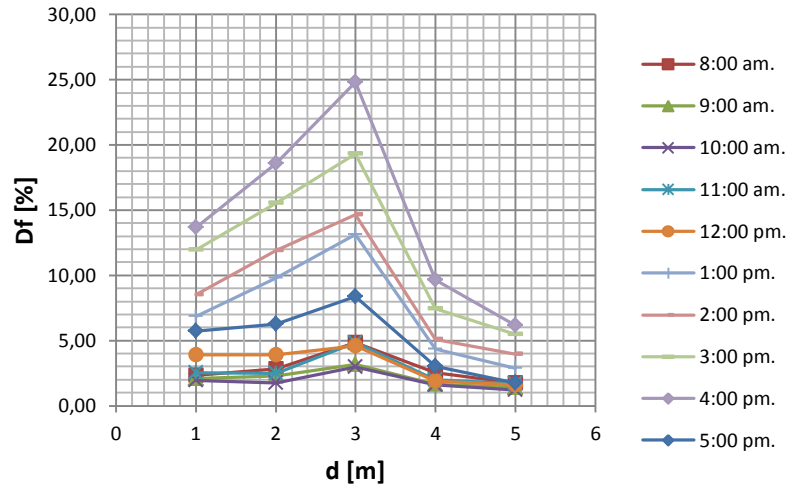


Figura A.31(b). Df Vs distancia, Pasillo 5, respecto a la radiación en la terraza.



En el caso del Pasillo 5, los puntos P3, P4 y P5 están referidos a la entrada de luz por la fachada norte y los puntos P1 y P2 se referencias con la entrada de luz de cada punto en la ventana de la fachada oeste.

ANEXO B. Curvas de comportamiento lumínico (Iluminación artificial)

La importancia de verificar que un sistema lumínico cumpla o no con los requerimientos mínimos exigidos por las normas y reglamentos técnicos es brindar las condiciones de confort necesarias según las actividades a realizar.

La iluminación artificial se caracteriza mediante la toma del nivel de iluminación dado por el sistema de luminarias, este anexo muestra las curvas que definen el comportamiento de cada configuración de luminarias y se obtiene la iluminancia media medida (E_{media}) del espacio.

Curvas características aulas de clases

Los resultados encontrados para las aulas de clase se muestran de la Figura B.1 a la Figura B.16.

Figura B.1. Curva característica aula 103, 6.00 pm.

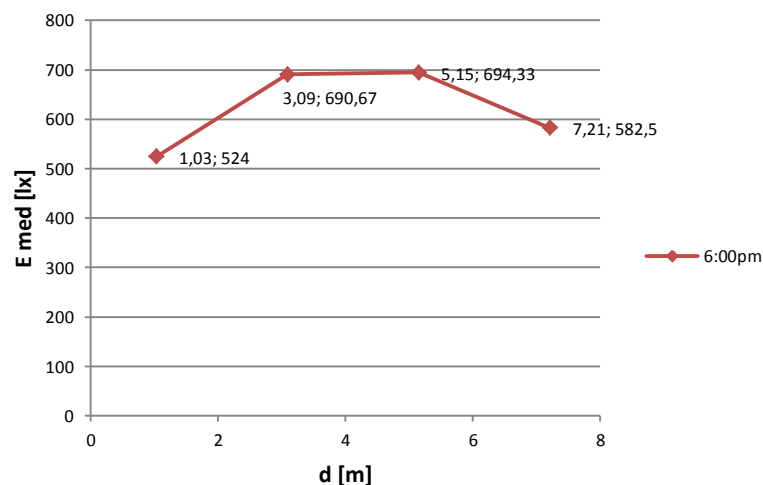


Figura B.2. Curva característica aula 201, 6.00 pm.

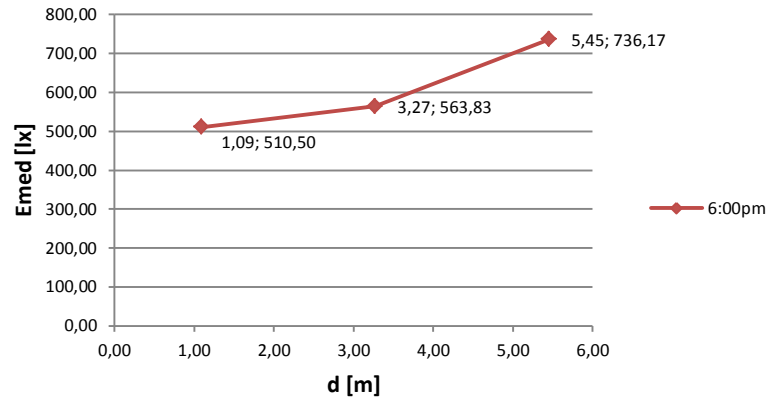


Figura B.3. Curva característica aula 202, 6.00 pm.

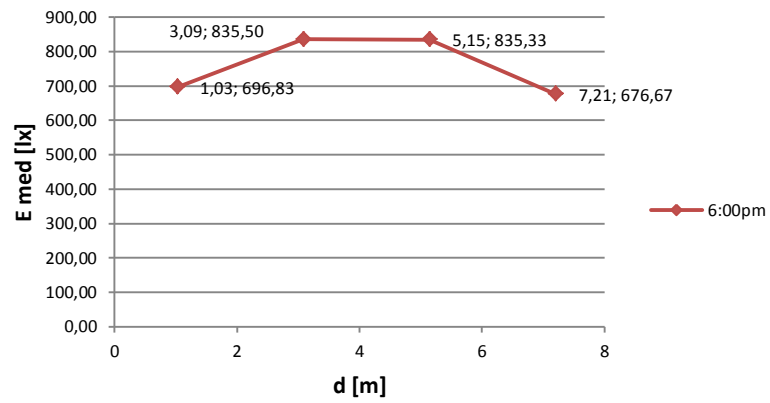


Figura B.4. Curva característica aula 204, 6.00 pm.

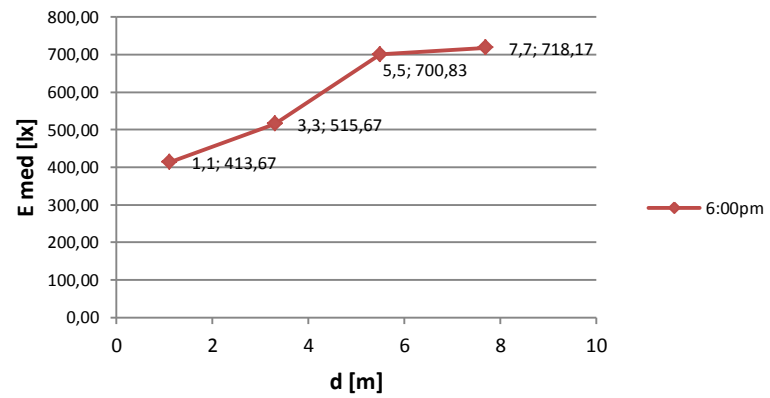


Figura B.5. Curva característica aula 205, 6.00 pm.

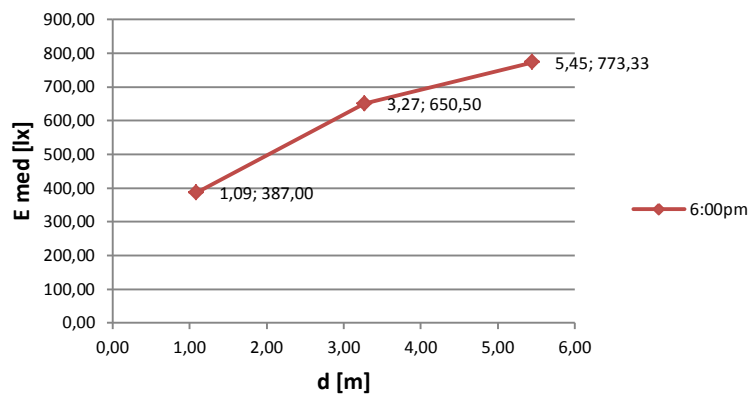


Figura B.6. Curva característica aula 206, 6.00 pm.

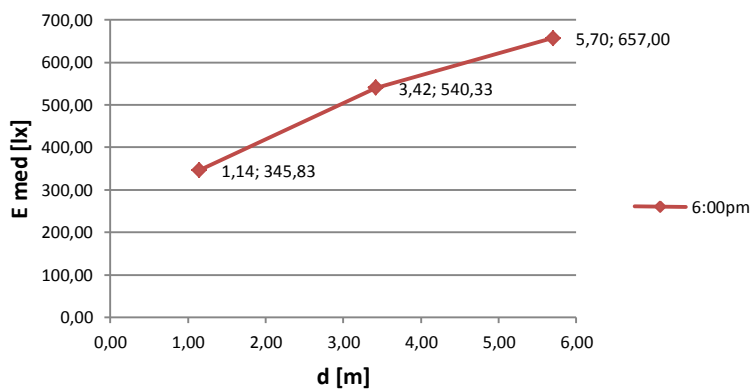


Figura B.7. Curva característica aula 207, 6.00 pm.

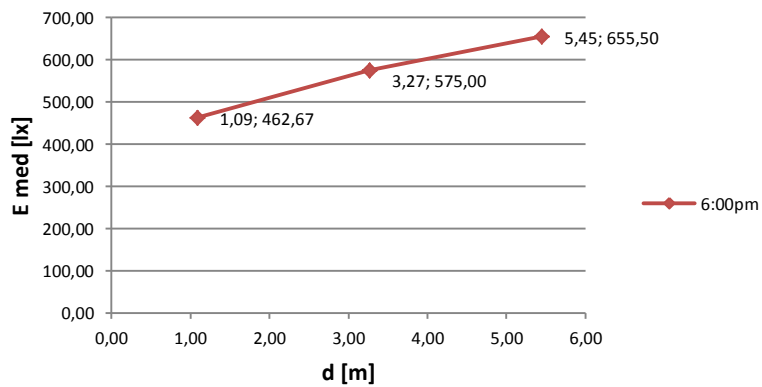


Figura B.8. Curva característica aula 301, 6.00 pm.

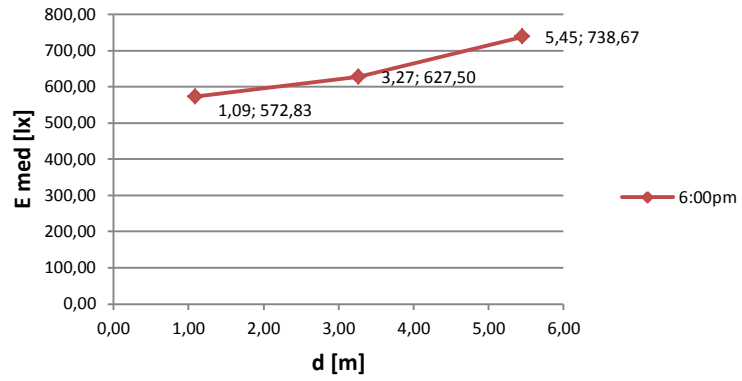


Figura B.9. Curva característica aula 302, 6.00 pm.

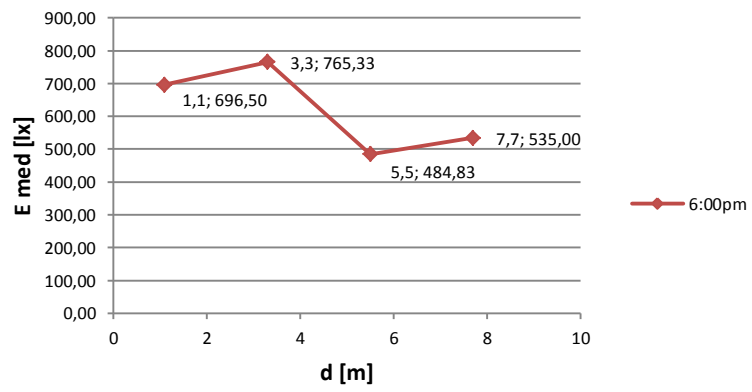


Figura B.10. Curva característica aula 304, 6.00 pm.

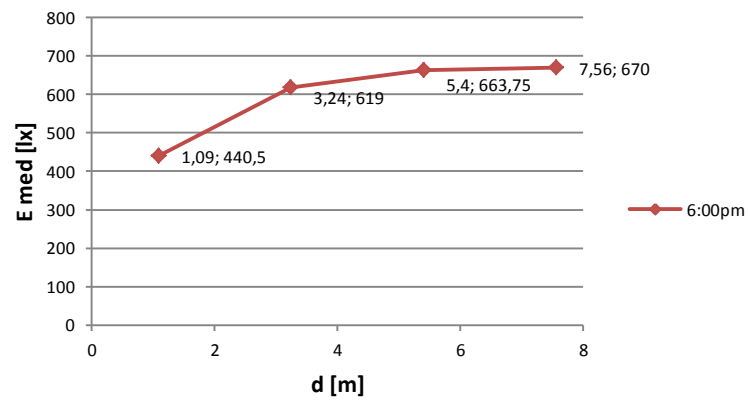


Figura B.11. Curva característica aula 305, 6.00 pm.

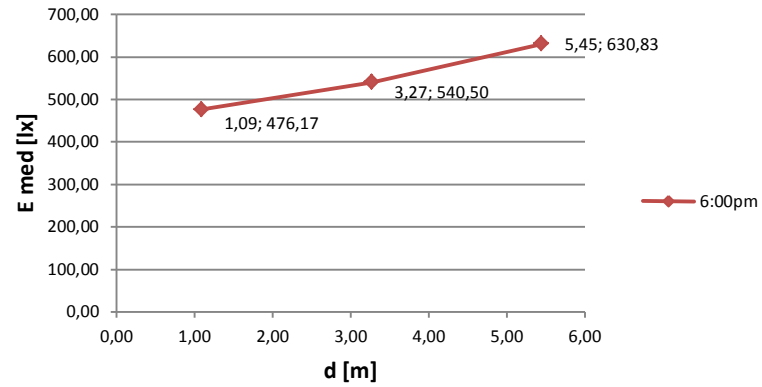


Figura B.12. Curva característica aula 401, 6.00 pm.

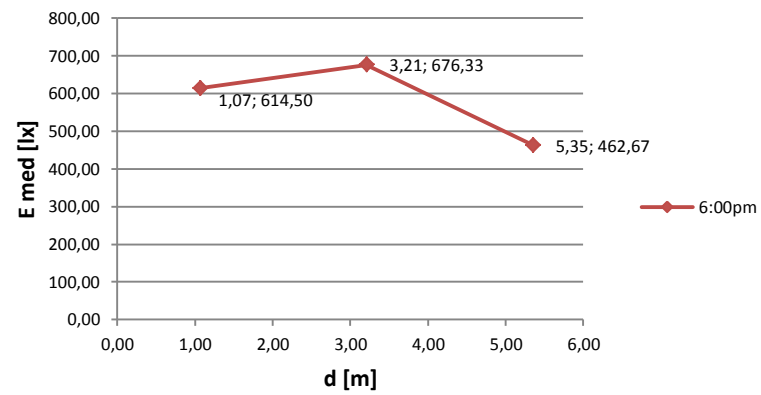


Figura B.13. Curva característica aula 402, 6.00 pm.

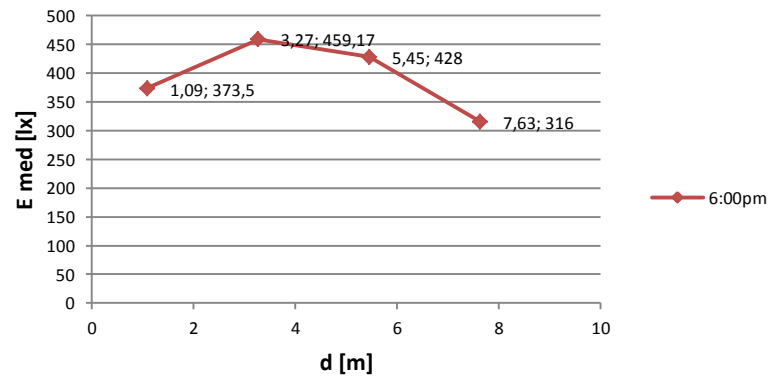


Figura B.14. Curva característica aula 404, 6.00 pm.

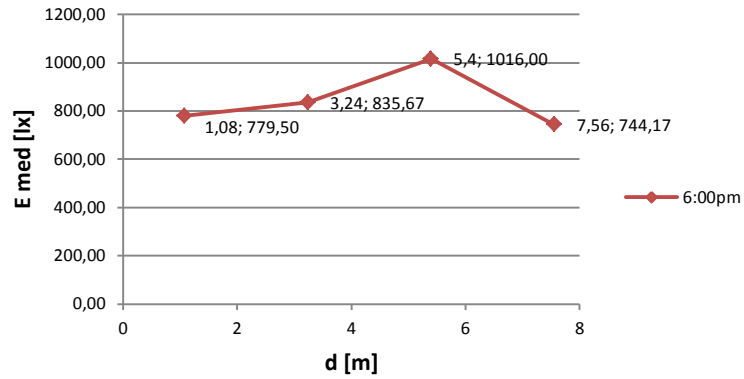


Figura B.15. Curva característica aula 405, 6.00 pm.

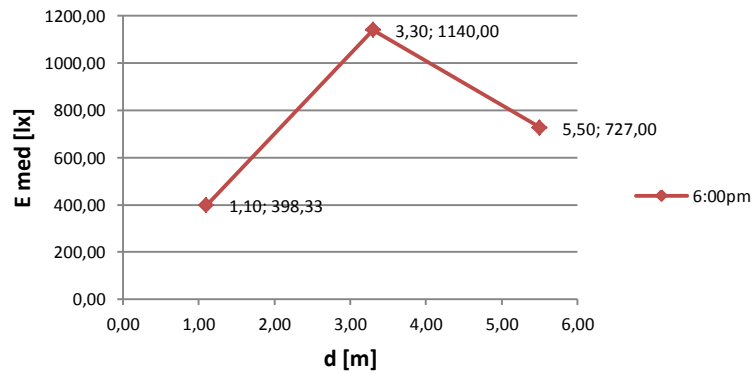
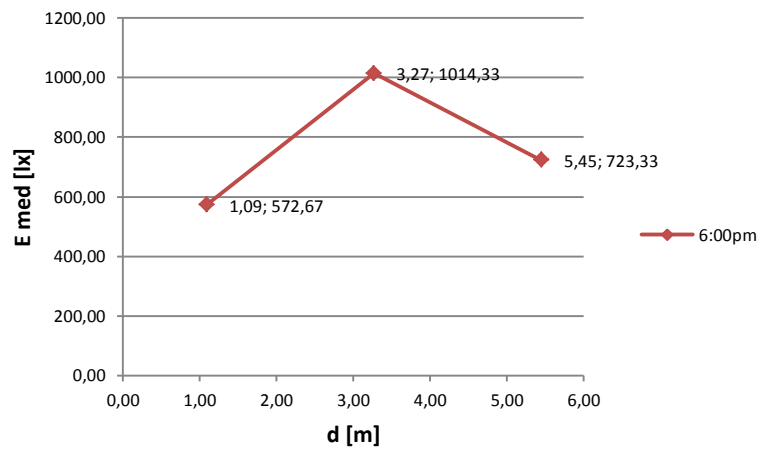


Figura B.16. Curva característica aula 406, 6.00 pm.



Curvas características Oficinas

Las curvas características de la iluminación artificial para las oficinas se exponen de la Figura B.17 hasta la Figura B.29.

Figura B.17. Curva característica SR, 6.00 pm.

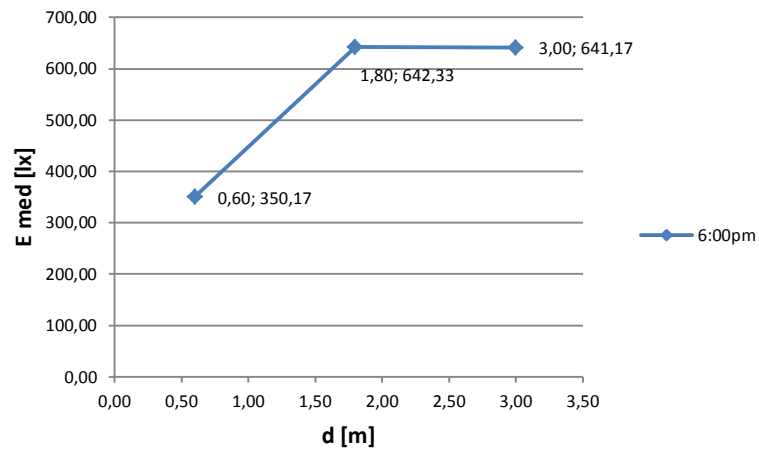


Figura B.18. Curva característica IEEE, 6.00 pm.

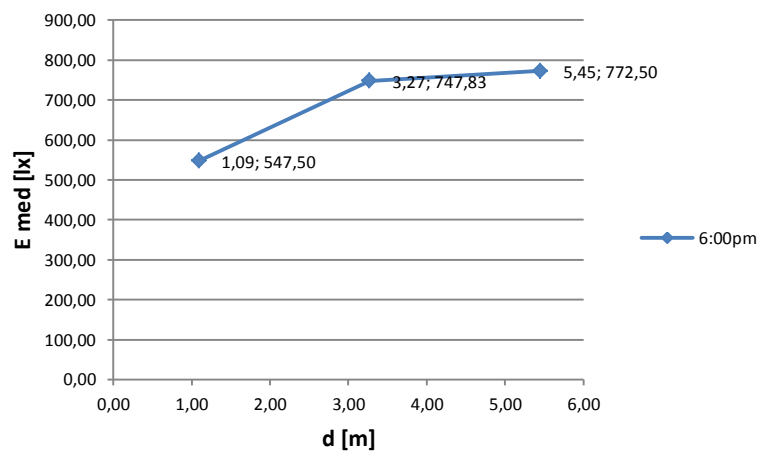


Figura B.19. Curva característica SI, 6.00 pm.

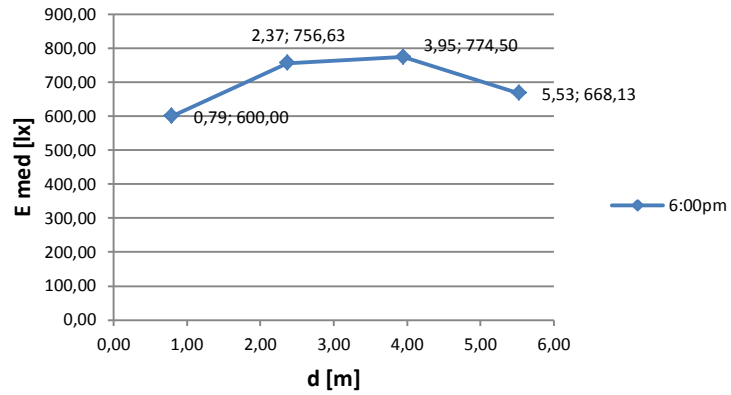


Figura B.20. Curva característica ZCP, 6.00 pm.

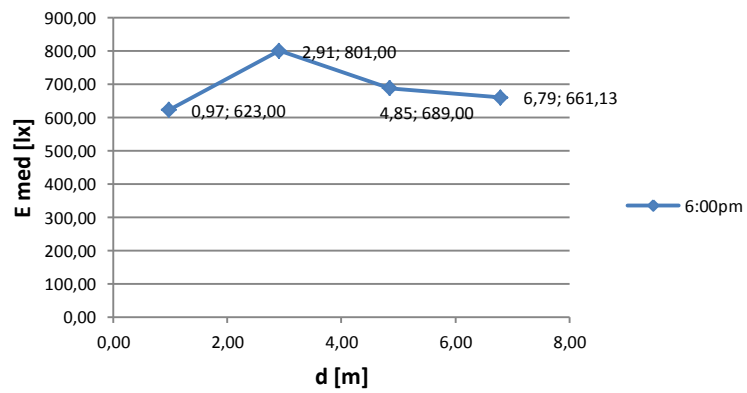


Figura B.21. Curva característica SEP, 6.00 pm.

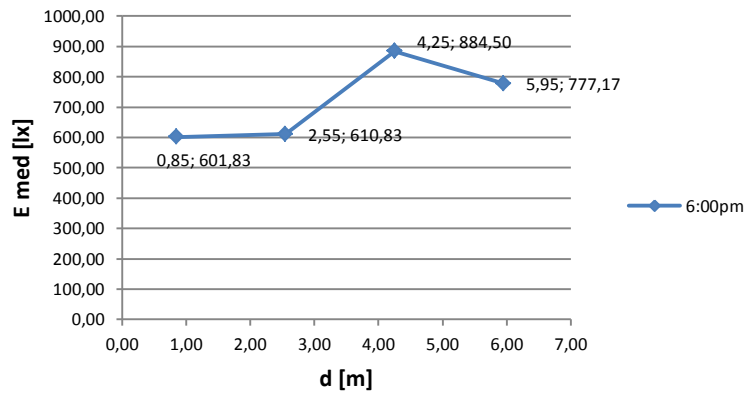


Figura B.22. Curva característica CE2, 6.00 pm.

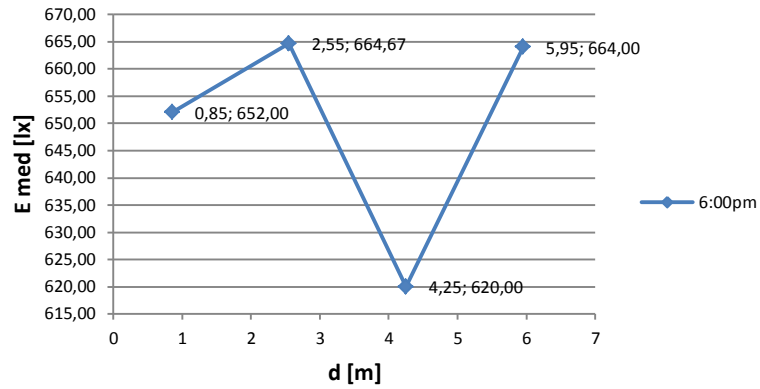


Figura B.23. Curva característica CP, 6.00 pm.

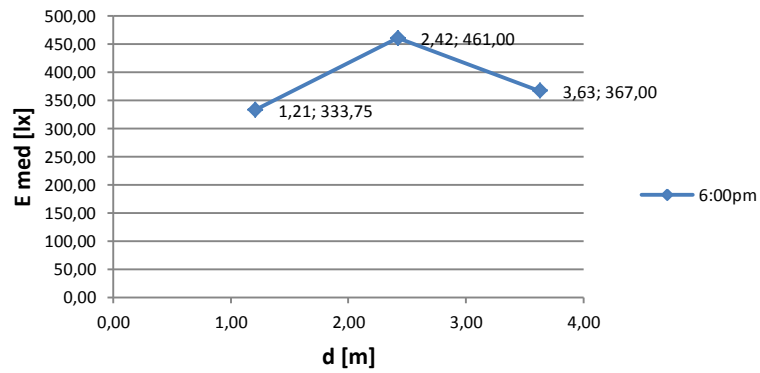


Figura B.24. Curva característica CE1, 6.00 pm.

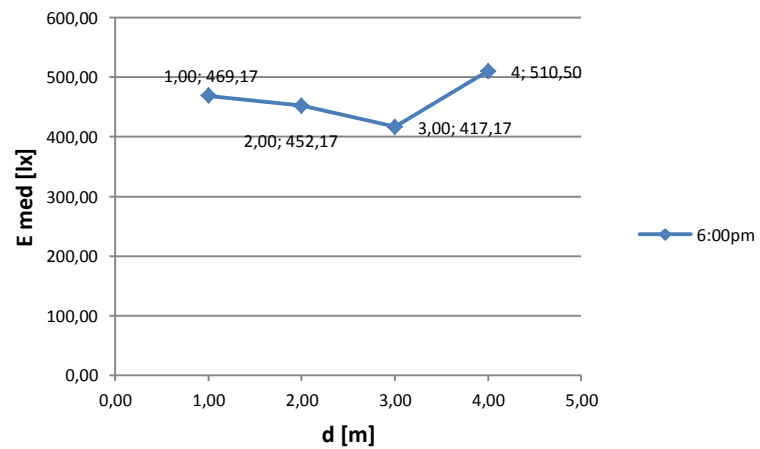


Figura B.25. Curva característica CC, 6.00 pm.

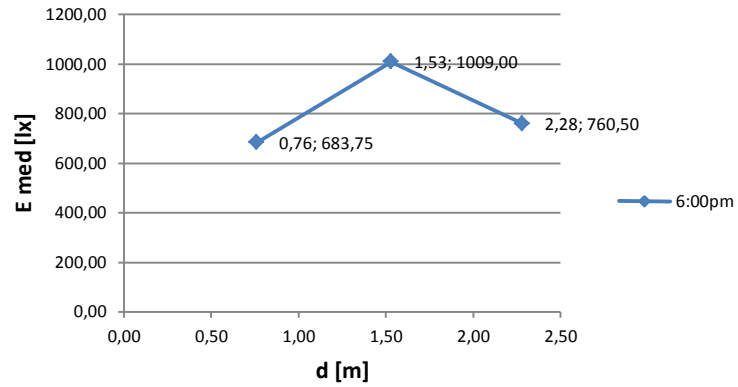


Figura B.26. Curva característica SP, 6.00 pm.

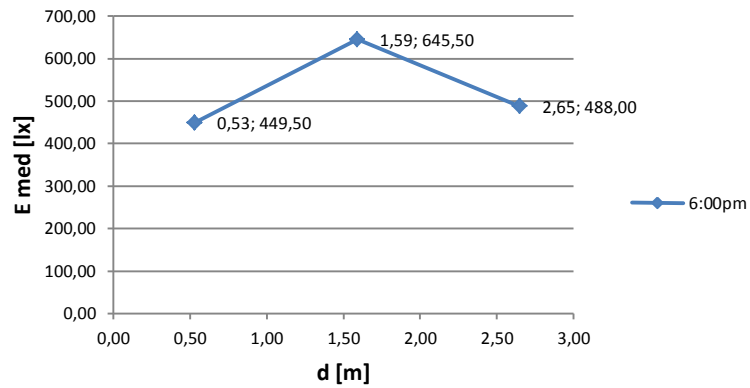


Figura B.27. Curva característica PS, 6.00 pm.

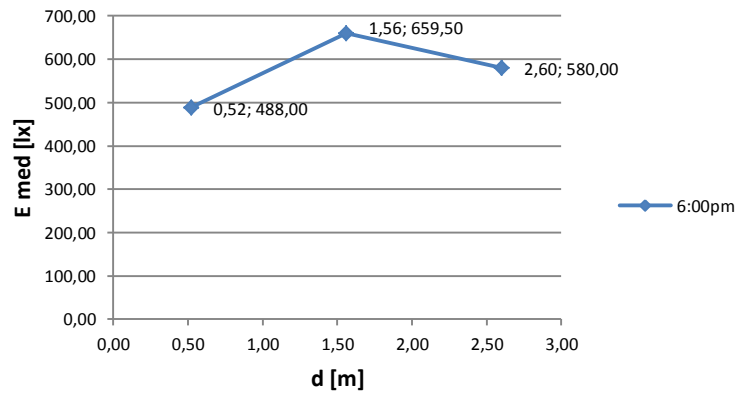


Figura B.28. Curva característica DE3T, 6.00 pm.

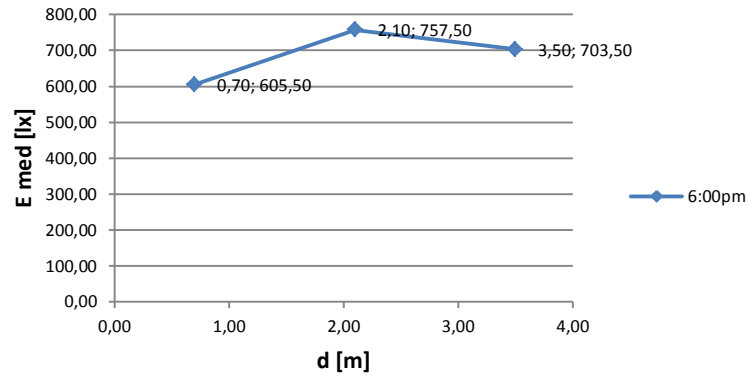
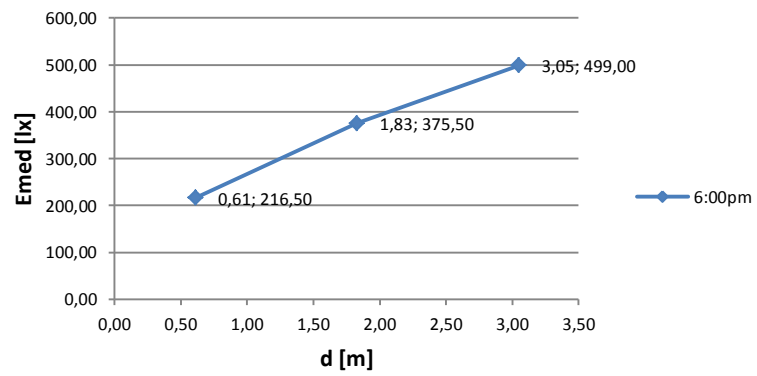


Figura B.29. Curva característica SEDE3T, 6.00 pm.



Curvas características Pasillos

El comportamiento lumínico del sistema de iluminación artificial para los pasillos se describe mediante las Figuras B.30 hasta la Figura B.34.

Figura B.30. Curva característica Pasillo 2, 6.00 pm.

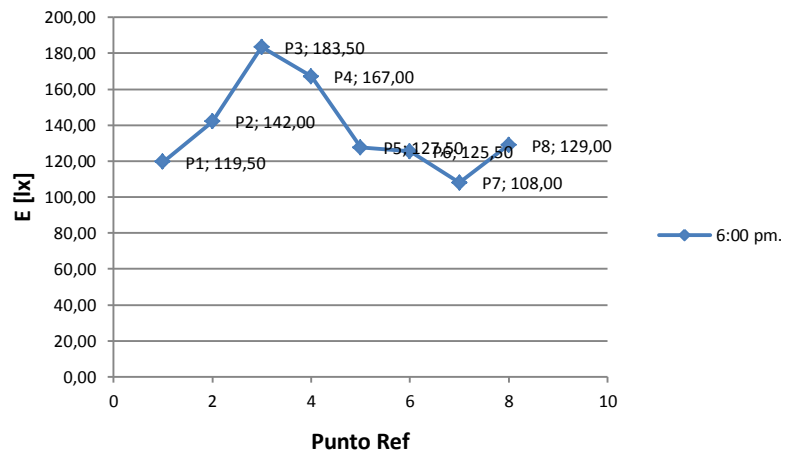


Figura B.31. Curva característica Pasillo 3, 6.00 pm.

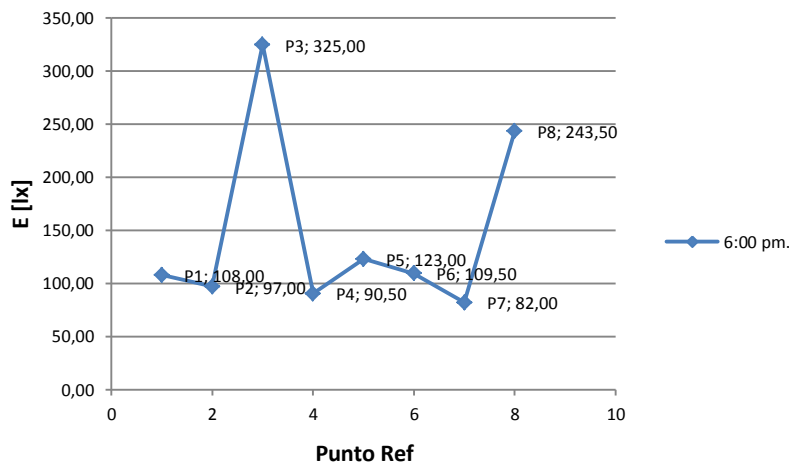


Figura B.32. Curva característica Pasillo 4, 6.00 pm.

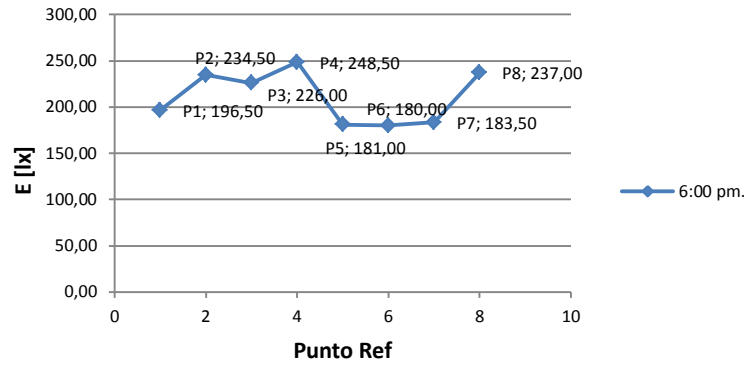
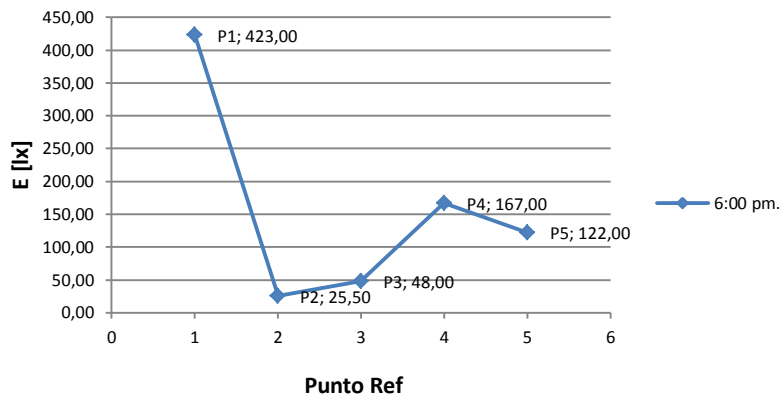


Figura B.33. Curva característica Pasillo 5, 6.00 pm.



Curvas características Zona cátedra y Baños

Los espacios analizados en la zona cátedra son.

- Zona Lockers profesores
- Baños cátedra
- Pasillo común
- Cafetería

Las Figuras que a continuación se muestran describen el comportamiento del nivel de iluminación artificial para estos espacios y los baños del nivel 1 hasta el nivel 4 del edificio.

Figura B.34. Curva característica Zona Lockers, 6.00 pm.

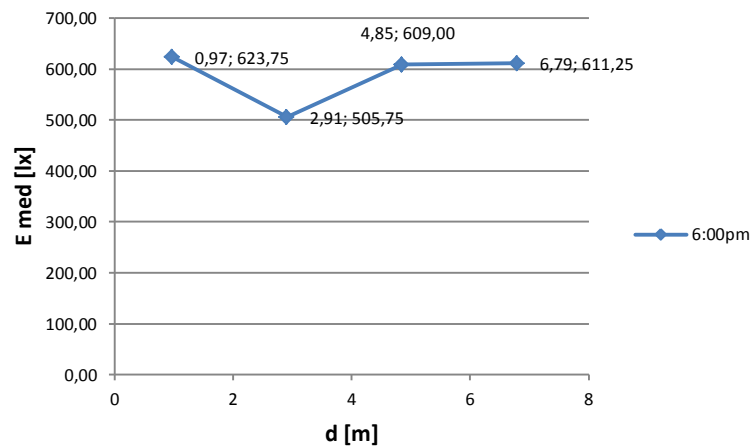


Figura B.35. Curva característica Baños piso 1, 6.00 pm.

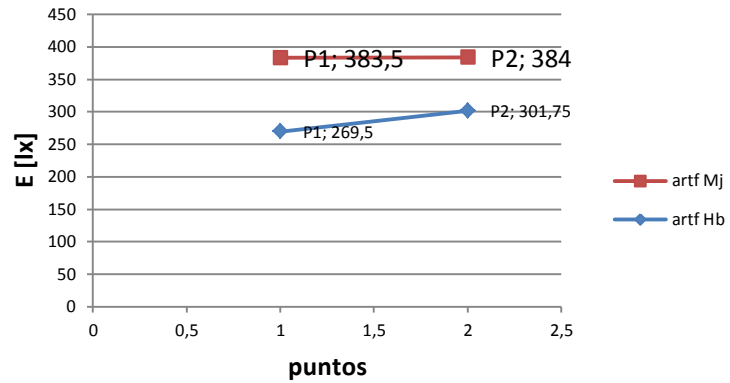


Figura B.36. Curva característica Baños piso 2, 6.00 pm.

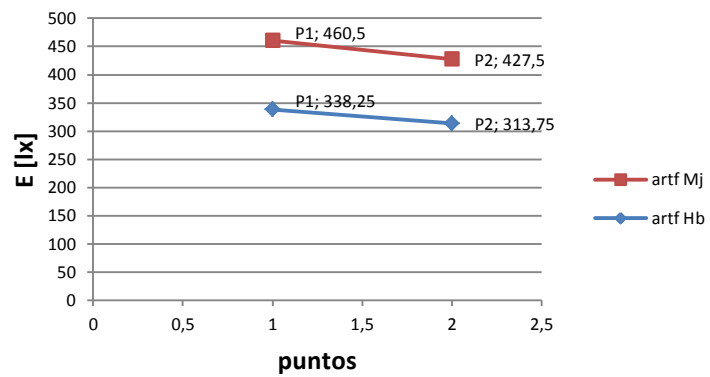


Figura B.36. Curva característica Baños piso 3, 6.00 pm.

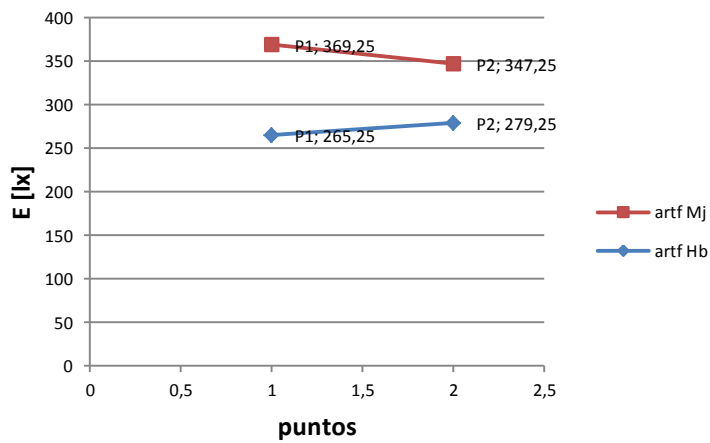
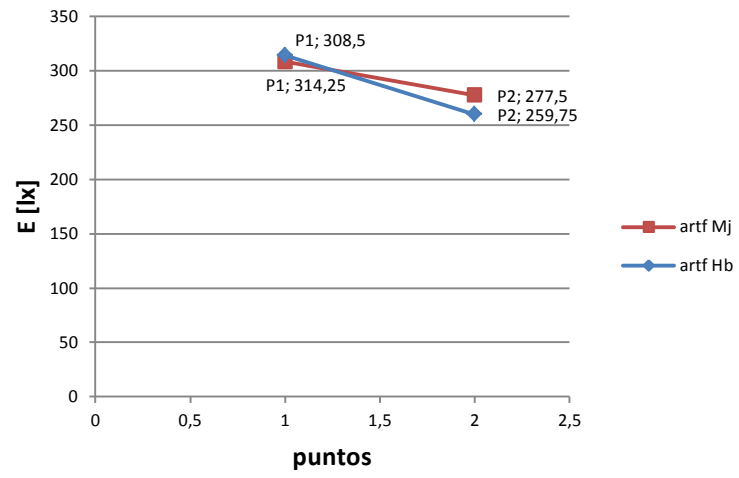


Figura B.37. Curva característica Baños piso 4, 6.00 pm.

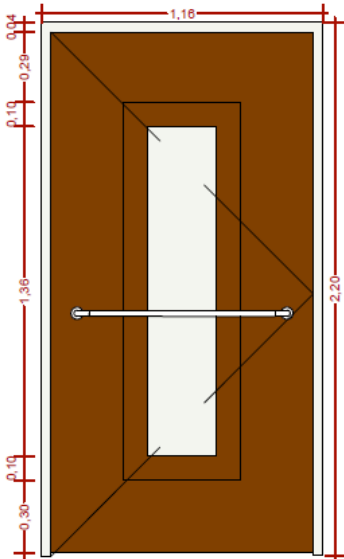
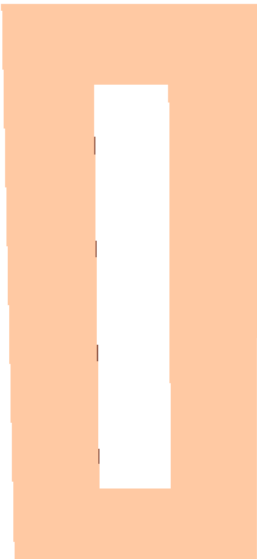


ANEXO C. CONSTRUCCIÓN DE PUERTAS EN DIALUX

Para el caso de las puertas, la biblioteca ofrece solo un tipo de puerta, que consiste en un cubo de un solo material al que se le puede modificar el coeficiente de reflexión del material y las dimensiones; teniendo en cuenta lo anterior y que el Edificio posee más de un tipo de puerta, las cuales en su mayoría están constituidas por más de dos materiales se hace necesario crearlas.

- Puerta P01. Puerta entamborada en madera de cedro con marco metálico calibre 18, con un cuerpo central en vidrio de 5 mm, y barra horizontal de 1 1/4" en acero inoxidable satinado. (Incluye cerradura tipo schlage jupite ref. a50ws - cm). Ver el esquema en la Tabla C.1.

Tabla C.1. Modelo de puerta P01

 <p>Technical drawing of door P01 showing dimensions. The overall width is 1.16 and the overall height is 2.20. The door has a central glass panel (0.28 high) and a horizontal metal bar (1.36 long). The drawing includes various offsets: 0.04 at the top, 0.10 on the left and right sides, 0.10 at the bottom, and 0.30 at the bottom-left corner.</p>	 <p>Virtual Dialux model of door P01, showing a simplified representation of the door with a central white rectangular area representing the glass panel, set against an orange background representing the wood frame.</p>
<p>Imagen real puerta P01</p>	<p>Imagen virtual Dialux puerta P01</p>

Para el modelo virtual se utilizan cuatro cubos y un cristal, los cubos son usados para darle forma al elemento madera, por lo que se usó uno en la parte inferior, en la parte superior, y uno para cada lado de la puerta, de modo que se deje el espa-

cio para insertar el cristal. Se ignora la barra horizontal y la cerradura debido al poco impacto que realizan.

- Puerta P02. Puerta entamborada en madera de cedro con marco metálico calibre 18, con un cuerpo lateral de vidrio de 5 mm, (incluye cerradura tipo schlage ref. a40s - c). Ver el esquema en la Tabla C.2.

Tabla C.2. Modelo de puerta P02

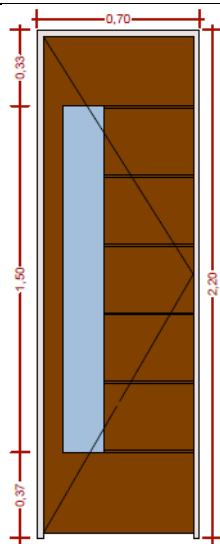


Imagen real puerta P02

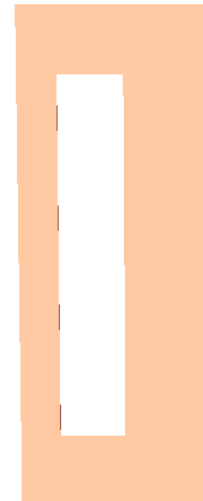


Imagen virtual Dialux puerta P02

Su construcción virtual se desarrolló con la misma metodología que la puerta interior, cuatro cubos y un cristal; la diferencia está en las dimensiones y ubicación de los elementos.

- Puerta P03. Puerta entamborada en madera de cedro con marco metálico calibre 18, con un cuerpo lateral de vidrio de 5 mm, (incluye cerradura tipo schlage ref. a40s - c). Ver el esquema en la Tabla C.3.

Tabla C.3. Modelo de puerta P03

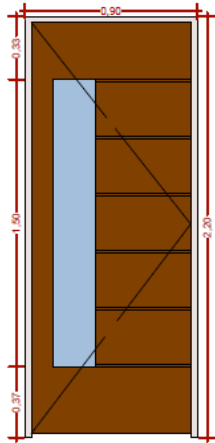


Imagen real puerta P03



Imagen virtual Dialux puerta P03

- Puerta P04. Puerta entamborada en madera de cedro con marco metalico calibre 18, (incluye cerradura tipo schlage jupite ref. a50ws - cm). Ver esquema en la Tabla C.4.

Tabla C.4. Modelo de puerta P04

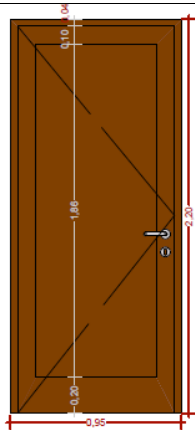


Imagen real puerta P04



Imagen virtual Dialux puerta P04

Por su constitución (cubo de una sola pieza) hubiera sido posible usar la puerta que ofrece Dialux en su biblioteca; pero debido a que se ubica en la estructura interna de la construcción no es posible insertarla (Al igual que las ventanas solo

es permitido ingresarlas en la estructura externa de la construcción). Por lo tanto, para su desarrollo se utilizó un cubo, debido a que el tipo de puerta está constituido por un solo material.

- Puerta P05. Puerta fabricada a base de tubulares y marco en aluminio, color aluminio mate, vidrio esmerilado (incluye cerradura schalge orbit). La Tabla C.5 ilustra este modelo.

Debido a que su constitución es mayormente cristal y que está ubicada en las paredes externas del edificio, se modeló usando la puerta tipo de la biblioteca con las dimensiones de la puerta, ignorando su marco en aluminio debido a su reducido efecto.

Tabla C.5. Modelo de puerta P05

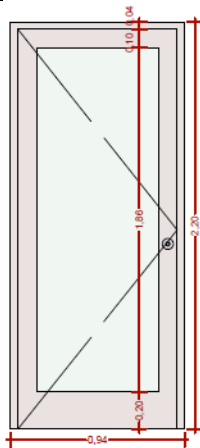


Imagen real puerta P05

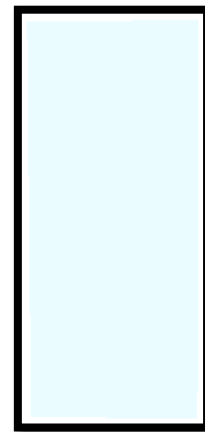
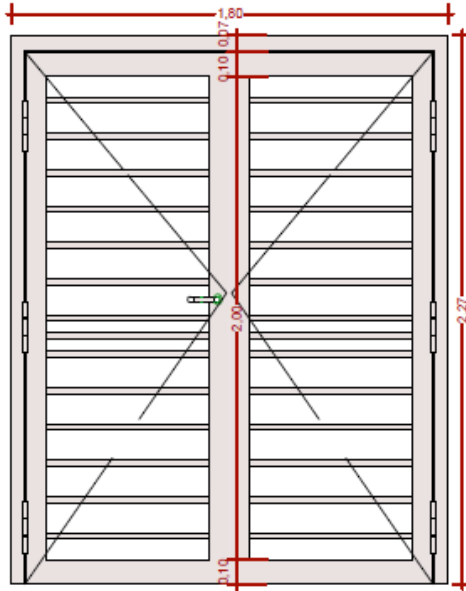


Imagen virtual Dialux puerta P05

- Puerta P08. Puerta en aluminio con divisiones tubulares tipo reja de doble hoja con marco en aluminio (cerradura cerraduras/antipánico horizontal 19r-eo) [32]. Ver la figura C.1.

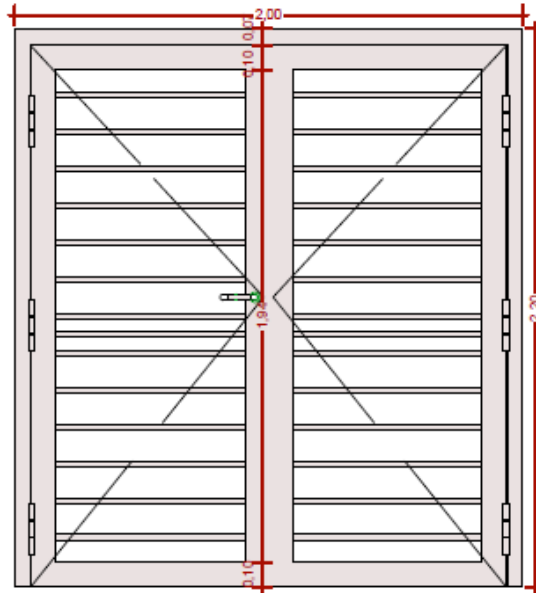
Figura C.1. Modelo de puerta P08



Debido a que las aberturas entre sus divisiones es aproximadamente la mitad del área del total de la puerta, se modela como una ventana, en la que el grado de transmisión es el porcentaje de área perteneciente al espacio entre aberturas.

- Puerta P09. Puerta en aluminio con divisiones tubulares tipo reja de doble hoja con marco en aluminio (cerradura cerraduras/antipánico horizontal 19r-eo). Ver Figura C.2.

Figura C.2. Modelo de puerta P09



Su construcción virtual es similar a la puerta P08.

- Puerta P10. Puerta en panel liso por las dos caras construida en lámina cold rolled calibre 18 pintada con anticorrosivo y esmalte tipo intemperie color aluminio (incluye cerraduras/antipánico horizontal 19reo). Ver Tabla C.6.

Tabla C.6. Modelo de puerta P10

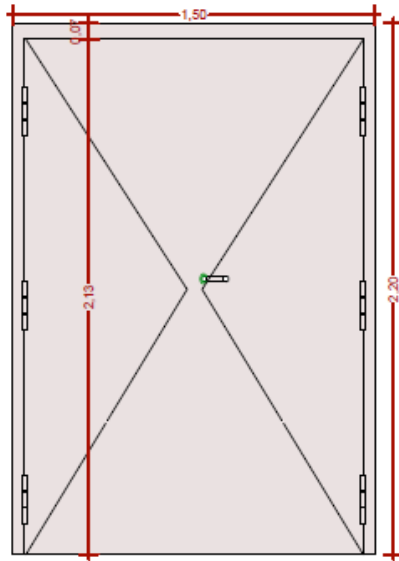


Imagen real puerta P10

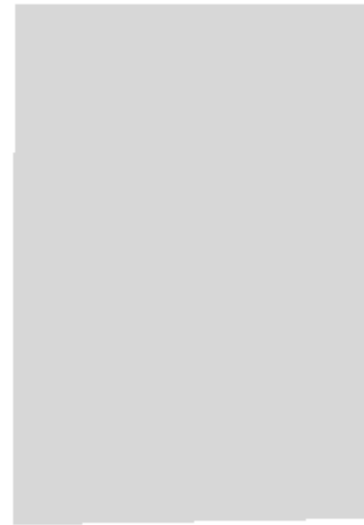


Imagen virtual Dialux puerta P10

Debido a que se compone de un solo material y a que está ubicada en las paredes externas de edificio, para su construcción se usa la puerta que ofrece Dialux en su biblioteca con las dimensiones reales de la estructura.

- Puerta P11. Puerta fabricada a base de tubulares y marco en aluminio, color aluminio, vidrio esmerilado (incluye cerradura schalge orbit).

Tabla C.7. Modelo de puerta P11

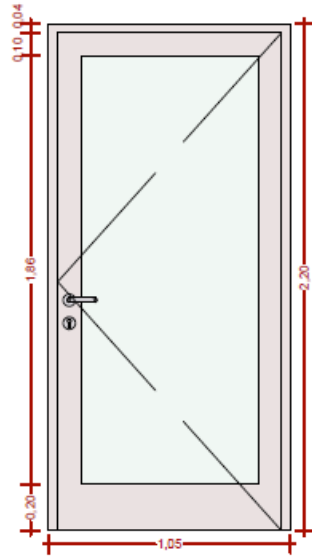


Imagen real puerta P11

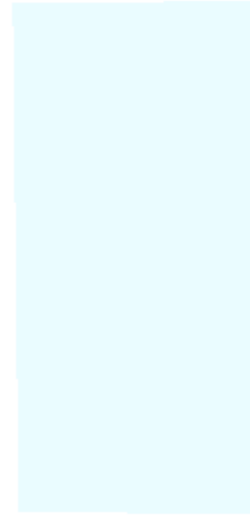


Imagen virtual Dialux puerta P11

Para su modelo virtual, tratándose de una puerta de mayormente un solo elemento ubicada en las paredes internas del edificio, se modela esta puerta utilizando el elemento cristal modificándole las dimensiones respectivas (Ver Tabla C.7).

- Puerta P12. Puerta fabricada a base de tubulares y marco en aluminio, color aluminio, vidrio esmerilado (incluye cerradura schalge orbit). Para su modelo virtual se usó la misma metodología de la puerta P05, el resultado final se ve en la Tabla C.8.

Tabla C.8. Modelo de puerta P12

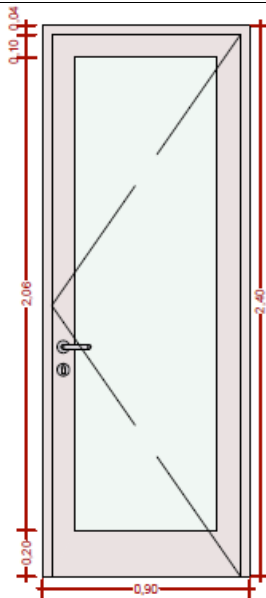


Imagen real puerta P12

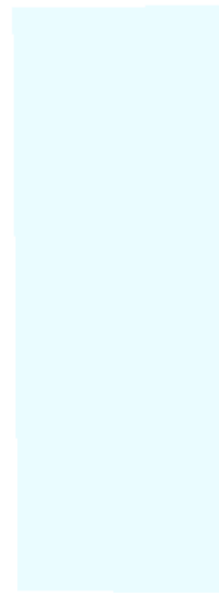


Imagen virtual Dialux puerta P12

ANEXO D. Curvas de comportamiento lumínico (Simulación)

La simulación es un factor importante en el análisis de fenómenos reales, debido a la validez que puede darle al modelo real. Cuando se comparó en el capítulo IV lo simulado y lo medido se hizo de modo genérico usando el aula 301; de modo que este espacio es utilizado para darle a conocer al lector las gráficas restantes.

Comportamiento lumínico en aulas y espacios comunes

- Aula 103

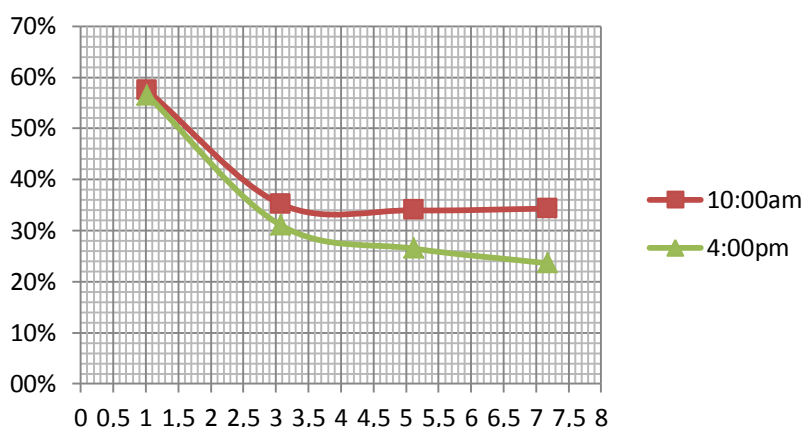


Figura D.1. Df Vs distancia, aula 103, respecto a la radiación en la fachada.

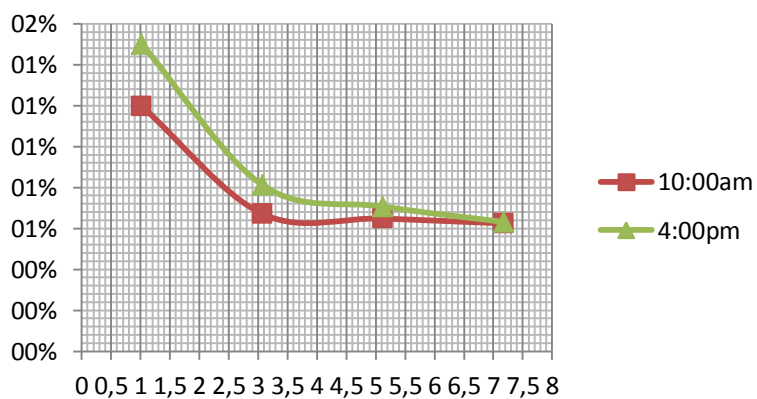


Figura D.2. Df Vs distancia, aula 103, respecto a la radiación en la terraza

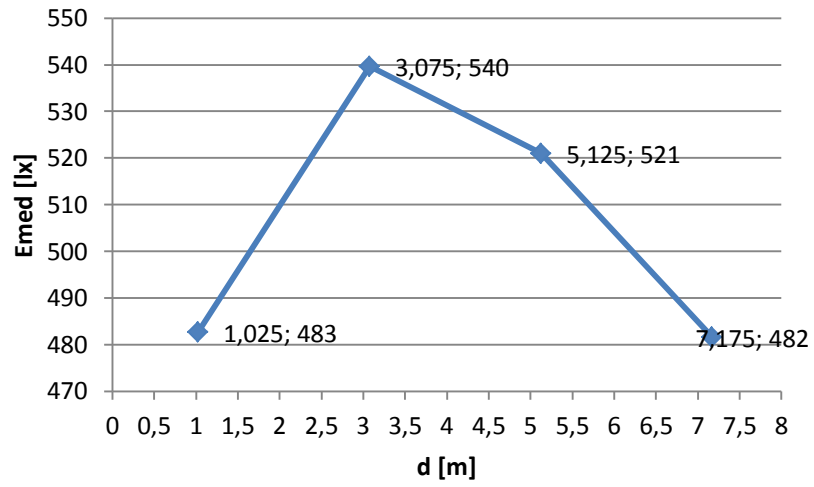


Figura D.3. Emed Vs distancia, aula 103, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 201

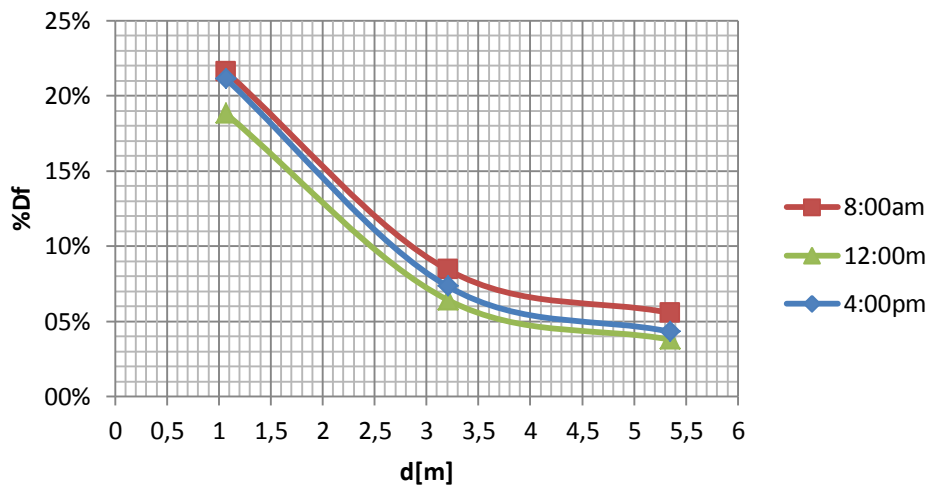


Figura D.4. Df Vs distancia, aula 201, respecto a la radiación en la fachada.

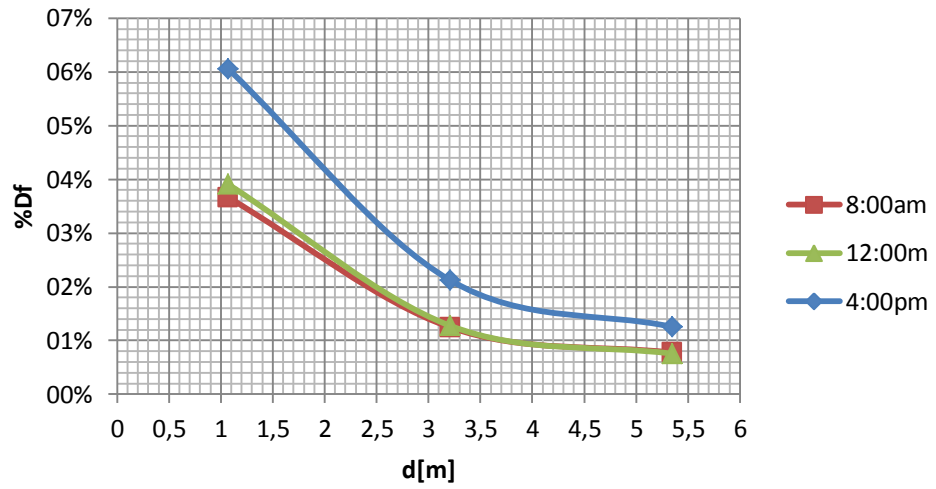


Figura D.5. Df Vs distancia, aula 201, respecto a la radiación en la terraza.

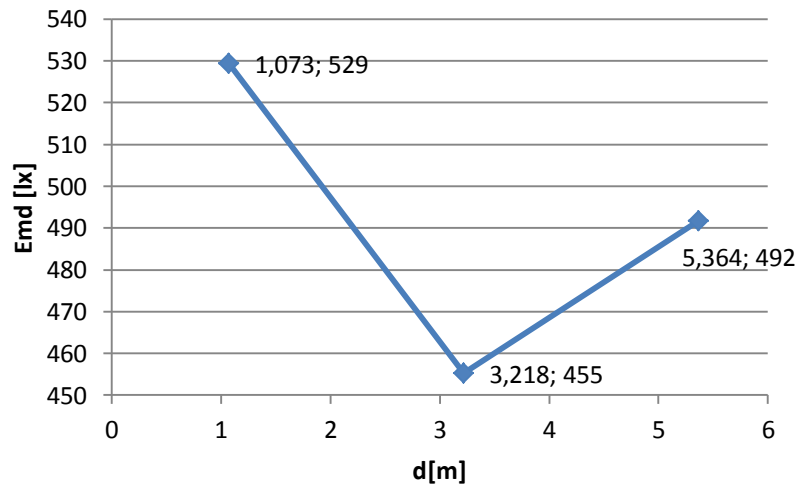


Figura D.6. Emed Vs distancia, aula 201, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 202

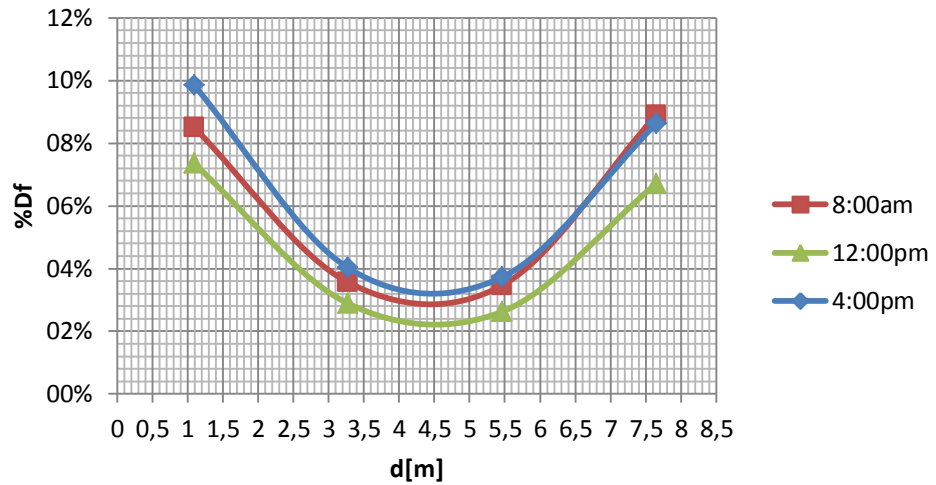


Figura D.7. Df Vs distancia, aula 202, respecto a la radiación en la fachada.

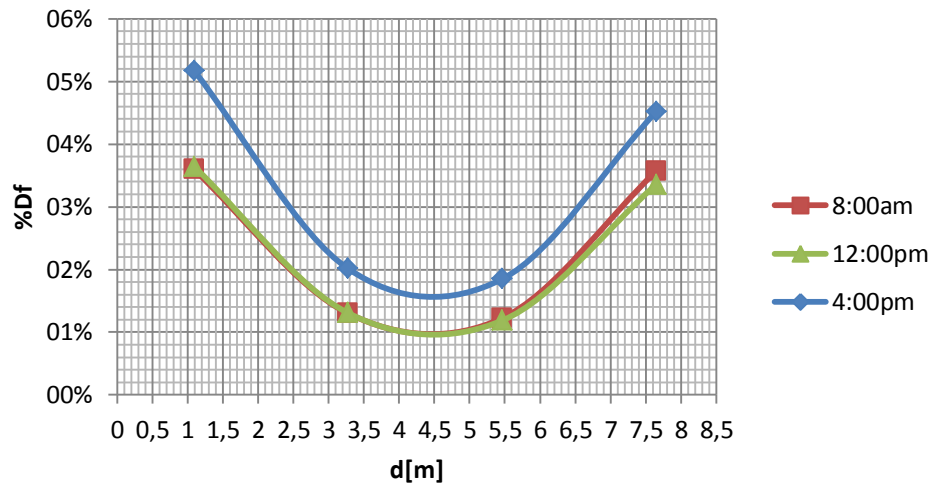


Figura D.8. Df Vs distancia, aula 202, respecto a la radiación en la terraza.

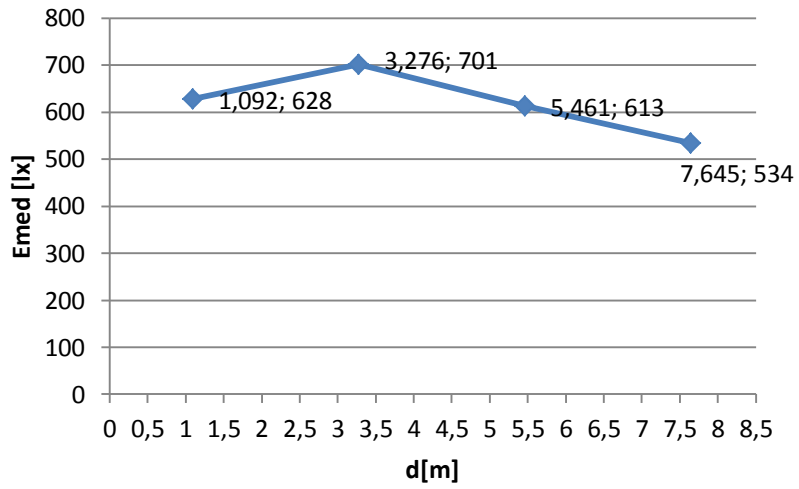


Figura D.9. Emed Vs distancia, aula 202, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 204

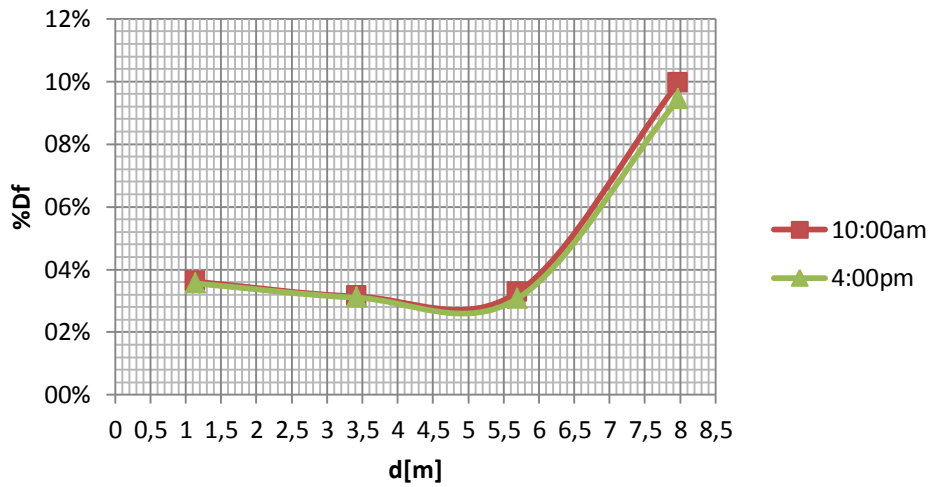


Figura D.10. Df Vs distancia, aula 204, respecto a la radiación en la fachada.

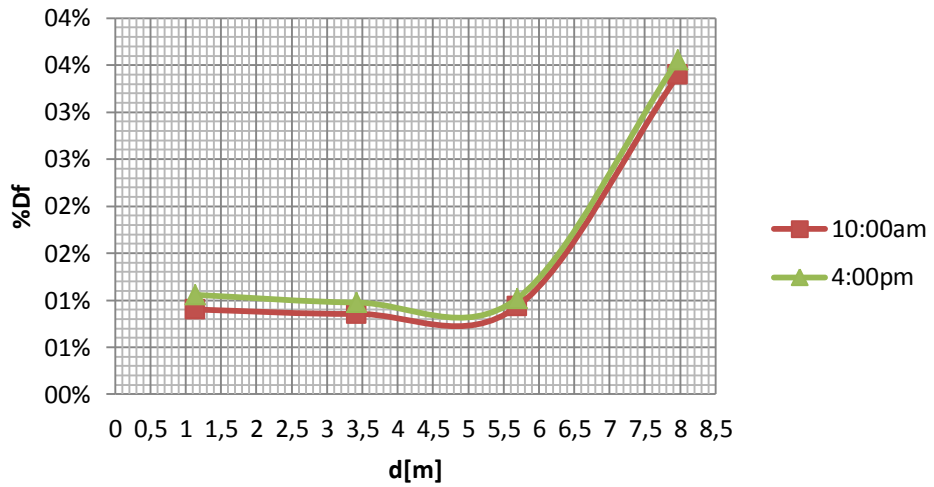


Figura D.11. Df Vs distancia, aula 204, respecto a la radiación en la terraza.

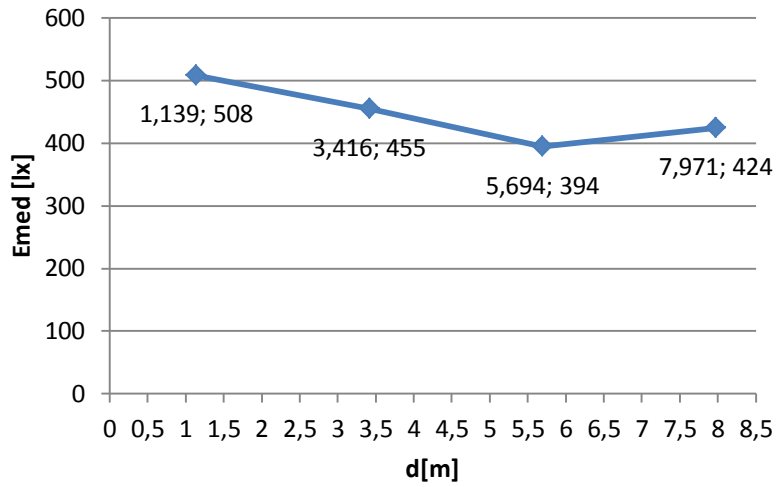


Figura D.12. Emed Vs distancia, aula 204, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 205

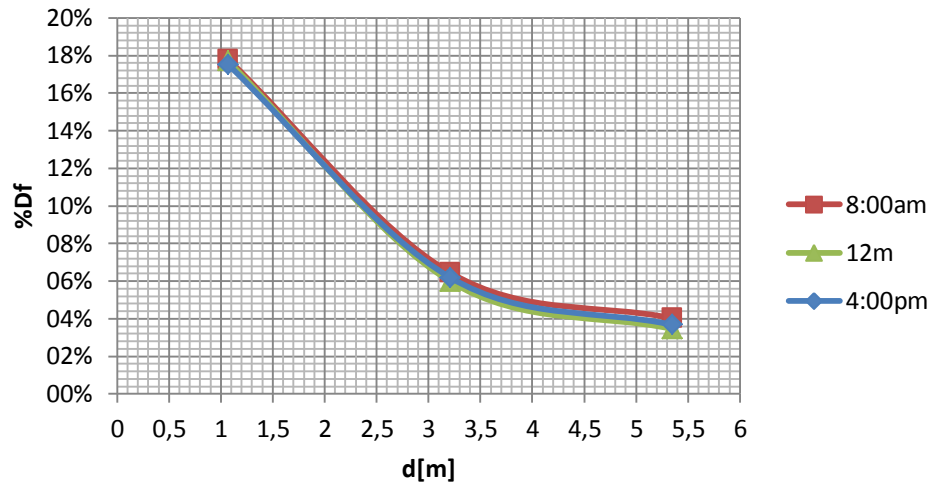


Figura D.13. Df Vs distancia, aula 205, respecto a la radiación en la fachada.

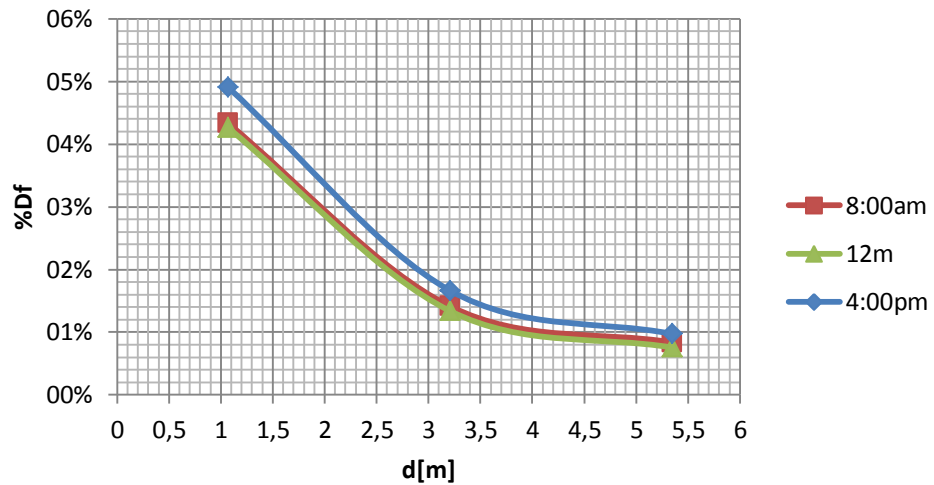


Figura D.14. Df Vs distancia, aula 205, respecto a la radiación en la terraza.

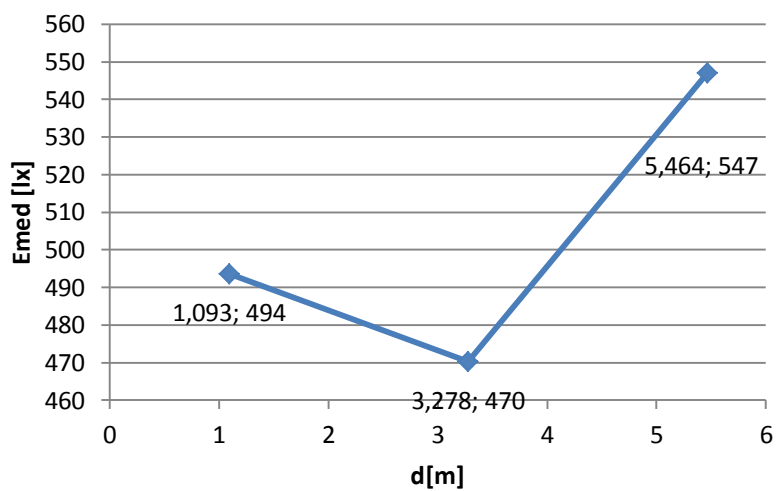


Figura D.15. Emed Vs distancia, aula 205, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 206

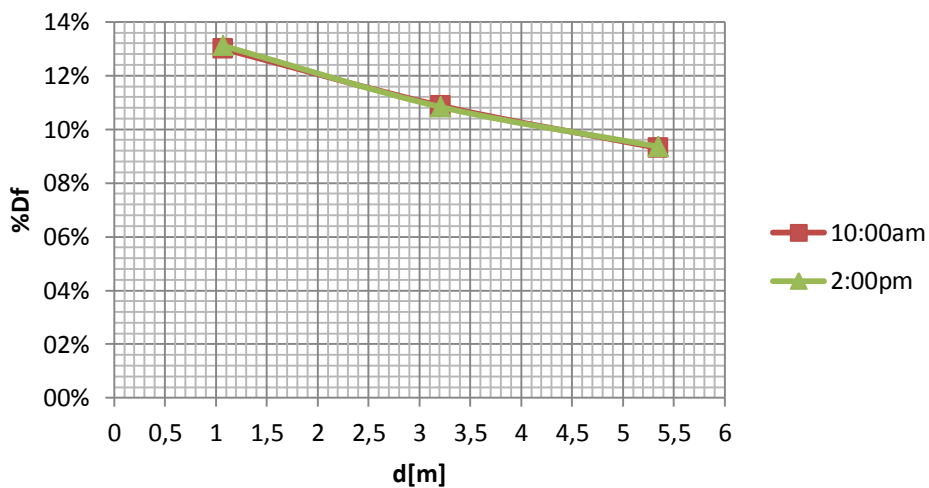


Figura D.16. Df Vs distancia, aula 206, respecto a la radiación en la fachada.

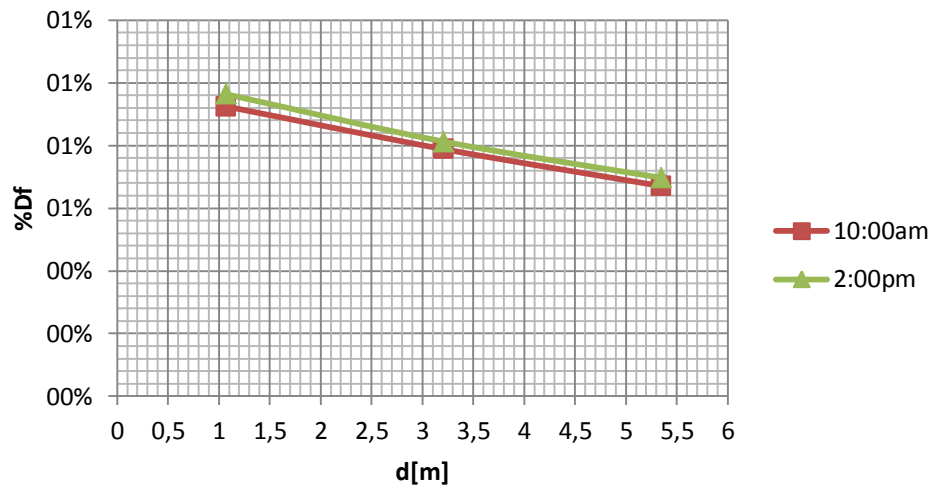


Figura D.17. Df Vs distancia, aula 206, respecto a la radiación en la terraza.

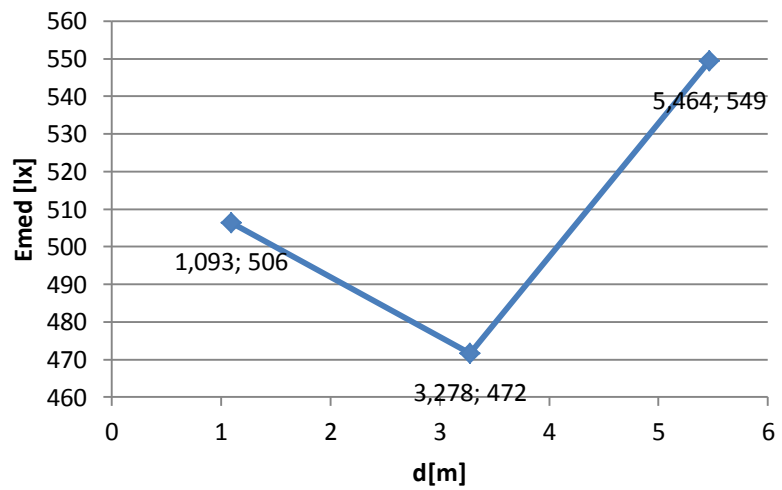


Figura D.18. Emed Vs distancia, aula 206, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 207

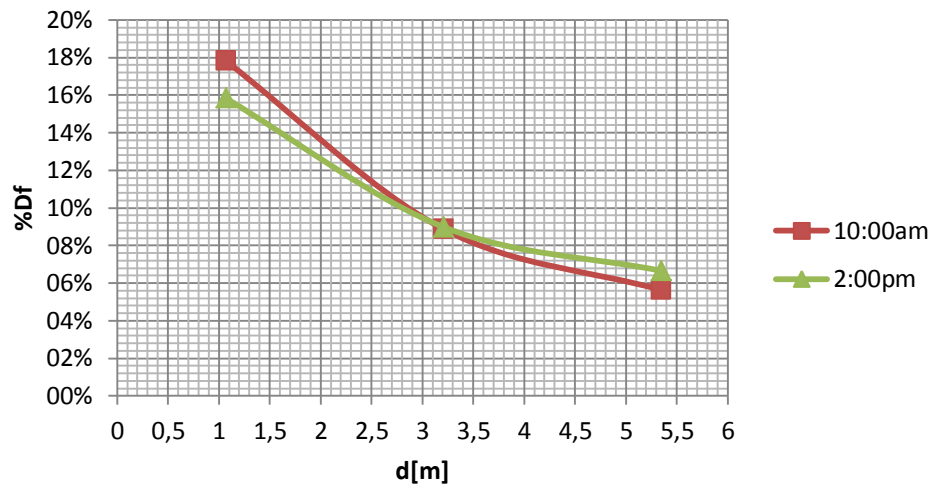


Figura D.19. Df Vs distancia, aula 207, respecto a la radiación en la fachada.

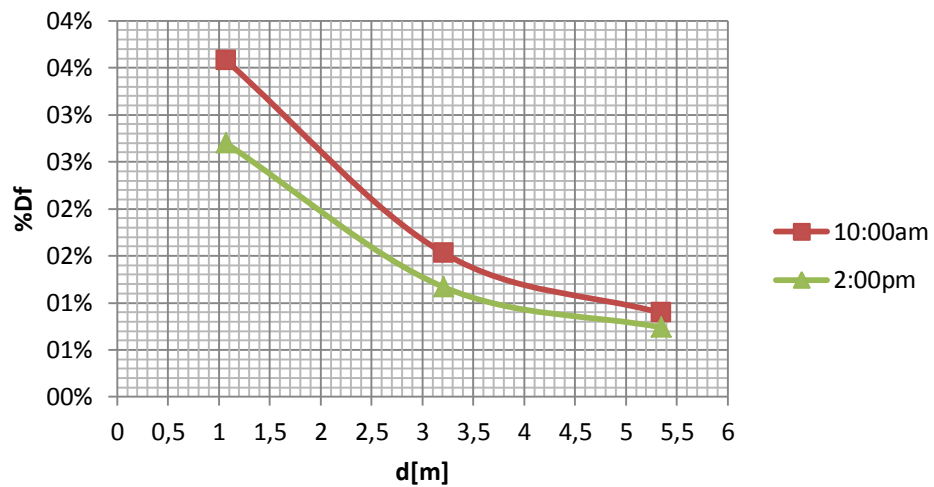


Figura D.20. Df Vs distancia, aula 207, respecto a la radiación en la terraza.

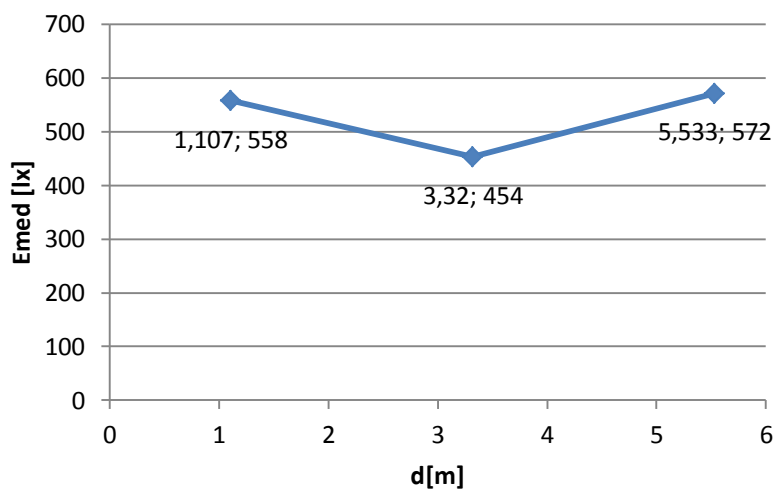


Figura D.21. Emed Vs distancia, aula 207, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 302

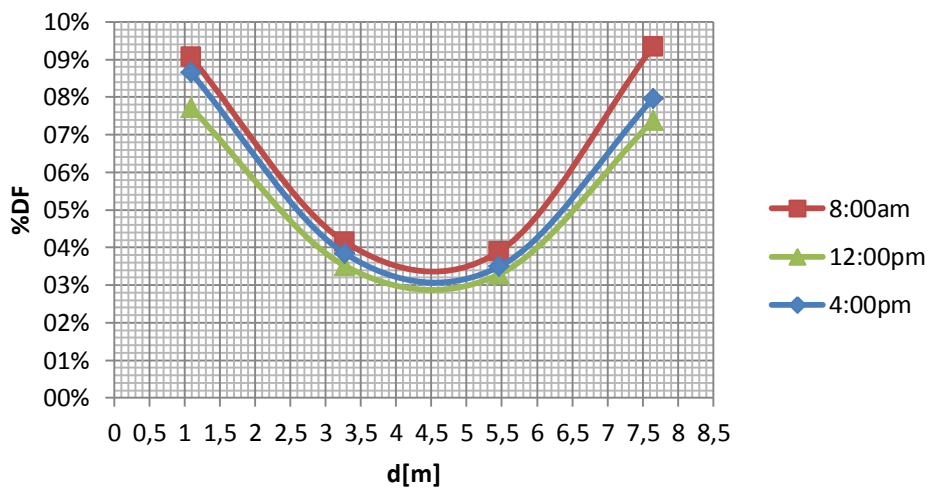


Figura D.22. Df Vs distancia, aula 302, respecto a la radiación en la fachada.

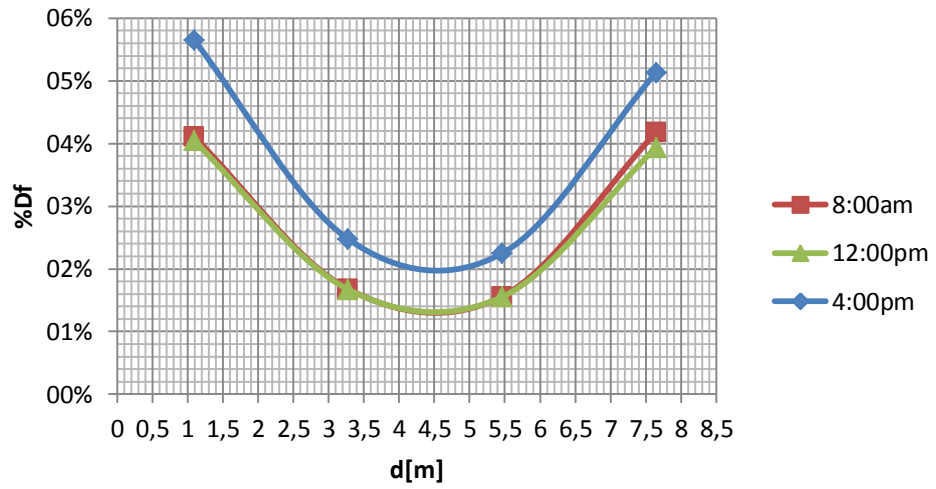


Figura D.23. Df Vs distancia, aula 302, respecto a la radiación en la terraza.

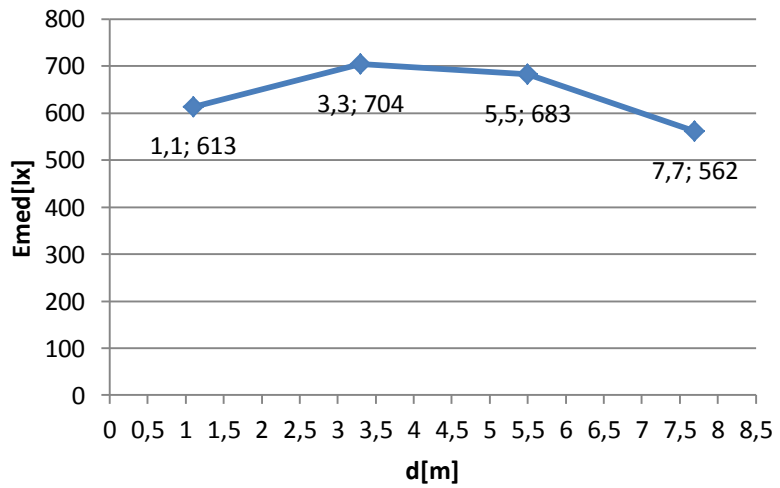


Figura D.24. Emed Vs distancia, aula 302, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 304

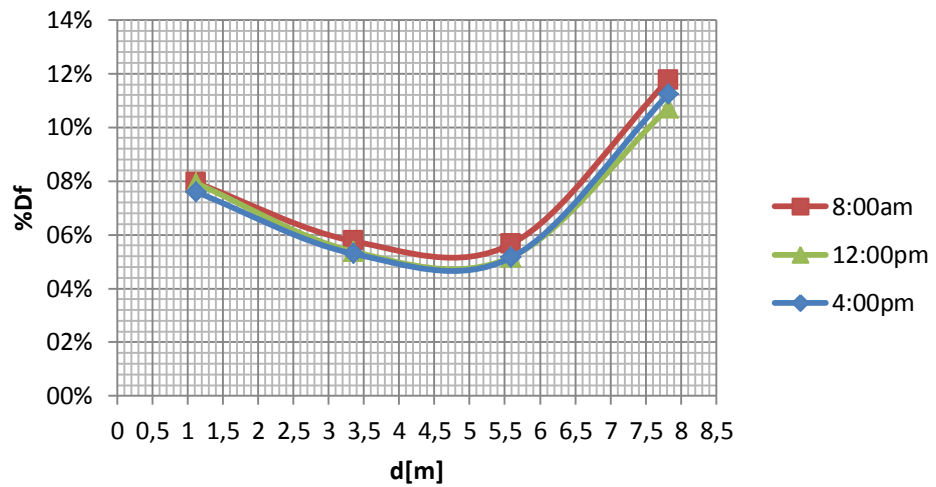


Figura D.25. Df Vs distancia, aula 304, respecto a la radiación en la fachada.

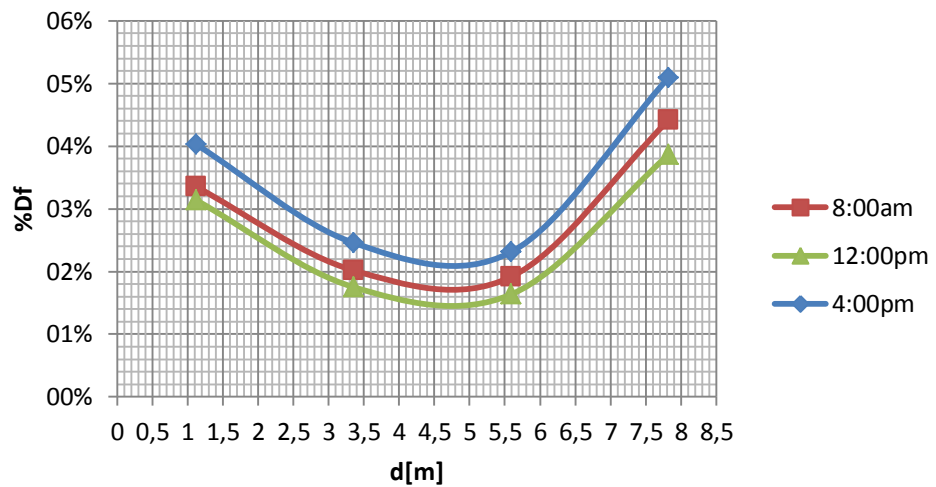


Figura D.26. Df Vs distancia, aula 304, respecto a la radiación en la terraza.

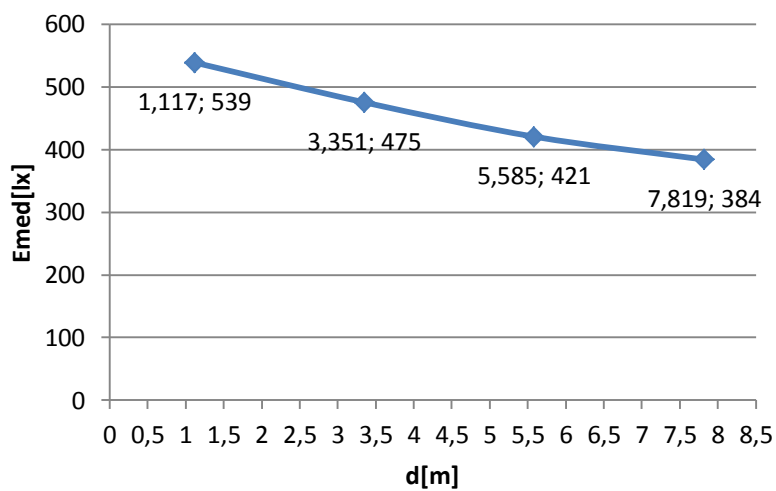


Figura D.27. Emed Vs distancia, aula 304, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 305

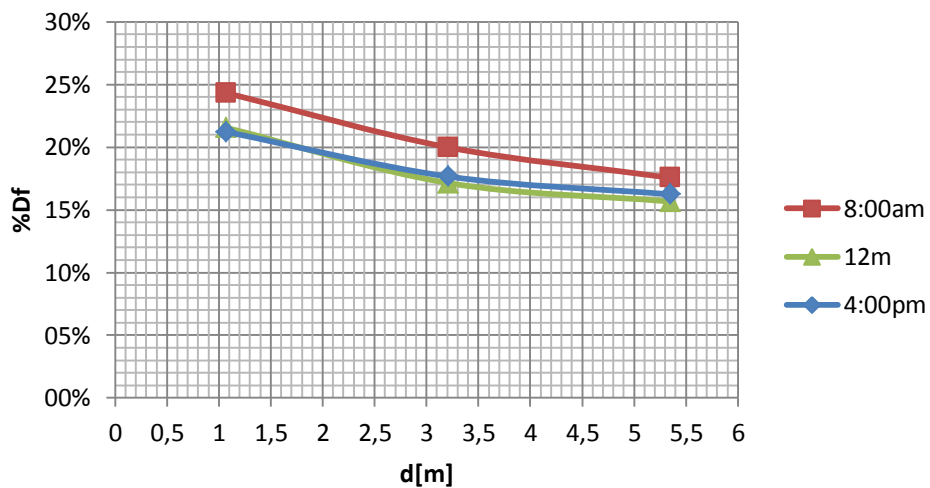


Figura D.28. Df Vs distancia, aula 305, respecto a la radiación en la fachada.

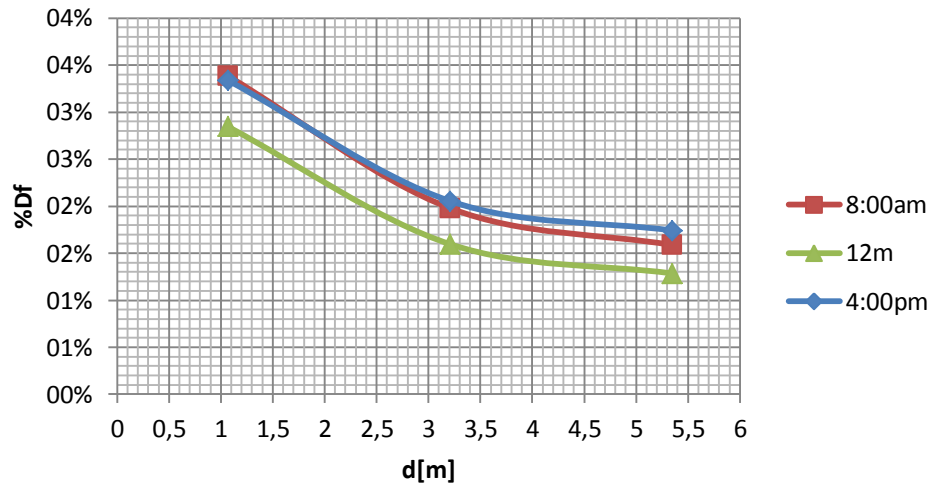


Figura D.29. Df Vs distancia, aula 305, respecto a la radiación en la terraza.

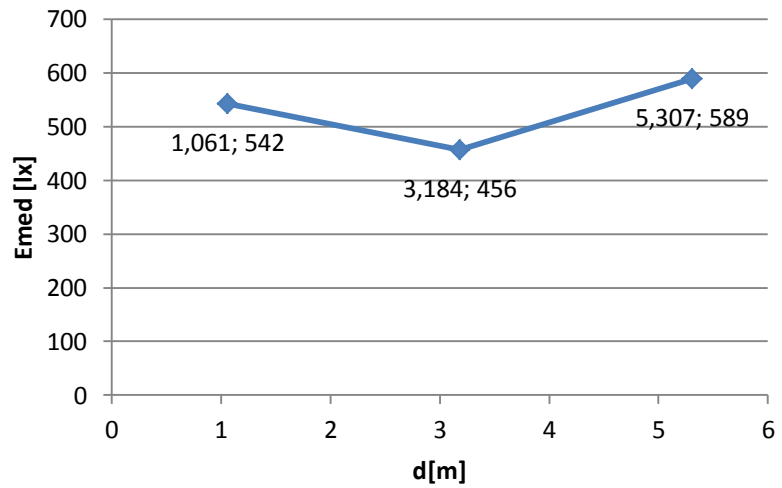


Figura D.30. Emed Vs distancia, aula 305, curva característica iluminancia artificial.

- Espacio IEEE

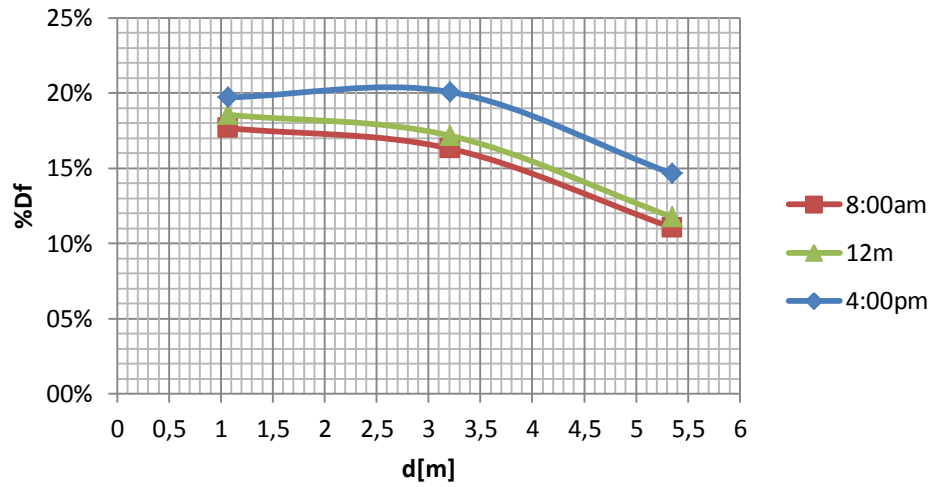


Figura D.31. Df Vs distancia, IEEE, respecto a la radiación en la fachada.

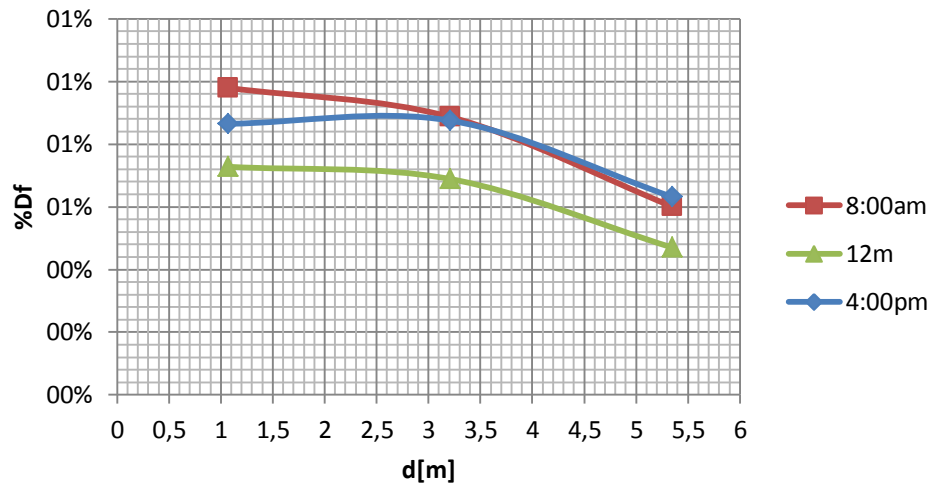


Figura D.32. Df Vs distancia, IEEE, respecto a la radiación en la terraza.

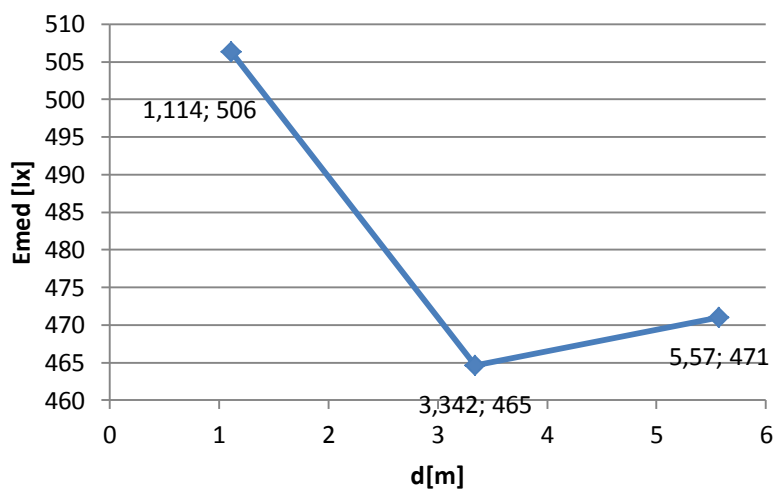


Figura D.33. Emed Vs distancia, IEEE, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 401

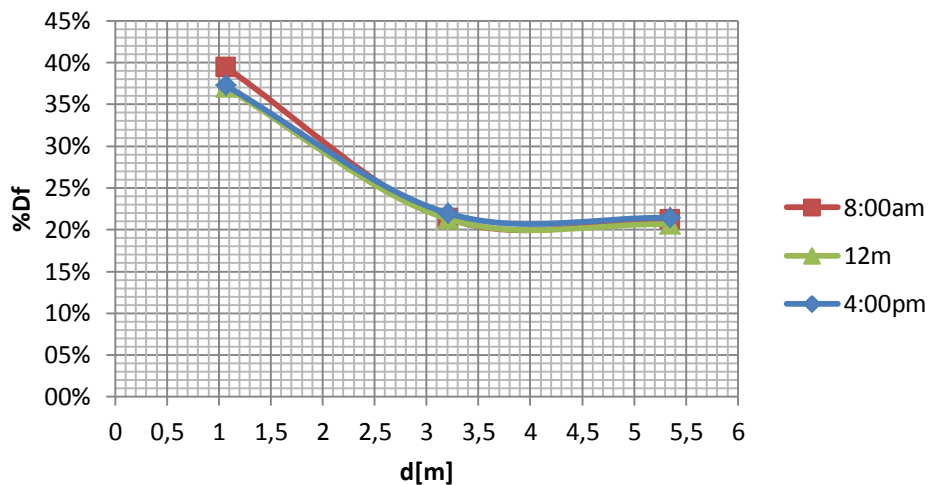


Figura D.34. Df Vs distancia, aula 401, respecto a la radiación en la fachada.

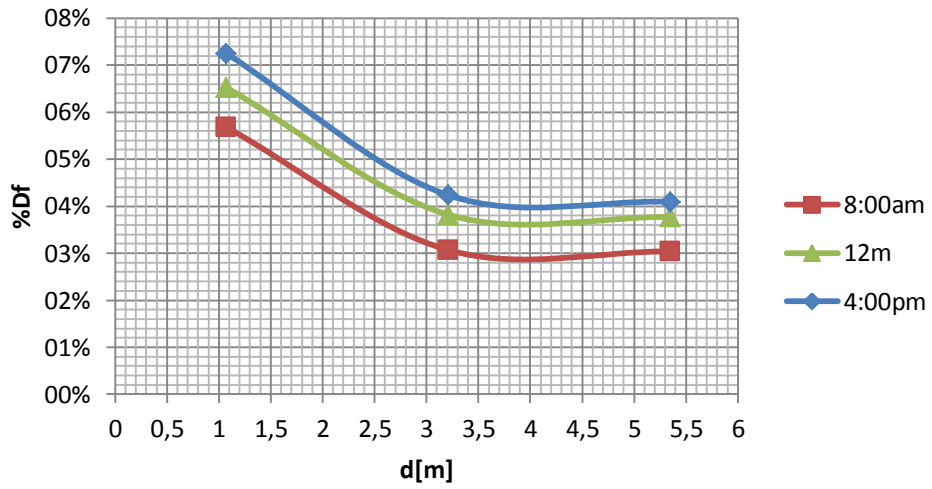


Figura D.35. Df Vs distancia, aula 401, respecto a la radiación en la terraza.

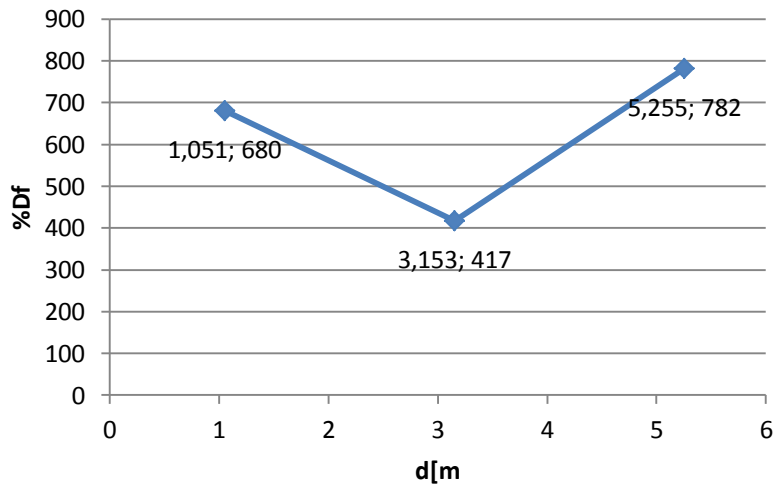


Figura D.36. Emed Vs distancia, aula 401, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 402

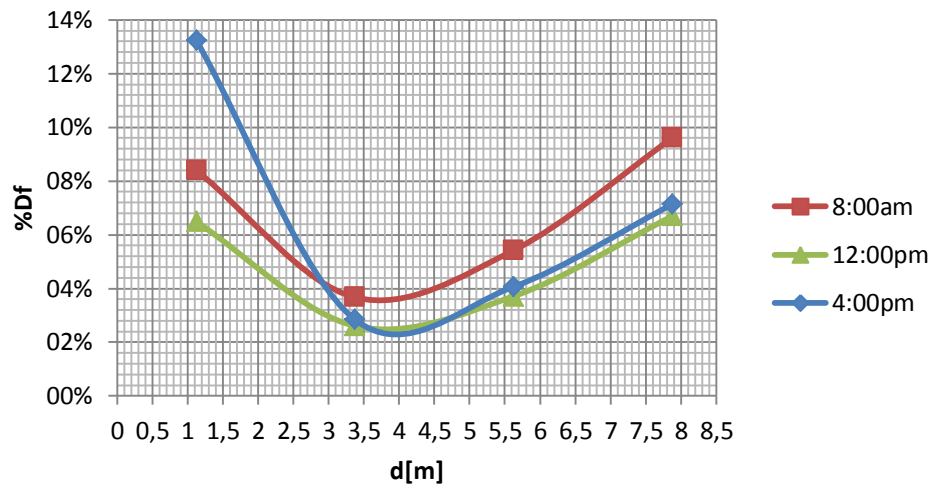


Figura D.37. Df Vs distancia, aula 402, respecto a la radiación en la fachada.

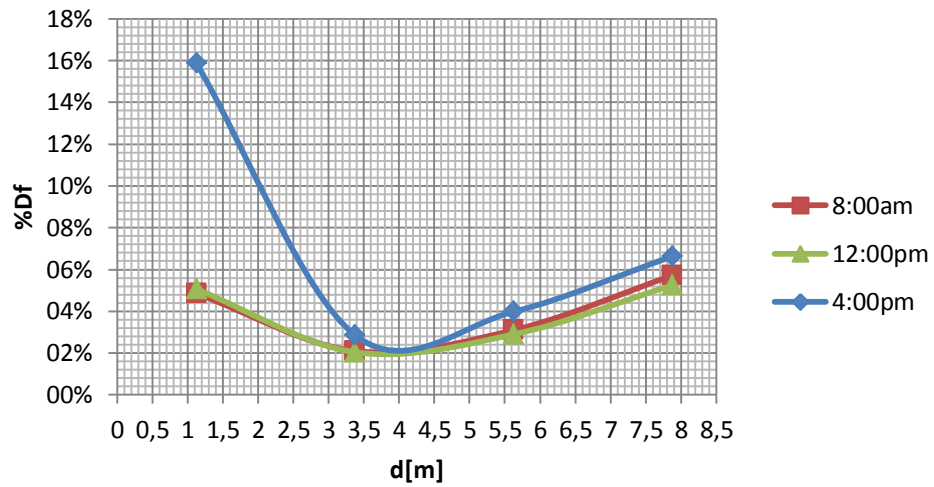


Figura D.38. Df Vs distancia, aula 402, respecto a la radiación en la terraza.

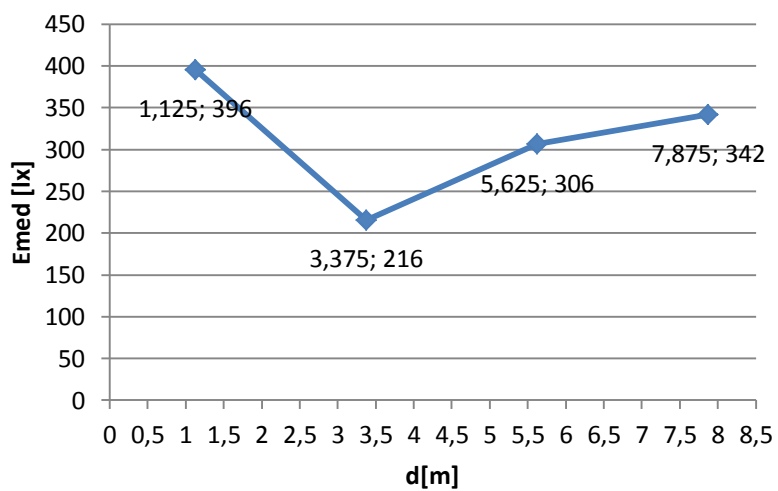


Figura D.39. Emed Vs distancia, aula 402, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 404

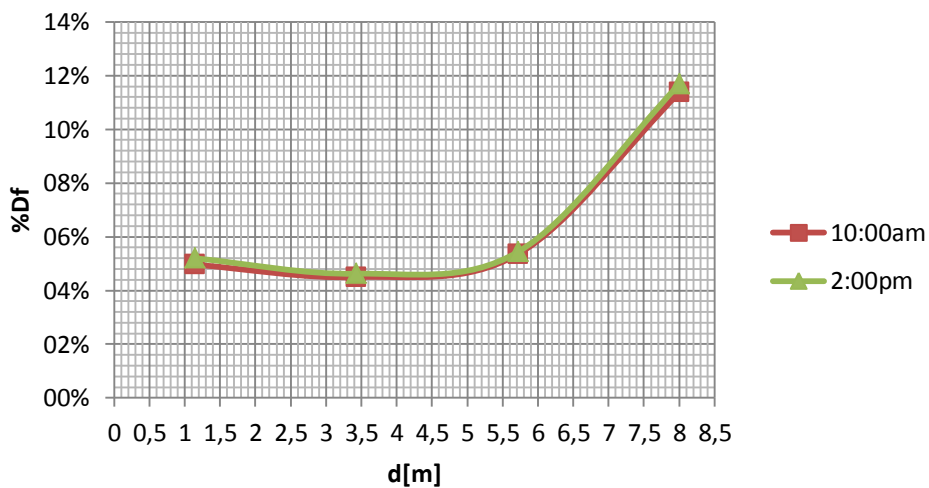


Figura D.40. Df Vs distancia, aula 404, respecto a la radiación en la fachada.

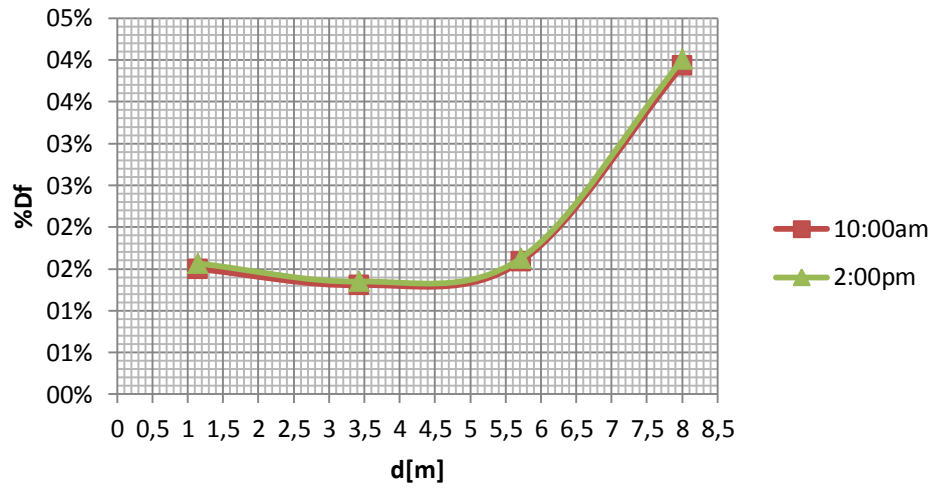


Figura D.41. Df Vs distancia, aula 404, respecto a la radiación en la terraza.

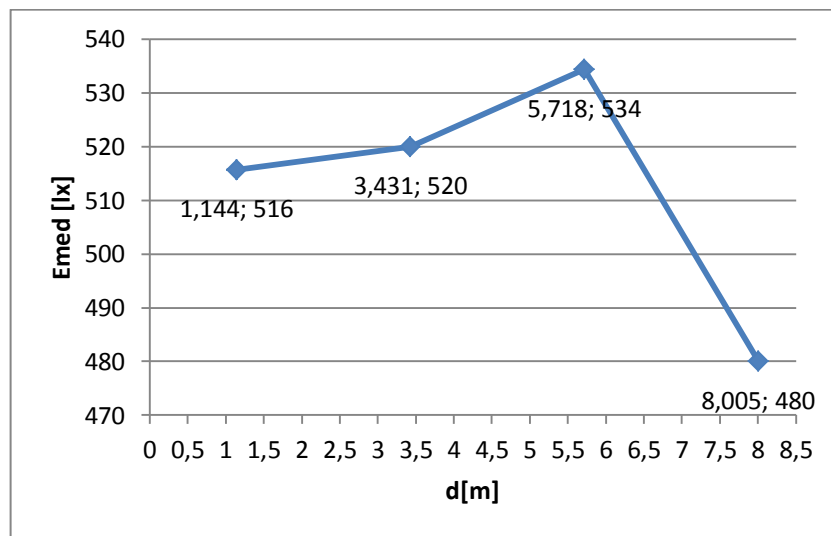


Figura D.42. Emed Vs distancia, aula 404, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 405

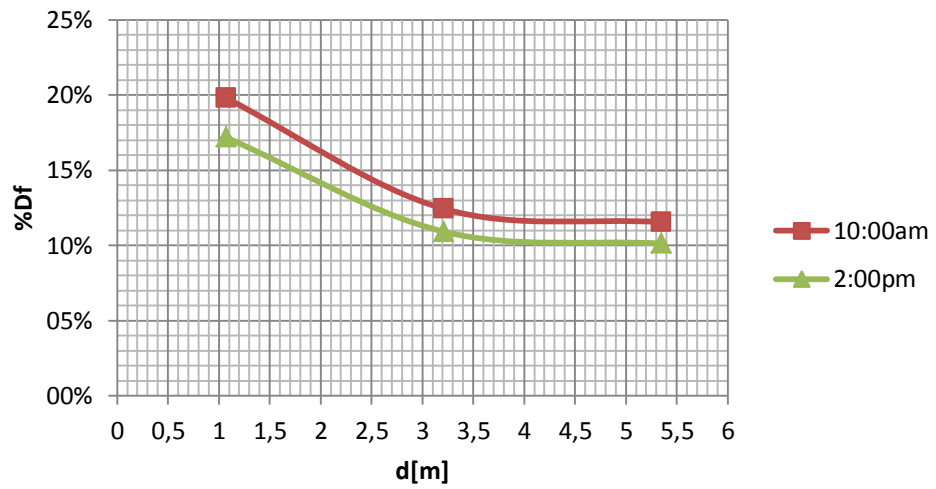


Figura D.43. Df Vs distancia, aula 405, respecto a la radiación en la fachada.

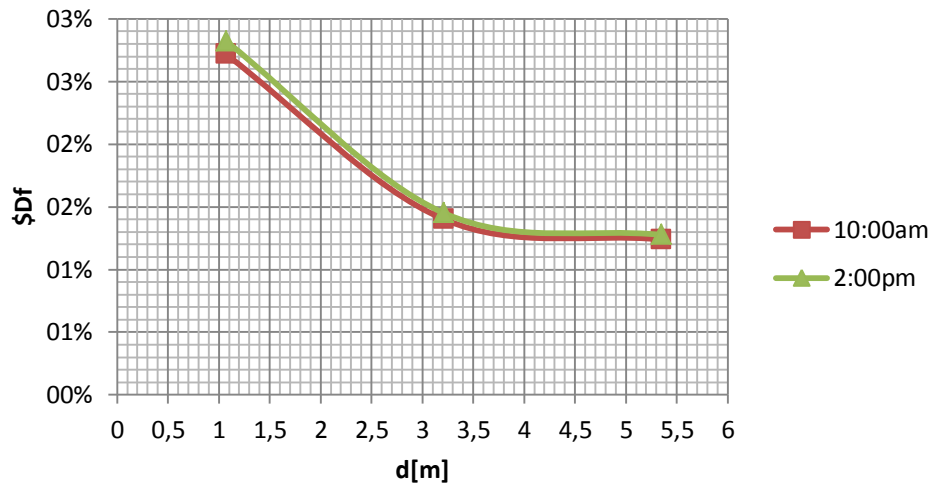


Figura D.44. Df Vs distancia, aula 405, respecto a la radiación en la terraza.

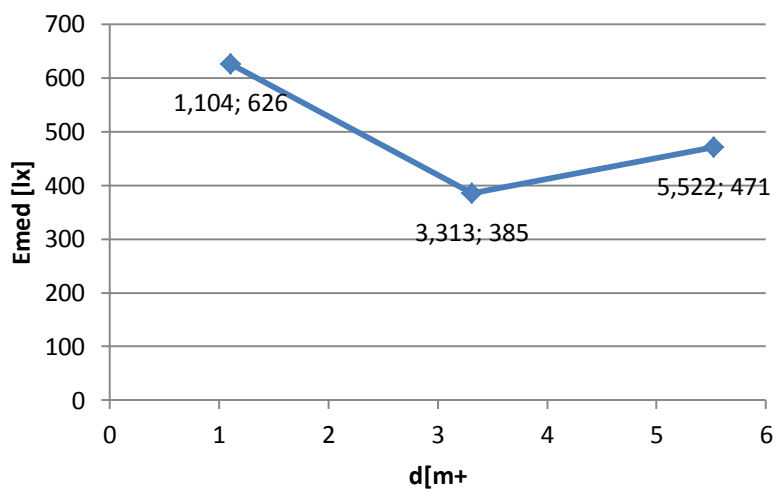


Figura D.45. Emed Vs distancia, aula 405, curva característica iluminancia artificial.

- Aula 406

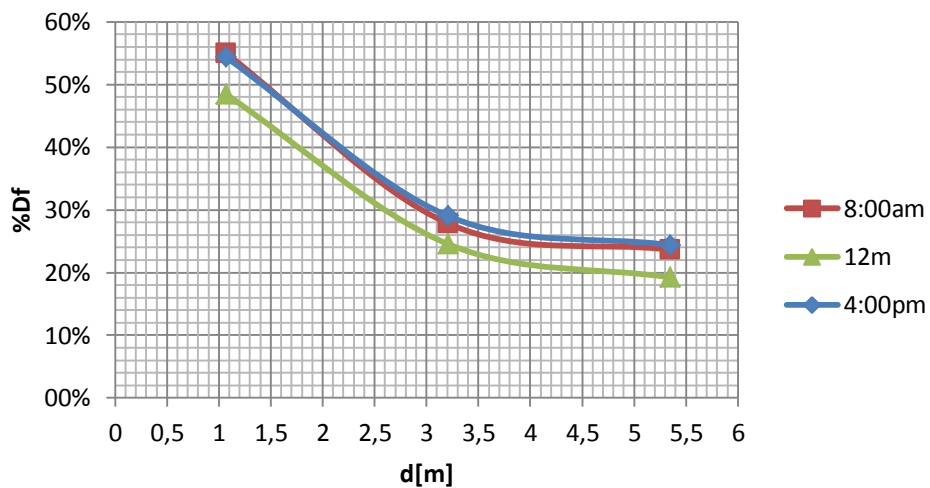


Figura D.46. Df Vs distancia, aula 406, respecto a la radiación en la fachada.

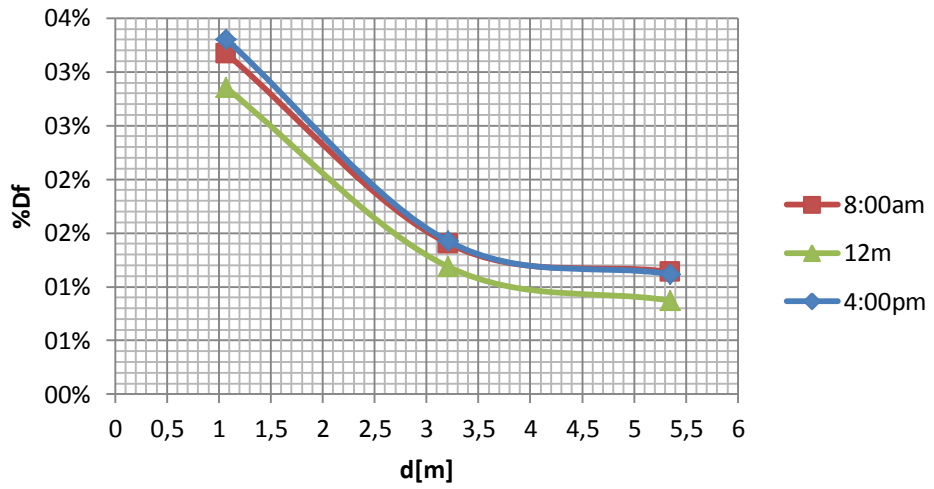


Figura D.47. Df Vs distancia, aula 406, respecto a la radiación en la terraza.

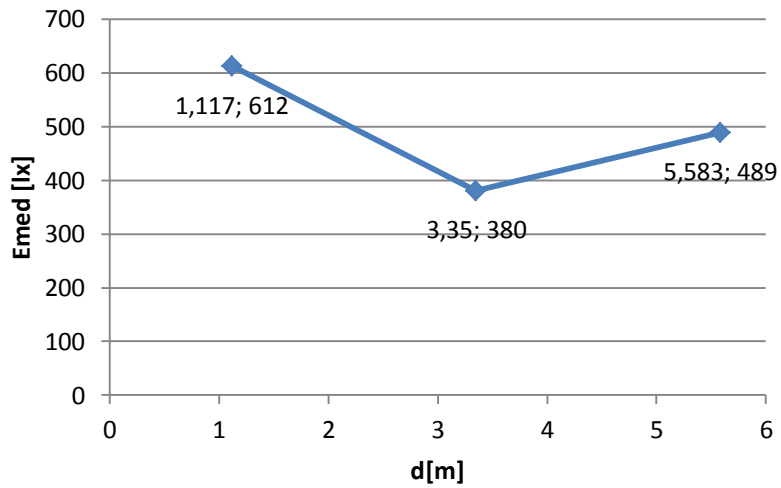


Figura D.48. Emed Vs distancia, aula 406, curva característica iluminancia artificial.

- Sala de estudio Individual (SI)

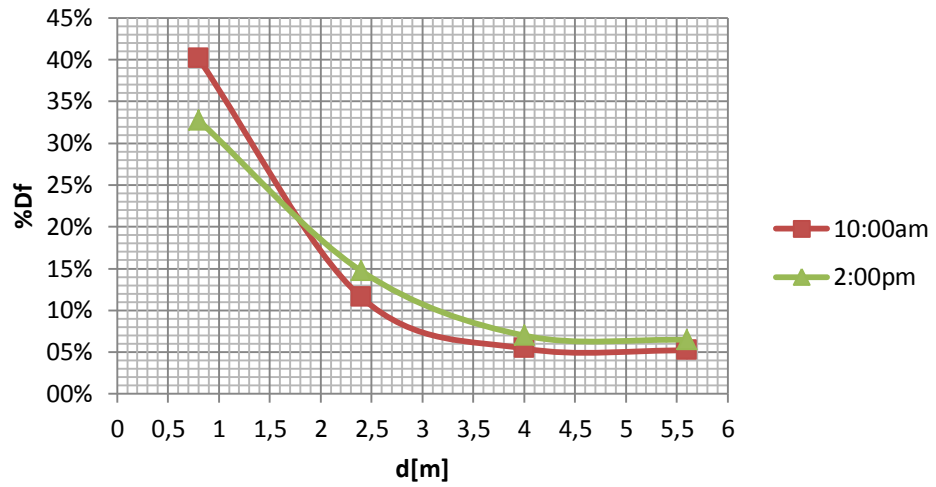


Figura D.49. Df Vs distancia, SI, respecto a la radiación en la fachada.

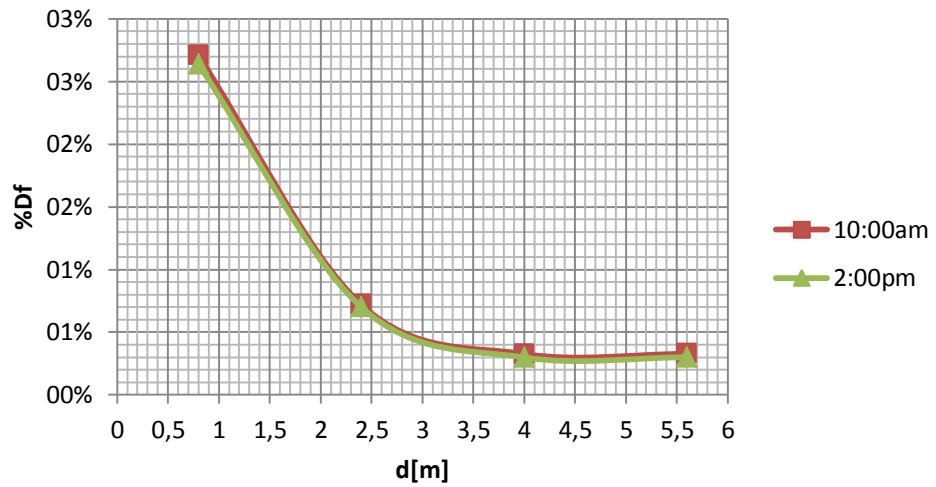


Figura D.50. Df Vs distancia, SI, respecto a la radiación en la terraza.

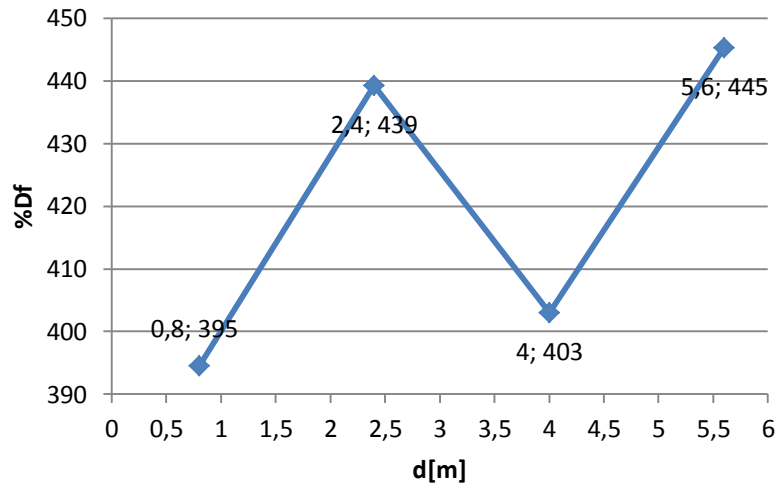


Figura D.51. Emed Vs distancia, SI, curva característica iluminancia artificial.

- Sala de estudio grupal (CE1)

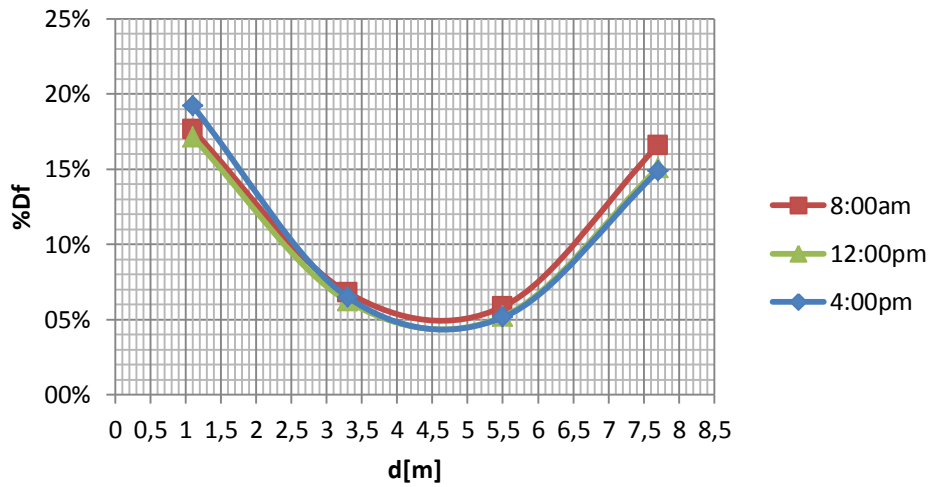


Figura D.52. Df Vs distancia, CE1, respecto a la radiación en la fachada.

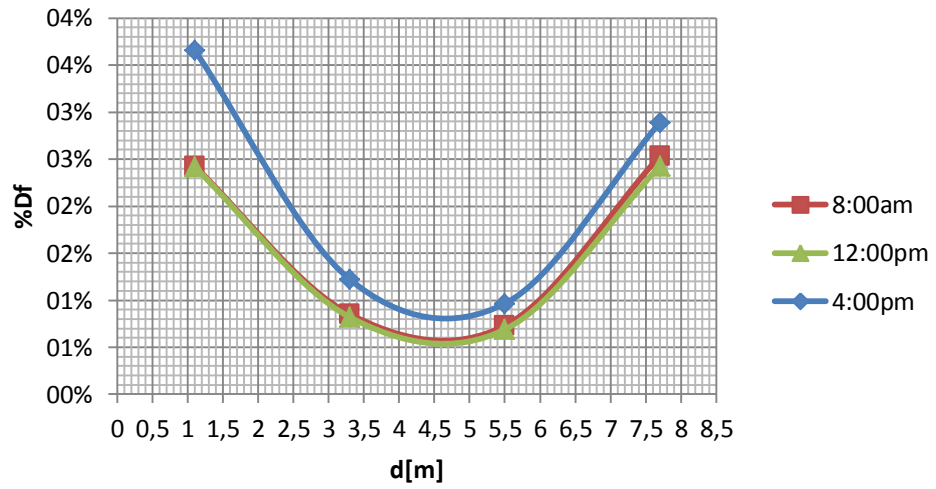


Figura D.53. Df Vs distancia, CE1, respecto a la radiación en la terraza.

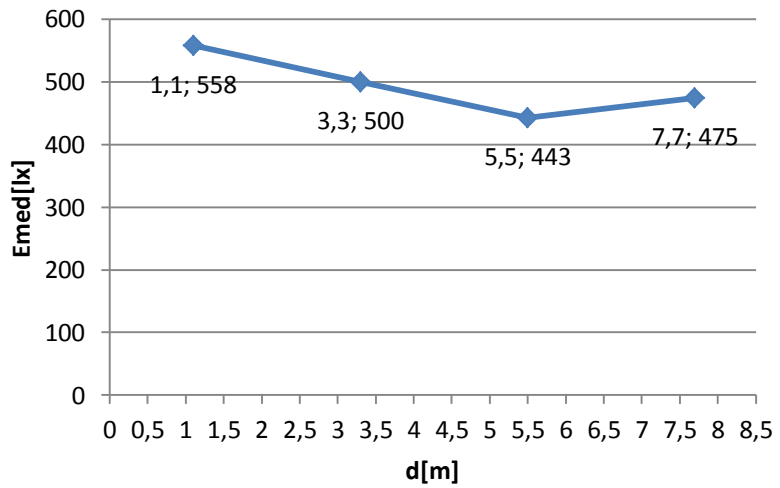


Figura D.54. Emed Vs distancia, CE1, curva característica iluminancia artificial.

- Secretaría centro de estudios (CE2)

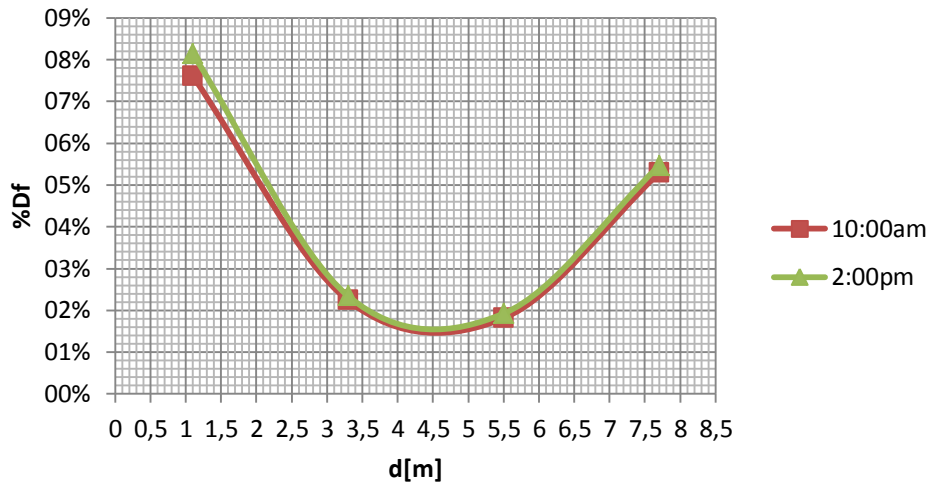


Figura D.55. Df Vs distancia, CE2, respecto a la radiación en la fachada.

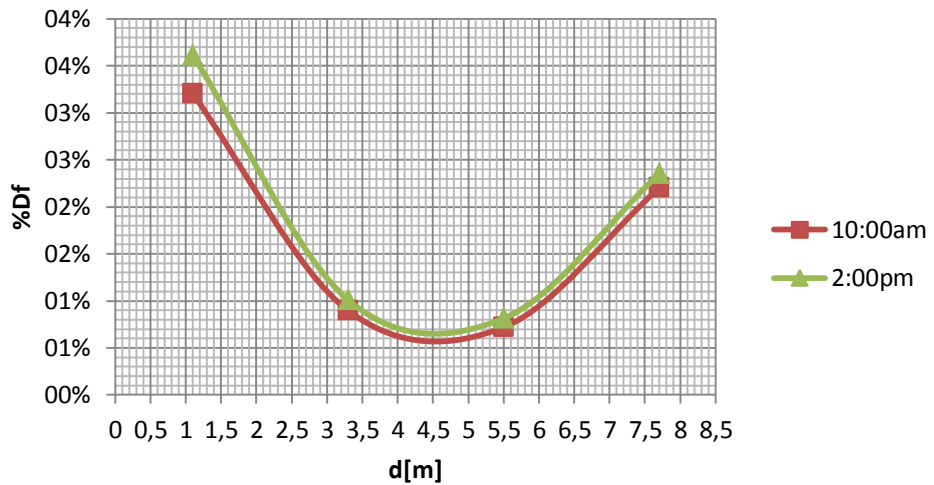


Figura D.56. Df Vs distancia, CE2, respecto a la radiación en la terraza.

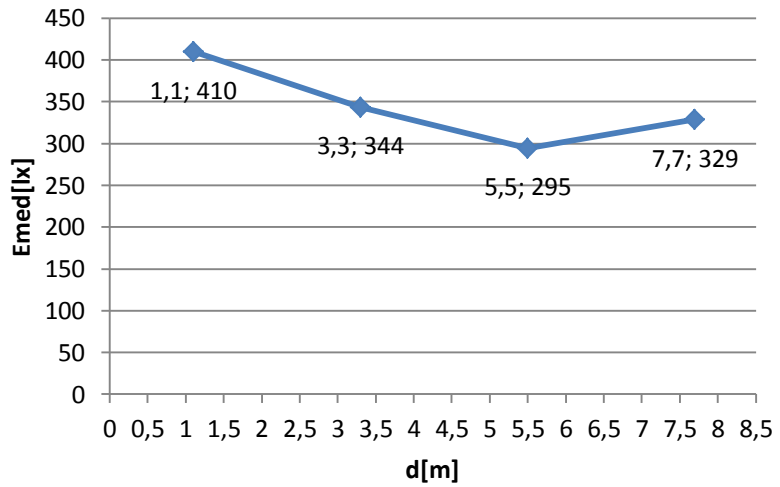


Figura D.57. Emed Vs distancia, CE2, curva característica iluminancia artificial.

- Sala de espera Coordinación de pregrado (SE)

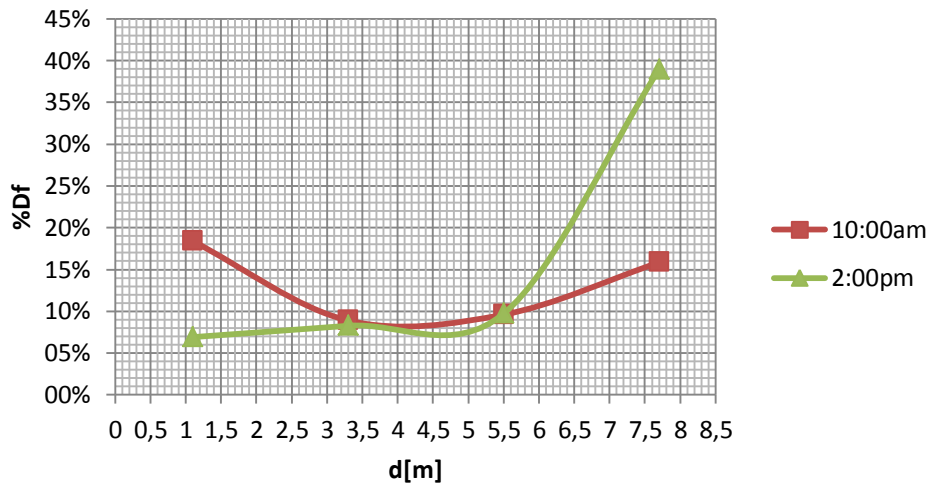


Figura D.58. Df Vs distancia, SE, respecto a la radiación en la fachada.

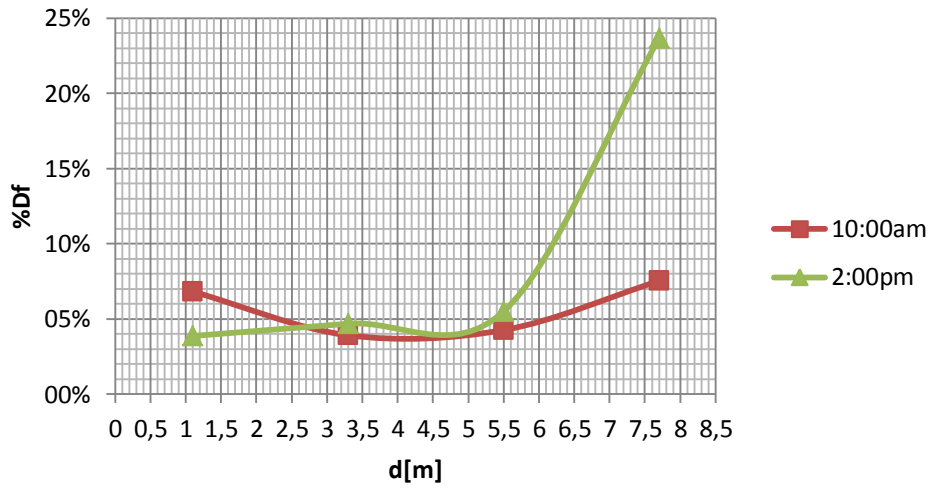


Figura D.59. Df Vs distancia, SE, respecto a la radiación en la terraza.

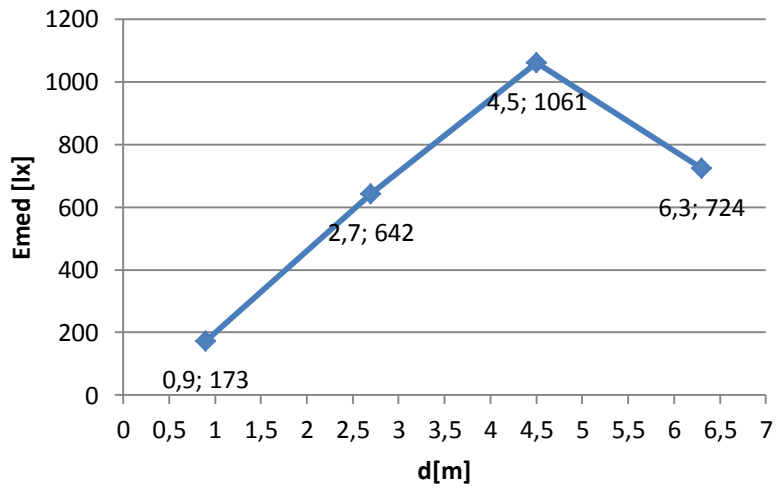


Figura D.60. Emed Vs distancia, SE, curva característica iluminancia artificial.

Comportamiento lumínico en zona cátedra

- Sala de atención a estudiantes (ZCP)

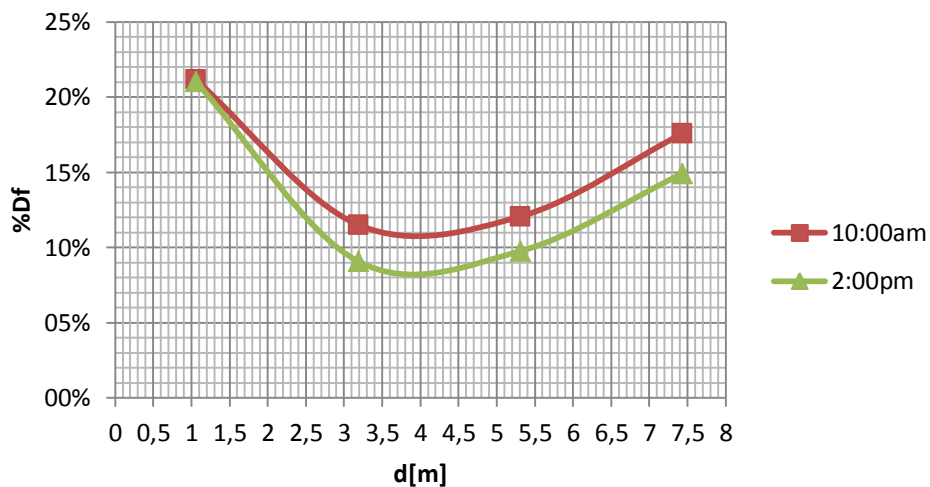


Figura D.61. Df Vs distancia, ZCP, respecto a la radiación en la fachada.

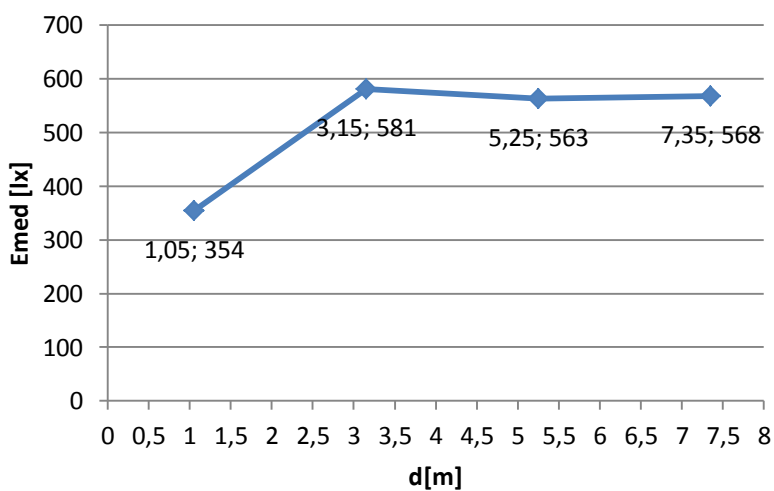


Figura D.62. Df Vs distancia, ZCP, respecto a la radiación en la terraza.

- Pasillo lockers interior Cátedra (ZLC)

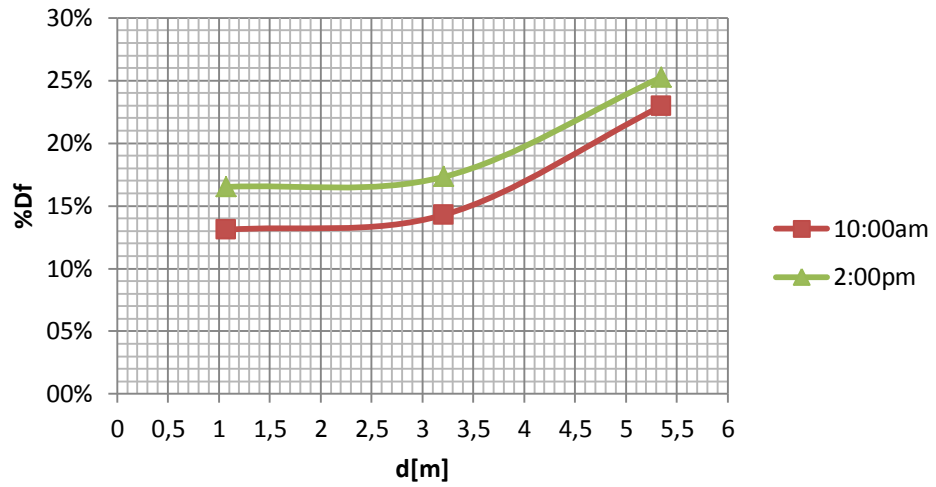


Figura D.61. Df Vs distancia, ZLC, respecto a la radiación en la fachada.

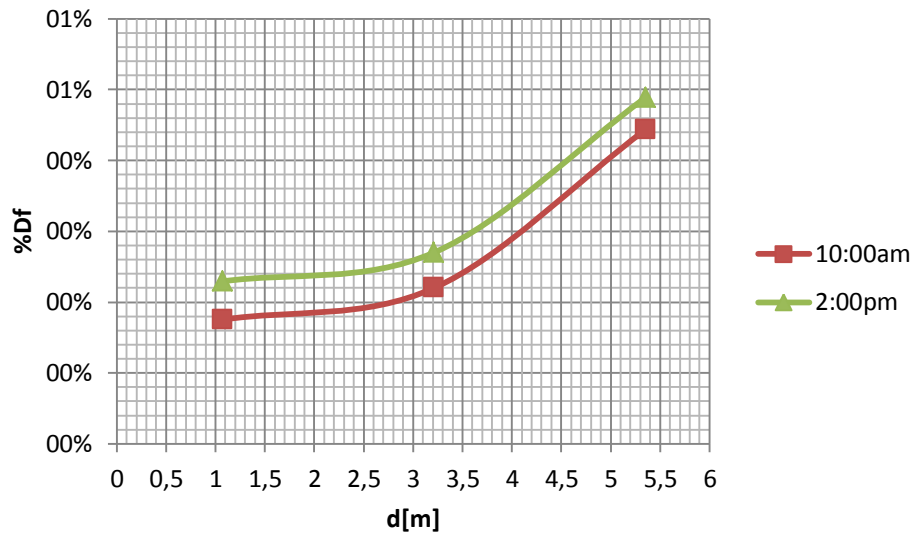


Figura D.62. Df Vs distancia, ZLC, respecto a la radiación en la terraza.

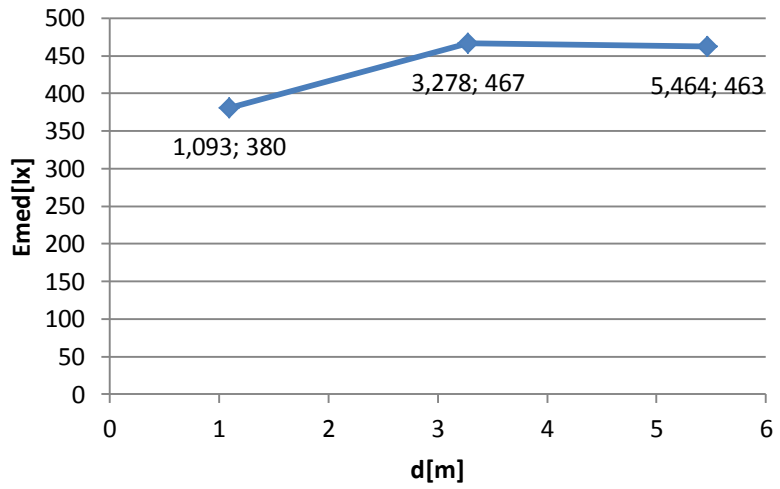


Figura D.63. Emed Vs distancia, ZLC, curva característica iluminancia artificial.

Comportamiento lumínico para el salón 301 (Curvas de comparación)

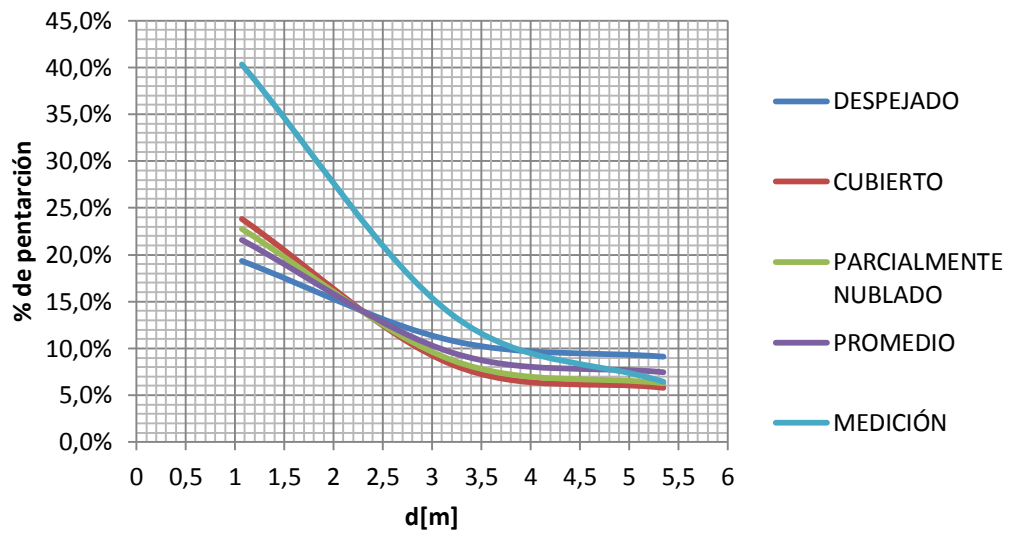


Figura D.64. Curvas medida y simuladas. Hora 8.00 am.

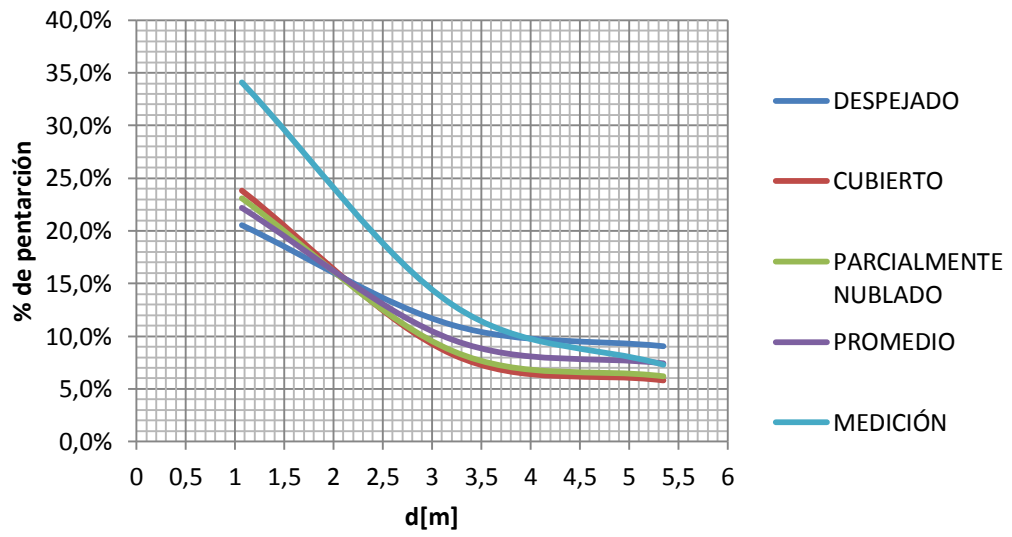


Figura D.65. Curvas medida y simuladas. Hora 9.00 am.

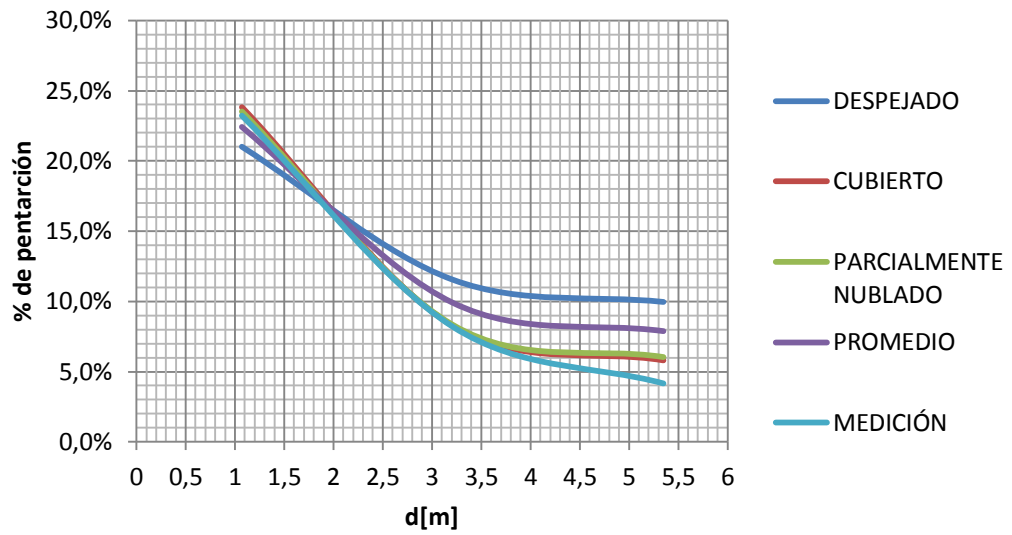


Figura D.66. Curvas medida y simuladas. Hora 10.00 am.

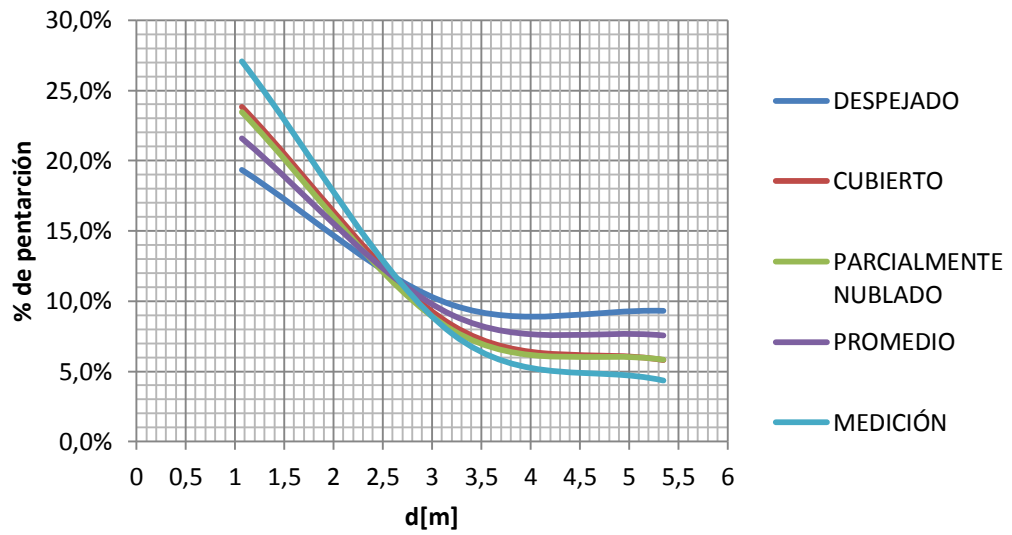


Figura D.67. Curvas medida y simuladas. Hora 11.00 am.

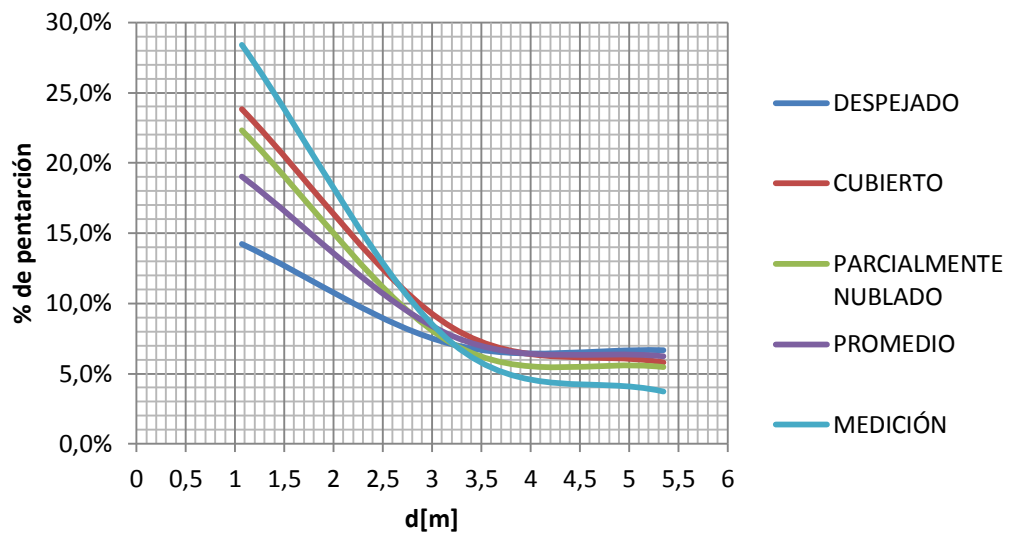


Figura D.68. Curvas medida y simuladas. Hora 12.00 pm.

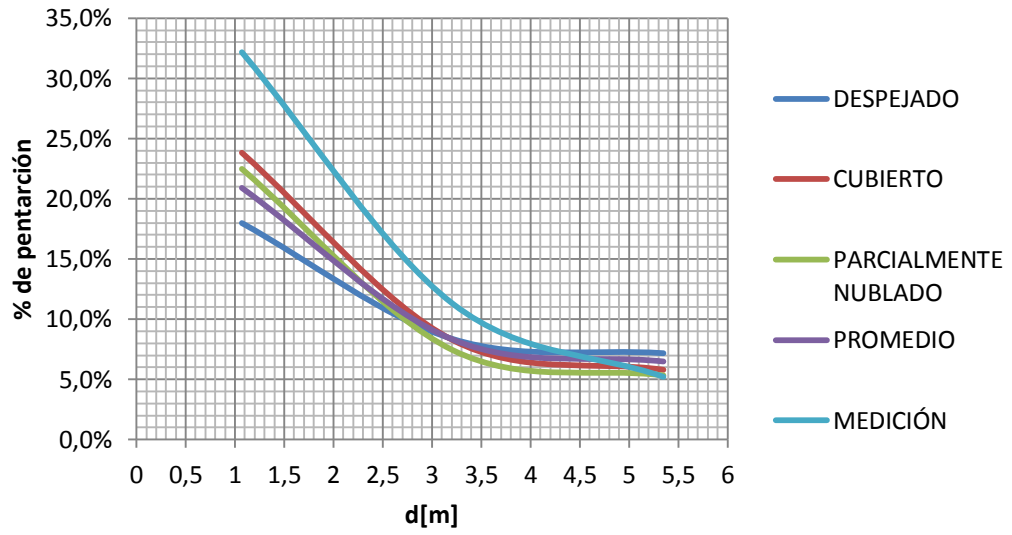


Figura D.69. Curvas medida y simuladas. Hora 13.00 pm

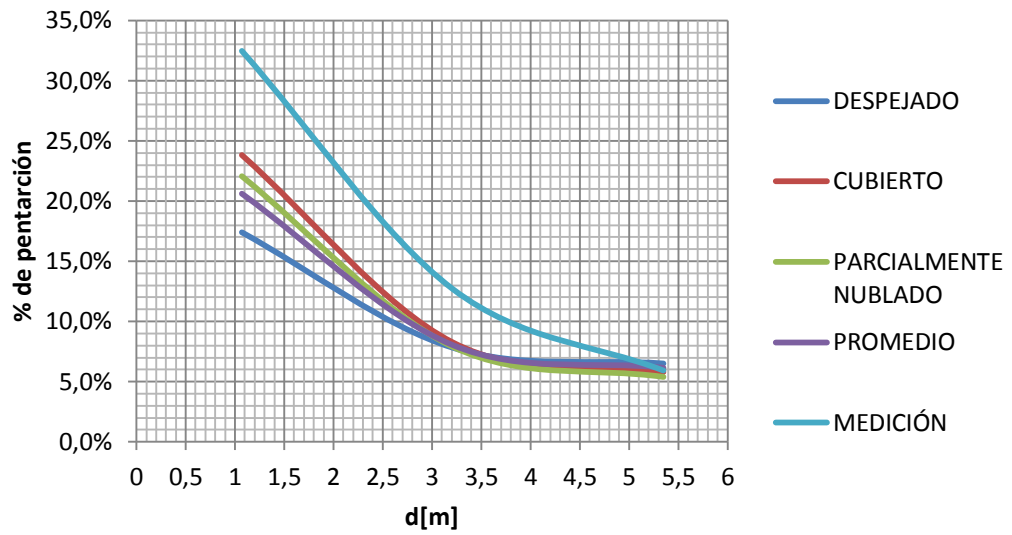


Figura D.70. Curvas medida y simuladas. Hora 14.00 pm.

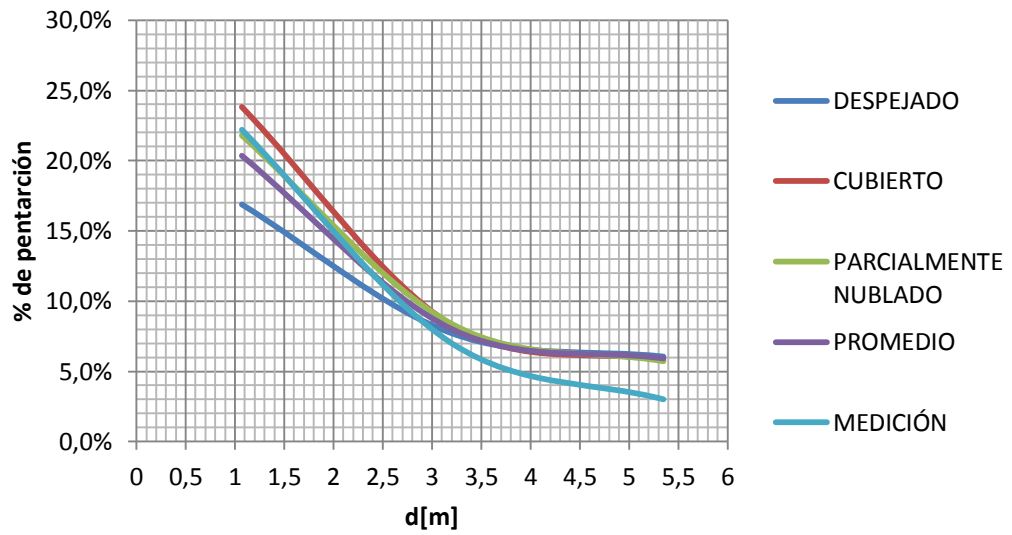


Figura D.71. Curvas medida y simuladas. Hora 15.00 pm

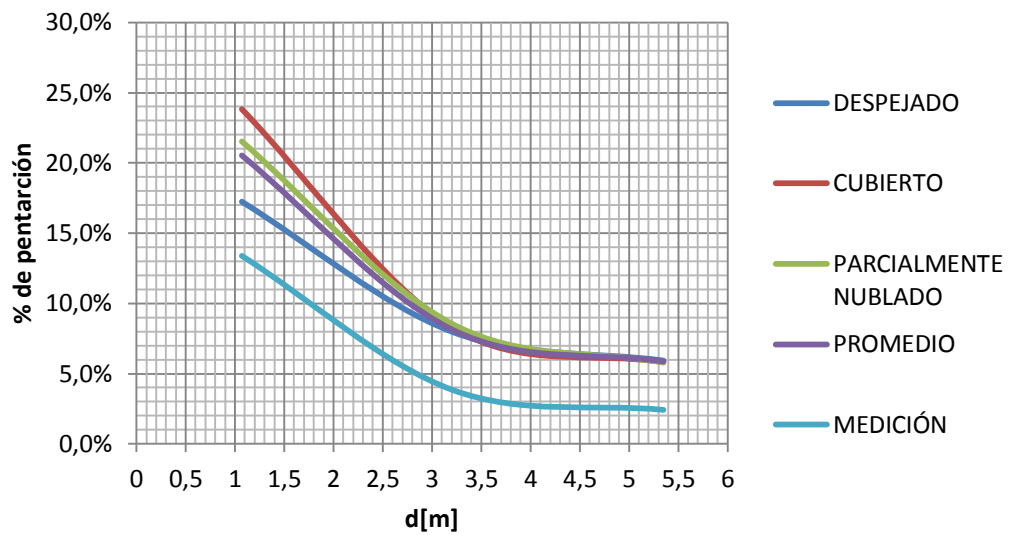


Figura D.72. Curvas medida y simuladas. Hora 16.00 pm

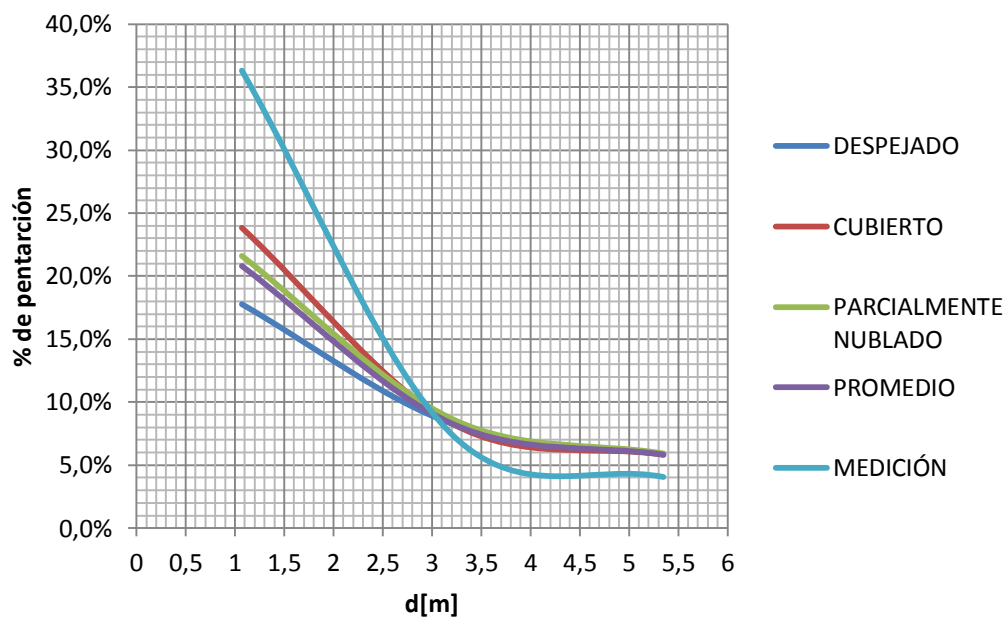


Figura D.73. Curvas medida y simuladas. Hora 17.00 pm

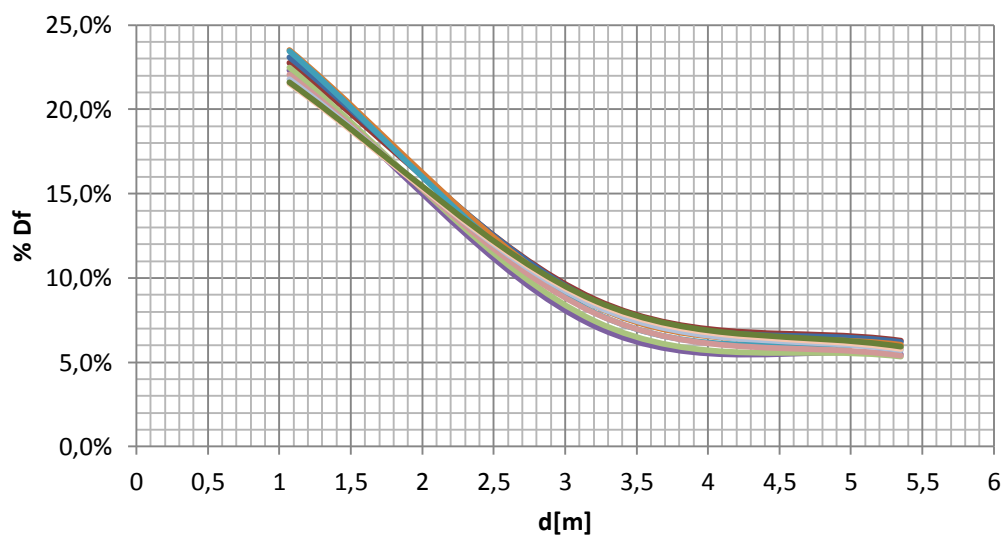


Figura D.74. Curvas por hora para el modelo de cielo Parcialmente nublado.

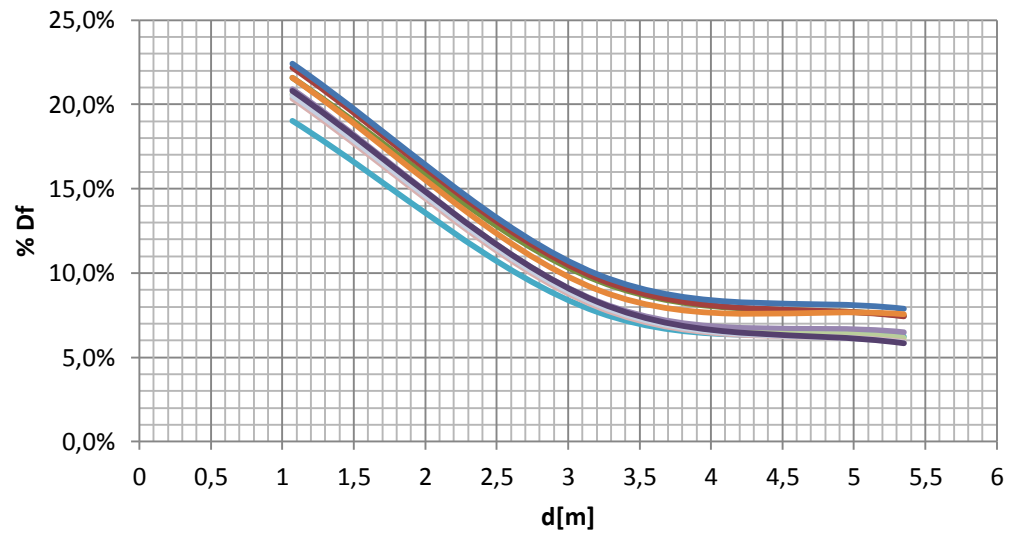


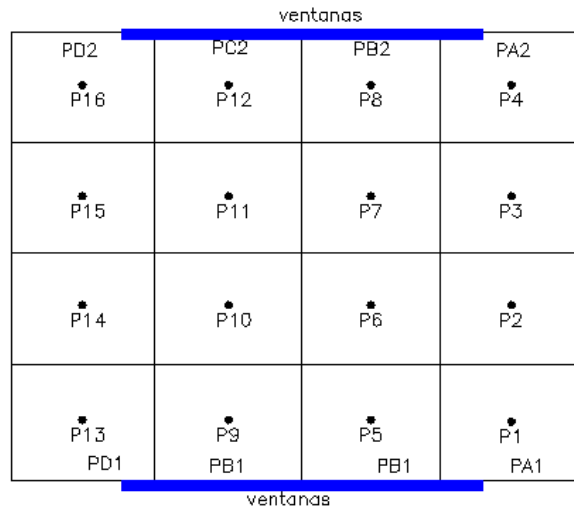
Figura D.73. Curvas por hora para el Promedio entre los modelos de cielo Cubierto y Despejado.

ANEXO E: Metodología para el cálculo del Df según el modelo de enmallado

La metodología del cálculo del coeficiente de luz diurna para los modelos de enmallado presentados en la tabla 3.2, se presentan según los casos:

- Caso 3: Enmallado de 16 puntos con ventana sencilla o ventana doble

Figura E.1: Modelo de enmallado 16 puntos.



La metodología de cálculo para este modelo teniendo en cuenta ventana sencilla y tomando como referencia la radicación incidente en la fachada, está dada por las siguientes ecuaciones.

Para los puntos P1, P2, P3 y P4:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PA1}}$$

Para los puntos P5, P6, P7 y P8:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PB1}}$$

Para los puntos P9, P10, P11 y P12:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PC1}}$$

Para los puntos P9, P10, P11 y P12:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PD1}}$$

Para el caso en el que el espacio cuente con doble ventana, teniendo en cuenta la radiación incidente en la fachada, el Df se calcula de la siguiente manera:

Para los puntos P1, P2, P3 y P4:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PA1} + E_{PA2}}$$

Para los puntos P5, P6, P7 y P8:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PB1} + E_{PB2}}$$

Para los puntos P9, P10, P11 y P12:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PC1} + E_{PC2}}$$

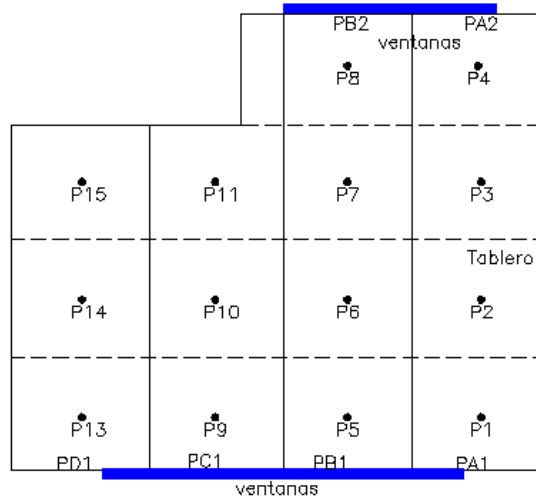
Para los puntos P13, P14, P15 y P16:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PD1} + E_{PD2}}$$

Siendo el caso de ventana sencilla o doble ventana y tomando como referencia la radiación incidente en la terraza, el Df se calcula dividiendo todos los puntos del espacio en el valor de radiación medido por el sensor de la estación meteorológica para la hora y la fecha en la que se realizó la medida de la iluminación en los puntos del enmallado.

- Caso 4: este enmallado cuenta con 14 puntos y es un caso especial dado en el aula 304.

Figura E.2: Modelo de enmallado 14 puntos.



Tomando como referencia la radiación incidente en las fachadas Norte y Sur, el Df se calcula de la siguiente forma:

Para los puntos P1, P2, P3 y P4:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PA1} + E_{PA2}}$$

Para los puntos P5, P6, P7 y P8:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PB1} + E_{PB2}}$$

Para los puntos P9, P10 y P11:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PC1}}$$

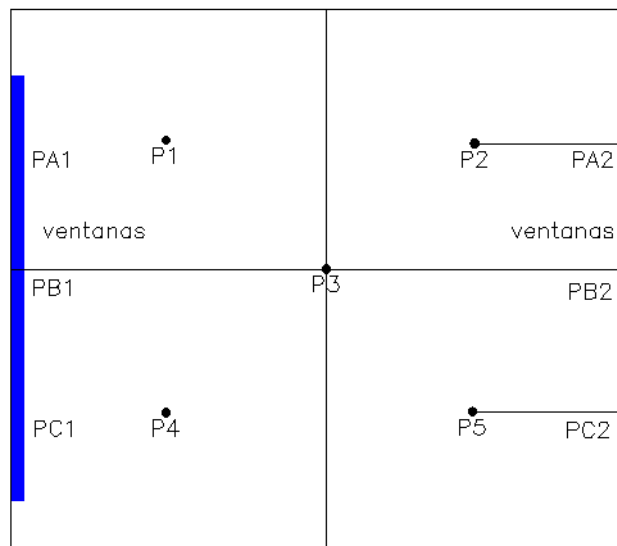
Para los puntos P13, P14 y P15:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PD1}}$$

El cálculo del Df según la radiación incidente en la terraza es el mismo para todos los modelos de enmallado.

- Caso 5: Modelo de cinco puntos con ventana sencilla o doble ventana
Tomando como referencia la radiación incidente en las fachadas Norte y Sur y con ventana sencilla, el Df se calcula de la siguiente forma:

Figura E.3: Modelo de enmallado 5 puntos.



Para los puntos P1 y P2:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PA1}}$$

Para el punto P3:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PB1}}$$

Para los puntos P4 y P5:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PC1}}$$

En el caso que contenga el espacio Doble ventana:

Para los puntos P1 y P2:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PA1} + E_{PA2}}$$

Para el punto P3:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PB1} + E_{PB2}}$$

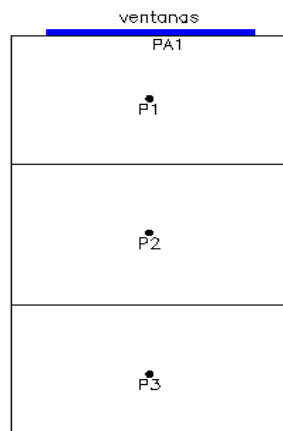
Para los puntos P4 y P5:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PC1} + E_{PC2}}$$

- Caso 6: Modelo de enmallado de tres puntos y ventana sencilla

Para este modelo todos los puntos se dividen por el valor del punto situado en la ventana, teniendo en cuenta que sería con respecto a la radiación en la fachada.

Figura E.4: Modelo de enmallado 3 puntos.



- Caso 7 y 8: Son modelos implementados en los espacios en donde la iluminación natural era muy baja y por lo tanto se consideraba irrelevante esta contribución. Solo se mide y grafica la iluminación artificial de los espacios.

Figura E.5: Modelo de enmallado 2 punto, Caso 7.

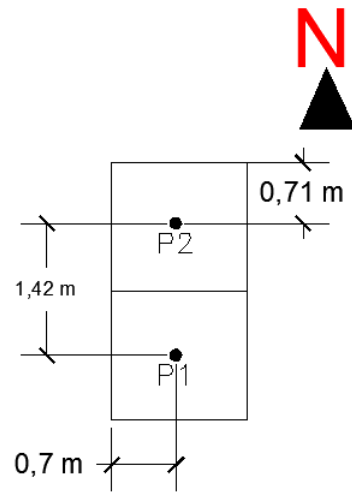
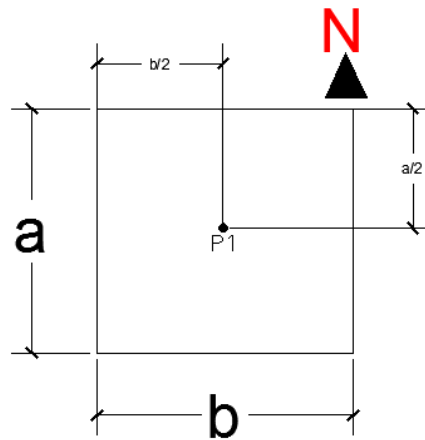


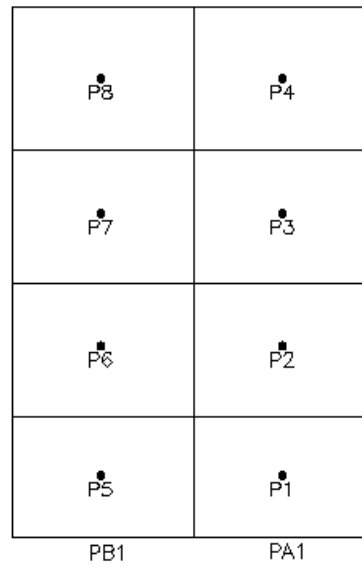
Figura E.6: Modelo de enmallado 1 punto, Caso 8.



- Caso 9: Modelo de enmallado de ocho puntos, con pequeños ventanales sencillos

Tomando como referencia la radiación en la fachada:

Figura E.7: Modelo de enmallado 8 punto.



Para los puntos P1, P2, P3 y P4:

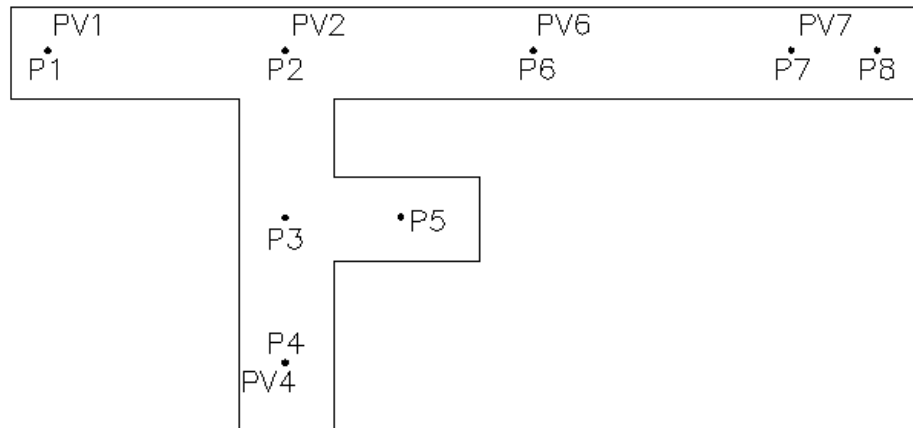
$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PA1}}$$

Para el punto P5, P6, P7 y P8:

$$Df = \frac{E_{Pi}}{E_{PB1}}$$

- Caso 10: El caso diez se lleva a cabo en los pasillos del segundo nivel, tercer nivel y cuarto nivel del Edificio IE. Donde la metodología implementada fue la siguiente:

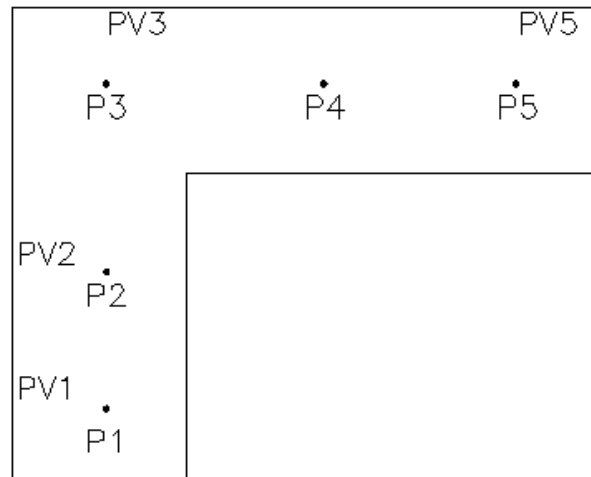
Figura E.8: Modelo de enmallado Pasillos 2, 3 y 4.



Para los puntos P1, P2, P4, P6 y P7 se dividen sobre el valor medido en la fachada en frente de cada punto ejemplo el punto P1 se divide sobre PV1. En el caso de punto P8 se divide sobre el valor del punto PV7. Para los puntos P3 y P5 se toma el valor de la suma de la radiación de los puntos PV2 y PV 4.

- Caso 11: Modelo de enmallado para el pasillo del quinto nivel

Figura E.9: Modelo de enmallado Pasillos 5.



Para este modelo, los puntos P1, P2, P3 y P5 se dividen sobre el valor de sus correspondientes puntos de referencia en la fachada, ejemplo P1 sobre PV1. En el caso del punto P4 se escoge el valor del promedio entre PV3 y PV5.

ANEXO F. Cálculo de la incertidumbre en el proceso de medida

Es necesario realizar la estimación de la incertidumbre asociada a los resultados obtenidos para cada espacio caracterizado, con el fin de que quienes utilicen los datos mostrados en este trabajo de grado puedan evaluar la idoneidad de la medición. Es conveniente que el resultado de la medida vaya acompañado de alguna indicación cuantitativa de la calidad del resultado. Para que las mediciones puedan compararse entre sí y con otros valores de referencia.

Método de cálculo y expresiones matemáticas

En la actualidad, la mayoría de los organismos de metrología, incluyendo a los laboratorios nacionales de cada país, han adoptado el método recomendado por BIPM (Buró Internacional de Pesas y Medidas) el cuál se explica en la Guide to expression of uncertainty in measurement (López y col., 1994).

Para el cálculo de la incertidumbre en base a esta guía, se debe primeramente definir el mensurando, en donde se incluyan todos los factores de los que depende. En el caso de la Central de Instrumentación el mensurando es la matriz agua. Posteriormente establecer el modelo matemático que representa el proceso de medición, esto es expresar la relación entre el mensurando y las variables de las que depende, implica enlistar todos los factores que influyen en la medición [25].

La incertidumbre del resultado de una medición, por lo general, consiste en varios componentes, los cuales, en la guía ya mencionada se agrupan de acuerdo a las dos categorías tipo A (μ_A) y tipo B (μ_B). Las expresiones matemáticas para el cálculo de la incertidumbre tipo A y tipo B se muestran a continuación para el caso de un modelo matemático con dos variables:

$$\mu_A = \sqrt{(\sigma_1 * Coe_{sen1})^2 + (\sigma_2 * Coe_{sen2})^2 + 2 * Coe_{corr1-2} * \sigma_1 * \sigma_2 * Coe_{sen1} * Coe_{sen2}}$$

$$\mu_B = \sqrt{Coe_{sen1} * \frac{\%precisión1}{\sqrt{3}} + Coe_{sen1} * \frac{\%resolución1}{\sqrt{3}} + Coe_{sen2} * \frac{\%precisión2}{\sqrt{3}} + Coe_{sen2} * \frac{\%resolución2}{\sqrt{3}}}$$

Dónde:

σ_i : Desviación estándar de la variable i del modelo matemático.

$Coe_{corri-j}$: Coeficiente de correlación entre las variables i y j.

Coe_{seni} : Coeficiente de sensibilidad de la variable i.

$\%precisióni$: Incertidumbre asociada por la precisión del instrumento de medida.

$\%resolucióni$: Incertidumbre asociada a la resolución del instrumento de medida.

El modelo matemático para el cálculo de la incertidumbre está dado por:

$$Df = \frac{E_{int}}{E_{ext}}$$

La Tabla F.1 indican los diferentes coeficientes de sensibilidad calculados según el modelo matemático usado para la estimación del Df.

Tabla F.1. Coeficientes de sensibilidad

Modelo	Coeficientes de sensibilidad	Observaciones
$Df = \frac{Pi}{Pxj}$ <p>Este modelo se usa para el caso de los espacios con un solo conjunto de aberturas</p>	$\frac{\partial Df}{\partial Pi} = \frac{1}{Pxj}$ $\frac{\partial Df}{\partial Pxj} = -\frac{Pi}{Pxj^2}$	<p>El subíndice xj indica los puntos fachadas A1, B1 y C1. i= 1, 2,3.... 9 según sea el caso.</p>
$Df = \frac{Pi}{Pxj + Pyj}$ <p>Este modelo se usa para el caso de los espacios con dos conjuntos de aberturas</p>	$\frac{\partial Df}{\partial Pi} = \frac{1}{Pxj + Pyj}$ $\frac{\partial Df}{\partial Pxj} = -\frac{Pi}{(Pxj + Pyj)^2}$ $\frac{\partial Df}{\partial Pyj} = -\frac{Pi}{(Pxj + Pyj)^2}$	<p>El subíndice xj indica los puntos fachadas A1, B1, C1 y D1 El subíndice yj indica los puntos fachadas A2, B2, C2 y D2 i= 1, 2,3.... 16 según sea el caso.</p>

Según la hoja de datos del medidor usado con referencia AMPROBE LM-120 se tiene para un rango único de medida que va desde los 0 lx hasta los 80.000 lx, donde su precisión viene dada por 2%±3 dígitos. Con una resolución de 0,01 lx.

La incertidumbre combinada (μ_c) se calcula a partir del modelo matemático y los componentes de la incertidumbre ya estimados. Para incrementar el nivel de confianza del intervalo dentro del cual se estima se encuentra el valor verdadero del mensurando, la incertidumbre combinada se multiplica por un factor de cobertura k, a ese resultado se le llama incertidumbre expandida (μ_E).

$$\mu_c = \sqrt{\mu_A^2 + \mu_B^2}$$

$$\mu_E = k * \mu_c$$

Finalmente se está en posibilidad de ofrecer un resultado más confiable al reportar de la siguiente manera:

$$Y = \bar{X} \pm \mu_E$$

Incertidumbres asociadas a los resultados obtenidos en el proceso de medición

Para garantizar un grado de confiabilidad de los resultados dados por las curvas de comportamiento de cada espacio se calculan las incertidumbres asociadas a cada punto de las gráficas, con un grado de confianza del 95,45% con un factor k de 2. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla F.1. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 103.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,45	0,52	0,423	0,299	0,182	0,28	0,3	0,24	0,24	0,56
Pw	0,46	0,41	0,311	0,257	0,19	0,3	0,3	0,24	0,24	0,54
Px	0,46	0,33	0,254	0,253	0,177	0,29	0,29	0,24	0,24	0,54
Py	0,46	0,3	0,259	0,264	0,178	0,28	0,29	0,24	0,24	0,55

Tabla F.2. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 201.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	3,1	0,39	0,585	0,349	0,216	0,24	0,24	0,74	1,27	1,35
Pw	0,8	0,42	0,319	0,229	0,194	0,23	0,28	0,59	0,77	1,13
Px	0,54	0,42	0,289	0,228	0,191	0,24	0,27	0,37	0,54	1,09

Tabla F.3. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 202.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	1,34	1,32	0,225	0,195	0,146	0,2	0,35	0,3	0,38	0,8
Pw	0,34	1,33	0,235	0,179	0,154	0,2	0,15	0,15	0,4	0,85
Px	0,31	0,28	0,248	0,157	0,155	0,2	0,14	0,15	0,38	0,85
Py	0,4	0,29	0,234	0,16	0,155	0,2	0,15	0,15	0,41	0,85

Tabla F.4. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 204.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,34	0,71	0,67	0,222	0,183	0,21	0,25	0,23	0,19	0,43
Pw	0,33	0,37	0,261	0,229	0,177	0,24	0,25	0,21	0,19	0,53
Px	0,32	0,29	0,253	0,24	0,169	0,24	0,25	0,21	0,19	0,5
Py	0,37	0,4	0,285	0,205	0,211	0,23	0,27	0,19	0,16	0,48

Tabla F.5. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 205.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	4,93	2,63	2,319	5,14	1,166	2,43	1,69	3,07	2,04	1,102
Pw	0,61	0,67	1,372	1,168	0,257	0,36	0,78	0,8	0,63	1,85
Px	0,38	0,4	0,393	0,258	0,295	0,34	0,36	1,52	0,56	0,92

Tabla F.6. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 206.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	2,45	1,4	2,727	2,183	2,141	1,16	1,55	2,3	1,044	2,08
Pw	1,24	1,31	0,752	1,47	0,583	0,76	0,61	1,48	3,53	1,84
Px	0,75	0,58	0,705	0,522	0,369	0,33	0,33	0,74	1,3	1,96

Tabla F.7. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 207.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,21	0,76	0,69	0,389	0,456	0,23	0,22	0,29	0,52	1,06
Pw	0,15	0,33	0,21	0,569	0,33	0,23	0,22	0,28	0,36	0,97
Px	0,16	0,3	0,138	0,152	0,174	0,25	0,21	0,29	0,78	0,65

Tabla F.8. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 301.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	2,85	9,53	1,958	5,105	5,353	3,13	2,77	8,79	1,89	2,51
Pw	1,11	4,01	0,882	2,038	1,878	0,8	0,39	2,15	0,87	0,86
Px	0,49	2,12	0,488	0,654	1,055	0,51	0,61	0,8	0,65	0,38

Tabla F.9. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 302.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	2,13	0,99	3,627	1,176	3,504	1,70	1,94	2,60	1,42	1,45
Pw	1,33	0,65	0,632	0,556	0,81	0,37	0,73	1,03	0,79	1,16
Px	0,4	0,32	0,323	0,24	0,411	0,28	0,55	0,29	0,76	0,77
Py	0,39	0,5	0,891	0,462	0,619	0,57	1,45	0,37	0,46	1,24

Tabla F.10. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 305.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	1,4	1,57	2,216	8,648	3,092	1,68	2,63	5,53	0,53	4,28
Pw	0,79	0,77	1,793	1,402	1,285	0,49	1,45	1,56	0,61	1,04
Px	0,5	0,74	0,745	1,778	0,292	0,30	0,53	0,45	0,58	0,63

Tabla F.11. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 401.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0032	0,0079	0,01041	0,01571	0,01382	0,0151	0,0091	0,0158	0,0124	0,0104
Pw	0,003	0,008	0,00971	0,00469	0,00433	0,0086	0,0059	0,003	0,004	0,0032
Px	0,0034	0,0062	0,00647	0,00382	0,00213	0,0058	0,0049	0,0017	0,002	0,0029

Tabla F.12. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 402.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0026	0,0107	0,05451	0,00605	0,00699	0,0027	0,0255	0,0333	0,0013	0,0027
Pw	0,0022	0,003	0,01956	0,00619	0,00314	0,0017	0,0074	0,0077	0,0012	0,0032
Px	0,0022	0,0016	0,00503	0,0014	0,00111	0,0017	0,0028	0,0037	0,0012	0,0031
Py	0,0023	0,007	0,00522	0,00372	0,00145	0,0018	0,0047	0,0031	0,0012	0,0031

Tabla F.13. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 402 con tubos solares.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0042	0,014	0,01173	0,02912	0,00291	0,0031	0,0067	0,0078	0,0017	0,0028
Pw	0,0027	0,0031	0,00417	0,01264	0,00107	0,0024	0,0048	0,0054	0,0012	0,0034
Px	0,0023	0,0028	0,00465	0,00502	0,00117	0,0021	0,0034	0,0019	0,0012	0,0032
Py	0,004	0,0047	0,0052	0,00885	0,00178	0,0017	0,0077	0,003	0,0012	0,0034

Tabla F.14. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 404.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0125	0,0142	0,01	0,0359	0,01417	0,0043	0,0071	0,012	0,0107	0,0169
Pw	0,0051	0,0029	0,00559	0,00268	0,00362	0,0035	0,0036	0,0054	0,0086	0,0132
Px	0,004	0,0037	0,00463	0,00528	0,00655	0,0039	0,0047	0,0037	0,0047	0,0059
Py	0,0139	0,0104	0,02175	0,04449	0,01796	0,0081	0,0227	0,0071	0,0226	0,0069

Tabla F.15. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 405.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0034	0,026	0,01046	0,01762	0,02142	0,0198	0,0137	0,0656	0,007	0,0205
Pw	0,0049	0,0211	0,00898	0,0184	0,0076	0,0115	0,0043	0,0093	0,0076	0,0202
Px	0,0031	0,0048	0,03046	0,00402	0,00305	0,0049	0,0039	0,0056	0,0045	0,0074

Tabla F.16. Incertidumbre asociada a las curvas del aula 406.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0032	0,0038	0,00245	0,00822	0,02636	0,0031	0,0038	0,0181	0,0227	0,0187
Pw	0,0026	0,0041	0,00278	0,00468	0,00623	0,003	0,0021	0,0164	0,0139	0,0061
Px	0,0026	0,0041	0,00258	0,00526	0,00234	0,0029	0,0025	0,0071	0,0105	0,0037

Tabla F.17. Incertidumbre asociada a las curvas del aula CE1.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,004	0,0035	0,01218	0,00336	0,00227	0,0029	0,0039	0,0038	0,0025	0,0047
Pw	0,0035	0,0036	0,00974	0,00297	0,00226	0,0026	0,0075	0,003	0,0032	0,0077
Px	0,0032	0,003	0,00696	0,00382	0,00251	0,0026	0,0049	0,0036	0,0058	0,005
Py	0,0056	0,0041	0,01691	0,00539	0,01643	0,0026	0,0052	0,0059	0,0048	0,0088

Tabla F.18. Incertidumbre asociada a las curvas del aula CE2.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0028	0,0035	0,00258	0,00281	0,00349	0,0037	0,0043	0,0041	0,0057	0,0056
Pw	0,0027	0,0028	0,00242	0,00259	0,00274	0,004	0,0038	0,0042	0,0051	0,0055
Px	0,0026	0,0028	0,00241	0,00278	0,00243	0,0039	0,0039	0,0042	0,0052	0,0057
Py	0,0023	0,005	0,00578	0,00598	0,00468	0,0043	0,0051	0,0051	0,0148	0,0102

Tabla F.19. Incertidumbre asociada a las curvas del aula CP.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0034	0,0025	0,00372	0,00412	0,01602	0,0036	0,0039	0,0044	0,0058	0,0071
Pw	0,0032	0,0029	0,00402	0,00458	0,01588	0,0039	0,0038	0,0045	0,0058	0,0095
Px	0,0034	0,0024	0,00359	0,00461	0,05987	0,003	0,0036	0,004	0,0051	0,006

Tabla F.20. Incertidumbre asociada a las curvas del aula SEP.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0037	0,0019	0,00219	0,00172	0,00137	0,0024	0,0012	0,0014	0,0012	0,0016
Pw	0,0031	0,0018	0,00198	0,00166	0,00136	0,0025	0,0012	0,0012	0,0012	0,0017
Px	0,0044	0,0018	0,0021	0,0016	0,00133	0,0028	0,0012	0,0012	0,0011	0,0015
Py	0,0034	0,0018	0,00207	0,00162	0,00127	0,0081	0,0012	0,0011	0,0013	0,0014

Tabla F.21. Incertidumbre asociada a las curvas del aula PS.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,2306	0,2486	0,22151	0,21701	0,21853	0,219	0,2508	0,2331	0,2188	0,2324
Pw	0,232	0,254	0,22652	0,21832	0,21634	0,2179	0,2722	0,2268	0,2215	0,2251
Px	1,8886	2,2122	2,30896	2,00161	1,99458	1,99	1,9185	2,0244	1,9822	1,9665

Tabla F.22. Incertidumbre asociada a las curvas del aula SP.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,3248	0,4208	0,42441	0,2433	0,25303	0,26	0,4915	0,2411	0,2228	0,2265
Pw	0,6065	0,7981	0,95005	0,34232	0,37298	0,3631	1,2429	0,2714	0,2558	0,2676
Px	1,0758	2,1203	26,1547	2,05983	1,99456	1,9596	2,3028	2,0835	1,9443	1,9064

Tabla F.23. Incertidumbre asociada a las curvas del aula CC.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0031	0,0023	0,00301	0,00227	0,012	0,0031	0,0022	0,0028	0,0035	0,0058
Pw	0,0053	0,002	0,00214	0,0022	0,01431	0,0158	0,002	0,0026	0,0032	0,0054
Px	0,0041	0,0025	0,00248	0,00228	0,01953	0,0032	0,0023	0,0057	0,0038	0,0053

Tabla F.24. Incertidumbre asociada a las curvas del aula ZCP.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0103	0,0062	0,00523	0,00521	0,00477	0,0039	0,0038	0,005	0,0062	0,0063
Pw	0,009	0,0067	0,00517	0,00518	0,00485	0,004	0,0038	0,0057	0,0067	0,006
Px	0,0088	0,0063	0,00516	0,0053	0,00523	0,0041	0,0039	0,0053	0,0067	0,0059
Py	0,0091	0,0062	0,00497	0,00499	0,00595	0,004	0,0039	0,0052	0,0063	0,0056

Tabla F.25. Incertidumbre asociada a las curvas del aula SR.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0027	0,0078	0,01098	0,00412	0,00279	0,0042	0,0064	0,0072	0,0049	0,003
Pw	0,0028	0,0053	0,00819	0,00471	0,00315	0,0027	0,0052	0,0051	0,0075	0,003
Px	0,0028	0,0059	0,00528	0,00355	0,00634	0,0022	0,004	0,0041	0,0032	0,0035

Tabla F.26. Incertidumbre asociada a las curvas del aula IEEE.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,0038	0,0038	0,00363	0,00417	0,00572	0,0089	0,0058	0,0063	0,0056	0,011
Pw	0,0042	0,0059	0,00315	0,00401	0,0036	0,0073	0,005	0,0052	0,0076	0,0116
Px	0,0038	0,0034	0,00306	0,00322	0,00357	0,0033	0,0051	0,0051	0,0056	0,0117

Tabla F.27. Incertidumbre asociada a las curvas del aula DE3T.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,3248	0,4208	0,42441	0,2433	0,25303	0,26	0,4915	0,2411	0,2228	0,2265
Pw	0,6065	0,7981	0,95005	0,34232	0,37298	0,3631	1,2429	0,2714	0,2558	0,2676
Px	1,0758	2,1203	26,1547	2,05983	1,99456	1,9596	2,3028	2,0835	1,9443	1,9064

Tabla F.28. Incertidumbre asociada a las curvas del aula SEDE3T.

Incertidumbre [%]										
	8:00am	9:00am	10:00am	11:00am	12:00pm	1:00pm	2:00pm	3:00pm	4:00pm	5:00pm
Pv	0,2306	0,2486	0,22151	0,21701	0,21853	0,219	0,2508	0,2331	0,2188	0,2324
Pw	0,232	0,254	0,22652	0,21832	0,21634	0,2179	0,2722	0,2268	0,2215	0,2251
Px	1,8886	2,2122	2,30896	2,00161	1,99458	1,99	1,9185	2,0244	1,9822	1,9665