

**SOPORTE INFORMÁTICO PARA EL CÁLCULO LUMINOTÉCNICO EN
INTERIORES Y EXTERIORES**

JENNY PAOLA GONZÁLEZ PÉREZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

**SOPORTE INFORMÁTICO PARA EL CÁLCULO LUMINOTÉCNICO EN
INTERIORES Y EXTERIORES**

JENNY PAOLA GONZÁLEZ PÉREZ

Este proyecto es presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Electricista

Director

CIRO JURADO JERÉZ

Ingeniero Electricista UIS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2005

RESUMEN

TÍTULO:

SOPORTE INFORMÁTICO PARA EL CÁLCULO LUMINOTÉCNICO EN INTERIORES Y EXTERIORES*

AUTOR:

JENNY PAOLA GONZÁLEZ PÉREZ **

Palabras Claves: Iluminación, luminancia, luminotecnia, GUI, base de datos.

DESCRIPCIÓN:

APOLUX es una aplicación didáctica para el diseño de iluminación en interiores, polideportivos y vías con funciones de visualización de tablas y gráficos que ayudan a la comprensión de resultados. Esta aplicación es un complemento al aprendizaje del curso de “Iluminación, Calefacción e Instalaciones Eléctricas” de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

El soporte informático APOLUX fue creado utilizando el ambiente para el desarrollo de interfaces gráficas de usuario (GUI) de Matlab® versión 7.0. Por lo tanto, para tener acceso a esta herramienta se debe tener instalado en el equipo MatLab® 7.0. Para una mejor presentación de las gráficas y las imágenes de esta aplicación se recomienda que la pantalla este configurada en una resolución de 800 por 600 píxeles.

La organización de este documento se presenta a continuación. En el capítulo 1 se describen los conceptos básicos para el entendimiento de la aplicación desarrollada. Se presentan los métodos utilizados con sus respectivas ecuaciones.

El cálculo luminotécnico de interiores es presentado en el capítulo 2 y es exclusivo del manejo de APOLUX. De igual forma se presenta el cálculo de polideportivos y vías en los capítulos 3 y 4 respectivamente. En el capítulo 5 se describe la base de datos implementada, sus características y la forma de manipular los datos.

Finalmente en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones más sobresalientes del trabajo realizado.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-mecánicas, Ingeniería Eléctrica
Ing. Ciro Jurado Jerez

SUMMARY

TITLE:

SOPORTE INFORMÁTICO PARA EL CÁLCULO LUMINOTÉCNICO EN INTERIORES Y EXTERIORES*

AUTHOR:

JENNY PAOLA GONZÁLEZ PÉREZ **

KEYWORDS: Lighting, luminance, lighting engineering, GUI, database.

DESCRIPTION:

APOLUX is a didactic useful application to design lighting in interiors, outside sport scenarios and roads. APOLUX has tables and graphics visualization functions that help to a better comprehension of results. APOLUX is a complement to the learning in the course "Lighting, Heat and Electric Installations" of the Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

The computer support APOLUX was created using Matlab® 7.0 environment for the development of graphics user interface (GUI). Therefore, to have access to this tool one must have MatLab® 7.0 installed on the PC. For a better view of the graphics and images of this application, is recommendable to configure the screen at an 800x600 pixel resolution.

This document organization is present follow. On chapter 1, basic concepts are described for understanding the developed application. Methods used are present with respective equations.

The lighting calculation on interiors is presented on chapter 2, it is exclusive on APOLUX management. On the same way, outside sport scenarios and roads calculations are presented on chapters 3 and 4 respectively.

On chapter 5, data base implemented is described, its characteristics and the way of manipulating data.

Finally on chapter 6, outstanding conclusions and recommendations on this work are content.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ciencias Físico-mecánicas, Ingeniería Eléctrica
Ing. Ciro Jurado Jerez

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 LÁMPARAS.....	3
1.1.1 Lámpara incandescente	3
1.1.2 Lámpara de descarga.....	3
1.2 LUMINARIAS	6
1.2.1 Clasificación de las luminarias.....	6
1.3 CARACTERÍSTICAS LUMINOTÉCNICAS.....	7
1.3.1 Tipo de luminaria	7
1.3.2 Tipo de fuente de luz	7
1.3.3 Potencia y tensión de alimentación	7
1.3.4 Flujo luminoso	7
1.3.5 Intensidad luminosa.....	7
1.3.6 Iluminación o iluminancia.....	8
1.3.7 Luminancia	8
1.3.8 Matriz de intensidades.....	8
1.3.9 Niveles de iluminación recomendados	8
1.4 FACTORES DE PÉRDIDAS DE UNA INSTALACIÓN	12
1.4.1 Depreciación de los lúmenes de la lámpara	13
1.4.2 Mortalidad de las lámparas.....	13
1.4.3 Depreciación por suciedad en las luminarias (LDD).....	13
1.4.4 Depreciación por deterioro de las luminarias.....	15
1.4.5 Depreciación por suciedad en la superficie del local	15
1.4.6 Depreciación por envejecimiento de las superficies del local	16
1.4.7 Depreciación por funcionamiento de la reactancia	16
1.4.8 Depreciación por tensión de alimentación de las luminarias	17
1.4.9 Temperatura ambiente de la luminaria	17

1.4.10	Luminarias con intercambio de calor	17
1.5	REFLECTANCIAS DE TECHOS, PAREDES Y PISOS	18
1.6	MÉTODO DE LA CAVIDAD ZONAL	19
1.6.1	Reflectancias efectivas de cavidad.....	20
1.6.2	Cálculo de los coeficientes de utilización.....	22
1.6.3	Cálculo del nivel de iluminación.....	25
1.7	MÉTODO BÁSICO DE LA CIE.....	26
1.7.1	Flujo directo incidente en el plano de trabajo	26
1.7.2	Inter-reflexiones	28
1.7.3	Coeficientes de intercambio	31
1.7.4	Cálculo de las iluminancias	32
1.8	MÉTODO PUNTO A PUNTO	33
1.8.1	Componente directa	33
1.8.2	Cálculo de la componente reflejada	35
1.9	CÁLCULOS DE LUMINANCIA PARA VÍAS	38
1.9.1	Método de la CIE	39
1.9.2	Método de cálculo de la IES	40
2.	INTERIORES	42
2.1	PRESENTACIÓN	42
2.2	INTERFAZ DE USUARIO PARA INTERIORES	43
2.2.1	Dimensiones	43
2.2.2	Reflectancias	47
2.2.3	Luminarias	47
2.2.4	Pérdidas	48
2.3	RESULTADOS	49
2.3.1	Matriz punto a punto	50
2.3.2	Redistribución	50
2.3.3	Generar Informe	50
3.	POLIDEPORTIVOS	52
3.1	PRESENTACIÓN	52

3.2	INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA POLIDEPORTIVOS	53
3.3	DISPOSICIONES	53
3.3.1	Disposición lateral doble	54
3.3.2	Disposición esquinas	55
3.3.3	Disposición alternada	55
3.3.4	Disposición lateral sencillo.....	56
3.4	RESULTADOS	56
3.4.1	Matriz punto a punto	58
3.4.2	Generar Informe	58
4.	VÍAS.....	60
4.1	PRESENTACIÓN	60
4.2	INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA VÍAS.....	61
4.3	DISPOSICIONES	62
4.3.1	Matriz punto a punto	64
4.3.2	Modificar interdistancia	66
4.3.3	Generar Informe	66
5.	BASE DE DATOS.....	67
5.1	NUEVA LUMINARIA	68
5.2	EDITAR LUMINARIA.....	71
5.3	ELIMINAR LUMINARIA.....	72
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
6.1	CONCLUSIONES	74
6.2	RECOMENDACIONES	75
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
	BIBLIOGRAFÍA	77
	LIBROS.....	77
	NORMAS	78
	ARTÍCULOS DE INTERNET.....	78
	ANEXOS.....	80
ANEXO A.	PRESENTACIÓN E INSTALACIÓN DEL SOPORTE	

INFORMÁTICO APOLUX.....	81
ANEXO B. EJEMPLO CARACTERÍSTICO.....	84
ANEXO C. ESTRUCTURA DEL SOPORTE INFORMÁTICO APOLUX ...	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes básicas de la lámpara incandescente.....	4
Figura 2. Partes básicas de la lámpara fluorescente.	4
Figura 3. Partes básicas de la lámpara de mercurio a alta presión.	4
Figura 4. Partes básicas de la lámpara con halogenuros metálicos.	5
Figura 5. Partes básicas de la lámpara de vapor de sodio a alta presión.	5
Figura 6. Partes básicas de la lámpara de vapor de sodio a baja presión.	5
Figura 7. Clasificación de la CIE para luminarias según la distribución del flujo luminoso.	6
Figura 8. Curvas del porcentaje de depreciación por suciedad según el periodo de mantenimiento [IES_81].	15
Figura 9. Distribución de las cavidades en el local.	19
Figura 10. Ubicación de las luminarias sobre el plano utilizado por el método básico de la CIE [CIE_78].	26
Figura 11. Ubicación de las luminarias sobre el plano utilizado por el método básico de la CIE [CIE_78].	29
Figura 12. Componentes de la iluminancia en un punto.	34
Figura 13. Componentes de la iluminancia en un punto debido a una fuente lineal [Weigel_66].	35
Figura 14. Carta para localizar los puntos en el plano de trabajo del local [Westinghouse_00].	36
Figura 15. Presentación principal de APOLUX: Interiores.	42
Figura 16. Ventana para interiores.....	43
Figura 17. Ventana para local de forma regular.....	44
Figura 18. Ventana para local de forma irregular.....	45
Figura 19. Datos adicionales para local de forma irregular.....	46
Figura 20. Gráfica del local.	46
Figura 21. Reflectancias de las cavidades del local.....	47
Figura 22. Factores de pérdidas en interiores.	48

Figura 23. Ventana de resultados para interiores.	49
Figura 24. Ventana de resultados gráficos para interiores.....	51
Figura 25. Matriz de iluminancias (11x11) en luxes para interiores.	51
Figura 26. Ventana para redistribución de luminarias.....	51
Figura 27. Presentación principal de APOLUX: Polideportivos.....	52
Figura 28. Ventana para polideportivos.	53
Figura 29. Dirección del rayo principal por luminarias en polideportivos	54
Figura 30. Datos de entrada: disposición lateral doble.	55
Figura 31. Datos de entrada: disposición esquinas.	55
Figura 32. Datos de entrada: disposición alternada.....	56
Figura 33. Datos de entrada: disposición lateral sencillo.	56
Figura 34. Ventana de resultados para polideportivos.....	57
Figura 35. Matriz de iluminancias (11x11) en luxes para polideportivos.....	58
Figura 36. Ventana de resultados gráficos para polideportivos.	59
Figura 37. Presentación principal de APOLUX: Vías.....	60
Figura 38. Ventana para vías.....	61
Figura 39. Disposiciones disponibles para el cálculo luminotécnico en vías. 62	
Figura 40. Ventana general de resultados para vías.	63
Figura 41. Ventana de ayuda para la interpretación de resultados en vías. .	64
Figura 42. Ventana de resultados numéricos en vías.....	65
Figura 43. Ventana de resultados gráficos en vías.	65
Figura 44. Ventana para modificar interdistancia en vías.	66
Figura 45. Ventana general de la base de datos.	67
Figura 46. Ventana para crear una nueva luminaria.	69
Figura 47. Ventana para introducir la matriz fotométrica para lámparas genéricas.	70
Figura 48. Ventana para introducir la matriz fotométrica para lámparas de alumbrado público.....	71
Figura 49. Ventana para editar luminarias.	72

Figura 50. Mensaje de advertencia para eliminar luminarias..... 73

Figura A.1. Pantalla principal de Matlab versión 7.0. 83

Figura B.1. Ubicación de las luminarias según el método de la cavidad zonal.
..... 89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de iluminación recomendados por el RETIE para interiores [RETIE_04].	9
Tabla 2. Niveles de iluminación recomendados por la ESSA para escenarios deportivos [ESSA_05].	11
Tabla 3. Niveles de iluminación recomendados por la NTC 900 para vías [NTC900_98].	12
Tabla 4. Constantes de depreciación de la luminaria por suciedad [IES_81].	14
Tabla 5. Categorías de mantenimiento de las luminarias [IES_81].	14
Tabla 6. Factores de depreciación por suciedad en las superficies del local [IES_81].	16
Tabla 7. Valores de reflexión para algunos materiales y acabados [Martínez_89].	18
Tabla 8. Multiplicadores zonales de radio directo para lámparas fluorescentes [IES_81].	23
Tabla 9. Multiplicadores zonales de radio directo para incandescentes y H.I.D [IES_81].	23
Tabla 10. Multiplicadores de posición del local [Martínez_89].	37
Tabla 11. Convenciones empleadas en la ventana de resultados para interiores	49
Tabla 12. Convenciones empleadas en la ventana de resultados para polideportivos.	57
Tabla 13. Convenciones empleadas en la ventana de diseño para vías.	62
Tabla 14. Convenciones empleadas en la ventana de resultados para vías.	63
Tabla 15. Convenciones empleadas en la base de datos.	68

INTRODUCCIÓN

Dada la importancia de proporcionar los niveles de iluminación adecuados en los diferentes ambientes de trabajo, de deporte o recreación y a la tediosa tarea de hacer los cálculos respectivos de forma manual, se hace necesario contar con un soporte informático que permita analizar, comparar y escoger las mejores alternativas de lámparas y luminarias existentes en el mercado.

Adicional a lo anterior, en la actualidad existen múltiples paquetes informáticos que realizan cálculos luminotécnicos, sin embargo, se ven limitados a la escogencia de una luminaria o de una lámpara en particular, elevado en muchos casos, los costos del diseño por ser de propiedad exclusiva de la empresa fabricante.

Este trabajo tiene un valor agregado sumamente importante y es el desligue de las marcas o de los fabricantes de las luminarias, pues sólo se necesita la matriz fotométrica para los cálculos respectivos. La elaboración de un soporte informático llamado APOLUX para el cálculo de los parámetros luminotécnicos en interiores y exteriores, contribuye además con la formación integral del estudiante de ingeniería eléctrica que curse o haya cursado la materia iluminación e instalaciones eléctricas, y por que no del ingeniero electricista.

La organización de este documento se presenta a continuación. En el capítulo 1 se describen los conceptos básicos o mínimos necesarios para el entendimiento de la aplicación desarrollada. Se presentan los métodos utilizados actualmente con sus respectivas ecuaciones.

El cálculo luminotécnico de interiores es presentado en el capítulo 2 y es exclusivo del manejo de APOLUX. De igual forma se presenta el cálculo de polideportivos y vías en los capítulos 3 y 4 respectivamente.

En el capítulo 5 se describe la base de datos implementada, sus características y la forma de manipular los datos.

Finalmente en el capítulo 6 se presentan las conclusiones y recomendaciones más sobresalientes del trabajo realizado.

1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo expone de forma general los tipos de lámparas, las luminarias, las características luminotécnicas y los niveles de iluminación recomendados por la CIE (comisión internacional de iluminación). Así mismo contiene los factores de pérdida que se deben tener en cuenta para el cálculo de iluminancias en interiores y exteriores (polideportivos y vías), los grados de reflexión para ciertos materiales y los métodos de cálculo utilizados en la elaboración del soporte informático APOLUX.

1.1 LÁMPARAS

Actualmente se encuentran clasificadas en dos grupos principales: lámparas incandescentes y lámparas de descarga.

1.1.1 Lámpara incandescente

Este tipo de lámpara produce la luz mediante el calentamiento eléctrico de un filamento, calentándolo hasta una temperatura tan alta que la radiación emitida cae en la región visible del espectro. Las partes principales de este tipo de lámparas se muestran en la Figura 1.

1.1.2 Lámpara de descarga

La luz en la lámpara de descarga se produce por el paso de la corriente eléctrica a través de los electrodos, los cuales, al calentarse liberan electrones que viajan a altas velocidades, estableciendo una descarga eléctrica o arco dentro de un gas circundante. Las lámparas de descarga se

pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que estas se encuentran (alta o baja presión).

Las principales representantes de este tipo de lámparas son las fluorescentes (mercurio y fósforo a baja presión. Figura 2), las de vapor de mercurio a alta presión (Figura 3), las de halogenuros metálicos (Figura 4) y las de vapor de sodio a alta (Figura 5) y a baja presión (Figura 6).

Figura 1. Partes básicas de la lámpara incandescente.

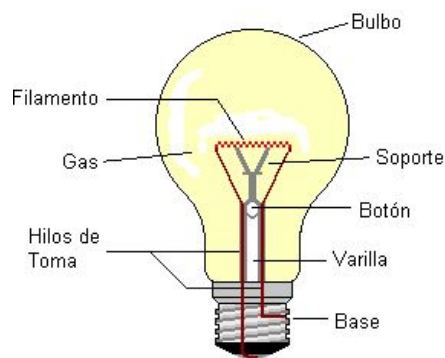


Figura 2. Partes básicas de la lámpara fluorescente.

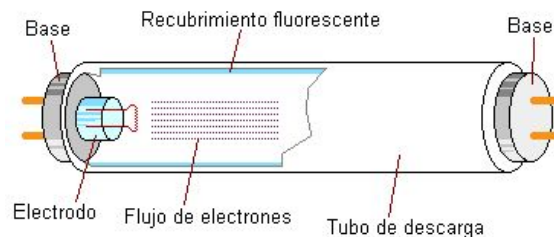


Figura 3. Partes básicas de la lámpara de mercurio a alta presión.

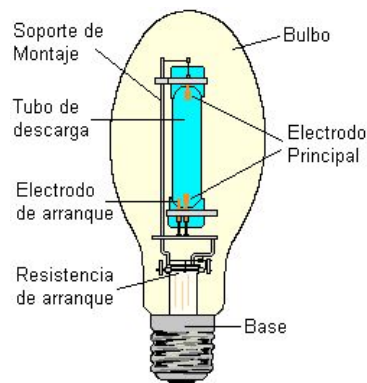


Figura 4. Partes básicas de la lámpara con halogenuros metálicos.

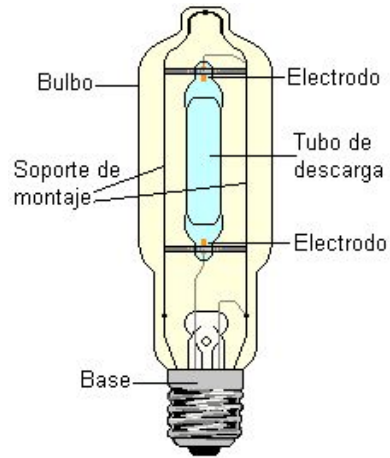


Figura 5. Partes básicas de la lámpara de vapor de sodio a alta presión.

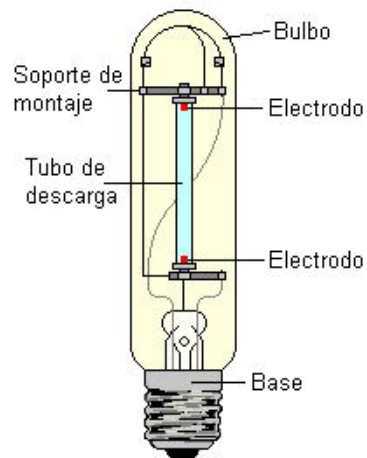
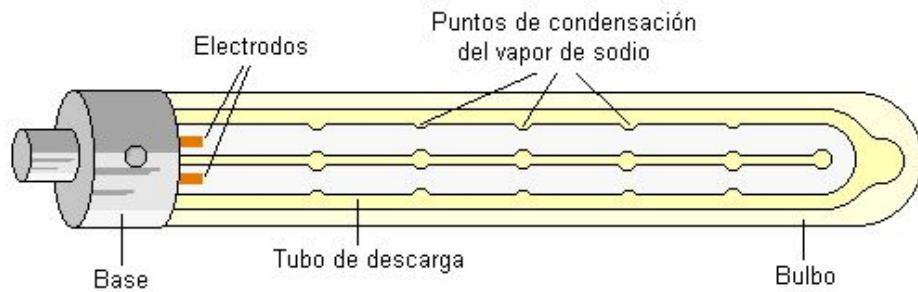


Figura 6. Partes básicas de la lámpara de vapor de sodio a baja presión.



1.2 LUMINARIAS

Las luminarias son aparatos que sirven de soporte y conexión entre la red eléctrica y las lámparas. La forma en que las luminarias distribuyen la luz depende casi exclusivamente de la conformación del espejo o reflector. Por lo tanto a nivel de óptica, la luminaria es la responsable del control y la distribución de la luz emitida por la lámpara.

1.2.1 Clasificación de las luminarias

Las luminarias pueden clasificarse de muchas maneras aunque lo más común es utilizar criterios ópticos, es decir según el porcentaje del flujo luminoso emitido por encima y por debajo del plano horizontal que atraviesa la lámpara. En la Figura 7 se muestra la clasificación de la CIE según la distribución del flujo luminoso [Westinghouse_00].

Figura 7. Clasificación de la CIE para luminarias según la distribución del flujo luminoso.

Directa		Semi-directa	
General difusa		Directa-indirecta	
Semi-directa		Indirecta	

1.3 CARACTERÍSTICAS LUMINOTÉCNICAS

Los cálculos luminotécnicos se realizan teniendo como base la información técnica y lumínica suministrada por los fabricantes de luminarias en forma de tablas y datos tabulados. A continuación se muestran los parámetros que se utilizan en los cálculos de iluminación [Westinghouse_00], [Weigel_66].

1.3.1 Tipo de luminaria

Es la designación dada por los fabricantes en los catálogos para identificar cada luminaria.

1.3.2 Tipo de fuente de luz

Es la referencia que indica el principio de funcionamiento (incandescente o por descarga eléctrica) y el gas de relleno de la lámpara (vacío, mercurio, sodio, halogenuros, etc.).

1.3.3 Potencia y tensión de alimentación

Este tipo de información nos indica la potencia eléctrica que consume la fuente en watts (W) y la tensión de servicio en volts (V) a la cual debe conectarse la lámpara.

1.3.4 Flujo luminoso

Es la energía emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es Φ y su unidad es el Lumen.

1.3.5 Intensidad luminosa

Es la densidad de flujo luminoso dentro de un pequeño ángulo sólido ω en

una dirección determinada. Su símbolo es I y su unidad es la candela (cd).

$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad (1)$$

1.3.6 Iluminación o iluminancia

Densidad de flujo luminoso sobre una superficie dada. Su símbolo es E y su unidad de medida es el Lux (Lux=Lumen/m²).

$$E = \frac{\Phi}{\text{Área}} \quad (2)$$

1.3.7 Luminancia

Es la intensidad luminosa de una superficie en una dirección determinada por unidad de área proyectada de la misma. Se mide en candelas por metro cuadrado (Cd/m² = Nit).

$$L = \frac{I}{\text{Área}_{\text{ proyectada}}} \quad (3)$$

1.3.8 Matriz de intensidades

Es un tabla que en función de los ángulos C (plano vertical de medida) y gama (ángulo de elevación γ) definen los valores de intensidad luminosa que suministra la luminaria en cualquier punto a su alrededor. Los datos de intensidad luminosa generalmente se dan en candelas por 1000 lúmenes.

1.3.9 Niveles de iluminación recomendados

A continuación se presenta la tabla con los niveles de iluminación recomendados por el RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas) para espacios interiores (Tabla 1) [RETIE_04]. De manera similar las Tablas 2 y 3 muestran los niveles de iluminación recomendados por la ESSA (Empresa Electrificadora de Santander S.A. E.S.P.) para escenarios

deportivos [ESSA_05] y los de la NTC 900 (Norma Técnica Colombiana 900) para vías [NTC900_98].

Tabla 1. Niveles de iluminación recomendados por el RETIE para interiores [RETIE_04].

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
	Min.	Medio	Máx.
Áreas generales en las construcciones			
Áreas de circulación, corredores	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	100	150	200
Vestidores, baños.	100	150	200
Almacenes, bodegas.	100	150	200
Talleres de ensamble			
Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada	200	300	500
Trabajo intermedio, ensamble de motores, ensamble de carrocerías de automóviles	300	500	750
Trabajo fino, ensamble de maquinaria electrónica y de oficina	500	750	1000
Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos	1 000	1 500	2 000
Procesos químicos			
Procesos automáticos	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	100	150	200
Áreas generales en el interior de las fábricas	200	300	500
Cuartos de control, laboratorios.	300	500	750
Industria farmacéutica	300	500	750
Inspección	500	750	1 000
Balanceo de colores	750	1 000	1 500
Fabricación de llantas de caucho	300	500	750
Fábricas de confecciones			
Costura	500	750	1000
Inspección	750	1000	1500
Prensado	300	500	750
Industria eléctrica			
Fabricación de cables	200	300	500
Ensamble de aparatos telefónicos	300	500	750
Ensamble de devanados	500	750	1 000
Ensamble de aparatos receptores de radio y TV	750	1 000	1 500
Ensamble de elementos de ultra precisión componentes electrónicos	1 000	1 500	2 000
Industria alimenticia			
Áreas generales de trabajo	200	300	500
Procesos automáticos	150	200	300
Decoración manual, inspección	300	500	750
Fundición			
Pozos de fundición	150	200	300
Moldeado basto, elaboración basta de machos	200	300	500
Moldeo fino, elaboración de machos, inspección	300	500	750
Trabajo en vidrio y cerámica			
Zona de hornos	100	150	200
Recintos de mezcla, moldeo, conformado y estufas	200	300	500
Terminado, esmaltado, envidriado	00	500	750
Pintura y decoración	500	750	1 000

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
	Min.	Medio	Máx.
Afilado, lentes y cristalería, trabajo fino	750	1 000	1 500
Trabajo en hierro y acero			
Plantas de producción que no requieren intervención manual	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	100	150	250
Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción	200	300	500
Plataformas de control o inspección	300	500	750
Industria del cuero			
Áreas generales de trabajo	200	300	500
Preñado, corte, costura y producción de calzado	500	750	1 000
Clasificación, adaptación y control de calidad	750	1 000	1 500
Taller de mecánica y de ajuste			
Trabajo ocasional	150	200	300
Trabajo basto en banca y maquinado, soldadura	200	300	500
Maquinado y trabajo de media precisión en banco, máquinas generalmente automáticas	300	500	750
Maquinado y trabajo fino en banco, máquinas automáticas finas, inspección y ensayos	500	750	1 000
Trabajo muy fino, calibración e inspección de partes pequeñas muy complejas	1 000	1 500	2 000
Talleres de pintura y casetas de rociado			
Inmersión, rociado basto	200	300	500
Pintura ordinaria, rociado y terminado	300	500	750
Pintura fina, rociado y terminado	500	750	1 000
Retoque y balanceo de colores	750	1000	1 500
Fábricas de papel			
Elaboración de papel y cartón	200	300	500
Procesos automáticos	150	200	300
Inspección y clasificación	300	500	750
Trabajos de impresión y encuadernación de libros			
Recintos con máquinas de impresión	300	500	750
Cuartos de composición y lecturas de prueba	500	750	1 000
Pruebas de precisión, retoque y grabado	750	1 000	1 500
Reproducción del color e impresión	1 000	1 500	2 000
Grabado con acero y cobre	1 500	2 000	3 000
Encuadernación	300	500	750
Decoración y estampado	500	750	1 000
Industria textil			
Rompimiento de la paca, cardado, hilado	200	300	500
Giro, embobinamiento, enrollamiento peinado, tintura	300	500	750
Balanceo, rotación (conteos finos) entretejido, tejido	500	750	1 000
Costura, desmoteo, inspección	750	1 000	1 500
Talleres de madera y fábricas de muebles			
Aserraderos	150	200	300
Trabajo en banco y montaje	200	300	500
Maquinado de madera	300	500	750
Terminado e inspección final	500	750	1 000
Oficinas			
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	300	500	750
Oficinas abiertas	500	750	1 000
Oficinas de dibujo	500	750	1 000
Salas de conferencia	300	500	750
Hospitales			

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
	Min.	Medio	Máx.
Salas			
Iluminación general	50	100	150
Examen	200	300	500
Lectura	150	200	300
Circulación nocturna	3	5	10
Salas de examen			
Iluminación general	300	500	750
Inspección local	750	1 000	1 500
Terapia intensiva			
Cabecera de la cama	30	50	100
Observación	200	300	500
Estación de enfermería	200	300	500
Salas de operación			
Iluminación general	500	750	1000
Iluminación local	10 000	30 000	100 000
Salas de autopsia			
Iluminación general	500	750	1 000
Iluminación local	5 000	10 000	15 000
Consultorios			
Iluminación general	300	500	750
Iluminación local	500	750	1 000
Farmacia y laboratorios			
Iluminación general	300	400	750
Iluminación local	500	750	1 000
Almacenes			
Iluminación general:			
En grandes centros comerciales	500	750	
Ubicados en cualquier parte	300	500	
Supermercados	500	750	
Colegios			
Salones de clase			
Iluminación general	300	500	750
Tableros para emplear con tizas	300	500	750
Elaboración de planos	500	750	1 000
Salas de conferencias			
Iluminación general	300	500	750
Tableros	500	750	1 000
Bancos de demostración	500	750	1 000
Laboratorios	300	500	750
Salas de arte	300	500	750
Talleres	300	500	750
Salas de asamblea	150	200	300

Tabla 2. Niveles de iluminación recomendados por la ESSA para escenarios deportivos [ESSA_05].

TIPO DE DEPORTE	ILUMINANCIA HORIZONTAL [lux]	
	Distracción y entretenimiento	Competición
Fútbol	75	200 - 600
Baloncesto	75	400 - 600

TIPO DE DEPORTE	ILUMINANCIA HORIZONTAL [lux]	
	Distracción y entretenimiento	Competición
Voleibol	75	400 - 600
Tenis	200	400 - 600

Tabla 3. Niveles de iluminación recomendados por la NTC 900 para vías [NTC900_98].

TIPO DE VÍA	VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN (V) EN km/h		Luminancia Media (LM) EN cd/m ²	Iluminancia Media en (EM) Luxes
Vía M1	Muy Importante	V > 90	≥ 2	≥ 30
Vía M2	Importante	60 < V < 90	≥ 1,5	≥ 20
Vía M3	Media	30 < V < 60	≥ 1	≥ 15
Vía M4	Reducida	V < 30	≥ 0,75	≥ 10
Vía M5	Muy Reducida	Al paso	≥ 0,5	≥ 7,5

1.4 FACTORES DE PÉRDIDAS DE UNA INSTALACIÓN

Desde el primer momento en que una instalación de alumbrado se pone en funcionamiento, los niveles de iluminación van decreciendo progresivamente, debido a la disminución del flujo luminoso de la lámpara con el tiempo utilización y a la acumulación de suciedad en las luminarias y en las superficies del local. Los valores iniciales de estos niveles de iluminación, se pueden recuperar en gran medida mediante un programa de mantenimiento tanto en las luminarias como en las superficies del local. La pérdida total en una instalación se halla multiplicando todos los factores que se muestran a continuación (siempre y cuando sean aplicables) [Westinghouse_00], [IES_81].

1.4.1 Depreciación de los lúmenes de la lámpara

El flujo luminoso de las lámparas disminuye en forma gradual a medida que transcurre el tiempo, así mismo tienen influencia la calidad de la lámpara, la calidad del balasto y las condiciones de operación. La información sobre esta depreciación se encuentra en tablas y gráficas proporcionadas por los fabricantes.

1.4.2 Mortalidad de las lámparas

Si las lámparas fundidas no son reemplazadas ya sea en forma individual o en grupo, se presentan pérdidas de luz y la iluminación promedio disminuirá en forma proporcional al número de lámparas fuera de servicio. Este factor de pérdidas es la relación entre el número de lámparas en buen estado y el número de lámparas fundidas.

1.4.3 Depreciación por suciedad en las luminarias (LDD)

La acumulación de suciedad en las luminarias proporciona pérdidas en la luz de salida. Este factor se determina por: la categoría de la luminaria, el tipo de ambiente en que trabaja la luminaria y por el periodo de mantenimiento de las luminarias.

$$LDD = e^{-A \cdot t^B} \quad (4)$$

Donde A y B son las constantes que permiten determinar la depreciación por suciedad de la luminaria y están dados por la Tabla 4, t es el tiempo en años en el que se proyecta hacer el mantenimiento. La categoría de la luminaria se determina por datos del fabricante o interpretando la Tabla 5. Se tienen seis categorías para las luminarias y cinco tipos de ambientes según sea el tipo de trabajo que se realice: muy limpio, limpio, medio, sucio y muy sucio.

Tabla 4. Constantes de depreciación de la luminaria por suciedad [IES_81].

Categoría de Mantenimiento	B	A				
		Muy Limpio	Limpio	Medio	Sucio	Muy Sucio
I	0,69	0,038	0,071	0,111	0,162	0,301
II	0,62	0,033	0,068	0,102	0,147	0,188
III	0,70	0,079	0,106	0,143	0,184	0,236
IV	0,72	0,070	0,131	0,216	0,314	0,452
V	0,53	0,078	0,128	0,190	0,249	0,321
VI	0,88	0,076	0,145	0,218	0,284	0,396

Tabla 5. Categorías de mantenimiento de las luminarias [IES_81].

Categoría de Mantenimiento	Parte Superior	Parte Inferior
I	Nada.	Nada.
II	Nada. Transparente con 15% o más de luz hacia arriba a través de las aberturas. Translúcido con 15% o más de luz hacia arriba a través de las aberturas. Opaco con 15% o más de luz hacia arriba a través de las aberturas	Nada. Rejillas o Reflectores.
III	Transparente con menos del 15% de luz hacia arriba a través de las aberturas. Translúcido con menos del 15% de luz hacia arriba a través de las aberturas. Opaco con menos del 15% de luz hacia arriba a través de las aberturas.	Nada. Rejillas o Reflectores
IV	Transparente sin aberturas. Translúcido sin aberturas. Opaco sin aberturas	Nada. Rejillas
V	Transparente sin aberturas. Translúcido sin aberturas. Opaco sin aberturas	Transparente sin aberturas. Translúcido sin aberturas.
VI	Nada. Transparente sin aberturas. Translúcido sin aberturas. Opaco sin aberturas.	Transparente sin aberturas. Translúcido sin aberturas. Opaco sin aberturas.

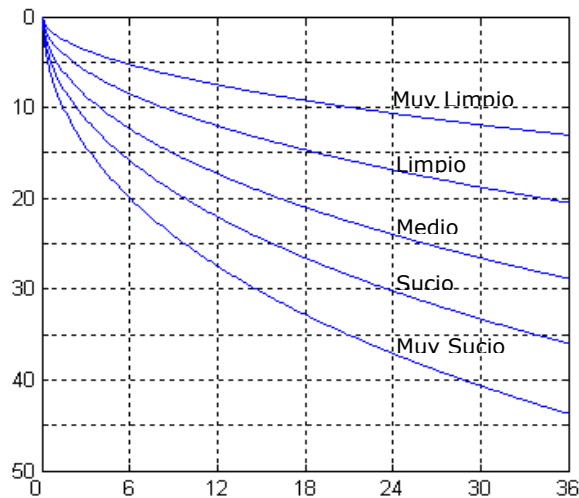
1.4.4 Depreciación por deterioro de las luminarias

Así se realice una buena limpieza, los materiales refractantes y transmisores se van deteriorando produciendo una disminución gradual del flujo de salida de las luminarias. Por consiguiente, al escoger los materiales se debe tener en cuenta la relación beneficio–costo, tomando como parámetros los precios de los materiales y la vida media de las lámparas.

1.4.5 Depreciación por suciedad en la superficie del local

Es el factor que mide cuánto se reduce la cantidad de luz reflejada debido a la suciedad que se acumula en el techo y las paredes del local. En cálculos de iluminación éste factor dependerá de las dimensiones del local y la distribución luminosa de las luminarias. Tendrá mayor importancia en locales pequeños o en donde haya luminarias con una gran componente directa.

Figura 8. Curvas del porcentaje de depreciación por suciedad según el periodo de mantenimiento [IES_81].



El cálculo de este factor se hace mediante la utilización de la Figura 8, la cual suministra el porcentaje de la depreciación esperado (eje vertical de la Figura 8) dependiendo del grado de suciedad y del número de meses (eje horizontal

de la Figura 8) en que se proyecta el periodo de mantenimiento. Una vez conocido este porcentaje y la relación de cavidad del local, se extrae de la Tabla 6 el valor del factor de depreciación por suciedad en la superficie del local.

1.4.6 Depreciación por envejecimiento de las superficies del local

Con el paso del tiempo se presenta disminución en las reflectancias de las superficies del local debido al deterioro de las mismas. Este factor se puede recuperar en gran medida con un programa de repintado y mantenimiento de las superficies del local.

Tabla 6. Factores de depreciación por suciedad en las superficies del local [IES_81].

	Directa	Semi-Directa	Directa Indirecta	Semi-indirecta	Indirecta																				
RCR	% esperado					% esperado					% esperado					% esperado					% esperado				
	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
0	,99	,97	,95	,93	,91	,97	,93	,90	,85	,82	,94	,87	,81	,77	,70	,94	,87	,81	,74	,68	,90	,81	,71	,61	,52
1	,98	,96	,94	,92	,90	,97	,92	,89	,84	,80	,94	,87	,80	,76	,69	,94	,87	,80	,73	,66	,90	,80	,70	,60	,50
2	,98	,96	,94	,92	,90	,96	,92	,88	,83	,79	,94	,87	,80	,75	,68	,94	,87	,79	,72	,65	,90	,80	,69	,59	,49
3	,98	,95	,93	,90	,88	,96	,91	,87	,82	,78	,94	,86	,79	,74	,66	,94	,86	,78	,71	,64	,90	,79	,68	,58	,47
4	,97	,95	,92	,90	,87	,95	,90	,85	,80	,75	,94	,86	,79	,73	,66	,94	,86	,78	,70	,63	,89	,78	,67	,56	,45
5	,97	,94	,91	,89	,86	,94	,90	,84	,79	,74	,93	,86	,78	,72	,65	,93	,86	,77	,69	,62	,89	,78	,66	,55	,44
6	,97	,94	,91	,88	,85	,94	,89	,83	,78	,72	,93	,85	,78	,71	,64	,93	,85	,76	,68	,60	,89	,77	,66	,54	,43
7	,97	,94	,90	,87	,84	,93	,88	,82	,77	,71	,93	,84	,77	,70	,62	,93	,84	,76	,68	,60	,89	,76	,65	,53	,41
8	,96	,93	,89	,86	,82	,93	,87	,81	,75	,69	,93	,84	,76	,69	,61	,93	,84	,76	,68	,60	,88	,76	,64	,52	,40
9	,96	,92	,88	,85	,81	,93	,87	,80	,74	,67	,93	,84	,76	,68	,60	,93	,84	,75	,67	,59	,88	,75	,63	,51	,39
10	,96	,92	,87	,83	,79	,93	,86	,79	,72	,65	,93	,84	,75	,67	,59	,92	,83	,75	,67	,59	,88	,75	,62	,50	,37

1.4.7 Depreciación por funcionamiento de la reactancia

Debido al funcionamiento de la reactancia se van a tener pérdidas en el flujo luminoso de salida de las lámparas, según la CBM (*Certified Ballast Manufactures Association*) para lámparas fluorescentes se requieren reactancias que hagan trabajar las lámparas al 95% de la emisión luminosa. Para reactancias con el rótulo CBM, este valor se toma igual a 0,95, para reactancias sin dicho rótulo la emisión luminosa es más baja. Para las reactancias de las lámparas de vapor de mercurio este factor de pérdidas

debe consultarse con el fabricante [Martínez_89].

1.4.8 Depreciación por tensión de alimentación de las luminarias

Normalmente las lámparas no trabajan a su tensión nominal debido a que la tensión de alimentación es difícil de predecir. En las lámparas de filamento se asume que la variación de cada 1% en la tensión, reduce un 3% la emisión luminosa de la lámpara. Las reactancias de alto valor para las lámparas de mercurio, originan una reducción del 3% en la emisión luminosa por cada 1% de variación en la tensión nominal de la reactancia. Para lámparas fluorescentes se tiene una variación del 1% en la emisión luminosa por cada 2,5% de variación en la tensión primaria. En las reactancias de salida regulada (potencia constante) la emisión luminosa de la lámpara es independiente de la tensión primaria [Martínez_89].

1.4.9 Temperatura ambiente de la luminaria

Para máxima eficacia luminosa, se deben elegir lámparas que trabajen a la temperatura ambiente que especifican los catálogos de los fabricantes. Generalmente es más considerable la caída de la emisión luminosa debido al efecto de la temperatura en las luminarias ubicadas en interiores. Cada combinación luminaria – lámpara tiene su propia característica distintiva de emisión luminosa vs. temperatura ambiente, con la cual se puede calcular la depreciación por temperatura.

1.4.10 Luminarias con intercambio de calor

Cuando la luminaria tiene doble finalidad, la de suministrar iluminación y la de actuar como retorno para el sistema de aire acondicionado, la eficacia luminosa de la lámpara puede incrementarse hasta un 20%, este incremento dependerá de la temperatura del ambiente de trabajo y de la cantidad de aire

que pase a través de las lámparas.

1.5 REFLECTANCIAS DE TECHOS, PAREDES Y PISOS

En espacios interiores de altura normal (aproximadamente 3 metros), la reflectancia de techo debe ser tan alta como sea posible ($\geq 0,7$), sobre todo si se emplean luminarias empotradas, para evitar el riesgo por deslumbramiento directo o por deslumbramiento reflejado. La reflectancia de las paredes debe mantenerse entre 0,3 y 0,8. La reflectancia del piso debe estar comprendida entre 0,2 y 0,4. Se recomienda utilizar pinturas y pisos de color claro para aumentar las inter-reflexiones y en consecuencia los niveles de iluminación sobre el plano de trabajo. Los rangos de valores que se encuentran en la Tabla 7, proporcionan una idea de los grados de reflexión que se deben considerar para algunos materiales y acabados [Martínez_89].

Tabla 7. Valores de reflexión para algunos materiales y acabados [Martínez_89].

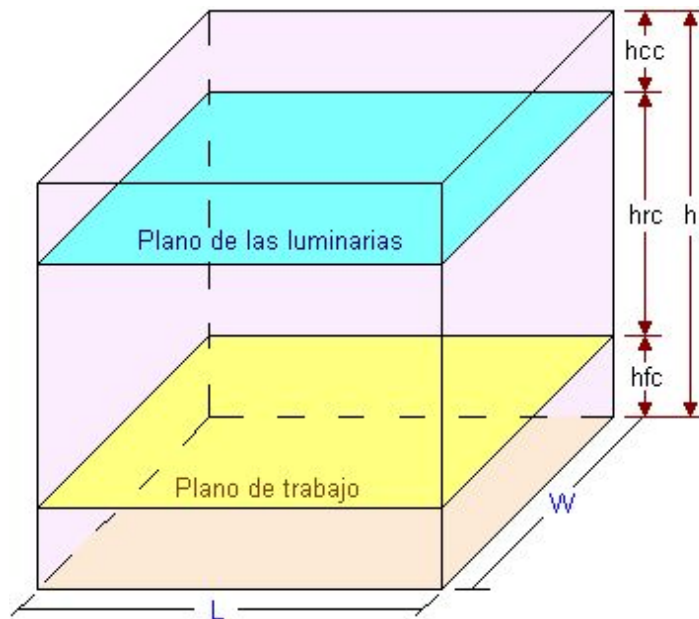
MATERIAL	GRADO DE REFLEXIÓN
Pintura blanca de aceite o revestimiento de pared blanco	0,70 a 0,85
Revestimiento de pared amarillo	0,50 a 0,70
Revestimiento de pared gris o marrón	0,25 a 0,50
Revestimiento de pared verde o azul	0,15 a 0,45
Aluminio puro	0,85 a 0,90
Aluminio puro pulido	0,65 a 0,75
Aluminio puro mate	0,55 a 0,60
Cromo brillante	0,60 a 0,70
Latón pulido	0,50 a 0,60
Níquel pulido, acero pulido	0,55 a 0,60
Hojalata	0,65 a 0,70
Espejo plano plateado	0,90 a 0,94
Pavimento de asfalto	0,05 a 0,15
Pavimento de hormigón	0,20 a 0,30
Mortero claro	0,40 a 0,50
Ladrillo amarillo	0,35 a 0,40
Ladrillo rojo	0,15 a 0,25
Placas de madera clara	0,40 a 0,50
Azulejos blancos, porcelana blanca	0,60 a 0,80
Laca blanca	0,75 a 0,85
Óxido de magnesio	0,93 a 0,97
Papel de dibujo blanco	0,70 a 0,75
Terciopelo negro	0,02 a 0,04

MATERIAL	GRADO DE REFLEXIÓN
Aluminio procesado	0,75 a 0,95
Mármol blanco	0,50 a 0,75
Piedra caliza	0,50 a 0,75
Vidrio	0,01 a 0,30
Terra - cotta (color brillante)	0,50 a 0,30

1.6 MÉTODO DE LA CAVIDAD ZONAL

La teoría básica de este método para el cálculo de iluminación en interiores, es que la luz producida por una lámpara o luminaria es reflejada por todas las superficies del local para producir la iluminación final sobre una superficie de trabajo. Por lo tanto el objetivo de este método es calcular el valor medio de la iluminancia en un local iluminado con alumbrado general [IES_81], [Westinghouse_00], [Weigel_66].

Figura 9. Distribución de las cavidades en el local.



Este método como su nombre lo sugiere, divide el local en cavidades individuales: la cavidad de techo, la cavidad de local y la cavidad de piso,

separadas como se muestra en la Figura 9. Las relaciones de cavidad de local (RCR), de cavidad de techo (CCR) y de cavidad de piso (FCR) se calculan por medio de la siguiente ecuación:

$$*CR = \frac{5 \cdot h \cdot (L + W)}{W \cdot L} \quad (5)$$

Donde:

W = Ancho del local

L = largo del local

h = h_{RC} para la relación de la cavidad de local, RCR (ver Figura 9)

h = h_{CC} para la relación de la cavidad de techo, CCR (ver Figura 9)

h = h_{FC} para la relación de la cavidad de piso, FCR (ver Figura 9)

También se pueden calcular de la siguiente manera:

$$CCR = RCR \cdot \frac{h_{CC}}{h_{RC}} \quad (6)$$

$$FCR = RCR \cdot \frac{h_{CC}}{h_{RC}} \quad (7)$$

1.6.1 Reflectancias efectivas de cavidad

Proporcionan los medios para convertir la combinación de reflectancias de pared y techo o de pared y piso en una sola reflectancia efectiva de cavidad techo y de cavidad de piso. En los cálculos las reflectancias de techo, pared y piso deben ser los valores iniciales. Para luminarias empotradas, CCR=0, y la reflectancia efectiva de techo es igual a la reflectancia de techo.

La reflectancia efectiva ρ_{eff} , de una cavidad es la relación entre el flujo reflejado y el flujo que entra a la cavidad a través de su abertura y se calcula

utilizando (8). Si se asumen las reflectancias y el flujo que entra de formas perfectamente difusas, es posible calcular las reflectancias efectivas de cavidad usando la teoría de transferencia de flujo [IES_81]. El cálculo de estas reflectancias se hace teniendo en cuenta que cada cavidad esta conformada por cuatro paredes, y que cada una tiene una reflectancia de pared ρ_w y una reflectancia base ρ_B de techo o piso.

$$\rho_{eff} = \frac{A_B}{A_w} \cdot \rho_w \cdot (1-F)^2 \cdot \frac{(1 + \rho_B \cdot F)^2}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot A_B}{A_w} \cdot (1-F)\right) \cdot \rho_w - \frac{A_B}{A_w} \cdot (1-F)^2 \cdot \rho_w \cdot \rho_B} + F^2 \cdot \rho_B \quad (8)$$

Donde:

A_B , A_w son las áreas de la cavidad base y de las paredes respectivamente
 ρ_B , ρ_w son la reflectancia de la cavidad base y de pared respectivamente
 F = factor de intercambio entre la cavidad abierta y la cavidad base

$$F = \frac{2}{\pi \cdot x \cdot y} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \ln \left[\frac{(1+x^2) \cdot (1+y^2)}{1+x^2+y^2} \right]^{1/2} + y \cdot (1+x^2) \cdot \tan^{-1} \left[\frac{y}{(1+x^2)^{1/2}} \right] + \\ x \cdot (1+y^2) \cdot \tan^{-1} \left[\frac{x}{(1+y^2)^{1/2}} \right] - y \cdot \tan^{-1}(y) - x \cdot \tan^{-1}(x) \end{array} \right\} \quad (9)$$

Donde:

x = largo de la cavidad / altura de la cavidad

y = ancho de la cavidad / altura de la cavidad

los arco tangentes son expresados en radianes.

1.6.2 Cálculo de los coeficientes de utilización

Para el cálculo de estos coeficientes se siguen los pasos que sugiere la IES (*International Electrical Society*) [IES_81]:

Se divide la curva de distribución luminosa de la luminaria en 18 zonas de ángulos sólidos cónicos de 10° desde cero hasta 180° en la luminaria, N es igual al índice de la zona, $1 \leq N \leq 18$.

Se determina el flujo Φ_N (lúmenes) en las diferentes zonas mediante la siguiente expresión:

$$\phi = 2 \cdot \pi \cdot I \cdot (\cos \theta_2 - \cos \theta_1) \quad (10)$$

Siendo I la intensidad en la zona media en candelas.

Se halla el flujo que contribuye tanto a la parte inferior como en la superior utilizando (11) y (12) respectivamente.

$$\phi_D = \frac{1}{\phi_T} \cdot \sum_{N=1}^9 \phi_N \quad (11) \quad ; \text{ flujo hacia abajo}$$

$$\phi_U = \frac{1}{\phi_T} \cdot \sum_{N=10}^{18} \phi_N \quad (12) \quad ; \text{ flujo hacia arriba}$$

Donde ϕ_T es el flujo total en lúmenes de la lámpara en la luminaria.

Se halla la relación directa DM (13), que es la fracción del flujo de la luminaria bajo la horizontal, que es directamente incidente en el plano de trabajo.

$$D_M = \frac{1}{\phi_D \cdot \phi_T} \cdot \sum_{N=1}^9 (K_{MN} \cdot \phi_N) \quad (13)$$

Donde K_{MN} son los multiplicadores zonales de radio directo que aparecen en la Tablas 8 y 9.

Tabla 8. Multiplicadores zonales de radio directo para lámparas fluorescentes [IES_81].

Multiplicadores Zonales Lámparas Fluorescentes										
Zona (N)	RCR									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,98	0,92	0,89	0,85	0,81	0,79	0,76	0,73	0,70	0,66
3	0,94	0,89	0,84	0,78	0,73	0,68	0,64	0,59	0,53	0,48
4	0,91	0,82	0,72	0,64	0,56	0,50	0,43	0,36	0,30	0,25
5	0,88	0,78	0,67	0,57	0,47	0,38	0,28	0,19	0,11	0,06
6	0,83	0,67	0,53	0,39	0,28	0,16	0,09	0,04	0,01	0,00
7	0,77	0,53	0,35	0,21	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,60	0,22	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabla 9. Multiplicadores zonales de radio directo para incandescentes y H.I.D [IES_81].

Multiplicadores Zonales Lámparas Incandescentes & H.I.D.										
Zona (N)	RCR									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,90	0,88	0,86	0,85	0,83
3	0,96	0,93	0,90	0,87	0,83	0,80	0,76	0,73	0,68	0,66
4	0,91	0,82	0,72	0,63	0,54	0,46	0,38	0,30	0,23	0,15
5	0,88	0,77	0,65	0,55	0,46	0,36	0,27	0,18	0,10	0,03
6	0,83	0,67	0,52	0,39	0,28	0,16	0,05	0,02	0,00	0,00
7	0,76	0,52	0,32	0,17	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,58	0,21	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Se determinan los parámetros C_1 , C_2 , C_3 y C_0 utilizando de (14) a (17).

$$C_1 = \frac{(1 - \rho_1) \cdot (1 - f_{2-3}^2) \cdot RCR}{2,5 \cdot \rho_1 \cdot (1 - f_{2-3}^2) + RCR \cdot f_{2-3} \cdot (1 - \rho_1)} \quad (14)$$

$$C_2 = \frac{(1 - \rho_2) \cdot (1 + f_{2-3})}{1 + \rho_2 \cdot f_{2-3}} \quad (15)$$

$$C_3 = \frac{0,8 \cdot (1 + f_{2-3})}{1 + \rho_3 \cdot f_{2-3}} \quad (16)$$

$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3 \quad (17)$$

Donde:

ρ_1 = Reflectancia promedio de pared

ρ_2 = Reflectancia efectiva de la cavidad de techo

ρ_3 = Reflectancia efectiva de la cavidad de techo

f_{2-3} = Factor de forma dado por la siguiente ecuación:

$$f_{2-3} = 0,026 + 0,503 \cdot \exp(-0,270 \cdot RCR) + 0,47 \cdot \exp(-0,119 \cdot RCR) \quad (18)$$

Con las ecuaciones anteriores se calculan los siguientes coeficientes:

$$CU = \frac{2,5 \cdot \rho_1 \cdot C_1 \cdot C_3 \cdot (1 - D_M) \cdot \Phi_D}{RCR \cdot (1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_3) \cdot C_0} + \frac{\rho_2 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \Phi_U}{(1 - \rho_2) \cdot (1 - \rho_3) \cdot C_0} + \left(1 - \frac{\rho_3 \cdot C_3 \cdot (C_1 + C_2)}{(1 - \rho_3) \cdot C_0} \right) \cdot \frac{D_M \cdot \Phi_D}{(1 - \rho_3)} \quad (19)$$

$$WLC = \frac{2,5}{RCR} \left\{ \begin{array}{l} \frac{\rho_1 \cdot (1 - D_M) \cdot \Phi_D}{(1 - \rho_1)} \\ \left[1 - \frac{2,5 \cdot \rho_1 \cdot C_1 \cdot (C_2 + C_3)}{RCR \cdot (1 - \rho_1) \cdot C_0} \right] + \\ \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \Phi_D}{(1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_2) \cdot C_0} + \\ \frac{\rho_1 \cdot \rho_3 \cdot C_1 \cdot C_3 \cdot D_M \cdot \Phi_D}{(1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_3) \cdot C_0} \end{array} \right\} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
CCLC = & \frac{2,5 \cdot \rho_1 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot (1 - D_M) \cdot \Phi_D}{RCR \cdot (1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_2) \cdot C_0} + \\
& \frac{\rho_2 \cdot \Phi_U}{(1 - \rho_2)} \cdot \left(1 - \frac{\rho_2 \cdot C_2 \cdot (C_1 + C_3)}{(1 - \rho_2) \cdot C_0} \right) + \\
& \frac{\rho_2 \cdot \rho_3 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot D_M \cdot \Phi_D}{(1 - \rho_2) \cdot (1 - \rho_3) \cdot C_0}
\end{aligned} \tag{21}$$

$$WDRC = \frac{2,5 \cdot \Phi_D \cdot (1 - D_M)}{RCR} \tag{22}$$

Donde:

CU = Coeficiente de utilización

WLC = Coeficiente de iluminancia de la pared

CCLC = Coeficiente de luminancia de la cavidad de techo

WDRC = Coeficiente de radiación directa de la pared

Hay que tener presente que algunos de estos parámetros se utilizarán en cálculos posteriores.

1.6.3 Cálculo del nivel de iluminación

Con la emisión luminosa de cada lámpara (dato suministrado por el fabricante), el número de lámparas instaladas, el área en metros cuadrados del local y las pérdidas totales de la instalación (ver numeral 1.4), se calcula el nivel de iluminación promedio E_m de la instalación en Luxes.

$$E_m = \frac{(\text{Lámparas por luminaria}) \cdot (\text{Lúmenes por lámpara}) \cdot CU \cdot (\text{Factor total de pérdidas})}{\text{Área}} \tag{23}$$

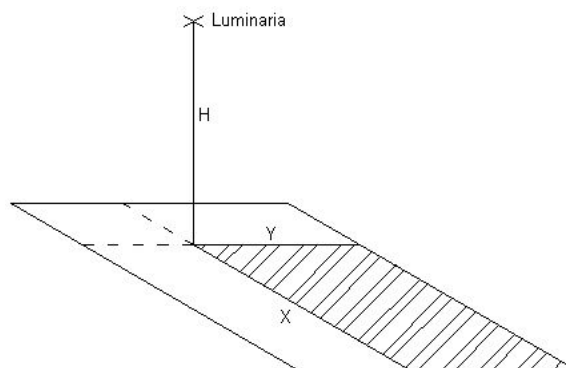
1.7 MÉTODO BÁSICO DE LA CIE

Este método de cálculo de iluminancias para interiores es aplicable a luminarias con una distribución luminosa cualquiera y además se puede emplear cuando el emplazamiento de las luminarias sea regular o irregular [CIE_78].

1.7.1 Flujo directo incidente en el plano de trabajo

Para determinar el flujo que incide directamente en el plano de trabajo F4, se supone que el flujo emitido por las luminarias es un cono que tiene como eje, el eje de revolución de las luminarias. Se puede representar como una función del ángulo sólido, por un polinomio de cuarto grado sin término constante. Para una luminaria dada, los coeficientes del polinomio se determinan a partir de los valores reales del flujo emitido por la luminaria en cuatro zonas de revolución con ángulos sólidos iguales a $\pi/2$, π , $3\pi/2$ y 2π . Estos cuatro valores acumulados del flujo emitido (FC1, FC2, FC3 y FC4), caracterizan la emisión de la luminaria en el hemisferio inferior.

Figura 10. Ubicación de las luminarias sobre el plano utilizado por el método básico de la CIE [CIE_78].



Si un manantial puntual simétrico se sitúa en la vertical levantada en una de las esquinas de un rectángulo, el flujo F_u (24), recibido por este rectángulo,

es una función lineal de los flujos FC1, FC2, FC3 y FC4. Los factores de peso GM1, GM2, GM3 y GM4 (multiplicadores geométricos), son a su vez funciones de las razones X/H e Y/H de las longitudes de cada uno de los lados del rectángulo a la altura de montaje H (Figura 10).

$$F_u = GM \cdot FC$$

$$F_u = FC1 \cdot \sum_1^4 GM1 + FC2 \cdot \sum_1^4 GM2 + FC3 \cdot \sum_1^4 GM3 + FC4 \cdot \sum_1^4 GM4 \quad (24)$$

FC (25), es el vector columna que contiene los flujos acumulados FC1, FC2, FC3 y FC4, y GM es el vector fila que contiene la suma de los multiplicadores geométricos para cada uno de los lados del rectángulo en función de los factores Y₁ (27), Y₂ (28), Y₃ (29) y Y₄ (30).

$$FC = \begin{bmatrix} FC1 \\ FC2 \\ FC3 \\ FC4 \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$GM' = [Y_1 \ Y_2 \ Y_3 \ Y_4] \cdot D \cdot S^{-1} \quad (26)$$

La ecuación (26) permite hallar los multiplicadores geométricos para cada uno de los lados del rectángulo. La matriz cuadrada D·S⁻¹ (31) es un factor constante que resulta de la demostración matemática que aparece en la referencia [CIE_78].

$$Y_1 = \tan^{-1} \left(\frac{x \cdot y}{(1 + x^2 + y^2)^{1/2}} \right) \quad (27)$$

$$Y_2 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{x}{(1 + x^2)^{1/2}} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{y}{(1 + x^2)^{1/2}} \right) + \frac{y}{(1 + y^2)^{1/2}} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{x}{(1 + y^2)^{1/2}} \right) \right\} \quad (28)$$

$$Y_3 = \frac{1}{3} \left\{ Y_1 + \left(\frac{1}{1+x^2} + \frac{1}{1+y^2} \right) \cdot \frac{x \cdot y}{(1+x^2+y^2)^{1/2}} \right\} \quad (29)$$

$$Y_4 = \frac{1}{4} \left\{ \begin{aligned} &2 \cdot Y_2 + \frac{x}{2 \cdot (1+x^2)^{3/2}} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{y}{(1+x^2)^{1/2}} \right) + \frac{y}{2 \cdot (1+y^2)^{3/2}} \cdot \\ &\tan^{-1} \left(\frac{x}{(1+y^2)^{1/2}} \right) + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{1+x^2} + \frac{1}{1+y^2} \right) \cdot \frac{x \cdot y}{(1+x^2+y^2)^{1/2}} \end{aligned} \right\} \quad (30)$$

$$D \cdot S^{-1} = \frac{1}{6 \cdot \pi} \cdot \begin{bmatrix} -16 & 36 & -48 & 25 \\ 224 & -456 & 416 & -140 \\ -672 & 1152 & -864 & 240 \\ 512 & -768 & 512 & -128 \end{bmatrix} \quad (31)$$

$x = X/H$ (Figura 10)

$y = Y/H$ (Figura 10)

$H =$ Distancia del plano de trabajo al plano de la luminaria.

De acuerdo a lo anterior, el flujo total directo incidente sobre el plano de trabajo es la suma de los flujos parciales F_u calculados para cada luminaria.

$$F_4 = \sum F_u \quad (32)$$

1.7.2 Inter-reflexiones

Las inter-reflexiones R_M se calculan suponiendo que la iluminancia total (iluminancia directa incrementada por la iluminancia reflejada) se distribuye de un modo uniforme por todo el friso, las paredes y el plano de trabajo respectivamente. En estas condiciones y para las dimensiones habituales de los locales (Figura 11), las inter-reflexiones prácticamente sólo dependen del factor de suspensión de las luminarias J (33) y del índice del local K (34).

$$J = \frac{H^2}{H^2 + H^3} \quad (33)$$

$$K = \frac{L \cdot W}{H_3 \cdot (L+W)} \quad (34)$$

Donde:

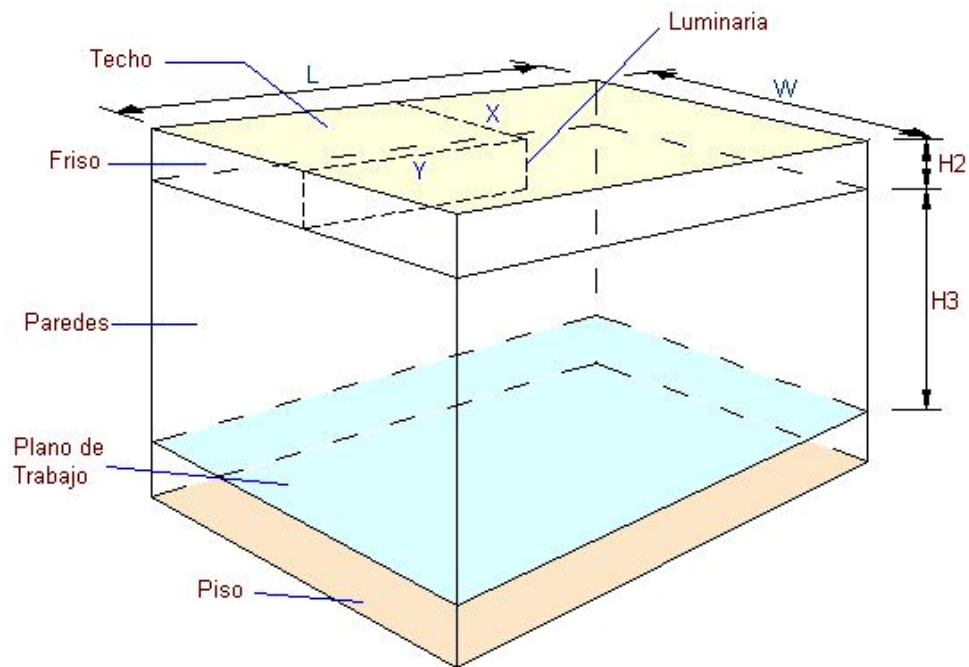
L = Largo de local

W = Ancho del local

H2 = Altura del friso (Figura 11) (Altura desde el techo al plano de las luminarias)

H3 = Distancia entre el plano de las luminarias y el plano de trabajo

Figura 11. Ubicación de las luminarias sobre el plano utilizado por el método básico de la CIE [CIE_78].



La demostración matemática para la siguiente ecuación se encuentra en la referencia [CIE_78].

$$MR = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \left[C - \frac{g \cdot R}{L \cdot W} \right] \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (35)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2 \cdot J}{(1-J) \cdot K} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2}{K} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$g = \begin{bmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} & g_{14} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} & g_{24} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{42} & g_{43} & g_{44} \end{bmatrix} \quad (37)$$

$$R = \begin{bmatrix} \rho_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \rho_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \rho_4 \end{bmatrix} \quad (38)$$

g = Matriz de coeficientes de intercambio

ρ_1 = Reflectancia del techo

ρ_2 = Reflectancia del friso

ρ_3 = Reflectancia de las paredes

ρ_4 = Reflectancia del plano de trabajo

Cuando se utilizan luminarias empotradas el factor de suspensión J es igual a cero por lo que se tiene la siguiente expresión para MR :

$$MR = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \left[\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{2}{K} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \frac{1}{L \cdot W} \cdot \begin{bmatrix} g_{11} & g_{13} & g_{14} \\ g_{31} & g_{33} & g_{34} \\ g_{41} & g_{43} & g_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \rho_1 & 0 & 0 \\ 0 & \rho_3 & 0 \\ 0 & 0 & \rho_4 \end{bmatrix} \right] \quad (39)$$

Partiendo de lo anterior las inter – reflexiones y en cualquiera de los casos (J

$\neq 0$ o $J = 0$) serán igual a:

$$RM = MR^{-1} \quad (40)$$

1.7.3 Coeficientes de intercambio

Los coeficientes de intercambio g_{ij} entre dos superficies paralelas de un paralelepípedo rectangular de lados L y W que se encuentran separados a una distancia H , están dados por la siguiente expresión:

$$g_{ij} = \frac{2 \cdot L \cdot W}{\pi} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \frac{(L^2 + H^2)^{1/2}}{L} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{W}{(L^2 + H^2)^{1/2}} \right) + \\ \frac{(W^2 + H^2)^{1/2}}{W} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{L}{(W^2 + H^2)^{1/2}} \right) - \\ \frac{H}{L} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{W}{H} \right) - \frac{H}{W} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{L}{H} \right) + \\ \frac{H^2}{2 \cdot L \cdot W} \cdot \ln \left(\frac{(W^2 + H^2) \cdot (L^2 + H^2)}{(L^2 + W^2 + H^2) \cdot H^2} \right) \end{array} \right\} \quad (41)$$

Al introducir el plano de las luminarias como una quinta superficie auxiliar con subíndice 5 se tiene:

$$\begin{aligned}
g_{45} &= g_{ij} && \text{con } H = H3 \\
g_{15} &= g_{ij} && \text{con } H = H2 \\
g_{14} &= g_{41} = g_{ij} && \text{con } H = H2+H3 \\
g_{11} &= g_{44} = 0 \\
g_{12} &= g_{21} = L \cdot W - g_{15} \\
g_{13} &= g_{31} = g_{15} - g_{14} \\
g_{22} &= 2 \cdot \left(\frac{J}{(1-J) \cdot K} \cdot L \cdot W - L \cdot W + g_{15} \right) \\
g_{23} &= g_{32} = L \cdot W + g_{14} - g_{15} - g_{45} \\
g_{24} &= g_{42} = g_{45} - g_{14} \\
g_{33} &= 2 \cdot \left(\frac{L \cdot W}{K} - L \cdot W + g_{45} \right) \\
g_{34} &= g_{43} = L \cdot W - g_{45}
\end{aligned} \tag{42}$$

Con los términos anteriores y para las alturas descritas anteriormente se construye la matriz de coeficientes de intercambio g (37), que se utiliza para el cálculo de las inter – reflexiones.

Cuando el índice de suspensión J es igual a cero algunos coeficientes cambian de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
g_{14} &= g_{41} = g_{ij} && \text{con } H = H3 \\
g_{11} &= g_{44} = 0 \\
g_{13} &= g_{31} = L \cdot W - g_{14} = g_{34} = g_{43} \\
g_{33} &= 2 \cdot \left(\frac{L \cdot W}{K} - L \cdot W + g_{14} \right)
\end{aligned} \tag{43}$$

1.7.4 Cálculo de las iluminancias

Con los factores calculados anteriormente, se calculan las iluminancias medias en luxes sobre el techo y el friso E1 (44), las paredes E2 (45) y el plano de trabajo E4 (46).

$$E1 = RM_{11} \cdot (NM) \cdot F/L \cdot W + RM_{12} \cdot (NM) \cdot FC4/L \cdot W + RM_{13} \cdot F4/L \cdot W \quad (44)$$

$$E3 = RM_{31} \cdot (NM) \cdot F/L \cdot W + RM_{32} \cdot (NM) \cdot FC4/L \cdot W + RM_{33} \cdot F4/L \cdot W \quad (45)$$

$$E4 = RM_{41} \cdot (NM) \cdot F/L \cdot W + RM_{42} \cdot (NM) \cdot FC4/L \cdot W + RM_{43} \cdot F4/L \cdot W \quad (46)$$

Donde:

(NM) = Número de luminarias instaladas

L y W = Dimensiones del local en metros

F = Flujo emitido por una luminaria (flujo superior + flujo inferior)

RM = Coeficientes de la matriz de inter - reflexiones

FC4 = Flujo que incide directamente sobre el plano de trabajo, procedente de todas las luminarias.

1.8 MÉTODO PUNTO A PUNTO

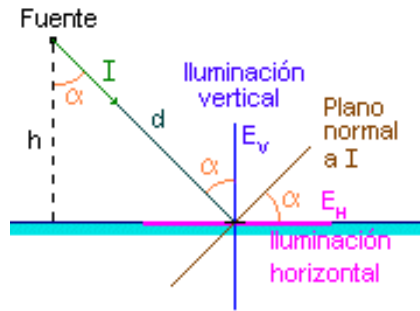
Para el cálculo de la iluminación por este método se deben tener en cuenta dos componentes, la de iluminación directa producida por el flujo que va directamente desde las luminarias a la zona de trabajo y la componente de iluminación reflejada debida al flujo reflejado desde las superficies del local hacia la zona de trabajo para el caso de interiores. En el caso de exteriores (polideportivos y vías) no existe la componente reflejada y las luminarias siempre se consideran como fuentes puntuales. La precisión de este método depende de la cantidad de puntos ubicados dentro del área total de cálculo.

1.8.1 Componente directa

Fuente puntual: se considera una luminaria como fuente puntual si la distancia desde la fuente al punto de cálculo es al menos cinco veces la máxima dimensión de la fuente. En este caso la iluminación en un punto de

una superficie horizontal E_H (47) ó vertical E_V (48) es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia (ley de la inversa de los cuadrados) [Westinghouse_00].

Figura 12. Componentes de la iluminancia en un punto.



$$E_H = \frac{I(\alpha) \cdot \cos(\alpha)}{d^2} = \frac{I(\alpha) \cdot \cos(\alpha)^3}{h^2} \quad (47)$$

$$E_V = \frac{I(\alpha) \cdot \sin(\alpha)}{d^2} = \frac{I(\alpha) \cdot \cos(\alpha)^2 \cdot \sin(\alpha)}{h^2} \quad (48)$$

Donde (Figura 12):

$I(\alpha)$ = Intensidad luminosa de la lámpara en la dirección del punto

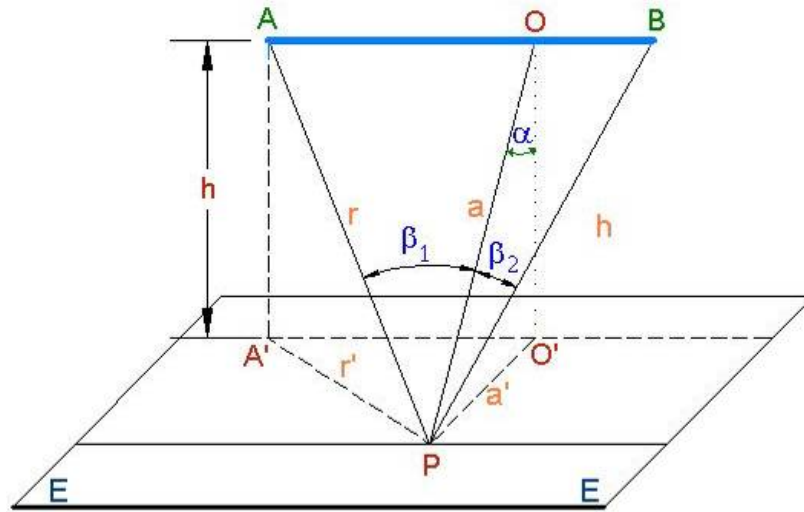
h = Altura de montaje de la luminaria

d = Distancia entre la luminaria y el punto de cálculo.

α = Ángulo formado por el rayo principal y la vertical que pasa por la luminaria

Fuente lineal: En esta época en que la lámpara fluorescente ha encontrado tanta difusión, es imprescindible hacer el cálculo de la iluminación con manantiales luminosos lineales. Se entiende por manantial lineal aquel cuya anchura es muy pequeña en comparación con su longitud y sus elementos dan una distribución luminosa constante y análoga a la del cilindro luminoso [Weigel_66].

Figura 13. Componentes de la iluminancia en un punto debido a una fuente lineal [Weigel_66].



En la Figura 13, AB es el tubo luminoso, paralelo al plano EE a una altura h. El punto iluminado P se encuentra a una distancia OP = a del tubo luminoso y su distancia a la proyección del tubo sobre el plano EE es PO'=a'. El rayo orthogonal OP llega al plano de medición con un ángulo de incidencia α y forma los ángulos β_1 y β_2 con las rectas AP y BP respectivamente. Siendo $I(\alpha)$ la intensidad luminosa de la fuente en la dirección α . La expresión para el cálculo de iluminancias con una fuente puntal es la siguiente:

$$E = \frac{h}{a^2} \cdot I(\alpha) \cdot \left[\frac{\beta_2}{2} + \frac{\sin(2 \cdot \beta_2)}{4} - \left(\frac{\beta_1}{2} + \frac{\sin(2 \cdot \beta_1)}{4} \right) \right] \quad (49)$$

Si el punto de cálculo cae fuera de la posición del tubo, de modo que el rayo orthogonal caiga, por ejemplo, al otro lado del PB (Figura 13), β_2 será negativo.

1.8.2 Cálculo de la componente reflejada

En interiores la componente reflejada E_r (en luxes) sobre el plano de trabajo se calcula exactamente del mismo modo que la iluminación media empleado en el método de la cavidad zonal (Ver sección 1.6 MÉTODO DE LA

CAVIDAD ZONAL), con la excepción que el coeficiente de radiación reflejada CRR sustituye al coeficiente de utilización [Westinghouse_00].

$$E_r = \frac{(\text{Lámparas por luminaria}) \cdot (\text{Lúmenes por lámpara}) \cdot CRR}{\text{Área por luminaria sobre el plano de trabajo}} \quad (50)$$

Donde:

$$CRR = WLC + MP \cdot (CCLC - WLC) \quad (51)$$

El coeficiente de luminancia de la pared WLC y el de la cavidad de techo CCLC se eligen para una apropiada relación de la cavidad del local y adecuadas reflectancias de la pared y del techo, estos coeficientes se calculan utilizando las ecuaciones (20) y (21) respectivamente. El multiplicador de la posición del local MP es función de la cavidad del local y del emplazamiento en éste del punto que se pretende iluminar. El diagrama rectangular (Figura 14) ilustra este método, designando la colocación del punto dentro del local con una letra y un número. La tabla de multiplicadores de posición posible del punto en locales con cualquier valor de la relación de la cavidad del local se muestra en la Tabla 10.

Figura 14. Carta para localizar los puntos en el plano de trabajo del local [Westinghouse_00].

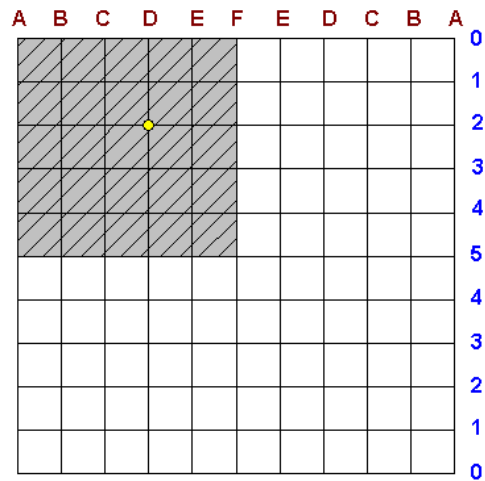


Tabla 10. Multiplicadores de posición del local [Martínez_89].

MULTIPLICADORES DE POSICIÓN DEL LOCAL							
PUNTOS A LO ANCHO DE LOCAL	RCR	PUNTOS A LO LARGO DEL LOCAL					
		A	B	C	D	E	F
0	1	0,24	0,42	0,47	0,48	0,48	0,48
	2	0,24	0,36	0,42	0,44	0,46	0,46
	3	0,23	0,32	0,37	0,40	0,42	0,42
	4	0,22	0,28	0,32	0,35	0,37	0,37
	5	0,21	0,25	0,28	0,31	0,33	0,33
	6	0,20	0,23	0,26	0,28	0,29	0,30
	7	0,18	0,21	0,23	0,25	0,26	0,27
	8	0,17	0,18	0,21	0,22	0,22	0,23
	9	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20
	10	0,14	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18
1	1	0,42	0,74	0,81	0,83	0,84	0,84
	2	0,36	0,51	0,60	0,63	0,66	0,68
	3	0,32	0,40	0,48	0,51	0,53	0,57
	4	0,28	0,33	0,40	0,42	0,44	0,48
	5	0,25	0,29	0,33	0,36	0,38	0,42
	6	0,23	0,26	0,29	0,31	0,33	0,36
	7	0,21	0,23	0,26	0,28	0,29	0,30
	8	0,18	0,20	0,23	0,25	0,26	0,26
	9	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23
	10	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19	0,20
2	1	0,47	0,81	0,90	0,92	0,93	0,93
	2	0,42	0,60	0,68	0,72	0,78	0,83
	3	0,37	0,48	0,58	0,61	0,64	0,67
	4	0,32	0,40	0,48	0,50	0,52	0,57
	5	0,28	0,33	0,40	0,42	0,44	0,48
	6	0,26	0,29	0,35	0,37	0,38	0,40
	7	0,23	0,26	0,30	0,32	0,33	0,34
	8	0,21	0,23	0,26	0,27	0,28	0,29
	9	0,18	0,20	0,23	0,24	0,25	0,25
	10	0,16	0,18	0,19	0,21	0,22	0,22

MULTIPLICADORES DE POSICIÓN DEL LOCAL							
PUNTOS A LO ANCHO DE LOCAL	RCR	PUNTOS A LO LARGO DEL LOCAL					
		A	B	C	D	E	F
3	1	0,48	0,83	0,92	0,94	0,95	0,95
	2	0,44	0,63	0,72	0,77	0,82	0,85
	3	0,40	0,51	0,61	0,65	0,69	0,71
	4	0,35	0,42	0,50	0,54	0,58	0,61
	5	0,31	0,36	0,42	0,46	0,49	0,52
	6	0,28	0,31	0,37	0,39	0,41	0,43
	7	0,25	0,28	0,32	0,34	0,35	0,36
	8	0,22	0,25	0,27	0,29	0,30	0,30
	9	0,19	0,21	0,24	0,25	0,26	0,26
	10	0,17	0,19	0,21	0,22	0,23	0,23
4	1	0,48	0,84	0,93	0,95	0,96	0,97
	2	0,46	0,66	0,78	0,82	0,85	0,86
	3	0,42	0,53	0,64	0,69	0,73	0,75
	4	0,37	0,44	0,52	0,58	0,62	0,64
	5	0,33	0,38	0,44	0,49	0,52	0,54
	6	0,29	0,33	0,38	0,41	0,43	0,45
	7	0,26	0,29	0,33	0,35	0,37	0,37
	8	0,22	0,26	0,28	0,30	0,31	0,32
	9	0,20	0,22	0,25	0,26	0,26	0,27
	10	0,18	0,19	0,22	0,23	0,23	0,24
5	1	0,48	0,84	0,93	0,95	0,97	0,97
	2	0,46	0,68	0,83	0,85	0,86	0,87
	3	0,42	0,57	0,67	0,71	0,75	0,77
	4	0,37	0,48	0,57	0,61	0,64	0,66
	5	0,33	0,42	0,48	0,52	0,54	0,56
	6	0,30	0,36	0,40	0,43	0,45	0,47
	7	0,27	0,30	0,34	0,36	0,37	0,38
	8	0,23	0,26	0,29	0,30	0,31	0,32
	9	0,20	0,23	0,25	0,26	0,27	0,27
	10	0,18	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25

1.9 CÁLCULOS DE LUMINANCIA PARA VÍAS

Los cálculos de luminancia para vías, son relativamente complejos y requieren de bastante tiempo para su elaboración si se efectúan a mano, en consecuencia se recomienda que éstos se lleven a cabo mediante programas de computador [NTC900_98]. La siguiente fórmula es la que se utiliza para el cálculo de la luminancia en un punto cualquiera.

$$L = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cdot q \cdot \cos^3 \gamma = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cdot r \quad (52)$$

Donde:

L = Luminancia en el punto considerado

I(C,γ) = Intensidad luminosa incidente sobre el punto

H = Altura de montaje de la luminaria

q = coeficiente de luminancia en un punto

r = q · cos³γ = coeficiente de luminancia reducido

En consecuencia, la luminancia en un punto es el producto de dos matrices (I,r) dividido por una constante H².

A menos que se especifique lo contrario para el revestimiento de la calzada, se debe utilizar la tabla para la superficie normalizada R3 de la CIE (En la referencia [NTC900_98] se encuentran las tablas normalizadas para las superficies R1, R2, R3 y R4 que se utilizan en los cálculos de luminancia), que corresponde al tipo de pavimento que se considera más usado en Colombia.

1.9.1 Método de la CIE

El método CIE 30-2 se aplica para los cálculos de luminancia en calzadas rectas y secas [NTC900_98]. La luminancia en un punto está dada por:

$$L = \frac{\sum I(C, \gamma) \cdot r}{H^2} \quad (53)$$

Donde la sumatoria incluye todas las luminarias de la instalación.

Área de Cálculo. La zona de cálculo se realiza para un sector típico de la vía y debe corresponder en dirección longitudinal, al espacio comprendido

entre dos luminarias consecutivas colocadas sobre un mismo lado de la vía. En dirección transversal la zona de cálculo debe cubrir el ancho total de la calzada [NTC900_98].

Posición de los puntos de cálculo. Los puntos de cálculo deben distribuirse uniformemente en la zona de cálculo. El número de puntos en sentido longitudinal debe ser al menos 10 para interdistancias de hasta 50 metros, si la distancia es superior a ésta, el número de puntos debe ser un entero tal que la separación entre ellos sea menor o igual a 5 metros. En sentido transversal se recomienda tomar 5 o 3 puntos como mínimo en cada carril, uno de ellos debe estar localizado en el centro de cada carril. Los dos puntos más exteriores se colocan a $1/10$ o a $1/6$ del ancho del carril medido desde el borde exterior del mismo.

Posición del observador. Para el cálculo de luminancia promedio L y la uniformidad general U_0 el observador debe estar ubicado de la siguiente manera: en sentido longitudinal; a 60 metros antes de la primera fila de puntos, en sentido transversal; a $1/4$ del ancho de la calzada o vía a partir del borde derecho de la misma, y en sentido vertical; a 1,5 metros sobre la vía.

Número de Luminarias. El número de luminarias que contribuyen a la luminancia debe estar restringido a aquellas situadas dentro de 5 veces la altura de montaje hacia atrás de la primera fila de puntos, 12 veces la altura de montaje hacia delante y cinco veces a los lados del punto de cálculo.

1.9.2 Método de cálculo de la IES

El método de cálculo de la IES emplea la misma fórmula general para el cálculo de luminancia descrita anteriormente, a continuación se enumeran las características de este sistema [NTC900_98].

Área de cálculo. La zona de cálculo corresponde al área comprendida entre dos luminarias colocadas sobre un mismo lado de la vía.

Número de puntos de cálculo. En sentido longitudinal mínimo 10 puntos, de tal manera que la separación entre puntos sea inferior a cinco metros.

Posición del observador. En sentido longitudinal se desplaza de tal manera que siempre está a 83 metros respecto al punto considerado; en sentido transversal se desplaza en una línea paralela al eje de la calzada que pasa a través del punto considerado. Respecto a la altura del observador siempre se considera a 1,45 metros respecto a la calzada.

Número de luminarias. Mínimo una luminaria por detrás del punto de cálculo y por lo menos 3 luminarias por delante del punto.

2. INTERIORES

Esta sección se enfoca exclusivamente al uso del soporte informático APOLUX para el cálculo luminotécnico en interiores. Para información general acerca de la instalación y presentación de APOLUX remitirse al anexo A.

2.1 PRESENTACIÓN

Figura 15. Presentación principal de APOLUX: Interiores.

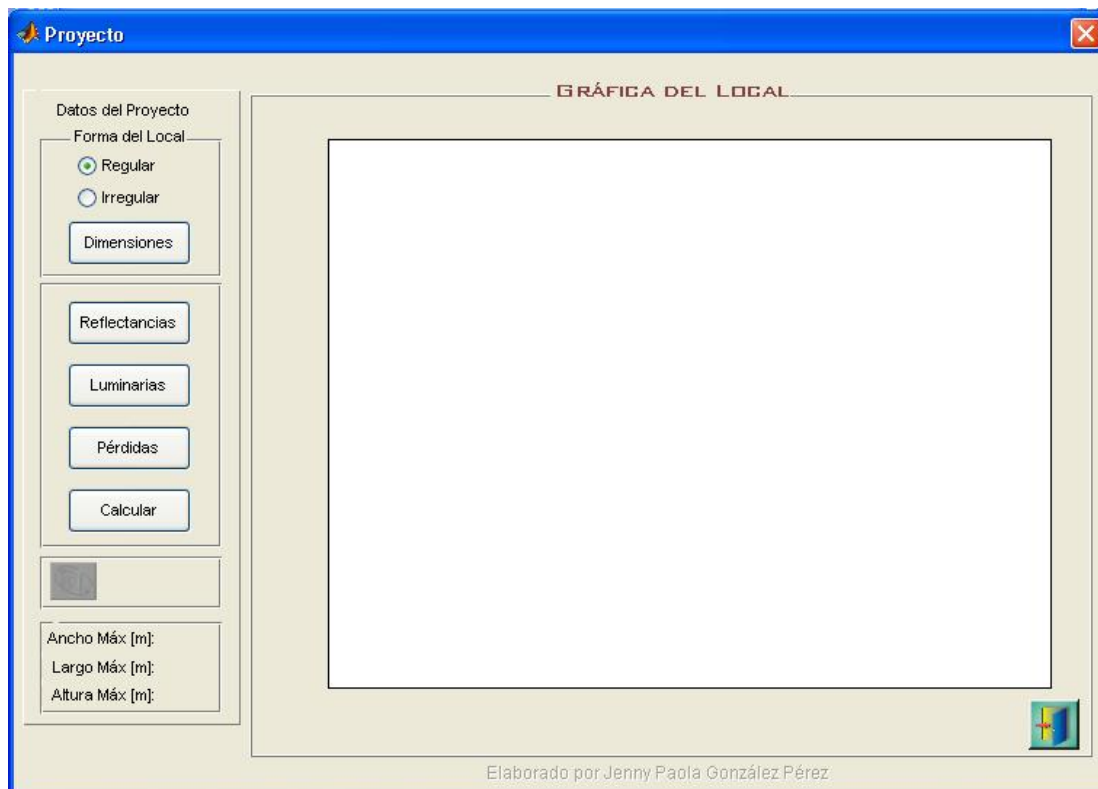


La Figura 15 muestra la ventana principal de APOLUX, donde aparecen los tres diferentes tipos de ambientes en los que se pueden realizar los cálculos de iluminación.


2.2 INTERFAZ DE USUARIO PARA INTERIORES

Al pulsar el botón Interiores (Ver en la Figura 15 - flecha amarilla) se despliega la ventana de la Figura 16, en la que se muestra los botones de control para la entrada de datos.

Figura 16. Ventana para interiores.



2.2.1 Dimensiones

Existen dos formas de introducir las dimensiones de local dependiendo de la geometría del mismo. Seleccione la opción que se ajuste al diseño que está realizando y pulse .

Local regular. Si ha seleccionado la opción regular, bastará con llenar los

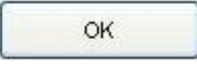



campos de la gráfica que aparece a continuación y pulsar .

Figura 17. Ventana para local de forma regular.



Local Irregular. Si por el contrario ha elegido lo opción irregular, se expandirá una ventana de diseño (Figura 18), en la que se podrá dibujar la forma del local a través de una polilínea. Para ello, se pulsa el botón

, que al ser oprimido cambia a la etiqueta  y se mantiene activo mientras se van colocando los vértices con sucesivas pulsaciones del botón izquierdo del *mouse*. Esta ventana posee información de ayuda. Existen dos maneras de cerrar el trayecto: la primera es dar un

click sobre el botón , el programa automáticamente creará una línea desde el último punto hasta el primer punto. La segunda manera es dando un *click* exactamente sobre el primer punto que se hizo. El programa no permitirá cerrar un trayecto que tenga menos de tres puntos, manteniendo inactivos todos los botones hasta no cerrar dicho trayecto.


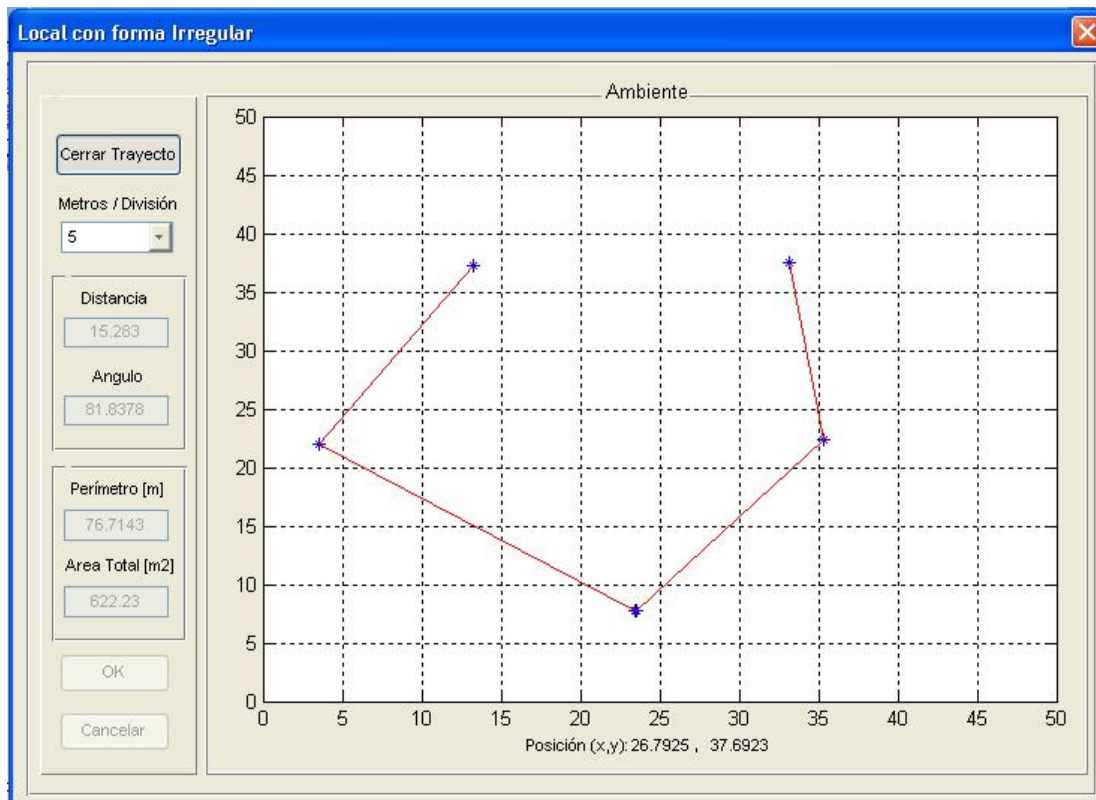
Al cerrar el trayecto, el botón  cambia nuevamente a , con el que podrá crear un nuevo trayecto si así lo desea.

Figura 18. Ventana para local de forma irregular.



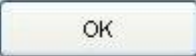
A medida que se realiza este proceso simultáneamente se pueden observar cambios en las casillas del lado izquierdo de la ventana (Figura 18), que corresponden a: cálculos de distancias entre puntos, ángulos de las rectas con respecto a la horizontal, cálculo del perímetro y área total del local. Además esta ventana posee una propiedad de cambio de escala basado en metros por división. Una vez creada la figura pulse  para introducir los demás datos característicos de un espacio interior (Figura 19).

Figura 19. Datos adicionales para local de forma irregular

Datos del local

Altura del Local (m): 4

Distancia de Suspensión (m): 0.75

Altura del Plano de Trabajo (m): 0.75

Iluminación Media (luxes): 300

OK Cancelar


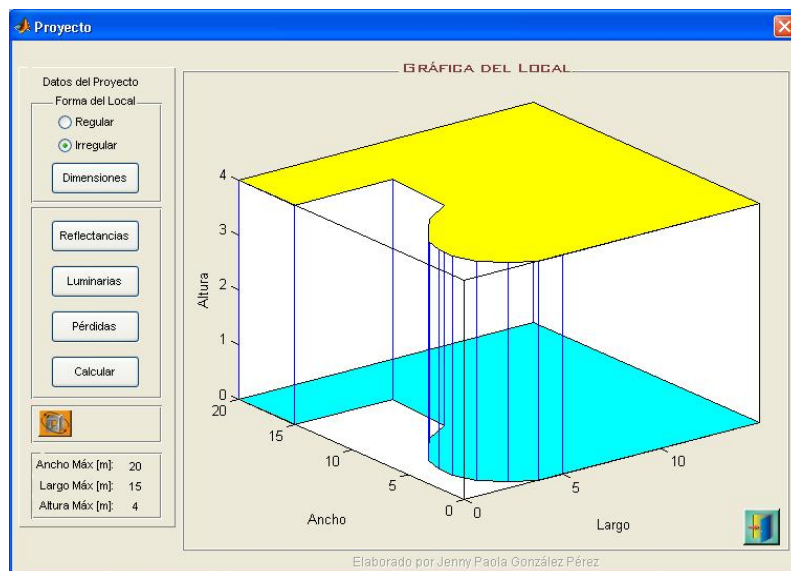
En cualquiera de los dos casos anteriormente mencionados, al introducir todos los datos requeridos aparecerá la imagen con la forma del local en la pantalla principal para interiores. Oprima el botón  para rotar la gráfica en tres dimensiones. Mientras el botón anterior esté activo la apariencia del puntero cambia a una flecha circular punteada. Una pulsación en movimiento del botón izquierdo del *mouse* sobre la gráfica permitirá ver la rotación. Adicionalmente el *click* derecho sobre la figura permite desplegar opciones adicionales de visualización.

Figura 20. Gráfica del local.



2.2.2 Reflectancias


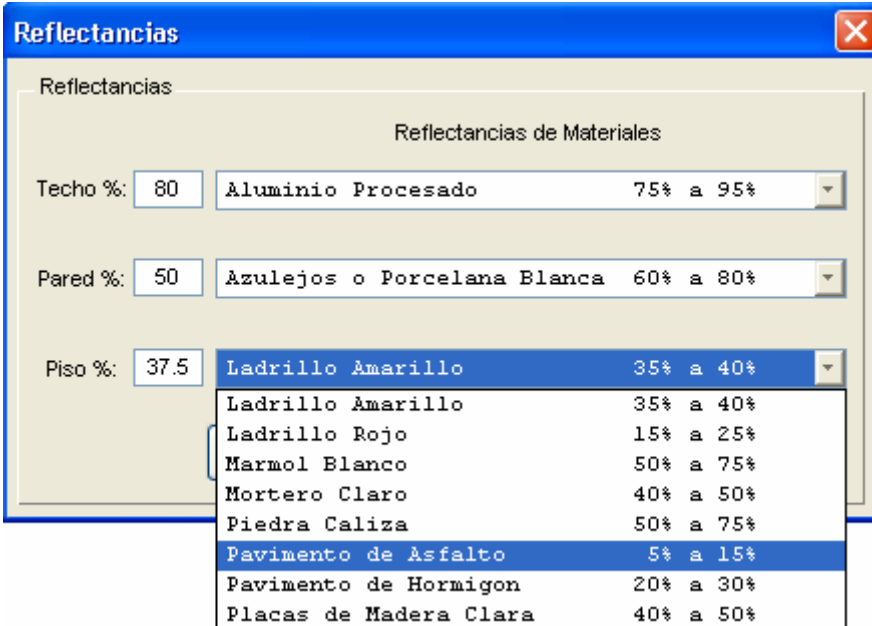
Pulse el botón  para abrir la ventana (Figura 21) que permite introducir los valores de las reflectancias para las diferentes cavidades. Esta ventana posee al igual que las anteriores, valores por defecto para guiar a los usuarios en la manera de introducir los datos. El usuario puede llenar directamente los campos de las reflectancias o elegir entre las opciones que aparecen a la izquierda de la ventana.

Figura 21. Reflectancias de las cavidades del local.



Reflectancias

Reflectancias de Materiales

Techo %: 75% a 95%

Pared %: 60% a 80%

Piso %: 35% a 40%

Ladrillo Amarillo	35% a 40%
Ladrillo Rojo	15% a 25%
Marmol Blanco	50% a 75%
Mortero Claro	40% a 50%
Piedra Caliza	50% a 75%
Pavimento de Asfalto	5% a 15%
Pavimento de Hormigon	20% a 30%
Placas de Madera Clara	40% a 50%

2.2.3 Luminarias

Esta opción le da acceso al usuario a la base de datos de APOLUX, permitiéndole seleccionar o crear una luminaria adecuada de acuerdo al diseño proyectado. Para más información acerca de la base de datos de APOLUX remitirse al capítulo 5.

2.2.4 Pérdidas

Esta ventana permite introducir los factores de depreciación que contribuyen a las pérdidas de iluminación en interiores. Estos fundamentos son los que aparecen especificados en la sección 1.4 FACTORES DE PÉRDIDAS DE UNA INSTALACIÓN. Al introducir los datos en los campos y seleccionar las condiciones que se adecuan al local, APOLUX calculará el factor total de pérdidas de la instalación.

Figura 22. Factores de pérdidas en interiores.

The screenshot shows a software window titled "Perdidas" with a blue title bar. The main area contains several input fields for depreciation factors:

Depreciación en los lúmenes de la lámpara:	0.98
Mortalidad de las lámparas:	0.95
Depreciación por deterioro de las luminarias:	0.92
Depreciación por envejecimiento de las superficies del local:	0.9
Depreciación por funcionamiento de la reactancia:	1
Depreciación por tensión de alimentación de las luminarias:	0.97
Temperatura ambiente de la luminaria:	1
Luminarias con intercambio de calor:	1

Below these fields is a section for "Tipo de Ambiente" with radio buttons for: Muy Limpio, Limpio (selected), Medio, Sucio, and Muy Sucio.

There are two sub-sections for depreciation due to dirtiness:

- Depreciación por suciedad en las luminarias:** Includes a "Categoría de Mantenimiento" grid with options I, II, III, IV (selected), V, and VI. A "Periodo de Mantenimiento" is set to "Cada 12 meses". The "Depreciación de este ítem" is calculated as 0.877218.
- Depreciación por suciedad en la superficie del local:** Includes a "Distribución Luminosa" grid with options Directa, Semi-Directa, Directa-Indirecta (selected), Semi-Indirecta, and Indirecta. A "Periodo de Mantenimiento" is set to "Cada 12 meses". The "Depreciación de este ítem" is calculated as 0.923883.

At the bottom, the "FACTOR TOTAL DE PÉRDIDAS" is displayed as 0.606005. There are "OK" and "Cancelar" buttons at the very bottom.

2.3 RESULTADOS

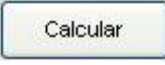
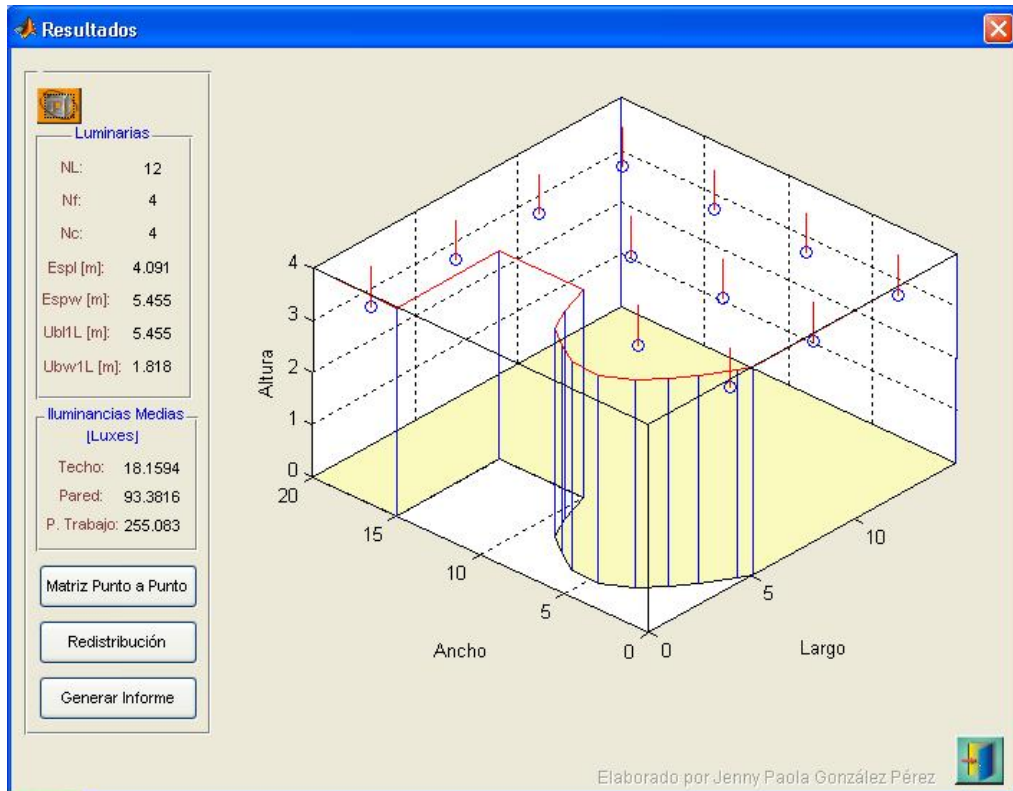
Una vez introducidos todos los datos que requiere el programa para realizar los cálculos, se oprime el botón  para observar los resultados (Figura 23).

Figura 23. Ventana de resultados para interiores.



Las convenciones empleadas en esta sección se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11. Convenciones empleadas en la ventana de resultados para interiores

Convención	Descripción
	Luminarias
NL	Número de luminarias dentro del local
Nf	Número de filas en las que se ubican las luminarias
Nc	Número de columnas en las que se ubican las luminarias
EspL	Espaciamiento de las luminarias a lo largo del local en metros

Convención	Descripción
Espw	Espaciamiento de las luminarias a lo ancho del local en metros
Ubl1L	Ubicación de la primera luminaria a lo largo del local en metros
Ubl1W	Ubicación de la primera luminaria a lo ancho del local en metros
	Illuminancias Medias [Luxes]
Techo	Illuminancia media sobre la cavidad de techo
Pared	Illuminancia media sobre la cavidad de pared
P. Trabajo	Illuminancia media sobre el plano de trabajo

2.3.1 Matriz punto a punto

El local es encasillado en un rectángulo cuyos lados son las dimensiones máximas del local (largo y ancho). A este rectángulo se le trazan 11 columnas a lo largo y 11 filas a lo ancho, originando un total de 121 puntos de cálculo. La matriz representa la iluminancia en estos puntos de cálculo. En locales irregulares los ceros que aparecen en la matriz representan los puntos que están fuera de las dimensiones del local. La Figura 24 exhibe la representación gráfica de la matriz de iluminancias (Figura 25), la cual tiene la opción de mostrar la iluminancia en cualquier punto que se encuentre dentro de las dimensiones del local.

2.3.2 Redistribución

Esta opción permite al usuario cambiar el número de las luminarias dentro del local, así como la cantidad de filas y columnas en las que éstas se distribuyen (Figura 26). También permite modificar el espaciamiento de pared (distancia entre las luminarias más cercanas a las paredes y las paredes del paralelepípedo en que está encasillado el local).

2.3.3 Generar Informe

APOLUX presenta la opción de generar un informe completo dentro de un archivo de texto, que contiene información detallada del proyecto (datos generales, luminaria utilizada y resultados obtenidos). Este archivo siempre será almacenado en la siguiente ruta *C:\APOLUX\Informes*.

Figura 24. Ventana de resultados gráficos para interiores.

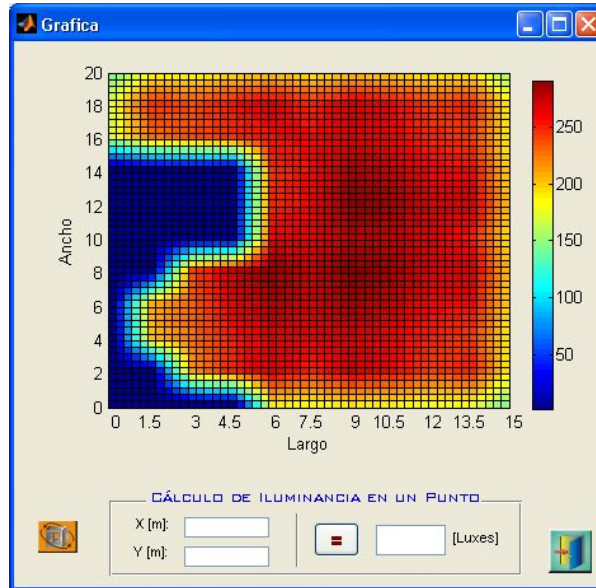


Figura 25. Matriz de iluminancias (11x11) en luxes para interiores.

Iluminación total punto a punto											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	137.6966	176.5072	178.3562	186.0652	191.135	183.4117	192.3414	187.892	180.4424	178.7329	139.4486
2	176.8957	246.3531	237.1738	254.2127	266.6318	247.4146	269.7985	258.7259	242.082	251.589	180.825
3	170.7146	226.6882	236.6345	246.332	256.1485	258.2703	266.6168	259.4271	249.7178	241.6873	181.0869
4	0	0	0	0	246.1795	258.0073	279.6811	272.2258	258.8767	256.2929	188.1907
5	0	0	0	0	248.1475	261.5971	290.6778	283.1665	268.0276	268.586	193.6195
6	0	0	0	0	260.6464	264.3054	276.7155	273.241	265.5519	250.8923	185.7657
7	0	0	238.3247	271.5467	287.0869	273.751	292.8731	283.5154	268.0633	268.5953	193.613
8	0	208.3588	233.1503	263.5121	278.8883	269.8426	282.3227	272.78	258.9855	256.2849	188.1758
9	0	204.2445	227.7165	251.7463	265.7434	263.5128	268.5134	260.0526	249.9268	241.7672	181.1156
10	0	0	213.9128	251.4402	268.4933	249.0558	270.6551	259.1152	242.2536	251.6794	180.8661
11	0	0	0	0	190.9541	183.7726	192.6073	188.0403	180.5181	178.7523	139.459

Figura 26. Ventana para redistribución de luminarias.

3. POLIDEPORTIVOS

APOLUX también ofrece la posibilidad de realizar proyectos luminotécnicos en polideportivos (exteriores). Este capítulo orientará al usuario a través de este proceso. Para información general acerca de la instalación y presentación de APOLUX remitirse al anexo A.

3.1 PRESENTACIÓN

Figura 27. Presentación principal de APOLUX: Polideportivos.



Oprima el botón que indica la flecha de la Figura 27, para desplegar la ventana para el diseño de iluminación en polideportivos.

3.2 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA POLIDEPORTIVOS

Figura 28. Ventana para polideportivos.



La Figura 28 presenta la ventana de diseño para el cálculo de iluminación en polideportivos. En ella se introducen: las dimensiones del escenario (ancho y largo), la altura de montaje de las luminarias y el nivel de iluminación requerido por el diseño. El usuario debe escoger la disposición más adecuada para el diseño que esté realizando. APOLUX ofrece las cuatro disposiciones más comunes que se emplean en la construcción de escenarios deportivos: lateral doble, esquinas, alternada y lateral sencillo.

3.3 DISPOSICIONES

Las cuatro disposiciones tienen en común la forma de introducir los datos de

la dirección del rayo principal por luminaria. La ventana (Figura 29) posee una ayuda gráfica al lado izquierdo que explica la forma en que se deben introducir los ángulos de inclinación (α en grados) y de rotación (β en grados) de las luminarias. Se pide información de una sola estructura para las configuraciones que son simétricas. En el caso de la disposición alternada, la dirección del rayo principal por luminaria es simétrica únicamente para el lado



que tenga las dos estructuras. El botón  que aparece en todas las disposiciones permite acceder a la base de datos de APOLUX. La información completa acerca de la base de datos se explica en el capítulo 5.





Figura 29. Dirección del rayo principal por luminarias en polideportivos



DIRECCIÓN DEL RAYO PRINCIPAL POR LUMINARIA

Ángulo de Inclinación
 $0^\circ < \alpha < 60^\circ$

Ángulo de Rotación
 $-60^\circ < \beta < 60^\circ$

Luminaria 1		Luminaria 3	
α :	<input type="text"/>	α :	<input type="text"/>
β :	<input type="text"/>	β :	<input type="text"/>
Luminaria 2		Luminaria 4	
α :	<input type="text"/>	α :	<input type="text"/>
β :	<input type="text"/>	β :	<input type="text"/>

3.3.1 Disposición lateral doble

Los campos de entrada para esta disposición son: distancia X (distancia en metros desde la esquina a la base de la estructura, en sentido horizontal), distancia Y (distancia en metros desde la base de la estructura al borde del escenario, en sentido vertical) y el número de luminarias por estructura (Figura 30).

Figura 30. Datos de entrada: disposición lateral doble.



Distancia X [m]:

Distancia Y [m]:

Número de Luminarias por Estructura:

Luminarias

Se pide información de una sola estructura ya que la configuración es simétrica.

3.3.2 Disposición esquinas

Esta disposición requiere como dato de entrada una sola distancia R en metros. Esta distancia corresponde al segmento que va desde la base de la estructura a la esquina del escenario, en un ángulo de 45° respecto a la horizontal (Figura 31). Además el usuario debe elegir el número de luminarias que va a implementar en las estructuras.

Figura 31. Datos de entrada: disposición esquinas.



Distancia R [m]:

Número de Luminarias por Estructura:

Luminarias

Se pide información de una sola estructura ya que la configuración es simétrica.

3.3.3 Disposición alternada

Los datos de entrada de esta disposición son iguales a los de la disposición lateral doble para las dos estructuras simétricas. Para la estructura independiente existe un recuadro al lado derecho de la Figura 32, en el que se introducen los ángulos de inclinación y de rotación de las luminarias para dicha estructura. Para los dos tipos de estructuras (simétrica e

independiente) el usuario debe elegir el número de luminarias que desea implementar en las estructuras.

Figura 32. Datos de entrada: disposición alternada.

Distancia X [m]:

Distancia Y [m]:

La estructura independiente siempre esta ubicada en el medio del polideportivo a la distancia Y del borde.

RAYO PRINCIPAL
ESTRUCTURA INDEPENDIENTE

Luminarias: α :
 β :

3.3.4 Disposición lateral sencillo

La distancia Y (en metros) que requiere esta disposición, corresponde al trayecto entre la base de la estructura y el centro de lado más largo del polideportivo como lo indica la Figura 33. Al igual que las otras disposiciones el usuario debe elegir el número de luminarias que va a implementar por estructura.

Figura 33. Datos de entrada: disposición lateral sencillo.

Distancia Y [m]:

Número de Luminarias por Estructura:

Se pide información de una sola estructura ya que la configuración es simétrica.

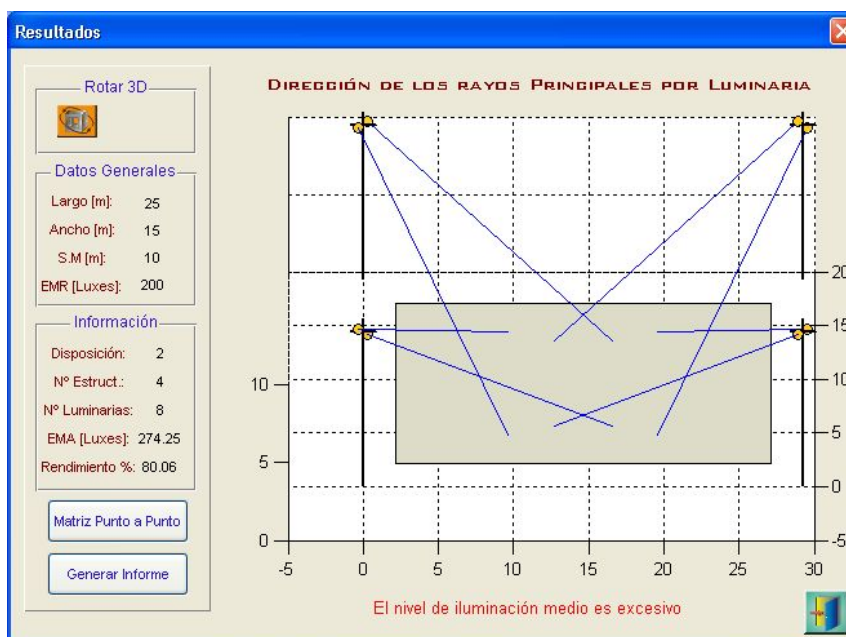
3.4 RESULTADOS

Una vez introducidos los datos que requiere APOLUX para el cálculo

Calcular

luminotécnico en polideportivos, el usuario debe oprimir el botón para desplegar la ventana de resultados (Figura 34).

Figura 34. Ventana de resultados para polideportivos.




Esta ventana presenta en forma gráfica, la dirección de los rayos principales de todas las luminarias, así como la posibilidad de ver la figura desde diferentes ángulos, utilizando el botón . Es muy importante observar el mensaje de advertencia que aparece en la parte inferior de la ventana de resultados ya que este posee el nivel medio de iluminación alcanzado con la distribución elegida. Las convenciones utilizadas en la Figura 34 son las que se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Convenciones empleadas en la ventana de resultados para polideportivos

Convención	Descripción
Datos Generales	
Largo [m]	Largo del escenario deportivo en metros
Ancho [m]	Ancho del escenario deportivo en metros
S.M [m]	Altura de montaje de las luminarias en metros

Convención	Descripción
EMR [Luxes]	Nivel de Iluminación medio requerido en Luxes
Información	
Disposición	Disposición Elegida por el usuario (1: lateral doble; 2: esquinas; 3: alternada; 4: lateral sencillo)
Nº Estruct.	Número de estructuras
Nº Luminarias	Número de luminarias totales en la instalación
EMA [Luxes]	Nivel de iluminación medio alcanzado
Rendimiento %	Nivel de uniformidad alcanzado en porcentaje

3.4.1 Matriz punto a punto

El escenario deportivo se introduce dentro de un rectángulo cuyos lados son las dimensiones de dicho escenario (largo y ancho). A este rectángulo se le trazan 11 columnas a lo largo y 11 filas a lo ancho, originando un total de 121 puntos de cálculo. La matriz representa la iluminancia en estos puntos (Figura 35). La Figura 24 exhibe la representación gráfica de la matriz de iluminancias, la cual tiene la opción de mostrar la iluminancia en cualquier punto que se encuentre dentro de las dimensiones del polideportivo.

Figura 35. Matriz de iluminancias (11x11) en luxes para polideportivos

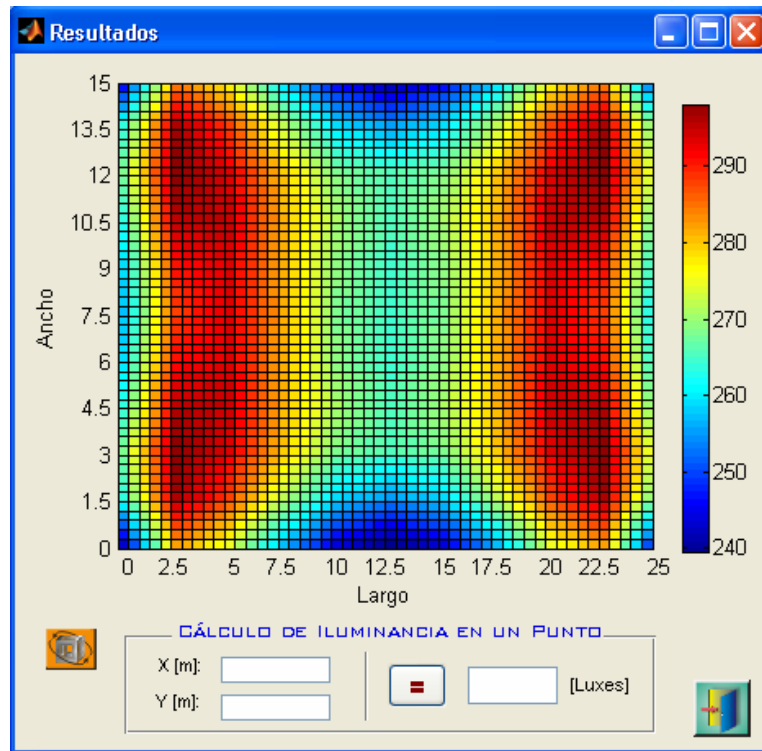
Iluminación total punto a punto											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	243.2339	282.4409	275.2394	256.8151	244.4475	239.0732	244.4475	256.8151	275.2394	282.4409	243.2339
2	263.9343	296.6391	287.6775	272.2382	259.38	255.0737	259.38	272.2382	287.6775	296.6391	263.9343
3	268.5401	298.6093	293.0487	279.7672	268.3487	265.7093	268.3487	279.7672	293.0487	298.6093	268.5401
4	263.8736	295.6966	294.821	280.9638	270.8189	265.2568	270.8189	280.9638	294.821	295.6966	263.8736
5	259.2884	290.8839	293.3115	281.0603	269.2621	265.0036	269.2621	281.0603	293.3115	290.8839	259.2884
6	257.2847	288.1939	293.3314	281.4278	268.5577	264.6897	268.5577	281.4278	293.3314	288.1939	257.2847
7	259.2884	290.8839	293.3115	281.0603	269.2621	265.0036	269.2621	281.0603	293.3115	290.8839	259.2884
8	263.8736	295.6966	294.821	280.9638	270.8189	265.2568	270.8189	280.9638	294.821	295.6966	263.8736
9	268.5401	298.6093	293.0487	279.7672	268.3487	265.7093	268.3487	279.7672	293.0487	298.6093	268.5401
10	263.9343	296.6391	287.6775	272.2382	259.38	255.0737	259.38	272.2382	287.6775	296.6391	263.9343
11	243.2339	282.4409	275.2394	256.8151	244.4475	239.0732	244.4475	256.8151	275.2394	282.4409	243.2339

3.4.2 Generar Informe

En este caso APOLUX vuelve a presentar la opción de generar un informe completo dentro de un archivo de texto, que contiene información detallada

del proyecto (datos generales, luminaria utilizada y resultados obtenidos). Este archivo siempre será almacenado en la siguiente ruta *C:\APOLUX\Informes*.

Figura 36. Ventana de resultados gráficos para polideportivos.



4. VÍAS

El objeto del alumbrado público es permitir a los usuarios de la calzada y del andén, circular sobre ellos con toda seguridad y con el máximo de comodidad. De igual manera debe permitir a los automovilistas, circular durante la noche en condiciones adecuadas de seguridad, comodidad y velocidad, similarmente a como pueden hacerlo en el día [NTC900_98]. Este capítulo está dirigido al cálculo de luminancias e iluminancias en calzadas rectas y secas. Para información general acerca de la instalación y presentación de APOLUX remitirse al anexo A.

4.1 PRESENTACIÓN

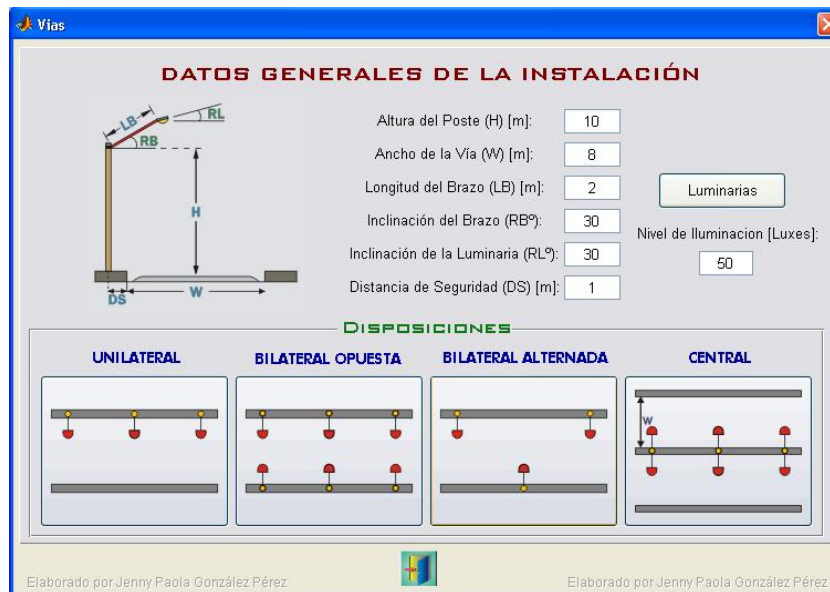
Figura 37. Presentación principal de APOLUX: Vías.



Oprima el botón que indica la flecha amarilla en la Figura 37 para desplegar la ventana de diseño para vías.

4.2 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO PARA VÍAS

Figura 38. Ventana para vías.



La ventana de diseño de instalaciones eléctricas para vías (Figura 38), presenta los campos de datos necesarios para el cálculo luminotécnico en calzadas rectas y secas. Así mismo posee una ayuda gráfica en la parte superior izquierda, la cual le explica al usuario por medio de convenciones la manera de llenar los campos. Para el caso de la disposición central el usuario debe notar que el ancho de la vía (W), se refiere al ancho de un carril de circulación (distancia desde el andén al separador). Las convenciones utilizadas en la Figura 38 se muestran en la Tabla 13.

Luminarias

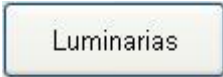
Presione el botón  para acceder a la base de datos de APOLUX y elegir la luminaria indicada. Para una información detallada de la base de datos, remitirse al capítulo 5.

Tabla 13. Convenciones empleadas en la ventana de diseño para vías.

Convenciones	Descripción
Altura del poste (H) [m]	Longitud de la parte del poste que queda visible en una instalación, en metros. Distancia comprendida entre los andenes de la vía o en su defecto entre el andén y el separador, en metros. Longitud del soporte de la luminaria en metros. Inclinación del brazo con respecto a la horizontal, en grados. Inclinación de la luminaria con respecto a la horizontal, en grados. Distancia perpendicular entre la base del poste y el borde de la calzada, en metros. Nivel medio de iluminación de diseño, en luxes.
Ancho de la vía (W) [m]	
Longitud del brazo (LB) [m]	
Inclinación del brazo (RB°)	
Inclinación de la luminaria (RL°)	
Distancia de seguridad (DS) [m]	
Nivel de iluminación [Luxes]	

4.3 DISPOSICIONES

Una vez introducidos los datos generales para el diseño de iluminación en vías, oprima la disposición escogida: unilateral, bilateral opuesta o bilateral alternada, para desplegar directamente la ventana general de resultados (Figura 40). En el caso que el usuario decida pulsar el botón de disposición central, se desplegará un campo adicional para introducir la distancia del separador en metros. Todas las disposiciones presentan la misma ventana de resultados, la variación se presenta en los cálculos realizados para la disposición elegida.

Figura 39. Disposiciones disponibles para el cálculo luminotécnico en vías.

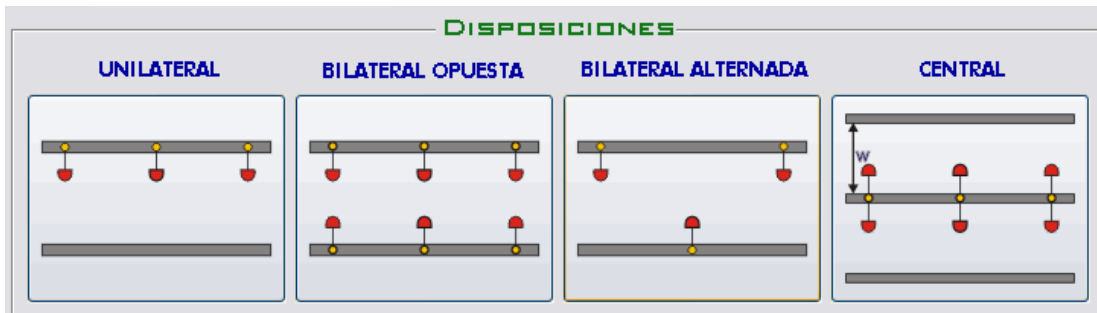
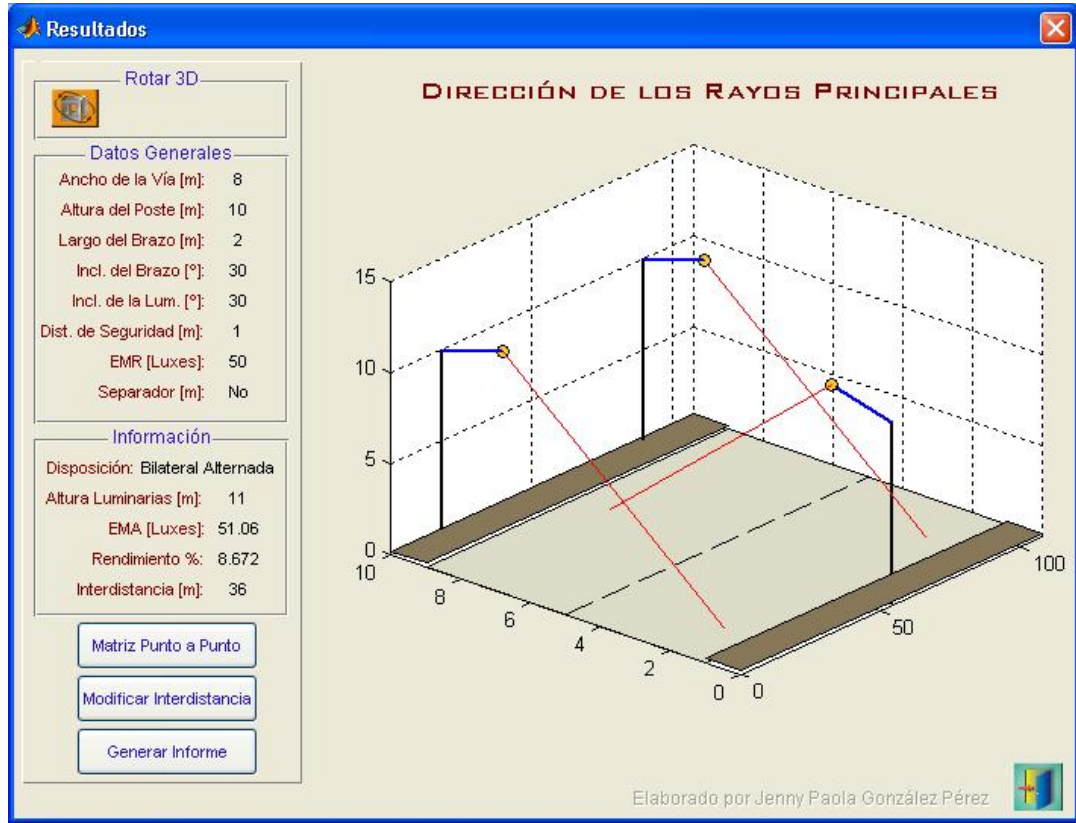


Figura 40. Ventana general de resultados para vías.



Las convenciones que aparecen en la Figura 40 se detallan la Tabla 14.

Tabla 14. Convenciones empleadas en la ventana de resultados para vías.

Convenciones	Descripción
Datos Generales	
Ancho de la Vía [m]	Distancia comprendida entre los andenes de la vía o en su defecto entre el andén y el separador, en metros.
Altura del Poste [m]	Longitud de la parte del poste que queda visible en una instalación, en metros.
Largo del Brazo [m]	Longitud del soporte de la luminaria en metros.
Incl. el Brazo (°)	Inclinación del brazo con respecto a la horizontal, en grados.
Incl. de la Lum. (°)	Inclinación de la luminaria con respecto a la horizontal, en grados.
Dist. de Seguridad [m]	Distancia perpendicular entre la base del poste y el borde de la calzada, en metros.
EMR [Luxes]	Nivel de iluminación medio requerido, en luxes.
Separador [m]	Informa al usuario si la disposición tiene o no separador, si lo tiene muestra la distancia en metros.
Información	
Disposición	Disposición elegida.
Altura Luminarias [m]	Altura de montaje de las luminarias (considerando las altura del poste y la inclinación del brazo).
EMA [Luxes]	
Rendimiento %	

Convenciones	Descripción
Interdistancia	Nivel de iluminación medio alcanzado. Nivel de uniformidad de la calzada. Distancia de separación entre postes a lo largo de la vía.

4.3.1 Matriz punto a punto

Esta opción dentro de la Figura 40 presenta al usuario la posibilidad de observar numéricamente los resultados obtenidos. Al pulsar este botón, el usuario puede elegir que tipo de resultados quiere observar, ya sea iluminancias o luminancias. Una vez elegida la opción de resultados se despliega una ayuda gráfica que orienta al usuario en la interpretación de resultados para la disposición elegida (Figura 41).

Figura 41. Ventana de ayuda para la interpretación de resultados en vías.



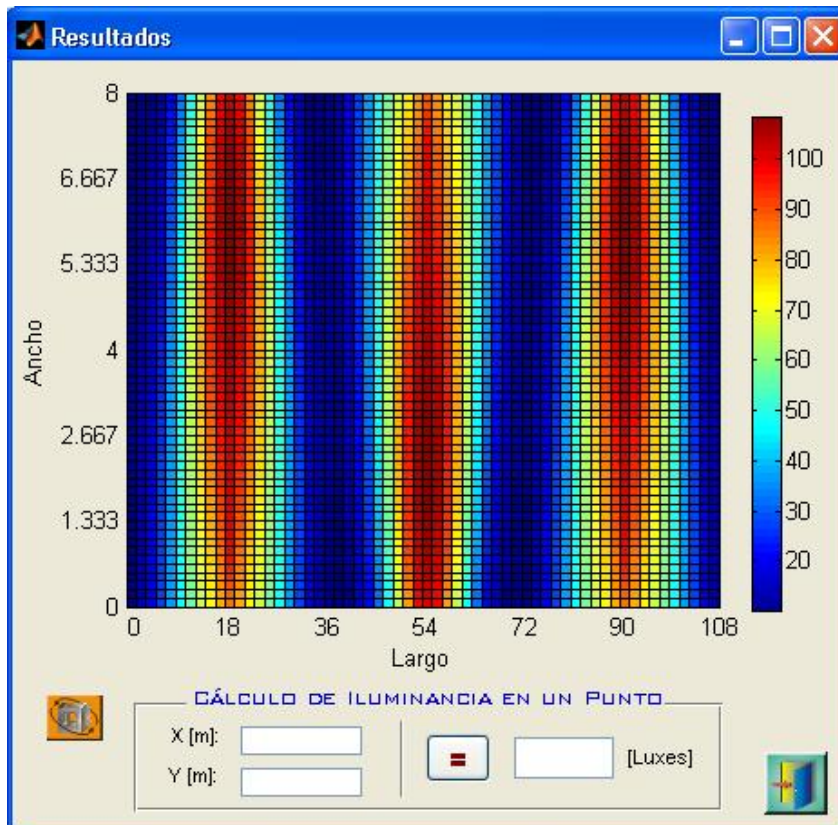
Cualquiera que haya sido la opción de resultados elegida (iluminancias o luminancias), la forma en que se muestran los resultados (Figuras 42 y 43) es igual para las dos, la única variación radica en las unidades utilizadas,

luxes para iluminancias y candelas por metro cuadrado para luminancias. En la Figura 43, el usuario puede elegir un punto dentro del tramo de la vía mostrado y calcular el valor de iluminancia o luminancia en ese punto.

Figura 42. Ventana de resultados numéricos en vías.

Iluminación total punto a punto											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	10.5205	14.0306	19.8986	27.7908	36.5918	47.8179	57.2634	66.3703	73.0123	81.0402	86.8295
2	10.7888	13.6037	19.4325	27.9641	37.1187	49.4098	59.8666	70.0961	77.5867	86.6785	97.6512
3	11.0072	13.4746	18.771	27.5244	37.332	50.143	62.1864	73.6527	82.0937	91.6601	99.8619
4	11.1682	13.2607	17.9947	26.5184	37.1955	50.3545	64.1158	76.9033	86.3731	95.6969	100.7078
5	11.2684	12.9495	17.2862	25.1941	36.6849	49.9873	65.5452	79.2219	90.2136	98.5954	103.511
6	11.3031	12.5339	16.4163	23.6731	35.7904	49.0093	66.3717	80.7324	93.3677	101.1094	105.0471
7	11.2709	12.0295	15.4049	22.0404	33.2859	47.4188	64.9485	81.3287	95.5717	104.1931	107.2086
8	11.1732	11.4541	14.2737	20.1935	30.3833	45.2479	62.081	80.9005	95.5701	105.8896	109.2371
9	11.0148	10.8242	13.0427	18.1899	27.2734	41.9202	58.3693	78.3297	94.004	105.1037	109.303
10	10.7988	10.1591	11.7674	16.0922	23.9673	36.7585	53.9661	72.1863	91.0328	101.8395	105.9311
11	10.5331	9.4791	10.4868	13.9437	20.5876	31.4935	47.9407	65.2789	82.7765	97.0063	100.8834

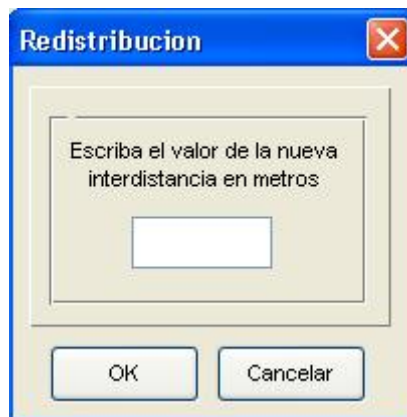
Figura 43. Ventana de resultados gráficos en vías.



4.3.2 Modificar interdistancia

APOLUX presenta la opción de modificar la interdistancia, de una calculada a una personalizada, mediante la ventana de la Figura 44. En ella se introduce el nuevo valor de interdistancia y automáticamente APOLUX vuelve a recalcular el diseño.

Figura 44. Ventana para modificar interdistancia en vías.



4.3.3 Generar Informe

APOLUX vuelve a presentar la opción de generar un informe completo dentro de un archivo de texto, que contiene información detallada del proyecto (datos generales, luminaria utilizada y resultados obtenidos). Este archivo siempre será almacenado en la siguiente dirección C:\APOLUX\Informes.

5. BASE DE DATOS


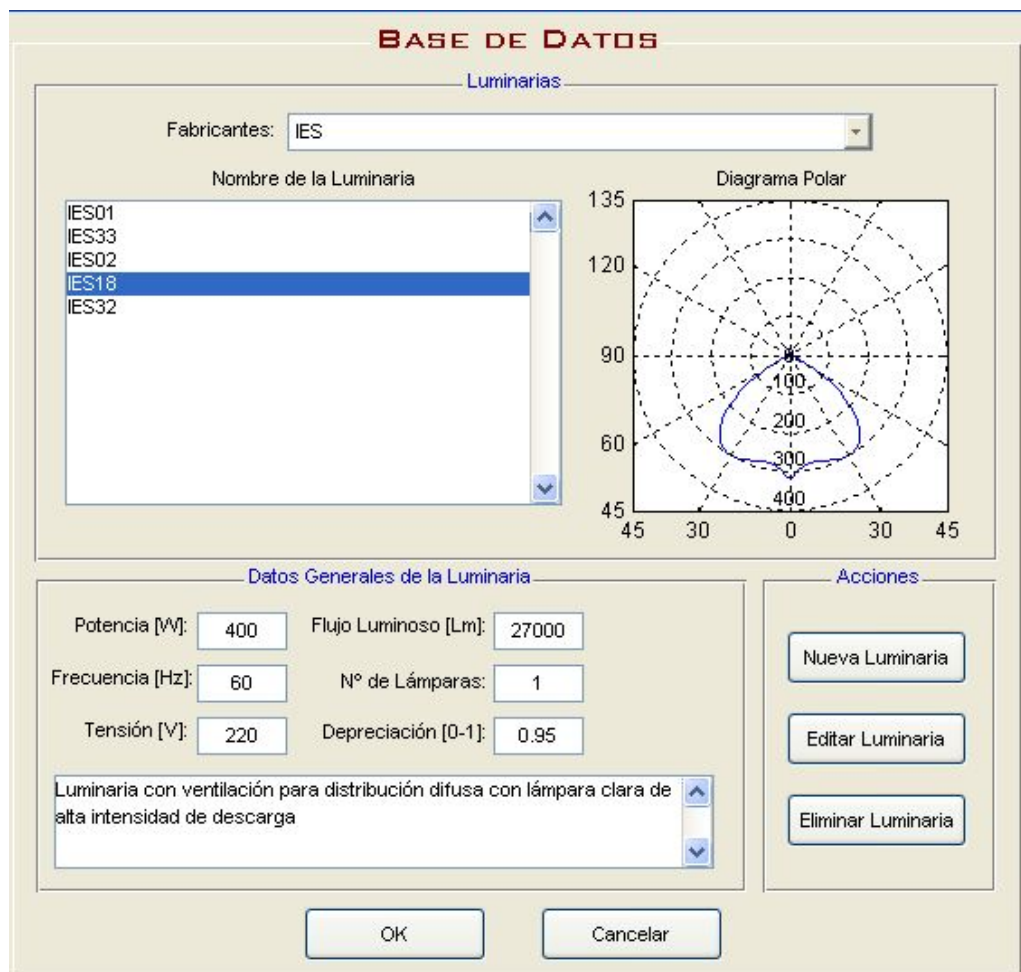
Es indispensable que una herramienta para cálculos luminotécnicos como APOLUX, posea una función que permita crear y manipular las características de las lámparas desde una base de datos. El botón  que aparece en todas las ventanas de diseño, permite desplegar la ventana general de la base de datos (Figura 45) con todas las diferentes características eléctricas y fotométricas de las lámparas.

Figura 45. Ventana general de la base de datos.



BASE DE DATOS

Luminarias

Fabricantes: IES

Nombre de la Luminaria

- IES01
- IES33
- IES02
- IES18
- IES32

Diagrama Polar

Potencia [W]: 400 Flujo Luminoso [Lm]: 27000

Frecuencia [Hz]: 60 Nº de Lámparas: 1

Tensión [V]: 220 Depreciación [0-1]: 0.95

Luminaria con ventilación para distribución difusa con lámpara clara de alta intensidad de descarga

Nueva Luminaria

Editar Luminaria

Eliminar Luminaria

OK Cancelar

En la ventana principal de la base de datos de APOLUX, el usuario puede elegir el tipo de luminaria que desea utilizar en el diseño, seleccionándola por el nombre del fabricante (menú deslizable, parte superior de la Figura 45). Una vez seleccionado el fabricante, aparece en la lista de la Figura 45 todos los nombres de las luminarias disponibles para ese fabricante. Al elegir una luminaria de la lista, aparecerá el diagrama polar de dicha luminaria junto con los datos generales de la misma (parte inferior de la Figura 45).

La Tabla 15 presenta las convenciones utilizadas en los datos generales de las luminarias.

Tabla 15. Convenciones empleadas en la base de datos.

Convenciones	Descripción
Datos Generales	
Potencia [W]	Potencia eléctrica en watts de la lámpara.
Frecuencia [Hz]	Frecuencia del sistema eléctrico a la cual puede ser conectada la lámpara.
Tensión [V]	Tensión de alimentación a la que se debe conectar la luminaria.
Flujo Luminoso [Lm]	Flujo luminoso total de las lámparas en la luminaria.
Nº de Lámparas	Número total de lámparas en la luminaria.
Depreciación [0-1]	Depreciación en los lúmenes de las lámparas. Toma valores de 0 a 1, 1 en el caso en el que no existen pérdidas.

La base de datos de APOLUX es muy flexible en cuanto a las acciones que se pueden realizar en ella. Dichas acciones aparecen en la esquina inferior derecha de la Figura 45 y se explicarán en detalle a continuación.

5.1 NUEVA LUMINARIA

Esta acción se refiere a la posibilidad de almacenar luminarias ya sea creadas por el usuario o provenientes de algún fabricante. La Figura 47 muestra la ventana que permite crear la nueva luminaria que será almacenada en la base de datos.

Figura 46. Ventana para crear una nueva luminaria.

NUEVA LUMINARIA

Fabricante:* Nuevo Fabricante...
Nombre:*

Datos Generales

Potencia [W]: Flujo Luminoso[Lm]:*
Frecuencia [Hz]: N° Lámparas:*
Tensión [V]: Depreciación [0 - 1]:*

Matriz de Intensidad Luminosa

Tipo de Luminaria

Genérica
 Alumbrado Público

Incandescente
 Fluorescente Largo [m]: 1.2
 H.I.D.

Ingresar matriz

Introduzca Comentario

* Los campos con asterisco indican DATO OBLIGATORIO

OK Cancelar

Para que la luminaria pueda ser almacenada el usuario debe elegir y llenar todos los campos obligatorios que aparecen seguidos de un asterisco (*) como se muestra en la Figura 47. Estos campos tienen las convenciones que se explican en la Tabla 15.

Dando un *click* sobre la opción nuevo fabricante que aparece en el menú desplegable *fabricante*, el usuario debe introducir el nombre de la nueva marca fabricante de luminarias que desea registrar en la base de datos.

Luego deberá introducir los datos generales en las respectivas unidades (ver Figura 47) y la matriz de intensidad luminosa en candelas por kilo lumen.

Además se debe escoger el tipo de luminaria que se va a almacenar, ya sea incandescente, fluorescente o H.I.D (*high intensity discharge*) dependiendo del uso de la misma (Genérica o Alumbrado Público para vías). En caso que el usuario haya elegido la opción fluorescente, se deberá introducir la longitud de la luminaria en la casilla correspondiente. Oprima el botón Ingresar Matriz, para ingresar la matriz fotométrica de una luminara genérica (Figura 47) o una luminaria de alumbrado público (Figura 48). Existe un campo de comentario que el usuario puede usar para añadir información adicional de las luminarias, este se muestra en la parte inferior de la Figura 47.

Figura 47. Ventana para introducir la matriz fotométrica para lámparas genéricas.

Gamma	C*	Gamma	C*
5°	<input type="text"/>	95°	<input type="text"/>
15°	<input type="text"/>	105°	<input type="text"/>
25°	<input type="text"/>	115°	<input type="text"/>
35°	<input type="text"/>	125°	<input type="text"/>
45°	<input type="text"/>	135°	<input type="text"/>
55°	<input type="text"/>	145°	<input type="text"/>
65°	<input type="text"/>	155°	<input type="text"/>
75°	<input type="text"/>	165°	<input type="text"/>
85°	<input type="text"/>	175°	<input type="text"/>

Una vez se hayan llenado todos los campos obligatorios pulse el botón OK para almacenar la nueva luminaria. A continuación aparece la nueva

luminaria y en caso dado un nuevo fabricante que podrán ser elegidos en el diseño en curso.

Figura 48. Ventana para introducir la matriz fotométrica para lámparas de alumbrado público.

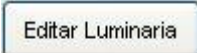
The screenshot shows a software window titled "Alumbrado Público" with a subtitle "Matriz de Intensidad Luminosa para Alumbrado Público [Cd / kLm]". The window contains a grid for entering photometric data. The columns are labeled with angles: 270°, 240°, 210°, 180°, 150°, 120°, and 90°. The rows are labeled with angles: 0°, 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80°, and 90°. Each cell in the grid is an empty text box. Below the grid, there is a note: "Nota: Para introducir los datos más rápidamente, utilice la tecla tabulación para desplazar el cursor de celda en celda en sentido vertical." At the bottom of the window are two buttons: "OK" and "Cancelar".

C Gamma	270°	240°	210°	180°	150°	120°	90°
0°							
10°							
20°							
30°							
40°							
50°							
60°							
70°							
80°							
90°							

Nota: Para introducir los datos más rápidamente, utilice la tecla tabulación para desplazar el cursor de celda en celda en sentido vertical.

OK Cancelar

5.2 EDITAR LUMINARIA

Pulse el botón  para editar cualquiera de las luminarias que se hayan introducido en la base de datos (Figura 49). Nótese que la ventana que se muestra en la Figura 49 es muy similar a la ventana que permite

introducir una nueva luminaria (Figura 46). La única diferencia apreciable, es que en este caso no es posible cambiar el tipo de fabricante a la cual pertenece la luminaria que se va a editar. Por lo demás todos los campos que se explican en la Tabla 15, aparecen habilitados para modificar los datos de la luminaria seleccionada.

Figura 49. Ventana para editar luminarias.

The image shows a software window titled "Editar Luminaria" with a blue title bar. The window content is organized into several sections:

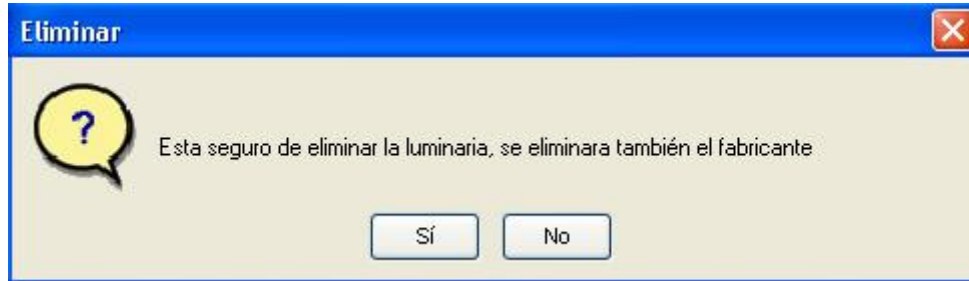
- Header:** "EDITAR LUMINARIA" in red text.
- General Information:** "Fabricante:" with the value "IES" and "Nombre:*" with the value "IES18".
- Datos Generales:** A section containing six input fields: "Potencia [W]:" (400), "Frecuencia [Hz]:" (60), "Tensión [V]:" (220), "Flujo Luminoso[Lm]:*" (27000), "Nº Lámparas:*" (1), and "Depreciación [0 - 1]:*" (0.95).
- Matriz de Intensidad Luminosa:** A section with "Tipo de Luminaria" (radio buttons for "Genérica" (selected), "Alumbrado Público"), "Incandescente", "Fluorescente", and "H.I.D." (selected). It also includes a "Largo [m]:" field with the value "1.2" and an "Editar matriz" button.
- Introduzca Comentario:** A text area containing the comment "Luminaria con ventilación para distribución difusa con lámpara clara de alta intensidad de descarga".
- Footer:** A note "* Los campos con asterisco indican DATO OBLIGATORIO" and "OK" and "Cancelar" buttons.

5.3 ELIMINAR LUMINARIA

Esta acción le permite al usuario eliminar cualquier luminaria que se encuentre dentro de la base de datos. En caso dado que la luminaria sea

única para el fabricante, se desplegará el mensaje de advertencia que se muestra en la Figura 50. De lo contrario el mensaje de advertencia solo preguntará si está seguro de eliminar la luminaria. Al pulsar OK se borrará el registro de la luminaria.

Figura 50. Mensaje de advertencia para eliminar luminarias.



6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Se ha implementado un soporte informático llamado APOLUX para el cálculo de los parámetros luminotécnicos para interiores y exteriores utilizando los métodos: básico de la CIE, cavidad zonal y punto a punto de la IES y CIE, permitiendo el uso comparativo, almacenamiento y actualización de matrices fotométricas en una base de datos.

El soporte informático fue desarrollado para uso de manera didáctica y académica en la solución de problemas correspondientes al curso de Iluminación e Instalaciones Eléctricas de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

Se comprobó de forma manual y simulada, la solución exacta de un ejemplo para probar la efectividad de los cálculos del soporte informático APOLUX.

Este sistema tiene la versatilidad frente a otros programas comerciales debido a que su base de datos permite introducir matrices fotométricas provenientes de cualquier fabricante o creadas por el usuario.

El texto del presente libro es la guía de usuario para el manejo del soporte informático APOLUX.

6.2 RECOMENDACIONES

En el texto y la aplicación desarrollada en este trabajo, presentan una síntesis de los métodos de cálculo de iluminación recomendados por las entidades especializadas, pudiendo servir como base para el desarrollo de un paquete informático para distribución comercial, liderado por la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Westinghouse_00] Westinghouse Electric Corporation, "Manual del Alumbrado", Editoriales Dossat, Cuarta Edición, 2000.

[Weigel_66] Weigel R. G., "Luminotecnia principio y aplicaciones", Editorial Gustavo Gili, Segunda Edición, 1966.

[RETIE_04] Ministerio de Minas y Energía, "Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas", Resolución N° 18 0398, 2004.

[ESSA_05] Empresa Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. "Normas para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución, Tercera Revisión, 2005.

[NTC900_98] Norma Técnica Colombiana 900. "Reglas Generales y Especificaciones para el Alumbrado Público", Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC), 1998.

[IES_81] Kaufman, J.E. "IES Lighting handbook". Reference Volume. Section nine, Lighting Calculations, 1981.

[Martínez_89] Martínez, I. "Cálculo de la Iluminación de Interiores por Computador. Tesis Universidad Industrial de Santander, 1989.

[CIE_78] Comisión Internacional de Iluminación (CIE). "Cálculos para la iluminación de interiores, Método Básico". Publicación N° 40 (TC-1.5), 1978.

[MathWorks_05] The Mathworks, Inc. "Creating Graphical Users Interfaces".
Version 7, 2005.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

[Holmes_Rr] Holmes, R.R. Calculations for Linear Light Sources. Light and
Lighting. Vol. PAS – 54 N° 3. Marzo de 1962.

[Kaufman_Rv] Kaufman, J.E. IES Lighting Handbook. Reference Volume.
New York 1981.

[Kaufman_Av] Kaufman, J.E. IES Lighting Handbook. Application Volume.
New York 1981.

[Martínez_89] Martínez, I. "Cálculo de la Iluminación de Interiores por
Computador. Tesis Universidad Industrial de Santander, 1989.

[MathWorks_05] The Mathworks, Inc. "Creating Graphical Users Interfaces".
Version 7, 2005.

[Phillips_Ma] Phillips. Manual de Alumbrado. Madrid 1983.

[Westinghouse_Ma] Westinghouse. Manual de Alumbrado. México 1984.

NORMAS

[CIE_78] Comisión Internacional de Iluminación (CIE). “Cálculos para la iluminación de interiores, Método Básico”. Publicación N° 40 (TC-1.5), 1978.

[ESSA_05] Empresa Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. “Normas para Cálculo y Diseño de Sistemas de Distribución, Tercera Revisión, 2005.

[IES_81] Kaufman, J.E. “IES Lighting handbook”. Reference Volume. Section nine, Lighting Calculations, 1981.

[NTC900_N] Norma Técnica Colombiana NTC 900. Para el cálculo de alumbrado público.

[RETIE_04] Ministerio de Minas y Energía, “Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas”, Resolución N° 18 0398, 2004.

ARTÍCULOS DE INTERNET

[CarlosLaszlo_01] Carlos Laszlo, Manual de Luminotecnia, Primera Entrega.
http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf_id=1822

[CarlosLaszlo_04] Carlos Laszlo, Manual de Luminotecnia, Cuarta Entrega.
http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf_id=1901

[CarlosLaszlo_05] Carlos Laszlo, Manual de Luminotecnia, Quinta Entrega.
http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf_id=1921

[CarlosLaszlo_08] Carlos Laszlo, Manual de Luminotecnia, Octava Entrega.

http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf_id=1992

[CarlosLaszlo_09] Carlos Laszlo, Manual de Luminotecnia, Novena Entrega.

http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf_id=2000

[CarlosLaszlo_10] Carlos Laszlo, Manual de Luminotecnia, Décima Entrega.

http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf_id=2001

[CarlosLaszlo_11] Carlos Laszlo, Manual de Luminotecnia, Última Entrega.

http://www.electroindustria.com/aplicacion.asp?inf_id=2004

[Vías_01] Cálculo de instalaciones de alumbrado vías públicas.

<http://edison.upc.es/curs/llum/exterio/calculos.html#mfacutil>

ANEXOS

ANEXO A. PRESENTACIÓN E INSTALACIÓN DEL SOPORTE INFORMÁTICO APOLUX

En el mercado existen múltiples programas que realizan cálculos luminotécnicos, sin embargo, poseen inconvenientes como pueden ser un elevado costo o que son de propiedad exclusiva de una empresa en particular, esto último implica que los análisis que se pueden realizar están condicionados a las luminarias de la marca propietaria del software.

APOLUX surge como una aplicación didáctica para el diseño de iluminación en interiores, polideportivos y vías con funciones de visualización de tablas y gráficos que ayudan a la comprensión de resultados. Además desde un punto de vista económico sirve como herramienta comparativa entre fabricantes de luminarias, superando así los altos costos de diseño y/o de tiempo que implican los cálculos cuando se hacen con programas ya sea independientes o de propiedad de los fabricantes de las luminarias.

Con sus características gráficas, APOLUX establece un nuevo punto de partida en el desarrollo de nuevas aplicaciones para el diseño y análisis de sistemas de iluminación en plataformas informáticas, que vienen siendo desarrolladas por la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander desde 1989.

El valor agregado más importante de esta aplicación es el complemento al aprendizaje del curso de iluminación, calefacción e instalaciones eléctricas de la escuela de ingenierías eléctrica, electrónica y telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

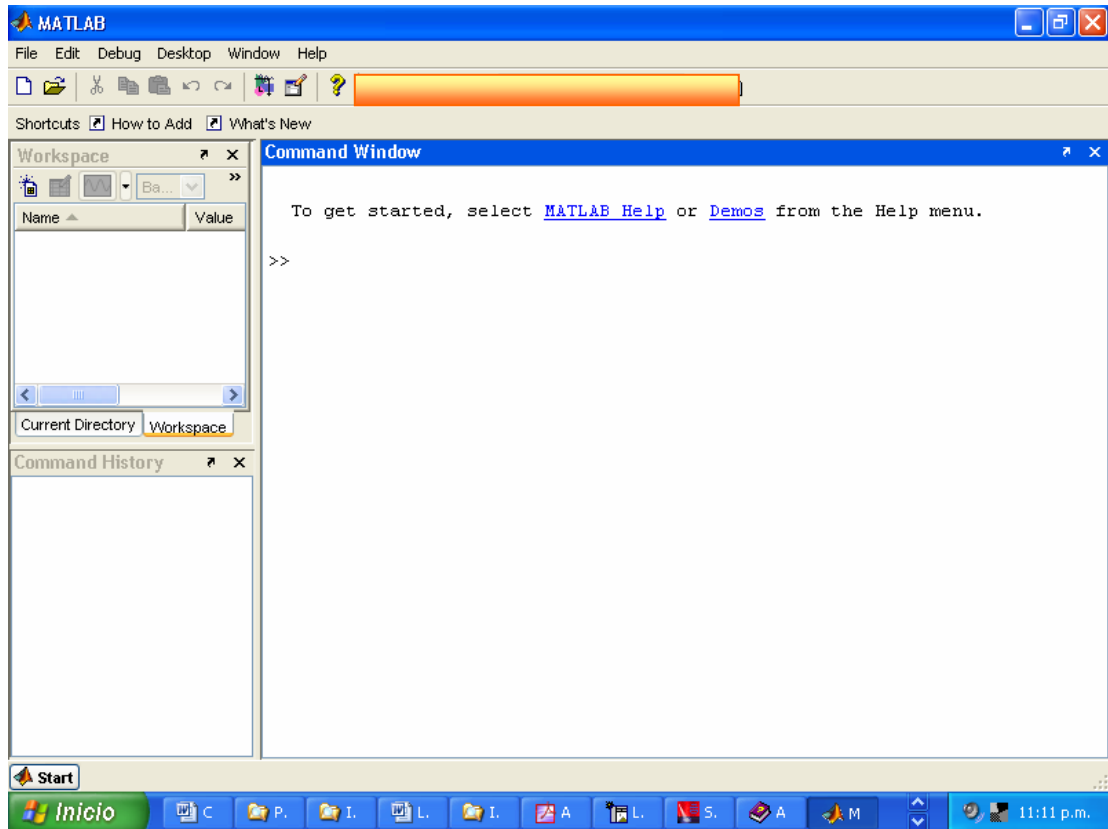
El soporte informático APOLUX, fue creado utilizando el ambiente para el desarrollo de interfaces gráficas de usuario (GUI) de Matlab® versión 7.0 [MathWorks_05], por lo tanto, para que el usuario pueda tener acceso a esta herramienta debe tener instalado en su equipo MatLab® 7.0. Para una mejor presentación de las gráficas y las imágenes de esta aplicación se recomienda que la pantalla este configurada en una resolución de 800 por 600 píxeles.

La instalación del soporte informático se realiza siguiendo los pasos que se muestran a continuación.

- ⇒ Inserte el CD de instalación APOLUX.
- ⇒ Copie la carpeta APOLUX que viene en el CD de instalación en la raíz del disco duro del computador (C:\APOLUX).
- ⇒ Ejecute Matlab 7.0. Aparece la ventana que se muestra en la Figura A.1.
- ⇒ Cambie la dirección que aparece en el *Current Directory* de la ventana de Matlab 7.0 (inicialmente siempre aparece en C:\MATLAB7\work) digitando la dirección C:\APOLUX, pulse enter.
- ⇒ Luego en el *command window* en frente del símbolo >> digite APOLUX y pulse enter.

Ya puede empezar a utilizar las diferentes posibilidades de esta aplicación para el cálculo de luminotécnico en interiores, polideportivos y vías, que se explican en detalle en los capítulos 2, 3, 4 y 5 de este libro.

Figura A.1. Pantalla principal de Matlab versión 7.0.



ANEXO B. EJEMPLO CARACTERÍSTICO

Para corroborar la eficacia del soporte informático, se utiliza un ejemplo característico paso a paso para comparar el método manual y el computacional. Los cálculos se efectuarán para cada uno de los métodos siguiendo la metodología explicada en el capítulo 1 para interiores, pues es donde se utilizan los tres métodos de cálculo.

Ejemplo: se tiene una pequeña oficina de 6 m por 12 m y una altura de techo de 3,75 m, se va a iluminar para trabajos administrativos normales. Se considera una reflectancia del 80% para el techo, 50% para las paredes y el 20% para el piso.

Las luminarias se suspenderán a 60 cm bajo el techo, el nivel luminoso será de 1 000 luxes para trabajos normales de oficina (según las normas de la Electrificadora de Santander).

El tipo de luminaria a utilizar será fluorescente con las características dadas a continuación.

Tipo de fuente	F96T12/CW/HO
Número de lámparas	1
Lúmenes / Lámpara	9 000
Potencia [W]	40

La matriz fotométrica correspondiente es:

Ángulo θ [grados]	Intensidad [cd/1000 lúmenes]
5	42,5
15	38,5
25	35,5
35	32,5

45	29
55	22
65	14,5
75	7
85	2
95	11
105	49,5
115	96
125	130
135	155
145	172
155	183
165	189
165	201

1. MÉTODO DE LA CAVIDAD ZONAL

CÁLCULO DE LA RELACIÓN DE CAVIDAD

Se calcula reemplazando las dimensiones dadas por el ejemplo en la ecuación (5).

Siendo:

$$W = 6 \text{ m}$$

$$L = 12 \text{ m}$$

$$h = h_{RC} = 2,4 \text{ m}$$

$$h = h_{CC} = 0,6 \text{ m}$$

$$h = h_{FC} = 0,75 \text{ m}$$

Reemplazando se obtienen:

$$RCR = 3$$

$$CCR = 0,75$$

$$FCR = 0,9375$$

CÁLCULO DE LAS REFLACTANCIAS EFECTIVAS

Empleando (8) y (9) y reemplazando los siguientes valores para la cavidad

de techo (Se reitera que todas las ecuaciones y explicaciones pertinentes se explican en el capítulo1):

$$\rho_{\omega} = 0,5$$

$$\rho_B = 0,8$$

$$A_B = 72 \text{ m}$$

$$A_w = 21,6 \text{ m}^2$$

$$x = 20 \text{ m}$$

$$y = 10 \text{ m}$$

Se obtiene:

$$F = 0,8656$$

$$\rho_{eff.} = 0,6928$$

Para la cavidad de piso se procede de igual forma siendo que los valores a utilizar son:

$$\rho_{\omega} = 0,5$$

$$\rho_B = 0,2$$

$$A_B = 72 \text{ m}$$

$$A_w = 27 \text{ m}^2$$

$$x = 16 \text{ m}$$

$$y = 8 \text{ m}$$

Se tiene:

$$F = 0,8358$$

$$\rho_{eff.} = 0,1923$$

CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE UTILIZACIÓN

Para el cálculo de este coeficiente se siguen los siguientes pasos:

Se determina el flujo en lúmenes en las diferentes zonas mediante (10). Por

ejemplo:

$$\Phi(1) = 2 * \pi * (41.5) * (\cos(0^\circ) - \cos(10^\circ))$$

$\Phi(1)$	39,614
$\Phi(2)$	10,913
$\Phi(3)$	16,432
$\Phi(4)$	20,416
$\Phi(5)$	22,459
$\Phi(6)$	19,738
$\Phi(7)$	14,393
$\Phi(8)$	74,054
$\Phi(9)$	21,821
$\Phi(10)$	12,002
$\Phi(11)$	52,367
$\Phi(12)$	95,291
$\Phi(13)$	116,63
$\Phi(14)$	120,04
$\Phi(15)$	108,05
$\Phi(16)$	84,704
$\Phi(17)$	53,575
$\Phi(18)$	19,187

Se determina el flujo que contribuye tanto en la parte inferior como superior del lóbulo utilizando (11) y (12) respectivamente:

$$\Phi_D = 0,117$$

$$\Phi_u = 0,661$$

Se determina ahora la relación directa utilizando (13)

$$DM = 0,62$$

Se determinan los parámetros C1, C2, C3 y Co utilizando (14) a (17):

$$C1 = 0,587$$

$$C2 = 0,346$$

$$C3 = 1,136$$

$$Co = 2,069$$

Con los resultados anteriores se procede a calcular los coeficientes de utilización CU (19), de iluminancia de la pared WLC (20) y luminancia de la cavidad de techo CCLC (21):

$$CU = 0,445$$

$$WLC = 0,151$$

$$CCLC = 0,537$$

CÁLCULO DE FACTORES DE PÉRDIDA

Los factores de pérdida de luz dados son los siguientes:

Factor por depreciación en los lúmenes de la lámpara	0,84
Factor por funcionamiento de la reactancia	0,95
Factor por mortalidad de las lámparas	1
Factor por tensión de alimentación	1
Factor por deterioro de la luminaria	0,98
Factor por temperatura ambiente de la luminaria	1
Factor por envejecimiento de las superficies del local	1

Los factores de pérdida de luz calculados son los siguientes:

Tipo de ambiente de trabajo: LIMPIO

Categoría de la luminaria: VI

Período de mantenimiento de la luminaria: 12 meses.

Conociendo estos datos, es posible determinar el factor por suciedad en las luminarias mediante (4):

$$LDD = 0,865$$

Para este ejemplo se considera período de mantenimiento de las superficies del local igual a cero meses, por lo cual el factor por suciedad en las superficies del local es igual a 1,0.

El factor total de pérdidas es el producto de todos estos factores.

LLF = 0,676

CÁLCULO DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN

Utilizando la ecuación (23) nivel de iluminación promedio, se despeja lámparas por luminaria, obteniéndose:

Lámparas por luminaria = 26,538. Este valor se aproxima a 28.

2. CÁLCULO DEL NIVEL DE ILUMINACIÓN POR EL MÉTODO BÁSICO

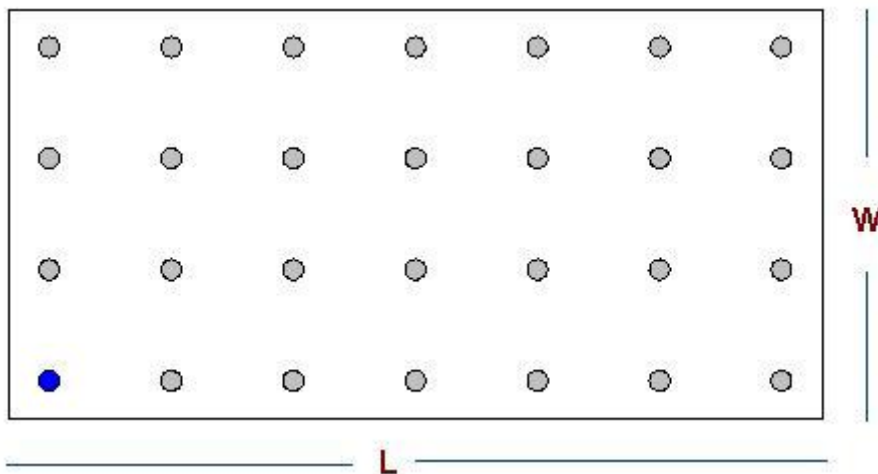
CÁLCULO DEL FLUJO F4 INCIDENTE EN EL PLANO DE TRABAJO

Considerando la Figura B.1, la primera luminaria se encuentra ubicada en la posición:

A lo largo $Y = 0,6$ m

A lo ancho $X = 0,546$ m

Figura B.1. Ubicación de las luminarias según el método de la cavidad zonal.



Los valores x y y de la Figura 10 se calculan de la siguiente forma

$$y = Y/H \quad y \quad x = X/H$$

Siendo $H = 2,4$ m; altura de la cavidad del local.

Por tanto se consideran los 4 rectángulos y sus coordenadas son:

Rectángulo	X/H	Y/H
1	0,25	0,228
2	4,75	0,228
3	4,75	2,272
4	0,25	2,272

Reemplazando estos valores en (27), (28), (29) y (30) resulta:

$$Y_1 = 0,223$$

$$Y_2 = 0,712$$

$$Y_3 = 0,507$$

$$Y_4 = 0,388$$

Reemplazando los valores de Y_i y multiplicando por la matriz $D S^{-1}$ se obtienen los multiplicadores geométricos, que al sumarlos para cada rectángulo se obtiene:

$$\Sigma GM_1 = 0,398$$

$$\Sigma GM_2 = -0,128$$

$$\Sigma GM_3 = 0,316$$

$$\Sigma GM_4 = -0,017$$

(Todas las demostraciones matemáticas de este método se describen en la referencia [CIE_78]).

CÁLCULO DEL LOS FLUJOS ACUMULADOS FC:

En el método básico, estos cuatro valores de los flujos emitidos y acumulados en los ángulos de revolución $\pi/2$, π , $3\pi/2$, 2π , caracterizan la emisión luminosa en el hemisferio inferior junto al flujo total F (superior + inferior).

$$FC1 = 73,449 \text{ Cd}$$

$$FC2 = 110,98 \text{ Cd}$$

$$FC3 = 122,85 \text{ Cd}$$

$$FC4 = 124,99 \text{ Cd}$$

El flujo total directo fu recibido por el mismo rectángulo con la luminaria colocada en la misma situación sería (todos los factores fueron explicados en el capítulo 1):

$fu = Y \cdot D \cdot S^{-1} \cdot FC$, FC es el vector que contiene a los flujos acumulados en el hemisferio inferior.

$$fu = 466,17$$

El flujo total directo incidente sobre el plano de trabajo es la suma de los flujos parciales y está dado por (32):

$$F4 = 20\,555 \text{ Cd}$$

CÁLCULO DE LAS INTER-REFLEXIONES

Debido a que las luminarias se encuentran suspendidas, se emplean las ecuaciones (33) y (34)

$$J = 0,2$$

$$K = 1,6667$$

CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE INTERCAMBIO

Empleando (42), se obtiene:

$$g_{45} = g_{ij} = 41,6125 \quad \text{con } H = H3 = 2,4 \text{ m}$$

$$g_{15} = g_{ij} = 62,3257 \quad \text{con } H = H2 = 0,6 \text{ m}$$

$$g_{14} = g_{41} = g_{ij} = 36,647 \quad \text{con } H = H2 + H3 = 3 \text{ m}$$

$$g_{11} = g_{44} = 0$$

$$g_{12} = g_{21} = L \times W - g_{15} = 9,6743$$

$$g_{13} = g_{31} = g_{15} - g_{14} = 25,679$$

$$g_{22} = 2 \times \left(\frac{J}{(1-J) \times K} \times L \times W - L \times W + g_{15} \right) = 2,251$$

$$g_{23} = g_{32} = L \times W + g_{14} - g_{15} - g_{45} = 4,709$$

$$g_{24} = g_{42} = g_{45} - g_{14} = 4,9654$$

$$g_{33} = 2 \times \left(\frac{L \times W}{K} - L \times W + g_{45} \right) = 25,625$$

$$g_{34} = g_{43} = L \times W - g_{45} = 30,387$$

Siendo MR según (39) y empleando a la matriz C como en (36), la matriz g como en (37) y R como en (38) y dados los valores:

$$\rho_1 = \text{Reflectancia del techo} = 0,8$$

$$\rho_2 = \text{Reflectancia del friso} = 0,2$$

$$\rho_3 = \text{Reflectancia de las paredes} = 0,5$$

$$\rho_4 = \text{Reflectancia del plano de trabajo} = 0,3$$

Se obtiene:

MR=

$$\begin{vmatrix} 0,35 & 0,8 & 0,9 \\ -0,75969 & 0,11852 & 0,18088 \\ -0,44167 & -0,61822 & 0,59281 \end{vmatrix}$$

Invirtiendo MR se obtiene RM=

0,2194	-12,419	0,045834
0,4464	0,72899	-0,90015
0,62899	-0,16504	0,78231

CÁLCULO DE ILUMINANCIAS MEDIAS E1, E3 Y E4

De las expresiones (44), (45) y (46) y reemplazando los valores se tiene en luxes:

$E1 = 373,07$ = Iluminancia media sobre el techo y el friso.

$E3 = 674,26$ = Iluminancia media sobre la pared.

$E4 = 1\ 306,9$ = Iluminancia media sobre el plano de trabajo.

3. CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN POR EL MÉTODO PUNTO A PUNTO

CÁLCULO DE LA COMPONENTE DIRECTA

Este método es el que se utiliza para calcular iluminancias en forma precisa, por esto, se utiliza en los tres tipos de ambientes con los que trabaja APOLUX. A continuación se describe el método; en cualquiera de los tres ambientes el cálculo es muy similar, con la variante en este caso, que se tomará un ejemplo con una fuente lineal para agregar un grado más de dificultad. Se tomará ejemplo del primer punto debido a la primera luminaria. El resto es análogo al procedimiento descrito.

La posición de la primera luminaria es la calculada por el método de la cavidad zonal.

A lo largo $Y = 0,6$ m

A lo ancho $X = 0,546$ m

Posición del primer punto de cálculo.

A lo largo $Y=0$ m

A lo ancho $X=0$ m

Teniendo en cuenta las dimensiones de la luminaria (1,2 m) y la altura de la cavidad de local (2,4 m), se hallan todos los ángulos y la distancia a de la Figura 13, obteniéndose.

$$\beta_1=24,866^\circ$$

$$\beta_2=1,231^\circ$$

$$\alpha=14,037^\circ$$

$$a=2,474 \text{ m}$$

De tal manera que hallando la intensidad luminosa en la dirección α de la matriz de intensidades.

$$I(\alpha)=349.1 \text{ cd}$$

Remplazando los valores obtenidos, se tiene que la iluminancia directa en el punto (0,0) debido a la primera luminaria es igual a:

$$E_D=48.98 \text{ luxes}$$

La componente reflejada en este punto es igual a (remplazando en las ecuaciones (50) y (51) y teniendo en cuenta la Figura 14 y la Tabla 10):

$$MP = 0,23$$

$$CCR = 0,24$$

$$E_R = 840,134$$

La iluminancia total en el punto (0,0) corresponde a la suma de todas las iluminancias (directas y reflejadas) debidas a todas la luminarias de la instalación. La iluminancia total en el punto (0,0) calculada de esta manera incluyendo el factor total de pérdidas (LLF) es igual a 644,9052 luxes.

ANEXO C. ESTRUCTURA DEL SOPORTE INFORMÁTICO APOLUX

