

**Universidad
Autónoma
Metropolitana**



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN

EL USO EFICIENTE DE ENTORNOS DE OFICINA

**Caso de estudio: El desempeño de los usuarios de oficinas
en la ciudad de México**

Arq. Erick Plesent Solís

Tesis para optar por el grado de Maestro en Diseño

Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática

Miembros del Jurado:

Dr. José Roberto Gracia Chávez

Co-director de la tesis

Mtro. en Arq. Salvador Ulises Islas Barajas

Director de la tesis

México D.F., Mayo 2017

Agradecimientos

Especialmente quiero darle las gracias al Dr. Jorge Sánchez de Antuñano por motivarme a entrar a la maestría, por brindarme todo el apoyo durante tanto tiempo y enseñarme tantas cosas que me han sido de gran utilidad para desempeñarme no solo en la maestría, sino también para guiarme en la vida misma.

Agradezco a mi familia: A mis tíos Lilia y Manolo por brindarme hogar, cariño, motivación y muy buena calidad de vida durante el primer año de este proceso, mis padres y hermanos por todo el apoyo constante en todos los aspectos morales y económicos.

Quiero agradecer al Dr. José Roberto Gracia Chávez porque desde el inicio de todo el proceso, siempre que he necesitado ayuda siempre me la ha brindado de manera muy atenta y con gran entusiasmo.

Le doy las gracias a todos mis compañeros de la maestría porque en todo momento estuvieron ahí para aconsejarme ayudándome a realizar el documento de la tesis, especialmente a mi amiga Anais Carrillo quien en repetidas ocasiones me motivó a seguir adelante y no dejarme caer, estando a mi lado dándome un ejemplo a seguir con su manera de aplicar el conocimiento.

También les quiero agradecer a mis amigos y colegas Alejandro Morales, Rodrigo Palomera por brindarme su apoyo laboral y gran compañía.

Quiero agradecer a mi tutor inicial Mtro. Salvador Islas quien con su profundo conocimiento del tema me ha guiado de manera correcta en el desarrollo de la investigación.

Índice

Índice de Figuras	9
Índice de Tablas.....	18
Lista de Ecuaciones.....	21
Resumen	23
Abstract.....	25
Introducción	27
Descripción del capitulado	29
Capítulo 1 - ANTECEDENTES	31
1.1 Antecedentes.....	33
1.2 Planteamiento del problema general	42
1.3 Estudios de referencia	44
1.4 Normatividad	54
Capítulo 2 - LOS EFECTOS DE LA ILUMINACIÓN SOBRE EL SER HUMANO	57
2.1 Los efectos de la iluminación sobre el ser humano	59
2.2 Efectos fisiológicos	59
2.3 Efectos psicológicos	60
2.4 Ritmo circadiano y reloj biológico	61
Capítulo 3 - SISTEMA VISUAL	69
3.1 Sistema visual	71
3.2 Sistema perceptual.....	73
3.3 Factores que afectan a la visibilidad de una tarea.....	73
3.3.1 Adaptación visual	73
3.3.2 Rendimiento visual	74

3.4 Confort visual	76
3.5 El confort visual en áreas de trabajo	76
Capítulo 4 - LUMINOTECNIA	81
4.1 Generalidades de la luminotecnica	83
4.2 Propiedades de la luz	89
4.3 Tipos de fuentes luminosas	90
4.4 Calidad de la iluminación	93
Capítulo 5 - CONDICIONES DEL ENTORNO VISUAL	101
5.1 Condiciones del entorno visual	103
5.2 Causas de la disminución del confort visual	103
5.3 Deslumbramiento reflejado y reflexiones de velo.....	106
5.4 Limitaciones al deslumbramiento directo	107
Capítulo 6 - ILUMINACIÓN EN ÁREAS DE TRABAJO	109
6.1 Distribución de iluminación en áreas de trabajo.....	111
6.2 Equilibrio de luminancias	116
6.3 Probabilidad de confort visual (VCP)	118
6.4 Índice de deslumbramiento (UGR).....	120
Capítulo 7 - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	127
7.1 Planteamiento del problema	129
7.2 Hipótesis	129
7.3 Objetivo general.....	130
7.4 Objetivos particulares	130
Capítulo 8 – MÉTODO	131
8.1 Método.....	133

8.2 Análisis de datos y resultados	175
8.2.1 Parámetro de desempeño según el género	188
8.2.2 Parámetro de desempeño según la edad.....	189
8.2.3 Parámetro de desempeño según el uso de lentes.	190
CONCLUSIONES	191
Conclusiones	193
Aportación al diseño	193
Propuestas de aplicación.....	194
Normatividad consideraciones.....	194
BIBLIOGRAFÍA	195
Fuentes.....	197
Glosario	198
Anexos.....	203
Currículum vitae	223

Índice de Figuras

	Pag.
Figura 1. Iluminancia mínima en plano de trabajo, para dibujo y la iluminancia mínima para las salas de conferencias (liisa halonen, eino tetri y pramod bhusal, 2010)	35
figura 2. Niveles mínimos de iluminancia cuando se trabaja en computadoras (liisa halonen, eino tetri y pramod bhusal, 2010).	36
figura 3. Niveles mínimos de iluminancia para el entorno inmediato del plano de trabajo (liisa halonen, eino tetri y pramod bhusal, 2010).	37
figura 4. La proporción de iluminación para el área de trabajo (liisa halonen, eino tetri y pramod bhusal, 2010).	38
figura 5. Comparación del índice de deslumbramiento unificado (ugr) y la probabilidad de confort visual (vcp), (liisa halonen, eino tetri y pramod bhusal, 2010).	39
figura 6. El ángulo de las pantallas y el mínimo de luminancia (liisa halonen, eino tetri y pramod bhusal, 2010).	40
figura 7. Reflectancia en las superficies al interior (liisa halonen, eino tetri y pramod bhusal, 2010).	41
figura 8. El cambio de iluminancia elegido al final del día de trabajo contra la iluminancia en el escritorio experimentado durante el día (newsham y veitch, 2001).	45
figura 9. Rendimiento en dos tipos de tarea de lectura, (a) tiempo necesario para corregir un texto y el porcentaje de éxitos, es decir, los errores detectados y corregidos, comprobado frente a la iluminación; (b) la velocidad y el nivel de comprensión de un texto contra iluminancia (smith y rea, 1978 y 1982).	46
figura 10. Temperatura de color correlacionada de la luz (cct) obtenidas de una cámara digital. De izquierda a derecha: luz blanca de 6500k, fría de 4000k y cálida de 3000 k. (b.m.t shamsul, c.c. sia, y.g ng, k. Karmegan, 2013)	48

figura 11. Software fract para evaluar el desempeño visual en base al tiempo y número de errores (http://michaelbach.de/fract/) por (bach, 1996).....	49
figura 12. (a) resultado promedio de la prueba de agudeza visual (por segundo) y (b) porcentaje del registro del umbral de contraste en las pruebas por computadora (b.m.t shamsul, c.c. sia, y.g ng, k. Karmegan, 2013).....	52
figura 13. Comparación del nivel de alerta antes y después de hacer las pruebas entre las fuentes de luz. (b.m.t shamsul, c.c. sia, y.g ng, k. Karmegan, 2013).	53
figura 14. Comparación de las preferencias y nivel de confort subjetivo de los participantes bajo las tres diferentes temperaturas de color. (b.m.t shamsul, c.c. sia, y.g ng, k. Karmegan, 2013).....	53
figura 15. Cabezal de engranajes (ramspott)	57
figura 16. Sistemas que influyen en el desempeño humano en relación a la iluminación (elisa colombo, beatriz o'donell, carlos kirschbaum, 2006).	59
figura 17. Ciclo de actividad a lo largo del día. (guzzini, 2003).	62
figura 18. Ritmo circadiano en diversos tipos de actividad. Fuente: (cardinali, 1996).	62
figura 19. El ciclo circadiano en condiciones naturales y en condiciones habituales (edgar landa colacios, carlos sierra garriga, 2003).	63
figura 20. Ciclo circadiano de actividad psicomotora. (cardinali, 1994).	65
figura 21. Ciclo circadiano de temperatura corporal. (pöppel, e. De mondello, r. P. 1995)	66
figura 22. Conexión del sistema visual al cerebro (van den beld, 2003)	69
figura 23. Sistema visual, células fotorreceptoras (sekular, blake, 1994)	71
figura 24. Curva de sensibilidad del ojo. (wald, crawford, 1945-1949)	72
figura 25. Visión fotópica y escotópica (wald, crawford, 1945-1949).....	72
figura 26. Curva de adaptación visual de oscuridad a luz y de luz a oscuridad. (souguero, 2013).	74

figura 27. La dificultad de la tarea se incrementa cuando el contraste entre el detalle y el fondo se reduce (instituto para la diversificación y ahorro de la energía (idae) y el comité español de iluminación (cei), 2001).....	75
figura 28. Cuanto más pequeño sea el detalle más difícil es asimilar la tarea. (instituto para la diversificación y ahorro de la energía (idae) y el comité español de iluminación (cei), 2001)	75
figura 29. Representa la validez de una luminaria en relación a la ubicación para determinar la calidad de la iluminación en relación al deslumbramiento (instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo (insht), 2015).	77
figura 30. Iluminación y energía (iyast)	81
figura 31. Concepto de intensidad luminosa, obtenido de magnitudes fotométricas básicas (valencia, 1995)	86
figura 32. Rango visible del espectro electromagnético (cad-projects, 2011).	90
figura 33. Necesidad de iluminación en función de la edad (ir.w. J. M. Van bommel, ir. G. J. Van den beld, 2004).....	93
figura 34. Transmitancia del cristalino en función de la edad (ir.w. J. M. Van bommel, ir. G. J. Van den beld, 2004).....	94
figura 35. Rendimiento visual relativo en función del nivel de iluminación (ir.w. J. M. Van bommel, ir. G. J. Van den beld, 2004).	94
figura 36. Diagrama de las tres componentes que participan en la definición de calidad de iluminación (veitch, 2000). (veitch, jennifer, 2001).	99
figura 37. Marco conceptual que incluye los tres caminos: circadiano, visual y perceptual, a través de los cuales la condición de iluminación influye sobre el desempeño humano y que definen la calidad de iluminación. Las flechas indican la dirección del efecto. (elisa colombo, beatriz o'donell, carlos kirschbaum, 2006)	100
figura 38. Iluminación en puesto de trabajo (sánchez, 2002).....	101

figura 39. Representación gráfica de la reflexión de velo. (instituto para la diversificación y ahorro de la energía (idae) y el comité español de iluminación (cei), 2001)	106
figura 40. Ejemplo de contraste. (elaboración propia, 2016).....	107
figura 41. Zona de deslumbramiento directo del observador. (lechner, 2001) ...	107
figura 42. Lápiz de dibujo idea de bombilla de papel (ramspott)	109
figura 43. Iluminación general, esquema del lia (elaboración propia, 2016), basada en (raitelli, 2006).....	114
figura 44. Iluminación puntual, esquema del lia. (elaboración propia, 2016).....	115
figura 45. Relación de luminancias en el campo visual. Ejemplos de contrastes	116
figura 46. Representación para el cálculo de vcp (s) posición de la luminaria, (x) punto del observador.....	118
figura 47. Valor de ugr del laboratorio de iluminación obtenido por el software agi32.	122
figura 48. Valor de ugr del laboratorio de iluminación obtenido por el software agi32.	123
figura 49. Valores de iluminancia obtenidos en el software dialux.	124
figura 50. Una gráfica para la conversión del deslumbramiento molesto: índice (dgr) a (vcp). (el porcentaje previsto por los observadores de una tarea para juzgar una condición de iluminación dada para que sea cómodo o bueno entre el límite de la comodidad y el malestar.....	126
figura 51. Signo de interrogación (ramspott)	127
figura 52. Diagrama de dibujo de diagrama de flujo (ramspott).....	131
figura 53. Las cuatro luminarias en plafón utilizados en el (lia).	134
figura 54. Difusor tipo louver de aluminio de 60x60cm.....	135
figura 55. Lámpara fluorescente tipo t-8 “u”	135

figura 56. Ficha técnica de la luminaria utilizado para las pruebas en el laboratorio (lia).	136
figura 57. Luxómetro utilizado para medir la luminosidad del lia.....	137
figura 58. Diseño del luxómetro.	138
figura 59. Altura del techo a 3m y del luxómetro a 70 cm en una retícula de 60x60 cm.	139
figura 60. Planta arquitectónica del lia con la medición de iluminancia sin la colocación de filtros.....	140
figura 61. Gráfica de isolneas en planta e isométrico de la iluminancia sin filtros en el lia.....	140
figura 62. Filtro Id209 dichroic 0.9 nd (dicroico) marca lee filters.	142
figura 63. Luz transmitida de cada color por el filtro Id209.....	142
figura 64. Especificaciones técnicas del filtro Id209.....	142
figura 65. Recorte de filtros.....	143
figura 66. Recorte de filtros a la medida de los difusores.	143
figura 67. Difusor con filtro no. Ld209.	144
figura 68. Difusor con el filtro montado en el plafón.....	144
figura 69. Planta arquitectónica del lia con la medición de iluminancia con un filtro colocado en cada una de las luminarias.	145
figura 70. Gráfica de isolneas en planta e isométrico con un filtro en el lia.....	145
figura 71. Medición de 134 lux promedio utilizando dos filtros Id209 en cada luminaria.	147
figura 72. Gráfica de isolneas en planta e isométrico con un filtro en el lia.....	147
figura 73. Foto del lia con mesa y retícula a cada 30 centímetros donde se ubicó el luxómetro.....	149
figura 74. Iluminancia sobre la mesa de trabajo sin filtros en las luminarias.....	150

figura 75. Gráfica de isolineas de la iluminancia sobre la mesa sin filtros.....	150
figura 76. Iluminancia sobre la mesa de trabajo con un filtro Id209.....	152
figura 77. Iluminancia sobre la mesa de trabajo con dos filtros Id209.	154
figura 78. Bloqueo de la iluminación sobre la tarea visual.....	156
figura 79. Ejercicio 1, conteo de líneas de la prueba piloto.	157
figura 80. Características del ejercicio 1.....	158
figura 81. Ejercicio 2, detección de caracteres de la prueba piloto.	159
figura 82. Característica del ejercicio 2	160
figura 83. Ejercicio 3 de la prueba piloto.	160
figura 84. Ejercicio 4 de la prueba piloto.	162
figura 85. Hoja de respuesta de la prueba piloto.....	163
figura 86. Pasos de la prueba experimental.....	164
figura 87. Foto de estudiantes realizando la prueba piloto.....	165
figura 88. Foto de los estudiantes realizando la prueba piloto.	165
figura 89. Foto del calibrador de monitor tipo (x-rite i1 pro2).....	166
figura 90. Foto de la calibración del monitor dentro del laboratorio de iluminación artificial.	167
figura 91. Foto de la calibración del monitor en el laboratorio de color.	167
figura 92. Hoja de respuestas modificad de los resultados cuantitativos.	171
figura 93. Hoja dos de respuesta cualitativas.....	172
figura 94. Foto de los estudiantes resolviendo los ejercicios.....	173
figura 95. Foto de los estudiantes resolviendo las encuestas.	173
figura 96. Muestra de captura de resultados	174
figura 97. Evaluación promedio de los síntomas y preferencias.	175

figura 98. Porcentaje de errores cometidos al resolver el ejercicio 1 (conteo de líneas) en alto y bajo contraste.	176
figura 99. Promedio de tiempo al resolver el ejercicio 1 (conteo de líneas) en alto y bajo contraste.....	177
figura 100. Promedio de tiempo al resolver el ejercicio 2 (detección de caracteres) en alto y bajo contraste.	178
figura 101. Izquierda. Promedio de tiempo al resolver el ejercicio 3 (copia de textos) en alto y bajo contraste.	179
figura 102. Derecha. Porcentaje de errores cometidos al resolver el ejercicio 3(copia de textos) en alto y bajo contraste.....	180
figura 103. Resultado de la ecuación de la curva polinómica del ejercicio 1 en alto contraste obtenido por wolframalpha	181
figura 104. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 1 con alto contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado óptimo obtenido de la curva polinómica fue de 250 lux.	182
figura 105. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 1 con bajo contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado óptimo obtenido de la curva polinómica fue de 300 lux.	183
figura 106. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 2 con alto contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado de la ecuación obtenido de la curva polinómica fue de 428 lux.....	184
figura 107. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 2 con bajo contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado de la ecuación obtenido de la curva polinómica fue de 330 lux.....	185
figura 108. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 3 (copia de textos) con bajo contraste, bajo las 3 condiciones	

de iluminancia distintas. El resultado de la ecuación de la curva polinómica fue de 400 lux.	186
figura 109. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 3 (copia de textos) con bajo contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado de la ecuación de la curva polinómica fue de 250 lux.	187
figura 110. Parámetro de desempeño según el género.	188
figura 111. Parámetro de desempeño según la edad.	189
figura 112. Parámetro de desempeño según si se utiliza lentes.	190
figura 113. Presentación idea de dibujo de la lámpara (ramspott)	191
figura 114. Libro de ideas dibujo de la bombilla (ramspott)	195
figura 115. Ejercicio 1 conteo de líneas en alto contraste.	203
figura 116. Ejercicio 2 conteo de líneas en alto contraste.	204
figura 117. Ejercicio 3 conteo de líneas en alto contraste.	205
figura 118. Ejercicio 4 conteo de líneas en bajo contraste.	206
figura 119. Ejercicio 5 conteo de líneas en bajo contraste.	207
figura 120. Ejercicio 6 conteo de líneas en bajo contraste.	208
figura 121. Ejercicio 7 detección de caracteres en alto contraste.	209
figura 122. Ejercicio 8 detección de caracteres en alto contraste.	210
figura 123. Ejercicio 9 detección de caracteres en alto contraste.	211
figura 124. Ejercicio 10 detección de caracteres en bajo contraste.	212
figura 125. Ejercicio 11 detección de caracteres en bajo contraste.	213
figura 126. Ejercicio 12 detección de caracteres en bajo contraste.	214
figura 127. Ejercicio 13 copia de textos en alto contraste.	215
figura 128. Ejercicio 14 copia de textos en alto contraste.	216

figura 129. Ejercicio 15 copia de textos en alto contraste.....	217
figura 130. Ejercicio 16 copia de textos en bajo contraste.....	218
figura 131. Ejercicio 17 copia de textos en bajo contraste.....	219
figura 132. Ejercicio 18 copia de textos en bajo contraste.....	220

Índice de Tablas

Tabla 1. Iluminancia recomendada para actividades en oficinas en diferentes países, elaboración propia con base en de (boyce p. R., 2003).	44
tabla 2. Escala kss (karolinska sleepiness scale, 1990) para medir la somnolencia o estado de alerta (1990) (b.m.t shamsul, c.c. sia, y.g ng, k. Karmegan, 2013).50	
tabla 3. Cuestionario ols modificado (office lighting survey, modified, version. 250) (b.m.t shamsul, c.c. sia, y.g ng, k. Karmegan, 2013), referencia para las pruebas descritas en la (tabla 29).	51
tabla 4. Comparativa de las recomendaciones de iluminación para oficinas, establecidas por los organismos relacionados con la iluminación (elaboración propia, 2016).....	54
tabla 5. Niveles máximos permisibles del factor de reflexión.....	55
tabla 6. Aspectos que influyen en la calidad visual (ir.w. J. M. Van bommel, ir. G. J. Van den beld, 2004).	78
tabla 7. Apariencia del color según su temperatura.....	88
tabla 8. Clasificación del irc según su grado y apariencia.	89
tabla 9. Índice de reproducción cromática (irc), temperatura de color (k) y fuentes luminosas.	91
tabla 10. Parámetros mínimos de iluminancia para oficinas recomendados por la cie. (instituto para la diversificación y ahorro de la energía (idae) y el comité español de iluminación (cei), 2001).....	95
tabla 11. Parámetros recomendados por la norma europea (liisa halonen, eino tetri y pramod bhusal, 2010).....	96
tabla 12. Características aproximadas de los sistemas de alumbrado. (raitelli, capítulo 8 - diseño de la iluminación de interiores, 2006)	112
tabla 13. La relación del valor de ugr y el criterio de deslumbramiento molesto de hopkinson.	125

tabla 14. Correlación de ugr y vcp.....	125
tabla 15. Iluminancia del lia, sin usar filtros.....	141
tabla 16. Niveles de transmisión y absorción del filtro ld209, sin cambios de color.	142
tabla 17. Iluminancia del lia, utilizando un filtro ld209 en las luminarias.....	146
tabla 18. Iluminancia del lia, utilizando dos filtros ld209 en cada luminaria.....	148
tabla 19. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo sin filtros en las luminarias.	151
tabla 20. Iluminancia promedio general de muros plafón y mesa sin filtros.	151
tabla 21. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo con un filtro ld209.....	152
tabla 22. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo con un filtro en las luminarias.	153
tabla 23. Iluminancia promedio general de muros plafón y mesa con un filtro. ...	153
tabla 24. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo con dos filtros ld209.	154
tabla 25. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo con doble filtro en las luminarias.....	155
tabla 26. Iluminancia promedio general de muros plafón y mesa con doble filtro.	155
tabla 27 ejemplo de encuesta	169
tabla 28. Cuestionario (ols) modificado; cuestionario para determinar los síntomas y preferencias de los encuestados.....	169
tabla 29. Ejemplo de solución de encuesta.....	169
tabla 30. Tabla de respuesta a los síntomas y preferencias.	170
tabla 31. Tendencia de iluminancia según el género.	188
tabla 32. Tendencia de iluminancia según la edad.....	189
tabla 33. Tendencia de iluminancia según si se utiliza lentes.	190

tabla 34. Encuesta.....	221
tabla 35. Formato de la hoja de respuestas.....	222

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1. Flujo luminoso (lm).....	84
ecuación 2. Rendimiento luminoso	85
ecuación 3. Intensidad luminosa.....	85
ecuación 4. Nivel de iluminación.....	86
ecuación 5. Iluminancia promedio.	87
ecuación 6. Ecuación de luminancia.....	88
ecuación 7. Factor de uniformidad.....	113
ecuación 8. Factor de uniformidad extrema.....	113
ecuación 9. Iluminación general y localizada.....	116
ecuación 10. Equilibrio de luminancia techo y plano de trabajo	117
ecuación 11. Equilibrio de luminancia pared y plano de trabajo	117
ecuación 12. Ecuación para obtener el grado de deslumbramiento (dgr).....	119
ecuación 13. Ecuación para obtener la probabilidad de confort visual (vcp).	119
ecuación 14. Valor de (n) de la ecuación de dgr	119
ecuación 15. Ecuación para obtener el grado de deslumbramiento (ugr).....	120
ecuación 16. Factor de reflexión de la superficie.....	137
ecuación 17. Iluminancia promedio en lux.....	141
ecuación 18. Parámetro de desempeño.	180

Resumen

El presente trabajo se basa en el estudio del uso de la iluminación artificial y su relación directa con el desempeño de los usuarios de oficinas. Se cuestionaron los parámetros lumínicos establecidos por la normatividad de las asociaciones de diferentes países y se plantearon los motivos por los cuales la cantidad de iluminación requerida para oficinas difieren entre sí, dando lugar a la investigación y análisis de la iluminación artificial aplicada en el medio mexicano.

Se consideraron aspectos de luminotecnia y de la biología humana para la aplicación metodológica. El estudio se desarrolló dentro del laboratorio de iluminación artificial de la UAM Azcapotzalco. Se aplicaron ejercicios y encuestas de tipo estadístico necesarios para determinar el desempeño visual expresado por los usuarios, haciendo una recopilación de los datos y se llevó a cabo un análisis que servirá de aportación como referencia para otras investigaciones en la toma de decisiones para el uso eficiente de la iluminación artificial.

Abstract

This work is based on the study of the use of artificial lighting and its direct relationship with the performance of office users. We questioned the lighting parameters established by the normativity of different countries and laid out the reasons why the amount of lighting required for offices differs from one to the other, giving place to the research and analysis of artificial lighting applied in the Mexican environment.

We considered aspects of lighting technology and human biology for the methodological application. The study was performed inside the Artificial Lighting Laboratory at UAM Azcapotzalco. Exercises and statistical surveys were applied in order to determine the visual performance expressed by the users, making a compilation of the data, and an analysis was carried out that will serve as reference for future research in the process of decision-making for the effective use of artificial lighting.

Introducción

Es indispensable para los diseñadores de iluminación garantizar un ambiente con la iluminación adecuada, a lo que llamamos “diseño de iluminación” para realizar cualquier tipo de actividad, sea cual sea su función (trabajo, descanso, diversión, etcétera). Uno de los elementos primordiales para garantizar buenos ambientes es la iluminación.

El diseño de iluminación puede definirse como la búsqueda de soluciones que permitan optimizar la relación entre el usuario y su medio ambiente. (Raitelli, Diseño de la Iluminación de Interiores, 2013)

Se entenderá a la iluminación como conjunto de luces que hay en un lugar para iluminarlo (Leonardo, 2014). Iluminar no es solo cuestión de proveer de luz en un espacio, pues se puede iluminar por otros motivos, por ejemplo: para lograr una mejor experiencia y un mejor confort. En cambio, una mala iluminación, causa molestias visuales e incluso mentales o psicológicas. Por otro lado, la iluminación nos permite modificar la apariencia espacial, cambiar el juicio estético y afectar el rendimiento visual.

El objetivo de este estudio es el uso adecuado y eficiente de la iluminación artificial para mejorar el desempeño laboral de los usuarios de oficina.

Desde los principios de la revolución industrial en donde se empezó a utilizar la iluminación artificial eléctrica en las edificaciones para el trabajo, el hombre que se dedica al trabajo intelectual o artesanal pasa más del 70% de su vida bajo condiciones de iluminación artificial (Vázquez, 1967).

Así, al haber una creciente necesidad de hacer más eficientes las fuentes luminosas para obtener un mejor rendimiento para los usuarios, los creadores de éstas han proporcionado recomendaciones técnicas.

Existen diversas normativas de iluminación para oficinas comparadas en este estudio como son las nacionales e internacionales entre otros documentos especializados como manuales de iluminación. Pero dichas recomendaciones tienen variaciones en diferentes países (Mills y Borg, 1999).

En México se emplean criterios internacionales de carácter obligatorio, por ejemplo, el reglamento de construcciones del distrito federal, que dicho reglamento no toma en cuenta los parámetros lumínicos que estamos acostumbrados a vivir en nuestro país¹. Es importante determinar los niveles óptimos para el medio nacional, y así aportar los criterios aplicables para un mejor diseño de iluminación, tomando en cuenta la manera en cómo se vive, percibe y entiende la luz. Por ejemplo: Para realizar tareas de oficina la Norma Nacional Mexicana NOM 025, las recomendaciones de iluminación para oficinas se asemejan a las normas internacionales de la IES (Illuminating Engineering Society).

En este estudio se toma en consideración las recomendaciones nacionales e internacionales y posteriormente se hace una aportación en el proceso metodológico basado en estudios especializados de los efectos de la iluminación sobre el ser humano para ser aplicados de manera experimental al medio mexicano.

Se desarrolló un diseño experimental en el Laboratorio de Iluminación Artificial (LIA) de la UAM Azcapotzalco, para proveer de distintos ambientes luminosos en los que se midió el desempeño, y poder así aplicar pruebas de desempeño y juicio estético a 51 estudiantes y trabajadores.

Lo anterior con el fin de obtener valores cuantitativos y cualitativos como indicadores para determinar el confort visual y su influencia en la productividad de los usuarios de oficina del medio mexicano.

¹ Los niveles lumínicos que estamos acostumbrados a vivir son tanto la luz natural (la luz proveniente de la bóveda celeste sin considerar el sol) y los niveles de iluminación dada por las fuentes comúnmente más usadas en México para los espacios de oficina.

Descripción del capitulado

En el capítulo 1 se muestran los antecedentes, el planteamiento del problema, estudios de referencia y la normatividad. El capítulo 2 muestra los efectos de la iluminación sobre el ser humano, sus efectos fisiológicos y psicológicos, el ritmo circadiano y reloj biológico. En el capítulo 3 se explica el funcionamiento del sistema visual y el perceptual, la adaptación, el rendimiento visual y el confort visual en áreas de trabajo. El capítulo 4 muestra conceptos generales de la luminotecnica, las propiedades de la luz, los tipos de fuentes luminosas y la calidad de la iluminación.

El capítulo 5 presenta las condiciones del entorno visual y las causas de la disminución del confort visual como los efectos al deslumbramiento directo, deslumbramiento reflejado y de velo, así como las limitaciones de deslumbramiento directo. En el capítulo 6 se especifican los parámetros lumínicos aplicados en este trabajo. El capítulo 7 se presenta el planteamiento del problema, la hipótesis y los objetivos. En el capítulo 8 corresponde a la metodología del trabajo, se describen las pruebas realizadas y el análisis de resultados. En el capítulo 9 se presentan las conclusiones y la aportación al diseño, y finalmente en el capítulo 10, se expone la bibliografía, referencias utilizadas, el glosario y los anexos.

1.1 Antecedentes

En la arquitectura bioclimática el estudio luminotécnico en la mayoría de los casos para proyectos arquitectónicos es un factor que ayuda a la mejora del confort visual y el ahorro energético, el uso adecuado de la iluminación artificial puede mejorar un 20 a 30% del consumo energético en las edificaciones. (Gestor Energético Econova, 2015).

Los avances tecnológicos aplicados en las fuentes de iluminación han permitido reducir el consumo energético y mejorar su calidad para el beneficio del confort visual.

Para obtener una mejora en la calidad de la iluminación, principalmente se han elaborado diversos estudios acerca del comportamiento de las fuentes de luz artificial que proveen de una iluminación, idealmente adecuada, para trabajar de manera productiva en los diferentes ambientes de trabajo.

Por ejemplo, para entender el comportamiento de las fuentes de luz sobre el ser humano y poder mejorar su desempeño laboral, se ha realizado un estudio en Malaysia en donde mediante la aplicación de pruebas a estudiantes de medicina bajo diferentes condiciones de iluminación obtuvieron su desempeño visual (B.M.T Shamsul, C.C. Sia, Y.G Ng, K. Karmegan, 2013). Como se describirá más adelante en este mismo capítulo, en el caso de estudio.

Así, al haber una creciente necesidad de hacer más eficientes las fuentes luminosas y obtener un mejor rendimiento para los usuarios, los creadores de las fuentes de luz han proporcionado recomendaciones técnicas para el uso adecuado de las mismas, por ejemplo, utilizar dichas fuentes de iluminación para realizar cierto tipo de actividades para proveer ambientes seguros y saludables, como ha sido el objetivo de las recomendaciones de las normas nacionales e internacionales.

La Agencia Internacional de Energía (IEA) publicó la *Guidebook on Energy Efficient Electric Lighting for Buildings* (Guía en eficiencia energética de iluminación eléctrica para edificios), tomada de (Liisa Halonen, Eino Tetri y Pramod Bhusal, 2010). Explica que las recomendaciones de la CIE (Commission Internationale de l'Eclairage) se han interpretado de diversas maneras entre los países del mundo y, por lo tanto, existen

algunas diferencias en las indicaciones técnicas de iluminación en todo el mundo. Además, en EE. UU, la Sociedad de Ingeniería de Iluminación (IES) aún sigue desarrollando sus propias recomendaciones y los manuales se continúan actualizando regularmente por sus grupos de trabajo, ellos tienen sus propias referencias y es bastante típico que algunos enfoques difieran de los de la CIE. Por ejemplo, según (Rea, 2000), la IES denomina el índice de deslumbramiento con el término *Visual Comfort Probability* (VCP) mientras que la CIE, lo denomina como *Unified Glare Ratio* (UGR) (CIE, 1995). En el capítulo 6 se describen dichos términos. En el anexo 45 de la mencionada guía se compararon las recomendaciones de iluminación para edificios de oficina en todo el mundo. Se analizó el comparativo para identificar los puntos críticos sobre los cuales modificar las normas, teniendo en cuenta la creciente necesidad de mejorar la eficiencia energética.

Para lo anterior, recolectaron la información de las recomendaciones de once países, incluyendo países industrializados y en desarrollo. Los valores de las recomendaciones se presentaron en mapas del mundo, donde aparecen los valores estándar de las normas ISO (Organización Internacional para la Estandarización) y los valores de la CIE en el mismo mapa para realizar la comparación. Las recomendaciones incluían las siguientes especificaciones:

- Niveles mínimos de iluminancia para planos de trabajo.
- Niveles mínimos de iluminancia cuando se trabaja en computadoras.
- Niveles mínimos de iluminancia para el entorno inmediato del plano de trabajo.
- La proporción de iluminación para el área de trabajo.
- Comparación del índice de deslumbramiento unificado (UGR) y la probabilidad de confort visual (VCP).
- El ángulo de las pantallas y el mínimo de luminancia.
- Reflectancia en las superficies al interior.

En las (Figura 1-7) se muestra una comparación de las especificaciones para el desempeño en oficinas existentes en diferentes países:

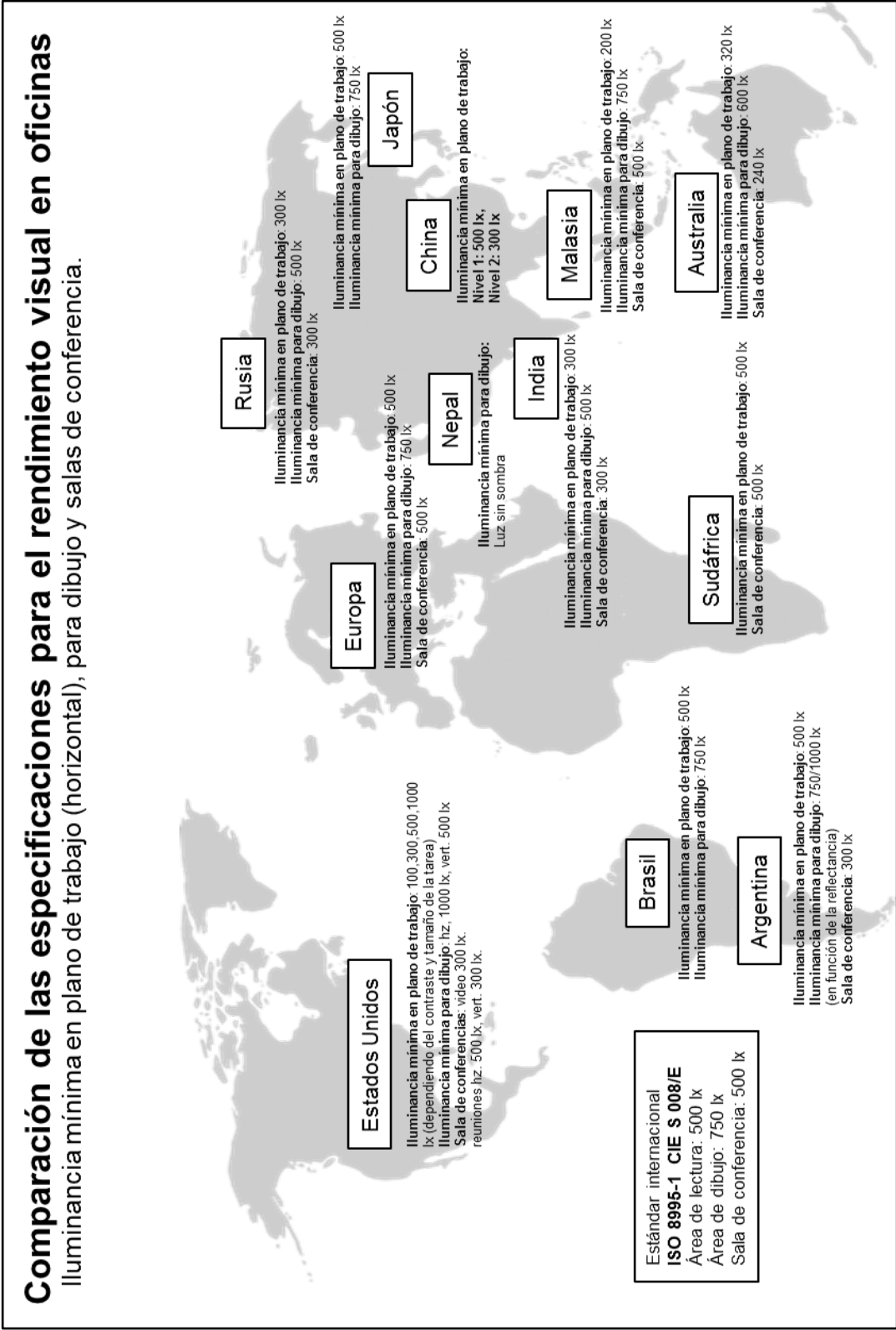


Figura 1. Iluminancia mínima en plano de trabajo, para dibujo y la iluminancia mínima para las salas de conferencias (Liisa Halonen, Eino Tetri y Pramod Bhusal, 2010)

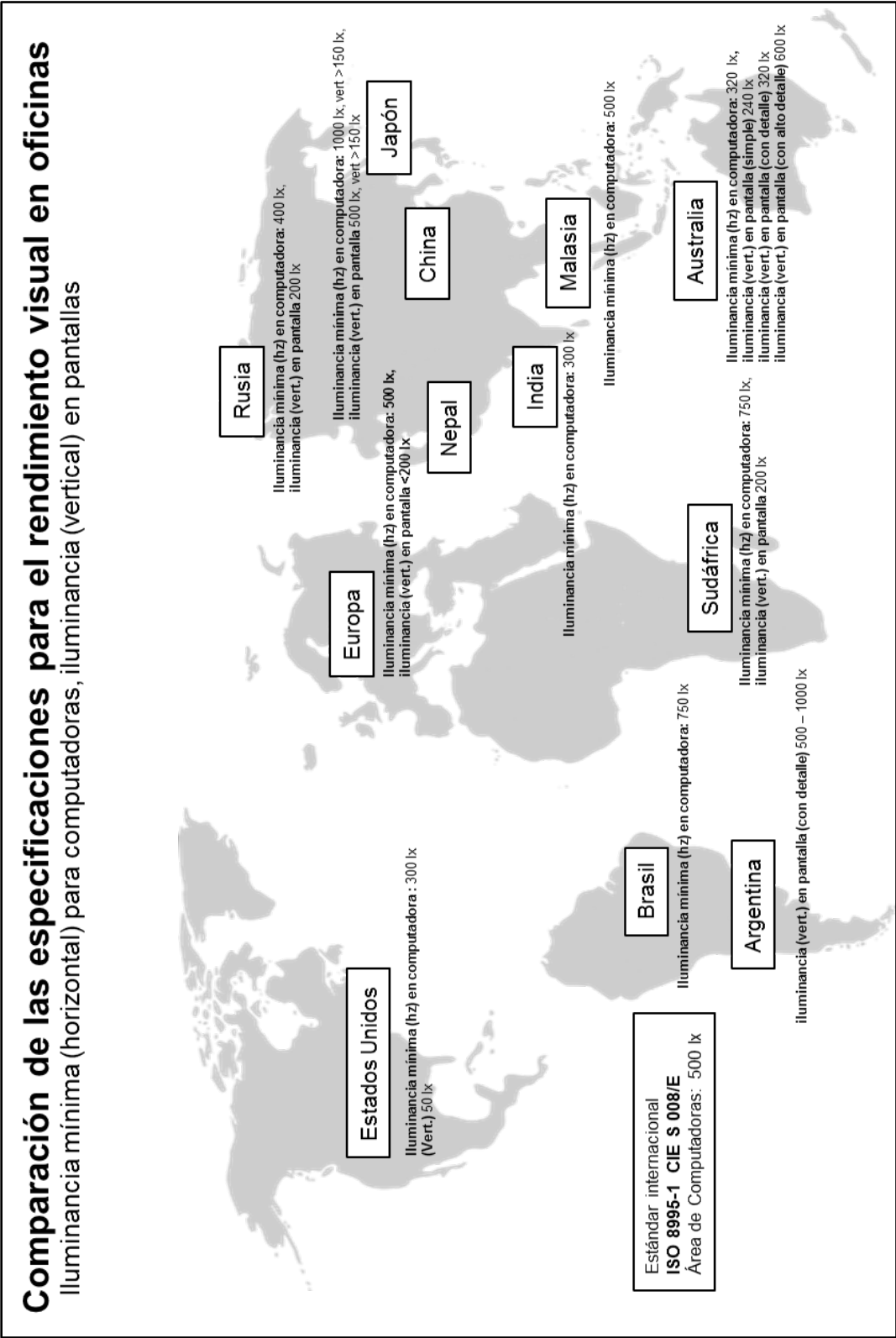


Figura 2. Niveles mínimos de iluminancia cuando se trabaja en computadoras (Liisa Halonen, Eino Tetri y Pramod Bhusal, 2010).

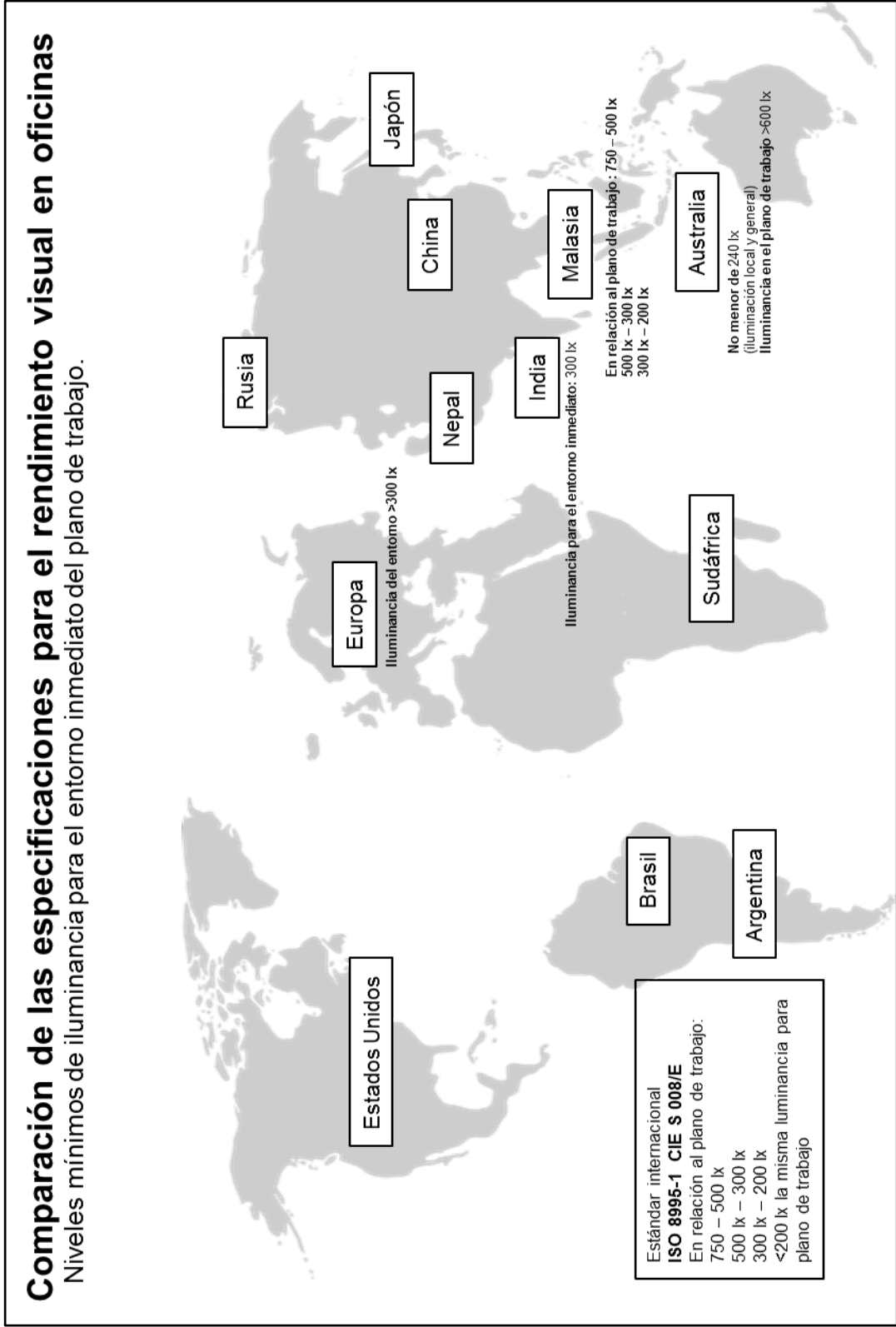


Figura 3. Niveles mínimos de iluminancia para el entorno inmediato del plano de trabajo (Liisa Halonen, Eino Tetri y Pramod Bhusal, 2010).

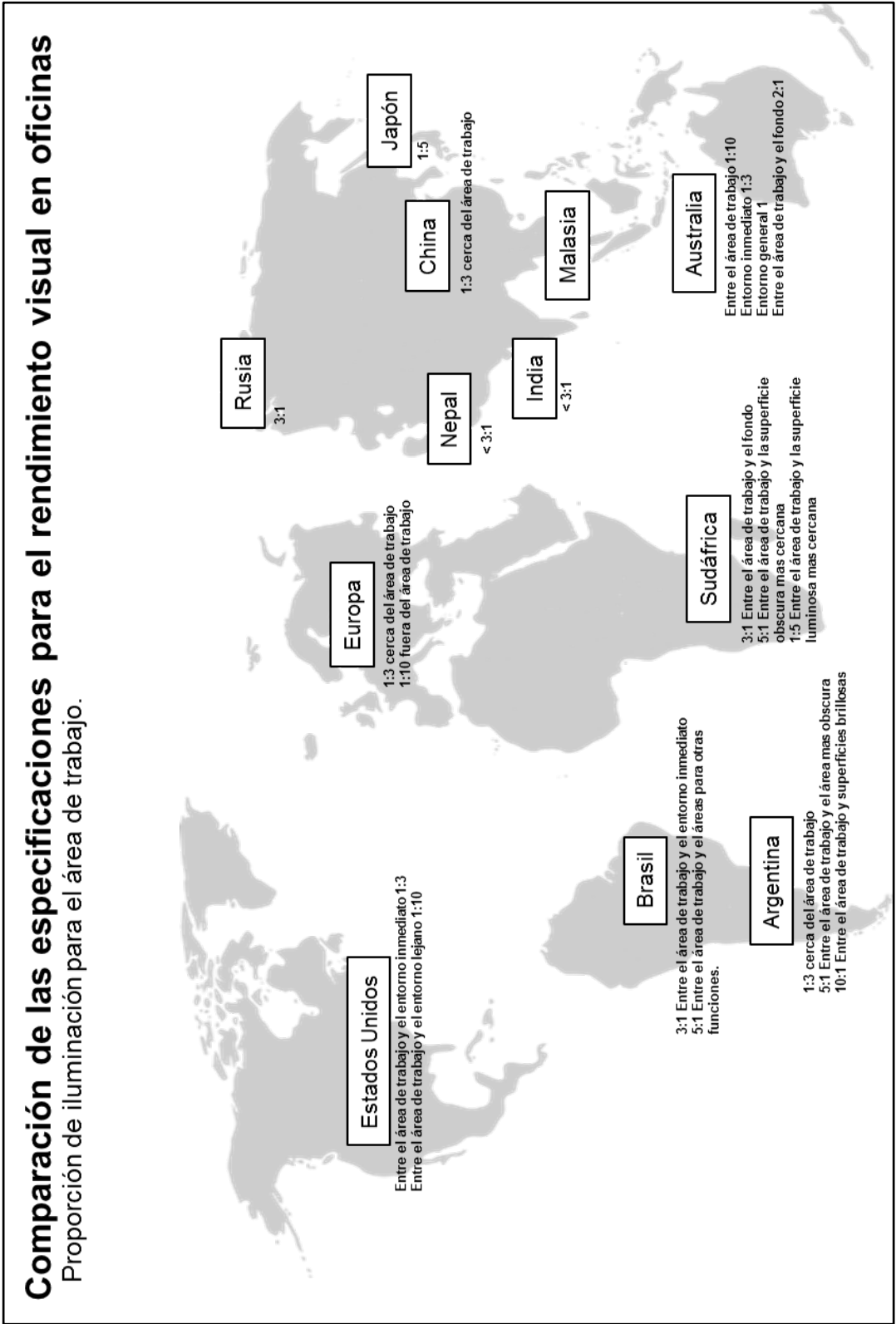


Figura 4. La proporción de iluminación para el área de trabajo (Liisa Halonen, Eino Tetri y Pramod Bhusal, 2010).

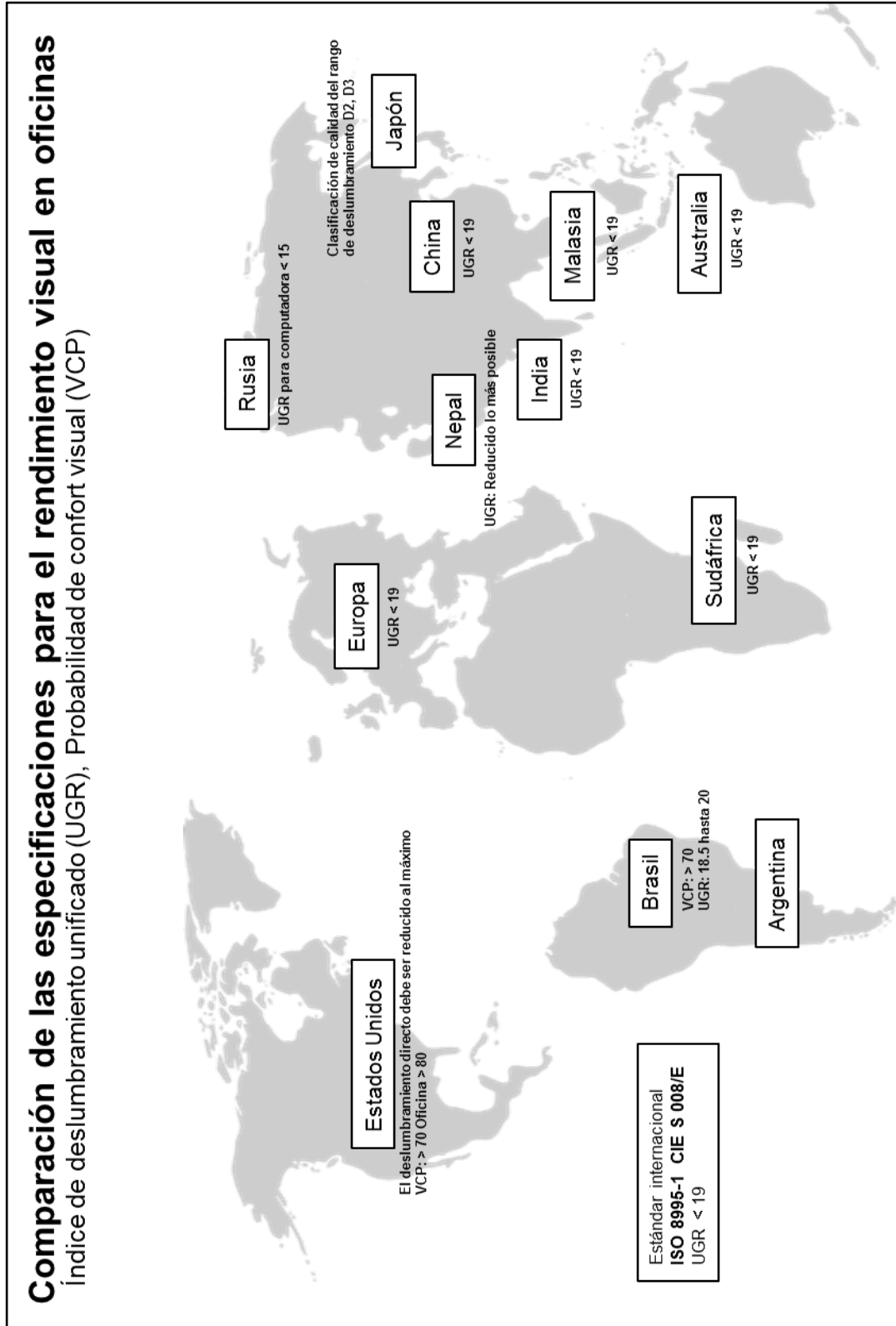


Figura 5. Comparación del índice de deslumbramiento unificado (UGR) y la probabilidad de confort visual (VCP), (Liisa Halonen, Eino Tetri y Pramod Bhusal, 2010).

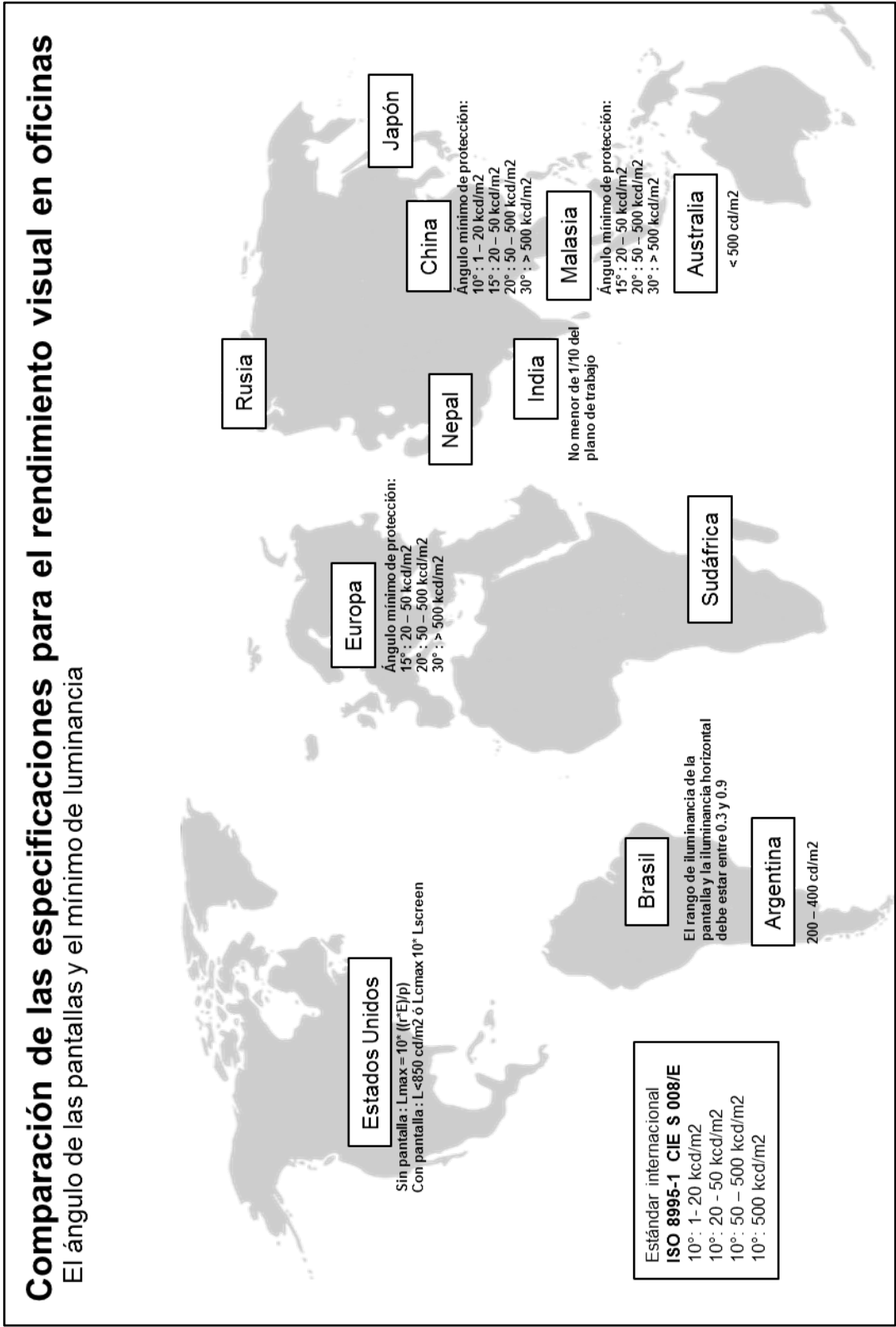


Figura 6. El ángulo de las pantallas y el mínimo de luminancia (Liisa Halonen, Eino Tetri y Pramod Bhusal, 2010).

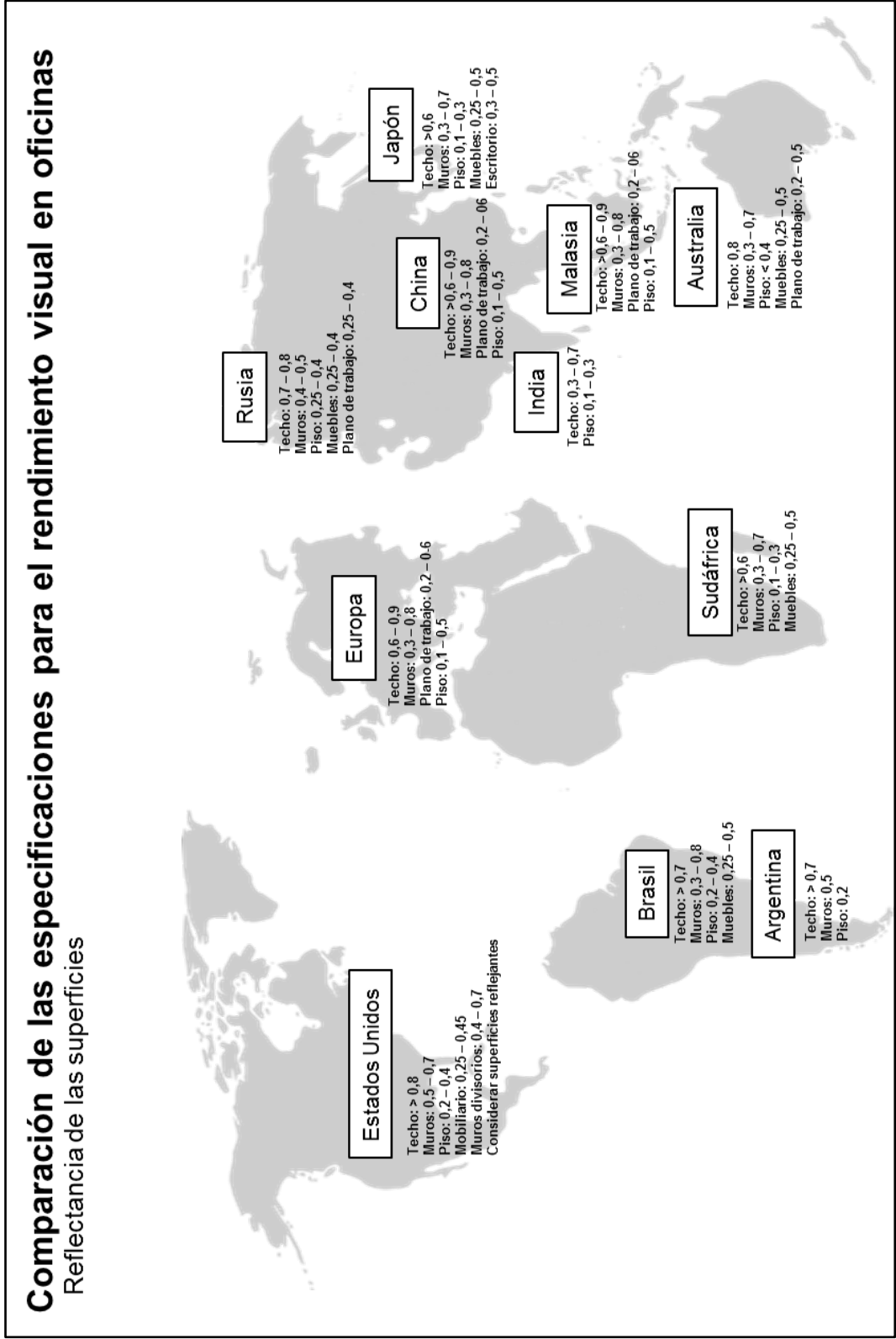


Figura 7. Reflectancia en las superficies al interior (Liisa Halonen, Eino Tetri y Pramod Bhusal, 2010).

En resumen, las recomendaciones de iluminación indicaron:

- Los niveles mínimos de iluminancia para áreas de trabajo tipo oficina varían desde 200 a 500 lux, lo que indica una diferencia en el consumo energético en proporción de 1:2.5
- Las recomendaciones se refieren a los valores mínimos de iluminancia horizontal y vertical.
- Las recomendaciones no toman en cuenta la luminancia producida por las pantallas de la computadora.

Debido a las diferencias en las recomendaciones entre los diferentes países, el presente estudio toma los datos anteriores mostrados en los antecedentes como una referencia que da pauta al planteamiento del problema que muestra una circunstancia similar por las diferencias entre las normas nacionales y el reglamento de contricción de la ciudad de México.

1.2 Planteamiento del problema general

Los parámetros lumínicos establecidos por los diferentes organismos relacionados con la iluminación son diferentes entre ellos, en algunos casos los requisitos mínimos de iluminancia para lectura en un plano horizontal de trabajo de oficina van desde los 75 a los 1000 lux, lo que por una muy baja o alta cantidad de iluminación puede ser causa de riesgos ergonómicos por la falta de visibilidad o el deslumbramiento que ocasionan.

El presente estudio tiene el objetivo de aportar criterios de iluminación que sean aplicables y útiles en la mejora de la calidad de iluminación para los espacios de trabajo; más adelante en el capítulo 7 se describen los objetivos particulares.

La tabla comparativa de las recomendaciones de iluminación (**Tabla 1**) nos muestra dichas diferencias mismas que son cuestionables en su origen. Y no resuelven el problema que existe por una mala iluminación causante de molestias visuales.

Es por estas razones que nos hacemos estas preguntas:

¿Por qué hay diferentes especificaciones de iluminación para diferentes regiones del planeta?

¿Estos parámetros normativos son válidos para México realmente?

¿Es posible que los parámetros lumínicos requeridos para el trabajo en oficinas dependan de los niveles lumínicos que estamos acostumbrados a vivir²?

¿Los parámetros de iluminación establecidos son adecuados para el desempeño óptimo en los espacios de trabajo de la Ciudad de México?

Es posible que se puedan definir los parámetros lumínicos adecuados para México si se hacen pruebas cuantitativas y cualitativas bajo condiciones de iluminación en un ambiente controlado.

En el presente estudio se muestran las pruebas que fueron aplicadas a personas en México bajo el mismo ambiente de iluminación controlado.

² Los niveles lumínicos que estamos acostumbrados a vivir son tanto la luz natural (la luz proveniente de la bóveda celeste sin considerar el sol) y los niveles de iluminación dada por las fuentes comúnmente más usadas en México para los espacios de oficina.

1.3 Estudios de referencia

Para hacer referencia de las normas, se muestra como ejemplo lo que la IEA (International Energy Agency) hace en un resumen de las recomendaciones de iluminación para diferentes actividades de oficina de 19 países registradas entre 1930 y 1970 revela que las recomendaciones de iluminación no son simplemente una cuestión de deducción. En algunos países los niveles de iluminación son muy diferentes, y solo algunos países como Australia, Canadá, Rusia, Reino Unido y Estados Unidos tienen niveles de iluminación semejantes de México (**Tabla 1**), (Boyce P. R., 2003).

Ciudad y Año	Tarea en Pantalla (plano Vertical)	Lectura (Plano horizontal)	Dibujo (Plano Horizontal)
Australia, 1990	160	320	600
Austria, 1984	500		750
Bélgica, 1992	500	500-1,000	1,000
Brasil, 1990		200-500	3,000
Canadá, 1993	300	200-300-500	1,000-1,500-2,000
China, 1993		75-100-150	200-300-500
República Checa	300-500	500	750
Dinamarca	200-500	500	1,000
Finlandia, 1986	150-300	500-1,000	1,000-2,000
Francia, 1993	2500-425	425	850
Alemania, 1990	500	500	750
Japón, 1989	300-750		750-1,000
México	500	300	1,100
Holanda, 1991	500	400	1,600
Rusia, 1995	200	300	500
Suecia, 1993	300-500	500	1,500
Suiza, 1997	300-500	500	1,000
Reino Unido, 1994	300-500	300	750
Estados Unidos	300	200-300-500	1,000-1,500-2,000

Tabla 1. Iluminancia recomendada para actividades en oficinas en diferentes países, elaboración propia con base en de (Boyce P. R., 2003).

En la tabla anterior podemos observar la gran diferencia que existe entre las recomendaciones de iluminación para realizar tareas en pantalla, lectura y dibujo, lo cual indica claramente que el nivel de iluminancia necesario depende del tipo de actividad visual.

Otro ejemplo tomado como referencia es de (Newsham y Veitch, 2001) en donde realizaron un experimento que se llevó a cabo en una oficina sin ventanas con una instalación de luminarias que permitían ser ajustadas mediante la atenuación. Entraban dos sujetos a la oficina, pero solo uno tenía el control del sistema de

iluminación. A esta persona se le pidió que ajustara la iluminación a su preferencia al comienzo del día. La otra persona se mantuvo sin cambios durante todo el día. Y los dos sujetos realizaron tareas de oficina en formato de papel y sobre pantalla de computadora. Al final del día, el sujeto que no había tenido la oportunidad de ajustar la iluminación se le dio la oportunidad de ajustar la iluminación a su preferencia.

Los puntos mostrados en la (**Figura 8**) indican las preferencias individuales de iluminancia. Los investigadores encontraron que la desviación en las preferencias de iluminancia que experimentaron los sujetos durante el día era significativa por el estado de ánimo y su satisfacción con la iluminación. Se concluyó que existe una estabilidad de iluminancia preferida de 229 lux. Pero tuvieron la dificultad de eliminar el reflejo de las luminarias de las pantallas de computadora también conocido como reflejo de velo³. Las personas que trabajaron con las pantallas de la computadora y tuvieron la oportunidad de cambiar la iluminancia lo hicieron a 458 lux para reducir las imágenes reflejadas (Newsham y Veitch, 2001).

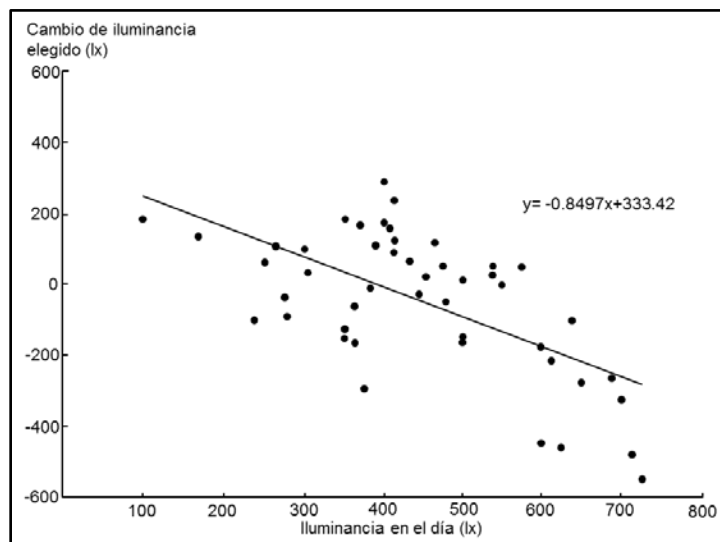


Figura 8. El cambio de iluminancia elegido al final del día de trabajo contra la iluminancia en el escritorio experimentado durante el día (Newsham y Veitch, 2001).

³ Es el reflejo producido por una luminaria que oscurece parcial o totalmente detalles (como por ejemplo palabras impresas sobre un papel brillante) por la reducción del contraste entre los detalles y el fondo. Puede oscurecer partes de un texto o velar imágenes fotográficas dificultando su visión.

Dicho experimento demostró que la oportunidad de cambiar la iluminancia durante periodos prolongados de trabajo, es posible disminuir el consumo energético en función a la elección de una menor cantidad de iluminancia utilizada.

Otro estudio que se toma como referencia es el de (Boyce P. R., 2003) donde dedica el capítulo 7 Iluminación para oficinas de su libro *Human Factors in Lighting* a los diseñadores de iluminación para que puedan tomar mejores decisiones respecto a cómo saber qué fuente de luz utilizará, el tipo de luminaria y su disposición. Para ello, Boyce hace una comparativa entre los estudios realizados por (Smith y Rea, 1978 y 1982) En estos se aplicaron pruebas con sujetos que corregían textos con palabras mal escritas haciendo mediciones del tiempo necesario para corregirlas y encontrar el número de errores de las que estaban mal escritas (**Figura 9**). La prueba se realizó bajo cuatro condiciones de luminancia que van desde 10 hasta 4885 lux. De igual manera, realizó un estudio donde un número de sujetos respondieron a un cuestionario de comprensión de un texto.

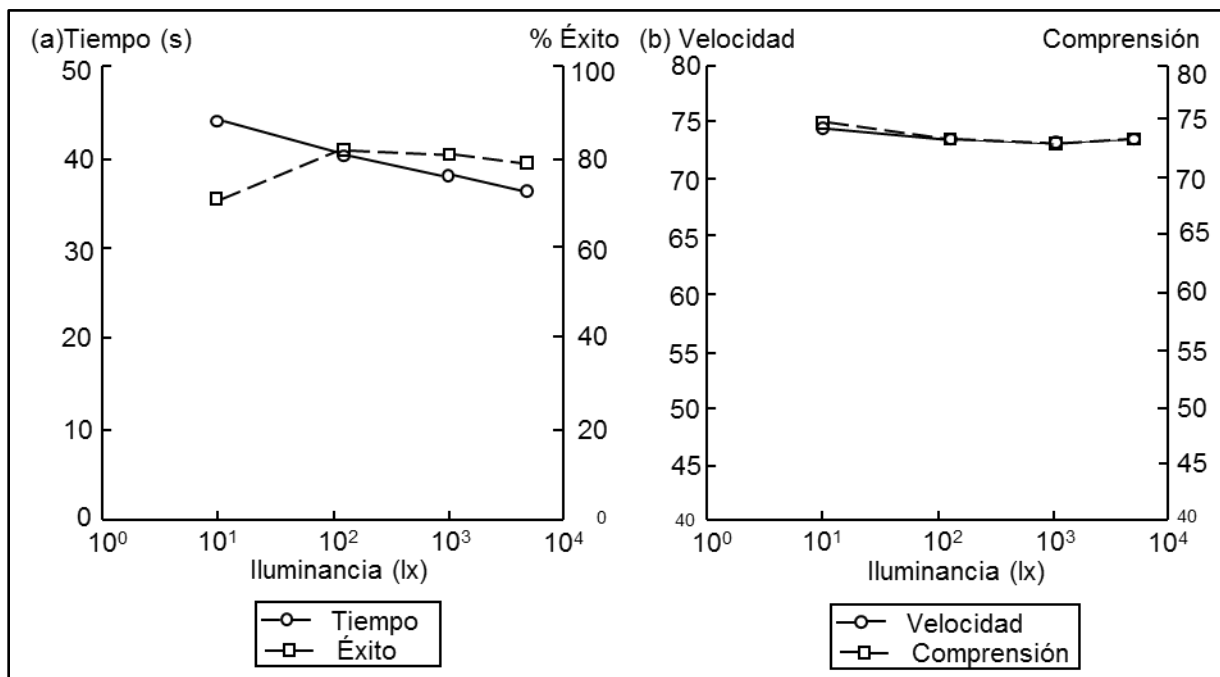


Figura 9. Rendimiento en dos tipos de tarea de lectura, (a) tiempo necesario para corregir un texto y el porcentaje de éxitos, es decir, los errores detectados y corregidos, comprobado frente a la iluminación; (b) la velocidad y el nivel de comprensión de un texto contra iluminancia (Smith y Rea, 1978 y 1982).

La **(Figura 9)** se muestra el efecto que tiene el aumento de la iluminancia pues disminuye la cantidad de tiempo para realizar la prueba y corregir más errores del texto.

En éste estudio se concluyó que el aumento de la cantidad de luz en la oficina hace que cualquier información sobre la superficie horizontal sea más visible, pero en la actualidad la mayor cantidad de información es utilizada a través de equipos de cómputo que utilizan pantallas verticales que emiten su propia luz. El aumento de la cantidad de luz en la oficina hace que la pantalla sea menos visible y, por lo tanto, se han hecho cambios fundamentales que toman en cuenta los cambios en uso de los espacios de oficinas como es la utilización de pantallas con propiedades distintas de luminiscencia que afectan en los requisitos mínimos para la iluminación en oficinas (Boyce P. R., 2003).

En una publicación del departamento de Medio ambiente y salud ocupacional en Malasia, (B.M.T Shamsul, C.C. Sia, Y.G Ng, K. Karmegan, 2013) con el nombre de *Effects of Light's Colour Temperatures on Visual Comfort Level, Task Performances, and Alertness among Students* (Efectos de la temperatura de color de la luz en el nivel de confort visual, desempeño de la tarea y estado de alerta entre los estudiantes) se describe el estudio cuyo objetivo fue determinar los efectos de la luz blanca, cálida y fría de luz artificial, en el nivel de lucidez mental subjetiva y el nivel de confort visual, así como las preferencias de los estudiantes de la facultad de Medicina y Ciencias de la Salud en la Universidad Putra, en Malasia.

Se realizó el experimento en un laboratorio controlado. Se aplicó una serie de pruebas bajo tres fuentes de luz de color distintas a 47 estudiantes voluntarios de licenciatura (19 hombres, 28 mujeres) (**Figura 10**).

En donde las características de la luz artificial eran:

CCT = 6,500 K (Luz Blanca)

CCT = 4,000 K (Luz Fría)

CCT = 3,000 K (Luz Cálida)

CCT = Temperatura de Color Correlacionada

K = Temperatura de color

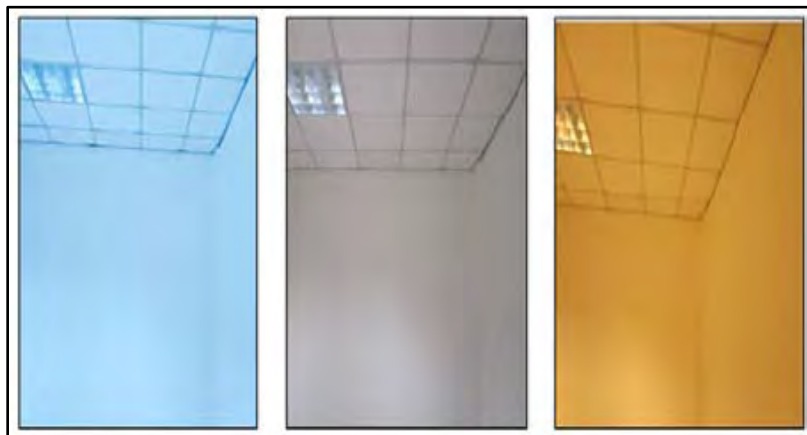


Figura 10. Temperatura de color correlacionada de la luz (CCT) obtenidas de una cámara digital. De izquierda a derecha: Luz Blanca de 6500K, Fría de 4000K y Cálida de 3000 K. (B.M.T Shamsul, C.C. Sia, Y.G Ng, K. Karmegan, 2013)

Fue programado de tal manera que cada sujeto realizó la prueba sólo una vez en cada día. Se utilizó un software llamado FRACT (**Figura 11**) para evaluar el desempeño de la tarea visual, y se aplicó el cuestionario OLS (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.) modificado para evaluar el nivel y las preferencias de color subjetivo.

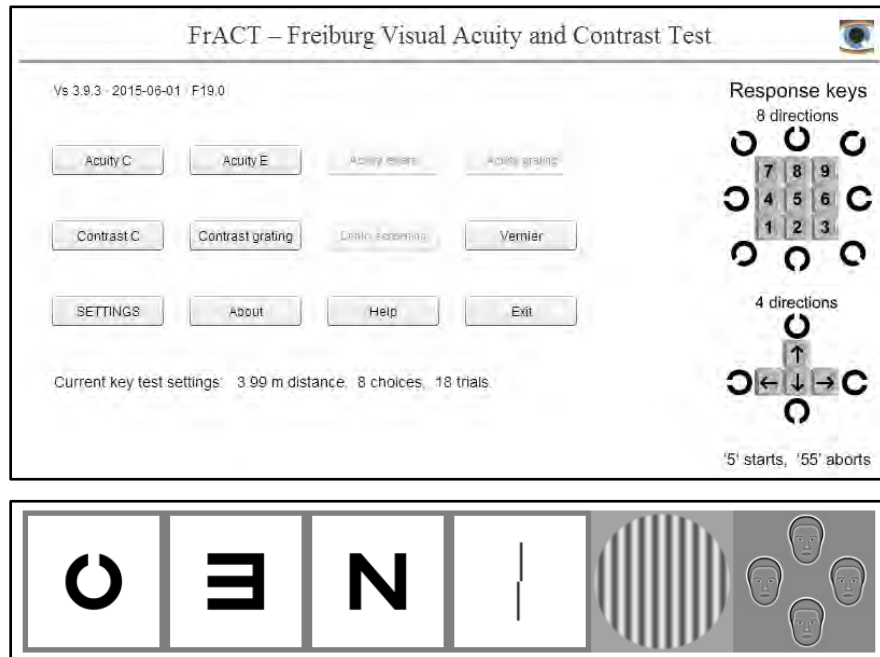


Figura 11. Software FrACT para evaluar el desempeño visual en base al tiempo y número de errores (<http://michaelbach.de/fract/>) por (Bach, 1996).

El software “FrACT” es una serie de pruebas visuales utilizado en forma de programa de computadora gratuito. Utiliza métodos psicométricos para proporcionar mediciones automáticas de la agudeza visual (Bach, 1996), sensibilidad al contraste y agudeza. Los ejercicios están determinados por la estrategia “Best PEST” (Lieberman & Pentland, see General Pertinent Sources below).

FrACT cumple con la norma europea (EN ISO 8596) para pruebas de agudeza visual en todo el mundo en laboratorios de visión, optometristas, oftalmólogos y en consultorios clínicos, se ha utilizado en más de 100 publicaciones y se ha verificado en laboratorios independientes.

Se realizó una prueba de escritura y un cuestionario OLS (**Tabla 2**) sobre una escala KSS (**Tabla 3**).

Escala Karolinska de estado de alerta (KSS)	Valor
Extremadamente alerta	1
Muy alerta	2
Alerta	3
Un poco alerta	4
Ni alerta ni somnoliento	5
Algunos signos de somnolencia	6
Somnolencia, pero sin esfuerzos para mantenerse despierto	7
Somnolencia, pero con dificultad para mantenerse despierto	8
Muy somnoliento, con gran esfuerzo para mantenerse despierto	9
Extremadamente somnoliento, no puede mantenerse despierto	10

Tabla 2. Escala KSS (Karolinska Sleepiness Scale, 1990) para medir la somnolencia o estado de alerta (1990) (B.M.T Shamsul, C.C. Sia, Y.G Ng, K. Karmegan, 2013).

La escala KSS es utilizado para medir el nivel de somnolencia en un momento determinado durante el día, En esta escala los sujetos indican que nivel refleja mejor su estado psicofísico experimentado, estas pruebas se han utilizado para estudios de trabajo por turnos tales como para habilidades de conducción, atención y rendimiento. Es útil para evaluar los cambios en la respuesta a factores ambientales, al ritmo circadiano y efectos de las drogas. Pero el cuestionario aun no es utilizado para fines clínicos.

Questions		Score
Preferences	1. I like the lighting in this office.	Yes = +3 Rather yes = +2 Rather no = +1 No = 0
	2. In general, the lighting in this office is comfortable.	
	3. This colour of light allows me to carry out the different tasks.	
	4. My skin looks natural under the light.	
	5. The lighting in this office is too warm.	
	6. The lighting in this office is too cold.	
Symptoms	7. I feel eye strain.	Yes = +3 Rather yes = +2 Rather no = +1 No = 0
	8. My eye lids are heavy.	
	9. My eyes feel dry.	
	10. I have burning eyes.	
	11. I have a headache working under this CCT of light.	
	12. I have difficulties in seeing objects on the screen.	

Tabla 3. Cuestionario OLS modificado (Office Lighting Survey, modified, version. 250) (B.M.T Shamsul, C.C. Sia, Y.G Ng, K. Karmegan, 2013), Referencia para las pruebas descritas en la (Tabla 29).

El cuestionario OLS “Office Lighting Survey” fue utilizado para determinar la satisfacción del encuestado en las distintas condiciones de iluminación. Se les pidió que respondieran eligiendo una de las cuatro respuestas sugeridas (sí, algo, no mucho y no).

Los resultados representados por barras donde se registró el resultado de las pruebas de agudeza visual y del umbral de contraste (**Figura 12**).

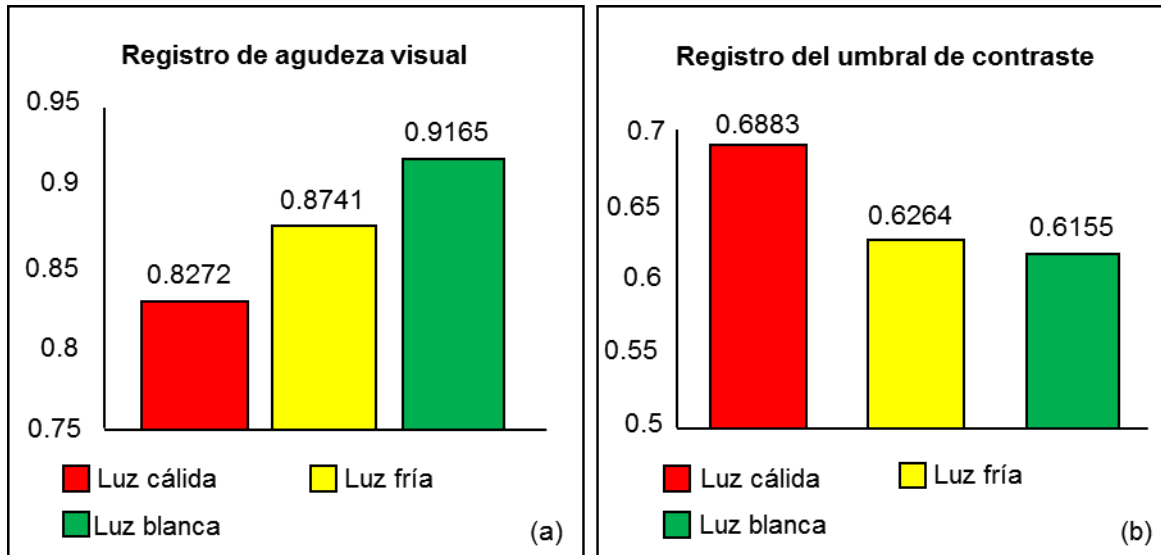


Figura 12. (a) Resultado promedio de la prueba de agudeza visual (por segundo) y (b) porcentaje del registro del umbral de contraste en las pruebas por computadora (B.M.T Shamsul, C.C. Sia, Y.G Ng, K. Karmegan, 2013).

En los resultados se observó un aumento significativo en el nivel subjetivo de lucidez mental de las pruebas en computadora bajo condiciones de luz blanca y cálida. En términos de escritura en teclado, los estudiantes encuestados se desempeñaron mejor significativamente en términos de velocidad de escritura bajo luz fría que en luz blanca y cálida.

Cometieron menos errores en Luz Blanca, seguido por luz fría y cálida. La luz fría fue la más preferida y la más confortable donde los sujetos indicaron una mejor capacidad para realizar tareas de escritura.

Se presentaron los resultados de los efectos de la temperatura de color de la luz en el nivel de alerta al comienzo y al final del experimento bajo la escala KSS (**Figura 13**), también, la comparación de la preferencia y el nivel de confort visual en los tres diferentes ambientes de temperatura de color de la luz, mostrando conjuntamente la puntuación de la preferencia y la puntuación por el confort (**Figura 14**).

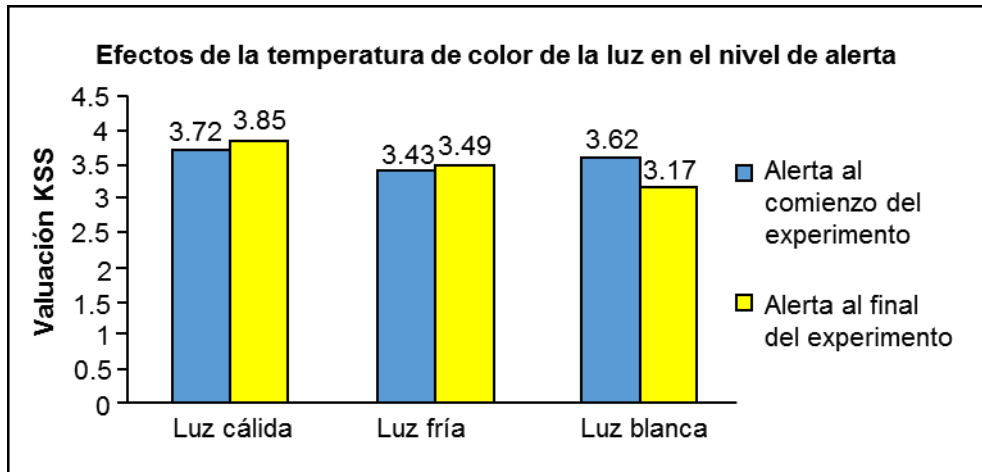


Figura 13. Comparación del nivel de alerta antes y después de hacer las pruebas entre las fuentes de luz. (B.M.T Shamsul, C.C. Sia, Y.G Ng, K. Karmegan, 2013).

Se concluyó que donde bajo la luz blanca las personas estuvieron más alerta al final del experimento que bajo las luz cálida y fría, sin embargo, al comienzo de la prueba se encontraron en un estado de alerta más alto bajo la luz fría.

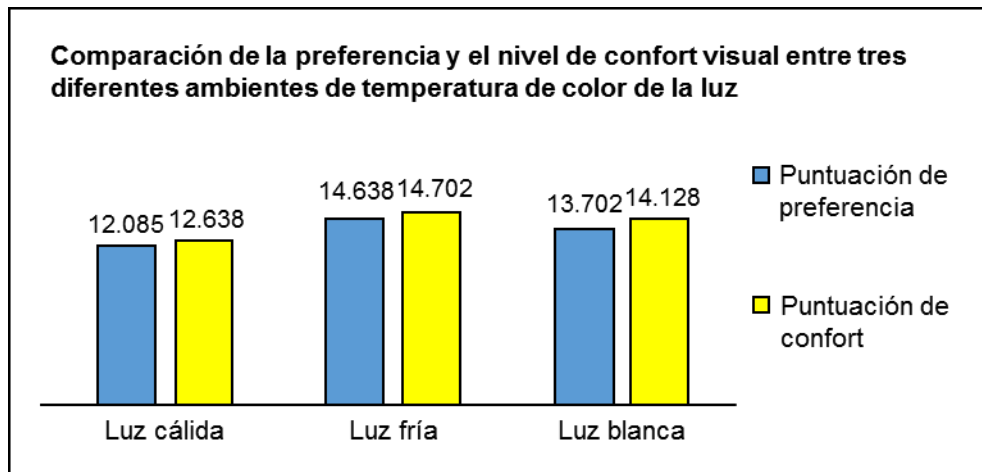


Figura 14. Comparación de las preferencias y nivel de confort subjetivo de los participantes bajo las tres diferentes temperaturas de color. (B.M.T Shamsul, C.C. Sia, Y.G Ng, K. Karmegan, 2013).

En la comparación de la preferencia y el nivel de confort visual la puntuación más alta resultó ser preferente bajo la luz fría, lo que concluye que el uso de la luz fría puede ser más confortable y preferente, sin embargo bajo la luz blanca su estado de alerta es más bajo.

Se concluyó que la calidad de iluminación es uno de los factores determinantes de la calidad del ambiente interior. Varios estudios se han realizado para comparar los efectos de diferentes condiciones de iluminación en la salud, la productividad, el bienestar y el nivel de lucidez mental⁴ confirmando la relación entre variables.

1.4 Normatividad

Los parámetros lumínicos estipulados en el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal en la sección F (Requisitos mínimos de iluminación), recomiendan 250 lux mientras que la norma mexicana NOM025 300 lux y la Illuminating Engineering Society (IES) establece 500 lux (**Tabla 4**). Es por estas diferencias que no hay un parámetro bien definido que diga la razón por la cual existan tales diferencias. Además de que la guía en eficiencia en energía eléctrica para construcciones de IEA (International Energy Agency) no menciona a México en su comparativa en las especificaciones lumínicas para oficinas en diferentes regiones del planeta como se muestra en la (**Tabla 1**).

Organismos relacionados con la iluminación	IES (Handbook)	NOM025	REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL	CIE
Cantidad de Iluminancia (lux) para oficinas	300-500	300	250	500
Indicaciones	Recomendaciones (de carácter voluntario)	Establecer los requerimientos de iluminación (de carácter obligatorio)	Cumplimiento de los requisitos mínimos de iluminación (de carácter obligatorio)	Medidas de calidad para la iluminación (de carácter voluntario)

Tabla 4. Comparativa de las recomendaciones de iluminación para oficinas, establecidas por los organismos relacionados con la iluminación (Elaboración propia, 2016).

⁴ La lucidez mental se refiere a la capacidad intelectual, de análisis o de reflexión que tiene una persona. La lucidez mental puede disminuir debido a una mala iluminación del ambiente interior.

Dado que La Norma Oficial Mexicana (NOM-025-STPS, 2008), tiene el objetivo de establecer las condiciones de iluminación en los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual. Esto con el fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores. Dicha norma rige en el territorio nacional y se aplica en todos los centros de trabajo.

Los criterios internacionales utilizados como referencia en este trabajo son de la CIE (2001, 2002, 2005) y de la IES (2008), además de las normas técnicas complementarias (NTC) del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF) (2011).

Dichas normas antes mencionadas, no definen de manera precisa como establecen las condiciones de iluminación para los centros de trabajo en México. Lo que da pauta al planteamiento del problema de la presente investigación.

Por esta razón se mostró la comparativa de las recomendaciones de iluminación para oficinas, establecidas por los organismos relacionados con la iluminación, información establecida en la (**Tabla 4**).

La norma nos pide hacer una evaluación de los niveles de iluminación en las áreas de trabajo para determinar el factor de reflexión sobre el plano de trabajo y paredes que por la cercanía afectan las condiciones de iluminación en el espacio, de esta forma compararlo contra los niveles máximos permisibles del factor de reflexión según a la norma (NOM-025-STPS, 2008)(**Tabla 5**).

Concepto	Niveles máximos permisibles, kf
Paredes	60%
Plano de trabajo	50%

Tabla 5. Niveles máximos permisibles del factor de reflexión.

2.1 Los efectos de la iluminación sobre el ser humano

La iluminación actúa de manera directa sobre el sistema visual y puede afectar el desempeño del ser humano. Este último posee efectos psicológicos y fisiológicos vinculados: el sistema visual y el sistema perceptual y el sistema circadiano (Boyce, 2000).

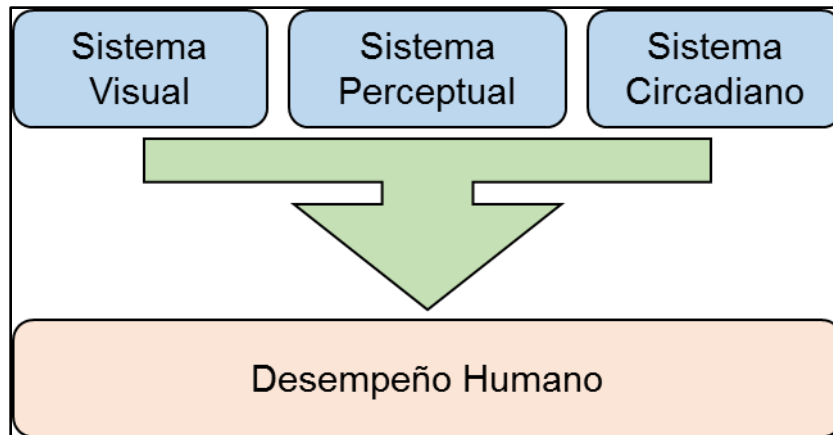


Figura 16. Sistemas que influyen en el desempeño humano en relación a la iluminación (Elisa Colombo, Beatriz O'Donnell, Carlos Kirschbaum, 2006).

El sistema visual capta y procesa la imagen del mundo exterior. Y el sistema perceptual actúa una vez que la imagen de la retina ha sido procesada por el sistema visual y el sistema circadiano controla los ritmos hormonales que alteran el estado de sueño y vigilia.

Los tres sistemas actúan de manera conjunta y de diferente manera en cada persona. Este estudio está más enfocado en el sistema visual, pero no pasa de largo la importancia del sistema perceptual y el sistema circadiano o ritmo circadiano, para ello los efectos sobre estos sistemas se describen a continuación para una mejor comprensión del tema:

2.2 Efectos fisiológicos

Los efectos fisiológicos de la visión relacionados con la iluminación son:

- Acomodación visual

La acomodación es el sistema mediante el cual el ojo humano enfoca a cualquier distancia. Esto es, la capacidad que tiene el ojo para enfocar correctamente los objetos a diferentes distancias, variando el espesor y, por tanto, la longitud focal del cristalino.

- Adaptación visual

Es la capacidad del ojo para modificar su comportamiento ante las variaciones del nivel de iluminación. La adaptación visual se relaciona con el tamaño de la pupila, que aumentan o disminuyen de acuerdo con la cantidad de luz que incide en la retina.

- Agudeza visual

Es la capacidad para percibir y discriminar visualmente los detalles más pequeños y se expresa como la inversa del tamaño visual del objeto, bajo el cual puede percibirse o reconocerse un objeto. Dicho de otra forma: es la capacidad del ojo para distinguir entre dos puntos, cada vez más cercanos, que se hallan separados por un ángulo visual. La agudeza visual varía significativamente con la edad de las personas.

2.3 Efectos psicológicos

El color influye de una manera determinante en la percepción de la iluminación, así como en el ánimo y disposición para desempeñar tareas. Los efectos psicológicos relacionados con la iluminación son básicamente de dos tipos: directos, que hacen que un ambiente parezca alegre, cálido, frío, etc. Los indirectos se relacionan con afectos y condiciones objetivas y subjetivas de las personas que perciben diversos colores.

2.4 Ritmo circadiano y reloj biológico

El ritmo circadiano⁵ también conocido como cronobiología se determina por los cambios biológicos, mentales y de comportamiento que suceden durante 24 horas aproximadamente, el ritmo circadiano sirve para sincronizar la actividad corporal a los cambios de entorno principalmente con el ciclo de luz – oscuridad.

Por ejemplo: El ritmo circadiano regula la segregación de las hormonas llamadas melatonina y cortisol encargadas de controlar el sueño y vigilia, comportándose de este modo: Durante el día, el nivel de melatonina es muy bajo siendo la melatonina la hormona que induce al sueño, esta aumenta en la tarde, hasta llegar la mañana cuando la hormona cortisol va en aumento hasta el medio día; el cortisol es la hormona encargada de regular las concentraciones de glucosa para generar energía a la actividad física y mental.

El reloj biológico es el encargado de controlar los ritmos hormonales mismo que controla el ritmo circadiano, el reloj biológico trabaja con el órgano núcleo supraquiasmático del hipotálamo (SCN) que controla los ritmos hormonales y la alternancia entre el estado de vigilia y sueño esta vinculado directamente con la retina y demás estructuras fisiológicas involucradas en la visión. A través de una modificación del sistema circadiano se puede alterar el desempeño humano.

En la siguiente (**Figura 17**) se muestra el ciclo de actividades a lo largo del día y se describe de manera breve lo que sucede con el ritmo biológico especificando las hormonas presentes durante el ciclo día-noche.

⁵ La palabra circadiano viene del latín circa (alrededor) y dies (día).

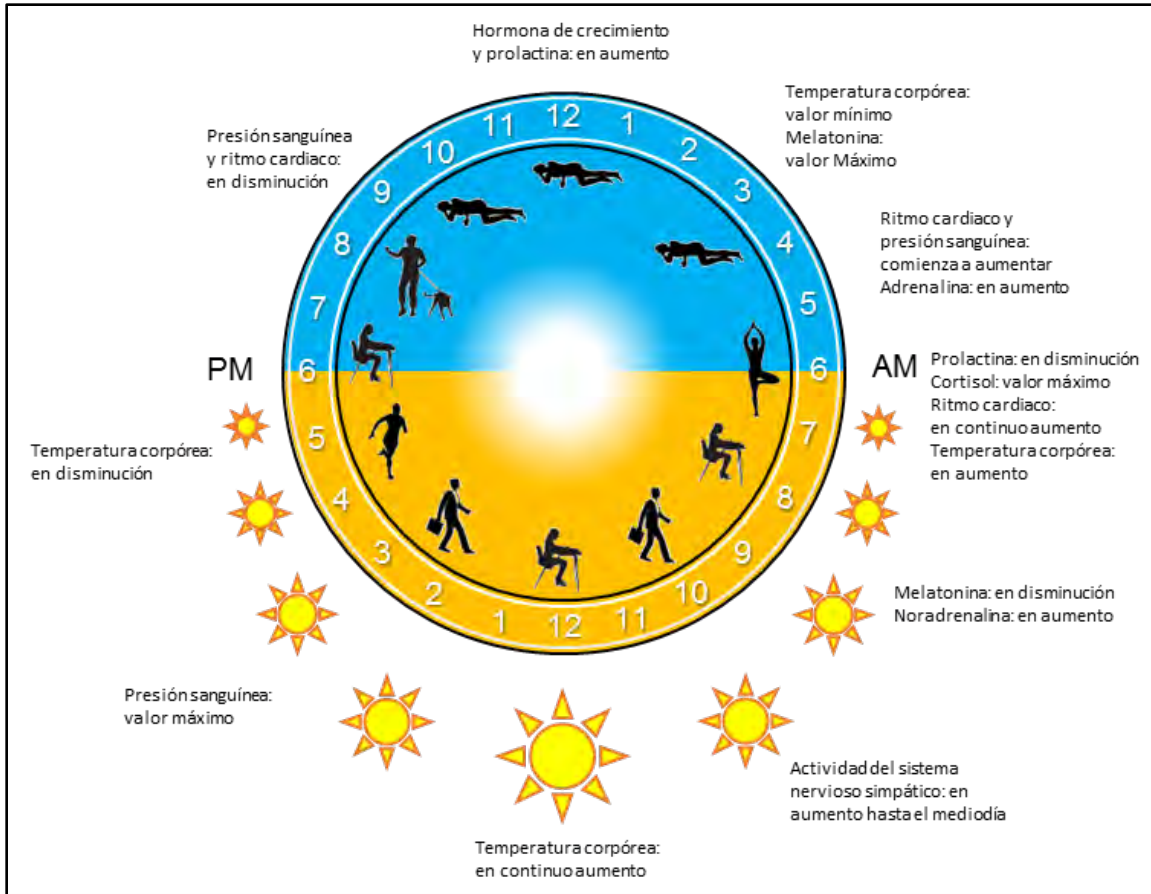


Figura 17. Ciclo de actividad a lo largo del día. (Guzzini, 2003).

El ritmo circadiano además de llevar el ritmo de los procesos biológicos se encarga de regular las sustancias como la adrenalina, la presión arterial y el ritmo cardíaco, en los estudios realizados por (Cardinali, 1996) revela lo que sucede con el ritmo circadiano con diversos tipos de actividades (**Figura 18**).

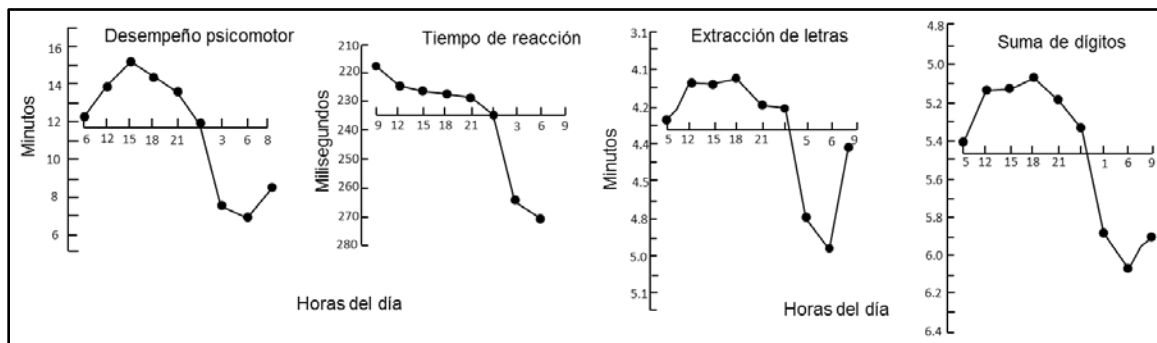


Figura 18. Ritmo circadiano en diversos tipos de actividad. Fuente: (Cardinali, 1996).

Las gráficas de Cardinali demostraron que el rendimiento físico e intelectual disminuye durante las horas nocturnas, siendo así la relación de un ciclo de 16 horas de actividad por cada 8 horas de sueño, es un número aproximado pues depende del metabolismo por la cantidad de luz percibida. De ahí la importancia de la luz, de la que dependen los procesos hormonales y el ritmo circadiano.

Como se puede observar, la luz tiene una influencia muy importante sobre el ser humano. La dinámica laboral actual, con horarios extendidos donde la gente se ve obligada a trabajar en condiciones artificiales de iluminación, ha alterado el ciclo sueño-vigilia y el desempeño mismo. La iluminación artificial a menudo desincroniza los ritmos circadianos, como se ve en la **(Figura 19)**.

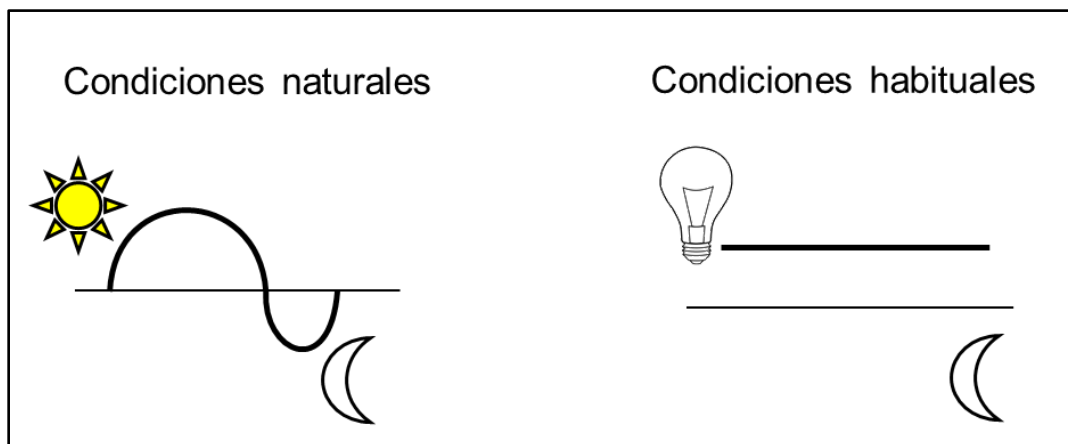


Figura 19. El ciclo circadiano en condiciones naturales y en condiciones habituales (Edgar Landa Colacios, Carlos Sierra Garriga, 2003).

La figura nos muestra como la luz natural permite un ritmo circadiano normal o habitual, pero a falta de luz natural el ritmo circadiano se ve obligado a adaptarse a las condiciones de luz artificial.

Se ha demostrado que bajo la exposición prolongada de luz artificial afecta negativamente, debido a la alteración del ritmo circadiano.

El órgano supraquiasmático, con la luz natural puede ajustar el ritmo circadiano, por esta razón estar expuestos a luz artificial por un periodo largo de tiempo afecta negativamente a este ritmo biológico debido a que requiere de un esfuerzo para estabilizarse.

Normalmente el organismo sabe que debe continuar el ciclo, pero se halla dificultado por el ambiente. Comparativamente, es como hacer girar una rueda que se está frenando continuamente.

Los efectos perjudiciales se manifiestan dependiendo del tiempo de exposición a una luz constante. El uso que le da la sociedad actual a la luz artificial, combinado con la capacidad adaptativa del organismo, hace que estos efectos se manifiesten a largo plazo. Habitualmente donde más se dejan sentir es en el puesto de trabajo, lugar donde se pasan muchas horas y el ambiente lumínico apenas se modifica. (Edgar Landa Colacios, Carlos Sierra Garriga, 2003).

Hasta el momento, el tema de la incidencia de la luz sobre los procesos biológicos y fisiológicos del ser humano ha sido ampliamente estudiado. Existen muchos trabajos que, desde la perspectiva médica, biológica, e incluso psicológica, explican cómo interactúa el organismo del ser humano con el factor lumínico.

La luz es fundamental para determinados procesos fotoquímicos del organismo. A través de los ojos, permite no sólo la entrada de información sobre el exterior mediante el proceso visual, sino también crea, con impulsos nerviosos que van de la retina al cerebro, un estímulo que regula varios procesos fisiológicos, entre ellos los ritmos biológicos circadianos.

Los ritmos biológicos circadianos son aquellos cuyo periodo fluctúa alrededor de 24 horas y dependen de un reloj o marcapasos interno, constituido por los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo. Para numerosas especies, el ciclo luz-oscuridad es la señal ambiental primaria que sincroniza y reajusta el reloj circadiano a un periodo de exactamente 24 horas. Este ajuste se realiza a partir de una señal circulante, la hormona pineal melatonina, que mide la duración de la noche, ya que su síntesis y liberación están inhibidas por la luz.

Podemos suponer que la función evolutiva de dicha sincronización es que los seres humanos funcionen en concordancia con su entorno, ya que esto comportaría un

mejor aprovechamiento de los recursos y una disminución de las pérdidas energéticas.

El concepto de ciclo sueño-vigilia es muy importante para la vida diaria de todos los sujetos, pues al ser animales diurnos, solemos estar activos durante el día (**Figura 20**). Ello, bajo condiciones evolutivas naturales, puesto que se sabe que la necesidad de dormir es fundamental en el proceso vital.

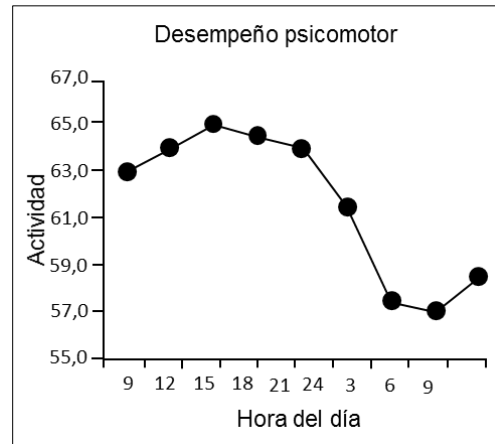


Figura 20. Ciclo circadiano de actividad psicomotora. (Cardinali, 1994).

Respecto a la temperatura corporal en seres humanos (que suele ser utilizada como marcador de los ritmos circadianos), podemos decir que el tiempo del valor mínimo al máximo es de aproximadamente 16 horas, en cambio, el tiempo entre el máximo y el mínimo es de 8 horas. Toma más de 12 horas alcanzar el valor máximo de temperatura corporal, con respecto al mínimo termal, el cual usualmente ocurre durante el sueño. Generalmente los valores máximos de actividad siguen una curva similar a la de temperatura lo largo del día.

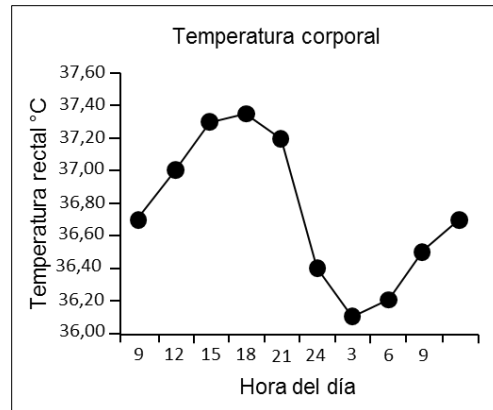


Figura 21. Ciclo circadiano de temperatura corporal. (Pöppel, E. de Mondelo, R. P. 1995)

Sin embargo, ahora nos encontramos en una circunstancia social en la que este ciclo se ha visto alterado, pues existen actividades que se realizan de forma constante, las 24 horas del día. Hay personas que desarrollan su trabajo en lo que corresponde a la fase de sueño del ciclo. Las alteraciones fisiológicas que sufre el organismo bajo estas condiciones han sido muy estudiadas y ahora se intenta trabajar de manera interdisciplinaria para encontrar una solución que no sólo contemple aspectos de productividad y rendimiento laboral, sino de la propia seguridad y salud del trabajador.

Del ciclo sueño-vigilia, el sueño ha sido el más estudiado, pues es alarmante el grado de estrés a que puede llegar el organismo cuando se le priva del sueño. Desde la perspectiva lumínica, la mayoría de los estudios coinciden en proponer que la solución sería aumentar los niveles de luz, ya sea por cortos periodos, o bien de manera creciente o decreciente a lo largo de la jornada de trabajo. Con ello se ha conseguido cambiar de fase el reloj biológico endógeno e inhibir la producción de melatonina (la hormona del sueño) y crear un estado similar al de la vigilia.

Se ha encontrado que la exposición a luz brillante (se habla de un rango entre 2.000 y 10.000 lux), puede cambiar de fase el ritmo mediante la inhibición de la hormona melatonina, que se produce durante el lapso de sueño del período sueño-vigilia. Sin embargo, estudios recientes han encontrado que dicha inhibición puede dañar severamente al organismo, en el caso de las mujeres, incrementando el riesgo a contraer cáncer de mama.

En los países industrializados, se estima que sólo 20% “aproximadamente” son trabajadores a turnos (entre ellos los que realizan viajes intercontinentales), y que debido a esto ven alterado su ritmo circadiano. Suponemos por tanto que el 80% restante son trabajadores que tienen una jornada diurna. (Laura Murguia, Ramon San Martín, 2003).

3.1 Sistema visual

Para profundizar en el tema del conocimiento de la iluminación es importante comprender que sucede con dicha interacción y comenzaremos sobre el ser humano.

El sistema visual parte del funcionamiento biológico que da lugar a la visión humana. El ojo es un órgano receptor que funciona a través de sus conexiones nerviosas con el cerebro utilizando las células fotorreceptoras capaces de traducir un rango de las ondas electromagnéticas en impulsos nerviosos y con ello generar la visión.

La visión diurna, denominada también visión fotópica, es la que trabaja con alta cantidad de iluminación utilizando los fotorreceptores llamados conos. En la visión nocturna funcionan los fotorreceptores llamados bastones que principalmente actúan cuando la cantidad de iluminación es baja (visión escotópica) (**Figura 23**).

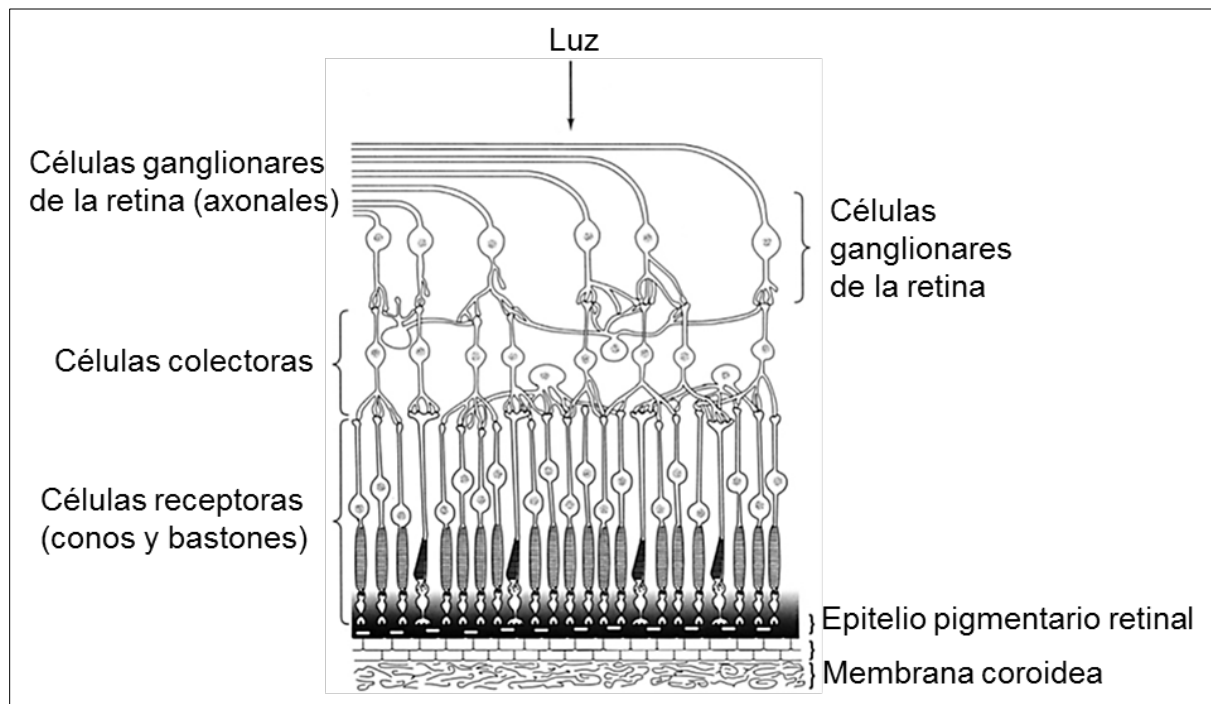


Figura 23. Sistema visual, Células fotorreceptoras (Sekular, Blake, 1994) .

En la siguiente gráfica (**Figura 24**) se muestra la curva de sensibilidad del ojo humano a las longitudes de onda de la luz visible.

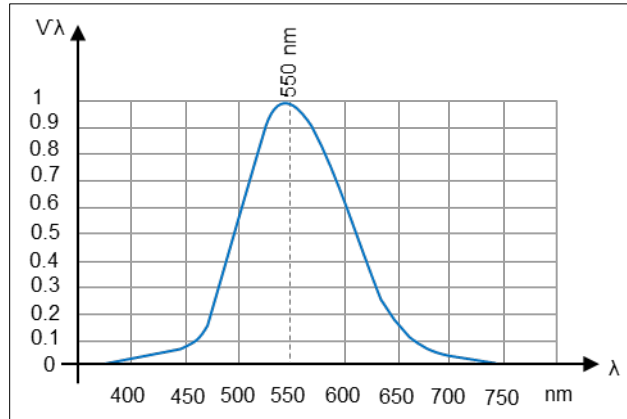


Figura 24. Curva de sensibilidad del ojo. (Wald, Crawford, 1945-1949)

En la siguiente gráfica (**Figura 25**) se muestra la curva de sensibilidad del ojo humano a las longitudes de onda de la luz visible de la visión fotópica y escotópica.

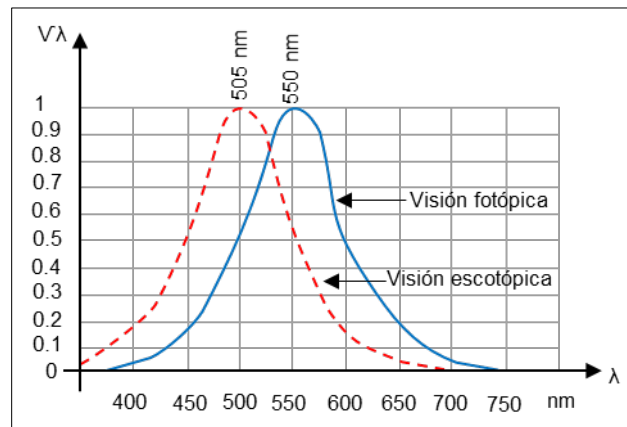


Figura 25. Visión fotópica y escotópica (Wald, Crawford, 1945-1949).

3.2 Sistema perceptual

El sistema perceptual actúa después de que una imagen en la retina ha sido procesada por el sistema visual.

Da una interpretación de acuerdo con la experiencia previa, la situación cognitiva y emocional, la cultura y el contexto.

El mensaje producido por nuestro sistema perceptual puede modificar el estado de ánimo de las personas, y, a su vez, el estado de ánimo modifica la percepción visual.

3.3 Factores que afectan a la visibilidad de una tarea

A continuación, se explican cuáles son los factores que afectan directamente al sistema visual necesario para la realización de una tarea

3.3.1 Adaptación visual

La adaptación visual es el proceso por el cual el ojo se adapta a diferentes niveles de luminosidad. Para ello el iris ajusta su tamaño al nivel de iluminación existente. La duración de adaptación a la luz depende de varios factores, pero lo más significativo es la adaptación a cambios de niveles bajos a niveles altos de iluminación, la cual se realiza en menor tiempo, que, al contrario, cuando se hace de niveles altos a bajos toma mayor tiempo de adaptación (**Figura 26**).

Cuando pasamos de un espacio exterior iluminado por luz solar y entramos a un espacio interior en penumbra, es posible que no veamos nada. Pero después de unos cuantos minutos somos capaces de distinguir entre sombras los objetos con poco detalle. La adaptación es por el aumento de sensibilidad excesivo de la retina, para hacer dicha adaptación nuestra visión tarda entre veinte y treinta minutos para ser capaz de ver hasta en la oscuridad con una visión limitada, a lo que le llamamos visión nocturna. (Souguero, 2013)

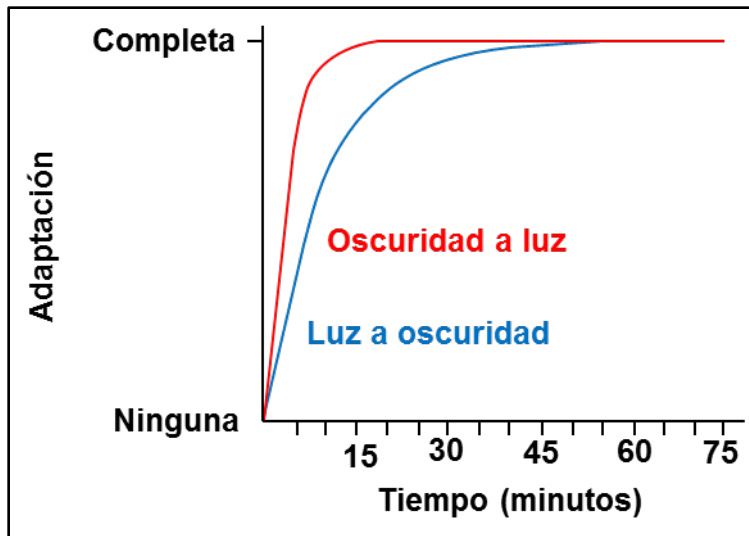


Figura 26. Curva de adaptación visual de oscuridad a luz y de luz a oscuridad. (Souguero, 2013).

3.3.2 Rendimiento visual

El rendimiento visual depende de la comodidad en la visibilidad de una tarea.

Los factores que pueden determinar dicha visibilidad son los siguientes:

- Contraste
- Tamaño
- La vista de la persona

El contraste depende de la reflectancia entre la tarea y el fondo.

El tamaño depende de la distancia de visión y el tamaño de la tarea.

La vista de la persona es un factor que varía por la capacidad visual de cada sujeto y su edad.

El ojo tiene la capacidad de enfocar un detalle de una tarea a la vez y asimilarlo en un determinado tiempo y continuar asimilando una serie de detalles de manera continua gracias a la habilidad física y mental particular de cada persona.

Si se reduce el contraste de luminancia de una tarea, disminuye la velocidad de asimilar un detalle (**Figura 27**).

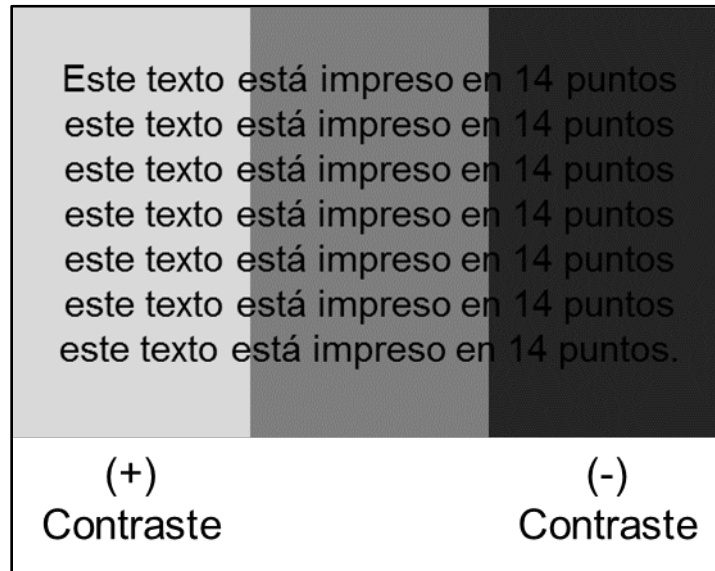


Figura 27. La dificultad de la tarea se incrementa cuando el contraste entre el detalle y el fondo se reduce (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de iluminación (CEI), 2001).

Si se reduce el tamaño de la tarea, disminuye la velocidad y la precisión de asimilar un detalle (**Figura 28**).

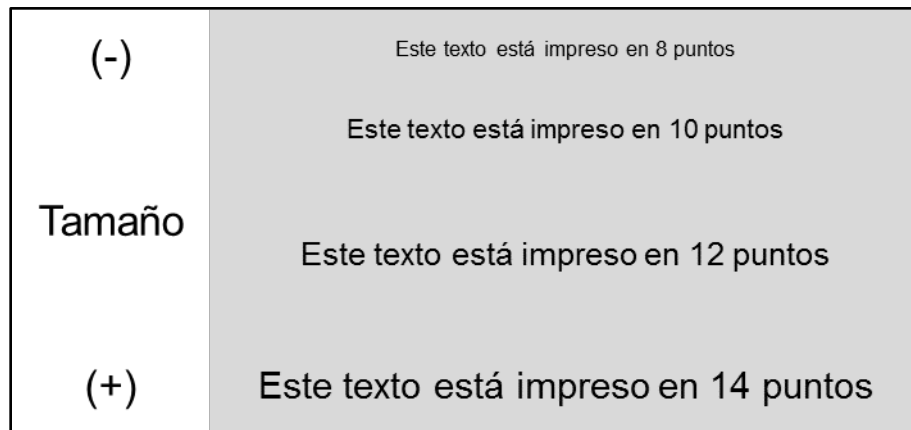


Figura 28. Cuanto más pequeño sea el detalle más difícil es asimilar la tarea. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de iluminación (CEI), 2001)

3.4 Confort visual

El confort visual es una experiencia que manifiesta la ausencia de perturbaciones procedentes del entorno visual.

Es la condición subjetiva del bienestar visual vinculado al ambiente externo.

Sensación de bienestar que recibe el hombre cuando observa objetos o realiza tareas visuales sin molestias ni fatiga gracias a la adecuada combinación de calidad y cantidad de iluminación.

Para no afectar el confort visual hay que evitar luminancias demasiado altas que provoquen deslumbramiento, contrastes de luminancia demasiado altos que causen fatiga debido a la readaptación constante de los ojos o, luminancias demasiado bajas, que pueden dar como resultado un ambiente visual no estimulante. También se puede ver afectado por grandes diferencias de la luminancia en amplias zonas del campo visual.

3.5 El confort visual en áreas de trabajo

Para controlar el deslumbramiento originado por las luminarias existen otros criterios.

Uno de los más utilizados es el sistema CIE (Comission Internationale de l'Eclairage) de curvas de deslumbramiento.

Cada una de las curvas representa la limitación de la luminancia para diferentes valores de la iluminación, estableciéndose unos límites o grados que definen la calidad de la iluminación ante el deslumbramiento para cada tarea visual.

El sistema establece cinco tipos de calidades o niveles de exigencia, según la tarea visual a cumplir.

En la siguiente (**Figura 29**) se definen las cinco calidades de deslumbramiento (A, B, C, D y E) para diferentes valores de iluminancia. Una vez definida la calidad y el nivel de iluminación, se localiza la línea límite de luminancia, entonces se superpone en el diagrama la curva de luminancia de la luminaria a comprobar, debiendo quedar a la izquierda de la línea límite para que no exista deslumbramiento. Si la curva de la

iluminación relacionados con la visión, mientras que el segundo termina con un análisis de los aspectos de calidad relacionados con la salud.

La mayoría de las recomendaciones y normas nacionales e internacionales especifican cifras de calidad de la iluminación en la mayoría de los aspectos de calidad visual mencionados anteriormente y para una amplia variedad de interiores y actividades. La (**Tabla 6**) refiere los aspectos de calidad visual, junto con el parámetro de calidad de cada aspecto usado en la norma europea de iluminación de los lugares de trabajo.

Se debe señalar que la apariencia de color de la luz misma no se especifica en la norma europea. La razón es que de momento la apariencia del color se ve como algo psicológico y estético y fuera del campo de lo artificial.

Tabla 1 Aspectos referentes a la calidad visual de instalaciones de iluminación y sus parámetros de calidad tal y como se especifican en la norma europea de iluminación de los lugares de trabajo [10].	Aspecto de la calidad visual	Parámetro de calidad
	<p>Nivel de iluminación</p> <p>Distribución espacial</p> <p>Efectos de color</p>	<p>Nivel promedio de iluminancia, E_{av}</p> <p>Uniformidad: E_{min} / E_{av}</p> <p>Limitación del deslumbramiento: UGR</p> <p>R_a</p>

Tabla 6. Aspectos que influyen en la calidad visual (Ir.W. J. M. van Bommel, Ir. G. J. van den Beld, 2004).

Una iluminación inadecuada en el trabajo puede originar fatiga ocular, cansancio, dolor de cabeza, estrés y accidentes. El trabajo con poca luz daña la vista. También cambios bruscos de luz pueden ser peligrosos, pues ciegan temporalmente, mientras el ojo se adapta a la nueva iluminación.

El grado de seguridad con el que se ejecuta el trabajo depende de la capacidad visual y esta se relaciona, a su vez, con la cantidad y calidad de la iluminación. Un ambiente bien iluminado no es solamente aquel que tiene suficiente cantidad de luz sino más bien que tiene la calidad de iluminación adecuada.

Para conseguir un buen nivel de confort visual se debe garantizar un equilibrio entre la cantidad, la calidad y la estabilidad de la luz, de tal forma que se evite la activación constante de los reflejos y el parpadeo. Fundamental es procurar uniformidad en la iluminación, ausencia de excesivos contrastes, etc. Todo ello en función de las exigencias visuales del trabajo como de las características personales de cada persona.

Una iluminación incorrecta puede ser causa, además, de posturas inadecuadas que generan a la larga alteraciones músculo-esqueléticas. (Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS), 2013)

Es importante implementar mecanismos de prevención de riesgos en los lugares de trabajo.

La naturaleza dinámica de las recomendaciones sobre iluminancias es el resultado de una variedad de factores, incluyendo la diversidad de puntos de vista concernientes a la cantidad de luz que se necesita para desarrollar una tarea dada.

Este desarrollo dinámico también refleja una tendencia hacia la utilización de unas recomendaciones de iluminación más comprensibles cuando están hechas dentro del contexto de otros atributos de calidad de la iluminación como el índice de deslumbramiento y el rendimiento de color.

Además, las consideraciones económicas también desempeñan un papel en el incremento o descenso de iluminación. Por ejemplo, la comercialización de la lámpara fluorescente en los años 30 hizo posible incrementar drásticamente los niveles de luz sin pagar la pena de impuestos correspondiente en los costos de energía o calentamiento excesivo (Sánchez, 2002).

¿Cuál es la luz correcta?

Ciertamente hay más en el diseño de iluminación que la especificación de los niveles de iluminación. La calidad de la iluminación es una función de muchos otros factores, incluyendo la orientación espacial (iluminancia vertical contra horizontal), contenido fotópico/escotópico, deslumbramiento, contraste, rendimiento de color, temperatura de color y parpadeo. Esto además complica el problema de definir las principales medidas de los servicios de la iluminación (en términos tanto de la utilización de la energía, como de la calidad de la iluminación).

Recientemente ha habido una tendencia hacia la formulación de recomendaciones de iluminancia asociadas al diseño de iluminación, de una manera más sofisticada y algunas veces más flexible. En muchos países europeos el criterio de deslumbramiento y las recomendaciones concernientes al rendimiento de color han estado disponibles desde los años 60.

En otros países como Japón, según las características del estándar nipón más reciente para la iluminación de oficinas, los criterios de deslumbramiento han sido introducidos sólo recientemente junto a los rangos de iluminación. El estándar ruso actual especifica índices de deslumbramiento, rangos recomendados de limpieza de luminarias e índices para todas las aplicaciones de alumbrado, así como los índices de rendimiento de color y rangos de temperatura de color para configuraciones industriales y residenciales.

También hay una tendencia hacia la especificación de iluminancias para tipos específicos de actividad más que para los tipos de configuración arquitectónica. Se está volviendo cada vez más común al tomar una aproximación que combina iluminación ambiente y naturaleza de la tarea misma. (Sánchez, 2002).

4.1 Generalidades de la luminotecnia

La luminotecnia se deriva de las leyes de la física como un conjunto de técnicas de la luz para ser aplicadas en diferentes ambientes para el adecuado desarrollo de las tareas visuales.

Es decir, la luminotecnia estudia las distintas formas de producción de la luz y cómo el sistema visual interpreta los fenómenos lumínicos de la luz artificial

Por ello podemos afirmar que la luminotecnia es la ciencia que estudia las distintas formas de producción de luz, así como su control y aplicación, es decir, es el arte de la iluminación con luz artificial para fines específicos. La luz es una manifestación de la energía en forma de radiaciones electromagnéticas capaces de afectar el órgano visual.

Se denomina radiación a la transmisión de energía a través del espacio.

La luz se compone de partículas energizadas denominadas fotones, cuyo grado de energía y frecuencia determina la longitud de onda y el color.

Según estudios científicos, la luz sería una corriente de paquetes fotónicos que se mueven en el campo en forma ondulatoria por un lado y en forma corpuscular por otro.

Gracias a la luz captamos las impresiones de claridad, relieve, forma, color y movimientos de los objetos que forman nuestro mundo exterior.

Hay dos tipos de objetos visibles: aquellos que por sí mismos emiten luz y los que la reflejan. El color de estos depende del espectro de la luz que incide y de la absorción del objeto, la cual determina qué ondas son reflejadas.

La luz blanca se produce cuando todas las longitudes de onda del espectro visible están presentes en proporciones e intensidades iguales. Esto se verifica en un disco que gira velozmente y que contiene todos los colores distribuidos uniformemente. El ojo humano es sensible a este pequeño rango de 450 y 750nm del espectro radioeléctrico.

Las ondas que tienen menor frecuencia que la luz (por ejemplo, la radio), tienen mayor longitud de onda, y rodean los objetos sin interactuar con ellos. Esto permite tener cobertura en el teléfono móvil aún dentro de una casa.

Las ondas de mayor frecuencia que la luz tienen una longitud de onda tan pequeña que atraviesan la materia, por ejemplo, los rayos X atraviesan algunos materiales como la carne, aunque no los huesos.

Es sólo en la franja del espectro que va desde el violeta hasta el rojo donde las ondas electromagnéticas interactúan (se reflejan o absorben) con la materia y permiten ver los objetos, sus formas y su posición.

Dentro de esta franja del espectro se puede determinar qué frecuencia o conjunto de frecuencias refleja o emite cada objeto, es decir, el color que tiene.

En Luminotecnia se utilizan las siguientes medidas:

Flujo luminoso

Se define como la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz por unidad de tiempo, en todas las direcciones. Se representa por la letra griega Φ y su unidad es el lumen (lm). Su expresión viene dada por:

$$\Phi_L = \frac{dQ_L}{dt}$$

Ecuación 1. Flujo luminoso (lm)

Donde: Φ_L = Flujo luminoso (lm). dQ_L/dt = Cantidad de energía luminosa radiada por unidad de tiempo.

Rendimiento luminoso (Eficacia luminosa)

Indica el flujo luminoso que emite una fuente de luz por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Se representa por la letra griega ε y su unidad es el lumen/vatio (lm/W). La expresión de la eficacia luminosa viene dada por:

$$\varepsilon = \frac{\phi_L}{P}$$

Ecuación 2. Rendimiento luminoso

Donde: ε = Eficacia luminosa. P = Potencia activa (w)

Intensidad luminosa

Se define como la relación entre el flujo luminoso emitido por una fuente de luz en una dirección por unidad de ángulo sólido en esa misma dirección, medido en estereorradianes (sr). Siendo éste el ángulo formado entre el centro de una esfera de radio unitario y una porción de superficie de una unidad cuadrada de dicha esfera.

$$I = \frac{\phi_L}{\omega} \quad (cd) ; \quad \omega = \frac{S}{r^2}$$

Ecuación 3. Intensidad luminosa

Donde: I = Intensidad luminosa (cd) ϕ_L = Flujo luminoso (lm). ω = Ángulo sólido (sr). r = Radio de proyección (m)

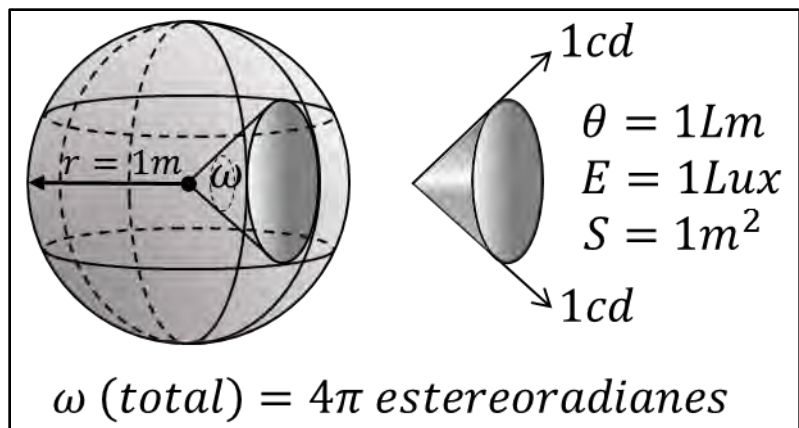


Figura 31. Concepto de intensidad luminosa, obtenido de Magnitudes fotométricas básicas (Valencia, 1995) .

Nivel de Iluminación (Iluminancia)

Los niveles de iluminación se definen como la relación entre el flujo luminoso y el área de superficie a la cual incide dicho flujo. Se simboliza con la letra E y su unidad es el lux. Por lo tanto, su expresión queda así:

$$\varepsilon = \frac{\phi_L}{S}$$

Ecuación 4. Nivel de iluminación

Dónde: E = Iluminancia (lux). ϕ_L = Flujo luminoso (lm). S = Superficie (m²).

Iluminancia promedio

Es una medida importante que hay que considerar en el momento de realizar cualquier proyecto de iluminación. Se define como la relación entre la sumatoria de las iluminancias calculadas en cada punto considerado entre el número de dichos puntos. Por lo tanto:

$$E_{med} = \frac{\sum_{i=1}^{np} Ep_i}{np}$$

Ecuación 5. Iluminancia promedio.

Dónde: E_{med} = Iluminación promedio. Ep_i = Iluminancia en el punto i-ésimo.

np = Número de puntos considerados.

Luminancia

La luminancia se define como la relación entre la intensidad luminosa y la superficie proyectada verticalmente a la dirección de irradiación. Dicha superficie es igual al producto de la superficie real iluminada por el coseno del ángulo (β) que forma la dirección de la intensidad luminosa y su normal. Su unidad es la candela por metro cuadrado (cd/m^2), y su expresión correspondiente es:

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos(\beta)} \quad (\text{cd}/\text{m}^2)$$

Ecuación 6. Ecuación de luminancia.

Dónde: L = Luminancia (cd/m^2) I = Intensidad luminosa (cd) S = Superficie (m^2).

Temperatura de color (T_c)

La temperatura de color de una fuente lumínica es medida por su apariencia cromática y está basada en el principio según el cual, todos los objetos cuando aumentan su temperatura, emiten luz. El color de esa luz cambia dependiendo del incremento de la temperatura, expresada en Kelvin (K). A continuación, se muestra cómo los colores de luz son clasificados (**Tabla 7**)

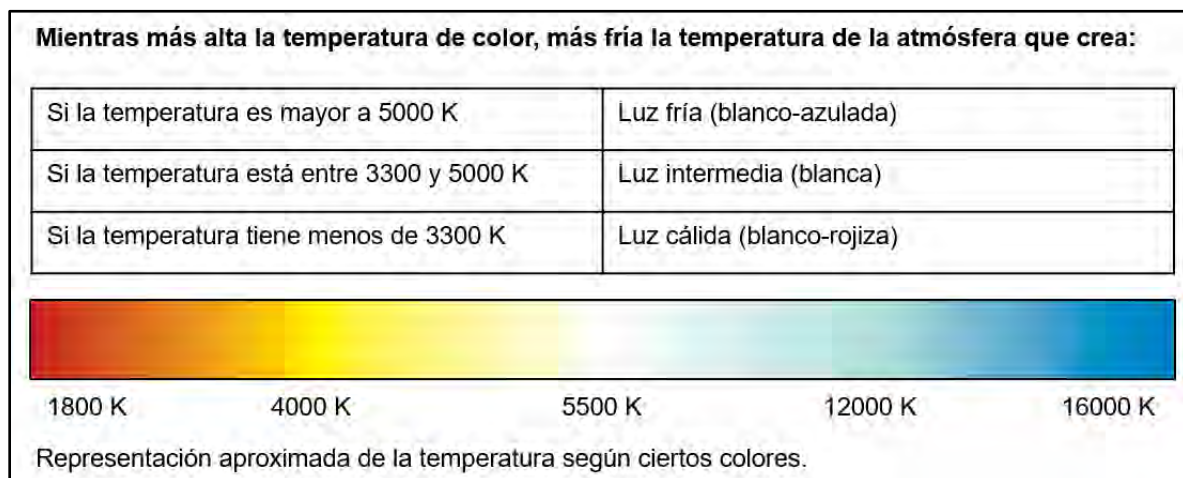


Tabla 7. Apariencia del color según su temperatura.

Índice del Rendimiento del Color (IRC)

Es el índice que indica el nivel o el grado de precisión en que un objeto iluminado pueda reproducir su propio color real bajo la influencia de una fuente de luz. Cuando la luz incide sobre un cuerpo y éste genera un color prácticamente igual o idéntico al propio, entonces su IRC tendrá un valor cercano o igual a 100. Para la clasificación de distintas fuentes de luz, se ha instituido a la lámpara incandescente como patrón, ya que dicha fuente representa un IRC de 100 (muy bueno).

Grado del IRC	IRC	Apariencia
1	$IRC \geq 85$	Muy bueno
2	$75 \leq IRC \leq 85$	Bueno
3	$40 \leq IRC \leq 75$	Medio
4	$IRC \leq 40$	Nulo (monocromático)

Tabla 8. Clasificación del IRC según su grado y apariencia.

4.2 Propiedades de la luz

Para adentrarnos al conocimiento de la iluminación es necesario entender los conceptos básicos acerca de qué es la luz y cómo nuestro organismo interactúa con ella.

Entendamos que la luz visible solo es un fragmento pequeño del espectro electromagnético cuyas longitudes de onda van desde los 780 nm, a 380 nm. (**Figura 32**).

La luz natural cubre todo el espectro visible y nos proporciona un rendimiento de colores perfecto.

La luz y el calor nos llegan del Sol en forma de radiaciones y conforman parte del espectro electromagnético que abarca desde los rayos gama hasta las ondas de radio.

La luz es absorbida por los fotorreceptores del sistema visual humano, dando lugar al proceso de la visión. Más adelante se explica el sistema visual.

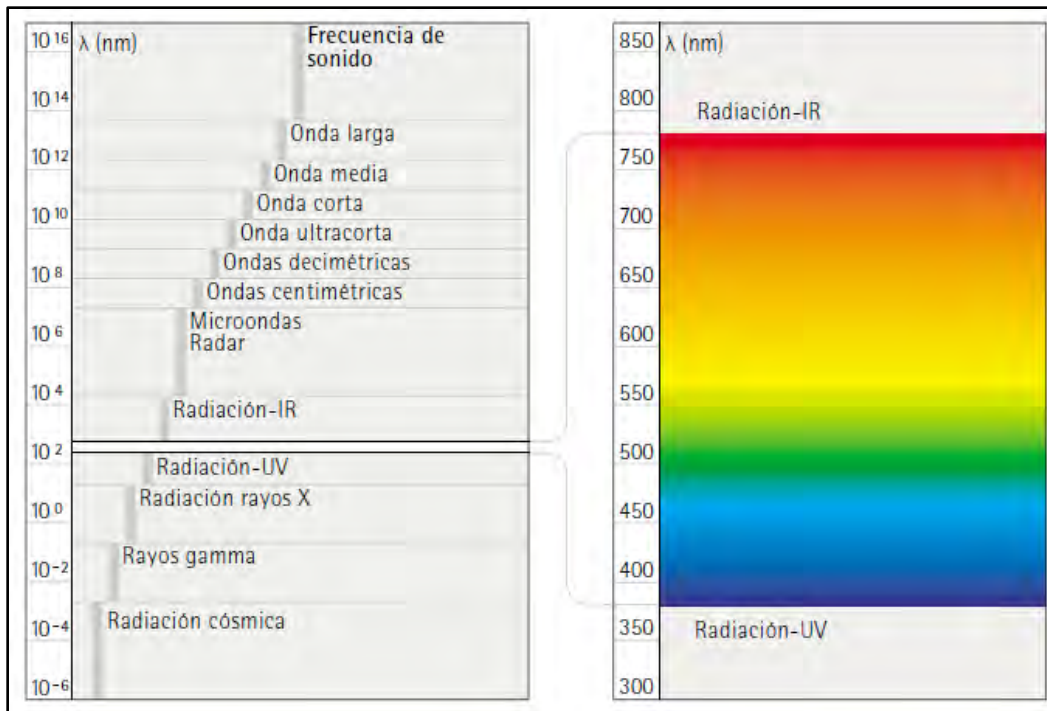


Figura 32. Rango visible del espectro electromagnético (Cad-Projects, 2011).

4.3 Tipos de fuentes luminosas

La luz directa del sol, iluminando superficies perpendiculares a ella, alcanza valores de entre 60000 a 100000 lux, muy intensa, en general, para ser utilizada directamente pues puede ocasionar deslumbramiento y aumentos de temperatura. Por estas razones, generalmente se prefiere excluir completamente la luz solar de los interiores, lo que constituye un error, pues si bien prácticamente toda la energía proveniente de las fuentes de luz se convierte finalmente en calor, la proporción de calor introducida por lúmenes de luz solar directa es menor que en la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica. Puede contribuir favorablemente en la necesidad de calefacción en invierno si las aberturas se diseñan de manera que las ganancias solares excedan a las pérdidas de calor, por ejemplo, vidrios verticales en la fachada norte para el hemisferio sur. En los meses de verano, las mismas aberturas pueden ser usadas para evitar el ingreso de la radiación directa, por ejemplo, estas mismas superficies vidriadas pueden ser sombreadas para evitar el ingreso de la radiación directa, iluminando el interior por reflexión y difusión de la luz del sol.

Las fuentes luminosas a partir del índice de rendimiento de color expresado en grados Kelvin (K), que permite hacer una referencia a las tonalidades de diferentes fuentes lumínicas (**Tabla 9**).

Fuentes Luminosas	Tc (°K)	IRC
Cielo azul	10.000 a 30.000	85 a 100 (grupo 1)
Cielo nublado	7.000	85 a 100 (grupo 1)
Luz solar día	6.000	85 a 100 (grupo 1)
Lámparas descarga (excepto Na)		
Luz día (halogenuros)	6.000	96 a 100 (grupo 1)
Blanco neutral	3.000 a 5.000	70 a 84 (grupo 2)
Blanco cálido	Menos de 3.000	40 a 69 (grupo 3)
Lámpara descarga (Na)	2.900	Menos de 40
Lámpara incandescente	2.100 a 3.200	85 a 100 (grupo 1)
Lámpara fotográfica	3.400	85 a 100 (grupo 1)
Llama de vela o de bujía	1.800	40 a 69 (grupo 3)

Tabla 9. Índice de reproducción cromática (IRC), temperatura de color (K) y Fuentes luminosas.

La lámpara fluorescente es la seleccionada para la presente experimentación debido a que la lámpara fluorescente presenta las siguientes características:

Son lámparas de descarga en vapor de mercurio a baja presión. Producen radiación ultravioleta por el efecto de descarga que activa los polvos fluorescentes que contiene y transforma la radiación ultravioleta en radiación visible.

Las lámparas fluorescentes están compuestas por un tubo de descarga: es un tubo de vidrio soplado que contiene en su interior un gas inerte, normalmente argón o argón y neón, a baja presión. Además, contiene unas gotas de mercurio que pueden estar en estado líquido cuando la lámpara está apagada o en estado gaseoso cuando está encendida.

El interior del tubo está recubierto por una sustancia fluorescente, a base de fósforo en diferentes formas, que es la responsable de transformar la radiación ultravioleta en luz visible.

El recubrimiento afectará a la temperatura del color y al rendimiento de las lámparas.

En los extremos del tubo se encuentran dos filamentos, entre los cuales se crea la diferencia de potencial para que funcione la lámpara. Electrodo: son los encargados de conducir la energía eléctrica de la lámpara y proporcionar los electrones

necesarios para mantener la descarga. Casquillo: tiene dos casquillos, uno en cada extremo. Normalmente son el modelo Bi-pin.

4.4 Calidad de la iluminación

Visto de otro modo la calidad de la iluminación como un sistema de iluminación eficiente y es aquel que, además de satisfacer las necesidades visuales, crea también ambientes saludables, seguros y confortables (Raitelli, Diseño de la Iluminación de Interiores, 2013).

La calidad de la iluminación debe ser siempre lo bastante elevada como para garantizar un rendimiento visual suficiente en la tarea. Sin embargo, el rendimiento visual real de una persona depende no sólo de la calidad de la iluminación sino también de sus propias habilidades visuales.

Al respecto la edad es una condición básica, ya que los requisitos de iluminación que se deben cumplir se ajustan con el aumento de edad. La (**Figura 33**) indica la cantidad relativa de luz que se necesita para leer un libro bien impreso, en función de la edad (Zedán, 2011).

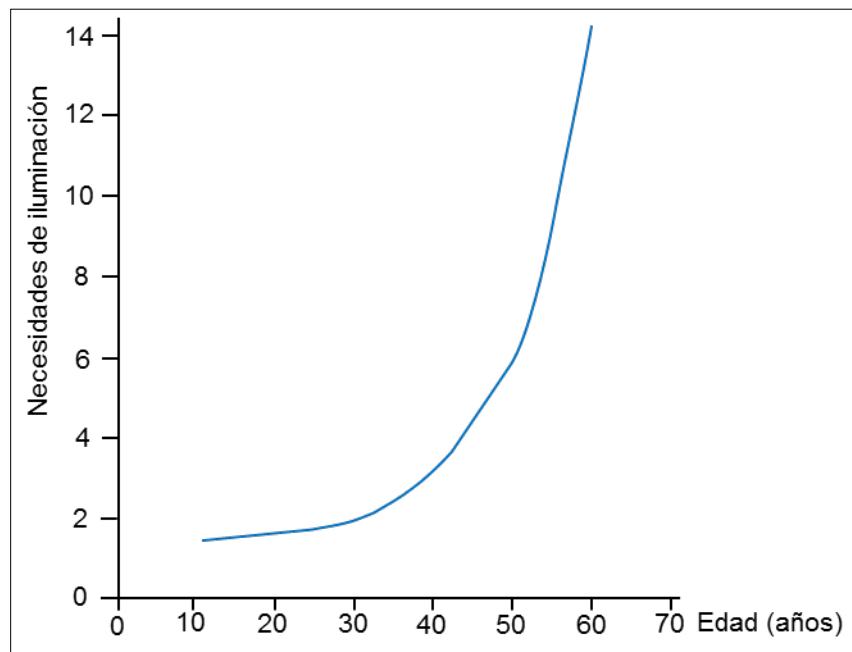


Figura 33. Necesidad de iluminación en función de la edad (Ir.W. J. M. van Bommel, Ir. G. J. van den Beld, 2004).

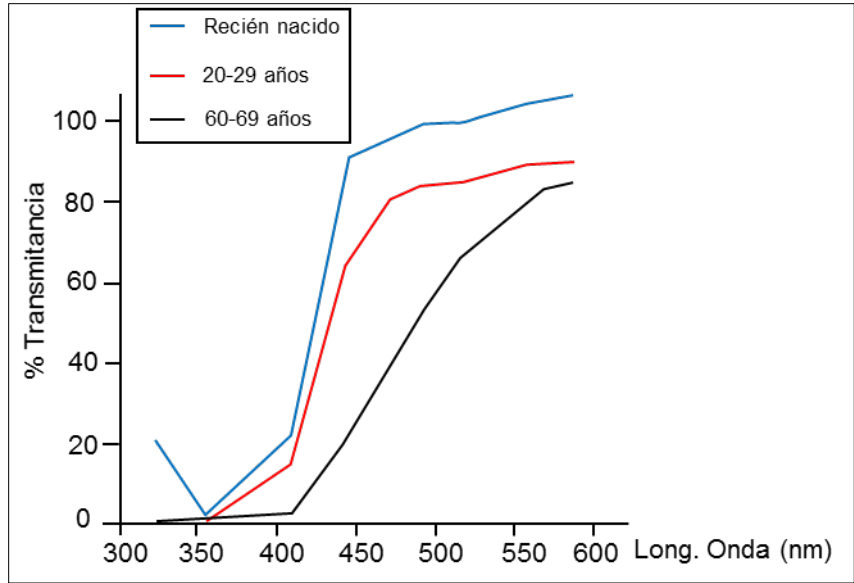


Figura 34. Transmitancia del cristalino en función de la edad (Ir.W. J. M. van Bommel, Ir. G. J. van den Beld, 2004).

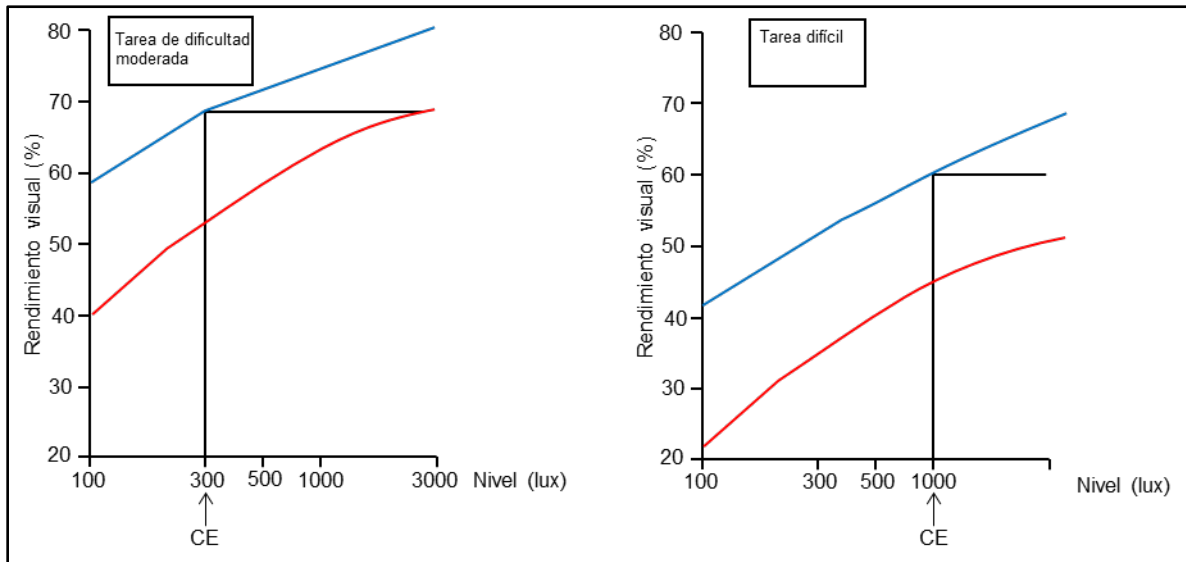


Figura 35. Rendimiento Visual Relativo en Función del Nivel de Iluminación (Ir.W. J. M. van Bommel, Ir. G. J. van den Beld, 2004).

La (**Figura 34 y 35**) muestra resultados de una investigación sobre la influencia de la calidad de la iluminación en el rendimiento visual. Indica el rendimiento visual relativo en función del nivel de iluminación, distintas tareas visuales con diferente grado de

dificultad: uno para una tarea moderadamente difícil (por ejemplo, trabajo de oficina y actividades con maquinaria en un entorno industrial) y otro para una tarea difícil (por ejemplo, tarea de inspección del color o trabajo de montaje fino).

Todas estas tareas muestran un claro aumento del rendimiento visual paralelo al incremento de la calidad de la iluminación: en este ejemplo, paralelo al nivel de iluminación.

Según las recomendaciones de la CIE (**Tabla 10**), los parámetros mínimos mantenidos recomendados para las distintas áreas de la oficina por la norma europea (**Tabla 11**).

Tipo de dependencia o actividad	Iluminancia media Horizontal (lux)	Clase de calidad al deslumbramiento	Índice de reproducción cromática (Ra)
Cartografía	700	B	70-80
Dibujo técnico	700	B	80-90
Sala de ordenadores	400	B	70-85
Secretaría	500	B	70-85
Compras - ventas	500	B	70-85
Administración	500	B	70-85
Contabilidad	500	B	70-85
Publicidad	500	B	70-85
Facturación	500	B	70-85
Oficina personal	500	B	70-85
Servicios jurídicos y financieros	500	B	70-85
Cálculo	500	B	70-85
Organización	500	B	70-85
Despachos de gerencia y dirección:	500	B	70-85
Sala de conferencias	300	C	70-85
Recepción	300	C	70-85
Despachos atención al público	300	C	70-85
Laboratorios	500	B	70-85
Talleres	500	B	70-85
Cámaras acorazadas	400	C	70-85
Archivo	200	C	70
Centralita	300	C	70
Correos	300	C	70
Cocina	300	C	70-85
Locales auxiliares	150	C	70
Áreas de servicio	150	C	70
Recepción / expedición	150	C	70
Sala de exposiciones	200	-	90
Sala de demostraciones	100 - 1000	-	90
Sala de conferencias	300	C	70-85
Sala de visitas	300	C	70-85
Sala de descanso	200	C	70-85
Cafetería / comedor	200	C	70-85
Vestibulos	200	C	70-85
Pasillos	150	C	70-85
Aseos	150	D	70-85
Almacenes	100	D	70

Tabla 10. Parámetros mínimos de iluminancia para oficinas recomendados por la CIE. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de iluminación (CEI), 2001)

Código Europeo EN 12464-1, Oficinas		
Necesidades y Expectativas (Humano, social y ambiental)	Parámetros	Requisitos
A. Necesidades individuales		
Rendimiento Visual	Iluminancia (Horizontal) área de trabajo	> 500 lux
	Dibujo	> 750 lux
	Iluminancia (Horizontal) computadora	> 500 lux
	Iluminancia del entorno inmediato	Iluminación ambiental > 300 lux
	Archivo	200 lux
Confort Visual	Iluminancia (vertical) en pantallas	< 200 lux
	Proporción de luminancia en área de trabajo	1:3 cerca del lugar de trabajo
		1:10 para otras superficies
	Protección	Hay un ángulo de protección mínimo establecido en función al nivel de luz
	Luminancia del techo	
	Luminancia máxima de las luminarias	Luminancia de las superficies del cuarto, 40:1. Ángulo de las luminarias y "alto valor"
	Luminancia de los muros	Menor de 10:3:1
	Luminancia máxima de las ventanas	
	Reflectancia de las superficies	p _{techo} : 0.6-0.9 p _{muros} : 0.3-0.8 p _{planos de trabajo} : 0.2-0.6 p _{pisos} : 0.1-0.5
	Sin parpadeos o destellos	Evitar el parpadeo y los destellos producidos por el sistema luminoso
	Uniformidad de la tarea visual	> 0.7
	Uniformidad del entorno	> 0.5
Deslumbramiento reflejado	UGR ≤19	
Deslumbramiento reflejado, reflejo de velo	Debe ser prevenido o reducido	
Apariencia de color	Índice de reproducción cromática (CRI)	> 80
	Temperatura de color correlacionada (CCT)	3000 K < CCT < 5000 K
	Uso de colores saturados	
	Variaciones de color	
Bienestar	Contacto con el exterior	Ventanas cerca del espacio de trabajo, con buen sombreado
	Factor de luz de día	
	Consideración de luz de día	Uso de la luz diurna disponible
	Modelado de luz	No demasiado direccional, no demasiado difusa
	Iluminación dirigida	En la tarea visual
	Hipótesis de biofilia	
	Estética del espacio	
Estética de los equipos de iluminación		
Efectos no visuales	Distribución espectral	
	Dosis diarias	
	Frecuencia	
	UV cantidad / IR cantidad	
B. Necesidades sociales		
	Costo, presupuesto	
	Productividad / Reducción de quejas	Control más individual
	Mantenimiento	El factor de mantenimiento debe ser calculado, un mantenimiento programado debe ser preparado
	Seguridad	Nivel de seguridad (mínimo 1 lux iluminación de emergencia), EN 1834
	Sensación de seguridad	
	Gestión de iluminación	

Tabla 11. Parámetros recomendados por la norma europea (Liisa Halonen, Eino Tetri y Pramod Bhusal, 2010)

La (Tabla 11) que muestra los requisitos establecidos en la norma europea, de hecho, están mejor adaptados a las personas jóvenes. Sin embargo, el rendimiento visual de

los trabajadores mayores es considerablemente inferior. Afortunadamente se puede compensar por completo esta situación con un nivel de iluminación superior cuando se trata de tareas de dificultad moderada. En la práctica esto exige una iluminación adaptable sobre el nivel de iluminación exigido por la norma EN para los momentos en que la luz natural no basta para proporcionar los niveles de iluminación más elevados que necesitan los trabajadores de mayor edad.

Por supuesto que una mejora en los resultados de rendimiento visual conlleva a su vez una mayor productividad en el trabajo que se refleja en una mayor producción y un menor número de errores. El grado en que una iluminación de buena calidad mejora el rendimiento en el trabajo depende del componente visual de la tarea.

La calidad de iluminación ha sido para los diseñadores de iluminación una base para el aprovechamiento de la energía eléctrica aportando una mejora en el campo de la tecnología y la ingeniería.

El uso de la iluminación artificial en las edificaciones se ve reflejado en el alto consumo energético y esto puede llegar a ser la principal fuente de consumo energético en las edificaciones.

A medida que las lámparas han sido más eficientes el consumo energético de las mismas se ha ido reduciendo de gran manera. En Estados Unidos la cantidad de iluminación necesaria para realizar tareas de oficina han variado hasta la actualidad, debido a que las lámparas han mejorado en su calidad de iluminar, esto quiere decir que utilizando lámparas con mejor calidad de iluminación⁶ por este motivo la cantidad de iluminación necesaria para realizar tareas de oficina puede ser menor (**Collins et al., 1989**).

La importancia de tener un buen diseño de iluminación no solo depende del uso de luminarias más eficientes, pues también depende del criterio de la colocación de las

⁶ Una mejor calidad de iluminación en las fuentes luminosas está relacionada con la mejora de una mayor eficiencia luminosa, un mejor índice de rendimiento de color y una mejora en la distribución de la luz emitida por la lámpara en el espacio.

mismas para lograr una mejor calidad al iluminar el espacio tarea del diseñador de iluminación (**Miller y McGowan, 2000**).

El diseño de iluminación cambia en función al tipo de actividad que se requiere desarrollar en el espacio y en función de las condiciones arquitectónicas y económicas, las condiciones de iluminación pueden ser diseñadas especialmente para las características de los usuarios como son su edad, capacidades visuales, sus gustos y preferencias.

Se dice que no hay una clara definición de calidad de iluminación, pero existe una gran cantidad de características que la definen, como son elementos que determinan las condiciones de iluminación que tienen impactos positivos sobre la eficiencia de una actividad visual. Especialmente al determinar las condiciones de iluminación con impactos positivos para realizar con eficiencia una tarea facilitando la habilidad para discriminar detalles de forma, textura y color brindando un confort visual, gracias a una buena “calidad de la iluminación” (**Veitch y Newsham, 1998**).

En 1998 Boyce plantea que la calidad de iluminación es cuando el diseño de iluminación logra los objetivos de la actividad a realizar y cumple con las restricciones propuestas por el cliente y el diseñador. Y mejorar las expectativas de los objetivos revela una mejor calidad de la iluminación. El hecho de obtener una mejora en la realización de tareas visuales por ejemplo y generar patrones del comportamiento visual esperados.

Las restricciones son, en su mayoría, impuestas por razones financieras o capacidad presupuestaria, por razones de tiempo para lograr completar el trabajo y, a veces, restricciones que impone el diseño mismo. Veitch establece que la calidad de un sistema de iluminación está determinada por el grado de excelencia alcanzado, definido como un juicio vinculado al contexto en el cual se desarrolla el proyecto de iluminación e, incluye los componentes del bienestar de la persona además de integrar estas necesidades con las restricciones arquitectónicas y económicas. En la (**Figura 36**) se muestra un esquema de los tres componentes que participan en la definición de calidad de la iluminación, a partir del modelo propuesto por (**Veitch, 2000**).

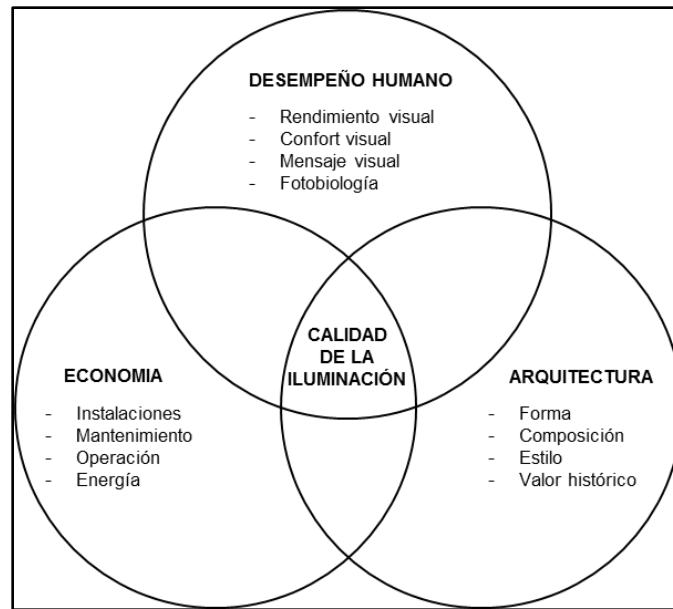


Figura 36. Diagrama de las tres componentes que participan en la definición de calidad de iluminación (Veitch, 2000). (Veitch, Jennifer, 2001).

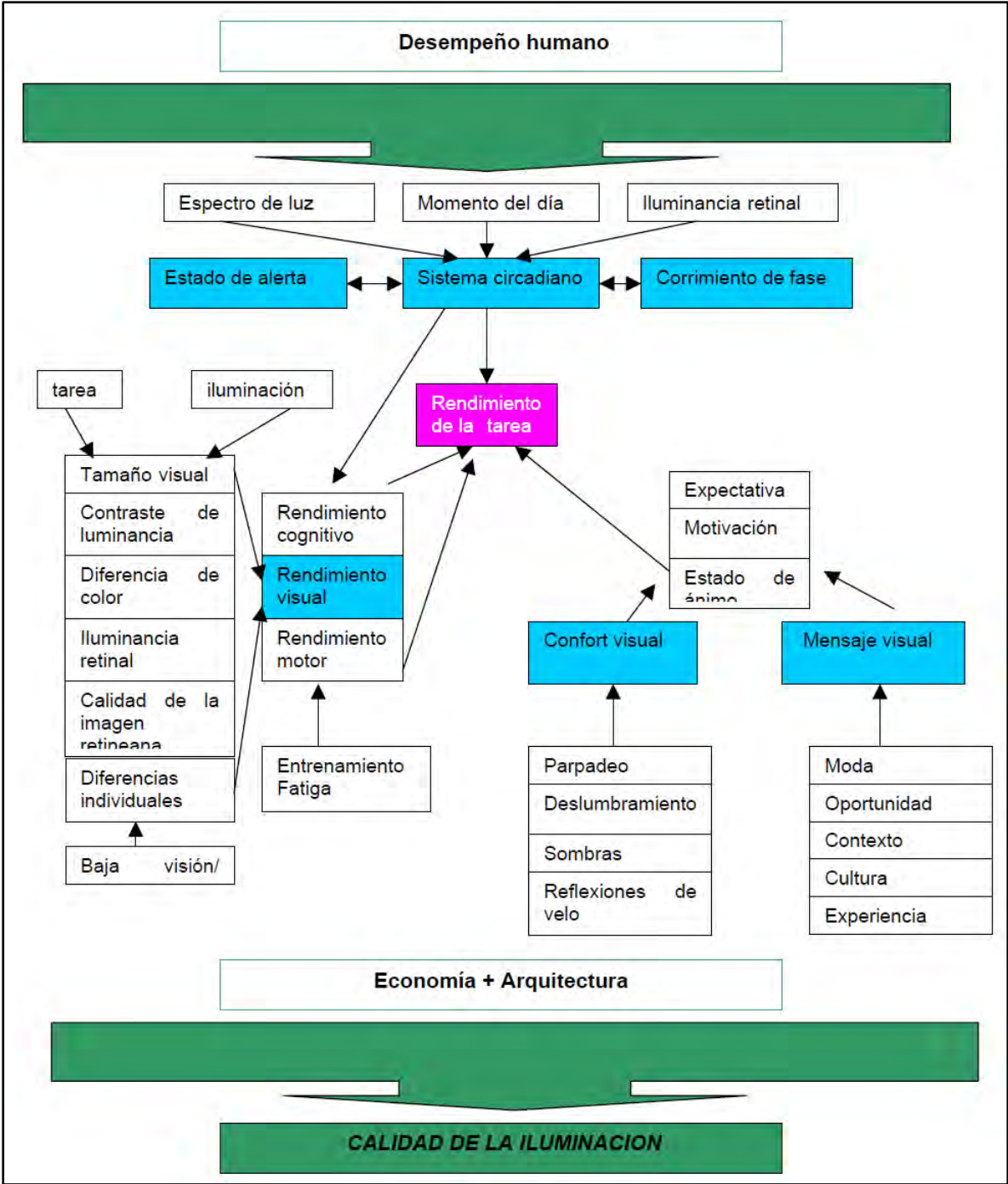


Figura 37. Marco conceptual que incluye los tres caminos: circadiano, visual y perceptual, a través de los cuales la condición de iluminación influye sobre el desempeño humano y que definen la calidad de iluminación. Las flechas indican la dirección del efecto. (Elisa Colombo, Beatriz O'Donnell, Carlos Kirschbaum, 2006)

5.1 Condiciones del entorno visual

Dentro de los efectos de la iluminación sobre el ser humano, el tipo de iluminación modifica las condiciones del entorno visual, los cuales se definen como hipoestimulantes e hiperestimulantes:

Los entornos hipoestimulantes: son aquellos que causan efectos que relajan la actividad mental, produciendo somnolencia y disminuyen los reflejos. También ocasionan que los seres humanos produzcamos la hormona melatonina, producida por la glándula pineal situada en el cerebro, en relación con la oscuridad, para ayudar a nuestro cuerpo a regular los ciclos de sueño.

Los entornos hiperestimulantes son los que estimulan la actividad mental y agudizan los sentidos ayudando a mejorar la concentración. Son los entornos que favorecen la producción de la serotonina y la dopamina, hormonas que nos activan y estimulan.

Pero la iluminación artificial generalmente no es lo suficientemente buena para estimular dichas hormonas de manera positiva a menos que sea una iluminación *biodinámica*, es decir, una luz que produce el mismo estímulo neurofisiológico que la luz del sol.

5.2 Causas de la disminución del confort visual

Las instalaciones de iluminación tienen que ser diseñadas no solamente para asegurar un buen rendimiento visual sino también incluir consideraciones sobre el confort visual. Los aspectos de la iluminación que causan molestias visuales incluyen aquellos relevantes al rendimiento visual, pero se extienden más allá. La razón es que los factores relevantes al rendimiento visual están generalmente restringidos a la tarea y su entorno cercano, mientras que los factores que afectan al confort visual tienen que ver con todo el medio iluminado. Los resultados indican que el confort visual es más sensible a los cambios en la iluminación que el rendimiento visual. Más aún, si una condición luminotécnica específica es considerada escasamente

confortable puede llegar a disminuir el rendimiento visual, aun cuando las condiciones no afecten directamente al estímulo.

A continuación, nos referiremos a las situaciones que con mayor frecuencia provocan disminución de confort:

Cada tarea posee un determinado grado de dificultad visual. Una alta exigencia visual provoca una pérdida de confort visual. Por ejemplo, en el caso de un texto con letras pequeñas la reacción usual es acercar la tarea a los ojos para incrementar el tamaño angular de las letras, lo que a su vez implica ajustar los mecanismos de acomodación de los ojos para mantener definida la imagen sobre la retina. Este ajuste puede llegar a producir fatiga muscular y, en consecuencia, reducción de confort visual.

Otra situación en que puede evidenciarse falta de confort visual ocurre cuando el observador no encuentra en la escena información relevante para extraer subestimulación- o bien, cuando existe excesiva información –sobreestimulación- de manera que en los dos casos la situación es de incomodidad. Ejemplos característicos de información nula se producen cuando se conduce un vehículo en la niebla o en una tormenta de nieve, en ambos casos, el sistema visual está esperando encontrar alguna información significativa, como la presencia de un obstáculo, que puede aparecer repentinamente, y a su vez requerir una respuesta rápida. Es una experiencia común el estrés que se genera cuando se conduce en estas condiciones. En el caso de sobreestimulación, la tarea se ve enmascarada por un fondo complejo, como por ejemplo cuando se quiere leer un texto impreso sobre un fondo con información similar. Estas dos situaciones en las que un sujeto tiene que realizar una tarea, pueden provocar la aparición de dolores de cabeza, migrañas y dificultades adicionales para realizar la tarea misma.

El sistema visual posee un campo periférico grande que detecta la presencia de objetos que posteriormente son examinados en detalle. Si estos objetos tienen altos valores de luminancia, se mueven o parpadean serán más fácilmente detectados. Pero si, después de ser examinados, resultan tener poco interés para el observador,

se vuelven causas de distracción debido a que su poder de llamar la atención disminuyó.

Tratar de ignorar los objetos que automáticamente atraen la atención es estresante y puede ser causa de síntomas de disminución de confort visual.

El entorno visual consiste de un patrón de luminancias determinado por las diferentes reflectancias de las superficies presentes en el campo visual y la distribución de iluminancias sobre esas superficies. En algunos casos puede ocurrir que un patrón de luminancias entre en conflicto con el que corresponde al campo visual asociado a la tarea que se realiza, produciendo confusión perceptual, lo que es fuente de pérdida de confort visual.

La falta de confort visual puede dar origen a una gran variedad de síntomas: enrojecimiento, inflamación, picazón, hormigueo y lagrimeo de los ojos; dolores de cabeza y migraña; dolores y molestias asociados con una mala postura, etc. Sin embargo, la reducción de confort visual no es la única fuente posible de estos síntomas, por lo cual es de gran importancia considerar la naturaleza del entorno visual antes de adjudicar alguno de estos síntomas a las condiciones de iluminación.

Las condiciones de iluminación deben asegurar, además de un buen nivel de rendimiento visual, un buen grado de confort visual. Esto implica que, a partir de la identificación de la tarea, se deben evitar factores de distracción, tratar que la estimulación sea suficiente, evitar elementos que produzcan confusión perceptual, etc. Analizaremos diferentes aspectos de la iluminación que pueden afectar el confort visual y las posibles soluciones en cada caso. (Elisa Colombo, Beatriz O'Donell, Carlos Kirschbaum, 2006)

5.3 Deslumbramiento reflejado y reflexiones de velo

La luz de una fuente luminosa reflejada hacia los ojos de un observador, como lo es la tarea que contenga una superficie satinada o semi-mate (por ejemplo, escritura a mano con lápiz), puede disminuir la visibilidad de la tarea y producir una sensación de incomodidad (**Figura 39**).

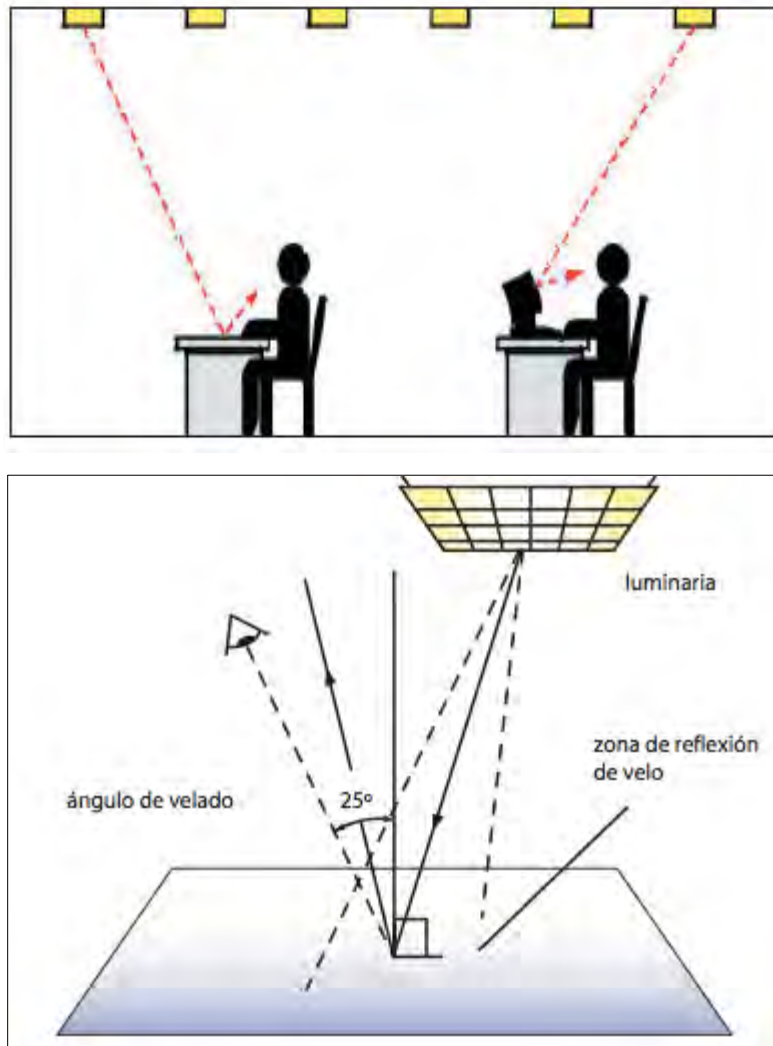


Figura 39. Representación gráfica de la reflexión de velo. (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Comité Español de iluminación (CEI), 2001)

Esto es debido a que el deslumbramiento reflejado así creado, ensombrece la tarea y reduce el contraste (**Figura 40**).



Figura 40. Ejemplo de contraste. (Elaboración propia, 2016)

5.4 Limitaciones al deslumbramiento directo

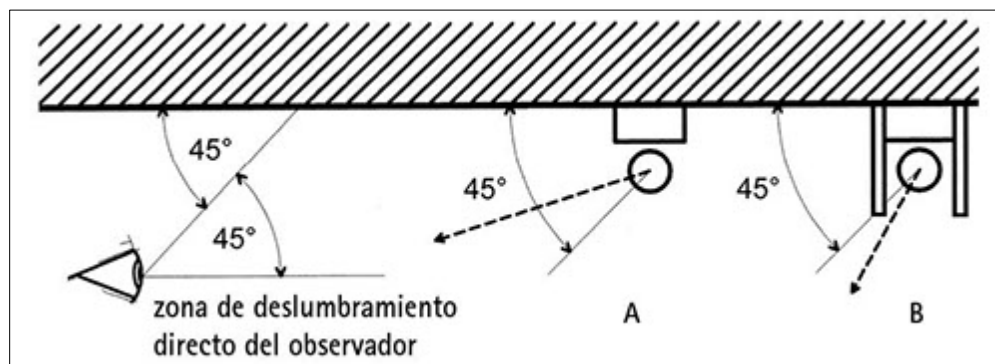


Figura 41. Zona de deslumbramiento directo del observador. (Lechner, 2001)

Las afectaciones fisiológicas se relacionan directamente con las condiciones de deslumbramiento directo es la pérdida de la visión en el caso más grave, pero de no ser así, en efecto hay grandes posibilidades de presentar una gran fatiga ocular que genera migraña y el usuario es incapaz de realizar cualquier tipo de tarea visual.

6.1 Distribución de iluminación en áreas de trabajo

Para poder determinar que la iluminación en el espacio de trabajo sea lo más eficiente es necesario hacer que el espacio este iluminado de tal manera que favorezca lo más posible al espacio a iluminar

Para ello se necesita que exista un equilibrio en la iluminación y no afecte de manera directa al usuario.

La distribución de la iluminación en las áreas de trabajo varia en relación a las dimisiones del mismo espacio y el acomodo del mobiliario de trabajo, de tal manera es importante dirigir la iluminación de manera comfortable para la visión.

El sistema de alumbrado general se caracteriza por proveer una iluminación uniforme en todo el espacio ya que las luminarias se distribuyen en planta en forma regular. Esto conduce a un mayor consumo de energía por alumbrado, en especial en instalaciones de grandes dimensiones, como por ejemplo locales de planta abierta. Este tipo de iluminación brinda al ambiente un aspecto ordenado y produce sensación de reducción del espacio. Y puede crear atmosferas estimulantes.

Características aproximadas de los sistemas de alumbrado						
Sistema de alumbrado	Disposición de Luminarias	Características Luminotécnicas	Efectos Visuales		Coordinación con ubicación de áreas de trabajo	Consumo energético
			Sobre el Espacio	Sobre personas y objetos		
General Directo o Indirecto	Uniforme	Altos niveles de Iluminancia en todo el espacio. Excelente uniformidad. Reducción de contrastes y brillos. Se minimiza la proyección de sombras.	Produce sensación de amplitud y orden Crea atmósferas de monotonía y condiciones propicias para trabajos que requieren de alta concentración.	Modelados blandos. Aplana texturas. Minimiza efectos de reflejos especulares. Apaga intensidad de colores	No requiere	Elevado (más con sistema indirecto). No permite reducción individual de los niveles de iluminación.
Localizado	Irregular	Altos niveles de Iluminancia sólo en áreas de interés. Uniformidad general baja. Contrastes realzados. Puede causar importante proyección de sombras.	Produce sensación de reducción del espacio. Puede crear atmósferas dramáticas, estimulantes y distractoras.	Modelados duros. Realza textura y detalles. Los colores resultan más intensos. Ideal para efectos luminosos.	Muy importante	Intermedio entre alumbrado general y localizado. Adecuado para controlar niveles de iluminación individualmente sin afectar el resto de la instalación.
General y Localizado	Uniforme (general) e irregular (localizado)	Iluminancia general reducida respecto de áreas de trabajo. Uniformidad general baja. Contrastes realzados. Puede causar importante proyección de sombras.	Un balance adecuado puede compensar la sensación de reducción del espacio y crear condiciones propicias para el trabajo.	Con un balance adecuado el modelado resulta casi natural. Buena apariencia de textura y detalles.	Muy importante sólo para sistema de alumbrado localizado	
Modularizado	Uniforme por sectores	Iluminancia media elevada. Uniformidad excelente. Reducidos contrastes y proyección de sombras.	Idem alumbrado general	Idem alumbrado general	Importante para determinar el arreglo de luminarias	Elevado. Requiere sectorización de los circuitos. Permite reducción de los niveles de iluminación por sectores.

Tabla 12. Características aproximadas de los sistemas de alumbrado. (Raitelli, Capítulo 8 - Diseño de la Iluminación de Interiores, 2006)

Efectos de modelado bastante blando, es simple de diseñar y no requiere coordinación con el esquema de distribución de los puestos de trabajo. Si se trata de salas donde se prevé utilizar paneles divisorios o muebles de altura considerable, puede ser necesario modular también el arreglo de luminarias a fin de minimizar los efectos de proyección de sombras sobre el plano de trabajo.

La distribución de la iluminación dentro del espacio deberá determinar el factor de uniformidad sobre el plano de trabajo.

Es la relación entre la iluminancia mínima y la iluminancia máxima sobre una superficie de una instalación de alumbrado. Se simboliza por U_e y su unidad está dada en por ciento (%) o por una relación. Su expresión es:

$$U_e = \frac{E_{min}}{E_{max}} \quad \text{ó} \quad U_e = \frac{E_{max}}{E_{min}}$$

Ecuación 8. Factor de uniformidad extrema

Dónde: U_e = Factor de uniformidad extrema. E_{min} = Nivel de iluminación mínimo.

E_{max} = Nivel de iluminación máximo.

El factor de uniformidad más utilizado es en relación con la cantidad de iluminancia promedio entre la iluminancia mínima en donde un valor menor al 40% es equivalente a tener un alto contraste entre el plano de trabajo y el fondo inmediato y no es recomendado para el trabajo de oficinas.

$$U_m = \frac{E_{med}}{E_{min}} \quad \text{ó} \quad U_m = \frac{E_{min}}{E_{med}}$$

Dónde: U_e = Factor de uniformidad media. E_{min} = Nivel de iluminación mínimo.

E_{med} = Nivel de iluminación media ó promedio.

No obstante, en ocasiones es la única iluminación de un local, la iluminación general es simplemente un fondo. Sirve para bañar cualquier superficie de forma más o menos homogénea. Cuando todo el flujo de las luminarias se dirige hacia el plano que hay que iluminar, se denomina iluminación general directa. Por su parte la iluminación general indirecta se consigue si dirigimos el flujo de las lámparas hacia el techo y paredes en dirección opuesta al plano que se quiere iluminar. De este modo, se consigue un baño de luz muy homogéneo. Eso sí, en la mayoría de las veces, el techo deberá estar pintado de blanco. Es la iluminación más homogénea posible, aunque su costo es elevado. Es muy buena como contrapunto de iluminación puntual, pero es una mala iluminación de trabajo.

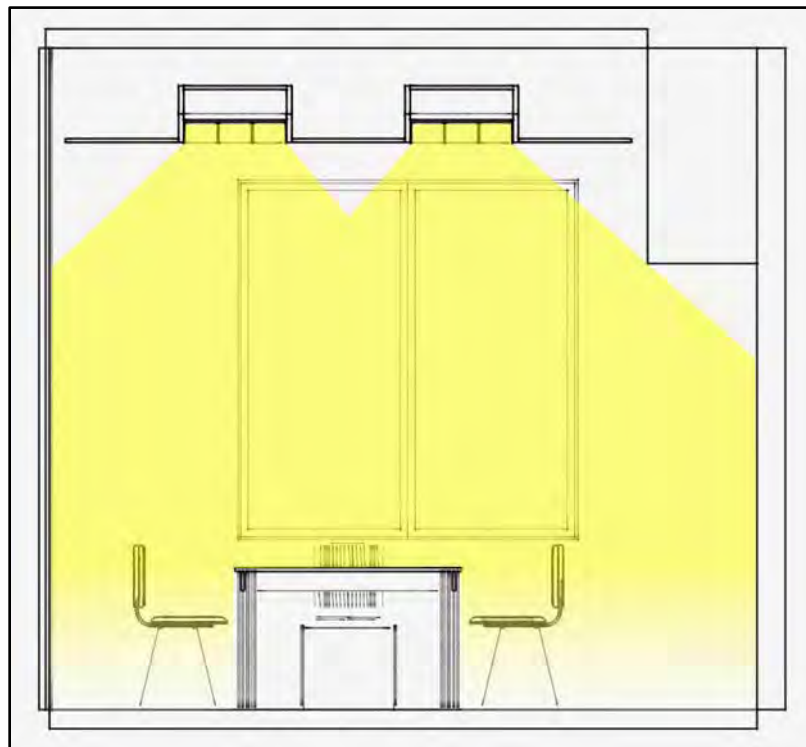


Figura 43. Iluminación general, esquema del LIA (Elaboración propia, 2016), basada en (Raitelli, 2006).

Se trata de concentrar la luz en un área definida. Raramente se utiliza por sí sola. Es muy apropiada para museos, escaparates, etc. Existe un tercer tipo de iluminación, que no vamos a abordar en este pequeño estudio, al que podemos denominar iluminación decorativa; es decir, aquella cuya única función es crear ciertos efectos decorativos. Cada vez es más usual su incorporación en las oficinas: fibras ópticas, líneas continuadas de luz rebotada en el techo y las paredes, trazados luminosos de formas sinuosas, tubos de neón, iluminación de plantas, etc.

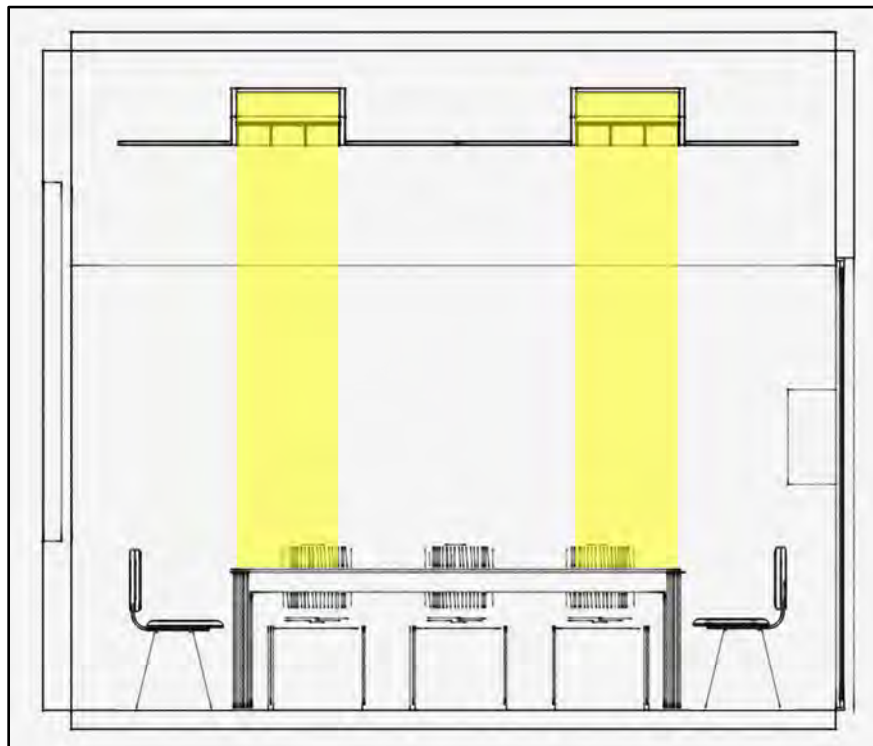


Figura 44. Iluminación puntual, esquema del LIA. (Elaboración propia, 2016)

6.2 Equilibrio de luminancias

El nivel de iluminación no es suficiente para asegurar el confort visual de una tarea. Es preciso además mantener un equilibrio entre la luminancia del objeto y las correspondientes a las diferentes superficies incluidas dentro del campo visual. (Figura 41).

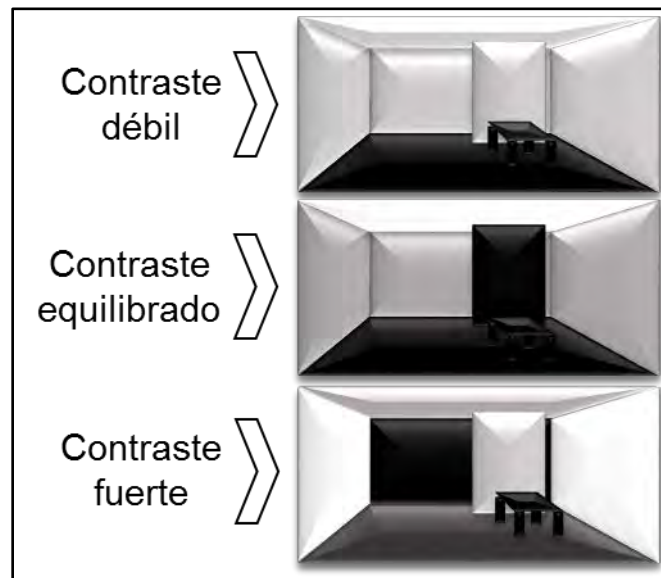


Figura 45. Relación de luminancias en el campo visual. Ejemplos de contrastes

Cuando en una tarea o plano de trabajo se utilice iluminación localizada de apoyo, ésta y la iluminación general tienen que guardar una relación para que el equilibrio de luminancias sea correcto. Este equilibrio se consigue teniendo en cuenta la siguiente fórmula:

$$I_g = 3\sqrt{I_l}$$

Ecuación 9. Iluminación general y localizada.

Donde: I_g = Iluminación general (lux) I_l = Iluminación localizada (lux)

Otro punto a considerar son los contrastes de luminancias entre el plano de trabajo y las paredes. Las posibles molestias se presentan como consecuencia de un desequilibrio entre la luminancia de la tarea y la de la pared frontal ya que éstas respectivamente delimitan los campos visuales de trabajo y reposo. Es interesante pues, que los niveles de iluminación se mantengan dentro de la siguiente relación:

$$0,5 \frac{\text{nivel de iluminación del techo (lux)}}{\text{nivel de iluminación del plano de trabajo (lux)}} \leq 0,8$$

Ecuación 10. Equilibrio de luminancia techo y plano de trabajo

Entre el techo y el plano de trabajo, los contrastes de luminancias deben situarse dentro de los valores siguientes:

$$0,3 \frac{\text{nivel de iluminación de la pared (lux)}}{\text{nivel de iluminación del plano de trabajo (lux)}} \leq 0,9$$

Ecuación 11. Equilibrio de luminancia pared y plano de trabajo

Cuando dentro de una actividad o tarea sean precisos los desplazamientos entre locales contiguos, los niveles de iluminación de los recorridos no variarán de forma brusca; para estas zonas de paso o locales adyacentes, el límite de confort se sitúa para una variación de los niveles de iluminación entre 1 y 5; así por ejemplo si en una oficina o taller disponemos de 400 lux de iluminación media, en las zonas de paso o acceso ésta debe ser como mínimo de 80 lux.

6.3 Probabilidad de confort visual (VCP)

En Norteamérica se desarrolló un sistema empírico de predicción usado como método para determinar si la instalación de iluminación produce un deslumbramiento molesto este sistema es conocido en por sus siglas en ingles VCP (Visual Comfort Probability).

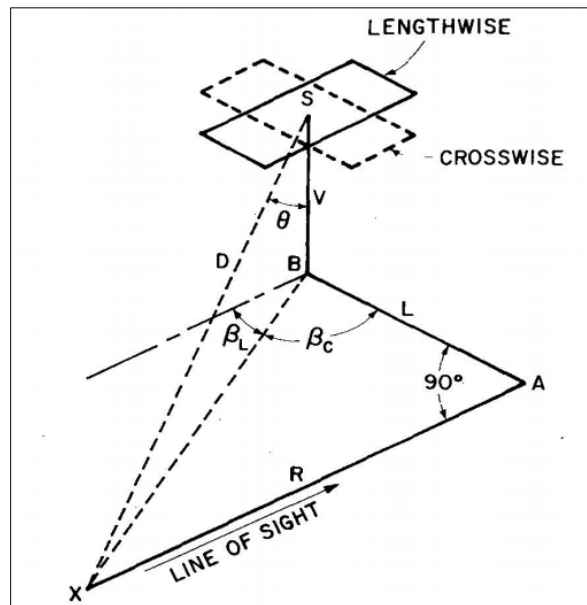


Figura 46. Representación para el cálculo de VCP (S) posición de la luminaria, (X) punto del observador.

Este sistema está basado en evaluaciones de deslumbramiento causado por diferentes fuentes luminosas de distintos tamaños, la cantidad de fuentes deslumbrantes y su posición en el campo de visión contra la luminancia del fondo inmediato.

El VCP evalúa el sistema de iluminación en el término del porcentaje de las personas que aceptan la iluminación en el entorno como confortable, usando la percepción del deslumbramiento causado por la luz directa de las luminarias desde el punto de vista del observador.

$$VCP = 100 / \sqrt{2\pi \int_{-\infty}^{6.374 - 1.3227n(DGR)} e^{-t^2/2} dt}$$

Ecuación 13. Ecuación para obtener la probabilidad de confort visual (VCP).

$$DGR = \left[\sum_{i=1}^n (M_i) \right]^a$$

Ecuación 12. Ecuación para obtener el grado de deslumbramiento (DGR)

Donde: (n) es el número de deslumbramiento de las fuentes luminosas

$$a = n^{-0.0914}$$

Ecuación 14. Valor de (n) de la ecuación de DGR

Se han encontrado los siguientes factores para influir en los juicios subjetivos de deslumbramiento molesto:

- Tamaño de la habitación y la forma
- Reflectancias de superficie de habitaciones
- Iluminancias
- Características de luminarias
- El número y la ubicación de las luminarias

- Luminancia de todo el campo de visión
- Ubicación del observador y la línea de visión
- Las diferencias en la sensibilidad al deslumbramiento individuo

El porcentaje de VCP que va de 0 a 100, entre mayor sea este, el nivel de confort es mayor para los usuarios, pero niveles menores de 70 no son aceptables por ser causa de una molestia visual.

6.4 Índice de deslumbramiento (UGR)

$$UGR = 8 \log \left[\frac{0.25}{L_b} * \sum \frac{L^2 \omega}{\rho^2} \right]$$

Conocido como *Unified Glare Rating* (UGR) (Einhorn, 1969,1979, 1998; CIE, 1995)

El índice del deslumbramiento molesto directamente procedente de las luminarias de una instalación de alumbrado interior debe ser determinado utilizando el método de tabulación del Índice de Deslumbramiento Unificado de la CIE (UGR) basado en la fórmula:

Ecuación 15. Ecuación para obtener el grado de deslumbramiento (UGR)

En la que:

- L_b es la luminancia de fondo, en cd/m^2 , calculada como $E \times \pi^{-1}$, en la que E es la iluminancia indirecta vertical en el ojo del observador.
- L es la luminancia de las partes luminosas de cada luminaria en la dirección del ojo del observador, en cd/m^2 .

- W es el ángulo sólido (estereorradianes) de las partes luminosas de cada luminaria en el ojo del observador. Equivalencia
- p es el índice de posición de Guth para cada luminaria individual, y se refiere a su desplazamiento de la línea de visión.

Todas las suposiciones hechas en la determinación del UGR serán establecidas en la documentación del proyecto. El valor de UGR de la instalación de alumbrado no excederá del valor dado en la norma UNE EN 12464-1.

NOTAS:

-Las variaciones de UGR dentro de la sala pueden ser determinadas utilizando la fórmula (o la tabla comparativa Tabla 14) para diferentes posiciones del observador. Los límites para esta condición están en estudio.

-Si el valor máximo de UGR en la sala es mayor que el límite de UGR dado en la norma, puede ser necesaria información sobre posiciones apropiadas para los puestos de trabajo con pantallas de ordenador situados dentro de la sala.

-El deslumbramiento molesto de las ventanas es aún motivo de investigación. No hay aún un método de evaluación del deslumbramiento adecuado disponible de modo fácil y universal.

Se presenta una relación del VCP y el DGR (Índice de deslumbramiento) (**Figura 50**).

Esta relación se puede aplicar a través de una variedad de técnicas.

Generalmente se utiliza el concepto -cavidad del cuarto-, en el que la luminancia del piso y techo y el ángulo sólido es sustituida por sus valores equivalentes de la cavidad. El cálculo se puede realizar mediante la suma de todo el recinto.

Los valores de VCP se asocian frecuentemente con las luminarias bajo condiciones estandarizadas de uso. En este método, las luminarias se distribuyen fraccionadamente sobre el techo de acuerdo con un esquema estándar. Los valores del VCP se determinan para:

1. Una iluminancia horizontal media inicial de 1000 lx (100 fc)
2. Reflectancias de las habitaciones de $P_{cc} = 0.80$, $P_w = 0.50$, and $P_{fcm} = 0.20$
3. Altura del montaje de las luminarias por encima del suelo de 2.6, 3, 4 y 4.9m
4. A dado rango de dimensiones de una habitación cuadrada estrechas, largas y amplias.
5. Un punto de observación de 1.2m por delante del centro de la pared trasera y 1.2m por encima del suelo.

En el caso del Laboratorio de iluminación Artificial (LIA), el valor de UGR obtenido por el software Agi32 es menor a 10 (**Figura 47**), por lo cual con dicho valor de UGR = 10 (Tabla 14 y 15) el laboratorio queda exento de presentar efectos de deslumbramiento sobre los usuarios.

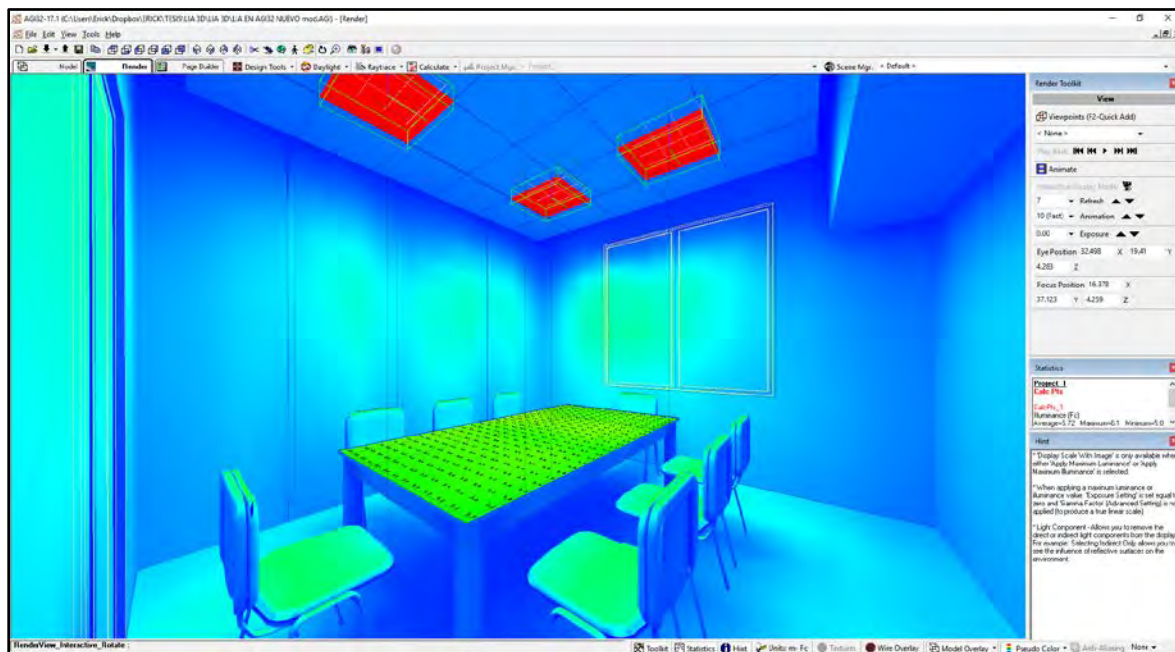


Figura 47. Valor de UGR del Laboratorio de iluminación obtenido por el Software Agi32.

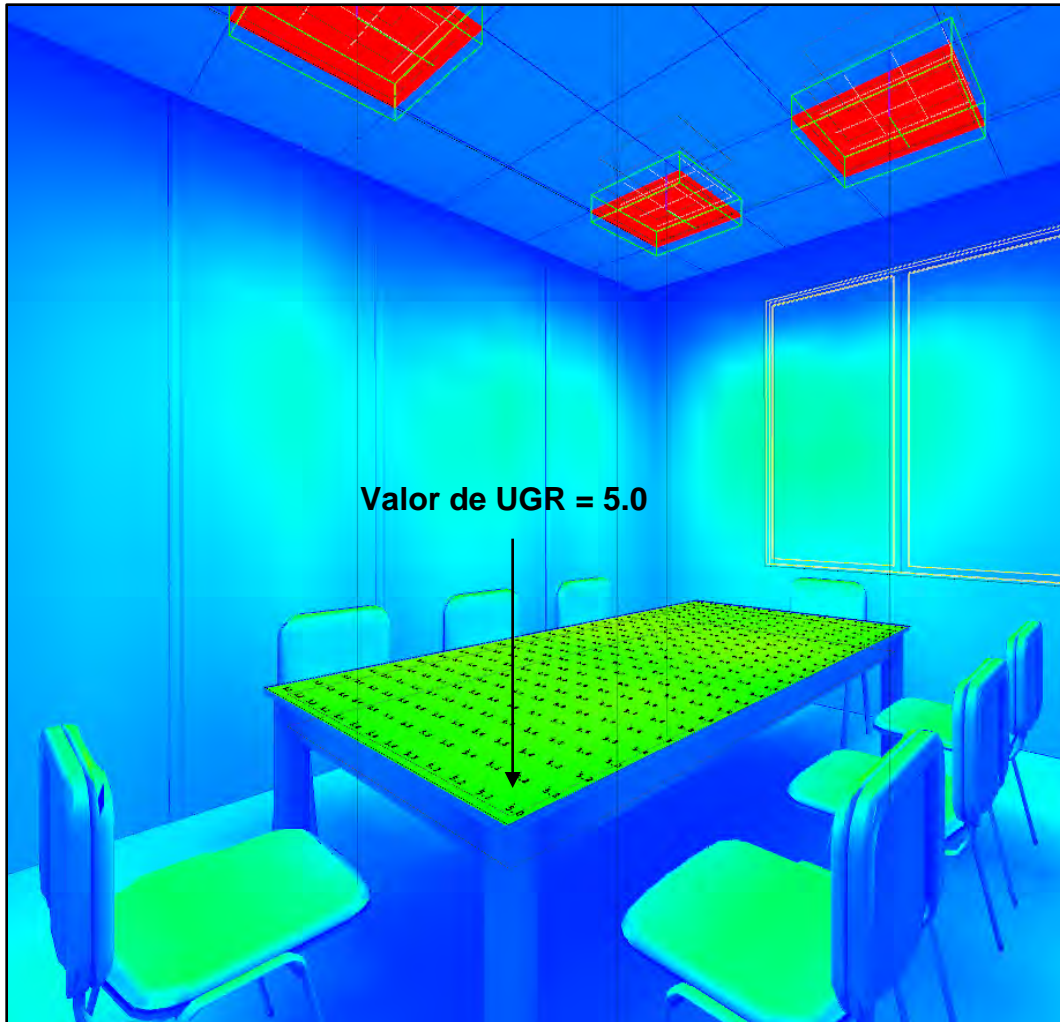


Figura 48. Valor de UGR del Laboratorio de iluminación obtenido por el Software Agi32.

El valor de UGR obtenido fue entre 3.2 y 5.1, lo que significa que dicho valor no sobrepasa de 10 (**Figura 48**), valor que resulta ser imperceptible pues, los usuarios no presentan molestia visual alguna, por dicha razón no se hace uso de este análisis posteriormente para el proceso experimental.

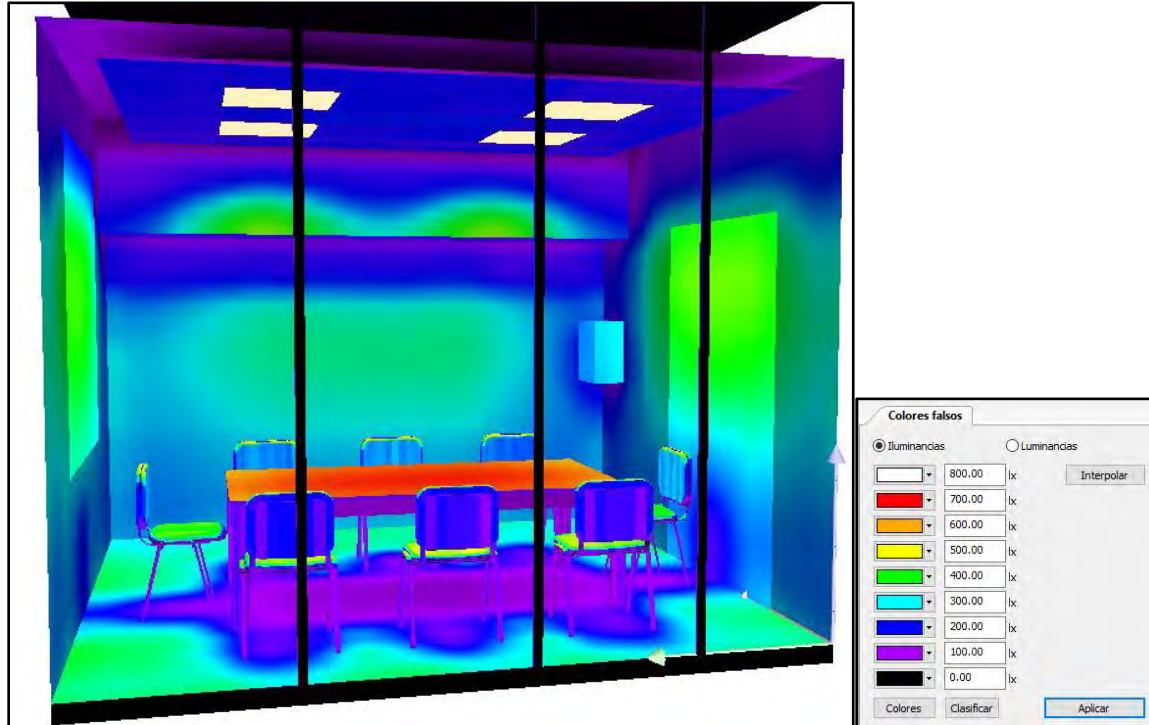


Figura 49. Valores de iluminancia obtenidos en el software DIALUX.

Se realizó el modelo tridimensional del laboratorio para evaluar los niveles de iluminancia obtenidos por los archivos digitales de las luminarias, nivel de iluminancia resultó ser muy aproximado al existente en el laboratorio, lo útil en este aspecto fue que gracias al software podemos observar mediante colores falsos, cuáles son las superficies menos iluminadas, cuáles se encuentran bajo la sombra y las superficies con mayor iluminancia.

UGR	Criterio de deslumbramiento
10	Imperceptible
13	Levemente perceptible
16	Perceptible
19	Levemente aceptable
22	Inaceptable
25	Levemente inconfortable
28	Inconfortable

Tabla 13. La relación del valor de UGR y el criterio de deslumbramiento molesto de Hopkinson.

UGR	Equivalente en VCP
11.6	90%
16	80%
19	70%
21.6	60%
24	50%

Tabla 14. Correlación de UGR y VCP

Entre mayor sea el porcentaje de VCP, menor es el valor de UGR., los dos términos son utilizados, la IES desarrolló una gráfica para vincular los dos conceptos del deslumbramiento (**Figura 45**).

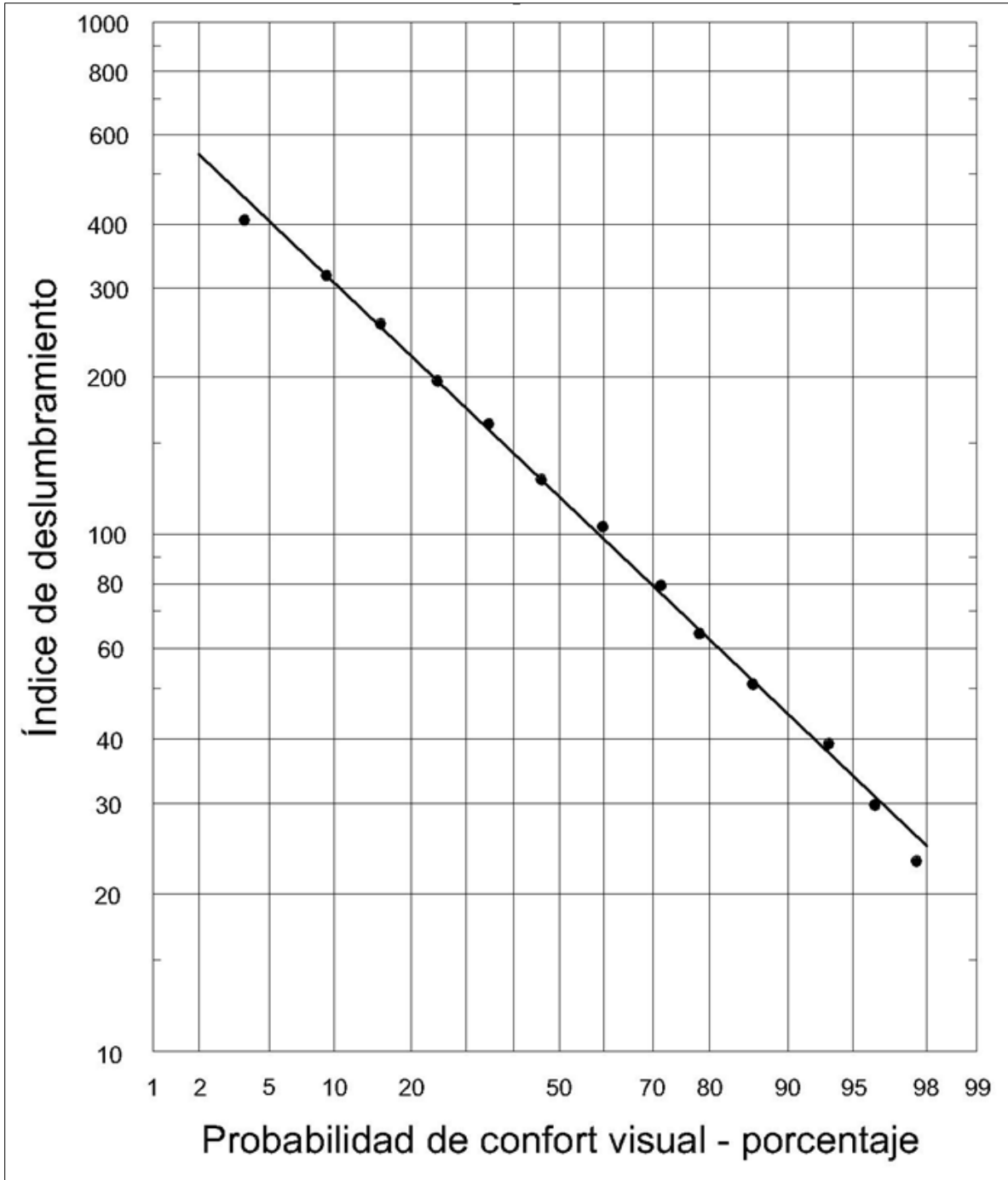


Figura 50. Una gráfica para la conversión del deslumbramiento molesto: índice (DGR) a (VCP). (El porcentaje previsto por los observadores de una tarea para juzgar una condición de iluminación dada para que sea cómodo o bueno entre el límite de la comodidad y el malestar).

7.1 Planteamiento del problema

En México se emplean recomendaciones de iluminación basadas en lineamientos internacionales que no toman en cuenta los parámetros de la región (niveles lumínicos que estamos acostumbrados a vivir), debido a que las recomendaciones de iluminación nacionales como es la NOM-25 están basadas en las recomendaciones de la IES

¿Los parámetros de iluminación establecidos por las normas nacionales son adecuados para el desempeño óptimo en los espacios de trabajo en México?

¿Las variaciones de las recomendaciones de diferentes regiones se deben a los parámetros lumínicos que estamos acostumbrados a vivir?

¿Los parámetros lumínicos que requerimos para el trabajo en oficinas dependen de los niveles lumínicos que estamos acostumbrados a vivir?

¿Cómo determinar los niveles lumínicos que estamos acostumbrados a vivir?

¿Cómo determinar los niveles óptimos de iluminación para el medio nacional?

7.2 Hipótesis

Si se modifican los valores lumínicos cuantitativos que determinan el confort visual, como la cantidad de iluminancia (lux), para los sujetos que desarrollan actividades de oficina en un ambiente controlado de iluminación, se podrían encontrar mejoras en el desempeño de los sujetos bajo condiciones de iluminancia específicas.

Y si se aplican encuestas que determinan sensaciones subjetivas, y ejercicios para determinar el desempeño visual cuantitativo, se podría determinar bajo qué condiciones de iluminación los sujetos están en confort en relaciona con el mejor desempeño de los sujetos.

7.3 Objetivo general

Determinar la cantidad de iluminancia que permite el mejor confort lumínico en relación al mejor desempeño de los sujetos, para establecer criterios o recomendaciones para el diseño de iluminación en oficinas de México.

7.4 Objetivos particulares

- 1.- Revisar las normas nacionales e internacionales respecto a las recomendaciones y criterios de iluminación enfocados al desempeño laboral
- 3.- Conocer los efectos biológicos y el comportamiento del ser humano bajo distintas condiciones de iluminación artificial.
- 4.- Revisar las distintas metodologías de prueba empleadas para el análisis del confort visual y desempeño visual.
- 5.- Aplicar bajo distintas condiciones de iluminación artificial ejercicios y encuestas que determinen un mejor desempeño y confort visual a sujetos en México.

8.1 Método

Se desarrolló un trabajo de investigación y experimentación en tres etapas:

- En la primera etapa, se analizaron los aspectos cuantitativos y cualitativos relacionados con la iluminación y el desempeño visual, donde se consultaron fuentes bibliográficas impresas y digitales.
- En la segunda etapa, se utilizó un método analítico que desglosa las causas y efectos necesarios para lograr una correcta iluminación artificial en espacios de trabajo tipo de oficina
- En la tercera, fue la etapa de experimentación tomando en cuenta otros experimentos previos del mismo tema se incorporaron los elementos necesarios para ser aplicados en nuestro caso de estudio, haciendo una aportación en el diseño de los ejercicios y encuestas que se adecuaron a las condiciones del lugar en donde se aplicó el experimento.

El experimento se aplicó en el Laboratorio de Iluminación Artificial (LIA) de la UAM Azcapotzalco, con estas actividades:

- a) Medición de iluminancia en el LIA, sin filtros y con filtros.
- b) Medición de iluminancia en el LIA, sin filtros, con filtros y con mobiliario.
- c) Elaboración de los ejercicios y las encuestas para su aplicación posterior en el periodo experimental.
- d) Aplicación de la prueba piloto
- e) Modificación de los ejercicios y las encuestas
- f) Aplicación de los ejercicios y las encuestas
- g) Obtención y captura de los datos y resultados

a) Medición de iluminancia en el LIA, sin filtros y con filtros.

La UAM cuenta con un espacio apto para la experimentación Laboratorio de Iluminación Artificial (LIA) en este laboratorio se realizó un levantamiento

arquitectónico para obtener las dimensiones del espacio, así como las mediciones necesarias de iluminancia (E) para tener las características del ambiente luminoso sin mobiliario.

Se utilizó el equipo de iluminación que ya contaba el laboratorio, en este caso se utilizaron las cuatro luminarias remarcados en la **(Figura 53)** debido a que las luminarias contaban con las características lumínicas adecuadas para el uso de una oficina común según la (NOM-025-STPS, 2008),.



Figura 53. Las cuatro luminarias en plafón utilizados en el (LIA).

Dichas luminarias contaban con un difusor **(Figura 54)** de aluminio para difuminar la luz lo que permite suavizar las sombras.

Cada luminaria cuenta con dos fuentes luminosas tipo T-8 “U” **(Figura 55)** necesarios para iluminar el plano de trabajo, y a continuación, se presenta la ficha técnica de la luminaria completo con el difusor y la fuente luminosa **(Figura 56)**.

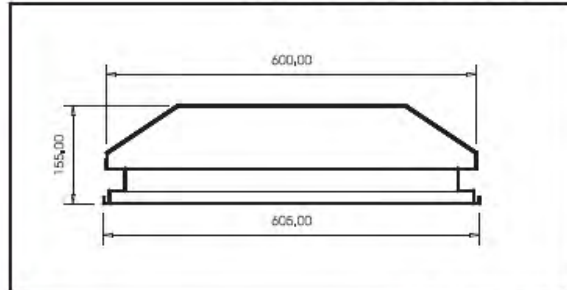
No. de Catálogo:

200-SL-AA-22-232T8U-RA9-1BE-120



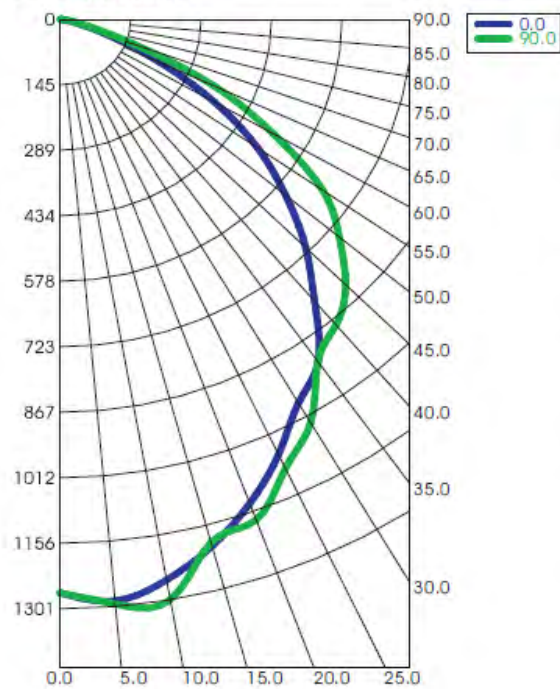
Dimensiones:

Longitud: 2' X 2' (605.00 X 605.00 mm)



Acotación: milímetros
Escala: sin escala

Curva fotométrica



Eficiencia

Eficiencia óptica total=54.9%

SERIE 200, es un sistema integrado de alta especificación para luminarios de empotrar fluorescentes, que incluye:

- 1) Cuerpo
- 2) Louver
- 3) Sistema de conexión (entre y con bases, lámparas y balastro)

Descripción del Equipo

Cuerpo: lámina de acero rolada en frío, acabado con recubrimiento en polvo aplicación electrostática alta reflectancia (>90%) color blanco.

Balastro: un balastro electrónico 120V/60Hz alto factor potencia.

Louver: aluminio semi-especular de alta reflectancia, configuración 3 X 3, 9 celdas.

Lámpara(s): dos lámparas fluorescentes tipo T-8 "U" (Ø=25mm) de 32W, 4100°K y 20,000 horas de vida.

Sistema de Conexión: consta de cuatro bases porta-lámparas tipo G-13 y alambre cal.18 AWG.

Coefficientes de utilización

(Método de cavidad zonal)

pc	.8			.7			.5			.3			.1			0		
pw	.7	.5	.3	.1	.7	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	.5	.3	.1	0
RCR																		
0	65	65	65	65	64	64	64	64	61	61	61	58	58	58	56	56	56	55
1	60	58	56	54	59	57	55	53	55	53	52	53	51	50	51	50	49	48
2	55	51	48	45	54	50	47	45	49	46	44	47	45	43	45	43	42	41
3	51	46	42	38	50	45	41	38	43	40	37	42	39	37	40	38	36	35
4	47	41	36	33	46	40	36	33	39	35	32	37	34	32	36	34	31	30
5	43	37	32	29	42	36	32	28	35	31	28	34	30	28	33	30	28	26
6	40	33	28	25	39	33	28	25	32	28	25	31	27	25	30	27	24	23
7	37	30	25	22	36	30	25	22	29	25	22	28	24	22	27	24	22	21
8	35	27	23	20	34	27	23	20	26	22	20	26	22	20	25	22	19	18
9	32	25	21	18	31	25	21	18	24	20	18	24	20	18	23	20	18	17
10	30	23	19	16	30	23	19	16	22	19	16	22	18	16	21	18	16	15

Las características de los luminarios pueden variar.

Figura 56. Ficha técnica de la luminaria utilizado para las pruebas en el laboratorio (LIA).

Se obtuvieron las cantidades de iluminación con un luxómetro (**Figura 57**) colocado en una separación de retícula a cada 60 cm sobre el nivel aparente de una mesa de 70 cm de altura y el plafón donde están colocados las luminarias a una altura de 3 m. (**Figura 59**).

Se midió la cantidad de iluminancia utilizando el luxómetro de modo como lo indica la NOM025 para hacer el cálculo del factor de reflexión de las superficies:

- a) Se efectúa una primera medición (E_1), con la fotocelda del luxómetro colocada de cara a la superficie, a una distancia de $10 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$, hasta que la lectura permanezca constante;
- b) La segunda medición (E_2), se realiza con la fotocelda orientada en sentido contrario y apoyada en la superficie, con el fin de medir la luz incidente, y
- c) El factor de reflexión de la superficie (K_f) se determina con la ecuación siguiente:

$$K_f = \frac{E_1}{E_2} (100)$$

Ecuación 16. Factor de reflexión de la superficie.



Figura 57. Luxómetro utilizado para medir la luminosidad del LIA.

A continuación, se muestran las especificaciones del luxómetro:

Modelo: HER-410 (Medidor Digital de Luminosidad)

Marca: STEREN

Descripción:

Con este luxómetro se puede medir la intensidad luminosa de forma precisa y confiable en espacios abiertos o cerrados, útil para aplicaciones de fotografía, video o lugares en donde se necesite tener un nivel de iluminación específico. Tiene 3 niveles de resolución (X1, X10 y X100), su rango de medición es de hasta 50,000 lux. Se puede escoger entre sus 3 parámetros de detección (sensor con un fotodiodo, filtro para corrección de color y factor cosenoidal). Cumple con la norma del espacio de color establecido por la Comisión Internacional en la Iluminación (CIE).

Especificaciones:

- Diseño compacto
- Display LCD 3½ dígitos
- Detector óptico: Sensor a fotodiodo de silicio con filtro
- Temporizador
- Temperatura de operación: 0°C a 40°C
- Velocidad de medición: 2 veces por segundo, nominal
- Alimentación: 9 Vcc
- Dimensiones detector: 8.3 cm de alto x 5.2 cm de ancho x 2.05 cm de espesor
- Dimensiones equipo: 12.5 cm de alto x 7.2 cm de ancho x 2.7 cm de espesor
- Peso: 240 gr.

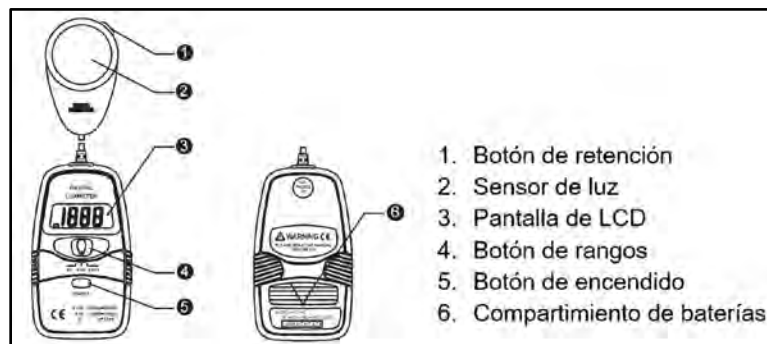


Figura 58. Diseño del luxómetro.

Para obtener la cantidad de iluminancia de la mejor manera para efectos prácticos y necesarios se colocó el luxómetro a una altura de 70 centímetros (altura del plano de trabajo) y se midió la cantidad de luz en diferentes puntos para obtener datos más certeros en cuanto a la iluminancia general del todo el espacio para ello se colocó el luxómetro sobre marcas indicadas en retícula a cada 60 centímetros y el plafón donde están ubicadas las luminarias nos permitió modificar su altura, este mismo se colocó a una altura de 3 metros para evitar el deslumbramiento directo así como lo indica la norma (NOM-025-STPS, 2008),(**Figura 59**).

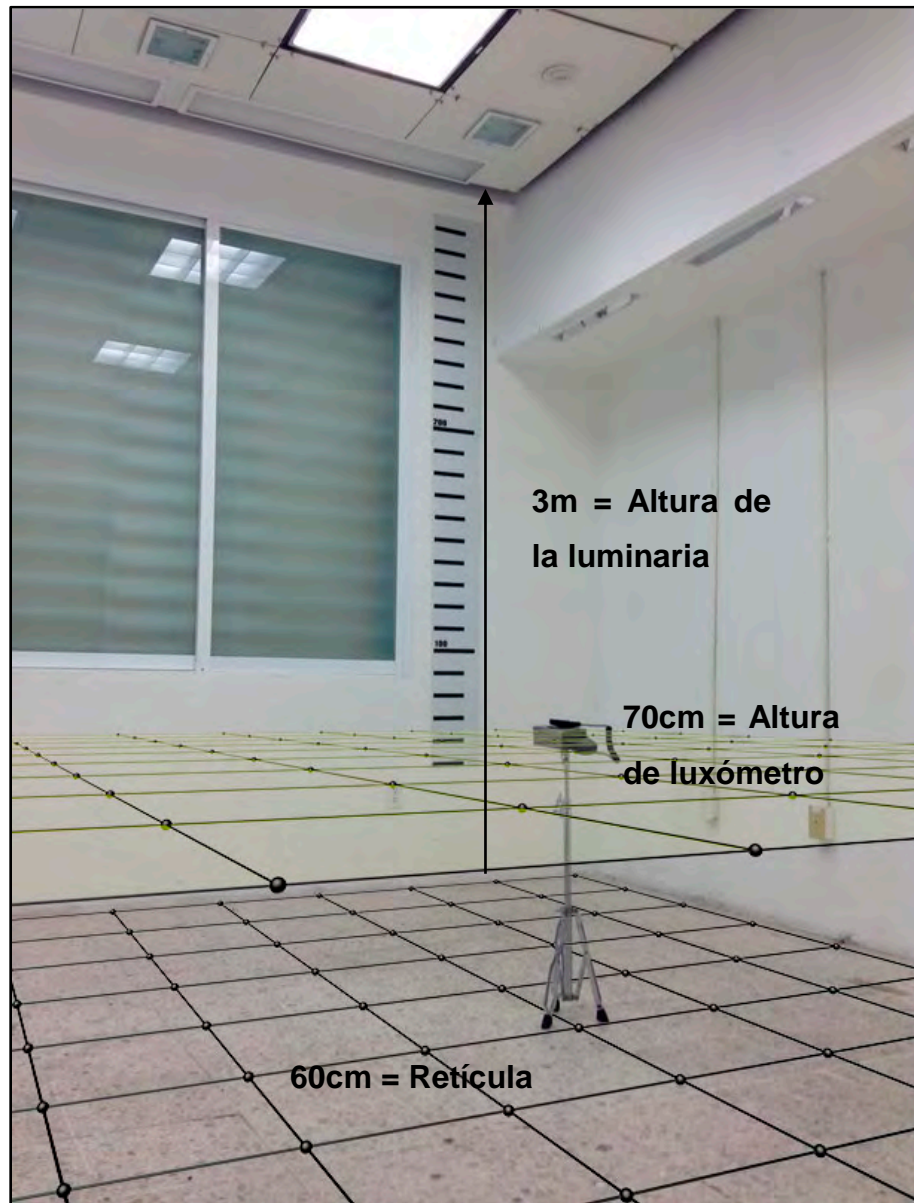


Figura 59. Altura del techo a 3m y del luxómetro a 70 cm en una retícula de 60x60 cm.

Utilizando las indicaciones de la (**Figura 59**), en la siguiente (**Figura 60**) se muestran las primeras mediciones de iluminancia (E) obtenidas en lux por cada uno de los puntos de la retícula dentro del LIA.

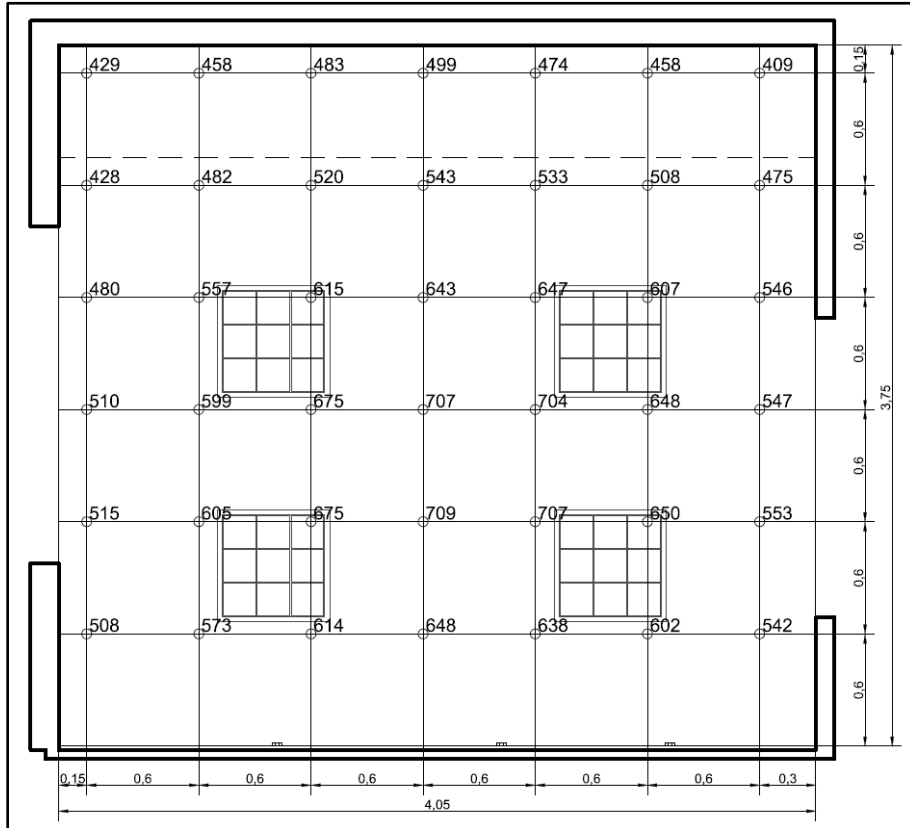


Figura 60. Planta arquitectónica del LIA con la medición de iluminancia sin la colocación de filtros.

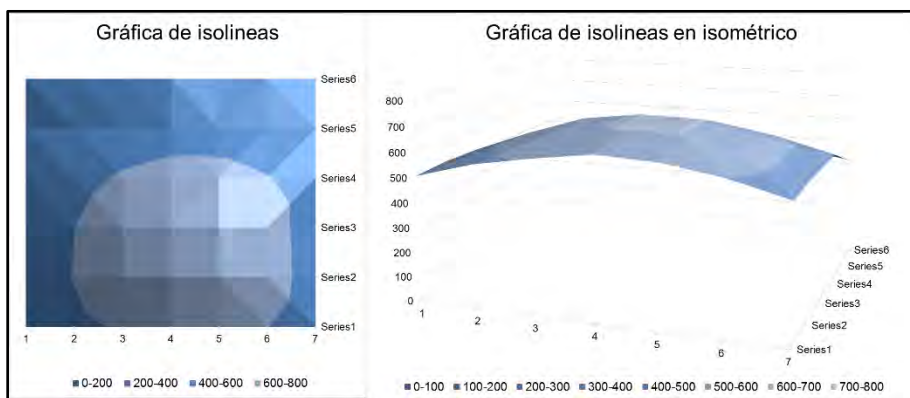


Figura 61. Gráfica de isolineas en planta e isométrico de la iluminancia sin filtros en el LIA.

La grafica (**Figura 61**) muestra las isolineas que sirven para definir un cambio importante de la cantidad de iluminancia ya sea mayor o menor según sea el caso.

La siguiente (**Tabla 15**) se muestra la cantidad de iluminancia en lux de cada uno de los puntos y la iluminancia promedio (E_p) obtenido de la suma de todos los valores de iluminancia ($\sum E$) entre el número de puntos de medición (N).

$$E_p = \frac{\sum E}{N}$$

Ecuación 17. Iluminancia promedio en Lux

ILUMINANCIA EN LIA					
SIN FILTRO / ALTURA DE LUMINARIO 3M					
PLANO DE TRABAJO A 70 CM			PROMEDIO	565	LUX
508	515	510	480	428	429
573	605	599	557	482	458
614	675	675	615	520	483
648	709	707	643	543	499
638	707	704	647	533	474
602	650	648	607	508	458
542	553	547	546	475	409
Factor de Uniformidad:			1:72 = 72%		
Factor de Uniformidad máxima:			1:58 = 58%		

Tabla 15. Iluminancia del LIA, sin usar filtros.

La iluminancia obtenida promedio fue de 565 lux con un factor de uniformidad de 72% sin utilizar filtros (**Tabla 15**).

En las mediciones obtenidas podemos observar que, el factor de uniformidad se encuentra por arriba del 40% lo que significa que, la uniformidad en el laboratorio utilizando dichas luminarias es propicio para la realización de tareas visuales sin dificultad, debido a que no existe un alto contraste que ocasione una fatiga visual.

Para reducir el flujo luminoso se utilizaron filtros de marca LEEFilters LD209 0.3ND (Dichronic) que reduce el 49.5% del flujo luminoso y no altera la temperatura de color. A continuación, se presentan las especificaciones del filtro:

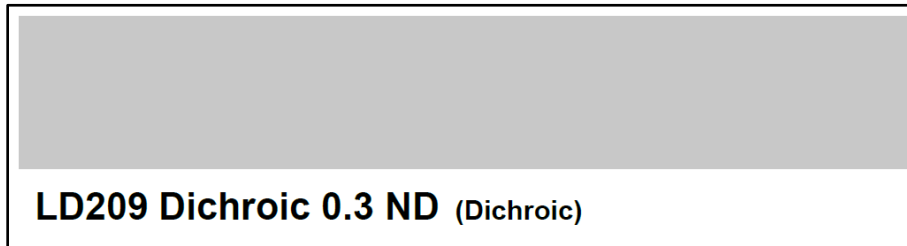


Figura 62. Filtro LD209 Dichroic 0.9 ND (dicroico) marca LEE Filters.

[View on leefilters.com / Find a Dealer](#)

Reduces light 1 stop, without changing colour.

	Source C 6774K	Tungsten 3200K
Transmission Y	49.5%	49.4%
x	0.307	0.421
y	0.312	0.397
Absorption	0.31	0.31

Tabla 16. Niveles de transmisión y absorción del filtro LD209, sin cambios de color.

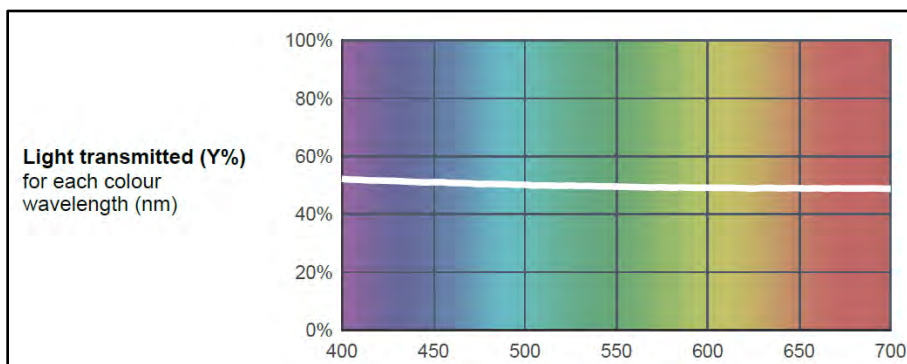


Figura 63. Luz transmitida de cada color por el filtro LD209.

Framed Glass	Unframed Glass	Unframed Polycarbonate
<ul style="list-style-type: none"> • Source Four 15.8cm (6.25") • Source Four PAR 19cm (7.5") • PAR 64 25.4cm (10") 	<ul style="list-style-type: none"> • MR16 4.99cm (1.96") • PAR16 4.99cm (1.96") • Custom Sizes Please ask for details 	<ul style="list-style-type: none"> • Not available.

Figura 64. Especificaciones técnicas del filtro LD209.

Se cortaron los filtros a la medida de cada uno de los difusores para facilitar el montaje sobre el plafón.



Figura 65. Recorte de filtros

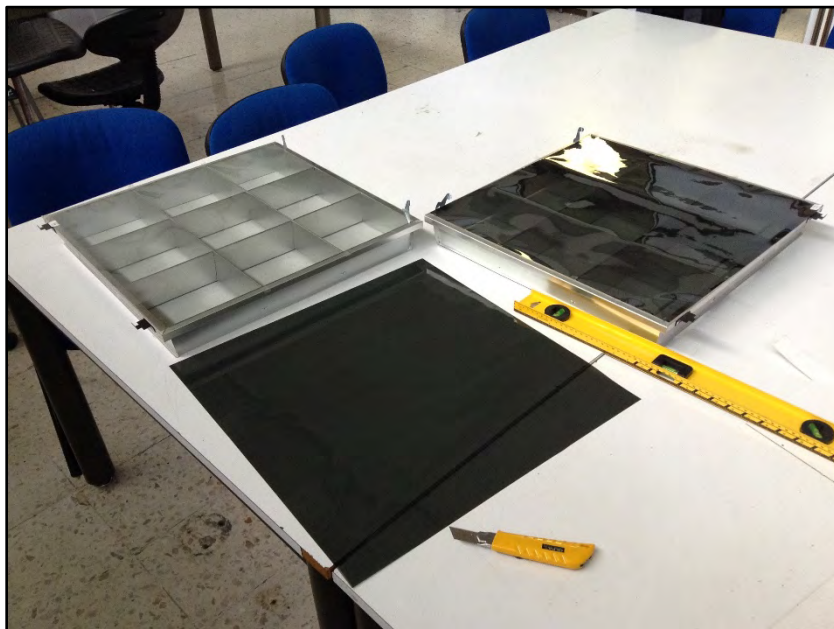


Figura 66. Recorte de filtros a la medida de los difusores.

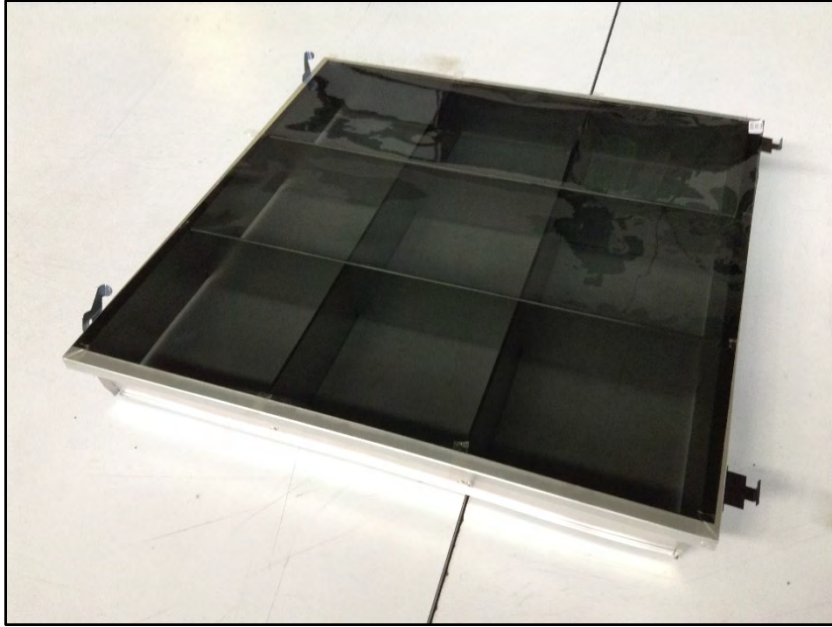


Figura 67. Difusor con filtro No. LD209.



Figura 68. Difusor con el filtro montado en el plafón.

Colocados los filtros uno por cada luminaria, nuevamente se midió la cantidad de iluminancia (E) utilizando las indicaciones de la (Figura 59).

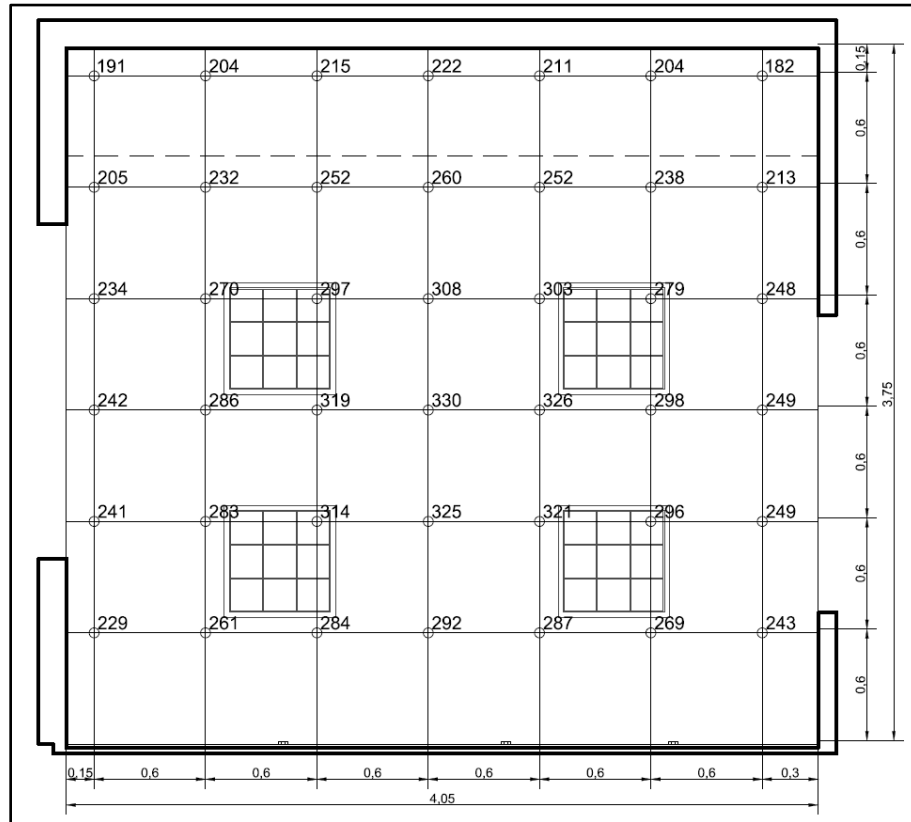


Figura 69. Planta arquitectónica del LIA con la medición de iluminancia con un filtro colocado en cada una de las luminarias.

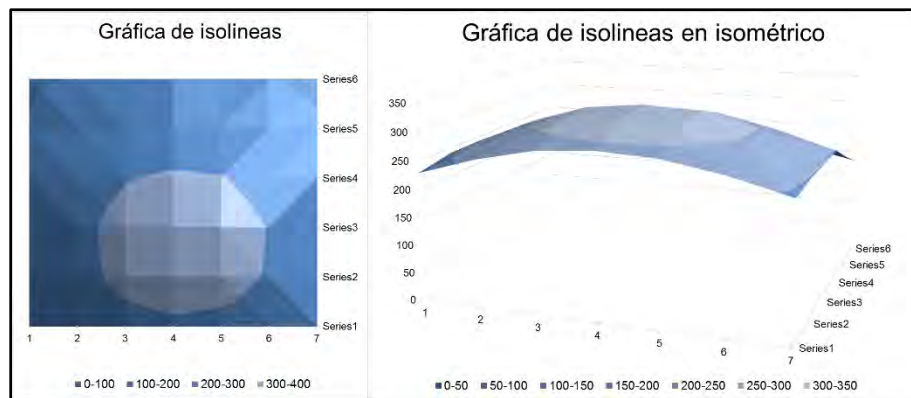


Figura 70. Gráfica de isolineas en planta e isométrico con un filtro en el LIA.

ILUMINANCIA EN LIA					
CON FILTRO 209 x 1 / ALTURA DE LUMINARIO 3M					
PLANO DE TRABAJO A 70 CM			PROMEDIO	261	LUX
229	241	242	234	205	191
261	283	286	270	232	204
284	314	319	297	252	215
292	325	330	308	260	222
287	321	326	303	252	211
269	296	298	279	238	204
243	249	249	248	213	182
Factor de Uniformidad:			1:70 = 70%		
Factor de Uniformidad máxima:			1:55 = 55%		

Tabla 17. Iluminancia del LIA, utilizando un filtro LD209 en las luminarias.

Al medir la cantidad iluminancia con un filtro en cada luminaria se obtuvo un promedio de 261 lux, se pudo observar que disminuyó al 46.2% de la iluminancia en relación con el promedio de iluminancia obtenido sin el uso de los filtros, y en relación al factor de uniformidad el cambio fue solo del 2% siendo el cambio visual imperceptible, lo mismo sucede con en la relación con la uniformidad máxima del 3% siendo imperceptible equivalentemente (**Tabla 17**).

Los siguientes resultados son obtenidos al utilizar dos filtros en cada luminaria:

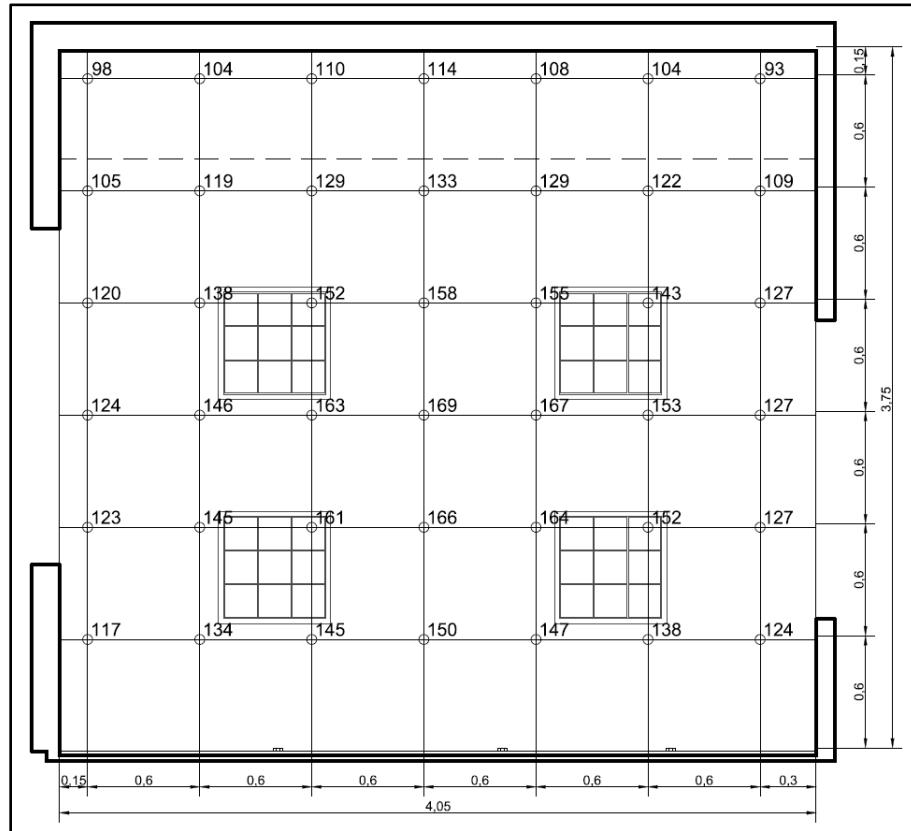


Figura 71. Medición de 134 Lux promedio utilizando dos filtros LD209 en cada luminaria.

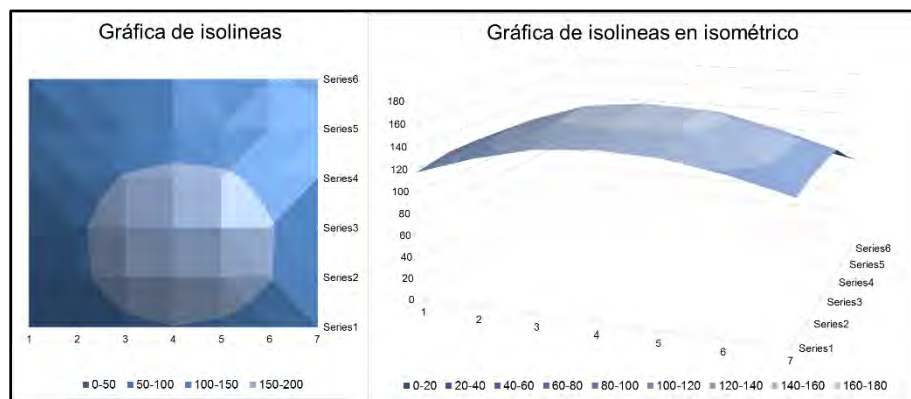


Figura 72. Gráfica de isocuantas en planta e isométrico con un filtro en el LIA.

ILUMINANCIA EN LIA					
CON FILTRO 209 x 2 / ALTURA DE LUMINARIO 3M					
PLANO DE TRABAJO A 70 CM			PROMEDIO	134	LUX
117	123	124	120	105	98
134	145	146	138	119	104
145	161	163	152	129	110
150	166	169	158	133	114
147	164	167	155	129	108
138	152	153	143	122	104
124	127	127	127	109	93
Factor de Uniformidad:			1:70 = 70%		
Factor de Uniformidad máxima:			1:55 = 55%		

Tabla 18. Iluminancia del LIA, utilizando dos filtros LD209 en cada luminaria.

El nivel de iluminancia obtenida después de colocar dos filtros por cada luminaria fue de 134 lux, lo que significa que se redujo la iluminancia en un 23.7% de la iluminancia promedio sin filtros (**Tabla 18**).

Los valores del factor de uniformidad se mantuvieron 70% y 55 % al igual que los valores obtenidos con el uso de un filtro en cada luminaria.

En este caso la cantidad de iluminancia resulta estar por debajo de un ambiente luminoso adecuado para realizar tareas visuales tipo de oficina según las normas y recomendaciones internacionales, no obstante, fue necesario obtener estos niveles bajos de iluminancia para notar los cambios en el desempeño de los usuarios en relación a los niveles máximos recomendados.

b) Medición en el LIA, sin filtros y con filtros con mobiliario.

Se colocaron las sillas y la mesa de trabajo en donde se aplicarían las pruebas, la mesa se colocó al centro de las cuatro luminarias que se utilizaras Se midió la iluminancia ubicando el luxómetro a cada 30 centímetros para obtener la iluminancia promedio sobre la mesa de trabajo bajo las tres condiciones de iluminación (**Figura 73**).



Figura 73. Foto del LIA con mesa y retícula a cada 30 centímetros donde se ubicó el luxómetro.

Se midió la cantidad de iluminancia sobre la mesa y sin utilizar los filtros de reducción de iluminación (**Figura 74**).

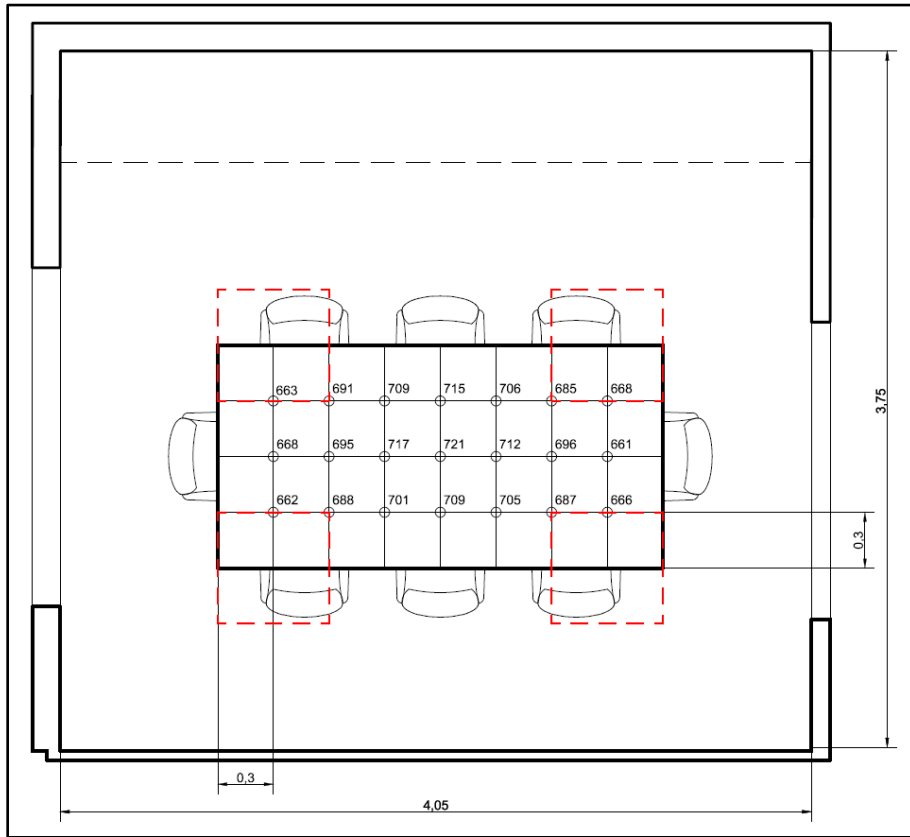


Figura 74. Iluminancia sobre la mesa de trabajo sin filtros en las luminarias.

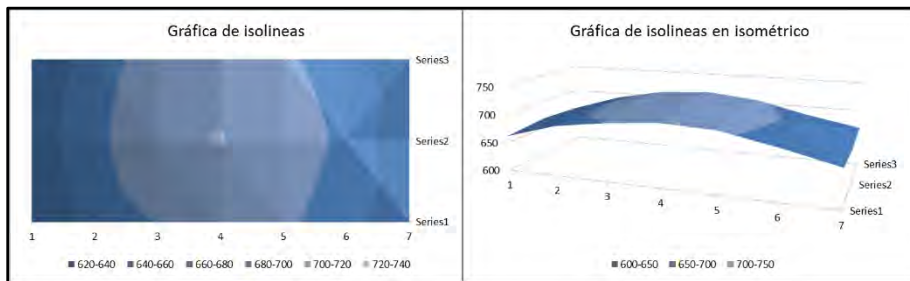


Figura 75. Gráfica de isocuantas de la iluminancia sobre la mesa sin filtros.

LUX	PROMEDIO	692
662	668	663
688	695	691
701	717	709
709	721	715
705	712	706
687	696	685
666	661	668
Factor de uniformidad: 1:96 = 96%		
Factor de uniformidad máx: 1:92 = 92%		

Tabla 19. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo sin filtros en las luminarias.

La iluminancia obtenida promedio sobre la mesa fue de 692 lux con un factor de uniformidad de 96% sin utilizar filtros (**Tabla 19**).

POSICIÓN	ILUMINANCIA PROMEDIOO (LUX)
Muros	353
Mesa	692
Plafond	262
Altura de plano de trabajo	565
Factor de uniformidad	0.72
Factor de uniformidad max	0.58

Tabla 20. Iluminancia promedio general de muros plafón y mesa sin filtros.

En las mediciones obtenidas podemos observar que, el factor de uniformidad se encuentra por arriba del 90% lo que significa que, la uniformidad en el laboratorio es imperceptible lo cual es ideal para la realización de tareas visuales sobre la mesa.

Se midió la cantidad de iluminancia sobre la mesa utilizando un filtro en cada luminaria.

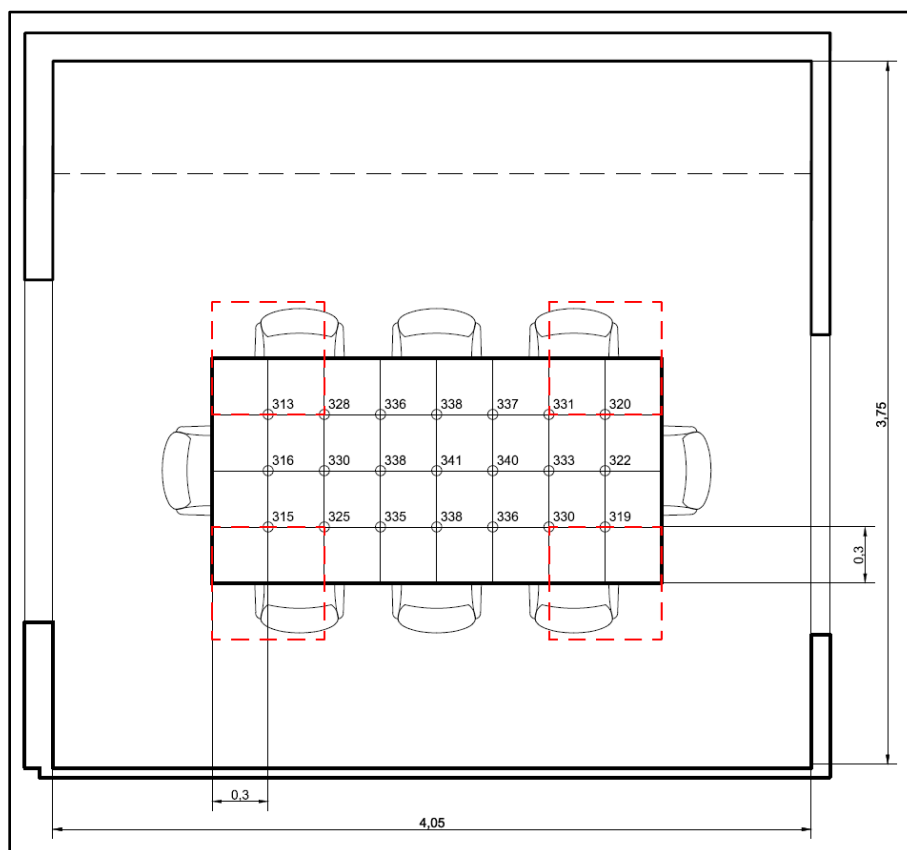


Figura 76. Iluminancia sobre la mesa de trabajo con un filtro LD209.

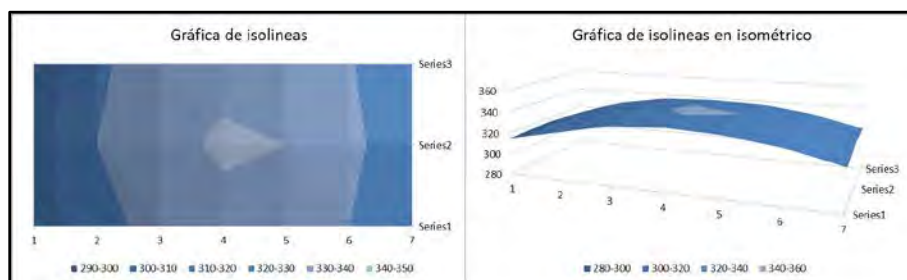


Tabla 21. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo con un filtro LD209.

MESA	PROMEDIO	330
315	316	313
325	330	328
335	338	336
338	341	338
336	340	337
330	333	331
319	322	320
Factor de uniformidad: 1:95 = 95%		
Factor de uniformidad máx: 1:92 = 92%		

Tabla 22. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo con un filtro en las luminarias.

La iluminancia obtenida promedio sobre la mesa fue de 330 lux con un factor de uniformidad de 95% con un filtro (**Tabla 22**).

POSICIÓN	ILUMINANCIA PROMEDIOO (LUX)
Muros	165
Mesa	330
Plafond	115
Altura de plano de trabajo	261
Factor de uniformidad	0.70
Factor de uniformidad max	0.55

Tabla 23. Iluminancia promedio general de muros plafón y mesa con un filtro.

En las mediciones obtenidas podemos observar que, el factor de uniformidad se encuentra por arriba del 90% lo que significa que, la uniformidad en el laboratorio es imperceptible lo cual es ideal para la realización de tareas visuales sobre la mesa.

Se midió la cantidad de iluminancia sobre la mesa y sin utilizar los filtros de reducción de iluminación (**Figura 77**).

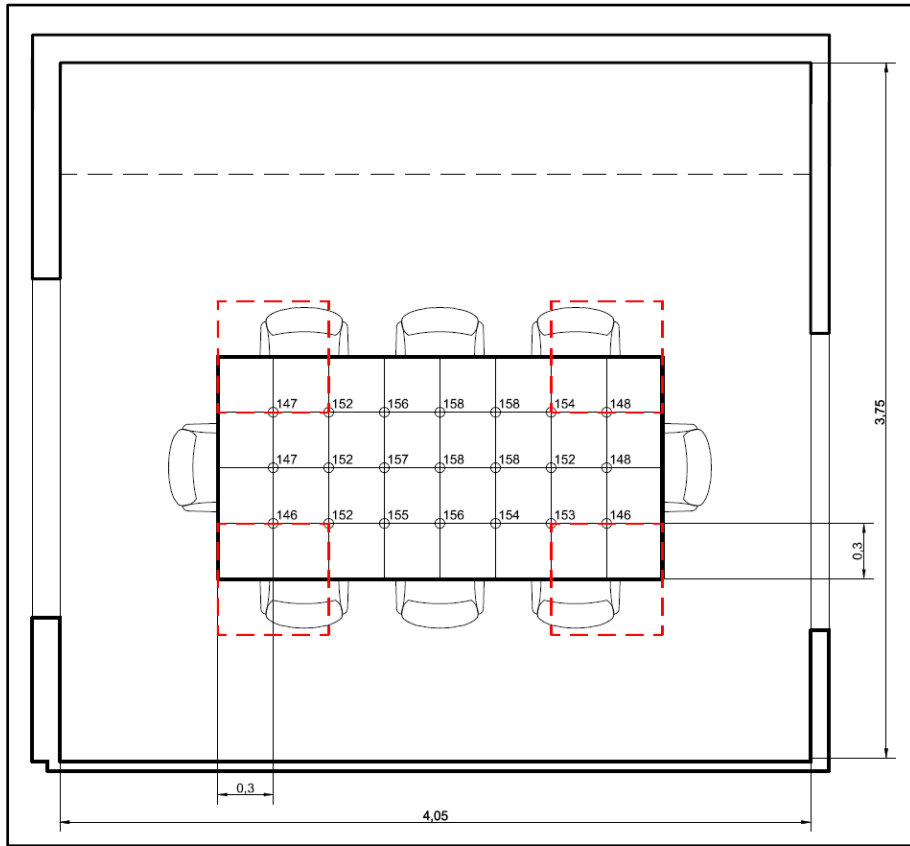


Figura 77. Iluminancia sobre la mesa de trabajo con dos filtros LD209.

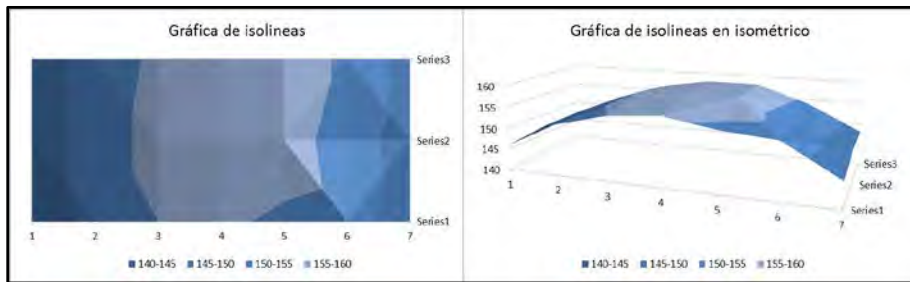


Tabla 24. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo con dos filtros LD209.

MESA	PROMEDIO	153
146	147	147
152	152	152
155	157	156
156	158	158
154	158	158
153	152	154
146	148	148
Factor de uniformidad: 1:95 = 95%		
Factor de uniformidad máx: 1:92 = 92%		

Tabla 25. Iluminancia promedio de la mesa de trabajo con doble filtro en las luminarias.

La iluminancia obtenida promedio sobre la mesa fue de 153 lux con un factor de uniformidad de 95% con doble filtro.

POSICIÓN	ILUMINANCIA PROMEDIO (LUX)
Muros	71
Mesa	153
Plafon	54
Altura del plano de trabajo	134
Factor de uniformidad	0.07
Factor de uniformidad max.	0.55

Tabla 26. Iluminancia promedio general de muros plafón y mesa con doble filtro.

En las mediciones obtenidas podemos observar que, el factor de uniformidad se encuentra por arriba del 90% lo que significa que, la uniformidad en el laboratorio es imperceptible lo cual es ideal para la realización de tareas visuales sobre la mesa.

c) Elaboración de los ejercicios y las encuestas para su aplicación posterior en el periodo experimental.

Se realizaron los ejercicios para obtener resultados cuantitativos de productividad y encuestas para resultados cualitativos de preferencias.

Se diseñaron cuatro diferentes ejercicios cada uno con características distintas para determinar el tiempo y el número de errores posibles de cometer por el sujeto.

Cada ejercicio tiene la característica de estar en alto contraste y bajo contraste, para llevar a los límites opuestos de la capacidad visual de los sujetos.

Las características de los ejercicios que facilitan el rendimiento del sistema visual fueron las siguientes:

- Tamaño de los objetos a visualizar
- Distancia entre el ojo y el objeto observado
- Factor de reflexión del objeto observado
- Contraste entre el objeto y el fondo

Los requisitos para tener un confort visual fueron los siguientes:

- Evitar las reflexiones molestas
- Evitar el deslumbramiento
- Evitar sombras excesivas
- Evitar bloquear la iluminación

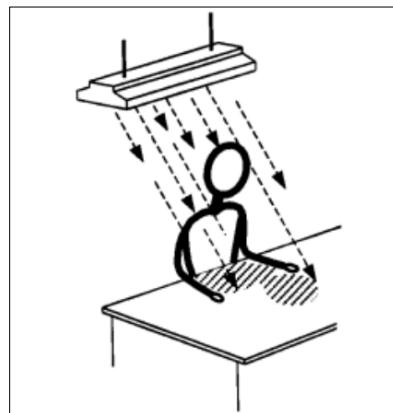


Figura 78. Bloqueo de la iluminación sobre la tarea visual.

A continuación, se muestran los ejercicios aplicados para la prueba experimental, los ejercicios son de elaboración propia basados en llevar la agudeza visual a su límite mediante tareas visuales simples, de tal modo que se pueda observar el desempeño visual de los sujetos en función del tiempo y el número de errores:

Ejercicio 1, Conteo de líneas (**Figura 79**). Consiste en contar el número de líneas en el menor tiempo posible.

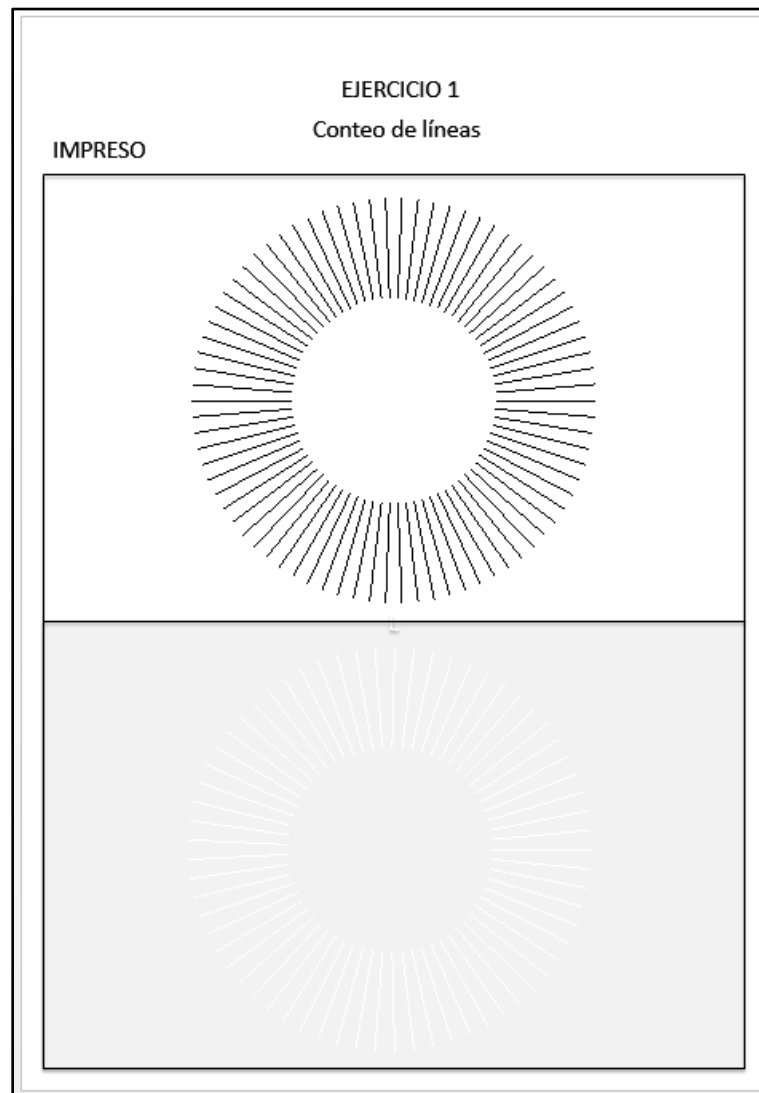


Figura 79. Ejercicio 1, conteo de líneas de la prueba piloto.

El ejercicio consiste en contar las líneas en el menor tiempo posible por el sujeto, esto da como resultado el desempeño visual del sujeto, en el ejercicio primero tenían que

contar las líneas del círculo de arriba, el de líneas negras y fondo blanco y después tenían que contar las líneas del círculo de abajo que tenía líneas blancas sobre un fondo gris.

El ejercicio se diseñó con líneas lo suficiente mente separadas para distinguirse entre sí, y para facilitar ver dicha separación las líneas se colocaron en forma radial formando un círculo, en donde se puede observar que las líneas se encuentran más separadas al exterior del círculo que al interior.

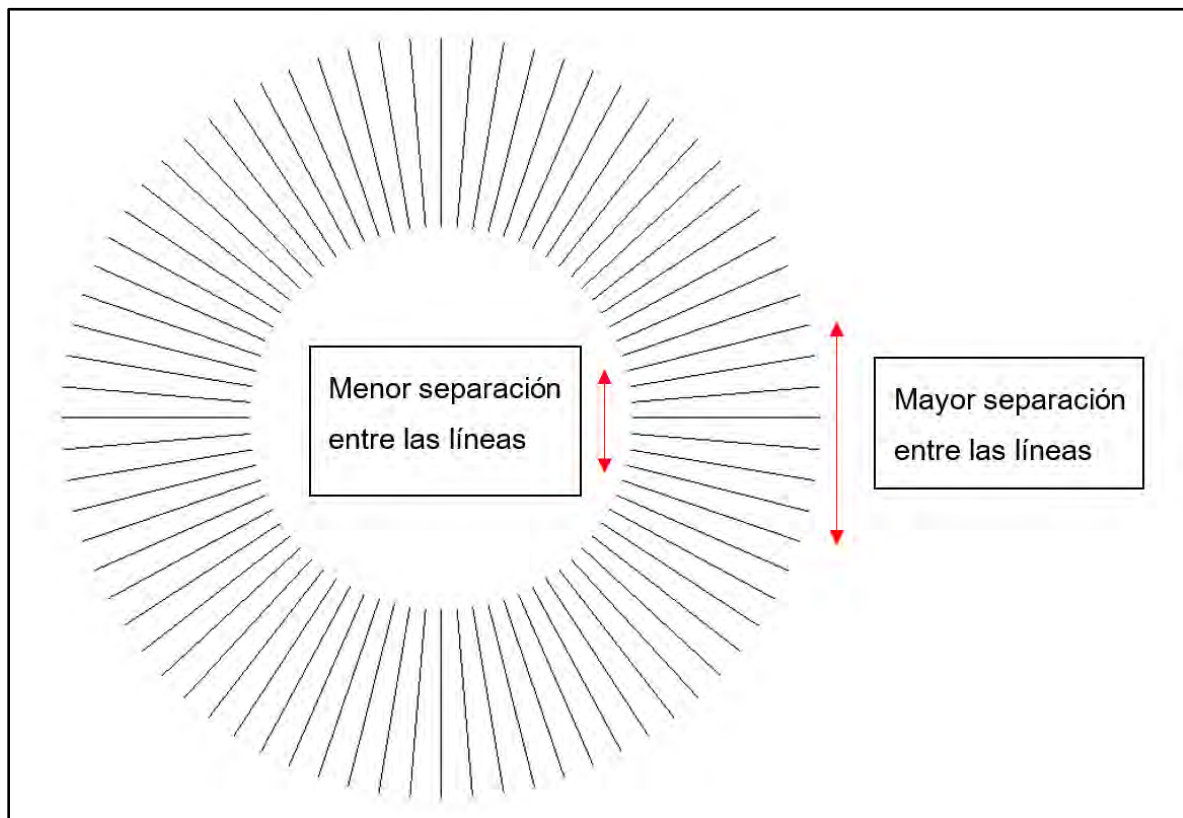


Figura 80. Características del Ejercicio 1

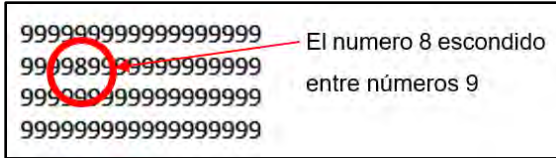


Figura 82. Característica del ejercicio 2

Ejercicio 3 Copia de texto (**Figura 83**). Consiste en copiar los dígitos en la hoja de respuestas.

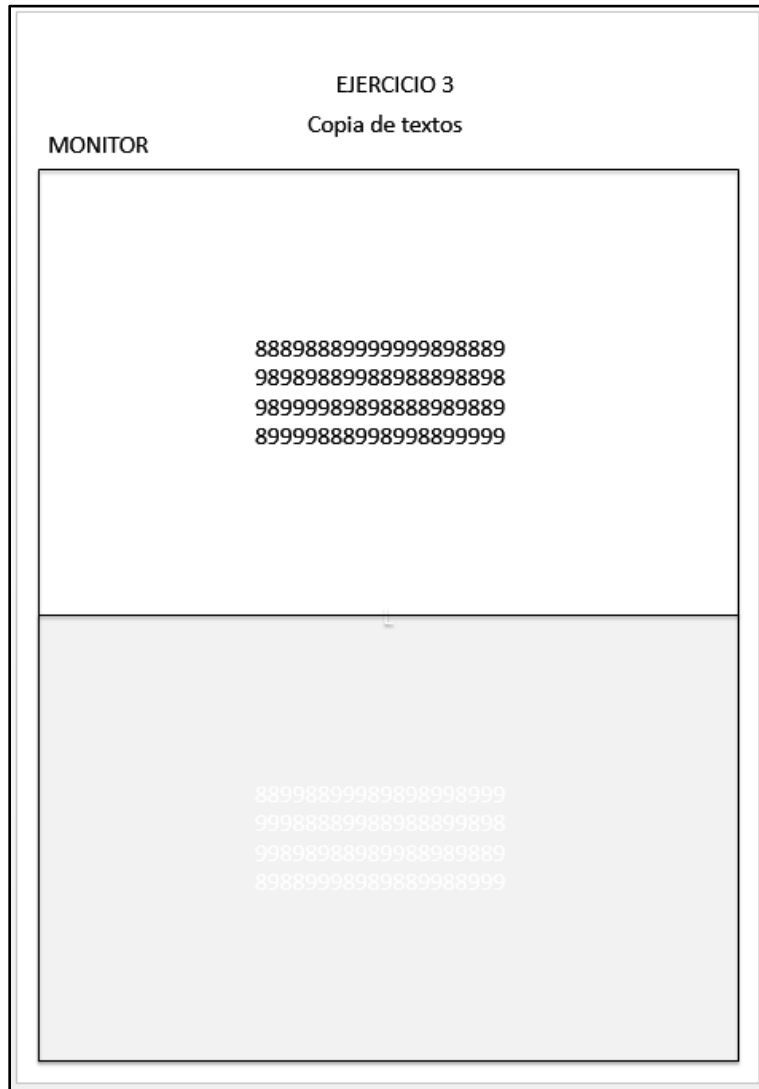


Figura 83. Ejercicio 3 de la prueba piloto.

El objetivo del ejercicio 3, era obtener el desempeño no solo visual sino también motriz del sujeto mediante el estímulo, capacidad de respuesta y retención mental.

El ejercicio de igual manera tenía que ser realizado copiando textos con un fondo blanco equivalente a un alto contraste y en fondo gris equivalente a un bajo contraste.

Ejercicio 4 Conteo de puntos (**Figura 84**). Consiste en contar la cantidad de puntos que se encuentran con distintas separaciones.

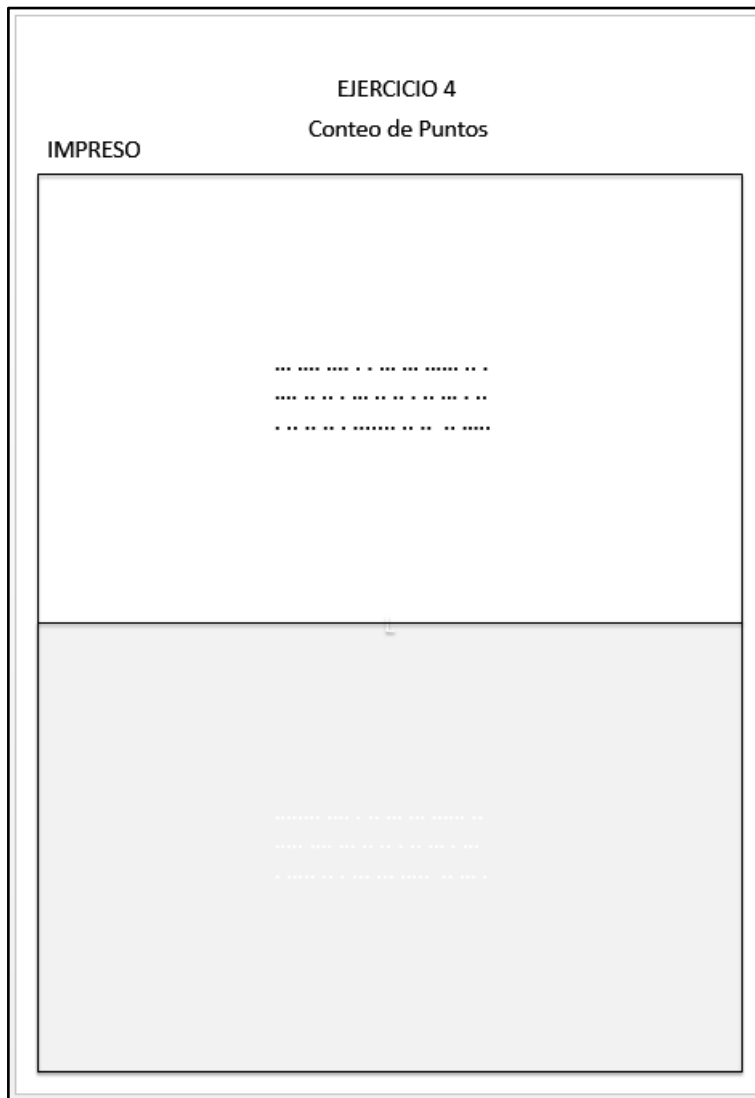


Figura 84. Ejercicio 4 de la prueba piloto.

El ejercicio cuatro tenía el fin de obtener la respuesta de los sujetos bajo su limitante en la agudeza visual, debido a que tenían que contar la cantidad de puntos sobre la hoja de papel, dichos puntos eran diminutos y un gran número, lo que resulta ser exhaustivo, lo que provoca una fatiga visual mínima en poco tiempo. Aún más complicado era realizar esta prueba en un bajo contraste de puntos blancos sobre un fondo gris.

Se desarrolló una hoja de respuestas de la prueba piloto. Esta hoja contiene los datos del encuestado y una pequeña encuesta cualitativa donde se anotan los resultados de los sujetos que realizaron los ejercicios (**Figura 85**).

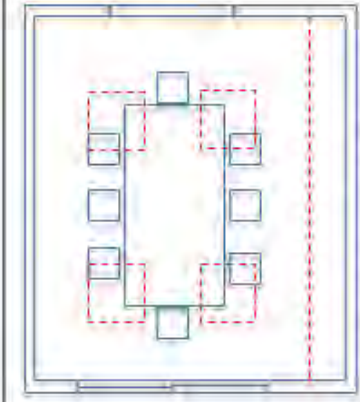
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA		UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA	
Cruzando el tiempo		DIVISIÓN DE DESEMPEÑOS Y ACTES PARA EL DISEÑO		CYAD	
		Especialización: Maestría, Doctorado en Diseño		Cruzando el tiempo por el espacio	
ILUMINACIÓN Y PRODUCTIVIDAD					
FOLIO:	HORA: 00:00	PERSONA:	CAPTURA:	FECHA: 00/00/00	VERSIÓN:
CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES					
TEMPERATURA DE COLOR	BLANCA	FRIA	CALIDA		
ILUMINANCIA	200Lx	300Lx	500Lx		
UBICACIÓN	PLANO DE TRABAJO	ESCRITORIO	MONITOR		
	CANTIDAD DE LUMINANCIA				
	CONTRASTE ENTRE PLANO DE TRABAJO / FONDO				
	PRUEBAS				
	No. De EJERCICIO	ERRORES	TIEMPO		
	1.- CONTEO DE LINEAS				
2.- COPIA DE TEXTOS					
3.- RAPIDEZ PERCEPTIVA					
4.- APRECIACION DE COLORES					
5.- ACTIVIDAD INTERACTIVA					
No.	PREGUNTA	RESPUESTA			
1	¿Considera que la iluminación fue adecuada para las actividades realizadas?	SI	NO		
En caso de ser negativo responda la siguiente pregunta					
2	¿qué considera que es necesario tener?	Más iluminación	Menos iluminación		
Antes de realizar los ejercicios					
3	¿cuál fue su primera impresión del espacio?	Muy luminoso	poco luminoso	me fue indiferente	
Después de realizar los ejercicios					
4	¿cuál fue su primera impresión del espacio?	Muy luminoso	poco luminoso	me fue indiferente	

Figura 85. Hoja de respuesta de la prueba piloto.

d) Aplicación de la prueba piloto.

Se aplicaron encuestas y los ejercicios antes de ser modificados para su correcta aplicación posterior, para saber si los cambios en el desempeño de los usuarios eran notorios.

La prueba piloto se aplicó a estudiantes voluntarios de licenciatura en diseño gráfico, diseño industrial y arquitectura.

La prueba se aplicó en el siguiente orden:

1. Como Introducción a los encuestados se les explica cómo tienen que llenar la hoja de respuestas y la temática de cada uno de los ejercicios, también es un tiempo necesario para que el sistema visual de los encuestados se adapte a las condiciones del laboratorio de iluminación artificial
2. Se comienza a realizar los ejercicios con un tiempo aproximado de 5min por cada condición de iluminación.
3. Se toman 5min para hacer el cambio de las condiciones de iluminación, en este caso se colocaron los filtros que reducen solo la cantidad de iluminancia.
4. Por último, después de haber hecho los ejercicios se aplican las encuestas cualitativas. que toman 5min aproximadamente.

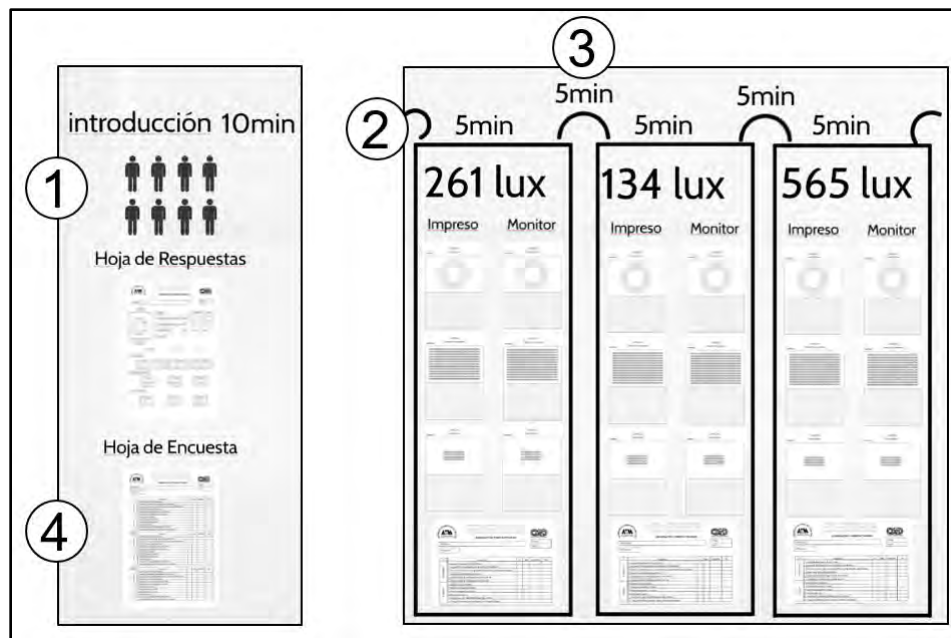


Figura 86. Pasos de la prueba experimental



Figura 87. Foto de estudiantes realizando la prueba piloto.



Figura 88. Foto de los estudiantes realizando la prueba piloto.

e) Modificación de los ejercicios y las encuestas

Los ejercicios y encuestas fueron modificados debido a que en algunos casos no fue favorable la aplicación de los mismos, un detalle esencial era el tamaño de los ejercicios y la calidad de la impresión sobre la hoja de papel, para ello fue necesario reajustar los ejercicios de tal manera que fueran más precisos en el aspecto de confort visual, entonces, fue necesario calibrar los monitores para determinar el nivel de contraste necesario para el diseño del ejercicio.

Los monitores se calibraron con la tecnología de un espectrofotómetro (**Figura 89**) que se encarga de emparejar las propiedades fotométricas del entorno con el monitor.



Figura 89. Foto del calibrador de monitor tipo (X-Rite i1 Pro2).

El espectrofotómetro es capaz de perfilar monitores, escáneres, impresoras, cámaras digitales y proyectores. i1Pro incluso puede medir colores planos, además de captar tanto la luz de flash como la ambiental; todo en un mismo dispositivo.



Figura 90. Foto de la calibración del monitor dentro del laboratorio de iluminación artificial.



Figura 91. Foto de la calibración del monitor en el laboratorio de color.

La calibración tardó aproximadamente 20 minutos, y se aplicó en los dos entornos donde se rediseñaron los ejercicios (Laboratorio de color y Laboratorio de iluminación artificial).

Los ejercicios fueron modificados de tal manera que pudieran ser aplicados en un menor tiempo para evitar la fatiga visual de los usuarios, y la modificación de las encuestas fueron para obtener una mayor variedad en los datos cualitativos y obtener mayor precisión en los factores que determinan el desempeño visual de los usuarios.

Se descartó el ejercicio número cuatro de la prueba piloto para reducir el tiempo que tarda en aplicarse la prueba.

Se rediseñaron los ejercicios con los motores ya calibrados, para determinar el tamaño adecuado de las líneas y el nivel de contraste de los ejercicios sobre las hojas de papel.

Se realizó el diseño de la encuesta basada en la evaluación de los síntomas visuales y preferencias subjetivas, se hizo una modificación de un cuestionario llamado “*Office Lighting Survey*” (OLS) que fue utilizado para determinar la satisfacción del encuestado en distintas condiciones de iluminación. Se les pidió que respondieran eligiendo una de las cuatro respuestas sugeridas (sí, algo, no mucho y no) y que escribieran su estado de ánimo en el que se encontraban en ese momento. En la (**Tabla 28**), se muestra el cuestionario como fue aplicado.

Mi estado de ánimo es:

1	Preguntas	Sí	algo	no mucho	No
Preferencias	1. ¿Le gusta la iluminación de este lugar?				
	2. ¿En general, La iluminación en este lugar es confortable?				
	3. ¿Este color de la luz que me permitió llevar a cabo las diferentes tareas?				
	4. ¿Mi piel se ve natural bajo esta la luz?				
	5. ¿La iluminación en este lugar parece muy fría?				
	6. ¿La iluminación en este lugar parece muy Cálida?				
Síntomas	7. ¿Siento los ojos cansados?				
	8. ¿Siento mis parpados pesados?				
	9. ¿Siento resequedad en los ojos?				
	10. ¿Me arden los ojos?				
	11. ¿Me da dolor de cabeza trabajando bajo esta luz?				
	12. ¿Tengo dificultades para ver objetos de la hoja de papel?				

Tabla 28. Cuestionario (OLS) modificado; Cuestionario para determinar los síntomas y preferencias de los encuestados.

Las preguntas del 1 al 6 son para responder a las preferencias subjetivas y las preguntas del 7 al 12 para responder a los síntomas visuales.

Se les asignó una puntuación del 1 al 3 a las respuestas (sí, algo, no mucho y no).

Se suma la puntuación, y entre mayor sea el valor, significa que hay una mejor preferencia por los encuestados, el valor máximo es de 36 puntos, 18 puntos por la preferencia y 18 puntos por los síntomas positivos (**Tabla 30**).

Las respuestas (algo y no mucho) se les dio una puntuación de valor 2, mientras que en el caso del (sí y no) el valor de esta dependerá si la respuesta actúa de manera positiva o negativa, para explicar esto se toma como ejemplo la pregunta número 1 que dice: - ¿Le gusta la iluminación de este lugar? -. En este caso un (sí) tendrá un valor de 3 y un (no) un valor de 1, pero en el caso de la pregunta número 12 que dice: - ¿tengo dificultad para ver los objetos de la hoja de papel? - en este caso un (sí) tendrá un valor de 1(**Tabla 29**).

Pregunta	Sí	Algo	No mucho	No
1.- ¿Le gusta la iluminación de este lugar?	3	2	2	1
12.- ¿Tengo dificultad para ver los objetos de la hoja de papel?	1	2	2	3

Tabla 29. Ejemplo de solución de encuesta.

La sumatoria del valor de puntos obtenidos indicaba si los síntomas y las preferencias eran satisfactorias o no por las condiciones de iluminación en cada caso.

Mi estado de ánimo es:		EXCELENTE				Puntuación	Lux
1	Preguntas	Sí	Algo	No mucho	No		565
Preferencias	1. Le gusta la iluminación de este lugar.	X				3	
	2. En general, La iluminación en este lugar es confortable.	X				3	
	3. Este color de la luz que me permitió llevar a cabo las diferentes tareas.	X				3	
	4. Mi piel se ve natural bajo esta luz.	X				3	
	5. La iluminación en este lugar parece muy cálida.		X			2	
	6. La iluminación en este lugar parece muy fría.			X		2	
Suma Preferencias							16
Síntomas	7. Siento los ojos cansados.				X	3	
	8. Siento mis párpados pesados.				X	3	
	9. Siento resequead en los ojos.				X	3	
	10. Me arden los ojos.				X	3	
	11. Me da dolor de cabeza trabajando bajo esta luz.				X	3	
	12. Tengo dificultades para ver objetos en la hoja de papel.		X			2	
Suma Síntomas							17
Total						33	

Tabla 30. Tabla de respuesta a los síntomas y preferencias.

De los cuatro ejercicios de la prueba piloto, debido a que la duración de la prueba era muy extensa, se eliminó el ejercicio 4 para evitar la fatiga los sujetos, finalmente la aplicación de las pruebas se realizó bajo dos horarios diferente, uno por la mañana alrededor de las 11am y el otro por la tarde alrededor de las 7pm.

Y se utilizó la modificación de la hoja de respuesta (**Figura 92**).

ILUMINACIÓN Y PRODUCTIVIDAD

Nombre: _____

Fecha: / /

Hora de entrada: :

Hora de salida : :

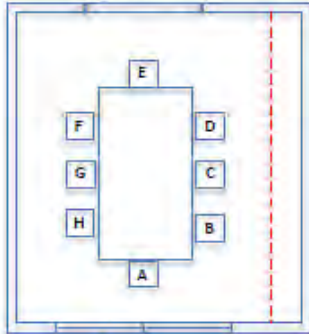
Posición

Edad: _____

Uso Lentes: _____

Sí

No



Ubicación del ejercicio

Hoja de Papel

Monitor

Cantidad de Luminancia en el plano de trabajo

Contraste en el plano de trabajo y el fondo

Temperatura de color de la fuente luminosa

Fria

Neutra

Calida

Iluminancia



Nº Ejercicio

lux

lux

lux

1.- Conteo de líneas

Nº	Tiempo	Respuesta

Nº	Tiempo	Respuesta

Nº	Tiempo	Respuesta

2.- Detección de Caracteres

Nº	Tiempo

Nº	Tiempo

Nº	Tiempo

4.- Copia de Textos


Nº	Tiempo

Nº	Tiempo

Nº	Tiempo

Figura 92. Hoja de respuestas modificad de los resultados cuantitativos.


Hoja de respuesta cualitativas (Figura 93).



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría, Doctorado en Diseño

ILUMINACIÓN Y PRODUCTIVIDAD



Ciencia y Artes para el Diseño

Nombre:

Fecha: / /

Hora: -

Mi estado de animo es:

1	Preguntas	Sí	algo	no mucho	No
Preferencias	1. Le gusta la iluminación de este lugar				
	2. En general, La iluminación en este lugar es confortable.				
	3. Este color de la luz que me permitió llevar a cabo las diferentes tareas.				
	4. Mi piel se ve natural bajo esta la luz.				
	5. La iluminación en este lugar parece muy cálida.				
	6. La iluminación en este lugar parece muy fría.				
Síntomas	7. Siento los ojos cansados.				
	8. Siento mis parpados pesados.				
	9. Siento resequedad en los ojos.				
	10. Me arden los ojos.				
	11. Me da dolor de cabeza trabajando bajo esta luz.				
	12. Tengo dificultades para ver objetos en la hoja de papel.				

Mi estado de animo es:

2	Preguntas	Sí	algo	no mucho	No
Preferencias	1. Le gusta la iluminación de este lugar				
	2. En general, La iluminación en este lugar es confortable.				
	3. Este color de la luz que me permitió llevar a cabo las diferentes tareas.				
	4. Mi piel se ve natural bajo esta la luz.				
	5. La iluminación en este lugar parece muy cálida.				
	6. La iluminación en este lugar parece muy fría.				
Síntomas	7. Siento los ojos cansados.				
	8. Siento mis parpados pesados.				
	9. Siento resequedad en los ojos.				
	10. Me arden los ojos.				
	11. Me da dolor de cabeza trabajando bajo esta luz.				
	12. Tengo dificultades para ver objetos en la hoja de papel.				

Mi estado de animo es:

3	Preguntas	Sí	algo	no mucho	No
Preferencias	1. Le gusta la iluminación de este lugar				
	2. En general, La iluminación en este lugar es confortable.				
	3. Este color de la luz que me permitió llevar a cabo las diferentes tareas.				
	4. Mi piel se ve natural bajo esta la luz.				
	5. La iluminación en este lugar parece muy cálida.				
	6. La iluminación en este lugar parece muy fría.				
Síntomas	7. Siento los ojos cansados.				
	8. Siento mis parpados pesados.				
	9. Siento resequedad en los ojos.				
	10. Me arden los ojos.				
	11. Me da dolor de cabeza trabajando bajo esta luz.				
	12. Tengo dificultades para ver objetos en la hoja de papel.				

Figura 93. Hoja dos de respuesta cualitativas.

f) Aplicación de las pruebas

Se aplicaron nuevamente los ejercicios y encuesta ya corregidos para obtener los resultados finales.



Figura 94. Foto de los estudiantes resolviendo los ejercicios.



Figura 95. Foto de los estudiantes resolviendo las encuestas.

g) Obtención de los datos

Se capturaron los datos en hojas de Excel (**Figura 96**) para observar los datos de forma gráfica, gracias a ello se pueden observar los resultados con la selección de distintas variables, en este caso se obtuvieron graficas describen el desempeño de los usuarios al resolver los ejercicios y encuestas con las tres condiciones de iluminación

Las gráficas de los resultados determinan el desempeño de los usuarios a partir del porcentaje de errores cometidos y el tiempo transcurrido en la solución de los ejercicios realizados por cada usuario, los ejercicios fueron aplicados bajo tres condiciones de iluminación distintas (565, 261 y 134 Lux). Cada uno de los ejercicios que se aplicaron en alto y bajo contraste de la tarea. Más adelante en los anexos se mostrarán las tablas de los resultados.

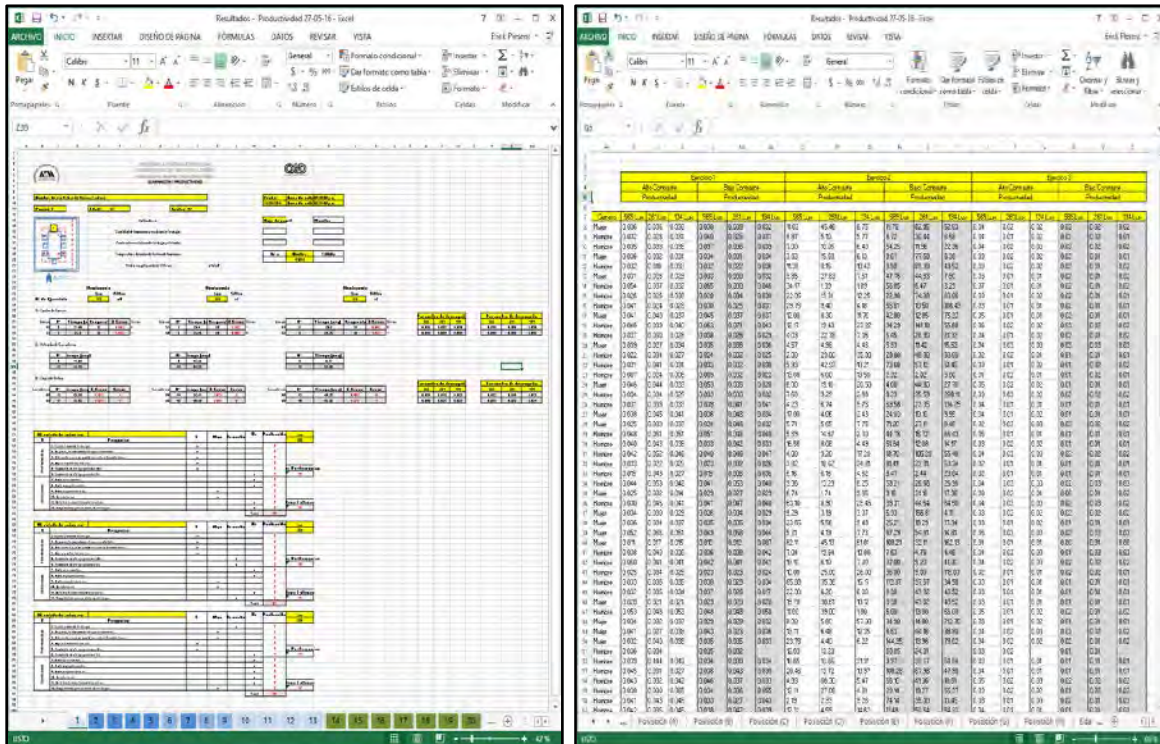


Figura 96. Muestra de captura de resultados

8.2 Análisis de datos y resultados

La siguiente gráfica de barras (**Figura 97**) muestra los resultados presentados por los síntomas y las preferencias de los encuestados, en este caso el mejor resultado se define por el mayor porcentaje obtenido.

El porcentaje más alto obtenido de las preferencias fue de 77.9 % bajo los 261 lux y el porcentaje más alto de los síntomas de 79.2% se obtuvo bajo 261 lux.

Siendo en ambos casos los 261 lux como la mejor condición de iluminación para los encuestados.

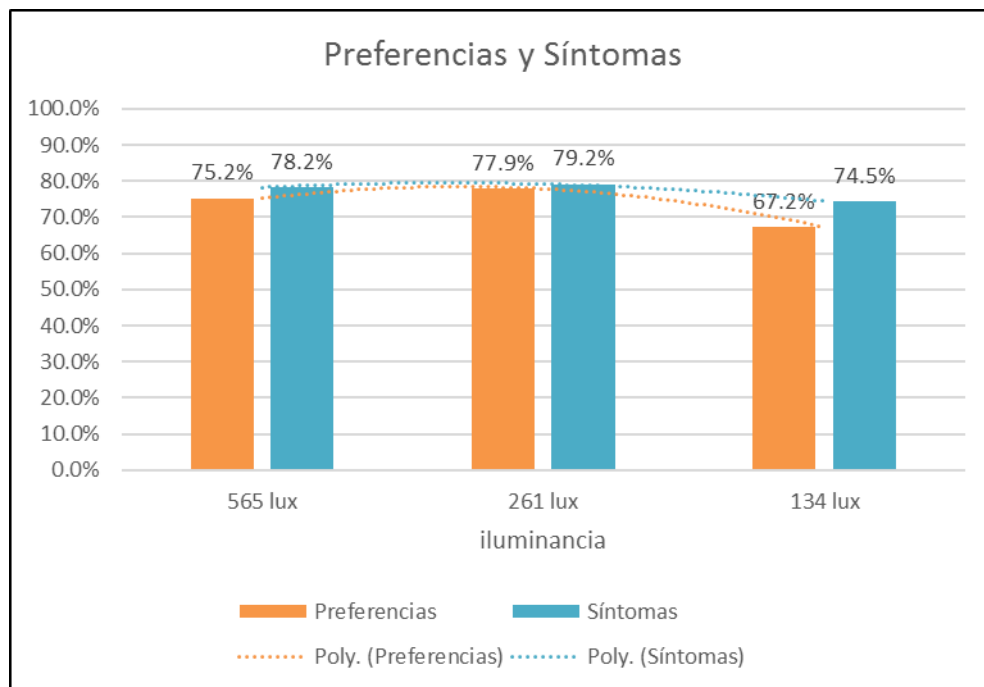


Figura 97. Evaluación promedio de los síntomas y preferencias.

Las gráficas nos ayudan a determinar el desempeño de los usuarios que fueron encuestados y que realizaron una serie de ejercicios dentro del LIA.

En la gráfica de barras (**Figura 98**) podemos observar el tiempo promedio en las pruebas del ejercicio 1 en el conteo de líneas, realizadas en alto y bajo contraste, la barra de color blanco fueron las pruebas en alto contraste y las barras de color gris las pruebas en bajo contraste.

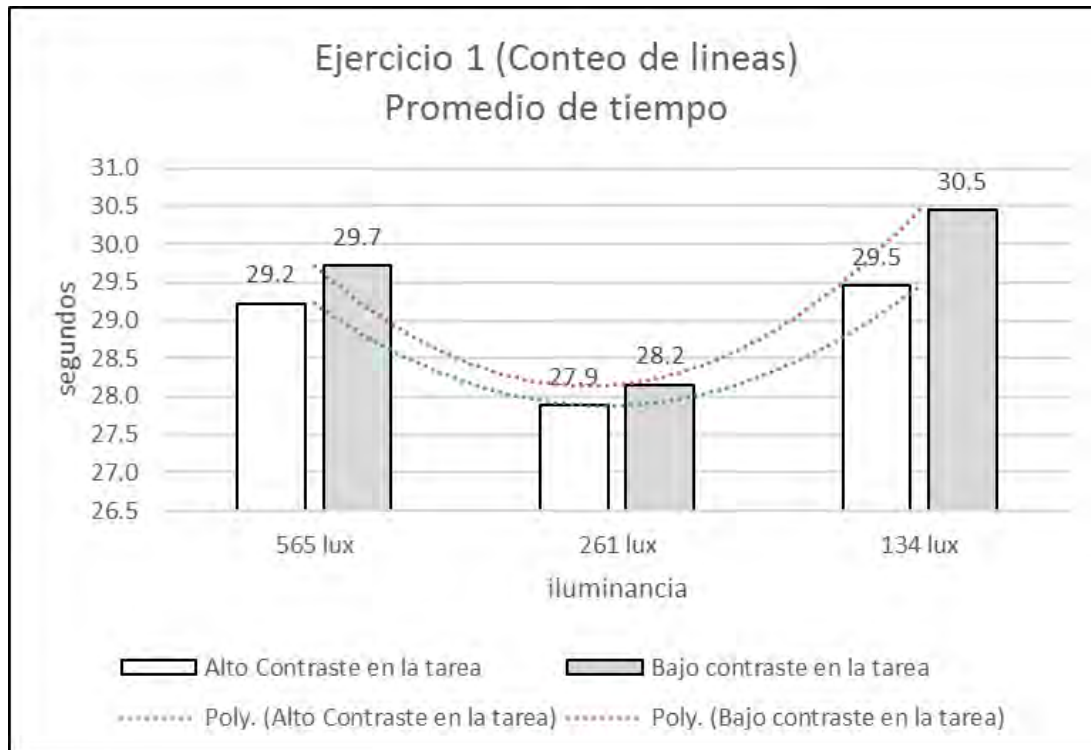


Figura 98. Porcentaje de errores cometidos al resolver el ejercicio 1 (conteo de líneas) en alto y bajo contraste.

El menor tiempo promedio obtenido fue de 27.9 segundos en la prueba aplicada bajo 261 lux del ejercicio 1 en alto contraste. El mayor tiempo promedio fue de 30.5 segundos en la prueba aplicada bajo 134 lux con el ejercicio 1 en bajo contraste.

Las curvas punteadas nos ayudan a observar la tendencia, donde se observa que disminuye el tiempo de 565 lux a 261 lux y aumenta el tiempo aún más de 261 lux a 134 lux.

Tan sólo hay una diferencia de 2.6 segundos entre una prueba y otra lo que representa el 9.2% si se toma como referencia el 27.9 segundos como el mejor tiempo.

Del mismo del ejercicio 1 se obtiene el número de errores cometidos bajo las 3 condiciones de iluminación distintas (**Figura 99**) y se comparan con el tiempo que les tomó en realizar la prueba a los encuestados.

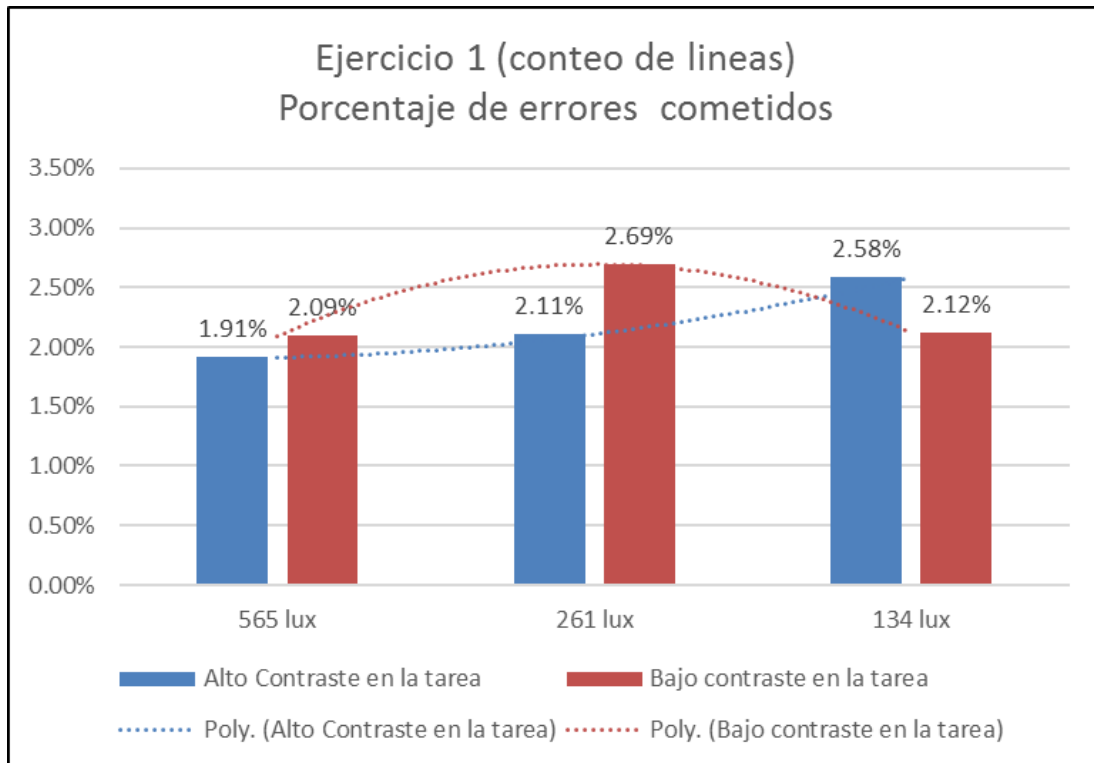


Figura 99. Promedio de tiempo al resolver el ejercicio 1 (conteo de líneas) en alto y bajo contraste.

En este caso se puede observar que bajo los 261 lux los encuestados cometieron mayor cantidad de errores, por lo que se puede decir que hubo una baja en su desempeño, la diferencia es mínima pues solo es el 0.78% de diferencia entre las pruebas con el menor número de errores y el mayor número de errores cometidos.

El ejercicio 2, de detección de caracteres, los resultados solo se relacionaron con el tiempo de respuesta (**Figura 100**), los resultados de la prueba mostraron que el menor tiempo de 12.81 segundos se logró con 134 lux con el ejercicio con un alto contraste, y el menor tiempo de 40.01 segundos con 565 lux el ejercicio en bajo contraste.

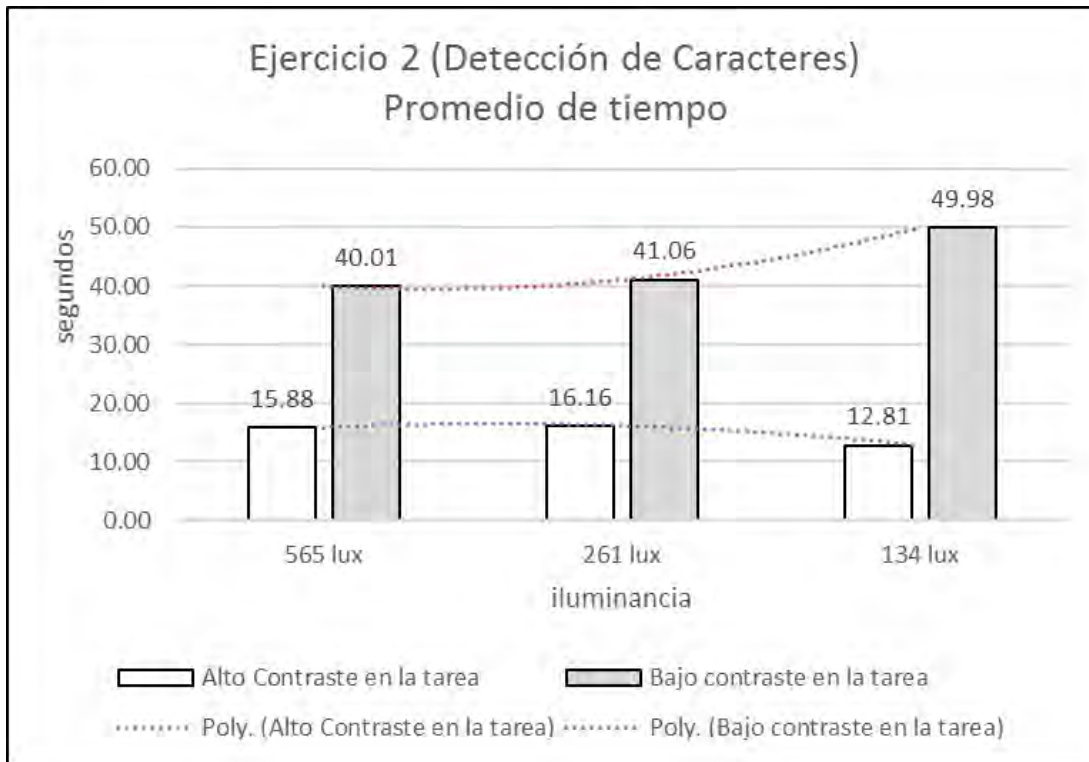


Figura 100. Promedio de tiempo al resolver el ejercicio 2 (detección de caracteres) en alto y bajo contraste.

El mejor resultado en este caso no se define por un solo nivel de iluminancia, debido a que es diferente el mejor resultado en los ejercicios con bajo contraste y alto contraste, sin embargo, la diferencia de tiempo es menor con el ejercicio con alto contraste y mayor diferencia de tiempo al aplicar el ejercicio con un bajo contraste bajo los tres niveles de iluminancia.

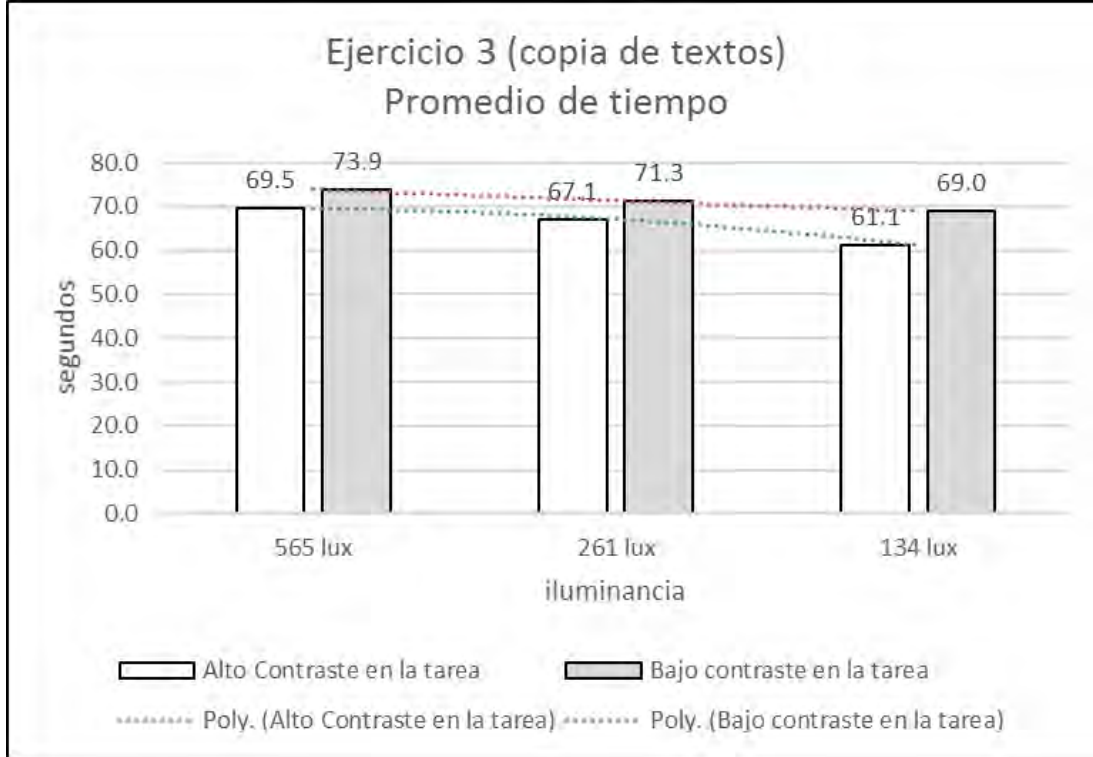


Figura 101. Izquierda. Promedio de tiempo al resolver el ejercicio 3 (copia de textos) en alto y bajo contraste.

Los resultados del ejercicio tres muestran que tomaron menor tiempo en realizar la copia de texto en ambos contrastes bajo 134 lux.

Tomaron más tiempo en realizar la copia de texto bajo 565 lux.

En relación con el menor tiempo al mayor tiempo con el ejercicio en alto contraste fue de 8.4 segundos y con el ejercicio de bajo contraste la diferencia de tiempo fue de 4.9 segundos.

El número de errores cometidos fue con el ejercicio en alto contraste bajo 134 lux, a diferencia que el número menor de errores con el ejercicio de bajo contraste fue con 565 lux

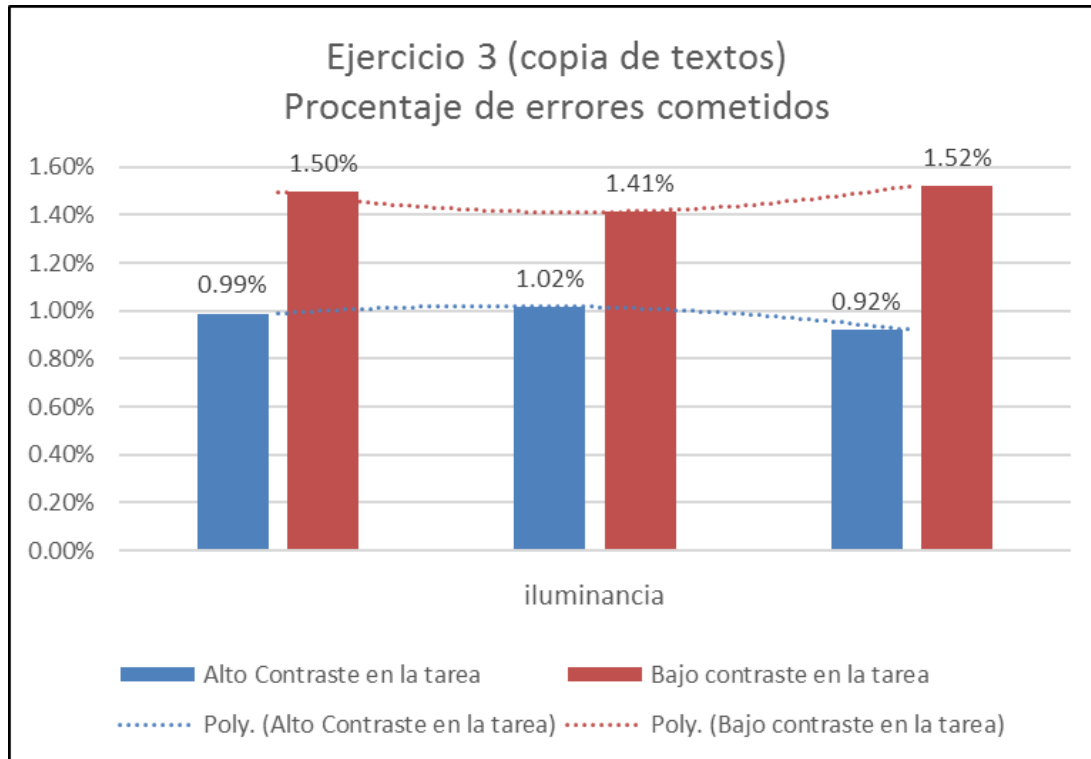


Figura 102. Derecha. Porcentaje de errores cometidos al resolver el ejercicio 3(copia de textos) en alto y bajo contraste.

Para evaluar las dos características (tiempo y errores) de manera conjunta, se determinó el parámetro de desempeño se obtiene a partir de los errores cometidos entre el tiempo que tardaron en resolver cada uno de los ejercicios.

$$\text{Parametro de desempeño} = (100\% - \% \text{ Errores}) / \text{Tiempo}$$

Ecuación 18. Parámetro de desempeño.

Los resultados se obtuvieron a partir de la solución de la ecuación de cada curva polinómica, lo que da como resultado el punto máximo de la curva que indica la cantidad de iluminación en ese punto.

La siguiente (**Figura 103**) es un ejemplo de la solución de la ecuación del ejercicio 1 en alto contraste, Se utilizó el software (*WolframAlpha*) para resolver todas las ecuaciones de las curvas polinómicas.

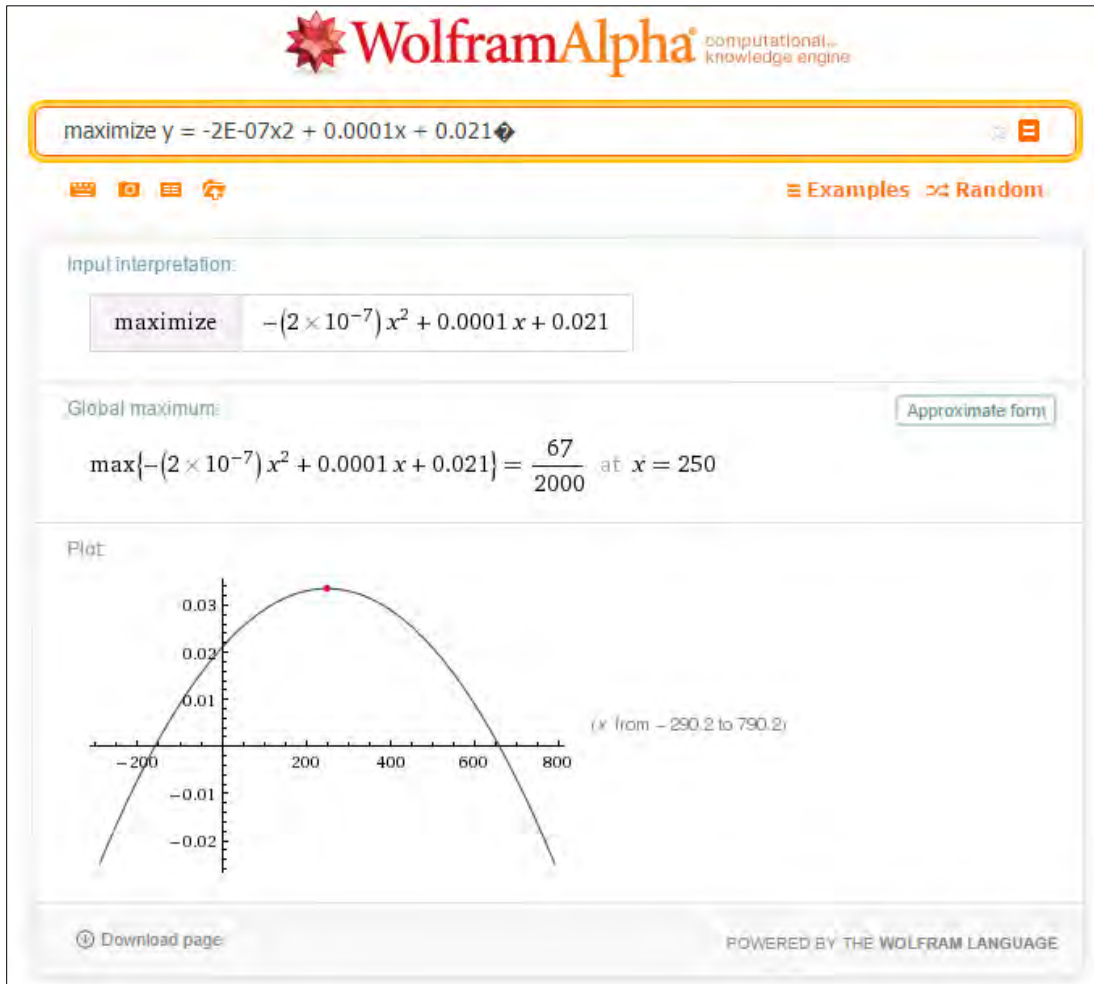


Figura 103. Resultado de la ecuación de la curva polinómica del ejercicio 1 en alto contraste obtenido por WolframAlpha

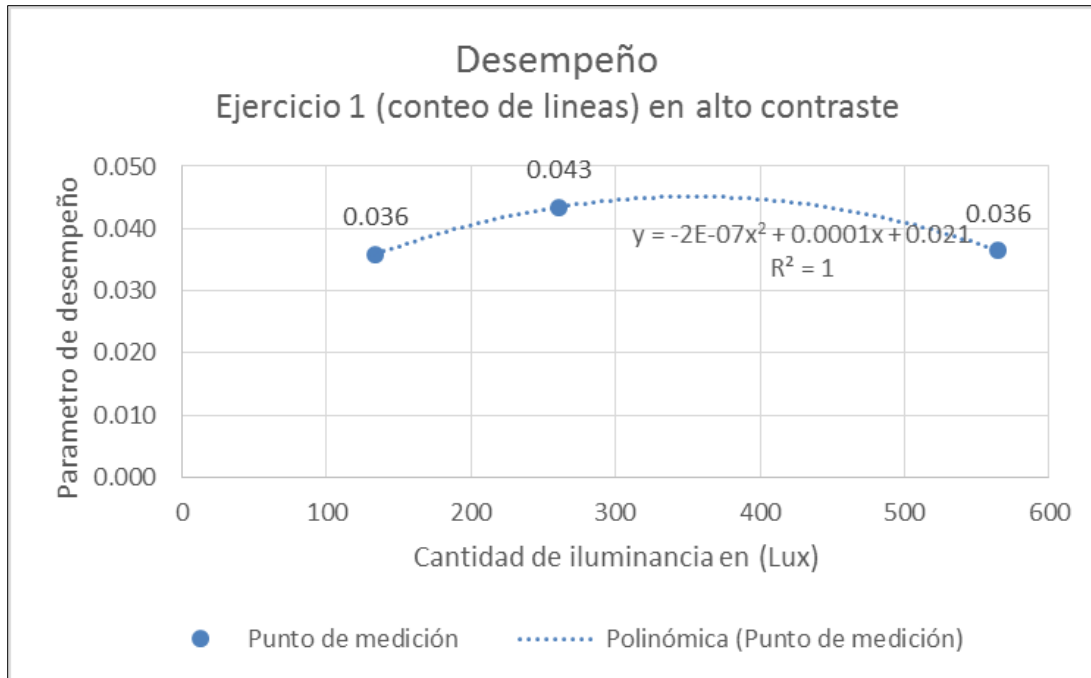


Figura 104. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 1 con alto contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado óptimo obtenido de la curva polinómica fue de 250 Lux.

De esta gráfica (**Figura 104**) se puede concluir que tanto mucha iluminación como poca iluminación reduce el desempeño de los usuarios, en este caso la cantidad de iluminancia óptima para realizar el ejercicio 1 (conteo de líneas) en alto contraste fue de 250 lux.

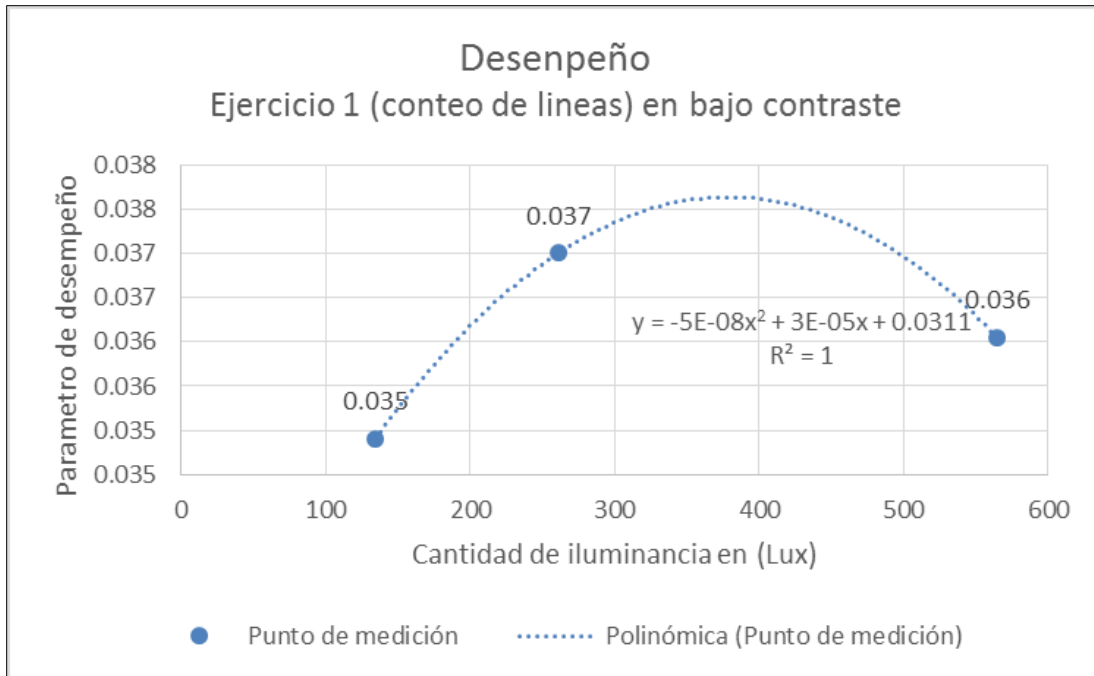


Figura 105. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 1 con bajo contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado óptimo obtenido de la curva polinómica fue de 300 Lux.

De la (**Figura 105**). El desempeño de los usuarios en este caso va disminuyendo a partir de los 300 Lux ya sea mayor iluminación o menor iluminación de 300 Lux.

La cantidad de iluminancia óptima obtenida de esta prueba coincide con la cantidad de iluminación establecida por la norma oficial mexicana NOM 025.

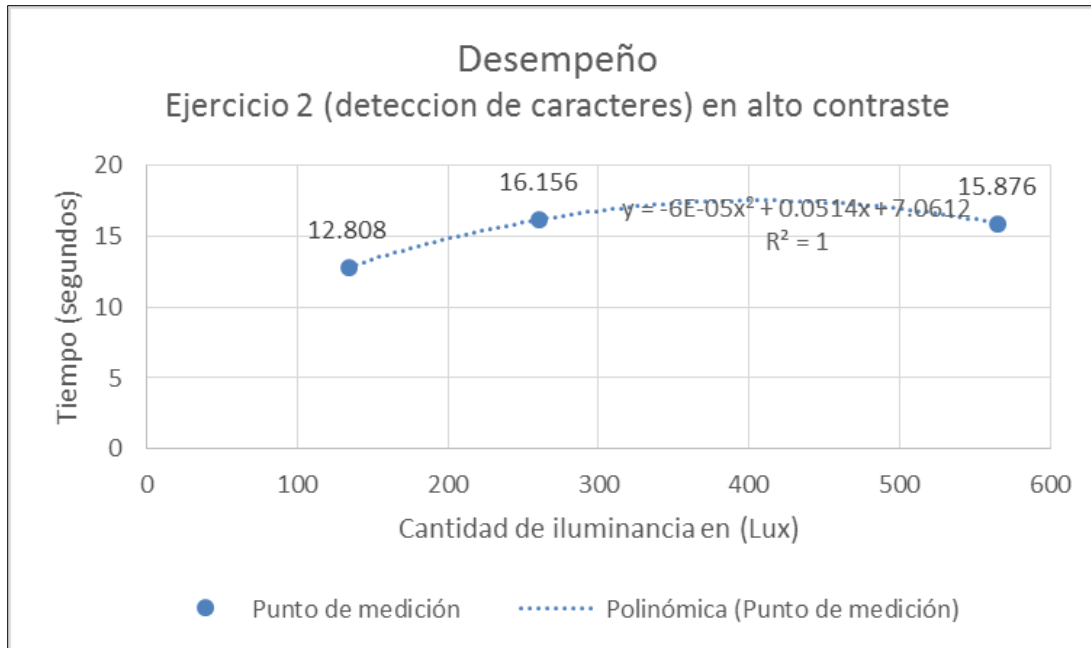


Figura 106. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 2 con alto contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado de la ecuación obtenido de la curva polinómica fue de 428 Lux.

La cantidad de 428 Lux no determina el nivel de iluminación óptimo, en este caso dicha cantidad nos dice lo contrario, dicho de otra manera, podemos determinar que 428 Lux es la cantidad de iluminación menos favorable para la realización de ejercicio 2 (detección de caracteres) con alto contraste (**Figura 106**).

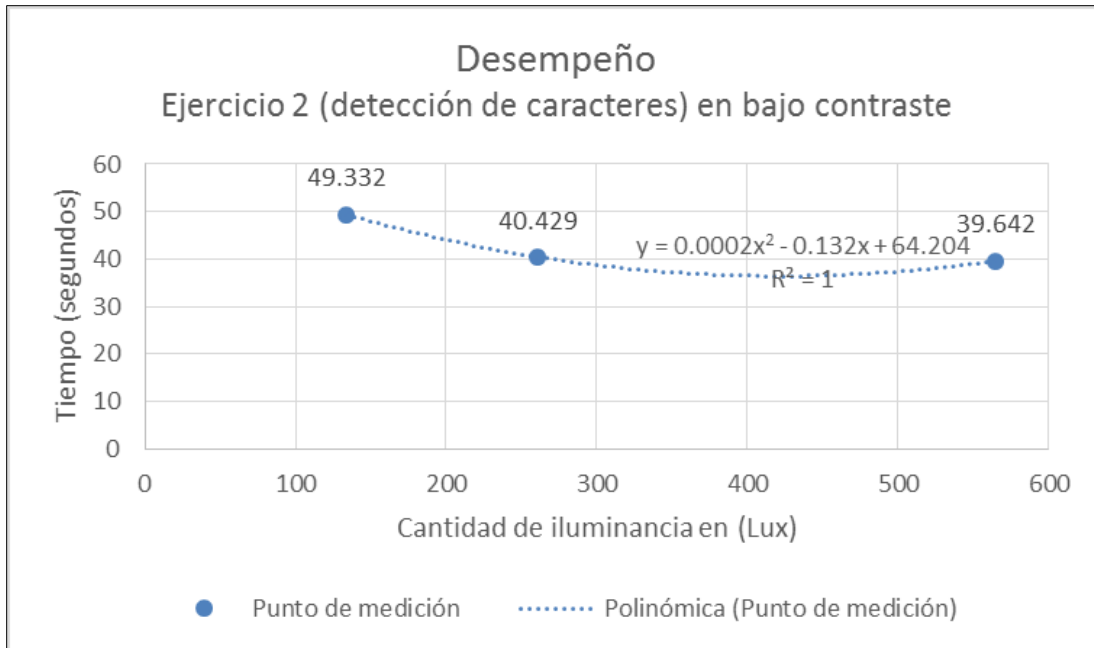


Figura 107. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 2 con bajo contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado de la ecuación obtenido de la curva polinómica fue de 330 Lux.

La cantidad de iluminancias de 330 Lux obtenida de la curva polinómica determina el mejor desempeño al realizar el ejercicio 2 (detección de caracteres) en bajo contraste (**Figura 107**).

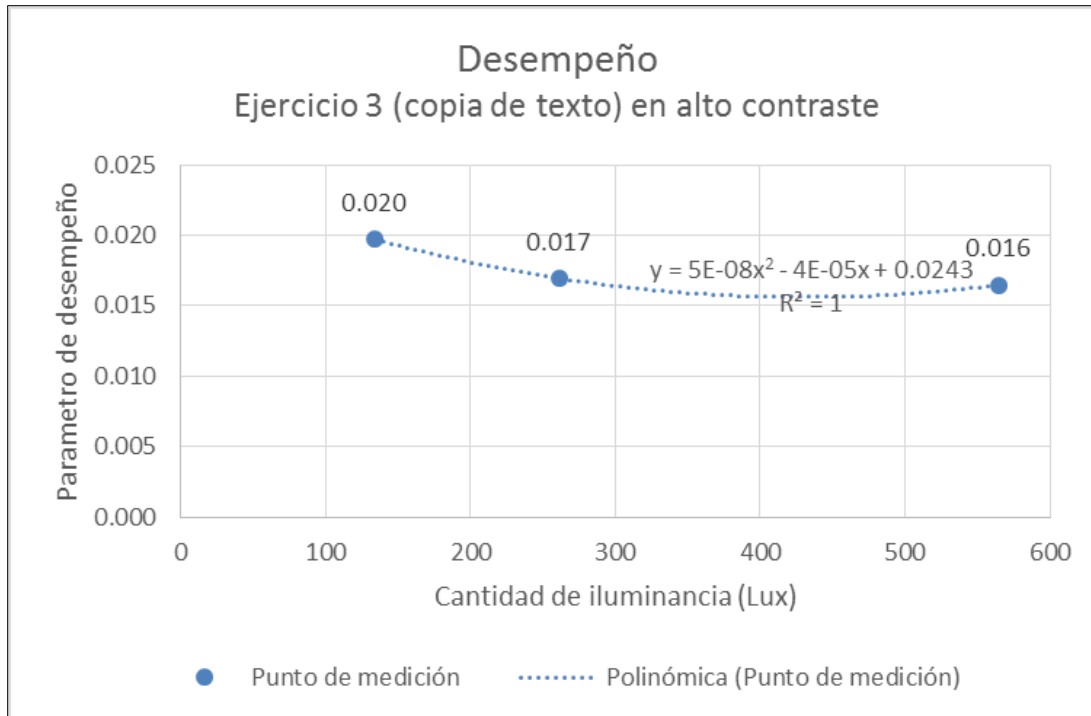


Figura 108. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 3 (copia de textos) con bajo contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado de la ecuación de la curva polinómica fue de 400 Lux.

El ejercicio 3 basándonos en la curva de tendencia solo podemos observar la cantidad de iluminancia menos favorable, la cual indica que a partir de 400 Lux el desempeño de los usuarios fue el más bajo y se incrementa de manera más favorable hacia los 134 Lux que hacia los 565 Lux (**Figura 108**).

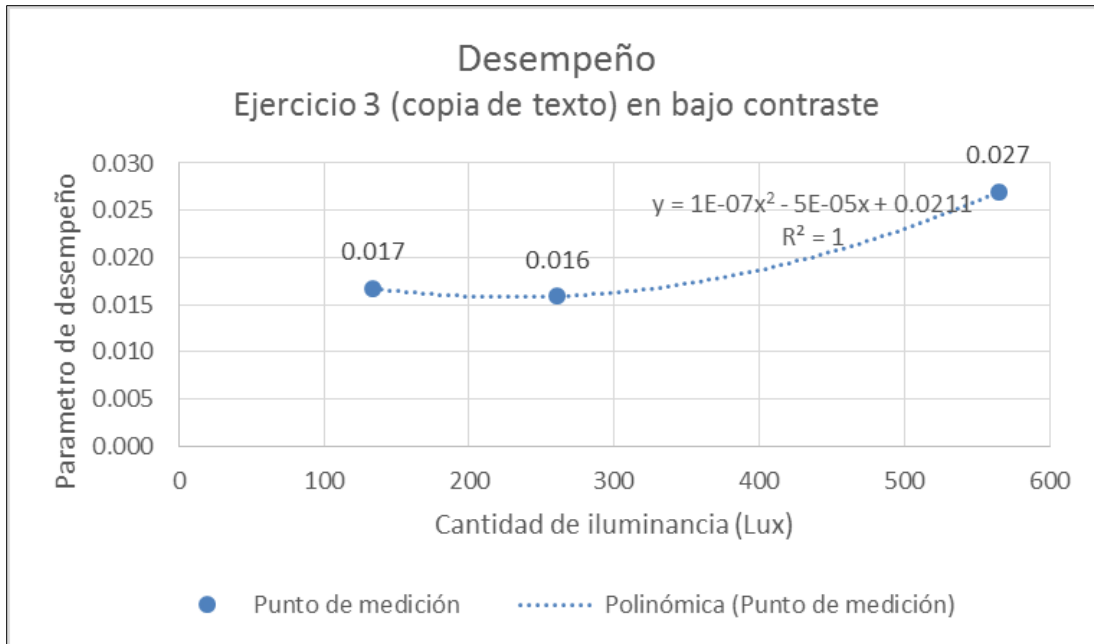


Figura 109. Curva que muestra la tendencia en el desempeño de los usuarios al realizar el ejercicio 3 (copia de textos) con bajo contraste, bajo las 3 condiciones de iluminancia distintas. El resultado de la ecuación de la curva polinómica fue de 250 Lux.

La curva de tendencia nos indica que a 250 Lux el desempeño fue el menos favorable, pero el desempeño fue incrementando en mayor medida que se va acercando a los 565 Lux que a los 134 Lux (**Figura 109**).

Podemos determinar que para la realización del ejercicio 1 en bajo contraste se requiere de un 20% más de iluminancia que en alto contraste.

8.2.1 Parámetro de desempeño según el género

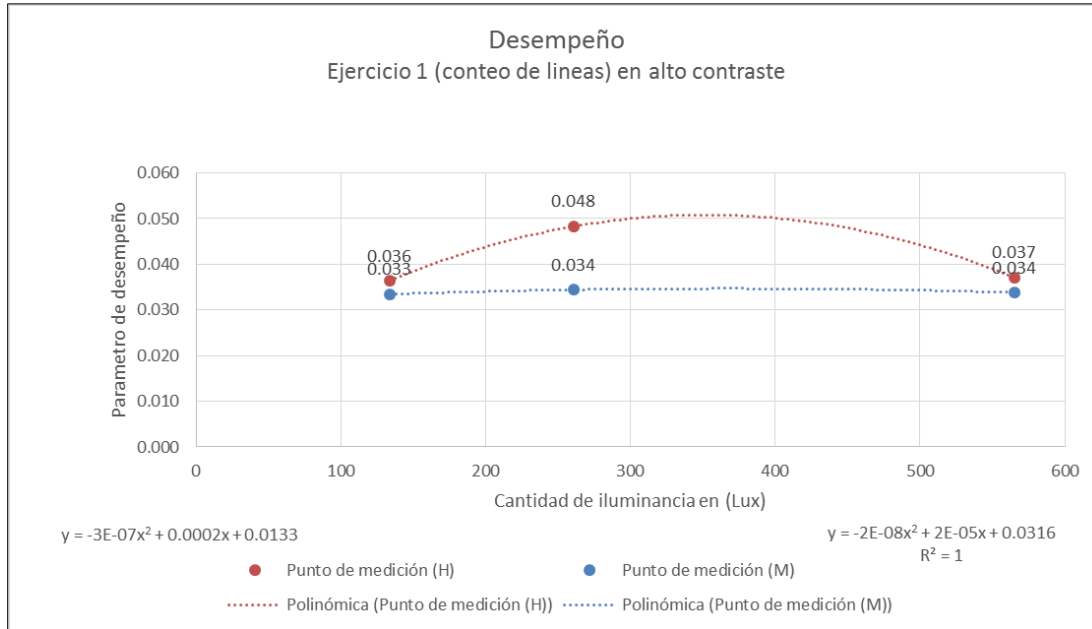


Figura 110. Parámetro de desempeño según el género.

La curva de tendencia nos indica que los presenta un parámetro de desempeño mayor que las mujeres al realizar el ejercicio dando como resultado de la tendencia en hombres de 333 lux y en mujeres de 500 lux (**Tabla 31**).

Lux	Genero
500	Mujeres
333	Hombres

Tabla 31. Tendencia de iluminancia según el género.

8.2.2 Parámetro de desempeño según la edad

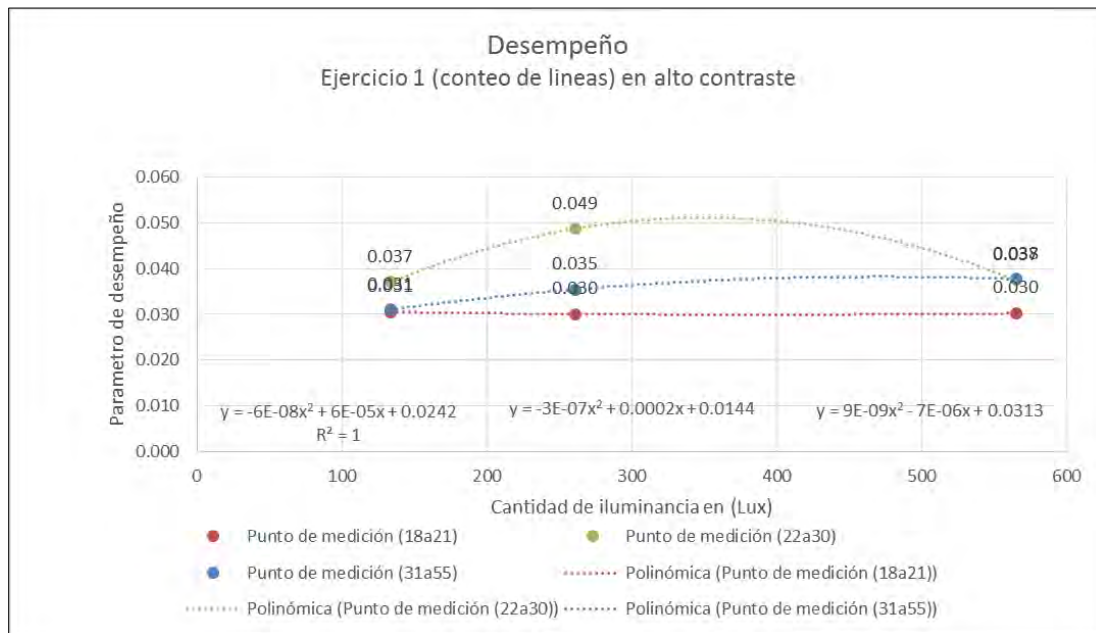


Figura 111. Parámetro de desempeño según la edad.

Las personas con mayor edad tienen una tendencia de requerir mayor cantidad de iluminancia a diferencia de las personas menores a 30 años. Pero el parámetro de desempeño de las personas mayores resultó ser mejor que el desempeño de las personas menores a 21 años (**Tabla 32**).

Edad	Lux
18a21	388
22a30	333
31a50	500

Tabla 32. Tendencia de iluminancia según la edad.

8.2.3 Parámetro de desempeño según el uso de lentes.

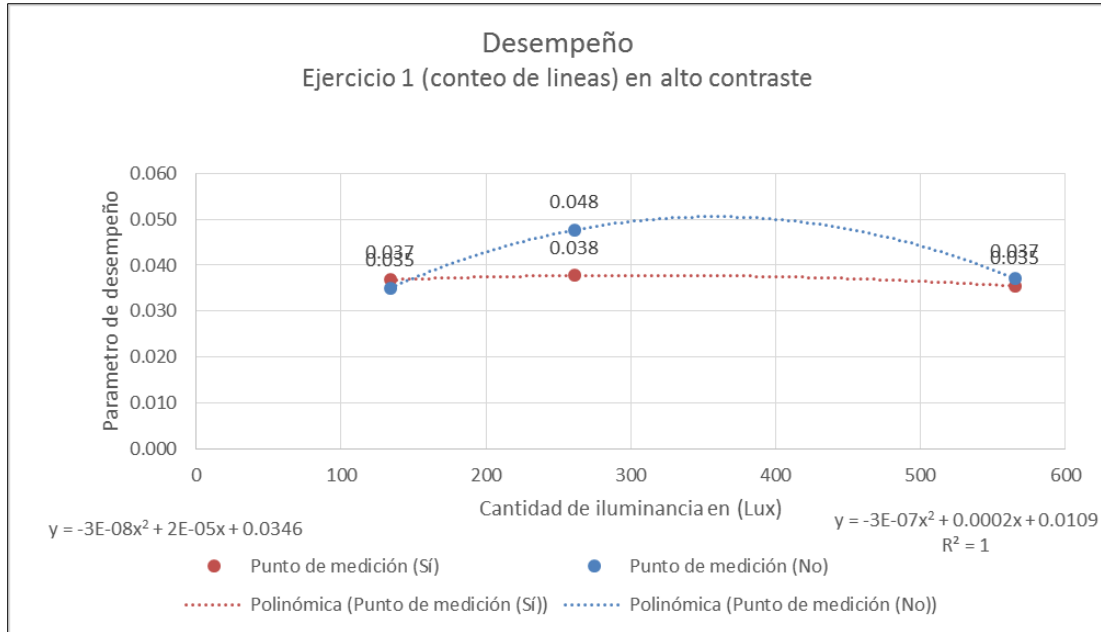


Figura 112. Parámetro de desempeño según si se utiliza lentes.

El desempeño de las personas que no utilizaron lentes resultó ser mejor que las personas que si utilizan lentes. Sin embargo, la tendencia de la necesidad de iluminación fue la misma (**Tabla 33**).

Lentes	Lux
SI	333
NO	333

Tabla 33. Tendencia de iluminancia según si se utiliza lentes.

Conclusiones

Los resultados obtenidos nos permitieron ver que los niveles de iluminación establecidos por las normas nacionales e internacionales no deben tomarse como datos duros en la aplicación de la iluminación en espacios de oficinas, porque las normas no contemplan las características propias de los usuarios y las tareas visuales.

Con dichas pruebas se pudo demostrar, bajo qué condiciones de iluminación los usuarios en el medio mexicano son más productivos.

Se puede concluir que las pruebas indicaron índices de iluminancia óptimos con un promedio de 293 Lux. Dicha cantidad de iluminancia puede servir como parámetro de referencia de iluminancia óptimo para nuestro medio nacional, pero si consideramos los niveles de iluminancia que resultaron ser menos favorables no exceden los 428 Lux.

Se puede determinar que entre 250 Lux y 300 Lux es un rango óptimo para la realización de tareas de oficina similares a los ejercicios que tienen un alto contraste. Y entre los 300 Lux y 360 Lux para la realización de tareas visuales con un bajo contraste.

Gracias a este estudio podemos conocer bajo qué condiciones de iluminación se pueden realizar tareas visuales con mejor confort, obteniendo así una mayor productividad de los usuarios.

Aportación al diseño

La presente investigación puede ayudar a tener un conocimiento más preciso del efecto de la iluminación artificial para en el desarrollo de las tareas visuales de los ocupantes de edificio de oficinas y educativos.

Propuestas de aplicación

Los resultados de esta investigación indican que hay una relación directa entre los tipos de iluminación y el desempeño de las actividades de visuales de los usuarios y su aplicación puede ayudar a mejorar el confort lumínico.

Normatividad consideraciones

Los resultados óptimos obtenidos se aproximan a los establecidos por las normas nacionales, sin embargo, se pudo observar que en algunos casos diferencias en la cantidad de iluminancia en relación a la norma nacional resulta ser mejor para la aplicación de tareas visuales de oficina.

Es importante tener en cuenta que las normas nacionales no justifican la procedencia de dichas recomendaciones

Aparentemente son retomadas de las normas internacionales lo cual es importante considerar que dichas recomendaciones pueden no ser las más adecuadas para nuestro país.

Fuentes

- I. Ambiente, M., & Confort, S. Y. (1984). *MEDIO AMBIENTE Según la definición de Goffin*, 1 "Medio, 58–74.
- II. A.S.H.R.A.E. (2001) *Handbook Fundamentals*. American Society of Heating Air Conditioning Engineers Inc., Atlanta, US
- III. Boyce, P. (2003) *Human Factors in Lighting*, London
- IV. Brown, T. (2008) Norma Europea sobre Iluminación para Interiores, Eur
- V. C. D. E. (2008). Secretaría del trabajo y previsión social.
- VI. CIE. (2013) Commission international de L'eclairage, Atria
 - i. <http://www.cie.co.at/?service=restart>
- VII. Clear, R.D. (2012). *Discomfort Glare: What Do We Actually Know?* Building Technology and Urban Systems Department, (February).
- VIII. Colombo, E., Donell, B. O., & Kirschbaum, C. (n.d.). Iluminación Eficaz, Calidad y Factores Humanos, 1–24.
- IX. Figueroa, A. et al. (1990) *Criterios de adecuación Bioclimática en la Arquitectura*, I.M.S.S. 7300, México D.F.
- X. Fuentes, V. (2004) *Clima y Arquitectura*, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México D.F.
- XI. Hopkinson, R. (1985) *Daylighting*, Ed. Heineman, Londres Inglaterra
- XII. IALD. (2013) *International Association of Lighting Designers*, Chicago
 - i. <http://www.iald.org/>
- XIII. I.E.S.N.A. (1993) *How to predict interior Daylighting Illumination, the Illuminating Engineering Society of North America*, Ohio, USA.
- XIV. Iglesias, F. (1999). *La iluminación en los entornos de oficina*. Ed. OFITA: México
- XV. Lacomba, R., et al. (1990) *Manual de Arquitectura Solar*, Ed. Trillas, México D.F.
- XVI. Méndez, G. (2013) *Illuminating Engineering Society*, México D.F.
 - i. <http://iesnamexico.org/contacto/>

- XVII. Murguía, L (2002) *La luz en la Arquitectura, su influencia sobre la salud de las personas*, (tesis doctoral) UPC, Barcelona
- XVIII. Normand, D. (1990) *La psicología de los objetos cotidianos* Ed. Nera, España
- XIX. Olgyay, V. et al. (1963) *Solar Control and Shading devises*, Princeton University Press, Princeton, US
- XX. Szocolay S.V. (1980). *Environmental Science Handbook for Architects and Builders*, Ed. The Construction press, Ltd. Landcaster England.
- XXI. Votano, J., Parham, M., & Hall, L. (2004). No Title. *Chemistry&* , (1). Retrieved from
- XXII. Ward, G. (1992). *RADIANCE Visual Comfort Calculation*.

Glosario

ANSI

American National Standards Institute

Instituto Nacional de Estándares Americano, sirve como administrador y coordinador de los esfuerzos de estandarización voluntaria del sector privado en los Estados Unidos. Los documentos pueden ser enviados sólo por las organizaciones que cumplen estándares de acreditación de ANSI.

Área de trabajo

Es el lugar del centro de trabajo donde normalmente un trabajador desarrolla sus actividades.

ASHRAE

American Society of Heating, Refrigerating and Air—conditioning Engineers.

Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado Ingenieros es la organización técnica asociada con la ingeniería mecánica (calefacción, ventilación y aire acondicionado) y la práctica.

Brillo

Es la intensidad luminosa que una superficie proyecta en una dirección dada, por unidad de área. Se recomienda que la relación de brillos en áreas industriales no sea mayor de 3:1 en el puesto de trabajo y en cualquier parte del campo visual no mayor de 10:1.

CIBSE

Chartered Institution of Building Services Engineers

Instituto Colegiado de construcción Servicios Ingenieros (Sociedad de la Luz e iluminación).

Condición crítica de iluminación

Diferencia de iluminación en el sitio de trabajo o niveles muy altos que bien pueden requerir un esfuerzo visual adicional del trabajador provocarle un deslumbramiento.

Contraste cromático

Contraste de color o la diferencia de color entre dos o más colores. Percibido por un ojo normal, sano. Por ejemplo, un girasol visto en contra de sus hojas verdes.

Contraste de iluminancia

Medida en la diferencia de brillo entre dos o más elementos o detalles en la escena vista según la percepción de un ojo normal, sano. Por ejemplo, cuando se mira a través de una ventana, se ve el contraste de luminancia entre un cielo nublado y la pared al lado de la ventana.

Deslumbramiento

Es cualquier brillo que produce molestia y que provoca interferencia a la visión o fatiga visual.

Diseño de iluminación

Diseño de iluminación se trata de aplicaciones más permanentes relacionadas con la arquitectura y la arquitectura del paisaje. A diferencia de las aplicaciones más transitorias de la iluminación del teatro, iluminación de conciertos, feria de iluminación

de exposiciones, y similares. A lo largo de este texto, diseño de iluminación arquitectónica y de diseño de iluminación arquitectónica (o diseñador de iluminación o de diseño) se refieren al acto o la persona involucrada en el acto de diseñar la iluminación para la arquitectura permanente y / o la arquitectura del paisaje.

Eficacia

La eficacia de una lámpara en la producción de luz (lúmenes) respecto a la potencia (Watt) requerida para operar la lámpara. Expresado en lúmenes por Watt (LPW).

Energía electromagnética

La energía electromagnética o la radiación se emite cuando las partículas atómicas vibran. La frecuencia de la vibración determina el tipo de radiación emitida. Alta frecuencia de vibraciones es el resultado de la radiación de longitud de onda muy corta, como los rayos cósmicos, rayos gamma y rayos-X. Vibraciones de baja frecuencia como resultado de la radiación de longitud de onda larga, como las microondas, ondas de radio y las ondas de sonido. Moderado frecuencia vibraciones resultado de la radiación ultravioleta, la luz y la radiación infrarroja. Todas estas diferentes longitudes de onda de la radiación componen el espectro electromagnético. La métrica para longitudes de onda es metros. Las longitudes de onda de la radiación visible se miden en milmillonésimas de metro -10-9 metros o nanómetros (nm). Las longitudes de onda más cortas de energía visible son alrededor de 380 nm (violeta oscuro). El más largo son unos 770 nm (rojo intenso).

Fisiológica

Pertenece a la respuesta física del cuerpo humano. Iluminación inicia la visión a través de acciones musculares, químicas y neurológicas.

IALD

International Association of Lighting Designers

Asociación Internacional de Diseñadores de Iluminación. Es una asociación profesional dedicada a los intereses de los asesores de iluminación independientes.

IESNA

Illuminating Engineering Society of North America

Sociedad americana de ingeniería en iluminación. Es la organización técnica asociada con la ingeniería y la práctica de la iluminación.

Iluminación localizada

Es aquella proporcionada por un alumbrado diseñado sólo para proporcionar iluminación en un plano de trabajo.

Iluminancia

La cantidad de luz que incide sobre una superficie dada. Aunque importante, la iluminancia es demasiado a menudo el único criterio utilizado para diseñar una solución de iluminación. Esta es una práctica pobre. EE.UU. consuetudinario: footcandiles o fc. SI: lux o lx. Alrededor del 10 por lx = 1 fc.

Lumen

Una medida de la cantidad de luz emitida por una fuente de luz (lámpara, cielo, o el sol) o la caída sobre una superficie independientemente de la direccionalidad.

Luminaria

Equipo de iluminación que distribuye, filtra o controla la luz emitida por una lámpara o lámparas, que incluye todos los accesorios necesarios para fijar, proteger y operar esas lámparas, y los necesarios para conectarse al circuito de utilización eléctrica.

Luz

Es la radiación visible. Ondas de la energía electromagnética que a una frecuencia estimula los fotorreceptores en el ojo. Pensamos en la luz como un "efecto secundario". Vemos lo que sucede después de que las ondas electromagnéticas reaccionan o interactúan con las superficies, objetos y materiales. Este reflejo y / o luz transmitida comprende nuestra escena visual.

Plano de trabajo

Es la superficie horizontal, vertical u oblicua, en la cual generalmente los trabajadores desarrollan su trabajo, con niveles de iluminación específicos.

Psicológica

Para propósitos, relacionados con la respuesta emocional o subjetiva de la mente humana. En otras palabras, la reacción del cerebro a las acciones fisiológicas causada por la luz. Luz y color se cree que influyen en las reacciones psicológicas de las personas e influir en sus preferencias por diversos arquitectónico y / o la configuración del paisaje.

Radiación visible

Colores de la energía electromagnética visible o la radiación visible que no se clasifican como claramente como se muestra. El espectro visible es un continuo de luz un arco iris de colores. No hay una gran unanimidad en la comunidad científica sobre el punto de corte de onda corta de la radiación visible. Algunas referencias citan 400 nm como la energía visible más corta, mientras que otras referencias citan 380 nm. En la corte de onda larga, algunas referencias citan 700 nm, mientras que otros citan a 770 nm como el punto de corte. Este gráfico muestra 380-770 nm. Además, las categorías de color aquí son para referencia simple. Cada categoría de color puede ser refinado (por ejemplo, azul-verde y verde-azul). A los efectos de diseño de iluminación, es razonable asignar simplemente la longitud de onda de color claro mediado de valor dentro del rango que se muestra aquí. Así, por ejemplo, la luz amarilla de 580 nm, la luz azul es de 470 nm, y así sucesivamente.

Reflexión

Es la luz que incide en un cuerpo y es proyectada o reflejada por su superficie con el mismo ángulo con el que incidió.

Tarea visual

Actividad que se desarrolla con determinadas condiciones de iluminación.

Anexos
Ejercicios

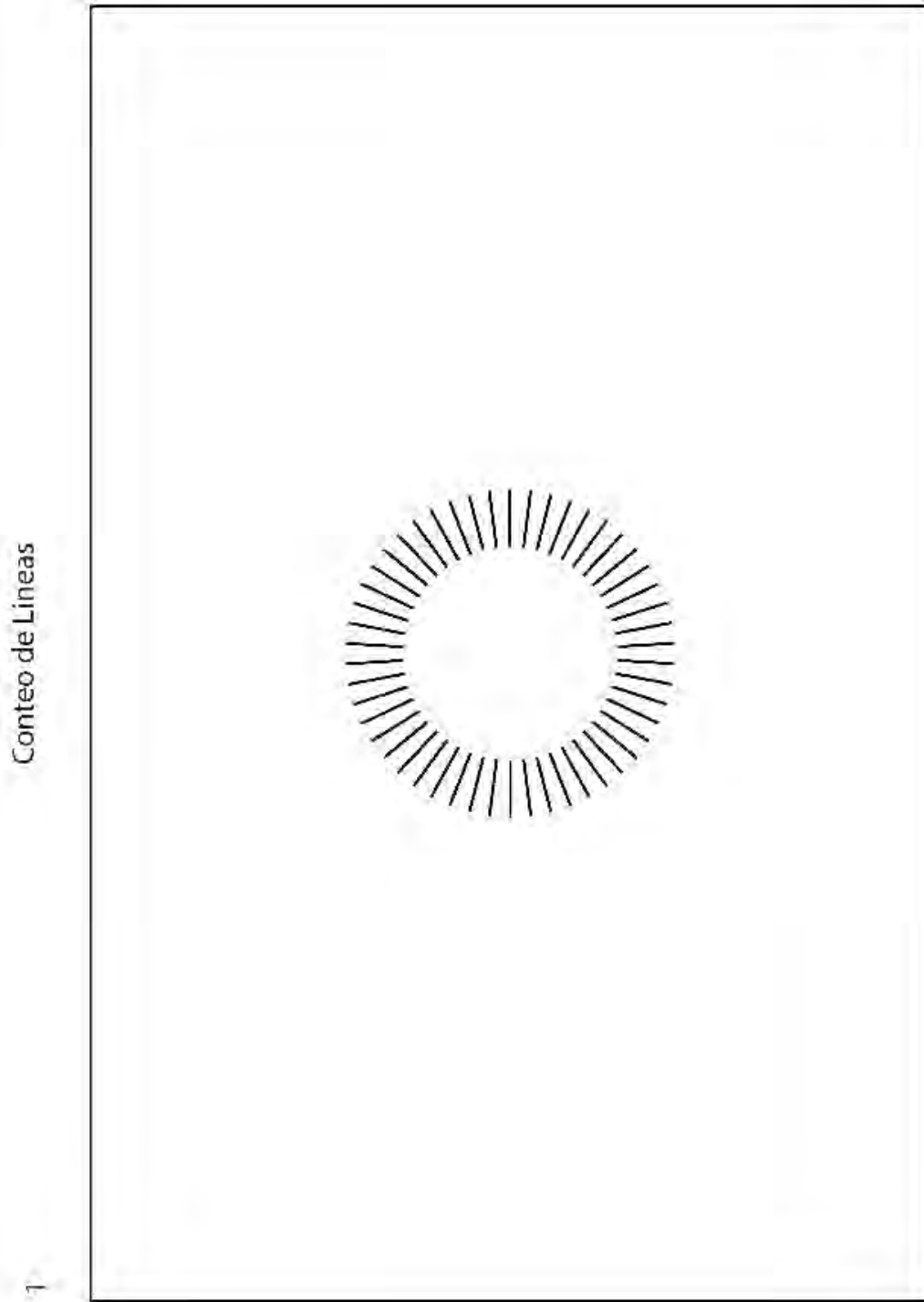


Figura 115. Ejercicio 1 conteo de líneas en alto contraste.

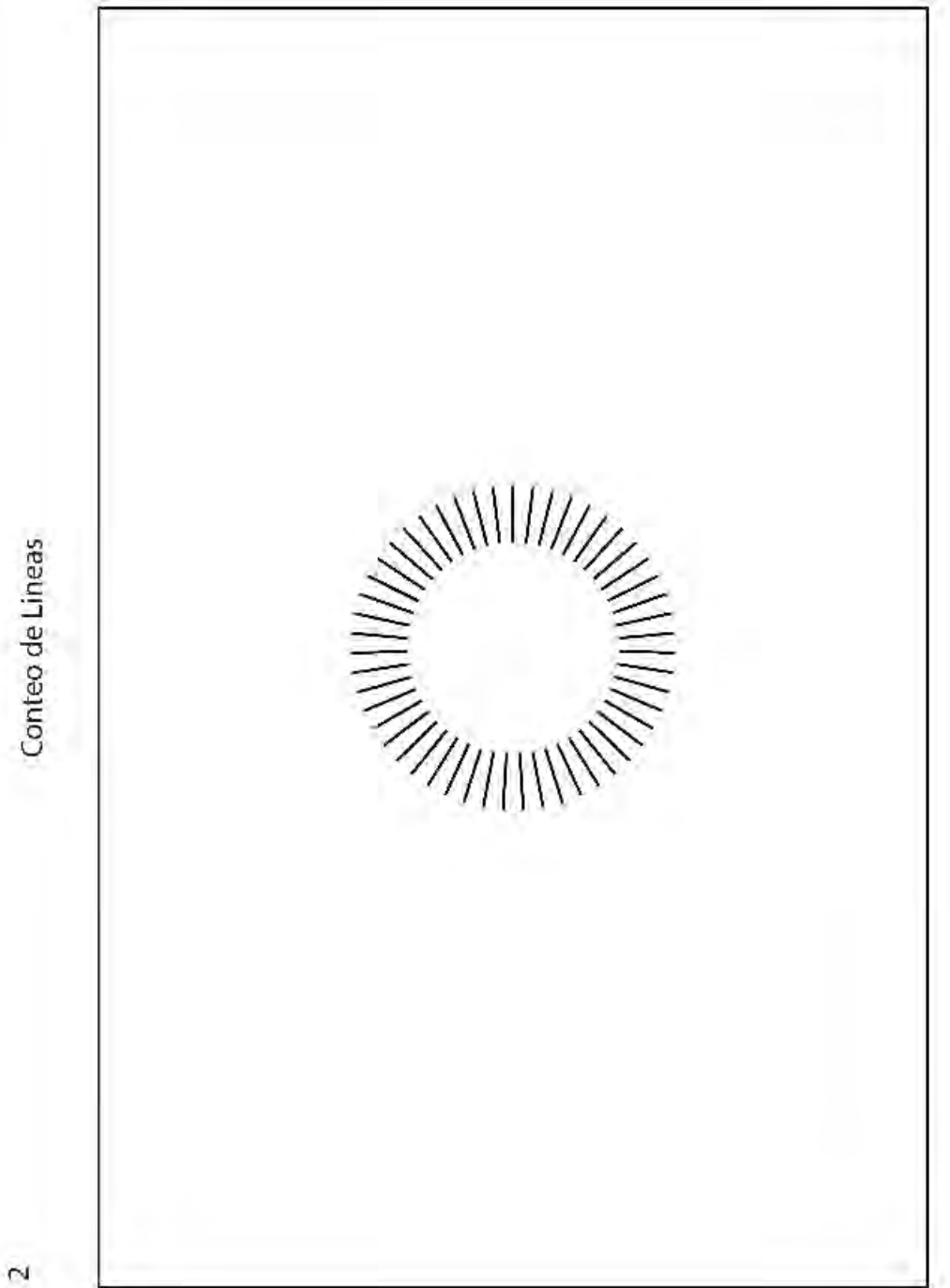


Figura 116. Ejercicio 2 conteo de líneas en alto contraste.

3

Conteo de Líneas

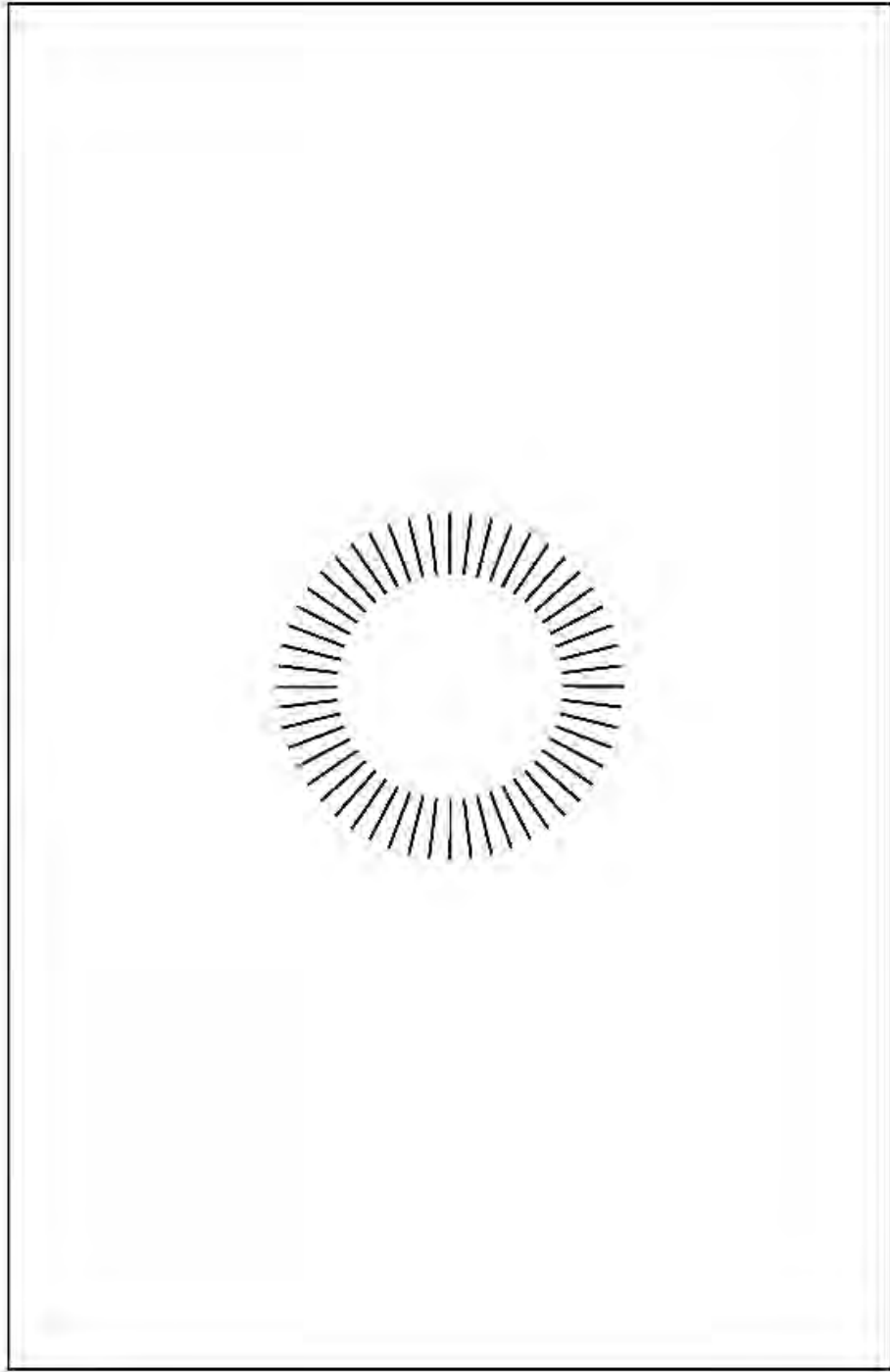


Figura 117. Ejercicio 3 conteo de líneas en alto contraste.

Conteo de Líneas

4

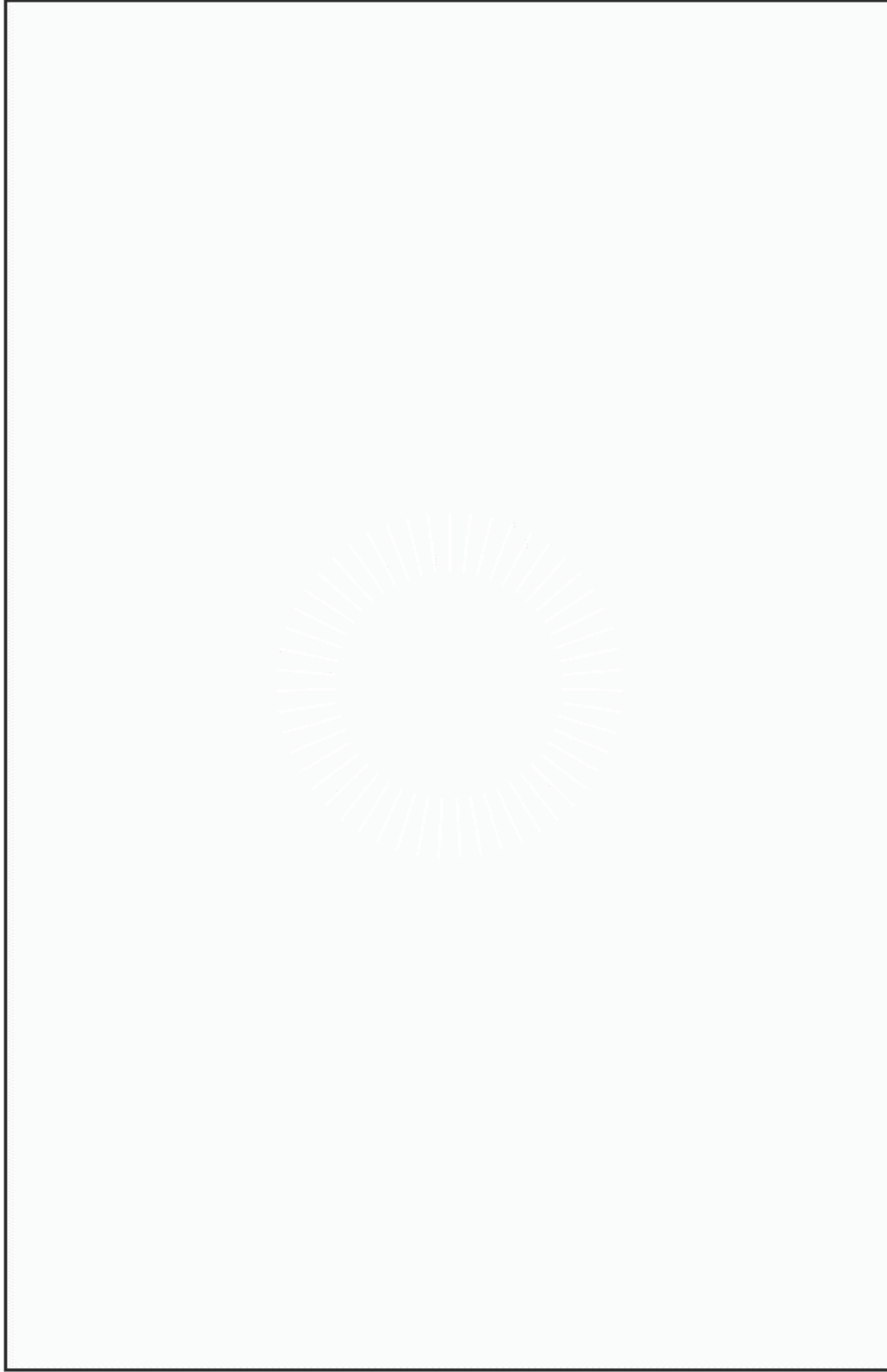


Figura 118. Ejercicio 4 conteo de líneas en bajo contraste.

Conteo de Líneas

5

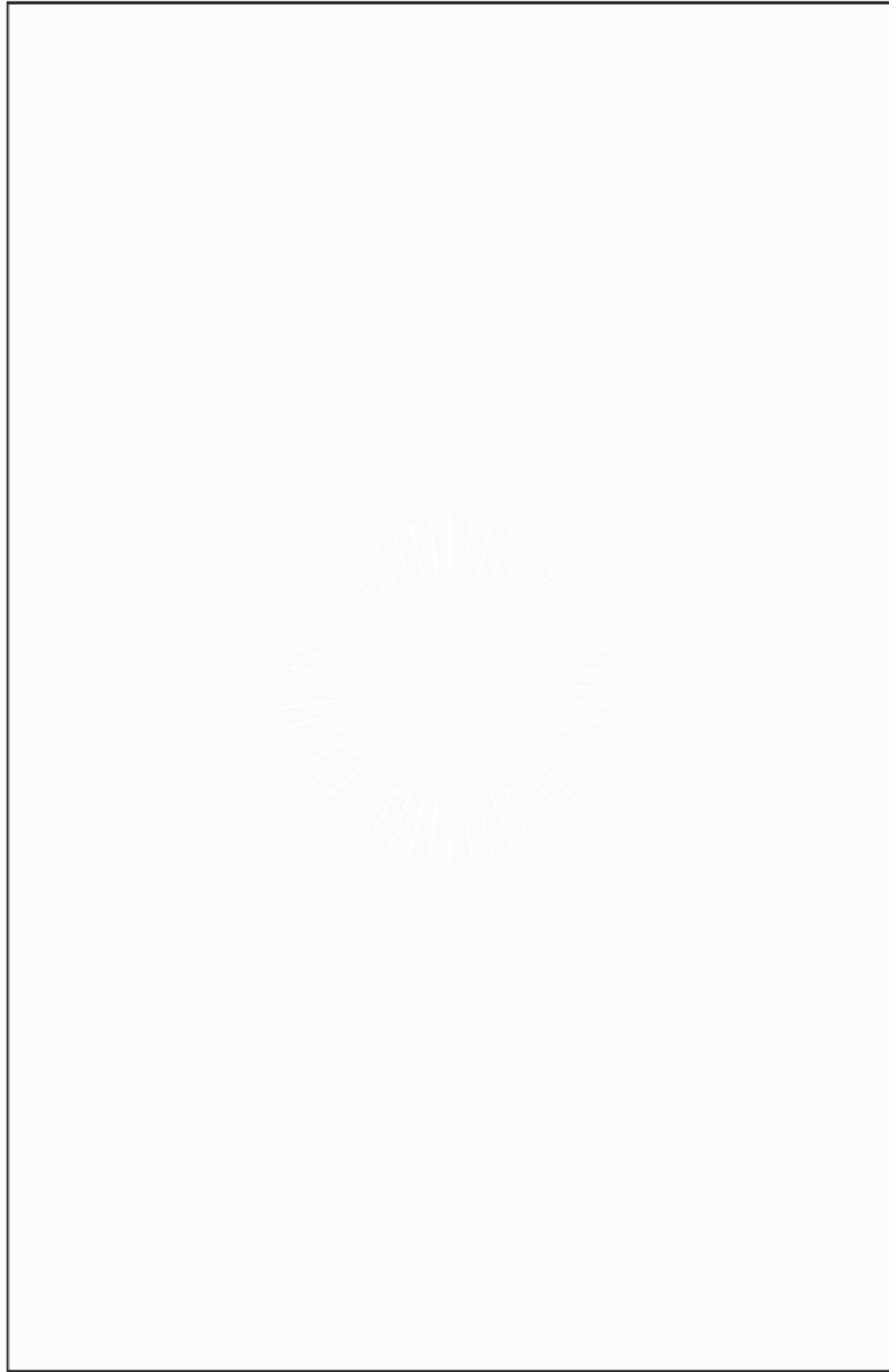


Figura 119. Ejercicio 5 conteo de líneas en bajo contraste.

Conteo de Líneas

6



Figura 120. Ejercicio 6 conteo de líneas en bajo contraste.

7

Detección de caracteres

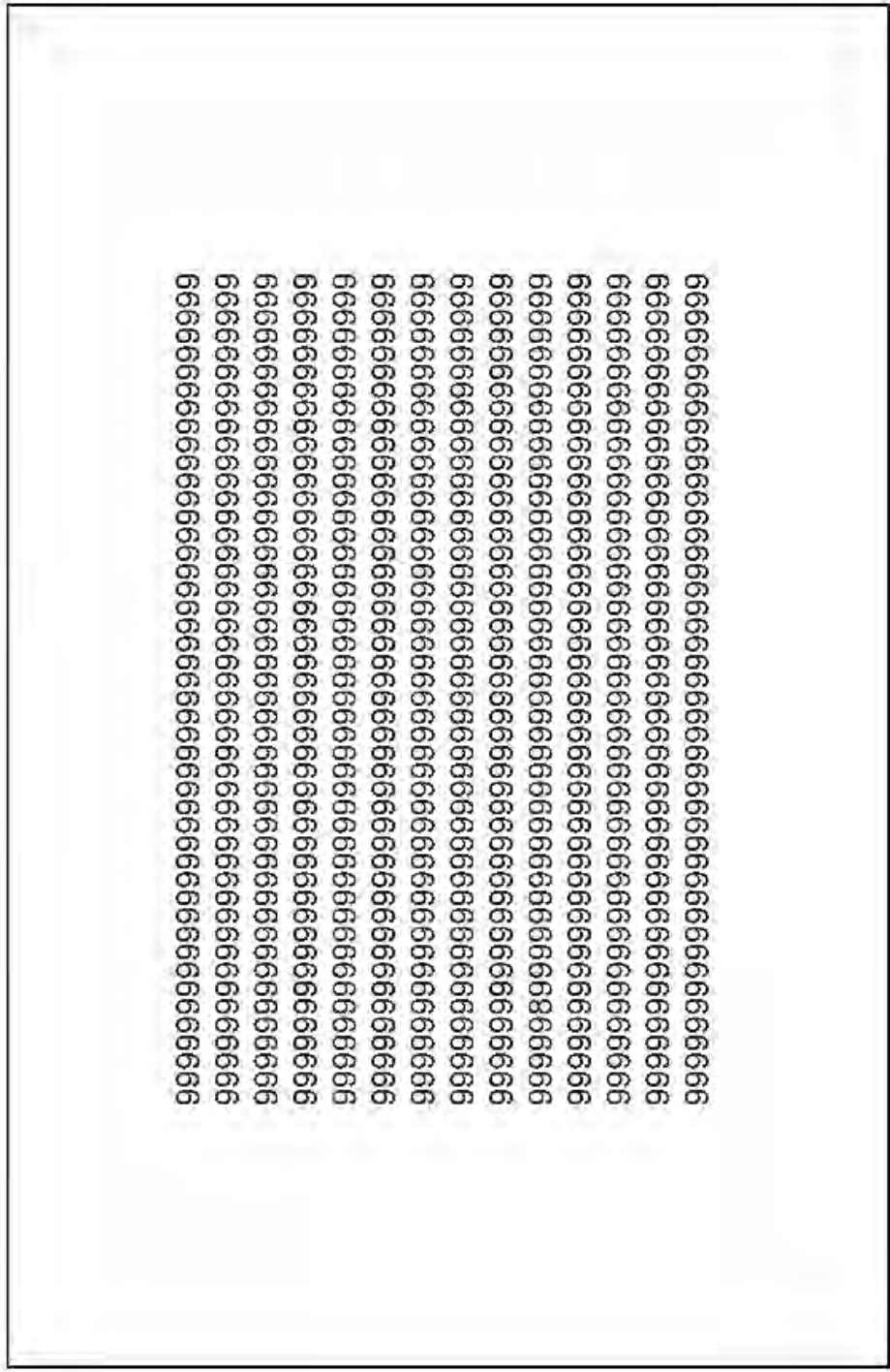


Figura 121. Ejercicio 7 detección de caracteres en alto contraste.

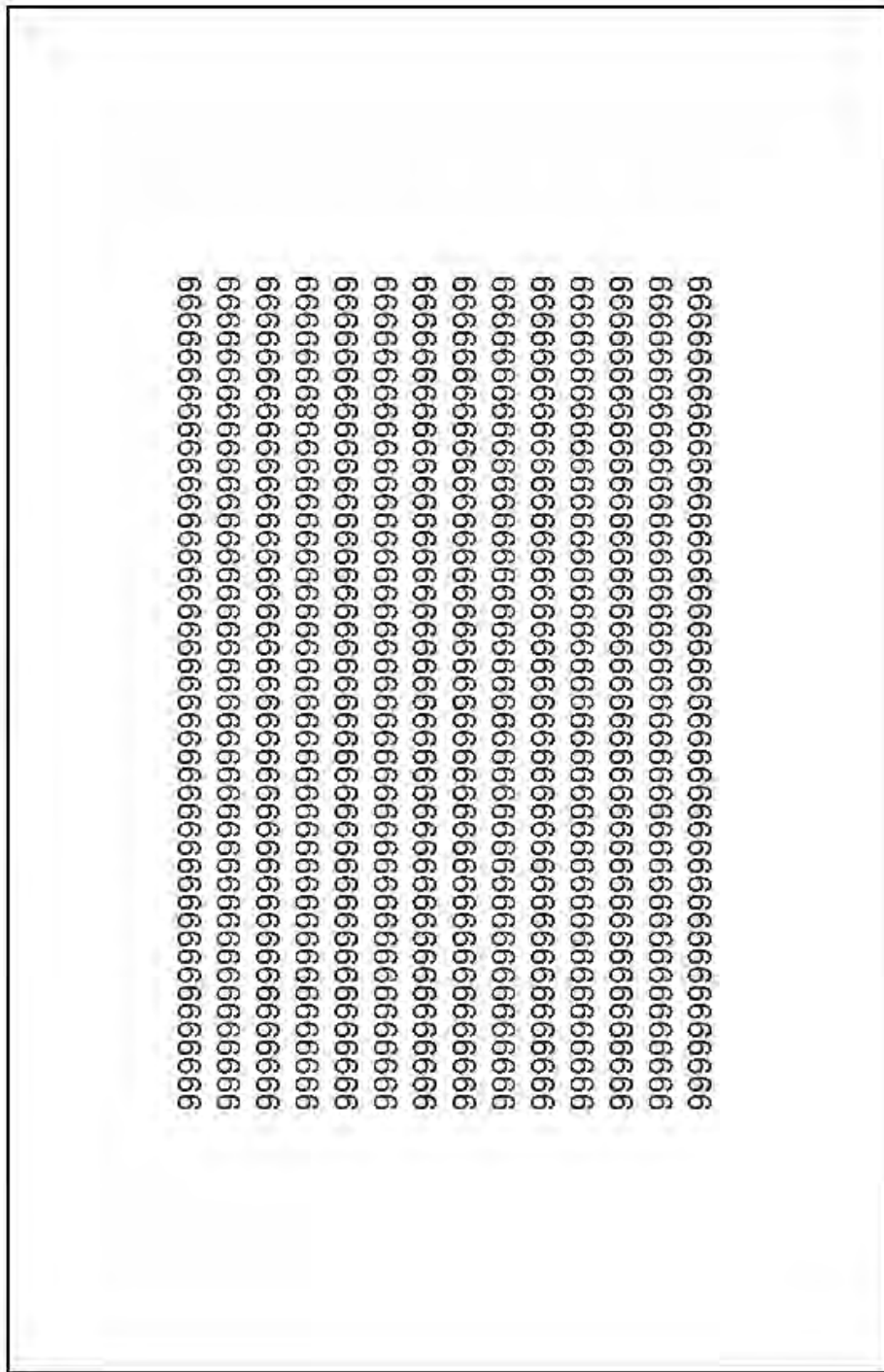


Figura 122. Ejercicio 8 detección de caracteres en alto contraste.

10

Detección de caracteres

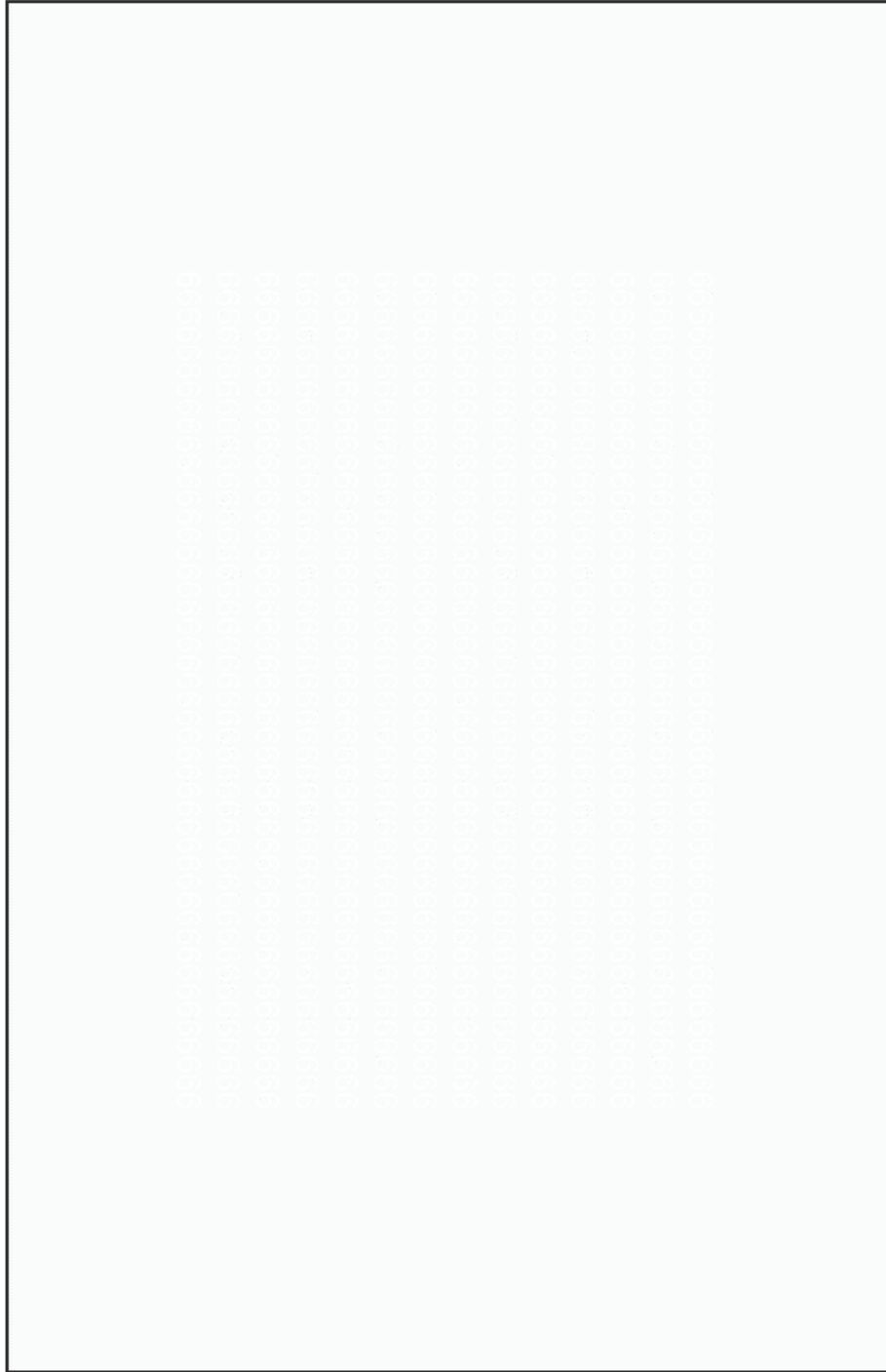


Figura 124. Ejercicio 10 detección de caracteres en bajo contraste.

11

Detección de caracteres

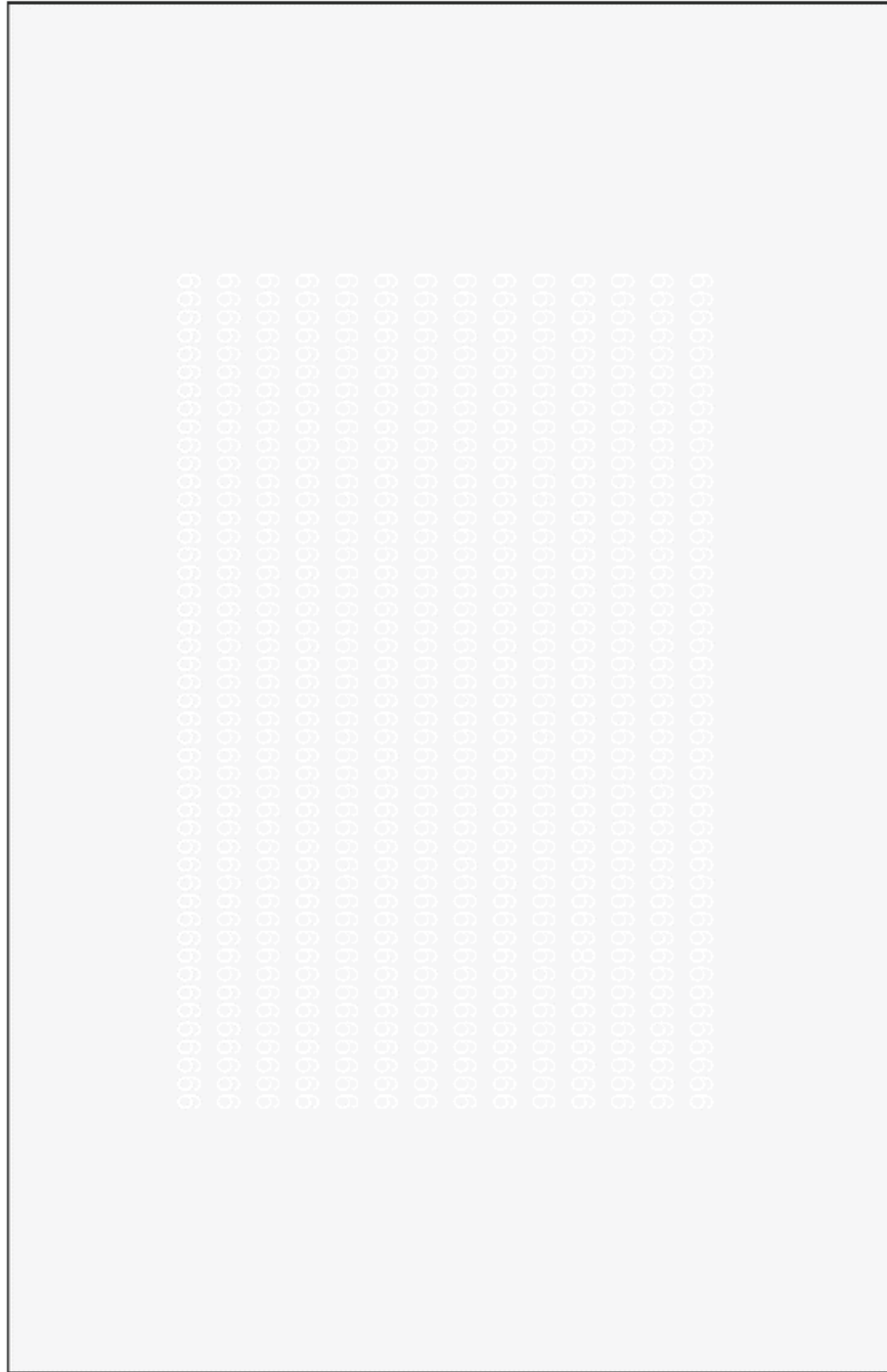


Figura 125. Ejercicio 11 detección de caracteres en bajo contraste.

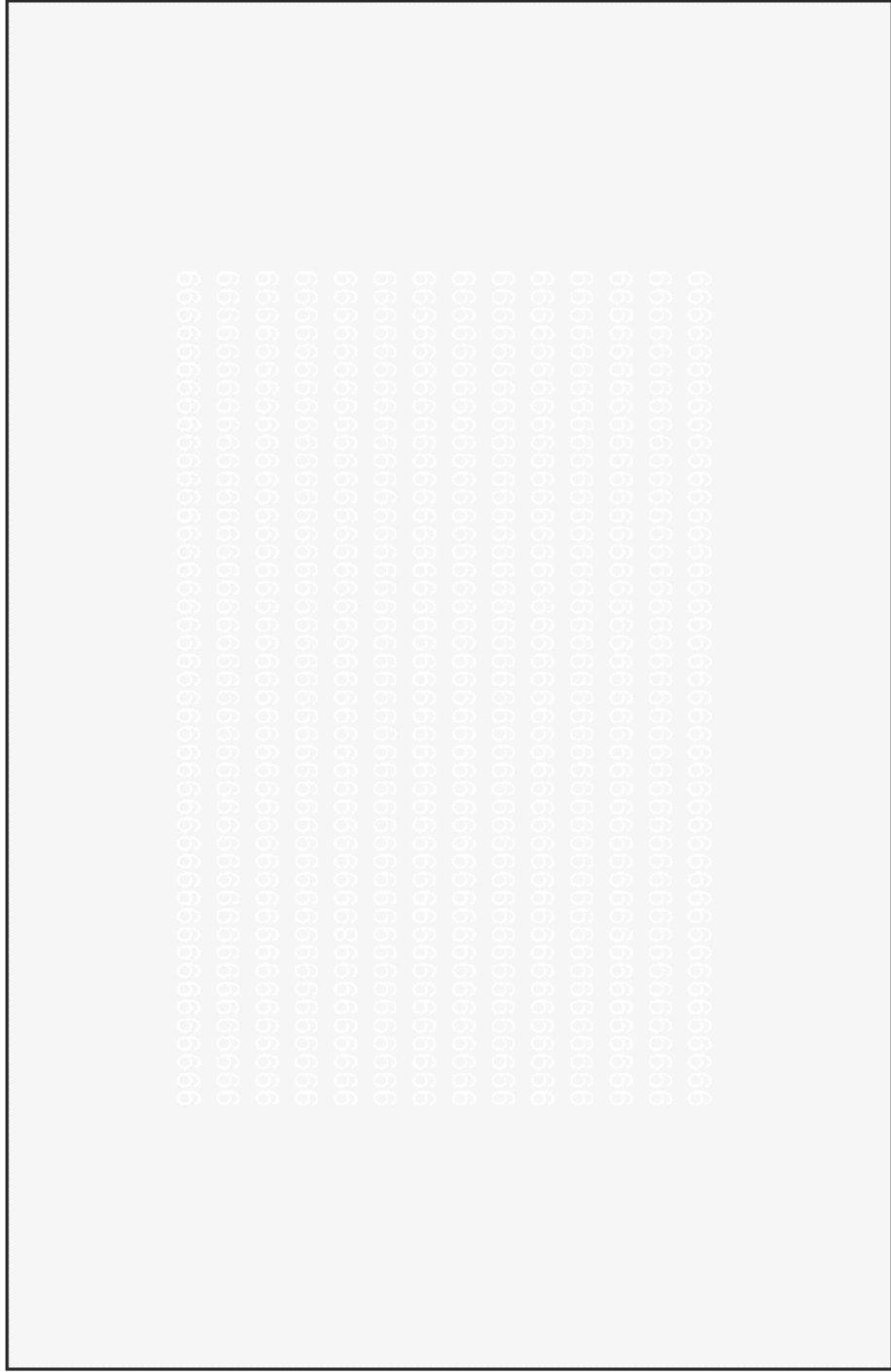


Figura 126. Ejercicio 12 detección de caracteres en bajo contraste.

13

Copia de Texto

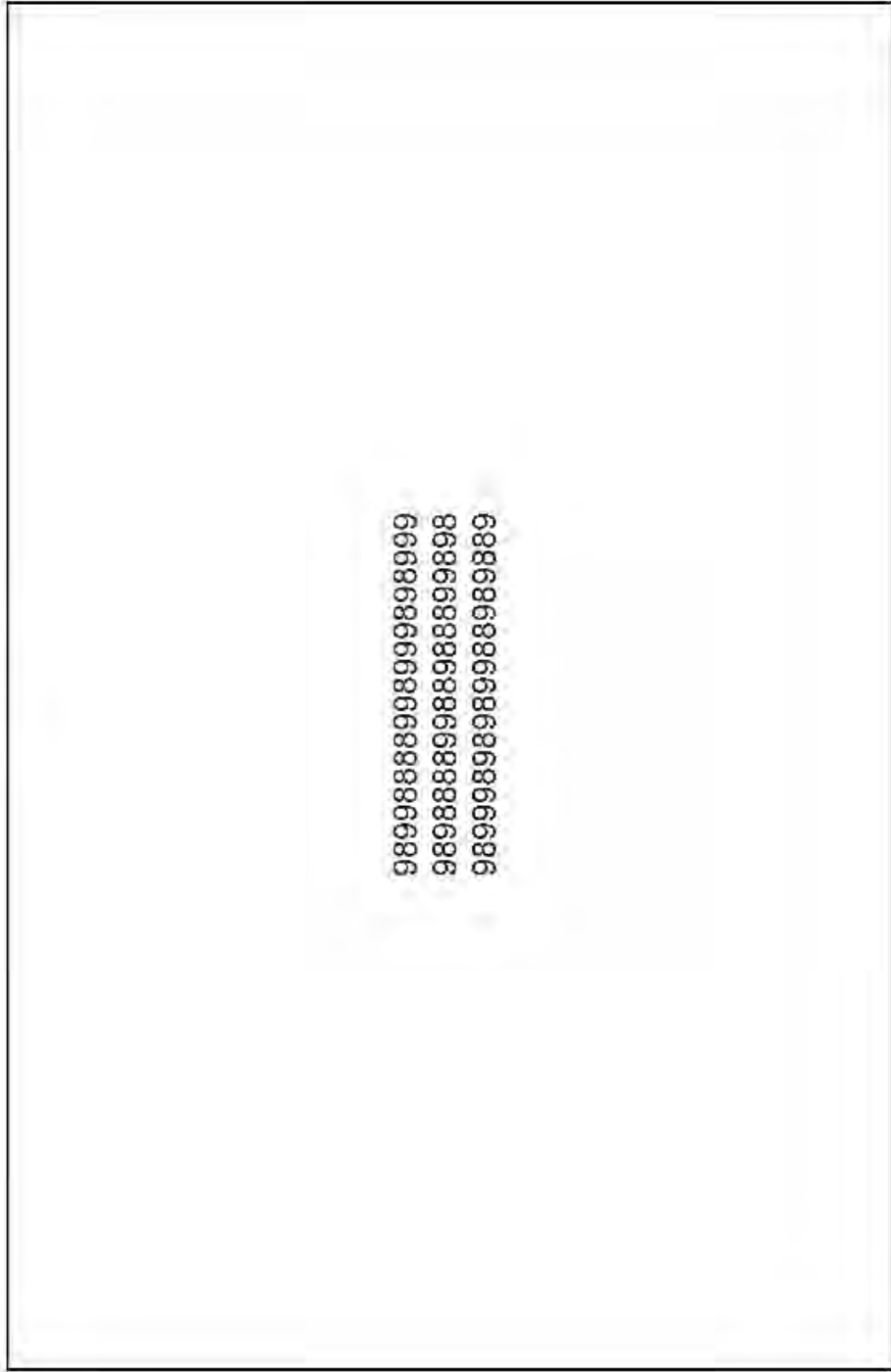


Figura 127. Ejercicio 13 copia de textos en alto contraste.

14

Copia de Texto

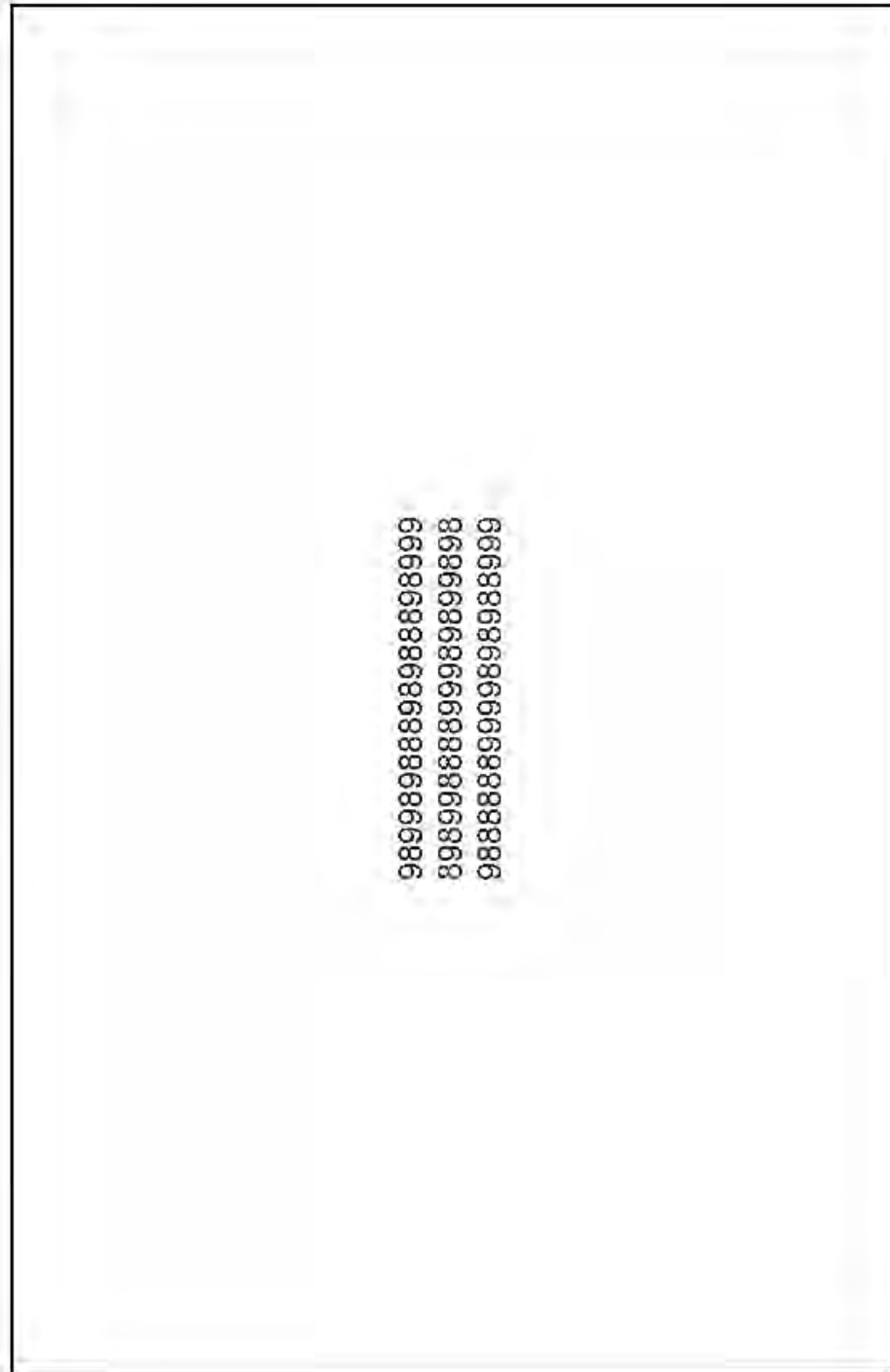


Figura 128. Ejercicio 14 copia de textos en alto contraste.

15

Copia de Texto

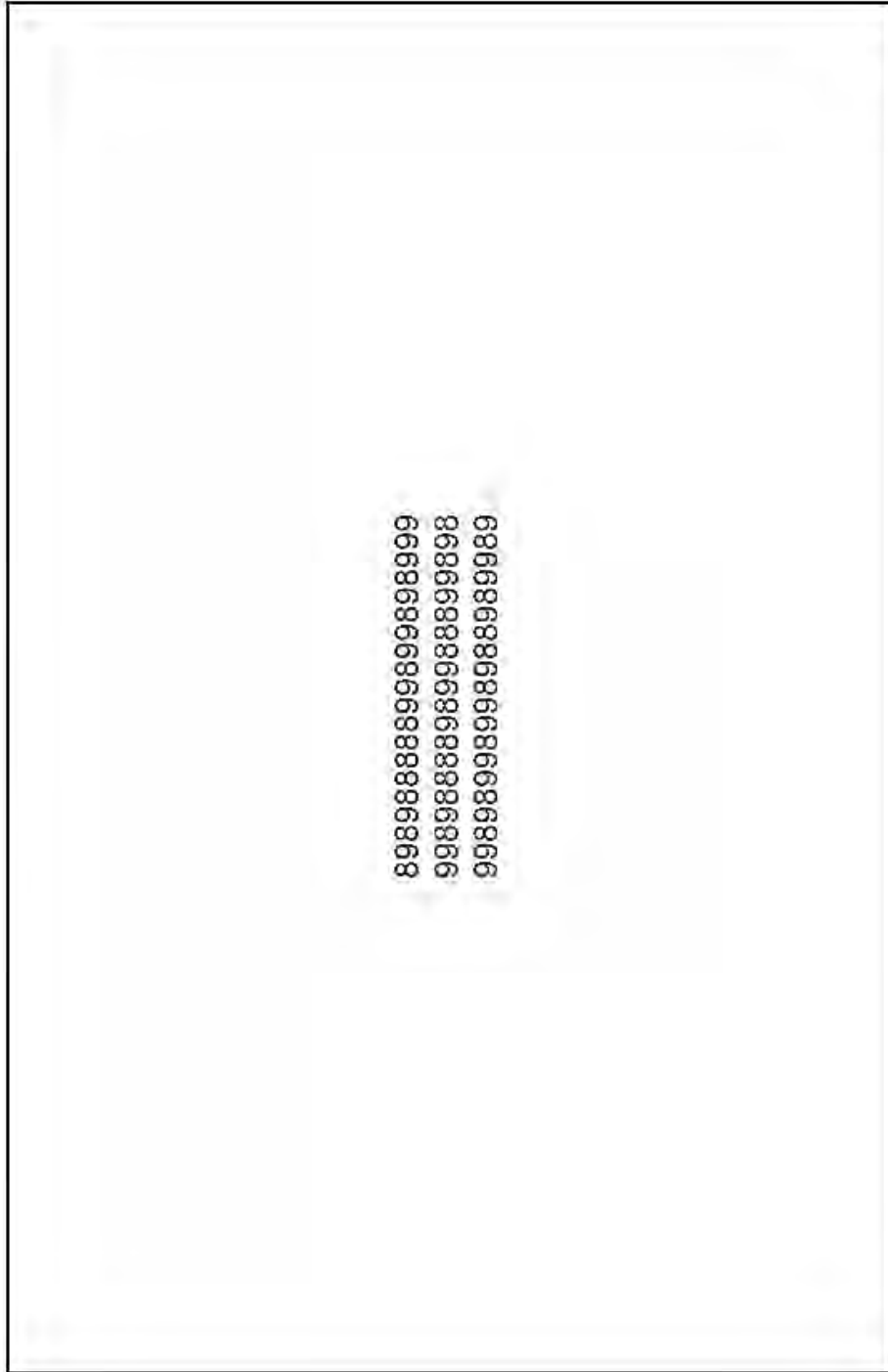


Figura 129. Ejercicio 15 copia de textos en alto contraste.

16

Copia de Texto

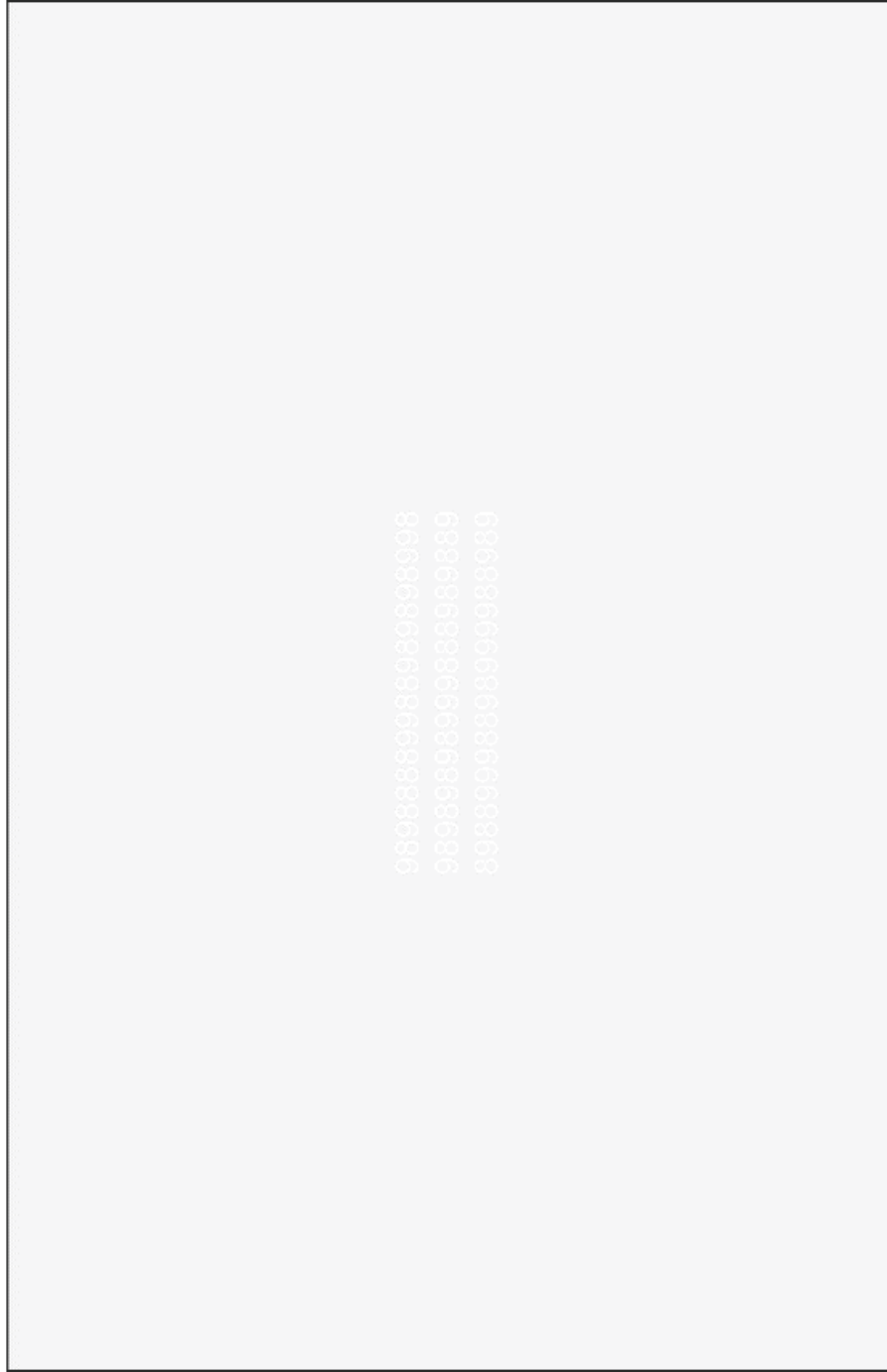


Figura 130. Ejercicio 16 copia de textos en bajo contraste.

18

Copia de Texto

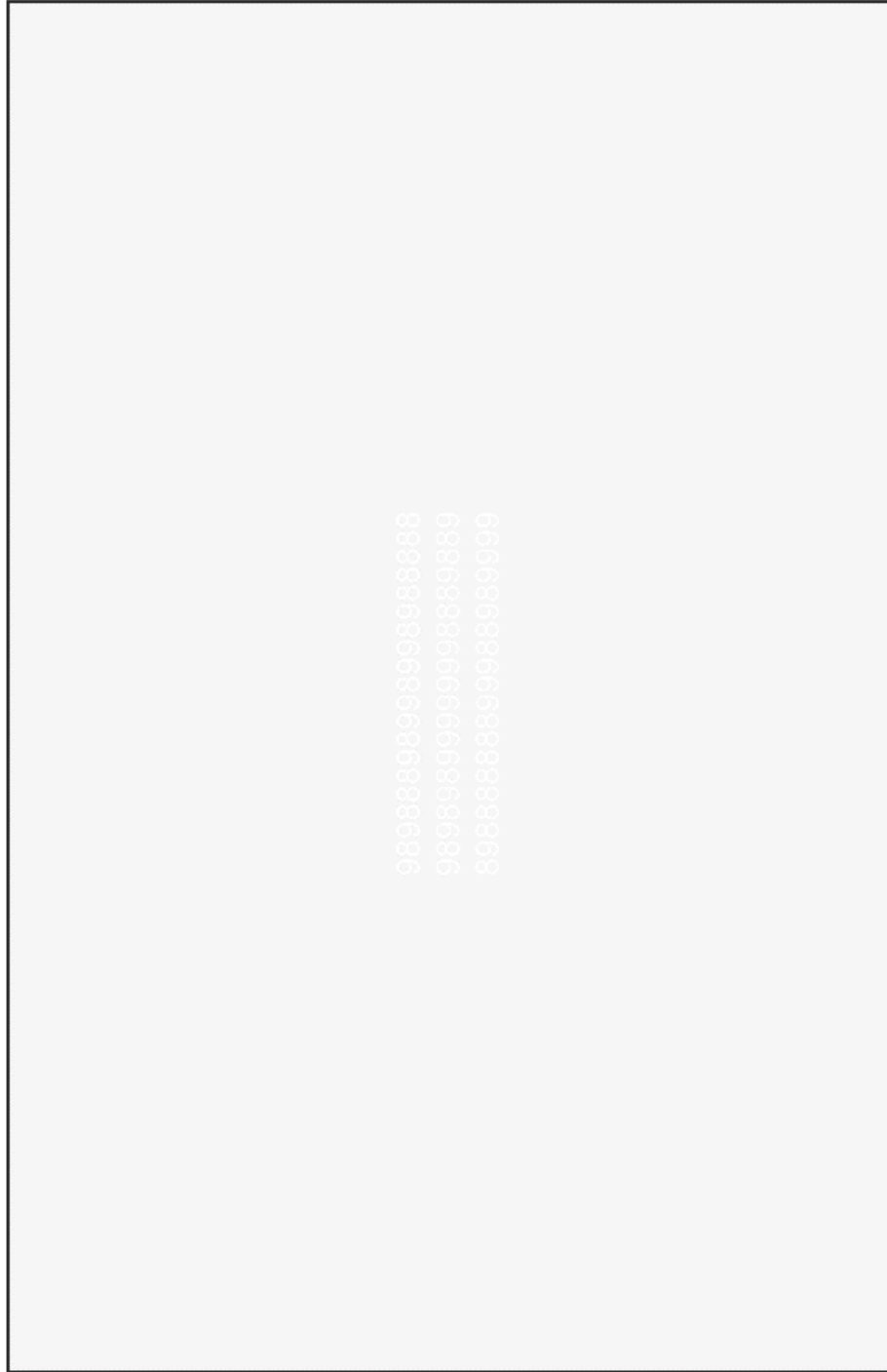



Figura 132. Ejercicio 18 copia de textos en bajo contraste.


Encuestas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría, Doctorado en Diseño

ILUMINACIÓN Y PRODUCTIVIDAD



CYAD
Ciencias y Artes para el Diseño

Nombre:

Fecha: / /

Hora: :

Mi estado de animo es:					
1	Preguntas	Sí	algo	no mucho	No
Preferencias	1. Le gusta la iluminación de este lugar				
	2. En general, La iluminación en este lugar es confortable.				
	3. Este color de la luz que me permitió llevar a cabo las diferentes tareas.				
	4. Mi piel se ve natural bajo esta la luz.				
	5. La iluminación en este lugar parece muy cálida.				
	6. La iluminación en este lugar parece muy fría.				
Síntomas	7. Siento los ojos cansados.				
	8. Siento mis parpados pesados.				
	9. Siento resequedad en los ojos.				
	10. Me arden los ojos.				
	11. Me da dolor de cabeza trabajando bajo esta luz.				
	12. Tengo dificultades para ver objetos en la hoja de papel.				

Mi estado de animo es:					
2	Preguntas	Sí	algo	no mucho	No
Preferencias	1. Le gusta la iluminación de este lugar				
	2. En general, La iluminación en este lugar es confortable.				
	3. Este color de la luz que me permitió llevar a cabo las diferentes tareas.				
	4. Mi piel se ve natural bajo esta la luz.				
	5. La iluminación en este lugar parece muy cálida.				
	6. La iluminación en este lugar parece muy fría.				
Síntomas	7. Siento los ojos cansados.				
	8. Siento mis parpados pesados.				
	9. Siento resequedad en los ojos.				
	10. Me arden los ojos.				
	11. Me da dolor de cabeza trabajando bajo esta luz.				
	12. Tengo dificultades para ver objetos en la hoja de papel.				

Mi estado de animo es:					
3	Preguntas	Sí	algo	no mucho	No
Preferencias	1. Le gusta la iluminación de este lugar				
	2. En general, La iluminación en este lugar es confortable.				
	3. Este color de la luz que me permitió llevar a cabo las diferentes tareas.				
	4. Mi piel se ve natural bajo esta la luz.				
	5. La iluminación en este lugar parece muy cálida.				
	6. La iluminación en este lugar parece muy fría.				
Síntomas	7. Siento los ojos cansados.				
	8. Siento mis parpados pesados.				
	9. Siento resequedad en los ojos.				
	10. Me arden los ojos.				
	11. Me da dolor de cabeza trabajando bajo esta luz.				
	12. Tengo dificultades para ver objetos en la hoja de papel.				

Tabla 34. Encuesta.

Hoja de Respuestas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría, Doctorado en Diseño



ILUMINACIÓN Y PRODUCTIVIDAD

Nombre:

Fecha: / /

Posición:

Edad: Uso Lentes: Sí No

Hora de entrada: : :

Hora de salida : :

Ubicación del ejercicio

Cantidad de Luminancia en el plano de trabajo

Contraste en el plano de trabajo y el fondo

Temperatura de color de la fuente luminosa

Hoja de Papel Monitor

Fria Neutra Calida

Iluminancia

Nº Ejercicio	lux	lux																											
1.- Conteo de líneas																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Nº</th><th>Tiempo</th><th>Respuesta</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nº	Tiempo	Respuesta							<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Nº</th><th>Tiempo</th><th>Respuesta</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nº	Tiempo	Respuesta							<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Nº</th><th>Tiempo</th><th>Respuesta</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nº	Tiempo	Respuesta						
Nº	Tiempo	Respuesta																											
Nº	Tiempo	Respuesta																											
Nº	Tiempo	Respuesta																											
2.- Detección de Caracteres																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Nº</th><th>Tiempo</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nº	Tiempo					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Nº</th><th>Tiempo</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nº	Tiempo					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Nº</th><th>Tiempo</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nº	Tiempo													
Nº	Tiempo																												
Nº	Tiempo																												
Nº	Tiempo																												
4.- Copia de Textos																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Nº</th><th>Tiempo</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nº	Tiempo					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Nº</th><th>Tiempo</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nº	Tiempo					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr><th>Nº</th><th>Tiempo</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>	Nº	Tiempo													
Nº	Tiempo																												
Nº	Tiempo																												
Nº	Tiempo																												

Tabla 35. Formato de la hoja de Respuestas.

Currículum vitae

CURRÍCULUM VITAE

Arq. Erick Plesent Solís

DATOS PERSONALES

Nacionalidad: mexicana

Lugar de Nacimiento: México, D.F.

Edad: 30 años

Fecha de Nacimiento: 23/01/1986

Estado civil: Soltero

Profesión: Lic. en Arquitectura

Cédula Profesional: 6723224

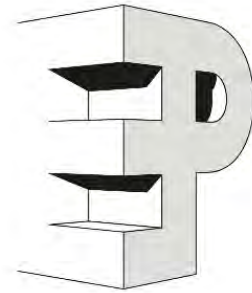
C.U.R.P.: PESE860123HDFLLR02

R.F.C.: PESE8601238Y3

Teléfonos: Casa: 4173876
Celular: 5518280849

Dirección: Calle: Sierra Breña #19
Col. Parque Residencial Coacalco
Coacalco de Berriozabal, Méx.
C.P. 55720

Correo electrónico: eplesent@gmail.com



ESTUDIOS PROFESIONALES

Licenciatura en Arquitectura y Especialidad en Diseño Bioclimático

Escuela: Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)

Plantel: UAM Azcapotzalco.

Fecha: Julio 2013.

Idiomas: Español (lengua materna), inglés, francés

Objetivo:

Desempeñarme en un ambiente de trabajo sano, competitivo y creativo, de tal manera, pretendo crecer en mi vida profesional y personal para un bien común.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Cargo: Ayudante de Posgrado

Lugar: Posgrado en diseño UAM Azcapotzalco

En colaboración con el Dr. Jorge Sánchez de Antuñano (Coordinador de Posgrado en Diseño)

Fecha: abril 2014 hasta la fecha actual

Actividades: Investigación

Cargo: Instructor de programas de computo

Lugar: Coordinación de Servicios de Cómputo UAM Azcapotzalco

en colaboración con el Ing. Saúl Figueroa García (Jefe de la Sección de Servicios)

Fecha: De enero 2012

Actividades: Impartir cursos de Autocad, 3D Studio Max y Sketchbook Designer

Cargo: Asistente Responsable del Laboratorio de Medios Digitales y de Nuevas Tecnologías

Lugar: Posgrado en diseño UAM Azcapotzalco

En colaboración con el Dr. Jorge Sánchez de Antuñano (Coordinador de Posgrado en Diseño)

Fecha: De noviembre 2010

Actividades: Investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, Asesoramiento para proyectos de tesis para alumnos de posgrado de las líneas de Arquitectura Bioclimática y Nuevas tecnologías.

Cargo: Residente de obra

Lugar: Casetas de cobro carretera San Martin Texmelucan - Puebla

Fecha: De septiembre 2010 a noviembre 2010

Empresa: AMG arquitectos s.a. de c.v.

Actividades: Supervisión de obra desde la cimentación hasta acabados, Revisión de catálogo de conceptos y Números Generadores.

Cargo: Dibujante Profesional

Lugar: col. Escandón Mex. D.F.

Fecha: De febrero 2010 a septiembre 2010

Empresa: Tlamachqui s.a de c.v Tlamachqui.com

Actividades: Arquitectura Digital tridimensional y Animación Digital, Reconstrucción Virtual de Ciudades Prehispánicas para exposición en el Museo Nacional de Antropología e historia (INAH), Imágenes Digitales Para (Fonatur) y UAM azcapotzalco

Cargo: Residente de obra

Lugar: Casa Habitación - Tlalnepantla Edo. Mex.

Fecha: De enero 2010 a febrero 2010

Empresa: AMG arquitectos s.a. de c.v.

Actividades: Supervisión de obra, Dibujante de planos arquitectónicos e Instalaciones

Cargo: Residente de obra en Arquitectura del Paisaje y Dibujante

Lugar: Archivo General De la Nación (AGN) antigua cárcel de Lecumberri

Fecha: De noviembre 2009 a enero 2010

Empresa: FONATUR

Actividades: Remodelación de la arquitectura del paisaje, Supervisión de obra, desarrollo de dibujos para detalles de plantación y aplicación de cimentación plantación en obra, planos de canalización para agua pluvial y planeación de riego.

Cargo: Dibujante

Lugar: UAM Azcapotzalco

Fecha: De agosto 2008 a noviembre 2008

Empresa: UAM Azcapotzalco

Actividades: Desarrollo y propuesta de Remodelación de la Biblioteca del planten Azcapotzalco

EXPERIENCIA EN USO DE SOFTWARE

Sistemas operativos Windows y Mac, Office, AutoCAD, Rhinoceros, 3DstudioMax, Revit, Lumion, Ecotect, Design Builder, Adobe Photoshop.