

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

FACTORES DEL AMBIENTE LUMÍNICO IMPLICADOS EN LA MEMORIZACIÓN A CORTO PLAZO CON PANTALLAS DE COMPUTADORA EN ALUMNOS DE PREGRADO

Yadira Benítez Hernández

Tesis para optar por el grado de Maestra en Diseño
Posgrado en Diseño Bioclimático

Miembros del Jurado:

Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas
Director de la tesis

Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet

Ing. Douglas Leonard Covarrubias

Psic. Felipe De Jesús Gutiérrez Barajas

Dr. Rodrigo Ramírez Ramírez

Dr. José Roberto García Chávez

Ciudad de México

Abril 2018

Dedicatoria

*A mi madre y hermanas por el amor, la vida compartida
y los sueños logrados.*

A Carlos por su amor a la vida.

A Jade, Mauricio y a los que vendrán, porque en su valor ante la vida está el futuro.

Agradecimientos

Mi agradecimiento profundo a todas las personas que colaboraron en la realización de esta investigación.

A mis asesores: Salvador Ulises Islas Barajas, Víctor Armando Fuentes Freixanet, Douglas Leonard Covarrubias y Felipe De Jesús Gutiérrez Barajas; por su valioso tiempo, consejo y apoyo.

A Carlos por su valiosa opinión, trabajo y apoyo incondicional.

A mi madre y hermanas por su ejemplo de perseverancia.

A todos los estudiantes y profesores que participaron en esta investigación.

A la Universidad Autónoma Metropolitana por acercarme a un nuevo mundo de conocimientos.

Resumen

La tendencia actual en la educación dentro de las aulas es el uso de medios tecnológicos, principalmente el uso de pantallas de computadora. El objetivo de esta investigación es conocer la relación entre el alumno, la pantalla de visualización y el ambiente luminoso, para determinar las condiciones que favorecen al proceso cognitivo. Esta investigación de tipo experimental se realizó en un laboratorio de iluminación artificial; donde 54 sujetos fueron sometidos a pruebas de percepción y memorización a corto plazo en seis escenarios de iluminación, durante dos fases de experimentación. Los escenarios fueron diseñados para controlar la cantidad de iluminación general y la luminancia del fondo reflejado en una pantalla de computadora tipo especular; con la finalidad de determinar si estas dos variables tienen influencia en la memorización a corto plazo.

El control de las variables en el diseño experimental comenzó con la determinación de cuatro factores de iluminación involucrados en la percepción de las pantallas de computadora: *la iluminancia vertical en el plano de trabajo, la luminancia horizontal en el campo de visión, la luminancia del fondo reflejado y la luminancia de la pantalla.*

A partir del control de las variables, también se diseñó un elemento de evaluación que tuvo como objetivo; la medición cualitativa en función del confort visual y la medición cuantitativa, relacionada con la memorización a corto plazo. Para evaluar la memorización se empleó un método utilizado en el área de la psicología basado en la retención de listas de sílabas sin sentido.

El análisis de los datos obtenidos se realizó mediante un estudio correlacional de las variables involucradas en la experimentación, se determinó principalmente el brillo de confort en las pantallas, la percepción del ambiente lumínico y la memorización a corto plazo. Se estableció la existencia de una variable extraña involucrada en la experimentación, también se determinó el ambiente percibido en confort visual, a partir del cual la memorización a corto plazo aumenta. Además, se determinaron las correlaciones estadísticas entre los factores de iluminación involucrados en la percepción de una pantalla de computadora.

En esta investigación los sujetos que participaron en la experimentación determinaron como ambiente de confort, el escenario con 500 lux en el plano de trabajo horizontal; y fondo de reflejo en color negro. Los sujetos presentaron mayor memorización en iluminancias más altas, sin embargo, a mayores iluminancias el ambiente luminoso se comenzó a percibir como deslumbrante.

Índice de contenido

Resumen	IV
Introducción	1
CAPÍTULO I. Antecedentes Tecnología y Educación	4
1.1 Marco teórico	4
1.2 Calidad de la iluminación	7
1.2.1 Desempeño humano como factor en la calidad de la iluminación.	8
1.2.2 Arquitectura como factor en la calidad de la iluminación.	9
1.2.3 Energía como factor de la calidad de la iluminación.	11
1.3 El implemento de la tecnología en la educación pública	12
1.4 Aulas de cómputo en México y América Latina	15
1.4.1 Universidad Autónoma Metropolitana UAM Azcapotzalco	15
1.4.2 Biblioteca Nacional De Ciencia y Tecnología Del Instituto Politécnico Nacional	22
1.4.3 Departamento de Computación del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional CINVAESTAV	25
1.4.4 Centro de Cómputo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM	27
1.4.5 Área de Cómputo de la Biblioteca de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM	28
1.4.6 Escuelas de Educación básica en Chile	29
1.5 Nuevas tecnologías en la educación y avances en iluminación natural y artificial	31
1.5.1 Nuevas Tecnologías en la Educación	31
1.5.2 Avances en iluminación natural	33
1.5.3 Avances en iluminación artificial	37
1.6 Normatividad	41
CAPÍTULO II Ciencia de la iluminación	45
2.1 Espectro de la luz	45
2.2 Color	46
2.3 Temperatura de color	47
2.4 Índice de Reproducción Cromática IRC y Modelo TM-30-15	48
2.5 Propiedades ópticas de la luz	49
2.6 Unidades de medida	52
2.7 Ambiente luminoso	55

2.7.1 Deslumbramiento	59
2.8 La luz natural en el diseño arquitectónico	67
2.9 La luz artificial en el diseño arquitectónico	70
CAPÍTULO III Ser humano y la luz	78
3.1 Fisiología del ojo	78
3.1.1 Percepción de la imagen	78
3.2 La Psicología y la luz	85
3.3 Ser humano y las pantallas de computadora	86
3.3.1 Problemas causados por el deslumbramiento de las pantallas	86
3.3.2 Características de las pantallas	87
3.3.3 Brillo de las pantallas de computadoras	89
CAPÍTULO IV Diseño experimental	90
4.1 Control de variables	90
4.1.1 Control de variables en los espacios a evaluar	92
4.1.2 Control de variables de los sujetos a evaluar	107
4.1.3 Control de variables en la evaluación	108
4.2 Formulación de nuevas hipótesis	115
CAPÍTULO V. Experimentación	117
5.1 Método	117
5.2 Pruebas piloto	127
5.2 Pruebas finales	130
CAPÍTULO VI. Análisis de datos	135
6.1 Análisis descriptivo de los datos	135
6.1.1 Variables a nivel nominal	135
6.1.2 Variables a nivel intervalo	140
6.2 Análisis comparativo de datos	159
6.2.1 Prueba de Pareto	160
6.2.2 Iluminancia respecto al nivel de brillo de confort NBC	161
6.2.3 Luminancia del fondo respecto al nivel de brillo de confort NBC	164
6.2.4 Iluminancia respecto a número de sílabas memorizadas SM	165
6.2.5 Luminancia del fondo respecto a palabras memorizadas	169
6.2.6 Correlación de SM, NBC y percepción	174

6.2.7 Diferencias por género	182
6.2.8 Revisión de hipótesis planteadas	187
6.3 Experimentación complementaria	192
6.3.1 Descripción de las variables nominales	196
6.3.2 Descripción de las variables a nivel intervalo	199
6.3.2 Análisis de datos para experimentación complementaria	205
Conclusiones	208
Bibliografía	222
ANEXOS	225
ANEXO A	226
ANEXO B	227
ANEXO C	228

Índice de tablas

Tabla 1. (1A) Sistemas de iluminación natural con luz difusa	33
Tabla 2. (1B) Sistemas de iluminación natural con sombra, redireccionando la luz directa del sol.....	34
Tabla 3. (2A) Sistemas guía de luz difusa, (2A) Sistema guía de luz directa.....	35
Tabla 4. (2B) Sistemas guía de luz difusa, (2C) Sistema de dispersión, (2D) Transporte de luz.....	36
Tabla 5. Niveles mínimos de iluminación	42
Tabla 6. Niveles máximos de reflexión	42
Tabla 7. Niveles mínimos de iluminación	44
Tabla 8. Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de la tarea	57
Tabla 9. Índice de deslumbramiento G.....	65
Tabla 10. Índice de deslumbramiento unificado URG	66
Tabla 11. Clasificación de lámparas de acuerdo con el flujo luminoso	72
Tabla 12. Clasificación de lámparas de acuerdo con el flujo luminoso	76
Tabla 13. Luminancias por defecto y recomendaciones de intensidad de las luminarias para aplicaciones VDT	88
Tabla 14. Reflectancia en piso y plafón de LIA.....	98
Tabla 15. Reflectancias obtenidas en los cuatro muros del LIA.....	98
Tabla 16. Luminancia de pantalla en los 16 niveles de brillo de la pantalla	102
Tabla 17. Listas de sílabas sin sentido para cada escenario.....	113
Tabla 18. Variables aplicadas para cada escenario	119
Tabla 19. Mediciones por puntos realizadas con equipo de medición de luminancia especializado.....	124
Tabla 20. Clasificación del grupo experimental por género	136
Tabla 21. Clasificación del grupo experimental por edades	136
Tabla 22. Clasificación del grupo experimental por edades	137
Tabla 23. Clasificación del grupo experimental por licenciatura	138
Tabla 24. Tabla cruzada Uso de lentes*Problemas de visión.....	139
Tabla 25. NBC nivel de brillo de confort en la pantalla.....	140
Tabla 26. Suma de Sílabas memorizadas SM para cada escenario	144
Tabla 27. Numero de sílabas memorizadas SM para el escenario 1	144
Tabla 28. Numero de sílabas memorizadas SM para el escenario 2	146
Tabla 29. Numero de sílabas memorizadas SM para el escenario 3	147
Tabla 30. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 4.....	148
Tabla 31. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 5.....	149
Tabla 32. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 6.....	150
Tabla 33. Valores de percepción del ambiente, mínimos, máximos y medios en cada escenario.	152
Tabla 34. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 1.....	152
Tabla 35. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 2.....	153

Tabla 36. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 3.....	154
Tabla 37. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 4.....	155
Tabla 38. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 5.....	156
Tabla 39. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 6.....	157
Tabla 40. Estadísticos descriptivos del número de sílabas memorizadas SM, obtenidos en la	160
Tabla 41. Estadísticos descriptivos del Brillo de Confort obtenidos en la experimentación para cada escenario.	162
Tabla 42. Media y desviación estándar para los escenarios con fondo blanco	167
Tabla 43. Media y desviación estándar para los escenarios con fondo negro.	168
Tabla 44. Luminancia del fondo reflejado para cada escenario.....	169
Tabla 45. Pruebas de normalidad de las variables SM, NBC, Percepción.	178
Tabla 46. Correlación de variables a partir del método Rho de Sperman	179
Tabla 47. Media estadística del NBC diferenciado por género.	183
Tabla 48. Estadísticos del NBC diferenciados por género.	184
Tabla 49. Media estadística del número de SM en mujeres y hombres para cada escenario.	185
Tabla 50. Media de los valores de la percepción en mujeres y hombres para cada escenario.	186
Tabla 51. Estadísticos de la distribución de la población experimental por grupo A y B.....	196
Tabla 52. Tabla de distribución de la población experimental por licenciatura.	198
Tabla 53. Tabla cruzada Uso de lentes*Problemas de visión.....	198
Tabla 54. Datos estadísticos del número de SM para cada grupo experimental en los escenarios 6 y 2.....	199
Tabla 55. Media del valor de la percepción para cada grupo experimental en los escenarios 2 y 6.....	202
Tabla 56. Análisis comparativos por variable y grupo experimental.....	205
Tabla 57. Estadísticos de la suma de SM para cada escenario en la primera experimentación.....	208
Tabla 58. Estadísticos de la suma de SM para cada escenario en la experimentación complementaria.....	208
Tabla 59. Correlación de variables a partir del método Rho de Sperman	211
Tabla 60. Recomendaciones de luminancia entre tarea visual y entorno.	213
Tabla 61. Luminancias por defecto y recomendaciones de intensidad de las luminarias para aplicaciones VDT	215

Índice de gráficas

Gráfica 1. Distribución de iluminancias en el de trabajo para el sistema de lámparas fluorescentes tipo lineales.	96
Gráfica 2. Comportamiento de luminancia de la pantalla respecto a los niveles de brillo	102
Gráfica 3. Clasificación del grupo experimental por edades	137
Gráfica 4. Clasificación del grupo experimental por edades	138
Gráfica 5. Clasificación del grupo experimental por edades	139
Gráfica 6. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 1.	141
Gráfica 7. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 2.	141
Gráfica 8. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 3.	142

Gráfica 9. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 4.	142
Gráfica 10. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 4.	143
Gráfica 11. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 4.	143
Gráfica 12. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 1.	145
Gráfica 13. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 1.	146
Gráfica 14. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 1.	147
Gráfica 15. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 1.	148
Gráfica 16. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 5.	149
Gráfica 17. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 6.	151
Gráfica 18. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 1.	153
Gráfica 19. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 2.	154
Gráfica 20. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 3.	155
Gráfica 21. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 4.	156
Gráfica 22. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 5.	157
Gráfica 23. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 6.	158
Gráfica 24. Gráfica de Pareto.	161
Gráfica 25. Comparativa entre NBC e iluminancia.	163
Gráfica 26. Comparativa entre NBC e iluminancia para los escenarios con fondo blanco.	163
Gráfica 27. Comparativa entre NBC e iluminancia para los escenarios con fondo negro.	164
Gráfica 28. Comparativa entre NBC y luminancia para cada escenario.	165
Gráfica 29. Comparativa entre SM e iluminancia para cada escenario.	166
Gráfica 30. Comparativa entre SM e iluminancia para fondo blanco.	167
Gráfica 31. Comparativa entre SM e iluminancia para fondo blanco.	168
Gráfica 32. Comparativa entre SM y luminancias de fondo para cada escenario.	170
Gráfica 33. Comparativa entre SM y luminancia del fondo para escenarios pares de 1700 lux.	171
Gráfica 34. Comparativa entre SM y luminancia del fondo para escenarios pares de 500 lux.	171
Gráfica 35. Comparativa entre SM y luminancia del fondo para escenarios pares de 300 lux.	172
Gráfica 36. Frecuencias del número de personas que memorizaron todas las sílabas.	173
Gráfica 37. Línea de tendencia negativa entre el número de SM y la iluminancia del ambiente.	175
Gráfica 38. Línea de tendencia negativa entre el número de SM y la luminancia de fondo.	175
Gráfica 39. Línea de tendencia positiva entre él NBC y la iluminancia del ambiente.	176
Gráfica 40. Línea de tendencia positiva entre él NBC y la luminancia de fondo.	176
Gráfica 41. Línea de tendencia positiva entre la percepción y la iluminancia del ambiente.	177
Gráfica 42. Línea de tendencia positiva entre la percepción y la luminancia de fondo.	177
Gráfica 43. Relación entre la percepción de confort y el número de SM, en función de la línea de confort.	181
Gráfica 44. Relación entre en número de SM y la media del NBC.	182

Gráfica 45. Comportamiento del NBC en mujeres y hombres para cada escenario.	183
Gráfica 46. Comportamiento del número de SM en mujeres y hombres para cada escenario	185
Gráfica 47. Comportamiento del valor de la percepción en mujeres y hombres para cada escenario	187
Gráfica 48. Distribución de edades para el grupo experimental A.	197
Gráfica 49. Distribución de edades para el grupo experimental B.....	197
Gráfica 50. Comportamiento en el número de SM para el grupo A en el escenario 6.....	200
Gráfica 51. Comportamiento en el número de SM para el grupo A en el escenario 2.....	200
Gráfica 52. Comportamiento en el número de SM para el grupo B en el escenario 2.....	201
Gráfica 53. Comportamiento en el número de SM para el grupo B en el escenario 6.....	201
Gráfica 54. Comportamiento en el valor de Percepción para el grupo A en el escenario 6.....	203
Gráfica 55. Comportamiento en el valor de Percepción para el grupo A en el escenario 2.....	203
Gráfica 56. Comportamiento en el valor de Percepción para el grupo B en el escenario 2.....	204
Gráfica 57. Comportamiento en el valor de Percepción para el grupo B en el escenario 6.....	204
Gráfica 58. Relación entre el número de SM con la iluminancia de la primera experimentación, omitiendo el dato del escenario 6.....	209
Gráfica 59. Relación entre la percepción de confort y el número de SM de la primera experimentación, omitiendo el dato del escenario 6.....	210

Índice de figuras

Figura 1. Aula digital Samsung 2013	5
Figura 2. Diagrama de Veitch sobre la calidad de la iluminación Fuente: (Colombo, et al., 2002)	7
Figura 3. Configuración de Salón TIC de acuerdo con el INIFED.....	11
Figura 4. Planta primer nivel de la sala de cómputo de la UAM Azcapotzalco.	15
Figura 5. Sistema de protección solar mediante repisas metalizas y malla-sombra en edificio “t” de la UAM	16
Figura 6. Disposición actual del mobiliario y computadoras en la sala de cómputo de la UAM.....	16
Figura 7. Izquierda-diseño original de la posición del mobiliario respecto a las ventanas, derecha-posición actual del mobiliario	17
Figura 8. Posición de pantallas de computadora respecto a ventana.....	17
Figura 9. Observador número 1 posicionado frente a ventanas en la sala de cómputo de la UAM	18
Figura 10. Fotografía 1 pantalla con brillo al 50%, fotografía 2 pantalla con brillo al 100%	18
Figura 11. Fotografía 3 pantalla con brillo al 50%, fotografía 4 pantalla con brillo al 100%	19
Figura 12. Observador número 2 posicionado al centro de la sala de cómputo de la UAM	19
Figura 13. Fotografía 5 pantalla con brillo al 50%, fotografía 6 pantalla con brillo al 100%.....	20
Figura 14 . Fotografía 7 pantalla con brillo al 50%, fotografía 8 pantalla con brillo al 100%.....	20
Figura 15. Observador número 3 en un extremo del espacio y sin iluminación natural directa en la sala de cómputo de la UAM	21

Figura 16. Fotografía 7 pantalla con brillo al 50%, fotografía 8 pantalla con brillo al 100%.	22
Figura 17. Área de software especializada de la biblioteca central del IPN	23
Figura 18. Posición de las pantallas tipo difusas respecto a los ventanales en la biblioteca central del IPN	23
Figura 19. Posición de las pantallas respecto a los ventanales en la biblioteca central del IPN	24
Figura 20. Iluminación artificial en aula especializada en sistemas de las pantallas en el CINVAESTAV	25
Figura 21. Bloqueo de la iluminación natural en aula especializada en sistema de pantallas del CINVAESTAV	26
Figura 22. Izquierda-disposición de las pantallas respecto a las ventanas, Derecha-Bloqueo de iluminación natural.	27
Figura 23. Posicionamiento de mobiliario respecto a la iluminación natural y artificial.	28
Figura 24. Ambientes luminosos creados a partir de los cambios en la temperatura de color para	40
Figura 25. Espectro de la luz visible 400nm a 700nm.	45
Figura 26. Diagrama Cromático de CIE	46
Figura 27. Escala de la temperatura de color	47
Figura 28. Representación de los índices de reproducción cromática ICR	48
Figura 29. Esquema de la reflexión tipo especular	49
Figura 30. Esquema de la reflexión tipo difusa	50
Figura 31. Esquema de la reflexión tipo mixta	50
Figura 32. Representación del flujo luminoso	52
Figura 33. Representación de la intensidad luminosa	53
Figura 34. Representación de la iluminancia	53
Figura 35. Modelado 1ra columna modelada con luz dirigida, 2da. Columna modelado con luz dirigida y luz difusa, 3ra. Columna modelada con luz difusa.	58
Figura 36. Reflejos creados por la posición de las lámparas	60
Figura 37. Ángulo de luminancias límite para lámparas que pueden producir reflejos	60
Figura 38. Luminancias máximas de 200 Cd/m ² en paredes	61
Figura 39. Ángulo mínimo de apantallamiento en lámparas	61
Figura 40. Un amplio ángulo de distribución de luz es percibido como una luminaria muy brillante que produce deslumbramientos molestos.	62
Figura 41. Luminarias con menor ángulo de amplitud impiden que la luz sea enviada directamente al ojo del usuario de la computadora.	62
Figura 42. Luminarias con luz indirecta, eliminan el deslumbramiento y permiten mayor espaciamiento entre cada luminaria.	63
Figura 43. Ángulos considerados en el método de curvas de limitación	65
Figura 44. Método de curvas límite para control del deslumbramiento	66
Figura 45. Curva fotométrica de una lámpara	71
Figura 46. Comparativa entre los reflejos producidos por diferentes tipos de protección en las lámparas.	77
Figura 47. Componentes del ojo humano	78

Figura 48. Funciones de conos y bastones.....	79
Figura 49. Tiempo de adaptación a la luz.....	80
Figura 50. Percepción del contraste	81
Figura 51. Pérdida de agudeza visual.....	82
Figura 52. Ángulos del campo visual.....	84
Figura 53. Pantallas LCD.....	88
Figura 54. Relación de factores del ambiente luminosos implicados en la percepción de una pantalla de computadora	90
Figura 55. Relación de factores del ambiente luminosos implicados en la percepción de una pantalla de computadora	91
Figura 56. Iluminancia vertical en el plano de trabajo horizontal.....	93
Figura 57. Laboratorio de Iluminación Artificial LIA	94
Figura 58. Izquierda-sistema de lámparas fluorescente tipo Curvalum, Centro- sistema con lámparas fluorescentes tipo compactas, Derecha- sistema con lámparas fluorescentes tipo lineal.....	95
Figura 59. Factor de iluminancia vertical en el plano de trabajo Fuente: Autoría propia	97
Figura 60. Factor de la luminancia en el fondo reflejado	99
Figura 61. Factor de la luminancia en el fondo reflejado	100
Figura 62. Calibración del color mediante espectrofotómetro.....	100
Figura 63 Colocación de equipo de medición de luminancia en pantalla	101
Figura 64. Integración de los seis escenarios, que se analizaran mediante el método de línea base.	103
Figura 65. Escenario 1, con iluminancia de 1700 lux y fondo blanco.	104
Figura 66. Escenario 2, con iluminancia de 1700 lux y fondo negro.....	104
Figura 67. Escenario 3, con iluminancia de 500 lux y fondo blanco	105
Figura 68. Escenario 3, con iluminancia de 500 lux y fondo blanco	105
Figura 69. Escenario 5, con iluminancia de 300 lux y fondo blanco	106
Figura 70. Escenario 6, con iluminancia de 300 lux y fondo negro.....	106
Figura 71. Componentes cualitativos y cuantitativos de la prueba.	109
Figura 72. Fases principales que componen la prueba	109
Figura 73. Interfaz del inicio de la prueba	110
Figura 74. Menú de escenarios en la prueba.....	111
Figura 75. Interfaz de registro de datos	111
Figura 76. Formato de texto e indicación para ajustar el brillo de pantalla.....	112
Figura 77. Formato de texto e indicación para ajustar el brillo de pantalla.....	113
Figura 78. Ventana para registrar sílabas recordadas.....	114
Figura 79. Escala de percepción del ambiente.....	115
Figura 80. Adaptación del LIA para la creación de escenarios.	118

Figura 81. Telas empleadas para la configuración d los escenarios.....	119
Figura 82. Filtros utilizados para la reducción de iluminancia.....	120
Figura 83. Mediciones en cuatro puntos para determinar la posición del mobiliario	121
Figura 84. Posición del mobiliario y equipo de cómputo en el LIA	122
Figura 85. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco	124
Figura 86. Imagen del escenario 2, 1700 lux con fondo negro.....	124
Figura 87. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco	125
Figura 88. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco	125
Figura 89. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco	126
Figura 90. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco	126
Figura 91. Escala de percepción de confort visual empleada en experimentación.....	151
Figura 92. Clasificación de las variables empleadas en la experimentación.....	159
Figura 93. Esquema del diseño de experimentación complementaria	193
Figura 94. Representación de los valores obtenidos en la experimentación, mediante escala de grises.....	212

Índice de fotografías

Fotografía 1. Tres alumnas realizando la experimentación piloto piloto	129
Fotografía 2. Actividades de origami en prueba piloto	129
Fotografía 3. Grupo experimental integrado por tres mujeres en el día 1	132
Fotografía 4. Grupo experimental integrado por tres mujeres en el día 2	132
Fotografía 5. Grupo experimental integrado por cuatro mujeres en el día 3	132
Fotografía 6. Grupo experimental integrado por tres hombres en el día 4	133
Fotografía 7. Grupo experimental integrado por cuatro hombres en el día 5	133
Fotografía 8. Grupo experimental integrado por tres hombres en el día 6	133
Fotografía 9. Grupo experimental integrado por tres mujeres en el día 7	134
Fotografía 10. Grupo experimental integrado por cuatro hombres en el día 8	134
Fotografía 11. Grupo experimental integrado por tres mujeres en el día 9	134
Fotografía 12. Grupo experimental integrado por cinco mujeres en el grupo experimental A	194
Fotografía 13. Grupo experimental integrado por siete hombres en el grupo experimental A	194
Fotografía 15. Grupo experimental integrado por cinco hombres en el grupo experimental B	195
Fotografía 14. Grupo experimental integrado por siete mujeres en el grupo experimental B.....	195
Fotografía 16. Mapas d luminancia con valores obtenidos de la escala de color.	214

Introducción

El presente documento es una investigación sobre los efectos del ambiente luminoso en el confort visual y la memorización a corto plazo, cuando se visualiza una pantalla de computadora. En esta búsqueda por entender las necesidades visuales y su efecto psicológico en el proceso cognitivo, se comenzó por caracterizar los factores del ambiente luminoso relacionados con la arquitectura, el diseño de la iluminación y la pantalla de computadora.

Actualmente las aulas de cómputo en escuelas públicas en México se han diseñado y construido con configuraciones espaciales semejantes a las aulas de educación tradicional, sin considerar las necesidades lumínicas requeridas por el uso de nuevas tecnologías en la educación, debido en parte a la falta de estudios sobre las necesidades visuales con relación al uso de pantallas de computadora, que permitan determinar un ambiente luminoso óptimo para lograr confort visual y una mayor eficacia en el proceso de aprendizaje. El empleo de las pantallas de computadora en la enseñanza ha revolucionado la forma en la que se adquieren nuevos conocimientos, sin embargo, por ser un elemento que emite luz, a diferencia de un libro o cuaderno tiene sus propias complicaciones y requiere un análisis diferido a los estudios de iluminación en la enseñanza tradicional.

La inquietud por realizar esta investigación nació a partir de la visita a un aula, donde la enseñanza se realiza mediante una pantalla de televisión. En esta aula la iluminación natural proveniente de las ventanas estaba limitada por cortinas, y se empleaba una iluminación artificial poco eficiente. A partir de esta observación surgen varias preguntas: ¿Por qué se bloquea la iluminación natural en las aulas equipadas con pantallas, si son conocidos los beneficios de la luz del día en el aprendizaje?; ¿De qué manera afectan las condiciones de iluminación en la visualización de una pantalla?; ¿cuál es la repercusión del ambiente luminoso en el proceso cognitivo mientras se emplea una pantalla de computadora? ¿Las condiciones de iluminación reglamentarias para aulas equipadas con pantallas, son confortables visualmente?

Objetivo general

Generar parámetros de diseño arquitectónico y de iluminación que determinen un ambiente lumínico óptimo para lograr el confort visual y potencializar el proceso cognitivo relacionado con el uso de pantallas de computadora.

Objetivos particulares

- Conocer las normativas y recomendaciones existentes a nivel nacional e internacional, respecto a la iluminación y el diseño arquitectónico aplicables a las aulas de cómputo.
- Conocer los términos aplicables al diseño de iluminación.
- Determinar, caracterizar y evaluar los factores de iluminación involucrados en el uso de una pantalla de computadora.

Hipótesis

En la visualización de una pantalla de computadora, los ambientes menos iluminados brindan mayor confort visual en la realización de tareas, y afectan de manera negativa a los factores involucrados en el proceso cognitivo.

Metodología

Esta investigación de tipo experimental se basó en las respuestas de memorización y confort lumínico de 54 alumnos bajo diferentes escenarios de iluminación. Para llegar al diseño experimental se comenzó por el control de variables involucradas en la percepción de las pantallas de computadora, relacionadas con el ambiente luminoso, los sujetos y las evaluaciones correspondientes al confort lumínico y al proceso cognitivo.

Se definieron, entonces, cuatro factores involucrados en la percepción de una pantalla de computadora; *la iluminancia el plano vertical, la luminancia en el campo de visión vertical, la luminancia de la pantalla de computadora y la luminancia del fondo reflejado*. Posteriormente se precisaron las variables a controlar en la población experimental, como el género, la edad, nivel escolar y condiciones de salud visual. Finalmente, se diseñó una evaluación para medir tanto el confort visual mediante una escala de percepción del ambiente luminoso, como la memorización a corto plazo empleando listas de sílabas sin sentido, un método generado desde el campo de la psicología.

La experimentación permitió conocer en primera instancia los efectos visuales de los sujetos respecto a su percepción del entorno luminoso, como el brillo del confort en la pantalla y la percepción de confort para cada ambiente. También, se buscó conocer los efectos no visuales de la iluminación sobre el desempeño cognitivo, es decir, aquellos que afectan de manera psicológica al ser humano sin ser consciente de dichos

efectos; en esta investigación se empleó como herramienta de medición la memorización a corto plazo bajo diferentes ambientes luminosos.

Fue necesario realizar la experimentación en dos etapas; en la primera experimentación se observó un comportamiento extraño en los resultados de memorización para el escenario menos iluminado, es decir, la tendencia se modificó radicalmente al aumentar el número de sílabas memorizadas en el último escenario. Para comprobar si los resultados del último escenario estaban influenciados por el ambiente luminoso o por alguna variable extraña, se realizó la segunda experimentación alternando el orden de los escenarios para dos grupos experimentales. En la última experimentación se comprobó la existencia de una variable extraña que se denominó variable de motivación o adaptación, por tal motivo, se descartaron los datos afectados por esta variable. Entonces, se determinó que los ambientes más luminosos favorecen a la memorización, sin embargo, al emplearse una pantalla de computadora, los ambientes mayores a 500 lux comienzan a percibirse deslumbrantes. Se reafirmó que la adaptación del ojo al cambiar de ambientes luminosos tiene influencia en la percepción de confort; se demostró también que existen diferencias en la percepción del ambiente lumínico entre hombres y mujeres.

En esta investigación, se realizaron algunos análisis respecto a la norma oficial mexicana NOM 025, que se refiere a los requerimientos de iluminación para centros de trabajo, y establece una iluminancia mínima de 500 lux en el plano de trabajo horizontal para salas de cómputo. El análisis se focalizó a la falta de límites máximos de iluminancia, pues, para el grupo experimental se demostró que iluminancias mayores a 500 lux resultan deslumbrantes y que existe una preferencia por superficies oscuras con reflectancias del 28% como fondo reflejado en la pantalla de tipo especular. Aunque, en ambientes con iluminancias de 1700 lux la memorización es mayor, se debe tener cuidado con las reflectancias de las superficies para evitar ambientes altamente deslumbrantes.

CAPÍTULO I. Antecedentes Tecnología y Educación

1.1 Marco teórico

Como antecedente del tema es pertinente ahondar en la historia del uso de las pantallas de computadora como herramienta para la educación en México; partiendo del concepto de *tecnología educativa* como un término pedagógico que surge en la década de los años 50, para hacer referencia al impacto de los nuevos descubrimientos tecnológicos en la educación. (Anónimo, 2015).

La historia del uso de la computación en México, de acuerdo con la Revista electrónica UNAM (Ortiz, et al., 2008) comienza el 8 de junio de 1958, cuando la UNAM adquiere una computadora IBM-6501 que simplificaba problemas de cálculo relacionados con mecánica de suelos. Posteriormente, el Instituto Politécnico Nacional y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, así como otras instituciones gubernamentales, adquieren nuevas computadoras. Se calcula que para 1968 existían alrededor de 200 computadoras operando en México.

Para 1981 la S.E.P.(Secretaría de Educación Pública) consideró necesario incorporar la computación como un medio para elevar la calidad de la educación básica. En 1993, se formaron los programas estatales de informática, y se equiparon laboratorios de informática, se requerían nuevos espacios destinados a estos usos. Actualmente las computadoras se han vuelto accesibles, sobre todo en las zonas urbanas de México y son usadas desde el nivel educativo básico hasta el nivel superior como herramienta para el aprendizaje.

Actualmente existen iniciativas como Virtual Educa en México y América Latina que buscan incorporar la tecnología como herramienta en el aprendizaje, por tal motivo se creó la primer Aula del futuro en la Ciudad de México en 2011, bajo este concepto se pretende realizar una transición de las aulas de educación tradicional a la educación mediante el uso de nuevas tecnologías. (Virtual Educa, 2012).

La compañía Samsung creó en el Colegio de México en 2013 la primera aula digital, posteriormente en 2014 inaugura en el estado de Zacatecas la segunda aula digital. Las aulas se encuentran equipadas con pizarrones interactivos, computadoras personales, tabletas e impresoras móviles. (Sánchez, 2013).

La figura 1 muestra la posición del mobiliario y las pantallas en las Aulas digitales de Samsung, donde se observa la influencia de la iluminación natural en el reflejo de las pantallas tipo espejar.



Figura 1 Aula digital Samsung 2013
Fuente: (Sánchez, 2013)

Alrededor del mundo se están creando Aulas del futuro, en Bruselas se está creando el Future Classroom Lab. (Laboratorio de aula del futuro). Donde se prevé que existan áreas diferenciadas para la realización de diversas tareas.

Respecto al tema, cabe mencionar los estudios realizados en Inglaterra para las “Aulas del futuro”, estas aulas cuentan con equipos de cómputo individuales y una pantalla multimedia. El estudio se realizó para conocer la interacción entre la iluminación, la pantalla de visualización y el usuario. Dicho estudio se llevó a cabo mediante la inspección fotográfica de las fuentes deslumbrantes reflejadas en las pantallas, también se realizaron encuestas a maestros y alumnos sobre el desarrollo de las actividades; y se obtuvo como resultado que existían problemas de legibilidad por reflexiones de velo. Los autores concluyen que es necesario el análisis de las pantallas para reducir reflejos. (Ramasoot & Steve, 2008)

El uso de las pantallas de computadora requiere de un espacio diseñado especialmente para esta actividad, en este sentido, se vuelve complejo cuando no se diferencia entre el uso de un equipo portátil y un equipo de escritorio, pues una sala de cómputo, por ejemplo, se encuentra equipada con computadoras de escritorio y está destinada únicamente para este fin. Por otro lado, el uso de equipos portátiles, sobre todo en

nivel educativo superior, se vuelve complejo debido a que se emplea la computadora en diversos espacios, que incluyen aulas donde se imparten clases de manera tradicional.

Las aulas de clase donde se utilizan equipos de cómputo portátiles y las aulas especialmente diseñadas para el uso de computadoras, requieren espacios con un diseño arquitectónico y de iluminación especial.

El estudio de la iluminación en un espacio destinado a la educación es esencial, pues la iluminación puede influir en el desempeño humano, para lo cual hay que tomar en cuenta los ciclos circadianos, el sistema visual y el sistema perceptual completo, no obstante, es este último sistema el responsable del confort visual y por tanto es necesario considerar un balance entre ambos sistemas visual y perceptual. (Colombo, et al., 2002).

Además, la iluminación también tiene un papel fundamental en el desarrollo humano, pues de acuerdo con el estudio de Kenez, en un entorno luminoso la temperatura de color y la luminancia influye sobre el estado de ánimo y esto sobre el ambiente cognitivo. (Kenez, 1995). Otro estudio realizado en 2002 demuestra que la luz natural tiene efectos positivos, tanto en el ámbito de la salud como en el aprendizaje. (Heschong, et al., 2002)

Cabe mencionar que en Estados Unidos y algunos países de Europa están implementando en las aulas el sistema llamado Schoolvision, que genera cuatro ambientes luminosos creados a partir del cambio en la temperatura del color de la luz, y resultan acordes a la actividad a realizar, además, influyen positivamente en la agudeza visual y en las tareas de concentración. (Nebrija, 2012)

1.2 Calidad de la iluminación

En México existen normas que regulan la iluminación en los edificios, generalmente de manera cuantitativa. La NOM-025, por ejemplo, establece los niveles mínimos de iluminancia en el plano de trabajo horizontal, y los valores de reflectancia máxima en muros, pisos y plafones. Cabe mencionar que esta norma también cuenta con una metodología para establecer zonas fuera de confort visual en consideración a la calidad de la iluminación en los puestos de trabajo, siendo la única normativa que tiene un acercamiento a la iluminación en términos cualitativos (Secretaría de Trabajo y Previsión Social, 2008) Sin embargo, dado la línea de investigación del Posgrado en Diseño Bioclimático, es necesario profundizar en términos cualitativos referentes a la calidad de la iluminación. Al respecto, la psicóloga en iluminación, Jennifer A. Veitch dice que dependiendo del contexto del proyecto de iluminación se deben integrar las necesidades humanas, así como las condiciones arquitectónicas y económicas, como se muestra en la figura 2. (Colombo, et al., 2002)

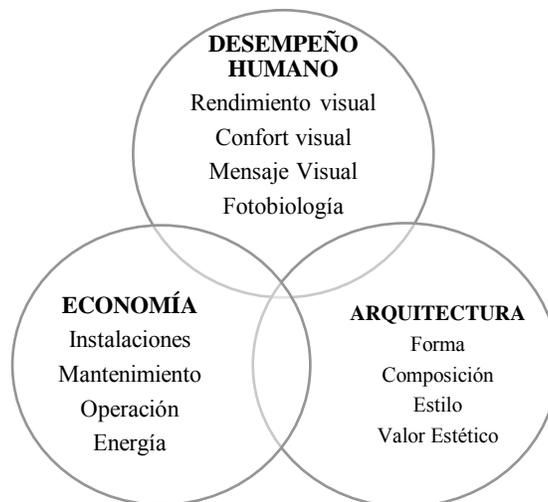


Figura 2 Diagrama de Veitch sobre la calidad de la iluminación
Fuente: (Colombo, et al., 2002)

La calidad de iluminación se refiere a aquella que engloba la eficiencia energética, considerando que entre el 25% y 50% del consumo total de energía en un edificio corresponde al gasto por iluminación (Colombo, et al., 2002) por lo tanto, los campos que pueden aportar al mejoramiento de la calidad de la iluminación es la investigación en el desarrollo de nuevas tecnologías en la iluminación, el diseño de iluminación, la arquitectura y la investigación sobre el efecto de la iluminación el ser humano. (Colombo, et al., 2002). A continuación se documenta cada factor de iluminación que integra el diagrama de Veitch.

1.2.1 Desempeño humano como factor en la calidad de la iluminación.

Tomando como base el diagrama de Veitch en el campo referente al desempeño humano, la autora Colombo escribe al respecto en función de la tarea, estableciendo tres componentes principales para realizar una tarea: el componente visual, el componente cognitivo y el componente motor. Lo único que se puede modificar es la componente visual, al aumentar el rendimiento visual (Colombo, et al., 2002). También, respecto al desempeño humano existen modelos empíricos como el *Rendimiento Visual Relativo* que mide reacciones fisiológicas para determinar la eficiencia visual, así como la velocidad de reacción de diferentes estímulos visuales, como el cambio del contraste, la luminancia y el tamaño visual en relación con la fóvea; que es la parte de la retina donde se enfocan los rayos luminosos y que permite la visión aguda y detallada. (Medicina y Farmacología, 2010)

Los estudios revelan que no es posible hacer una tarea visualmente difícil con igual rendimiento que una tarea visualmente fácil, únicamente cambiando la luminancia, considerando el uso de las computadoras como una tarea visualmente difícil. (Colombo, et al., 2002)

Existe una diferencia entre el confort visual y la eficiencia visual; pues el confort visual es más sensible a los cambios de iluminación y depende del medio iluminado, mientras que la Eficiencia Visual está determinada por el estímulo realizado al sistema visual. (Colombo, et al., 2002) Por tanto, el diseño de iluminación debe brindar rendimiento visual y confort visual.

El Dr. Víctor Fuentes describe la diferencia entre el *confort lumínico* y el *confort visual*; el primero considera aspectos físicos, fisiológicos y psicológicos; mientras que el segundo se refiere a aspectos psicológicos y a la percepción espacial de los objetos. (Fuentes, 2015)

Un estudio elaborado por la Facultad Cubana de Oftalmología establece los daños en la salud causados por la falta de confort lumínico. Por ejemplo, el parpadeo de luz artificial de lámparas fluorescentes, pantallas o monitores representan daños principalmente al sistema nervioso central. Se añaden también los daños oculares por inadecuadas condiciones de trabajo, como los deslumbramientos por altas luminancias o por incorrecto acomodo de mobiliario en torno a la iluminación que causan fatiga visual (Perez, et al., 2008). Otro estudio realizado por la Universidad de Argentina revela que una alta luminancia proveniente de una fuente luminosa, cercana a la zona de trabajo, representa problemas cognitivos para el usuario. (Rodríguez & Pattini, 2011)

1.2.2 Arquitectura como factor en la calidad de la iluminación.

Continuando con los factores del esquema de calidad de la iluminación de Veitch, en el campo de la Arquitectura diferentes autores describen, principalmente, mediante manuales las recomendaciones y requerimientos sobre las características del espacio dedicado al uso de computadoras:

1. Las pantallas deben estar colocadas en forma perpendicular a las ventanas, las luminarias no deben estar sobre las pantallas y se debe permitir el movimiento de pantallas en varias direcciones para evitar reflejos, considerando los reflejos como directos cuando la luz incide directamente en los ojos, e indirectos cuando es reflejada en una superficie brillante. (Department for Children Schools and Families, 2007)
1. Las normas CIBSE y BREEAM recomiendan evitar luminarias o ventanas con alta luminancia. Además, respecto a las pantallas de computadora se recomienda utilizar polaridades positivas, es decir, emplear software con fondo blanco y letras negras. En contra del empleo de pantallas con polaridades negativas, esto es, el empleo de software con fondo negro y letras blancas, pues, estas últimas producen mayores reflejos y requieren de una iluminación especial. (Department for Children Schools and Families, 2007)
2. De acuerdo con la International Commission on Illumination (CIE) se requieren luminarias de baja luminancia, y sugiere realizar el control de deslumbramiento causado por luz natural mediante la distribución de mobiliario y sistemas de apantallamiento en ventanas. (IDAE, 2001)
3. Se recomienda el uso de luminarias tipo bañador de pared para evitar reflejos, y el empleo de mobiliario y superficies en tonos mate que mitiguen dichos reflejos. (IDAE, 2001)
4. Considerar la ubicación de las lámparas en un ángulo de 45° respecto al eje del usuario, para evitar el reflejo sobre las pantallas. Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) es importante emplear la iluminación natural por los beneficios psicológicos que aporta. También, la armonía entre el diseño de la iluminación natural y la iluminación artificial es un tema de relevancia en el diseño arquitectónico. (IDAE, 2001)
5. De acuerdo con los estándares británicos, las ventanas deberán ser equipadas con un dispositivo de cobertura adecuado y regulable, para atenuar la luz del día que incide en el área de trabajo. (INSHT, 2015)

6. Con relación a la luz natural generada por alguna ventana, se debe evitar el posicionamiento del usuario frente a ella, para impedir deslumbramientos por iluminación directa. Tampoco se debe posicionar de espaldas a la ventana, pues, se producen brillos y reflejos sobre las pantallas, lo aconsejable es colocar el mobiliario en posición lateral hacia la ventana. (Monrroy, 2006)

En México existen normas que regulan las condiciones de iluminación en las aulas de cómputo, generalmente de manera cuantitativa. La Norma Oficial Mexicana NOM 025 establece un nivel mínimo de 500 lux para la iluminación de una sala de cómputo; el Reglamento de Construcción del Distrito Federal 2006 establece 300 lux como nivel mínimo de iluminación para aulas de cómputo; el Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa INIFED, órgano gubernamental encargado de la construcción y mantenimiento de escuelas públicas, denomina al espacio destinado al uso de computadoras como Salón TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) y establece un valor mínimo entre 350 lux a 400 lux para la iluminación de estos salones. Determina, además, las siguientes condiciones para el diseño de Salones TIC: (INIFED, 2013)

- a) Orientación: norte –sur
- b) Temperatura: 18 a 25 Celsius
- c) Iluminación Natural: Mínimo 17% del área del local
- d) Iluminación Artificial: Mínimo de 350 lux a 400 lux
- e) Ventilación: Natural cruzada mínimo 1/9 del área del local
- f) Acústica: 25/35 decibeles.
- g) Humedad Relativa del 50 %
- h) Acabados: *a) en piso* terminado de mármol, granito y loseta; *b) en muro* terminado con pintura acrílica; *c) techo* con acabado en pintura acrílica.
- i) Uso de pizarrón, pantalla retráctil al frente y un equipo de cómputo por alumno con monitor de pantalla plana.

- j) Respecto a la configuración de un Salón TIC, se recomienda luz natural bilateral y se establece el acomodo de mobiliario perpendicular a las ventanas. (Ver figura 3)

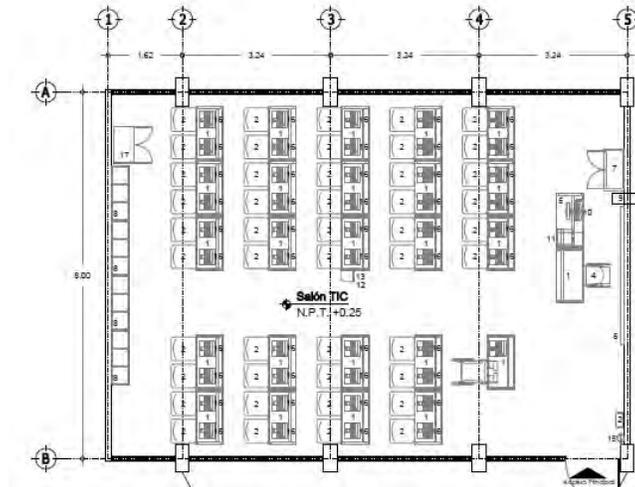


Figura 3. Configuración de Salón TIC de acuerdo con el INIFED
Fuente: (INIFED, 2013)

Estos son los datos documentados sobre las normativas en México que establecen valores de iluminación y configuración de espacios para el diseño de aulas de cómputo.

1.2.3 Energía como factor de la calidad de la iluminación.

En cuanto a iluminación, el diseño de aulas no depende únicamente de la iluminación natural, pues las jornadas educativas en México consideran turnos matutinos y vespertinos con horarios sin disposición de luz natural. El clima y la calidad del aire son factores que afectan la intensidad y la duración de la luz natural, y deben ser considerados en el diseño de la iluminación. (IDAE, 2005). Respecto al uso de energía para iluminación, es necesario el diseño eficiente de luz artificial, pues, según datos del SENER el gasto energético por el concepto de iluminación en espacios de servicios, incluyendo el educativo aumentó de un 15.4% a 17.2% del año 2004 al 2009. De acuerdo con el Centro Mario Molina, el gasto energético en las escuelas es de 70 kW/m² al año, dentro de este gasto se considera el uso de aire acondicionado, iluminación, refrigeración, motores, entre otros. Es importante mencionar que estos gastos se encuentran relacionados con las condiciones climáticas, pues en un clima seco el gasto por iluminación corresponde al 32%; en un clima cálido húmedo

corresponde al 45 %; en un clima cálido subhúmedo el gasto es del 30 %; y en un clima templado el gasto de la iluminación corresponde al 78 % de la energía total consumida. (UNAM, s.f.)

Respecto a la eficiencia energética en México, se aplica la Norma Oficial Mexicana NOM-007 , la cual establece el máximo rendimiento de energía y la máxima Densidad de Potencia de Eléctrica para Alumbrado DPEA que no debe ser mayor a los 16 W/m² para escuelas. (Diario Oficial de la Federación, 2005)

1.3 El implemento de la tecnología en la educación pública

El sistema educativo actual a nivel mundial implementa los recursos tecnológicos en el proceso de enseñanza-aprendizaje, en este sentido, se han creado metodologías que generen un aprendizaje significativo guiados por un docente mediante la utilización de nuevas tecnologías como apoyo didáctico. (Vela, s.f.) Se identifican en este texto como TIC a las Tecnologías de la Información y Comunicación, que se entienden como las tecnologías y herramientas requeridas para procesar información.

Según la publicación del Instituto Latinoamericano para la Comunicación Educativa ILCE, las TIC empleadas como un recurso didáctico, proporcionan múltiples ventajas:

- Constituyen una base para el desarrollo del razonamiento conceptual.
- Fortalecen la continuidad del pensamiento.
- Despiertan el interés de los educandos.
- Facilitan el aprendizaje permanente.
- Permiten observar experiencias reales, involucrando a los alumnos en actividades que los conducen a un conocimiento significativo. (Vela, s.f.)

La implementación de las TIC en la enseñanza comienza en países desarrollados, posteriormente a mediados de los años 90 se implementan en países en vías de desarrollo como México, mediante la Secretaría de Educación Pública SEP, que consideraba la inclusión de medios visuales y auditivos que contribuyeran a elevar la calidad educativa. En México los orígenes de las TIC están ligados a la educación a distancia, con los sistemas abiertos no escolarizados orientados a zonas geográficas donde no se cuenta con acceso a educación presencial. En 1971 nacen bajo este esquema las primeras Telesecundarias, posteriormente de 1985 a 1995 se implementa el proyecto de computación electrónica en la educación básica, orientado al uso de computadoras en el Aula.

En 1986 el Instituto Tecnológico de Monterrey recibe BITNET, una red de internet procedente de Texas, estableciendo el primer nodo de internet en México. Posteriormente la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM genera el segundo nodo de internet. En el año 2000 se formalizó el programa nacional e-Educa que buscó integrar las TIC en todos los niveles educativos; en 2013 se inicia el programa Enciclomedia con el fin de equipar con TIC las aulas de 5° y 6° de primaria.

En 2004 se incorporan 22 000 equipos informáticos y pizarras digitales en 11 000 escuelas primarias de México; en 2006 se incorporan 51 000 pizarras interactivas marca SMART Board para continuar con el programa Enciclomedia. (Edmundo, 2007)

La implementación en México de las primeras computadoras en las Universidades fue en la década de los 80, sin embargo, en los años 90 aumenta significativamente su empleo dentro de las aulas. La globalización obliga al uso de nuevas tecnologías no solo como herramienta de aprendizaje, sino de actualización. Hoy en día las instituciones educativas de nivel superior cuentan con la mayor cantidad de equipos de cómputo.

Actualmente la iniciativa llamada Virtual Educa en México y América Latina crea las primeras aulas del futuro en México y el estado de Zacatecas financiadas por la compañía Samsung, tomando como modelo las Aulas del Futuro de países europeos como Inglaterra.

El ILCE desarrolla planes y programas educativos principalmente para el nivel escolar básico, enfocados a alumnos y profesores mediante la implementación de cursos, talleres y programas basados en el empleo de TIC. Según el ILCE, los órganos gubernamentales pretenden equipar a cada escuela de nivel básico con una Aula de medios, que permita el acceso a las nuevas herramientas tecnológicas a los estudiantes y

maestros (Vela, s.f.) Sin embargo, es un camino largo por recorrer, pues las condiciones de pobreza y marginación en México son patentes. Actualmente existen áreas geográficas del país donde las escuelas aún no cuentan con los servicios básicos como la energía eléctrica.

Pese al aumento generalizado de infraestructura y equipamiento tecnológico en las escuelas, los resultados de las Pruebas de Evaluación Internacional aplicadas a estudiantes de nivel básico en las áreas de lectura, matemáticas y ciencia en 2012 por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), no fueron satisfactorios. México ocupa el lugar 53 de 65 países participantes y el último lugar de los países que integran la OCDE.

México como país integrante de la OCDE, retoma los modelos educativos de otros países miembros de esta organización, a costa de financiamientos otorgados por organismos internacionales como la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la propia OCDE; así como empresas productoras de equipos de cómputo. Es importante mencionar que la OCDE es un organismo internacional que realiza las recomendaciones para las reformas educativas en México, con base en la experiencia de otros países de primer mundo como Inglaterra o Noruega, sin embargo, las condiciones sociales, políticas y económicas de estos países distan mucho de la realidad mexicana.

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 establece la implementación de estrategias para lograr elevar la calidad en la educación, y con relación a las TIC pretende:

1. Modernizar la infraestructura y el equipamiento de los centros educativos.
2. Promover la incorporación de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El diseño de aulas en México debe estar a la par de los continuos avances tecnológicos, y de la mano con políticas de educación que respeten y consideren las condiciones socioculturales de la población. Las aulas de educación tradicional no están preparadas para el advenimiento de las nuevas tecnologías, desde su diseño arquitectónico hasta su infraestructura, pues, en algunas zonas marginadas las escuelas no tienen acceso a los servicios básicos. Es necesario comenzar a establecer los requerimientos arquitectónicos que demandan estas nuevas necesidades generadas a partir de la implementación de medios tecnológicos, a partir del concepto de calidad de la iluminación, considerando el confort lumínico y la eficiencia de los sistemas de iluminación para la reducción en el consumo energético.

1.4 Aulas de cómputo en México y América Latina

1.4.1 Universidad Autónoma Metropolitana UAM Azcapotzalco

Se analizó el centro de cómputo en el edificio “t” de la Universidad Autónoma Metropolitana, diseñada bajo un concepto Bioclimático en el año 1993, por el Arquitecto Víctor Fuentes y Aníbal Castrejón. Este edificio tiene tres niveles para albergar salas de cómputo y áreas administrativas. Se diseñó para instalar 500 equipos de cómputo.

La sala “Jonh von Neumann” es uno de los espacios con mayor área y actualmente se encuentra equipada con 190 computadoras PC y 62 computadoras Macintosh. El partido Arquitectónico está basado en galerías que permiten la iluminación natural hasta la parte central de la sala. (Ver Figura 4)

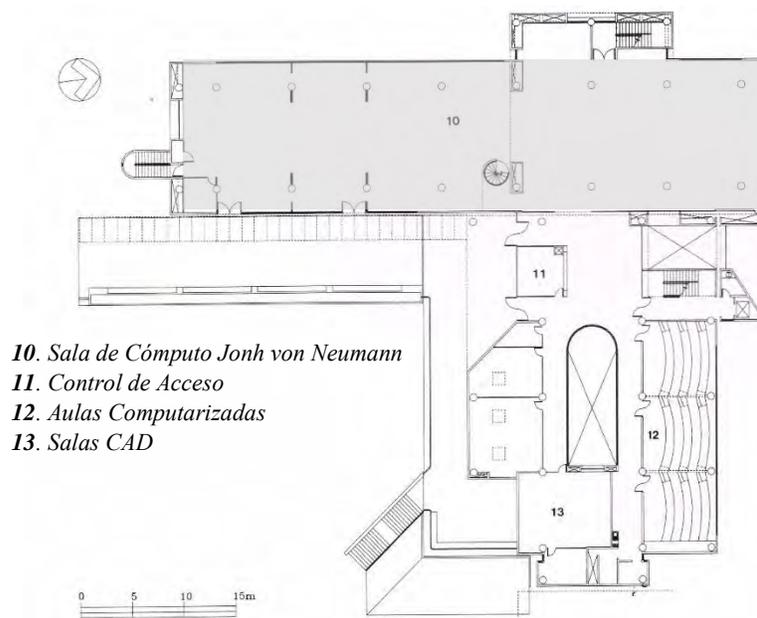


Figura 4. Planta primer nivel de la sala de cómputo de la UAM Azcapotzalco.
Fuente: Dr. Víctor Fuentes Freixanet

La sala fue diseñada con sistemas de control solar mediante repisas metálicas y malla-sombra incorporadas en la fachada este-oeste. (Ver figura 5)



Figura 5. Sistema de protección solar mediante repisas metálicas y malla-sombra en edificio “P” de la UAM Azcapotzalco
Fuente: Dr. Víctor Fuentes Freixanet

La siguiente imagen muestra la disposición del mobiliario y computadoras en la sala de cómputo “Jonh von Neumann” en la UAM Azcapotzalco. (Ver figura 6)

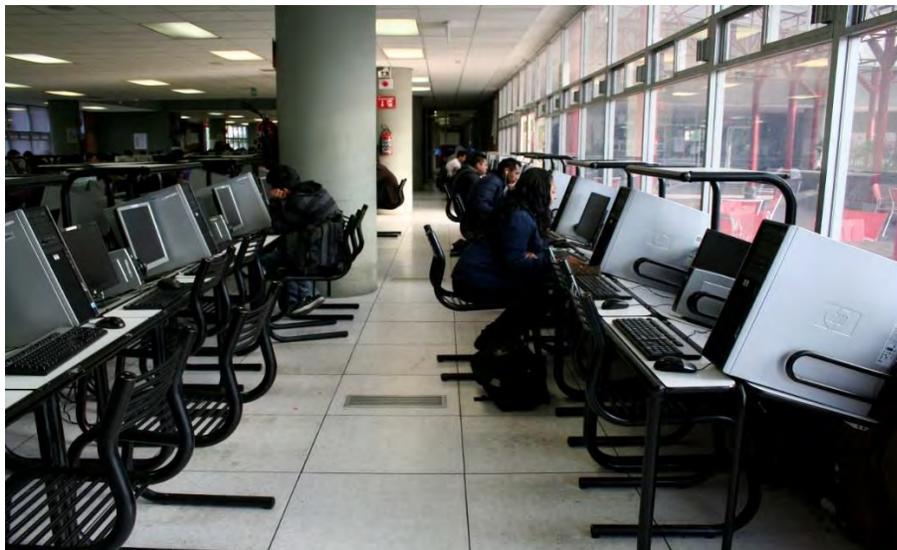


Figura 6. Disposición actual del mobiliario y computadoras en la sala de cómputo Jonh von Neumann de la UAM Azcapotzalco
Fuente: Autoría propia

Actualmente el mobiliario tiene un acomodo paralelo a la línea de ventanas, sin embargo, el diseño original consideraba el acomodo del mobiliario en forma perpendicular a las ventanas. (Ver figura 7 y 8)

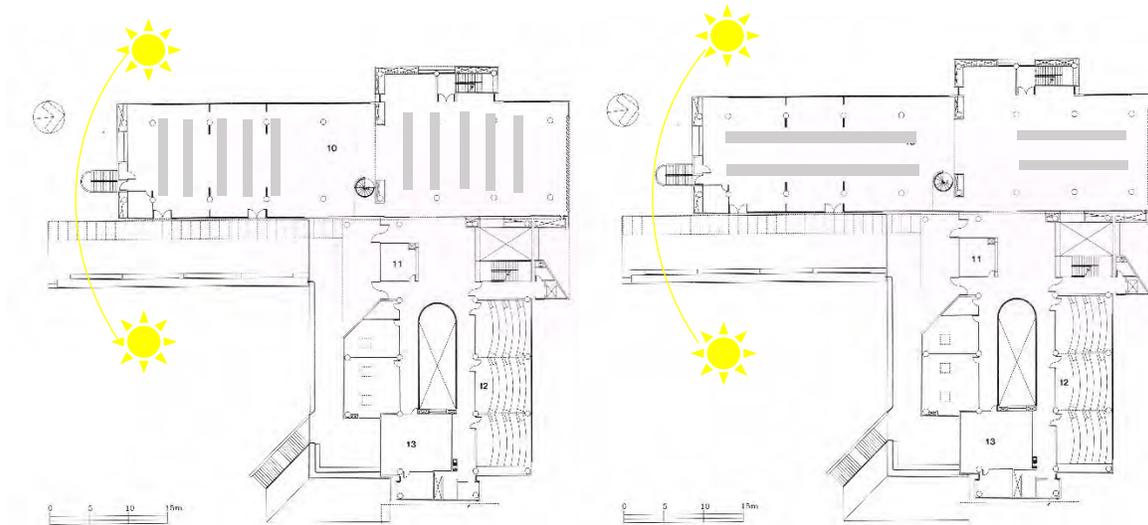


Figura 7. Izquierda-diseño original de la posición del mobiliario respecto a las ventanas, derecha-posición actual del mobiliario
Fuente: Dr. Víctor Fuentes Freixanet

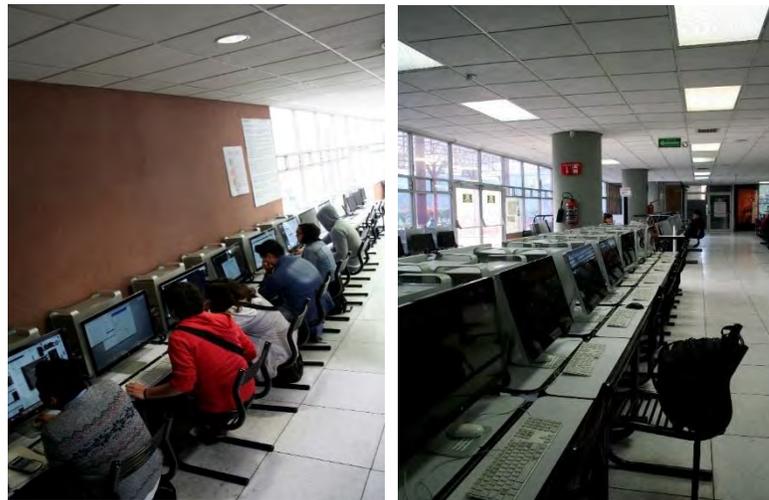


Figura 8. Posición de pantallas de computadora respecto a ventana
Fuente: Autoría propia

El diseño de iluminación tomaba en cuenta un sistema híbrido de iluminación natural y artificial, mediante la separación de circuitos eléctricos y la forma de distribución de lámparas cercanas a las ventanas, que permitiera mantener apagado el sistema de iluminación artificial en las horas de mayor iluminación natural exterior.

Se analizaron los reflejos percibidos en las pantallas de la sala de cómputo “Jonh von Neumann” mediante fotografías que se tomaron al medio día, poniendo la cámara a la altura de la vista y manteniendo la misma distancia entre observador y pantalla. Considerando las diferencias respecto a la cantidad de iluminación en determinadas ubicaciones, porcentaje de brillo en las pantallas y tipos de pantalla.

En la figura 9 se observa un corte esquemático de la sala de cómputo, representando la posición de los usuarios respecto a la iluminación derivada de cinco líneas de luminarios e iluminación natural bilateral. Se enmarca con un círculo rojo la posición del observador 1.

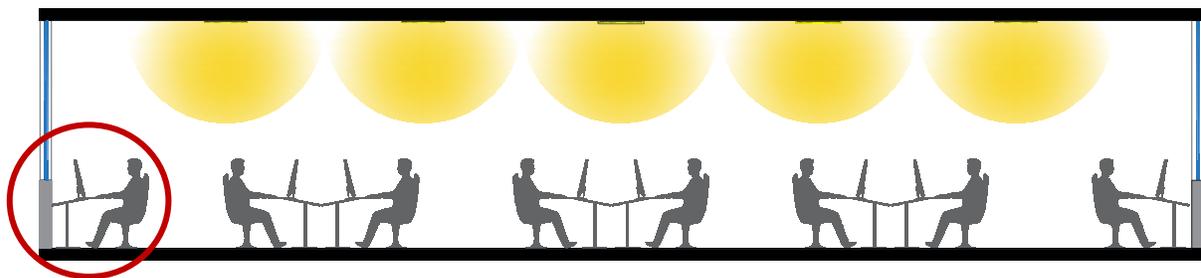
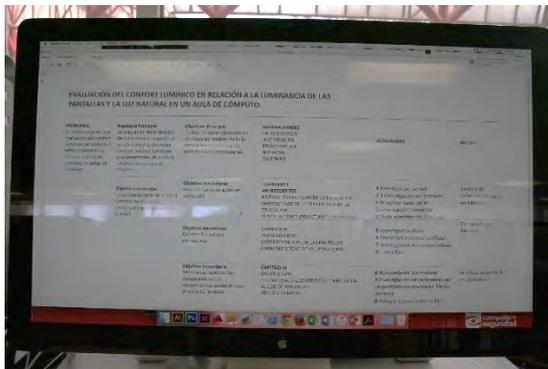


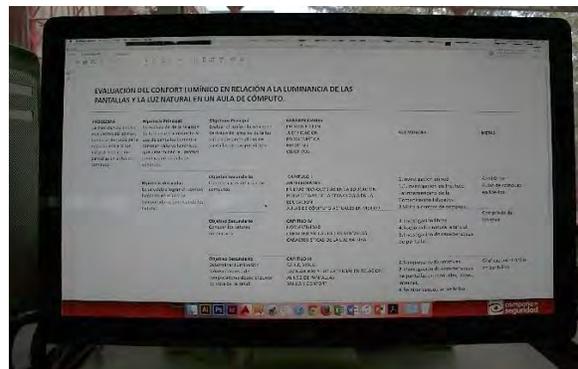
Figura 9. Observador número 1 sentado frente a ventanas en la sala de cómputo de la UAM
Fuente: Autoría propia

Observador número 1

El observador 1 tuvo una posición frente a una ventana y con luminario fluorescente a su espalda, utilizando una pantalla tipo especular marca Macintosh Apple Thunderbolt Display (27 pulgadas). La fotografía 1 se tomó considerando un brillo de 50% a una distancia de 50 cm de la pantalla, mientras que la fotografía 2 se tomó en las mismas condiciones, únicamente cambiando el brillo al 100%. (Ver figura 10)



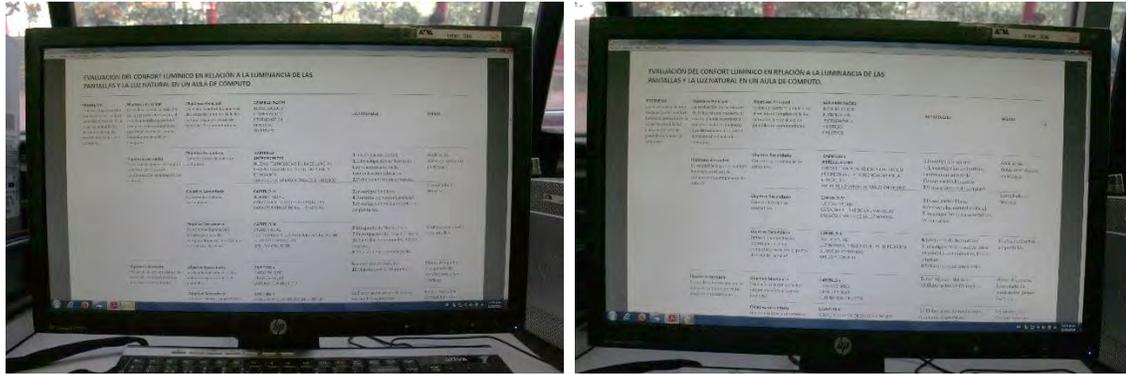
Fotografía 1



Fotografía 2

Figura 10. Fotografía 1 pantalla con brillo al 50%, fotografía 2 pantalla con brillo al 100%
Fuente: Autoría propia

Se tomaron fotografías en las mismas condiciones de iluminación, pero con una pantalla difusa marca HP Compact LE 2202x, también, se consideró en la fotografía 3 el brillo al 50% y la fotografía 4 con un brillo del 100%. (Ver figura 11)



Fotografía 3

Fotografía 4

Figura 11. Fotografía 3 pantalla con brillo al 50%, fotografía 4 pantalla con brillo al 100%
Fuente: Autoría propia

En las fotografías 1 y 2 correspondientes a la pantalla especular marca Macintosh, son notorios los reflejos producidos en ambas fotografías, sin embargo, en la fotografía 1 con brillo del 50% los reflejos de los luminarios y de la ventana opuestas fueron más notorios que la fotografía 2. Por otro lado, en la fotografía 2 se observan menos reflejos con un brillo del 100%, sin embargo, el alto brillo resultó molesto para la vista. En tanto que las fotografías 3 y 4 correspondientes a la pantalla difusa marca HP no presentaron reflejos visibles, el cambio de brillo de 50% a 100% no fue notorio y tampoco hubo molestias considerables comparadas con la pantalla especular al subir el brillo al 100%.

Observador número 2

En la figura 12 se observa la posición del observador 2, ubicado al centro de la Sala de Cómputo y afectado por dos luminarios ubicados al frente y a la espalda del observador.

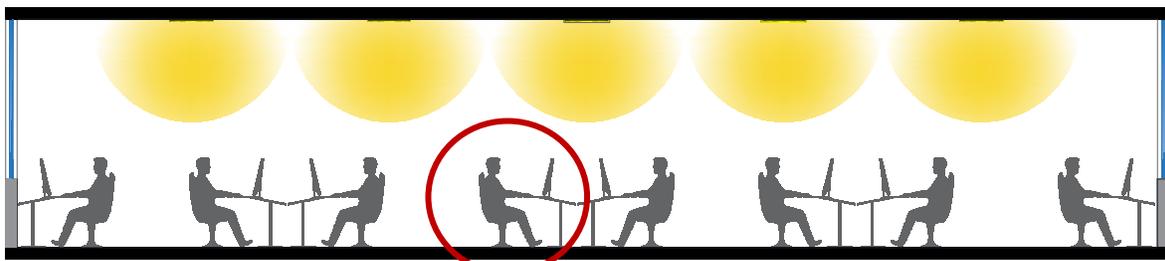
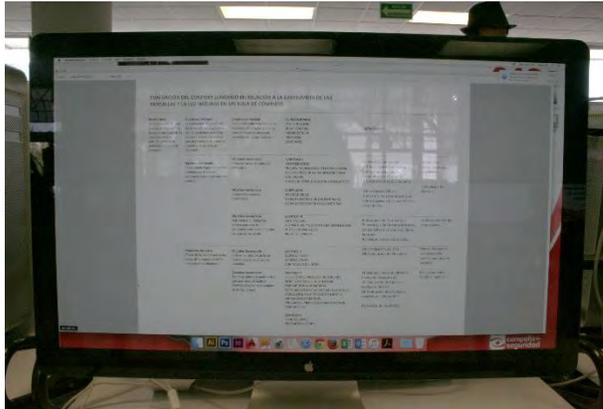
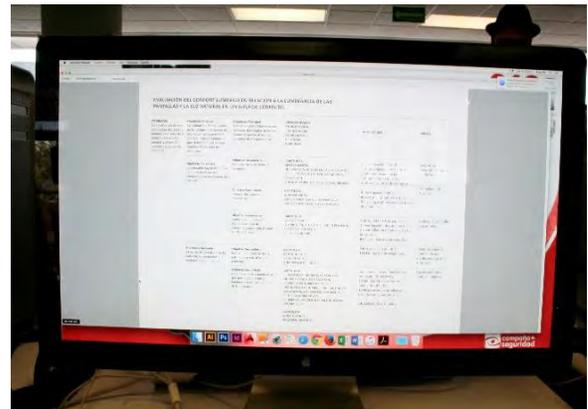


Figura 12 Observador número 2 posicionado al centro de la sala de cómputo de la UAM
Fuente: Autoría propia

El observador 2 tuvo una posición frente a una ventana lejana y con luminario fluorescente de frente y atrás. Se empleó una pantalla tipo especular marca MAC Apple Thunderbolt Display (27 pulgadas). La fotografía 5 se tomó considerando un brillo de 50% a una distancia de 50 cm de la pantalla, mientras, la fotografía 2 se tomó en las mismas condiciones únicamente cambiando el brillo al 100%. (Ver figura 13)



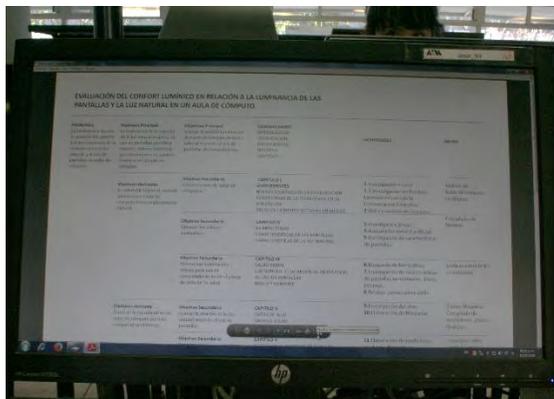
Fotografía 5



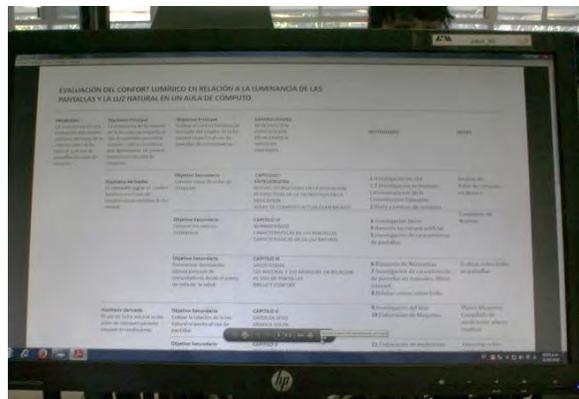
Fotografía 6

Figura 13. Fotografía 5 pantalla con brillo al 50%, fotografía 6 pantalla con brillo al 100%.
Fuente: Autoría propia

Se tomaron fotografías en las mismas condiciones de iluminación, pero con una pantalla difusa marca HP Compact LE 2202x, también, se consideró en la fotografía 7 el brillo al 50% y la fotografía 8 con un brillo del 100%. (Ver figura 14)



Fotografía 7



Fotografía 8

Figura 14. Fotografía 7 pantalla con brillo al 50%, fotografía 8 pantalla con brillo al 100%.
Fuente: Autoría propia

En las fotografías 5 y 6 correspondientes a la pantalla espejular marca Macintosh, se observa que únicamente en la fotografía 5 tomada con el 50% se presentaron reflejos, mientras, la fotografía 6 con un brillo de 100% no presentó reflejos significativos, sin embargo, el alto brillo resultó molesto a la vista.

En tanto, las fotografías 7 y 8 correspondientes a la pantalla difusa marca HP no presentaron reflejos visibles, el cambio de brillo de 50% a 100% es más notorio en las fotografías del Observador 1. Tampoco existieron molestias considerables al aumentar el brillo al 100%, comparadas con las pantallas espejulares.

Observador número 3

El observador 3 del siguiente esquema tiene condiciones muy diferentes de iluminación, pues, no tuvo iluminación natural en el plano vertical, únicamente recibió luz natural en el plano horizontal a su espalda y solamente hubo un luminario al centro de este espacio. Se considera importante analizar esta posición, ya que en este espacio hay mayor concentración de usuarios. (Ver figura 15)

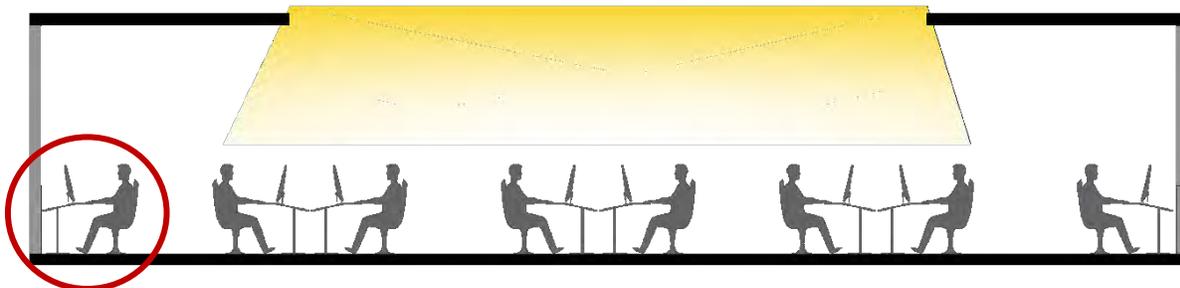


Figura 15. Observador número 3 en un extremo del espacio y sin iluminación natural directa en la sala de cómputo de la UAM
Fuente: Autoría propia

En las fotografías 9 y 10 correspondientes a la pantalla especular marca Macintosh, se puede observar que únicamente en la fotografía 9 tomada con el 50% se presentan reflejos, mientras que la fotografía 10 con un brillo de 100% no presentó reflejos significativos, sin embargo, el alto brillo de la pantalla fue molesto a la vista y resultó una imagen muy deslumbrante. (Ver figura 16)

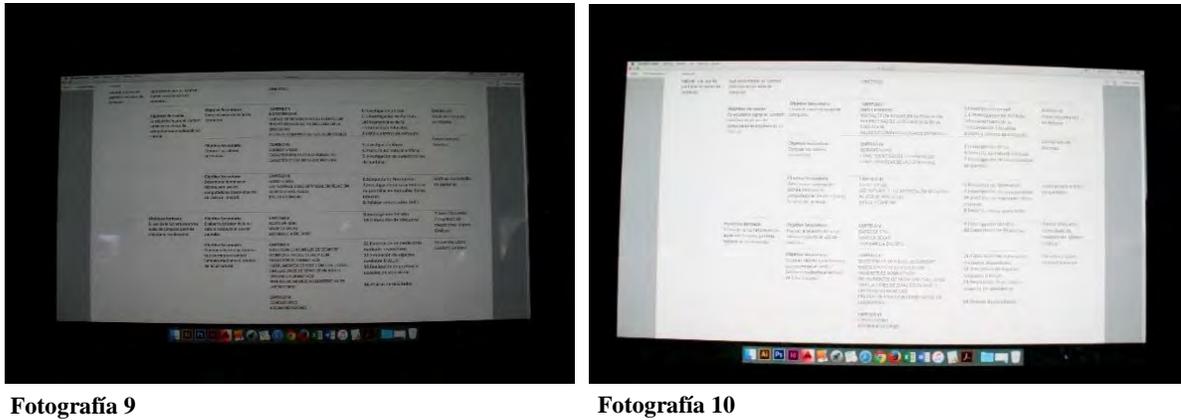


Figura 16. Fotografía 7 pantalla con brillo al 50%, fotografía 8 pantalla con brillo al 100%.
Fuente: Autoría propia

1.4.2 Biblioteca Nacional De Ciencia y Tecnología Del Instituto Politécnico Nacional

Área de software especializado

La Biblioteca Central del Instituto Politécnico Nacional IPN fue construida en 1998, actualmente cuenta con dos áreas con equipos de cómputo; la primera corresponde al Área de Software especializado, (ver figura 17) donde se observa la disposición del mobiliario. La iluminación natural proviene del plano vertical de una ventana ubicada a espaldas del usuario, mientras, la iluminación artificial proviene de luminarios con lámparas fluorescentes.



Figura 17. Área de software especializada de la biblioteca central del IPN
Fuente: Autoría propia

Las pantallas no se encuentran totalmente perpendiculares al plano de iluminación natural, pues, presentan un ángulo de giro de aproximadamente 45° . Las pantallas son de tipo difusa marca DELL E1916H. Estas pantallas no presentan reflejos debido a su tecnología, sin embargo, se alcanza a notar un halo de luz proveniente del ventanal. (Ver figura 18)



Figura 18. Posición de las pantallas tipo difusas respecto a los ventanales en la biblioteca central del IPN
Fuente: Autoría propia

Área de internet

El segundo espacio con computadoras corresponde al área de internet, esta zona presenta mayor iluminación natural complementada con iluminación artificial tipo LED.

En este espacio las pantallas se localizan frente a la iluminación natural en el plano horizontal y son de tipo difusas marca DELL. La iluminación proveniente de los ventanales es una fuente de deslumbramiento y la mayor concentración de usuarios se ubica lejos de las ventanas. (Ver figura 19)

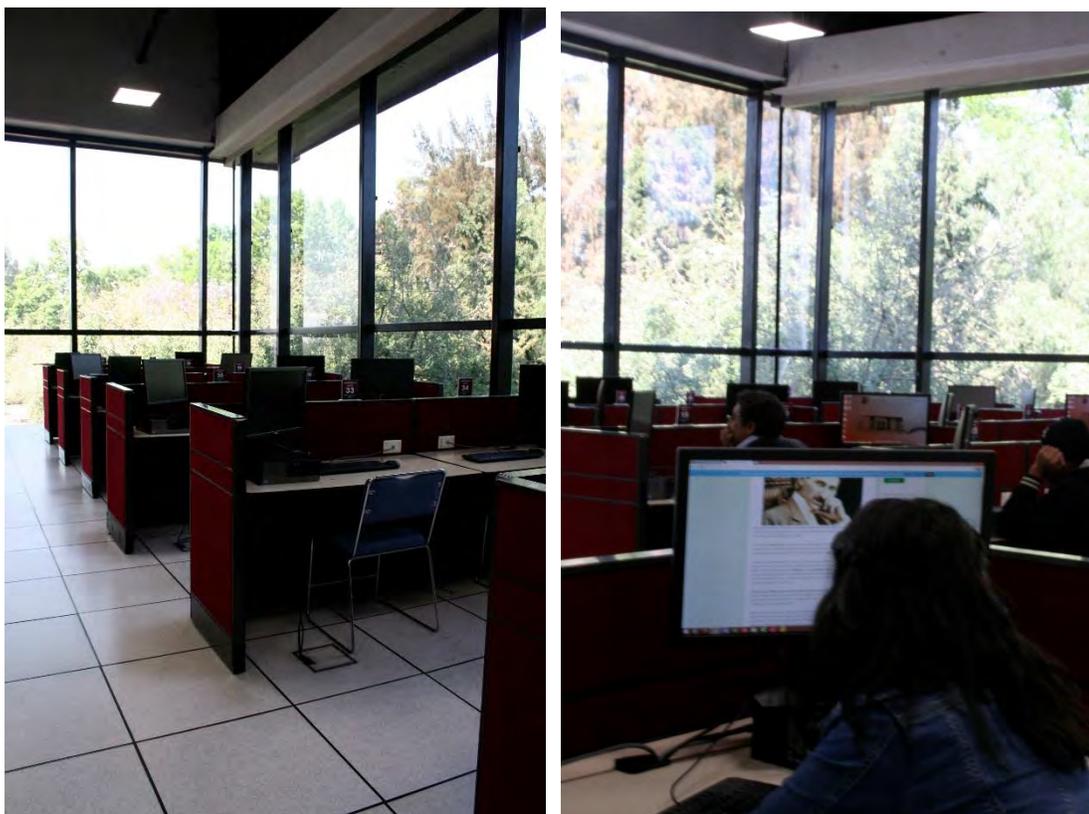


Figura 19. Posición de las pantallas respecto a los ventanales en la biblioteca central del IPN
Fuente: Autoría propia

1.4.3 Departamento de Computación del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional CINVAESTAV

En el departamento de computación del Centro de Investigación y Estudios Avanzados CINVAESTAV se desarrollan sistemas de cómputo interactivos mediante el uso de pantallas múltiples. Las condiciones o adaptaciones de iluminación son importantes motivos para documentar este espacio.

La iluminación natural se presenta en el sentido vertical unilateral, y la iluminación artificial es a base de lámparas de descarga tipo fluorescente. (Ver figura 20) Las pantallas utilizadas para el diseño de los sistemas de cómputo son de tipo difusas y están ubicadas frente a la ventana. La iluminación proveniente de las ventanas es casi nula, ya que tienen dispositivos de control total de iluminación. (Ver figura 21) En general el ambiente se percibe poco iluminado por las adaptaciones que los usuarios han realizado para estar en confort visual.



Figura 20. Iluminación artificial en aula especializada en sistemas de las pantallas en el CINVAESTAV
Fuente: Autoría propia



Figura 21. Bloqueo de la iluminación natural en aula especializada en sistema de pantallas del CINVAESTAV
Fuente: Autoría propia

1.4.4 Centro de Cómputo de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM

El centro de cómputo de la facultad de arquitectura de la UNAM mantiene la configuración de un aula tradicional, presenta iluminación natural en el plano vertical incidente de forma bilateral, además cuenta con iluminación artificial proveniente de lámparas de descarga tipo fluorescente. El mobiliario se dispone en forma paralela a las ventanas, de tal manera que el usuario tiene ventanas de frente y a su espalda. (Ver figura 22)

El ambiente se percibe poco iluminado, ya que el cristal de las ventanas tiene un elemento difusor de luz. Las pantallas utilizadas son de tipo difusa marca HP y no presentan reflejos.

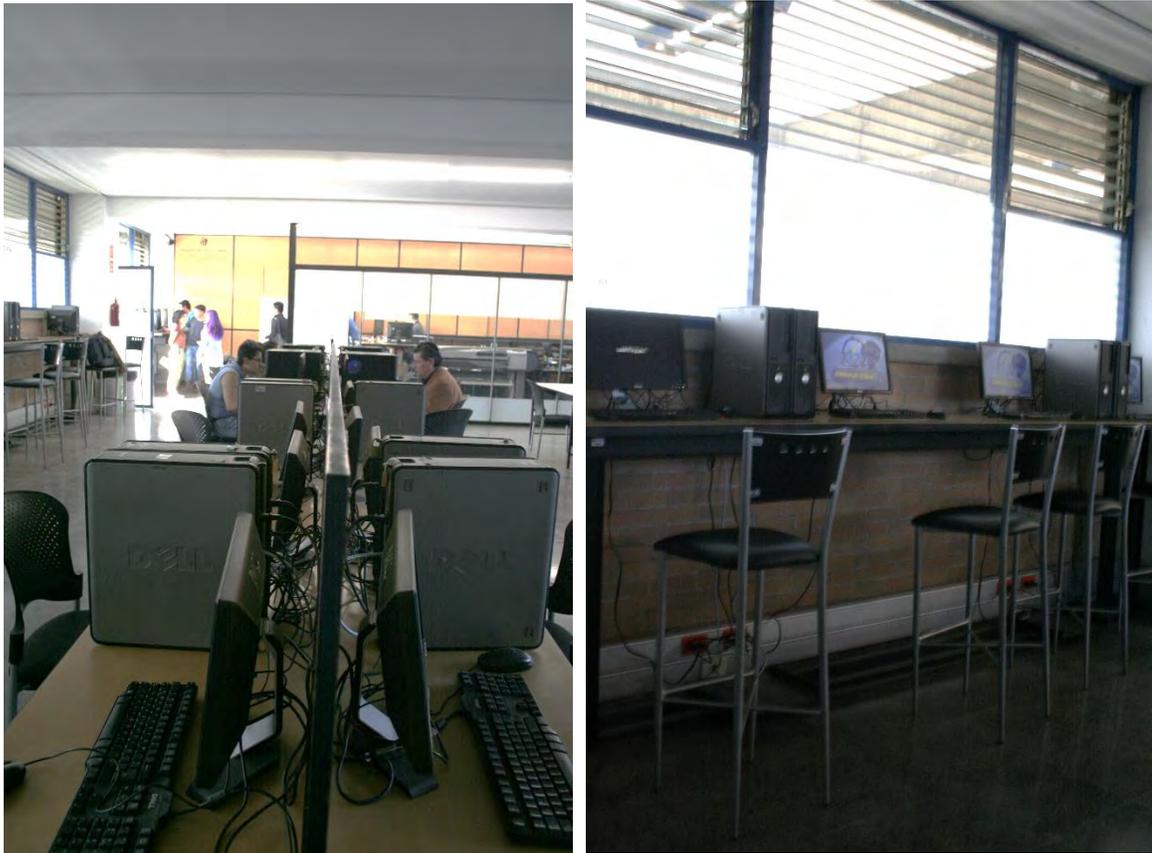


Figura 22. Izquierda-disposición de las pantallas respecto a las ventanas, Derecha-Bloqueo de iluminación natural
Fuente: Autoría propia

1.4.5 Área de Cómputo de la Biblioteca de la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM

Esta emblemática edificación fue diseñada por los arquitectos Juan O’Gorman y Gustavo María Saavedra, y construida en 1950. El diseño original no consideraba un espacio para computadoras, sin embargo, en 2003 se remodeló habilitando una sala de consulta que albergaría equipos de cómputo (UNAM, 2009).

Este espacio cuenta con iluminación natural en el plano vertical e iluminación artificial en el plano horizontal mediante lámparas de descarga tipo fluorescentes. El mobiliario en general se ubica frente a la iluminación natural proveniente del ónix translucido color ámbar de la fachada, que permite una luz difusa al nivel de la vista del usuario. (Ver figura 23) Las pantallas de tipo difusa marca DELL, tienen un eje de giro de 45° respecto a la iluminación proveniente de las fachadas.



Figura 23. Posicionamiento de mobiliario respecto a la iluminación natural y artificial.
Fuente: Autoría propia

1.4.6 Escuelas de Educación básica en Chile

Por las coincidencias en las condiciones políticas, económicas y sociales se mencionan las iniciativas de Certificación en escuelas rurales de Chile, si bien no son exclusivas para el diseño de aulas de cómputo, ofrecen información relevante sobre la gestión de iluminación en las escuelas de educación básica.

En Chile se busca la certificación en Eficiencia Energética para escuelas rurales desde las etapas de diseño, construcción y operación del edificio. En la etapa de diseño se analizan los sistemas pasivos, la envolvente térmica del edificio, el proyecto eléctrico de iluminación de alta eficiencia, proyecto de calefacción, ventilación y proyecto acústico. La certificación de Eficiencia Energética otorga categorías de acuerdo con la cantidad del gasto energético considerado en W/m^2 . Se consideran los siguientes factores para otorgar la certificación respecto al proyecto eléctrico de iluminación:

- a) Iluminancias requeridas (niveles de flujo luminoso en lux que inciden en una superficie).
- b) Uniformidad de la repartición de las iluminancias.
- c) Limitación de deslumbramiento.
- d) Limitación del contraste de luminancias.
- e) Color de la luz y la reproducción cromática
- f) Selección del tipo de iluminación, considerando las fuentes de luz y de los luminarios.

Además, en la planificación de la iluminación para la certificación se debe considerar el sistema de control y regulación, incorporando sensores de presencia ultrasónicos y/o foto celdas con ajuste automático de la intensidad luminosa, sensores duales, balastos electrónicos atenuables y la verificación de los resultados una vez realizada la instalación.

En el control y regulación de la iluminación para el ahorro de energía se considera:

- a) Control de incandescencia y fluorescencia mediante balastos atenuables
- b) Regulación 0-10 V.
- c) Control de escenas y pasillos de luz.
- d) Control en función de presencia.
- e) Control Horario
- f) Control remoto y centralización si es necesario

El proyecto eléctrico y de iluminación de alta eficacia se debe realizar considerando las simulaciones de luz natural en las aulas de clase, así como los gastos de costos globales anuales mediante el análisis del ciclo de vida. La certificación de iluminación en las aulas, antes mencionada, busca:

- 1) Calidad y eficiencia para lograr el **Confort visual**, en el que los usuarios tengan una sensación de **bienestar** y de un modo indirecto elevar su nivel de concentración y por ende la productividad.
- 2) Prestación visual, en el que los usuarios sean capaces de realizar sus **tareas visuales**, incluso en circunstancias difíciles y durante periodos más largos.
- 3) Seguridad.

Escuela Nueva Alerce y Escuela Rural Chamiza, Chile

La estrategia de iluminación empleada en las escuelas rurales Nueva Alerce y Rural Chamiza en Chile para obtener la Certificación de Eficiencia Energética, consistió en el uso de iluminación natural durante las horas más eficientes dentro del aula y la instalación controlada e independiente de luminarias, para el encendido de lámparas en horarios donde la luz natural no cumple con los niveles mínimos de iluminancia, así como los espacios en penumbra por la lejanía de las ventanas. También se emplea un sistema de cortinas que permite la entrada de luz, a la vez que protege contra el deslumbramiento.

Los sistemas de control deben ser considerados al diseñar la iluminación en las aulas del futuro, donde la arquitectura proporcione condiciones óptimas de iluminación natural y artificial, permitiendo el confort lumínico y el ahorro energético.

1.5 Nuevas tecnologías en la educación y avances en iluminación natural y artificial

1.5.1 Nuevas Tecnologías en la Educación

La educación del siglo XXI propone como herramienta el uso de nuevas tecnologías aplicadas en el proceso pedagógico. Con la finalidad de conocer los dispositivos tecnológicos que se están empleando en la educación, mencionaremos únicamente aquellos que se están implementando en México por cada programa o iniciativa.

Aula Telemática

Es un aula de educación básica que incluye los siguientes modelos:

- Aula telemática de medios, que emplea una computadora de escritorio por cada tres niños.
- Aula telemática móvil con equipo de cómputo ligero, considera el equipamiento mediante una computadora portátil por cada alumno. En este tipo de aula el maestro hace uso de una PC como servidor.
- Aula telemática de computadoras fijas. Se usa una computadora de escritorio por cada tres alumnos en el salón de clase.

Enciclomedia (SEP, s.f.)

- Computadora personal
- Proyector
- Impresora monocromática
- Mueble para computadora
- Solución de un sistema de conectividad y monitoreo.

Aula del futuro UNAM CCDET-UNAM (Fundación UNAM, 2014).

Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico

- Mesa interactiva

- Mesa que permite aportar esquemas, diagramas, resúmenes o planos a través de una tableta y compartirlos con los otros tres miembros de la mesa.
- Mesa con una pantalla táctil donde se pueden incluir pequeñas notas con nuevos conocimientos adquiridos.

Aula de futuro Samsung (Gonzales, 2014)

- Tabletas Samsung Galaxy Note 10.
- Proyectores
- Pantallas de Plasma
- Bluray

Aunque los programas mencionados anteriormente se implementan principalmente en niveles de educación básica, sirven como referencia para el desarrollo de esta investigación.

1.5.2 Avances en iluminación natural

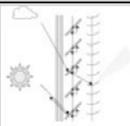
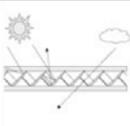
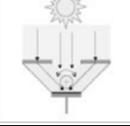
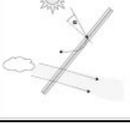
Con relación a la iluminación natural existen nuevas tecnologías que permiten el uso eficiente de la luz natural directa del sol, indirecta de la bóveda celeste o ambas. El documento *Daylight in Buildings* clasifica los diferentes sistemas de control de iluminación en: sistemas con sombra y sistemas sin sombra. La palabra *depende* en cada clasificación de los sistemas se refiere a que los criterios pueden variar de acuerdo con las características físicas del espacio, como: dimensiones, reflectancias de las superficies, así como condiciones climáticas. (Ver tabla 1)

Sistemas con sombra

1A) Sistemas de iluminación natural que usan luz difusa proveniente de la luz de la bóveda celeste, rechazando la luz directa

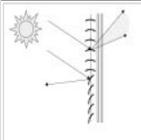
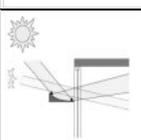
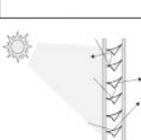
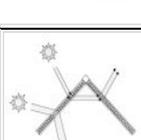
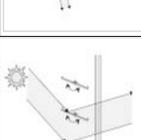
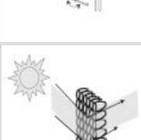
Tabla 1. (1A) Sistemas de iluminación natural con luz difusa

Fuente: Traducción propia de tabla IEA, 2000

CATEGORÍA	TIPO/NOMBRE	ESQUEMA	CLIMA	UBICACIÓN	Protección de deslumbramiento	Vista al exterior	Dirige la luz hasta la profundidad de la habitación	Iluminación Homogénea	Potencial de ahorro (iluminación artificial)	Necesidad de Seguimiento	Disponibilidad
1A PRIMARIO USANDO LUZ DIFUSA	Paneles Prismáticos		TODOS LOS CLIMAS	VENTANAS VERTICALES TRAGALUZ	DEPENDE	NO	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	DISPONIBLE
	Prismas y Percianas Venecianas		CLIMAS TEMPLADOS	VENTANAS VERTICALES	SI	DEPENDE	SI	SI	SI	SI	DISPONIBLE
	Elementos de espejo protección solar		CLIMAS TEMPLADOS	TRAGALUZ, CUBIERTAS ACRISTALADAS	DEPENDE	NO	NO	SI	NO	NO	DISPONIBLE
	Anidolico en abertura cenital		CLIMAS TEMPLADOS	TRAGALUZ	SI	NO	NO	SI	SI	NO	FASE DE PRUEBA
	Sistema direccional selectivo de sombras con elementos opticos holograficos		TODOS LOS CLIMAS	TRAGALUZ, CUBIERTAS ACRISTALADAS, VENTANAS VERTICALES	DEPENDE	SI	NO	DEPENDE	SI	SI	FASE DE PRUEBA
	Sistema de sombreado transparente con HOE basado en la reflexión total		CLIMAS TEMPLADOS	TRAGALUZ, CUBIERTAS ACRISTALADAS, VENTANAS VERTICALES	DEPENDE	SI	NO	SI	SI	SI	DISPONIBLE

1B) Sistemas de iluminación natural que emplean la luz directa del sol enviada al techo o espacio sobre la altura del nivel de los ojos. (Ver tabla 2)

Tabla 2. (1B) Sistemas de iluminación natural con sombra, redireccionando la luz directa del sol.
Fuente: Traducción propia de tabla IEA, 2000

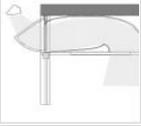
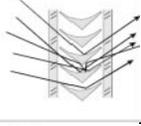
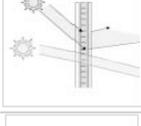
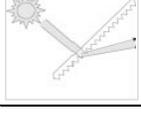
1. SISTEMAS DE LUZ DIRECTA					CRITERIOS PARA ELECCIÓN DE ELEMENTOS						
CATEGORIA	TIPO/NOMBRE	ESQUEMA	CLIMA	UBICACIÓN	Protección de deslumbramiento	Vista al exterior	Dirige la luz hasta la profundidad de la habitación	Iluminación Homogénea	Potencial de ahorro (iluminación artificial)	Necesidad de Seguimiento	Disponibilidad
1B PRIMARIO USANDO LUZ DIRECTA DEL SOL	SOMBRA Y DIRECCION DE LUZ		CLIMAS CALIDOS Y CIELOS SOLEADOS	VENTANAS VERTICALES, SOBRE LA ALTURA DE LOS OJOS	SI	SI	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	NO	FASE DE PRUEBA
	LOUVER Y PERSIANAS		TODOS LOS CLIMAS	VENTANAS VERTICALES	SI	DEPENDE	SI	SI	SI	SI	DISPONIBLE
	LUZ DE REPISA POR REDIRECCION DE LUZ DE SOL		TODOS LOS CLIMAS	VENTANAS VERTICALES	DEPENDE	SI	SI	SI	SI	NO	DISPONIBLE
	ACRISTALAMIENTO CON PERFILES REFLEJANTES		CLIMAS TEMPLADOS	VENTANAS VERTICALES, TRAGALUZ	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	NO	DISPONIBLE
	LUZ CENITAL CON PANELES DE CORTE LASER		CLIMAS CALIDOS Y CIELOS SOLEADOS, LATITUDES BAJAS	TRAGALUZ	DEPENDE		SI	SI	SI	NO	FASE DE PRUEBA
	LAMINA DE PLATAFORMA GIRATORIA		CLIMAS TEMPLADOS	VENTANAS VERTICALES, TRAGALUZ	DEPENDE SI	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	NO	DISPONIBLE
	PERSIANAS SOLARES ANIDOLICAS		TODOS LOS CLIMAS	VENTANAS VERTICALES	SI	DEPENDE	SI	SI	DEPENDE	NO	FASE DE PRUEBA

Sistemas sin sombreado

Respecto a los sistemas de iluminación sin sombreado, están diseñados para redirigir la luz natural a espacios alejados de las ventanas o domos y se dividen en cuatro tipos. (Ver tabla 3, 4)

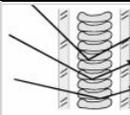
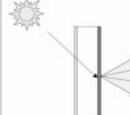
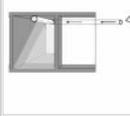
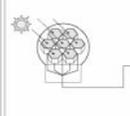
2A) Sistema guía de luz de día difusa, redirigiendo la luz de día de áreas específicas del cielo al interior de un espacio.

Tabla 3 (2A) Sistemas guía de luz difusa, (2A) Sistema guía de luz directa.
Fuente: Traducción propia de tabla IEA, 2000

2. SISTEMAS DE LUZ DE DÍA SIN SOMBRADO					CRITERIOS PARA ELECCIÓN DE ELEMENTOS							
CATEGORIA	TIPO/NOMBRE	ESQUEMA	CLIMA	UBICACIÓN	Protección de deslumbramiento	Vista al exterior	Dirige la luz hasta la profundidad de la habitación	Iluminación Homogénea	Potencial de ahorro (iluminación artificial)	Necesidad de Seguimiento	Disponibilidad	
2A SISTEMA GUIA DE LUZ DIFUSA	REPISA DE LUZ		CLIMA TEMPLADO Y CIELOS NUBLADOS	VENTANAS VERTICALES,	DEPENDE	SI	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	NO	DISPONIBLE	
	SISTEMA ANIDOLICO INTEGRADO		CLIMA TEMPLADO	VENTANAS VERTICALES	NO	SI	SI	SI	SI	NO	DISPONIBLE	
	TECHO ANIDOLICO		CLIMA TEMPLADO Y CIELOS NUBLADOS	FACHADA VERTICAL SOBRE LA VISION DE LA VENTANA		SI	SI	SI	SI	NO	FASE DE PRUEBA	
	SISTEMA FISH		CLIMAS TEMPLADOS	VENTANAS VERTICALES	SI	DEPENDE	SI	SI	SI	NO	DISPONIBLE	
	ELEMENTOS GUIA DE LUZ CENTRAL CON HOES		CLIMA TEMPLADO Y CIELOS NUBLADOS	VENTANAS VERTICALES (ESPECIALMENTE PATIOS), TRAGALUZ		SI	SI	SI	SI	NO	DISPONIBLE	
2A SISTEMA GUIA DE LUZ DIRECTA	PANEL CORTADO CON LASER		TODOS LOS CLIMAS	VENTANAS VERTICALES, TRAGALUZ	NO	SI	SI	SI	SI	NO	FASE DE PRUEBA	
	PANELES PRISMATICOS		TODOS LOS CLIMAS	VENTANAS VERTICALES, TRAGALUZ	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	DEPENDE	SI/NO	DISPONIBLE	

2B) Sistema guía de luz directa sol, mediante este sistema se redirige la luz directa del sol al interior del espacio sin causar deslumbramiento ni sobrecalentamientos.

Tabla 4 (2B) Sistemas guía de luz difusa, (2C) Sistema de dispersión, (2D) Transporte de luz.
Fuente: Traducción propia de tabla IEA, 2000

2. SISTEMAS DE LUZ DE DIA SIN SOMBREADO					CRITERIOS PARA ELECCIÓN DE ELEMENTOS						
CATEGORIA	TIPO/NOMBRE	ESQUEMA	CLIMA	UBICACIÓN	Proteccion de deslumbramiento	Vista al exterior	Dirige la luz hasta la profundidad de la habitacion	Iluminacion Homogenea	Potencial de ahorro (iluminacion artificial)	Necesidad de Seguimiento	Disponibilidad
2B SISTEMA GUIA DE LUZ DIFUSA	HOES EN TRAGALUZ		TODOS LOS CLIMAS	TRAGALUZ	DEPENDE	SI	SI	SI	SI	NO	DISPONIBLE
	CRISTAL DIRECCIONADOR DE SOL		TODOS LOS CLIMAS	VENTANAS VERTICALES, TRAGALUZ	DEPENDE	NO	SI	SI	SI	NO	DISPONIBLE
2C SISTEMA DE DISPERSION	SISTEMA DE DISPERSION		TODOS LOS CLIMAS	VENTANAS VERTICALES, TRAGALUZ	NO	NO	SI	SI	DEPENDE	NO	DISPONIBLE
2D TRANSPORTE DE LUZ	HELIOSTATOS		TODOS LOS CLIMAS, CIELOS SOLEADOS				SI		SI	SI	DISPONIBLE
	TUBO GUIA DE LUZ		TODOS LOS CLIMAS, CIELOS SOLEADOS				SI	SI	SI	NO	DISPONIBLE
	TUBO SOLAR		TODOS LOS CLIMAS, CIELOS SOLEADOS	TECHO			SI	DEPENDE	SI	NO	DISPONIBLE
	FIBRAS		TODOS LOS CLIMAS, CIELOS SOLEADOS				SI		SI	SI	DISPONIBLE
	TECHO LUZ GUIA		CLIMAS TEMPLADOS Y CIELOS SOLEADOS				SI	SI	SI	NO	FASE DE PRUEBA

2C) Luz dispersa o sistema de luz difusa, es un sistema utilizado principalmente en iluminación en el plano horizontal y permite la distribución de la iluminación al interior del espacio. Al ser usado en ventanas puede producir deslumbramientos importantes.

2D) Sistemas de transporte de luz. Estos sistemas recolectan la luz directa del sol y la canalizan al interior del espacio mediante fibra óptica

1.5.3 Avances en iluminación artificial

En el diseño de iluminación es necesario tomar en cuenta los requerimientos tanto de iluminación natural como artificial. En este sentido, se analizaron los avances tecnológicos referentes a los sistemas de control de iluminación artificial y su aplicación para cada fuente luminosa existente, desde el concepto de la iluminación eficiente como aquella que integra fuentes de luz eficiente, equipos auxiliares y la gestión de iluminación.

La iluminación eficiente permite un potencial ahorro en el consumo de energía eléctrica, además, estos sistemas de control permiten:

- La atenuación automática de la luz de acuerdo con la disponibilidad de luz de día.
- Comunicación entre dispositivos de iluminación que permiten activar los sistemas de iluminación con base en sensores de ocupación del espacio.
- Realizar mantenimiento de flujo luminoso

Para lograr una iluminación eficiente es necesario:

- Incluir la gestión de la iluminación.
- Sustitución de lámparas ineficientes
- Sustitución de balastos de luz ineficientes por balastos electrónico, estos suprimen los efectos estroboscópicos, parpadeo, y zumbidos.

1.5.3.1 Gestión de iluminación

La gestión de iluminación se refiere al control del sistema de iluminación, ya sea mediante la comunicación entre estos dispositivos o la capacidad de atenuar las fuentes luminosas. Actualmente es posible el uso de software de computadoras que permiten controlar balastos mediante sistemas de control remoto, también, es posible configurar los sistemas para que funcionen de manera manual o automática. La gestión de la iluminación, además, considera la necesidad de dividir por zonas los espacios dependiendo de la cercanía con las ventanas y el espacio de trabajo de los usuarios.

Los sistemas de control de iluminación no deben resultar molestos para los ocupantes, cumplir con los estándares de iluminación y tener un tiempo razonable de recuperación de inversión. Además, permiten activar o desactivar la iluminación, atenuarla o cambiar la temperatura de color, para generar diferentes ambientes luminosos.

Los sistemas de control de iluminación se pueden manipular de manera central o local. Con un sistema central es posible controlar desde una lámpara hasta un edificio y generalmente se basan en sensores de luz natural; mientras que los sistemas controlados a nivel local emplean un sensor de luminancia que calcula la iluminación en la superficie de trabajo y ajusta el flujo luminoso de la lámpara. En general estos sistemas trabajan mejor que los sistemas centralizados.

A continuación, se describen de manera general los sensores útiles para los sistemas de control de iluminación.

a) Sensores

Los sensores en un sistema de control de iluminación permiten el ahorro de energía al mantener las luces encendidas en un espacio, únicamente cuando estas sean necesarias.

Sensores de presencia pasivos infrarrojos PIR

Detectan el movimiento de calor emitido por el cuerpo humano, estos sensores responden a movimientos más perceptibles que los sensores ultrasónicos y funcionan mejor en áreas pequeñas y cerradas con altos niveles de movimiento y ocupación.

Sensores de presencia ultrasónicos

Estos sistemas de sensores actúan como transmisores y receptores, enviando continuamente ondas de sonido, y son capaces de responder a cambios de las frecuencias emitidas ocasionadas por el cambio de posición de una persona, son más sensibles a movimientos imperceptibles y resultan idóneas para espacios donde se realizan cantidades mínimas de movimiento.

Sensores de presencia multi-tecnología

Estos dispositivos combinan la tecnología pasiva ultrasónica e infrarroja, logrando una detección de largo alcance de la tecnología infrarroja y la alta sensibilidad de la tecnología ultrasónica.

Sensor de luz diurna

Los sensores de luz diurna son componentes del sistema de control de iluminación y permiten el aprovechamiento de la luz natural, atenuando de forma inteligente los luminarios.

Sensores fotoeléctricos

Los sensores fotoeléctricos detectan la presencia o ausencia de luz de día y envían la señal a un controlador que ajusta la iluminación. Un único sensor en un área grande puede causar errores en el sistema si algunas áreas se encuentran en penumbra por la sombra generada por algún edificio o árbol.

b) Controles de atenuación

Los controles de atenuación permiten la regulación del flujo luminoso mediante la alteración de la cantidad de energía que fluye hacia la lámpara, mediante la información obtenida de los sensores de luz de día. Si la luz de día es inferior a la iluminancia requerida, entonces, se activa el sistema de control que permite una iluminación adecuada en el área de trabajo.

1.5.3.3 Iluminación Comercial

Sobre el concepto de iluminación en las escuelas, actualmente en Europa y Estados Unidos están implementando en las aulas un sistema llamado Schoolvision, que genera cuatro ambientes luminosos acordes a la actividad a realizar. De acuerdo con los informes, este sistema influye positivamente en la agudeza visual y en las tareas de concentración. (Nebrija, 2012). La figura 24 muestra los cuatro escenarios generados por el cambio en la temperatura de color de la iluminación empleando el sistema Schoolvision, diseñado para generar determinadas conductas en los estudiantes.



Iluminación que propicia energía



Iluminación que propicia calma



Iluminación que propicia concentración



Iluminación normal

Figura 24 Ambientes luminosos creados a partir de los cambios en la temperatura de color para Fuente: (Nebrija, 2012).

1.6 Normatividad

Normatividad en energía

La Norma Oficial Mexicana NOM-007 ENER-2004 es una norma de carácter obligatoria, impulsada por la Secretaría de Energía. Establece los niveles de la eficiencia energética para los sistemas de alumbrado en edificios no residenciales, en términos de densidad de potencia eléctrica, así como los métodos de cálculo para dicha potencia. El valor máximo para la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) en escuelas es de 16 W/m². (Secretaría de Trabajo y Previsión Social, 2008).

Normatividad en el diseño de iluminación

NOM-025

La Norma Oficial Mexicana NOM-025 es de carácter obligatoria, impulsada por la Secretaría de Trabajo y Previsión Social. Establece los niveles mínimos de iluminación en los puestos de trabajo, así como los niveles máximos permisibles del Factor de Reflexión RF en muros, pisos, plafones y planos de trabajo. También, contiene la metodología para la medición in situ de estos valores con los cuales se puede determinar si se cumple con lo establecido en esta Norma.

Esta investigación busca evaluar y proponer las condiciones del ambiente lumínico para las aulas de cómputo, partiendo de los lineamientos existentes. Entonces, se retomaron los parámetros de la NOM-025, así como su metodología para determinar niveles de reflexión, la cual fue empleada en el desarrollo de esta investigación para caracterizar el ambiente lumínico. De la norma, se consideraron los siguientes conceptos generales aplicables al diseño de iluminación:

- Evitar el deslumbramiento directo o por reflexión
- Seleccionar un fondo visual adecuado a las actividades.
- Evitar bloquear la iluminación durante el desarrollo de las actividades
- Evitar zonas donde existan cambios bruscos de iluminación

La tabla 5 muestra el valor de los niveles mínimos de iluminación para diferentes tareas visuales en sus correspondientes áreas de trabajo, establecidos por la NOM-025. (Secretaría de Trabajo y Previsión Social, 2008)

Tabla 5. Niveles mínimos de iluminación
Fuente: Norma 025 (*Secretaría de Trabajo y Previsión Social, 2008*)

Tarea Visual del Puesto de Trabajo	Área de Trabajo	Niveles Mínimos de Iluminación (lux)
Distinción clara de detalles: maquinado y acabados delicados, ensamble de inspección moderadamente difícil, captura y procesamiento de información, manejo de instrumentos y equipo de laboratorio.	Talleres de precisión: salas de cómputo, Áreas de dibujo, laboratorios.	500

La tabla 6 muestra los niveles máximos permisibles de reflexión en paredes y planos de trabajo para espacios laborales.

Tabla 6 Niveles máximos de reflexión
Fuente: Norma 025 (*Secretaría de Trabajo y Previsión Social, 2008*)

Concepto	Niveles Máximos Permisibles de Reflexión
Paredes	60%
Plano de trabajo	50%

NOM-064 SCFI 2000

La Norma Oficial Mexicana NOM-064 SCFI 2000 es una de carácter obligatoria, impulsada por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial SCFI. Establece los requisitos de seguridad y métodos de prueba aplicables a luminarias de interiores y exteriores. Es aplicable a luminarios con lámparas fluorescentes, de descarga de alta intensidad, tungsteno, halógeno, vapor de sodio de baja presión.

ASHRAE 2004

La norma ASHRAE 2004 por sus siglas en inglés American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, es una norma norteamericana aplicable para la construcción de edificios residenciales de gran altura y no residenciales. Esta norma es aplicable también para modificaciones en instalaciones de iluminación en jardines exteriores alimentados desde el edificio. La Norma ASHRAE hace referencia al control de la iluminación estableciendo lo siguiente:

- El apagado automático de iluminación aplicable a edificios mayores a 1500m²
- Los dispositivos de control se deben programar con horarios separados para cada piso o cada 7500 m².
- Toda la iluminación general debe ser controlada por uno o más sensores de ocupación.
- Se deben activar el sistema de apagado de lámparas 30 minutos después de la última detección de ocupantes.
- Deben diseñarse sistemas de control considerando al menos uno por habitación o por espacios cerrados por divisiones a la altura del techo, y deben ser accesibles para los usuarios a menos que esto represente problemas de seguridad.
- Para aulas, salas de conferencia, comedores de empleados y salas de descanso la Norma establece que los dispositivos de control interrumpirán la iluminación 30 minutos después de la última detección de ocupantes, excepto en espacios de control con multi-escena, así como laboratorios, aulas taller y salones de preescolar. Para todos los demás espacios se debe cumplir con lo siguiente: en espacios menores o iguales a 3000 m² cada dispositivo control puede servir a un máximo de 750 m²; en espacios mayores a 3000m² cada dispositivo puede servir a un máximo de 3000m².

Reglamento de Construcción del Distrito Federal.

Es importante mencionar el Reglamento de Construcción del Distrito Federal versión 2004 en apartado Arquitectónico, que define características mínimas de iluminación artificial en lux. (Ver tabla 7). Sin embargo, la portación fundamental a esta investigación es el pre-dimensionamiento de ventanas para lograr la iluminación natural. (Arnal Simon Luis, 2005)

- Establece que los locales habitables de las edificaciones contarán con medios que aseguren la iluminación diurna y nocturna. Deben contar con ventanas que den hacia espacios abiertos.
- El área de la ventana no será inferior al 17.5% del área del local en todas las edificaciones, excepto en locales complementarios, donde este porcentaje no será inferior al 15%.
- El porcentaje mínimo de ventilación será del 5% del área del local.
- Se permite iluminación diurna por medio de domos o tragaluces, dimensionados tomando como base mínima el 4% de la superficie de local, excepto industrias, y el coeficiente de transmisibilidad del espectro solar del material transparente o translucido será del 85%.
- Los vidrios o cristales de las ventanas de piso a techo en cualquier edificación deben cumplir con la Norma Oficial NOM-146-SCFI, excepto aquellos que cuenten con barandales y manguetas a una altura de 90 cm del nivel de piso diseñados de manera que impidan el paso de niños, o estar protegidos con elementos que impidan el choque del público contra ellos.

Tabla 7 Niveles mínimos de iluminación

Fuente: Reglamentos de construcciones del DF. (Arnal Simon Luis, 2005)

Tipo de Edificación	Local	Nivel de Iluminación
Educación e instituciones científicas		
Atención y educación preescolar	Aulas	250 luxes
Educación formal básica y media	Aulas y laboratorios	300 luxes
	Circulaciones	100 luxes

CAPÍTULO II Ciencia de la iluminación

En este capítulo se abordan conceptos relacionados con la ciencia de la luz como un fundamento de conocimiento para la planeación de esta investigación, pues estos conceptos se relacionan directamente con el diseño de iluminación tanto natural como artificial. Es importante tener presente este conocimiento que servirá para la interpretación de resultados en las pruebas experimentales.

2.1 Espectro de la luz

La luz se define como el agente físico que hace posible la visión de los objetos (Leon, et al., 2004), también es definida como la radiación electromagnética capaz de afectar el sentido de la visión. (Aguilar & Plata, 2000). Los ojos detectan ondas luminosas solo en un pequeño rango de frecuencias, la luz de frecuencia mínima es la roja y la de mayor frecuencia es la violeta. Las diversas longitudes de onda en el espectro de la luz corresponden a los diferentes colores que van desde el rojo (780 nm), al violeta (380 nm), ver figura 25.

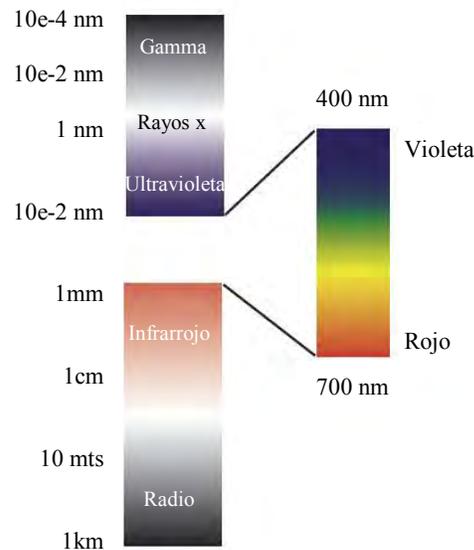


Figura 25 Espectro de la luz visible 400nm a 700nm.
Fuente: (IDAE, 2005)

La mayor parte de la energía que llega a nuestro planeta procede del sol. La energía emitida por el sol es una radiación electromagnética que se comporta a la vez como una onda, con su frecuencia, y como una partícula, llamada fotón.

2.2 Color

Se puede definir al color como una interpretación subjetiva psicofisiológica del espectro visible. (INDALUX, 2002) Como se mencionó, la luz es una radiación electromagnética y a cada radiación dentro del espectro de frecuencias visible le corresponde una denominación de color.

Se distingue el color de un objeto por sus propiedades ópticas, no porque produzcan o tengan color, mediante dichas propiedades ópticas pueden reflejar, refractar o absorber los colores de la luz que reciben, es decir, las sensaciones que nuestro cerebro recibe como color dependen de la composición espectral de la luz con la que se ilumina el objeto. Se pueden evaluar las superficies de los objetos tal y como son percibidas por el ojo en función de sus atributos o cualidades de color, las cuales son:

- *Claridad o esplendor*: Un objeto es más claro cuando más se aleja su color del negro en escalas de grises.
- *Tono o matiz*: Es el nombre común del color y hace referencia a la longitud de onda
- *Pureza o saturación*: Es la proporción en la que un color esta mezclado con el blanco y hace referencia a la pureza espectral.

Para evitar la evaluación subjetiva de color la C.I.E. elaboró el diagrama cromático que se observa en la figura 26, el cual permite manejar de manera cuantitativa el color; de esta forma existe un acuerdo para la determinación de color, principalmente en la industria.

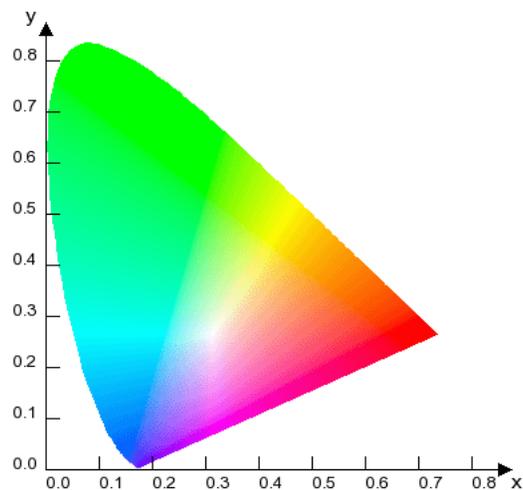


Figura 26 Diagrama Cromático de CIE
Fuente: (IDAE, 2005)

Este diagrama se basa en la mezcla de tres radiaciones con diferente composición espectral que permite obtener una nueva radiación con un valor numérico distinto. Las tres radiaciones están relacionadas con la visión humana, pues la retina, como se verá más adelante, se compone de receptores fotosensibles llamados conos, capaces de percibir tres longitudes de onda correspondientes al color rojo, verde y azul conocido como RGB por sus siglas en inglés Red, Green, Blue. (IDAE, 2005) .

2.3 Temperatura de color

La temperatura de color es una expresión que se utiliza para indicar el color de una fuente de luz en comparación con un cuerpo negro, es decir, el radiante perfecto teórico cuya emisión de luz es debido a su temperatura. En este sentido, el cuerpo negro como cualquier cuerpo incandescente cambia su color al aumentar su temperatura, comenzando en su temperatura más baja por el tono rojo, pasando por el naranja, amarillo, blanco y finalmente el azul. La temperatura de color no es una medida de temperatura, pues define únicamente el color de una fuente, las tonalidades se miden en grados Kelvin. (Ver figura 27)

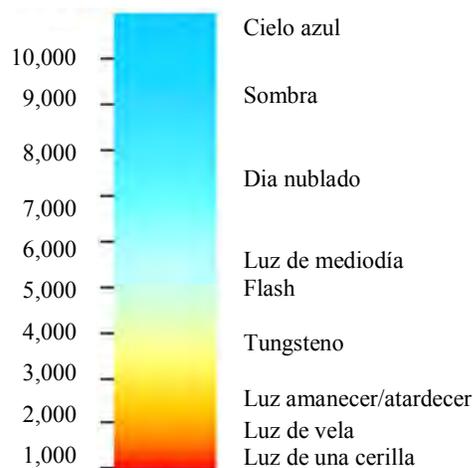


Figura 27. Temperatura de color en escala Kelvin
Fuente: (IDAE, 2005)

La temperatura de color de la luz tiene efectos psicológicos sobre el ser humano, pues existen estudios que comprueban que las sensaciones se asocian a cada temperatura de color, en este sentido, se puede hablar de sensaciones de calor y frío con temperaturas de color cálidas y frías. Los colores cálidos van de rojo al amarillo verdoso, mientras que los colores fríos van del verde al azul. Los colores cálidos son dinámicos y

producen una sensación de proximidad, mientras que los colores fríos son relajantes y producen una sensación de lejanía. (IDAE, 2005) .

En este sentido, se retoma el sistema llamado *School visión* implementado en las escuelas de Europa y E. E. U. U. que genera cuatro ambientes luminosos cambiando la temperatura de color, para generar en los alumnos determinadas sensaciones y conductas.

2.4 Índice de Reproducción Cromática IRC y Modelo TM-30-15

Como ya se ha mencionado, la temperatura de color se refiere únicamente al color de la luz sin considerar su composición espectral responsable de la reproducción de los colores sobre los objetos. En este sentido, el índice de reproducción cromática se define como la capacidad de reproducción cromática de los objetos iluminados con una fuente de luz. El índice de reproducción cromático conocido como IRC por sus siglas, se expresa en una escala del 1 a 100, el valor de 100 corresponde a un IRC igual al obtenido con la luz natural. (Ver figura 28) (IDAE, 2005) .

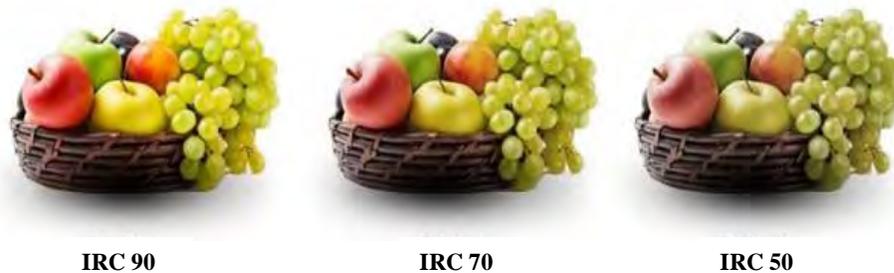


Figura 28. Representación de los índices de reproducción cromática ICR
Fuente: (ENERGEA, 2017)

Recientemente la IES presentó un modelo denominado TM-30-15 para evaluar la interpretación del color de las fuentes luminosas, este modelo introduce tres nuevos conceptos: Fidelity Index (Rf), Gamut Index (Rg), Color Vector. El primer concepto se refiere a la interpretación precisa del color, similar al CRI; el segundo provee información sobre el promedio de saturación de la fuente; el tercero es una representación gráfica de los colores en relación con una fuente de iluminación. (IES Chicago, 2017)

2.5 Propiedades ópticas de la luz

De acuerdo con el manual de Luminotecnia (INDALUX, 2002), la luz presenta tres principales propiedades físicas cuando viaja de un medio a otro: la reflexión, la absorción, la transmisión y refracción.

Reflexión

La reflexión sucede cuando las ondas de cualquier tipo inciden sobre una barrera plana como un espejo y se generan nuevas ondas procedentes de la fuente inicial que se alejan de la barrera plana. Existen tres tipos de reflexiones principales: reflexión especular, reflexión difusa y reflexión mixta.

Reflexión especular

Se produce cuando la superficie reflectora es lisa. (Ver figura 29) Dicha reflexión obedece a dos leyes fundamentales:

- 1. El rayo incidente, el rayo reflejado y el normal a la superficie en un punto de incidencia se trazan en un mismo plano.
- 2. El ángulo de incidencia (i) es igual al ángulo de reflexión (r).

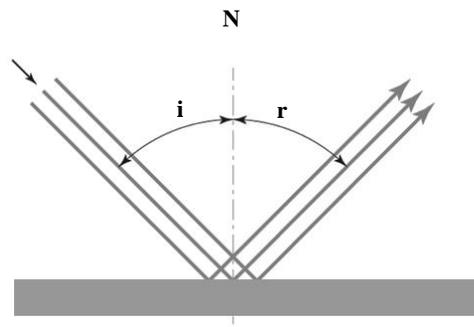


Figura 29. Esquema de la reflexión tipo especular
Fuente: (INDALUX, 2002)

Reflexión difusa

Cuando una superficie no está pulida o está compuesta por finas partículas reflectantes, se produce una reflexión difusa, cada una de las partículas puede actuar como un micro reflector, pero como las partículas se encuentran en diferentes direcciones, la luz se refleja en diferentes ángulos.

Las superficies de yeso o papel producen una reflexión difusa, ver figura 30.

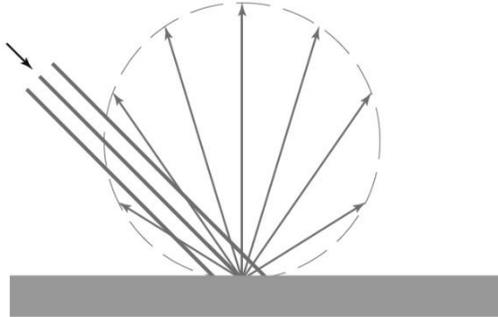


Figura 30 Esquema de la reflexión tipo difusa
Fuente: (INDALUX, 2002)

Reflexión mixta

Algunas superficies tienen reflexión mixta, no son totalmente difusas ni totalmente especulares, es decir, una parte de la luz se refleja en un ángulo igual al de incidencia y la otra parte se refleja en diferentes direcciones, ver la figura 31. Ejemplos de reflexión mixta son el metal no pulido, superficies barnizadas o papeles brillantes.

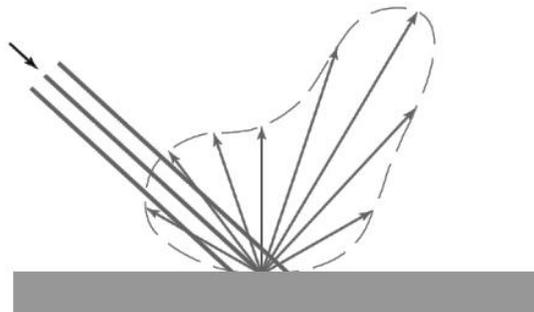


Figura 31 Esquema de la reflexión tipo mixta
Fuente: (INDALUX, 2002)

Transmisión

La transmisión es el paso de la luz a través de un medio transparente, cuando la luz atraviesa un medio físico, una parte se pierde por reflexión y por absorción de material que atraviesa. En tanto, la relación entre la cantidad de luz que incide sobre el material y la luz transmitida se denomina transmitancia del material. En elementos como el vidrio, agua y aire, la luz se transmite sin cambios de frecuencia en las radiaciones monocromáticas.

La transmisión se puede dar de varias formas: *transmisión regular*, cuando la luz transmitida es igual a la luz incidente, después de atravesar un material sin producir cambios en la dirección o calidad de la luz; *transmisión difusa*, cuando la luz que incide sobre un material sale en diferentes direcciones, a estos medios se denomina translúcidos; y finalmente, la *transmisión mixta* es intermedia entre regular y difusa.

Absorción

La absorción ocurre cuando una forma de energía se transforma en otra, generalmente calor, al ser captada por un material. Los materiales que absorben todo el rango de luz visible se denominan opacos; los que permiten el paso de todo el rango visible de luz se llaman transparentes. La relación entre la luz incidente en un material y la luz absorbida se denomina absortancia del material.

Refracción

Cuando la luz pasa de un medio a otro, puede cambiar de dirección debido a la alteración de la velocidad de la luz, y esta depende de la densidad del medio que atraviesa. Cuanto más denso sea el material, más lento será la velocidad de la luz y viceversa. (INDALUX, 2002)

2.6 Unidades de medida

Para determinar el diseño experimental de este documento, fue necesario el conocimiento y análisis de las unidades de medida de la luz, por lo cual, se extrajeron los conceptos fundamentales del texto Handbook of lighting design (Ganslandt & Harald, 1992); y el Manual de luminotecnia 2002 en el capítulo de Magnitudes luminosas. (INDALUX, 2002)

Flujo luminoso

Es la cantidad de luz emitida por una fuente en un segundo en todas las direcciones, el flujo luminoso se representa por la letra griega Φ y su unidad es el lumen (lm). (Ver figura 32)

$$\Phi = \frac{Q}{t}$$

Φ = Flujo luminoso en Lúmenes.

Q = Cantidad de luz emitida en Lúmenes x segundo.

t = Tiempo en segundos.

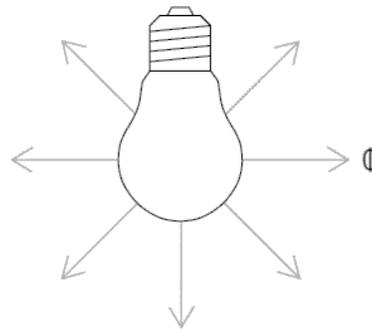


Figura 32. Representación del flujo luminoso
Fuente: Manual Erco (Ganslandt & Harald, 1992)

Eficacia Luminosa

La eficacia luminosa de una fuente de luz indica el flujo que emite la misma por cada unidad de potencia eléctrica consumida para su obtención. Se representa por la letra griega ε , siendo su unidad el lumen/watio (lm/W).

$$\text{Eficacia Luminosa} = \frac{\text{Lumen}}{\text{Watts}}$$

En símbolos la fórmula se expresa:

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

ε = Eficacia Luminosa

Φ = Flujo luminoso en Lúmenes.

P = Potencia eléctrica

Intensidad luminosa

La intensidad luminosa indica la cantidad de luz emitida en un segundo y en una sola dirección contenida en un ángulo sólido. Haciendo referencia al ángulo sólido como la magnitud de volumen de un ángulo medido en estereorradianes, la figura 33 muestra una representación gráfica de la intensidad luminosa.

Originalmente se definía una candela como la intensidad luminosa de una vela. Actualmente la candela se define como 1/60 de la intensidad luminosa por cm^2 del "cuerpo negro" a la temperatura de solidificación del platino (2.042 °K) Su símbolo es I , su unidad es la candela (cd), y la fórmula que la expresa es la siguiente:

$$\text{Candela} = \frac{\text{lm}}{\text{sr}}$$

En símbolos la fórmula se expresa:

$$I = \frac{\Phi}{\text{sr}}$$

I = Intensidad luminosa en candelas.

Φ = Flujo luminoso en lúmenes.

sr = Ángulo sólido en estereorradianes.

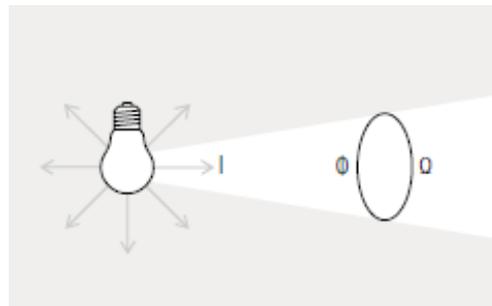


Figura 33 Representación de la intensidad luminosa
Fuente: Manual Erco (Ganslandt & Harald, 1992)

Iluminancia

La iluminancia o nivel de iluminación de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe la superficie por área. (Ver figura 34). Se representa por la letra E y su unidad es el Lux, la fórmula que expresa la iluminancia es:

$$\text{Lux} = \frac{\text{Lumen}}{\text{m}^2}$$

En símbolos la fórmula se expresa:

$$E = \frac{\theta}{A}$$

E = Iluminancia

θ = Flujo luminoso

A = Área

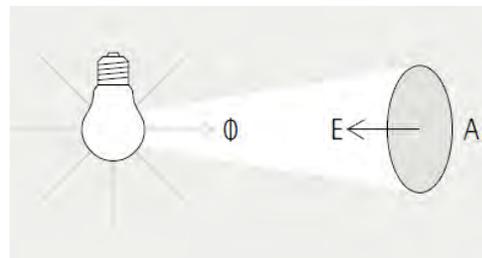


Figura 34. Representación de la iluminancia
Fuente: Manual Erco (Ganslandt & Harald, 1992)

Luminancia

Se llama Luminancia al efecto de luminosidad que produce una superficie en la retina del ojo, procedente tanto de una fuente primaria que produce luz, como de una fuente secundaria o superficie que refleja luz. En este sentido, la luminancia mide el brillo de las fuentes luminosas primarias y de las fuentes que constituyen los objetos iluminados.

La luminancia es el cociente entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada en dicha dirección. La *Guía técnica de aprovechamiento de luz natural en edificios* define la luminancia como la energía luminosa emitida o reflejada en dirección al ojo de un observador, medida en cd/m^2 .

Ley del inverso al cuadrado

El nivel de iluminación proporcionada por una fuente en una determinada dirección es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la que se encuentra la fuente respecto a un plano, cuando la superficie es perpendicular al flujo de luz.

$$E = \frac{I}{d^2}$$

I =Intensidad luminosa en candelas

d^2 =distancia de la fuente respecto al plano en metros

Si el plano forma un ángulo respecto al flujo luminoso, la fórmula será la siguiente:

$$E = \left(\frac{I}{d^2}\right) \text{Cos } \theta$$

I =Intensidad luminosa en candelas

d^2 =distancia de la fuente respecto al plano en metros

$\text{Cos } \theta$ = Coseno del ángulo formado por el plano de trabajo respecto a la fuente luminosa.

Brillo y Contraste

La información visual que recibimos no se debe únicamente a las luminancias, sino a las variaciones de estas, que son detectadas por el ojo en el campo visual, es decir, el contraste de luminancias. La sensibilidad del ojo al contraste se determina por la "luminancia de adaptación" que es la capacidad que tiene el ojo para adaptarse a distintos niveles de luminancia.

El contraste puede verse afectado cuando existe una fuente de deslumbramiento molesto, o cuando existen reflexiones de velo. Como se mencionó anteriormente, la luminancia es el parámetro de estímulo visual y es por esto por lo que se percibe la luminosidad o brillo de una superficie.

2.7 Ambiente luminoso

El ambiente luminoso o entorno visual se establece en dos niveles en relación con la tarea: el entorno cercano a la tarea y el entorno alejado de la tarea. El ambiente luminoso se determina a partir de los *niveles de iluminación requeridos, el confort visual y la seguridad*.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía establece condiciones que permiten un ambiente luminoso adecuado, incluyendo los niveles requeridos de iluminación para realizar una tarea, el confort visual y la seguridad. (IDAE, 2005)

Con base en varios autores se puede decir que el ambiente luminoso se determina mediante los siguientes criterios fundamentales:

- Cantidad de iluminación
- Distribución de luminancias.
- Iluminancia.
- Uniformidades de iluminancia.
- Deslumbramiento.
- Direccionalidad de la luz o modelado.
- Color en el espacio visual.
- Efectos perjudiciales sobre la visión.

Cantidad de iluminación

El nivel de iluminación se refiere a la cantidad de luz requerida para realizar determinada tarea, como se mencionó anteriormente, se tomó como base la NOM-025 que establece un valor mínimo de 500 lux en el plano de trabajo horizontal para salas de cómputo.

El valor dado en lux hace referencia a la iluminancia, como se mencionó antes, la iluminancia es el flujo luminoso que incide sobre una superficie, el ojo no puede percibir dicho flujo, más bien percibe la luz emitida, transmitida o reflejada de las superficies, es decir, la percepción del ojo depende de las luminancias. Entonces, un dato normativo exclusivo de iluminancia no será suficiente para el diseño de iluminación, pues la percepción visual es un proceso en cual el ser humano obtiene información de su medio a través de la luz reflejada hacia sus ojos.

Mas aún, la planificación de la iluminación no se debe basar únicamente en las iluminancias y luminancias, pues resulta necesario considerar la percepción psicológica entre la fuente de luz, el objeto y el sujeto perceptivo. Las luminancias proyectadas sobre la retina no son el producto final, sino que son la base de un complejo proceso denominado visión, que involucra actitudes y expectativas del observador. (Ganslandt & Harald, 1992)

Por otro lado, es necesario establecer una superficie de referencia donde se proyectará la iluminancia proveniente de la fuente luminosa y generalmente es donde se realiza una tarea específica. (INDALUX, 2002)

Distribución de luminancias

Se requiere una distribución de luminancias equilibrada, que permita observar al objeto en función del contraste, fondo, y tamaño. El equilibrio entre las luminancias aumenta la agudeza visual, definida como la capacidad de distinguir dos objetos que se encuentran próximos. La sensibilidad al contraste permite la discriminación entre diferencias de luminancia y la eficiencia de las funciones oculares.

La distribución de luminancias en el campo de visión afecta también al confort visual, por tal motivo deben evitarse las siguientes condiciones:

- Luminancias demasiado elevadas, que pueden dar lugar a deslumbramiento;
- Contrastes de luminancia demasiado altos, que causarán fatiga debido a la readaptación constante de los ojos.

- Luminancias bajas y contrastes de luminancias bajos, que pueden generar un ambiente visual mortecino y poco estimulante. (IDAE, 2001).

Uniformidad de iluminancias

Debe existir un equilibrio entre las iluminancias del espacio de trabajo respecto a la iluminancia de las áreas circundantes inmediatas, pues grandes diferencias de iluminancia pueden conducir a tensiones y molestias visuales. Los valores de las iluminancias de los espacios próximos a una zona de trabajo se encuentran en la tabla 8.

Tabla 8. Uniformidades y relación entre iluminancias de áreas circundantes inmediatas al área de la tarea
Fuente: Manual ERCO (*Ganslandt & Harald, 1992*)

Iluminancia de la tarea en lux	Iluminancia de las áreas circundantes inmediatas lux
≥750	500
500	300
300	200
≤200	E tarea
Uniformidad ≥0.7	Uniformidad ≥0.5

Otros autores consideran que la luminancia del entorno inmediato a la tarea debe ser inferior a la luminancia de la tarea, pero no menor de la relación 1/3. La luminancia del entorno alejado debe ser 1/10 de la luminancia de la tarea.

Luz difusa y luz dirigida

Dentro de las cualidades de la luz podemos hablar de la luz difusa y la luz dirigida. La luz difusa en el caso de la luz natural proviene de la bóveda celeste; en la iluminación artificial proviene de techos luminosos. Esta luz difusa también puede reflejarse creando una iluminación suave y uniforme, dando claridad y luminosidad a todo el espacio sin originar sombras o reflejos.

Mientras, la luz dirigida o directa de una fuente de luz puntual que proviene ya sea del sol o de alguna lámpara, crea sombra sobre los cuerpos y superficies estructuradas, así como reflejos sobre superficies brillantes. (Ganslandt & Harald, 1992)

Modelado

Una propiedad del entorno es la tridimensionalidad que permite la percepción visual, esta tridimensionalidad ayuda a comprender el espacio. El modelado es un término que se usa para describir la forma en la cual la silueta de los objetos tridimensionales se destaca por la iluminación, en la figura 35 se muestran modelados con diferentes tipos de iluminación.

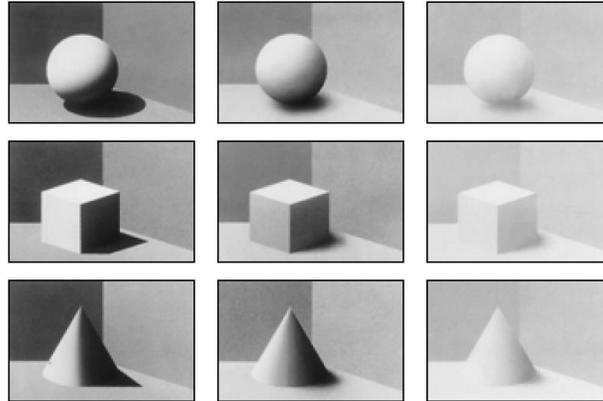


Figura 35 Modelado 1ra columna modelada con luz dirigida, 2da. Columna modelado con luz dirigida y luz difusa, 3ra. Columna modelada con luz difusa.
Fuente: Manual ERCO (*Ganslandt & Harald, 1992*)

En este sentido, un modelado con iluminación dirigida generará sombras sobre los objetos, obteniendo así información sobre la volumetría y disposición de los objetos en el espacio. Un modelado con luz difusa dificulta la percepción del objeto en el espacio.

Cuando la luz proviene de varias direcciones siendo difusa, el modelado es ligero y el entorno se percibe poco interesante por la pérdida de contraste de luminancia. De manera contraria, si la luz dirigida es muy fuerte, el modelado será severo y las sombras pueden producir confusión en la percepción del objeto.

Por lo tanto, para cada situación se requiere una relación adecuada entre luz difusa y luz dirigida, esto dependerá de la tarea, pues cuando es necesaria la percepción de formas o superficies de los objetos en primer término, se requiere una iluminación acentuada con luz dirigida. Por el contrario, si el volumen o la superficie del objeto no representan importancia o incluso son molestos, se modelará con luz difusa. Sin embargo, por regla general se debe disponer de ambos tipos de luz que proporcionan visibilidad de todo el entorno posibilitando una percepción espacial y viva de los objetos. (*Ganslandt & Harald, 1992*)

2.7.1 Deslumbramiento

De acuerdo con el IDEA, el deslumbramiento es la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión y puede ser experimentado como deslumbramiento molesto o perturbador, ambos pueden producir errores, fatigas y accidentes.

a) *Deslumbramiento perturbador*

Su efecto es reducir la percepción del contraste y por lo tanto el rendimiento visual, sin que se provoque necesariamente discomfort, algunos autores lo denominan deslumbramiento psicológico.

b) *Deslumbramiento molesto*

Su efecto produce una sensación de discomfort visual o perturbación, sin que necesariamente se reduzca la percepción de contrastes, también es conocido como deslumbramiento fisiológico pues causa una distracción involuntaria hacia las altas luminancias en un campo visual.

Una fuente deslumbrante produce un ruido óptico parecido a un ruido molesto que atrae la atención y perturba la percepción, también la adaptación a los distintos niveles de luminosidad entre la tarea y la fuente deslumbrante produce fatiga visual e incluso dolor.

Ambos tipos de deslumbramiento molesto y perturbador se pueden dar de forma directa o por reflexión. Se presenta de forma directa cuando la fuente deslumbrante se encuentra en el entorno de la tarea visual, en cambio, cuando la fuente de deslumbramiento es reflejada sobre la tarea, se le denomina deslumbramiento por reflexión de velo. (IDAE, 2005)

El deslumbramiento también depende de la posición del usuario, el documento *Handbook of lighting design* aborda el deslumbramiento considerando al usuario sentado en una posición de trabajo, la figura 36 representa la forma en la que se pueden producir los deslumbramientos; el luminario 1 producirá un deslumbramiento directo; el luminario 2 presentará deslumbramientos por reflexiones en el plano horizontal; mientras, en el luminario 3, los deslumbramientos serán por reflexión sobre el plano vertical, en este caso sobre la pantalla.

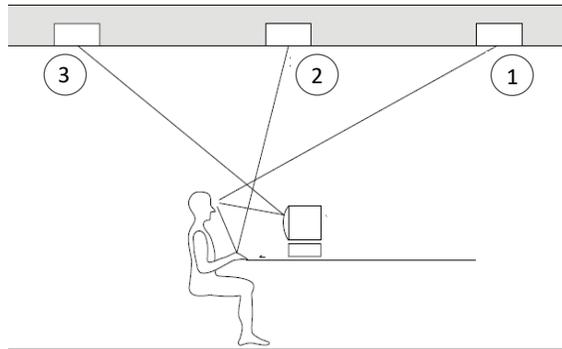


Figura 36 Reflejos creados por la posición de las lámparas
 Fuente: Manual ERCO (*Ganslandt & Harald, 1992*)

Los luminarios que pueden producir deslumbramientos por reflexión sobre las pantallas no deben exceder luminancias mayores a 200 cd/m^2 por encima del límite del ángulo YG, que corresponde a 50° y 60° de la figura 37.

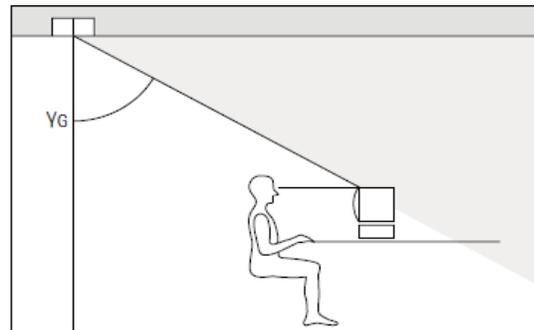


Figura 37. Ángulo de luminancias límite para lámparas que pueden producir reflejos
 Fuente: Manual ERCO (*Ganslandt & Harald, 1992*)

Para puestos de trabajo con pantallas se recomiendan luminarios con ángulos mínimos de apantallamiento de 30° . (Ver figura 38)

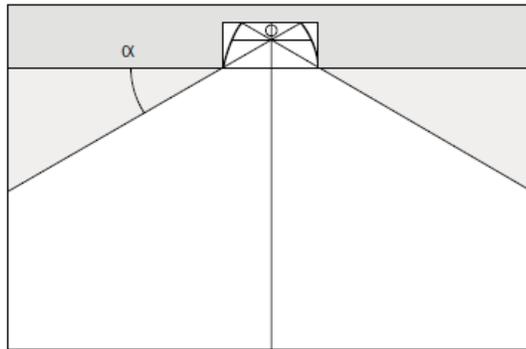


Figura 39 Ángulo mínimo de apantallamiento en lámparas
Fuente: Manual ERCO (*Ganslandt & Harald, 1992*)

Con relación a las paredes que se reflejan sobre las pantallas de computadora, no deben ser superiores en promedio a luminancias de 200 cd/m^2 y no deben sobrepasar los 400 cd/m^2 . La relación se observa en la figura 39, además, el reflejo de las ventanas sobre las pantallas siempre debe ser evitado.

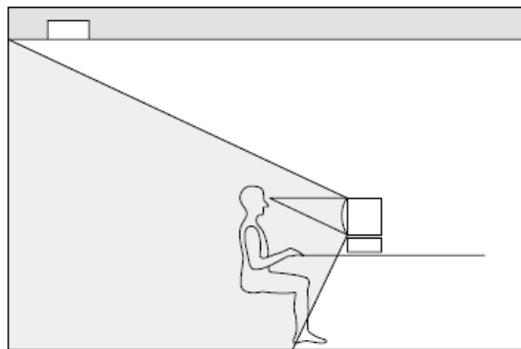


Figura 38 Luminancias máximas de 200 Cd/m^2 en paredes
Fuente: Manual ERCO (*Ganslandt & Harald, 1992*)

Además, de las ventanas y la iluminación de plafón que son un problema particular para los usuarios de computadoras, se añaden otras fuentes de deslumbramiento en el área de trabajo como el papel blanco, superficies blancas en el escritorio y lámparas de escritorio dirigidas hacia la vista del usuario, o que iluminan una gran área del escritorio.

Muchos luminarios distribuyen la luz ampliamente mediante una gran variedad de ángulos de salida de luz, esto tiene la ventaja de colocar las luminarias a una mayor separación manteniendo una iluminación uniforme en una habitación y por lo tanto menor cantidad de luminarios. Sin embargo, pese a que un amplio ángulo del luminario permite mayores áreas de distribución de iluminación en el espacio, como ya se ha mencionado, estos ángulos producen deslumbramiento directo hacia el ojo del usuario de una computadora. (Ver figura 40)

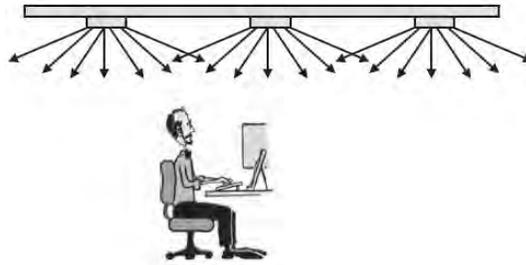


Figura 40. Un amplio ángulo de distribución de luz es percibido como una luminaria muy brillante que produce deslumbramientos molestos
Fuente: (Anshel, 2005)

Un correcto diseño de iluminación puede reducir significativamente los deslumbramientos molestos, empleando ángulos de salida de luz más estrechos y louvers parabólicos, evitando la luz directa sobre los ojos de los usuarios de una computadora, sin embargo, esta condición requiere una mayor cantidad de luminarias que permitan la distribución adecuada de iluminación, como se observa en la figura 41.

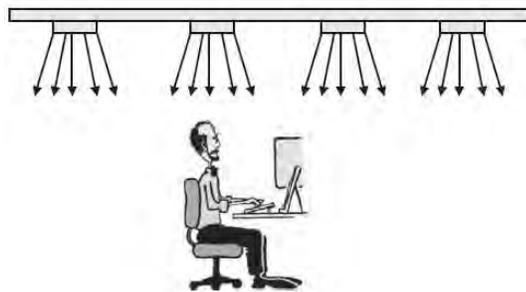


Figura 41. Luminarias con menor ángulo de amplitud impiden que la luz sea enviada directamente al ojo del usuario de la computadora.
Fuente: (Anshel, 2005)

También se puede reducir el deslumbramiento molesto con luz indirecta, de esta forma la luz rebota en el techo generando una gran fuente de baja luminancia. La luz indirecta elimina el deslumbramiento y permite mayor espaciamiento entre luminarias. Sin embargo, se requiere de mayor altura en los espacios, pues, las luminarias deben estar separadas de techo entre 30 y 45 cm. (Ver la figura 42)

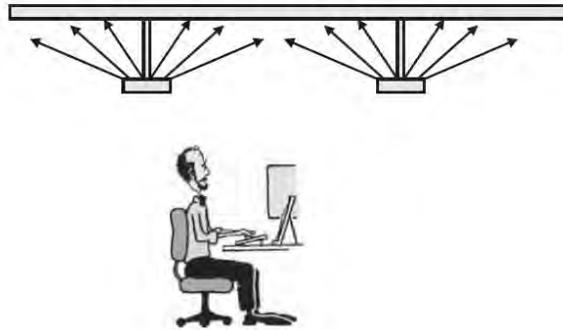


Figura 42. Luminarias con luz indirecta, eliminan el deslumbramiento y permiten mayor espaciamiento entre cada luminaria
Fuente: (Anshel, 2005)

En cuanto a las luminancias de las lámparas y su relación con la luminancia de las pantallas de computadora, la norma ANSI IES recomienda una relación de luminancia máxima de 10:1

La forma más fácil de evaluar el deslumbramiento molesto, según Heschong (2002), es mediante la prueba de la visera, que consiste en colocarse en la posición de observación de la pantalla de la computadora en un ambiente con luces brillantes, después proteger los ojos con la mano o alguna carpeta y observar si existe una sensación inmediata de confort visual; si la prueba es positiva, entonces, las luces que fueron bloqueadas son una fuente de deslumbramiento.

También, existe un método para medir el deslumbramiento molesto en relación con las pantallas de computadora. Consiste en medir las iluminancias de objetos clave en el campo de visión para determinar si se excede la relación 3:1 y 10:1 de la ANSI IES, las medidas se realizan con un fotómetro en una apertura de un grado, ubicado a la altura de la vista del usuario, midiendo la luminancia de la pantalla, documentos de referencia, escritorio y paredes detrás de la computadora, luminancia general del espacio, lámparas de escritorio, ventanas y luminarias de techo. Teniendo en cuenta el ángulo de cada fuente de deslumbramiento respecto al ángulo de la vista relacionada con la pantalla de computadora, este ángulo puede ser calculado

mediante la geometría de un transportador con relación a la visual principal entre el usuario y la pantalla. Las relaciones de las luminancias de los objetos periféricos a la pantalla de computadora se pueden calcular y comparar con la máxima luminancia recomendada de 3:1 entre el entorno visual inmediato a menos de 25° respecto a la tarea en una computadora y la relación de 10:1 entre el entorno visual lejano y la tarea en una computadora. (INSHT, 2015)

Reflexiones de velo y deslumbramiento reflejado

El deslumbramiento se puede dar en forma directa o por reflexión, cuando el brillo de una fuente de luz es reflejado por una superficie hacia los ojos del observador causando una molestia leve o considerable, y cuando esta reflexión se produce sobre una tarea se le llama *reflexión de velo*, este tipo de reflexión reduce el contraste en la tarea. Cuando la reflexión ocurre fuera de la tarea se llama deslumbramiento reflejado, esta forma de deslumbramiento depende también del grado del brillo y situación de la superficie reflectante. El deslumbramiento de velo es un factor psicológico que afecta considerablemente la lectura de textos escritos sobre superficies reflejantes. Este concepto es un elemento muy importante por considerar, pues la reflexión de velo se encuentra presente en las pantallas, sobre todo de tipo especular, y es una de las principales causas de discomfort. (INDALUX, 2002).

Control de deslumbramiento

Es posible disminuir los efectos deslumbrantes, en primera instancia, reduciendo el contraste de iluminancias, ya sea aumentando la luminancia del entorno o la reducción de la luminancia de la fuente luminosa. También el uso de materiales translúcidos usados como difusores o prismáticos ayuda al control de luminancia de luminario, evitando los deslumbramientos.

La elección y posicionamiento de las luminarias respecto a los puestos de trabajo son un factor muy importante en el control del deslumbramiento. Existen algunos métodos para evitar el deslumbramiento directo o indirecto causado por un luminario; se describen a continuación los métodos propuestos por, *CIE*, *IES* y algunos criterios del *Handbook of lighting design* de la editorial *ERCO*.

Para evitar el deslumbramiento directo provocado por luminarias, la Comisión Internacional de Iluminación CIE propone el cálculo de los índices de deslumbramiento directo, que se complementan con gráficas de curva de limitación. El índice de deslumbramiento G, se emplea para determinar el deslumbramiento psicológico, que está relacionado con la tarea a realizar y permitirá conocer la luminancia

límite de una lámpara para evitar deslumbramientos. El índice G se puede obtener mediante la determinación de tarea o actividad a realizar en la siguiente tabla 9.

Tabla 9. Índice de deslumbramiento G
Fuente: (INDALUX, 2002)

Clase de Calidad	Índice de deslumbramiento (G)	Tipo de actividad o tarea
A. Calidad muy alta	1.15	Tareas visuales muy exactas
B. Calidad alta	1.50	Tareas con grandes demandas visuales. Tareas con tareas visuales moderadas, pero con alta concentración
C. Calidad media	1.85	Tareas con demandas visuales moderadas y demandas moderadas de concentración y con cierto grado de movilidad del trabajador
D. Calidad baja	2.20	Tareas con niveles de demanda de concentración y visual bajas con trabajadores en movimiento dentro del área establecida

Una vez que se ha determinado el índice G, se puede obtener la clase de calidad de iluminación que se requiere en un espacio, además, añadiendo a estos datos los ángulos de la luminaria respecto al observador que deberán ser entre 45° y 85°; más la iluminancia y posición de lámpara, se puede verificar si la luminancia de la lámpara está dentro de los límites para evitar deslumbramiento, este valor límite de la luminancia se obtiene mediante las gráficas de curvas de limitación. (Ganslandt & Harald, 1992). La figura 43, representa los ángulos del observador respecto al luminario.

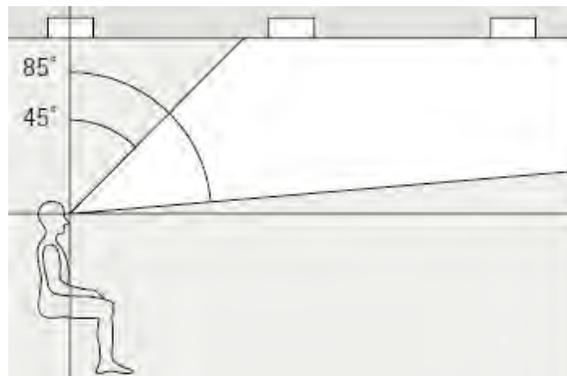


Figura 43. Ángulos considerados en el método de curvas de limitación

Fuente: Manual ERCO (Ganslandt & Harald, 1992)

La C.I.E. propone además el índice de deslumbramiento unificado UGR (Unified Glare Rating), este valor permite medir el índice de sensación de deslumbramiento mediante la tabla 10, de igual forma admite conocer la luminancia límite o máxima de la lámpara mediante una gráfica de curvas de limitación UGR, con la finalidad de evitar deslumbramientos directos en los sujetos. (Alaber Morera, 2004)

Tabla 10. Índice de deslumbramiento unificado UGR
Fuente: (Alaber Morera, 2004)

UGR	Criterios de incomodidad por deslumbramiento
10	Imperceptible
13	Apenas perceptible
16	Perceptible
19	Apenas aceptable
22	Inaceptable
25	Apenas molesto
28	Molesto

El método de curvas de limitación consiste en relacionar gráficamente los datos ya mencionados para determinar si sobrepasan la línea de limitación, es decir, si causarán deslumbramientos directos. La figura 44 muestra un ejemplo de la metodología de las curvas de limitación. (Ganslandt & Harald, 1992)

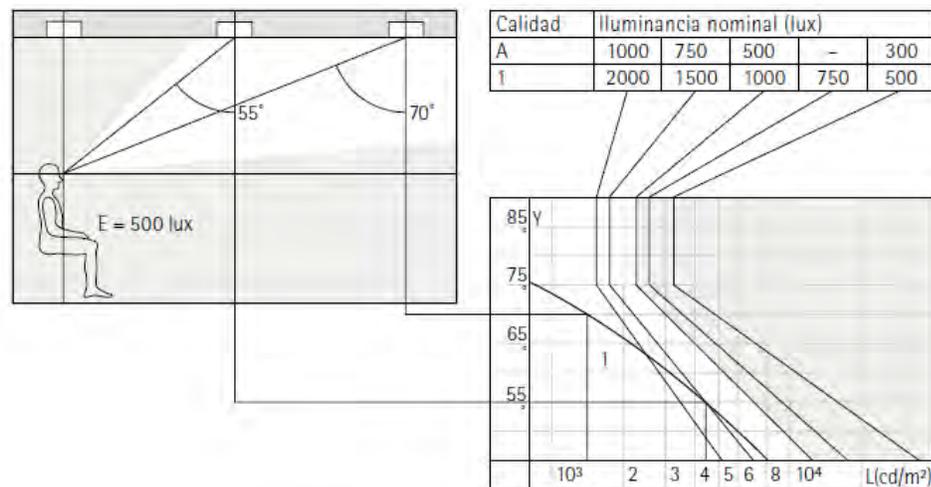


Figura 44 Método de curvas límite para control del deslumbramiento
Fuente: Manual ERCO (Ganslandt & Harald, 1992)

Por otro lado, la Illuminating Engineering Society (IES) presenta un método denominado Visual Comfort Probability (VCP) para medir el porcentaje de la población que estará en confort visual en determinadas condiciones de un espacio. Cabe mencionar que este método está limitado al uso de lámparas fluorescentes de iluminación directa. La probabilidad de confort visual está relacionada con el grado de deslumbramiento por molestia, llamado Discomfort Glare Rating (DRG) el cuál puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$DGR = \left(\sum_{i=1}^n M_i \right)^{n-0.0914}$$

Donde:

n =Número de fuentes en el campo visual

M_i =Índice de sensación de la fuente

Tanto el VCP como el DRG, están relacionados y pueden expresarse mediante una gráfica DRG, donde un valor se corresponde con el otro (IESNA , 2003)

De manera general estos son las metodologías documentadas para la evaluación del confort visual relacionado con luminarias y pantallas de computadora.

2.8 La luz natural en el diseño arquitectónico

Aunque el objetivo de esta investigación es el estudio en condiciones de iluminación artificial, es necesario mencionar la relación tan importante de la luz natural con la arquitectura.

La arquitectura está ligada con las necesidades de iluminación y dependiendo de las condiciones lumínicas en diferentes zonas climáticas de la Tierra, se desarrollan distintos tipos básicos de arquitectura de luz diurna. En las regiones frías con cielo generalmente cubierto con nubes se construyen edificios con grandes ventanas en las partes altas, que permiten la máxima captación de la luz difusa proveniente de la bóveda celeste. Por otro lado, en las zonas cálidas con cielos generalmente despejados, predominan edificios bajos con pequeñas ventanas dispuestas hacia abajo y con paredes exteriores muy reflectantes, evitando la penetración de luz solar directa y con ello los rayos infrarrojos que son los responsables del calentamiento, mientras que la iluminación se produce a través de la luz reflejada del entorno de los edificios por reflexión. (Ganslandt & Harald, 1992)

El uso de la iluminación natural en los seres humanos tiene grandes beneficios, pues la iluminación puede influir en el desempeño humano mediante el sistema circadiano, sistema visual y sistema perceptual; siendo la percepción la responsable del confort visual. (Colombo, et al., 2002).

Estudios demuestran que la luz natural tiene efectos positivos, tanto en el ámbito de la salud como en el aprendizaje. También, los cambios de nivel y temperatura de color durante el día tienen efectos positivos sobre el estado de ánimo y la estimulación de las personas. (Heschong, et al., 2002),

En este sentido, el diseño de la iluminación natural permite generar ambientes de confort y el ahorro de energía eléctrica, al diseñar espacios que propicien el uso de la luz natural desde una perspectiva bioclimática.

Diseño de iluminación natural

La luz proveniente del sol es el elemento más importante en el diseño de iluminación natural, por lo tanto, debemos considerar que esta iluminación es un elemento dinámico, que cambia constantemente, por eso es necesario implementar dispositivos que regulen o proporcionen iluminación adecuada al interior de un espacio. (IDAE, 2005)

Al diseñar es importante considerar que tanto la luz natural como la artificial tienen un efecto negativo sobre los colores y acabados superficiales de paramentos y objetos, que se denomina decoloración. Este efecto se debe a que ambos tipos de luz contienen radiación ultravioleta, que a través de reacciones fotoquímicas puede decolorar rápidamente el pigmento de los objetos coloreados.

Hay otro efecto de índole negativa que se genera como consecuencia de la exposición de objetos a la luz natural o artificial: el calentamiento, este puede llegar hasta puntos extremos en los que puede deteriorarse la superficie expuesta de los objetos. Este efecto es debido fundamentalmente a la emisión de radiación infrarroja que acompaña en casi todos los casos a la luz que incide sobre los mismos. Según la *Guía técnica de aprovechamiento de luz natural*, la luz natural en la iluminación de los edificios consta de tres componentes:

- El haz directo procedente del sol
- La luz natural difundida en la atmósfera (incluyendo nubes), que constituye la componente difusa del cielo;
- La luz procedente de reflexiones, en el suelo del propio interior y en objetos del entorno exterior.

- Distribución de iluminancias en el cielo de tres maneras: distribución de luminancias uniforme, distribución de cielo estándar cubierto con nubes, y distribución de luminancias en un cielo claro y azul.
- Factor medio de luz natural, que permite conocer la cantidad de luz al interior del espacio en un cielo nublado.
- Distribución de la luz natural obtenida mediante cálculos para saber si un espacio se ilumina correctamente en todas sus áreas. (IDAE, 2005)

2.9 La luz artificial en el diseño arquitectónico

Según la Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo (OIT, 2012), el empleo de la luz natural para tareas visuales tiene efectos tanto positivos como negativos, pues la iluminación natural representa por un lado, beneficios como la excelente reproducción de color (IRC), pero por otro lado, las variaciones en los niveles de iluminación por las condiciones climáticas pueden entorpecer la realización de tareas visuales. Por tal motivo, es importante considerar el diseño de la iluminación artificial como complemento de la iluminación natural de día y para actividades nocturnas.

La iluminación artificial se clasifica en tres tipos: iluminación general, iluminación localizada e iluminación local. La iluminación general brinda iluminancia aproximadamente uniforme en el plano de trabajo, y este sistema comúnmente se basa en el método de lumen, que responde al siguiente cociente: la suma de la relación del flujo luminoso, el factor de utilización y factor de mantenimiento, entre el área del espacio a iluminar. El sistema de iluminación localizada brinda iluminancia en zonas de trabajo, donde la iluminación general no es suficiente. Mientras, el sistema de iluminación local proporciona iluminancia en zonas pequeñas donde se realizan tareas visuales específicas. (OIT, 2012),

Métodos de diseño de iluminación artificial

Como ya se ha mencionado, un diseño basado únicamente en valores cualitativos como la iluminancia expresada en lux carece de los criterios que satisfagan las necesidades visuales del ser humano, en este sentido, el documento *Handbook of lighting design* (1992) propone dos métodos basados en las luminancias, llamados “diseño de apariencia” y “percepción estable” que básicamente consisten en describir y planificar el efecto óptico en el espacio. Comenzando con la separación de zonas de acuerdo con la actividad realizada en detrimento de una iluminación general, sin embargo, el método no se limita a la separación de zonas, pues busca un equilibrio entre las distintas zonas iluminadas. El método sugiere que la tarea visual represente el área más iluminada del entorno, fijando la atención del observador y buscando que la luminancia del entorno sea menor para evitar la desviación de la mirada, pero manteniendo un valor de contraste que evite la fatiga visual. Este valor de contraste o escala de contraste dependerá del estado de adaptación del ojo a la percepción de la tarea visual.

En este sentido, un *entorno estable* se refiere a la constante adaptación del ojo, mientras, un *entorno inestable* favorece a un cambio fatigoso de adaptación del ojo, producido por luminancias altas o bajas en el

entorno. El equilibrio de contrastes de luminancia en un *entorno estable* no se logra exclusivamente con la variación de iluminación, pues también involucra los colores del entorno. Este método de luminancias tiene ventajas sobre el uso exclusivamente de la iluminancia, ya que, la luminancia se basa en la percepción. La luminancia sobre la retina solamente es la base de la percepción para un complejo procedimiento de interpretación en el cerebro. (Ganslandt & Harald, 1992)

Generalidades de las lámparas

En el diseño de iluminación artificial el papel fundamental lo tienen las lámparas, se comienza entonces describiendo las características generales de las luminarias, desde su definición según la NOM-064.

Lámpara: Fuente luminosa artificial

Luminario: Equipo de iluminación que distribuye, filtra o concentra la luz emitida por una lámpara o lámparas, incluye todos los accesorios para fijar, proteger y operar dichas lámparas. Contiene también todo lo necesario para conectar las lámparas al circuito eléctrico.

Las lámparas se pueden clasificar de acuerdo a sus características. Una de estas características es la curva fotométrica o curva de distribución luminosa, definida como el conjunto de intensidades luminosas de una fuente de luz. Es posible medir dichas intensidades con relación al eje vertical de la fuente mediante un goniofotómetro, si se representan las intensidades medidas como vectores se obtendrá un volumen que representa el flujo total y este volumen recibe el nombre de solido fotométrico. Si se pasar un plano por el eje

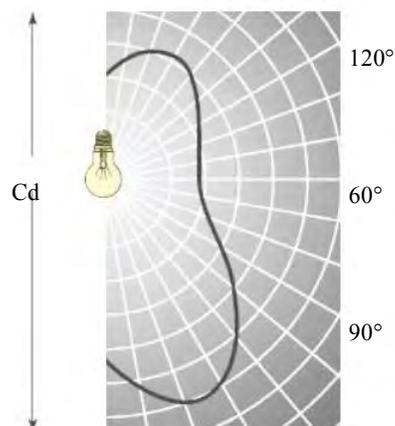


Figura 45 Curva fotométrica de una lámpara
Fuente: (INDALUX, 2002)

de simetría en este sólido fotométrico se obtiene una sección limitada por la curva fotométrica o curva de distribución luminosa, ver figura 45.

Y respecto a los luminarios de iluminación general en interiores, la CIE los clasifica de acuerdo con el porcentaje de flujo luminoso total distribuido por encima y por debajo del plano horizontal en la tabla 11. (INDALUX, 2002)

Tabla 11. Clasificación de lámparas de acuerdo con el flujo luminoso
Fuente: (INDALUX, 2002)

Clase de luminario	% Distribución de flujo hacia arriba	% Distribución de flujo hacia abajo
Directa	0-10	90-100
Semi-directa	10-40	60-90
Directa-indirecta	40-60	40-60
General-difusa	40-60	40-60
Semi-indirecta	60-90	10-40
Indirecta	90-100	0-10

Tipos de lámparas

La lámpara es uno de los elementos principales en el diseño de iluminación artificial. Se describen las lámparas existentes más comunes con usos aplicables a aulas y con la capacidad de controlarse mediante los sistemas de gestión de iluminación.

Lámparas incandescentes

En estas lámparas la luz se produce por el calentamiento de un alambre o filamento que alcanza la incandescencia debido a la circulación de corriente eléctrica a través de dicho filamento. El filamento generalmente fabricado con tungsteno se aloja dentro de una bombilla de vidrio para evitar su oxidación, a bajas potencias la bombilla se encuentra al vacío, mientras, que a altas potencias la bombilla contiene gas argón en el interior.

Capacidad de Control de iluminación

- Capacidad de atenuar la luz mediante un equipo atenuador

Capacidades físicas

- Encendido instantáneo
- Temperatura de color blanco cálido con 2700k
- Alto índice de reproducción de color IRC
- Alto brillo
- Altos contrastes
- Usos decorativos y de acentos
- Baja eficacia luminosa (Lúmenes /W)
- Menor costo y vida útil en comparación con todas las lámparas existentes
- Alta radiación térmica

Lámpara Halógena

Las lámparas halógenas son una variante de la lámpara incandescente, en estas lámparas el filamento se encuentra dentro de una cápsula de cuarzo que contiene gas halógeno. Cuando se evapora el tungsteno del filamento se mezcla con el gas halógeno, generando halogenuros.

Capacidad de Control de iluminación

- Capacidad de atenuar la luz mediante un equipo atenuador.

Capacidades físicas

- Encendido instantáneo
- Temperatura de color blanco cálido con 3000k
- Alto índice de reproducción de color IRC (pero menor que la lámpara incandescente)
- Alto brillo
- Altos contrastes
- Usos decorativos y de acentos
- Mayor eficacia luminosa Lúmenes /W (en comparación con lámpara incandescente)
- Mayor costo y vida útil (en comparación con lámpara incandescente)
- Alta radiación térmica

Lámparas de descarga

La luz emitida por las lámparas de descarga se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos, dependiendo del tipo de gas y la presión existen diferentes lámparas:

Mercurio

- Baja presión (Fluorescente)
- Alta presión

Sodio

- Baja presión
- Alta presión

En esta investigación solo se abordan las lámparas de descarga de mercurio de baja presión que pueden ser utilizadas en aulas, pues las lámparas de sodio son para usos industriales con un bajo índice de reproducción de color. ICR

Mercurio de baja presión (fluorescentes)

Estas lámparas funcionan mediante la excitación de átomos de mercurio en un tubo de vidrio cubierto de polvo fluorescente y requiere un balastro para precalentar los electrodos. Estas lámparas pueden ser compactas o lineales.

Capacidad de Control de iluminación

- Capacidad de atenuar la luz mediante un balastro electrónico

Capacidades físicas

- Encendido puede ser precalentamiento, arranque rápido o arranque instantáneo
- Temperatura de color blanco cálido a frío con 3000k
- Alto índice de reproducción de color (pero menor que la lámpara incandescente)
- Bajo brillo
- Bajos contrastes
- Usos de iluminación general
- Mayor eficacia luminosa Lúmenes /W (en comparación con lámpara incandescente)
- Mayor costo y vida útil (en comparación con lámpara incandescente)
- Baja radiación térmica

Lámparas tipo Led

Esta lámpara funciona mediante un diodo que permite la circulación de energía sobre un material generando un efecto de electroluminiscencia.

Capacidad de Control de iluminación

- Capacidad de atenuar la luz mediante un balastro electrónico
- Capacidad de control de escenas

Capacidades físicas

- Encendido instantáneo
- Temperatura de color blanco cálido a frío con 3000k
- Alto índice de reproducción de color (pero menor que la lámpara incandescente)
- Bajo brillo
- Bajos contrastes
- Usos de iluminación general
- Mayor eficacia luminosa Lúmenes /W (en comparación con lámpara incandescente)
- Mayor costo y vida útil (en comparación con lámpara incandescente)
- Baja radiación térmica. (INDALUX, 2002)

La tabla 12 muestra una comparativa entre potencia, reproducción de color, temperatura de color y el tiempo de vida útil para diferentes lámparas existentes.

Tabla 12. Clasificación de lámparas de acuerdo con el flujo luminoso
Fuente: (OIT, 2012)

Tipo (Código)	Potencia Nominal (vatios)	Reducción del color	Temperatura Calorimetría K	Vida Útil (horas)
Lámparas fluorescentes compactas (FS)	5-55	Buena	2,700-5,000	5,000-10,000
Lámparas de mercurio de alta presión (QE)	80-750	Correcta	3,300-3,800	20,000
Lámparas de sodio de alta presión (S)	50-1,000	De incorrecta a buena	2,000-2,500	6,000-24,000
Lámparas incandescentes (I)	5-500	Buena	2,700	1,000-3,000
Lámparas de inducción (XF)	23-85	Buena	3,000-4,000	10,000-60,000
Lámparas de sodio de baja presión (LS)	26-180	Color amarillo monocromático	1,800	16,000
Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión (HS9)	12-100	Buena	3,000	2,000-5,000
Lámparas de haluro metálico (M)	35-2.000	De buena a excelente	3,000-5,000	6,000-20,000
Lámparas fluorescentes tubulares (FD)	4-100	De correcta a buena	2,700-6,500	10,000-15,000
Lámparas halógenas de tungsteno (HS)	100-2.000	Buena	3,000	2,000-4,000

Difusores de lámparas

En el diseño de iluminación es importante considerar la protección de las lámparas conocidos como difusores, pues son fundamentales para evitar el deslumbramiento por reflexión en las pantallas de computadora, la figura 46 muestra una comparativa entre los reflejos producidos en una pantalla especular por diferentes tipos de difusores en las luminarias.

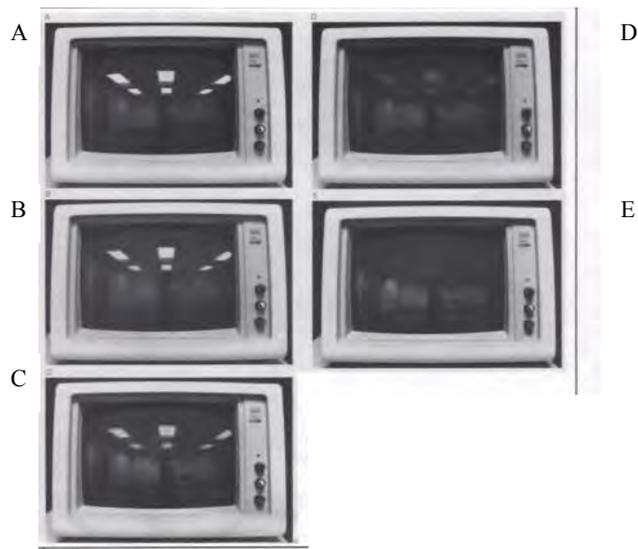


Figura 46 Comparativa entre los reflejos producidos por diferentes tipos de protección en las lámparas.
Fuente: (Heschong, et al., 2002)

En la figura anterior, la pantalla A muestra el reflejo producido por la protección de lentes tradicionales en las lámparas; en el caso B se emplean los prismas como material de protección; en el caso C se usan louvers parabólicos semi-especulares; en el caso D se empleó un acabado especular; mientras, en el caso E se emplearon pequeños louvers de plástico con células parabólicas y con acabado especular de aluminio. Sin embargo, en el ejemplo de la pantalla E se consume el doble de energía que el ejemplo D. (Heschong, et al., 2002) Lo anterior indica que el tipo de difusor que se elija para determinado equipo tendrá repercusiones en los reflejos de velo, iluminación general y los gastos energéticos.

CAPÍTULO III Ser humano y la luz

Las nuevas teorías sobre la Arquitectura apuntan hacia la relación entre el ser humano y la arquitectura desde la percepción del espacio a partir de los sentidos. El teórico de la arquitectura Bernhard Tschumi emplea el concepto de la experimentación del espacio, donde la arquitectura es flexible e interactiva y el ser humano es el elemento principal. Esta relación entre el ser humano y el espacio también ha sido estudiada por la psicología ambiental, psicólogos como Charles J Holahan han establecido los efectos que tiene el ambiente sobre el comportamiento humano.

En este capítulo se aborda al ser humano desde sus funciones fisiológicas hasta sus necesidades psicológicas relacionadas con la luz y en particular con las pantallas de computadora.

3.1 Fisiología del ojo

3.1.1 Percepción de la imagen

La visión es el proceso por medio del cual se transforma la luz en impulsos nerviosos capaces de generar sensaciones. El órgano encargado de realizar esta función es el ojo. La luz entra al ojo pasando a través de la córnea, el humor acuoso y la pupila, posteriormente es enfocada mediante un lente, atraviesa el humor vítreo y llega hasta la retina. (Ganslandt & Harald, 1992) La figura 47 muestra las partes fundamentales del ojo.

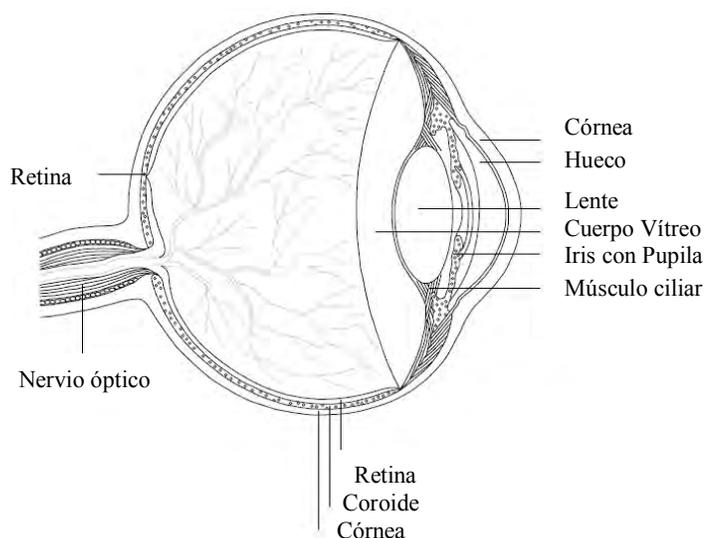


Figura 47. Componentes del ojo humano
Fuente: Manual ERCO (Ganslandt & Harald, 1992)

En la retina es donde se produce la conversión de luminancias en estímulos nerviosos, por lo tanto, la retina contiene los receptores sensibles a la luz, estos receptores se llaman *conos* y *bastoncillos* que no tienen una distribución uniforme en la retina, inclusive existe un punto donde no hay receptores, este punto se llama punto ciego. Este punto no tiene receptores porque ahí desemboca el nervio óptico a la retina; por el contrario, existe una zona con mayor concentración de receptores, esta área se llama fovea y es el foco del lente óptico. En esta zona central llamada fovea existe una gran cantidad de conos que van disminuyendo hacia la periferia, mientras, que los bastoncillos se encuentran en la periferia de la retina.

Estos receptores permiten dos sistemas visuales; el primero, evolutivamente más antiguo, es el formado por los bastoncillos, sus propiedades son la sensibilidad luminosa muy elevada y una gran capacidad perceptiva para los movimientos en el campo visual, sin embargo, mediante los bastoncillos no es posible observar los colores y la precisión de la vista es baja; tampoco se pueden fijar objetos debido a la alta sensibilidad a la luz, el sistema de bastoncillos se activa para ver de noche por debajo de 1 lux. Los segundos receptores, llamados conos, determinan la visión con mayores intensidades luminosas durante el día o con iluminación artificial; por su baja sensibilidad luminosa, posibilita la visión de los colores y la mayor precisión visual para fijar un objeto, aunque estos receptores se localizan en el centro su influencia también se localiza en la periferia y permite percibir fenómenos interesantes que desvían automáticamente la mirada hacia el punto donde se produce el fenómeno, estos fenómenos pueden ser movimientos, colores o altas luminancias, es decir, la mirada y la atención del ser humano se dejan guiar por la luz. En la figura 48 se muestran las diferencias entre las funciones de los conos y los bastones.

Conos	Bastones
Visión central	Visión periférica
Visión de los detalles	Visión de conjunto
Visión de los colores	Visión sin color
Visión diurna	Visión nocturna

Figura 48, Funciones de conos y bastones
Fuente: Manual de ergonomía aplicada (*Llorca Rubio, et al., 2015*)

En este sentido, se puede hablar de visión nocturna o visión escotópica, como aquella que posibilitan los bastones de la retina, y visión diurna o visión fotópica, como aquella que posibilitan los conos en la retina. En el periodo de transición; cuando ambos sistemas están activados, se llama visión crepuscular o visión mesópica. (Ganslandt & Harald, 1992)

De acuerdo con el documento de *Luminotecnia* (INDALUX, 2002), para la percepción de la imagen es importante considerar también otros factores de la visión como:

La acomodación visual: es la capacidad del ojo para ajustarse a diferentes distancias de los objetos para obtener imágenes más nítidas. Este proceso se realiza variando la curvatura del cristalino para cambiar la distancia focal. La acomodación visual se realiza con mayor facilidad a mayores luminancias, con la edad esta capacidad disminuye por el endurecimiento del cristalino.

La adaptación visual: Es la capacidad de adaptación del ojo a distintos niveles de luminosidad de los objetos. En este proceso se ajusta el tamaño de la pupila para que la luminancia que se proyecta en la retina sea tolerable para las células sensibles a la luz, es decir, los receptores llamados conos. Cuando la iluminación es muy intensa, la pupila se contrae para reducir la cantidad de iluminación que llega al cristalino, por el contrario, cuando la iluminación es escasa, la pupila se dilata para captar mayor cantidad de luz.

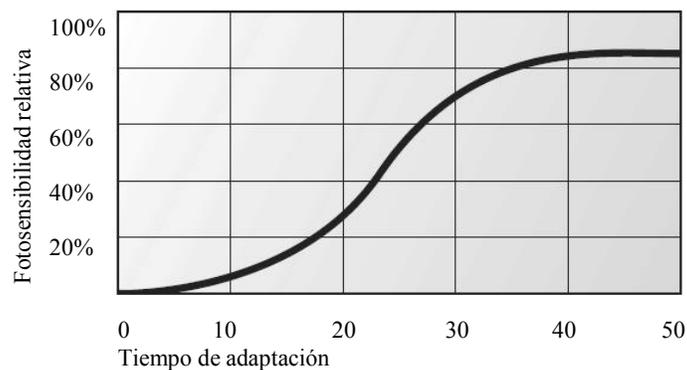


Figura 49. Tiempo de adaptación a la luz.
Fuente: (INDALUX, 2002)

Cambiar de ambientes luminosos, es decir, pasar de zonas altamente iluminadas a zonas con escasa iluminación o viceversa, implican un tiempo de adaptación visual, donde la pupila se contrae o dilata. Para pasar de un ambiente altamente iluminado a un ambiente oscuro se requieren 30 minutos aproximadamente para que la pupila se adapte a las bajas luminancias; por el contrario, cuando se pasa de un ambiente oscuro a un ambiente altamente iluminado la adaptación de la pupila se realiza en segundos. La figura 49 muestra la relación entre el tiempo de adaptación del ojo a la luz, de 40 a 50 minutos se logra una fotosensibilidad del 95%. El tiempo de adaptación de la vista es un elemento importante en el diseño de iluminación, pues, un cambio brusco de luminancias en los espacios puede producir discomfort visual.

La agudeza visual: Es la capacidad del ojo para reconocer por separado con nitidez y precisión objetos pequeños y próximos entre sí. (Llorca Rubio, et al., 2015)

Contraste: La diferencia entre luminancias del objeto y el fondo se denomina contraste; los objetos son captados por el ojo a través del contraste de color y de luminancias de la superficie. En niveles altos de iluminación, el ojo percibe los objetos debido a la sensibilidad a los colores, en tanto que, en niveles bajos de iluminación, los objetos son percibidos por la luminancia de su superficie respecto a la luminancia del fondo.

Los contrastes pueden ser positivos o negativos, dependiendo de la relación entre la luminancia del objeto respecto a la luminancia del fondo. Será positivo cuando el objeto es más claro que el fondo y negativo cuando el objeto es más oscuro que el fondo. La figura 48 muestra la percepción del contraste para diferentes relaciones de fondo figura.

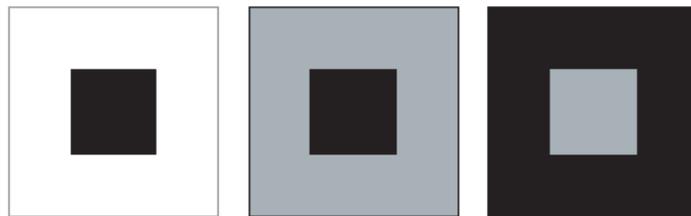


Figura 50 Percepción del contraste
Fuente: (INDALUX, 2002)

El *Manual de ergonomía aplicada a la prevención de riesgos laborales* (Llorca Rubio, et al., 2015) señala mecanismos fisiológicos de adaptación de la vista respecto al deslumbramiento perturbador. Como se ha mencionado anteriormente, el deslumbramiento se produce cuando una alta luminancia se percibe en el campo de visión.

Mecanismo de adaptación en el deslumbramiento: Cuando se presentan grandes luminancias cercanas al campo de visión, el ojo se adapta a dicha luminancia, resultando difícil o imposible realizar una tarea con una superficie menos luminosa, es decir, el ojo se adapta a las luminancias más altas.

Mecanismo de velo en el deslumbramiento: Este mecanismo se refiere a la dispersión de luz en los medios intraoculares del ojo, esta luz dispersa se proyecta sobre la retina de manera uniforme como un velo de luz que reduce la sensibilidad al contraste.

Con la edad se deterioran las capacidades visuales, hasta llegar a afectar la realización de tareas, el autor Llorca Rubio y colaboradores (2015) mencionan las principales alteraciones de la vista causadas por la edad avanzada. (Llorca Rubio, et al., 2015)

- Reducción de agudeza visual
- Reducción de capacidad de adaptación
- Reducción de la capacidad de acomodación
- Pérdida de discriminación de color
- Pérdida de discriminación de contraste
- Incremento de la sensibilidad al deslumbramiento
- Reducción del campo visual
- Se incrementa la dispersión de la luz en los medios oculares, reduciendo la calidad de la imagen en la retina

La figura 51 muestra la pérdida de la agudeza visual al incrementar la edad, a partir de los 25 años y hasta 80 años la agudeza visual decae al 50%.

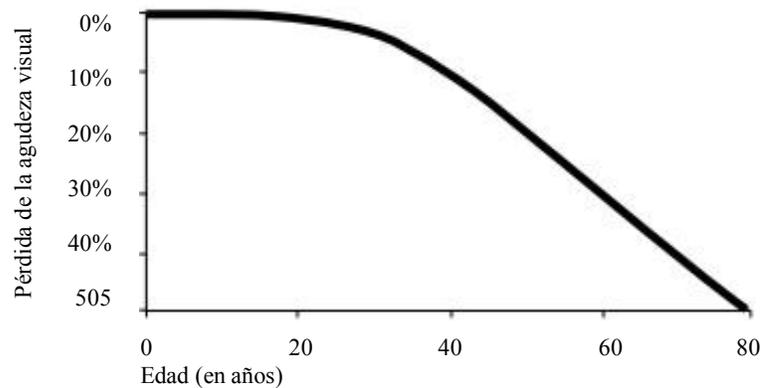


Figura 51 Pérdida de agudeza visual
Fuente: (OIT, 2012)

3.1.2 Confort visual

Según Elisa Colombo (Colombo, et al., 2002), la falta de confort visual genera problemas de salud, desde enrojecimiento, hormigueo y lagrimeo de los ojos, hasta migrañas y problemas gastrointestinales.

Los principales factores que afectan al confort visual son los siguientes: El primero se refiere al *parpadeo* de los sistemas de iluminación artificial, las lámparas incandescentes presentan parpadeo poco visible, sin embargo, los sistemas de iluminación de descarga llegan a producir parpadeos visibles y molestos, esta variación de iluminación es común también en pantallas de computadora o luces estroboscópicas.

El parpadeo en la iluminación es nocivo para el ser humano, sobre todo en frecuencias muy bajas entre 60 y 80 Hz donde el observador ya no percibe el parpadeo. Este fenómeno es transmitido por los nervios ópticos hacia los centros cerebrales afectando al sistema nervioso.

El segundo es el *deslumbramiento*, ya sea fisiológico, molesto o por niveles excesivos de luz. Los dos primeros tipos de deslumbramiento ya se han abordado con anterioridad en este documento. El deslumbramiento por niveles excesivos de luz se refiere al ambiente que enceguece y produce fotofobia en la realización de tareas, por ejemplo, leer bajo la incidencia directa del sol.

El tercer factor corresponde a las *sombras*, cuando los objetos son iluminados crean espacios oscuros con información que se pierde visualmente, también el contraste entre las luminancias del objeto iluminado y la sombra exige una rápida adaptación visual provocando molestias visuales.

El cuarto factor son las *reflexiones de velo*, estas se crean a partir del reflejo de una luminancia muy alta en una superficie especular. Este factor ya ha sido abordado antes en este documento.

3.3.3 Sistemas visuales

La iluminación influye en las actividades del ser humano mediante tres sistemas; el sistema circadiano, el sistema visual y el sistema perceptual.

El sistema circadiano regula a través de la luz los ritmos hormonales que conllevan a cambios físicos, mentales y conductuales en ciclos de 24 horas, y se manifiesta, por ejemplo, entre mantenerse dormidos o despiertos. La luz actúa en el sistema circadiano y puede alterar desde las funciones fisiológicas del ser humano hasta los procesos cognitivos. El sistema visual es el encargado de la producción de una imagen mediante el

sistema óptico sobre la retina. El sistema perceptual actúa una vez que el sistema visual a procesado la imagen a nivel retina y este sistema perceptual se relaciona con el confort visual, y es el sistema más complejo ya que involucra cuestiones psicológicas. (Colombo, et al., 2002)

3.1.4 Espacio visual

El espacio en función fisiológica del ojo es un tema de interés para esta investigación, el documento *Handbook of lighting design* muestra los ángulos de preferencia en el campo visual. La preferencia de determinado campo visual se debe a que el cerebro no es capaz de procesar toda la información del campo visual y se da preferencia al campo foveal, es decir, donde se tiene mayor agudeza visual por la mayor concentración de conos en la fovea. Esto permite captar cambios o detalles pequeños de interés para el sujeto.

En la figura 52 se muestran los ángulos del campo visual horizontal y vertical, el ángulo con el número 1 representa el espacio visual, el ángulo 2 indica el espacio visual preferente, y el ángulo con el número 3 representa el ángulo óptimo para la realización de una tarea.

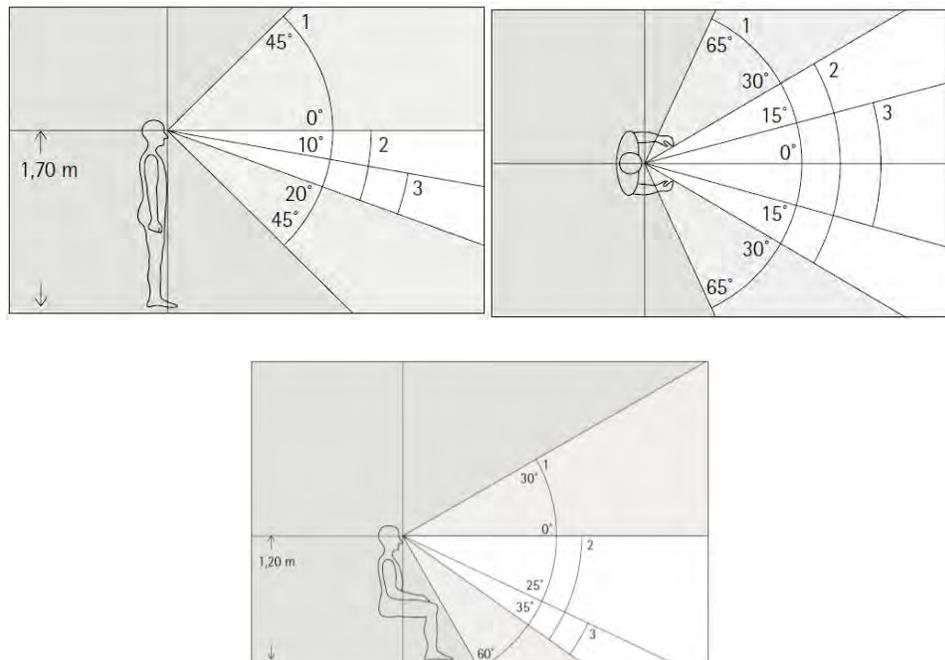


Figura 52 Ángulos del campo visual
Fuente: Manual ERCO (*Ganslandt & Harald, 1992*)

3.2 La Psicología y la luz

Esta investigación busca conocer los efectos no visuales de la iluminación, esto es, conocer cómo afecta la luz a nivel mental. Este trabajo se apoya principalmente en Holahan (1996), quien hace importantes aportaciones en el campo de la Psicología Ambiental. Comenzando con los conceptos de la psicología, la percepción es la interpretación que el cerebro realiza de los estímulos sensoriales. Holahan resalta la importancia de la percepción ambiental como un proceso natural e inconsciente, fundamental para la adaptación en el ambiente físico. *“La principal función psicológica de la percepción ambiental consiste en dirigir y regular las actividades que constituyen la vida diaria”*-dice Holahan.

Holahan describe dos formas en las que la luz afecta a la realización de tareas visuales. Los efectos directos para realizar una tarea debido a la alteración de la vista relacionada con la cantidad de luz y el deslumbramiento; y los efectos indirectos que afectan al rendimiento -llamados en esta investigación como efectos no visuales-al crear ambientes incómodos, distrayentes o fatigantes.

Los estudios respecto a los efectos directos de la iluminación que presenta Holahan señalan que ha medida en que se aumenta la iluminación, la agudeza visual se incrementa, también a mayor iluminación se realizan tareas visuales de manera más rápida y precisa. Sin embargo, un aumento por encima de los niveles adecuados de iluminación reduce el rendimiento. El autor señala que los efectos más importantes de la luz en el rendimiento son los directos y- reconoce la necesidad de profundizar en los efectos indirectos -, mientras que los efectos principales del sonido y la temperatura son indirectos. También el color del ambiente puede afectar en el desempeño de tareas visuales por contrastes de color, y es posible que afecte al estado de ánimo e indirectamente en el rendimiento.

Para explicar la relación entre el ambiente físico y el rendimiento humano, los psicólogos tienen una teoría basada en la *excitación* como medio entre el ambiente y el ser humano. Esta teoría se vincula a tres variables ambientales: la luz, ruido y temperatura, también denominadas estímulos ambientales. Y se basa en las respuestas fisiológicas que el humano presenta bajo diferentes circunstancias emocionales y la relación con los estímulos ambientales. Para explicar la relación entre los estímulos ambientales y el rendimiento existe la ley de Yerkes-Dodson, la cual establece que el rendimiento máximo se logra con un nivel intermedio de estimulación y desciende gradualmente en tanto la estimulación ambiental aumenta o disminuye, este efecto depende de la complejidad de la tarea que se realiza.

Holahan hace referencia a los efectos indirectos del ruido y la temperatura; expresa como ejemplo que en un ambiente con calor o frío moderado puede aumentar el rendimiento cuando se genera un nivel óptimo de estimulación, pero cuando los cambios de temperatura rebasan el nivel óptimo de estimulación, entonces se afecta negativamente el rendimiento. Es decir, la sobreestimulación por temperaturas muy altas o bajas es perjudicial para el rendimiento dependiendo de la tarea. La estimulación excesiva reduce la atención del individuo. En el caso del ruido, un nivel moderado de ruido puede mejorar el rendimiento en tareas simples, y permite al individuo mantenerse alerta y atento, sin embargo, exponerse durante tiempos prolongados a un nivel moderado de ruido afecta negativamente al rendimiento, de igual manera que la sobreestimulación causada por ruido intenso. (Holahan, 1996).

El autor no hace referencia a los estímulos indirectos de la luz en el rendimiento pues, en una parte del texto expresa la necesidad de estudiar más acerca del tema, sin embargo, la información respecto a los estímulos del ruido y la temperatura son muy valiosos para esta investigación, pues es posible que una estimulación moderada causada por la luz permita un mejor rendimiento y que la sobreestimulación de la luz – sin llegar a los efectos directos visuales– tenga una consecuencia negativa en el rendimiento.

3.3 Ser humano y las pantallas de computadora

3.3.1 Problemas causados por el deslumbramiento de las pantallas

Esta investigación se enfrenta al análisis de dos condiciones de iluminación: la iluminación general de un ambiente y la luminancia de un elemento auto-iluminado, esto es, la pantalla de computadora. Desde esta consideración se mencionan los problemas más comunes en la relación visual ser humano-pantalla de computadora.

El deslumbramiento de una pantalla puede producir irritabilidad, vista cansada, dolores de cabeza, malas posturas para evitar el deslumbramiento, entre otros problemas. Según la Asociación Americana de Optometría y expertos en síndrome de visión de computadora, el trabajar por largos periodos con una computadora tiene efectos en el sistema visual, repercutiendo en un bajo desempeño laboral, pérdidas de tiempo, además causa incapacidad de enfocar objetos a distancia y quienes presentan mayor riesgo son las personas que pasan más de tres horas frente a la computadora. (Perez, et al., 2008)

Las reflexiones y brillos en una pantalla afectan al rendimiento al causar distracciones, dado que la luz que incide en la superficie de la pantalla crea fuertes reflexiones de hasta el 8% de la luz que incide sobre dicha

pantalla hacia el usuario. Además, la luz que atraviesa la pantalla choca con los píxeles reduciendo su contraste y emitiendo una imagen gris. (Anshel, 2005)

3.3.2 Características de las pantallas

Existe una gran variedad de tipos de pantallas de computadora, también llamadas VDT por sus siglas en inglés Visual Display Terminals. Las pantallas empleadas en esta investigación son de visión directa, es decir, que la luz producida por un dispositivo es vista directamente sin rebotar primero en algún otro medio en comparación con un proyector, en esta clasificación se encuentran todas las pantallas CRT, LCD y plasma.

Para efectos de esta investigación se clasificarán las pantallas de acuerdo con los reflejos que producen conforme a la Norma CAN/CSA-ISO 9241-7-00. Esta norma clasifica a las pantallas especulares en tres tipos:

Tipo I: Se refiere a las pantallas mate o difusas, en las que la luz que incide se refleja en muchos ángulos y hacia todas las direcciones.

Tipo II: Son aquellas llamadas pantallas semi-especulares, en las cuales la mayor parte de luz que incide se reflejará en una dirección específica, mientras que la otra parte se refleja de forma difusa.

Tipo III. Se denominan de esta forma a las pantallas especulares, en la que la luz incidente es reflejada en una sola dirección.

La IES a través del manual *Práctica recomendada para iluminación de oficinas*, (IES, 2012) recomienda emplear las pantallas difusas y con polaridad positiva. La polaridad se refiere al contraste entre la luminancia del texto y el fondo, entonces, la polaridad positiva corresponde a una pantalla con texto oscuro y fondo claro, mientras que la polaridad negativa hace referencia a un texto claro con fondo oscuro. La figura 53 muestra dos tipos de pantalla: especular y difusa de acuerdo con la norma CAN/CSA-ISO 9241-7-00.



Figura 53. Pantalla izquierda, especular. Pantalla derecha, difusa.
Fuente: (LG, 2009)

Respecto al diseño de iluminación y su relación con la pantalla, la IES establece las condiciones del espacio y de las luminarias para emplear pantallas del tipo III. La tabla 13 muestra las luminancias de lámparas para tareas con pantallas especulares correspondientes al tipo III, además de las intensidades luminosas máximas para diferentes ángulos de luminaria; así como las luminancias máximas de las superficies del aula.

Tabla 13. Luminancias por defecto y recomendaciones de intensidad de las luminarias para aplicaciones VDT
Fuente: The lighting Handbook, pág. 12.17 (IES, 2011). Traducción propia

Luminancia de la fuente	Significancia de visualización de la pantalla	Aplicación	Promedio inicial de la luminaria	Intensidad luminosa Máxima inicial de la luminaria
Luminarias	Normal	Aulas	Para pantallas TIPOIII con polaridad positiva $\leq 500 \text{ cd/m}^2$	300 cd @ 65 185 cd @ 75 60 cd @ 85
Superficies del aula	Normal	Aulas	Luminancia promedio inicial $\leq 850 \text{ cd/m}^2$	Máxima luminancia del plafón 550-850cd/m ²
Media de luz natural	Normal	Aulas	$\leq 850 \text{ cd/m}^2$	

3.3.3 Brillo de las pantallas de computadoras

Realizar actividades con una pantalla de computadora implica en algunos casos la visualización alternada entre hojas de papel y la pantalla de computadora, ambas actividades requieren condiciones diferentes de iluminación, pues para visualizar las hojas de papel, generalmente blancas, se requiere mayor cantidad de iluminación que la visualización de la pantalla, que es un dispositivo auto iluminado, pues presentan diferentes luminancias. Esto implica incomodidad por la adaptación que sufre de la vista a las diferentes luminancias. Esta investigación se acotó a la realización de tareas empleando únicamente la pantalla de computadora, donde el brillo de la pantalla juega un papel importante, ya que representa la luminancia a la que se somete el ojo durante largas jornadas.

Actualmente existen dispositivos tecnológicos, principalmente pantallas de celulares que permiten la autorregulación del brillo de acuerdo con las condiciones de iluminación ambiental. Sin embargo, no se logró acceder a la información sobre las consideraciones de confort visual para determinar dichos niveles de brillo. Es importante mencionar que la determinación del brillo debe ser a partir de la percepción del confort visual relacionado con las luminancias del ambiente, pues del brillo dependerá la correcta visualización de información y la salud visual. Del nivel de brillo y del tipo de pantalla dependerá el reflejo de velo, que puede afectar significativamente en la observación de la información.

CAPÍTULO IV Diseño experimental

4.1 Control de variables

Este capítulo contiene el diseño experimental a partir del control de las variables que permitió llegar a la experimentación final, recordando que un control detallado de las variables permite obtener datos más precisos. Por tal motivo, se abordó el diseño experimental a partir de las variables a controlar considerando el ser humano y su relación con el espacio.

Esta investigación es de carácter experimental, pues, como el título lo indica, busca caracterizar los factores del ambiente luminoso que influyen en el uso de una pantalla de computadora, teniendo en consideración la evaluación del confort lumínico y la memorización como parte del proceso cognitivo. Entonces, para realizar una evaluación se requiere un trabajo de comparación de datos bajo diferentes condiciones de iluminación que permitan llegar a la validación de la hipótesis principal planteada: *“En la visualización de una pantalla de computadora, los ambientes menos iluminados brindan mayor confort visual en la realización de tareas, y afectan de manera negativa a los factores involucrados en el proceso cognitivo”* Entonces, primero fue necesario establecer los factores de iluminación implicados en cada ambiente a evaluar, mediante un diagrama generado a través de la observación de las relaciones iluminación al trabajar con una pantalla de computadora en cualquier espacio.



Figura 54. Relación de factores del ambiente luminosos implicados en la percepción de una pantalla de computadora
Fuente: Autoría propia

El diagrama anterior de la figura 54 permitió clasificar los factores de iluminación considerando la relación entre el confort visual, la arquitectura y el equipo de iluminación. El primer elemento en esta relación es la *luminancia de la pantalla*, tomando en cuenta las condiciones de iluminación cercana y distante a la pantalla; así como los reflejos producidos por el entorno. También se observa la *luminancia en el campo horizontal* relacionado con la iluminación general del ambiente, la *luminancia en el área de trabajo vertical* con relación a la iluminación que proviene del plafón y la *luminancia del fondo reflejado* que tiene que ver con los reflejos del entorno en la pantalla.

La figura 55 muestra de manera gráfica los cuatro factores antes mencionados que intervienen en el uso de una computadora. La clasificación de estos factores de iluminación permitió establecer las variables a considerar para el experimento.

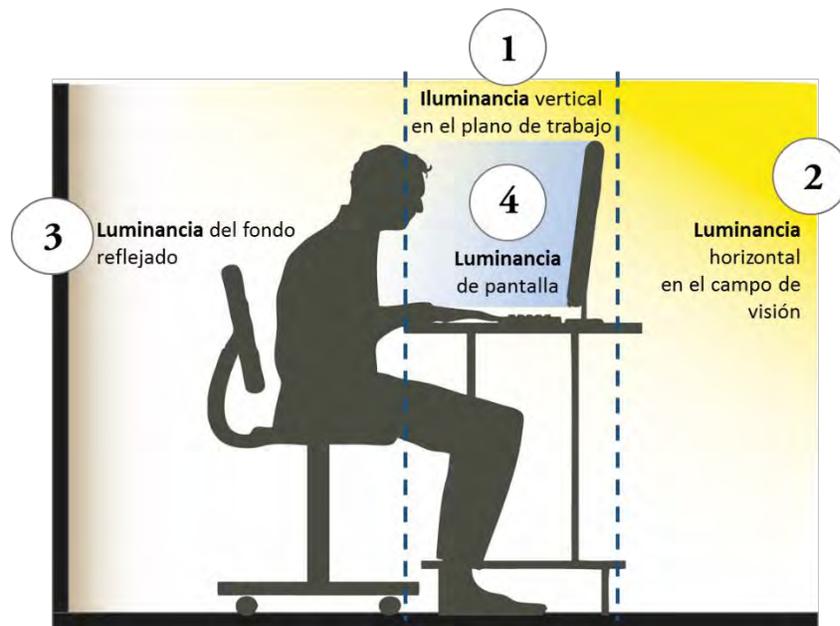


Figura 55. Relación de factores del ambiente luminosos implicados en la percepción de una pantalla de computadora
Fuente: Autoría propia

Antes de continuar con el diseño experimental, es importante recordar al lector que se busca el cumplimiento del objetivo principal planteado al inicio de esta investigación, que es: Determinar el ambiente luminoso que favorece al proceso de aprendizaje en las pantallas de computadora.

Entonces, al ser esta una investigación que involucra el proceso de aprendizaje del ser humano bajo diferentes condiciones de iluminación, se recurrió a un método experimental donde se consideran tres elementos; por un lado, las condiciones físicas del espacio, es decir, lo que aquí se han definido como factores de iluminación; por otro lado, las consideraciones humanas revisadas mediante un acercamiento al área de la psicología y finalmente, el diseño de la herramienta de evaluación. En resumen, el diseño experimental comenzó con la definición de tres tipos de variables.

- a) Control de variables en los espacios a evaluar
- b) Control de variables de los sujetos a evaluar
- c) Control de variables en la herramienta de evaluación

Cabe mencionar que el orden en que aparece el control de las variables no corresponde estrictamente a un orden cronológico, más bien, el diseño de la experimentación fue un trabajo de interrelación de los tres elementos en un momento dado.

Se comienza a describir el diseño experimental a partir de los factores del ambiente luminoso, es decir, de las consideraciones sobre las variables a controlar en el espacio donde se realizó el experimento. Es importante mencionar que el marco teórico de esta investigación demuestra que en la práctica las aulas de cómputo generalmente se aíslan de la iluminación natural mediante el uso de cortinas o persianas, es decir, se bloquea la incidencia de la iluminación natural. Partiendo de esta premisa, se propone que la investigación se desarrolle en un medio aislado de iluminación natural, para tener un mayor control sobre la iluminación. Entonces, se decidió utilizar el Laboratorio de Iluminación Artificial LIA localizado en el área de Arquitectura Bioclimática de la UAM unidad Azcapotzalco.

4.1.1 Control de variables en los espacios a evaluar

Factor del ambiente luminoso:

- 1) *Iluminancia en el plano de trabajo vertical*

Una vez definido el espacio para la experimentación, se comenzaron a idear posibles configuraciones de iluminación, planteando el diseño de un panel que permitiera simular una ventana en diferentes alturas respecto al nivel de vista del observador, es decir, en la práctica esto significaría modificar la configuración del aula de cómputo respecto a su relación muro -vano. Sin embargo, este esquema se excluyó, pues las aulas de cómputo existentes en las escuelas públicas tienen una configuración espacial estandarizada y normalizada, lo

cual indica que los resultados que arrojaría este esquema tendrían una baja posibilidad de aplicación en las aulas existentes.

También, se planteó la posibilidad de experimentar con iluminación indirecta hacia el plafón mediante la simulación de repisas de luz natural, evitando las fuentes deslumbrantes directas, sin embargo, por la dificultad para reproducir las condiciones reales de iluminación de un aula, y además porque se determinó que un método más sencillo llevaría a los mismos resultados, se optó entonces por un esquema de iluminación directa, es decir, un flujo luminoso proveniente del plafón, como se observa en la figura 56.

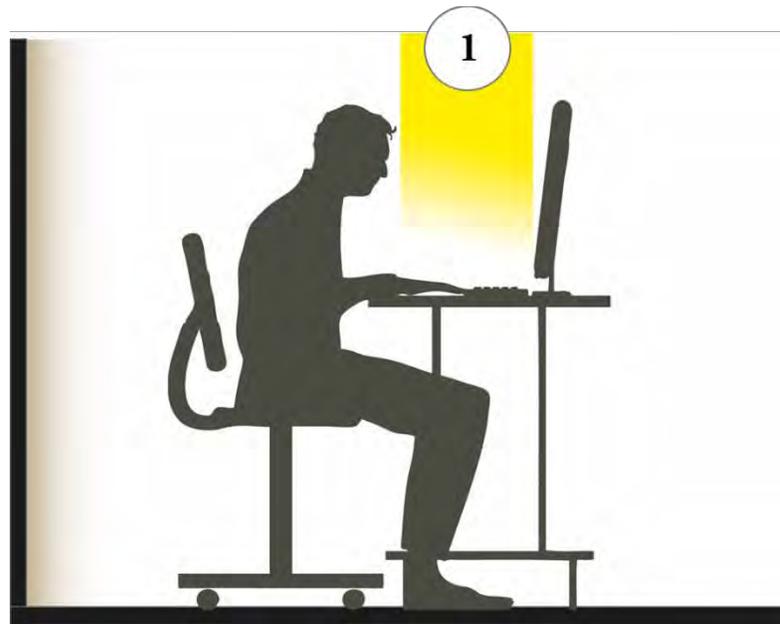


Figura 56. Iluminancia vertical en el plano de trabajo horizontal
Fuente: Autoría propia

Después de haber definido que la iluminación para la experimentación era la directa proveniente del plafón, se identificó ésta dentro de los factores de la iluminación como la *iluminancia vertical en el plano de trabajo*. A partir de este primer factor, se comenzó con un discernimiento de las variables a controlar en el espacio.

Caracterización del laboratorio

Primero, se tuvo que identificar la fuente luminosa a controlar, y para ello fue necesario la caracterización del LIA figura 57, con tres de los sistemas de iluminación general con los que cuenta, para conocer las iluminancias sobre plano de trabajo, a nivel de piso, muros y su distribución en el espacio, de tal

forma que se describiera el comportamiento de la luz en el espacio con cada equipo de iluminación general. También se caracterizaron las reflectancias e iluminancias de piso, muros y plafón del laboratorio.

La NOM-025 establece una metodología para definir el número de puntos de medición para obtener la iluminancia de acuerdo con la dimensión y altura del espacio, resultando por las características propias del laboratorio, 4 puntos de medición. Sin embargo, para conocer de manera más precisa la distribución de la iluminancia para caracterizar cada sistema de iluminación, se determinó una cuadrícula de 60 cm x 60 cm en muros, piso, plafón y plano de trabajo considerado a 75 cm del nivel del piso. De esta forma, se establecieron 36 puntos de medición en cada superficie. Se empleó un Luxómetro marca Steren modelo HER-410, con precisión de $\pm(5\%+2d)$ (% de lectura + número de dígitos).



Figura 57 Laboratorio de Iluminación Artificial LIA
Fuente: Autoría propia

Para determinar el equipo de iluminación a utilizar se realizó la caracterización de tres sistemas de iluminación, considerando la iluminancia media, máxima y mínima. Estos valores permitieron calcular el coeficiente de varianza para establecer la uniformidad de la iluminación en el espacio.

Los tres sistemas de iluminación caracterizados fueron:

- 1) *Sistema curvalum compuesto por cuatro equipos con lámparas fluorescentes tipo curvalum*
- 2) *Sistema compuesto por nueve equipos con lámpara tipo compacta fluorescente*
- 3) *Sistema compuesto por seis equipos con lámparas tipo lineal fluorescente*

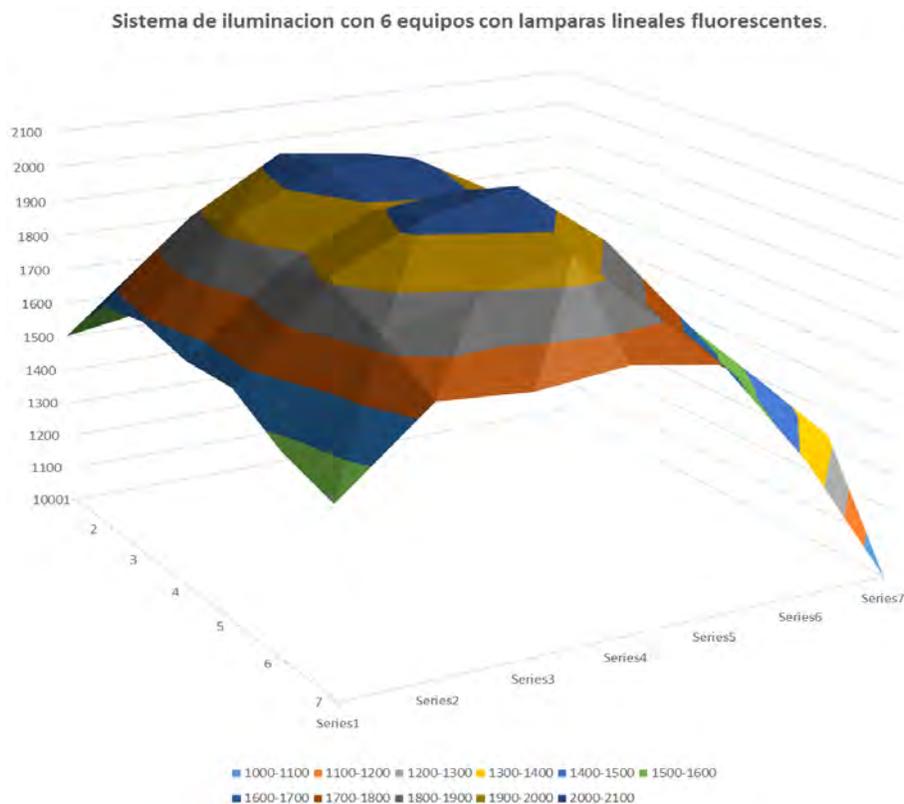


Figura 58 .Izquierda-sistema de lámparas fluorescente tipo Curvalum, Centro- sistema con lámparas fluorescentes tipo compactas, Derecha- sistema con lámparas fluorescentes tipo lineal
Fuente: Autoría propia

De los tres sistemas de iluminación general existentes en el LIA, se eligió el sistema compuesto por seis equipos de luminarios con lámparas tipo lineal, pues este sistema presentó la luminancia más alta, lo que permite un mayor rango de posibilidades para experimentar. El sistema presenta una iluminancia media de 1713 lux a la altura del plano del trabajo (75 cm) y tiene un coeficiente de varianza de 14 % que representa un valor intermedio entre los tres sistemas caracterizados. La gráfica 1 representa la distribución de las luminancias a la altura del plano de trabajo para el sistema elegido con lámparas de tipo lineal.

Una vez que se determinó el uso del sistema con lámparas fluorescentes de tipo lineal se analizaron las posibles experimentaciones, llegando a considerar en un inicio variaciones en el flujo luminoso y el índice de reproducción cromática (ICR) para evaluar también los cambios ante diferentes ICR, sin embargo,

modificar el ICR de las lámparas resultó inviable. Por lo tanto, se decidió modificar el flujo luminoso para reducir así las iluminancias en el plano de trabajo.



Gráfica 1. Distribución de iluminancias en el espacio de trabajo para el sistema de lámparas fluorescentes tipo lineales.
Fuente: Autoría propia

Ahora, la pregunta que se busca responder es *¿qué luminancias usar para la experimentación?*, en este sentido se retomó la información sobre normatividad de los primeros capítulos de esta investigación. Y se decidió utilizar los valores establecidos por la NOM- 025 que insta una iluminancia mínima de 500lux en la zona de trabajo, también se recurrió a la normativa de INIFED que establece una iluminancia mínima de 350 lux a 400 lux para aulas de cómputo, además se decidió trabajar con la iluminancia de 1713 lux promedio del sistema de iluminación general elegido. Lo anterior con la finalidad de experimentar con valores muy por encima de los ya establecidos como mínimos en la normativa actual de nuestro país.

2) Iluminancia horizontal en el plano de trabajo

El siguiente factor por analizar, para continuar localizando las variables a controlar, fue *el factor de iluminancia horizontal en el plano de trabajo*, que está relacionado con las luminancias del entorno, para esto fue necesaria la caracterización de las reflectancias y luminancias de muros, pisos y plafones del LIA. Las reflectancias se tomaron de acuerdo con la metodología de la NOM-025 para espacios de trabajo, la cual también establece que el valor máximo de reflexión en muros es de 60 %. La figura 59 esquematiza la iluminancia en el plano de trabajo.



Figura 59. Factor de iluminancia vertical en el plano de trabajo Fuente: Autoría propia

En las tablas 14 y 15 se muestran las reflectancias del plafón, piso y muros obtenidas en el LIA, en las cuales se observa que la reflectancia de los cuatro muros supera la reflectancia máxima establecida por la norma. Esto demostró que era necesario controlar esta variación de las reflectancias en muros y a la vez ajustarse a la normativa para cumplir con la reflectancia máxima del 60%, entonces se decidió homogenizar las reflectancias cambiando el color blanco de todos los muros del laboratorio por un color gris neutro. Al neutralizar la luminancia en el campo visual, se buscó eliminar la influencia directa de la luminancia alta, propia del color blanco, que existe en los muros del laboratorio. Se propuso el color gris neutro debido a que refleja las diferentes longitudes de onda en la misma medida, es decir, que el ambiente no estará influenciado por la reflectancia predominante de algún color.

Tabla 14. Reflectancia en piso y plafón de LIA
Fuente: Autoría propia

REFLECTANCIA EN PLAFÓN			REFLECTANCIA EN PISO		
E1	E2	Kf	E1	E2	Kf
536	782	68.5421995	231	470	49.1489362
416	791	52.5916561	216	444	48.6486486
768	780	98.4615385	190	423	44.9172577
Reflectancia promedio.		73.19%	Reflectancia promedio		47.57%

Nota: *E1* representa la iluminancia medida en lux incidente sobre el material, *E2* se refiere a la iluminancia medida en lux procedente del material, *kf* se refiere al factor de reflexión.

Tabla 15. Reflectancias obtenidas en los cuatro muros del LIA
Fuente: Autoría propia

REFLECTANCIAS PROMEDIO EN MUROS	
Muro	Reflectancia
A	69.46%
B	69%
C	79.14%
D	68.30%
Reflectancia promedio	
	71.47%

3) *Luminancia del fondo reflejado*

Después de haber definido las iluminancias de trabajo y las luminancias del entorno, fue necesario definir el factor del fondo reflejado en la pantalla de tipo especular, relacionado con el entorno luminoso, teniendo en consideración las observaciones realizadas sobre la influencia del color o luminancia del fondo que se refleja en la pantalla, por ejemplo: si una luminancia reflejada por el fondo es más alta que la luminancia de la pantalla, se tendrán problemas de percepción pues según el Instituto Nacional del Higiene y Seguridad en el Trabajo (INSHT, 2015) el ojo se adapta a las luminancias más altas.

Fue necesario definir la luminancia del fondo para analizar cómo podrían llegar a influenciar las luminancias del entorno en el proceso cognitivo, entonces se decidió trabajar con las luminancias opuestas del color blanco y negro. La figura 60 muestra de manera esquemática la luminancia del fondo reflejado.

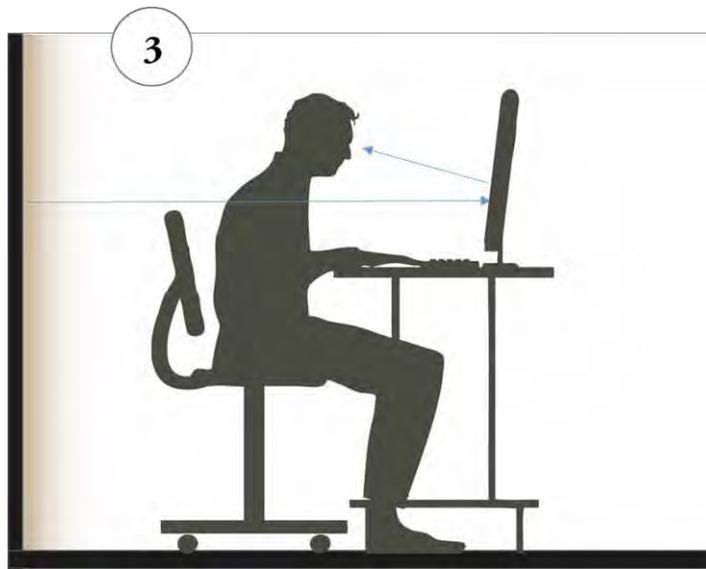


Figura 60. Factor de la luminancia en el fondo reflejado
Fuente: Autoría propia

4) *Factor de luminancia de la pantalla*

El último factor por analizar es la luminancia de la pantalla, la figura 61 esquematiza este factor. Para el estudio de este factor fue necesario caracterizar la pantalla a utilizar comenzando con la calibración del color mediante un espectrofotómetro, con la opción de configuración nativa, es decir, de fábrica y sin activar la configuración de iluminación del ambiente para evitar una calibración de acuerdo con la iluminación del momento. La figura 62 muestra el proceso de calibración mediante el espectrofotómetro.

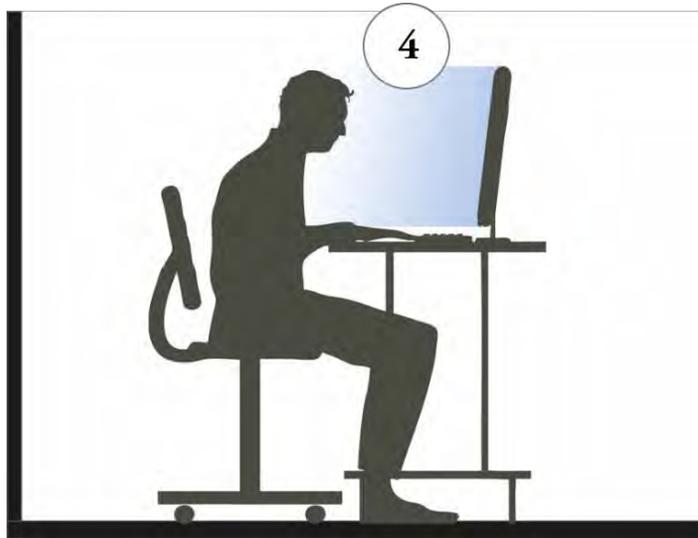


Figura 61. Factor de la luminancia en el fondo reflejado
Fuente: Autoría propia



Figura 62. Calibración del color mediante espectrofotómetro.
Fuente: Autoría propia

Una vez calibrada la pantalla, se midió la luminancia en sus 16 niveles de brillo, mediante un equipo de medición de luminancia que fue colocado en la posición del ojo de acuerdo con la norma de ergonomía ISO 9241 para el uso de computadoras. Esta medición se realizó en un espacio negro, esto es, sin que alguna otra luminancia pudiera interferir en la medición, ver figura 63.

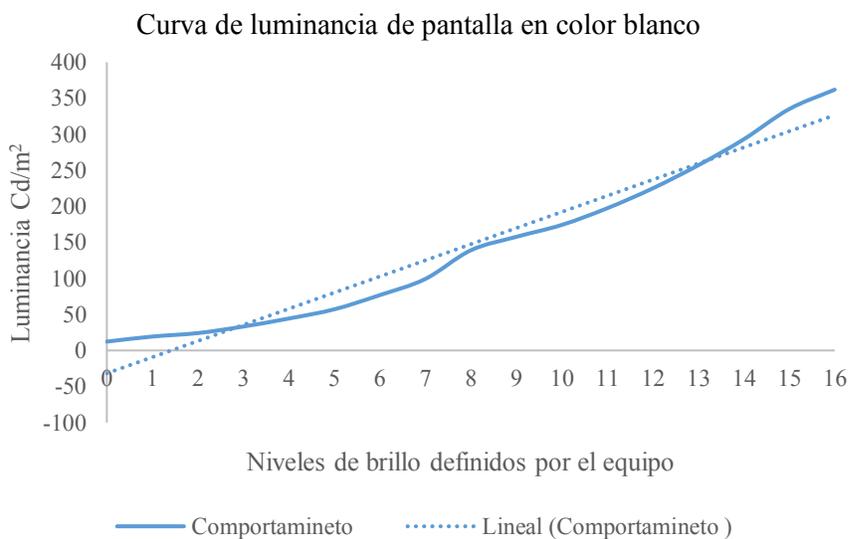


Figura 63 Colocación de equipo de medición de luminancia en pantalla
Fuente: Autoría propia

La medición de luminancia se realizó en los colores blanco, negro y gris neutro. A continuación, se tabuló y graficó la luminancia medida en el color blanco para conocer el comportamiento de la pantalla. En la tabla 13 se puede observar un comportamiento proporcionado de luminancia respecto a cada nivel de brillo, únicamente se muestran algunas variaciones a la mitad del brillo total, es decir, en el nivel ocho o medio. (Ver gráfico 2)

Tabla 16. Luminancia de pantalla en los 16 niveles de brillo de la pantalla
Fuente: Autoría propia

LUMINANCIA DE MONITOR	
NIVEL DE MONITOR	LUMINANCIA Cd/m ²
0	12.3
1	19.3
2	24.1
3	33.2
4	44.3
5	57.1
6	76.8
7	99.2
8	139
9	157.7
10	174.2
11	197.4
12	225
13	257
14	293
15	335
16	362



Gráfica 2. Comportamiento de luminancia de la pantalla respecto a los niveles de brillo
Fuente: Autoría propia

El equipo utilizado en la experimentación es una computadora marca Macintosh de 27 pulgadas con memoria RAM de 8 GB y con procesador 3.06 GHz.

Ahora, no se podrá definir un brillo constante para realizar la experimentación puesto que dependerá de la percepción de cada individuo y para que el experimento se realice en confort visual, será necesario que el mismo individuo ajuste el brillo de pantalla que perciba en confort bajo cada ambiente luminoso, sin embargo, los resultados fueron analizados dentro de un rango de brillo.

Planteadas las variables a controlar de cada factor de la iluminación que interviene en el uso de una pantalla de computadora, es posible integrar los diferentes ambientes luminosos empleados en la experimentación, llamados a partir de ahora escenarios. Se integraron seis escenarios los cuales serán analizados por comparación mediante el método experimental denominado línea base, la figura 64 muestra la integración de los seis escenarios y su forma de análisis comparativo.

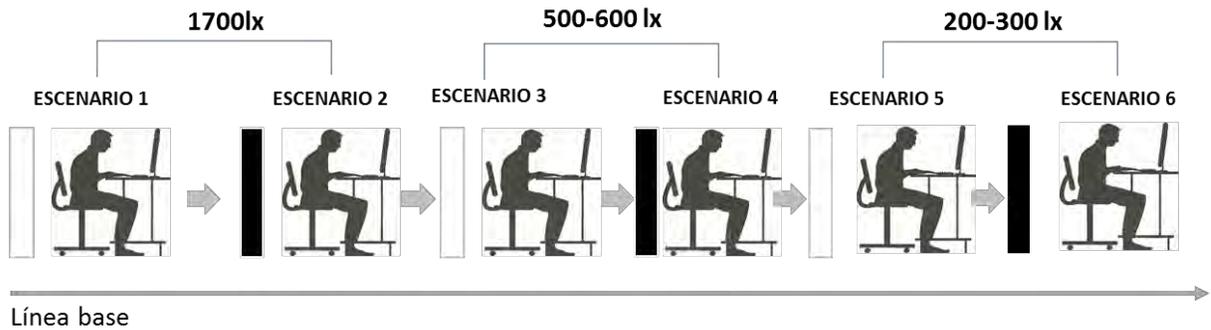


Figura 64. Integración de los seis escenarios, que se analizarán mediante el método de línea base.
Fuente: Autoría propia

A continuación, se describe cada uno de los escenarios, comenzando con el Escenario 1 que presenta una iluminancia de 1700 lux en el plano de trabajo horizontal y fondo blanco a espalda del sujeto, ver figura 65.

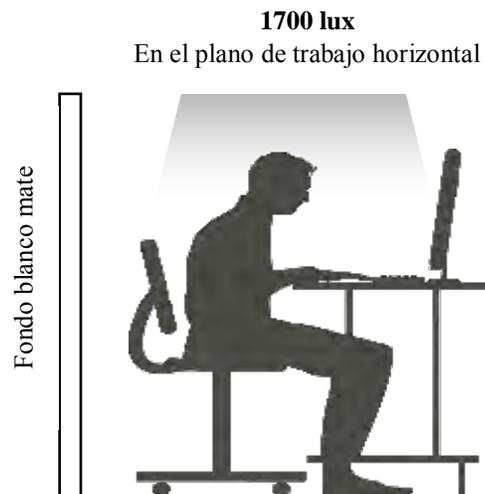


Figura 65. Escenario 1, con iluminancia de 1700 lux y fondo blanco.
Fuente: Autoría propia

El Escenario 2, también con iluminancia general de 1700 lux en el plano de trabajo horizontal y fondo negro a espalda del sujeto. (Ver figura 66)

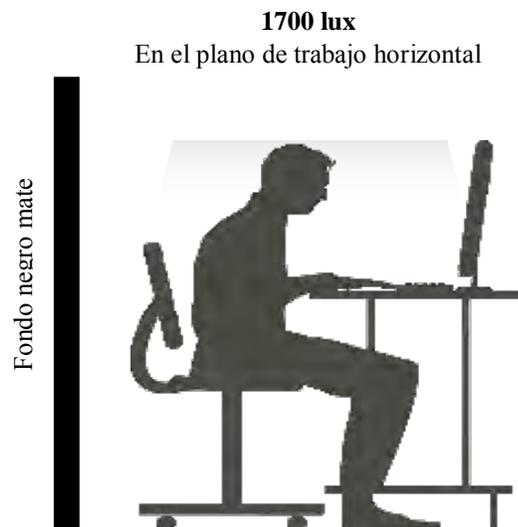


Figura 66. Escenario 2, con iluminancia de 1700 lux y fondo negro.
Fuente: Autoría propia

El Escenario 3, presenta una iluminancia de 500 lux en el plano de trabajo horizontal y fondo blanco a espalda del sujeto. (Ver figura 67)



Figura 67. Escenario 3, con iluminancia de 500 lux y fondo blanco
Fuente: Autoría propia

El Escenario 4, cuenta con una iluminancia de 500 lux en el plano de trabajo horizontal y fondo negro a espalda del sujeto. (Ver figura 68)



Figura 68. Escenario 3, con iluminancia de 500 lux y fondo blanco
Fuente: Autoría propia

El Escenario 5, cuenta con una iluminancia de 300 lux en el plano de trabajo horizontal y fondo blanco a espalda del sujeto. (Ver figura 69)

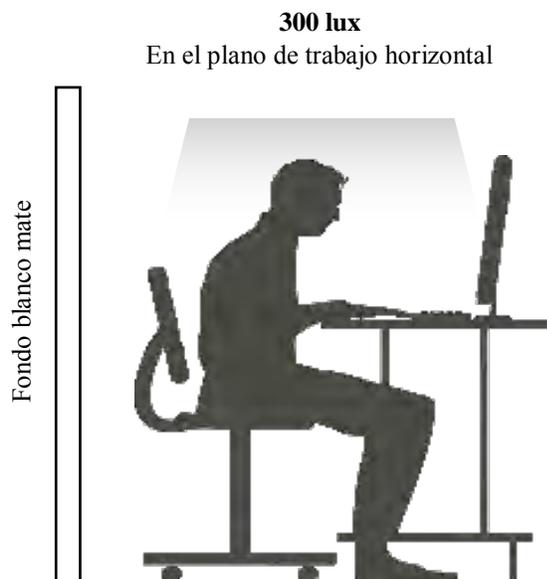


Figura 69. Escenario 5, con iluminancia de 300 lux y fondo blanco
Fuente: Autoría propia

El Escenario 6, tiene una iluminancia de 300 lux en el plano de trabajo horizontal y fondo negro a espalda del sujeto. (Ver figura 70)

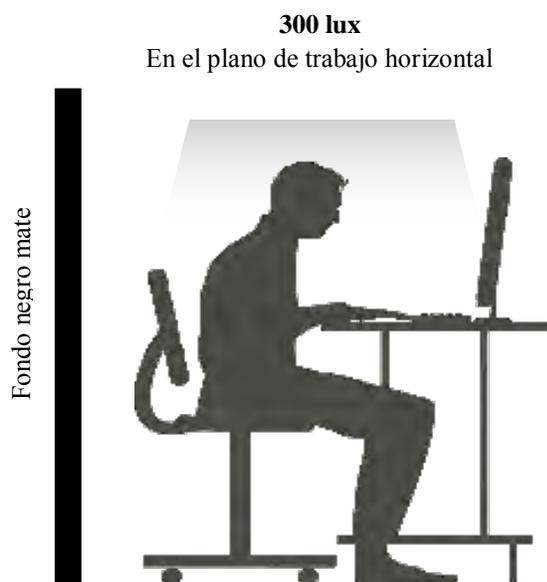


Figura 70 Escenario 6, con iluminancia de 300 lux y fondo negro
Fuente: Autoría propia

4.1.2 Control de variables de los sujetos a evaluar

Una vez definidas las variables a controlar en el espacio, se comenzaron a discernir las variables a manipular en el sujeto que realizó la experimentación.

La complejidad y número de factores que involucran la constitución del fenómeno humano, son factores importantes a considerar en los experimentos, por tal motivo, en la medida de las posibilidades, se homogenizó la población procurando mantener como constantes: el nivel educativo, el rango de edad y la salud visual, es decir, que los sujetos sometidos a la experimentación tengan una correcta percepción cercana y distante, así como una apropiada percepción de colores, se determinó entonces lo siguiente:

a) Sujetos aptos para la investigación

Miopía corregida, hipermetropía corregida, astigmatismo corregido, correcta percepción de colores.

b) Sujetos no aptos para la investigación:

Daltonismo, miopía no corregida, hipermetropía no corregida, astigmatismo no corregido o personas que tomen medicamentos que alteren los estados de conciencia o perceptivos (antigripal, ansiolítico, antidepresivos, entre otros).

Se determinó que la población muestra debe estar integrada por el 50% de mujeres y el 50% de hombres, y que se encuentren en un rango de edad de 20 a 25 años.

Respecto al nivel de estudios, se consideró la población de alumnos de licenciatura de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) unidad Azcapotzalco, específicamente los pertenecientes al área de Ciencias y Artes para el Diseño (CYAD), de los cuales se encuentran activos 1569 mujeres y 1917 hombres, lo que da un total de 3486 alumnos. Inicialmente se determinó el tamaño de la población muestra mediante un cálculo estadístico (Macorr Research Solutions Online, 2016) donde se consideró un margen de error del 14%, un nivel de confianza del 90% y una población finita de 3486 alumnos; lo que generó un tamaño de muestra de 34 alumnos para la primera fase experimental.

El método de experimentación fue la Línea base tipo ABC que consiste en la comparación de los sujetos bajo los diferentes estímulos, por lo tanto, se consideró una muestra experimental, compuesta inicialmente por 50 % mujeres y 50 % hombres, es decir, 17 mujeres y 17 hombres, que realizaron la prueba en grupos de tres a cinco sujetos. Se determinó que un mismo grupo de sujetos realizaran la prueba en los seis

escenarios en un mismo día, lo que implicó que la prueba durara aproximadamente 2.5 horas, sin embargo, esto aseguró que los sujetos no sufrieran cambios emocionales o físicos que pudiesen haber afectado a los resultados, si la prueba se hubiese realizado en diferentes días.

Por cuestiones operativas, la prueba finalmente se realizó con una población de 30 sujetos, 16 mujeres y 14 hombres. Más adelante, en el método, se describe el procedimiento llevado a cabo en la experimentación.

4.1.3 Control de variables en la evaluación

Recordando que el objetivo principal planteado al inicio de esta investigación es: Determinar el ambiente luminoso que favorece al proceso de aprendizaje en pantallas de computadora, resulta importante adentrarse, primero, en el término *proceso cognitivo* que consiste en la adquisición de nueva información o conocimientos, mediante procesos mentales que involucran varias estrategias cognitivas como la atención, la percepción, la memoria y el pensamiento en general. Al hablar de procesos mentales, necesariamente se involucra a la psicología, por esta razón las pruebas a realizar en la experimentación tienen sustento en investigaciones realizadas desde el campo de esta disciplina.

El proceso cognitivo resulta complejo, y por lo tanto difícil de evaluar, pues involucra una gran cantidad de variables, desde la propia experiencia de vida, hasta las condiciones ambientales que interactúan con el sujeto. En esta investigación se experimentó con la memoria, como estrategia del proceso cognitivo, no obstante, en el entendido que la memoria resulta también un proceso muy complejo se decidió para este estudio, abordar uno de sus aspectos más simples y primarios: la retención. El psicólogo Charles G. Morris, determinó tres tipos de registros en la memoria humana: el registro sensorial, la memoria a corto plazo y la memoria a largo plazo; en esta experimentación se recurrió al estudio de la memoria a corto plazo en el aspecto retentivo. (Morris & Maisto, 2005)

Las pruebas para la experimentación de esta investigación se realizaron con base en los trabajos realizados por el psicólogo Herman Ebbinghaus en el siglo XIX, los cuales consistían en la memorización de listas con sílabas sin sentido, es decir, compuestas por una consonante, una vocal y otra consonante. El uso de las sílabas sin sentido evita predisponer al sujeto a memorizaciones previas. El método original de Ebbinghaus consistía en registrar la cantidad de veces en las que una lista de 12 sílabas sin sentido podía ser memorizada, creando también la curva del olvido al graficar el número de sílabas olvidadas al transcurrir determinado tiempo (Universidad Nacional de Colombia, 2003). Sin embargo, del método de Ebbinghaus únicamente se

retomó el listado de sílabas sin sentido para evaluar la memoria a corto plazo bajo diferentes ambientes luminosos. Esto es, se evaluaron las condiciones de iluminación para determinar cómo afectan al proceso de memorización, cuando se lee en una pantalla de computadora.

Diseño de la herramienta de evaluación

Se comenzó la definición de las variables para el sujeto en torno a la prueba a realizar en la experimentación, pues fue uno de los componentes más importantes en esta investigación al actuar como herramienta de evaluación, fue estructurado de tal forma que se evaluaron aspectos cualitativos en referencia al método de Ebbinghaus y cuantitativos con relación a la percepción del ambiente. (Ver figura 71)

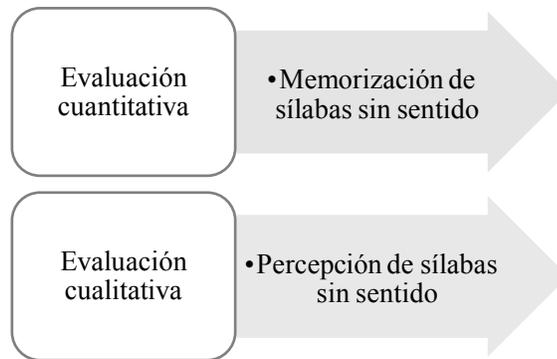


Figura 71. Componentes cualitativos y cuantitativos de la prueba.
Fuente: Autoría propia

Una vez definidos los componentes principales de la prueba, se comenzó el diseño a detalle de cada etapa de la evaluación, y quedó estructurado en tres fases principales. (Ver figura 72)

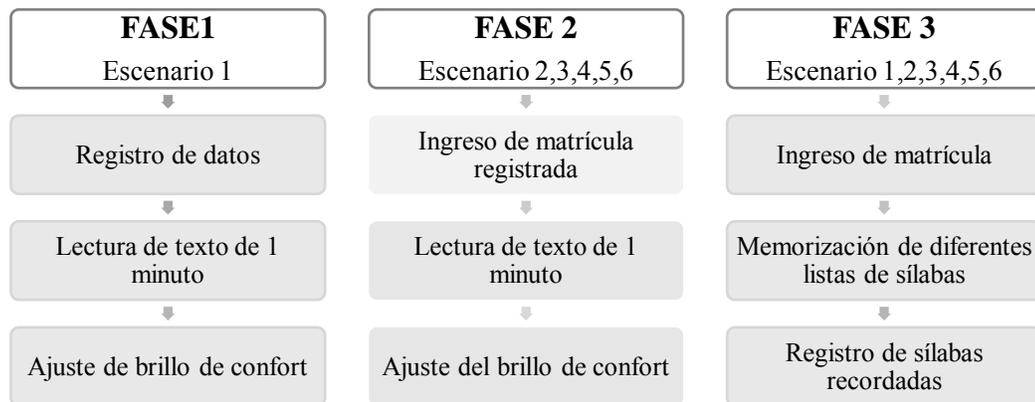


Figura 72. Fases principales que componen la prueba
Fuente: Autoría propia

El objetivo de la primera fase fue obtener la información respecto a la edad, sexo y posibles alteraciones visuales en el registro de datos. La segunda fase fue el ajuste de brillo de la pantalla, donde previamente se leyó un texto de carácter científico durante 1 minuto para adaptar la vista a la luminancia de la pantalla y entonces se procedió a ajustar y registrar el brillo de la pantalla de preferencia para cada sujeto. En la tercera etapa el sujeto memorizó la lista de sílabas sin sentido durante dos minutos, transcurrido este tiempo el sujeto escribió las palabras recordadas y registró su percepción del ambiente. Más adelante se muestra la impresión de pantalla del proceso de la prueba.

La prueba que se realizó en la pantalla de computadora fue programada en el software Excel de la paquetería de Microsoft 365 Pro Plus, sin embargo, por la falta de compatibilidad entre los sistemas Macintosh y Microsoft se recurrió al uso de un escritorio remoto entre un equipo Microsoft y el equipo Mac que permitiera visualizar la información en la pantalla. La siguiente figura 73 muestra la interfaz de inicio de la prueba.

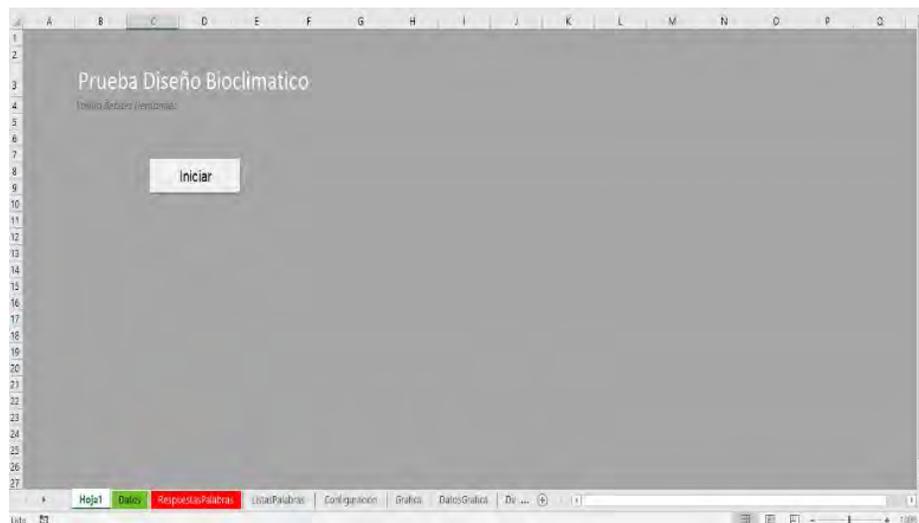


Figura 73. Interfaz del inicio de la prueba
Fuente: Autoría propia

La figura 74 muestra el menú con los seis escenarios, que permitió que la experimentación se realizara de forma ordenada.

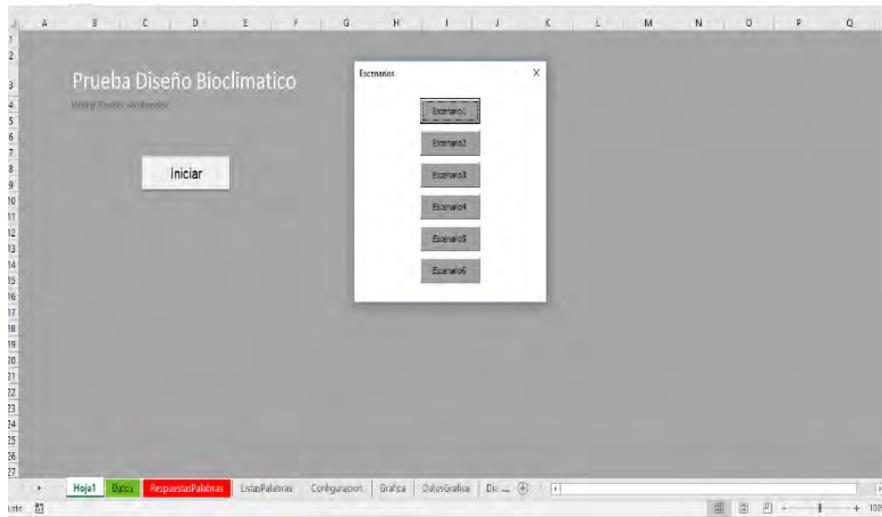


Figura 74. Menú de escenarios en la prueba
Fuente: Autoría propia

La figura 75 es una impresión de pantalla, donde aparecen los campos a llenar solicitados a los participantes de las pruebas. La matrícula permitió la identificación del participante en cada escenario. Registrar el sexo permitió el análisis a partir de las diferencias biológicas; el registro de la edad fue un dato importante, pues, como se mencionó en el marco teórico, la edad está relacionada con los requerimientos de iluminación.

Figura 75. Interfaz de registro de datos
Fuente: Autoría propia

Por otro lado, se registró la licenciatura que cursaban para corroborar que pertenecieran al área de diseño, con la finalidad de tener la certeza de que estos estudiantes correspondían al área de diseño de la UAM con el objeto de justificar la población muestra. El conocer las posibles patologías visuales en los participantes también es un dato valioso para el análisis final. Más adelante se describen con detalle las variables a controlar en los sujetos.

La figura 76 muestra el texto a leer de carácter científico, recordando que es diferente para cada escenario y que aparece durante un minuto, con la finalidad de adaptar la vista al ambiente luminoso del laboratorio y la pantalla, transcurrido este tiempo aparece la indicación de ajustar el brillo al confort del usuario y registrarlo, cabe mencionar que el brillo de la pantalla se mantuvo en cero para todos los escenarios antes de comenzar el ajuste.

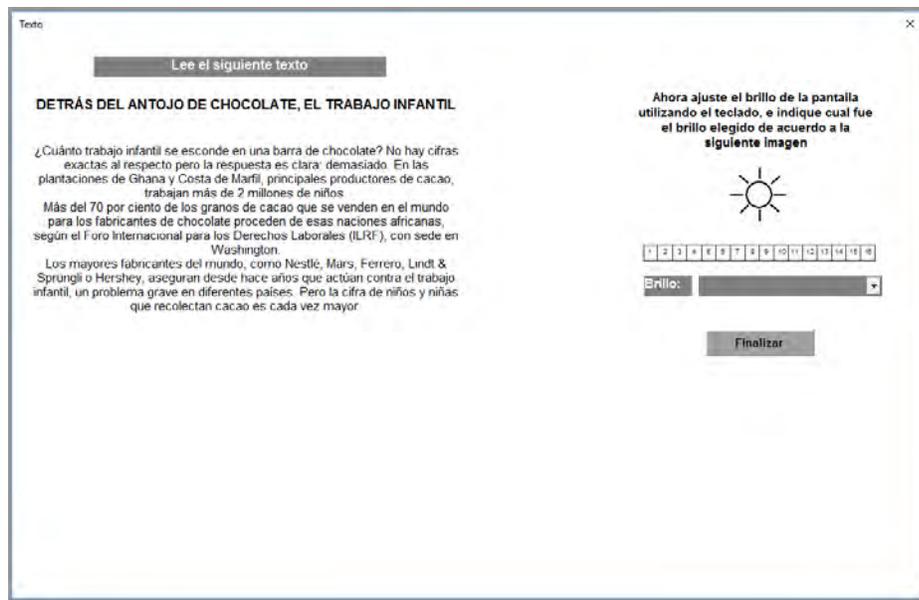


Figura 76. Formato de texto e indicación para ajustar el brillo de pantalla
Fuente: Autoría propia

Una vez que se definió el brillo de confort de la pantalla para el grupo de experimentación, los participantes debían memorizar las listas de sílabas sin sentido mencionadas anteriormente. Estas listas fueron creadas mediante un algoritmo de Excel que permitió configurar las sílabas de manera aleatoria, ver tabla 17.

Tabla 17. Listas de sílabas sin sentido para cada escenario
Fuente: Autoría propia

Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
ÑOP	SOM	COV	POJ	RAV	RAÑ
YIK	KUT	ÑIS	WUZ	ZOX	CUH
HUT	QAY	BAN	DER	LAZ	SOV
XIC	LIW	MOX	ZAH	DUB	GEM
XIL	FOH	YAK	GOP	HEZ	FUL
PUC	GIB	MIB	ÑUZ	SUZ	YUD
FIH	WOJ	DUQ	VEP	VOQ	PIM
JUD	BAW	BOC	QUC	FIM	NAÑ

La figura 77 muestra el formato de lectura de sílabas a memorizar. Aquí cabe señalar que se eligió un formato de pantalla *positivo*, es decir, fondo blanco con contraste negro en las letras.

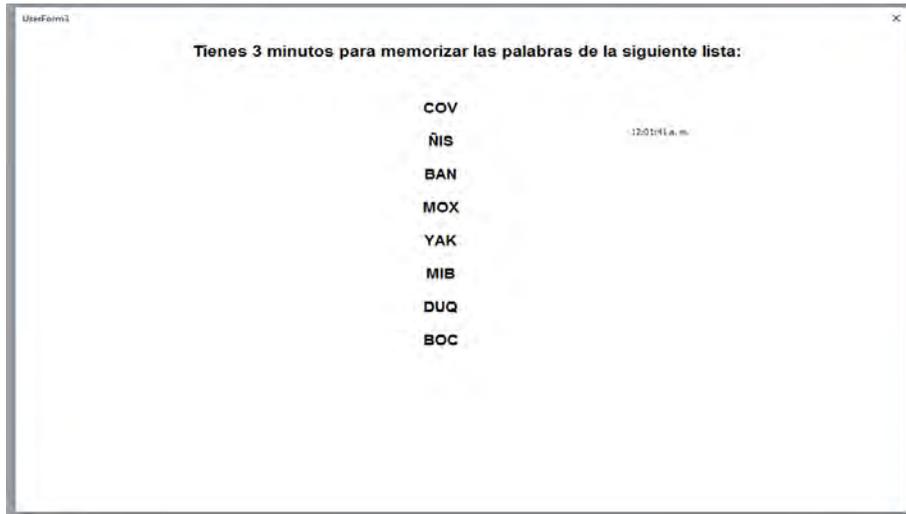


Figura 77. Formato de texto e indicación para ajustar el brillo de pantalla
Fuente: Autoría propia

Abajo, en la figura 78, se muestra la interfaz para el registro de las sílabas recordadas, en esta ventana no se colocó cronómetro o medición de tiempo, para evitar estrés en el sujeto.

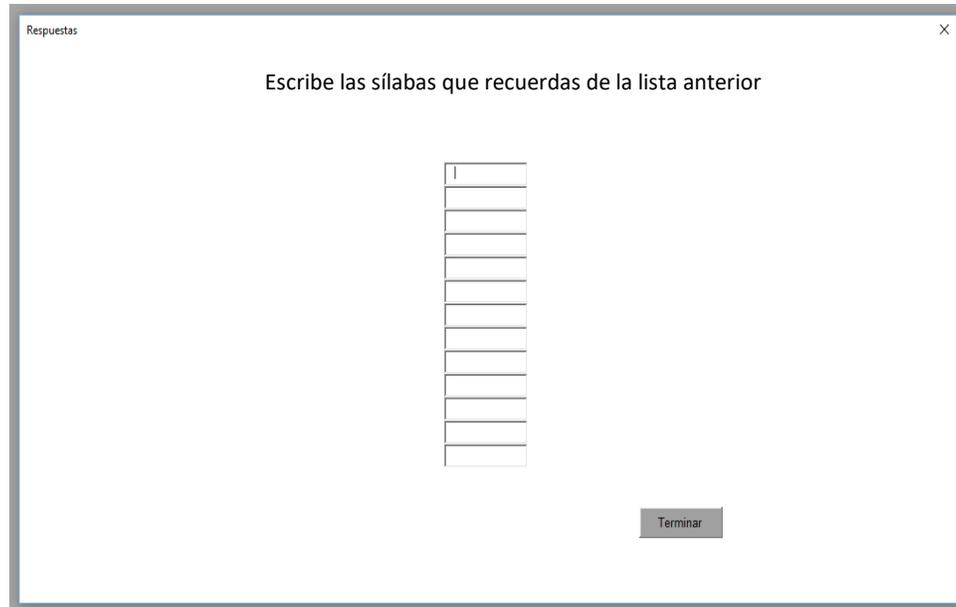


Figura 78. Ventana para registrar sílabas recordadas
Fuente: Autoría propia

Después de haber registrado las sílabas recordadas, el sujeto estableció su percepción del ambiente mediante una escala diseñada a partir de tres valores. El valor más bajo corresponde a una percepción de *penumbra* (-3P), el valor medio representa un estado de confort (0C), y el valor alto representa una percepción deslumbrante (+3D). Cabe mencionar que los sistemas actuales para medir el deslumbramiento como la Escala Glare Sensation Vote (GSV), no resultan útiles para esta investigación, pues miden la sensación de deslumbramiento, y el objetivo aquí es conocer la percepción de ambiente luminoso general. La figura 79 muestra la escala que se diseñó para registrar la percepción del ambiente.

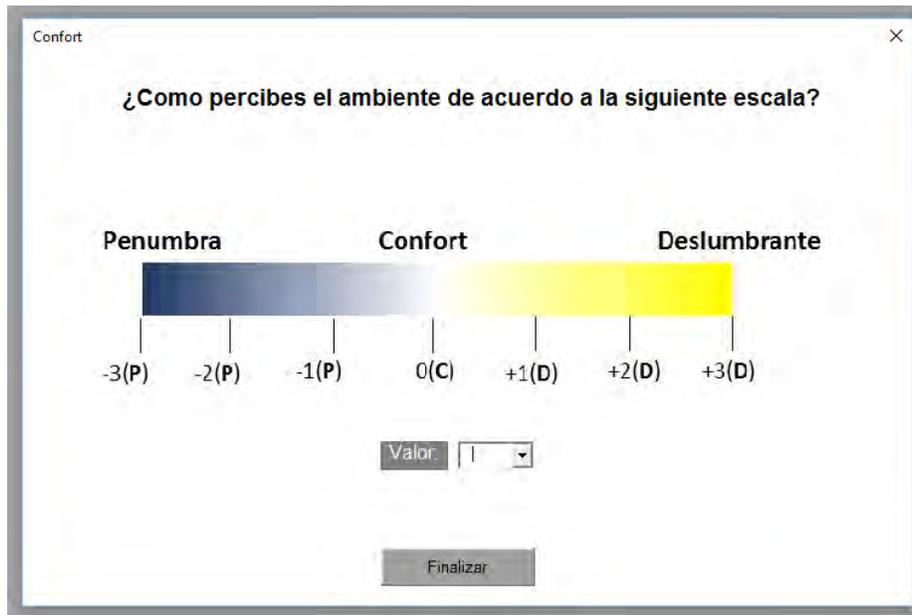


Figura 79. Escala de percepción del ambiente.
Fuente: Autoría propia

4.2 Formulación de nuevas hipótesis

A partir de la hipótesis planteada al principio de este documento se establecen hipótesis operativas, con la finalidad de realizar el diseño experimental y análisis de datos de manera ordenada, sin perder de vista la hipótesis de esta investigación.

Las dos primeras hipótesis operativas a explorar, considerando que los escenarios se componen de dos variables independientes: a) la iluminancia en el plano de trabajo horizontal y b) la luminancia en el fondo reflejado, como se verá más adelante en el análisis inferencial, se establecen a partir de la siguiente pregunta:

¿Cuál es la relación entre el ambiente luminoso y el brillo de confort en la pantalla de visualización?

Las hipótesis por comprobar son las siguientes:

1. *Tanto mayor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será el brillo de preferencia de dicha pantalla.*

Esta hipótesis se sustenta en el marco teórico de esta investigación, donde se sabe que el ojo humano se adapta a las luminancias más altas en ambiente luminoso.

- 2. Tanto mayor sea la luminancia en el fondo reflejado en la pantalla, donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será el brillo de confort en la pantalla.*

La hipótesis anterior se sustenta en las observaciones del marco teórico, donde se indica que una mayor luminancia en el fondo que se refleja en la pantalla crea mayor contraste dificultando la visualización, por lo tanto, se requiere una mayor luminancia en la pantalla para una mejor apreciación de la misma.

Respecto a las sílabas memorizadas se establecen dos hipótesis secundarias a explorar, sin olvidar que los escenarios de componen de dos variables independientes: a) la iluminancia en el plano de trabajo horizontal y b) la luminancia en el fondo reflejado. Estas hipótesis se establecen a partir de la segunda pregunta:

¿Cuál es la relación entre el ambiente luminoso y la memorización a corto plazo?

Las hipótesis por comprobar son las siguientes:

- 3. Tanto menor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo.*

La hipótesis anterior se sustenta en el marco teórico de esta investigación, donde se sabe que en las aulas de cómputo los usuarios bloquean intencionalmente las altas luminancias provenientes las ventanas.

- 4. Tanto menor sea la luminancia en el fondo reflejado en la pantalla, donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo.*

La hipótesis anterior se sustenta en el marco teórico, donde se indica que los reflejos de luminancias altas pueden causar distracciones por deslumbramiento indirecto.

CAPÍTULO V. Experimentación

5.1 Método

Una vez definidas las variables a controlar en el experimento respecto al espacio, los sujetos y las evaluaciones a realizar, se determinaron los medios físicos y se diseñó la logística para llevar a cabo la experimentación.

A) *Sujetos*

Población muestra del área de Ciencias y Artes para el Diseño

B) *Materiales*

1. Tela en color gris neutro para revestir muros
2. Cortinas de tela negra y blanca de 2.20 m x 3.40m, como fondo respecto a la pantalla de computadora
3. 24 filtros plásticos de la línea Neutral Density de la marca LEE, para la reducción de cantidad de iluminación en las luminarias
4. Un equipo de cómputo de la marca Macintosh con pantalla tipo especular de 23", calibración previa de color, teclado y ratón
5. Una mesa de trabajo de 0.75 metros de altura en color blanco
6. Una silla de altura ajustable en color negro
7. Prueba: Consistió en un programa realizado en el Software Excel, diseñado en dos fases, la primera fase permite el registro de datos del sujeto, posteriormente se presenta un texto para ser leído durante un minuto, transcurrido el minuto, aparece en el programa la opción de modificar el brillo de la pantalla. La segunda fase consiste en 6 listas con 8 sílabas sin sentido, es decir, 1 prueba para cada escenario. La segunda fase incluye una encuesta cualitativa que constó de la oportunidad de elegir la percepción del ambiente en una escala de -3P a 3D, donde -3P se refiere a la percepción de espacio en penumbra, 0C corresponde al confort y +3D se refiere a la percepción de un ambiente deslumbrante
8. Papel de colores para que los participantes realicen figuras con la técnica origami, mientras esperan su ingreso y reingreso al laboratorio. Lo anterior fue con el fin de evitar el uso de

celulares, tabletas o computadoras que pudieran causar fatiga visual, también se busca con esto evitar actividades mentales complejas

C) Procedimiento:

La experimentación se realizó en el laboratorio de Iluminación Artificial, ubicado dentro del laboratorio de Arquitectura Bioclimática de la UAM unidad Azcapotzalco. El laboratorio tiene una dimensión de 4.0 x 3.75 metros. Se utilizaron seis luminarios con lámparas fluorescentes lineales, a una altura de 3 metros. El piso tiene una reflectancia promedio del 43%, el plafón de 76 %y los muros del 68 %.

1) Adaptación del laboratorio

Como ya se mencionó anteriormente en el control de las variables del espacio, fue necesario cambiar las condiciones de luminancia y reflectancia de los muros, buscando homogenizar la luminancia de los diferentes materiales en el campo visual, tanto en el plano vertical como en el horizontal. Se revistieron los muros con un material parecido a la tela, llamado *fondo cartera* en color gris neutro con una reflectancia del 18%. La figura 80 muestra el proceso de adaptación del laboratorio.



Figura 80. Adaptación del LIA para la creación de escenarios.
Fuente: Autoría propia

2) Adaptación de los escenarios

Una vez revestidos los muros con el color gris, se montaron las telas mates blanca y negra, que sirvieron como fondo para el reflejo de la pantalla. Se colocaron en forma de cortina corrediza para hacer los cambios de escenario de manera rápida. La tabla 15 indica la luminancia y la reflectancia de las telas de fondo en cada escenario

Tabla 18. Variables aplicadas para cada escenario
Fuente: Autoría propia

	Esc. 1 1700 lux	Esc. 2 1700 lux	Esc. 3 500lux	Esc. 4 500lux	Esc. 5 300lux	Esc. 6 300lux
Tela de fondo	Blanca	Negra	Blanca	Negra	Blanca	Negra
Luminancia Cd/m2	112.1	5.9	50.9	2.8	24.5	1.3
Reflectancia %	55.70%	3%	55.70%	3%	55.70%	3%

La figura 81 presenta el fondo con tela mate en color blanco y negro empleados para la configuración de los escenarios.



Figura 81. Telas empleadas para la configuración de los escenarios.
Fuente: Autoría propia

El siguiente paso fue encontrar las iluminancias requeridas para la experimentación. Esto se logró mediante la colocación de filtros en el sistema de iluminación elegido anteriormente, es decir, equipos con lámparas de tipo fluorescente lineal. Se utilizaron filtros de la Marca LEE de la línea Neutral Density 298 con transmisión del 69.3%, ver figura 82.



Figura 82. Filtros utilizados para la reducción de iluminancia
Fuente: Autoría propia

Este tipo de filtro no modifica la temperatura de color, únicamente reduce el flujo luminoso. Se utilizaron dos filtros para reducir de 1700 lux a 600 lux y dos filtros más para reducir de 600 a 300 lux en cada luminaria. Estos niveles fueron verificados con las mediciones realizadas con luxómetro a la altura de trabajo de .75 m en los puntos de una cuadrícula de 0.60 m x 0.60 m.

3) Posición del mobiliario

Posteriormente se determinó la posición del mobiliario, considerando las diferencias entre las luminancias en el campo visual. Se determinaron cuatro puntos de visión; el primer punto A fue al centro geométrico, el segundo punto B fue directamente bajo una lámpara; el tercer punto C fue entre el plafón y la línea de lámparas; finalmente, el cuarto punto D fue en una esquina del laboratorio, ver figura 83.

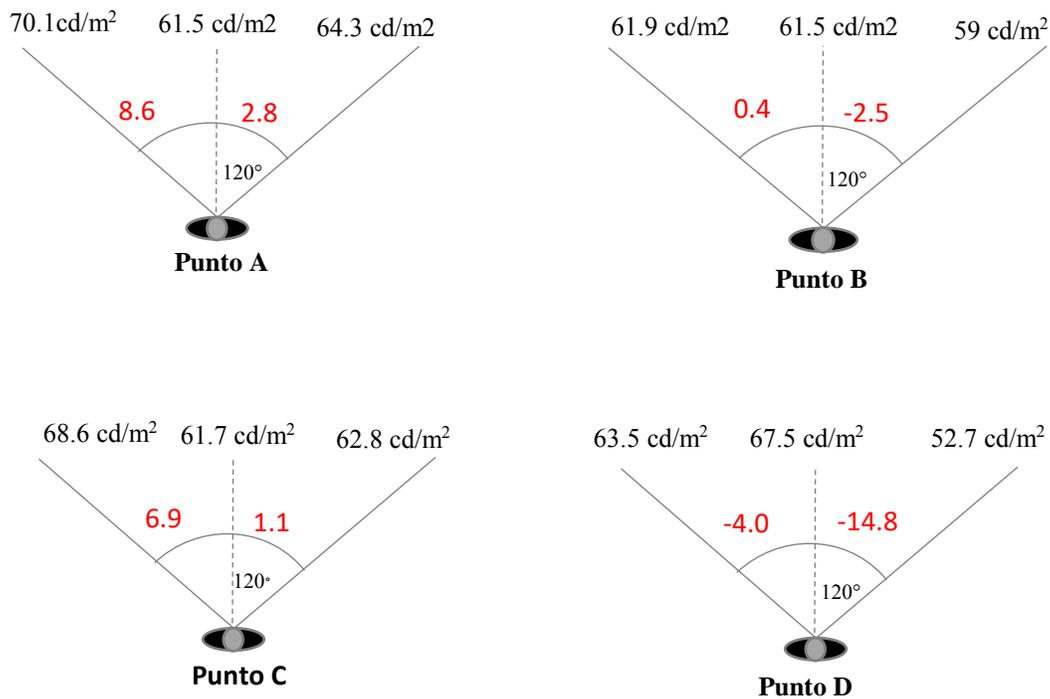


Figura 83. Mediciones en cuatro puntos para determinar la posición del mobiliario
Fuente: Autoría propia

En la figura anterior se observan las mediciones realizadas en los cuatro puntos, los números en rojo representan la diferencia entre las luminancias centrales y extremas dentro del ángulo de visión periférico considerado de 120.

Se decidió establecer el punto C como ubicación del observador y a partir de este punto se colocó la mesa de trabajo y la silla, procurando que la vista del sujeto quedara ubicada en el punto C.

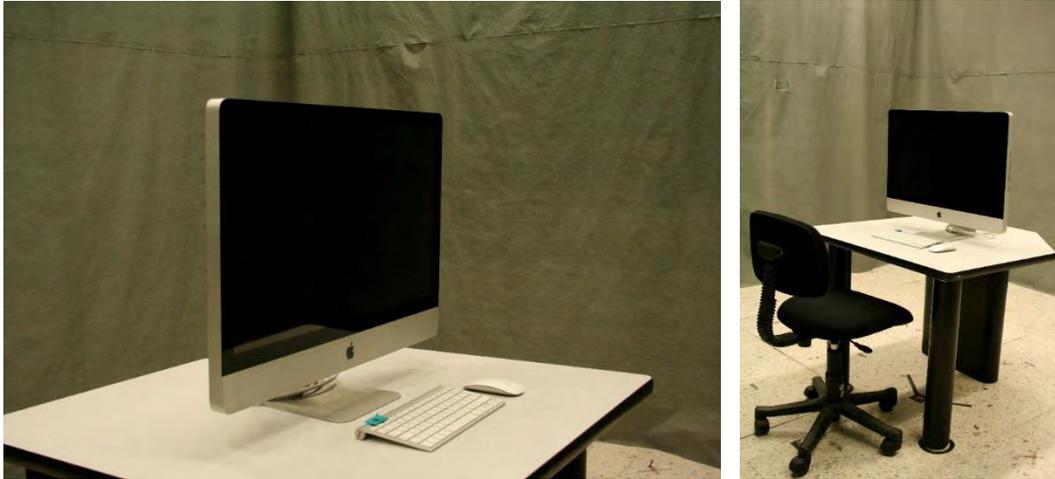


Figura 84. Posición del mobiliario y equipo de cómputo en el LIA
Fuente: Autoría propia

La pantalla se colocó en la mesa manteniendo la posición constante en todos los ensayos de experimentación, y procurando siempre una distancia constante de 50 cm entre el observador y la pantalla, de acuerdo con la norma de ergonomía en el uso de computadoras ISO 9241, la posición de la mesa de trabajo y la silla también fue constante durante todo el proceso.

Una vez colocado el equipo de cómputo y el mobiliario, se instaló el escritorio remoto para establecer la conexión entre el sistema operativo Windows y Macintosh con el fin de visualizar la prueba programada en Excel.

Configuración de los seis escenarios terminados



Escenario 1
1700 lux fondo blanco



Escenario 2
1700 lux fondo negro



Escenario 3
500 lux fondo blanco



Escenario 4
500 lux fondo negro



Escenario 5
300 lux fondo blanco



Escenario 6
300 lux fondo negro

Para obtener el mapa de luminancias de cada escenario se recurrió a imágenes tomadas mediante la aplicación Lux Meter Pro. Las luminancias obtenidas en las fotografías fueron validadas a través de mediciones realizadas en dos puntos constantes con equipo especializado para medir luminancia de manera puntual. (Ver tabla 19)

Tabla 19. Mediciones por puntos realizadas con equipo de medición de luminancia especializado

Fuente: Autoría propia

Punto	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
A	58.1 cd/m ²	49.5 cd/m ²	30.9 cd/m ²	28.3 cd/m ²	12.9 cd/m ²	11.5 cd/m ²
B	43.7 cd/m ²	37.6 cd/m ²	38 cd/m ²	33.8 cd/m ²	35 cd/m ²	28.4 cd/m ²



Figura 85. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco tomada con LUX METER Fuente: Autoría propia

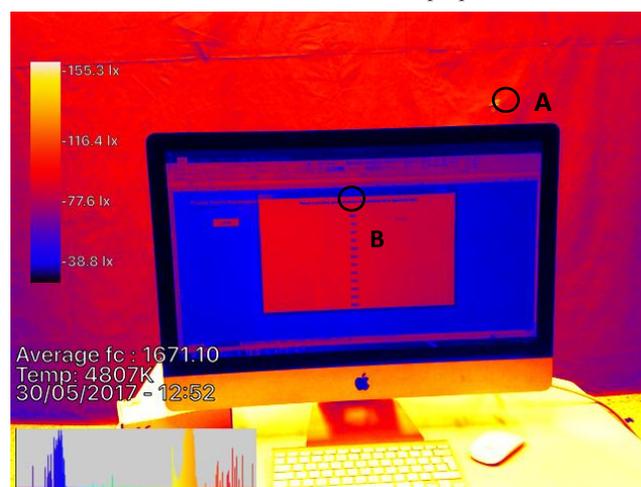


Figura 86. Imagen del escenario 2, 1700 lux con fondo negro tomada con LUX METER Fuente: Autoría propia



Figura 87. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco tomada con LUX METER
Fuente: Autoría propia



Figura 88. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco tomada con LUX METER
Fuente: Autoría propia

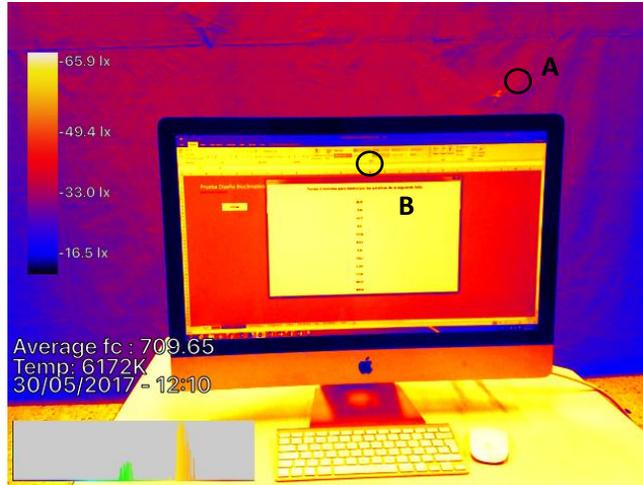


Figura 89. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco tomada con LUX METER
Fuente: Autoría propia

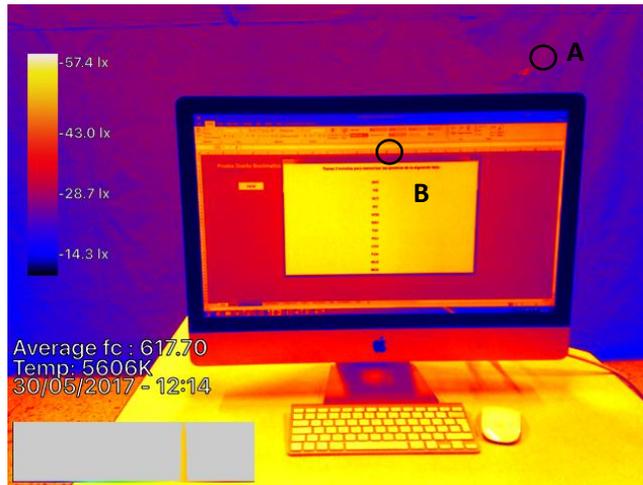


Figura 90. Imagen del escenario 1, 1700 lux con fondo blanco tomada con LUX METER
Fuente: Autoría propia

5.2 Pruebas piloto

Se diseñó la logística para la experimentación y se realizó una prueba piloto con un grupo de tres sujetos para verificar tiempos de ejecución. La experimentación se llevó a cabo en dos fases, en la primera fase el grupo definió el brillo de confort en la pantalla y en la segunda fase realizó la evaluación de la memorización a corto plazo y registró su percepción del espacio.

FASE 1. *Determinación del brillo de confort*

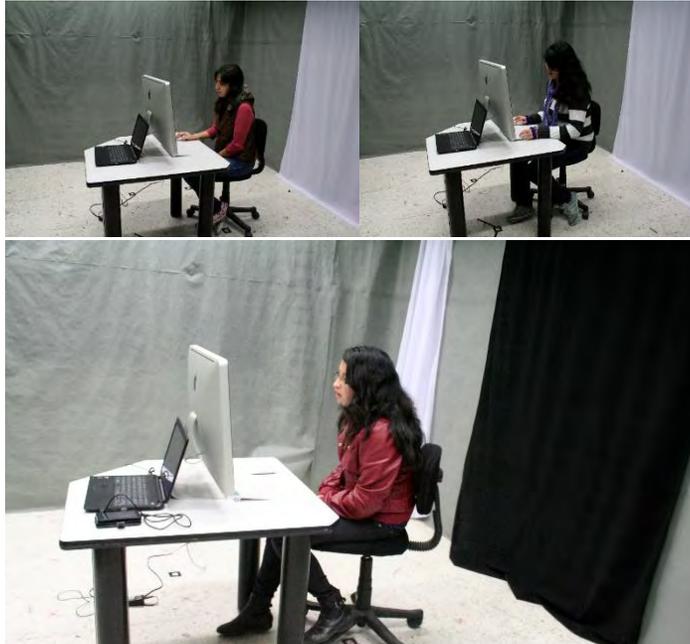
1. Se integró el grupo de 3 sujetos.
2. Se explicó el objetivo de la investigación y se les pidió que no realizaran actividades con teléfono celular, tabletas o pantallas de computadora, para evitar fatiga visual.
3. Se realizó una actividad con Origami para todos los participantes, con una duración de 15 minutos previo a la realización de la experimentación y también durante la espera, con el objetivo de relajar la vista y evitar el aburrimiento por falta de uso de medios electrónicos.
4. Se acondicionó el escenario 1 (Considerando iniciar la experimentación con pantallas en un brillo de 0%).
5. Al ingresar el primer sujeto, se le indicó la postura y posición en la cual debía realizar la actividad, esto es, que se ubicara frente a la pantalla procurando que coincidiera la línea de visión con la parte superior de la pantalla (de acuerdo con la norma de ergonomía de la ISO 9241).
6. La primera tarea consistió en ingresar su número de matrícula y registrar sus datos personales (nombre, edad, género, licenciatura y problema visual corregido), posteriormente, la prueba programada mostró un texto para ser leído en 1 minuto, en un formato de contraste positivo, esto es, fondo blanco y letras negras.
7. Una vez que el alumno terminó de leer el texto, la prueba programada le indicó que regulara el nivel de brillo de su preferencia y lo registrara.
8. Al terminar el registro del brillo de confort en la pantalla, el primer sujeto salió del espacio e ingresó el segundo y realizó el mismo procedimiento y de la misma manera con el tercer sujeto. Una vez que

los tres sujetos determinaron el brillo de confort para el escenario 1, se obtuvo el promedio en el brillo de confort y se ajustó el brillo de la pantalla de acuerdo con dicho valor promedio.

El registro de datos únicamente se realizó en el escenario 1; en los 5 escenarios posteriores exclusivamente se registró el brillo de confort, y se identificó al sujeto únicamente por su matrícula.

FASE 2. *Memorización de listas de sílabas sin sentido y percepción del ambiente*

1. Una vez determinado el brillo de confort para el escenario 1, se comenzaron las pruebas de memorización. Es decir, entró nuevamente el sujeto 1 al laboratorio y comenzó la prueba que consistió primero en ingresar la matrícula, posteriormente el programa le mostró al participante una lista de 8 sílabas sin sentido en un formato de contraste positivo, esto es, fondo blanco y letras negras. Una vez que el sujeto las leyó y memorizó durante dos minutos, el programa le indicó al participante que escribiera las palabras recordadas, finalmente se le preguntó al participante su percepción del ambiente de acuerdo a la escala antes mencionada. Una vez finalizada la prueba, el sujeto salió del espacio y se incorporó el sujeto número dos y posteriormente el sujeto número tres y así sucesivamente.
2. Una vez que se realizaron las pruebas en el escenario 1, se configuró el escenario 2, mientras que los sujetos esperaban fuera del laboratorio. Ingresó nuevamente el sujeto 1 para ajustar el brillo de la pantalla en el escenario 2, y se repitió el proceso anterior para los cinco escenarios. (Ver fotografía 1) (El ingreso de los datos se realizó únicamente en el escenario 1 y los textos a leer para ajustar el brillo de confort y las listas de sílabas sin sentido son diferentes para cada escenario)
3. Durante el tiempo en que se desarrollaron las pruebas, los participantes se mantuvieron realizando actividades con Origami. (Ver fotografía 2) Al final de las seis pruebas, se le otorgó un incentivo alimenticio a cada participante (galletas, un jugo en lata y cacahuates) .



Fotografía 1. Tres alumnas realizando la experimentación piloto
Fuente: Autoría propia



Fotografía 2. Actividades de origami en prueba piloto
Fuente: Autoría propia

5.2 Pruebas finales

La experimentación se realizó durante 11 días, con 30 sujetos. En esta primera fase se acordó la participación de los alumnos mediante la coordinación de CyAD. Se programó realizar las sesiones al medio día, y se decidió comenzar con grupos de 3 mujeres.

FASE 1. Determinación *del brillo de confort*

1. Se integraron grupos por día.
2. Se explicó el objetivo de la investigación y se les pidió que no realizaran actividades con teléfono celular, tabletas o pantallas de computadora durante 40 minutos, para evitar fatiga visual previa a la experimentación.
3. Se realizó una actividad con origami para todos los participantes, con una duración de 15 minutos previo a la realización de la experimentación y también durante la espera, con el objetivo de relajar la vista y evitar el aburrimiento por uso de medios electrónicos. En algunos casos los alumnos realizaron revisiones escolares mientras esperaban.
4. Se acondicionó el escenario 1 (considerando iniciar la experimentación con pantallas en un brillo de 0%).
5. Al ingresar el primer alumno, se le indicó la postura y posición en la cual debía realizar la actividad, esto es, que se ubicara frente a la pantalla procurando que coincidiera la línea de visión con la parte superior de la pantalla y mantener la espalda recta (de acuerdo con la norma de ergonomía de la ISO 9241).
6. La primera tarea consistió en ingresar su número de matrícula y registrar sus datos personales (nombre, edad, género, licenciatura y problema visual corregido), posteriormente, la prueba programada mostró un texto para ser leído en 1 minuto, en un formato de contraste positivo, esto es, fondo blanco y letras negras.
7. Una vez que el alumno terminó de leer el texto, la prueba programada le indicó que regulara el nivel de brillo de su preferencia y lo registrara.
8. Al terminar el registro del brillo de confort en la pantalla, el primer sujeto salió del espacio e ingresó el segundo y realizó el mismo procedimiento, del mismo modo con el tercer sujeto. Una vez que los

tres sujetos han determinado el brillo de confort para el escenario 1, se obtuvo el promedio del nivel brillo de confort para los tres sujetos y se ajustó el brillo de la pantalla de acuerdo con dicho valor promedio.

El registro de datos únicamente se realizó en el escenario 1; en los 5 escenarios posteriores exclusivamente se registró el brillo de confort, posteriormente se identificaron a los sujetos únicamente por su matrícula.

FASE 2. *Memorización de listas de sílabas sin sentido y percepción del ambiente*

1. Una vez determinado el brillo de confort para el escenario 1, se comenzaron las pruebas de memorización. Es decir, entró nuevamente el sujeto 1 al laboratorio y comenzó la prueba que consistió primero en ingresar la matrícula, posteriormente el programa le mostró al participante una lista de 8 sílabas sin sentido en un formato de contraste positivo, esto es, fondo blanco y letras negras, una vez que el sujeto las leyó y memorizó durante dos minutos, el programa le indicó al participante que escribiera las palabras recordadas, finalmente se le preguntó al participante su percepción del ambiente de acuerdo a la escala antes mencionada. Una vez finalizada la prueba, el sujeto salió del espacio y se incorporó el sujeto número dos y posteriormente el sujeto número tres.
2. Una vez que se realizaron las pruebas en el escenario 1, se configuró el escenario 2, mientras que los sujetos esperan fuera del laboratorio. Ingresó nuevamente el sujeto 1 para ajustar el brillo de la pantalla en el escenario 2, y se repite el proceso del paso 1 para los cinco escenarios (el ingreso de los datos se realizó únicamente en el escenario 1 y los textos a leer para ajustar el brillo de confort y las listas de sílabas sin sentido fueron diferentes para cada escenario).
3. Durante el tiempo en que se desarrollaron las pruebas, los participantes se mantuvieron realizando actividades con origami. Al final de las seis pruebas, se le otorgó un incentivo alimenticio a cada participante (galletas, jugo y cacahuates).

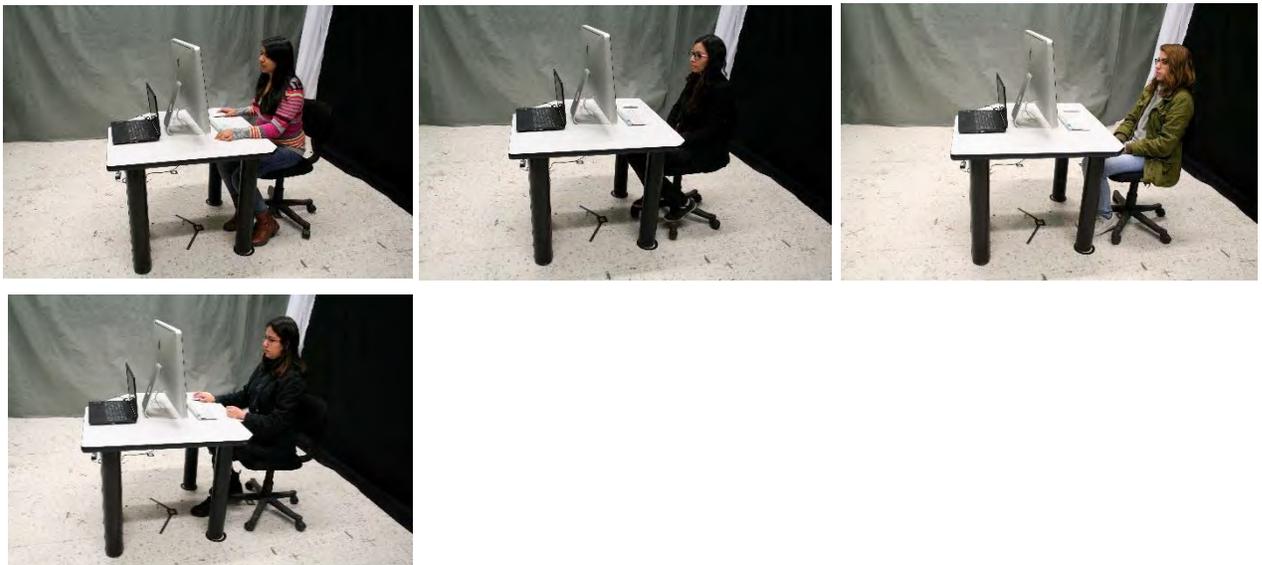
Las siguientes fotografías muestran la participación de cada sujeto en la experimentación, al final el número de integrantes por día tuvo variaciones por la disponibilidad de los estudiantes para realizar la experimentación.



Fotografía 3. Grupo experimental integrado por tres mujeres en el día 1
Fuente: Autoría propia



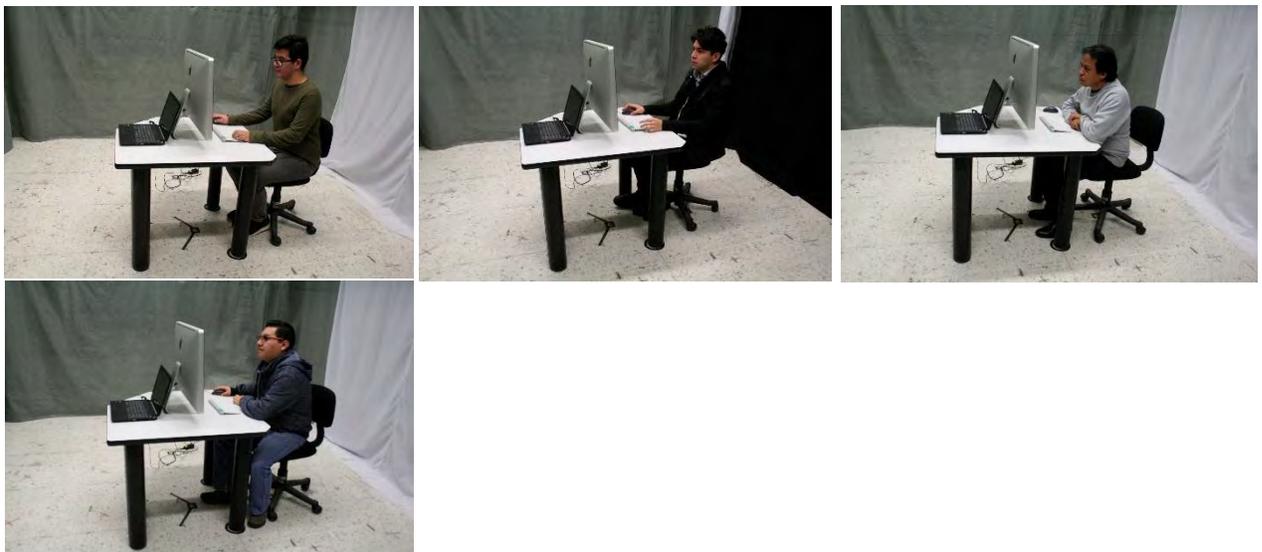
Fotografía 4. Grupo experimental integrado por tres mujeres en el día 2
Fuente: Autoría propia



Fotografía 5 Grupo experimental integrado por cuatro mujeres en el día 3
Fuente: Autoría propia



Fotografía 6 Grupo experimental integrado por tres hombres en el día 4
Fuente: Autoría propia



Fotografía 7 Grupo experimental integrado por cuatro hombres en el día 5
Fuente: Autoría propia



Fotografía 8. Grupo experimental integrado por tres hombres en el día 6
Fuente: Autoría propia



Fotografía 9 Grupo experimental integrado por tres mujeres en el día 7
Fuente: Autoría propia



Fotografía 10 Grupo experimental integrado por cuatro hombres en el día 8
Fuente: Autoría propia



Fotografía 11. Grupo experimental integrado por tres mujeres en el día 9
Fuente: Autoría propia

CAPÍTULO VI. Análisis de datos

6.1 Análisis descriptivo de los datos

El siguiente capítulo contiene el análisis descriptivo de los datos recopilados que permiten al lector conocer los datos duros obtenidos de la experimentación.

El experimento se realizó mediante un muestreo no probabilístico de tipo selectivo, es decir, de la población de 3486 alumnos de licenciatura del área de Ciencias y Artes para el Diseño se obtuvo una muestra compuesta por 39 sujetos, de los cuales se consideraron únicamente 30 para el análisis, pues los nueve sujetos restantes no realizaron la experimentación completa. Los datos obtenidos en la experimentación fueron recopilados en las mismas pruebas programadas en software Excel, para analizarse posteriormente en el software de IBM SPSS Statistics versión 23 (Statistical Package for the Social Sciences).

Antes de continuar con la descripción de los datos obtenidos, es importante recordar al lector la hipótesis principal de esta investigación: *“En la visualización de una pantalla de computadora, los ambientes menos iluminados brindan mayor confort visual en la realización de tareas, y afectan de manera negativa a los factores involucrados en el proceso cognitivo.”* Como ya se ha mencionado, de esta hipótesis se derivaron nuevas hipótesis operativa que guiaron el análisis de esta investigación.

Según el autor Raúl Rojas Soriano, para manejar variables se requiere primero conocer el nivel de medición en el que pueden ser manipuladas. En esta investigación se identificaron dos tipos de mediciones a) nominal y b) intervalo.

6.1.1 Variables a nivel nominal

Para comenzar con el análisis descriptivo de los datos, se describen primero las variables que pueden manipularse a nivel nominal, es decir, se clasifican por sus características o atributos³ y no pueden ser ordenados en algún sentido, y únicamente se miden en porcentajes o frecuencias. Las variables a nivel nominal en esta investigación son la edad, género, licenciatura, uso de lentes y problemas de visión.

La experimentación se realizó basada en un muestreo no probabilístico selectivo, es decir, los participantes fueron elegidos con determinadas características para controlar un mayor número variables, pues biológicamente existen diferencias en la percepción de la luz de acuerdo con la edad. También se determinó una población compuesta por la misma cantidad de hombres y mujeres para homogenizar los resultados.

La tabla 20 muestra un porcentaje de 53.3% mujeres y 46.7% hombres, es decir 16 mujeres y 14 hombres en una muestra total de 30 sujetos.

Tabla 20. Clasificación del grupo experimental por género
Fuente: Elaboración propia

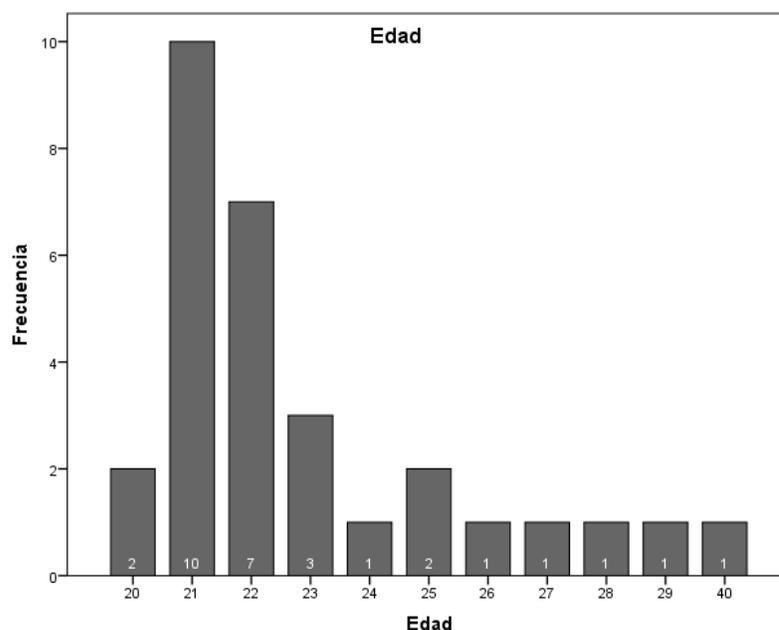
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Femenino	16	53.3	53.3	53.3
	Masculino	14	46.7	46.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

La tabla 21 muestra la distribución de edades, aunque los sujetos fueron elegidos de grupos de estudiantes específicos, existieron variaciones en las edades. De la población total de 30 sujetos, las frecuencias más altas son las edades de 21 años (33.3%) y 22 años (23.3%) que representan más del 50% de la muestra, es decir, 17 sujetos, mientras que las frecuencias más bajas corresponden a las edades de 24,26,27,28,29,31 y 40 años que representan de cada edad apenas el 3.3%, esto es, 6 sujetos.

Tabla 21. Clasificación del grupo experimental por edades
Fuente: Elaboración propia

	Años	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	20	2	6.7	6.7	6.7
	21	10	33.3	33.3	40.0
	22	7	23.3	23.3	63.3
	23	3	10.0	10.0	73.3
	24	1	3.3	3.3	76.7
	25	2	6.7	6.7	83.3
	26	1	3.3	3.3	86.7
	27	1	3.3	3.3	90.0
	28	1	3.3	3.3	93.3
	29	1	3.3	3.3	96.7
	40	1	3.3	3.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

La gráfica 3 muestra las frecuencias para cada edad del grupo experimental



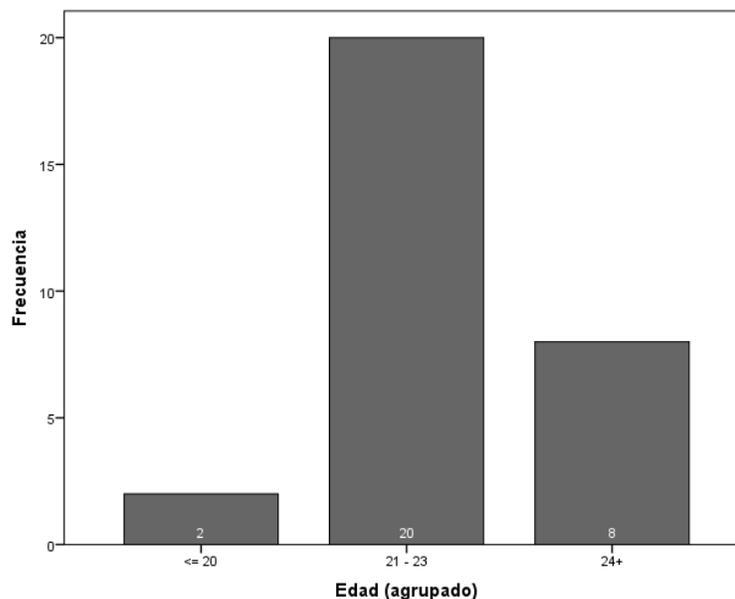
Gráfica 3. Clasificación del grupo experimental por edades
Fuente: Elaboración propia

Para efectos de análisis, en esta investigación se dividió la muestra en tres grupos por rangos de edades. El primer grupo con edad de 20 años se integró por 2 sujetos (6.7%), el segundo grupo con edades de 21 -23 años se integró por 20 sujetos (66.7%), y el tercer grupo de 24 años o más quedó conformado por 8 sujetos (26.7%). (Ver tabla 22)

Tabla 22. Clasificación del grupo experimental por edades
Fuente: Elaboración propia

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	<= 20	2	6.7	6.7	6.7
	21 - 23	20	66.7	66.7	73.3
	24+	8	26.7	26.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

La gráfica 4 muestra las frecuencias de las edades agrupada por rangos.



Gráfica 4. Clasificación del grupo experimental por edades
Fuente: Elaboración propia

La experimentación se realizó con una población perteneciente al área de Ciencias y Artes para el Diseño de la UAM, de la cual participaron 21 alumnos de la licenciatura de Arquitectura (70%) y 9 alumnos de Diseño Industrial (30%). (Ver tabla 19)

Tabla 23. Clasificación del grupo experimental por licenciatura
Fuente: Elaboración propia

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Arquitectura	21	70.0	70.0	70.0
	Diseño Industrial	9	30.0	30.0	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

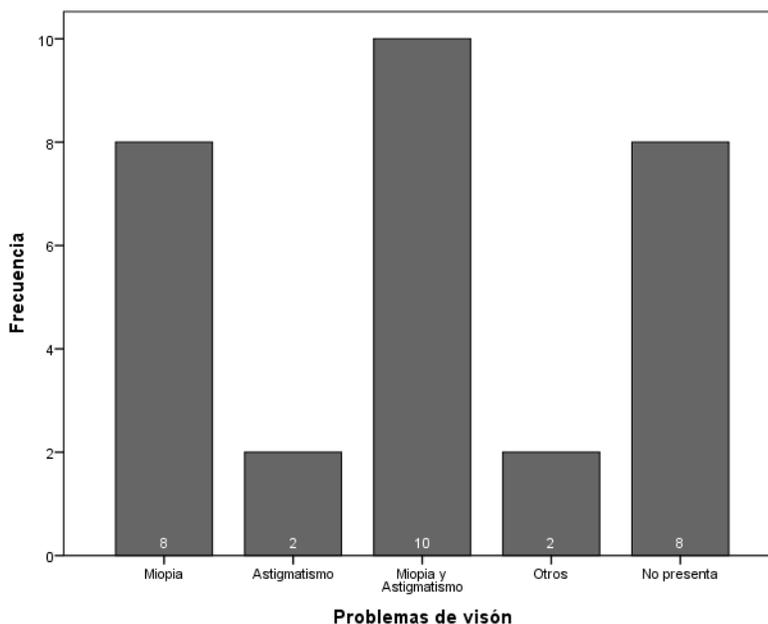
Al realizar la experimentación por día, se crearon 9 grupos correspondientes para cada sesión, estos grupos tuvieron diferentes cantidades de integrantes del mismo sexo. Mantener el mismo sexo en los grupos se realizó con la finalidad obtener promedios de brillo de confort que no estuviesen influenciados por las diferencias biológicas de sexo.

La siguiente tabla cruzada muestra los valores de los sujetos que usan lentes y los problemas de visión que presentan. De la muestra, 22 sujetos (73.3%) usa lentes, de los cuales 8 presentan miopía, 2 astigmatismo, 10 miopía y astigmatismo y, finalmente, 2 presentan otra enfermedad. Mientras que 8 sujetos (26.7%) no usan lentes y tampoco presentan enfermedades, esto valida la condición de experimentar con sujetos con problemas de visión corregida, es decir, que usen lentes o que no presenten problemas de visión.

Tabla 24. Tabla cruzada Uso de lentes*Problemas de visión
Fuente: Elaboración propia

		Problemas de visión					Total
		Miopía	Astigmatismo	Miopía y Astigmatismo	Otros	No presenta	
Uso de lentes	Sí	8	2	10	2	0	22
	No	0	0	0	0	8	8
Total		8	2	10	2	8	30

La gráfica 5 muestra la distribución de frecuencias para los problemas de visión que presentaron los sujetos de la muestra experimental.



Gráfica 5. Clasificación del grupo experimental por edades
Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Variables a nivel intervalo

Para continuar con el análisis descriptivo, se presentan las variables a nivel de intervalo, es decir, que pueden representarse en medidas o magnitudes. Estas variables, que más adelante se estudiarán como variables dependientes, fueron: a) el brillo de confort en la pantalla, b) los resultados de las pruebas de memorización a corto plazo y c) la percepción del ambiente.

a) Nivel de Brillo de Confort NBC

En la experimentación se registró el nivel de brillo de confort preferido por cada sujeto en cada escenario-denominado a partir de ahora como NBC. Como ya se mencionó en el capítulo del diseño de la experimentación, este brillo fue elegido por los sujetos tras leer un texto de 1 minuto en la pantalla, esto con la intención de adaptar la vista a la luminancia de la pantalla y poder ajustar el brillo de acuerdo con el confort de cada sujeto.

La tabla 21 muestra la comparación entre la media¹ del nivel de brillo en la pantalla, para cada uno de los 6 escenarios, la media en el escenario 1 corresponde al valor más alto, mientras la media más baja corresponde al escenario 5. Se recuerda a lector que la pantalla utilizada en la experimentación tiene 16 niveles de brillo y los valores de la media corresponden a dichos niveles medidos en luminancia.

El siguiente valor observado es la desviación estándar², la cual indica qué tanto están dispersos o variando los datos, cuando este valor se acerca al 0 indica que menor es la variación de los datos, entonces, de acuerdo con la tabla, los valores mantienen una dispersión más o menos constante, es decir, la variación en el brillo de confort se comportó baja y de manera constante.

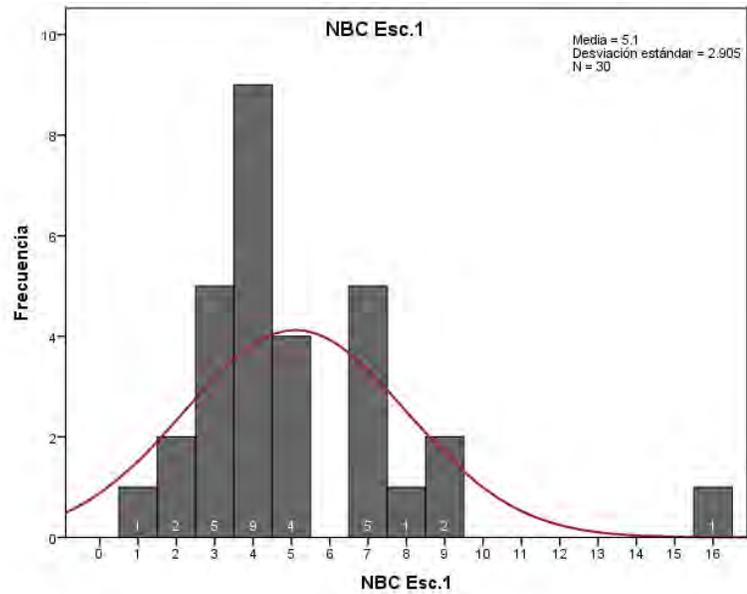
Tabla 25. NBC nivel de brillo de confort en la pantalla
Fuente: Elaboración propia

	NBC					
	Esc.1	NBC Esc.2	NBC Esc.3	NBC Esc. 4	NBC Esc. 5	NBC Esc. 6
N	30	30	30	30	30	30
Media	5.10	4.67	4.33	4.43	3.87	4.17
Desviación estándar	2.905	2.963	2.202	2.775	3.014	3.007

¹ Media se define como el número de datos dividido entre el número de dichos datos.

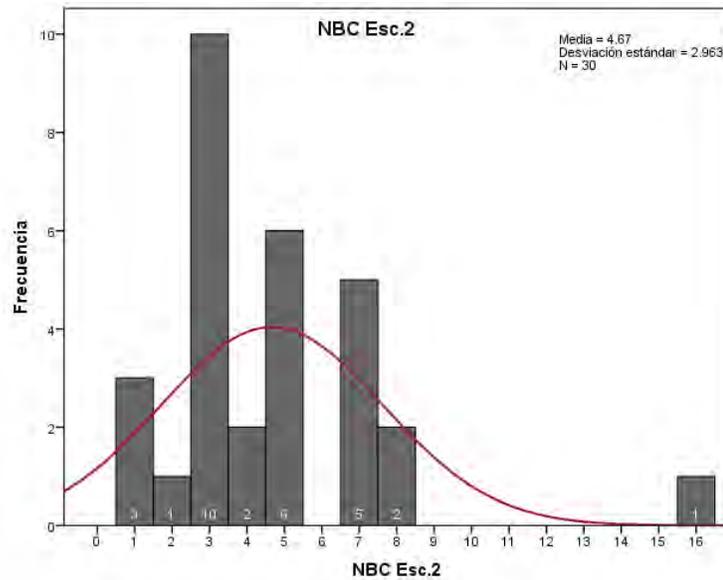
² La desviación estándar permite determinar cuánto se desvía cada dato en promedio respecto a la media

La gráfica 6 muestra el comportamiento del nivel de brillo de confort NBC en la pantalla para el escenario 1.



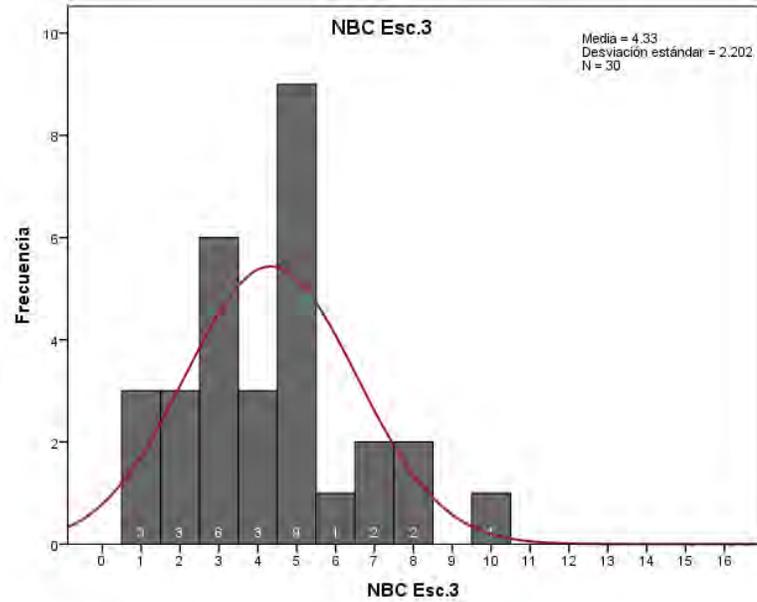
Gráfica 6. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 7 muestra el comportamiento del nivel de brillo de confort NBC en la pantalla para el escenario 2.



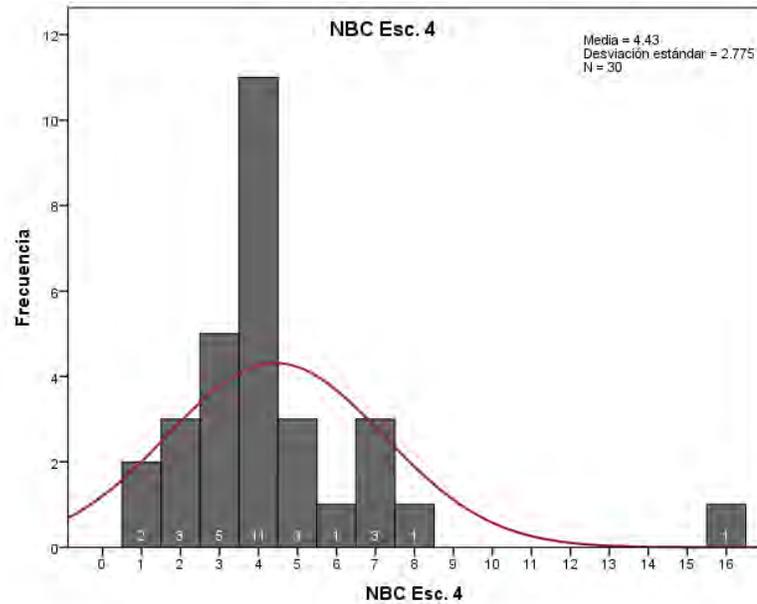
Gráfica 7. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 8 muestra el comportamiento del nivel de brillo de confort NBC en la pantalla para el escenario 3.



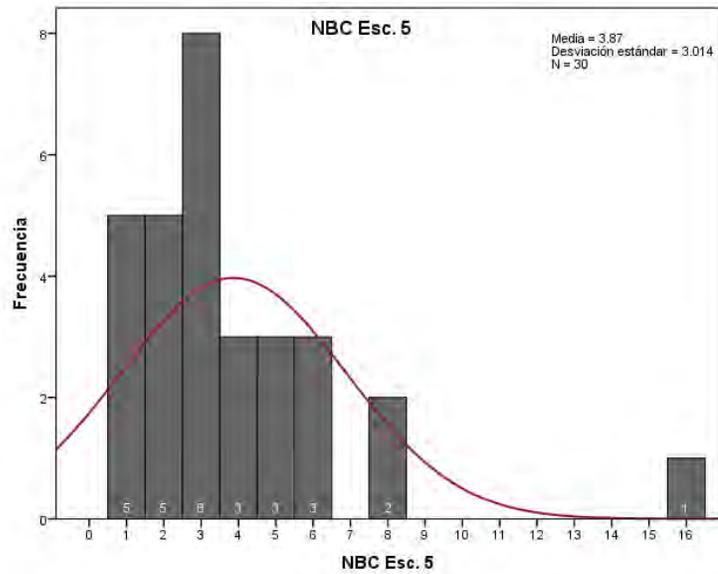
Gráfica 8. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 9 muestra el comportamiento del nivel de brillo de confort NBC en la pantalla para el escenario 4.



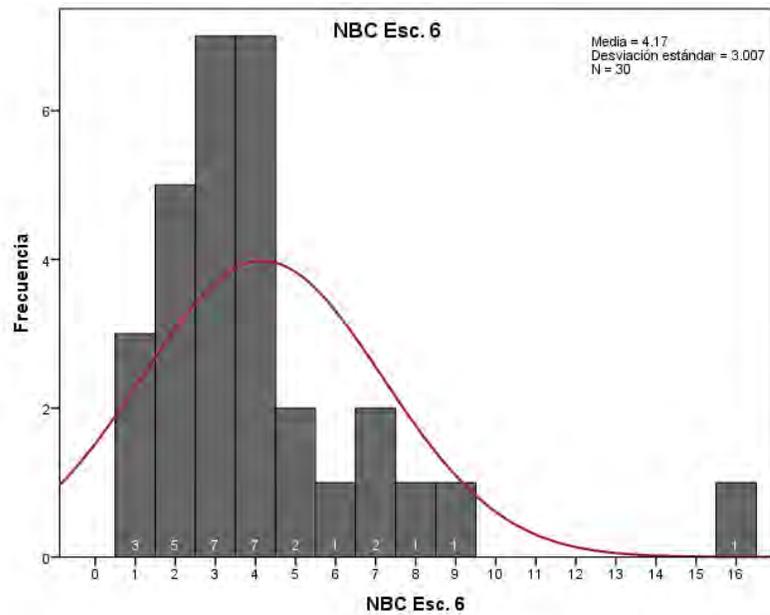
Gráfica 9. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 4.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 10 muestra el comportamiento del nivel de brillo de confort NBC en la pantalla para el escenario 5.



Gráfica 10. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 4.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 11 muestra el comportamiento del nivel de brillo de confort NBC en la pantalla para el escenario 6.



Gráfica 11. Nivel de brillo de confort en la pantalla NBC. Escenario 4.
Fuente: Elaboración propia

b) Resultados en el número de Sílabas Memorizadas SM

La experimentación permitió registrar los resultados de las pruebas de memorización a corto plazo, basadas en las listas de sílabas sin sentido de Ebbinghaus. La tabla 26 muestra la media de la suma del número de sílabas memorizadas correctamente para cada escenario - conocidas a partir de ahora como SM. El lector debe recordar que cada lista se compone de 8 sílabas. Se observa que el escenario numero 6 muestra la media más alta, es decir, los resultados más altos en promedio, mientras que el escenario 5 muestra la media más baja. También se muestran los valores mínimos y máximos, esto es, desde cero sílabas hasta las 8 sílabas recordadas. La desviación estándar más baja, con referencia a la dispersión de los datos respecto a la media, se presenta en el escenario 2, mientras que la desviación estándar más alta se encuentra en el escenario 4.

Tabla 26. Suma de Sílabas memorizadas *SM* para cada escenario
Fuente: Elaboración propia

	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desviación estándar
SM Esc. 1	30	0	8	158	5.27	2.227
SM Esc. 2	30	2	8	155	5.17	1.763
SM Esc. 3	30	1	8	155	5.17	1.949
SM Esc. 4	30	0	8	153	5.10	2.310
SM Esc. 5	30	0	8	151	5.03	2.141
SM Esc. 6	30	2	8	175	5.83	2.052
N válido (por lista)	30					

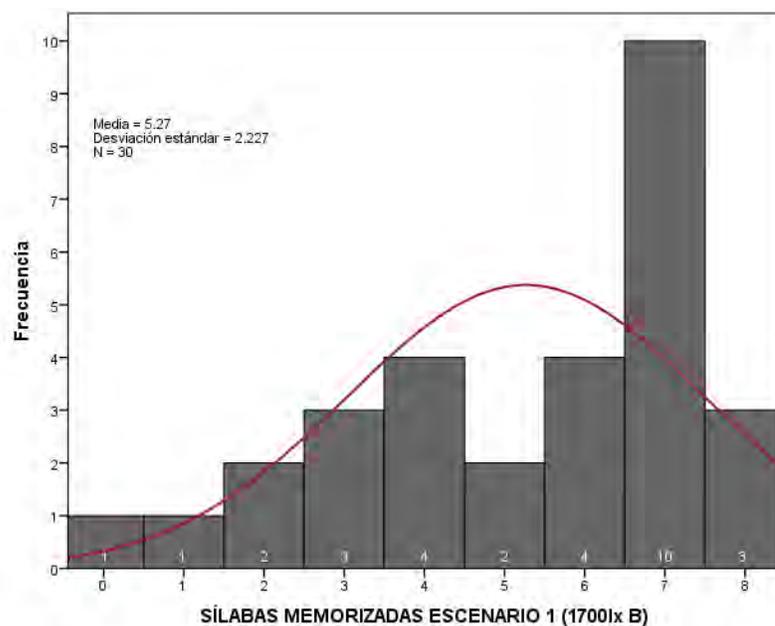
A continuación, se presentan las tablas y gráficas con la frecuencia de sílabas recordadas en cada escenario, comenzando con el escenario 1 (iluminancia de 1700lux con fondo blanco) que presenta la frecuencia más alta con 10 sujetos que recordaron correctamente 7 sílabas, la frecuencia más baja corresponde a un sujeto que recordó 0 sílabas. Y únicamente 3 sujetos recordaron el 100% de las sílabas de la lista. (Ver tabla 27)

Tabla 27. Número de sílabas memorizadas SM para el escenario 1
Fuente: Elaboración propia

SM Esc.1

Número de SM	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
0	1	3.3	3.3	3.3
1	1	3.3	3.3	6.7
2	2	6.7	6.7	13.3
3	3	10.0	10.0	23.3
4	4	13.3	13.3	36.7
5	2	6.7	6.7	43.3
6	4	13.3	13.3	56.7
7	10	33.3	33.3	90.0
8	3	10.0	10.0	100.0
Total	30	100.0	100.0	

Abajo se presenta la gráfica 12, con la frecuencia de sujetos relacionada con el número de sílabas memorizadas SM en el escenario 1.



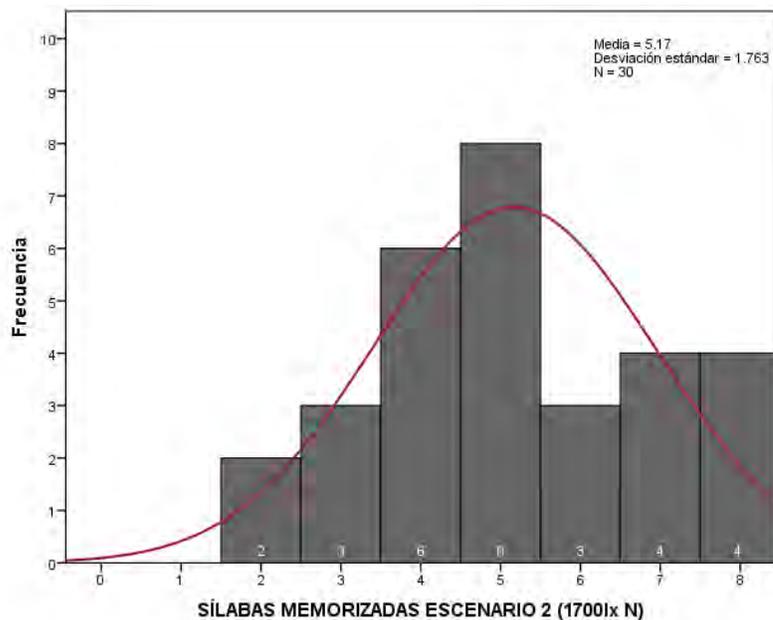
Gráfica 12. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28 se presentan los resultados de las sílabas memorizadas en el escenario 2 (iluminancia de 1700lux con fondo negro), donde la frecuencia más alta es de 8 sujetos que recordaron 5 sílabas, mientras que la frecuencia más baja está representada por 2 sujetos que recordaron 2 sílabas. Y únicamente 4 sujetos recordaron el 100% de las sílabas de la lista.

Tabla 28. Número de sílabas memorizadas SM para el escenario 2
Fuente: Elaboración propia

SM Esc. 2					
Numero de SM	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	
2	2	6.7	6.7	6.7	
3	3	10.0	10.0	16.7	
4	6	20.0	20.0	36.7	
5	8	26.7	26.7	63.3	
6	3	10.0	10.0	73.3	
7	4	13.3	13.3	86.7	
8	4	13.3	13.3	100.0	
Total	30	100.0	100.0		

La gráfica 13 presenta las frecuencias del número de sílabas memorizadas en el escenario 2.



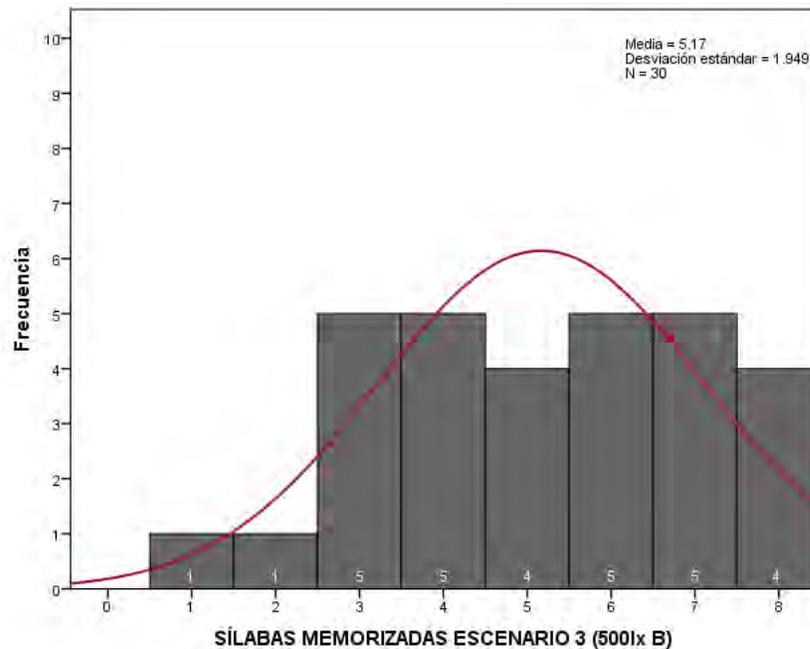
Gráfica 13. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 29 se observan los resultados de las sílabas memorizadas en el escenario 3 (iluminancia de 500 lux con fondo blanco), donde la frecuencia más alta es de 5 sujetos que memorizaron 7 sílabas, mientras que la frecuencia más baja está representada por 1 sujeto que memorizó 1 sílaba. Y solo 4 sujetos recodaron el 100% de las sílabas de la lista.

Tabla 29. Número de sílabas memorizadas SM para el escenario 3
Fuente: Elaboración propia

SM Esc. 3					
	Número de SM	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	1	1	3.3	3.3	3.3
	2	1	3.3	3.3	6.7
	3	5	16.7	16.7	23.3
	4	5	16.7	16.7	40.0
	5	4	13.3	13.3	53.3
	6	5	16.7	16.7	70.0
	7	5	16.7	16.7	86.7
	8	4	13.3	13.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

La gráfica 14 muestra la frecuencia de sujetos relacionada con el número de sílabas memorizadas SM en el escenario 3.



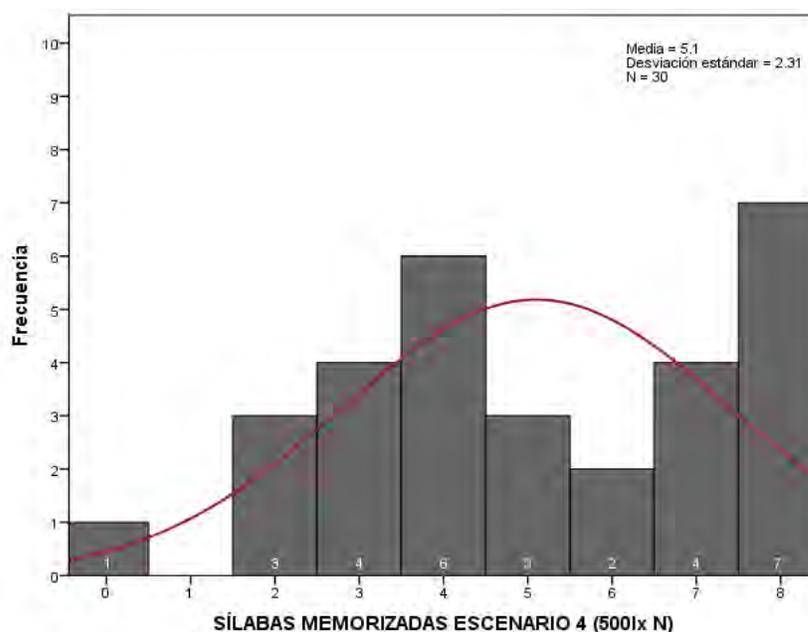
Gráfica 14. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 30 se observan los resultados de las sílabas memorizadas en el escenario 4 (iluminancia de 500 lux con fondo negro), donde la frecuencia más alta es de 7 sujetos que memorizaron 8 sílabas, mientras que la frecuencia más baja está representada por 1 sujeto que memorizó 0 sílabas. Y 7 sujetos recodaron el 100% de las sílabas de la lista.

Tabla 30. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 4.
Fuente: Elaboración propia

SM Esc. 4					
	Número de SM	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	0	1	3.3	3.3	3.3
	2	3	10.0	10.0	13.3
	3	4	13.3	13.3	26.7
	4	6	20.0	20.0	46.7
	5	3	10.0	10.0	56.7
	6	2	6.7	6.7	63.3
	7	4	13.3	13.3	76.7
	8	7	23.3	23.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

La gráfica 15 muestra la frecuencia de sujetos relacionada con el número de sílabas memorizadas SM en el escenario 4.



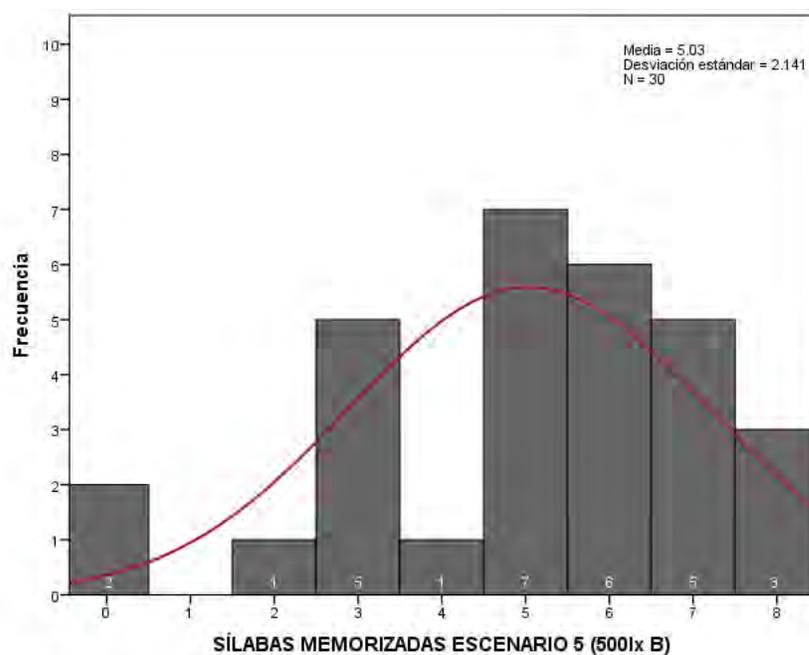
Gráfica 15. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 31 se observan los resultados de las sílabas memorizadas en el escenario 5 (iluminancia de 250-300 lux con fondo blanco), donde la frecuencia más alta es de 7 sujetos que recordaron 5 sílabas, mientras que la frecuencia más baja está representada por 1 sujeto que memorizó 2 sílabas. Y solamente 3 sujetos recordaron el 100% de las sílabas de la lista.

Tabla 31. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 5.
Fuente: Elaboración propia

SM Esc. 5					
Número de SM	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	
Válido	0	2	6.7	6.7	6.7
	2	1	3.3	3.3	10.0
	3	5	16.7	16.7	26.7
	4	1	3.3	3.3	30.0
	5	7	23.3	23.3	53.3
	6	6	20.0	20.0	73.3
	7	5	16.7	16.7	90.0
	8	3	10.0	10.0	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

La gráfica 16 muestra la frecuencia de sujetos relacionada con el número de sílabas memorizadas *SM* en el escenario 5.



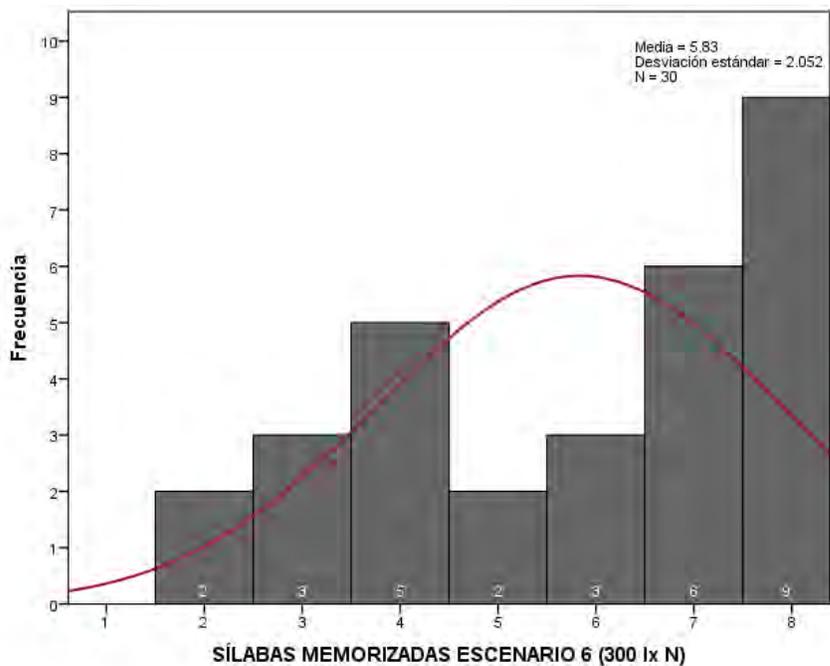
Gráfica 16. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 5.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32 se observan los resultados de las sílabas memorizadas en el escenario 6 (iluminancia de 250-300 lux con fondo negro), donde la frecuencia más alta es de 9 sujetos que recordaron 8 sílabas, mientras que la frecuencia más baja está representada por 2 sujetos que recordaron 2 sílabas. Además, 9 sujetos recordaron el 100% de las sílabas de la lista.

Tabla 32. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 6.
Fuente: Elaboración propia

SM Esc. 6					
Número de SM	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	
Válido	2	2	6.7	6.7	6.7
	3	3	10.0	10.0	16.7
	4	5	16.7	16.7	33.3
	5	2	6.7	6.7	40.0
	6	3	10.0	10.0	50.0
	7	6	20.0	20.0	70.0
	8	9	30.0	30.0	100.0
Total	30	100.0	100.0	100.0	

La gráfica 17 muestra la frecuencia de sujetos relacionada con el número de sílabas memorizadas SM en el escenario 6.



Gráfica 17. Frecuencia de sílabas memorizadas en el Escenario 6.
Fuente: Elaboración propia

Percepción de confort

La experimentación permitió además conocer la percepción del ambiente en cada escenario mediante la escala observada en la figura 91, descrita anteriormente en el capítulo del diseño de experimentación.

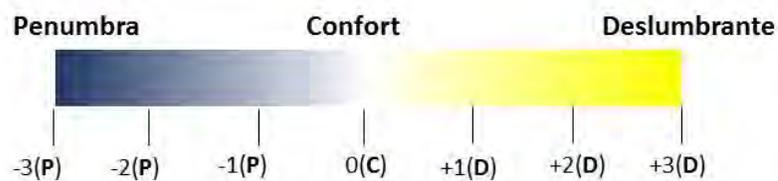


Figura 91 Escala de percepción de confort visual empleada en experimentación.
Fuente: Elaboración propia

La tabla 33 muestra los valores de la media de la percepción de confort para cada escenario. Como se puede observar, la media más alta corresponde al escenario 1 con 0.50, es decir, de acuerdo con le escala

anterior, se acerca al valor + 1D, mientras que la media más baja pertenece al escenario 6 con -0.43 el cual se localiza en los valores negativos de la escala de confort. El escenario 4 tiene una media de 0, es decir, se percibe en confort.

Tabla 33. Valores de percepción del ambiente, mínimos, máximos y medios en cada escenario.
Fuente: Elaboración propia

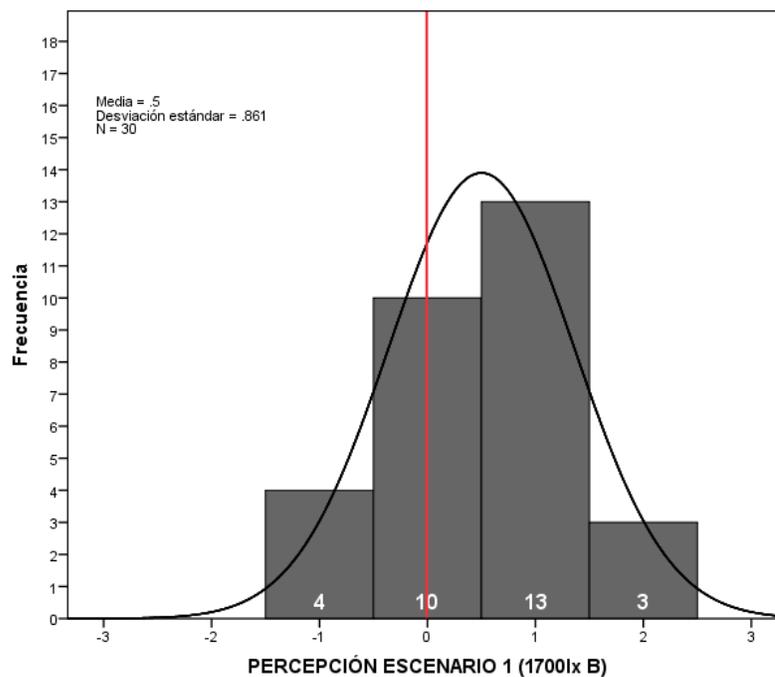
Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Percepción Esc. 1	30	-1	2	.50	.861
Percepción Esc. 2	30	-1	2	.53	.973
Percepción Esc. 3	30	-2	2	.17	.913
Percepción Esc. 4	30	-1	2	.00	.910
Percepción Esc. 5	30	-2	3	-.20	1.243
Percepción Esc. 6	30	-2	2	-.43	.971
N válido (por lista)	30				

A continuación, se muestran las tablas con las frecuencias de acuerdo con la escala de confort para cada escenario. De acuerdo con la tabla 34, en el escenario 1 (iluminancia de 1700 lux con fondo blanco) se presenta la frecuencia más alta con 13 sujetos que establecieron un valor de +1 en la escala de confort, la frecuencia más baja corresponde a 3 sujetos que definieron el valor de confort de +2.

Tabla 34. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 1
Fuente: Elaboración propia

Percepción Esc. 1					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	(-1) Baja penumbra	4	13.3	13.3	13.3
	(0) Confort	10	33.3	33.3	46.7
	(+1) Bajo deslumbramiento	13	43.3	43.3	90.0
	(+2) Medio deslumbramiento	3	10.0	10.0	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Abajo se presenta la gráfica 18 con las frecuencias para los niveles de confort en el escenario 1, en la cual se observa el comportamiento de la curva normal respecto al cero como el valor de confort, representado gráficamente por una línea roja. Para la gráfica del escenario 1 se puede observar que la curva de la normal tiende hacia los valores positivos.



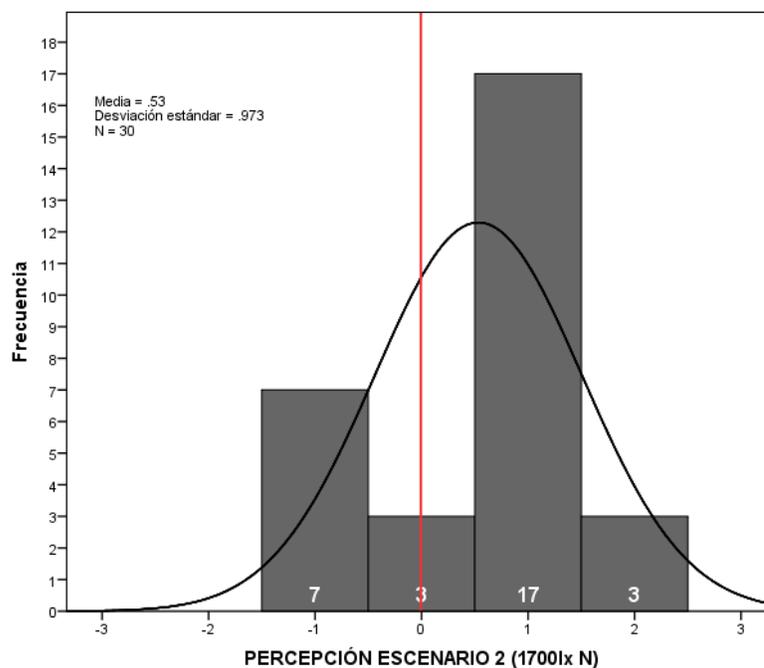
Gráfica 18. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 1.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 35 se observan los valores correspondientes al escenario 2 (iluminancia de 1700 lux con fondo negro) donde se presenta la frecuencia más alta con 17 sujetos que establecieron un valor de +1 en la escala de confort, la frecuencia más baja corresponde a 3 sujetos que definieron el valor de confort como 0 y +2.

Tabla 35. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 2
Fuente: Elaboración propia

		Percepción Esc. 2			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	(-1) Baja penumbra	7	23.3	23.3	23.3
	(0) Confort	3	10.0	10.0	33.3
	(+1) Bajo deslumbramiento	17	56.7	56.7	90.0
	(+2) Medio deslumbramiento	3	10.0	10.0	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

En la gráfica 19 del *escenario 2*, igual que el *escenario 1*, se puede observar que la curva de la normal tiende hacia los valores positivos.



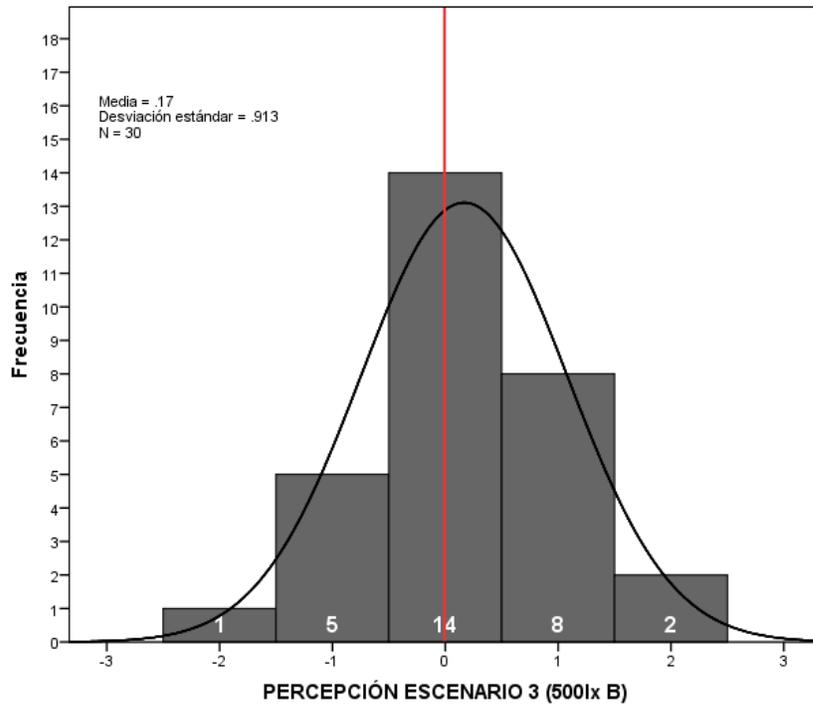
Gráfica 19. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 36 se observan los valores correspondientes al *escenario 3* (iluminancia de 500 lux con fondo blanco) donde se presenta la frecuencia más alta con 14 sujetos que establecieron un valor de 0 en la escala de confort, la frecuencia más baja corresponde a un sujeto que definió el valor de -2 en la escala de confort.

Tabla 36. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 3
Fuente: Elaboración propia

Percepción Esc. 3					
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	(-2) Media penumbra	1	3.3	3.3	3.3
	(-1) Baja penumbra	5	16.7	16.7	20.0
	(0) Confort	14	46.7	46.7	66.7
	(+1) Bajo deslumbramiento	8	26.7	26.7	93.3
	(+2) Medio deslumbramiento	2	6.7	6.7	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

En la gráfica 20 del *escenario 3*, se puede observar que la curva de la normal se acerca más al cero de confort respecto a los escenarios anteriores, sin embargo, aún presenta una tendencia hacia los valores positivos.



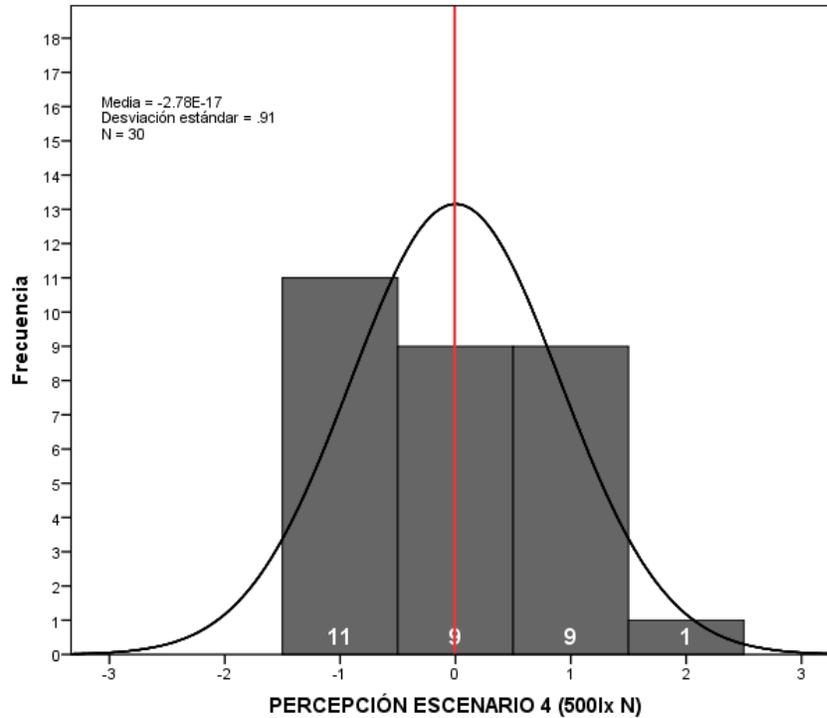
Gráfica 20. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 3.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 37 se observan los valores correspondientes al *escenario 4* (iluminancia de 500 lux con fondo negro) donde se presenta la frecuencia más alta con 11 sujetos que establecieron un valor de -1 en la escala de confort, la frecuencia más baja corresponde a 2 sujetos que definieron el valor de +2 en la escala de confort.

Tabla 37. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 4
Fuente: Elaboración propia

		Percepción Esc. 4			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	(-1) Baja penumbra	11	36.7	36.7	36.7
	(0) Confort	9	30.0	30.0	66.7
	(+1) Bajo deslumbramiento	9	30.0	30.0	96.7
	(+2) Medio deslumbramiento	1	3.3	3.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

En la gráfica 21 del escenario 4, se puede observar, a diferencia de los escenarios anteriores, que la curva de la normal se mantiene en el cero.



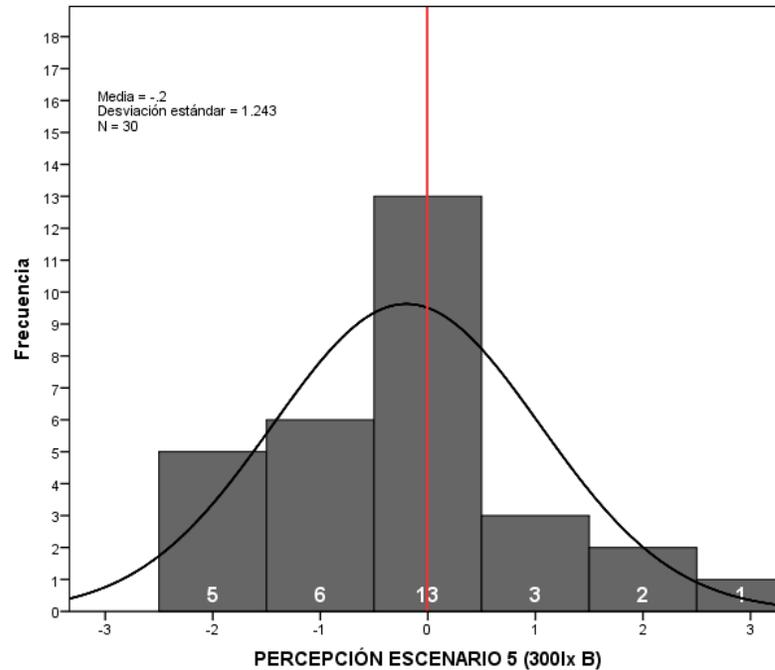
Gráfica 21. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 4.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 38 se observan los valores correspondientes al *escenario 5* (iluminancia 300 lux con fondo blanco) donde se presenta la frecuencia más alta con 13 sujetos que establecieron un valor de 0 en la escala de confort, la frecuencia más baja corresponde a 1 sujeto que definió el valor de confort como +3.

Tabla 38. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 5.
Fuente: Elaboración propia

		Percepción Esc. 5			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	(-2) Media penumbra	5	16.7	16.7	16.7
	(-1) Baja penumbra	6	20.0	20.0	36.7
	(0) Confort	13	43.3	43.3	80.0
	(+1) Bajo deslumbramiento	3	10.0	10.0	90.0
	(+2) Medio deslumbramiento	2	6.7	6.7	96.7
	(+3) Alto deslumbramiento	1	3.3	3.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

En la gráfica 22 del *escenario 5*, se puede observar que la curva de normal se ubica cerca del 0, sin embargo, presenta una tendencia hacia los valores negativos en la escala de confort.



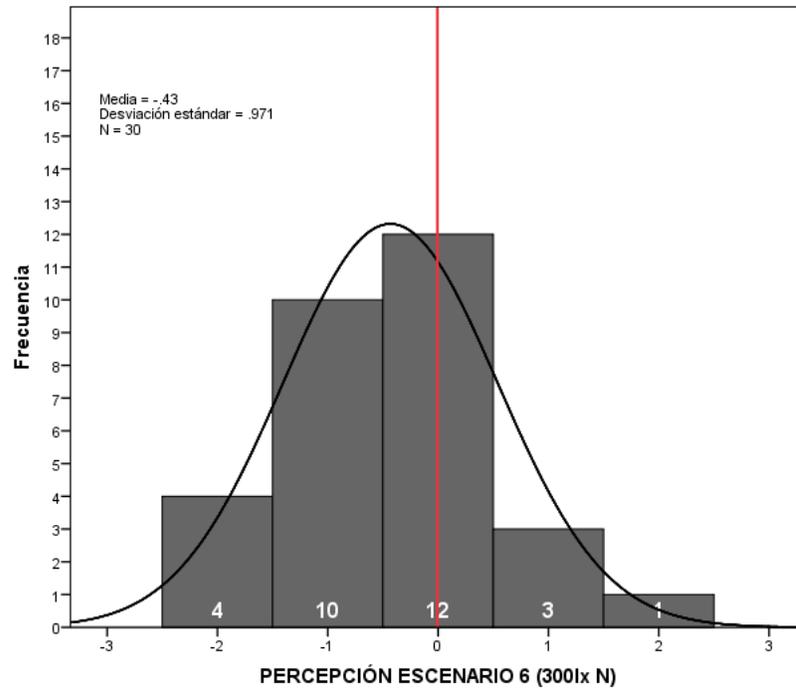
Gráfica 22. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 5.
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 39 de esta variable se observan los valores correspondientes al escenario 6 (iluminancia 300 lux con fondo negro) donde se presenta la frecuencia más alta con 12 sujetos que establecieron un valor de 0 en la escala de confort, la frecuencia más baja corresponde a 1 sujeto que definió el valor de confort como -2.

Tabla 39. Frecuencia y porcentajes en la percepción del ambiente en el escenario 6.
Fuente: Elaboración propia

		Percepción Esc. 6			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	(-2) Media penumbra	4	13.3	13.3	13.3
	(-1) Baja penumbra	10	33.3	33.3	46.7
	(0) Confort	12	40.0	40.0	86.7
	(+1) Bajo deslumbramiento	3	10.0	10.0	96.7
	(+2) Medio deslumbramiento	1	3.3	3.3	100.0
	Total	30	100.0	100.0	

Para la gráfica 23 del *escenario 6*, se puede observar que la curva de la normal tiende hacia los valores negativos.



Gráfica 23. Valores de frecuencia en la percepción para el Escenario 6.
Fuente: Elaboración propia

Ya que se han presentado de manera descriptiva los datos obtenidos en la experimentación, se continúan con el análisis de estos datos en el siguiente capítulo.

6.2 Análisis comparativo de datos

Ya que se han descrito los resultados obtenidos, se procede con el análisis de los datos. Para esto es necesario recordar al lector la clasificación de las variables que rigen este análisis, las variables independientes son aquellas que se manipulan para obtener un resultado, mientras que las variables dependientes son el resultado de la manipulación de la variable independiente. Entonces, el siguiente esquema de la figura 92 muestra la clasificación de dichas variables.

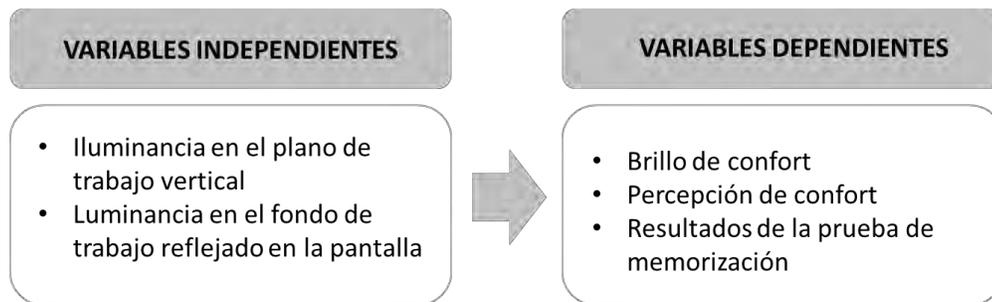


Figura 92 Clasificación de las variables empleadas en la experimentación.
Fuente: Elaboración propia

Para continuar con el análisis, es preciso recordar al lector las hipótesis y preguntas que rigen esta investigación.

1. *Tanto mayor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será el nivel de brillo de confort NBC de dicha pantalla.*
2. *Tanto mayor sea la luminancia en el fondo reflejado en la pantalla, donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será el brillo de confort en la pantalla.*
3. *Tanto menor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo.*
4. *Tanto menor sea la luminancia en el fondo reflejado en la pantalla, donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo.*
5. *¿Existe una correlación entre la cantidad de sílabas memorizadas SM y la percepción de confort en el ambiente?*

6. *¿Existe una correlación entre la cantidad de sílabas memorizadas SM y el nivel de brillo de confort de la pantalla NBC?*
7. *¿Existe una correlación entre la iluminancia del ambiente y la percepción?*
8. *¿Existe una correlación entre la percepción del ambiente y el nivel de brillo de confort en la pantalla NBC?*
9. *¿Existen diferencias por género en los resultados obtenidos en la experimentación?*

6.2.1 Prueba de Pareto

El primer análisis es la comparación de las SM para cada escenario, mediante la prueba de Pareto 80/20, que indicó si algún escenario tiene mayor relevancia respecto a la cantidad de sílabas memorizadas (SM), según esta regla el 20% de las causas resuelven el 80% del problema, es decir, se analizó si los cambios de color de fondo y de iluminancia producen un mayor efecto en la cantidad de palabras recordadas de manera mayoritaria en alguno de los escenarios.

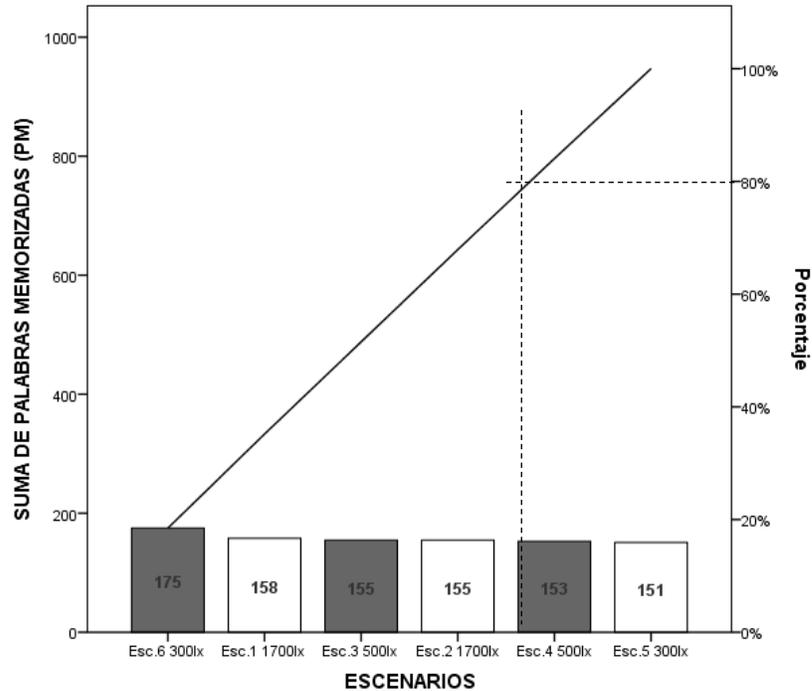
La tabla 40 muestra una comparativa entre los seis escenarios respecto a los valores máximos, mínimos, suma y media de las SM en cada escenario. Se puede observar que el escenario con menor número de palabras memorizadas es el escenario 5 con 300 lux con fondo blanco, mientras que el escenario con mayor número de sílabas memorizadas es el escenario 6 con 300 lux y fondo negro.

Tabla 40. Estadísticos descriptivos del número de sílabas memorizadas SM, obtenidos en la experimentación para cada escenario.
Fuente: Elaboración propia

	Estadísticos descriptivos				
	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media
SM Esc. 1	30	0	8	158	5.27
SM Esc. 2	30	2	8	155	5.17
SM Esc. 3	30	1	8	155	5.17
SM Esc. 4	30	0	8	153	5.10
SM Esc. 5	30	0	8	151	5.03
SM Esc. 6	30	2	8	175	5.83
N válido (por lista)	30				

En la gráfica 24 de Pareto se observa que antes de llegar a la línea del 80% están los escenarios 6, 1,3,2 y 4, es decir, que estos escenarios son los más significativos. Sin embargo, la línea de porcentaje se comporta de manera horizontal, lo cual indicó que la cantidad de palabras memorizadas en cada escenario tiene pocas

variaciones. Esta prueba indicó que la mayoría de los escenarios representa el 80% de los efectos, por lo tanto, se analizaron todos los escenarios con igual grado de importancia.



Gráfica 24. Gráfica de Pareto
Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Iluminancia respecto al nivel de brillo de confort NBC

Se comenzará con el análisis del NBC de la pantalla respecto a la iluminancia, recordando al lector la hipótesis número 1:

1. *Tanto mayor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será el nivel de brillo de confort NBC de dicha pantalla.*

Iniciando con el análisis se presenta la tabla 41, que muestra el valor de la media del brillo de confort BC para cada uno de los escenarios, considerando que 16 es el nivel máximo y 0 el nivel mínimo de brillo en la pantalla utilizada en la experimentación.

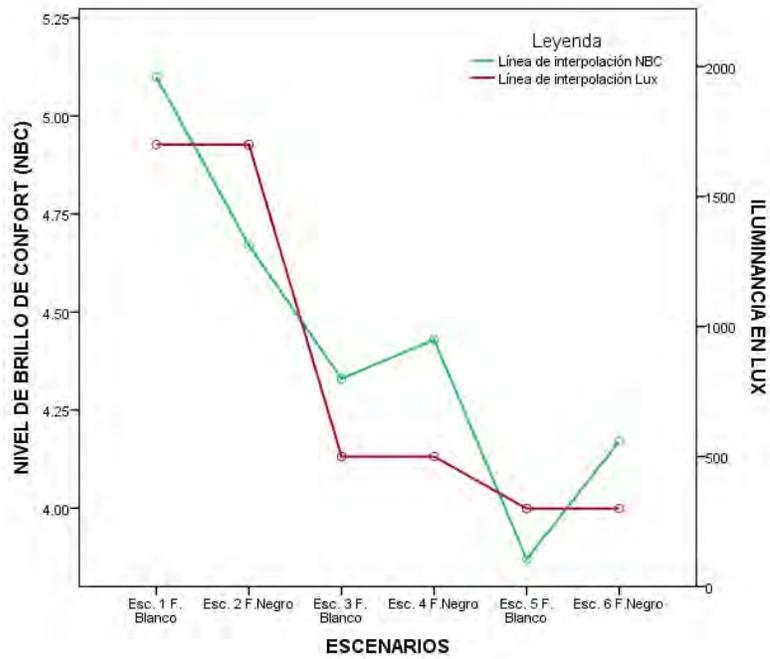
Tabla 41. Estadísticos descriptivos del Brillo de Confort obtenidos en la experimentación para cada escenario.
Fuente: Elaboración propia

Estadísticos descriptivos						
	N	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desviación estándar
Brillo Esc.1	30	1	16	153	5.10	2.905
Brillo Esc.2	30	1	16	140	4.67	2.963
Brillo Esc.3	30	1	10	130	4.33	2.202
Brillo Esc. 4	30	1	16	133	4.43	2.775
Brillo Esc. 5	30	1	16	116	3.87	3.014
Brillo Esc. 6	30	1	16	125	4.17	3.007
N válido (por lista)	30					

La tabla anterior muestra que el NBC, es más alto para los escenarios 1 y 2 con luminancia más alta, mientras que para el escenario 3 y 4 se encuentran los valores medios, y los escenarios 5 y 6 presentan el NBC más bajo.

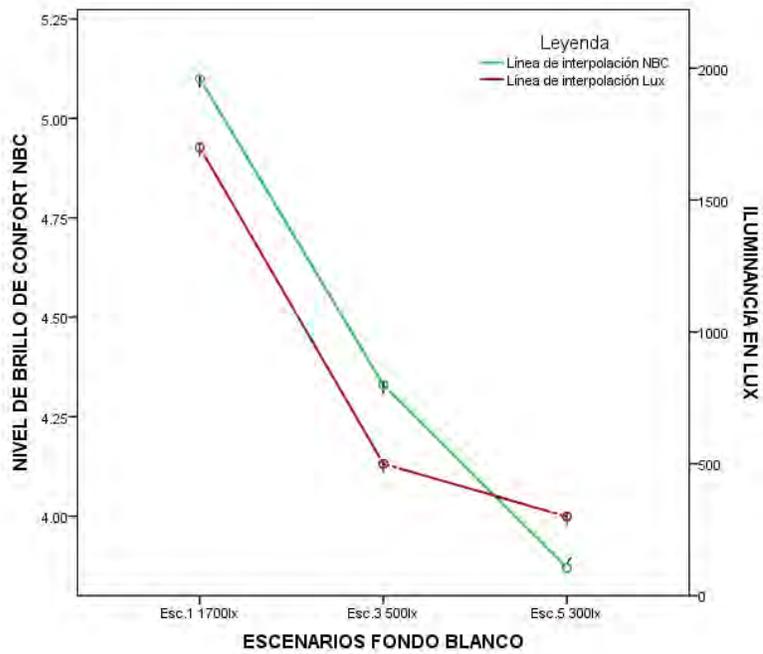
La gráfica 25 demuestra el comportamiento del NBC respecto a la iluminancia, las dos líneas de interpolación tienen un comportamiento semejante, pues al existir un decremento en la iluminancia se corresponde con el decremento de NBC. **En este sentido la hipótesis 1 se valida**, pues tanto mayor es la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor es el brillo de preferencia de dicha pantalla.

La gráfica 25 muestra la relación entre el nivel de brillo de confort NBC representada con la línea verde y la iluminancia en lux mostrada con una línea roja.

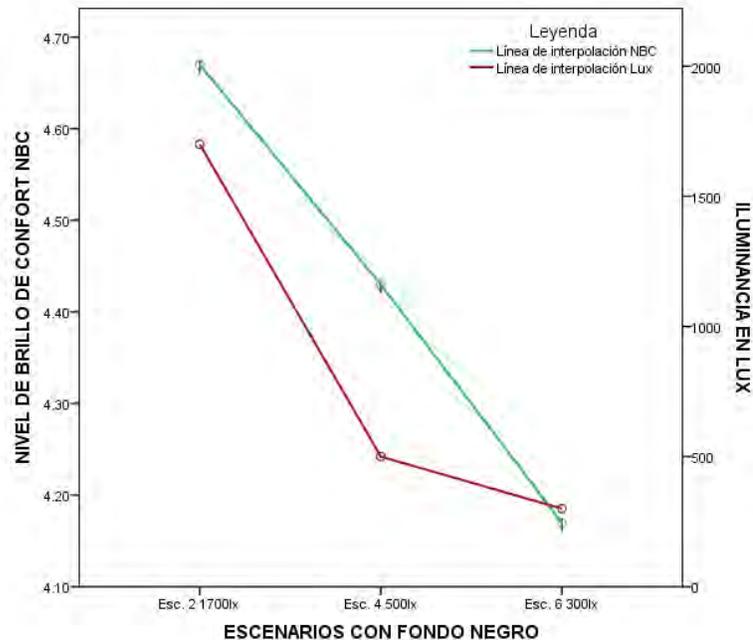


Gráfica 25. Comparativa entre NBC e iluminancia
Fuente: Elaboración propia

Las gráficas 26 y 27 representan el comportamiento del NBC respecto a la luminancia que diferencia los escenarios con fondo blanco y negro, en las cuales se observa la relación de las variables.



Gráfica 26. Comparativa entre NBC e iluminancia para los escenarios con fondo blanco
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 27. Comparativa entre NBC e iluminancia para los escenarios con fondo negro.

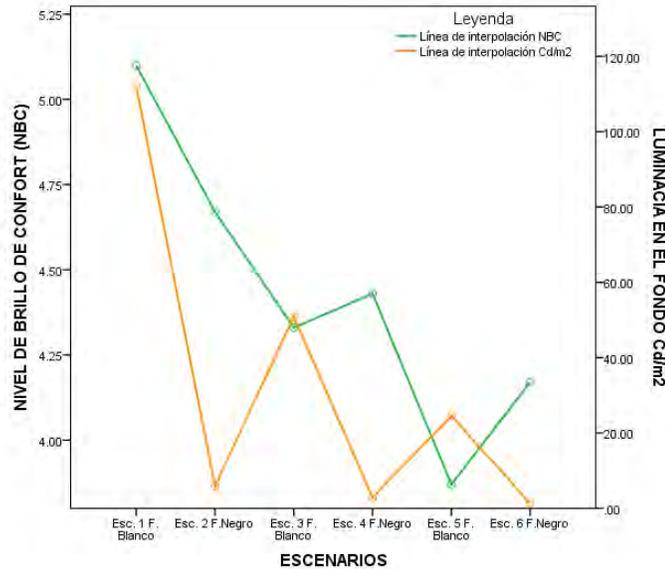
6.2.3 Luminancia del fondo respecto al nivel de brillo de confort NBC

Para continuar con el análisis de las variables, se retoma la segunda hipótesis:

2. *Tanto mayor sea la luminancia en el fondo reflejado en la pantalla, donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será el brillo de confort en la pantalla.*

En este análisis se recurre a la gráfica 28, donde se relacionan los valores del nivel de brillo de confort NBC representada con una línea verde, y la luminancia del fondo en Cd/m^2 indicada con la línea naranja. Dicha gráfica 28 muestra que para el escenario 1 y 2 con 1700 lux existe una relación directa, ya que cuando se reduce la luminancia del fondo, se reduce también el brillo de confort y viceversa. Se interpreta de la siguiente manera: En un ambiente altamente iluminado, cuando el fondo blanco tiene mayor luminancia que la pantalla, se prefiere aumentar el brillo para evitar que la luminancia del fondo interfiera en forma de reflejo en la visión de la pantalla, pues, como se mencionó antes, la visión se ajusta a las luminancias más altas. Mientras que con el fondo negro, se reduce el brillo, pues no hay una luminancia tan alta que mitigar. En el caso de los escenarios 3 y 4 con 500 lux se invierte esta tendencia, ya que cuando el fondo es blanco, se prefiere reducir el brillo y cuando el fondo es negro, se prefiere aumentar el brillo. Entonces, el análisis se hace desde otra perspectiva, en ambientes más oscuros con fondo negro se prefieren brillos más altos para evitar los

reflejos en la pantalla creados por la silueta del sujeto. Este último comportamiento es semejante para el escenario 5 y 6 con menor iluminación. Entonces **se valida de manera parcial la hipótesis** en los escenarios más iluminados, sin embargo, es posible que los reflejos de la silueta del sujeto modifiquen esta hipótesis en los ambientes menos iluminados.



Gráfica 28. Comparativa entre NBC y luminancia para cada escenario
Fuente: Elaboración propia

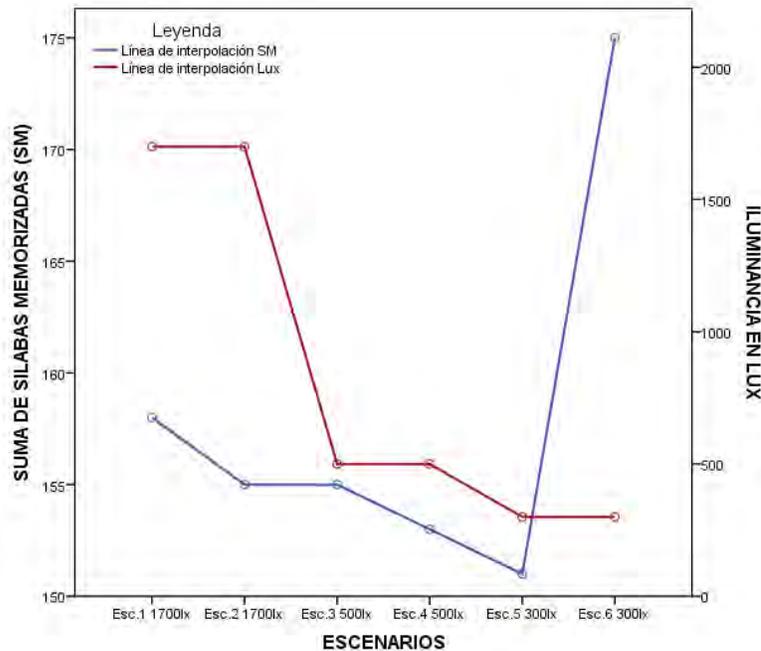
6.2.4 Iluminancia respecto a número de sílabas memorizadas SM

Continuando con el análisis, se busca validar la siguiente hipótesis

3. *Tanto menor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo.*

La gráfica 29 muestra de manera general el comportamiento de las SM respecto los seis escenarios, se observa un decremento en las SM en los primeros cinco escenarios respecto al decremento en la iluminancia, es decir, **para estos cinco primeros escenarios la hipótesis no es válida** pues: tanto menor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto menor será la memorización a corto plazo. Sin embargo, en el escenario 6 (300 lux con fondo negro) se observa un comportamiento notablemente diferente, posiblemente por la intervención de

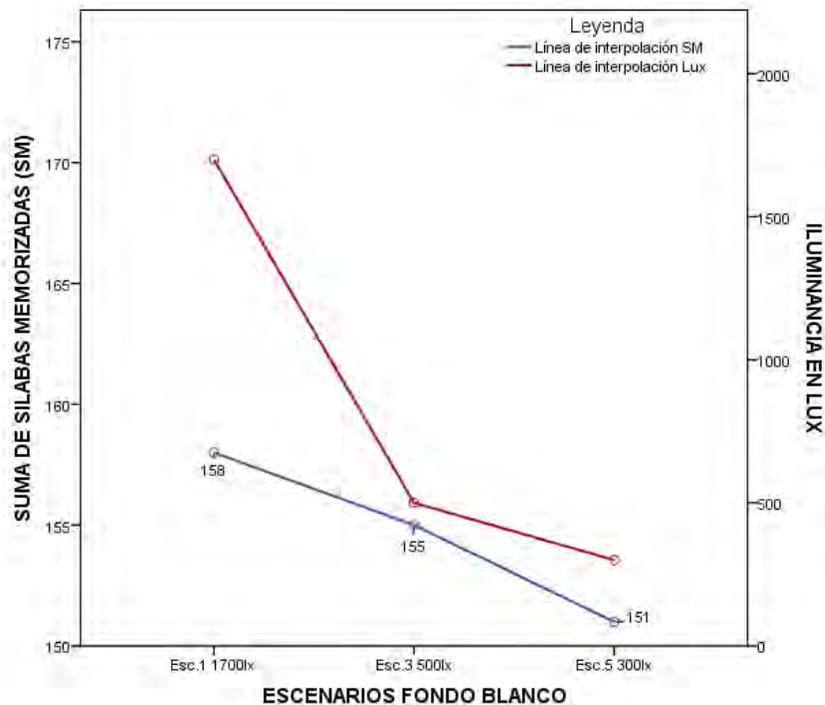
alguna variable extraña en la experimentación, el fenómeno ocurrido en el escenario 6 se observa mediante la línea de interpolación azul.



Gráfica 29. Comparativa entre SM e iluminancia para cada escenario
Fuente: Elaboración propia

Ahora se analizan por separado los escenarios con fondo blanco y con fondo negro para entender el efecto de la iluminancia sobre cada uno de los fondos.

La gráfica 30 muestra la relación entre las diferentes iluminancias en el fondo blanco, donde se observa que al disminuir la iluminancia de 1700 lux hasta 300 lux, pasando por 500 lux, se disminuye también la cantidad de palabra memorizadas. Es importante destacar, a pesar de que la iluminancia cambia significativamente de 1700 lux a 500 lux, que este cambio no es proporcional en la cantidad de sílabas memorizadas, pues sólo hubo una disminución de tres palabras memorizadas, en tanto que, de 500lux a 300 lux, hubo una diferencia de cuatro palabras recordadas.



Gráfica 30. Comparativa entre SM e iluminancia para fondo blanco.
Fuente: Elaboración propia

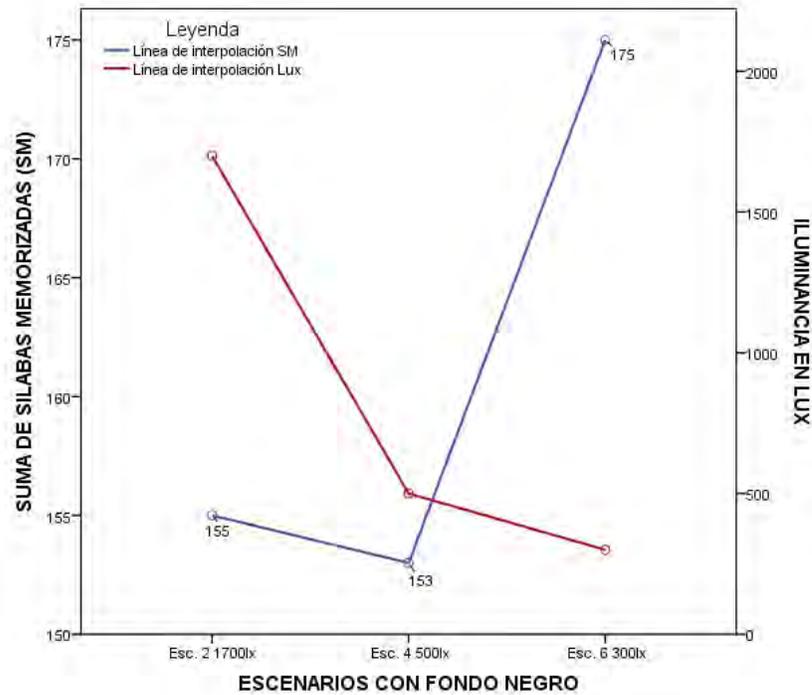
Como parámetro para el análisis de la tabla 42, se considera lo siguiente: si la desviación estándar es mayor que la media, indica la presencia de valores extremos. Entonces, respecto a la iluminancia en escenarios con fondo blanco, la tabla indica rangos muy separados en los valores de iluminancia. Respecto al número de SM, la desviación estándar es baja para las palabras memorizadas respecto a la media, lo cual indica que existe una diferencia significativa entre los valores de iluminancia y poca diferencia entre el número de sílabas memorizadas respecto a dicha iluminancia.

Tabla 42. Media y desviación estándar para los escenarios con fondo blanco
Fuente: Elaboración propia

Estadísticos			
		Media de SM	Iluminancia en lux
N	Válido	3	3
Media		154.67	833.33
Desviación estándar		3.512	757.188

La gráfica 31 corresponde a las sílabas memorizadas en los escenarios con fondo negro, se observa que en los escenarios 2 y 4 disminuye el número de SM a la vez que disminuye la iluminancia como en el

caso anterior, sin embargo, en el escenario 6 con iluminancia de 300 lux se observa un comportamiento diferente, pues en un cambio de iluminancia de 1700 lux a 500 lux existe una diferencia de dos SM, mientras que al pasar de 500 lux a 300 lux hay una diferencia significativa de 22 SM.



Gráfica 31. Comparativa entre SM e iluminancia para fondo negro.
Fuente: Elaboración propia

La diferencia observada se muestra numéricamente en la tabla 43, donde la desviación estándar respecto a la iluminancia es la misma que el análisis de fondos blancos, pues se trata de las mismas iluminancias empleadas. Por otro lado, respecto al número de SM, la desviación estándar es de 12.16 mayor en comparación con los escenarios con fondo blanco, pero continúa siendo menor que la media y esto indica que los valores de SM no son extremos.

Tabla 43. Media y desviación estándar para los escenarios con fondo negro.
Fuente: Elaboración propia

		Estadísticos	
		Media de SM	iluminancia en lux
N	Válido	3	3
Media		161.00	833.33
Desviación estándar		12.166	757.188

El comportamiento de la cantidad de palabras memorizadas en el escenario 6 con 300 lux y con fondo negro, indicó que en este momento del análisis no se puede dar aún por válida o nula la hipótesis planteada, hasta realizar más análisis que permitan llegar a conclusiones que expliquen este fenómeno

6.2.5 Luminancia del fondo respecto a palabras memorizadas

Por ahora se continuará con la validación de las siguientes hipótesis respecto a la luminancia del fondo reflejado o color de fondo, y se le recuerda al lector que la hipótesis planteada es:

4. *Tanto menor sea la luminancia en el fondo reflejado en la pantalla, donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo.*

Para comenzar, es necesario recordar al lector las diferentes luminancias correspondientes a los colores blanco y negro para los seis escenarios. (Ver tabla 44) Se realizó la siguiente gráfica, donde se muestra un comparativo general de la cantidad de SM respecto a la luminancia del fondo.

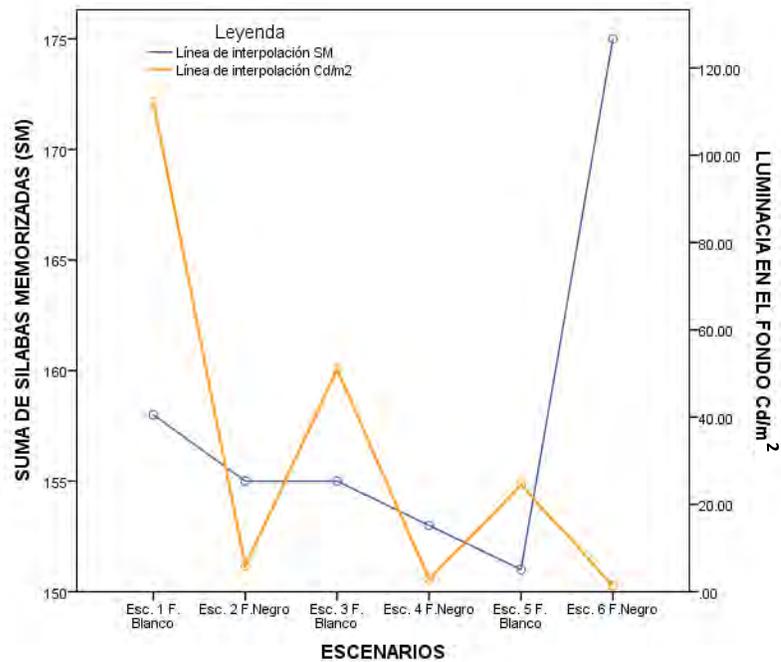
Tabla 44. Luminancia del fondo reflejado para cada escenario
Fuente: Elaboración propia

Resúmenes de casos				
Escenarios			Color de fondo	Luminancia en Cd/m²
			Esc. 1 F. Blanco	1
Esc. 2 F. Negro	1	Negro	5.90	
Esc. 3 F. Blanco	1	Blanco	50.90	
Esc. 4 F. Negro	1	Negro	2.80	
Esc. 5 F. Blanco	1	Blanco	24.50	
Esc. 6 F. Negro	1	Negro	1.30	
Total	N		6	6

Obsérvese la gráfica 32, donde se muestra un comparativo general de la cantidad de SM respecto a la luminancia del fondo. En primer lugar, se puede afirmar que la luminancia del color del fondo está relacionada con la memorización de sílabas, pues aunque el escenario 1 y 2 identificados como pares, tienen la misma iluminación de 1700m lux presentan diferencias de tres SM, en el escenario 2 y 3 con una iluminación de 500 lux existe una diferencia de dos SM, mientras que el escenario 5 y 6 con 300 lux presenta una diferencia de 22 SM que representa la mayor diferencia significativa.

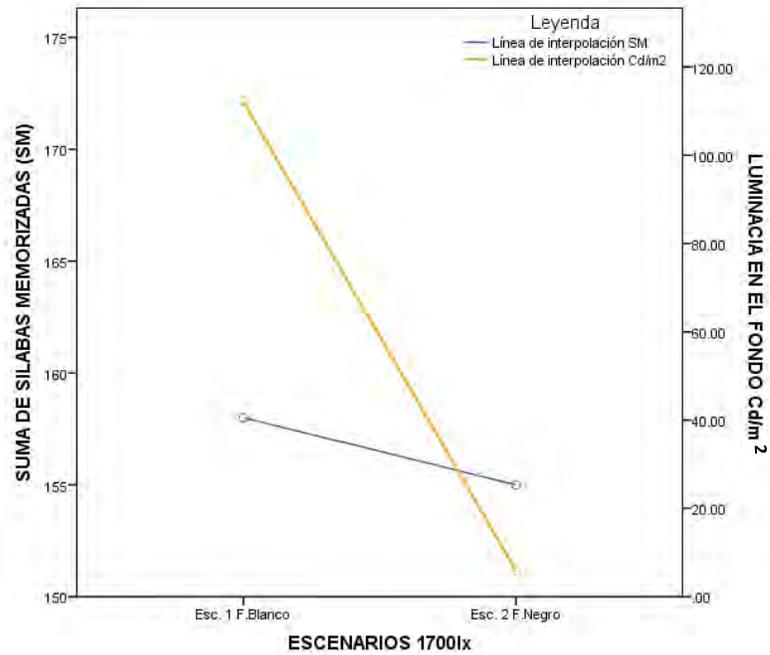
Lo anterior indica que para los escenarios 1,2,3 y 4 a menor luminancia en el fondo reflejado, menor es la cantidad de SM. Esta afirmación anula parcialmente la hipótesis planteada pues, según la gráfica, tanto menor sea la luminancia del fondo reflejado, menor será la cantidad de sílabas memorizadas.

Sin embargo, igual que el análisis anterior, los escenarios 5 y 6 no cumplen con esta hipótesis, pues a menor luminancia mayor cantidad de SM. **Por lo tanto, se anula parcialmente la hipótesis, y es necesario continuar con el análisis para llegar a conclusiones válidas sobre este fenómeno.**

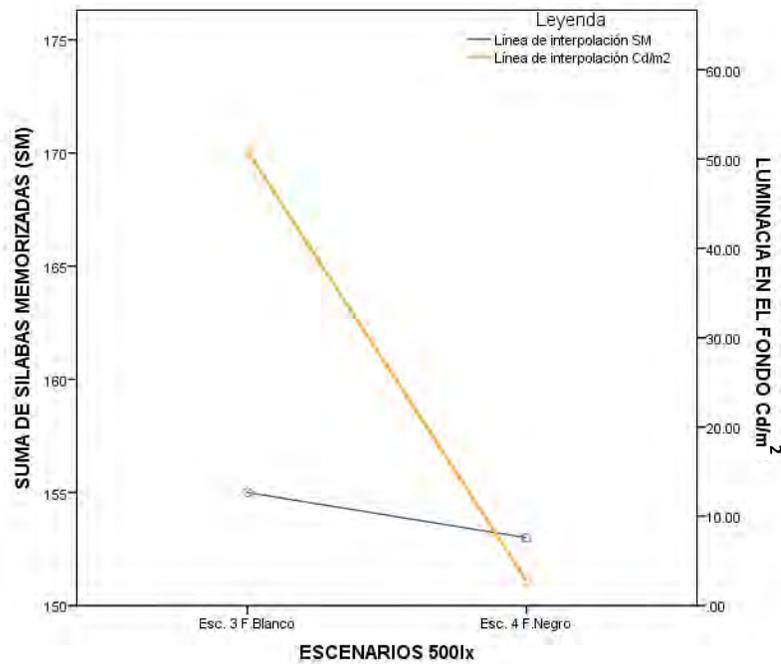


Gráfica 32. Comparativa entre SM y luminancias de fondo para cada escenario.
Fuente: Elaboración propia

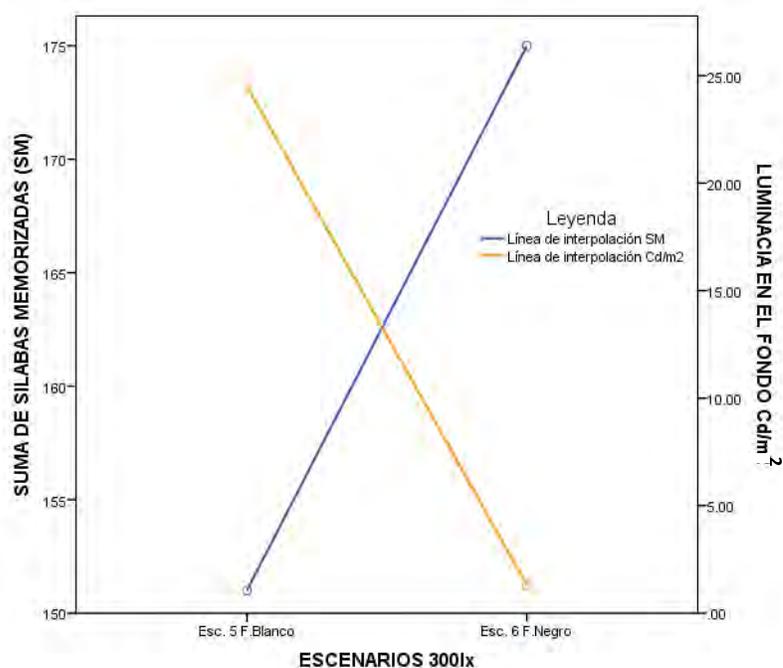
A continuación se analizaron las gráficas por pares de iluminancia, es decir, se analizó la cantidad de SM para los distintos fondos con misma iluminancia.



Gráfica 33. Comparativa entre SM y luminancia del fondo para escenarios pares de 1700 lux
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 34. Comparativa entre SM y luminancia del fondo para escenarios pares de 500 lux
Fuente: Elaboración propia



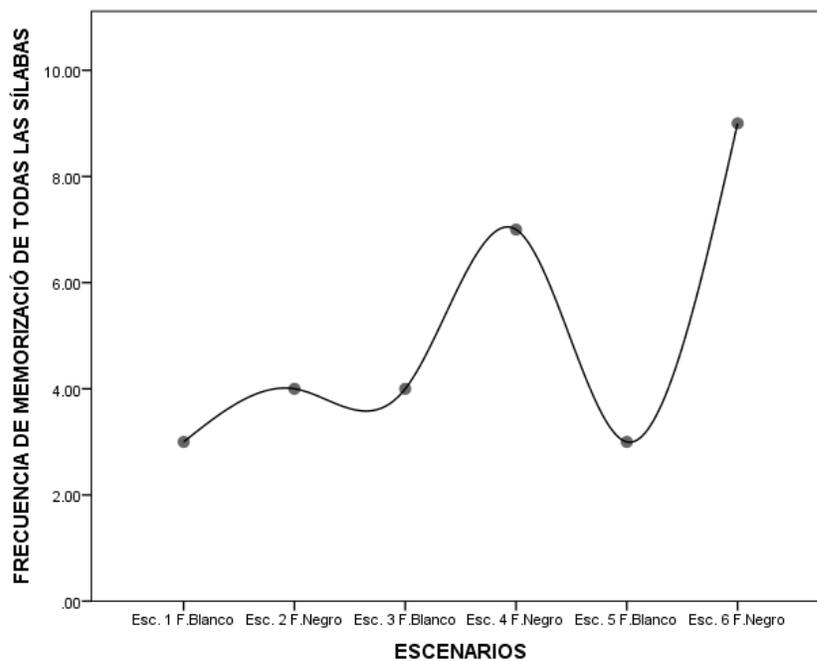
Gráfica 35. Comparativa entre SM y luminancia del fondo para escenarios pares de 300 lux
Fuente: Elaboración propia

En el primer par de escenarios (1,2) de la gráfica 33 con iluminancia de 1700 lux, se observa un decremento en la cantidad de SM respecto al decremento de luminancia de fondo. En el segundo par de escenarios (3,4) de la gráfica 34 con iluminancia de 500 lux, se observa un decremento en la cantidad de SM respecto al decremento de luminancia de fondo. En el tercer par de escenarios (5,6) de la gráfica 35 con iluminancia de 300 lux, se observa un aumento significativo en la cantidad de SM respecto al decremento de luminancia de fondo. Haciendo una comparación entre los anteriores pares de escenarios con este último, se indica que aún con la luminancia en el fondo más bajo se pueden dar valores de SM muy altos.

Hasta este momento del análisis no se pueden dar por válidas o nulas las hipótesis, por tal motivo se continúa con el análisis de datos. La gráfica 36 representa las frecuencias de memorización de la lista completa de sílabas, esto es, el número de personas que recordaron la totalidad de las sílabas. Se puede observar que existe una tendencia a aumentar en los escenarios con fondo negro, y a decrecer en el fondo blanco.

Esta gráfica resulta muy reveladora respecto a la continuidad en el comportamiento hacia el escenario 6 (300lux fondo negro), pues se puede verificar una tendencia proporcional en el incremento de sujetos que

memorizaron la lista completa de sílabas, revelando además un estado constante de incremento o decremento para ambos fondos. Esto sugiere una mejora constante al reducir la iluminancia y manteniendo un fondo negro.



Gráfica 36. Frecuencias del número de personas que memorizaron todas las sílabas.
Fuente: Elaboración propia

6.2.6 Correlación de SM, NBC y percepción

El siguiente análisis corresponde a la correlación entre las sílabas memorizadas, nivel de brillo de confort en la pantalla y la percepción del ambiente; para este análisis se exploraron las siguientes hipótesis.

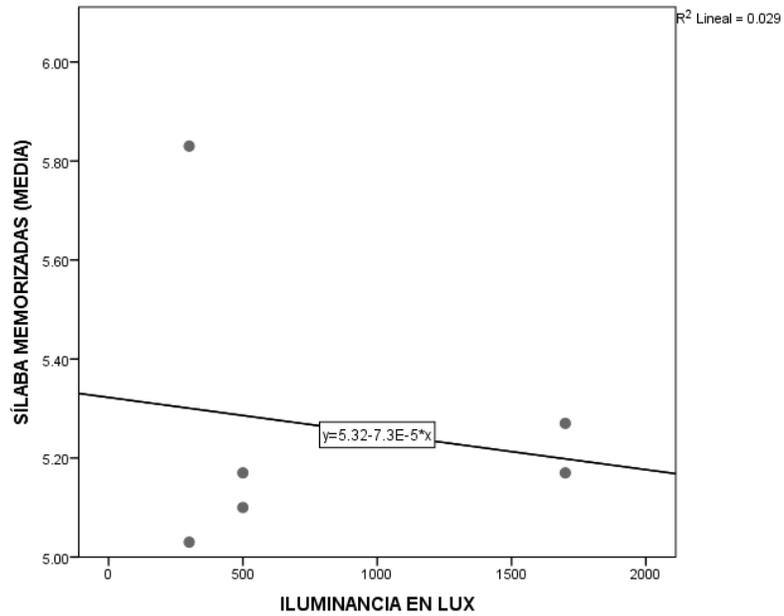
5. *Existe una relación entre la cantidad de sílabas memorizadas SM y la percepción de confort en el ambiente.*
6. *Existe una relación entre la cantidad de sílabas memorizadas SM y el nivel de brillo de confort de la pantalla NBC.*

a) **Análisis de relación de variables mediante gráficas**

De acuerdo con el método estadístico, para realizar un análisis correlacional de las variables dependientes, es necesario -primero- representar los datos mediante gráficas de dispersión, que permiten determinar el sentido y el tipo de relación entre dos variables, cuando la línea de ajuste formada entre los puntos de dispersión de la gráfica tiende a ser ascendente la relación es positiva, es decir, cuando el valor de x aumenta, también aumenta el valor de y ; y por el contrario, cuando la línea de ajuste es descendente, indica una relación negativa, esto es, cuando el valor de x crece, el valor de y decrece.

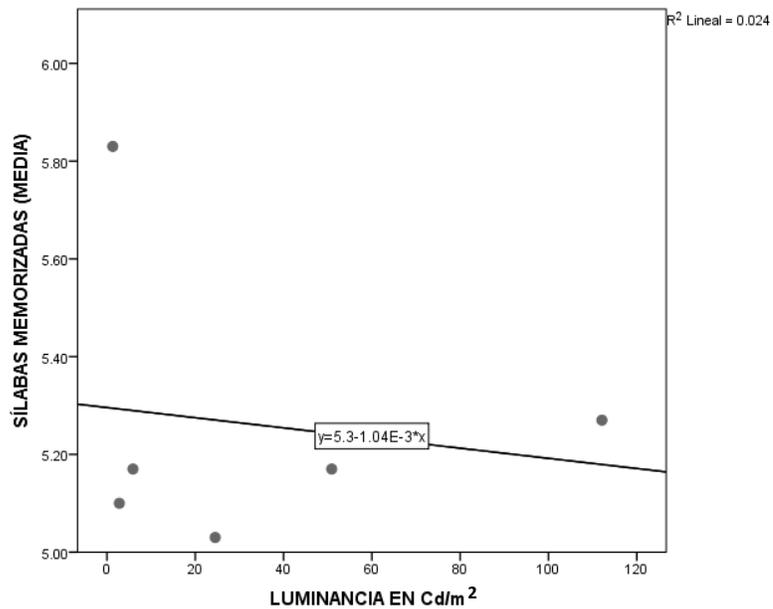
En este sentido se comenzó analizando las gráficas de dispersión de la luminancia respecto a las tres variables dependientes. Las siguientes gráficas representan los valores para la iluminancia respecto a las sílabas memorizadas SM.

La gráfica 37 muestra la relación entre el número de SM y la iluminancia del ambiente, la línea con leve pendiente hacia la derecha indica una tenue relación negativa, es decir, cuando una variable aumenta la otra disminuye, es importante mencionar que el punto de dispersión del escenario 6 modifica la tendencia significativamente.



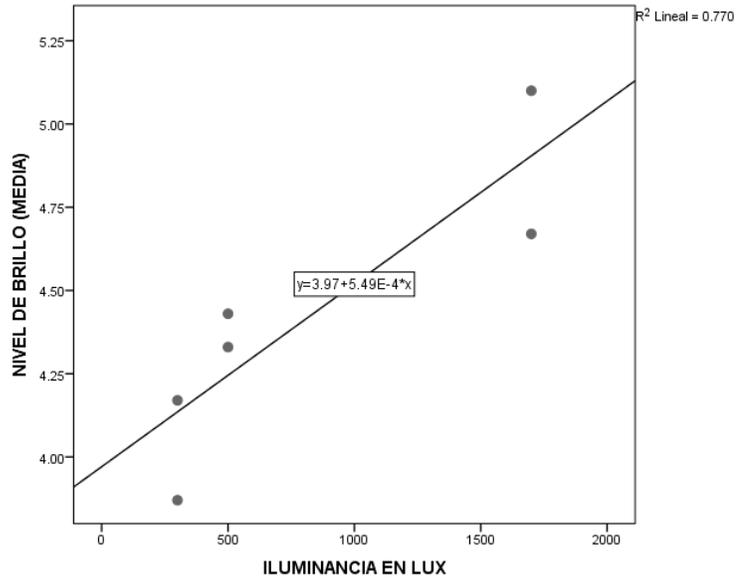
Gráfica 37. Línea de tendencia negativa entre el número de SM y la iluminancia del ambiente.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 38 muestra la relación entre el número de SM y la luminancia del fondo, la línea con tendencia hacia la derecha indica una tenue relación negativa.



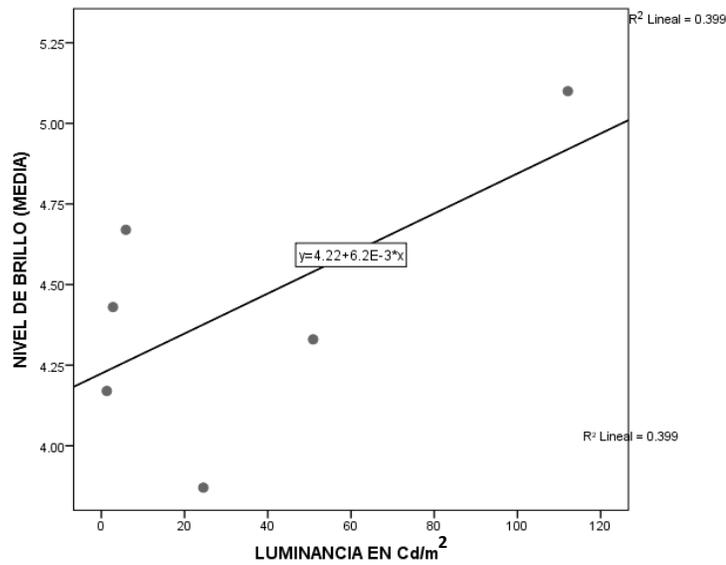
Gráfica 38. Línea de tendencia negativa entre el número de SM y la luminancia de fondo.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 39 muestra la relación entre el NBC y la iluminancia del ambiente. La línea con pendiente fuerte hacia la izquierda indica una relación positiva, es decir, cuando una variable aumenta la otra también aumenta.



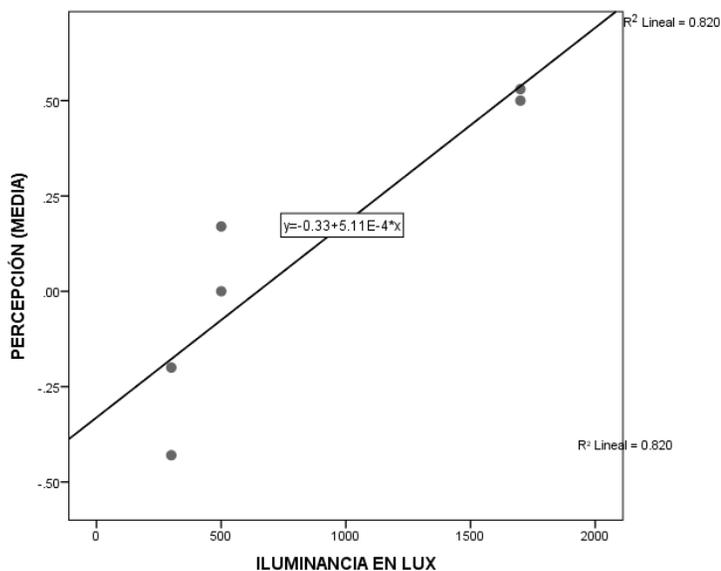
Gráfica 39. Línea de tendencia positiva entre el NBC y la iluminancia del ambiente.
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 40 se observa la relación entre el NBC y la luminancia del fondo, la línea con tendencia hacia la izquierda indica una relación positiva entre ambas variables.



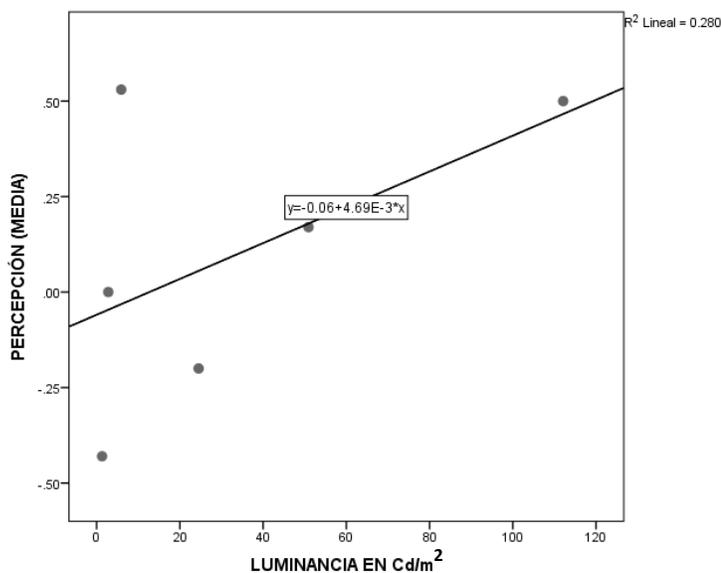
Gráfica 40. Línea de tendencia positiva entre el NBC y la luminancia de fondo.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 41 muestra la relación entre la percepción y la iluminancia del ambiente, en la línea de tendencia se observa una pendiente hacia la izquierda, lo cual indica una relación positiva entre las dos variables.



Gráfica 41. Línea de tendencia positiva entre la percepción y la iluminancia del ambiente.
Fuente: Elaboración propia

En tanto, en la gráfica 42 se observa la relación entre la percepción y la luminancia del fondo, la línea con tendencia hacia la izquierda indica una relación positiva entre ambas variables.



Gráfica 42. Línea de tendencia positiva entre la percepción y la luminancia de fondo.
Fuente: Elaboración propia

b) Análisis de relación de variables mediante métodos estadísticos

El siguiente paso fue determinar por métodos estadísticos la intensidad y la dirección de dicha relación, considerando las pruebas de normalidad que permiten un alto nivel de precisión mediante el programa SPSS. Las pruebas de normalidad permiten conocer si los datos de la variable se distribuyen de manera normal o no, y se realizan con un 95% de confianza, considerando la siguiente condición: si $\text{Sig}^3 > 0.05$ es una distribución normal; si $\text{Sig} < 0.05$ es una distribución no normal. Después de conocer la distribución de las variables, se analizaron las correlaciones de tipo bivariado, mediante el coeficiente de correlación de Pearson, cuando los datos se distribuyen de manera normal, mientras que cuando los datos no se distribuyen de manera normal se usa el coeficiente de correlación de Spearman.

Se continuó, entonces, analizando la distribución de las variables dependientes para determinar si se comportaban de manera normal, en este sentido, se analizaron los valores medios de SM, NBC y percepción que representan a los seis escenarios. La tabla 45 muestra la prueba de normalidad.

Tabla 45 Pruebas de normalidad de las variables SM, NBC, Percepción.
Fuente: Elaboración propia

	Pruebas de normalidad			
	Kolmogorov-Smirnov ^a		Shapiro-Wilk	
	Estadístico	Sig.	Estadístico	Sig.
Media de SM	.322	.052	.753	.021
Media de NBC	.165	.200*	.984	.971
Media de Percepción	.189	.200*	.940	.660

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

De la tabla anterior se toman los datos de Shapiro-Wilk⁴; y se observa que la Sig. para la media de SM es > 0.05 por lo tanto es una distribución normal, sin embargo, para la media de NBC y percepción los valores son > 0.05 , esto indica distribuciones no normales. Una vez determinado que las variables no presentan una distribución normal, se continuó con el análisis correlacional para establecer estadísticamente si existe una relación significativa entre las variables dependientes e independientes. Como las variables no presentan

³ Sig. de acuerdo con la nomenclatura SPSS se refiere al nivel de significancia

⁴ Shapiro-Wilk se usa para muestras menores a 50.

normalidad, se realiza el análisis correlacional bivariado⁵ considerando el coeficiente de correlación Spearman.

La tabla 46 muestra una matriz de correlación entre las variables dependientes e independientes, es decir, entre la iluminancia del ambiente, la luminancia del fondo, el número de SM, el NBC y la percepción. Los números con asterisco representan una alta correlación estadística de las variables, la significancia de 0.01 se refiere a un 99% de confianza, mientras que la significancia de 0.05 corresponde a un 95% de confianza. La tabla se interpreta considerando que cuando el coeficiente de correlación tiende a 1 existe una correlación, mientras que cuando tiende a 0 hay poca correlación o nula correlación. Por lo tanto, las variables con una correlación significativa en esta investigación son: a) el NBC y la iluminancia del ambiente con un valor de correlación de .956; b) la percepción y la iluminancia del ambiente con un valor de correlación de .956; c) la percepción con el NBC con un coeficiente de correlación de .829.

Tabla 46 Correlación de variables a partir del método Rho de Spearman
Fuente: Elaboración propia a partir de SPSS

			Correlaciones				
			ILUMINANCIA EN LUX	LUMINANCIA EN EL FONDO	MEDIA SM	MEDIA NBC	PERCEPCI ON
Rho de Spearman	ILUMINANCIA EN LUX	Coefficiente de correlación	1.000	.478	.182	.956**	.956**
		Sig. (bilateral)	.	.338	.730	.003	.003
		N	6	6	6	6	6
	LUMINANCIA EN EL FONDO	Coefficiente de correlación	.478	1.000	-.087	.371	.543
		Sig. (bilateral)	.338	.	.870	.468	.266
		N	6	6	6	6	6
	MEDIA SM	Coefficiente de correlación	.182	-.087	1.000	.319	.029
		Sig. (bilateral)	.730	.870	.	.538	.957
		N	6	6	6	6	6
	MEDIA NBC	Coefficiente de correlación	.956**	.371	.319	1.000	.829*
		Sig. (bilateral)	.003	.468	.538	.	.042
		N	6	6	6	6	6
	PERCEPCION	Coefficiente de correlación	.956**	.543	.029	.829*	1.000
		Sig. (bilateral)	.003	.266	.957	.042	.
		N	6	6	6	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

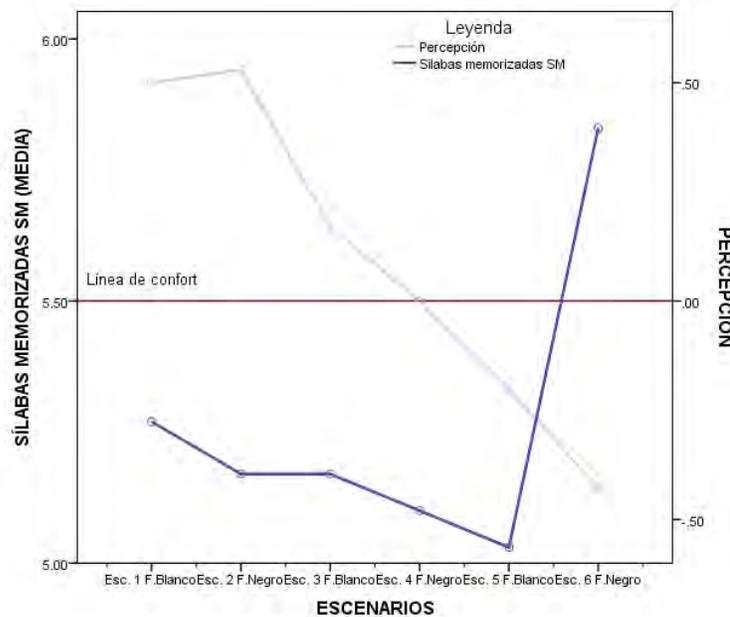
* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

⁵ Análisis correlacional bivariado

Entonces, retomando las hipótesis planteadas en este capítulo, se puede señalar por ahora que:

5. *No existe una relación estadística significativa entre la cantidad de sílabas memorizadas SM y la percepción de confort en el ambiente.*

La gráfica 43 representa el comportamiento del número de SM, respecto a la percepción del ambiente en función de la línea de confort, donde se observa que la percepción va en decremento, es decir, de deslumbrante a penumbra. El número de SM también va disminuyendo, sin embargo, en el escenario 6 (300 lux fondo negro) aumenta radicalmente.

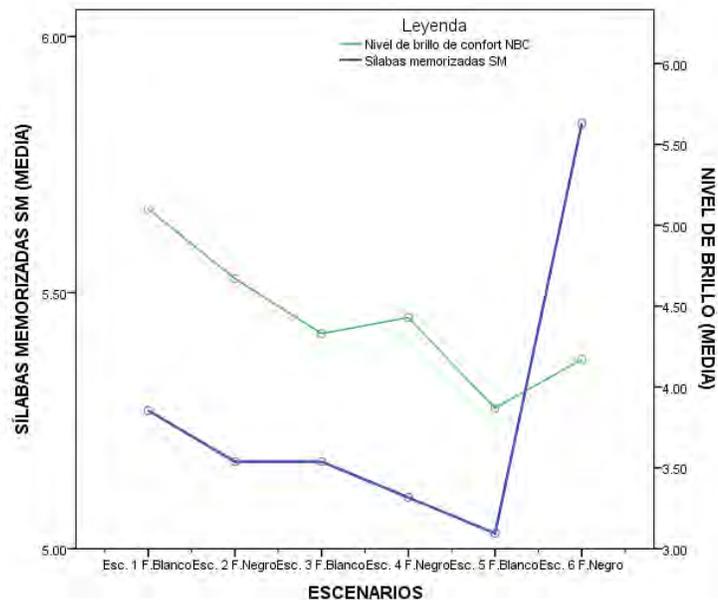


Gráfica 43. Relación entre la percepción de confort y el número de SM, en función de la línea de confort.
Fuente: Elaboración propia

La siguiente hipótesis por declarar es:

6. *No existe una relación estadística significativa entre la cantidad de sílabas memorizadas SM y el nivel de brillo de confort de la pantalla NBC.*

La gráfica 44 muestra el comportamiento de ambas variables, el cual tiende a disminuir para los primeros cinco escenarios, sin embargo, el escenario 6 muestra, igual que la hipótesis anterior, un cambio significativo.



Gráfica 44. Relación entre en número de SM y la media del NBC.
Fuente: Elaboración propia

Entonces, hasta este momento de la investigación, se podía afirmar que:

- a) *Existe una relación estadística significativa entre la iluminancia del ambiente y el nivel de brillo de confort en la pantalla NBC.*
- b) *Existe una relación estadística significativa entre la iluminancia del ambiente y la percepción.*
- c) *Existe una relación estadística significativa entre la percepción del ambiente y el nivel de brillo de confort en la pantalla NBC.*

6.2.7 Diferencias por género

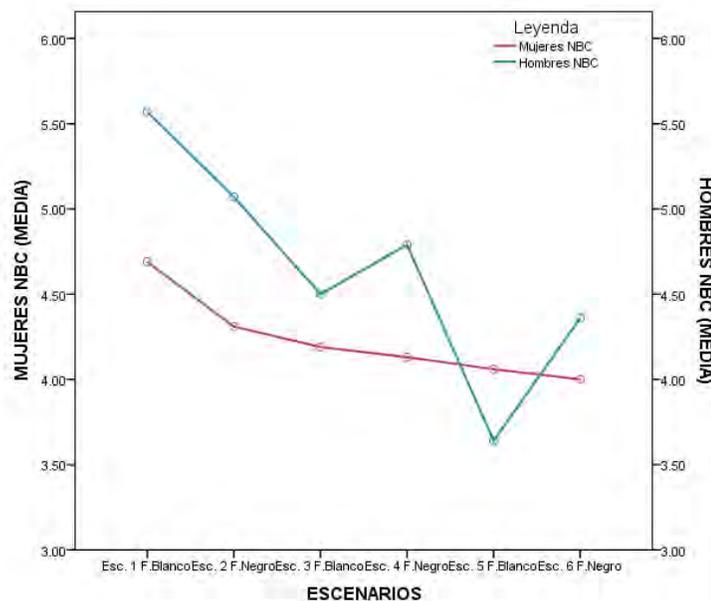
Nivel de brillo de confort

Con los datos obtenidos en la experimentación se puede también conocer si existe una diferencia en la percepción de la iluminación y la memorización entre mujeres y hombres. La tabla 47 muestra la media de NBC para cada escenario separado por género, en la cual se observa que el nivel de brillo de confort en la pantalla de computadora es más bajo para las mujeres en comparación con el NBC de los hombres, este comportamiento es recurrente en todos los escenarios, excepto en el escenario 5.

Tabla 47. Media estadística del NBC diferenciado por género.
Fuente: Elaboración propia a partir de SPSS

			Estadísticos					
Género			NBC Esc.1	NBC Esc.2	NBC Esc.3	NBC Esc. 4	NBC Esc. 5	NBC Esc. 6
Femenino	N	Válido	16	16	16	16	16	16
		Perdidos	0	0	0	0	0	0
		Media	4.69	4.31	4.19	4.13	4.06	4.00
Masculino	N	Válido	14	14	14	14	14	14
		Perdidos	0	0	0	0	0	0
		Media	5.57	5.07	4.50	4.79	3.64	4.36

La gráfica 45 muestra la diferencia de percepción en del nivel de brillo de confort en la pantalla, el comportamiento respecto al NBC en las mujeres es constante y en general más bajo que los hombres con diferencias aproximadamente de 1 nivel.



Gráfica 45. Comportamiento del NBC en mujeres y hombres para cada escenario.
Fuente: Elaboración propia

Para recordar a lector el valor de los niveles de brillo se muestra la tabla 48, donde se representa la luminancia de la pantalla en cada uno de los 16 niveles de brillo. Ahora bien, para los escenarios el nivel de brillo del monitor preferido osciló entre los niveles 3,4 y 5. Esto es, de 33.2Cd/m² hasta 51.1 Cd/m², la

diferencia entre la preferencia de NBC para hombres y mujeres es de 1 nivel aproximadamente, pues mientras que las mujeres prefieren 4, los hombres prefieren 5. Esto es una diferencia de luminancia de 12.8Cd/m². Lo anterior indica una diferencia en la percepción del brillo de confort. Se puede inferir entonces que para este grupo de estudio las mujeres son más sensibles a una fuente deslumbrante que los hombres, pues las mujeres prefieren niveles más bajos de brillo en la pantalla respecto a los hombres.

Tabla 48. Estadísticos del NBC diferenciados por género.
Fuente: Elaboración propia

LUMINANCIA DE MONITOR	
NIVEL DE MONITOR	LUMINANCIA Cd/m ²
0	12.3
1	19.3
2	24.1
3	33.2
4	44.3
5	57.1
6	76.8
7	99.2
8	139
9	157.7
10	174.2
11	197.4
12	225
13	257
14	293
15	335
16	362

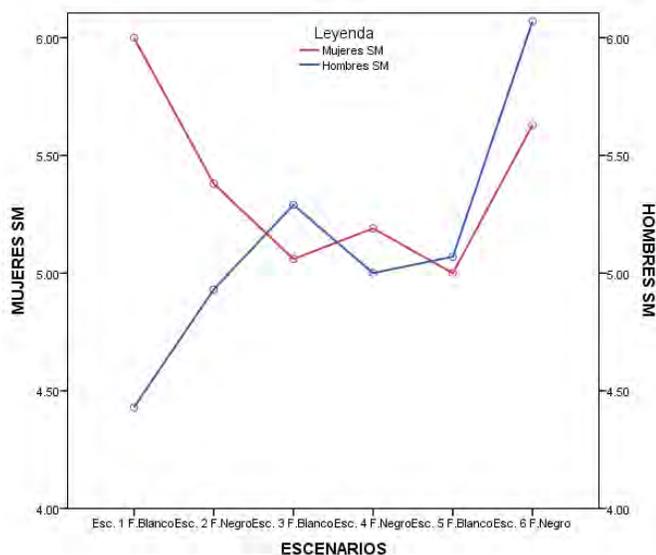
Sílabas Memorizadas

Continuando con el análisis de las diferencias por género, se muestra la tabla 49 con el número de sílabas memorizadas SM para cada escenario dividido entre mujeres y hombres. Esta tabla muestra que en los primeros cuatro escenarios, el número de sílabas memorizadas es más alta para mujeres que para hombres.

Tabla 49. Media estadística del número de SM en mujeres y hombres para cada escenario.
Fuente: Elaboración propia

			Estadísticos					
Género			SM Esc. 1	SM Esc. 2	SM Esc. 3	SM Esc. 4	SM Esc. 5	SM Esc. 6
Femenino	N	Válido	16	16	16	16	16	16
		Perdidos	0	0	0	0	0	0
	Media	6.00	5.38	5.06	5.19	5.00	5.63	
Masculino	N	Válido	14	14	14	14	14	14
		Perdidos	0	0	0	0	0	0
	Media	4.43	4.93	5.29	5.00	5.07	6.07	

En la gráfica 46 de dispersión, se observa que las mujeres presentaron mayor número de SM en los primeros escenarios con mayor iluminación y este número tiende a bajar a medida que disminuye la iluminación en los escenarios. El SM aumenta en el escenario 6, mientras que los hombres presentan un bajo número de SM en los primeros escenarios con mayor iluminación y este número va en aumento a medida que disminuye la iluminación. Finalmente, en el escenario 6 se incrementa notoriamente el número de SM.



Gráfica 46. Comportamiento del número de SM en mujeres y hombres para cada escenario
Fuente: Elaboración propia

Lo anterior indicó una diferencia en el proceso de memorización en los diferentes ambientes luminosos entre hombres y mujeres, pues cuando el ambiente general es más iluminando, y por lo tanto con menos contraste entre pantalla y ambiente, el desempeño es mejor en las mujeres. Mientras, en el sentido

contrario, cuando el ambiente general es menos iluminado, el desempeño es mejor en los hombres. Excepto en el escenario 6 (300 lux fondo negro) donde, tanto mujeres como hombres, tienden a aumentar el número de las sílabas memorizadas.

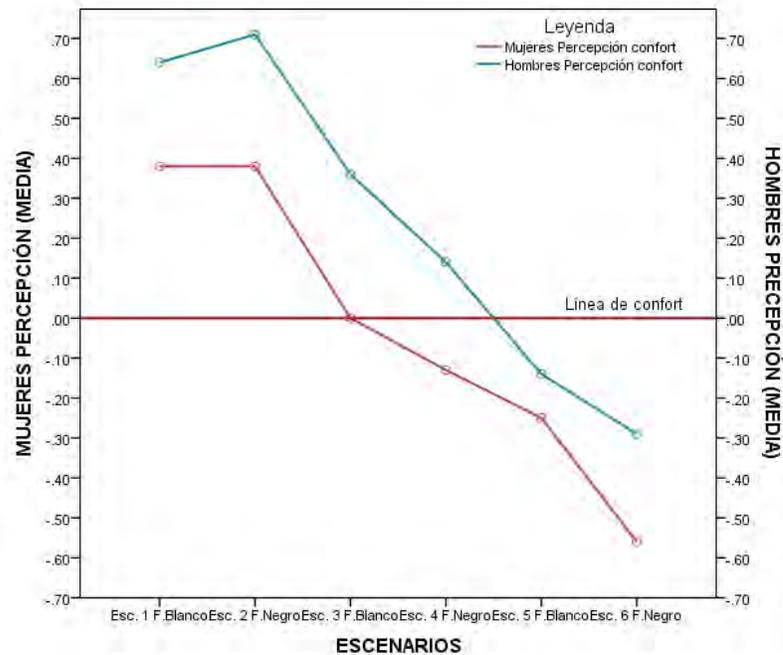
Percepción

El siguiente análisis corresponde a la percepción del ambiente diferenciado entre hombres y mujeres. A continuación, la tabla 50 presenta los valores de la media en la percepción del confort para cada escenario. Se observa que las mujeres comienzan a percibir el ambiente en penumbra en el escenario 4 (500 lux con fondo negro), mientras que los hombres comienzan a percibir el ambiente en penumbra en el escenario 5 (300 lux con fondo negro).

Tabla 50. Media de los valores de la percepción en mujeres y hombres para cada escenario.
Fuente: Elaboración propia

			Estadísticos					
Género			Percepción Esc. 1	Percepción Esc. 2	Percepción Esc. 3	Percepción Esc. 4	Percepción Esc. 5	Percepción Esc. 6
Femenino	N	Válido	16	16	16	16	16	16
		Perdidos	0	0	0	0	0	0
		Media	.38	.38	.00	-.13	-.25	-.56
Masculino	N	Válido	14	14	14	14	14	14
		Perdidos	0	0	0	0	0	0
		Media	.64	.71	.36	.14	-.14	-.29

La siguiente gráfica de dispersión muestra el comportamiento de la media de la percepción de confort del ambiente para hombres y mujeres respecto a la línea de confort. Entonces, las mujeres se encuentran en confort en el escenario 3(500 lux con fondo blanco), en tanto que los hombres se encuentran en confort entre el escenario 4 (500 lux con fondo negro) y escenario 5 (300 lux con fondo blanco).



Gráfica 47. Comportamiento del valor de la percepción en mujeres y hombres para cada escenario
Fuente: Elaboración propia

Lo anterior indica que las mujeres de este grupo de experimentación se sienten en confort con mayor iluminación, mientras que los hombres encuentran el confort con menor iluminación.

A mayor iluminación del ambiente existe menor contraste con la pantalla, y a menor iluminación existe mayor contraste con la pantalla. Se puede inferir nuevamente que las mujeres prefieren entornos menos contrastantes respecto a la pantalla, es decir, más iluminados, en tanto que los hombres tienden a preferir entornos más contrastantes respecto a la pantalla. Ambos géneros perciben el escenario 6 (300 lux fondo negro) en los rangos de penumbra baja.

6.2.8 Revisión de hipótesis planteadas

Ya que se han analizado los datos, se pueden ofrecer conclusiones al respecto. Se recuerda al lector que el objetivo de esta investigación es: *determinar el ambiente luminoso que favorece al proceso de aprendizaje en pantallas de computadora*. Es necesario, primero, hacer una recapitulación de las hipótesis válidas o nulas, es decir, si se cumplen o no.

La primera hipótesis planteada es la siguiente:

1. *Tanto mayor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será el nivel de brillo de confort NBC de dicha pantalla.*

Esta primera hipótesis resultó **válida**, pues tanto mayor es la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor es el brillo de preferencia de dicha pantalla. Además, el análisis estadístico correlacional demuestra un coeficiente de correlación alto.

Como ya se mencionó, el ojo humano se adapta a las condiciones de luminancia más altas, entonces existe una relación intuitiva entre el brillo de confort de la pantalla y el ambiente luminoso, sin embargo, al no contar con información suficiente y datos duros previos, se integró como una hipótesis de investigación. Entonces, ahora, con el análisis anterior se puede afirmar que existe una correlación lineal entre el brillo de confort en una pantalla de computadora y el ambiente luminoso, es decir, cuando una variable aumenta la otra variable también incrementa.

La segunda hipótesis es:

2. *Tanto mayor sea la luminancia en el fondo reflejado en la pantalla, donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será el brillo de confort en la pantalla.*

Para esta hipótesis el análisis estadístico no muestra una correlación lineal significativa, sin embargo, existen cambios en el brillo de confort para los escenarios pares, es decir, escenarios con la misma iluminancia y diferente fondo, esto indica que el fondo está influenciando en la percepción de la pantalla. Por lo anterior se puede afirmar que existe una relación entre el brillo de confort de la pantalla de computadora y la luminancia del fondo reflejado.

Las siguientes hipótesis son las principales de esta experimentación, pues involucran la memorización a corto plazo, como parte del proceso cognitivo, con el ambiente luminoso.

La tercera hipótesis es:

3. *Tanto menor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo.*

En los primeros análisis, se trabaja con la suma del número de sílabas memorizadas de todos los sujetos para cada escenario y se observa un comportamiento radical para el escenario menos iluminado, este es el escenario 6. También se analizó el comportamiento de la media del número de sílabas memorizadas para cada escenario y presentó una tendencia a disminuir en tanto disminuye la iluminación del ambiente, sin embargo, en el escenario 6 la tendencia también se modifica radicalmente. Además, el análisis estadístico correlacional establece una relación poco significativa al trabajar con la media de los datos.

En la búsqueda por entender el fenómeno ocurrido en el número de sílabas memorizadas en el escenario 6, se analizó el número de sujetos que recordó la lista completa de sílabas en cada escenario, es decir, cuando los sujetos son más eficientes al memorizar la lista completa de sílabas, pues resultó que cuando la iluminación del ambiente general se reduce, entonces aumenta el número de sujetos que recuerdan todas las sílabas.

Si el escenario 6 fuese teóricamente excluido del análisis, entonces la hipótesis resultaría nula y se especularía que al reducir la iluminación de un ambiente los alumnos tienden a reducir la memorización. Por otro lado, si se analiza la hipótesis considerando comparaciones entre todos los escenarios, incluyendo al escenario 6, entonces la hipótesis resultaría válida. Esto es, a menor iluminación del ambiente, mayor memorización en los alumnos. Entonces, la hipótesis hasta ahora resultó parcialmente válida, y se abordará más adelante para continuar con el orden de esta presentación.

La cuarta hipótesis es:

4. *Tanto menor sea la luminancia en el fondo reflejado en la pantalla, donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo.*

Para esta hipótesis tampoco existe una correlación lineal significativa entre la luminancia de fondo reflejado y el número de sílabas memorizadas; los resultados son semejantes a la hipótesis anterior, pues existe un cambio circunstancial en el escenario 6 que modifica radicalmente la tendencia. Entonces, por ahora la hipótesis resulta parcialmente válida, y será retomada más adelante.

La **quinta hipótesis** establece:

5. *No existe una correlación lineal significativa entre la cantidad de sílabas memorizadas SM y la percepción de confort en el ambiente.*

A pesar de que la media de la población percibió el ambiente del escenario 4 (500 lux negro) como confortable, no está relacionado directamente con su desempeño en la memorización, pues el mejor escenario para memorizar sílabas fue el escenario 6 (300 lux fondo negro) que percibieron como un ambiente en baja penumbra.

La **sexta hipótesis** es:

6. *No existe una correlación lineal significativa entre la cantidad de sílabas memorizadas SM y el nivel de brillo de confort de la pantalla NBC.*

Esto es, estadísticamente el brillo de la pantalla no determina la memorización, sin embargo, determina el ambiente luminoso, entonces, se relaciona de manera indirecta con el proceso de memorización.

Se continúa con las siguientes afirmaciones:

7. *Existe una correlación lineal significativa entre la iluminancia del ambiente y la percepción.*
8. *Existe una correlación lineal significativa entre la percepción del ambiente y el nivel de brillo de confort en la pantalla NBC*

Aunque estas relaciones resultan lógicas, el análisis permite, además, caracterizar los valores de confort para cada escenario, como se observa más adelante.

Avanzando con el análisis, se puede establecer que para este grupo experimental existen diferencias biológicas por género, en la percepción y la actuación respecto a la memorización. Las mujeres resultaron más sensibles a una fuente deslumbrante que los hombres, pues las mujeres prefieren niveles más bajos de brillo en la pantalla respecto a los hombres. Lo anterior indica una diferencia en el proceso de memorización en los diferentes ambientes luminosos entre hombres y mujeres, ya que cuando el ambiente general es más iluminando, y por tanto con menos contraste entre pantalla y ambiente, el desempeño es mejor en las mujeres, mientras que, en el sentido contrario, cuando el ambiente general es menos iluminado el desempeño es mejor

en los hombres. Entonces, las mujeres de este grupo de experimentación se sienten en confort con mayor iluminación, mientras que los hombres encuentran el confort con menor iluminación.

Ya que se ha mencionado la validez o nulidad de casi todas las hipótesis operativas, se recuerda al lector que falta por concluir la hipótesis principal, debido al fenómeno ocurrido en el escenario 6, que muestra un comportamiento muy diferente respecto a los demás escenarios, entonces, se puede especular sobre la existencia de alguna variable extraña que afecta a la memorización más allá del ambiente luminoso, como podría ser la motivación por terminar la experimentación.

6.3 Experimentación complementaria

En la experimentación que se realizó anteriormente, se observó una variable extraña que modifica radicalmente la tendencia en el número de las SM, pues en los primeros escenarios más luminosos se observaron niveles altos de memorización, los cuales tienden a disminuir en tanto se reduce la iluminancia, sin embargo, en el último escenario con menor iluminancia, los niveles de memorización incrementan incluso más que en los primeros escenarios. Por lo tanto, no se ha llegado a establecer la nulidad o validez de la hipótesis operativa: *Tanto menor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo.* Entonces, como existe la posibilidad de que la experimentación haya sido influenciada por una variable extraña, se realizó una nueva experimentación complementaria para descartar esta eventualidad.

En la nueva experimentación se trabajó únicamente con dos escenarios alternando su orden para dos grupos de individuos, con el objetivo de hacer una experimentación muy corta y evitar la fatiga en los sujetos, que pudiera generar motivación por terminar la experimentación, como se presume sucedió en la experimentación anterior. Alternar el orden de los ambientes extremos, es decir, iniciar en el ambiente menos iluminado y finalizar en el ambiente más iluminado; y en el sentido contrario. Para establecer finalmente el ambiente luminoso propicio para la memorización a corto plazo.

Para llegar a esta nueva experimentación, se comenzó por realizar un diseño experimental con dos grupos de individuos, grupo A y grupo B. El análisis de resultados será por la comparación de línea base para cada grupo, así como entre los dos grupos.

Ambos grupos comenzaron ingresando por primera vez al LIA para registrar sus datos personales. Esto se realizó con la finalidad de tener un acercamiento previo al laboratorio y al equipo de cómputo antes de comenzar la experimentación. Una vez que registraron sus datos, ingresaron por segunda vez al laboratorio y realizaron la prueba de memorización y percepción del ambiente luminoso, y finalmente, ingresaron por tercera vez para realizar la segunda prueba de memorización y registrar su percepción del ambiente luminoso. A diferencia de la experimentación anterior, en esta ocasión los sujetos no leyeron el texto para adaptar su vista a la pantalla, ni ajustaron el brillo de confort en la misma, con el objetivo de reducir los tiempos de ejecución. En esta experimentación complementaria se empleó un brillo constante de 4 niveles, equivalente a 44.3 Cd/m². Este dato fue retomado de los valores de brillo de confort de la experimentación anterior. Ambos grupos realizaron la memorización con fondos negros, ya que en la experimentación anterior fueron

determinados como los fondos de confort. Las listas por memorizar fueron diferentes para cada escenario y estaban compuestas por 12 sílabas sin sentido. En la figura 93 se observa el diseño de la experimentación complementaria.

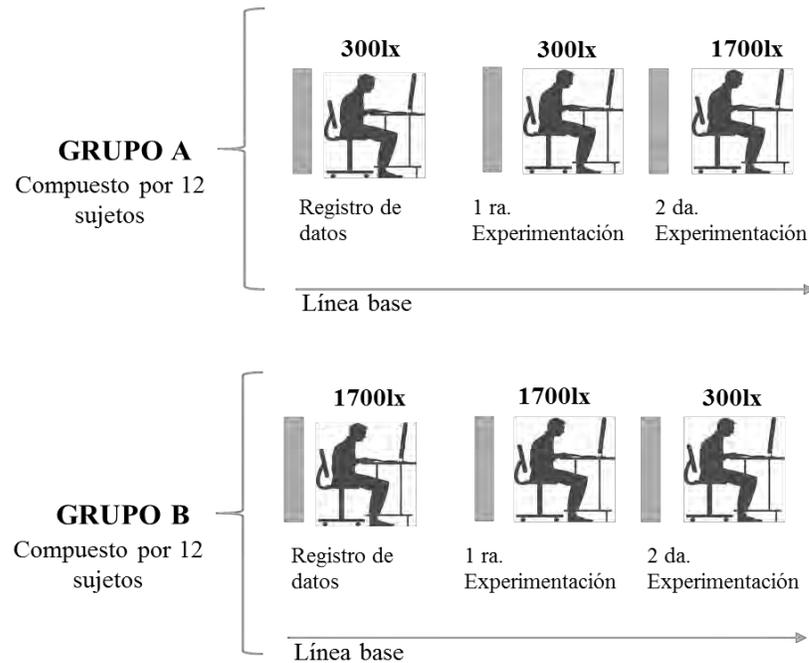
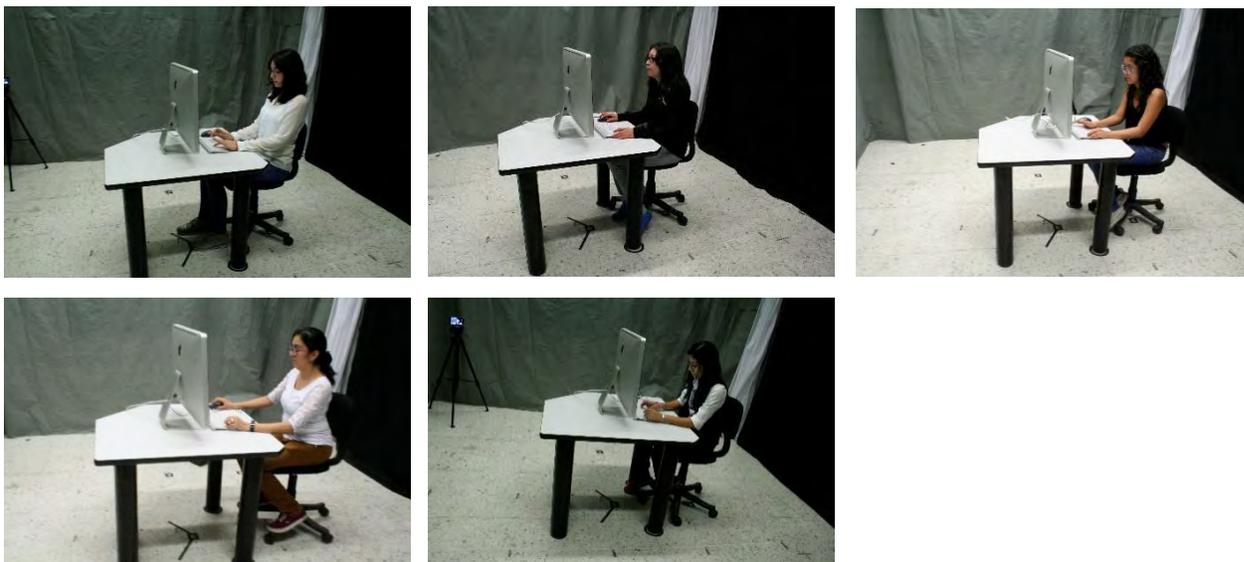


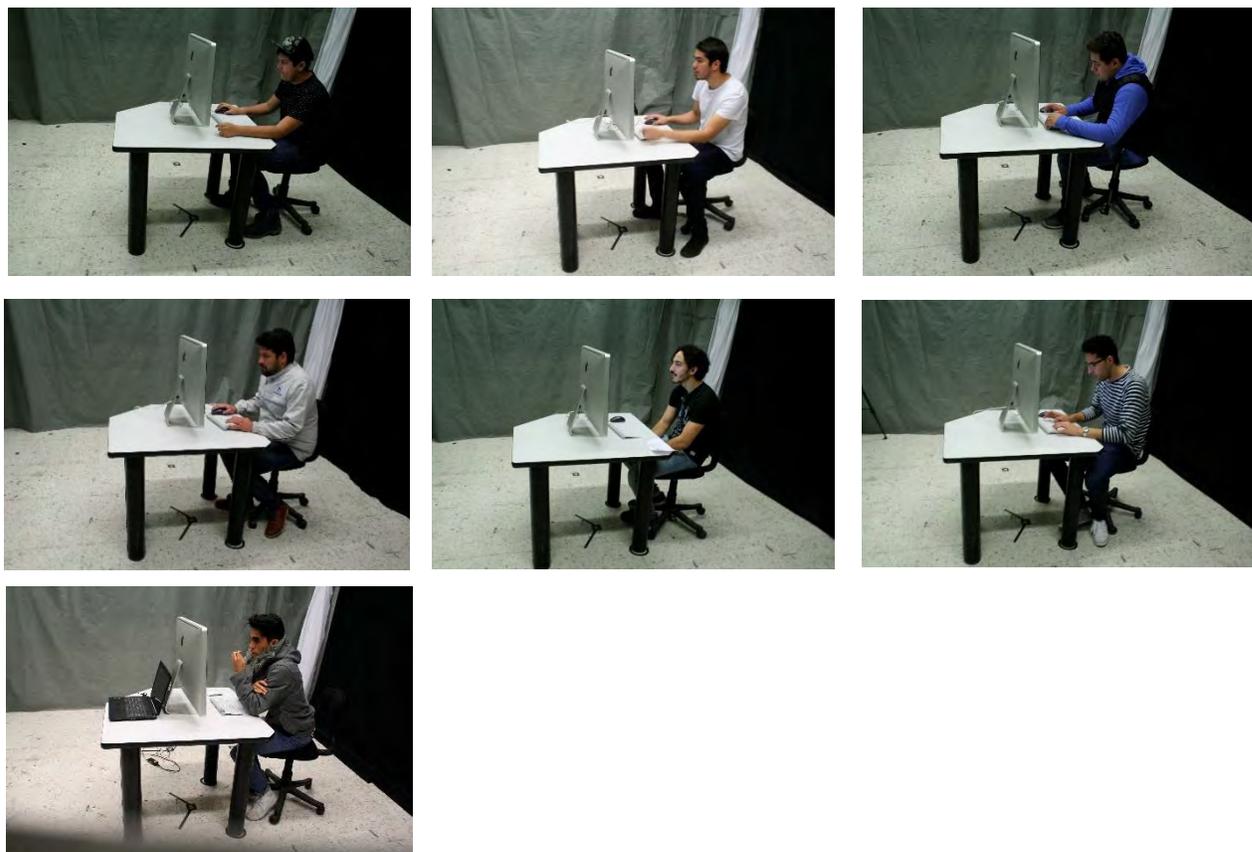
Figura 93 Esquema del diseño de experimentación complementaria
Fuente: (IDAE, 2005)

El grupo A estuvo integrado por 12 sujetos, 5 mujeres y 7 hombres. La segunda vez que este grupo ingresó al LIA comenzó por memorizar una lista de sílabas sin sentido en el escenario 6, con 300 lux y fondo negro, después, registró las sílabas memorizadas y posteriormente, estableció su percepción del ambiente luminoso. Enseguida ingresó por tercera vez al laboratorio para memorizar la lista en el escenario 2, con 1700 lux y fondo negro, registró las sílabas memorizadas y, finalmente, estableció su percepción del ambiente luminoso. El grupo B estuvo integrado también por 12 sujetos, 7 mujeres y 5 hombres. La segunda vez que este grupo ingresó al LIA, comenzó, a diferencia del grupo anterior, en el escenario 2 con 1700 lux y fondo negro, donde memorizó y registró las sílabas sin sentido para establecer su percepción del ambiente luminoso. Después, ingresó nuevamente al laboratorio en el escenario 6 con 300 lux y fondo negro, donde memorizó y registró las sílabas sin sentido, para posteriormente establecer la percepción del ambiente.

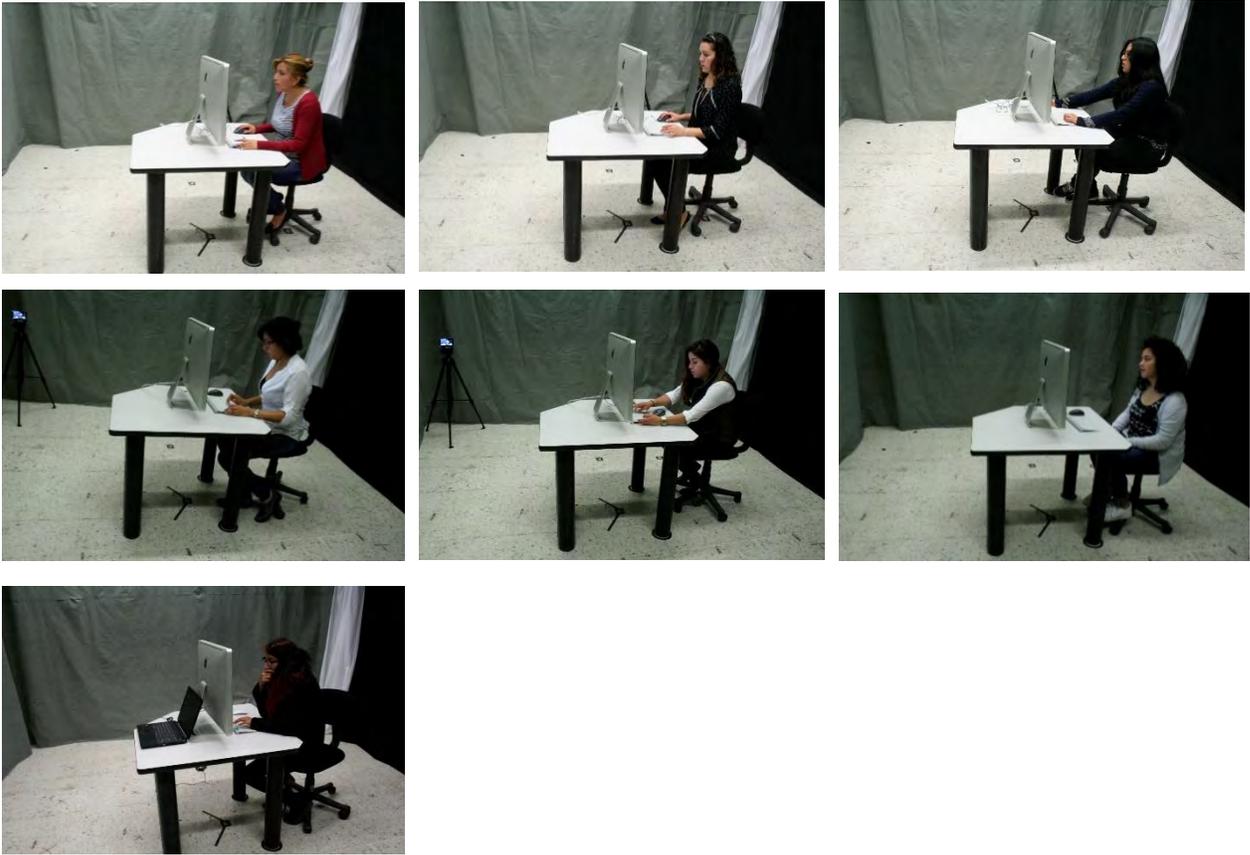
Las siguientes fotografías muestran la participación de cada sujeto en la experimentación por grupos Ay B.



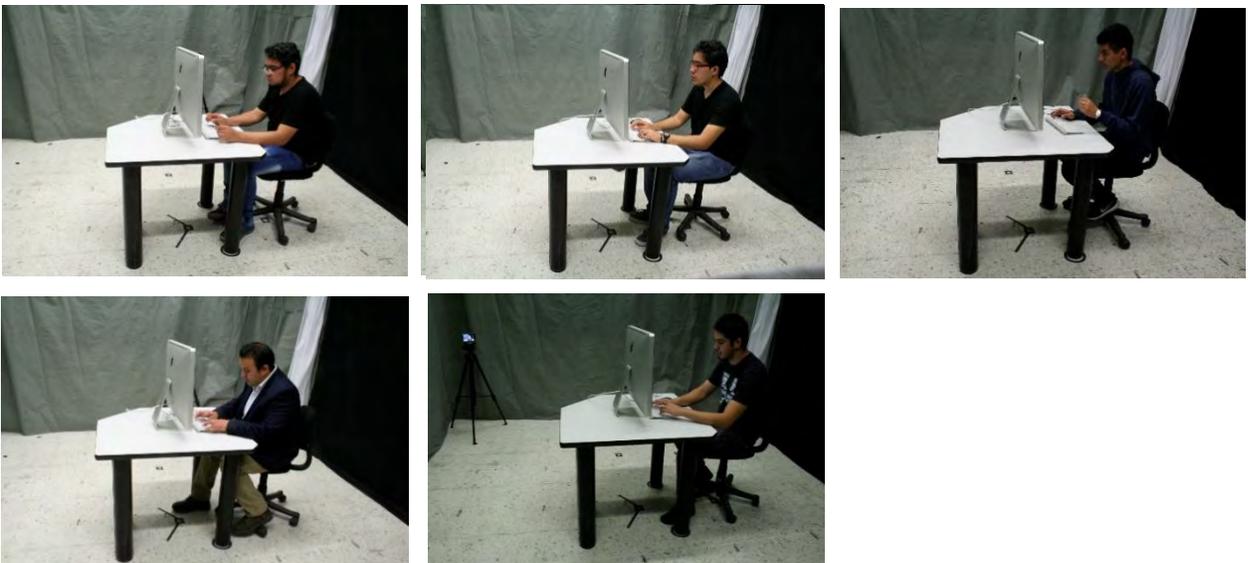
Fotografía 12. Integrantes del sexo femenino en el grupo experimental A
Fuente: Autoría propia



Fotografía 13. Integrantes del sexo masculino en el grupo experimental A
Fuente: Autoría propia



Fotografía 15. Integrantes del sexo femenino en el grupo experimental B
Fuente: Autoría propia



Fotografía 14. Integrantes del sexo masculino en el grupo experimental B
Fuente: Autoría propia

6.3.1 Descripción de las variables nominales

A continuación se realizó un análisis descriptivo general de los datos obtenidos en la experimentación complementaria. Se comenzó con las variables nominales que son: la edad, género, licenciatura, uso de lentes y problemas de visión.

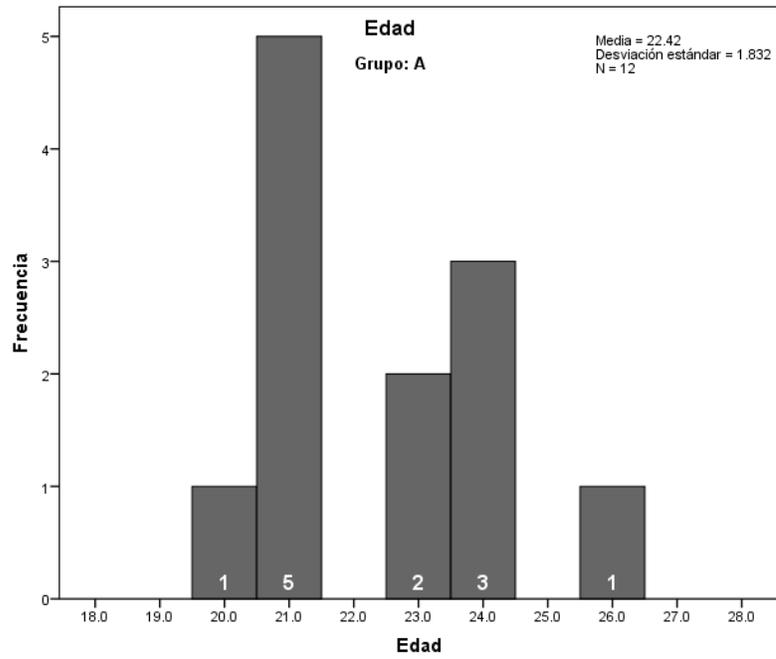
La experimentación se realizó basada en un muestreo no probabilístico selectivo, es decir, los participantes fueron elegidos con determinadas características para controlar un mayor número variables. Igual que la experimentación anterior, se determinó una población compuesta por la misma cantidad de hombres y mujeres para homogenizar los resultados.

La tabla 51 muestra para el grupo A un porcentaje de 41.7% mujeres y 58.3% hombres, es decir 5 mujeres y 7 hombres, mientras que para el grupo B presenta un porcentaje de 58.3 % mujeres y 41.7% hombres, esto es, 7 mujeres y 5 hombres, con un total de 24 sujetos.

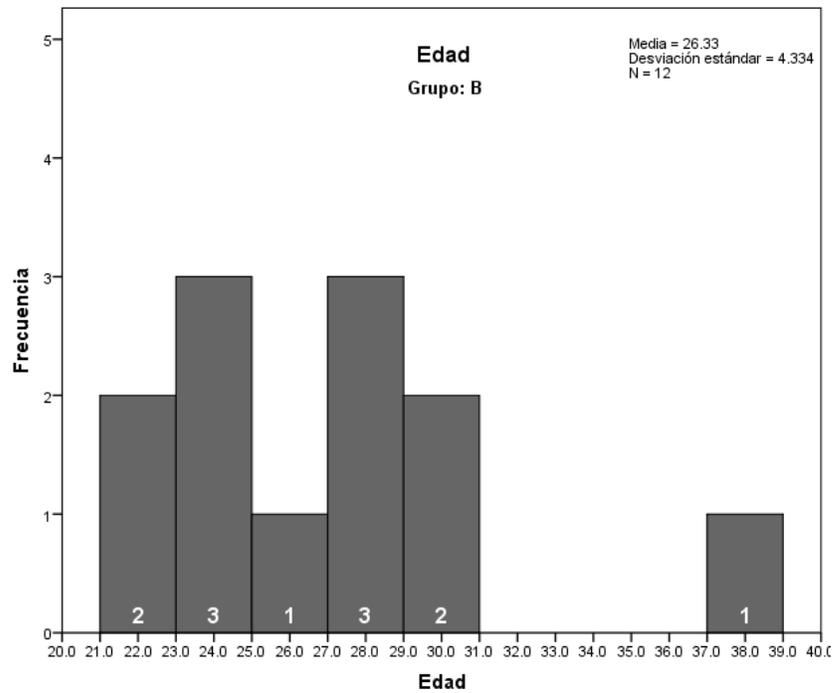
Tabla 51. Estadísticos de la distribución de la población experimental por grupo A y B.
Fuente: Elaboración propia

Grupo			Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
A	Válido	Femenino	5	41.7	41.7
		Masculino	7	58.3	100.0
		Total	12	100.0	
B	Válido	Femenino	7	58.3	58.3
		Masculino	5	41.7	100.0
		Total	12	100.0	

Las siguientes gráficas muestran la distribución de edades. A pesar de que los sujetos fueron elegidos de grupos de estudiantes específicos, existieron variaciones en las edades. En el grupo A, las frecuencias más altas fueron las edades de 21 años (41.7 %) presentando una media de 22.46 años. (Ver gráfica 48). Mientras en el grupo B, las edades más frecuentes fueron 23 años (24%) y 27 años (26%) con una media de 26.33 años. (Ver gráfica 49)



Gráfica 48. Distribución de edades para el grupo experimental A.
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 49. Distribución de edades para el grupo experimental B.
Fuente: Elaboración propia

La experimentación se realizó, del mismo modo que la experimentación anterior, con una población perteneciente al área de Ciencias y Artes para el Diseño de la UAM, participaron 23 alumnos de la licenciatura de Arquitectura (97.4 %) y 1 alumno de Diseño Industrial (2.6 %). (Ver tabla 52)

Tabla 52. Tabla de distribución de la población experimental por licenciatura.
Fuente: Elaboración propia

Licenciatura	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Arquitectura	23	60.5	97.4
Diseño Industrial	1	2.6	100.0
Total	24	100.0	

La tabla 53 muestra los valores de los sujetos que usan lentes y los problemas de visión que presentan, ver tabla 53. En grupo **A**, 4 sujetos usan lentes, de los cuales 3 presentan miopía, y 1 astigmatismo. Mientras que en el grupo **B**, 8 sujetos usan lentes, de los cuales 2 presentan miopía, 2 astigmatismo y 4 presentan ambas, miopía y astigmatismo. El resto de los sujetos en ambos grupos no usan lentes y tampoco presentan problemas de visión.

Tabla 53. Tabla cruzada Uso de lentes*Problemas de visión
Fuente: Elaboración propia

Recuento

Grupo	Usos de lentes		Problemas de visión			Total
			Miopía	Astigmatismo	Miopía y Astigmatismo	
A	Usos de lentes	Sí	3	0	1	4
		No	0	0	1	1
	Total		3	0	2	7
B	Usos de lentes	Sí	2	2	4	8
		No	0	0	0	4
	Total		2	2	4	8

6.3.2 Descripción de las variables a nivel intervalo

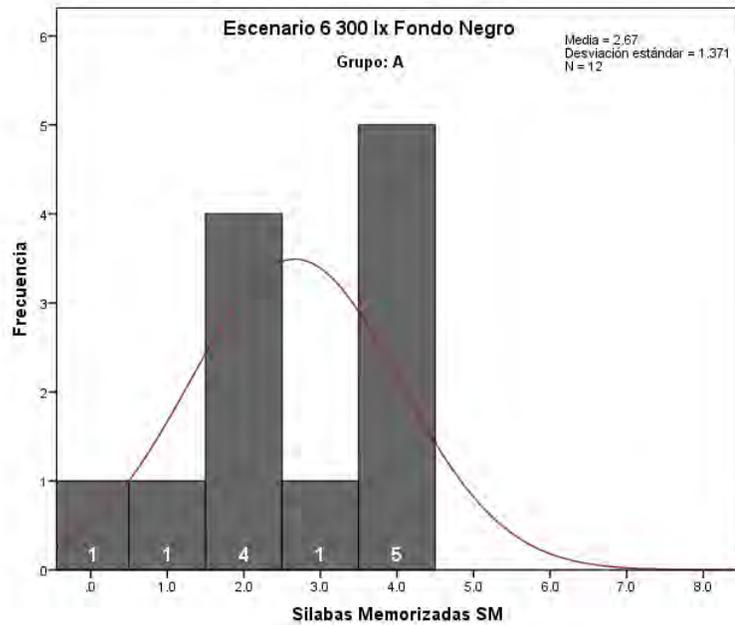
Para continuar con el análisis descriptivo de los datos, se presentan las variables a nivel o escala de intervalo, es decir, que pueden representarse en medidas o magnitudes. Estas variables fueron: a) los resultados de las pruebas de memorización a corto plazo y b) la percepción del ambiente.

Se comienza con los resultados de la memorización a corto plazo. Se muestra la tabla 54 con los resultados obtenidos para cada grupo, los valores de la suma representan el total de las SM por todos los sujetos del grupo para cada escenario. El grupo A obtuvo 32 SM en el escenario 6 (300 lux con fondo negro), posteriormente en el escenario 2 (1700 lux con fondo negro) logró 54 SM. Mientras el grupo B obtuvo 42 SM en el escenario 2 (1700 lux con fondo negro) y 48 SM en el escenario 6 (300 lux con fondo negro).

Tabla 54. Datos estadísticos del número de SM para cada grupo experimental en los escenarios 6 y 2.
Fuente: Elaboración propia

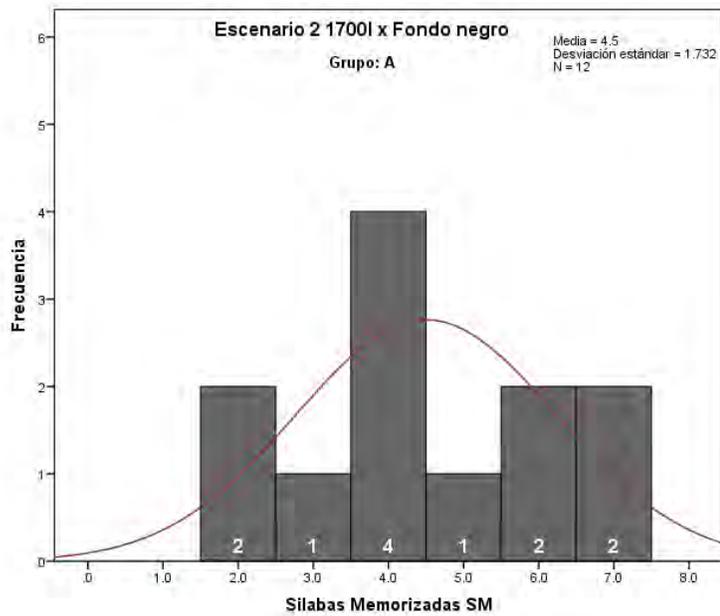
Grupo	Escenario	Mínimo	Máximo	Suma	Media	Desviación estándar
A	Escenario 6 300 lux Fondo Negro	.0	4.0	32.0	2.667	1.3707
	Escenario 2 1700l x Fondo negro	2.0	7.0	54.0	4.500	1.7321
B	Escenario 2 1700l x Fondo negro	2.0	5.0	42.0	3.500	1.0871
	Escenario 6 300 lux Fondo Negro	1.0	7.0	48.0	4.000	1.8091

Las gráficas 50 y 51 muestran la frecuencia de número de SM para cada grupo experimental. En la gráfica 50, correspondiente al grupo A, se observa una media de 2.6 SM para el escenario 6, donde se realizó la primera memorización de sílabas.



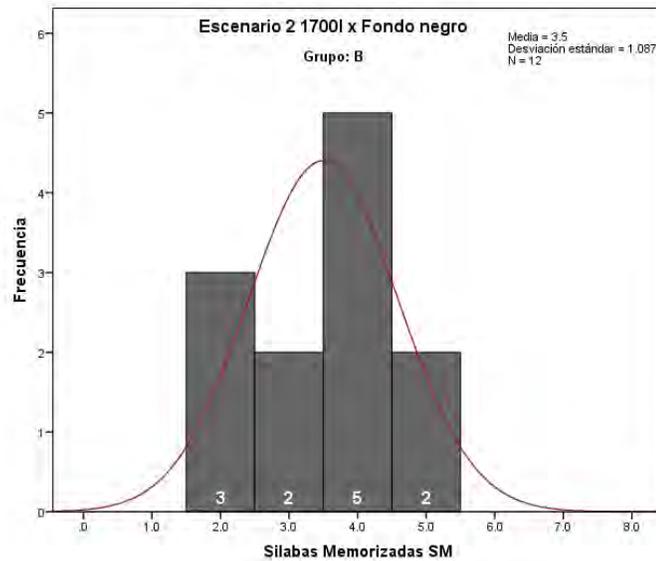
Gráfica 50. Comportamiento en el número de SM para el grupo A en el escenario 6.
Fuente: Elaboración propia

En tanto en la gráfica 5, se observa una media de 4.5 SM para el escenario 2 (1700 lux), donde se realizó la segunda memorización de sílabas para el mismo grupo A.



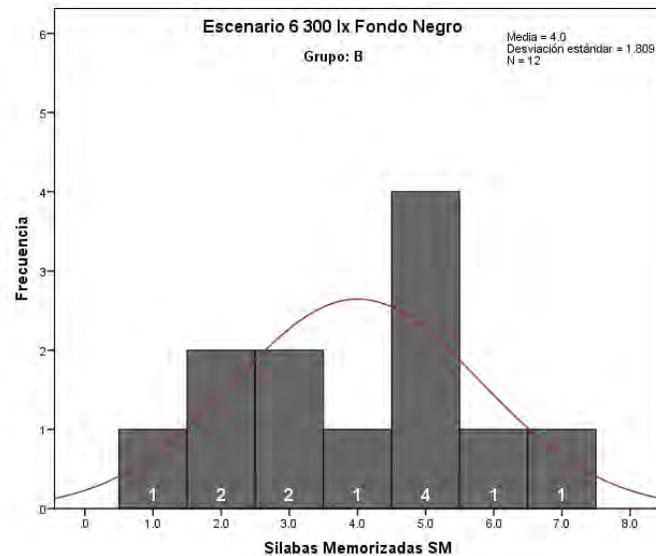
Gráfica 51 Comportamiento en el número de SM para el grupo A en el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

Las gráficas 52 y 53 muestran la frecuencia de número de SM para el grupo B. En la gráfica 52 se observa una media de 3.5 SM para el escenario 2 (1700 lux), donde se realizó la primera memorización de sílabas.



Gráfica 52. Comportamiento en el número de SM para el grupo B en el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

En tanto en la gráfica 53 se observa una media de 4.0 SM para el escenario 6 (300 lux), donde se realizó la segunda memorización de sílabas.



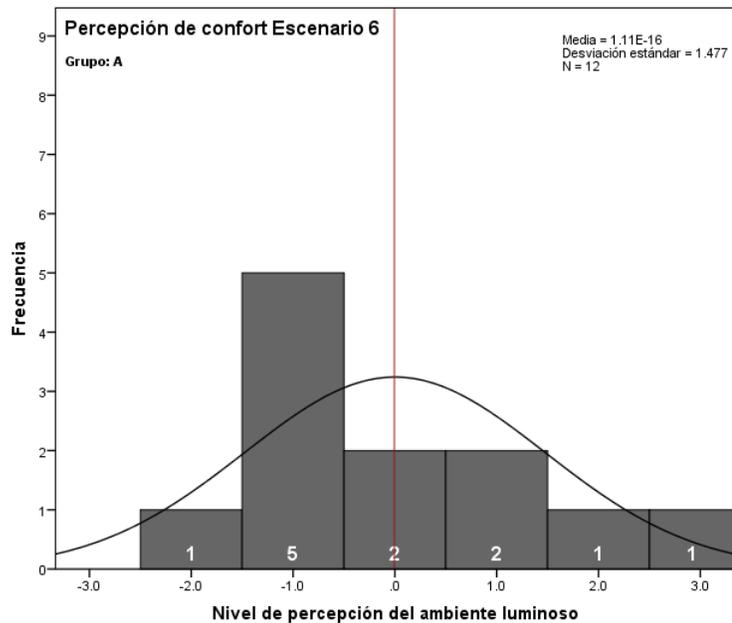
Gráfica 53. Comportamiento en el número de SM para el grupo B en el escenario 6.
Fuente: Elaboración propia

Se continúa con la descripción de los datos obtenidos en la segunda experimentación. La tabla 55 muestra la media de la percepción del ambiente luminoso. El grupo A tuvo la percepción de confort en el primer escenario 6, es decir, la media fue .00. El segundo escenario 2 fue percibido como deslumbrante con una media de .833. El grupo B percibió el primer escenario 6 como deslumbrante con un valor de 1.167, y el segundo escenario 6 fue percibido en confort.

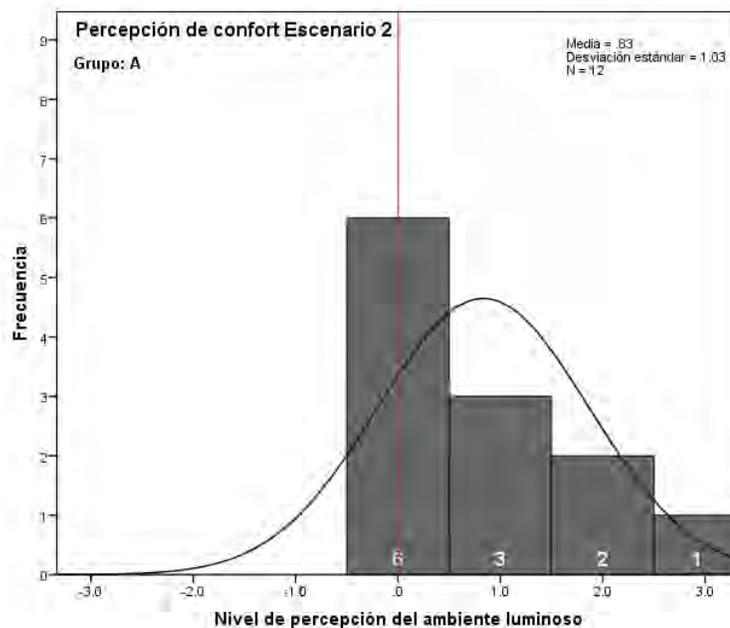
Tabla 55. Media del valor de la percepción para cada grupo experimental en los escenarios 2 y 6.
Fuente: Elaboración propia

		Estadísticos	
Grupo A	Media	Escenario 6 (300 lux)	Escenario 2 (1700 lux)
		.000	.833
Grupo B	Media	Escenario 2 (1700 lux)	Escenario 6 (300 lux)
		1.167	.000

Las gráficas 54 y 55 muestran el nivel de percepción del ambiente luminoso para cada grupo. La gráfica 54 corresponde a la percepción del ambiente luminoso para el grupo A, en el primer escenario donde se realizó la memorización, esto es, el escenario 6 con 300 lux. Se observa la curva de la media en la línea roja de confort. Mientras que la gráfica 55 corresponde a la percepción del ambiente luminoso para el grupo A, en el segundo escenario donde se realizó la memorización, es decir, el escenario con 1700 lux. La curva de la media se ubica a la derecha de la línea de confort, es decir, se percibe en los valores deslumbrantes.



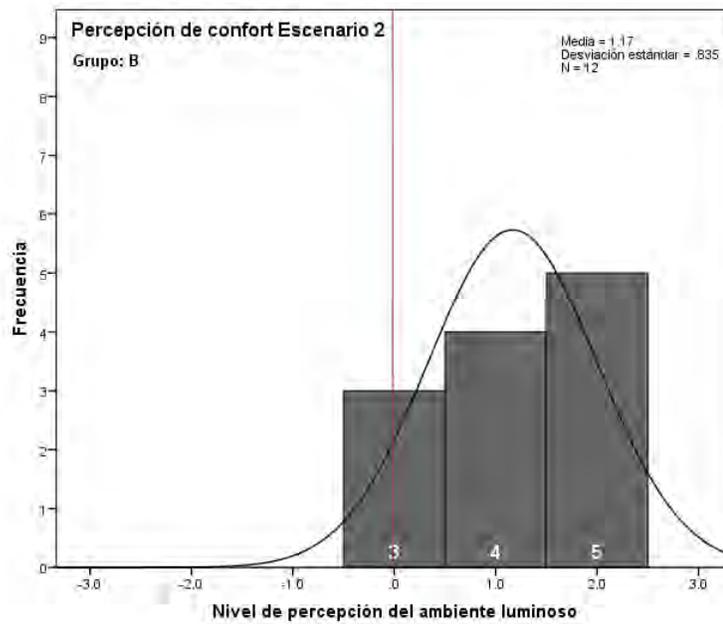
Gráfica 54. Comportamiento en el valor de Percepción para el grupo A en el escenario 6.
Fuente: Elaboración propia



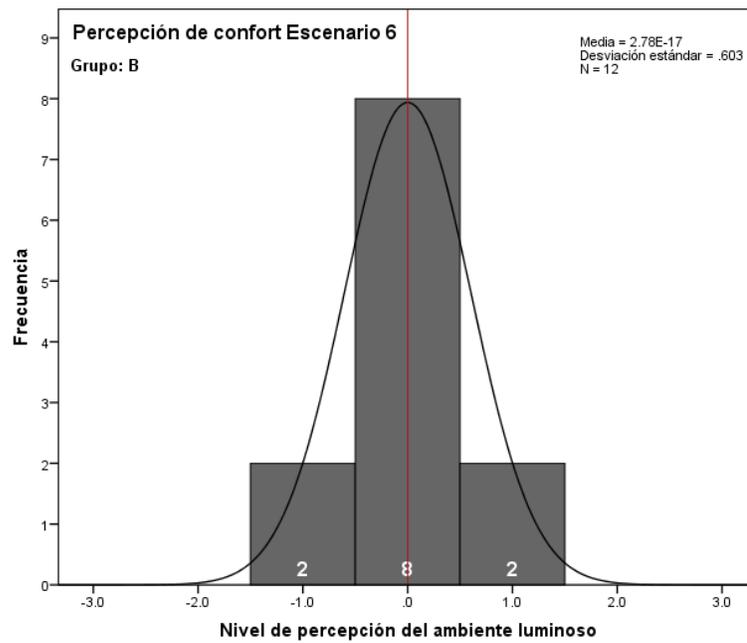
Gráfica 55. Comportamiento en el valor de Percepción para el grupo A en el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia

La gráfica 56 muestra la percepción del ambiente luminoso para el grupo B, en el primer escenario donde se realizó la memorización, es decir, el escenario con 1700 lux. Se observa que la curva de la media tiende hacia los valores positivos, esto indica la percepción de un ambiente deslumbrante. En tanto la gráfica

57 muestra el valor de la media en la línea de confort, para el segundo ambiente luminoso, esto es, el escenario 6 con 300lux.



Gráfica 56. Comportamiento en el valor de Percepción para el grupo B en el escenario 2.
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 57. Comportamiento en el valor de Percepción para el grupo B en el escenario 6.
Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Análisis de datos para experimentación complementaria

Ya que se han descrito los datos obtenidos en la experimentación complementaria, se procedió al análisis, se recuerda al lector que esta segunda experimentación se realizó con dos grupos experimentales, *A* y *B*, que permitieron un estudio comparativo entre el comportamiento de cada grupo respecto a la primera y segunda vez que realizaron la experimentación. La tabla 56 muestra cuatro posibles análisis comparativos para apoyar la hipótesis planteada respecto a la influencia del ambiente luminoso en la memorización a corto plazo, así como la intervención de alguna variable extraña en este tipo de experimentaciones. Estos análisis fueron: a) *Diferencia cruzada por iluminancia*, b) *Diferencia por motivación o adaptación*, c) *Diferencias por capacidades de grupo* y d) *Diferencia por cambios de iluminancia*.

Tabla 56. Análisis comparativos por variable y grupo experimental
Fuente: Elaboración propia

Grupo	1ra vez	2da. vez	a) Diferencia por cambios de escenario	b) Diferencia por capacidades de grupo	Media de confort	
A	300 lux	1700 lux		Total, grupo A	300 lux	1700lux
	32	54	22	86	.000	.833
B	1700 lux	300 lux		Total, grupo B	1700 lux	300 lux
	42	48	6	90	1.167	.000
c) Diferencia cruzada por iluminancia						
	96	80				
d) Diferencia por motivación o adaptación.						
	74	102				

El primer análisis corresponde a la *diferencia por cambio de escenario*. Esta comparación corresponde al análisis del tipo línea base, es decir, la comparación de los resultados para cada grupo en los dos diferentes escenarios. El grupo A obtuvo 32 SM en el escenario de 300 lux y 54 SM en el escenario de 1700 lux, con una diferencia de 22 SM, es decir, hubo una mejoría considerable al aumentar la iluminancia del ambiente. Por otro lado, el grupo B obtuvo 42 SM en el escenario de 1700 lux y 48 SM en el escenario

con 300 lux, con una diferencia de 6 SM, lo anterior indica que hubo poca mejoría al reducir la iluminancia del ambiente.

El segundo análisis se refiere a las diferencias por capacidades del grupo. Este término corresponde a la comparación de la suma de sílabas memorizadas entre grupos, es decir, el grupo A obtuvo 86 SM en total, mientras que el grupo B obtuvo 90 SM. Esto indica que el grupo 2 tuvo mejor memorización.

El tercer análisis corresponde a la *diferencia cruzada por iluminancia*; este término se refiere a la comparación de la suma de sílabas memorizadas para ambos grupos obtenidos en 1700 lux y 300 lux, es decir, se comparan los resultados obtenidos en los mismos escenarios, sin importar el orden en el que se ejecutaron para ambos grupos. En el escenario 2 (1700 lux) se memorizaron en total 96 SM, mientras que en el escenario 6 (300 lux) se lograron memorizar 80 SM. Esto representa de manera global una mejora en la memorización en el escenario más iluminado de 1700 lux.

Finalmente, el cuarto análisis es la *diferencia por motivación o adaptación*, que busca la existencia de alguna variable involucrada con el orden de ejecución de la experimentación. Esta diferencia se refiere a la comparación en la suma de sílabas memorizadas por orden de ejecución para ambos grupos. La primera vez que los sujetos realizaron la experimentación sumaron un total de 74 SM, en tanto, la segunda vez sumaron en total 102 SM. Lo anterior indica que ya sea por motivación o por adaptación a la experimentación, existe un aumento en el número de SM al realizar la segunda experimentación. Esto es, sin importar el orden de los dos escenarios de iluminación, existe una tendencia a aumentar el número de SM en los últimos escenarios. Este análisis confirma la existencia de esta variable, que puede ser más fuerte, incluso, que las condiciones de iluminación.

Con base en los análisis previos, se puede entender los resultados obtenidos en esta segunda experimentación. El grupo A presentó una mejoría considerable cuando inició la experimentación en el escenario menos iluminado y terminó en el escenario más iluminado, pues en el segundo escenario ya estaba influenciado por la variable de motivación o adaptación y, además, por los efectos de un ambiente más iluminado.

En tanto el grupo B, no presentó una mejoría considerable cuando comenzó la experimentación en un escenario más iluminado y terminó en el escenario menos iluminado, pues en el primer escenario con mayor iluminación, no estuvo influenciado por la variable de motivación o adaptación y obtuvo un resultado similar

al segundo escenario menos iluminado, en donde ya estaba influenciado por la variable de motivación o adaptación. Entonces, en el segundo escenario menos iluminado donde la variable de motivación o adaptación ya ha afectado a los sujetos, no hubo una mejora considerable en el número de SM, es decir, en el segundo escenario, a pesar de tener ventaja por involucrar ya la variable de motivación o adaptación, el ambiente poco iluminado no ayudó a la memorización.

Por otro lado, se puede especular que el grupo B obtuvo mejores resultados (90 SM) debido a que desde la primera vez que ingresaron al laboratorio, fueron sometidos a una iluminancia alta, es decir, un ambiente más favorable. Mientras el grupo A, comenzó la experimentación en el escenario menos favorable y posiblemente afectó el número de SM totales (86 SM).

Con este análisis se confirma en cuanto a la memorización a corto plazo, que los sujetos presentaron mayor memorización en el escenario de 1700 lux, en consideración de que existe una variable de motivación o adaptación que genera un aumento en el número de SM para los últimos escenarios.

Respecto a la percepción del ambiente luminoso, el grupo A percibió el primer escenario de 300 lux en confort y el segundo de 1700 lux como poco deslumbrante, con un valor positivo medio de 0.833. En tanto, el grupo B que comenzó la experimentación en el escenario de 1700 lux percibió el mismo ambiente más deslumbrante que el grupo A, con un valor positivo medio de 1.167.

Cuando se inició la experimentación en 1700 lux, el escenario fue percibido más deslumbrante porque no hubo un escenario previo que permitiera la adaptación de la vista, por el contrario, cuando hubo un escenario previo, como lo fue el escenario de 300 lux, entonces el escenario de 1700 lux fue percibido un poco menos deslumbrante que el grupo B.

Lo anterior indica que para entrar en ambientes altamente iluminados es necesaria una zona de transición que permita la adaptación de la vista, para que el escenario altamente iluminado no sea percibido como deslumbrante.

Conclusiones

En la primera experimentación se obtuvieron resultados que indicaban un comportamiento extraño en el número de sílabas memorizadas para el último escenario menos iluminado, en la tabla 57 se observa el comportamiento de la media en el número de SM para la primera experimentación.

Tabla 57. Estadísticos de la suma de *SM* para cada escenario en la primera experimentación.
Fuente: Elaboración propia

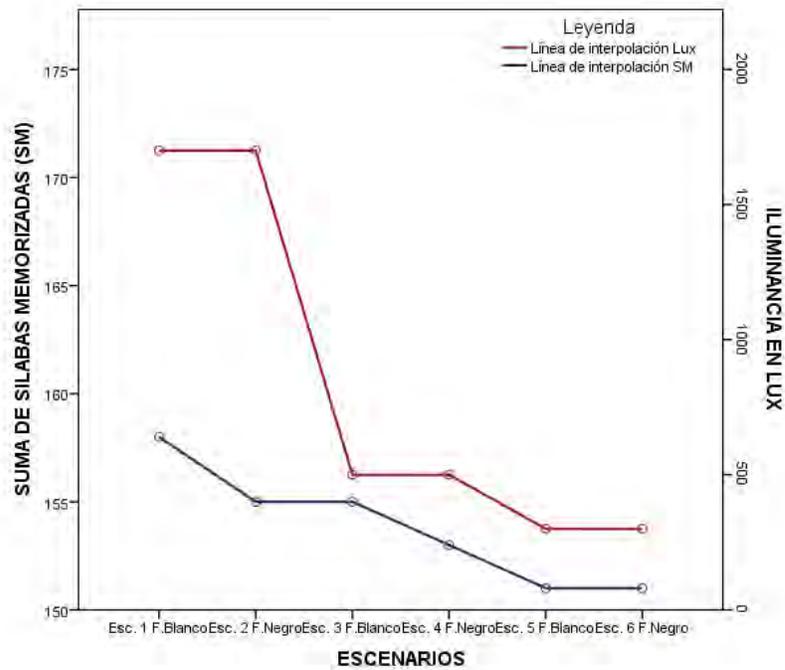
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
SM Esc.1	30	0	8	5.27	2.227
SM Esc. 2	30	2	8	5.17	1.763
SM Esc. 3	30	1	8	5.17	1.949
SM Esc. 4	30	0	8	5.10	2.310
SM Esc. 5	30	0	8	5.03	2.141
SM Esc. 6	30	2	8	5.83	2.052
N válido (por lista)	30				

Entonces se elaboró una segunda experimentación complementaria, para definir la existencia de una variable extraña. La tabla 58 muestra los resultados obtenidos en el escenario 2 con 1700 lux y el escenario 6 con 300 lux. El escenario 2 presenta una media de 4 SM respecto al escenario 6 con 3.3 SM.

Tabla 58. Estadísticos de la suma de *SM* para cada escenario en la experimentación complementaria
Fuente: Elaboración propia

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
SM Esc.2	24	2.0	7.0	4.000	1.5036
SM Esc. 6	24	.0	7.0	3.333	1.7110
N válido (por lista)	24				

La tabla anterior confirma que el escenario más iluminado incrementa el número de SM, es decir, se pueden eliminar los datos del escenario 6 obtenidos en la primera experimentación, pues están influenciados por la variable de motivación o adaptación. Entonces, para dar conclusiones se presenta la gráfica 58 que relaciona el número de SM con la iluminancia del espacio, excluyendo los datos del escenario 6 y gráficamente conservando los datos del escenario 5 en el escenario 6.



Gráfica 58. Relación entre el número de SM con la iluminancia de la primera experimentación, omitiendo el dato del escenario 6
Fuente: Elaboración propia

Se retoma la tercera hipótesis pendiente por concluir:

Tanto menor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización a corto plazo

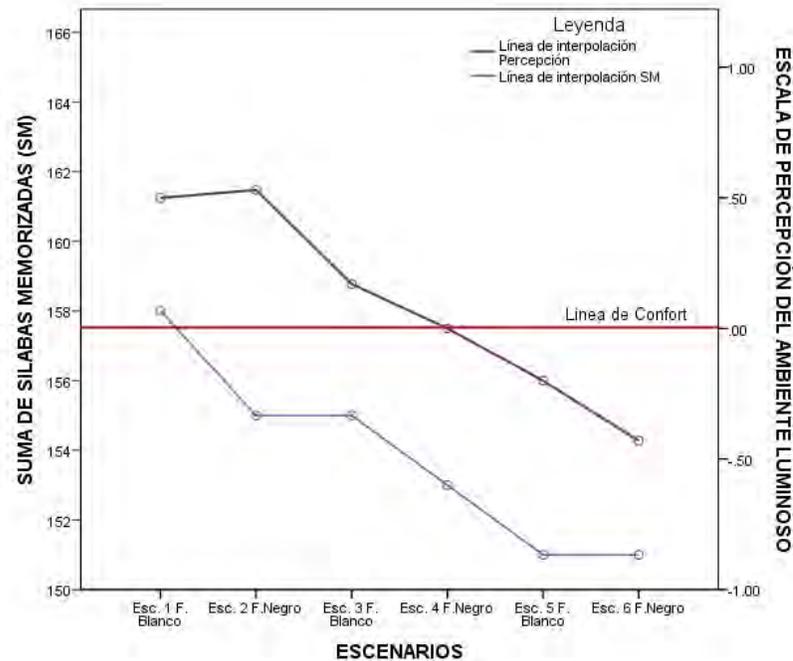
Esta hipótesis resulta nula, pues según los resultados obtenidos:

Tanto mayor sea la iluminancia en el plano de trabajo horizontal, en el lugar donde los estudiantes usan una pantalla de computadora, tanto mayor será la memorización.

Entonces se puede concluir respecto a esta hipótesis, que los escenarios más iluminados aumentan el número de SM. Sin embargo, otro aspecto a considerar para dar recomendaciones de diseño es la percepción del ambiente luminoso.

La gráfica 59 muestra la percepción de confort respecto al número de SM. Una vez descartados los datos del escenario 6 obtenidos en la primera experimentación, se decidió mantener el valor del escenario 5

en el escenario 6, debido a que ambos escenarios tienen una iluminancia de 300 lux, esto permite neutralizar los valores del escenario 6 para efectos estadísticos y gráficos.



Gráfica 59. Relación entre la percepción de confort y el número de SM de la primera experimentación, omitiendo el dato del escenario 6
Fuente: Elaboración propia

Al cambiar el valor del escenario 6 por el escenario 5, existen cambios estadísticos, pues la tendencia en los datos ya no se modifica radicalmente. La tabla 59 muestra la correlación obtenida al eliminar los datos registrados originalmente en el escenario 6, para dar lugar a nuevas correlaciones. Se observa entonces una relación significativa entre variables independientes y variables dependientes. La primera variable independiente es la iluminancia del espacio, y tiene una correlación con un nivel de significancia mayor con las siguientes variables dependientes: el número de sílabas memorizadas SM, el nivel de brillo de confort NBC y la percepción de ambiente luminoso.

En cuanto a la variable independiente de la luminancia del fondo reflejado en la pantalla, no se encontró correlación significativa estadística con las variables dependientes. La correlación más alta fue el número de SM con .706. Se recuerda al lector que cuando los valores se acercan al 1 la correlación estadística es más fuerte.

Por otro lado, entre variables dependientes también se encontraron correlaciones en un nivel de significancia menor. Dichas correlaciones se dieron entre: el número de sílabas memorizadas SM, el nivel de brillo de confort, y la percepción del ambiente luminoso.

Tabla 59. Correlación de variables a partir del método Rho de Spearman
Fuente: Elaboración propia a partir de SPSS

			LUMINAC				
			ILUMINA NCIA	IA EN EL FONDO	MEDIA DE SM	MEDIA DE NBC	MEDIA DE PERC.
Rho de Spearman	ILUMINANCIA EN LUX	Coeficiente de correlación	1.000	.478	.923**	.956**	.956**
		Sig. (bilateral)	.	.338	.009	.003	.003
		N	6	6	6	6	6
	LUMINANCIA EN EL FONDO Cd/m2	Coeficiente de correlación	.478	1.000	.706	.371	.543
		Sig. (bilateral)	.338	.	.117	.468	.266
		N	6	6	6	6	6
	MEDIA DEL NUMERO DE SM	Coeficiente de correlación	.923**	.706	1.000	.883*	.883*
		Sig. (bilateral)	.009	.117	.	.020	.020
		N	6	6	6	6	6
	MEDIA DE NBC	Coeficiente de correlación	.956**	.371	.883*	1.000	.829*
		Sig. (bilateral)	.003	.468	.020	.	.042
		N	6	6	6	6	6
	MEDIA DE PERCEPCION	Coeficiente de correlación	.956**	.543	.883*	.829*	1.000
		Sig. (bilateral)	.003	.266	.020	.042	.
		N	6	6	6	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Dado que el objetivo de esta investigación es definir el ambiente luminoso que favorece al proceso cognitivo, se diseñó un esquema que permite ubicar de manera visual los factores de iluminación involucrados en el uso de una pantalla de computadora, para llegar a determinar el ambiente luminoso que favorece al proceso de memorización.

El esquema de la figura 94 se realizó en tonalidades grises, para representar visualmente la escala de iluminación. Se diseñó equiparando la escala de grises RGB con las escalas numéricas de las variables, de tal suerte que las tonalidades más claras representan un valor más alto de la variable y, en el sentido contrario, las tonalidades más oscuras representan los valores más bajos; lo anterior con la finalidad de comparar visualmente todas las variables, a manera de un lienzo que revela parte de una imagen mediante pixeles.

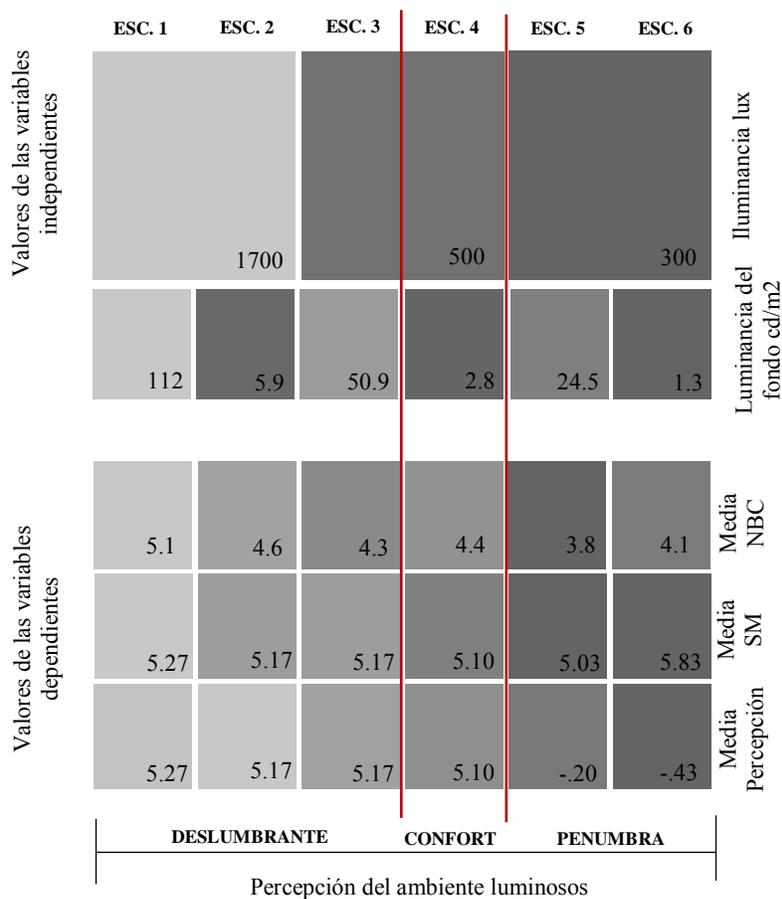


Figura 94. Representación de los valores obtenidos en la experimentación, mediante escala de grises.
Fuente: Autoría propia

El esquema anterior demuestra que cuando las variables dependientes del ambiente luminoso disminuyen o se oscurecen, entonces los datos de memorización se comienzan a teñir de tonos oscuros, es decir, disminuyen. El confort también se localiza más cerca de las tonalidades oscuras.

Este lienzo permite llegar a conclusiones a partir de la visualización de la combinación de múltiples variables. Entonces, **este esquema indica que la memorización mediante la visualización de pantallas de**

computadora tiende a aumentar en los tonos más claros, es decir, en ambientes más iluminados (1700 lux), sin embargo, el confort se percibe en un ambiente no altamente iluminado (500 lux).

La experimentación anterior demostró que el escenario de 500 lux con fondo negro fue preferido como ambiente de confort, a partir de esta luminancia y hasta por lo menos 1700 lux presentan mejor memorización a corto plazo. Sin embargo, en una luminancia tan alta, los sujetos comienzan a percibir el ambiente como deslumbrante, es decir, fuera de confort lumínico. Para tener un acercamiento a las recomendaciones de diseño de un aula de cómputo, respecto a las relaciones de luminancia tarea y fondo, se emplean como guía de comparación las tablas generadas por la Illuminating Engineering Society.

La tabla 60 muestra las recomendaciones sobre las relaciones de luminancia entre una tarea visual y su entorno, respecto a la intención de la tarea. Es en esta tabla donde se pueden dar valores más acotados, pues esta investigación alcanzó los tres aspectos: el efecto no visual de la luz en la memorización a corto plazo como parte del proceso cognitivo, el confort visual, y los efectos del reflejo de velo mediante la luminancia del fondo reflejado en la pantalla.

Tabla 60. Recomendaciones de luminancia entre tarea visual y entorno.
Fuente: The lighting Handbook, pág. 12. (IES, 2011). Traducción propia

Intención	Áreas de interés	Máxima relación de luminancia tarea-fondo
Mantener la atención en una tarea	Tareas con fondos distantes	
	Tarea con fondo distante oscuro	10:1
	Tarea con fondo distante brillante	1:10
Mantener el confort visual	Tareas con una fuente de luz natural o artificial	1:40
	Tareas con una fuente de luz con superficies adyacentes a la fuente de luz	1:20
Minimizar reflexiones de velo	Pantallas tipo III CSA/ISO	
	Techo más brillante y las zonas de muro más oscuros	4:1

Las fotografías de abajo presentan los mapas de luminancia, obtenidos mediante la aplicación Luxmeter Pro, para el escenario con mayor memorización, el escenario de confort y el escenario con menor memorización; todos con una luminancia de pantalla ajustada en el nivel 4 equivalente a 44.3 Cd/m^2 , que corresponde al brillo de confort definido por la población. En las fotografías se representan las luminancias de acuerdo con la escala de color, en función de tarea-fondo que se simboliza en círculos blancos, mientras que el valor de la luminancia del fondo reflejado en la pantalla se representa en un círculo negro.



a) Mapa de luminancias en el escenario 2 (1700 lux fondo)

b) Mapa de luminancias en el escenario 4 (500 lux fondo)



c) Mapa de luminancias en el escenario 6 (300 lux fondo negro)

Fotografía 16. Mapas de luminancia con valores obtenidos de la escala de color.

Fuente: Edición propia a partir de Luxmeter Pro.

En la tabla 61 se observa que las relaciones de *tarea- fondo- fondo reflejado* empleadas en la experimentación, se encuentran dentro de los límites máximos recomendados por IES. Las relaciones tarea-fondo de los escenarios en estudio y su respuesta en la memorización y el confort, indican que los valores recomendados por la IES pueden ser aún más acotados. Sin embargo, demarcar las relaciones recomendadas por IES no es el objetivo de esta investigación.

Tabla 61. Luminancias por defecto y recomendaciones de intensidad de las luminarias para aplicaciones VDT
Fuente: The lighting Handbook, pág. 12 (IES, 2011). Traducción propia

Intención	Recomendación IES máxima relación de luminancia tarea-fondo	Caracterización del escenario 1 con mejor memorización	Caracterización del escenario 4 percibido en confort	Caracterización del escenario 6 con menor memorización
Mantener la atención en una tarea- memorización a corto plazo	10:1	120/100 0.80:1	51/79 1.50:1	26/55 2.1:1
Mantener el confort visual	1:20	100/120 1:1.2	79/51 1:1.5	55/26 1:2.1
Minimizar reflexiones de velo	4:1	112/100 1.12:1	2.8/79 0.03:1	1.6/55 0.02:1

Los escenarios percibidos en confort y con mayor memorización, presentaron una relación de luminancia entre tarea y fondo en los rangos de 1.5:1 a 0.80:1. El escenario 4, de 500 lux con fondo negro, que fue elegido como confortable visualmente presentó una relación de 1:1.5 respecto a la tarea- fondo. Las relaciones para minimizar las reflexiones de velo en el escenario más propicio para la memorización fueron 1.12:1 a .03:1.

En el escenario 2, el ambiente del campo visual tiene mayor luminancia que la tarea, y fue percibido como un ambiente deslumbrante y, sin embargo, se presentó mayor memorización. En el escenario 4 el ambiente del campo visual tiene 35% menos luminancia que la tarea y fue percibido como un ambiente

confortable visualmente. En el escenario 6 la luminancia del campo visual es menor en un 50% aproximadamente respecto a la tarea, y fue percibido como un ambiente en penumbra.

Para concluir, se retoma la hipótesis de esta investigación: “En la visualización de una pantalla de computadora, los ambientes menos iluminados brindan mayor confort visual en la realización de tareas, y afectan de manera negativa a los factores involucrados en el proceso cognitivo”. Después de los resultados obtenidos, se afirma que la hipótesis es válida para el grupo experimental bajo determinadas condiciones de iluminación.

Respecto al objetivo principal, se generaron relaciones de luminancia entre tarea y entorno luminoso que en la experimentación resultaron confortables visualmente hacia una mejora en el proceso cognitivo. Sin embargo, para generar parámetros aplicables a normativas de diseño y construcción de aulas de cómputo, es necesario realizar esta investigación con una población mayor, ya que el objeto principal de la investigación es el ser humano y su experiencia en el espacio.

Mientras que los objetivos particulares se cumplieron cabalmente, desde conocer las normativas y recomendaciones existentes a nivel nacional e internacional, respecto a la iluminación y el diseño arquitectónico aplicables a las aulas de cómputo; conocer los términos aplicables al diseño de iluminación; hasta determinar, caracterizar y evaluar los factores de iluminación involucrados en el uso de una pantalla de computadora.

Recomendaciones

Del análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, se derivan una serie de recomendaciones respecto al diseño de aulas de cómputo y el empleo de pantallas.

Se comienza con las recomendaciones para el diseño de aulas de cómputo. Se sugiere que las aulas destinadas al uso de pantalla de computadoras para alumnos de pregrado, tengan iluminancias iguales o mayores a 500 lux en el plano de trabajo vertical, procurando mantener la relación de la luminancia del campo visual menor en un 35% respecto a la luminancia de la pantalla. Es decir, se puede aumentar la iluminancia de espacio para obtener mayor memorización, siempre y cuando el nivel de brillo de confort en la pantalla especular sea un 35% más alto que la luminancia del campo de visión general.

En las aulas de cómputo ya construidas con determinadas configuraciones, se recomienda implementar iluminancias provenientes de plafón iguales o mayores a 500 lux en el plano de trabajo vertical, procurar luminarias con iluminación indirecta, manteniendo proporciones de uniformidad en el plafón para evitar deslumbramientos directos por reflejos en la pantalla. Se recomienda el uso de lámparas eficientes y una correcta gestión de la iluminación a fin de disminuir el gasto energético. También se recomienda ampliamente controlar la luminancia proveniente de las ventanas, a fin de reducir los reflejos de velo. Emplear muros con bajas reflectancias (evitando el color blanco), sobre todo, en aquellos muros de fondo que puedan reflejarse en las pantallas de computadora.

Aunque esta experimentación se realizó con iluminación artificial para controlar el mayor número de variables posibles, no se desprecia en ningún modo el empleo de iluminación natural, entonces, para la construcción de nuevas aulas, se apuesta por un diseño que emplee la luz de día de forma cenital, con correctos difusores para evitar puntos deslumbrantes en el plafón, procurando mantener las relaciones de luminancia antes mencionadas. También, se recomienda el diseño de espacios de transición hacia las salas de cómputo, que amortigüen los cambios de iluminación de una zona altamente iluminada con espacios exteriores, hacia zonas menos iluminadas como las aulas, que permitan una amble adaptación de la vista. El diseño de estas nuevas aulas debe estar acompañado de una eficiente gestión de iluminación, para mantener constante la calidad de iluminación requerida, mientras se reduce el consumo energético.

Respecto a la pantalla de computadora, en esta investigación se observó que el NBC para visualizar una pantalla, está directamente relacionado con iluminancia del ambiente. Es decir, a iluminancias más altas se prefiere un nivel de brillo en la pantalla más alto. Una luminancia más alta en una pantalla especular reduce los reflejos de velo producidos por el ambiente del fondo. Estos reflejos impiden una correcta visualización de la pantalla al presentar iluminancias más altas que la propia pantalla. Se recuerda al lector que, sin embargo, las luminancias muy altas en las pantallas especulares producen un efecto de discomfort en los observadores. En esta investigación se encontraron los niveles de brillo de confort en la pantalla para cada escenario, que se pueden generalizar para la población muestra. Entonces, se recomienda que el sujeto pueda ajustar el brillo de la pantalla de manera accesible, para evitar falta de confort por la luminancias muy altas o muy bajas en la pantalla.

Consideraciones respecto a la NOM-025

Respecto a los datos cuantitativos establecidos por las normas y reglamentos relacionados con la iluminación de aulas de cómputo en México, se sugiere una revisión en los niveles mínimos de iluminancia para aquellas normativas que establecen valores por debajo de los 500 lux en el plano de trabajo.

La NOM-025 establece una iluminancia mínima de 500 lux en el plano de trabajo, así como los valores de reflectancia máxima en las superficies; en muros se establece una reflectancia máxima de 60%. En esta investigación, una parte de la experimentación se realizó en un ambiente de iluminación artificial con 1700 lux en el plano de trabajo horizontal, y con reflectancias en muro de 28 %, es decir, cumpliendo con la NOM-025. Sin embargo, un ambiente con estas características de iluminación se comienza a percibir como deslumbrante o fuera de confort.

Con relación a los valores cualitativos de la iluminación, la NOM-025 ofrece una metodología para identificar las zonas del área de trabajo que se encuentran fuera de confort, por iluminación deficiente o deslumbrante, que pueden provocar riesgos en la realización de una tarea. Sin embargo, esta metodología es generalizada para diferentes tareas, desde distinguir el área de tránsito, hasta tareas de alto grado de especialización en niveles desde 20 lux hasta 2000 lux; incluyendo las salas de cómputo clasificadas con el mismo tipo de tareas que las áreas de dibujo y los laboratorios de precisión.

A partir del análisis de la metodología de la norma, se ofrece como resultado de esta investigación, un procedimiento más detallado y complementario a la norma, para evaluar las zonas de trabajo en las salas de cómputo derivado del proceso de experimentación de esta investigación.

La norma establece una metodología respecto a la evaluación de la iluminación, para identificar los puntos o zonas de evaluación, en función de las necesidades lumínicas y características espaciales de cada zona. Entonces se propone para efectos de evaluación cualitativa, incluir dentro de las zonas de evaluación en un aula de cómputo, principalmente, las zonas de trabajo perimetrales inmediatas a las líneas de iluminación natural y artificial, así como las líneas frontales y posteriores; con la finalidad de determinar posibles deslumbramientos por reflexiones de velo. Se recomienda que el evaluador realice tareas de percepción de texto y figuras en las pantallas de los equipos de cómputo, verificando que se cumpla con la norma de ergonomía para el uso de computadoras ISO 9241. Se debe comprobar que el ajuste del nivel de brillo de la pantalla sea accesible para el usuario. Además, es necesario considerar que la edad de los usuarios es un factor

que modifica la percepción de confort, entonces, se propone realizar una evaluación conjunta con los usuarios habituales de la sala o aula de cómputo. Respecto a las relaciones de luminancia: en esta investigación se propone mantener la relación de la luminancia del campo visual menor en un 35% respecto a la luminancia de la pantalla, pero, este dato está limitado para un determinado grupo de sujetos con características muy específicas. Es necesario realizar más experimentaciones para llegar a recomendar datos aplicables a una norma, sin embargo, los datos obtenidos pueden ser una guía para el evaluador.

Como comentario final, es necesario que las normativas que regulan las condiciones de iluminación ofrezcan consideraciones más específicas para evaluar los espacios acordes al tipo de tarea visual a realizar.

Comentarios

Los resultados de esta investigación abren un abanico de cuestionamientos para futuros estudios sobre los efectos no visuales relacionados con los niveles de iluminación y los procesos psicológicos, así como la preferencia por determinadas características de luz al realizar tareas con pantallas de computadoras. Las condiciones ambientales tienen un efecto directo en el comportamiento de los seres humanos. La iluminación es un elemento ambiental importante por considerar en la creación de espacios arquitectónicos. Las investigaciones respecto al hombre y su entorno deben ser eficaces, pues la tecnología avanza rápidamente, sin tener reparo en la influencia sobre el ser humano.

En el capítulo III se habló de las teorías psicológicas, que relacionan la conducta humana con el ambiente, en este sentido, los resultados de esta investigación muestran puntos de analogía frente a estas teorías, pues, al realizar la tarea de memorización con un estímulo de luz más alto, incluso percibido como un poco deslumbrante, se obtuvieron mejores resultados. Es posible que un ambiente altamente iluminado en rangos tolerables de visión mejore la memorización a corto plazo, debido al estado de alerta que se activa mediante el sistema circadiano por el aumento de luz, en esta conducta también se involucran procesos psicológicos.

Existen muchas variantes que enmarcan los procesos mentales del ser humano, desde la herencia prehistórica de la vida cotidiana en las cuevas y su posible influencia en las actuales preferencias de las condiciones de iluminación, hasta los cambios tecnológicos del último siglo relacionados con la luz artificial y su adaptación a la vida cotidiana. Entender las necesidades de confort del ser humano, una vez que se han cubierto las necesidades básicas, permite brindarle una mejor calidad de vida.

Trabajo subsecuente

Se sugiere para futuras investigaciones, ampliar los rangos en la relación directa de iluminancia con el número de sílabas memorizadas, es decir, encontrar los valores máximos o mínimos donde la iluminancia del ambiente deje de tener influencia en la memorización. Esto es, determinar rangos de luminancia donde la memorización decaiga aún cuando la luminancia aumente, creando curvas límites de memorización respecto a la iluminación de un espacio. En esta experimentación se observó que a mayores iluminancias se incrementó la memorización, a pesar de que el espacio se percibió fuera de confort. Es posible que el estado de discomfort haya tenido poca influencia en la memorización, por el corto tiempo en el que se realizó la prueba, entonces, surge una nueva interrogante: ¿Cuál es la relación entre un sujeto sometido a un estado de discomfort lumínico por largos periodos y la memorización? Este cuestionamiento sugiere otros métodos de evaluación del proceso cognitivo, ya que esta experimentación se basó en la memorización a corto plazo, en la cual el sujeto memorizó sílabas en apenas dos minutos.

Se recomienda, además, considerar un grupo control, que realice la pruebas en un ambiente no controlado, para tener un espectro más amplio de comparación entre las pruebas realizadas en el laboratorio. Las diferencias en los resultados entre mujeres y hombres al realizar experimentaciones de percepción, son temas que quedan abiertos para nuevas investigaciones.

Esta investigación es válida para una determinada población de jóvenes de pregrado, sin embargo, para obtener datos de una población mayor, se recomienda realizar esta experimentación en una muestra más amplia y considerando rangos más extensos de edad, para obtener datos acordes a los distintos grupos de edades, pues las necesidades de iluminación respecto al uso de pantallas de computadora para cada rango de edad podrían ser diferentes.

Es importante que las nuevas investigaciones en el área de diseño bioclimático tengan sustento teórico en el área de la psicología. Los métodos empleados en la psicología experimental son una herramienta útil cuando se involucran variables relacionadas con la conducta del ser humano. La importancia reside en que los espacios construidos siempre estarán a la disposición de la experiencia del ser humano.

Aportes

Esta investigación tiene un aporte importante en el área de diseño bioclimático, pues explora la relación entre el ser humano, el espacio y la luz; considerando la percepción a través de los sentidos y los efectos psicológicos causados por los estímulos ambientales. El acercamiento al área de la psicología ambiental en esta investigación fue vital para la experimentación y análisis de datos, se retomaron desde los métodos experimentales hasta el control y tratamiento de las variables.

Uno de los principales factores en el diseño bioclimático es la percepción del confort, muchos países han estudiado sus poblaciones para determinar sus estándares de confort visual. Esta investigación aporta importantes datos sobre la percepción de confort visual para un grupo experimental mexicano, considerando las nuevas necesidades de iluminación generados por la implementación de dispositivos tecnológicos como las pantallas de computadora.

Es necesario que la nueva arquitectura se desarrolle bajo el concepto simbiótico del ser humano y su planeta.

Yadira Benítez

Bibliografía

- AGUILAR, V. E. & PLATA, V. A., 2000. *Física III*. Primera edición ed. Mexico: DGETI,SEP.
- ALABER MORERA, X., 2004. *Evaluación del deslumbramiento molesto en instalaciones industriales de iluminación interior*. España, Universidad Politécnica de Cataluña.
- ANÓNIMO, 2015. *La Computación en la Educación*, Mexico: s.n.
- ANSHEL, J., 2005. *Visual Ergonomics Handbook*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- ARNAL SIMON LUIS, B. S. M., 2005.: *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal: reglamento, normas técnicas, Ley de Desarrollo Urbanode Distrito Federal, Ilustraciones y comentarios, gráficas, planos y lineamientos..* Mexico: Trillas, p. 1296.
- BOYCE, P. Y OTROS, 2006A. *Ligthing quality and ificce work:two field simulation experiments*. Ligthing Research and Technology.
- CABALEIRO PORTELA, V. M., 2010. *Prevención de riesgos laborales*. Normativa de seguridad e higiene en puestos laborales. 3ra. ed. Vigo: Ideaspropias.
- COLOMBO, E., BEATRIZ, O. & CARLOS, K., 2002. *Manual de Iluminación Eficiente*, Argentina: s.n.
- DEPARTAMENT FOR CHILDREN SCHOOLS AND FAMILIES, 2007. *Ligthing especifications, layouts and dimensions*. [En línea]:http://www.theatrestrust.org.uk/store/assets/0000/4241/DCSF_LightingSystemsInSchools_Standardspacifications_4.pdf
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2005. *Diario Oficial de la Federacion*. [En línea] : http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2042919&fecha=15/04/2005 [Último acceso: 6 Diciembre 2015].
- EDMUNDO, C. V. R., 2007. *Las TIC como instrumento pedagogico en el nivel superior*. Revista Iberoamericana para la Investigacion y el Desarrollo Educativo, ISSN-2007(6477).
- ENERGEA, 2017. ENERGEA. [En línea] : <http://www.energea.com.bo/iluminacion-led-indice-de-reproduccion-cromatica/> [Último acceso: 09 09 2017].
- FUENTES, F. ,, 2015. *Arquitectura Bioclimática*, Mexico: UAM.
- FUNDACIÓN UNAM, 2014. Fundacion UNAM. [En línea]: <http://www.fundacionunam.org.mx/educacion/el-aula-del-futuro-ccadet-unam/> [Último acceso: 07 Febrero 2016].
- GANSLANDT, R. & HARALD, H., 1992. *Handbook of lighting design*, Alemania: ERCO.
- GONZALES, M., 2014. *Zacatecas en imagen*. [En línea] : <http://www.imagenzac.com.mx/nota/inaugura-el-cebaare-la-primera-smart-sol-17-04-mm> [Último acceso: 07 febrero 2016].
- HESCHONG, L., WRIGHT, R. L. & OKURA, S., 2002. *Daylighting Impacts on Human*, New York: JOURNAL of the Illuminating Engineering Society.
- HOLAHAN, J. C., 1996. *Psicologia ambiental, un enfoque general*. Mexico Df.: LIMUSA.
- IDAE, 2001. *Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación. Centros docentes*, Madrid: IDAE.

- IDAE, 2005. *Guía Técnica Aprovechamiento de luz natural en edificios*, Madrid: IDAE.
- IEA, 2000. *Daylight in Buildings a source book on daylight and systems and components*. Washington: IEA SHC.
- IES CHICAGO, 2017. *Evaluating Light Source Color Rendition using IES TM-30-15*. [En línea] : http://www.personal.psu.edu/kwh101/IESChicago2017/IESChicago_EvaluatingColorRenditionWithTM30_Houser_20170126.pdf. [Último acceso: 23 Diciembre 2017].
- IES, 2011. *The lighting handbook*, Tenth Edition: Reference and Application. 10 ed. New York: IES.
- IES, 2012. *Práctica recomendada para iluminación de oficinas*. IES-RP-1-12 ed. New York: IES.
- IESNA , 2003. *Ready Reference*. 9 a ed. New York: IES.
- ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA, 2012. *Práctica recomendada para la iluminación de oficinas*. IES RP-1-SP-12.PDF ed. New York: IES.
- INDALUX, 2002. *Luminotecnia*, Madrid: Idalux.
- INHST, 2015. *Iluminación en el puesto de trabajo*. Criterios para su evaluación y acondicionamiento. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- INIFED, 2013. *Diseño arquitectónico nivel básico-primaria*, México: s.n.
- KENEZ, I., 1995. *Effects Indoor Lighting on Mood and Cognition*, s.l.: The Journal Environmental Psychology.
- LEON, N. A. Q., LEÓN, J. A. Q. & LEON, S. A. R., 2004. *Diccionario Enciclopédico Universal*. Barcelona España: Ediciones Trébol S.L.
- LLORCA RUBIO, J. L., LLORCA PELLICER, L. & LLORCA PELLICER, M., 2015. *Manual de ergonomía aplicada a la prevención de riesgos laborales*. 1ra ed. Madrid: Pirámide.
- MACORR RESEARCH SOLUTIONS ONLINE, 2016. *Macorr*. [En línea] : <http://www.macorr.com/sample-size-calculator.htm>
- MEDICINA Y FARMACOLOGIA, 2010. *Medicina y Farmacología*. [En línea]: <http://medicinafarmacologia.blogspot.mx/2010/08/fovea-ojo-humano.html> [Último acceso: 04 Diciembre 2015].
- MONRROY, M. M., 2006. *Manual de iluminación*, Canaria: Calidad Ambiental en la Edificación.
- MORRIS, C. G. & MAISTO, A. A., 2005. *Introducción a la Psicología*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- NEBRIJA, P. -. U. D., 2012. *Estudio sobre la influencia de la iluminación en el rendimiento escolar*. Luces CEI.
- NEWSHAM, G., VEITCH, J., ARSENAULT, C. & DUVAL, C., 2004. *Effect of dimming control on office worker satisfaction and performance*. Tampa, IES Annual Conference.
- OIT, 2012. *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. s.l.:Chantal Dufresne.
- OIT, 2012. *Iluminación*. En: *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*. s.l.:Chantal Dufresne.
- ORTIZ, D., FRANCISCO, R. & COELLO, C. A., 2008. *Revista unam.mx*. [En línea]: <http://www.revista.unam.mx/vol.9/num9/art63/int63-1.htm> [Último acceso: 05 12 2015].

- PASTOORS, A. & WENIGER, G. C., 2011. *Cave Art in Context: Methods for the Analysis of the Spatial Organization of Cave Site*. Journal of Archaeological Research, 19(ISSN: 1059-0161), p. pp 377–400.
- PEREZ, A., ACUÑA, A. & RUAL, R., 2008. *Repercusion Visual del uso de las computadoras sobre la salud*. CUBA: BVS Biblioteca Virtual en la Salud de Cuba.
- PIPIÓ, C. M., 2013. *Aproximacion historica al origen de los cuidados en las sociedades paleoliticas: Aportacion desde la obra de Jean M. Auel*. Alicante: Universidad de Alicante.
- RAMASOOT, T. & STEVE, F., 2008. *Acceptability of screen reflections: lighting strategies for improving quality of the visual environment in the Classrooms of the future*, Dublin: PLEA.
- RODRIGUEZ, R. G. & PATTINI, A. E., 2011. *El deslumbramiento como estresor cognitivo en trabajo de oficina*, Argentina: CONICET.
- SANCHÉZ, R., 2013. *Techno Mexico*. [En línea]: <http://technomexico.com/aula-digital-samsung-la-escuela-del-futuro-llega-a-mexico-de-la-mano-de-samsung/>
- SECRETARÍA DE TRABAJO Y PREVISIÓN SOCIAL, 2008. *NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008*, México: Diario Oficial.
- SEP, S.F. *LIBRO BLANCO PROGRAMA ENCICLOMEDIA 2006-2012*. [En línea]
<http://www.sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/2959/4/images/LB%20Enciclomedia.pdf>
 [Último acceso: 07 Febrero 2016].
- UNAM, 2009. *Biblioteca Central Direccion General de Bibliotecas UNAM*. [En línea]
 : <http://bc.unam.mx/historia.html>
 [Último acceso: 27 Febrero 2016].
- UNAM, S.F. *Eficiencia Energética en Edificaciones*, Mexico: Mario Molina.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 2003. *La memoria: operaciones y métodos mnemotécnico*. Revista Colombina de Psicología, pp. 99-107.
- VAN OUYEN, M., WEIJERTJ.A.C, V. D. & BEGEMENN, 1987. *Prerred luminances in offices*. s.l.:Journal of the illuminatingEngineering Society.
- VEITCH, J. & NEWSHAM, G., 2000 B. *Preferred luminous conditions in open-plan offices :research and practice recommendations*. Lighting Research and Tecnology, Issue b.
- VELA, D. M. C. Y., S.F. *México y las TIC en la educación básica*, s.l.: Red Escolar,
- VIRTUAL EDUCA, 2012. *El aula del futuro: Construyendo la escuela de la era digital*. Virtual Educa, Issue 10, p. 48.
- VISIONDAT.COM, 2017. *Visiondat.com*. [En línea] : <http://visiondat.com/publication/38/>[Último acceso: 30 08 2017].

ANEXOS

ANEXO B

Base de datos sin procesar obtenidos en la experimentación complementaria

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	Fecha	Hora	Matrícula	Nombre	Sexo	Edad	Licenciatura	Lentes	ProblemaVision	Astigmatismo
1	16/05/2017	11:33:17 a. m.	2.133E+09	Jorge	Masculino	21	Arquitectura	N/A	N/A	
2	16/05/2017	11:34:58 a. m.	2.133E+09	Anayanci	Femenino	24	Arquitectura	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	SI
3	16/05/2017	11:36:34 a. m.	2.133E+09	Carmina Citlali	Femenino	23	Arquitectura	N/A	N/A	
4	16/05/2017	11:38:10 a. m.	2.132E+09	Jairo Jesus	Masculino	24 añ	Arquitectura	N/A	N/A	
5	16/05/2017	11:39:26 a. m.	2.132E+09	Arelí	Femenino	24	Arquitectura	N/A	N/A	
6	16/05/2017	11:41:03 a. m.	2.142E+09	Rodolfo	Masculino	21	Arquitectura	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	No
7	16/05/2017	11:42:34 a. m.	2.132E+09	abelardo	Masculino	23	Arquitectura	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	No
8	16/05/2017	11:44:12 a. m.	2.133E+09	Andrea	Femenino	24	Arquitectura	SI	Otros	SI
9	16/05/2017	11:45:29 a. m.	2.133E+09	PAOLA	Femenino	21	Arquitectura	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	No
10	18/05/2017	11:36:45 a. m.	2.123E+09	Tzinti	Femenino	23	Arquitectura	SI	Otros	SI
11	18/05/2017	11:38:45 a. m.	2.132E+09	Erick	Masculino	26	Arquitectura	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	SI
12	18/05/2017	11:40:35 a. m.	2.132E+09	Miguel	Masculino	29	Arquitectura	N/A	N/A	
13	18/05/2017	11:43:08 a. m.	20939254	ERIKA	Femenino	27	Arquitectura	N/A	N/A	
14	18/05/2017	11:45:06 a. m.	2.132E+09	MARTHA P	Femenino	22	Arquitectura	N/A	N/A	
15	18/05/2017	11:46:42 a. m.	2.142E+09	Silvia	Femenino	23	Arquitectura	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	SI
16	23/05/2017	11:47:01 a. m.	2.173E+09	Pascal	Masculino	26	Arquitectura	N/A	N/A	
17	23/05/2017	11:47:47 a. m.	2.143E+09	María	Femenino	21	Arquitectura	N/A	N/A	
18	23/05/2017	11:49:16 a. m.	2.143E+09	Jonathan	Masculino	21	Arquitectura	N/A	N/A	
19	23/05/2017	11:50:21 a. m.	2.143E+09	Christian	Masculino	20	Arquitectura	N/A	N/A	
20	24/05/2017	04:13:39 p. m.	1 ELDA	Femenino	37	Arquitectura	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	No	
21	24/05/2017	04:16:24 p. m.	2.133E+09	JUAN	Masculino	22	Diseño Industrial	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	SI
22	24/05/2017	04:28:23 p. m.	209368059	RUBI	Femenino	27	Arquitectura	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	SI
23	07/06/2017	08:37:56 a. m.	2.142E+09	Samual	Masculino	23	Arquitectura	SI	Miopia (Dificultad para ver de lejos)	No
24	07/06/2017	08:39:11 a. m.	2.143E+09	ANDRES	Masculino	27	Arquitectura	N/A	N/A	
25	07/06/2017	08:45:36 a. m.	2.133E+09	ARELY	Femenino	30	Arquitectura	SI	Otros	SI

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	213382314	SHB	QUC	XW	FTT	POC	RYV										
2	213382314	SHB	QUC	RAV	PAH	WME	POJ	VIX									
3	213384733	SHB	QUC	XIC	COB	XIC				COV							
4	213284523	SHB	QUC	MUT	POJ	QUC	PIX	VIC	COV								
5	213284282	SHB	QUC	VIK	POV	XPR											
6	213284282	SHB	QUC	VIK	POK	WAO	POC	XIC	KBH	HIT	VIZ	HIT	PO	WIX	QUP	HOX	
7	213284452	SHB	QUC	VIK	MUT	XIC											
8	213284452	SHB	QUC	VIK	MUT	XIC											
9	213384248	SHB	QUC	FIN	POH	XMO	COV	XIN									
10	213384163	SHB	QUC	VIK	QAV	IEE											
11	213384234	SHB	QUC	RIE	QAV	IEE											
12	213382314	SHB	QUC	RIE	QAV	POJ	JAK	HOQ									
13	213384733	SHB	QUC	RIE	QAV	VOZ											
14	213284282	SHB	QUC	POH	QAV	QAV	GIB	HIB	SEC	YEK	POJ						
15	213284282	SHB	QUC	RYZ	QAV	LEW	POH	VAL	QAV	QAV	YAK						
16	213284282	SHB	QUC	RIE	QAV	POC	WUJ	GIB	HOB	HIF	QUP	POY	TIT	HEW			
17	213284452	SHB	QUC	POJ	QAV	POC											
18	213384248	SHB	QUC	LEW	QAV	POJ	QAV	YAK	RIE	HIB	GIB	SEC					
19	213384163	SHB	QUC	RIE	QAV	LEW	POH	GIB	LOW	ERW							
20	213284523	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
21	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
22	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
23	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
24	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
25	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
26	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
27	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
28	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
29	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
30	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
31	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
32	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
33	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
34	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
35	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
36	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
37	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
38	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
39	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
40	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
41	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
42	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
43	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
44	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
45	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
46	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
47	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
48	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
49	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
50	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
51	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
52	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
53	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
54	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
55	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
56	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							
57	213284282	SHB	QUC	POJ	RIE	QAV	LEW	GIB	POH	QIC							

ANEXO C

Equipos de medición.



Espectrofotómetro marca X-Ray para calibración de color en pantalla.



Luxómetro marca STEREN para medición de iluminancia de laboratorio.



Equipo marca DELTHE OHM para medición de luminancia de pantalla y laboratorio.



YADIRA BENITEZ

Cel:5533559638

Email: arqsolar.benitez@outlook.com

Yadira Benítez Hernández

Formación académica

Técnico en construcción 2002-2005
Ingeniería Civil /Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura IPN 2005-2006
Ingeniería y Arquitectura/Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura IPN
2007-2011
Seminario de inmuebles históricos /Escuela Superior de Ingeniería y
Arquitectura IPN
2012-2013
Maestría en Diseño bioclimático/ Universidad Autónoma Metropolitana UAM
Azcapotzalco 2015-2017

Experiencia profesional

//Servicio social en BRISSZA (Brigada de Servicio Social en Zonas
Afectadas).
//Prácticas profesionales, Integración Multidisciplinaria S.A de C.V.
//Proyectista y dibujante, Despacho REC Arquitectura S.A de C.V.
//Proyectista, Promotora BYG SA. DE CV.
//Generadores de obra, MEGARQUITECTOS SA. DE CV.
//Proyecto y obra de Locales comerciales, Apaxco Edo. México.

Ponencias

//*Taller de muros verdes*, Sexto Coloquio de cultura y sustentabilidad, UAM
Azcapotzalco, 2016
//*Taller de Arquitectura Bioclimática*, Librofest 2016,
UAM Azcapotzalco
2016
//*Factores del ambiente lumínico implicados en la memorización en alumnos
de pregrado, mientras usan una pantalla de computadora*
PLEA Edimburgo 2017

Publicaciones

//*Sistemas de evaluación energética de edificios utilizados por las normas
nacionales e internacionales vigentes en México*. ANES 2016.
//*Factores del ambiente lumínico implicados en la memorización en alumnos
de pregrado, mientras usan una pantalla de computadora*. PLEA 2017