



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA AULAS Y  
OFICINAS DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

PRESENTAN:

**BALDERAS OROZCO GENARO  
HIPÓLITO CHAMÚ MISAEL  
LÓPEZ FERNÁNDEZ JESÚS ANTONIO**



**TESIS DIRIGIDA POR LA INGENIERA**

**SILVINA ALONSO SALINAS**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2012



**ÍNDICE****PÁGINA****INTRODUCCIÓN**

1

**CAPÍTULO 1****CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN**

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.1  | Instalación eléctrica para iluminación                     | 3  |
| 1.2  | Lámpara  | 3  |
| 1.3  | Luminaria  | 3  |
| 1.4  | Flujo luminoso   | 4  |
| 1.5  | Eficacia luminosa  | 4  |
| 1.6  | Iluminancia  | 4  |
| 1.7  | Luminancia   | 5  |
| 1.8  | Temperatura del color                                      | 6  |
| 1.9  | Índice de rendimiento del color                            | 7  |
| 1.10 | Vida nominal de la lámpara                                 | 7  |
| 1.11 | Depreciación de lúmenes                                    | 8  |
| 1.12 | Deslumbramiento  | 8  |
| 1.13 | Plano de trabajo   | 8  |
| 1.14 | Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA)       | 9  |
| 1.15 | Método del Lumen para el cálculo de iluminancias           | 9  |
| 1.16 | Método del punto por punto para el cálculo de iluminancias | 12 |

**CAPÍTULO 2****TECNOLOGÍAS DISPONIBLES EN FUENTES LUMINOSAS**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 2.1 | Lámparas incandescentes                 | 16 |
| 2.2 | Lámparas incandescentes halógenas       | 17 |
| 2.3 | Lámparas fluorescentes                  | 18 |
|     | 2.3.1 Lineales                          | 19 |
|     | 2.3.2 Compactas                         | 20 |
| 2.4 | Lámparas de alta intensidad de descarga | 22 |
|     | 2.4.1 Vapor de sodio                    | 22 |
|     | 2.4.1.1. Baja presión de sodio          | 22 |
|     | 2.4.1.2. Alta presión de sodio          | 23 |
|     | 2.4.2 Vapor de mercurio                 | 25 |
|     | 2.4.3 Aditivos metálicos                | 26 |
| 2.5 | Lámparas de inducción                   | 27 |
| 2.6 | Lámparas LED                            | 29 |
| 2.7 | Formas de control                       | 30 |
|     | 2.7.1. Apagadores                       | 30 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 2.7.2. Dimmers                       | 31 |
| 2.7.3. Interruptores termomagnéticos | 32 |
| 2.7.4. Sensores de presencia         | 32 |
| 2.7.4..1. Ultrasónicos               | 33 |
| 2.7.4..2. Pasivo infrarrojo          | 33 |
| 2.7.4..3. Tecnología dual            | 34 |
| 2.7.5. Sensores fotosensibles        | 35 |
| 2.7.6. Contactores                   | 35 |
| 2.7.7. Temporizadores                | 35 |

### **CAPÍTULO 3**

#### **NORMATIVIDAD APLICABLE A LOS PROYECTOS DE ILUMINACIÓN**

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 3.1 | NOM-007-ENER-2004 Eficiencia Energética En Sistemas De Alumbrado En Edificios No Residenciales. | 38 |
| 3.2 | NOM-025-STPS-2008 Condiciones De Iluminación En Los Centros De Trabajo.                         | 40 |
| 3.3 | NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (Utilización).                                       | 42 |
| 3.4 | Norma Oficial Universitaria   | 43 |

### **CAPÍTULO 4**

#### **CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS DE AULAS Y ADMINISTRATIVO DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN**

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.1 | Ubicación  | 45 |
| 4.2 | Características arquitectónicas y necesidades de iluminación en base a las actividades desarrolladas | 46 |
| 4.3 | Levantamiento de la información del sistema de iluminación en estudio                                | 49 |
| 4.4 | Identificación de controles y circuitos eléctricos para iluminación                                  | 53 |
| 4.5 | Medición de niveles de iluminación   | 55 |
| 4.6 | Cálculo de la DPEA   | 56 |
| 4.7 | Análisis de los datos recabados  | 57 |
| 4.8 | Criterios para la selección de la tecnología de iluminación  | 70 |

### **CAPÍTULO 5**

#### **SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO**

|     |   |     |
|-----|---|-----|
| 5.1 | Características del sistema de iluminación                            | 73  |
| 5.2 | Simulación con Dialux   | 82  |
| 5.3 | Planos del sistema eléctrico  | 93  |
| 5.4 | Comparación del sistema actual y el propuesto                         | 109 |
| 5.5 | Calculo del ahorro económico y tiempo de recuperación de la inversión | 115 |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>CONCLUSIONES</b>                             | 125 |
| <b>ANEXOS</b>                                   |     |
| Cálculo de los circuitos derivados de alumbrado | 127 |
| Índice de Tablas                                | 130 |
| Índice de Figuras                               | 133 |
| <b>BIBLIOGRAFÍA</b>                             | 135 |

---



# INTRODUCCIÓN

Actualmente la energía eléctrica en México, se genera en su mayor parte con combustibles fósiles. Esto implica que el costo de producción de la energía eléctrica y por tanto el costo de consumirla está ligado en buena medida al costo del petróleo, que es un energético que se ha encarecido en los últimos años. Así mismo la generación de energía eléctrica con combustibles fósiles arroja una gran cantidad de contaminantes al medio ambiente. Es por ello que resulta de suma importancia ahorrar energía eléctrica siempre que sea posible.

Sin embargo, ahorrar energía no siempre resulta sencillo, ya que hoy en día la actividad humana difícilmente puede ser desligada del uso de la energía eléctrica, no obstante, existen diversos nichos que representan un gran campo de oportunidad en el ahorro de energía eléctrica.

Por ejemplo, en las actividades cotidianas de un inmueble público, el sistema de iluminación es utilizado durante buena parte del día y si a esto se le agrega un conjunto de dispositivos obsoletos, tenemos como resultado un gran consumo de energía eléctrica que por supuesto se traduce en un alto costo de facturación eléctrica.

La Facultad de Contaduría y Administración de la Universidad Nacional Autónoma de México es un inmueble que se encuentra en la situación antes citada, pues tiene un horario de actividades muy prolongado, además de que es un inmueble con más de 40 años de servicio que mantiene funcionando la mayor parte de su sistema de iluminación con la tecnología y características originales.

Por tal motivo, el objetivo de esta tesis es; analizar cuál es la situación actual de los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración, para obtener los datos necesarios que permitan el diseño de un sistema de iluminación que cubra íntegramente las necesidades de iluminación y las disposiciones en materia de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, presentes en la normatividad vigente.

Al implementar un sistema de iluminación eficiente se obtendrán dos beneficios importantes: obtener menores costos de facturación, al reducir el consumo de energía eléctrica y disminuir el consumo de combustibles fósiles utilizados para generar energía eléctrica que conlleva la inherente reducción de emisiones contaminantes al medio ambiente.



# CAPÍTULO 1

## CONCEPTOS BÁSICOS DE ILUMINACIÓN

### 1.1 Instalación eléctrica para iluminación

Una instalación eléctrica para iluminación es un conjunto de elementos que permiten transportar, distribuir y controlar la energía eléctrica de manera segura, desde el punto de suministro hasta los equipos de iluminación que la utilicen. Las instalaciones eléctricas para iluminación pueden ser abiertas (conductores visibles), aparentes (en ductos o tubos), ocultas, (dentro de paneles o falsos plafones), o ahogadas (en muros, techos o pisos). En el territorio mexicano, las instalaciones eléctricas se encuentran regidas por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (utilización), cuyo objetivo general es garantizar el uso de la energía eléctrica en forma segura.

### 1.2 Lámpara

En general se denomina lámpara a cualquier fuente luminosa artificial. En nuestro caso particular, el término lámpara debe entenderse como el elemento encargado de transformar la energía eléctrica en radiación electromagnética visible para el ojo humano.

### 1.3 Luminaria

Se define como luminaria al equipo de iluminación que distribuye, filtra y controla la luz emitida por una o más lámparas, que incluye todos los componentes necesarios para fijarlas y protegerlas y, para las lámparas que lo requieran, los equipos auxiliares, así como los accesorios necesarios para la conexión al circuito de utilización de energía eléctrica.

De forma general una luminaria debe realizar las siguientes funciones:

- a) Distribuir adecuadamente la luz en el espacio.
  - b) Evitar toda causa de molestia provocada por el deslumbramiento o brillo excesivo.
  - c) Proteger a las personas contra descargas eléctricas
  - d) Optimizar el rendimiento energético, aprovechando la mayor cantidad de flujo luminoso entregado por las lámparas.
  - e) Satisfacer las necesidades estéticas y de ambientación del espacio al que están destinadas.
-

## 1.4 Flujo luminoso

El flujo luminoso que produce una fuente de luz es la cantidad total de luz emitida o radiada, en un segundo, en todas las direcciones. El flujo luminoso se representa por la letra griega  $\Phi$  y su unidad es el lumen (lm).

La medida del flujo luminoso se realiza en el laboratorio por medio de una serie de fotosensores ajustados según la curva de sensibilidad fotópica del ojo a las radiaciones monocromáticas, incorporados a una esfera hueca a la que se le da el nombre de *Esfera de Ulbricht*, y en cuyo interior se coloca la fuente luminosa a medir.

## 1.5 Eficacia luminosa

La eficacia luminosa, se refiere a la capacidad que tiene una fuente de luz para transformar la energía eléctrica consumida en luz visible. Se representa por la letra griega  $\varepsilon$ , siendo su unidad el lumen/watt [ $\frac{lm}{W}$ ]. La ecuación 1.1 define la eficacia luminosa: <sup>1</sup>

$$\varepsilon = \frac{\phi[lm]}{P[W]} \quad (1.1)$$

Si se lograra fabricar una lámpara que transformara sin pérdidas toda la potencia eléctrica consumida en luz a una longitud de onda de 555 nm., esta lámpara tendría el mayor rendimiento posible, cuyo valor sería  $683[\frac{lm}{W}]$ .<sup>2</sup>

## 1.6 Iluminancia

La iluminancia o nivel de iluminación de una superficie es la relación entre el flujo luminoso que recibe una superficie y su área. Se simboliza por la letra E, y su unidad es el lux [lx]. La ecuación 1.2 define la iluminancia:<sup>3</sup>

$$E[lx] = \frac{\phi[lm]}{S[m^2]} \quad (1.2)$$

Se deduce de la fórmula que cuanto mayor sea el flujo luminoso incidente sobre una superficie, mayor será su iluminancia, y que, para un mismo flujo luminoso incidente, la iluminancia será tanto mayor en la medida en que disminuya la superficie. Según el S.I., el lux se define como la iluminancia de una superficie que recibe un flujo luminoso de un lumen, repartido sobre un metro cuadrado de superficie.

---

<sup>1</sup> Indalux, Manual de luminotecnia, pág. 47.

<sup>2</sup> Ibid.

<sup>3</sup> Ibid., pág 49.

La medición de la iluminancia se realiza por medio de un aparato especial denominado luxómetro, que consiste en una celda fotosensible que, al incidir la luz sobre su superficie, genera una débil corriente eléctrica que aumenta en función de la luz incidente. Dicha corriente se mide con un miliamperímetro, de forma analógica o digital, calibrado directamente en lux.

## 1.7 Luminancia

Se llama Luminancia al efecto de luminosidad que produce una superficie en la retina del ojo, tanto si procede de una fuente primaria que produce luz, como si procede de una fuente secundaria o superficie que refleja luz.

La luminancia mide el brillo de las fuentes luminosas primarias y de las fuentes secundarias que constituyen los objetos iluminados. La luminancia de una superficie iluminada es el cociente entre la intensidad luminosa de una fuente de luz, en una dirección, y la superficie de la fuente proyectada según dicha dirección.

Como se muestra en la figura 1.1, el área proyectada, es la vista por el observador en la dirección de observación. Se calcula multiplicando la superficie real iluminada por el coseno del ángulo que forma su normal con la dirección de la intensidad luminosa.

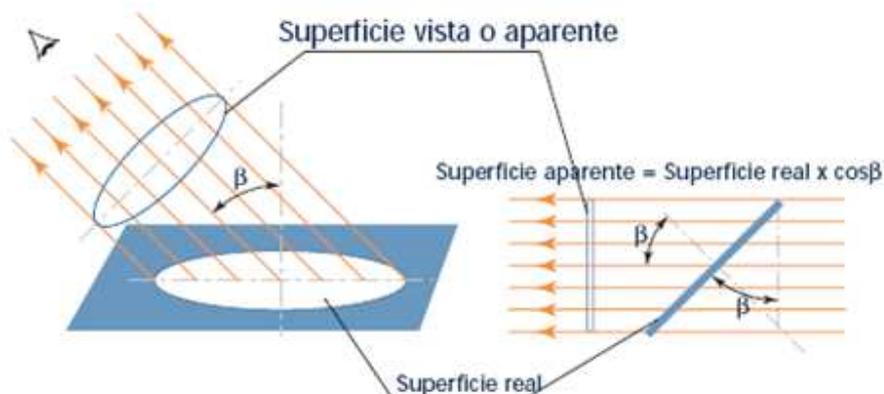


Figura 1.1 Luminancia de una superficie

La luminancia se representa por la letra L, siendo su unidad la candela/metro cuadrado, llamada "nit (nt)". La fórmula 1.3 expresa la luminancia:<sup>4</sup>

$$L[nt] = \frac{I [cd]}{S \cdot \cos\beta [m^2]} \quad (1.3)$$

Donde:  $S \cdot \cos\beta$  = Superficie aparente.

La luminancia es independiente de la distancia de observación.

<sup>4</sup>ibid., pág. 50.

La medición de la luminancia se realiza por medio de un aparato especial llamado luminancímetro o nitómetro. Se basa en dos sistemas ópticos, uno de dirección y otro de medición.

El de dirección se orienta de forma que la imagen coincida con el punto a medir, la luz que llega una vez orientado se ve convertida en corriente eléctrica y recogida en lectura analógica o digital, siendo los valores medidos en  $[cd/m^2]$

## 1.8 Temperatura del color

La apariencia general del color de la luz generada por una fuente luminosa es denominada temperatura de color o cromaticidad. También se describe como temperatura de color correlacionada (CCT) y es medida en grados Kelvin (K).

La temperatura de color genera el ambiente de un espacio iluminado e influye en el comportamiento y en el estado de ánimo de las personas, la tabla 1.1<sup>5</sup> muestra la influencia de la temperatura del color en el estado de ánimo de las personas y las aplicaciones recomendadas en iluminación. Para comprender mejor el concepto de temperatura de color en una fuente de luz de color “cálido” o “frío”, considérese una pieza metálica la cual es calentada en el fuego. Al principio, el metal alcanza un color naranja. Este corresponde a una temperatura de color cálido, equivalente a unos 2700K como por ejemplo el de los focos incandescentes.

Tabla 1.1 Aplicaciones recomendadas y efectos asociados a la temperatura del color

| TEMPERATURA DEL COLOR | EQUIVALENCIA EN GRADOS KELVIN | EFEKTOS Y AMBIENTES ASOCIADOS         | APLICACIONES RECOMENDADAS   |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|---|
| Blanco Incandescente  | 2700K                         | Amistoso, Íntimo, Relajante, Personal | Restaurantes, Hoteles, Cafés  |
| Blanco Calido         | 3000K                         | Amistoso, Invitante, Exclusivo        | Recepciones, Salones, Boutiques   |
| Blanco Neutro         | 3500K - 4000K                 | Fresco, Limpio, Eficiente, Productivo | Oficinas, Salas de Conferencia, Escuelas, Negocios, Varios  |
| Blanco Frío           | 4001 - 5000 K                 | Impersonal, Dinámico, Activo, Movido  | Escuelas, Universidades, Hospitales, Consultorios, Restaurantes de Comida Rápida, Negocios Abiertos las 24 horas. |
| Blanco Luz De Día     | 5001 - 6500 K                 |                                       |   |

En la medida en que se siga calentando la pieza metálica, se tornará de color blanco. Éste corresponde a una temperatura de color neutral, equivalente a unos 4000K como por ejemplo

<sup>5</sup> Phillips Lighting de México, *Catálogo General de Lámparas 2010/2011*, pág. 7.

el de las lámparas de aditivos metálicos y de algunas lámparas fluorescentes. Al calentar aún más la pieza metálica tomará un color azul. Éste corresponde a una temperatura de color fría, equivalente a unos 5000K o 6500K como por ejemplo el de las lámparas fluorescentes compactas.

### **1.9 Índice de rendimiento del color**

El índice de rendimiento del color o de reproducción de color se refiere a la capacidad que tiene una fuente de luz de reproducir los colores en los objetos que ilumina, de la forma más real posible.

Comúnmente llamado CRI, por sus siglas en inglés (Color Rendering Index), es una medida relativa que clasifica a las fuentes de luz en una escala de 0 a 100. Entre más alto el CRI de una fuente luminosa, mejor la reproducción de los colores. Una fuente luminosa con un CRI igual a 100, ofrece una reproducción de los colores casi igual a la luz del sol.

Fuentes de luz con una buena reproducción ( $\geq 80$ ) o una excelente reproducción de los colores ( $\geq 90$ ) son referidas como fuentes de alta calidad. Fuentes que no ofrezcan al menos estos valores, distorsionan los colores de los objetos, haciéndolos menos atractivos o llamativos.

Un altísimo CRI es crucial en entornos comerciales, donde es importante destacar los colores de las mercancías exhibidas, haciéndolas atractivas y llamativas para el consumidor. En aplicaciones industriales, una excelente reproducción de los colores aumenta la agudeza visual de los empleados y genera un ambiente de trabajo más confortable y productivo.

### **1.10 Vida nominal de la lámpara**

La vida nominal de una lámpara es el número de horas que aparece en los catálogos de los fabricantes. Está establecida bajo condiciones óptimas de operación por lo que en la práctica difícilmente se cumple, sin embargo este dato es de gran importancia en el análisis preliminar de un sistema de iluminación.

La vida nominal se define como el tiempo transcurrido hasta que falla el 50% de los elementos de un lote representativo de una población de lámparas, trabajando bajo condiciones ideales de operación. La metodología de ensayo incluye siempre un ciclo de conmutación (encendido y apagado), el cual varía en función del tipo de lámpara y que está relacionado con las condiciones de trabajo ideales; en el caso de lámparas fluorescentes, suelen emplearse ciclos de conmutación de 3 horas (2.45 horas encendidas y 0.15 horas apagadas), mientras que para las lámparas de alta intensidad de descarga el ciclo suele ser de 12 horas (11 horas encendidas y 1 hora apagadas).

---

### **1.11 Depreciación de lúmenes**

Es un proceso natural de envejecimiento que sufren todas las lámparas y se establece como el cociente de los lúmenes que entrega la lámpara al 70% de su vida nominal y los lúmenes nominales. Debe tenerse cuidado porque algunos fabricantes lo reportan al 40% de la vida nominal. Los casos extremos los pueden alcanzar las lámparas de aditivos metálicos que se deprecian hasta un 60% a las 18 000 horas contra 5% de depreciación de una lámpara fluorescente T5 a las 24 000 horas o una lámpara de inducción con depreciación de 10% a las 50 000 horas<sup>6</sup>.

### **1.12 Deslumbramiento**

Cuando existe exceso de luminancia en el campo visual se producen brillos que provocan una sensación de incomodidad en la visión. Esta sensación de incomodidad es llamada deslumbramiento y sus efectos pueden dividirse en dos grandes grupos, denominados deslumbramiento molesto y deslumbramiento incapacitante.

El deslumbramiento incapacitante es más común en la iluminación exterior, pero puede experimentarse también a causa de luces concentradas o de fuentes de gran brillantez, como una ventana en un espacio iluminado pobremente.

El deslumbramiento molesto, que es más probable que se produzca en interiores, puede reducirse o incluso eliminarse por completo reduciendo el contraste entre la tarea y su entorno. Es preferible que las superficies de trabajo tengan acabados mate, de reflexión difusa, en lugar de acabados de reflexión especular. En general, se consigue un rendimiento visual correcto cuando la propia tarea es más brillante que su entorno inmediato, pero no demasiado. Es importante limitar el deslumbramiento, para evitar errores, fatiga y accidentes.

### **1.13 Plano de trabajo**

El plano de trabajo es una superficie de referencia definida como el plano sobre el cual los trabajadores generalmente desarrollan su trabajo. Esta superficie normalmente es horizontal o vertical aunque en algunos casos puede ser oblicua. Estas superficies deben recibir niveles de iluminación acordes a las tareas para las que están destinadas. Para la república mexicana estos niveles de iluminación pueden ser consultados en la NOM-025-STPS-2008 Condiciones De Iluminación En Los Centros De Trabajo.

---

<sup>6</sup> BUN-CA, *Manual Técnico de Iluminación*. Pág. 13.

### 1.14 Densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA)

El término Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) hace referencia al cociente de la carga conectada para alumbrado entre la superficie iluminada por dicha carga de alumbrado; la DPEA se expresa en  $[W/m^2]$ .

La NOM-007-ENER-2004 Eficiencia Energética En Sistemas De Alumbrado En Edificios No Residenciales, contiene la metodología para la correcta determinación de la DPEA del sistema de alumbrado de un edificio no residencial para los tipos de edificios cubiertos en ella.

La expresión 1.4 se emplea para el cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado (DPEA):<sup>7</sup>

$$DPEA = \frac{\text{carga total conectada para alumbrado}}{\text{área total iluminada}} \quad (1.4)$$

En esta expresión, la carga total conectada para alumbrado está expresada en watts  $[W]$  y el área total iluminada está expresada en metro cuadrado  $[m^2]$ ; por lo cual, la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) está expresada en  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

### 1.15 Método del Lumen para el cálculo de iluminancias

La finalidad de este método es calcular el valor medio de la iluminancia en el plano de trabajo de un local iluminado con alumbrado general, la premisa matemática básica, presente en la ecuación 1.5 es la definición de iluminancia:<sup>8</sup>

$$E = \frac{\phi_{Total}}{A} \quad (1.5)$$

Donde:

$E$  = Iluminancia promedio, dada en luxes  $[lx]$ .

$\phi_{Total}$  = Flujo luminoso total del área iluminada, expresado en Lúmens  $[lm]$ .

$A$  = Área iluminada, especificada en metros cuadrados  $[m^2]$ .

En esta ecuación se asume que todo el flujo luminoso de una fuente incide sobre el plano de trabajo. Sin embargo en una situación real esto no ocurre, por lo que se hace necesario

<sup>7</sup> SENER, NOM-007-ENER-2004, sección 7.1

<sup>8</sup> IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), *The IESNA Lighting Handbook*, pp. 404-407.

agregar un coeficiente de utilización (CU), dicho coeficiente nos dice que fracción de la cantidad total de lúmenes generados por una fuente luminosa llegan al plano de trabajo. El CU toma también en consideración, la eficiencia de la luminaria, y el impacto de la distribución luminosa en las superficies del local a iluminar. El flujo luminoso producido por una fuente luminosa multiplicado por el CU, determina la cantidad de lúmenes que llegan al área a iluminar.

$$E_{inicial} = \frac{\phi_{Total} \times CU}{A} \quad (1.6)$$

Nota: El CU es suministrado por el fabricante y es exclusivo para cada luminaria. Se determina a partir del índice del local  $k$ ; (que depende de factores geométricos) y de los factores de reflexión presentes en muros y techo. El índice del local  $k$  se calcula mediante la expresión 1.7.

$$k = \frac{a \times b}{h \cdot (a + b)} \quad (1.7)$$

Donde:

$a$  = Largo del local en metros

$b$  = Ancho del local en metros

$h$  = Altura de montaje de la luminaria a partir del plano de trabajo

El objetivo del diseño en la iluminación es por lo general calcular la iluminancia media mantenida, por lo que a la ecuación 1.6 todavía debe agregarse un factor más. Este factor denominado Factor de Pérdida de Lúmenes estima la depreciación de lúmenes en la lámpara a través del tiempo así como la depreciación de lúmenes debidos a la acumulación de polvo en las superficies de la luminaria (incluida la superficie de la lámpara). Así pues, la ecuación de la iluminancia toma la siguiente forma:

$$\bar{E} = \frac{\phi_{Total} \times CU \times FPL}{A} \quad (1.8)$$

Donde:

$\bar{E}$  = Iluminancia promedio mantenida del local expresada en lux [lx]

$\phi_{Total}$  = Flujo luminoso total presente en el local, expresado en lúmenes [lm]

$CU$  = Coeficiente de utilización de las luminarias del local

$FPL$  = Factor de pérdida de lúmenes

$A$  = Área del local a iluminar en metros cuadrados [m<sup>2</sup>]

Para calcular el número de luminarias necesarias para obtener una iluminancia promedio dada se hace necesario resolver la ecuación 1.8 para el flujo luminoso total del área por lo que toma la forma mostrada en la ecuación 1.9:

$$\phi_{Total} = \frac{\bar{E} \times A}{CU \times FPL} \quad (1.9)$$

Cada luminaria tiene un número conocido de lámparas y cada lámpara genera una cantidad determinada de lúmenes. Por lo que la cantidad total de lúmenes producidos dentro de cada luminaria está dada por la expresión 1.10:

$$\phi_{luminario} = \#lámparas \times \phi_{lámpara} \quad (1.10)$$

Una vez obtenido el flujo total de la luminaria, se puede definir el flujo total que se encuentra instalado en un sistema de iluminación mediante la expresión 1.11:

$$\phi_{Total} = \#luminarias \times \phi_{luminaria} \quad (1.11)$$

Al resolver la ecuación 1.11 para el número de luminarias se obtiene la expresión 1.12 con la cual se pueden calcular las luminarias necesarias para obtener un cierto nivel de iluminancia previamente establecido en la ecuación 1.9.

$$\#luminarias = \frac{\phi_{Total}}{\phi_{luminaria}} \quad (1.12)$$

Donde:

$\#luminarias$  = Número de luminarias para obtener la iluminancia deseada en el local.

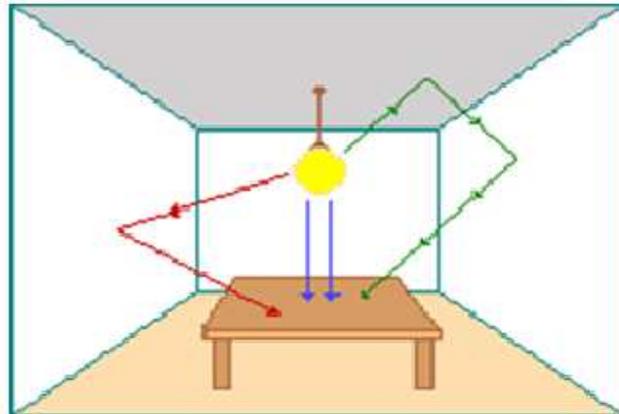
$\phi_{luminaria}$  = Flujo luminoso total de la luminaria, expresado en lúmenes [lm]

$\phi_{Total}$  = Flujo luminoso total presente ó requerido en el local, expresado en lúmenes [lm]

Limitaciones del método: la iluminancia calculada por este método es un promedio representativo siempre que las luminarias se encuentren espaciadas de tal manera que se obtenga de ellas una iluminancia razonablemente uniforme. El cálculo de los coeficientes de utilización están basados en locales vacíos que presentan superficies que ofrecen reflectancias difusas, el valor promedio de iluminancia obtenido por el método del lumen puede variar considerablemente del promedio obtenido de valores discretos tomados en una pequeña cantidad de puntos.

## 1.16 Método del punto por punto para el cálculo de iluminancias

El método del punto por punto, permite conocer los valores de la iluminancia en puntos concretos. Por esta razón, se emplea cuando se requiere conocer cómo es la distribución de la iluminación en instalaciones de alumbrado general localizado o individual donde la luz no se distribuye uniformemente o cómo es exactamente la distribución en el alumbrado general.



- Luz directa
- Luz indirecta proveniente del techo
- Luz indirecta proveniente de las paredes

Figura 1.2 Esquema de las fuentes de luz incidentes en un punto.

Para la aplicación del método del punto por punto, se considera que la iluminancia en un punto es la suma de la luz proveniente de dos fuentes: una componente directa, producida por la luz que llega al plano de trabajo directamente de las luminarias, y otra indirecta o reflejada procedente de la reflexión de la luz de las luminarias en el techo, paredes y demás superficies del local.

En la figura 1.2 se aprecia que sólo unos pocos rayos de luz serán perpendiculares al plano de trabajo mientras que el resto serán oblicuos. Esto quiere decir que de la luz incidente sobre un punto, sólo una parte servirá para iluminar el plano de trabajo y el resto iluminará el plano vertical a la dirección incidente en dicho punto.

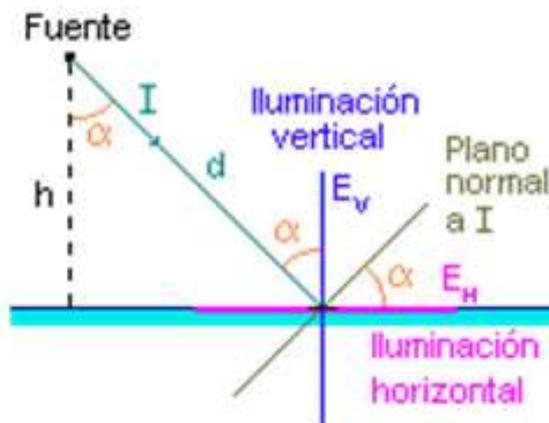
La aplicación del método del punto por punto, requiere conocer previamente las características fotométricas de las lámparas y luminarias empleadas, la disposición de las mismas en el local y la altura de estas sobre el plano de trabajo. Una vez conocidos todos estos elementos, se puede comenzar a calcular las iluminancias. Mientras más puntos se calculen, más información se tendrá sobre la distribución de la luz. Un gran número de puntos calculados es particularmente importante si se pretende trazar diagramas de iluminancia del local.

La iluminancia horizontal en un punto se calcula como la suma de la componente de la iluminación directa más la de la iluminación indirecta<sup>9</sup>, como se expresa en la ecuación 1.13.

$$E = E_{Directa} + E_{Indirecta} \quad (1.13)$$

<sup>9</sup> UTN (Universidad Tecnológica Nacional), *Manual ELI de Iluminación*. Capítulo 8.

**Componente directa en un punto:** Si se considera una fuente de luz puntual, las componentes de la iluminancia se calculan usando las fórmulas<sup>10</sup> 1.14 y 1.15 derivadas de la figura 1.3.



$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \quad (1.14)$$

$$E_v = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \operatorname{sen} \alpha}{h^2} \quad (1.15)$$

Figura 1.3 Componente directa de la iluminancia

Donde:

$E_H$  = Iluminancia en un punto de una superficie horizontal expresada en lux

$E_v$  = Iluminancia en un punto de una superficie vertical expresada en lux

$I$  = Intensidad de flujo luminoso según la dirección del punto a la fuente.

$\alpha$  = Ángulo formado por el rayo luminoso y la vertical que pasa por la luminaria

$H$  = Altura del plano de trabajo a la lámpara.

En general, si un punto está iluminado por más de una lámpara su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas.

**Componente indirecta o reflejada en un punto:** Para calcular la componente indirecta se supone que la distribución luminosa de la luz reflejada es uniforme en todas las superficies del local incluido el plano de trabajo. De esta manera, la componente indirecta de la iluminación de una fuente de luz para un punto cualquiera de las superficies que forman el local se calcula como<sup>11</sup>:

<sup>10</sup> *ibid.*

<sup>11</sup> *ibid.*

$$E_{indirecta} = E_{ind_H} = E_{ind_V} = \frac{\phi}{F_T} \times \frac{\rho_m}{1 - \rho_m} \quad (1.16)$$

Donde:

$F_T = \sum_n F_i$  ; Es la suma del área de todas las superficies del local.

$\rho_m$  ; Es la reflectancia media de las superficies del local calculada como:

$$\rho_m = \frac{\sum_n \rho_i \cdot F_i}{\sum_n F_i}$$

Siendo  $\rho_i$  la reflectancia de la superficie  $F_i$

$\phi$  ; Es el flujo de la lámpara.

## CAPÍTULO 2

### TECNOLOGÍAS DISPONIBLES EN FUENTES LUMINOSAS

Las primeras fuentes luminosas empleadas por el ser humano estuvieron basadas en alguna forma de combustión: el fuego, las antorchas, las velas, etc. Las lámparas más antiguas de que se tienen noticias aparecieron en el antiguo Egipto hacia el año 3000 a.C. y consistían en piedras ahuecadas rellenas de aceite, con mechas de fibras vegetales. Los griegos y romanos fabricaron lámparas de bronce o arcilla, con aceite de oliva u otros aceites vegetales como combustible. Los primeros colonizadores americanos utilizaban aceite de ballena y de pescado en sus lámparas.

Durante la Edad Media, la evolución del diseño de estas lámparas condujo al agregado de elementos reflectores para mejorar el aprovechamiento de la luz producida. En 1874, el químico suizo Argand inventó una lámpara que usaba una mecha hueca para permitir que el aire alcanzara la llama, obteniendo así una luz más intensa. Con el nacimiento de la industria del petróleo, el keroseno se transformó en el combustible más usado en este tipo de lámparas.

Alrededor del año 1800, se hizo común implementar el alumbrado de calles con lámparas de gas que funcionaban prescindiendo de la mecha. Hacia el final del siglo XIX y principio del XX se inició el remplazo de las lámparas de gas por la lámpara eléctrica. La primera lámpara eléctrica fue la lámpara de arco de carbón, presentada en 1801 por Sir Humphrey Davy, sin embargo, la iluminación con lámparas eléctricas sólo se impondría a partir del desarrollo de la lámpara incandescente por Sir Joseph Swan en Inglaterra y por Tomás Alba Edison en Estados Unidos trabajando independientemente. Edison patentó su lámpara en 1879, transformándola posteriormente en el éxito comercial que aún perdura.

La cantidad de fuentes luminosas de diversos tipos se ha visto enormemente incrementada durante el siglo XX, comenzando con las mejoras introducidas a la lámpara de Edison, siguiendo con la aparición de las lámparas de vapor de mercurio alrededor de 1930, poco tiempo después la presentación de las lámparas fluorescentes en la feria mundial de 1939. La introducción de las lámparas de tungsteno rellenas de gas halógeno se realizó alrededor de 1950, la aparición de las lámparas de sodio de alta presión y las de aditivos metálicos en los años 1960, la introducción de las lámparas fluorescentes compactas en la década de 1970 hasta el surgimiento de las lámparas sin electrodos alrededor de 1990. Dado el alto grado de dinamismo de esta industria, es de esperar que la evolución de las fuentes luminosas continúe al mismo ritmo en el presente siglo.

---

## 2.1 Lámparas incandescentes

La lámpara incandescente es la fuente de luz eléctrica más antigua, desde su invención, ha mejorado notablemente sus características tales como tamaño, eficiencia y vida. Este tipo de lámpara se compone de un filamento de alambre encerrado en un bulbo relleno de determinado gas ó simplemente al vacío. Al aplicársele voltaje a la lámpara, la corriente que circula por el filamento eleva la temperatura de éste hasta el punto de incandescencia, emitiéndose energía radiante, de la cual cerca del 95%<sup>12</sup> se disipa al medio en forma de calor y un mínimo porcentaje se convierte en luz. A pesar de este inconveniente, las lámparas incandescentes presentan grandes cualidades como: alto rendimiento de color, aspecto cromático agradable, no requieren balastro, operan con factor de potencia unitario, no producen efecto estroboscópico, son muy baratas y se tiene amplia disponibilidad en el mercado.

Los elementos principales que componen a una lámpara incandescente son el filamento, los soportes del filamento, el bulbo, el gas de relleno y el casquillo. Estos elementos se representan en la figura 2.1.

**Filamento:** Es un hilo muy delgado, generalmente de tungsteno a través del cual circula una corriente eléctrica que lleva a dicho hilo a un estado de incandescencia, de esta forma el filamento emite radiación dentro del campo visible del espectro electromagnético.

**Bulbo:** Es una cubierta de vidrio sellado que encierra al filamento y evita que entre en contacto con el aire exterior, con la finalidad de evitar su combustión. El bulbo determina la forma de la lámpara, existiendo una enorme variedad de ellas. En muchos tipos de bulbos se aplica una cubierta interior, consistente en una capa de polvo de sílica blanca que produce una moderada difusión de la luz con una reducción de la misma desde el 2% hasta el 35%<sup>13</sup> debido al fenómeno de absorción.

**Gas de relleno:** Alrededor de 1911 se realizaron intentos para reducir la velocidad de evaporación del filamento, mediante el llenado del bulbo con algún gas. El nitrógeno fue el primer gas utilizado para este propósito. Posteriormente se usaron gases inertes porque estos a diferencia del nitrógeno no reaccionan con las partes internas de la lámpara, además porque conducen

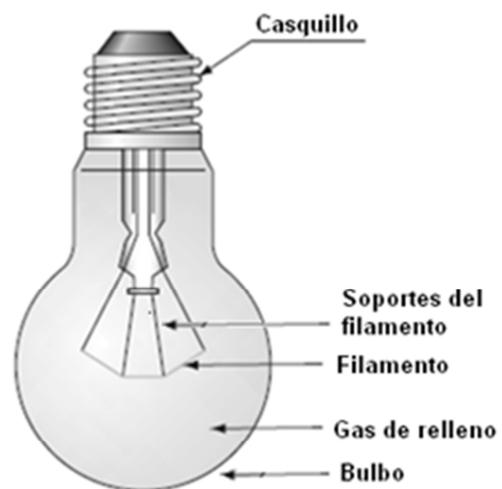


Figura 2.1 Elementos de una lámpara incandescente

<sup>12</sup> BUN-CA, Op.Cit., pág. 14.

<sup>13</sup> UTN, Op.Cit., Capítulo 4.

---

menos calor que el nitrógeno. El gas más usado hoy en día es el argón debido a que se encuentra disponible en suficiente cantidad y pureza a un costo razonable.

**Casquillo:** Los casquillos o bases de estas lámparas tienen formas variadas. Hay dos tipos de casquillos, de rosca y bayoneta (dos patas), por ejemplo E 27 es un casquillo de rosca de diámetro 27 mm. Cuando se necesita una posición determinada con relación a sus componentes ópticos, como el caso de un proyector, la base debe proveer una ubicación exacta, en este caso se utiliza un casquillo de tipo bayoneta.

Hay aplicaciones donde hasta el momento las lámparas incandescentes son prácticamente insustituibles, como por ejemplo aplicaciones médicas, la industria automotriz, electrodomésticos, procesos industriales, aplicaciones de fotografía, cine, aplicaciones científicas, joyerías, etc. pero sus inconvenientes superan a sus cualidades. Por ejemplo, son susceptibles de dañarse aún con golpes ligeros, se ven muy afectadas por variaciones de tensión, su vida se reduce notablemente si son operadas a tensión mayor de la nominal, tienen una fuerte aportación de radiación infrarroja y en muchos modelos considerable radiación ultravioleta, su eficacia es la más baja del mercado y tienen una vida muy corta, generalmente menor a las 1,000 horas<sup>14</sup>.

En México se ha tomado la decisión de eliminar gradualmente el uso de las lámparas incandescentes convencionales (de baja eficacia). Con este objetivo se publicó en el Diario Oficial de la Federación el 6 de diciembre de 2010, la NOM 028 ENER 2010 Eficiencia Energética para Lámparas de Uso General. Límites y Métodos de Prueba. Esta norma especifica la eficacia mínima que deberán tener las lámparas incandescentes de acuerdo a su potencia consumida. Como ejemplo se puede mencionar que, a partir del 31 de diciembre de 2011, quedará prohibido comercializar lámparas incandescentes con potencia de 100 W y superiores que no cumplan con una eficacia de al menos 20.69 lm/W. De manera similar se hace mención de las lámparas incandescentes de 75 W, que dejarán de comercializarse con baja eficacia el 31 de diciembre de 2012 y las lámparas incandescentes de 60 W y 40 W dejarán de comercializarse con bajas eficacias a partir del 31 de diciembre de 2013.

## 2.2 Lámparas incandescentes halógenas

Las lámparas halógenas son lámparas incandescentes mejoradas y se fabrican en una gran variedad de modelos, destacando las conocidas como dicróicas, que son lámparas con reflector multifacetado de 11 y 16 octavos de pulgada.

La necesidad de mejorar la relación eficacia-vida en las lámparas incandescentes convencionales llevó a la incorporación de un gas halógeno aditivo el cual produce un ciclo regenerativo del filamento.

---

<sup>14</sup> BUN-CA, Op. Cit., Pág.15

Debido a las altas temperaturas de las paredes del bulbo (una temperatura mínima de  $260^{\circ}\text{C}$ )<sup>15</sup> necesarias para mantener el ciclo halógeno, se hace necesario un tamaño reducido del mismo. Considerando estas condiciones el bulbo se construye de un material resistente como el cuarzo. Al igual que en una lámpara incandescente convencional, las lámparas halógenas poseen un filamento de tungsteno pero están rellenas con gases de la familia de los halógenos como el argón, xenón, radón y kriptón. Tienen una vida hasta 5 veces mayor que las incandescentes convencionales<sup>16</sup>, son de luz más blanca, y tienen más alto rendimientos de color. En la figura 2.2 se muestra una lámpara incandescente halógena destacando sus partes principales.

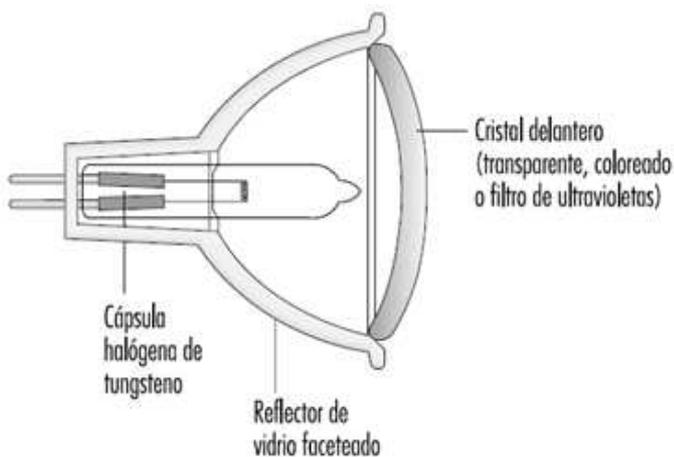


Figura 2.2 Lámpara incandescente halógena

Estas lámparas generan mayor cantidad de radiación ultravioleta (UV) que las incandescentes convencionales, debido a la mayor temperatura del filamento. Por tanto en las aplicaciones donde es crítica esta radiación, por ejemplo para las obras de arte, el uso de un filtro es casi obligatorio. En especial debe tenerse cuidado cuando se usan lámparas con una temperatura de color por arriba de  $3100\text{K}$ <sup>17</sup>, dado que la radiación emitida tanto en el ultravioleta como en las bajas

longitudes de onda del espectro visible aumenta con la temperatura creando una fuente potencial de daño.

### 2.3 Lámparas fluorescentes

La mayor parte de la luz artificial hoy en día se produce en lámparas fluorescentes. Sus ventajosas características, tales como la gran variedad de formas y tamaños disponibles, la flexibilidad en sus propiedades de reproducción de color, el buen desempeño en términos de conversión de potencia eléctrica en luz, la emisión de luz difusa y la comparativamente baja luminancia que presentan, hacen de esta lámpara una fuente de luz adecuada para numerosas aplicaciones.

Básicamente la lámpara fluorescente consta de un tubo cerrado de vidrio, dos cátodos uno en cada extremo, un gas noble ó mezcla de ellos, dos bases, un recubrimiento interior de halofosfatos ó tierras raras y una pequeña cantidad de mercurio. Cuando uno de los cátodos

<sup>15</sup> Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales, *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*, Volumen 2, Capítulo 46.

<sup>16</sup> Osram, *Catalogo general de Luz 2009/2010*. Sección 2, pág 2.

<sup>17</sup> IESNA, Op. Cit., pág. 248.

se calienta empieza a emitir electrones a lo largo del tubo en dirección del otro cátodo estableciendo entonces un flujo de corriente. Esta corriente incrementa la temperatura interior y a volumen constante aumenta la presión. En estas condiciones las gotitas de mercurio empiezan a “sudar” y luego a vaporizar. Cuando este ambiente gaseoso de vapor de mercurio se ve bombardeado por los electrones emitidos por los cátodos, se ioniza, y al desprenderse del exceso de energía emite un fotón de radiación ultravioleta. La radiación ultravioleta es invisible pero tiene la capacidad de estimular los polvos fluorescentes que recubren el interior del tubo en el que se produce la descarga, y que convierten la radiación UV en luz visible, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.3.

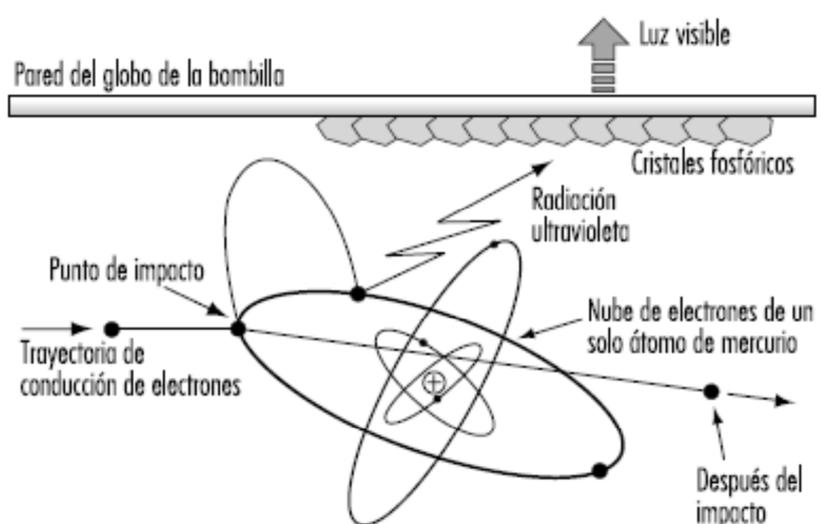


Figura 2.3 Principio de fluorescencia

### 2.3.1 Lineales

Son lámparas de mercurio de baja presión que están disponibles en versiones de “cátodo caliente” y “cátodo frío”. La primera versión es el tubo fluorescente convencional para fábricas y oficinas; “cátodo caliente” se refiere al cebado de la lámpara por precalentamiento de los electrodos para que la ionización del gas y del vapor de mercurio sea suficiente para realizar la descarga. Las lámparas de cátodo frío se utilizan principalmente en letreros y anuncios publicitarios.

Las partes principales de la lámpara fluorescente lineal son el bulbo, la capa fluorescente, los electrodos, el gas de relleno y los casquillos. Estas partes se esquematizan en la figura 2.4.

**Bulbo:** Las lámparas fluorescentes lineales se construyen con bulbos tubulares rectos cuyo diámetro varía entre aproximadamente 12 mm, designados T4 (porque su diámetro equivale a 4/8 de pulgada) y 54 mm designados T17, siendo los diámetros más comunes los conocidos como T12, T8 y T5. Generalmente su longitud varía entre 100 mm y 2440 mm (4 y

96 pulgadas)<sup>18</sup>. La letra de la designación indica la forma del bulbo. En este caso, T por tubular, también puede ser C por “circular” o U indicando que el bulbo tiene esta forma.

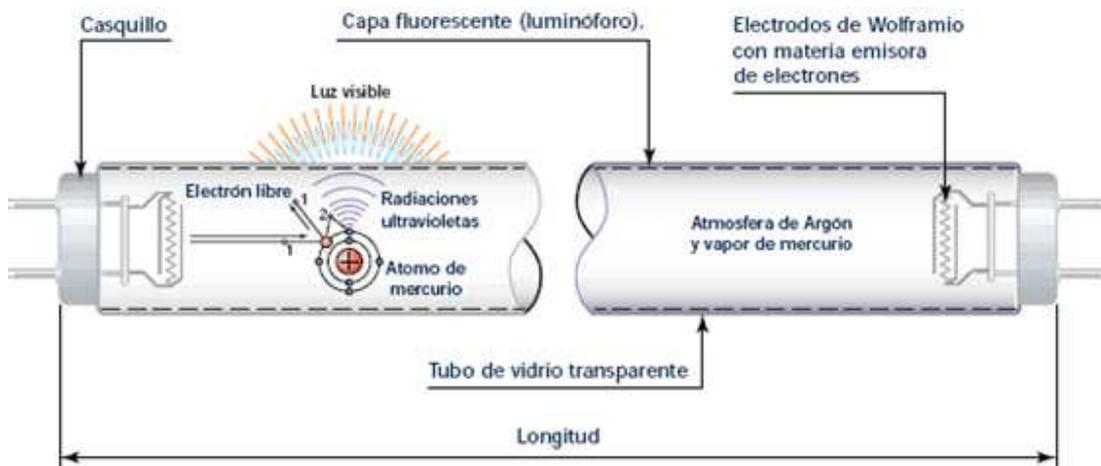


Figura 2.4 Partes principales de una lámpara fluorescente lineal.

**Capa fluorescente:** El factor más importante para determinar las características de la luz de una lámpara fluorescente es el tipo y composición del polvo fluorescente utilizado. Éste fija la temperatura de color (y como consecuencia la apariencia de color), el índice de reproducción del color y, en gran parte, la eficiencia lumínica de la lámpara.

**Electrodos:** Los electrodos se diseñan para operar ya sea como cátodos “fríos” o como cátodos “calientes”. Las lámparas que emplean cátodo frío operan, por lo general con una corriente del orden de unos pocos cientos de mA, con un alto valor de caída de tensión catódica, algo superior a 50 V<sup>19</sup>. Los electrodos de cátodo caliente se construyen generalmente con un único alambre de tungsteno o con un alambre de tungsteno con otro enrollado a su alrededor, produciendo así dobles o triples arrollamientos. Estos arrollamientos se cubren con una mezcla de óxidos para reforzar la emisión de electrones favoreciendo el encendido.

**Gas de relleno:** Una lámpara fluorescente es una lámpara de descarga en vapor de mercurio a baja presión, sin embargo, además del mercurio, el bulbo contiene un gas o una mezcla de gases inertes a baja presión para facilitar el encendido de la descarga. Las lámparas fluorescentes convencionales emplean argón o una mezcla de argón, neón y xenón.

### 2.3.2 Compactas

Las lámparas fluorescentes compactas (CFLs por sus siglas en inglés) fueron creadas durante la crisis petrolera en la década de los 1970s para sustituir a las lámparas

<sup>18</sup> UTN, Op. Cit., Capítulo 4

<sup>19</sup> IESNA Op. Cit., pág. 252.

---

incandescentes convencionales de 25 a 100 W, estando disponibles comercialmente desde 1980. Las CFLs han tenido un impresionante desarrollo en los últimos años debido a que son por mucho la mejor alternativa para ahorrar energía.

Las LFCs se pueden clasificar como:

CFLs Modulares: Son lámparas que se pueden desacoplar del balastro y que generalmente tienen un arrancador en una base de 2 pines operando en el modo precalentamiento; toman de 2 a 6 segundos al encender y producen un ruido audible. En algunos modelos el balastro es del tipo magnético con bajo factor de potencia el cual se aloja en un contenedor con una base roscable compatible con un socket tipo Edison que también tiene una entrada especial para conectar a la lámpara. En lámparas de modelos más modernos y generalmente de mayor potencia la base es dedicada y tiene 4 pines para ser operada por un balastro electrónico en alta frecuencia con la opción de control de salida de luz, las cuales se fabrican típicamente en potencias desde 5W hasta 55W.

CFLs Integradas: Son lámparas que tienen el balastro integrado, de donde toman su nombre. El balastro puede ser magnético ó electrónico y no puede desacoplarse de la lámpara por lo que también se les conoce como "lámparas autobalastadas". El encendido puede ser en modo rápido ó instantáneo. La tendencia actual es preferir la opción electrónica que puede trabajar en alta frecuencia para aprovechar los beneficios en eficacia y con un factor de potencia que generalmente es adelantado, con el inconveniente de producir, como cualquier equipo electrónico, corrientes armónicas. Las CFLs integradas se fabrican en potencias de 3W hasta 120W.

CFL Dedicadas: Son sistemas de iluminación que pueden contener una ó más CFLs modulares ó integradas, pero que además incluyen un luminario con un diseño térmico y fotométrico que ofrece en conjunto resultados superiores a las CFLs independientes. Pueden usar balastos electrónicos o magnéticos y alojar de 1 a 3 CFLs por luminaria. Son de costo mayor que las CFLs pero por su alto desempeño tienen gran penetración en el mercado, especialmente en potencias de 13 a 55W, alcanzando un mercado que era exclusivo para lámparas fluorescentes rectas y en forma de "U" de mayor potencia.

En los últimos años se han desarrollado una infinidad de modelos y formas, desde las emuladoras de bulbo A19 (incandescente convencional) hasta las globo y helicoidales, más conocidas como espirales. Las espirales tienen la ventaja de ser muy compactas, aún más pequeñas que las lámparas incandescentes, por lo que se supera el problema de espacio en los luminarios existentes. Los tubos de este tipo de lámparas son cada día más delgados, donde el diámetro del bulbo se expresa en octavos de pulgada, pasando de T5 a T4, T3 y recientemente las T2, con desempeño superior.

## 2.4 Lámparas de alta intensidad de descarga

Las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) incluyen al grupo de las conocidas como lámparas de vapor de mercurio, aditivos metálicos y las de vapor de sodio. Todas estas lámparas producen luz mediante una descarga eléctrica de arco en un bulbo interior o tubo de descarga el cual a su vez está dentro de un bulbo exterior. El tubo de descarga contiene electrodos sellados en cada extremo y contiene un gas de encendido que es relativamente fácil de ionizar a baja presión y temperatura ambiente. Este gas de encendido es generalmente argón o xenón o una mezcla de argón, neón o xenón dependiendo del tipo de lámpara. El tubo de descarga también contiene metales o compuestos de halógenos metálicos que, cuando se evaporan en la descarga, producen líneas características de la energía radiante, de modo que cada tipo de lámpara de descarga de alta intensidad produce luz de acuerdo al tipo de vapor metálico que interactúa con el arco. Así, las de vapor de mercurio producen radiación visible excitando los átomos de mercurio, las de sodio de alta presión excitando los átomos de sodio, y las de aditivos metálicos excitando átomos y moléculas de sodio, escandio, tulio, holmio y disprosio.

### 2.4.1 Vapor de sodio

Las lámparas de descarga, en cuyo tubo de descarga se introduce vapor de sodio. Pueden ser de dos tipos diferentes: lámparas de vapor de sodio a baja presión y lámparas de sodio a alta presión

#### 2.4.1.1. Baja presión de sodio

Existe una gran similitud entre el trabajo de una lámpara de vapor de sodio a baja presión y una lámpara de vapor de mercurio a baja presión (o fluorescente). Sin embargo, mientras que en la última la luz se produce al convertir la radiación ultravioleta de la descarga de mercurio en radiación visible, utilizando un polvo fluorescente en la superficie interna de la lámpara, en la primera la radiación visible se produce por la descarga directa del sodio.

En la figura 2.5 se muestra una lámpara de vapor de sodio a baja presión, sus componentes principales son los siguientes: Tubo de descarga y soportes, Relleno del tubo de descarga, Electrodo y Bulbo externo.

Tubo de descarga y soportes: El tubo de descarga de una lámpara de sodio de baja presión es generalmente en forma de U, para aprovechar espacio y proveer un mejor aislamiento térmico. Está hecho de vidrio cal-soda, y posee una superficie interna revestida de vidrio de borato para formar una capa protectora contra el vapor de sodio. El tubo contiene además, un número de pequeñas hendiduras, o agujeros, donde se deposita el sodio durante la fabricación.

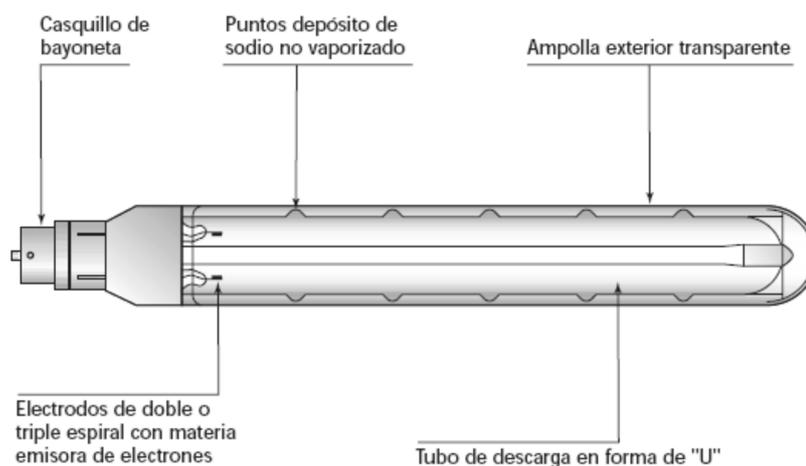


Figura 2.5 Lámpara de vapor de sodio a baja presión

**Relleno del tubo de descarga:** El relleno del tubo de descarga consiste en sodio metálico de alta pureza y en una mezcla de neón y argón, la cual actúa como un gas de arranque y de amortiguación.

**Electrodos:** Las lámparas de sodio de baja presión poseen electrodos de arranque frío. Estos consisten en un alambre de tungsteno triple, de manera que puede mantener una gran cantidad de material emisor.

**Bulbo externo:** Está vacío y se reviste en su superficie interna con una fina película de material reflector infrarrojo. El reflector infrarrojo sirve para reflejar la mayor parte de la radiación de calor que vuelve al tubo de descarga, manteniéndolo de ese modo, a la temperatura deseada, mientras que transmite la radiación visible.

Este tipo de lámpara posee una eficiencia luminosa de hasta  $200 \text{ lm/W}^{20}$  y una larga vida. Esta lámpara se recomienda en aquellos lugares donde la reproducción de color es de poca importancia y donde cuenta, principalmente, el reconocimiento de contraste, por ejemplo: autopistas, puertos, playas, etc. Existen lámparas de sodio de baja presión con potencias que van desde 18 W a 180 W.

La lámpara de vapor de sodio a baja presión alcanza su máximo flujo luminoso en aproximadamente diez minutos. Volverá a arrancar de forma inmediata en caso de que el suministro de alimentación se interrumpa momentáneamente, ya que la presión de vapor es bastante baja y el voltaje aplicado es suficiente como para restablecer el arco.

#### 2.4.1.2. Alta presión de sodio

Físicamente, la lámpara de sodio alta presión es bastante diferente de la lámpara de sodio baja presión, debido a que la presión de vapor es más alta en la primera. Este factor de

<sup>20</sup> Indalux, Op. Cit., pág. 106

presión también es causa de muchas otras diferencias entre ellas, incluyendo las propiedades de la luz emitida.

Las lámparas de sodio de alta presión irradian energía a través de una buena parte del espectro visible. Por lo tanto, en comparación con la lámpara de sodio baja presión, ofrecen una reproducción de color bastante aceptable.

Una lámpara de alta presión de vapor de sodio se compone principalmente de las siguientes partes principales: Tubo de descarga, Electrodo, Relleno del tubo de descarga y Bulbo externo.

Tubo de descarga: El tubo de descarga está hecho de cerámica de óxido de aluminio muy resistente al calor y a las reacciones químicas con el vapor de sodio.

Electrodos: Los electrodos están cubiertos por una capa de material emisor, consisten en una varilla de tungsteno con una serpentina del mismo material, enroscada alrededor de la varilla.

Relleno del tubo de descarga: El tubo de descarga contiene un exceso de sodio para dar condiciones de vapor saturado cuando la lámpara está en funcionamiento. Además posee un exceso de mercurio para proporcionar un gas amortiguador, y se incluye xenón, para facilitar el encendido y limitar la conducción de calor del arco de descarga a la pared del tubo.

Bulbo externo: Este bulbo está generalmente vacío. Como se muestra en la figura 2.6 la forma puede ser tanto ovoidea como tubular. El primero posee un revestimiento interno. Sin embargo, ya que el tubo de descarga de la lámpara de sodio a alta presión no produce, prácticamente, ninguna radiación ultra violeta, el revestimiento es simplemente una capa difusa de polvo blanco, para disminuir el elevado brillo del tubo de descarga. El bulbo tubular es siempre de vidrio claro.

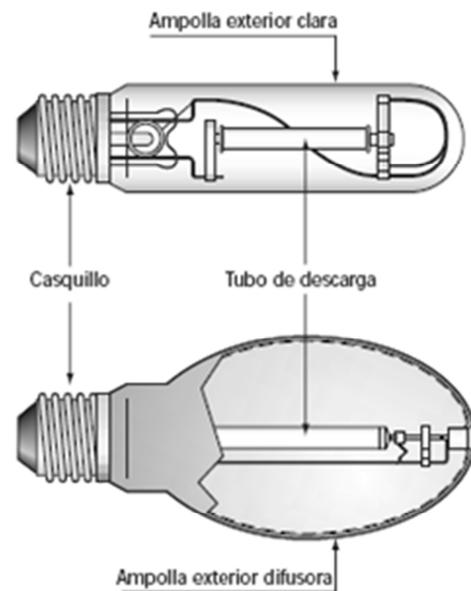


Figura 2.6 Lámparas de alta presión de sodio

Los valores máximos de iluminación se alcanzan al cabo de cinco minutos de encendido. Cuando se apaga una lámpara, debido a la gran presión del bulbo interior, necesita enfriarse entre cuatro y quince minutos para encenderse nuevamente.

## 2.4.2 Vapor de mercurio

En estas lámparas la descarga se produce en un tubo de descarga de cuarzo que contiene una pequeña cantidad de mercurio y un relleno de gas inerte, generalmente argón, para ayudar al encendido. Una parte de la radiación de la descarga ocurre en la región visible del espectro como luz, pero una parte se emite también en la ultravioleta. Cubriendo la superficie interna del bulbo exterior con un polvo fluorescente que convierte esta radiación ultravioleta en radiación visible, la lámpara ofrecerá mayor iluminación que una versión similar sin dicha capa.

Una lámpara de vapor mercurio se compone principalmente de las siguientes partes: Tubo de descarga y soporte, Electrodo, Gas de relleno y Bulbo exterior. En la figura 2.7 se esquematizan estos elementos.

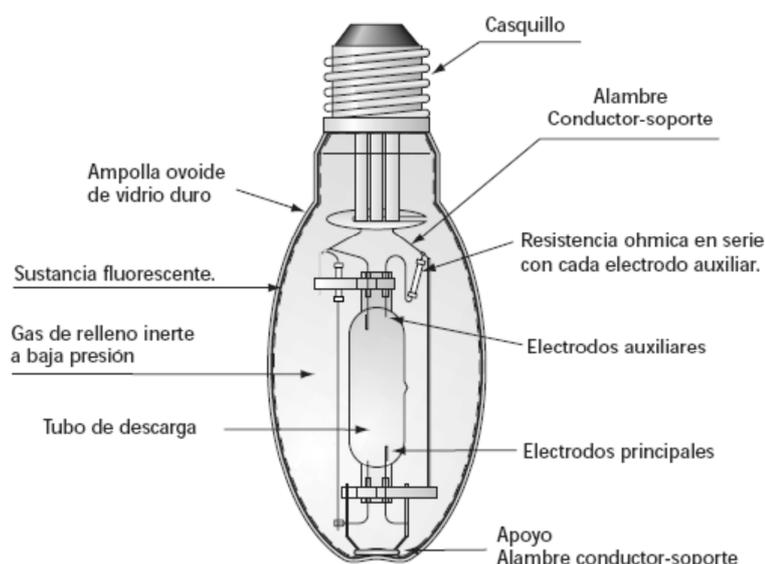


Figura 2.7 Lámpara de vapor de mercurio a alta presión

**Tubo de descarga y soporte:** El tubo de descarga está hecho de cuarzo. Presenta una baja absorción a la radiación ultravioleta y a la visible, y posee la capacidad de soportar las altas temperaturas de trabajo involucradas.

**Electrodos:** Cada electrodo principal se compone de una varilla de tungsteno, cuyo extremo se encuentra revestido por una serpentina de tungsteno impregnado con un material que favorece la emisión de electrones. El electrodo auxiliar es simplemente un trozo de alambre de molibdeno o tungsteno colocado cerca de uno de los electrodos principales y conectado al otro mediante una resistencia de  $25 \text{ k}\Omega$ <sup>21</sup>.

<sup>21</sup> Indalux, Op. Cit., pág 103.

**Gas de relleno:** El tubo de descarga está relleno de un gas inerte (argón) y de una dosis precisa de mercurio destilado. El primero es necesario para ayudar a originar la descarga y para asegurar una vida razonable para los electrodos de emisión recubiertos.

**Bulbo exterior:** Normalmente contiene un gas inerte (argón o una mezcla de argón y nitrógeno), protege al tubo de descarga de cambios en la temperatura ambiente y protege de corrosión a los componentes de la lámpara. En la mayoría de las lámparas de mercurio de alta presión, la superficie interna del bulbo exterior está cubierta por fósforo blanco para mejorar la reproducción de color de la lámpara y para aumentar su flujo luminoso. El fósforo convierte una gran parte de la energía ultravioleta radiada por la descarga en radiación visible.

Cuando este tipo de lámpara se apaga, no volverá a arrancar hasta que se haya enfriado lo suficiente para bajar la presión del vapor al punto donde el arco pueda volver a generarse. Este periodo es de unos cinco minutos.

### **2.4.3 Aditivos metálicos**

Son lámparas de vapor de mercurio a alta presión que además contienen aditivos metálicos, también llamados halogenuros de tierras raras como el Disprobio (Dy), Holmio (Ho) y el Tulio (Tm). Estos aditivos son en parte vaporizados cuando la lámpara alcanza su temperatura de operación normal. El vapor de aditivos metálicos se disocia después, dentro de la zona central caliente del arco, en halógeno y en metal consiguiendo así aumentar considerablemente la eficacia luminosa y aproximar el color al de la luz diurna solar. En las lámparas de aditivos metálicos el mercurio ya no actúa como generador de luz, sino como regulador.

Una lámpara de aditivos metálicos se compone principalmente de los siguientes elementos: Tubo de descarga, Electrodo, Bulbo externo y el Gas de relleno en el tubo de descarga y en el bulbo externo.

**Tubo de descarga:** Es de cuarzo puro. A veces, se aplica una capa blanca de óxido de circonio en la parte externa de las cavidades del electrodo, para aumentar en ese punto la temperatura de la pared.

**Electrodos:** Son similares a los que lleva la lámpara de vapor de mercurio a alta presión.

**Bulbo externo:** El bulbo externo de las lámparas de aditivos metálicos está hecho de vidrio duro o de cuarzo, sin embargo existen modelos que no poseen bulbo externo. La superficie interna de los bulbos con forma oval poseen una capa de fósforo para convertir la radiación

ultravioleta de la descarga en radiación visible. En la figura 2.8 se muestran la forma tubular y elipsoidal de una lámpara de aditivos metálicos.

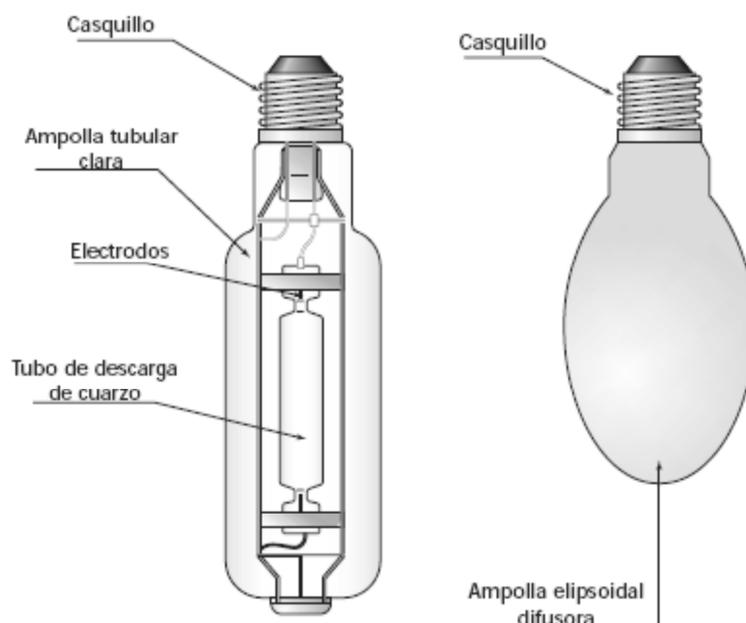


Figura 2.8 Lámparas de Aditivos Metálicos

Gas de relleno en el tubo de descarga: El tubo de descarga está relleno de una mezcla de gases inertes (neón-argón o criptón-argón), una dosis de mercurio y varios metales diferentes, cada uno de los cuales emite un color característico específico, de acuerdo con el tipo de lámpara. Entre los metales utilizados como aditivos se pueden mencionar los siguientes: disprosio, indio, litio, escandio, sodio, talio y estaño.

Gas de relleno en el bulbo externo: El bulbo externo de una lámpara de aditivos metálicos, también debe contener neón para que la presión de neón que se encuentra dentro y fuera del tubo de descarga sea la misma. En caso de que el tubo de descarga esté relleno de una mezcla criptón-argón, se puede utilizar nitrógeno en el bulbo externo o bien, este último puede ser eliminado.

## 2.5 Lámparas de inducción

Las lámparas de descarga inductiva como la mostrada en la figura 2.9, conocidas como lámparas de inducción, son en esencia lámparas fluorescentes sin electrodos ya que producen luz excitando los mismos fósforos convencionales de las fluorescentes.

La descarga en este tipo de lámpara no empieza y acaba en dos electrodos como en una lámpara fluorescente convencional. La forma de anillo cerrado del bulbo de la lámpara permite obtener una descarga sin electrodos, ya que la energía es suministrada desde el

exterior por un campo magnético. Dicho campo magnético está producido en dos anillos de ferrita, lo que constituye una importante ventaja para la duración de la lámpara.

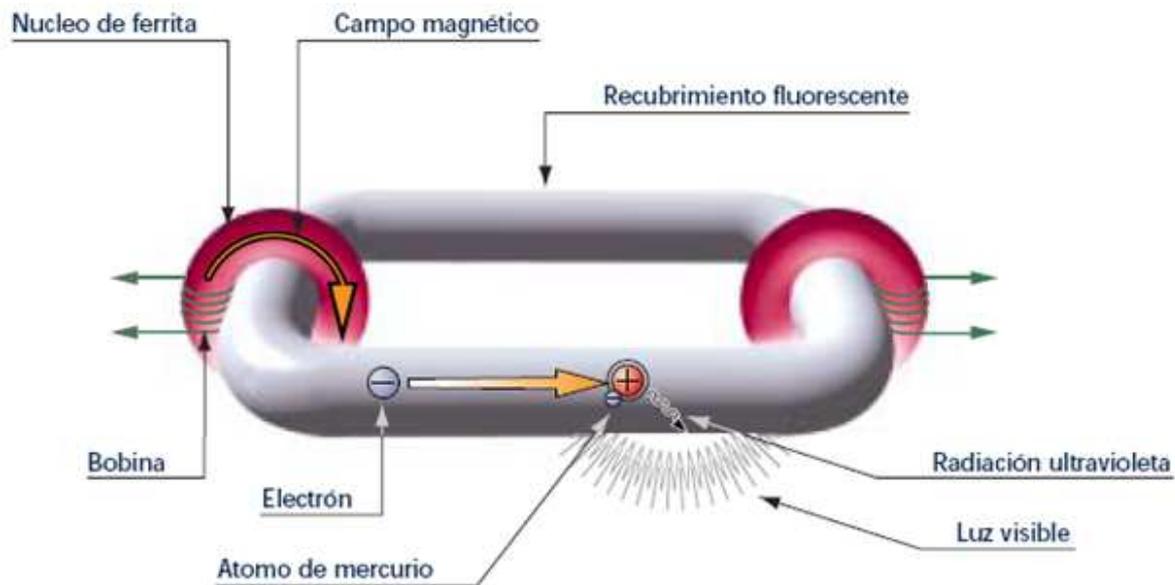


Figura 2.9 Lámpara de inducción

El sistema consta, además del tubo fluorescente sin electrodos, de un equipo de control electrónico separado de la lámpara, lo que permite conservar la energía óptima de la descarga en la lámpara fluorescente y alcanzar una alta potencia lumínica con una buena eficacia.

La lámpara de inducción consta de tres componentes principales, Bulbo o cámara de descarga, Equipo que provee energía y Generador de alta frecuencia

Bulbo o cámara de descarga: Es un recinto de vidrio que contiene un gas inerte a baja presión y una pequeña cantidad de vapor de mercurio. Las paredes están recubiertas de polvos fluorescentes del mismo tipo empleado en las lámparas fluorescentes lineales, lo que posibilita la obtención de diferentes temperaturas de color.

Equipo que provee energía: Transfiere energía desde el generador de alta frecuencia al bulbo utilizando un par de electroimanes que inyectan energía al tubo en forma de campos electromagnéticos; dichos electroimanes están formados cada uno por una bobina con núcleos de ferrita en forma de anillos.

Generador de alta frecuencia: Produce una corriente alterna de alta frecuencia que no debe causar interferencia con la operación normal de los diversos aparatos electrónicos que se encuentren a su alrededor. Por esta razón cada país o región designa cual debe ser la frecuencia de operación de este tipo de lámparas. Como ejemplo podemos mencionar que

en los Estados Unidos este tipo de lámparas deben operar a una frecuencia 13.65 MHz, mientras que para la comunidad europea se tiene una frecuencia de operación de 2.65 MHz<sup>22</sup>.

Estas lámparas son especialmente recomendadas para aquellas aplicaciones donde las dificultades de sustitución de las lámparas incrementan los costos de mantenimiento excesivamente, como por ejemplo, iluminación de túneles, techos de naves industriales muy altos y de difícil acceso, etc.

Cabe mencionar que en nuestro país a diferencia de Europa y Estados Unidos, no hay normas específicas que regulen las características y usos de las lámparas de inducción, por lo que es de suma importancia iniciar la actualización de normas nacionales como la NOM-001-SEDE-2005 y NOM-013-ENER-2004 y todas aquellas relacionadas, para que contemplen los sistemas de iluminación más actuales como es el caso de las lámparas de inducción y LED, así como sus protocolos de prueba.

## 2.6 Lámparas LED

Un LED es un componente electrónico de estado sólido que comenzó a ser producido al rededor del año 1960. La sigla LED se debe a la expresión "Light Emitting Diode". Este tipo de semiconductores, emiten luz visible sin intermitencia, al ser alimentados por energía eléctrica en corriente directa, los cuales dependiendo de su operación pueden ser de baja o alta potencia.

Los LEDs de baja potencia como el mostrado en la figura 2.10 son diseños sencillos, que no incluyen ningún tipo de óptica de control del flujo luminoso y son de potencias de hasta 0.12 W; este tipo de LEDs se utilizan principalmente para aplicaciones de señalización o indicación. En un led de baja potencia, una lente clara o difusa, hecha con una resina epoxi, cubre el chip semiconductor y sella al LED en forma de cápsula. La misma provee también un control óptico a la luz emitida, ya que incrementa el flujo luminoso y reduce las reflexiones en la superficie del semiconductor, logrando de este modo una variedad de distribuciones angulares.

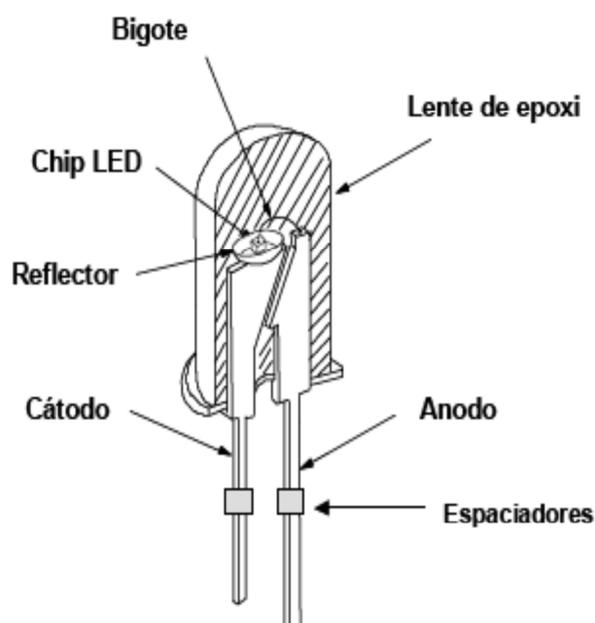


Figura 2.10 LED de Baja Potencia

<sup>22</sup> IESNA, Op. Cit., pág 259.

Los LEDs de alta potencia como los mostrados en las figuras 2.11 y 2.12, son diseños más completos que incluyen diversas alternativas de ópticas de control del flujo luminoso y los más utilizados son de potencias de 1 W, aunque actualmente existen avanzados diseños en potencias de 3, 5, 10, 20 y 30 W.

Este tipo de LEDs se utilizan principalmente para iluminación concentrada en aplicaciones exteriores arquitectónicas, permitiendo generar amplias posibilidades creativas de diseño y efectos de color. Sin embargo recientemente esta tecnología ha presentado diseños innovadores enfocados a la iluminación interior en el sector residencial.



Figura 2.11 LED de alta potencia



Figura 2.12 Óptica secundaria de un LED de alta potencia

Un diodo emisor de luz de alta potencia se integra básicamente de los siguientes componentes:

- ◆ Semiconductor emisor del flujo luminoso con terminales exteriores para alimentación del cátodo (+) y ánodo (-).
- ◆ Encapsulado de silicón que cubre al semiconductor emisor.
- ◆ Base con superficie inferior disipadora de temperatura.
- ◆ Óptica primaria integrada por lente semiesférica envolvente de resina termoplástica transparente.
- ◆ Óptica secundaria integrada por diversas opciones en cuanto a tipo de lentes concentradoras del flujo luminoso.

## 2.7 Formas de control

Los métodos de control para los sistemas de iluminación se pueden clasificar de manera general en dos grandes grupos, sistemas manuales y sistemas automáticos. Entre los elementos de control manual podemos encontrar: apagadores, dimmers (atenuadores) e interruptores termomagnéticos. Entre los elementos de control automático podemos encontrar: sensores de presencia, sensores fotosensibles, contactores y temporizadores.

### 2.7.1 Apagadores

Un apagador como el mostrado en la figura 2.13, se define como un interruptor pequeño de acción rápida, operación manual y baja capacidad que se usa, por lo general, para controlar aparatos pequeños domésticos y comerciales así como pequeñas unidades de alumbrado. Debido a que la operación de los apagadores es manual, los voltajes de utilización no deben exceder los 600 volts.<sup>23</sup>

Debe tenerse especial cuidado de no usar los apagadores para interrumpir corrientes que excedan a su valor nominal, por lo que se debe observar que los datos de voltaje y corriente estén impresos en las características del apagador, como dato del fabricante.

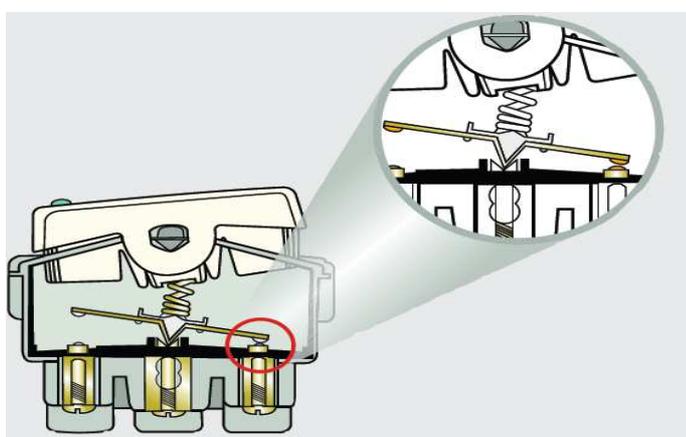


Figura 2.13 Detalle del punto de contacto en un apagador

### 2.7.2 Dimmers

El dimmer, que puede ser analógico como el mostrado en la figura 2.14 o bien digital, es un dispositivo encargado de regular la energía que alimenta a una o varias lámparas, con el fin de variar la intensidad de la luz que emiten (siempre y cuando las propiedades de la lámpara lo permitan).

En general cualquier tipo de lámpara puede ser atenuada mediante un dimmer, sin embargo, solo las lámparas incandescentes, incandescentes halógenas y algunos modelos de tecnología led pueden hacerlo sin equipo auxiliar. Todas las demás tecnologías requieren de balastos especializados para poder

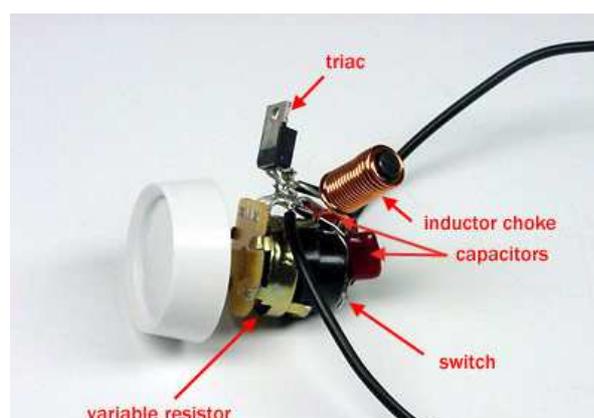


Figura 2.14 Dimmer Analógico

<sup>23</sup> Enríquez Gilberto, *El ABC de las Instalaciones Eléctricas Residenciales*, pág. 68.

atenuarse. Además debe tomarse en cuenta que algunos modelos de lámparas, como es el caso de la mayoría de las fluorescentes compactas no admiten atenuación alguna aun con equipo auxiliar, sin que ello signifique que no puedan encontrarse modelos en el mercado de la misma tecnología que sí admitan atenuación.

El uso de los dimmers como forma de control de iluminación presenta dos ventajas, la primera es el ahorro de energía eléctrica al reducir directamente la cantidad de potencia que consume la lámpara, y la segunda es, que al operar la lámpara a un nivel de tensión menor al nominal, se incrementa la vida útil de la lámpara.

### 2.7.3 Interruptores termomagnéticos

En la figura 2.15 se ilustra un interruptor termomagnético, también conocido como “breaker” es un dispositivo diseñado para conectar y desconectar un circuito por medios no automáticos y desconectar un circuito automáticamente para un valor determinado de sobrecorriente, sin que se dañe a sí mismo cuando se desconecta dentro de sus valores de diseño.



Figura 2.15 Interruptor termomagnético estándar

La operación de cerrar y abrir un circuito eléctrico se realiza por medio de una palanca que indica la posición cerrado (on), abierto (off). La característica particular de los interruptores termomagnéticos es, el elemento térmico conectado en serie con los contactos y que tiene como función proteger un circuito eléctrico contra condiciones de sobrecarga gradual; la corriente pasa a través del elemento térmico conectado en serie y origina su calentamiento; cuando se produce un calentamiento excesivo como resultado de un incremento en la carga, unas cintas bimetálicas operan sobre los elementos de sujeción de los contactos desconectándolos automáticamente.

Un interruptor termomagnético se utiliza como control de iluminación sustituyendo a los apagadores, cuando se requiere controlar un número importante de lámparas al mismo tiempo. Esto debido a que los apagadores están limitados al control de carga de máximo 10 amperes, con un interruptor termomagnético se puede controlar fácilmente una carga 5 veces superior.

Los interruptores termomagnéticos se utilizan también para controlar la iluminación de las áreas comunes de grandes edificaciones. Esto debido principalmente a que en un solo

tablero se pueden concentrar todos los circuitos de iluminación, lo que permite controlarlos a todos sin la necesidad de desplazarse a través de todo el inmueble.

#### 2.7.4 Sensores de presencia

Este tipo de dispositivos fueron desarrollados en un principio para la industria de la seguridad, debido a su alta confiabilidad en la detección de personas en el lugar de su instalación. Su funcionamiento es sencillo ya que mientras no detecte movimiento, no se encienden las luces. La mayoría de los sensores pueden ser calibrados para determinar el tiempo entre la última detección y el apagado de la iluminación.

Este tipo de sensores se pueden utilizar para iluminar un espacio como un pasillo o una habitación de forma automática al detectar el movimiento de una persona u objeto. Generalmente se basan en el cambio provocado en alguna característica del sensor debido a la proximidad del objeto. Este tipo de controles proporcionan un ahorro de consumo eléctrico de entre 5% y 75%<sup>24</sup> dependiendo de las características y usos del lugar en donde se coloquen. De forma general los sensores de presencia funcionan con alguna de las tres tecnologías explicadas a continuación

##### 2.7.4.1 Ultrasónicos

Los sensores de ocupación ultrasónicos actúan como transmisores y receptores, generan ondas de sonido de alta frecuencia. Estos controles permanecen activos emitiendo continuamente ondas de sonido y supervisando cambios en el tiempo de retorno de las ondas de sonido reflejadas. El movimiento en el campo de la onda de sonido ocasiona un cambio en la frecuencia de onda y el sensor responde mediante el encendido de las luces. Cuando el cambio en la frecuencia ya no se detecta comienza un período de retardo, después del cual el sensor apaga las luces.



Figura 2.16 Sensor de presencia ultrasónico

En la figura 2.16 se muestra un sensor de tecnología ultrasónica, estos sensores son los más adecuados para detectar movimientos alrededor de esquinas. Así mismo, son más sensibles a movimientos sutiles que los sensores pasivos infrarrojos y resultan particularmente idóneos en ubicaciones donde sólo se realizan cantidades mínimas de movimiento.

<sup>24</sup> Bticino, *guía de especificación de detectores de presencia Watt Stoppe*,. pág.11.

### 2.7.4.2 Pasivo infrarrojo

En la figura 2.17 se muestra un sensor pasivo infrarrojo, este tipo de sensores de ocupación son dispositivos pasivos diseñados para detectar el movimiento de determinadas fuentes de energía tales como el cuerpo humano. Estos sensores captan la presencia detectando la diferencia entre el calor emitido por el cuerpo humano y el espacio alrededor. Con objeto de lograr total confiabilidad, algunas marcas integran además, un filtro especial de luz que elimina toda posibilidad de falsas detecciones causadas por los rayos solares, así como circuitos especiales que dan mayor inmunidad a ondas de radio frecuencia. Requieren de una línea de visión sin obstrucciones para lograr una detección precisa.

Conforme una persona atraviesa el campo de visión, el sensor detecta el movimiento como un cambio en el fondo infrarrojo y responde con el encendido de las luces del área. Después de que el campo de visión permanece desocupado durante un período de tiempo definido por el usuario, el sensor apaga en forma automática las luces. Por lo general, los sensores PIR responden a movimientos más perceptibles que los sensores ultrasónicos y funcionan mejor en áreas pequeñas y cerradas con altos niveles de movimientos de ocupación. Estos sensores se instalan con el propósito de supervisar áreas donde no existen obstrucciones físicas que bloqueen el campo de visión del sensor.



Figura 2.17 Sensor de presencia pasivo infrarrojo

### 2.7.4.3 Tecnología dual

La tecnología Dual combina las tecnologías PIR y Ultrasónica, proporcionando así el control de iluminación en áreas donde los sensores de una sola tecnología pudieran presentar deficiencias en la detección.



Figura 2.18 Sensor de presencia con tecnología dual

La combinación de las tecnologías PIR y Ultrasónica permite que el sensor aproveche las mejores características de ambas, ofreciendo así mayor sensibilidad y exactitud de operación. Esta tecnología presenta diferentes configuraciones de operación. La configuración estándar enciende la iluminación cuando las dos tecnologías detectan ocupación de forma simultánea, la mantiene encendida mientras una de las dos siga detectando presencia y la apaga cuando el área se desocupa. Según las condiciones específicas de la zona a controlar, es posible cambiar dicha configuración.

Un ejemplo de aplicación pudiera darse en una sala de cómputo: El flujo de aire generado por el aire acondicionado podría provocar falsos encendidos para un sensor ultrasónico, mientras que la falta de movimiento en el área pudiera provocar falsos apagones con un PIR. Este tipo de problemas se pueden resolver con la tecnología Dual, ya que para el encendido de las luces, el detector, en su configuración estándar, necesita detección de presencia de las dos tecnologías, mientras que para mantener la luz encendida, sólo es necesario que alguna de las dos tecnologías detecte movimiento por mínimo que éste sea.

### 2.7.5 Celdas fotosensibles

Las celdas fotosensibles son dispositivos que censan el nivel de iluminación natural y generan una señal proporcional a éste, que se procesa internamente para después mandar una señal de control a los interruptores o dispositivos de atenuación. Lo anterior permite tener un ajuste del nivel de iluminación de acuerdo a las condiciones que presente el medio ambiente. La ubicación de las celdas fotosensibles es un aspecto crítico que determina la correcta operación del sistema de control de iluminación, por lo que el diseñador deberá decidir si se controla el nivel de iluminación en el plano de trabajo (regulando del nivel de lúmenes) o si efectúa el censo de la fuente de luz natural. En las figuras 2.19 y 2.20 se muestran una fotocelda de uso interior y una fotocelda de uso exterior.



Figura 2.19 Sensor fotosensible de uso interior



Figura 2.20 Sensor fotosensible de uso exterior

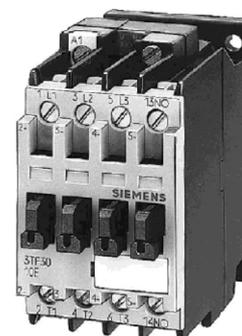


Figura 2.21 Contactor trifásico

### 2.7.6 Contactores

El contactor es un dispositivo electromecánico de mando, que actúa de forma similar a un interruptor con la diferencia de que este puede ser accionado a distancia, a través de un electroimán que abre o cierra los contactos por medio de una señal de control. El contactor tiene como elementos esenciales: los contactos principales usados para alimentar el circuito de potencia; los Contactos auxiliares empleados para alimentar al electroimán y a otros dispositivos de mando y señales de aviso y por último el electroimán que es el elemento que realiza la apertura o cierre de los contactos principales. En los sistemas de iluminación el contactor se utiliza como un medio para llevar a cabo la automatización del encendido y apagado de las lámparas, por lo que este dispositivo debe estar acompañado por un sensor o un temporizador que accione el electroimán del contactor. Un contactor ofrece también la

posibilidad de maniobrar circuitos sometidos a corrientes muy altas mediante corrientes débiles.

### 2.7.7 Temporizadores

Un temporizador (figura 2.22) es un interruptor que incluye un sistema de control de tiempo que es utilizado para abrir o cerrar un circuitos eléctricos, de forma programada. En los temporizadores electrónicos modernos puede realizarse una programación en forma diaria, semanal, mensual o anual y hasta incluir días de asueto. Una memoria no volátil evita que un eventual corte de energía borre la programación.

Estos dispositivos están indicados preferentemente para locales con un patrón de ocupación muy regular y conocido, por ejemplo aulas escolares, naves industriales, o locales de oficinas, que incluyen pausas en el transcurso de la jornada o bien, al final de esta. Un temporizador puede utilizarse también como un simulador de presencia, permitiendo que una lámpara permanezca encendida durante un tiempo predeterminado, con el fin de prevenir robos.



Figura 2.22 Temporizador electromecánico

## CAPÍTULO 3

### NORMATIVIDAD APLICABLE A LOS PROYECTOS DE ILUMINACIÓN

En los Estados Unidos Mexicanos, existe una serie de normas de carácter obligatorio que regulan cuestiones de naturaleza técnica, estas normas son denominadas como Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Una NOM tiene como objetivo establecer reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación con el fin de proteger la salud y vida de las personas así como el entorno en el que viven. Es decir, la principal preocupación de una NOM es garantizar que en la realización de ciertos procesos, en la elaboración de productos o la prestación de servicios no existan riesgos, evitar los abusos e impedir accidentes estableciendo condiciones mínimas de seguridad.

Las NOMs tienen su fundamento legal en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (LFMN), esta ley fue publicada en el Diario Oficial de la Federación, el 1o. de julio de 1992. En esta ley se describen los lineamientos que deben seguirse en la elaboración de una NOM, así como la estructura que debe contener una NOM y las personas o entidades involucradas en la elaboración de las NOM.

En el artículo 40 de la LFMN se describe la finalidad de una NOM en XVIII fracciones, de ellas resultan de interés para un proyecto de iluminación las siguientes:

ARTÍCULO 40.- Las normas oficiales mexicanas tendrán como finalidad establecer:

I. Las características y/o especificaciones que deban reunir los productos y procesos cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal, el medio ambiente general y laboral, o para la preservación de recursos naturales.

III. Las características y/o especificaciones que deban reunir los servicios cuando éstos puedan constituir un riesgo para la seguridad de las personas o dañar la salud humana, animal, vegetal o el medio ambiente general y laboral o cuando se trate de la prestación de servicios de forma generalizada para el consumidor.

VII. Las condiciones de salud, seguridad e higiene que deberán observarse en los centros de trabajo y otros centros públicos de reunión.

X. Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover el mejoramiento del medio ambiente y los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales.

XI. Las características y/o especificaciones, criterios y procedimientos que permitan proteger y promover la salud de las personas, animales o vegetales.

XIII. Las características y/o especificaciones que deben reunir los equipos, materiales, dispositivos e instalaciones industriales, comerciales, de servicios y domésticas para fines sanitarios, acuícolas, agrícolas, pecuarios, ecológicos, de comunicaciones, de seguridad o de calidad y particularmente cuando sean peligrosos.

En el caso de un proyecto de iluminación para un edificio público deben atenderse al menos las siguientes NOMs:

- ❖ NOM-007-ENER-2004 Eficiencia Energética En Sistemas De Alumbrado En Edificios No Residenciales
- ❖ NOM-025-STPS-2008 Condiciones De Iluminación En Los Centros De Trabajo
- ❖ NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (Utilización)

Además cuando se trata de un inmueble universitario debe atenderse también a la Norma Oficial Universitaria.

### **3.1 NOM-007-ENER-2004 Eficiencia Energética En Sistemas De Alumbrado En Edificios No Residenciales.**

La NOM-007-ENER-2004 Eficiencia Energética En Sistemas De Alumbrado En Edificios No Residenciales, tiene como finalidad la preservación y uso racional de los recursos energéticos, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 15 de abril del 2005, por conducto de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía de la Secretaría de Energía. Como se indica en su transitorio número 2 esta norma entro en vigor el 13 de agosto de 2005, es decir 120 días después de su publicación en el Diario Oficial de la Federación.

La Norma Establece niveles de eficiencia energética en términos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes, con el propósito de que sean proyectados y construidos haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica,

mediante la optimización de diseños y la utilización de equipos y tecnologías que incrementen la eficiencia energética sin menoscabo de los niveles de iluminancia requeridos, con lo cual se pretende contribuir a la preservación de recursos energéticos y la ecología de la Nación.

Esta Norma establece también el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) de los sistemas de alumbrado de edificios nuevos no residenciales, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes con el fin de verificar el cumplimiento de la misma.

El campo de aplicación de la NOM-007-ENER-2004 comprende los sistemas de alumbrado interior y exterior de los edificios no residenciales nuevos con carga total conectada para alumbrado mayor o igual a 3 kW; así como a las ampliaciones y modificaciones de los sistemas de alumbrado interior y exterior con carga conectada de alumbrado mayor o igual a 3 kW de los edificios existentes. En particular, los edificios cubiertos por la presente Norma Oficial Mexicana son aquellos cuyos usos autorizados en función de las principales actividades y tareas específicas que en ellos se desarrollen, queden comprendidos dentro de los siguientes tipos:

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| <b>a)</b> Oficinas                          | <b>f)</b> Restaurantes           |
| <b>b)</b> Escuelas y demás centros docentes | <b>g)</b> Bodegas                |
| <b>c)</b> Establecimientos comerciales      | <b>h)</b> Recreación y cultura   |
| <b>d)</b> Hospitales                        | <b>i)</b> Talleres de servicio   |
| <b>e)</b> Hoteles                           | <b>j)</b> Centrales de pasajeros |

Para ampliaciones o modificaciones de edificios no residenciales ya existentes, la aplicación de esta Norma queda restringida exclusivamente a los sistemas de alumbrado de dicha ampliación o modificación y no a las áreas construidas con anterioridad.

Los valores de (DPEA) que deben cumplir los sistemas de alumbrado interior de los edificios indicados en el campo de aplicación de la NOM007, no deben exceder los valores indicados en la Tabla 3.1<sup>25</sup>.

De manera adicional a los valores presentados en esta tabla la norma menciona que la eficacia de la fuente de iluminación que se utilice para iluminar la fachada de un edificio no debe ser menor a 22 lm/W. La DPEA para las áreas exteriores restantes, no debe ser mayor de 1,8 W/m<sup>2</sup>.

---

<sup>25</sup> Tabla correspondiente a la tabla 1. Densidades de potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), de la sección 6 Especificaciones, de la NOM-007-ENER-2004.

Tabla 3.1 Densidades de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA)

| TIPO DE EDIFICIO   | DPEA<br>(W/m <sup>2</sup> ) |
|--|-----------------------------|
| Oficinas   | 14                          |
| Escuelas y demás centros docentes                                      | 16                          |
| Bibliotecas  | 16                          |
| Establecimientos comerciales   | 20                          |
| Hospitales, sanatorios y clínicas                                      | 17                          |
| Hoteles  | 18                          |
| Moteles  | 22                          |
| Bares  | 16                          |
| Cafeterías y venta de comida rápida                                    | 19                          |
| Restaurantes   | 20                          |
| Bodegas o áreas de almacenamiento                                      | 13                          |
| Salas de cine  | 17                          |
| Teatros  | 16                          |
| Centros de convenciones  | 15                          |
| Gimnasios y centros deportivos   | 16                          |
| Museos   | 17                          |
| Templos  | 24                          |
| Talleres de servicio para automóviles                                  | 16                          |
| Talleres   | 27                          |
| Centrales y terminales de transporte de carga                          | 13                          |
| Centrales y terminales de transporte de pasajeros, aéreas y terrestres | 16                          |

Para los estacionamientos cubiertos, cerrados o techados, la DPEA a cumplir no debe ser mayor de 3 W/m<sup>2</sup> y, para los estacionamientos abiertos no debe ser mayor a 1,8 W/m<sup>2</sup>.

### 3.2 NOM-025-STPS-2008 Condiciones De Iluminación En Los Centros De Trabajo.

La NOM-025-STPS-2008 Condiciones De Iluminación En Los Centros De Trabajo, fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 30 de diciembre de 2008. Como se indica en su transitorio primero esta norma entro en vigor 2 meses posteriores a su publicación en el Diario Oficial de la Federación, es decir el 1 de marzo de 2009. Con la entrada en vigor de la NOM-025-STPS-2008, queda cancelada la anterior Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-1999

La NOM-025-STPS-2008, tiene como Objetivo establecer los requerimientos de iluminación en las áreas de los centros de trabajo, para que se cuente con la cantidad de iluminación requerida para cada actividad visual, a fin de proveer un ambiente seguro y saludable en la realización de las tareas que desarrollen los trabajadores. Esta Norma rige en todo el territorio nacional y aplica en todos los centros de trabajo. Los niveles de iluminación

mínimos que deben incidir en el plano de trabajo, para cada tipo de tarea visual o área de trabajo, son los establecidos en la Tabla 3.2<sup>26</sup>.

Tabla 3.2 Niveles de iluminación

| Tarea visual del puesto de trabajo  | Área de trabajo   | Niveles mínimos de iluminación (luxes) |
|---|---|--|
| En exteriores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.  | Exteriores generales: patios y estacionamientos.  | 20                                     |
| En interiores: distinguir el área de tránsito, desplazarse caminando, vigilancia, movimiento de vehículos.  | Interiores generales: almacenes de poco movimiento, pasillos, escaleras, estacionamientos cubiertos, labores en minas subterráneas, iluminación de emergencia.  | 50                                     |
| En interiores.  | Áreas de circulación y pasillos; salas de espera; salas de descanso; cuartos de almacén; plataformas; cuartos de calderas.  | 100                                    |
| Requerimiento visual simple: inspección visual, recuento de piezas, trabajo en banco y máquina.   | Servicios al personal: almacenaje rudo, recepción y despacho, casetas de vigilancia, cuartos de compresores y pailería.   | 200                                    |
| Distinción moderada de detalles: ensamble simple, trabajo medio en banco y máquina, inspección simple, empaque y trabajos de oficina.   | Talleres: áreas de empaque y ensamble, aulas y oficinas.  | 300                                    |
| 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                                    |
| Distinción fina de detalles: maquinado de precisión, ensamble e inspección de trabajos delicados, manejo de instrumentos y equipo de precisión, manejo de piezas pequeñas.                          | Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.   | 750                                    |
| Talleres de alta precisión: de pintura y acabado de superficies y laboratorios de control de calidad.   | Proceso: ensamble e inspección de piezas complejas y acabados con pulidos finos.  | 1 000                                  |
| Alto grado de especialización en la distinción de detalles.   | Proceso de gran exactitud. Ejecución de tareas visuales: → de bajo contraste y tamaño muy pequeño por periodos prolongados; →exactas y muy prolongadas, →muy especiales de extremadamente bajo contraste y pequeño tamaño | 2 000                                  |

<sup>26</sup> Tabla correspondiente a la tabla 1 niveles de iluminación, de la sección 7 Niveles de Iluminación para tareas visuales y áreas de trabajo, de la NOM-025-STPS-2008.

Es importante mencionar que la NOM-025-STPS-2008 en su apéndice A, ofrece la metodología adecuada para llevar a cabo la determinación de los niveles de iluminación en las áreas de trabajo. Así mismo se establece el número mínimo de mediciones requeridas en un área de trabajo a partir de los parámetros geométricos de estas.

De la misma forma el apéndice B de esta norma, ofrece la metodología adecuada para llevar a cabo la determinación del factor de deflexión de las superficies en los centros de trabajo.

### **3.3 NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (Utilización).**

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (Utilización), se publicó en el Diario Oficial de la Federación el día 13 de Marzo del 2006. Según su Transitorio Primero, la Norma entró en vigor el 13 de Septiembre del 2006, y es aplicable a todas aquellas instalaciones eléctricas que hayan sido construidas en fecha posterior a su entrada en vigor, incluyendo ampliaciones o modificaciones a instalaciones existentes.

El objetivo de la Norma es establecer las especificaciones y lineamientos de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones destinadas a la utilización de la energía eléctrica, a fin de que ofrezcan condiciones adecuadas de seguridad para las personas y sus propiedades en lo referente a la protección contra:

- ⇒ Los Choques eléctricos.
- ⇒ Los efectos térmicos.
- ⇒ Sobrecorrientes.
- ⇒ Las corrientes de falla
- ⇒ Sobretensiones.

El cumplimiento de las disposiciones indicadas en esta norma garantiza el uso de la energía eléctrica en forma segura; sin embargo esta norma no puede ser tomada como una guía de diseño, ni como un manual de instrucciones para personas no calificadas.

El campo de aplicación de esta NOM es muy extenso y variado y se describe con detalle en 6 incisos que pertenecen a la sección 1.2 de dicha norma. En nuestro caso nos es de particular interés el inciso a) de esta sección ya que es este el que hace mención al tipo de inmueble al que pertenece una institución educativa. Este inciso dice:

1.2.1 Esta NOM cubre a las instalaciones destinadas para la utilización de la energía eléctrica en:

a) Propiedades industriales, comerciales, residenciales y de vivienda, institucionales, cualquiera que sea su uso, públicas y privadas, y en cualquiera de los niveles de tensiones eléctricas de operación, incluyendo las utilizadas para el equipo eléctrico conectado por los

---

usuarios. Instalaciones en edificios utilizados por las empresas suministradoras, tales como edificios de oficinas, almacenes, estacionamientos, talleres mecánicos y edificios para fines de recreación.

La estructura de esta norma consta de 9 títulos, de los cuales el título 4 es el que contiene la parte medular de la norma, pues en este se detallan las especificaciones técnicas que deben cumplir las instalaciones eléctricas.

De entre los múltiples artículos de la norma que intervienen en una instalación eléctrica para iluminación podemos destacar los siguientes:

#### ARTICULO 384 - Tableros de Distribución y Tableros de Alumbrado y Control

Este Artículo hace referencia a todos los tableros de distribución y tableros de alumbrado y control instalados para el control de circuitos de alumbrado y fuerza, y a los tableros para carga de baterías alimentados desde circuitos de alumbrado o fuerza.

#### ARTICULO 410-Luminarios, Portalámparas, Lámparas Y Receptáculos

Este artículo cubre los requisitos de los luminarios, portalámparas, colgantes, receptáculos, lámparas incandescentes, lámparas de arco, lámparas de descarga y de los cableados y equipo que forme parte de las lámparas, luminarios e instalaciones de alumbrado.

#### ARTICULO 605-INSTALACIONES EN OFICINAS

Esta Sección se refiere a equipo eléctrico, accesorios de alumbrado y sistemas de alambrado usados para conectar, colocar dentro, o instalar en muros alambrados prefabricados.

### **3.4 Norma Oficial Universitaria (Instalaciones Eléctricas)**

La Norma Oficial Universitaria Instalaciones Eléctricas, fue actualizada por última ocasión el 21 de septiembre de 2009. Esta Norma Universitaria acata las disposiciones de la NOM-001-SEDE-2005, así como los principios correctos de la Ingeniería, para poder realizar Instalaciones Eléctricas seguras, flexibles y económicas dentro de los recintos pertenecientes a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Esta Norma tiene por objetivo establecer los criterios, requisitos y procedimientos para la planeación y diseño de las instalaciones eléctricas en las áreas que las requieran, manteniendo el nivel de servicio y seguridad en lo que respecta a suministro y utilización de la energía eléctrica demandada por los usuarios de los inmuebles universitarios, para cumplir con sus funciones sustantivas de Docencia, Investigación, Difusión de la Cultura entre otras.

La correcta y adecuada utilización de los ordenamientos de esta Norma, son de aplicación obligatoria en el diseño de las instalaciones eléctricas de la UNAM, en inmuebles nuevos, ampliaciones, remodelaciones y rehabilitaciones de las instalaciones existentes.

La Norma Oficial Universitaria consta de 14 secciones las cuales son:

- |                            |                             |
|----------------------------|-----------------------------|
| 1. Presentación            | 8. Tableros de Baja Tensión |
| 2. Alumbrado               | 9. Subestaciones            |
| 3. Receptáculos            | 10. Sistemas de Tierra      |
| 4. Motores                 | 11. Sistemas de Pararrayos  |
| 5. Circuitos Derivados     | 12. Métodos de Instalación  |
| 6. Alimentadores Generales | 13. Especificaciones        |
| 7. Sistemas de Emergencia  | 14 Bibliografía             |

En un proyecto de iluminación debe prestarse especial atención a la sección 2 que tiene por título "Alumbrado" en esta sección se describen las características que deben cumplir los sistemas de iluminación en las instalaciones universitarias. Se dan a conocer los niveles de iluminación que debe proporcionar el sistema de iluminación en las distintas áreas de un inmueble, además se hacen recomendaciones sobre la forma de control que debe usarse en el sistema de iluminación.

En la tabla 3.3<sup>27</sup> se muestran los niveles de iluminación que la Norma Oficial Universitaria pide que se tomen como base para el diseño de la iluminación de los inmuebles que construye o remodela la UNAM. Es importante hacer notar que esta norma pide niveles de iluminación mayores que la NOM-025 y al establecer esta última, niveles mínimos de iluminación con los que debe cumplirse, podemos concluir que la aplicación de la norma universitaria no causa conflicto ni contradice a la NOM-025. Es importante mencionar también que la Norma Oficial Universitaria, permite una variación de los valores presentados en la tabla de un  $\pm 10\%$ .

| Local                          | Nivel en luxes |
|--------------------------------|----------------|
| Aulas.                         | 400            |
| Oficinas.                      | 400            |
| Bibliotecas (sala de lectura). | 500            |
| Laboratorios.                  | 500            |
| Salas de juntas.               | 300            |
| Salas de cómputo.              | 300            |
| Salas de dibujo                | 600            |
| Salas de espera.               | 200            |
| Baños.                         | 150            |
| Pasillos interiores.           | 100            |
| Pasillos exteriores.           | 100            |
| Cubículos.                     | 300            |
| Escaleras interiores.          | 100            |
| Pasos a cubierto.              | 60             |
| Subestaciones                  | 200            |
| Planta de Emergencia, UPS      | 200            |

Tabla 3.3 Niveles de iluminación pedidos por la norma oficial universitaria

<sup>27</sup> Tabla correspondiente a la tabla de la sección 2.2 niveles de iluminación, página 5 de la Norma Oficial Universitaria (Instalaciones Eléctricas).

## CAPÍTULO 4

### CARACTERÍSTICAS DE LOS EDIFICIOS DE AULAS Y ADMINISTRATIVO DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN

Con la construcción de la Ciudad Universitaria en el pedregal de San Ángel al sur de la ciudad de México, la Facultad de Contaduría y Administración, entonces llamada Escuela Nacional de Comercio y Administración se instaló en el ala de humanidades del edificio que actualmente ocupa la Facultad de Economía el 24 de marzo de 1954; pero sucedió que alumnos y maestros se negaban a ocuparla por estar “muy lejos” del centro de la ciudad. Por tal motivo, no solo la Facultad de Contaduría sino toda Ciudad Universitaria permaneció durante algún tiempo en el abandono, aprovechada solo ocasionalmente para exposiciones internacionales, y eventos culturales y artísticos.

La situación se resolvió con inteligencia por parte de las autoridades universitarias, cuando se decidió que los alumnos de nuevo ingreso asistirían forzosamente a la Ciudad Universitaria del Pedregal de San Ángel, como se le llamaba popularmente a las grandes extensiones de piedra volcánica que había dejado el volcán Xitle, oficialmente terrenos de la villa Álvaro Obregón.

En 1968 un nuevo edificio más amplio y con instalaciones más adecuadas a las necesidades crecientes de la comunidad de la Facultad de Contaduría fue construido en el sur de la Ciudad Universitaria; este edificio, el que actualmente ocupa la Facultad, fue inaugurado por el C.P. Carlos Pérez del Toro, entonces director.

#### 4.1 Ubicación

La Ciudad Universitaria (C.U.) de la Universidad Nacional Autónoma de México se encuentra ubicada en el Pedregal de San Ángel al sur de la Ciudad de México. La dirección oficial de la C.U. es: avenida Universidad N° 3000 en la colonia Universidad Nacional Autónoma de México de la delegación Coyoacán en el Distrito Federal, y le corresponde el código postal 04510.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> Domicilio obtenido de la dirección electrónica: <http://www.unam.mx/pagina/es/110/direccion-fiscal>

La C.U. es un conjunto académico de grandes proporciones, y el tránsito a través de ella se realiza caminando sobre sus andadores o bien por medio de avenidas que comunican las distintas zonas de la C.U. Entre las principales avenidas de la C.U. se encuentran el circuito interior, el circuito exterior, el circuito escolar, el circuito de la investigación científica y el circuito Mario de la Cueva.

La Ciudad Universitaria alberga distintas facultades, en nuestro caso nos es de particular interés la Facultad de Contaduría y Administración. Esta Facultad, colinda al norte con el frontón cerrado y el camino verde, al oriente con el anexo de la Facultad de Ingeniería, al poniente con la Escuela Superior de Trabajo Social y al sur con el circuito exterior, en donde se encuentra su acceso principal. En la figura 4.1 se muestra la localización de la Facultad de Contaduría y Administración.

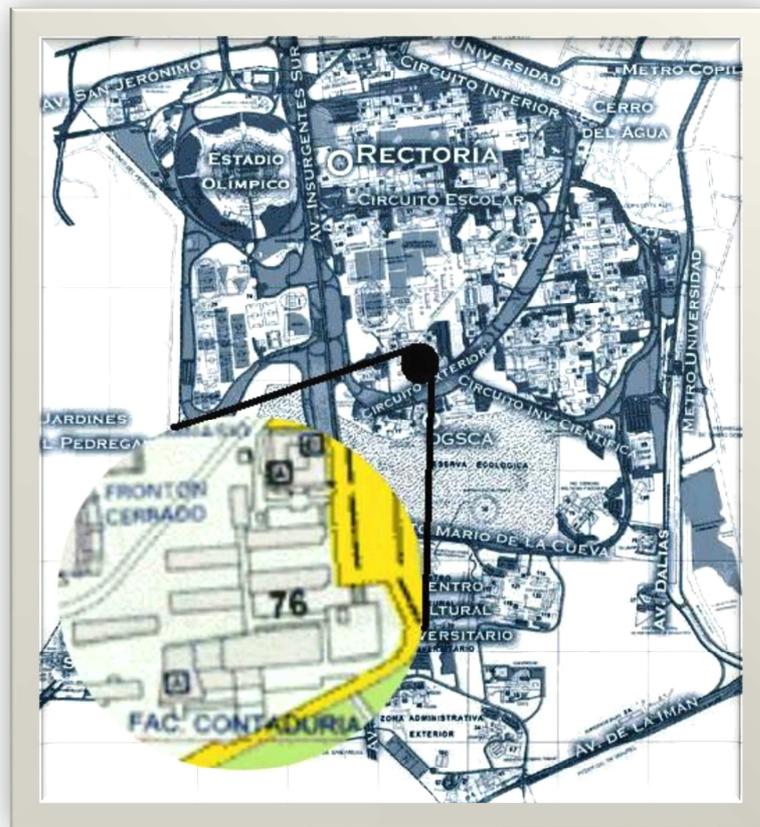


Figura 4.1 Localización de la Facultad de Contaduría y Administración.

## 4.2 Características arquitectónicas y necesidades de iluminación en base a las actividades desarrolladas

Las instalaciones actuales de la Facultad de Contaduría y Administración, en el sur de la Ciudad Universitaria, están formadas por dos conjuntos arquitectónicos: principal y de posgrado e investigación. El conjunto principal se rige por un eje norte-sur, en cuyos lados

están erigidos cuatro edificios destinados a la impartición de clases, que contienen un total de 68 aulas; un edificio administrativo donde se encuentran las oficinas de la dirección y las principales secretarías; un edificio de audiovisuales, el cual cuenta con seis salas de proyección con capacidad para 65 espectadores cada una; un edificio correspondiente al Centro de Informática y otro más, en donde se encuentran las oficinas administrativas y las 45 aulas correspondientes al Sistema de Universidad Abierta. En la figura 4.2 se muestra la distribución del conjunto descrito anteriormente.

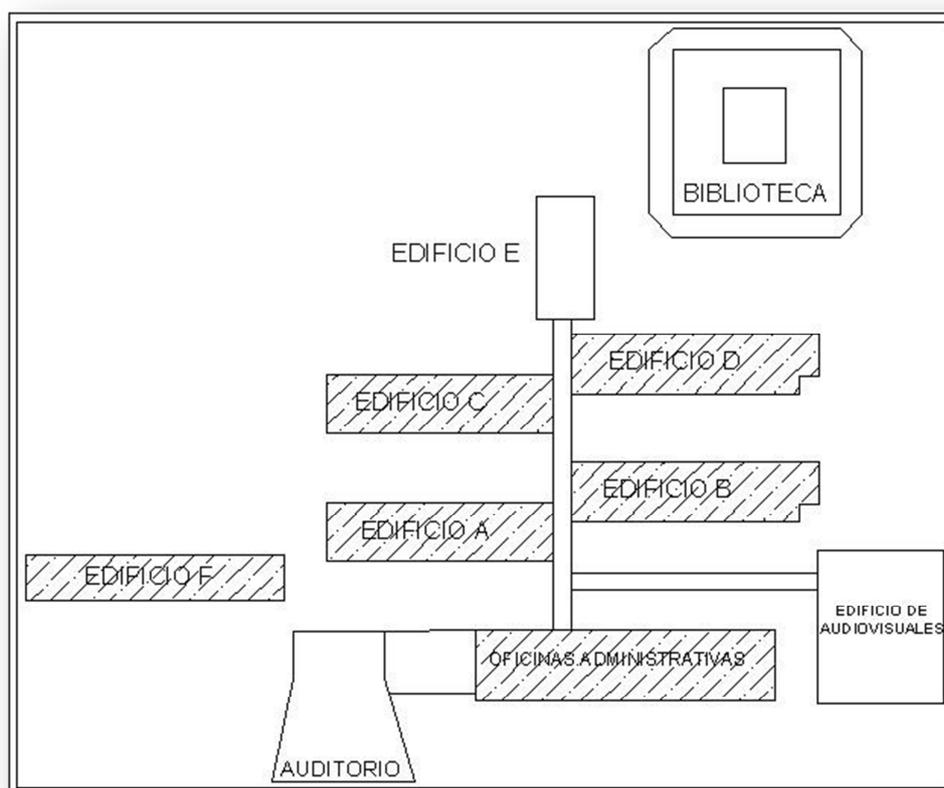


Figura 4.2 Distribución del conjunto arquitectónico principal de la Facultad de Contaduría y Administración.

Los edificios sombreados en la figura anterior, corresponden al objeto de estudio del presente trabajo. Los edificios A, B, C y D son exclusivamente salones de clase. El edificio F en su planta baja y primer nivel alberga salones de clase y en su segundo nivel se encuentran localizadas las oficinas administrativas del Sistema de Universidad Abierta y los cubículos de asesoría. Además en la planta baja de este mismo edificio se encuentra el auditorio “C.P. Alfonso Ochoa Ravizé” con capacidad para 95 personas.

El último edificio sombreado, identificado en la figura como “Oficinas Administrativas” es el edificio cuya fachada es la entrada general al conjunto arquitectónico principal de la Facultad de Contaduría y Administración. La cara sur del edificio de Oficinas Administrativas da acceso al conjunto por medio del circuito exterior de la Ciudad Universitaria. Este edificio es

casi en su totalidad de oficinas, la excepción la constituye el “Aula Magna Profesores Eméritos” y la bodega de papelería, ambos en el primer piso de este edificio. De manera general el edificio de Oficinas Administrativas está integrado por las siguientes áreas; en la planta baja se encuentran las oficinas de servicios generales y las oficinas de servicios escolares. En el primer piso como ya se menciona, se encuentran la bodega de papelería y el aula magna, además de la coordinación de opciones de titulación y la secretaría general académica. El segundo nivel corresponde a la dirección general de la Facultad de Contaduría y Administración, así como diversas secretarías de la misma Facultad.

Actualmente el conjunto arquitectónico principal de la Facultad de Contaduría y Administración tiene una población superior a los 16,000 individuos, de los cuales 997 forman la planta docente de licenciatura, 216 la planta docente del sistema de universidad abierta, el personal administrativo en promedio es de 350 personas y el resto de la población de la Facultad la componen los alumnos distribuidos en las diferentes carreras como lo muestra la tabla 4.1<sup>29</sup>.

Tabla 4.1 Distribución de la población estudiantil de la Facultad de Contaduría y Administración.

| Facultad de Contaduría y Administración | Sistema Escolarizado |              |               | Sistema Universidad Abierta |              |              | Población total |
|---|----------------------|--------------|---------------|-----------------------------|--------------|--------------|-----------------|
|   | Hombres              | Mujeres      | Total         | Hombres                     | Mujeres      | Total        |                 |
| Administración                          | 2,420                | 3,098        | 5,518         | 595                         | 433          | 1,028        | 6,546           |
| Contaduría                              | 2,784                | 2,934        | 5,718         | 548                         | 549          | 1,097        | 6,815           |
| Informática                             | 558                  | 228          | 786           | 334                         | 59           | 393          | 1,179           |
| <b>Total</b>                            | <b>5,762</b>         | <b>6,260</b> | <b>12,022</b> | <b>1,477</b>                | <b>1,041</b> | <b>2,518</b> | <b>14,540</b>   |

De lo descrito anteriormente podemos observar que las actividades preponderantes en estos edificios son la docencia y las actividades de oficina. En base a estas actividades podemos establecer los niveles mínimos de iluminación requeridos para los edificios. Consultando la tabla 3.2 “Niveles de Iluminación” presentada en el capítulo anterior, obtenemos los siguientes niveles mínimos requeridos: aulas 300 luxes, oficinas 300 luxes, cuartos de almacén 100 luxes, áreas de circulación y pasillos 100 luxes, escaleras y pasillos de poco tránsito 50 luxes.

Sin embargo al ser la Facultad de Contaduría y Administración parte integrante de la Universidad Nacional Autónoma de México, se debe atender también a las disposiciones de la Norma oficial Universitaria. Al consultar la tabla 3.3 del capítulo anterior, obtenemos los siguientes niveles de iluminación: aulas 400 luxes, oficinas 400 luxes, baños 150 luxes, pasillos 100 luxes, escaleras interiores 100 luxes. La tabla 4.2 muestra una comparativa entre los niveles de iluminación requeridos por cada norma.

<sup>29</sup> Agenda estadística, UNAM 2010

En la tabla 4.2 observamos que la Norma Universitaria considera niveles de iluminación superiores a los requeridos por la NOM 025 por lo se puede decir que la aplicación de la norma universitaria en las áreas mencionadas, no causa conflicto con la NOM 025.

Por otro lado podemos observar que existen áreas en la Norma Universitaria que no se mencionan en la NOM 025 y viceversa, en este caso se atenderá solo a la norma que haga mención del área en cuestión.

Tabla 4.2 Comparación de niveles de iluminación recomendados

| ÁREA      | NOM 025 STPS | NORMA UNIVERSITARIA |
|-----------|--------------|---------------------|
| Aulas     | 300 Lx       | 400 Lx              |
| Oficinas  | 300 Lx       | 400 Lx              |
| Pasillos  | 100 Lx       | 100 Lx              |
| Escaleras | 50 Lx        | 100 Lx              |
| Almacén   | 100 Lx       |                     |
| Baños     |              | 150 Lx              |

### 4.3 Levantamiento de la información del sistema de iluminación en estudio

Durante el periodo de octubre a diciembre del año 2010 realizamos, en colaboración con la oficina de Proyectos de Ahorro de Energía (PAE) de la Facultad de Ingeniería, el levantamiento eléctrico de las instalaciones que son el objeto de estudio de este trabajo (edificios sombreados en la figura 4.2). Con base en este levantamiento se logro obtener tener información actual acerca del número de lámparas instaladas, métodos de control de éstas, condiciones físicas de los circuitos eléctricos que las alimentan y los niveles de iluminación que, en general entrega el sistema de iluminación actual.

Todos los datos obtenidos como resultado del levantamiento nos permiten determinar cuáles son las condiciones actuales del sistema de iluminación de los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración. Mediante el análisis de las condiciones y necesidades presentes en estos edificios podemos desarrollar una propuesta para un nuevo sistema de iluminación que logre cubrir las necesidades visuales de los usuarios y que al mismo tiempo se obtenga un ahorro de energía debido principalmente al cambio de la tecnología de iluminación y al mejoramiento de los métodos de control.

La actividad preliminar para llevar a cabo el levantamiento eléctrico, fue la elaboración de los planos arquitectónicos de los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración, para esto el programa de diseño asistido por computadora AUTO CAD nos fue de gran ayuda, ya que es una herramienta que simplifica en gran medida el trabajo de

dibujar planos. Una vez obtenidos los planos arquitectónicos se procedió a realizar el levantamiento de todos los datos necesarios para realizar los planos eléctricos, además de datos adicionales para elaborar nuestra propuesta de cambio de sistema de iluminación.

Como primer paso en el levantamiento eléctrico se realizó la identificación de todos los tableros de distribución que proveen de energía eléctrica a los edificios en estudio. En los edificios de aulas y administrativo se encontraron 29 tableros. En la tabla 4.3 se muestran la ubicación de cada uno de estos tableros así como algunas de sus características. En la figura 4.3 se muestra el diagrama unifilar de los tableros presentes en los edificios analizados.

Tabla 4.3 Ubicación de los tableros de distribución

| TABLERO | UBICACIÓN   | FASES | POLOS | INT. PRINCIPAL |
|---------|---|-------|-------|----------------|
| 1A      | EN MURO ESCALERAS, PLANTA BAJA EDIFICIO A.  | 3     | 24    | NO             |
| 2A      | EN MURO ESCALERAS, PRIMER NIVEL EDIFICIO A.                                       | 3     | 24    | NO             |
| 3A      |   | 3     | 24    | NO             |
| 1B      | A UN COSTADO DEL SALÓN B - 001  | 3     | 24    | NO             |
| 2B      | A UN COSTADO DEL SALÓN B - 101.   | 3     | 24    | NO             |
| 3B      | A UN COSTADO DEL SALÓN B - 201.   | 3     | 24    | NO             |
| 1C      | EN MURO ESCALERAS, PLANTA BAJA EDIFICIO C.  | 3     | 24    | NO             |
| 2C      | EN MURO ESCALERAS, PRIMER NIVEL EDIFICIO C.                                       | 3     | 24    | NO             |
| 3C      | EN BAÑO DE MUJERES, PLANTA BAJA EDIFICIO C.                                       | 2     | 8     | NO             |
| 4C      | EN MURO ESCALERAS, PRIMER NIVEL EDIFICIO C.                                       | 3     | 24    | NO             |
| 5C      | EN BAÑO DE HOMBRES, PRIMER NIVEL EDIFICIO C.                                      | 1     | 4     | NO             |
| 6C      | EN BAÑO DE MUJERES, SEGUNDO NIVEL EDIFICIO C.                                     | 1     | 4     | NO             |
| 1D      | A UN COSTADO DEL SALÓN D - 001  | 3     | 24    | NO             |
| 2D      | A UN COSTADO DEL SALÓN D - 101.   | 3     | 24    | NO             |
| 3D      | A UN COSTADO DEL SALÓN D - 201.   | 3     | 24    | NO             |
| 1F      | EN ESCALERAS, PLANTA BAJA EDIFICIO F.   | 3     | 24    | 3 X 70 A       |
| 2F      | EN SALÓN F-007, PLANTA BAJA EDIFICIO F.   | 3     | 12    | NO             |
| 3F      | EN MURO ESCALERAS, PRIMER NIVEL EDIFICIO F.                                       | 3     | 24    | NO             |
| 4F      |   | 3     | 24    | 3 X 100A       |
| 5F      | CAFETERÍA EDIFICIO F, PLANTA BAJA   | 2     | 8     | NO             |
| 1G      | FRENTE A DEPTO. SERVICIOS GENERALES, PLANTA BAJA DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.     | 3     | 30    | 3 X 100A       |
| 2G      |   | 2     | 8     | NO             |
| 3G      | DENTRO DE SERVICIOS ESCOLARES, PLANTA BAJA DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS            | 3     | 12    | 3 X 70 A       |
| 4G      | A UN COSTADO DEL ALMACÉN DE PAPELERÍA PRIMER NIVEL, OFICINAS ADMINISTRATIVAS.     | 3     | 24    | 3 X 70 A       |
| 5G      | A UN COSTADO DE CUBÍCULO DE SEMINARIOS, PRIMER NIVEL DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS. | 2     | 6     | NO             |
| 6G      | FRENTE AL CUBÍCULO DE MERCADOTECNIA PRIMER NIVEL DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS      | 3     | 30    | 3 X 70 A       |
| 7G      | CUARTO DE SERVICIO, ALA ORIENTE DEL SEGUNDO NIVEL DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS.    | 3     | 12    | NO             |
| 8G      |   | 3     | 30    | 3 X 100A       |
| 9G      | PASILLO DE ESCALERAS DE LA DIRECCIÓN, SEGUNDO NIVEL, OFICINAS ADMINISTRATIVAS.    | 3     | 12    | 3 X 50 A       |

## DIAGRAMA UNIFILAR EDIFICIOS DE AULAS Y ADMINISTRATIVO DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN

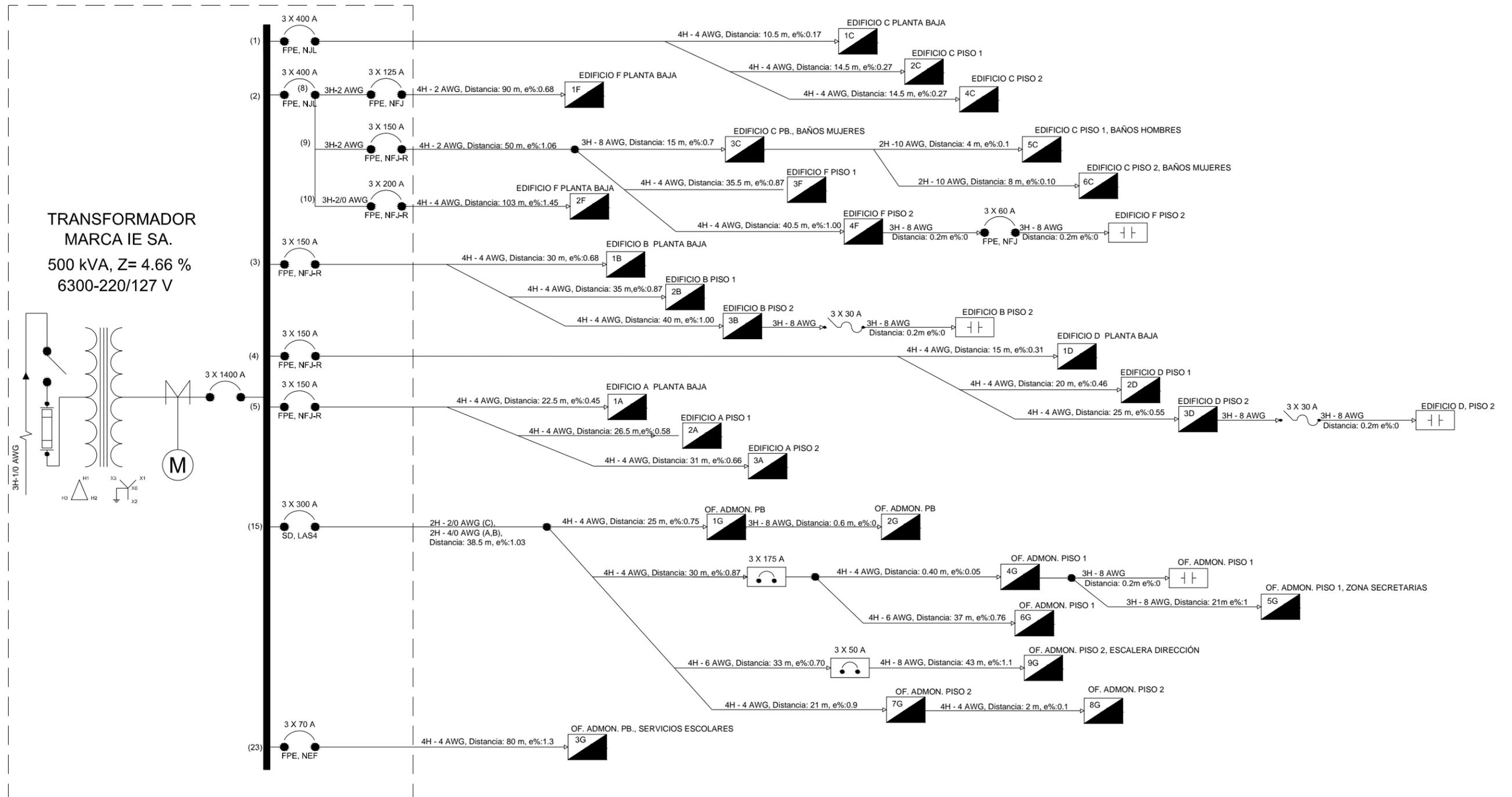


Figura 4.3 Diagrama unifilar de los tableros presentes en los edificios analizados

Una vez realizada la identificación de los tableros se procedió a realizar el conteo de luminarias encontrando diversos modelos y tecnologías. El número y tipo de luminarias encontradas se muestra en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Luminarias presentes en los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración

| LUMINARIA CON LÁMPARA TIPO                               | EDIFICIO                    |     |     |     |     |                              | TOTAL |      |
|--|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|------------------------------|-------|------|
|  | A                           | B   | C   | D   | F   | OFICINAS.<br>ADMINISTRATIVAS |       |      |
| F<br>L<br>U<br>O<br>R<br>E<br>S<br>C<br>E<br>N<br>T<br>E | LINEAL (T-12) 2 X 75 W      | 0   | 0   | 0   | 0   | 2                            | 26    | 28   |
|  | LINEAL (T-12) 2 X 39 W      | 321 | 418 | 358 | 389 | 266                          | 295   | 2047 |
|  | LINEAL (T-12) 2 X 21 W      | 0   | 0   | 0   | 0   | 6                            | 2     | 8    |
|  | CURVALUM (T-12) 2 X 40 W    | 8   | 0   | 8   | 0   | 6                            | 0     | 22   |
|  | LINEAL (T-8) 2 X 32 W       | 0   | 0   | 0   | 0   | 56                           | 8     | 64   |
|  | LINEAL (T-8) 1 X 32 W       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                            | 4     | 4    |
|  | FLUORESCENTE (T-5) 3X14W    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                            | 36    | 36   |
|  | COMPACTA 2 X 20 W           | 11  | 0   | 4   | 0   | 19                           | 62    | 96   |
|  | COMPACTA 20 W               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                            | 32    | 32   |
|  | COMPACTA 15 W               | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                            | 9     | 9    |
|  | INCANDESCENTE 100W          | 0   | 0   | 8   | 0   | 3                            | 8     | 19   |
|  | DICROICO 50 W               | 0   | 0   | 0   | 0   | 6                            | 9     | 15   |
|  | INCANDESCENTE HALÓGENA 40 W | 0   | 0   | 0   | 0   | 0                            | 56    | 56   |
|  | HID VAPOR DE MERCURIO 400W  | 6   | 6   | 5   | 5   | 11                           | 10    | 43   |

De manera simultánea al conteo de luminarias se realizó la identificación y conteo de los receptáculos, encontrando que prácticamente todos ellos son monofásicos. La excepción la constituyen 2 receptáculos trifásicos localizados en el primer piso del edificio de oficinas administrativas, y un receptáculo bifásico localizado en la planta baja del edificio F. En la tabla 4.5 se muestra el resultado de este conteo.

Finalmente para poder realizar los planos eléctricos fue necesario llevar a cabo la identificación de los circuitos eléctricos, es decir, en el caso de los receptáculos identificar cuántos y cuáles de ellos pertenecían a un mismo circuito eléctrico, identificar en qué tablero se alimenta así como qué número de interruptor le corresponde y adicionalmente identificar el calibre del conductor que alimenta el circuito.

En el caso de las luminarias se identificó cuantas y cuales luminarias pertenecían a un mismo circuito, de que tablero se alimentan, qué número de interruptor les corresponde y el calibre del conductor que alimenta el circuito. Adicionalmente se observó si las luminarias cuentan o no con algún método de control local, es decir, dentro del lugar que iluminan.

Tabla 4.5 Número de receptáculos encontrados en oficinas y aulas

| EDIFICIO       | NIVEL        | RECEPTÁCULO MONOFÁSICO<br>INSTALADO EN |       |      | TOTAL<br>POR<br>NIVEL | TOTAL<br>POR<br>EDIFICIO |
|----------------|--------------|--|-------|------|-----------------------|--------------------------|
|                |              | PARED                                  | TECHO | PISO |                       |                          |
| A              | PLANTA BAJA  | 11                                     | 4     |      | 15                    | 55                       |
|                | PRIMER PISO  | 15                                     | 5     |      | 20                    |                          |
|                | SEGUNDO PISO | 15                                     | 5     |      | 20                    |                          |
| B              | PLANTA BAJA  | 11                                     | 6     |      | 17                    | 69                       |
|                | PRIMER PISO  | 18                                     | 7     |      | 25                    |                          |
|                | SEGUNDO PISO | 20                                     | 7     |      | 27                    |                          |
| C              | PLANTA BAJA  | 6                                      | 4     |      | 10                    | 42                       |
|                | PRIMER PISO  | 13                                     | 5     |      | 18                    |                          |
|                | SEGUNDO PISO | 9                                      | 5     |      | 14                    |                          |
| D              | PLANTA BAJA  | 16                                     | 6     |      | 22                    | 56                       |
|                | PRIMER PISO  | 16                                     | 6     |      | 22                    |                          |
|                | SEGUNDO PISO | 6                                      | 6     |      | 12                    |                          |
| F              | PLANTA BAJA  | 58                                     |       |      | 58                    | 141                      |
|                | PRIMER PISO  | 19                                     | 2     |      | 21                    |                          |
|                | SEGUNDO PISO | 62                                     |       |      | 62                    |                          |
| ADMINISTRATIVO | PLANTA BAJA  | 114                                    |       | 4    | 118                   | 355                      |
|                | PRIMER PISO  | 125                                    |       |      | 125                   |                          |
|                | SEGUNDO PISO | 111                                    |       | 1    | 112                   |                          |
| TOTAL          |              | 645                                    | 68    | 5    | 718                   | 718                      |

#### 4.4 Identificación de controles y circuitos eléctricos para iluminación

La identificación de controles y circuitos eléctricos para iluminación resulta de especial interés al momento de realizar un proyecto de ahorro de energía en un sistema de iluminación, ya que de un adecuado seccionamiento y control de los circuitos de iluminación dependerá que pueda hacerse un uso racional del sistema de iluminación.

Durante el levantamiento de la información para la elaboración de los planos eléctricos, encontramos que en los edificios A, B, C y D el control de la iluminación interior se lleva a cabo principalmente a través de interruptores termomagnéticos que se encuentran concentrados en los tableros, lo cual implica que las aulas de estos edificios carecen de un método de control local para la iluminación. En los edificios F y Administrativo se observó que se tiene en general un método de control local basado en apagadores convencionales.

Se tiene un caso particular en el local de la dirección en donde se tiene un control de iluminación que permite regular la intensidad de la luz emitida por las lámparas. El control de la iluminación exterior se realiza automáticamente por medio de fotoceldas que comandan a los contactores que proveen de energía a las luminarias exteriores. En la tabla 4.6 se presenta el número de locales que cuentan con apagadores y el número de locales cuyo control de iluminación se realiza por medio de interruptores.

Tabla 4.6 Número de locales con iluminación manejada por apagador o interruptor

| ÁREA            | NÚMERO DE LOCALES CONTROLADOS POR |             |
|-----------------|-----------------------------------|-------------|
|                 | APAGADOR                          | INTERRUPTOR |
| SALÓN DE CLASE  | 45                                | 68          |
| OFICINAS        | 87                                | 0           |
| AUDITORIO       | 1                                 | 1           |
| SALA DE JUNTAS  | 1                                 | 0           |
| SALA DE COMPUTO | 2                                 | 0           |
| CAFETERÍA       | 0                                 | 1           |
| PASILLOS        | 2                                 | 36          |
| ESCALERAS       | 2                                 | 14          |
| BAÑOS           | 5                                 | 21          |
| ALMACÉN         | 13                                | 0           |
| TOTAL LOCALES   | 158                               | 141         |

Como se comento anteriormente para realizar los planos eléctricos fue necesario llevar a cabo la identificación de los circuitos eléctricos. Para ello se utilizo el trazador de corriente, también llamado trazador de señales o trazador de línea. Este equipo consta de un transmisor y un receptor de señales de alta frecuencia. El transmisor es capaz de montar una señal de alta frecuencia sobre un conductor aun cuando este se encuentre energizado y el receptor recibe la señal sin necesidad de estar en contacto directo con el conductor que lleva la señal, por lo que se puede rastrear el hilo del circuito a través de los plafones y los muros.

Sin embargo en nuestro caso, dado que ya se conocía la ubicación de los tableros, se procedió solo a identificar qué posición en el tablero ocupaba el circuito en cuestión. Durante esta identificación se observó que en la mayoría de los casos, los tableros albergan circuitos de iluminación y de receptáculos al mismo tiempo, es decir que salvo algunos casos, no se dispone de tableros exclusivos para iluminación. Se observó también, que la mayor parte de los circuitos de iluminación y receptáculos esta cableado con conductores calibre 10 AWG, así mismo se observó que la mayor parte de los conductores tiene el aspecto de pertenecer a la instalación eléctrica original, por lo que puede decirse que deben estar superando los 40 años de servicio.

#### 4.5 Medición de niveles de iluminación

Con la finalidad de conocer si el sistema de alumbrado actual ofrece un nivel de iluminación adecuado, que provea un ambiente visual seguro y agradable para las actividades que se realizan en las oficinas y aulas de la Facultad de Contaduría y Administración, se llevó a cabo la medición de los niveles de iluminación.

Los diferentes niveles de iluminación, que son requeridos para realizar diferentes actividades, plantean la necesidad de catalogar el espacio a evaluar en zonas que requieran niveles de iluminación similares. Basados en los recorridos realizados durante el levantamiento eléctrico y en los diferentes locales mencionados en la tabla 3.3 del capítulo anterior, encontramos 10 distintas áreas a evaluar, las cuales son: salón de clase, oficina, auditorio, sala de juntas, sala de computo, cafetería, pasillo, escalera, baño y almacén. Una vez delimitadas las diferentes áreas se

procedió a calcular el número mínimo de mediciones a realizar para tener una descripción confiable del nivel de iluminación promedio, que se tiene en cada local. Este cálculo se realizó siguiendo las especificaciones del apéndice A “Evaluación de los Niveles de Iluminación”, de La NOM-025-STPS-2008. Condiciones De Iluminación En Los Centros De Trabajo. Este método de cálculo considera los parámetros geométricos de los locales para obtener un índice de área (IC). El número de mediciones a realizar esta previamente determinado por el índice de área; si IC es menor a 1 se realizaran 4 mediciones en el local, si IC es mayor a 1 y menor a 2 se realizaran 9 mediciones en el local, si IC es mayor a 2 y menor a 3 se realizaran 16 mediciones en el local y finalmente si IC es mayor a 3 se realizaran 25 mediciones en el local.

En la tabla 4.7 se muestra el IC obtenido para cada área y el número mínimo de mediciones a realizar para describir adecuadamente el nivel de iluminación promedio de las diferentes áreas. En dicha tabla se omiten las áreas de pasillos y escaleras pues las mediciones del nivel de iluminación para estas zonas, debe realizarse en los puntos medios entre luminarias contiguas y considerando como plano de trabajo, un plano horizontal a 75 cm sobre el nivel del piso. Por tal motivo el número de mediciones a realizar en pasillos y escaleras estará determinado por el número de luminarias existentes.

Delimitadas las zonas y evaluada la cantidad de mediciones a realizar se procedió a realizar el levantamiento de los niveles de iluminación presentes en los edificios a evaluar de la Facultad de Contaduría y Administración. Estas mediciones se realizaron en dos momentos

| ÁREA DE TRABAJO | IC   | MEDICIONES |
|-----------------|------|------------|
| SALÓN DE CLASES | 1.69 | 9          |
| OFICINAS        | 1.36 | 9          |
| AUDITORIO       | 1.31 | 9          |
| SALA DE JUNTAS  | 1.24 | 9          |
| SALA DE COMPUTO | 1.34 | 9          |
| CAFETERÍA       | 0.76 | 4          |
| BAÑOS           | 1.02 | 9          |
| ALMACÉN         | 0.58 | 4          |

Tabla 4.7 Número mínimo de mediciones a realizar

diferentes. Ante la presencia de luz natural, entre las 11:00 y las 15:00 horas, y en ausencia de luz natural, entre las 18:00 y las 20:00 horas. En la tabla 4.8 se presenta el promedio de las mediciones del nivel de iluminación obtenidas para cada tipo de área.

Tabla 4.8 Niveles de iluminación promedio

| ÁREA            | NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES |          |
|-----------------|-------------------------------|----------|
|                 | DIURNO                        | NOCTURNO |
| SALÓN DE CLASE  | 518                           | 206      |
| OFICINAS        | 461                           | 198      |
| AUDITORIO       | 302                           | 233      |
| SALA DE JUNTAS  | 625                           | 310      |
| SALA DE COMPUTO | 259                           | 236      |
| CAFETERÍA       | 1000                          | 520      |
| PASILLOS        | 717                           | 124      |
| ESCALERAS       | 795                           | 154      |
| BAÑOS           | 378                           | 186      |
| ALMACÉN         | 327                           | 252      |

#### 4.6 Cálculo del DPEA

La Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), es un indicador energético contenido en la NOM-007-ENER-2004 Eficiencia Energética En Sistemas De Alumbrado En Edificios No Residenciales. El objetivo de este indicador es establecer los niveles de eficiencia energética mínimos con los que deben cumplir los edificios no residenciales.

El cálculo de la DPEA se realiza a partir de la carga total del sistema de alumbrado, expresada en watts y del área total iluminada por dicha carga, expresada en metros cuadrados. La expresión genérica para el cálculo de la (DPEA) es:<sup>30</sup>

$$DPEA = \frac{\text{carga total conectada para alumbrado [W]}}{\text{área total iluminada [m}^2\text{]}}$$

En el caso de los edificios de oficinas la DPEA no debe ser superior a los 14 W/m<sup>2</sup> y para los edificios de actividades docentes la DPEA no debe superar los 16 W/m<sup>2</sup>.

A partir de la información contenida en los planos eléctricos de los edificios de aulas y administrativo, se realizó el cálculo de la DPEA para iluminación interior presente en cada edificio. El resultado de estos cálculos se muestra en la tabla 4.9.

<sup>30</sup> SENER, NOM-007-ENER-2004, sección 7.1

Tabla 4.9 DPEA calculada para los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración

| EDIFICIO       | POTENCIA TOTAL INSTALADA PARA ILUMINACIÓN [W] | ÁREA ILUMINADA [m <sup>2</sup> ] | DPEA [W/m <sup>2</sup> ] |
|----------------|---|----------------------------------|--------------------------|
| A              | 32590   | 1703.6                           | 19.1                     |
| B              | 40560.0                                       | 2168.7                           | 18.7                     |
| C              | 36322.5                                       | 1977.8                           | 18.4                     |
| D              | 40657.5                                       | 2186.8                           | 18.6                     |
| F              | 31199.6                                       | 1950.3                           | 16.0                     |
| ADMINISTRATIVO | 43145.6                                       | 3295.0                           | 13.1                     |

En el caso del alumbrado exterior se obtuvo una potencia total instalada de alumbrado de 17000 W que ilumina un área total de 6657.9 m<sup>2</sup>, por lo que la DPEA resultante para la iluminación exterior fue de 2.58 W/m<sup>2</sup>.

#### 4.7 Análisis de los datos recabados

Durante los recorridos realizados en las instalaciones de los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración, se observaron diversas irregularidades en el sistema eléctrico. Algunos de ellos de suma importancia, ya que comprometen el funcionamiento adecuado de la instalación eléctrica, además de representar un peligro para los usuarios de las instalaciones.

Por otro lado al realizar el análisis de los datos recabados durante el levantamiento eléctrico, se observó que en muchas áreas de los edificios analizados no se cumple con los parámetros establecidos en las normas aplicables.

A continuación se describen las diferentes irregularidades encontradas en los edificios de aulas y administrativos de la Facultad de Contaduría y Administración.

⌘ Durante la ubicación y caracterización de los centros de carga se observó que los tableros 1C, 1D, 1F, 3F, 4F, 1G y 2G, no cuentan con la cubierta frontal, por lo que violan el artículo 384—14 de la NOM—001—SEDE—2005. Es importante corregir este problema debido a que estos tableros se encuentran en lugares accesibles a personal no calificado que corre peligro de electrocución al operar los interruptores de estos tableros sin la precaución necesaria. Por otro lado se observó que los interruptores de estos tableros se fijan en su posición por medio de grapas, por lo que al accionarlos sin la tapa frontal del tablero se corre el riesgo de que se salgan de su posición.

⌘ Se observó que ninguno de los tableros analizados cuenta con conexión a tierra física, carecen también de barra de conexión a tierra física para los circuitos derivados. De lo

anterior se deduce que ningún gabinete para luminaria esta debidamente puesto a tierra, pues se carece en todos los circuitos de los tableros analizados de conductores para puesta a tierra.

⌘ Se observo que en la mayor parte de los tableros estudiados los conductores ocupan un área mayor dentro de los tableros que la permitida en el artículo 373—8, esto se debe entre otros factores a una colocación inadecuada de los conductores y a la cantidad excesiva de conductor que se dobla en varias ocasiones antes de ser conectado a su respectivo interruptor. La saturación de conductores dentro de los tableros dificulta las labores de mantenimiento así como la detección de fallas. Esta saturación puede también, ocasionar un incremento en la temperatura de operación de los conductores. En las figuras 4.4 y 4.5 se muestran tableros con saturación de conductores.

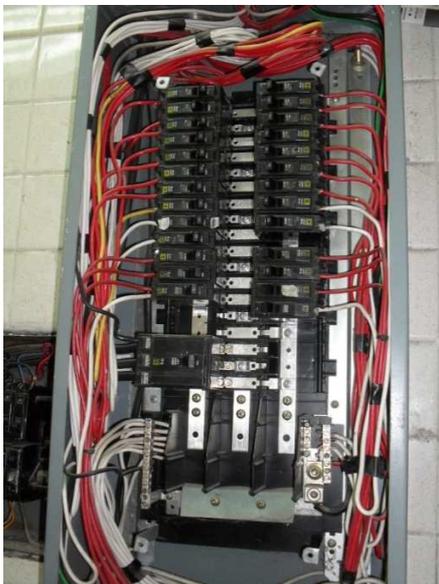


Figura 4.4 Tablero 1G con saturación de conductores



Figura 4.5 Tablero 1D con saturación de conductores

⌘ Los tableros 1A, 2A, 3A, 1B, 2B, 3B 1C, 1D, 2D, 2F y 4F presentan conductores directamente conectados a las barras del tablero o a sus zapatas principales. Esto crea una situación particularmente peligrosa, pues al generarse un corto circuito no hay manera de desconectar el circuito en cuestión lo que podría causar rápidamente un incendio del sistema eléctrico. En la figura 4.6 se muestra un ejemplo de conductores conectados directamente a las zapatas principales del tablero. Los conductores alimentados directamente de las barras de los tableros 1A y 3A pertenecen a circuitos de iluminación que no tienen método de control local, por lo que las lámparas alimentadas de estos circuitos permanecen encendidas 24 horas al día. Los conductores de los tableros restantes pertenecen a circuitos para receptáculos.

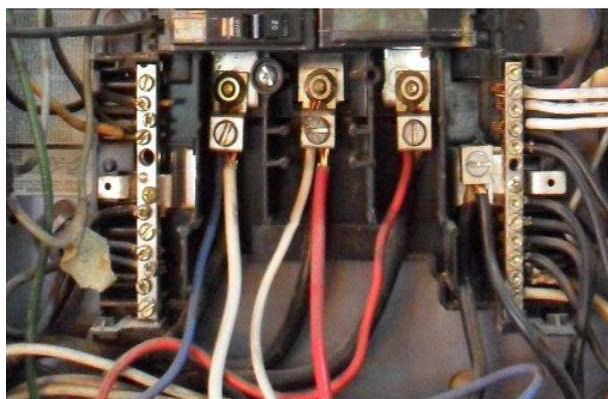


Figura 4.6 Conductores conectados a las zapatas principales del tablero 1B.

⌘ El tablero 3F fue modificado para operar solo con las fases B y C a pesar de que se cuenta con la fase A. Por alguna razón se cambió la posición de conexión de la fase C, en su posición actual se corre el riesgo de que el conductor entre en contacto con el gabinete del tablero, es decir, que se produzca un corto circuito por falla a tierra. En el aislamiento del conductor de la fase B se nota un deterioro considerable, debido probablemente a la sobrecarga producto de las modificaciones realizadas al tablero. En la figura 4.7 se muestran las anomalías descritas.

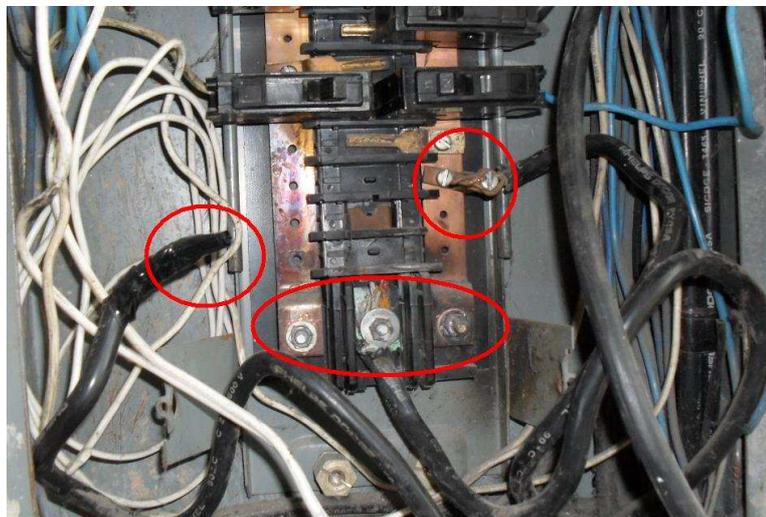


Figura 4.7 Detalle de las barras, zapatas y conductores de entrada del tablero 3F

⌘ En los tableros 1C, 1D, 2F, 3F se observan conductores con los aislamientos deteriorados debido a una temperatura de operación excesiva. En la figura 4.8 se muestra el peor de los casos encontrados.

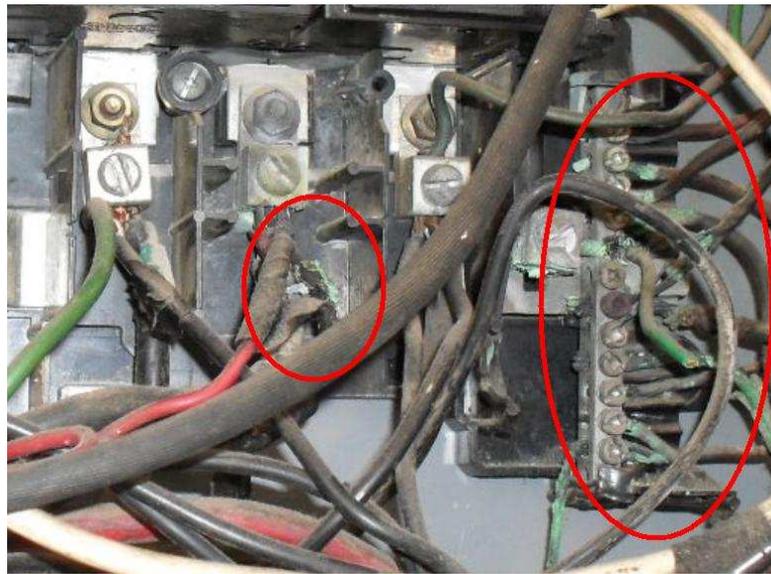


Figura 4.8 Conductores con aislamientos quemados en el tablero 1D

⌘ Como se muestra en la figura 4.9 las canalizaciones de los tableros analizados se encuentran en su mayoría saturadas. Esta situación puede provocar incrementos peligrosos en la temperatura de operación de los conductores, por tal motivo debe ser corregida de acuerdo a lo mencionado en el artículo 300—17 de la NOM—001—SEDE—2005.



Figura 4.9 Canalizaciones saturadas

⌘ Al realizar el análisis de la distribución de carga en los tableros se encontró que la mayoría de los tableros presentan un desbalance considerable. Este desbalance puede ocasionar caídas de tensión en algunos circuitos y aumento en la temperatura de los conductores o los interruptores. En la tabla 4.10 se muestran los tableros trifásicos que presentaron un desbalance mayor a 10%.

Tabla 4.10 Tableros que presentan desbalance mayor a 10% entre sus fases.

|              |     |     |      |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| TABLERO      | 1A  | 2A  | 1B   | 2B  | 3B  | 1C  | 2C  | 4C  | 1D  | 2D  | 3D  |
| DESBALANCE % | 53% | 38% | 35%  | 18% | 38% | 78% | 47% | 54% | 25% | 30% | 49% |
| TABLERO      | 1F  | 2F  | 3F   | 4F  | 1G  | 3G  | 4G  | 6G  | 7G  | 8G  | 9G  |
| DESBALANCE % | 33% | 30% | 100% | 85% | 45% | 65% | 44% | 35% | 45% | 18% | 47% |

⌘ Se observó que varios circuitos eléctricos cuentan con un interruptor de capacidad mayor a la ampacidad máxima del conductor, establecida la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE-2005, por lo que el interruptor no se dispara aun cuando el conductor llegue al límite de su capacidad de conducción, con lo que se produce un aumento en la temperatura de los conductores que acelera el deterioro de los aislamientos. En la tabla 4.11 se muestran los tableros y circuitos que tienen este problema.

Tabla 4.11 Circuitos con un interruptor inadecuado.

| TABLERO | CIRCUITOS  | CALIBRE DEL CONDUCTOR | CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR | AMPACIDAD MÁXIMA DEL CONDUCTOR |
|---------|------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|
| 1D      | 18,20      | 10 AWG                | 50 A                      | 30 A                           |
|         | 19         | 14 AWG                | 30 A                      | 15 A                           |
| 1F      | 1,2,6,8,10 | 12 AWG                | 30 A                      | 20 A                           |
| 2A      | 24         | 14 AWG                | 20 A                      | 15 A                           |
| 2B      | 20,22,24   | 12 AWG                | 30 A                      | 20 A                           |
| 3C      | 2          | 14 AWG                | 20 A                      | 15 A                           |
| 3F      | 8,18       | 12 AWG                | 30 A                      | 20 A                           |
| 5F      | 1,3        | 10 AWG                | 50 A                      | 30 A                           |
| 1G      | 18         | 10 AWG                | 50 A                      | 30 A                           |
|         | 21         | 12 AWG                | 30 A                      | 20 A                           |
| 2G      | 6          | 12 AWG                | 30 A                      | 20 A                           |
|         | 7          | 14 AWG                | 30 A                      | 15 A                           |
| 4G      | 9          | 14 AWG                | 20 A                      | 15 A                           |
| 5G      | 1          | 12 AWG                | 30 A                      | 20 A                           |
| 9G      | 7,9,11     | 10 AWG                | 50 A                      | 30 A                           |

⌘ Al efectuar los cálculos de caída de tensión se observó que los siguientes circuitos, mostrados en la tabla 4.12, presentan una caída de tensión superior a lo permitido en el artículo 210—19 de la NOM 001 SEDE 2005, en el que se especifica una caída de tensión máxima de 3% para los circuitos derivados, y una caída de tensión no mayor a 5% desde los alimentadores hasta el receptáculo más lejano.

Tabla 4.12 Circuitos con una caída de tensión superior a 5%

| TABLERO | CAÍDA DE TENSIÓN EN EL ALIMENTADOR DEL TABLERO (%) | CIRCUITO | CAÍDA DE TENSIÓN EN EL CONDUCTOR DEL CIRCUITO (%) | CAÍDA DE TENSIÓN TOTAL (%) |
|---------|--|----------|---|----------------------------|
| 1B      | 0.7  | 15       | 10.3  | 11                         |
|         |  | 23       | 4.5   | 5.2                        |
| 1D      | 1  | 11       | 5.2   | 6.2                        |
|         |  | 15       | 9.8   | 10.8                       |
|         |  | 17       | 9.8   | 10.8                       |
|         |  | 19       | 9.8   | 10.8                       |
| 1F      | 2.1  | 10       | 4.3   | 6.4                        |
| 2D      | 1  | 19       | 5.9   | 6.9                        |
| 3F      | 2.7  | 11       | 4.7   | 7.4                        |
|         |  | 12       | 3.7   | 6.4                        |
|         |  | 22       | 3.4   | 6.1                        |
| 3D      | 1  | 20       | 4.5   | 5.5                        |
|         |  | 22       | 4.5   | 5.5                        |
|         |  | 24       | 4.5   | 5.5                        |
| 4F      | 6.5  | 4        | 3   | 9.5                        |
|         |  | 13       | 8.6   | 15.1                       |
|         |  | 14       | 4.3   | 10.8                       |

⌘ Durante los diferentes recorridos realizados a los edificios en estudio se observó, que el 100% de la iluminación interior es controlada por medio de dispositivos manuales, lo que implica que el tiempo durante el cual las diferentes lámparas permanecen encendidas, depende en absoluto de los usuarios del sistema de iluminación, y del personal encargado de encender y apagar la iluminación de áreas comunes. Por lo que resulta conveniente tener algún dispositivo de control local, en cada uno de los espacios que integran los edificios en estudio.

En la tabla 4.6 se observa que en poco más de la mitad de los locales, se controla la iluminación por medio de apagadores, es decir, que se tiene un método de control local, la otra mitad es controlada de manera remota por medio de interruptores, sin embargo al realizar un conteo del número de luminarias que se controlan de manera local, se obtienen proporciones muy diferentes tal como lo muestra la gráfica de la figura 4.10.

Lo anterior tiene explicación en el hecho de que los sitios que se controlan de manera local tienen en promedio un número de luminarias menor que los locales que se controlan de manera remota. Tan solo por dar un ejemplo, podemos mencionar que todas las oficinas tienen un método de control local para la iluminación (apagadores), pero se tienen en promedio 2 luminarias por oficina; mientras que cerca del 70% de las aulas se controlan de manera remota por medio de interruptores y tienen en promedio 16 luminarias por aula.

La ausencia de un método de control local para la iluminación, provoca que un buen número de luminarias permanezcan encendidas cuando no son necesarias; ya sea porque se desconoce donde se encuentra el interruptor o bien porque se prefiere mantener las luminarias encendidas a tomarse la molestia de ir a apagarlas.

Otro inconveniente de no tener un método de control local, que se observa sobre todo en áreas comunes como pasillos y escaleras es que, generalmente las luminarias permanecen encendidas por olvido o descuido de la persona encargada de controlar la iluminación. Para evitar este tipo de problemas es recomendable hacer uso de métodos de control automáticos como las fotoceldas, los temporizadores y los sensores de presencia.

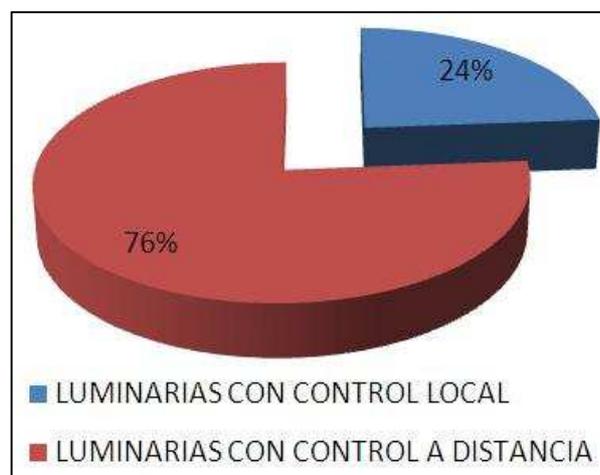


Figura 4.10 Distribución porcentual del número de luminarias con control local y remoto

⌘ Al analizar la situación de los locales que cuentan con apagadores observamos que muchos de los locales, en especial las aulas del edificio F, no cumplen con lo establecido en la sección 2.4 de la Norma Oficial Universitaria. Esta sección de la norma limita la cantidad de luminarias controladas por un mismo apagador, 3 en el caso de aulas y 2 en el caso de oficinas.

⌘ Como se puede observar en la figura 4.11, la instalación eléctrica de los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración, no cumple con el código de colores establecido en la sección 12 de la Norma Oficial Universitaria. Esta sección de la norma establece que deben usarse conductores con aislamiento en color rojo, negro o azul, para las fases; conductores con aislamiento en color blanco o gris para el neutro, conductores con aislamiento en color verde para la tierra aislada y conductores desnudos para la conexión a tierra física.

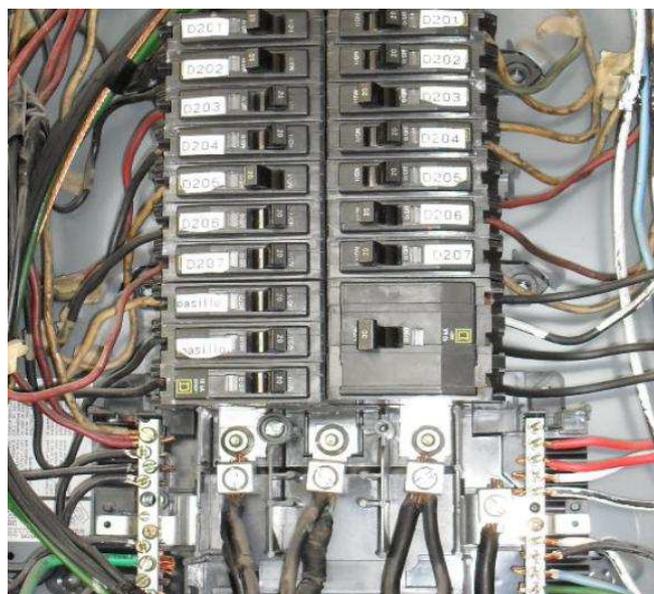


Figura 4.11 Detalle del tablero 3D en donde se aprecia que no se sigue el código de colores

⌘ Basados en los datos de la tabla 4.4 y 4.5 se encontró que la carga instalada de los edificios estudiados alcanza un total de 373.8 kW, y se encuentra distribuida como lo muestra la gráfica de la figura 4.12.

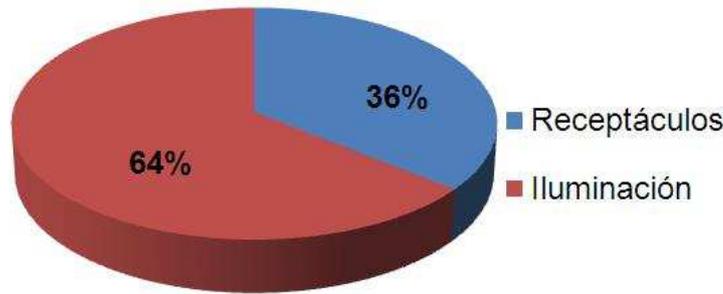


Figura 4.12 Distribución de la carga

Como se puede observar en la gráfica la carga de iluminación es considerablemente mayor que la carga en receptáculos. Por lo que una actualización en la tecnología de iluminación tendrá un impacto significativo en el consumo eléctrico de los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración.

⌘ La distribución porcentual de las diferentes tecnologías de iluminación encontradas se muestra en la gráfica de la figura 4.13 en esta gráfica podemos observar que aun cuando se tienen varias tecnologías en uso, se tiene el predominio de una sola, que resulta ser una de las más ineficientes del mercado.

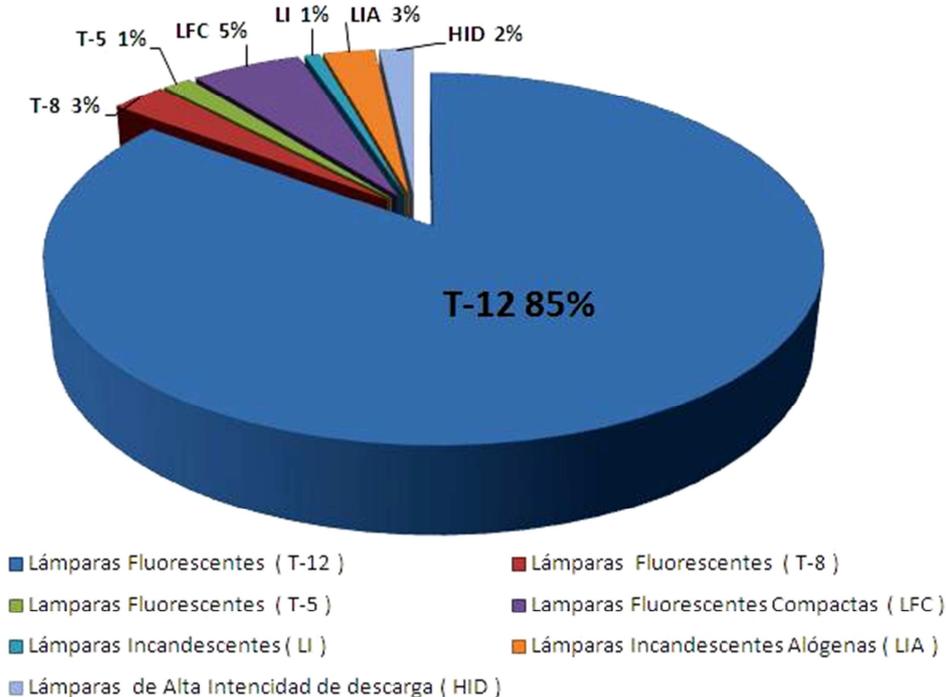


Figura 4.13 Distribución porcentual de los distintos tipos de tecnologías para iluminación.

La gráfica anterior, obtenida a partir de la información contenida en la tabla 4.4 muestra que la tecnología predominante en los edificios estudiados es la fluorescente T-12 representando el 85%, del total. Este porcentaje se traduce en 2087 luminarias con este tipo de lámparas, de las cuales el 98% son luminarias con lámparas fluorescentes T-12 de 39 W. De las lámparas fluorescentes; el tipo T-12 es el de menor eficiencia en comparación con los tipos T-8 y T-5, además al ser una tecnología obsoleta en el mercado y de comercialización prohibida en Europa y América del norte, se espera que desaparezca del mercado mexicano en el corto plazo.

A las lámparas T-12 le siguen en cantidad las fluorescentes compactas ocupando el 5%. Sin embargo en cuestión de potencia instalada le siguen las lámparas de alta intensidad de descarga utilizadas para el alumbrado exterior, ocupando el 7% del total de la carga de iluminación, como se puede apreciar en la gráfica de la figura 4.14. La carga total instalada para alumbrado obtenida fue de 240.9 kW.

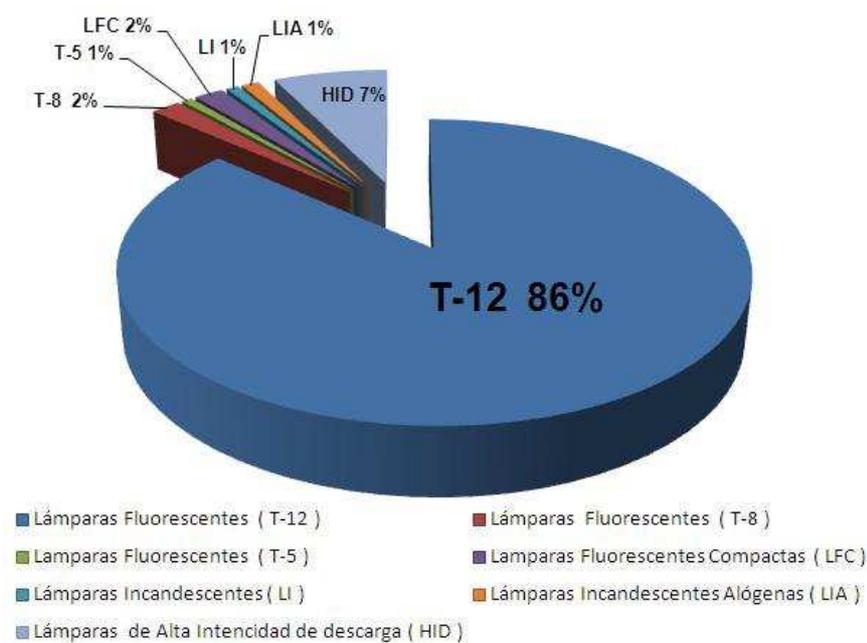


Figura 4.14 Distribución porcentual de la potencia eléctrica de los distintos tipos de tecnologías para iluminación.

Al observar las gráficas de las figuras 4.13 y 4.14 se aprecia claramente que el tipo de lámpara predominante es la fluorescente T-12. Como se menciona anteriormente es una de las tecnologías menos eficientes actualmente. Como alternativa de sustitución de este tipo de lámparas se tiene la lámpara fluorescente T-5 (luminaria con 2 lámparas fluorescentes de 28 W), cuyo conjunto lámpara balastro consume en promedio 40% menos energía que la lámpara T-12 (luminaria con 2 lámparas fluorescentes de 39 W).

⌘ Como se puede observar en la tabla 4.13 la mayoría de los niveles de iluminación medidos durante el día superan considerablemente los niveles establecidos por las normas. En el caso de la norma universitaria se establece una variación permitida de  $\pm 10\%$  de los valores establecidos. En el caso de la norma NOM-025-STPS solo se establece que los niveles de iluminación no deben ser menores a los recomendados por dicha norma.

Es importante observar que no se tenga un nivel de iluminación excesivo, pues se pueden provocar deslumbramientos molestos para los usuarios de las instalaciones. Para reducir estos niveles de iluminación se recomienda colocar cortinas o persianas en todas las ventanas en las que la luz del sol incide directamente, ya que en la mayor parte de los casos los altos niveles de iluminación se deben a la presencia excesiva de luz solar.

Tabla 4.13 Comparativa de los niveles de iluminación obtenidos y los establecidos por las Normas Oficial Universitaria (NOU) y Oficial Mexicana 025 de la Secretaría del Trabajo (NOM-025-STPS)

| ÁREA            | NIVEL DE ILUMINACIÓN PROMEDIO EN LUXES ENCONTRADO |          | NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES ESTABLECIDO POR LA NORMA |              |
|-----------------|---|----------|--|--------------|
|                 | DIURNO  | NOCTURNO | NOU  | NOM-025-STPS |
| SALÓN DE CLASE  | 518   | 206      | 400  | 300          |
| OFICINAS        | 461   | 198      | 400  | 300          |
| AUDITORIO       | 302   | 233      |  | 300          |
| SALA DE JUNTAS  | 625   | 310      | 300  | 300          |
| SALA DE COMPUTO | 259   | 236      | 300  | 500          |
| CAFETERÍA       | 1000  | 520      |  | 200          |
| PASILLOS        | 717   | 124      | 100  | 100          |
| ESCALERAS       | 795   | 154      | 100  | 50           |
| BAÑOS           | 378   | 186      | 150  | 200          |
| ALMACÉN         | 327   | 252      |  | 100          |

En el caso de las mediciones tomadas durante la noche, se observó que muchas de ellas se encuentran muy por debajo de lo establecido por las normas, en parte debido a la falta de mantenimiento en las luminarias, pues buena parte de ellas presentan acrílicos opacos y sucios. En otros casos se observaron luminarias con lámparas fundidas, lo que causa una disminución más acentuada de los niveles de iluminación. Por último hay que tener en cuenta que las lámparas fluorescentes no brillan con la misma intensidad durante toda su vida útil, pues se presenta en ellas el fenómeno conocido como depreciación de lúmenes explicado en el punto 1.11 del capítulo 1.

Lo anterior aunado a que las lámparas en los edificios analizados se cambian solo cuando ya no encienden, provoca los bajos niveles de iluminación obtenidos durante la noche. Por lo tanto, para mantener buenos niveles de iluminación es necesario cambiar las lámparas

---

cuando ya se ha hecho evidente la depreciación de lúmenes entregados por la lámpara y no esperar hasta que esta ha dejado de encender.

En la columna referente a la Norma Oficial Universitaria (NOU) se observa que existen espacios en blanco, ello se debe a que la norma enuncia áreas muy específicas para las cuales establece un nivel de iluminación particular, pero en la tabla en la que se enuncian estas áreas y sus niveles de iluminación (tabla 3.3 Del capítulo 3), no se mencionan las siguientes áreas: auditorio, cafetería y almacén. Por este motivo se atenderá solo a los valores establecidos por la NOM-025-STPS.

En el caso de la NOM-025-STPS no se especifican áreas particulares (salvo algunos casos como aulas, oficinas y salas de cómputo. En la tabla de esta norma que especifica los niveles de iluminación (tabla 3.2 del capítulo 3), se opta por describir las necesidades visuales de la tarea a desarrollar en un área cualquiera, esto permite que se pueda deducir cual es el nivel de iluminación adecuado para un área no mencionada en dicha norma.

Al tener dos normas que versen sobre el mismo tema se debe tener cuidado de que no se contradigan. Como se menciono anteriormente la NOU establece un rango de variación permitida para los niveles de iluminación de  $\pm 10\%$ ; mientras que la NOM-025-STPS solo menciona que los niveles de iluminación no deben ser menores a los establecidos en ella. Al analizar la tabla 4.13 podemos observar que hay dos puntos de discrepancia entre ambas normas, dichos puntos son; los niveles de iluminación establecidos para las salas de cómputo y los niveles de iluminación establecidos para baños.

En el caso de las salas de cómputo ambas normas establecen específicamente cuales deben ser los niveles de iluminación para este tipo de área. Por un lado la NOU establece 300 luxes, mientras la NOM-025-STPS establece 500 luxes. En este caso debe atenderse lo establecido en la NOM-025-STPS, pues al ser una norma de carácter gubernamental tiene mayor prioridad que una norma establecida por una institución educativa.

En el caso de los niveles de iluminación para baños, la NOU establece específicamente un nivel de iluminación de 150 luxes, mientras que la NOM-025-STPS no hace mención concreta del nivel de iluminación de este tipo de áreas. Se tomo 200 luxes como nivel de iluminación para baños debido a que este nivel es el establecido para actividades con un requerimiento visual simple. Sin embargo al no estar mencionada específicamente, esta área podría situarse en otro nivel de iluminación dependiendo de las consideraciones que se tomen para situar el área. Por tal motivo y para atender correctamente al menos a una de las dos normas se considerara como único valor aplicable el de la Norma Oficial Universitaria.

En todas las demás áreas mencionadas en la tabla 4.13, los niveles de iluminación establecidos por la NOU son mayores a los establecidos por la NOM-025-STPS, por lo cual

---

no existen discrepancias entre ambas normas y atendiendo a la primera se estará atendiendo también a la segunda.

⌘ En la tabla 4.14 se muestran los niveles de DPEA obtenidos para cada nivel del edificio de oficinas administrativas. En dicha tabla se observa que solo la planta baja cumple con el nivel de DPEA establecido por la NOM-007-ENER-2004, al no rebasar los 14 [W/m<sup>2</sup>]. El primer y segundo nivel rebasan este límite, sin embargo al realizar el cálculo de todo el edificio se obtiene una DPEA que sí satisface lo establecido en la norma. Es importante mencionar que la norma permite que algunas áreas del edificio excedan los niveles permitidos siempre que el resultado total sea igual o inferior a lo establecido. Sin embargo las actividades realizadas en el edificio de oficinas administrativas son muy homogéneas (esencialmente labores de oficina), por lo que no existe motivo aparente para que se presenten variaciones considerables en la DPEA de cada nivel. Por tal motivo debe procurarse tener una DPEA lo mas uniforme posible, ya que ello contribuirá a disminuir el consumo eléctrico en iluminación.

Tabla 4.14 DPEA calculada para los tres niveles del edificio administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO DE OFICINAS ADMINISTRATIVAS</b> |  |                                       |                               |                                     |
|---|--|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>NIVEL</b>                                | <b>POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN [W]</b> | <b>ÁREA ILUMINADA [m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA [W/m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA NORMA [W/m<sup>2</sup>]</b> |
| PLANTA BAJA                                 | 13956.1  | 1313.7                                | 10.6                          | <b>14</b>                           |
| PRIMER PISO                                 | 16620.1  | 1106.6                                | 15.0                          |                                     |
| SEGUNDO PISO                                | 12569.4  | 874.7                                 | 14.4                          |                                     |
| <b>DPEA TOTAL</b>                           | <b>43145.6</b>                                 | <b>3295.0</b>                         | <b>13.1</b>                   | <b>CUMPLE</b>                       |

En las tablas 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18 se presentan los valores de la DPEA obtenidos para los edificios A, B, C y D respectivamente. En dichas tablas podemos observar que los valores obtenidos para la DPEA de cada nivel son muy parecidos entre sí. Ello se debe a que las características de estos edificios son muy similares, tienen aproximadamente la misma área y en todos los niveles de estos edificios se tiene el predominio de luminarias con lámparas fluorescentes T-12 de 39 W. como ya se ha mencionado antes, este tipo de lámparas son poco eficientes y los resultados del cálculo de la DPEA lo comprueban. Por otro lado la totalidad de estos edificios está destinada a la impartición de clases, es decir a una sola actividad particular, por lo que es de esperarse que las necesidades de iluminación y la manera de atenderlas sea uniforme en cada uno de estos edificios y entre sí.

Los altos niveles de DPEA obtenidos para estos edificios, justifican la necesidad de actualizar el sistema de iluminación con tecnología de vanguardia que cubra las necesidades de iluminación al menor costo energético y económico posible.

Tabla 4.15 DPEA calculada para los tres niveles del edificio A de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO A</b> |   |                                  |                          |                                |
|-------------------|---|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| NIVEL             | POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN [W] | ÁREA ILUMINADA [m <sup>2</sup> ] | DPEA [W/m <sup>2</sup> ] | DPEA NORMA [W/m <sup>2</sup> ] |
| PLANTA BAJA       | 10542.5                                 | 550.8                            | 19.1                     | <b>16</b>                      |
| PRIMER PISO       | 10445                                   | 554.6                            | 18.8                     |                                |
| SEGUNDO PISO      | 11602.5                                 | 598.2                            | 19.4                     |                                |
| DPEA TOTAL        | 32590                                   | 1703.6                           | 19.1                     | NO CUMPLE                      |

Tabla 4.16 DPEA calculada para los tres niveles del edificio B de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO B</b> |   |                                  |                          |                                |
|-------------------|---|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| NIVEL             | POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN [W] | ÁREA ILUMINADA [m <sup>2</sup> ] | DPEA [W/m <sup>2</sup> ] | DPEA NORMA [W/m <sup>2</sup> ] |
| PLANTA BAJA       | 13552.5                                 | 750.4                            | 18.1                     | <b>16</b>                      |
| PRIMER PISO       | 13552.5                                 | 727.5                            | 18.6                     |                                |
| SEGUNDO PISO      | 13455                                   | 690.8                            | 19.5                     |                                |
| DPEA TOTAL        | 40560                                   | 2168.7                           | 18.7                     | NO CUMPLE                      |

Tabla 4.17 DPEA calculada para los tres niveles del edificio C de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO C</b> |   |                                  |                          |                                |
|-------------------|---|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| NIVEL             | POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN [W] | ÁREA ILUMINADA [m <sup>2</sup> ] | DPEA [W/m <sup>2</sup> ] | DPEA NORMA [W/m <sup>2</sup> ] |
| PLANTA BAJA       | 11912.5                                 | 659.7                            | 18.1                     | <b>16</b>                      |
| PRIMER PISO       | 12010                                   | 638.8                            | 18.8                     |                                |
| SEGUNDO PISO      | 12400                                   | 679.2                            | 18.3                     |                                |
| DPEA TOTAL        | 36322.5                                 | 1977.8                           | 18.4                     | NO CUMPLE                      |

Tabla 4.18 DPEA calculada para los tres niveles del edificio D de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO D</b> |   |                                  |                          |                                |
|-------------------|---|----------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| NIVEL             | POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN [W] | ÁREA ILUMINADA [m <sup>2</sup> ] | DPEA [W/m <sup>2</sup> ] | DPEA NORMA [W/m <sup>2</sup> ] |
| PLANTA BAJA       | 13650                                   | 760.8                            | 17.9                     | <b>16</b>                      |
| PRIMER PISO       | 13552.5                                 | 735.5                            | 18.4                     |                                |
| SEGUNDO PISO      | 13455                                   | 690.4                            | 19.5                     |                                |
| DPEA TOTAL        | 40657.5                                 | 2186.8                           | 18.6                     | NO CUMPLE                      |

El edificio F de la Facultad de Contaduría y Administración está destinado en su mayor parte a la actividad docente y una pequeña área de oficinas de aproximadamente 170 m<sup>2</sup>. Por esta razón y atendiendo a la sección 7.2.2 de la norma NOM-007-ENER-2004 tendríamos que reportar la DPEA de las dos áreas por separado. Sin embargo la norma citada menciona

también, en su campo de aplicación que en el caso de modificaciones a sistemas de alumbrado de edificios ya existentes, la norma aplica solo si en dicha área se tiene una carga conectada de alumbrado mayor o igual a 3 kW.

La carga conectada para alumbrado en el área de oficinas en el edificio F es de apenas 2.4 kW, por lo que se decidió integrar esta área dentro del área de aulas y obtener un solo valor de DPEA.

En el edificio F, tal como en los edificios anteriores también se tiene el predominio de luminarias con lámparas fluorescentes T-12 de 39 W. sin embargo en este edificio sí se cumple con el nivel de DPEA establecido en la norma. Ello se debe a que este edificio tiene una configuración muy distinta a los anteriores edificios de aulas, lo que hace que se tengan necesidades de iluminación distintas y puedan cubrirse con una carga de alumbrado menor.

En la tabla 4.19 se presenta la DPEA obtenida para cada nivel del edificio F, en este edificio solo el primer nivel rebasa el límite permitido de DPEA establecido por la norma, pero se compensa con los niveles obtenidos en los otros pisos del edificio para tener un DPEA justo en el límite permitido.

Al igual que en los casos anteriores dado que el edificio F tiene una sola actividad predominante no hay motivo aparente para que la DPEA no sea uniforme, por lo que debe procurarse, en la medida de lo posible homogeneizar los niveles de DPEA y que estos sean, lo más bajos posibles sin sacrificar los niveles de iluminación.

Tabla 4.19 DPEA calculada para los tres niveles del edificio F de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO F</b> |  |                                       |                               |                                     |
|-------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>NIVEL</b>      | <b>POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN [W]</b> | <b>ÁREA ILUMINADA [m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA [W/m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA NORMA [W/m<sup>2</sup>]</b> |
| PLANTA BAJA       | 10856.4  | 685.6                                 | 15.8                          | <b>16</b>                           |
| PRIMER PISO       | 10880.7  | 635.5                                 | 17.1                          |                                     |
| SEGUNDO PISO      | 9462.5   | 629.2                                 | 15.0                          |                                     |
| <b>DPEA TOTAL</b> | <b>31199.6</b>                                 | <b>1950.3</b>                         | <b>16.0</b>                   | <b>CUMPLE</b>                       |

#### 4.8 Criterios para la selección de la tecnología de iluminación

La tecnología de iluminación que se proponga, para sustituir a la presente en los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración, deberá satisfacer plenamente las necesidades de iluminación que tienen las distintas áreas de los edificios analizados al menor costo posible.

Para ello el nuevo sistema de iluminación deberá de seguir siendo de tipo general, es decir, procurando que se obtenga una iluminancia lo más uniforme posible sobre el plano horizontal a la altura del plano de trabajo. Al mismo tiempo deberá entregar los niveles de iluminación establecidos en las columnas referentes a las normas Oficial Universitaria (NOU) y Oficial Mexicana 025 de la Secretaria del Trabajo (NOM-025-STPS) presentadas en la tabla 4.13.

Las nuevas lámparas deberán tener una temperatura del color por encima de los 4100 K, que corresponde al blanco frío. Temperaturas del color por encima de los 4100 K son ideales para las actividades de oficina y docentes, pues como se describió en el capítulo 1, producen en el ambiente una sensación de dinamismo y actividad. Temperaturas del color más cálidas no son recomendables para este tipo de lugares pues producen un efecto de relajación poco conveniente para las actividades laborales.

La nueva tecnología deberá tener también, un alto índice de reproducción, no menor al 80% ya que una buena reproducción de los colores aumenta la agudeza visual y genera un ambiente de trabajo más confortable y productivo.

Una baja depreciación de lúmenes es deseable en el nuevo sistema de iluminación así como una vida nominal elevada, pues estos dos factores son importantes para reducir los costos de mantenimiento del nuevo sistema de iluminación.

Finalmente una buena eficacia luminosa es deseable, pues este punto es muy importante en el ahorro de energía. Lámparas con una alta eficacia luminosa nos permitirán obtener menores niveles de DPEA. En promedio una lámpara T-12 de 39 W tiene una eficacia mínima de 47 [lm/W]. Obviamente la nueva tecnología debe ser muy superior a este valor. Suponiendo que se usen lámparas T-5 y tomando como parámetro la tabla 6 de la norma NOM-028-ENER-2010, deberán tener una eficacia luminosa mínima de 78 [lm/W]. Dicha disposición entrara en vigor en diciembre de 2012 por lo que es de suma importancia tenerla en cuenta al momento de seleccionar las lámparas que se usaran en el diseño del nuevo sistema de iluminación.



# CAPÍTULO 5

## SISTEMA DE ILUMINACIÓN PROPUESTO

En el capítulo anterior se hizo el reconocimiento de las características y necesidades que tienen los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración. Tomando como base esos datos recabados y analizados, se presentará en este capítulo, un proyecto de iluminación que satisfaga las necesidades de iluminación de los edificios antes mencionados. Dicho proyecto contempla el cumplimiento de las normas aplicables, mencionadas en el capítulo 3.

Como se menciona en el capítulo 2, en la actualidad existen muchos y muy variados tipos de lámparas. Actualmente la tecnología de vanguardia en iluminación está representada por los LEDs de alta potencia, sin embargo lo reciente de la tecnología hace que este tipo de lámparas no sean todavía, las más adecuadas para la iluminación de interiores, además el alto costo de esta tecnología resulta poco atractivo económicamente, para su implementación en instalaciones que requieren un gran número de lámparas.

Las lámparas fluorescentes T-5 entregan un flujo luminoso alto, con un consumo eléctrico bajo, además el costo del conjunto lámpara-balastro-luminaria es inferior al de una sola lámpara LED T-5. Por estas razones, nuestra propuesta para el sistema de iluminación de los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y administración, utiliza principalmente lámparas fluorescentes T-5.

La propuesta que se presenta en este capítulo, contempla la instalación de dispositivos de control local, pues en el sistema actual se carece de ellos. Así mismo se propone la automatización de las áreas de servicios generales, como pasillos y baños, con la finalidad de evitar consumos innecesarios, atribuibles a factores humanos.

### **5.1 Características del sistema de iluminación**

A partir de la información recabada y analizada en el capítulo anterior se puede decir que el sistema actual de iluminación es de tipo general, es decir que es un sistema que procura iluminar un espacio de manera uniforme a partir de una distribución geométrica regular de luminarias. El diseño del nuevo sistema de iluminación será también de tipo general, pues resulta el más adecuado dado que todos los usuarios tienen el mismo tipo de actividad y por lo tanto, requieren por norma los mismos niveles de iluminación.

El sistema actual de iluminación se basa fundamentalmente en lámparas fluorescentes lineales. Debido a las características técnicas de este tipo de lámparas, pueden obtenerse distribuciones luminosas razonablemente uniformes con un número reducido de luminarias. Por tal motivo se decidió realizar el nuevo diseño del sistema de iluminación con este mismo tipo de lámparas. Los puntos clave de las mejoras se encuentran en el uso de conjuntos lámpara- balastro más eficientes y en la reducción del número de luminarias en los locales cuyas características así lo permitan.

Actualmente las lámparas fluorescentes más eficientes del mercado son las conocidas como T-5. El sistema de iluminación que se propone se basa principalmente en luminarias con lámparas fluorescentes T-5 de 28 W. Ello debido a que estas lámparas por sus características físicas son el sustituto más adecuado para las lámparas T-12 de 39 W que son, como se mencionó en el capítulo anterior, las más utilizadas en el sistema de iluminación actual de la Facultad de Contaduría y Administración. En la tabla 5.1 se presentan las características<sup>31</sup> del conjunto lámpara—balastro del sistema T-5 que se propone y los sistemas T-12 a los que sustituirá. En la tabla podemos observar que la eficacia del sistema propuesto es muy superior a cualquier eficacia de los sistemas existentes, por lo que se puede esperar un ahorro significativo en el consumo de energía eléctrica tan solo por realizar el cambio de tecnología.

Tabla 5.1 Comparación de las características del conjunto lámpara-balastro del sistema existente y propuesto.

| SISTEMA                                   | PROPUESTO    | EXISTENTE EN LOS EDIFICIOS EN ESTUDIO |                   |                   |                   |
|---|--------------|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|   | T-5 (2X28 W) | T-12 (2X21 W)                         | T-12 (2X39 W)     | T-12 (2X40 W)     | T-12 (2X75 W)     |
| POTENCIA NOMINAL POR LÁMPARA              | 28 W         | 21 W                                  | 39 W              | 40 W              | 75 W              |
| POTENCIA DEL SISTEMA                      | 62 W         | 53 W                                  | 98 W              | 100 W             | 188 W             |
| TIPO DE TUBO                              | LINEAL T5    | LINEAL T-12                           | LINEAL T-12       | TIPO "U" T-12     | LINEAL T-12       |
| FLUJO LUMINOSO MANTENIDO POR LÁMPARA (lm) | 2500         | 1050                                  | 2200              | 2340              | 3950              |
| TIPO DE BALASTRO                          | ELECTRÓNICO  | ELECTRO-MAGNÉTICO                     | ELECTRO-MAGNÉTICO | ELECTRO-MAGNÉTICO | ELECTRO-MAGNÉTICO |
| EFICACIA MÍNIMA (lm/W)                    | 82           | 40                                    | 45                | 47                | 42                |
| TEMPERATURA DE COLOR (K)                  | 4100         | 4100                                  | 4100              | 4100              | 4100              |
| CRI MÍNIMO                                | 85           | 62                                    | 62                | 70                | 70                |
| VIDA ÚTIL (HORAS)                         | 25000        | 9000                                  | 9000              | 18000             | 12000             |

En el sistema de iluminación actual todas las luminarias son gabinetes rectangulares empotrados o superpuestos que carecen de elemento reflector. Dichas luminarias utilizan un panel refractor prismático (como el mostrado en la figura 5.1) para lograr una iluminación homogénea, al mismo tiempo que actúa como pantalla para evitar el deslumbramiento. Este tipo de luminarias requiere de periodos de mantenimiento cortos pues el panel refractor actúa

<sup>31</sup> Phillips Lighting de México, *Catalogo General de Lámparas 2010/2011*

como una trampa de polvo, lo que ocasiona que los niveles de iluminación entregados por la luminaria decaigan en la medida en que el polvo se acumula en el panel, aun cuando el nivel de iluminación entregado por las lámparas se mantenga constante.

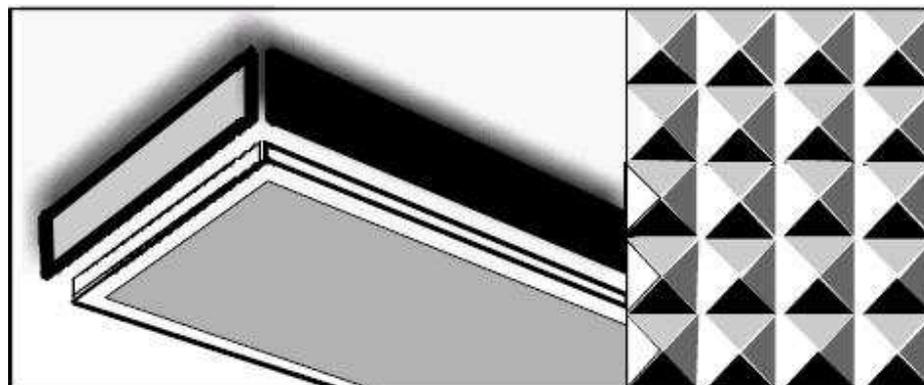


Figura 5.1 Detalle de un panel refractor prismático presente en las luminarias de los edificios en estudio

La luminaria que se propone para el nuevo sistema de iluminación (mostrada en la figura 5.2) es el modelo “SmartForm TCS460” de la marca Philips. Esta luminaria posee un elemento reflector parabólico en acabado mate, este tipo de acabado distribuye la luz generada por las lámparas en una zona bastante amplia, con lo que se consigue un nivel de iluminancia más uniforme que con un reflector de acabado especular. El apantallamiento se realiza por medio de celosías que limitan la emisión de luz en ángulos adecuados para evitar el deslumbramiento. En este tipo de apantallamiento, la acumulación de polvo no evita el paso de la luz como ocurre en el caso de las pantallas de paneles acrílicos.



Figura 5.2 Luminaria T-5 2 X 28 W propuesta modelo SmartForm TCS460

La luminaria mostrada en la figura 5.2 se usará como base en el cálculo del número de luminarias necesarias para alcanzar el nivel de iluminación en cada uno de los locales

estudiados. Sin embargo existen ciertas zonas que por sus características o necesidades específicas, requieran un tipo de luminaria diferente.

A continuación se procederá a realizar el cálculo del número de luminarias necesarias para cubrir los niveles de iluminación requeridos para algunos de los locales en estudio. El número de luminarias requerido, se determinará por medio del método del lumen explicado en el capítulo 1.

✦ En un aula tipo de la Facultad de Contaduría y Administración se tienen los siguientes datos:

Largo del aula (*a*): 7.85 m

Ancho del aula (*b*): 7.45 m

Distancia de la luminaria al plano de trabajo (*h*): 2.45 m

Coefficientes de reflexión en: techo 0.7, suelo 0.2, pared 0.3

Factor de mantenimiento (*fm*): 0.8

Iluminancia promedio deseada (*E*): 400 lx

Flujo luminoso nominal de la luminaria propuesta  $\phi_L = 5200 \text{ lm}$

Tabla 5.2 Coeficientes de utilización para la luminaria mostrada en la figura 5.2

| Room Index<br><i>k</i> | Reflectances (%) for ceiling, walls and working plane (CIE) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                        | 0.80  | 0.80 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.50 | 0.50 | 0.30 | 0.30 | 0.00 |
|                        | 0.50  | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.30 | 0.30 | 0.10 | 0.30 | 0.10 | 0.00 |
|                        | 0.30  | 0.10 | 0.30 | 0.20 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.00 |
| 0.60                   | 0.42  | 0.40 | 0.41 | 0.41 | 0.40 | 0.35 | 0.35 | 0.32 | 0.35 | 0.32 | 0.31 |
| 0.80                   | 0.50  | 0.47 | 0.49 | 0.48 | 0.46 | 0.42 | 0.42 | 0.39 | 0.41 | 0.38 | 0.37 |
| 1.00                   | 0.56  | 0.52 | 0.55 | 0.54 | 0.52 | 0.48 | 0.47 | 0.44 | 0.47 | 0.44 | 0.43 |
| 1.25                   | 0.62  | 0.57 | 0.61 | 0.59 | 0.57 | 0.53 | 0.52 | 0.49 | 0.51 | 0.49 | 0.48 |
| 1.50                   | 0.67  | 0.60 | 0.65 | 0.62 | 0.60 | 0.56 | 0.56 | 0.53 | 0.55 | 0.53 | 0.51 |
| 2.00                   | 0.73  | 0.65 | 0.71 | 0.68 | 0.65 | 0.62 | 0.61 | 0.59 | 0.60 | 0.58 | 0.57 |
| 2.50                   | 0.77  | 0.68 | 0.75 | 0.71 | 0.67 | 0.65 | 0.64 | 0.62 | 0.63 | 0.61 | 0.60 |
| 3.00                   | 0.80  | 0.70 | 0.78 | 0.73 | 0.69 | 0.67 | 0.66 | 0.65 | 0.65 | 0.64 | 0.62 |
| 4.00                   | 0.83  | 0.72 | 0.81 | 0.76 | 0.71 | 0.70 | 0.68 | 0.67 | 0.67 | 0.66 | 0.64 |
| 5.00                   | 0.85  | 0.73 | 0.83 | 0.77 | 0.72 | 0.71 | 0.70 | 0.69 | 0.69 | 0.68 | 0.66 |

Obtención del índice de local ( $k$ ).

$$k = \frac{a \times b}{h \cdot (a+b)} \Rightarrow k = \frac{7.85 \times 7.45}{2.35 (7.85 + 7.45)} \Rightarrow k = 1.63$$

A partir del índice de local y considerando los coeficientes de reflexión dados, se consulta la tabla de coeficientes de utilización de la luminaria (tabla 5.2) el valor correspondiente a estos datos.

Como se puede observar en la tabla 5.2, no se puede leer en forma directa el valor del coeficiente de utilización ( $\eta$ ) para el índice de local calculado. Sin embargo este valor puede obtenerse por interpolación. El valor del coeficiente de utilización obtenido para la constante se local  $k = 1.63$  después de la interpolación es  $\eta = 0.57$

Una vez obtenido el coeficiente de utilización, se procede a calcular el flujo luminoso total  $\phi_T$  del local.

$$\phi_T = \frac{E \times (a \times b)}{\eta \times fm} \Rightarrow \phi_T = \frac{400 \times 7.85 \times 7.45}{0.57 \times 0.8} \Rightarrow \phi_T = 51316$$

Finalmente puede realizarse el cálculo del número de luminarias necesario para obtener la iluminancia deseada del local, tomando en cuenta para el cálculo el 90% del flujo luminoso nominal de la luminaria, ya que este porcentaje es el que se mantendrá durante la mayor parte de la vida útil de la luminaria, por lo que  $\phi_L = 4680lm$

$$\# \text{ luminarias} = \frac{\phi_T}{\phi_L} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = \frac{51316}{4680} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = 10.9$$

Como el número de luminarias obtenido no es un entero, debe redondearse al entero superior. Es decir que el número de luminarias mínimo, necesario para obtener una iluminancia promedio de 400 lx en el aula es 11. Sin embargo aumentaremos el número de lámparas requeridas a 12 para obtener una distribución geométrica simétrica de las lámparas.

✦ Los baños de los edificios de aulas de la Facultad de Contaduría y Administración, representan un caso especial para el cálculo del número de luminarias, pues estos locales no son rectangulares. La forma perimetral de estos locales se presenta en la figura 5.3. Para realizar el cálculo de luminarias, este local fue dividido en 3 zonas rectangulares, tal como lo muestra la figura antes mencionada. Para dichas zonas el número de luminarias necesarias puede calcularse como en el ejemplo anterior.

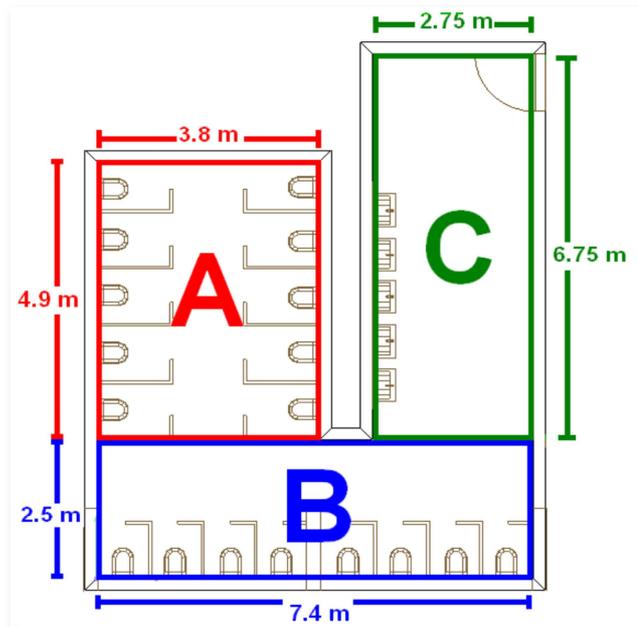


Figura 5.3 Superficies rectangulares para el cálculo del número de luminarias necesarias en el baño

Los datos que se tienen para este local son los siguientes:

Zona A: largo ( $a_A$ ) 4.90 m, ancho ( $b_A$ ) 3.80 m

Zona B: largo ( $a_B$ ) 7.40 m, ancho ( $b_B$ ) 2.50 m

Zona C: largo ( $a_C$ ) 6.75 m, ancho ( $b_C$ ) 2.75 m

Distancia de la luminaria al plano de trabajo ( $h$ ): 2.35 m

Coefficientes de reflexión en: techo 0.8, suelo 0.2, pared 0.5

Factor de mantenimiento ( $fm$ ): 0.8

Iluminancia promedio deseada ( $E$ ): 150 lx

Flujo luminoso nominal de la luminaria propuesta  $\phi_L = 5200 \text{ lm}$

Obtención del índice de local ( $k$ ) para cada una de las zonas.

Para la zona A se tiene:

$$k_A = \frac{a \times b}{h \cdot (a+b)} \Rightarrow k_A = \frac{4.90 \times 3.80}{2.35 (4.90 + 3.80)} \Rightarrow k_A = 0.91$$

Al consultar la tabla 5.2 y realizar las interpolaciones necesarias, se obtiene un coeficiente de utilización  $\eta_A = 0.495$  para el índice de local  $k_A = 0.91$ .

Para la zona B se tiene:

$$k_B = \frac{a \times b}{h \cdot (a+b)} \Rightarrow k_B = \frac{7.40 \times 2.50}{2.35 (7.40 + 2.50)} \Rightarrow k_B = 0.79$$

Al consultar la tabla 5.2 y realizar las interpolaciones necesarias, se obtiene un coeficiente de utilización  $\eta_B = 0.468$  para el índice de local  $k_B = 0.79$ .

Para la zona C se tiene:

$$k_C = \frac{a \times b}{h \cdot (a+b)} \Rightarrow k_C = \frac{6.75 \times 2.75}{2.35 (6.75 + 2.75)} \Rightarrow k_C = 0.83$$

Al consultar la tabla 5.2 y realizar las interpolaciones necesarias, se obtiene un coeficiente de utilización  $\eta_C = 0.478$  para el índice de local  $k_C = 0.83$ .

Una vez obtenido el coeficiente de utilización, se procede a calcular el flujo luminoso total  $\phi_T$  para cada una de las zonas del local.

Para la zona A  $\phi_{TA}$  es:

$$\phi_{TA} = \frac{E \times (a \times b)}{\eta \times fm} \Rightarrow \phi_{TA} = \frac{150 \times 4.90 \times 3.80}{0.495 \times 0.8} \Rightarrow \phi_{TA} = 7053$$

Para la zona B  $\phi_{TB}$  es:

$$\phi_{TB} = \frac{E \times (a \times b)}{\eta \times fm} \Rightarrow \phi_{TB} = \frac{150 \times 7.40 \times 2.50}{0.468 \times 0.8} \Rightarrow \phi_{TB} = 7412$$

Para la zona C  $\phi_{TC}$  es:

$$\phi_{TC} = \frac{E \times (a \times b)}{\eta \times fm} \Rightarrow \phi_{TC} = \frac{150 \times 6.75 \times 2.75}{0.478 \times 0.8} \Rightarrow \phi_{TC} = 7280$$

Finalmente puede realizarse el cálculo del número de luminarias necesario para cada zona. Como en el ejemplo anterior, el flujo luminoso de la luminaria se tomara al 90%, por lo que  $\phi_L = 4680 \text{ lm}$ .

Para la zona A se tiene

$$\# \text{ luminarias} = \frac{\phi_{TA}}{\phi_L} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = \frac{7053}{4680} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = 1.50$$

Como el número de luminarias obtenido no es un entero, debe redondearse al entero superior. Es decir que el número de luminarias mínimo, necesario para obtener una iluminancia promedio de 150 lx en la zona A es 2.

Para la zona B se tiene

$$\# \text{ luminarias} = \frac{\phi_{TB}}{\phi_L} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = \frac{7412}{4680} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = 1.58$$

Redondeando al entero superior, se tiene que la zona B requiere 2 luminarias para obtener una iluminancia promedio de 150 lx.

Para la zona C se tiene

$$\# \text{ luminarias} = \frac{\phi_{TC}}{\phi_L} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = \frac{7280}{4680} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = 1.55$$

Redondeando al entero superior la zona C requiere 2 luminarias para obtener una iluminancia promedio de 150 lx.

En resumen el local del baño requiere de 6 luminarias para obtener una iluminancia promedio de 150 lx.

✦ A continuación se muestra el cálculo del número de luminarias para el pasillo del primer nivel del edificio F de la Facultad de Contaduría y Administración. Se trata de uno de los muchos corredores de más de 30 metros que se tienen en los edificios en estudio. En este pasillo se requiere lograr una iluminancia media de 100 lx, y se decidió usar una luminaria modelo "SmartForm TPS460" con las mismas características que la mostrada en la figura 5.2, solo que en este caso se trata de un sistema T-5 1X28W, es decir que consta de una sola lámpara. Este cambio se hizo con la finalidad de obtener una mejor uniformidad luminosa en el rango de los 100 lx. En el pasillo del primer nivel del edificio F se tienen los siguientes datos:

Largo del pasillo (*a*): 50.0 m

Ancho del pasillo (*b*): 3.0 m

Distancia de la luminaria al plano de trabajo (*h*): 2.35 m

Coefficientes de reflexión en: techo 0.8, suelo 0.3, pared 0.5

Factor de mantenimiento (*fm*): 0.8

Iluminancia promedio deseada (*E*): 100 lx

Flujo luminoso nominal de la luminaria propuesta  $\phi_L = 2600 \text{ lm}$

---

Obtención del índice de local ( $k$ ).

$$k = \frac{a \times b}{h \cdot (a+b)} \Rightarrow k = \frac{50.0 \times 3.0}{2.35 (50.0+3.0)} \Rightarrow k = 1.2$$

Con este índice de local y considerando los coeficientes de reflexión dados, se determina el coeficiente de utilización correspondiente, consultando la tabla de coeficientes de utilización para esta luminaria (tabla 5.3).

Tabla 5.3 Coeficientes de utilización para la luminaria modelo "SmartForm TPS460" 1X28 W marca Philips.

| Room Index<br>$k$ | Reflectances (%) for ceiling, walls and working plane (CIE) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                   | 0.80  | 0.80 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.50 | 0.50 | 0.30 | 0.30 | 0.00 |
| 0.50              | 0.50  | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.30 | 0.30 | 0.10 | 0.30 | 0.10 | 0.00 |
| 0.60              | 0.43  | 0.41 | 0.42 | 0.41 | 0.40 | 0.36 | 0.35 | 0.32 | 0.35 | 0.32 | 0.31 |
| 0.80              | 0.51  | 0.48 | 0.50 | 0.48 | 0.47 | 0.43 | 0.42 | 0.39 | 0.42 | 0.39 | 0.38 |
| 1.00              | 0.57  | 0.53 | 0.56 | 0.54 | 0.53 | 0.48 | 0.48 | 0.45 | 0.47 | 0.45 | 0.43 |
| 1.25              | 0.63  | 0.58 | 0.62 | 0.60 | 0.57 | 0.53 | 0.53 | 0.50 | 0.52 | 0.50 | 0.48 |
| 1.50              | 0.68  | 0.61 | 0.66 | 0.63 | 0.61 | 0.57 | 0.56 | 0.54 | 0.56 | 0.53 | 0.52 |
| 2.00              | 0.74  | 0.66 | 0.72 | 0.69 | 0.65 | 0.63 | 0.62 | 0.60 | 0.61 | 0.59 | 0.57 |
| 2.50              | 0.78  | 0.69 | 0.76 | 0.72 | 0.68 | 0.66 | 0.65 | 0.63 | 0.64 | 0.62 | 0.61 |
| 3.00              | 0.81  | 0.71 | 0.79 | 0.74 | 0.70 | 0.68 | 0.67 | 0.65 | 0.66 | 0.65 | 0.63 |
| 4.00              | 0.84  | 0.73 | 0.82 | 0.77 | 0.72 | 0.71 | 0.69 | 0.68 | 0.68 | 0.67 | 0.65 |
| 5.00              | 0.86  | 0.74 | 0.84 | 0.78 | 0.73 | 0.72 | 0.71 | 0.70 | 0.69 | 0.69 | 0.67 |

Después de realizar la interpolación necesaria, se encontró que al índice de local calculado  $k=1.2$  le corresponde un coeficiente de utilización  $\eta = 0.618$ .

Una vez obtenido el coeficiente de utilización, se procede a calcular el flujo luminoso total  $\phi_T$  del pasillo.

$$\phi_T = \frac{E \times (a \times b)}{\eta \times fm} \Rightarrow \phi_T = \frac{100 \times 50.0 \times 3.0}{0.618 \times 0.8} \Rightarrow \phi_T = 30340$$

Finalmente puede realizarse el cálculo del número de luminarias necesario para obtener la iluminancia deseada en el pasillo, tomando en cuenta para el cálculo el 90% del flujo luminoso nominal de la luminaria  $\phi_L$ , por lo que  $\phi_L = 2340 \text{ lm}$ .

$$\# \text{ luminarias} = \frac{\phi_T}{\phi_L} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = \frac{30340}{2340} \Rightarrow \# \text{ luminarias} = 12.96$$

Redondeando la cantidad obtenida al entero superior tenemos que se requieren 13 luminarias en el pasillo analizado para obtener una iluminancia media de 100 lx.

Todos y cada uno de los locales existentes en los edificios en estudio, requieren de un análisis similar al presentado aquí, para determinar el número de luminarias con el que se conseguirá el nivel de iluminación establecido en las normas para cada local.

Como se menciona en el capítulo anterior, la gran mayoría de las aulas de la Facultad de Contaduría y Administración no cuenta en este momento con apagadores dentro del aula. La Norma Oficial Universitaria especifica que en las aulas debe existir un apagador por cada 3 luminarias. Teniendo en cuenta que para las aulas se calcularon 12 luminarias, en cada salón deben colocarse 4 apagadores

El seccionamiento propuesto para el control de las luminarias será descrito con detalle en la sección 5.3 correspondiente a los planos del sistema eléctrico del nuevo proyecto.

Con la finalidad de optimizar el uso del sistema de iluminación en las áreas de servicios generales se propone el uso de sensores de presencia y fotoceldas. Con el uso de este tipo de dispositivos se elimina la posibilidad de que el sistema de iluminación de áreas como pasillos y baños se mantenga encendido cuando realmente no es necesario. Se propone alternar el control de las luminarias en los pasillos de tal manera que quede una luminaria controlada por sensor, seguida de una controlada por fotocelda, con lo que se conseguirá que en los periodos de oscuridad el sistema de iluminación se mantenga a media luz cuando no haya gente circulando en los pasillos.

## **5.2 Simulación con Dialux**

En la actualidad, la gran capacidad de procesamiento de las computadoras ha permitido el desarrollo de una gran cantidad de simuladores de iluminación. Estos simuladores generan una serie de gráficas muy aproximadas de la distribución luminosa que se obtendría al instalar un sistema de iluminación en un local dado, con la ventaja de que se pueden realizar múltiples configuraciones y encontrar la más adecuada sin la necesidad de llevar a cabo una instalación física.

En nuestro caso particular el simulador Dialux nos ha permitido comprobar que el número de luminarias calculado para cada local es el adecuado. Además nos ha permitido realizar diferentes configuraciones para un mismo número de luminarias, con la finalidad de hallar aquella con la que se obtuviera una distribución más uniforme de la luz. De igual forma nos ha permitido saber donde se ubican los puntos más oscuros y en su caso cambiar la configuración de las luminarias para corregir dichos puntos.

Como ya se menciona existen en el mercado una gran cantidad de simuladores para iluminación. En nuestro caso decidimos utilizar Dialux porque es un software de distribución gratuita y una buena cantidad de marcas líderes en el mercado de la iluminación a nivel

internacional, tienen bibliotecas de sus productos especialmente diseñadas para este software en particular.

El programa Dialux, es un programa muy amigable que puede ser utilizado por personas que no sean especialistas, pues cuenta con una buena cantidad de asistentes que guían a través de todo el proceso de simulación. Desde la construcción del local a iluminar, hasta la obtención de los resultados luminotécnicos.

Para las personas con cierto nivel de experiencia en el uso de Dialux; el programa también permite comenzar proyectos luminotécnicos desde cero, sin necesidad de recurrir a los asistentes. En este caso el programa se vuelve más flexible y permite modificar una buena cantidad de variables que el programa decide por nosotros o bien que no son consideradas cuando se utilizan los asistentes.

Para simular los diferentes locales que tenemos en nuestro proyecto fue necesario ir más allá de lo que ofrecen los asistentes, pues se tuvo la necesidad de colocar luminarias en planos inclinados así como planos de trabajo inclinados para obtener resultados confiables en las áreas de escaleras y en algunos salones que tienen desniveles.

Es importante mencionar que para realizar las simulaciones de cada uno de los locales se redujo el flujo luminoso nominal de las luminarias un 10%. Esto debido a que se puede asegurar que las lámparas entregaran un flujo luminoso del 90% durante la mayor parte de su vida útil, mientras que no se puede esperar que mantengan el 100% del flujo luminoso nominal por mucho tiempo.

Aun cuando fue necesario realizar la simulación de la mayoría de los locales, en esta sección solo mostraremos algunos que resultan representativos de la mayoría de estos.

En la figura 5.4 se puede observar un aula tipo de la Facultad de Contaduría y Administración. Esta cuenta con pupitres a diferentes alturas, por lo que para realizar la simulación de esta se optó por considerar 2 planos distintos. La zona del pasillo de entrada y escritorio, con un plano de trabajo considerado a 90 cm. del suelo, por ser la altura del escritorio y la zona de pupitres con un plano inclinado a 65 cm del suelo (por ser la altura promedio de la paleta de los pupitres).



Figura 5.4 Vista general de un aula de la Facultad de Contaduría y Administración

La figura 5.5 muestra la gráfica de isoluxes obtenida para el plano del pasillo de entrada y escritorio del profesor. En esta gráfica se obtuvo una iluminancia promedio de 375 lx. Aun cuando este valor se encuentra por debajo de los 400 lx que pide la NOU se encuentra dentro de la tolerancia de  $\pm 10\%$  que establece dicha norma.

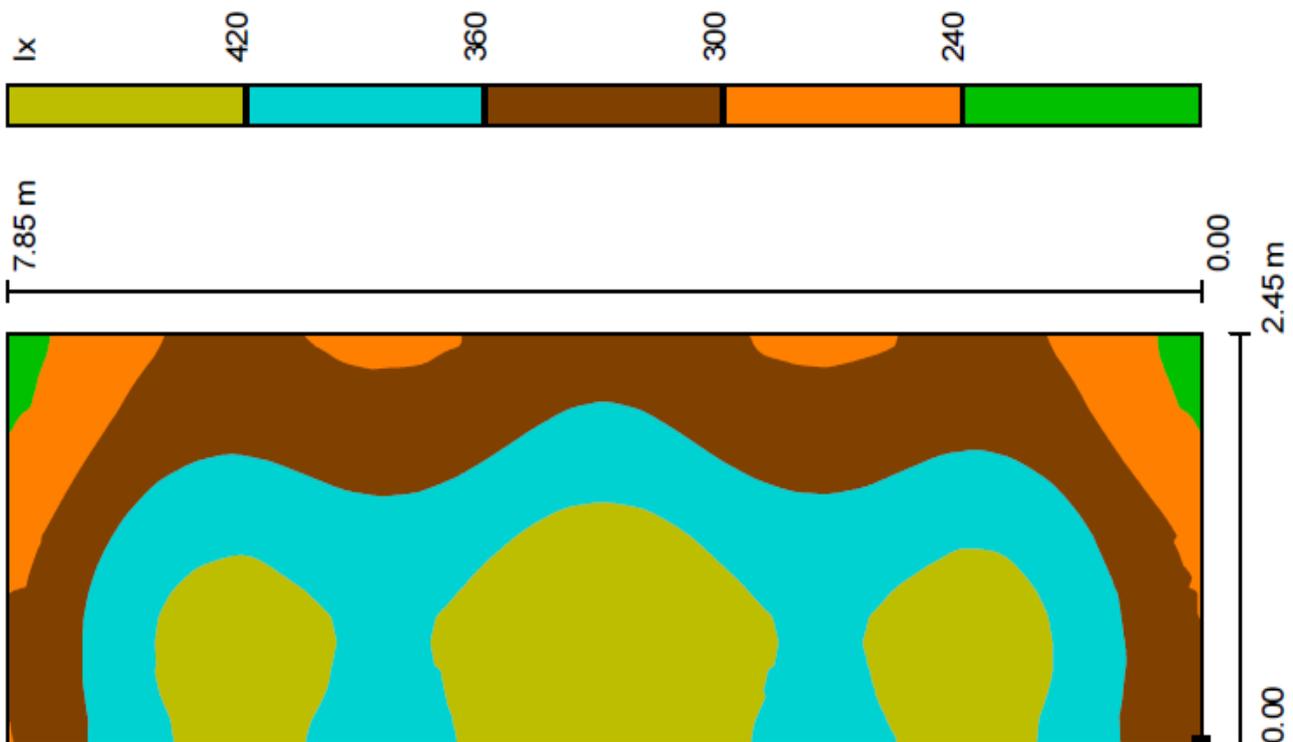


Figura 5.5 Gráfica de isoluxes del plano de trabajo en el área del pasillo de entrada y escritorio

En la figura 5.6 se muestra la gráfica de isoluxes obtenida para el plano de trabajo en el área de los pupitres. En esta área se realizó la simulación en un plano inclinado con la finalidad de contemplar en uno solo, los diferentes planos que tendrían que haberse considerado para cada una de las diferentes alturas a las que se encuentran los pupitres. El nivel de iluminancia obtenida para este plano fue de 407 lx.

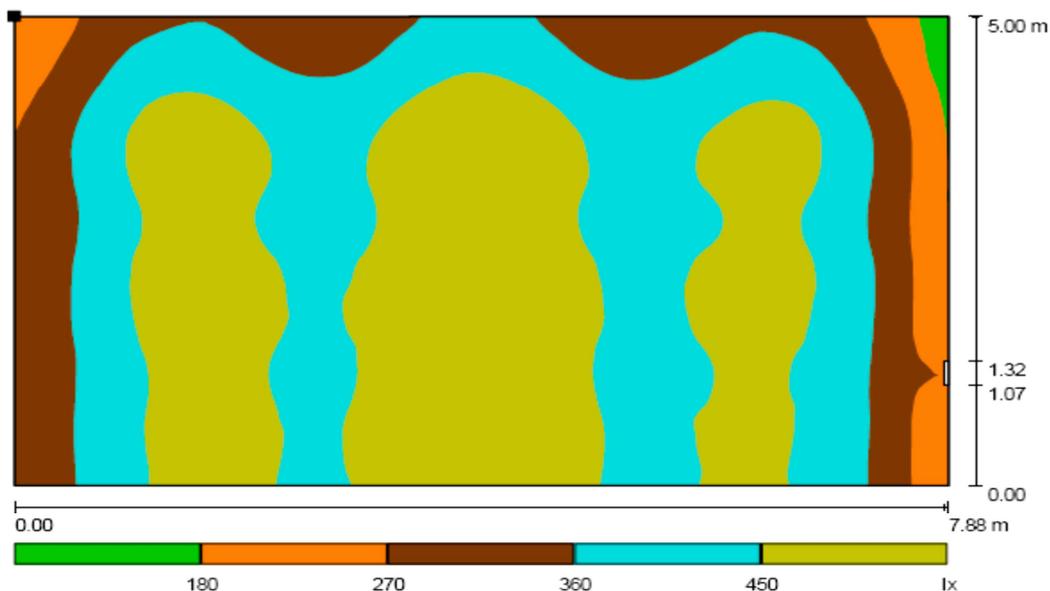


Figura 5.6 Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo del área de pupitres.

En la figura 5.7 se muestra el resultado de la simulación de una oficina tipo de la Facultad de Contaduría y Administración. El nivel de iluminancia promedio de esta gráfica fue de 393 lx. Aun cuando este promedio se encuentra por debajo de los 400 lx establecidos por la NOU, el valor obtenido se encuentra dentro de la tolerancia establecida de  $\pm 10\%$ .

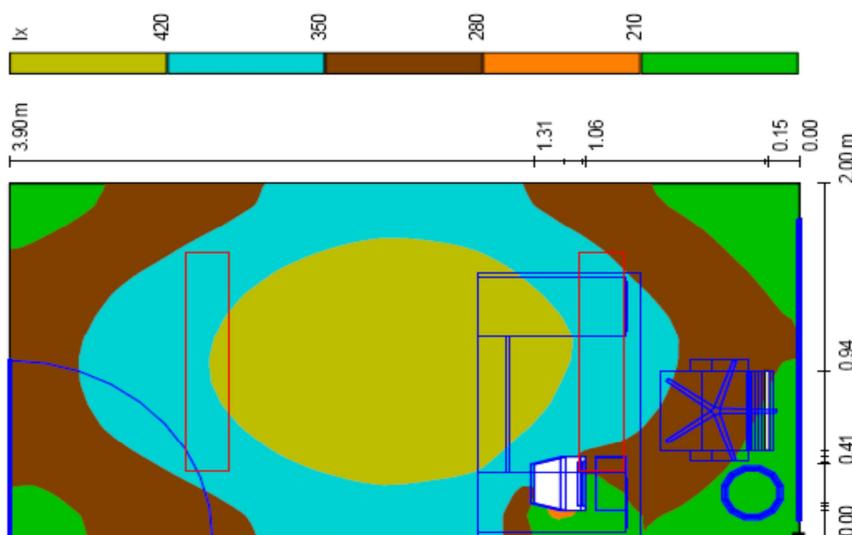


Figura 5.7 Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en una oficina.

En la figura 5.8 se muestra la gráfica de iluminancia obtenida para la sala de juntas ubicada en el edificio administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración. El nivel de iluminancia promedio de esta gráfica fue de 322 lx. El nivel de iluminación requerido para esta área es de 300 lx. Por lo que podemos decir que en esta área se cumple adecuadamente con las necesidades de iluminación del lugar. En esta área las dimensiones del local permitieron obtener un nivel de iluminancia bastante uniforme como se puede apreciar en la gráfica.

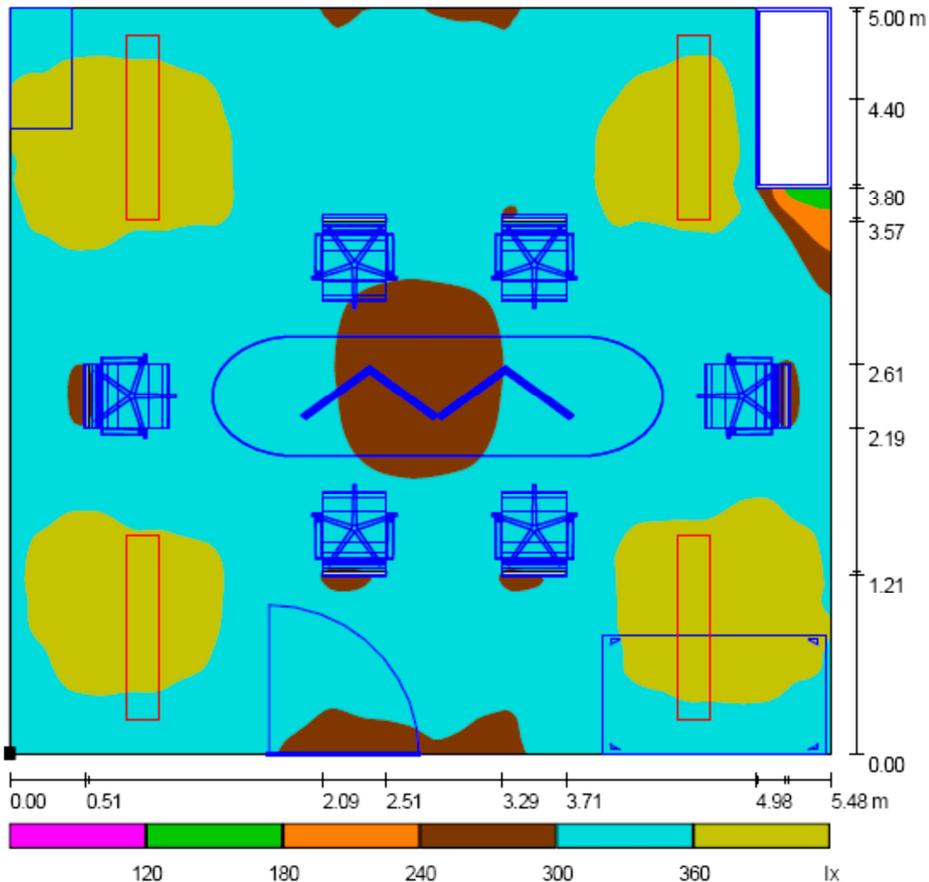


Figura 5.8 Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en la sala de juntas.

En la figura 5.9 se muestra el resultado de la simulación de la sala de cómputo ubicada en el segundo nivel del edificio administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración. El nivel de iluminancia promedio obtenido a partir de la simulación para esta área fue de 515 lx. La NOM 025-STPS especifica un nivel de iluminación de 500 lx, por otra parte la Norma Oficial Universitaria menciona un nivel de iluminación de 300 lx, para las salas de cómputo, se toma como válido el valor establecido por la NOM 025-STPS por considerar a esta última, de mayor peso.

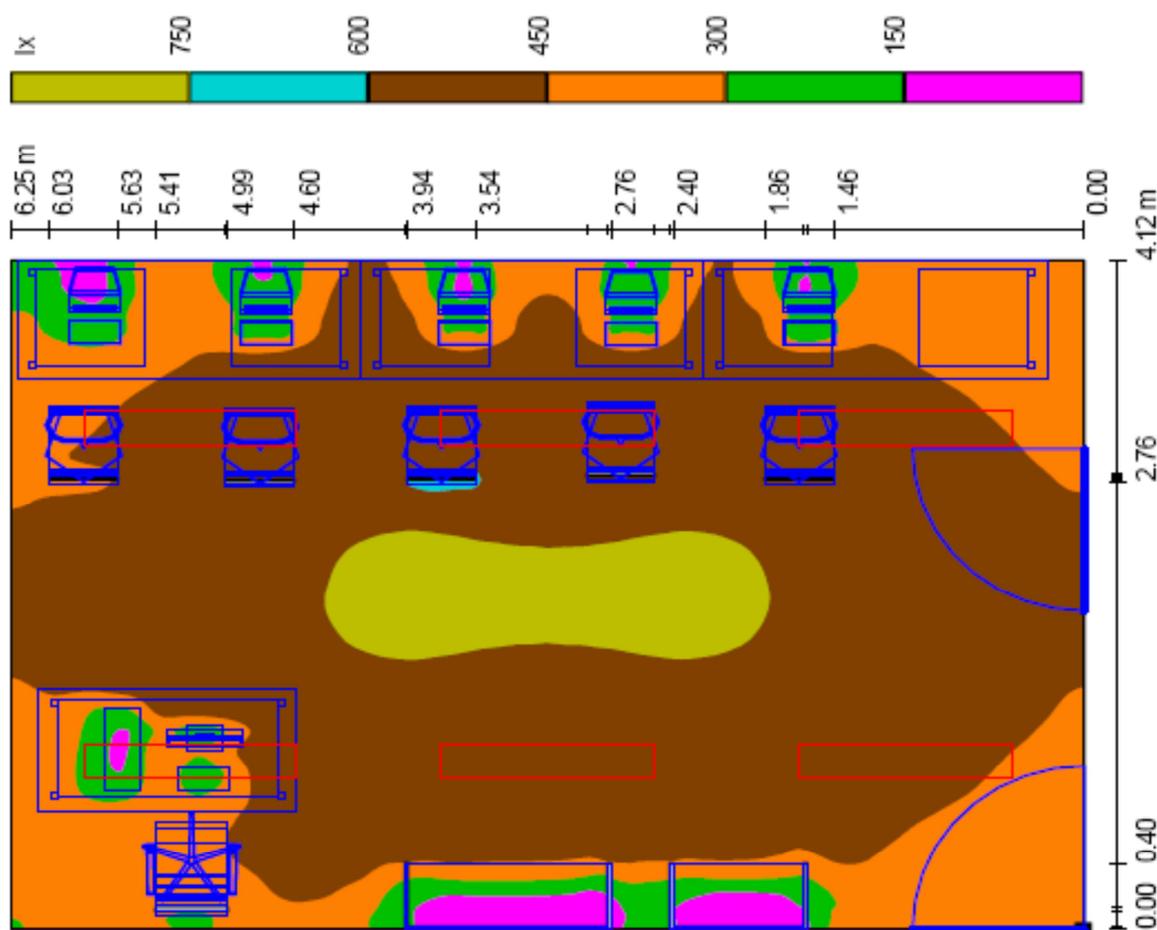


Figura 5.9 Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en la sala de cómputo.

Los resultados obtenidos en la simulación del local de cafetería se muestran en la figura 5.10. Los locales de cafetería no se mencionan en la Norma Oficial Universitaria, por lo que se consultó la NOM-025-STPS. En esta tampoco se encuentra el local de cafetería de manera explícita. Sin embargo la NOM-025-STPS, establece los niveles de iluminación para las distintas áreas en base a los requerimientos visuales que se tienen en un área de trabajo. En este sentido se considero que las labores dentro de una cafetería tienen un requerimiento visual simple, para el cual la NOM-025-STPS establece un nivel de iluminación de 200 lx.

En este local se obtuvo una iluminancia promedio de 215 lx. Debido a que este local tiene un muro que lo divide en dos secciones, se tuvieron que realizar varias simulaciones antes de decidir cuál era la disposición más adecuada de las luminarias.

En la figura 5.11 se muestra la gráfica de isoluxes obtenida para una sección de pasillo de 15 metros de largo. En los pasillos la NOU pide un nivel de iluminación promedio de 100 lx. Por otro lado la NOM-025-STPS pide que estos niveles se obtengan a la distancia media entre luminarias contiguas. En la simulación se obtiene una iluminación promedio de 108 lx y

como se puede apreciar en la gráfica el valor de la iluminancia entre luminarias se encuentra alrededor de los 100 lx.

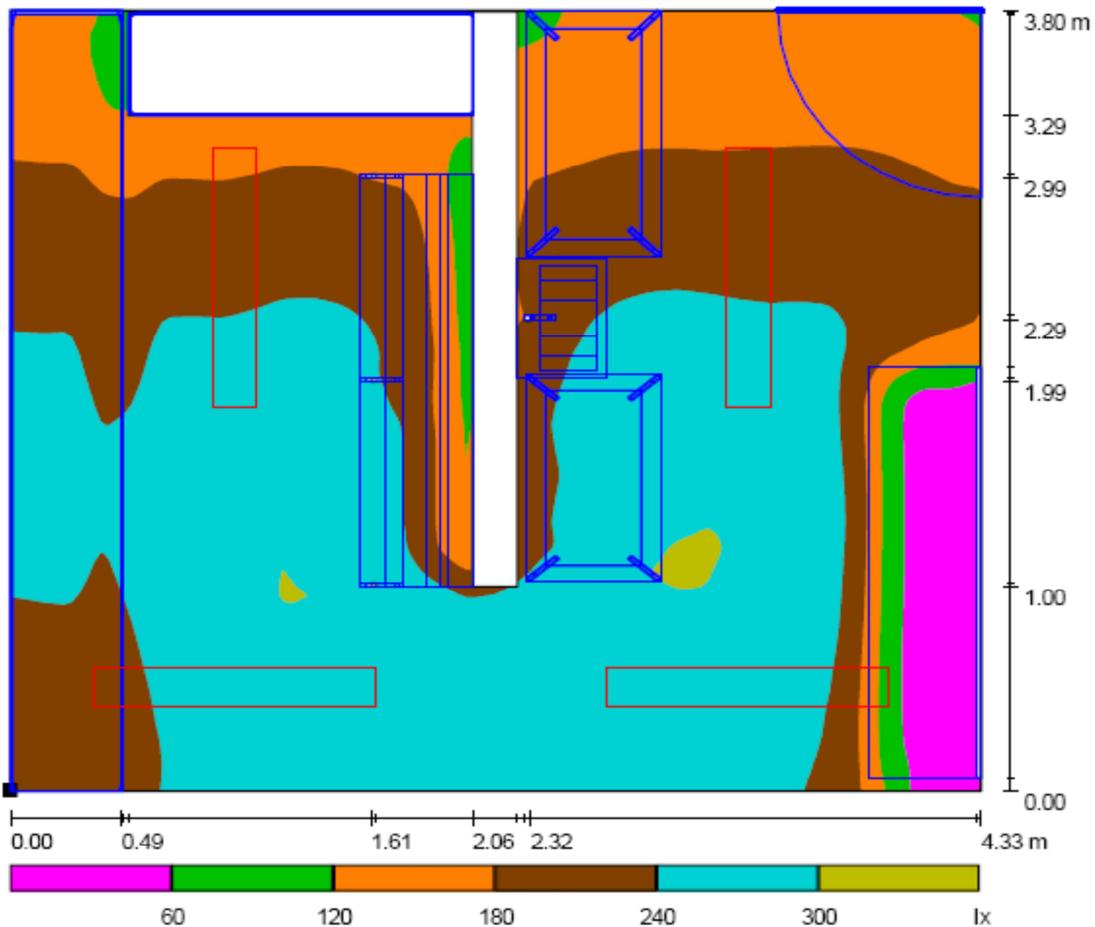


Figura 5.10 Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en la cafetería.

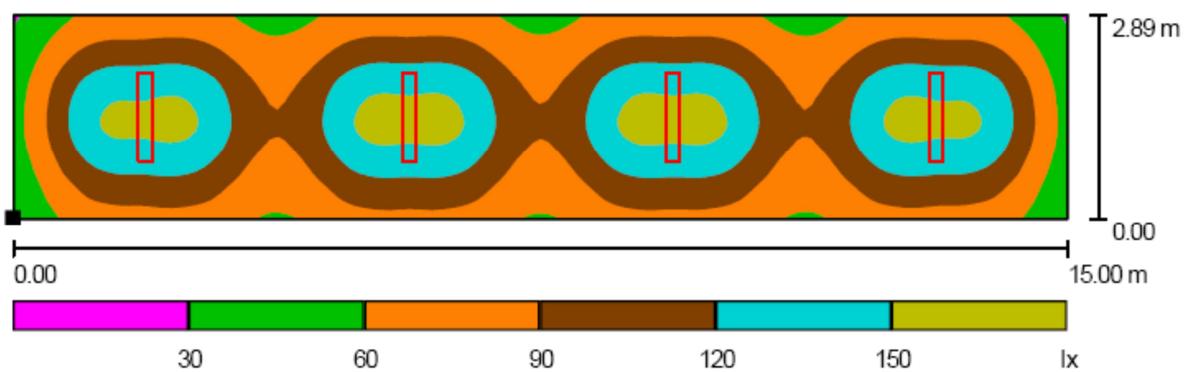


Figura 5.11 Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en pasillos.

Tal como sucedió en las aulas, en donde fue necesario hacer uso de varias superficies de cálculo para obtener datos confiables de los niveles de iluminación. En las escaleras también se tuvo la necesidad de crear varas superficies de cálculo, solo que en este caso la

inclinación de las superficies sobre las escaleras es considerablemente más notable que en el caso de la superficie inclinada utilizada en las aulas. En la figura 5.12 se muestran los diferentes planos de trabajo utilizados para realizar los cálculos de iluminación. Dichos planos están numerados en el orden en que serán presentados.

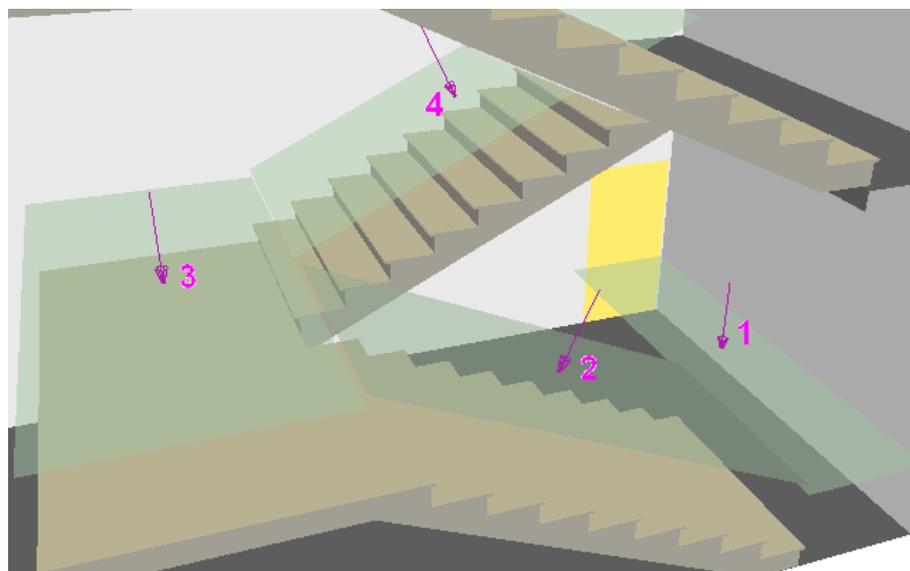


Figura 5.12 Planos utilizados en escaleras para los cálculos del nivel de iluminación.

El plano marcado con el número 1 en la figura 5.12, corresponde al corredor de acceso a la escalera. En este plano se obtuvo un nivel de iluminación promedio de 95 lx. La gráfica de la distribución luminosa obtenida para este plano se muestra en la figura 5.13

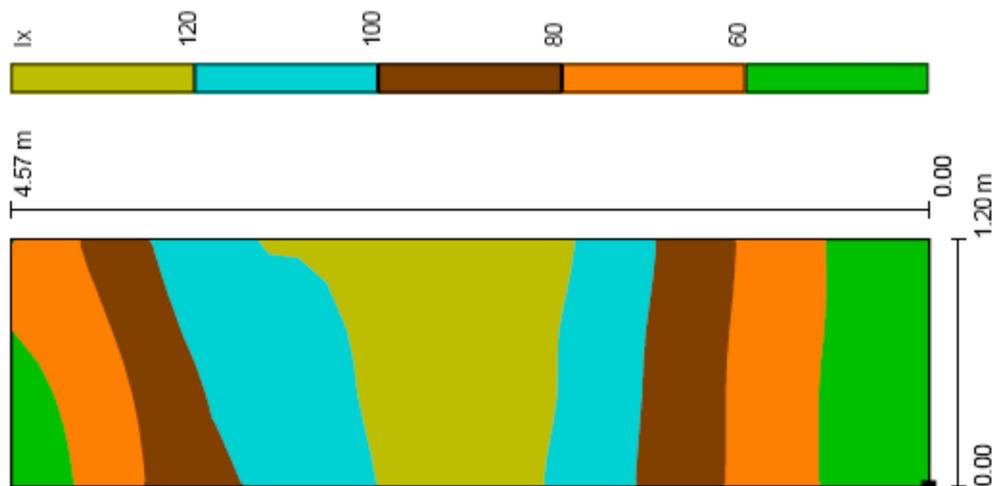


Figura 5.13 Plano de trabajo sobre el acceso a las escaleras.

Sobre el primer conjunto de escalones de la figura 5.12 se muestra un plano marcado con el número 2. Este plano se localiza paralelo a los escalones y separado de estos a 75 cm. en este plano se obtuvo una iluminancia promedio de 108 lx. La gráfica correspondiente a la distribución luminosa encontrada en este plano se muestra en la figura 5.14

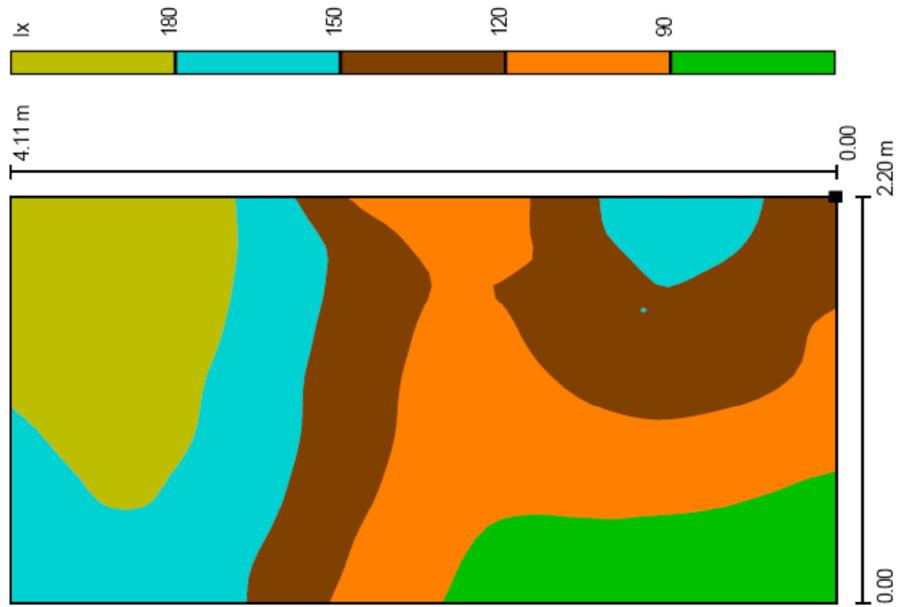


Figura 5.14 Plano de trabajo sobre el primer conjunto de escalones de la escalera mostrada en la figura 5.12.

La superficie de cálculo correspondiente al descanso de la escalera, está marcado en la figura 5.12 con el número 3. En esta superficie se obtuvo una iluminancia media de 117 lx. La gráfica de isoluxes correspondiente a este plano se muestra en la figura 5.15

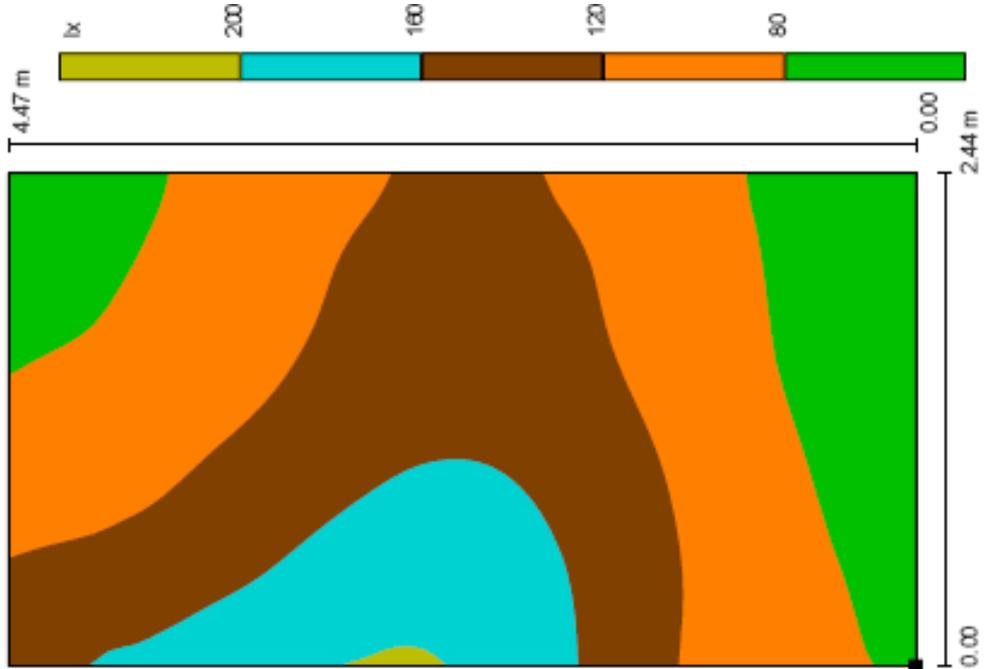


Figura 5.15 Superficie de cálculo sobre el descanso de la escalera

La superficie de cálculo marcada con el número 4 en la figura 5.12 corresponde al segundo conjunto de escalones de la escalera en estudio. En este plano se obtuvo una iluminancia promedio de 110 lx. En la figura 5.16 se muestra la distribución luminosa obtenida para este plano.

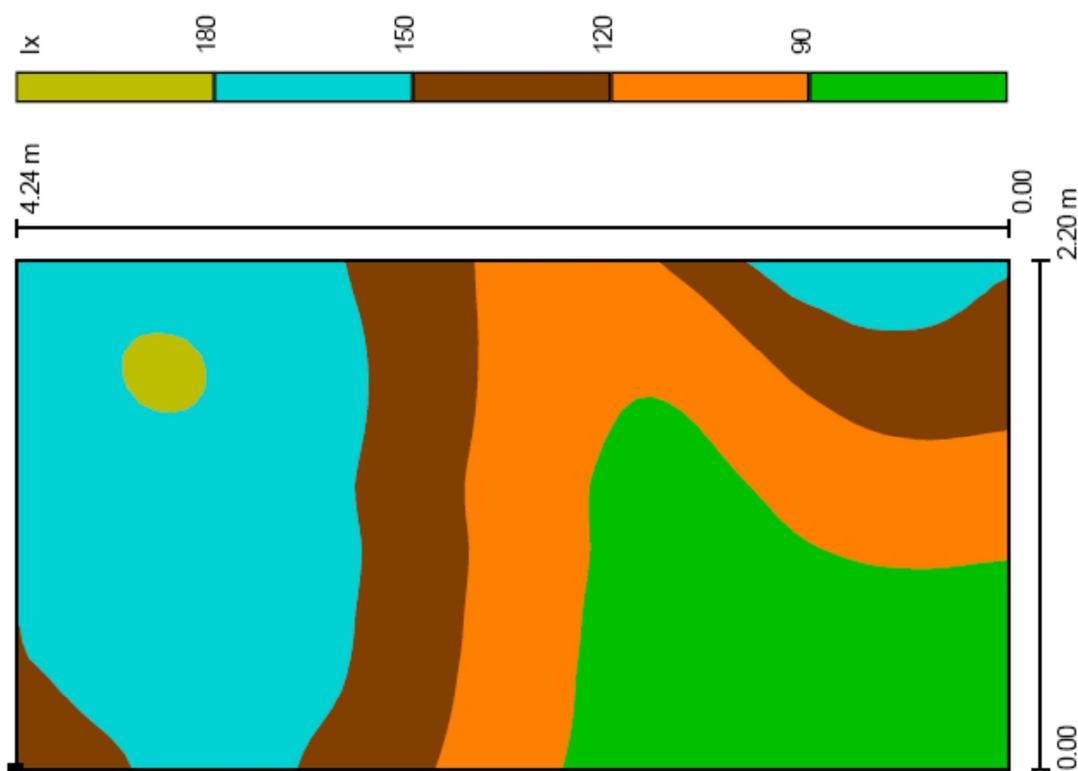


Figura 5.16 Superficie de cálculo sobre el segundo conjunto de escalones de la escalera mostrada en la figura 5.12.

Al realizar el promedio general de los niveles de iluminación encontrados en los distintos planos de trabajo de la escalera se obtuvo una iluminancia general de 108 lx. El promedio general se encuentra por encima de los 100 lx establecidos en la NOU para este tipo de áreas, sin embargo todavía se encuentra dentro del rango de tolerancia de  $\pm 10\%$  establecido por la misma norma.

En la gráfica de la figura 5.17 se muestran los resultados obtenidos de la simulación del sistema de iluminación propuesto para los baños. La NOU establece un nivel de iluminación promedio de 150 lx para estas áreas. El nivel de iluminación obtenido a partir de la simulación fue de 163 lx, considerando la tolerancia establecida por la Norma Oficial Universitaria de  $\pm 10\%$ , podemos observar que el promedio del nivel de iluminación encontrado satisface el parámetro establecido en la norma.

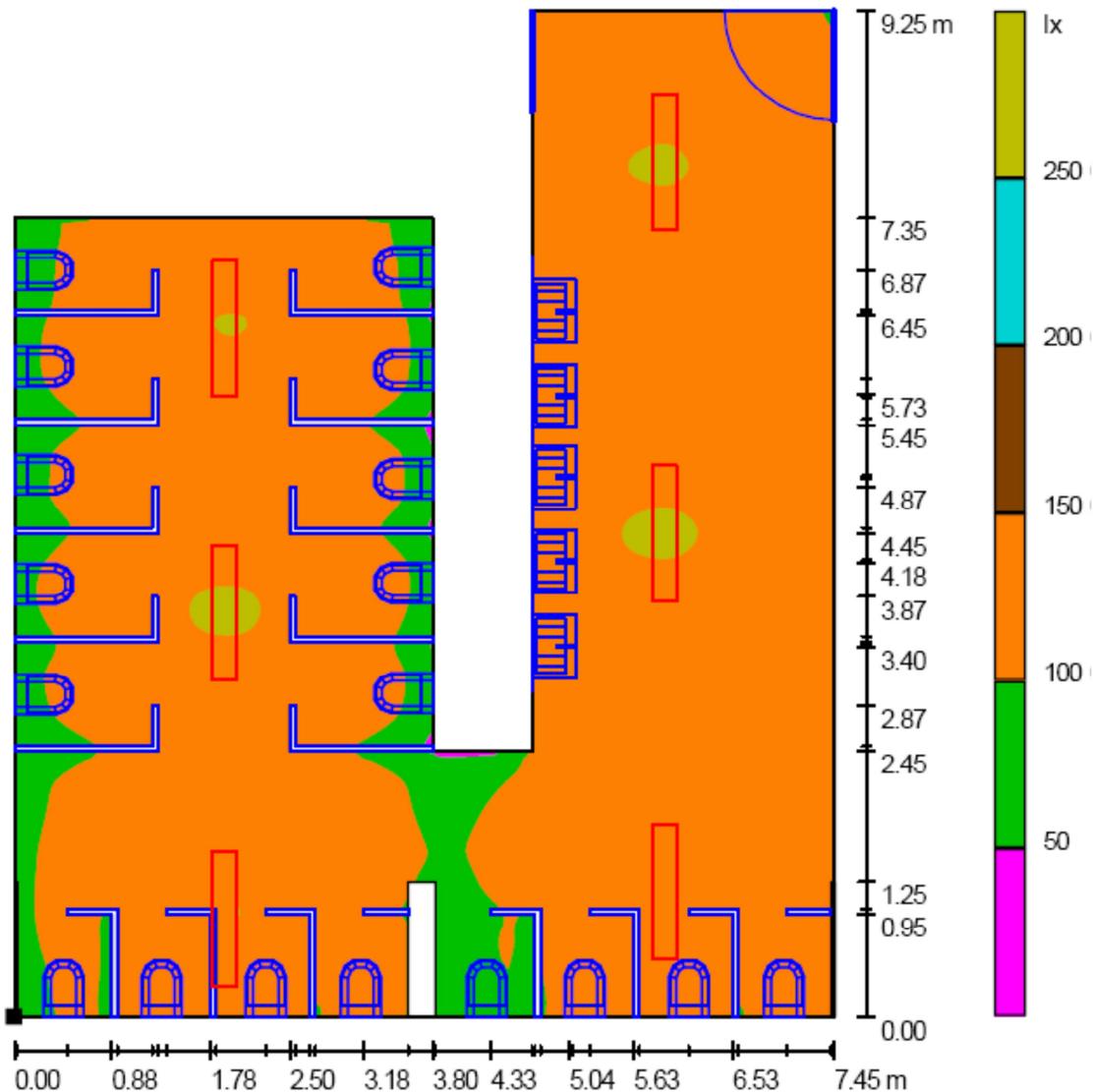


Figura 5.17 Gráfica de isoluxes obtenida para los baños.

La última simulación, que se presenta a continuación, corresponde al almacén de papelería localizado en el primer nivel del edificio administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración. Los almacenes, como en el caso de los locales de cafetería no se encuentran considerados dentro de la Norma Oficial Universitaria, por lo que del mismo modo que se hizo para la cafetería se procedió a consultar la NOM-025-STPS encontrándose que para los locales de almacén son necesarios al menos 100 lx de iluminancia promedio en el local. La NOM-025-STPS no establece niveles de tolerancia para los valores de iluminación como lo hace la NOU, por lo que basta con que el local supere el nivel de iluminación mencionado para que se cumpla con los requerimientos de la norma.

El nivel de iluminancia promedio encontrado para el almacén fue de 125 lx. La gráfica de la distribución luminosa encontrada para este local se muestra en la figura 5.18.

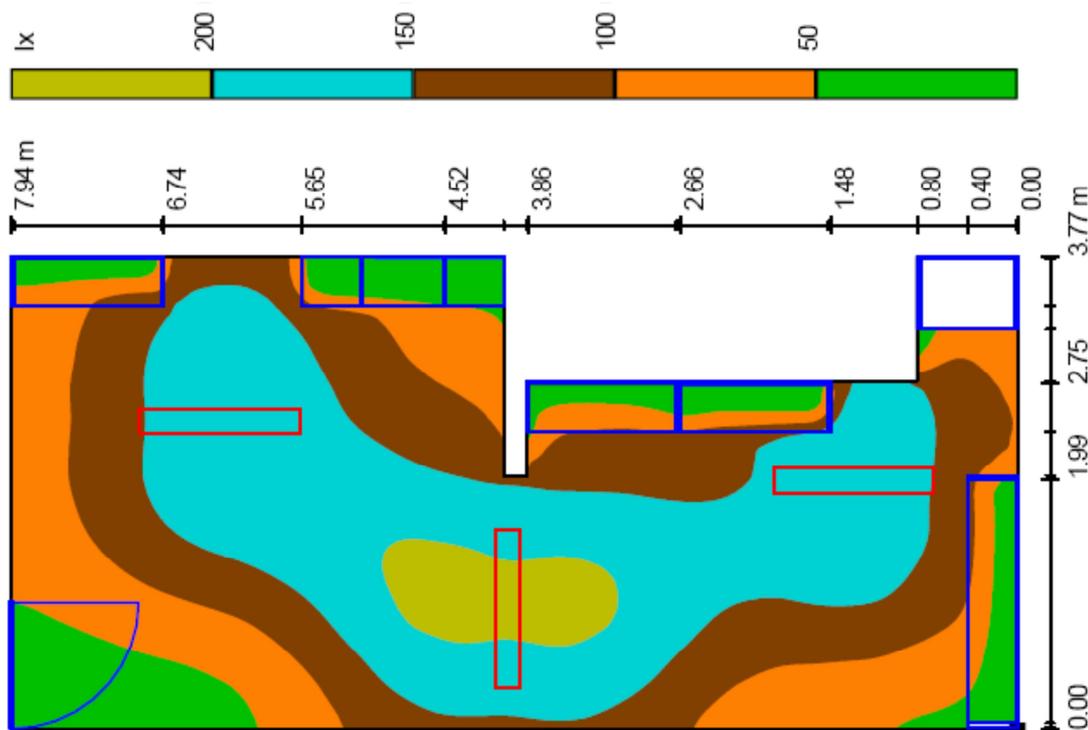


Figura 5.18 Distribución luminosa obtenida para el almacén.

### 5.3 Planos del sistema eléctrico

En este subtema, además de presentar los planos del sistema eléctrico, se describen con detalle algunos aspectos de la instalación eléctrica que resulta conveniente mencionar. Comenzaremos describiendo el sistema eléctrico propuesto para las aulas de la Facultad de Contaduría y Administración.

En un aula típica, como la mostrada en la figura 5.19, se propone una distribución del control de las luminarias de tal manera que las luminarias más cercanas a las ventanas puedan controlarse con un apagador exclusivo para ellas, con la finalidad de reducir la utilización de la luz artificial, aprovechando la luz natural. Así mismo se procura que las luminarias más próximas al muro del pizarrón se controlen con un solo circuito y de forma independiente al resto de las luminarias del salón, con el objetivo de ofrecer las mejores condiciones de iluminación posibles al momento de realizar proyecciones, sin la necesidad de que tengan que apagarse todas las luminarias del salón.

En la figura 5.19 se muestran líneas en color violeta las cuales representan la distribución que se propone para la canalización de los circuitos eléctricos para las luminarias en un salón de clase. Junto a cada sección de línea violeta se puede observar un número inscrito en una circunferencia, estos números representan las cédulas del cableado que debe

contener la tubería. Los detalles de las diferentes cédulas pueden ser consultadas en cada uno de los planos que se presentan más adelante.

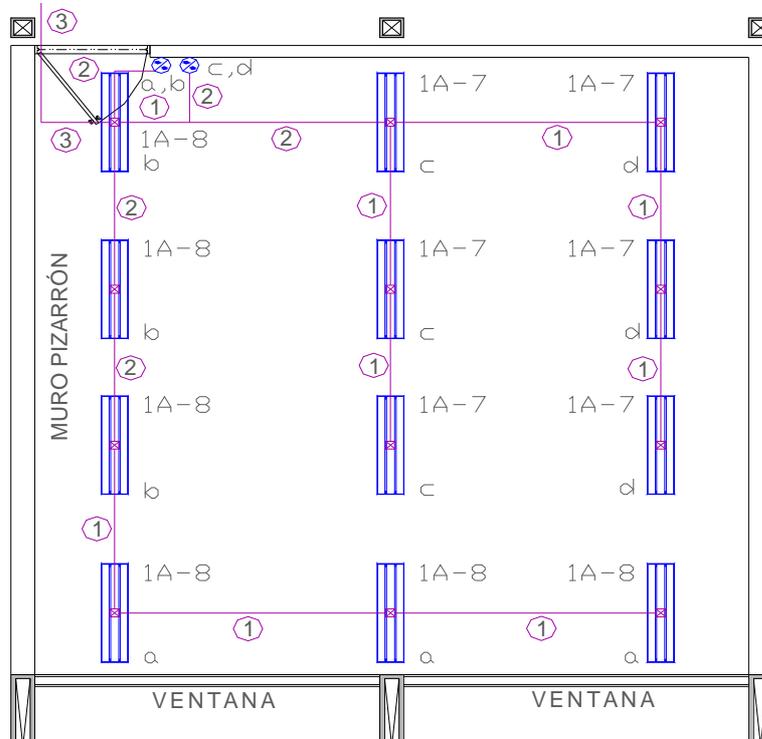


Figura 5.19 Detalle del sistema eléctrico para iluminación propuesto en un salón de clase.

En los salones se ha propuesto que cada apagador controle 3 luminarias, aun cuando el apagador puede controlar un número mayor de ellas, esto se debe a que atendiendo a la Norma Oficial Universitaria, cada apagador instalado en un salón de clase debe controlar máximo 3 luminarias.

En la figura 5.19 cada una de las figuras rectangulares de color azul, representa una luminaria de 2X28 W. Las luminarias vienen acompañadas de dos etiquetas. La superior compuesta de dos partes separadas por un guión identifica al tablero y al interruptor del que se encuentra alimentada dicha luminaria. En la figura mostrada se emplean 1A-7 y 1A-8, lo que significa que son luminarias alimentadas de los interruptores 7 y 8 del tablero de distribución 1A. La etiqueta inferior compuesta por una letra identifica al dispositivo que la controla. En la figura 5.19, se emplean las letras a, b, c y d que identifican a los apagadores que se encuentran dentro del mismo salón.

En los pasillos de los edificios analizados se propone la automatización de las luminarias mediante 2 tipos de dispositivos, fotoceldas de uso exterior y sensores de presencia de tecnología PIR. En la figura 5.20 se muestra una pequeña sección de un pasillo en donde se

muestra la forma en que se propone el control de las luminarias mediante los elementos ya mencionados.

En la figura 5.20 se pueden observar rectángulos azules más angostos que los mostrados en la figura 5.19, estos rectángulos representan luminarias con sistema 1X28 W. Se propone que las luminarias se controlen de forma alternada, es decir una luminaria controlada por fotocelda exterior (en la figura 5.20 luminarias con la etiqueta d'), seguida de una luminaria controlada por sensor de movimiento (en la figura 5.20 luminarias con la etiqueta e'). La fotocelda es capaz de controlar una carga de hasta 1500 W, por lo que para cada pasillo será suficiente el uso de una sola fotocelda. Los sensores de presencia solo pueden controlar una carga de 200 W, además tienen un rango de detección dentro de un radio de 6 metros de distancia. Por lo cual, se propone que el uso de un sensor de presencia por cada 2 luminarias en los pasillos.

Con este arreglo de controles para iluminación se espera que durante los periodos de oscuridad y de tránsito nulo la iluminación de los pasillos consuma solo la mitad de la energía que se usa en los periodos de tránsito a través de los pasillos. Desde luego, al proponer un sistema de control automático en los pasillos se busca que la iluminación en estas zonas permanezca apagada por completo ante la presencia de luz natural, con lo que se eliminan los consumos de energía debidos al olvido del personal encargado de encender y apagar el sistema de iluminación.

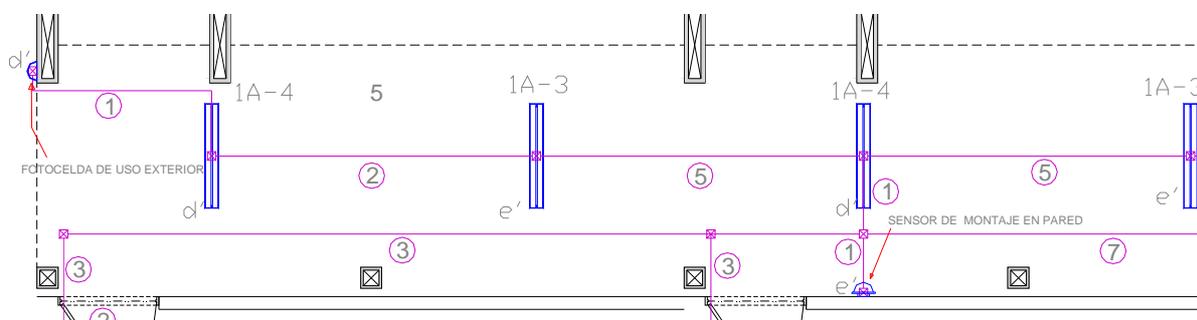


Figura 5.20 Sistema eléctrico de iluminación para un pasillo.

En la figura 5.21 se puede observar la propuesta del circuito eléctrico y la disposición de las luminarias en los baños de los edificios de aulas de la Facultad de Contaduría y Administración. En los baños se propone el uso de fotoceldas de uso interior. Tal como se aprecia en la figura 5.21 se propone el uso de una fotocelda por luminaria, ello debido a que este tipo de dispositivos no son capaces de manejar cargas muy grandes, además el uso de una fotocelda por luminaria permite que las luminarias se enciendan de manera independiente, en la medida en que los niveles de iluminación en las distintas áreas del baño lo van requiriendo.

Al automatizar el control de las luminarias en este tipo de áreas de uso común se elimina la responsabilidad del usuario de hacer un uso responsable de la energía. Por otro lado con la automatización se garantiza que cada una de las luminarias se enciendan solo en los periodos en que son realmente necesarios, basados en criterios totalmente objetivos.

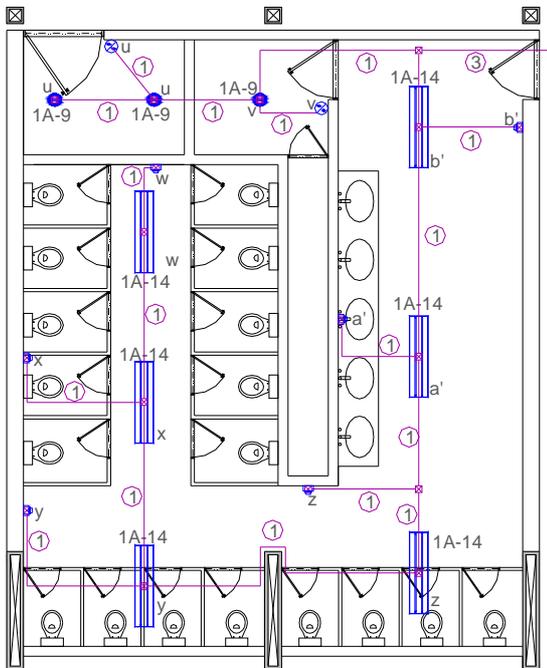


Figura 5.21 Sistema eléctrico de iluminación propuesto para los baños en los edificios de aulas.

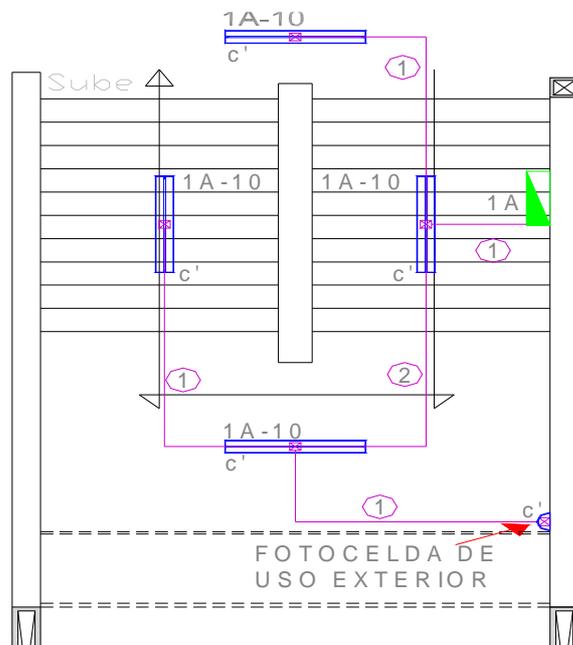
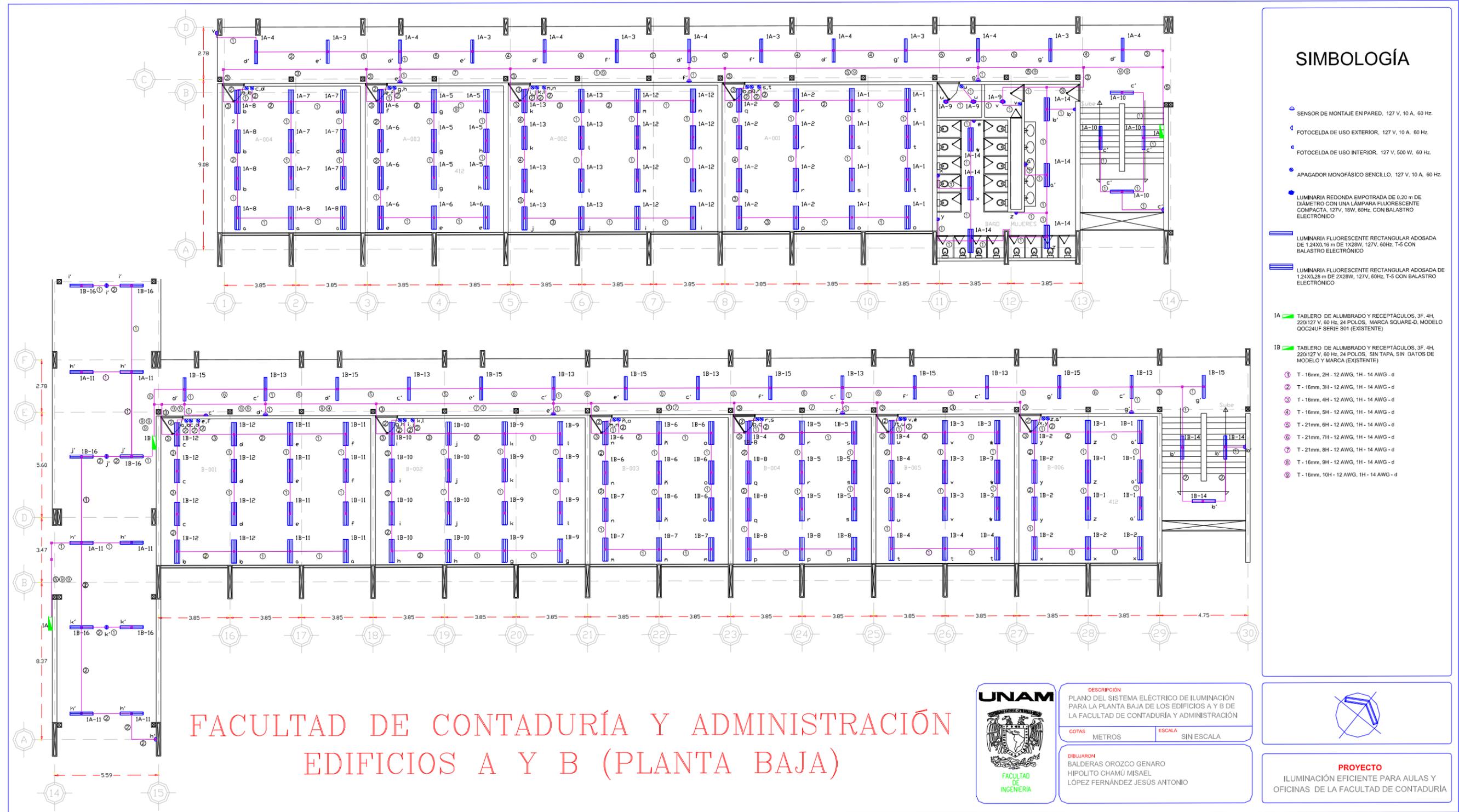


Figura 5.22 Sistema eléctrico propuesto para las luminarias en las escaleras de los edificios de aulas.

En la figura 5.22 se presenta la configuración propuesta para el circuito eléctrico de las luminarias en las escaleras de los edificios de aulas de la Facultad de Contaduría y Administración. En las escaleras de estos edificios la luz natural ilumina satisfactoriamente durante todo el día, por lo que para su control se propone una fotocelda de uso exterior. Con ello se garantiza que las luminarias se enciendan solo cuando realmente se requiera iluminación artificial en dichas zonas.

En las laminas de las figuras 5.23 a 5.29 se presentan los planos del sistema de iluminación propuesto para los edificios A, B, C, D y F, de la Facultad de Contaduría y Administración; así mismo en las laminas de las figuras 5.30 a 5.32 se presentan los planos del sistema de iluminación propuesto para el Edificio de Oficinas Administrativas de la Facultad de Contaduría y Administración.



### SIMBOLOGÍA

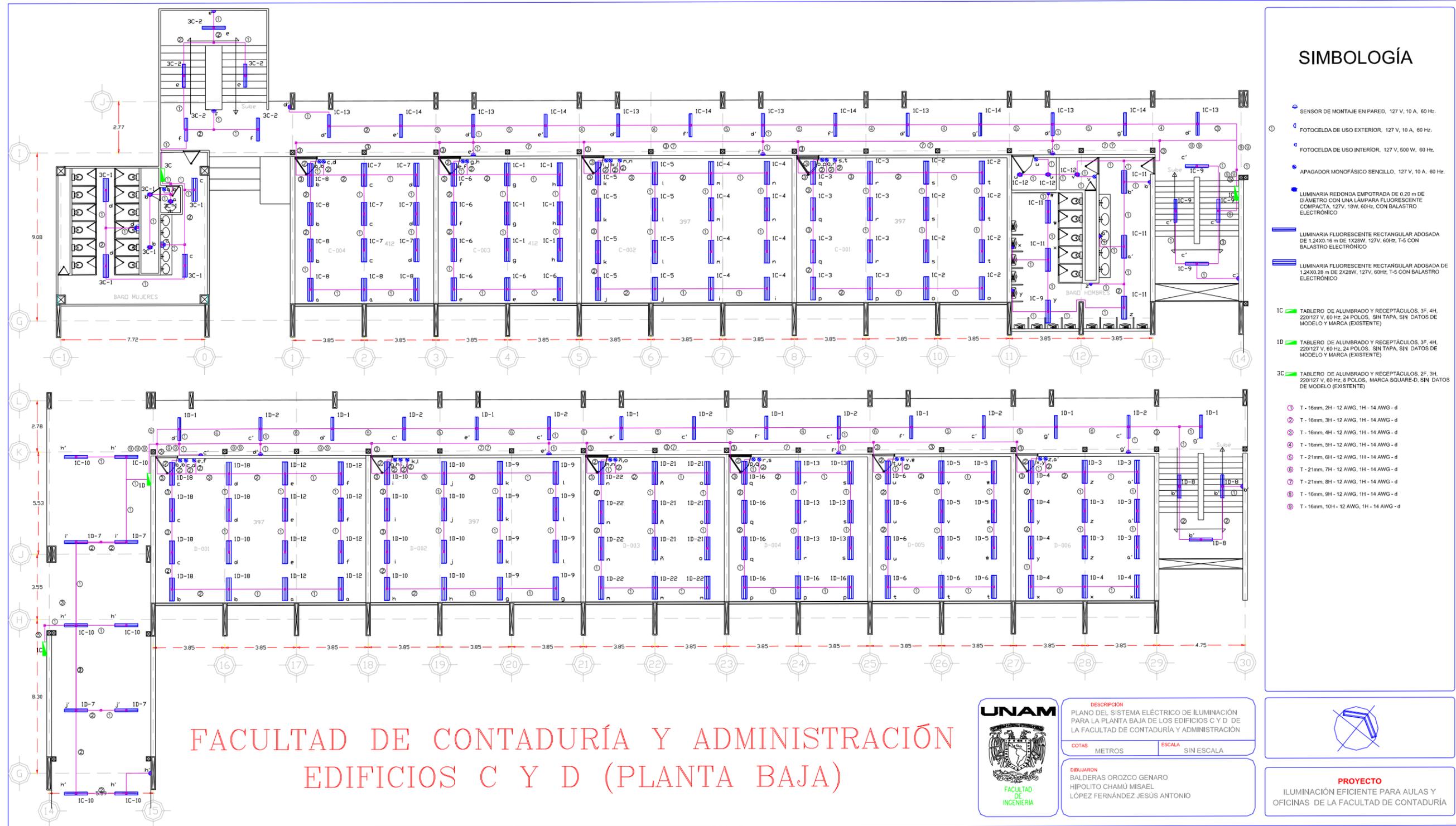
- SENSOR DE MONTAJE EN PARED, 127 V, 10 A, 60 Hz.
- FOTOCELDA DE USO EXTERIOR, 127 V, 10 A, 60 Hz.
- FOTOCELDA DE USO INTERIOR, 127 V, 500 W, 60 Hz.
- APAGADOR MONOFÁSICO SENCILLO, 127 V, 10 A, 60 Hz.
- LUMINARIA REDONDA EMPOTRADA DE 0.20 m DE DIÁMETRO CON UNA LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA, 127V, 18W, 60Hz, CON BALASTRO ELECTRÓNICO
- LUMINARIA FLUORESCENTE RECTANGULAR ADOSADA DE 1.24X0.16 m DE 1X28W, 127V, 60Hz, T-5 CON BALASTRO ELECTRÓNICO
- LUMINARIA FLUORESCENTE RECTANGULAR ADOSADA DE 1.24X0.26 m DE 2X28W, 127V, 60Hz, T-5 CON BALASTRO ELECTRÓNICO

**1A** TABLERO DE ALUMBRADO Y RECEPTÁCULOS, 3F, 4H, 220/127 V, 60 Hz, 24 POLOS, MARCA SQUARE-D, MODELO 00024UF SERIE S01 (EXISTENTE)

**1B** TABLERO DE ALUMBRADO Y RECEPTÁCULOS, 3F, 4H, 220/127 V, 60 Hz, SIN TAPA, SIN DATOS DE MODELO Y MARCA (EXISTENTE)

- ① T - 16mm, 2H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ② T - 16mm, 3H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ③ T - 16mm, 4H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ④ T - 16mm, 5H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑤ T - 21mm, 6H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑥ T - 21mm, 7H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑦ T - 21mm, 8H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑧ T - 16mm, 9H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑨ T - 16mm, 10H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d

Figura 5.23 Plano de la instalación eléctrica de iluminación para la planta baja de los Edificios de Aulas A y B.



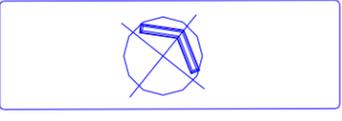
FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN  
EDIFICIOS C Y D (PLANTA BAJA)



**DESCRIPCIÓN**  
PLANO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE ILUMINACIÓN PARA LA PLANTA BAJA DE LOS EDIFICIOS C Y D DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN

**COTAS** METROS **ESCALA** SIN ESCALA

**DIBUJADOR**  
BALDERAS OROZCO GENARO  
**REVISOR**  
HIPOLYTO CHAMÚ MISIAEL LÓPEZ FERNÁNDEZ JESÚS ANTONIO



**PROYECTO**  
ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA AULAS Y OFICINAS DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA

Figura 5.24 Plano de la instalación eléctrica de iluminación para la planta baja de los Edificios de Aulas C y D.

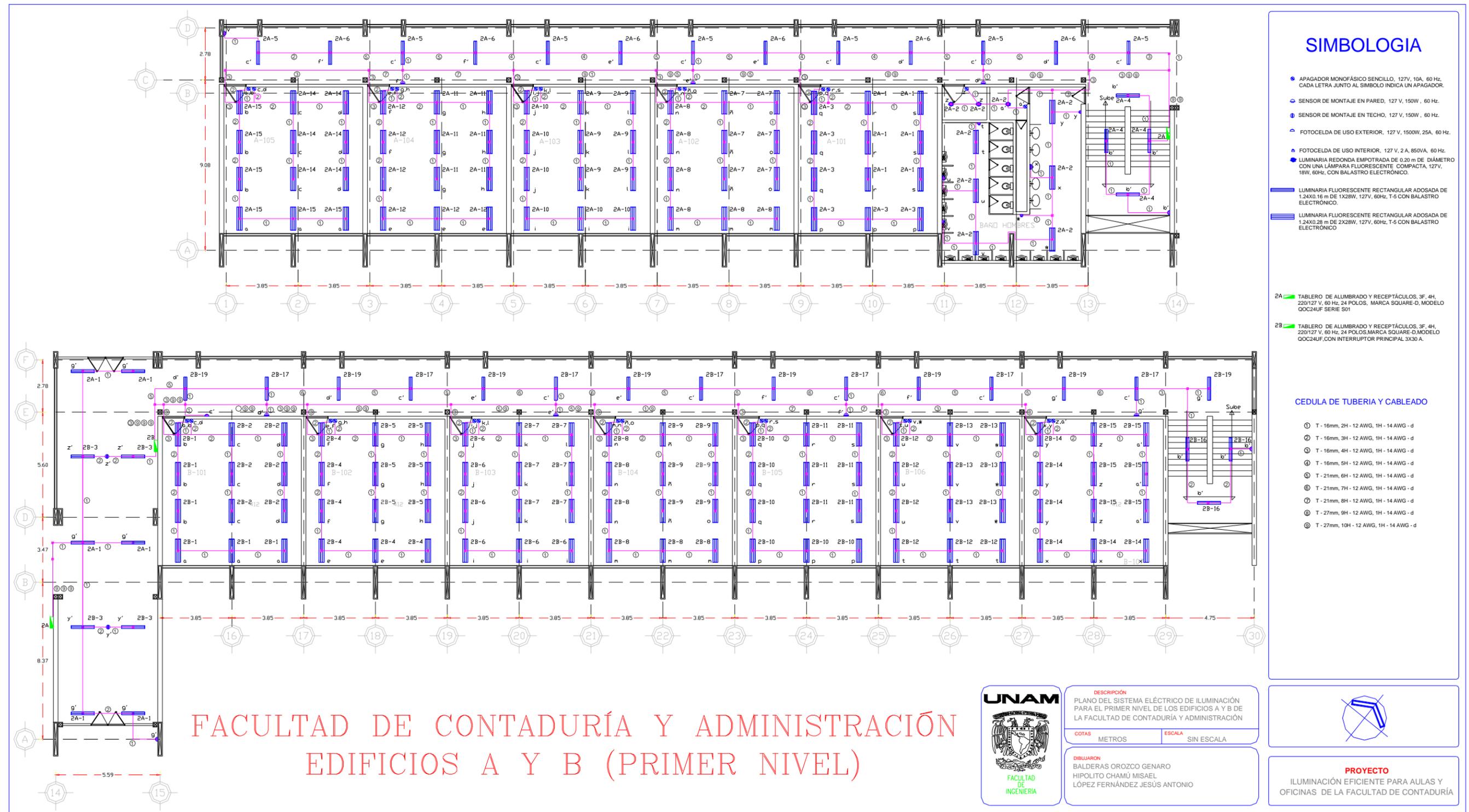


Figura 5.25 Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el primer nivel de los Edificios de Aulas A y B.

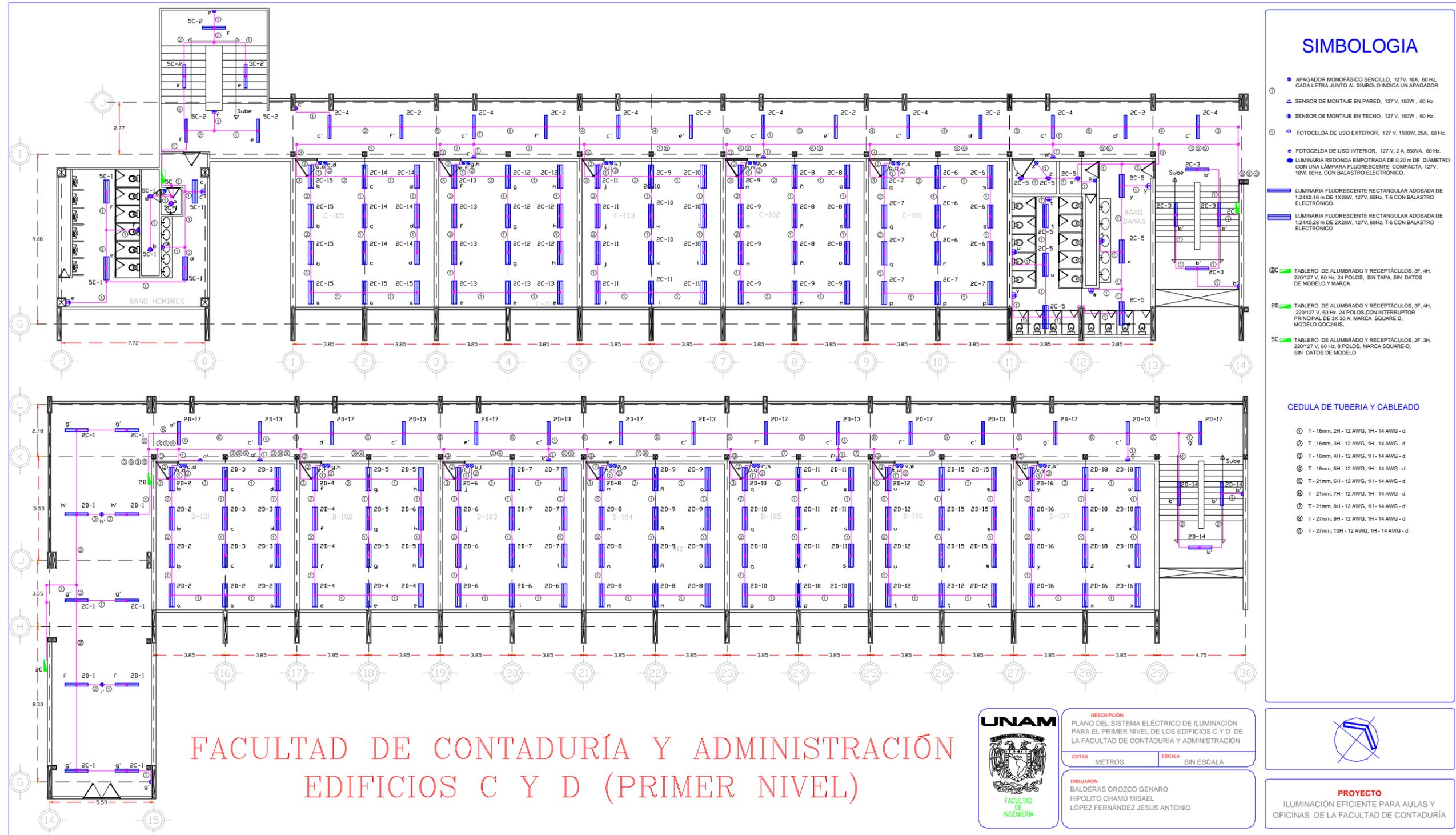


Figura 5.26 Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el primer nivel de los Edificios de Aulas C y D.

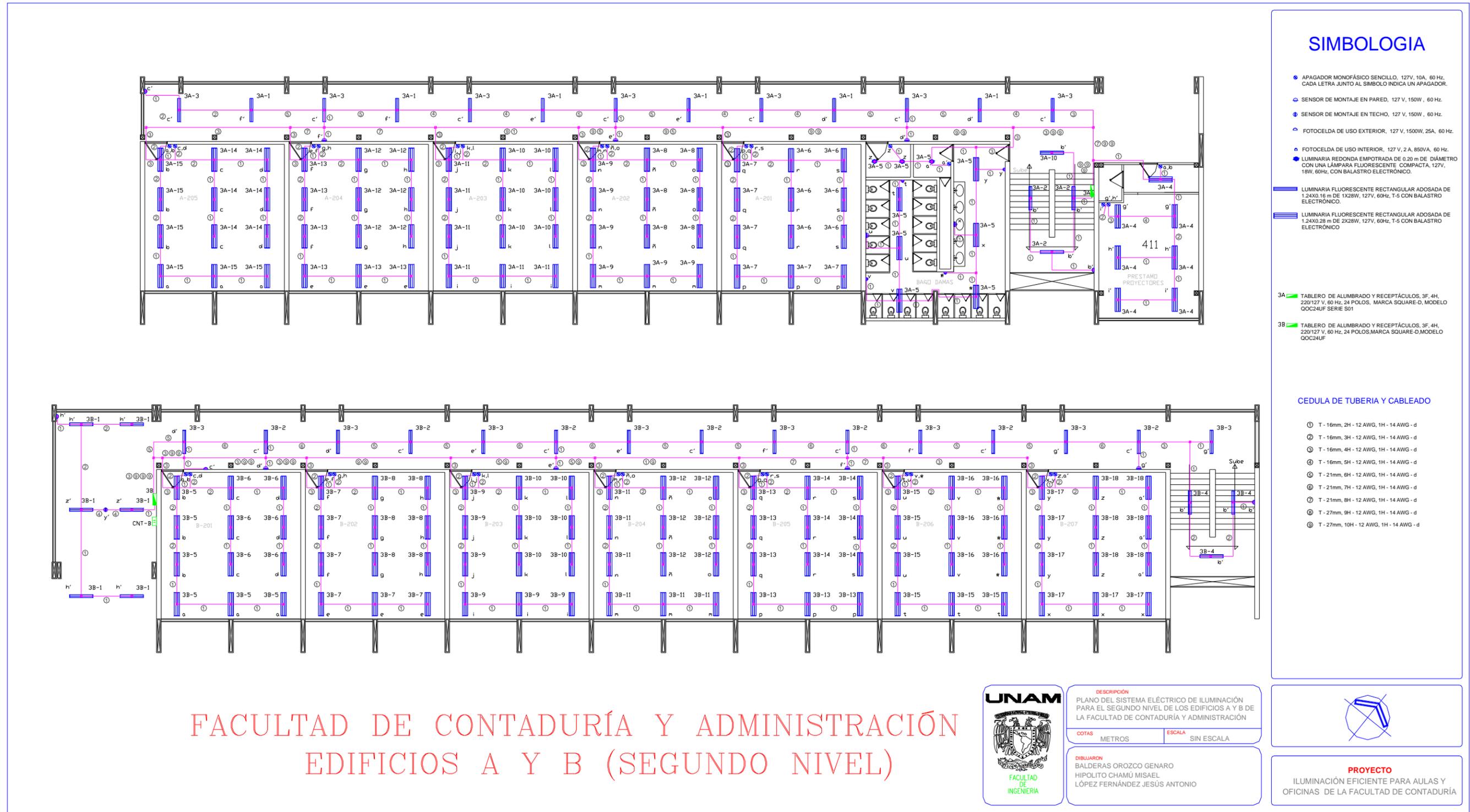


Figura 5.27 Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el segundo nivel de los Edificios de Aulas A y B.

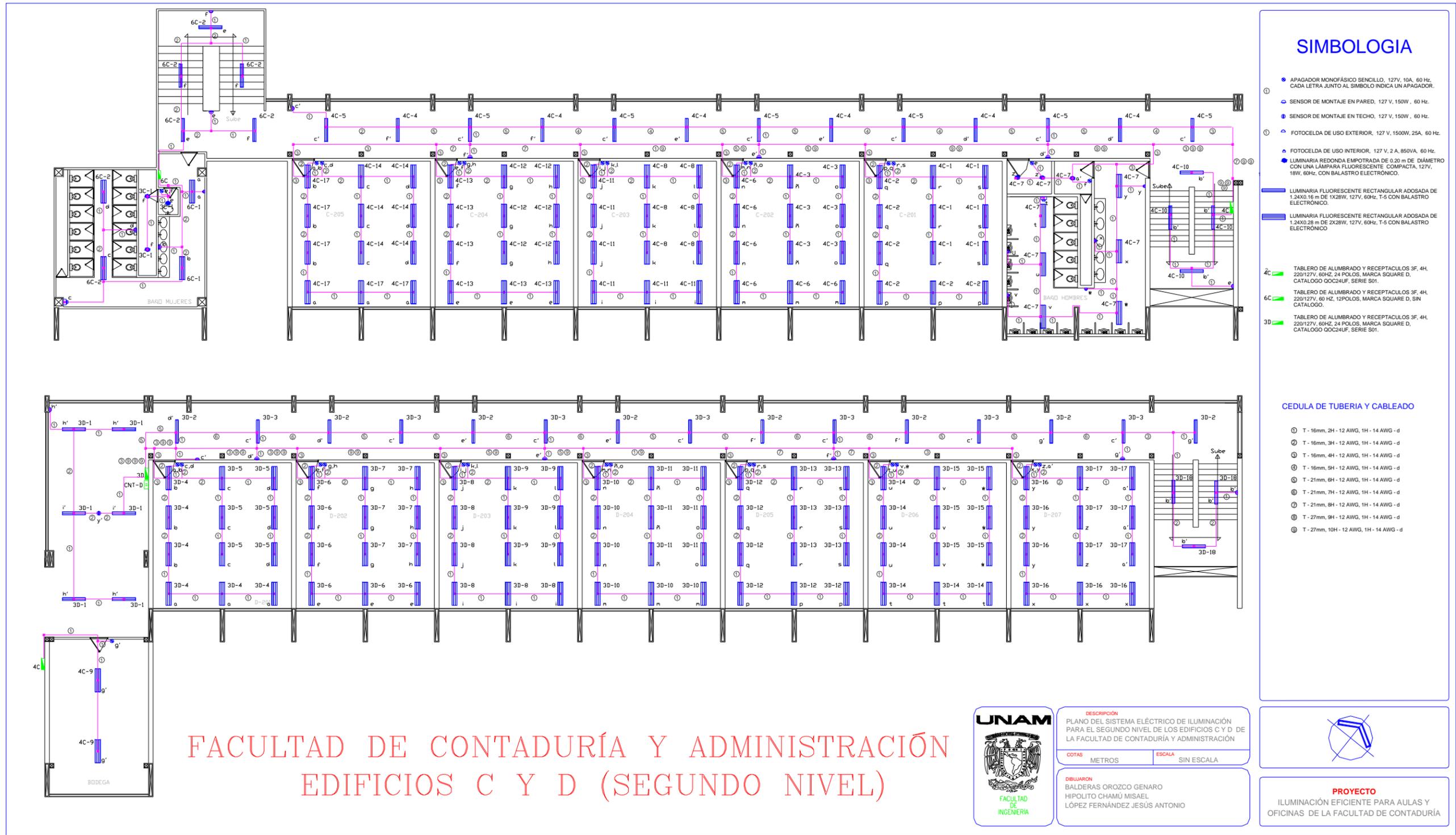


Figura 5.28 Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el segundo nivel de los Edificios de Aulas C y D.

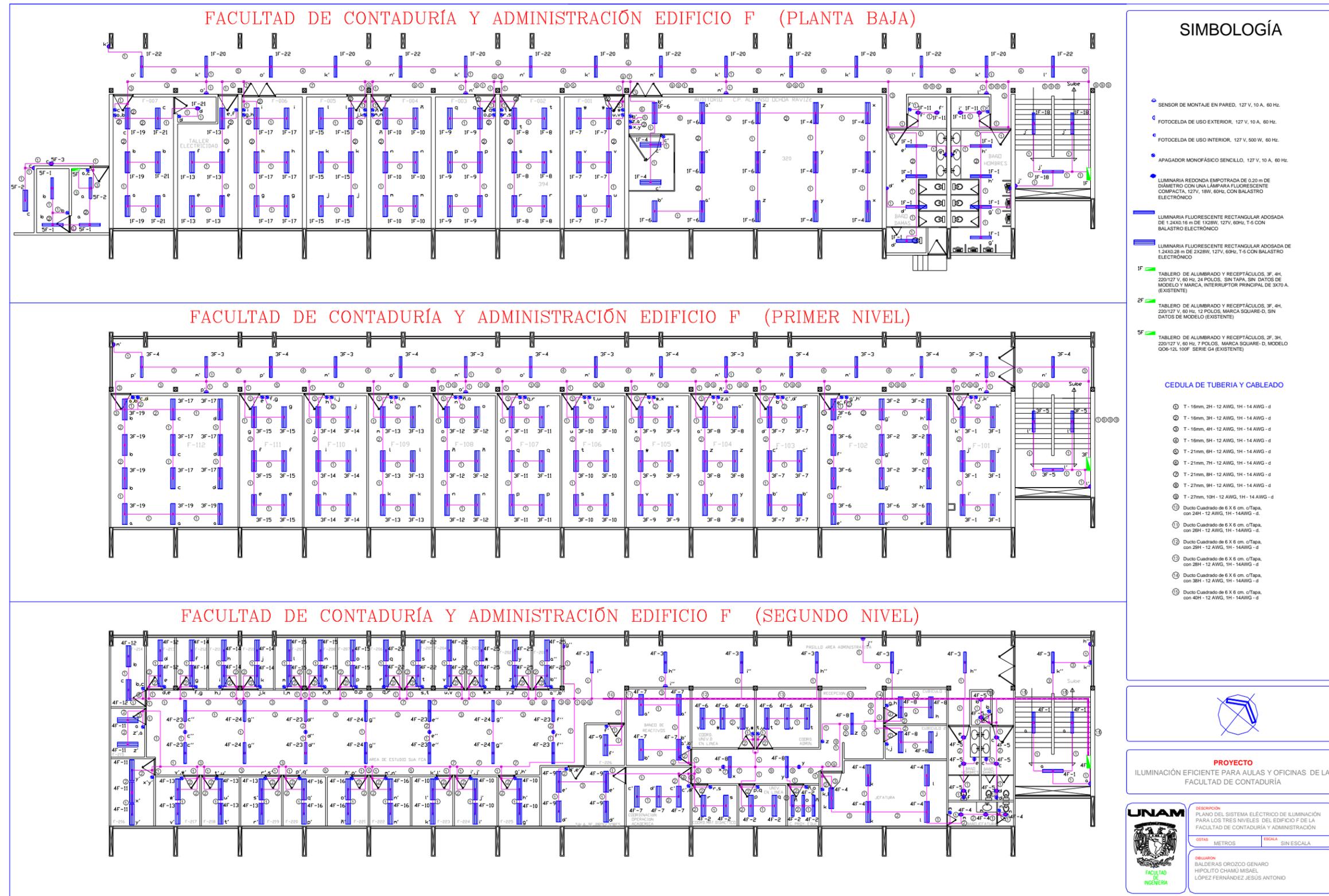
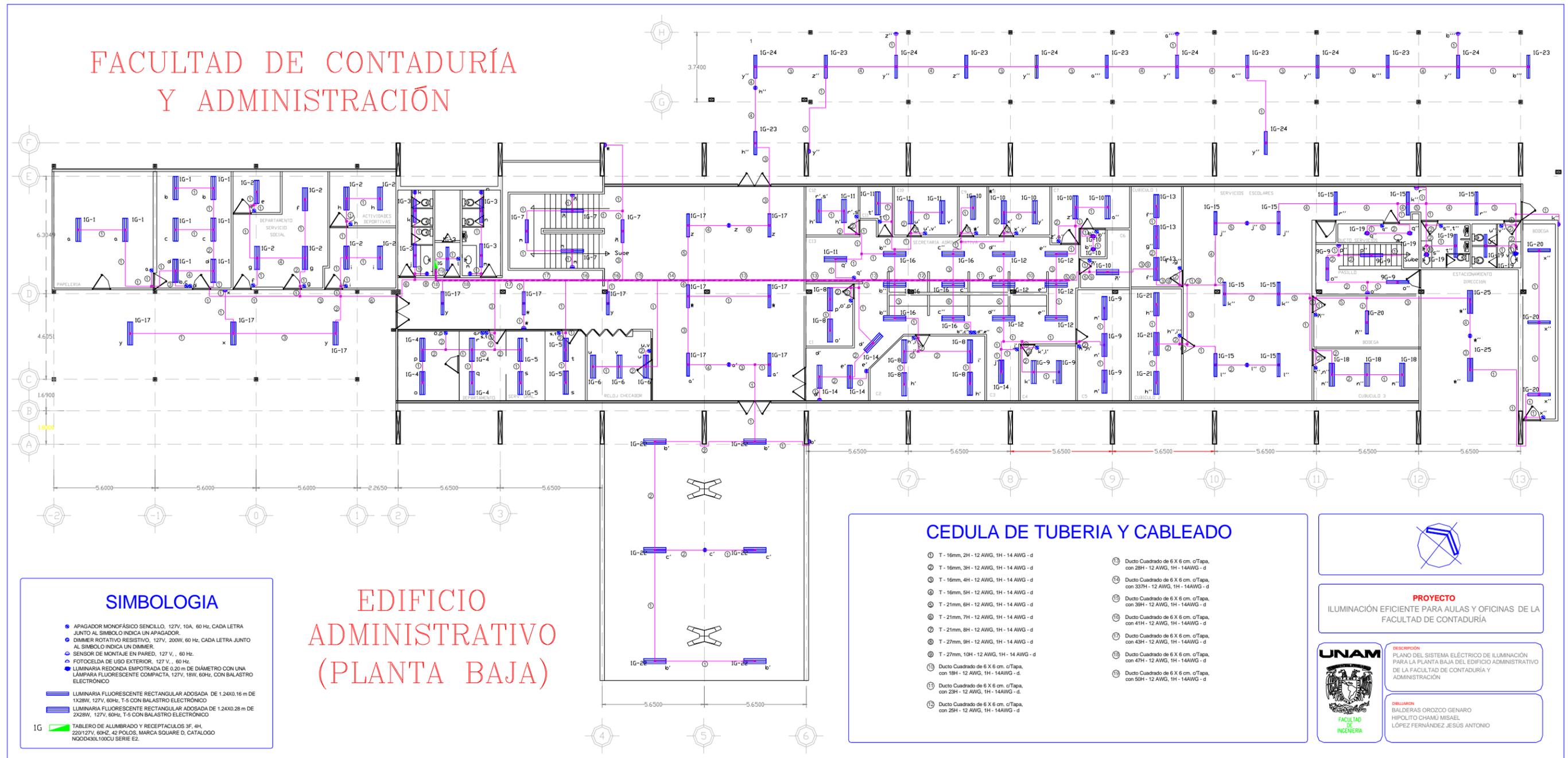


Figura 5.29 Planos de la instalación eléctrica de iluminación para los tres niveles del Edificio F.



**UNAM**  
FACULTAD DE INGENIERIA

**PROYECTO**  
ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA AULAS Y OFICINAS DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN

**DESCRIPCIÓN**  
PLANO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE ILUMINACIÓN PARA LA PLANTA BAJA DEL EDIFICIO ADMINISTRATIVO DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN

**DISEÑADOR**  
BALDERAS OROZCO GENARO  
HIPOLITO CHAMU MISAEI  
LÓPEZ FERNÁNDEZ JESÚS ANTONIO

Figura 5.30 Plano de la instalación eléctrica de iluminación para la planta baja del edificio de oficinas Administrativas.

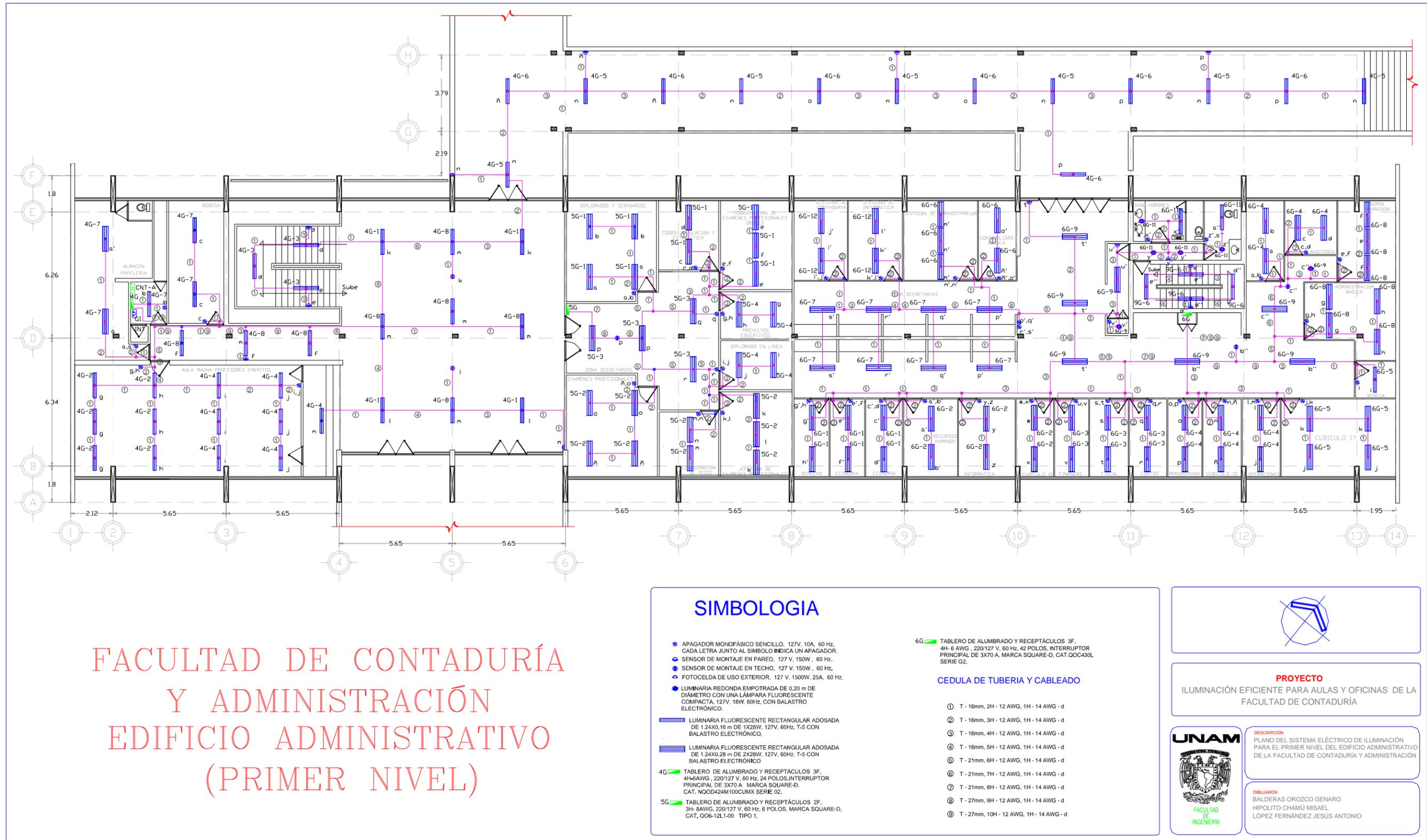
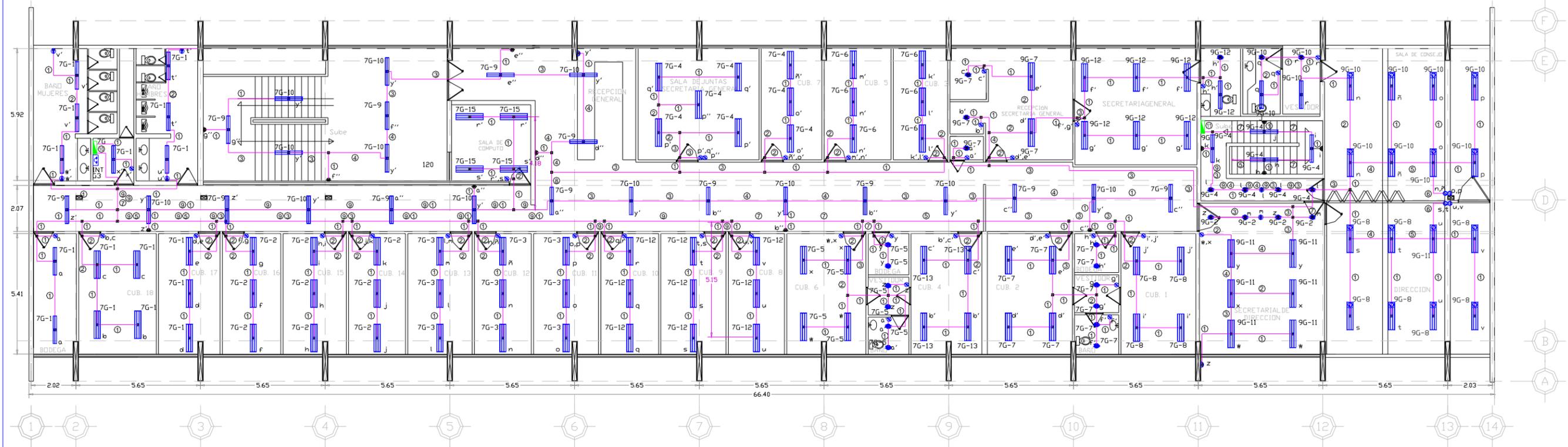


Figura 5.31 Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el primer nivel del edificio de oficinas Administrativas.

# FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN



## EDIFICIO ADMINISTRATIVO (SEGUNDO PISO)

### SIMBOLOGIA

- APAGADOR MONOFÁSICO SENCILLO, 127V, 10A, 60 Hz, CADA LETRA JUNTO AL SIMBOLO INDICA UN APAGADOR.
- DIMMER ROTATIVO RESISTIVO, 127V, 200W, 60 Hz, CADA LETRA JUNTO AL SIMBOLO INDICA UN DIMMER.
- ⊕ SENSOR DE MONTAJE EN PARED, 127 V., 60 Hz.
- ⊖ SENSOR DE MONTAJE EN TECHO, 127 V., 150W., 60 Hz.
- ⊙ FOTOCELDA DE USO EXTERIOR, 127 V., 60 Hz.
- LUMINARIA REDONDA EMPOTRADA DE 0.20 m DE DIÁMETRO CON UNA LÁMPARA FLUORESCENTE COMPACTA, 127V, 18W, 60Hz, CON BALASTRO ELECTRÓNICO
- ▬ LUMINARIA FLUORESCENTE RECTANGULAR ADOSADA DE 1.24X0.16 m DE 1X28W, 127V, 60Hz, T-5 CON BALASTRO ELECTRÓNICO
- ▬ LUMINARIA FLUORESCENTE RECTANGULAR ADOSADA DE 1.24X0.28 m DE 2X28W, 127V, 60Hz, T-5 CON BALASTRO ELECTRÓNICO
- ▬ LUMINARIA FLUORESCENTE RECTANGULAR ADOSADA DE 1.24X0.28 m DE 2X28W, 127V, 60Hz, T-5 CON BALASTRO ELECTRÓNICO DIMEABLE
- 7G TABLERO DE ALUMBRADO Y RECEPTÁCULOS, 3F, 4H, 220/127 V, 60 Hz, 16 POLOS, MARCA SQUARE-D, CAT. QOC16US SERIE 01
- 9G TABLERO DE ALUMBRADO Y RECEPTÁCULOS, 3F, 4H, 220/127 V, 60 Hz, 16 POLOS, CON INTERRUPTOR PRINCIPAL 3X50 A, MARCA SQUARE-D, CAT. QOC16U SERIE G1
- INT G3 INTERRUPTOR EN CAJA MODELADA, 3X50 A, MARCA SQUARE-D, CAT. FAL36050, ALIMENTA A TABLERO DE ALUMBRADO 9G

### CEDULA DE TUBERIA Y CABLEADO

- ① T - 16mm, 2H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ② T - 16mm, 3H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ③ T - 16mm, 4H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ④ T - 16mm, 5H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑤ T - 21mm, 6H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑥ T - 21mm, 7H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑦ T - 21mm, 8H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑧ T - 27mm, 9H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑨ T - 27mm, 10H - 12 AWG, 1H - 14 AWG - d
- ⑩ 2 TUBERIAS DE 27 mm, CON 10 H-12 AWG, 1H-14 AWG-d, CADA UNA Y UNA TUBERIA DE 21 mm, CON 8 H-12 AWG, 1H-14 AWG-d.
- ⑪ 1 TUBERIA DE 16 mm CON 4H-12 AWG, 1H-14 AWG-d, 1 TUBERIA DE 21 mm CON 8H-12 AWG, 1H-12 AWG-d, 1 TUBERIA DE 27 mm CON 10H-12 AWG, 1H-14 AWG-d.



**PROYECTO**  
ILUMINACIÓN EFICIENTE PARA AULAS Y OFICINAS DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA



**DESCRIPCIÓN**  
PLANO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE ILUMINACIÓN PARA EL SEGUNDO NIVEL DEL EDIFICIO ADMINISTRATIVO DE LA FACULTAD DE CONTADURÍA Y ADMINISTRACIÓN

**DEBJERON**  
BALDERAS OROZCO GENARO  
HIPOLITO CHAMU MISAE  
LÓPEZ FERNÁNDEZ JESÚS ANTONIO

Figura 5.32 Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el segundo nivel del edificio de oficinas Administrativas.

En el edificio de oficinas administrativas se presenta un caso especial en el local de la dirección. En este lugar se tiene un sistema de iluminación atenuable, que actualmente consta de 56 luminarias con lámparas incandescentes halógenas de 40 W, lo que implica que actualmente se tiene instalada una carga de alumbrado de 2240 W. Con la finalidad de mantener la posibilidad de atenuar la intensidad de la iluminación en este local, se han propuesto para este sitio, luminarias con las mismas características de las usadas en las aulas, pero con accesorios que permiten la atenuación de la intensidad luminosa entregada por las lámparas.

En la figura 5.33 se muestra la disposición que se propone para las luminarias fluorescentes en el local de la dirección. Como se puede observar las 56 luminarias con lámparas incandescentes son sustituidas por 16 luminarias con sistema T-5 2X28 W, lo por lo que en el sistema propuesto se tiene una carga proyectada de 992 W.

Con el número de luminarias fluorescentes propuesto se obtiene una iluminancia mantenida de 396 lx, que se encuentra alrededor del  $\pm 10\%$  de los 400 lx pedidos para este tipo de áreas en la Norma Oficial Universitaria.

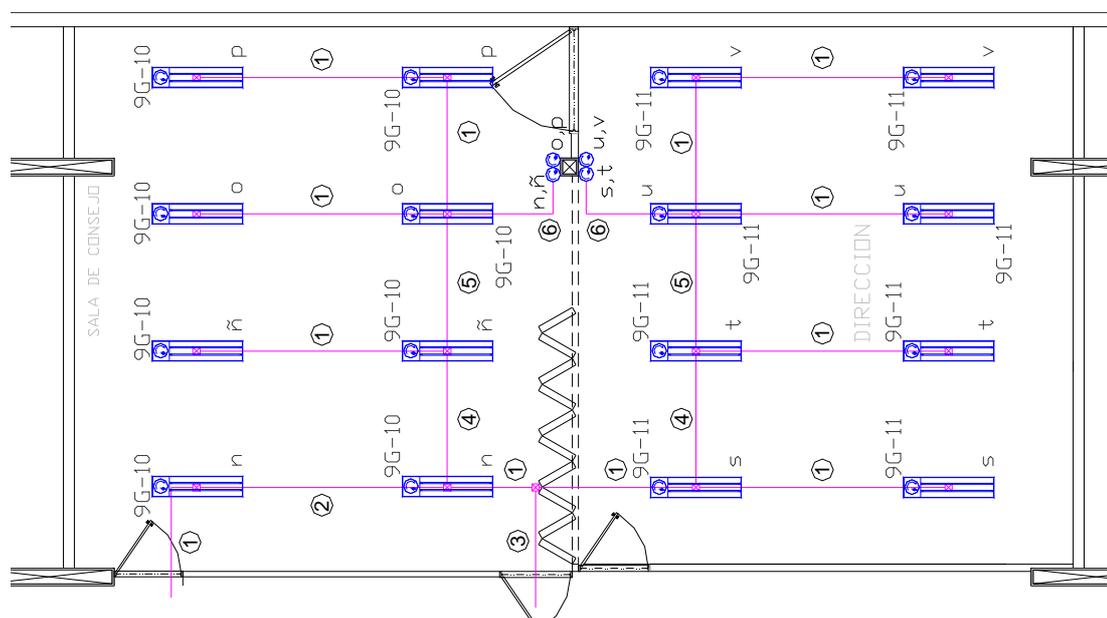


Figura 5.33 Instalación eléctrica para iluminación propuesta en el local de dirección de la Facultad de Contaduría y Administración

En las figuras 5.34 y 5.35 se muestra el detalle de la instalación eléctrica de alumbrado propuesta para las oficinas de la Facultad de Contaduría y Administración. En las oficinas al igual que en las aulas se propone un seccionamiento del control de las luminarias de manera

tal, que permitan apagar las luminarias más cercanas a las ventanas de forma independiente al resto de las luminarias dentro de una misma área. Esto con el objetivo de aprovechar al máximo la luz natural que entra por las ventanas.

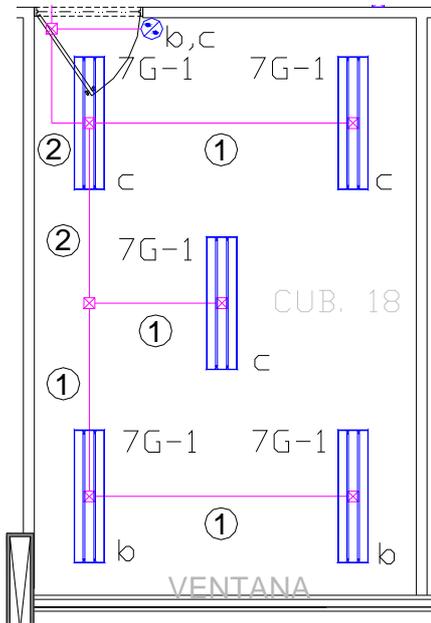


Figura 5.34 Instalación eléctrica para iluminación propuesta para una oficina de 5.4 X 3.5 [m] de la Facultad de Contaduría y Administración

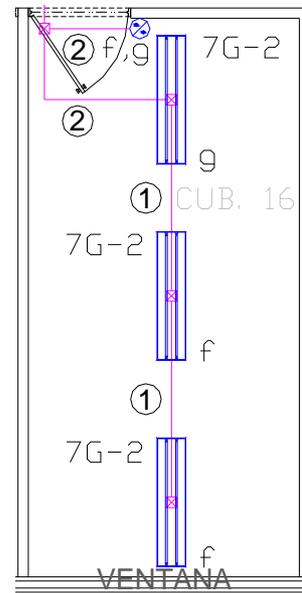


Figura 5.35 Instalación eléctrica para iluminación propuesta para una oficina de 5.4 X 2.8 [m] de la Facultad de Contaduría y Administración

En la figura 5.36 se muestra la propuesta para la instalación eléctrica de iluminación en un baño de uso general en el edificio de Oficinas Administrativas. Los baños de uso general en el edificio de Oficinas Administrativas presentan una configuración distinta, además de menores dimensiones que las presentes en los baños de los edificios de Aulas. Por esta razón se presenta una configuración distinta en el sistema de iluminación.

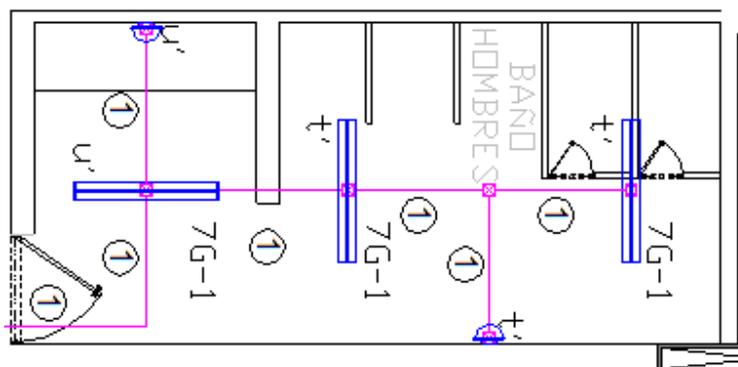


Figura 5.36 Instalación eléctrica para iluminación propuesta para un baño de uso general en el edificio administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración

---

En los baños de las oficinas administrativas se tiene un tránsito mucho menor que el que se presenta en los baños de los edificios de Aulas. Por esta razón resulta conveniente utilizar sensores de presencia para el control de iluminación en los baños del edificio de Oficinas administrativas.

Como se puede apreciar en la figura 5.36, se propone el uso de dos sensores en el baño, uno para el control de la luminaria en la zona de lavabos que puede programarse para estar encendido un par de minutos, mientras que el sensor que controla las luminarias del resto del baño puede programarse para estar encendido alrededor de 10 minutos.

#### 5.4 Comparación del sistema actual y el propuesto

Tal como se menciona en el capítulo 4, el sistema de iluminación actual tiene múltiples irregularidades, algunas de ellas contribuyen al consumo innecesario de energía eléctrica, algunas otras comprometen la seguridad de los usuarios. Estas últimas deben atenderse a la brevedad posible con la finalidad de evitar accidentes.

Dentro de las acciones que se tienen que efectuar para resolver las irregularidades que deben atenderse a la brevedad están las siguientes:

- ⌘ Colocar la cubierta frontal a los tableros que carecen de ella, ya que representan un riesgo de descarga eléctrica para las personas que interactúan con los tableros.
- ⌘ Retirar los circuitos eléctricos que se encuentran conectados directamente a las barras de los tableros de distribución, pues al no tener forma de desconexión representan un alto riesgo de incendio. Dichos circuitos deben instalarse a un interruptor adecuado dentro del tablero\*.
- ⌘ Colocar un interruptor adecuado a los circuitos mencionados en la tabla 4.11.
- ⌘ Cambiar el tablero 3F por uno adecuado a las necesidades de la carga que alimenta, ya que como se menciona en su momento este tablero se encuentra en malas condiciones. Se recomienda el tablero NQOD204L11S de la marca Square D.
- ⌘ Reemplazar los conductores cuyos aislamientos están visiblemente deteriorados, pues estos conductores pueden fácilmente ocasionar un corto circuito y representan alto riesgo de electrocución\*.
- ⌘ Realizar las redistribuciones de circuitos, necesarias para corregir la saturación en las canalizaciones ya que en una canalización saturada aumenta considerablemente la temperatura de operación de los conductores\*.
- ⌘ Redistribuir la carga de los circuitos hasta lograr el mayor balance de carga posible con lo que se reduce la sobrecarga en una sola fase del tablero\*.

Cabe mencionar que al efectuar las instalaciones eléctricas conforme a los planos presentados anteriormente se corregirán las irregularidades marcadas con (\*) en los circuitos eléctricos de iluminación.

Como se menciona en el capítulo anterior, actualmente en la Facultad de Contaduría y administración se tienen 13 diferentes tipos de luminarias para la iluminación interior, 3 de ellas hacen uso de lámparas incandescentes. En el sistema propuesto se suprime totalmente el uso de lámparas incandescentes con la finalidad de atender las disposiciones de la NOM-028-ENER-2010, además se reduce el número de tipos de luminarias usadas a 3; luminarias con sistema T-5 2X28 W, luminarias con sistema T-5 1X28 W y luminarias con sistema FC 1X14 W. Esta homogeneidad de equipo de iluminación permitirá abaratar costos de inversión inicial pues al adquirir volúmenes importantes de un mismo producto se consigue un mejor precio de compra. En la tabla 5.4 se mencionan las principales características de las luminarias propuestas.

Tabla 5.4 Características de las luminarias propuestas

| CARACTERÍSTICAS                             | LUMINARIA    |              |                       |
|---|--------------|--------------|-----------------------|
|   | T-5 (2X28 W) | T-5 (1X28 W) | FC ( 1X14 W)          |
| POTENCIA NOMINAL POR LÁMPARA                | 28 W         | 28 W         | 14 W                  |
| POTENCIA DEL SISTEMA                        | 62 W         | 32 W         | 18 W                  |
| TIPO DE BULBO                               | LINEAL T5    | LINEAL T5    | FLUORESCENTE COMPACTO |
| FLUJO LUMINOSO MANTENIDO POR LUMINARIA (lm) | 5000         | 2500         | 1010                  |
| TIPO DE BALASTRO                            | ELECTRÓNICO  | ELECTRÓNICO  | ELECTRÓNICO           |
| EFICACIA MÍNIMA (lm/W)                      | 164          | 82           | 79                    |
| TEMPERATURA DE COLOR (K)                    | 4100         | 4100         | 4100                  |
| CRI MÍNIMO                                  | 85           | 85           | 85                    |
| VIDA ÚTIL (HORAS)                           | 25000        | 25000        | 12000                 |

En el capítulo anterior se determinó que la carga eléctrica instalada de los edificios analizados en la facultad de contaduría y administración asciende a 373.8 kW. De los cuales el 64% es ocupado por el sistema de iluminación lo que representa un total de 240.9 kW. En el sistema de iluminación propuesto la carga para iluminación asciende a 123.39 kW, lo que representa una disminución de la carga instalada para iluminación de 117.51 kW. En la figura 5.19 se muestra la gráfica que compara la carga instalada de iluminación para ambos sistemas.

## CARGA ELÉCTRICA DE ILUMINACIÓN

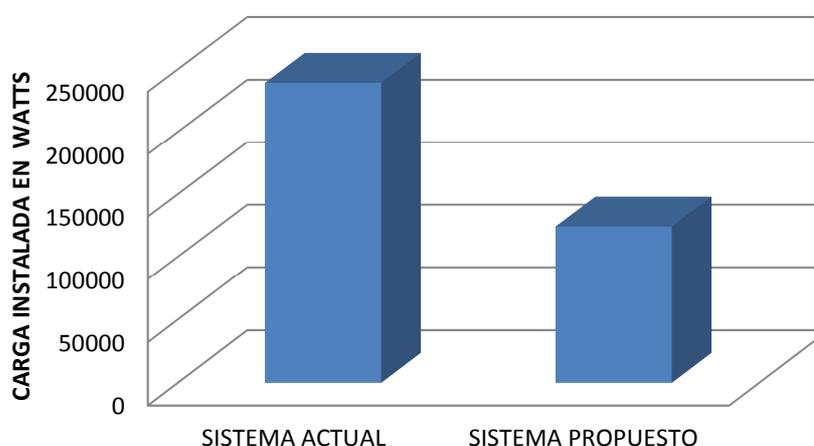


Figura 5.19 Comparación de la carga instalada para iluminación

Teniendo en cuenta que la carga de alumbrado en el sistema propuesto es de 123.39 kW, y recordando que la carga instalada para receptáculos (132.66 kW) no sufre cambios en el sistema propuesto, se obtiene que la carga de alumbrado ocupará el 48% de la carga total, con lo que la nueva distribución de carga quedara como se muestra en la gráfica de la figura 5.20

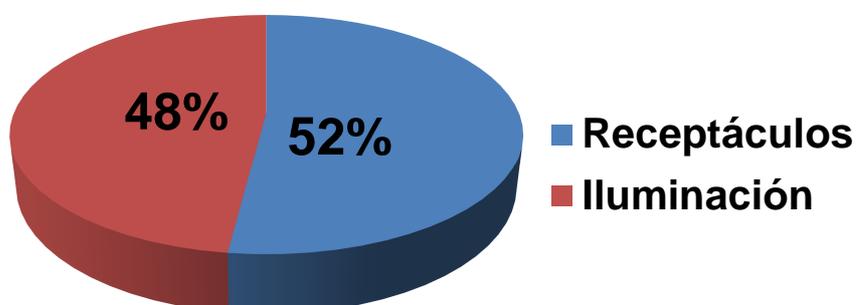


Figura 5.20 Distribución de la carga con el sistema propuesto

Como se observo en la figura 4.10 del capítulo 4, en el sistema de iluminación actual de la Facultad de Contaduría y Administración, del total de luminarias instaladas apenas un 24% cuenta con un método de control local (apagadores). En el sistema de iluminación propuesto este porcentaje se eleva al 75%, y las luminarias restantes se manipulan por medio de algún tipo de control automático, quedando además la opción de controlarlas directamente desde los interruptores del tablero de distribución.

En la tabla 5.5 se puede observar una comparativa entre los niveles de iluminación del sistema actual y los obtenidos en las simulaciones para el sistema propuesto que a su vez se comparan con los niveles requeridos por norma en los distintos locales. Como se puede apreciar, en la mayoría de los casos el sistema de iluminación actual entrega niveles de iluminación considerablemente alejados de los establecidos en las normas. El sistema propuesto se ha diseñado de tal manera que los niveles de iluminación entregados queden dentro de la tolerancia permitida por la Norma Oficial Universitaria en los casos en la que esta aplica.

Tabla 5.5 Comparación de los niveles de iluminación del sistema actual y el sistema propuesto

| ÁREA            | NIVEL DE ILUMINACIÓN EN LUXES PARA EL SISTEMA |           | NIVEL DE ILUMINACIÓN REQUERIDO EN LUXES |
|-----------------|---|-----------|---|
|                 | ACTUAL  | PROPUESTO |   |
| SALÓN DE CLASE  | 206   | 427       | 400                                     |
| OFICINAS        | 198   | 393       | 400                                     |
| AUDITORIO       | 233   | 315       | 300                                     |
| SALA DE JUNTAS  | 310   | 322       | 300                                     |
| SALA DE COMPUTO | 236   | 515       | 500                                     |
| CAFETERÍA       | 520   | 215       | 200                                     |
| PASILLOS        | 124   | 108       | 100                                     |
| ESCALERAS       | 154   | 108       | 100                                     |
| BAÑOS           | 186   | 163       | 150                                     |
| ALMACÉN         | 252   | 125       | 100                                     |

Adicionalmente al cambio en el sistema de iluminación es recomendable la instalación de persianas, cortinas, o algún método de apantallamiento para la luz natural en los locales que carecen de ellas, pues como se puede observar en la tabla 4.8 del capítulo 4, en algunos locales se rebasa considerablemente el nivel de iluminación establecido por norma. Lo anterior debido a que la entrada de luz natural es excesiva en estos locales, y debe considerarse que un nivel de iluminación demasiado alto resulta tan dañino al órgano visual como un bajo nivel de iluminación.

Con la reducción de potencia que se obtiene al actualizar el sistema de iluminación se modifican también los niveles de DPEA que se tienen actualmente. En la tabla 5.6 podemos observar que, considerando la potencia del sistema de iluminación propuesto, la DPEA general calculada para el edificio de oficinas administrativas, cumple con los valores límite establecidos en la NOM-007 ENER-2004 Eficiencia Energética En Sistemas De Alumbrado En Edificios No Residenciales. Así mismo cada uno de los niveles de este edificio cumple con el valor límite para la DPEA. Cabe señalar que en el sistema actual también se cumple con la DPEA en forma general, sin embargo, solo la planta baja de este edificio se encuentra por debajo del valor señalado para la DPEA.

Tabla 5.6 DPEA calculada para los tres niveles del edificio de oficinas administrativas.

| <b>Edificio de Oficinas Administrativas</b> |  |                       |                               |                                     |
|---|--|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>NIVEL</b>                                | <b>POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN</b> | <b>ÁREA ILUMINADA</b> | <b>DPEA [W/m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA NORMA [W/m<sup>2</sup>]</b> |
| PLANTA BAJA                                 | 7072                                       | 1313.7                | 5.4                           | <b>14</b>                           |
| PRIMER PISO                                 | 7414                                       | 1106.6                | 6.7                           |                                     |
| SEGUNDO PISO                                | 7824                                       | 874.7                 | 8.9                           |                                     |
| <b>DPEA TOTAL</b>                           | <b>22310</b>                               | <b>3295.0</b>         | <b>6.8</b>                    | <b>CUMPLE</b>                       |

Considerando la potencia nominal del sistema de iluminación propuesto, en las tablas 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10 se muestran, los valores obtenidos para la DPEA de los edificios A, B, C y D respectivamente. Debe tenerse en cuenta que, como se menciona en el capítulo anterior, actualmente ninguno de los niveles de estos edificios cumple con el nivel de DPEA permitido. De hecho estos edificios tienen en promedio un nivel de DPEA de 18.7 mientras que el nivel máximo permitido para estos edificios es 16. Con el sistema de iluminación propuesto se tiene para cada edificio, una DPEA de alrededor de 8.3 [W/m<sup>2</sup>] que se encuentra por debajo del nivel máximo permitido.

Tabla 5.7 DPEA calculada para los tres niveles del edificio A de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO A</b> |  |                       |                               |                                     |
|-------------------|--|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>NIVEL</b>      | <b>POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN</b> | <b>ÁREA ILUMINADA</b> | <b>DPEA [W/m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA NORMA [W/m<sup>2</sup>]</b> |
| PLANTA BAJA       | 4634                                       | 550.8                 | 8.4                           | <b>16</b>                           |
| PRIMER PISO       | 4882                                       | 554.6                 | 8.8                           |                                     |
| SEGUNDO PISO      | 5092                                       | 598.2                 | 8.5                           |                                     |
| <b>DPEA TOTAL</b> | <b>14608</b>                               | <b>1703.6</b>         | <b>8.6</b>                    | <b>CUMPLE</b>                       |

Tabla 5.8 DPEA calculada para los tres niveles del edificio B de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO B</b> |  |                       |                               |                                     |
|-------------------|--|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>NIVEL</b>      | <b>POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN</b> | <b>ÁREA ILUMINADA</b> | <b>DPEA [W/m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA NORMA [W/m<sup>2</sup>]</b> |
| PLANTA BAJA       | 5728                                       | 750.4                 | 7.6                           | <b>16</b>                           |
| PRIMER PISO       | 5912                                       | 727.5                 | 8.1                           |                                     |
| SEGUNDO PISO      | 5976                                       | 690.8                 | 8.7                           |                                     |
| <b>DPEA TOTAL</b> | <b>17616</b>                               | <b>2168.7</b>         | <b>8.1</b>                    | <b>CUMPLE</b>                       |

Tabla 5.9 DPEA calculada para los tres niveles del edificio C de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO C</b> |  |                       |                               |                                     |
|-------------------|--|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>NIVEL</b>      | <b>POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN</b> | <b>ÁREA ILUMINADA</b> | <b>DPEA [W/m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA NORMA [W/m<sup>2</sup>]</b> |
| PLANTA BAJA       | 5096                                       | 659.7                 | 7.7                           | <b>16</b>                           |
| PRIMER PISO       | 5344                                       | 638.8                 | 8.4                           |                                     |
| SEGUNDO PISO      | 5276                                       | 679.2                 | 7.8                           |                                     |
| <b>DPEA TOTAL</b> | <b>15716</b>                               | <b>1977.8</b>         | <b>7.9</b>                    | <b>CUMPLE</b>                       |

Tabla 5.10 DPEA calculada para los tres niveles del edificio D de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO D</b> |  |                       |                               |                                     |
|-------------------|--|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>NIVEL</b>      | <b>POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN</b> | <b>ÁREA ILUMINADA</b> | <b>DPEA [W/m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA NORMA [W/m<sup>2</sup>]</b> |
| PLANTA BAJA       | 5664                                       | 760.8                 | 7.4                           | <b>16</b>                           |
| PRIMER PISO       | 5912                                       | 735.5                 | 8.0                           |                                     |
| SEGUNDO PISO      | 5976                                       | 690.4                 | 8.7                           |                                     |
| <b>DPEA TOTAL</b> | <b>17552</b>                               | <b>2186.8</b>         | <b>8.0</b>                    | <b>CUMPLE</b>                       |

El edificio F es un edificio que actualmente cumple de manera general con el límite de la DPEA que establece la NOM-007 ENER-2004. Sin embargo, tal como ocurre con el edificio de oficinas administrativas, al calcular la DPEA por niveles se encuentra que uno de ellos supera el límite permitido. Con el sistema de iluminación propuesto los tres niveles del edificio cumplen con el nivel de DPEA establecido, pues la DPEA se reduce considerablemente con la tecnología propuesta. En la tabla 5.11 se muestra el nivel de DPEA obtenido para el edificio F de la Facultad de Contaduría y Administración con el sistema de iluminación propuesto.

Tabla 5.11 DPEA calculada para los tres niveles del edificio F de la Facultad de Contaduría y Administración

| <b>EDIFICIO F</b> |  |                       |                               |                                     |
|-------------------|--|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| <b>NIVEL</b>      | <b>POTENCIA INSTALADA PARA ILUMINACIÓN</b> | <b>ÁREA ILUMINADA</b> | <b>DPEA [W/m<sup>2</sup>]</b> | <b>DPEA NORMA [W/m<sup>2</sup>]</b> |
| PLANTA BAJA       | 5036                                       | 685.6                 | 7.3                           | <b>16</b>                           |
| PRIMER PISO       | 5784                                       | 635.5                 | 9.1                           |                                     |
| SEGUNDO PISO      | 6242                                       | 629.2                 | 9.9                           |                                     |
| <b>DPEA TOTAL</b> | <b>17062</b>                               | <b>1950.3</b>         | <b>8.7</b>                    | <b>CUMPLE</b>                       |

## 5.5 Cálculo del ahorro económico y tiempo de recuperación de la inversión

Sin duda, el factor económico, es uno de los puntos medulares que determinan si un proyecto dado puede o debe llevarse a cabo. Por ello resulta de suma importancia determinar el ahorro que se obtendría al ejecutarse el cambio propuesto, en el sistema de iluminación de los edificios de aulas y administrativo de la facultad de contaduría. Adicionalmente, conocer el tiempo de recuperación de la inversión ayuda a determinar si el proyecto resulta económicamente atractivo. Un tiempo de recuperación de la inversión razonablemente corto siempre genera entusiasmo en la puesta en marcha de un proyecto.

El análisis económico del sistema de iluminación propuesto se llevará a cabo en tres fases:

- 1.- Determinar los costos de la inversión inicial del proyecto.
- 2.- Determinar el ahorro económico debido a la ejecución del proyecto.
- 3.- Determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

Al llevar a cabo los puntos mencionados anteriormente se tendrá la información necesaria para determinar si el proyecto es económicamente viable.

### INVERSIÓN INICIAL DEL PROYECTO.

En la tabla 5.12 se presenta el precio unitario y el número de unidades de equipo de iluminación requerido para ejecutar el cambio del sistema de iluminación conforme a los planos presentados con anterioridad. En esta tabla podemos observar que el costo total de las luminarias propuestas<sup>32</sup> y el equipo electrónico requerido para su control asciende a 1,028,186.00 pesos.

Tabla 5.12 Costos del equipo de iluminación requerido para ejecutar el proyecto propuesto.

| PRODUCTO                                  | COSTO UNITARIO | CANTIDAD | TOTAL          |
|---|----------------|----------|----------------|
| LUMINARIA T-5 1X28                        | \$356.46       | 499      | \$177,644.00   |
| LUMINARIA T-5 2X28                        | \$552.00       | 1394     | \$769,488.00   |
| LUMINARIA T-5 2X28 CON BALASTRO ATENUABLE | \$1,338.00     | 16       | \$21,408.00    |
| LUMINARIA FC 1X18                         | \$175.00       | 82       | \$14,350.00    |
| SENSOR PIR MONTAJE EN TECHO               | \$237.00       | 38       | \$9,006.00     |
| SENSOR PIR MONTAJE EN PARED               | \$237.00       | 103      | \$24,411.00    |
| FOTOCELDA USO INTERIOR                    | \$97.00        | 43       | \$4,171.00     |
| FOTOCELDA USO EXTERIOR                    | \$150.00       | 38       | \$5,700.00     |
| ATENUADOR 250 W                           | \$502.00       | 4        | \$2,008.00     |
| INVERSIÓN TOTAL EN EQUIPO DE ILUMINACIÓN  |                |          | \$1,028,186.00 |

<sup>32</sup> Los precios presentados son un promedio de los precios al mayoreo ofrecidos por los principales distribuidores del ramo. Costos a Febrero de 2012.

Aun cuando puede realizarse la sustitución de las luminarias sin realizar modificaciones considerables al sistema eléctrico que alimenta a las luminarias actuales, es altamente recomendable instalar un nuevo sistema eléctrico para proveer de energía a las luminarias propuestas. Con ello se corregirán todos los errores que se encontraron en el sistema actual, además se garantizará que la instalación eléctrica para alumbrado cumpla con las normas aplicables vigentes y finalmente, se tendrá la certeza de que la instalación eléctrica es segura, pues como ya se ha mencionado antes, la mayor parte de los elementos de la instalación eléctrica actual tienen más de 30 años de servicio. En la tabla 5.13 se presenta el costo unitario y la cantidad de unidades del material eléctrico requerido para actualizar el sistema de alimentación de alumbrado. En esta tabla podemos observar que el costo total de la inversión en material eléctrico asciende a 475,160.00 pesos.

Tabla 5.13 Costos del material eléctrico requerido para sustituir el sistema eléctrico de alimentación para alumbrado.

| PRODUCTO   | PRECIO UNITARIO | CANTIDAD | TOTAL        |
|--|-----------------|----------|--------------|
| APAGADOR   | \$6.00          | 700      | \$4,200.00   |
| PLACA PARA APAGADOR                                    | \$10.00         | 400      | \$4,000.00   |
| ROLLO DE CONDUCTOR, CALIBRES VARIOS                    | \$600.00        | 300      | \$180,000.00 |
| TUBO CONDUIT, CALIBRES VARIOS                          | \$90.00         | 1680     | \$151,200.00 |
| ARTÍCULOS VARIOS REQUERIDOS PARA INSTALACIÓN Y MONTAJE |                 |          | \$135,760.00 |
| COSTO TOTAL DEL MATERIAL ELÉCTRICO                     |                 |          | \$475,160.00 |

Por último dentro de los costos de inversión inicial deben considerarse los costos de ejecución del proyecto (instalación y montaje), así como los costos de diseño del proyecto. En la tabla 5.14 se muestra el costo estimado para estos conceptos.

Tabla 5.14 Costos de diseño y ejecución del proyecto

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| COSTO DE DISEÑO DEL PROYECTO | \$96,000.00  |
| COSTO DE MANO DE OBRA        | \$709,000.00 |

Finalmente al integrar los costos presentados en las tablas 5.12, 5.13 y 5.14 se obtiene el costo total de la inversión inicial para llevar a cabo el proyecto, el cual es:

**\$2,328,454.00**

## AHORRO ECONÓMICO DEBIDO A LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Para poder realizar un estimado del ahorro que se obtendría al ejecutar el cambio de luminarias en los edificios de aulas y administrativos de la Facultad de Contaduría y Administración, se hace necesario conocer los costos de facturación eléctrica que aplican para estos edificios, así como las horas mensuales de uso del sistema de iluminación.

La Facultad de Contaduría y Administración recibe energía eléctrica por medio de las subestaciones generales de Ciudad Universitaria. Por las características y necesidades de la carga en Ciudad Universitaria, estas subestaciones reciben energía eléctrica en media tensión con tarifa HM, que es la tarifa horaria para servicio general con una demanda de 100 kW o más.

En la tabla 5.15 se presentan las tarifas que la Comisión Federal de Electricidad aplicó durante el año 2011 para la tarifa HM en la región centro.

Tabla 5.15 Tarifa HM para la región central durante el año 2011

| TARIFA HM APLICADA DURANTE EL AÑO 2011 EN LA REGIÓN CENTRO (CFE) |                                    |                                    |                                      |                                   |
|--|------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| MES  | CARGO POR kW DE DEMANDA FACTURABLE | CARGO POR kW/h DE ENERGÍA DE PUNTA | CARGO POR kW/h DE ENERGÍA INTERMEDIA | CARGO POR kW/h DE ENERGÍA DE BASE |
| ENERO  | \$163.2300                         | \$1.8119                           | \$1.0322                             | \$0.8628                          |
| FEBRERO  | \$164.1900                         | \$1.8396                           | \$1.0595                             | \$0.8856                          |
| MARZO  | \$165.8800                         | \$1.8760                           | \$1.0923                             | \$0.9131                          |
| ABRIL  | \$167.3400                         | \$1.8631                           | \$1.0647                             | \$0.8900                          |
| MAYO   | \$168.3800                         | \$1.9479                           | \$1.1622                             | \$0.9715                          |
| JUNIO  | \$168.9900                         | \$1.9797                           | \$1.1985                             | \$1.0018                          |
| JULIO  | \$168.4300                         | \$2.0003                           | \$1.2301                             | \$1.0282                          |
| AGOSTO   | \$168.9400                         | \$1.9703                           | \$1.1857                             | \$0.9911                          |
| SEPTIEMBRE   | \$169.3100                         | \$2.0028                           | \$1.2251                             | \$1.0240                          |
| OCTUBRE  | \$171.2400                         | \$2.0068                           | \$1.2142                             | \$1.0149                          |
| NOVIEMBRE  | \$174.0100                         | \$2.0451                           | \$1.2416                             | \$1.0378                          |
| DICIEMBRE  | \$176.4100                         | \$2.1046                           | \$1.3000                             | \$1.0866                          |

Los horarios de aplicación para las tarifas presentadas en la tabla 5.15 varían dependiendo del mes del año. En la tabla 5.16 se presentan los horarios en que aplican las tarifas base, intermedia y punta para los meses en que se labora con el horario de verano y en la tabla 5.17 para los meses restantes.

Tabla 5.16 Horarios de aplicación de las tarifas base, intermedia y punta durante el horario de verano.

| DEL PRIMER DOMINGO DE ABRIL AL SÁBADO ANTERIOR AL ÚLTIMO DOMINGO DE OCTUBRE |              |                               |               |
|---|--------------|-------------------------------|---------------|
| DÍA DE LA SEMANA  | BASE         | INTERMEDIO                    | PUNTA         |
| LUNES A VIERNES   | 0:00 - 6:00  | 6:00 - 20:00<br>22:00 - 24:00 | 20:00 - 22:00 |
| SÁBADO  | 0:00 - 7:00  | 7:00 - 24:00                  |               |
| DOMINGO Y FESTIVO   | 0:00 - 19:00 | 19:00 - 24:00                 |               |

Tabla 5.17 Horarios de aplicación de las tarifas base, intermedia y punta durante el horario de invierno.

| DEL ÚLTIMO DOMINGO DE OCTUBRE AL SÁBADO ANTERIOR AL PRIMER DOMINGO DE ABRIL |              |               |               |
|---|--------------|---------------|---------------|
| DÍA DE LA SEMANA  | BASE         | INTERMEDIO    | PUNTA         |
| LUNES A VIERNES   | 0:00 - 6:00  | 6:00 - 18:00  | 18:00 - 22:00 |
|   |              | 22:00 - 24:00 |               |
| SÁBADO  | 0:00 - 8:00  | 8:00 - 19:00  | 19:00 - 21:00 |
|   |              | 21:00 - 24:00 |               |
| DOMINGO Y FESTIVO   | 0:00 - 18:00 | 18:00 - 24:00 |               |

Conocidas las tarifas y los diferentes horarios en que aplican, se procederá a calcular el costo de la energía, utilizada por el sistema de iluminación presente, en los edificios de aulas y administrativo de la facultad de contaduría durante el año 2011.

El costo de la energía en las tarifas base, intermedia y punta se realizó por medio de la siguiente ecuación:

$$\$ENERGÍA = CARGA \times F.D. \times t \times \$kW/h \quad (5.1)$$

Donde:

**\$ENERGÍA:** Costo mensual de la energía en la tarifa que se éste calculando

**CARGA:** Carga total en kW, para la cual, se calcula el costo de la energía.

**F.D.:** Factor de Demanda

**t:** Tiempo en que la carga consumió energía dentro de la tarifa que se éste calculando (expresada en horas).

**\$kW/h:** Precio por kW/h en la tarifa a calcular

El costo de la demanda facturable se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$\$DEMANDA FACTURABLE = CARGA \times \$kW \quad (5.2)$$

Donde:

**\$DEMANDA FACTURABLE:** Costo mensual por el abasto de energía para la carga total instalada.

**CARGA:** Carga total en kW, para la cual, se calcula el costo de la energía.

**\$kW:** Precio por kW de energía contratado.

En la tabla 5.18 se presentan los costos de la energía eléctrica consumida por el actual sistema de iluminación para cada mes del año 2011. Dichos costos toman en consideración los datos presentados en las tablas 5.15, 5.16 y 5.17, un factor de demanda de 0.9, así como

una carga de 223.94 kW, correspondiente a la carga total del sistema de iluminación interior presente en los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración.

Tabla 5.18 Costo de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación actual durante el 2011.

| COSTO MENSUAL DE LA ENERGÍA PARA EL SISTEMA ACTUAL ( 223.94 kW) |                               |             |             |                    |                     |
|---|-------------------------------|-------------|-------------|--------------------|---------------------|
| MES   | COSTO DE LA ENERGÍA EN TARIFA |             |             | DEMANDA FACTURABLE | COSTO TOTAL DEL MES |
|   | BASE                          | INTERMEDIA  | PUNTA       |                    |                     |
| ENERO   | \$1,391.15                    | \$55,753.59 | \$29,214.50 | \$36,553.73        | \$122,912.96        |
| FEBRERO   | \$1,427.91                    | \$57,228.18 | \$29,661.12 | \$36,768.71        | \$125,085.92        |
| MARZO   | \$1,472.25                    | \$58,999.85 | \$30,248.02 | \$37,147.17        | \$127,867.29        |
| ABRIL   | \$717.50                      | \$66,950.84 | \$15,020.01 | \$37,474.12        | \$120,162.48        |
| MAYO  | \$783.21                      | \$73,081.87 | \$15,703.66 | \$37,707.02        | \$127,275.75        |
| JUNIO   | \$807.64                      | \$75,364.50 | \$15,960.02 | \$37,843.62        | \$129,975.78        |
| JULIO   | \$828.92                      | \$77,351.58 | \$16,126.10 | \$37,718.21        | \$132,024.81        |
| AGOSTO  | \$799.01                      | \$74,559.60 | \$15,884.24 | \$37,832.42        | \$129,075.28        |
| SEPTIEMBRE  | \$825.53                      | \$77,037.17 | \$16,146.25 | \$37,915.28        | \$131,924.24        |
| OCTUBRE   | \$818.20                      | \$76,351.75 | \$16,178.50 | \$38,347.49        | \$131,695.93        |
| NOVIEMBRE   | \$1,673.32                    | \$67,064.19 | \$32,974.54 | \$38,967.80        | \$140,679.84        |
| DICIEMBRE   | \$1,752.00                    | \$70,218.63 | \$33,933.90 | \$39,505.26        | \$145,409.78        |
| COSTO TOTAL DE LA ENERGÍA PARA EL AÑO 2011                      |                               |             |             | \$1,564,090.07     |                     |

En la tabla 5.19 se presentan los costos de la energía eléctrica que el sistema de iluminación propuesto habría generado durante cada mes del año 2011. Dichos costos toman en consideración los datos presentados en las tablas 5.15, 5.16 y 5.17, un factor de demanda de 0.7 (este factor disminuye respecto al sistema actual debido a la implementación de apagadores y sistemas de control automático), así como una carga de 107.03 kW; correspondiente a la carga total del sistema de iluminación interior proyectado, para los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración.

Tabla 5.19 Costo anual de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación propuesto, considerando precios del año 2011.

| COSTO MENSUAL DE LA ENERGÍA PARA EL SISTEMA PROPUESTO (106.19 kW) |                               |             |             |                    |                     |
|---|-------------------------------|-------------|-------------|--------------------|---------------------|
| MES   | COSTO DE LA ENERGÍA EN TARIFA |             |             | DEMANDA FACTURABLE | COSTO TOTAL DEL MES |
|   | BASE                          | INTERMEDIA  | PUNTA       |                    |                     |
| ENERO   | \$513.08                      | \$20,562.71 | \$10,774.72 | \$17,333.39        | \$49,183.89         |
| FEBRERO   | \$526.63                      | \$21,106.56 | \$10,939.44 | \$17,435.34        | \$50,007.97         |
| MARZO   | \$542.99                      | \$21,759.97 | \$11,155.90 | \$17,614.80        | \$51,073.66         |
| ABRIL   | \$264.63                      | \$24,692.41 | \$5,539.59  | \$17,769.83        | \$48,266.46         |
| MAYO  | \$288.86                      | \$26,953.62 | \$5,791.73  | \$17,880.27        | \$50,914.48         |
| JUNIO   | \$297.87                      | \$27,795.49 | \$5,886.28  | \$17,945.05        | \$51,924.68         |
| JULIO   | \$305.72                      | \$28,528.35 | \$5,947.53  | \$17,885.58        | \$52,667.18         |
| AGOSTO  | \$294.69                      | \$27,498.63 | \$5,858.33  | \$17,939.74        | \$51,591.39         |
| SEPTIEMBRE  | \$304.47                      | \$28,412.39 | \$5,954.97  | \$17,979.03        | \$52,650.85         |
| OCTUBRE   | \$301.76                      | \$28,159.60 | \$5,966.86  | \$18,183.98        | \$52,612.20         |
| NOVIEMBRE   | \$617.14                      | \$24,734.22 | \$12,161.47 | \$18,478.12        | \$55,990.95         |
| DICIEMBRE   | \$646.16                      | \$25,897.62 | \$12,515.30 | \$18,732.98        | \$57,792.06         |
| COSTO TOTAL DE LA ENERGÍA PARA EL AÑO 2011                        |                               |             |             | \$624,675.78       |                     |

Al analizar los datos de la tabla 5.18 y 5.19 podemos observar que el ahorro que se habría obtenido durante el año 2011, en la facturación eléctrica debido a la sustitución del sistema de iluminación es considerable y asciende a la cantidad de:

**\$939,414.00**

### TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Antes de calcular el tiempo de recuperación de la inversión, resulta de interés conocer cuál es el tiempo de vida del proyecto, para saber si será necesario hacer una nueva inversión en el proyecto antes de recuperar totalmente la inversión inicial.

Para calcular el tiempo de vida del proyecto se ha tomado como base la vida útil de lámparas y balastos. Los balastos están garantizados hasta por 5 años trabajando bajo condiciones normales de operación. Las lámparas de las luminarias seleccionadas para el proyecto ofrecen una vida promedio de 25,000 horas, por lo que habrá que determinar cuál es la vida útil de las lámparas en años. Para ello se consideró que el horario de trabajo de la Facultad de contaduría y en especial de los edificios analizados suma 356 horas al mes (16 hrs. Diarias de lunes a viernes y 9 hrs los sábados), por lo que en un año se tiene un total de 4272 horas laboradas, al aplicar en este punto el mismo factor de utilización para el sistema de iluminación que se uso para determinar el costo de la energía (0.7), se estima que las lámparas permanecerán encendidas durante 2290.4 horas en todo el año.

Es así que, para obtener el equivalente en años de la vida útil de las lámparas empleadas se realizó la siguiente operación:

$$\text{vida util de las lámparas} = \frac{25\,000 \text{ [horas]}}{2290.4 \text{ [horas/año]}} = 8.36 \text{ años} \quad (5.3)$$

En la ecuación 5.3 se puede observar que la vida útil de las lámparas asciende a 8.36 años. Un elemento más a considerar en el tiempo de vida del proyecto es, el tiempo de vida de los sensores propuestos. Para ellos se establece una vida útil de 100,000 operaciones. Suponiendo que un sensor realice 50 operaciones diarias y que operase los 365 días del año, entonces se tendría una vida útil del censor de 5.4 años. Por otra parte, los fabricantes de balastos establecen una vida útil para estos de 5 años, bajo condiciones normales de operación. Debido a que la vida útil de los balastos es la más corta de los elementos involucrados en el proyecto, se considera la vida útil de estos, como tiempo de vida del proyecto:

*Tiempo de vida del proyecto: **5 años***

Una vez determinado el tiempo de vida del proyecto, se procederá a calcular el tiempo de recuperación de la inversión por medio de la siguiente expresión:

$$\text{Tiempo de Recuperación} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Ahorro anual}} = \frac{\$2,328,454.00}{\$939,414.00} = 2.5 \text{ años} \quad (5.4)$$

Tiempo de recuperación de la inversión: **2.5 años**

En la expresión (5.4) podemos observar que la inversión se recupera en la mitad del tiempo de vida del proyecto. La forma en que se ha calculado el tiempo de recuperación de la inversión, proporciona una buena aproximación del tiempo de recuperación real. Sin embargo en ella no se han incluido los costos de mantenimiento y la tasa de inflación presente, tanto en el costo de la energía como en los costos de mantenimiento.

En la tabla 5.20 se presenta el costo anual de la energía para dos ciclos de vida del proyecto considerando una tasa de inflación del 4.29%<sup>33</sup>, además se muestra el costo anual de mantenimiento y la inversión para el segundo ciclo de vida del proyecto considerando una tasa de inflación del 4.87%<sup>34</sup>. En esta tabla se considera el ahorro obtenido al sustituir el sistema de iluminación como un flujo de efectivo positivo, mientras que los costos anuales de mantenimiento y los costos de inversión para el primer y segundo ciclo de vida se consideran como un flujo de efectivo negativo. Por otro lado se considera que se ha recuperado la inversión, cuando en la columna del flujo neto de efectivo se obtiene un resultado positivo.

Tabla 5.20 Costos anualizados de la energía y costos anualizados de mantenimiento

| AÑO  | CARGO ANUAL DE LA ENERGÍA |              |                | COSTO DE INVERSIÓN                | COSTO DE MANTTO. ANUAL             | FLUJO NETO DE EFECTIVO |                |
|------|---------------------------|--------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|------------------------|----------------|
|      | ACTUAL                    | PROPUESTO    | AHORRO         |                                   |                                    |                        |                |
| 2012 | \$1,631,189.54            | \$651,474.37 | \$979,715.17   | PRIMER CICLO DE VIDA DEL PROYECTO | -\$57,700.00                       | -\$1,406,439.69        |                |
| 2013 | \$1,701,167.57            | \$679,422.62 | \$1,021,744.95 |                                   | -\$60,509.99                       | -\$445,204.73          |                |
| 2014 | \$1,774,147.66            | \$708,569.85 | \$1,065,577.81 |                                   | -\$63,456.83                       | \$556,916.25           |                |
| 2015 | \$1,850,258.59            | \$738,967.50 | \$1,111,291.10 |                                   | -\$66,547.17                       | \$1,044,743.92         |                |
| 2016 | \$1,929,634.69            | \$770,669.20 | \$1,158,965.48 |                                   | -\$2,328,454.00                    | -\$69,788.02           | \$1,089,177.46 |
| 2017 | \$2,012,416.01            | \$803,730.91 | \$1,208,685.10 |                                   | SEGUNDO CICLO DE VIDA DEL PROYECTO | -\$73,186.00           | \$551,498.40   |
| 2018 | \$2,098,748.66            | \$838,210.97 | \$1,260,537.69 | -\$76,750.89                      |                                    | \$1,183,786.80         |                |
| 2019 | \$2,188,784.98            | \$874,170.22 | \$1,314,614.76 | -\$80,488.66                      |                                    | \$1,234,126.10         |                |
| 2020 | \$2,282,683.85            | \$911,672.12 | \$1,371,011.73 | -\$84,408.46                      |                                    | \$1,286,603.28         |                |
| 2021 | \$2,380,610.99            | \$950,782.85 | \$1,429,828.14 | -\$584,000.00                     |                                    | -\$88,519.15           | \$1,341,308.99 |

<sup>33</sup> Tasa de inflación promedio de los últimos años para el costo de la energía en la región centro de CFE

<sup>34</sup> Tasa de inflación promedio de los últimos años para el índice nacional de precios al consumidor.

En la tabla anterior podemos observar que efectivamente la inversión inicial se recupera en poco más de 2 años. Por otro lado se aprecia que el costo de inversión para el segundo ciclo de vida del proyecto es considerablemente inferior. Ello se debe a que en el segundo ciclo de vida del proyecto, solo se requiere invertir en la sustitución de lámparas, balastos, sensores y mano de obra para realizar el cambio.

Finalmente para justificar formalmente la viabilidad económica del proyecto se hará uso de dos conceptos de ingeniería económica, estos son el Valor Anual equivalente (VA) y la relación Beneficio Costo (B/C).

El **Valor Anual equivalente (VA)**, significa que todos los desembolsos realizados durante el ciclo de vida de un proyecto, ya sean irregulares o periódicos, son convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente (de fin de periodo), que es la misma cada año o bien, cada periodo (semestral, mensual, semanal, etc.), ello implica que el valor VA se calcula para *un ciclo de vida solamente*. Si el proyecto continúa durante más de un ciclo, se supone que el valor anual equivalente durante el siguiente ciclo y todos los ciclos posteriores es exactamente igual que para el primero, siempre y cuando todos los flujos de efectivo actuales sean los mismos para cada ciclo en unidades monetarias de valor constante.

La ecuación (5.5)<sup>35</sup> se empleará para calcular el VA del costo total del proyecto. Aun cuando el VA se calcula para un solo ciclo de vida, en este caso consideraremos los dos ciclos de vida presentados en la tabla 5.20 como uno solo. Esto debido a que el costo de inversión para el segundo ciclo de vida del proyecto es considerablemente menor.

$$VA = P \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] + M\&O \quad (5.5)$$

Donde:

**VA:** Valor Anual Equivalente

**P :** Principal (cantidad monetaria en valor presente a anualizar)

**i:** Tasa de interés que afecta al principal

**n:** Número de años o periodos de la vida del proyecto

**M&O:** Costo anual de mantenimiento y operación

En nuestro caso el principal estará integrado por la inversión inicial del primer ciclo de vida, y la inversión para el segundo ciclo de vida en valor presente que equivale a \$584,000.00, por lo que el principal total es de \$2,912,454.00, La tasa de interés que se empleara es de 4.29%

---

<sup>35</sup> Leland T. Blank, Anthony J. Tarquin, Ingeniería Económica Cuarta Edición; MG GILL, pág 45.

correspondiente a la tasa de inflación del costo de la energía, debido a que es la tasa que afecta la recuperación de la inversión. Por último se consideran 10 años para determinar el VA.

Entonces para la inversión total del proyecto a 10 años se tendrá el siguiente valor anual:

$$VA = 2,912,454.00 \left[ \frac{0.0429(1 + 0.0429)^{10}}{(1 + 0.0429)^{10} - 1} \right] + 57,700.00 = 421,981.00$$

**VA = \$ 421,981.00**

Recordando que el proyecto ofrece un ahorro anual de **\$939,414.00** podemos decir que bajo las consideraciones realizadas, el proyecto a 10 años ofrece un beneficio anual de **\$517,432.00**, por lo que se justifica la puesta en marcha del proyecto.

La **relación Beneficio Costo (B/C)** se utiliza comúnmente en muchos proyectos gubernamentales y de obras públicas, para determinar si los beneficios esperados constituyen un retorno aceptable sobre la inversión y los costos estimados. Como su nombre lo sugiere, el método de análisis B/C está basado en la razón de los beneficios a los costos asociada con un proyecto particular. Se considera que un proyecto es atractivo cuando los beneficios derivados de su implementación exceden sus costos asociados.

Antes de calcular la una razón B/C, todos los beneficios y costos identificados deben convertirse a unidades monetarias comunes. La unidad puede ser un valor presente, valor anual o valor futuro equivalente, pero todos deben estar expresados en las mismas unidades para poder calcular la relación B/C con la ecuación (5.6)<sup>36</sup>. Una razón B/C mayor que 1, indica que el proyecto evaluado es económicamente ventajoso. Si el resultado es igual a 1, los beneficios igualan a los costos sin generar riqueza alguna. Por tal razón sería indiferente ejecutar o no el proyecto.

$$B/C = \frac{\text{Beneficios} - M\&O}{\text{Costos}} \quad (5.6)$$

Donde:

**B/C**: Relación Beneficio Costo

**M&O**: Costo de mantenimiento y operación anual

**Beneficios**: Monto total de los beneficios anualizados

<sup>36</sup> *Ibid.*, pág. 268.

**Costos:** Monto total de los costos anualizados

Tomando los valores anualizados obtenidos en el cálculo de VA, tenemos para el cálculo de B/C lo siguiente:

$$B/C = \frac{939,414.00 - 57,700.00}{421,981.00} = 2.09$$

$$\mathbf{B/C = 2.09}$$

Dado que la relación Beneficio Costo es mayor que 1 se concluye que el proyecto es económicamente rentable considerando un tiempo de vida de 10 años. Además puede decirse de la relación obtenida, que por cada peso invertido se recuperará la inversión inicial y se obtendrá un beneficio de 1.09 pesos.

## CONCLUSIONES

- Como era de esperarse, actualmente el sistema de iluminación presente en los edificios de aulas y administrativo de la facultad de contaduría, genera altos costos de facturación eléctrica, debidas en gran medida a lo obsoleto del sistema.
- Actualmente, la ausencia de sistemas de control local para las luminarias en las aulas de la Facultad de Contaduría y Administración, impide que sus usuarios apaguen las luminarias cuando estas no son necesarias, generando consumos innecesarios de energía eléctrica.
- El alto número de luminarias obsoletas presentes en los edificios analizados, justifica la puesta en marcha de un programa de sustitución de luminarias obsoletas, por luminarias de nueva generación que tienen una eficiencia considerablemente mayor que las instaladas actualmente.
- El cálculo del número de luminarias necesarias para obtener los niveles de iluminación requeridos por norma en las distintas áreas de los edificios analizados, nos ha permitido presentar un proyecto que satisfaga las necesidades de iluminación con el menor número de luminarias posible sin menoscabo de los niveles de iluminación, lo que permite reducir los costos de inversión inicial.
- Sustituir el sistema de iluminación garantiza una disminución importante de la carga instalada para alumbrado y consecuentemente la disminución del costo de facturación eléctrica. Sin embargo un sistema de iluminación eficiente no garantiza el uso adecuado de la energía eléctrica, pues finalmente, dependerá del usuario hacer un uso racional, adecuado y responsable del sistema de iluminación. Por ende, resultaría benéfico realizar campañas periódicas encaminadas al ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.
- Sin duda, al proponer la sustitución del sistema de iluminación, el objetivo que se persigue es el ahorro de energía eléctrica y la consecuente disminución de los gastos de facturación eléctrica, por lo que puede pensarse que el objetivo se cumplirá, con un menor costo, si se omite el cambio propuesto de la instalación eléctrica. De hecho esto es posible, sin embargo debido al tiempo de vida de la instalación eléctrica y al deterioro evidente en algunas de sus secciones, lo más recomendable es realizar también el cambio de la instalación eléctrica, pues con ello se puede garantizar la operación segura de la instalación, además de que se protege la inversión realizada en equipo de iluminación, pues se elimina la posibilidad de incidentes debidos a las malas condiciones de la instalación eléctrica.



## CÁLCULO DE LOS CIRCUITOS DERIVADOS DE ALUMBRADO.

Todos los circuitos derivados propuestos para el nuevo sistema de iluminación fueron diseñados, teniendo en cuenta las siguientes expresiones para calcular el calibre de los conductores por ampacidad y caída de tensión.

$$I = \frac{W}{E \times FP} \qquad e\% = \frac{4 \times L \times I}{E \times S}$$

Donde:

- I      Intensidad de corriente en [A]
- W      Carga eléctrica en [W]
- E      Tensión de fase a neutro en [V]
- FP     factor de potencia
- e%     Caída de tensión
- L      Longitud del circuito en [m]
- S      Sección transversal del conductor en [mm<sup>2</sup>]

A continuación se presenta como ejemplo, el cálculo del circuito derivado para alumbrado del salón A 004 del edificio A. los datos requeridos se muestran en la siguiente tabla:

| Datos para el cálculo del circuito derivado para alumbrado en el salón A 004 del edificio A, (12 luminarias de 2 X 28 W). |      |         |
|---|------|---------|
| Carga proyectada  | 744  | Watts   |
| N° de circuitos propuestos  | 2    |         |
| Carga por circuito  | 372  | Watts   |
| Distancia promedio  | 64   | Metros  |
| Calibre mínimo aceptado por la NOU  | 12   | AWG     |
| Corriente nominal por circuito  | 3.25 | Amperes |
| Caída de tensión máxima aceptada  | 2.99 | %       |

Para cada uno de los circuitos se tiene la siguiente corriente nominal:

$$I = \frac{372 [W]}{127 [V] \times 0.9} = 3.25 [A]$$

Considerando la corriente calculada y el calibre mínimo aceptado por la NOU sección 12.2.2 (12 AWG), se tiene la siguiente caída de tensión:

$$e\% = \frac{4 \times 64 [m] \times 3.25[A]}{127 [V] \times 3.31[mm^2]} = 1.98 \%$$

Dado que la corriente calculada para el circuito es menor a la ampacidad máxima del conductor propuesto (16 A, considerando corriente ya corregida por factores de temperatura, demanda y agrupamiento) y que la caída de tensión es aceptable, se concluye que el calibre propuesto para el conductor es adecuado para el circuito derivado analizado.

En base a la nota de la tabla 310-16 de la NOM 001-SEDE-2005, la protección contra sobre corriente para un conductor calibre 12 AWG no debe ser mayor a 20 A, teniendo en cuenta lo reducido de la corriente en estos circuitos, se propone una protección contra sobre corriente de 15 A. lo anterior nos permite proponer un hilo de puesta a tierra de equipo, sin aislamiento calibre 14 AWG, que concuerda con lo establecido en la tabla 250-95 de la NOM 001-SEDE-2005.

## SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA CANALIZACIÓN

En la canalización que se propone para resguardar los conductores de los circuitos derivados de alumbrado del salón A-004, se debe tener en cuenta que la tubería llevará cuatro conductores aislados, portadores de corriente, de calibre 12 AWG y un conductor desnudo calibre 14 AWG.

La tabla presentada a continuación es un extracto de La tabla 10-5 de la NOM 001-SEDE-2005 en donde se especifican los valores de área para los conductores mencionados anteriormente.

| TIPO DE AISLAMIENTO | DESIGNACIÓN     |     | DÍAMETRO CON AISLAMIENTO | ÁREA CON AISLAMIENTO |
|---------------------|-----------------|-----|--------------------------|----------------------|
|                     | mm <sup>2</sup> | AWG |                          |                      |
| THHW                | 2.08            | 14  | 3.38                     | 8.97                 |
|                     | 3.31            | 12  | 3.86                     | 11.7                 |

---

Considerando los valores de área de la tabla anterior tenemos que los conductores de los dos circuitos derivados para alumbrado ocuparan la siguiente área dentro de la canalización:

$$\text{área total} = 4 \times \text{área conductor 12 AWG (aislado)} + \text{área conductor 14 AWG (desnudo)}$$

$$\text{área total} = 4 \times 11.7 + 8.97$$

$$\text{área total} = 55.57 \text{ mm}^2$$

Atendiendo a lo dispuesto en la tabla 10-1 de la NOM 001-SEDE-2005, cuando un tubo conduit contiene más de 2 conductores, estos solo pueden ocupar el 40% del área total interior del tubo. Así pues la tubería que contendrá a los conductores de los circuitos analizados deberá tener cuando menos, la siguiente área interior:

$$\text{área interior del tubo} = 55.57 \text{ mm}^2 \times \frac{100\%}{40\%}$$

$$\text{área interior del tubo} = 139.425 \text{ mm}^2$$

Finalmente consultando la tabla 10-4 de la NOM 001-SEDE-2005, se observa que la tubería adecuada para contener a los conductores de los circuitos analizados es una tubería de 16 mm de diámetro pues tiene un área interior total de 196 mm<sup>2</sup>; que resulta ser un área interior mayor a la requerida, con lo que se le da cumplimiento a lo dispuesto en la tabla 10-1 de la NOM 001-SEDE-2005.

## ÍNDICE DE FIGURAS

| <b>FIGURA</b>   | <b>PÁGINA</b> |
|---|---------------|
| 1.1 Luminancia de una superficie  | 5             |
| 1.2 Esquema de las fuentes de luz incidentes en un punto.   | 12            |
| 1.3 Componente directa de la iluminancia  | 13            |
| <br>  |               |
| 2.1 Elementos de una lámpara incandescentes   | 16            |
| 2.2 Lámpara incandescente halógena  | 18            |
| 2.3 Principio de fluorescencia  | 19            |
| 2.4 Partes principales de una lámpara fluorescente lineal.  | 20            |
| 2.5 Lámpara de vapor de sodio a baja presión  | 23            |
| 2.6 Lámparas de alta presión de sodio   | 24            |
| 2.7 Lámpara de vapor de mercurio a alta presión   | 25            |
| 2.8 Lámparas de Aditivos Metálicos  | 27            |
| 2.9 Lámpara de inducción  | 28            |
| 2.10 LED de Baja Potencia   | 29            |
| 2.11 LED de alta potencia   | 30            |
| 2.12 Óptica secundaria de un LED de alta potencia   | 30            |
| 2.13 Detalle del punto de contacto en un apagador   | 31            |
| 2.14 Dimmer Analógico   | 31            |
| 2.15 Interruptor termomagnético estándar  | 32            |
| 2.16 Sensor de presencia ultrasónico  | 33            |
| 2.17 Sensor de presencia pasivo infrarrojo  | 34            |
| 2.18 Sensor de presencia con tecnología dual  | 34            |
| 2.19 Sensor fotosensible de uso interior  | 35            |
| 2.20 Sensor fotosensible de uso exterior  | 35            |
| 2.21 Contactor trifásico  | 35            |
| 2.22 Temporizador electromecánico   | 36            |
| <br>  |               |
| 4.1 Localización de la Facultad de Contaduría y Administración.                                       | 46            |
| 4.2 Distribución del conjunto arquitectónico principal de la Facultad de Contaduría y Administración. | 47            |
| 4.3 Diagrama unifilar de los tableros presentes en los edificios analizados                           | 51            |
| 4.4 Tablero 1G con saturación de conductores  | 58            |
| 4.5 Tablero 1D con saturación de conductores  | 58            |
| 4.6 Conductores conectados a las zapatas principales del tablero 1B                                   | 59            |
| 4.7 Detalle de las barras, zapatas y conductores de entrada del tablero 3F                            | 59            |
| 4.8 Conductores con aislamientos quemados en el tablero 1D  | 60            |
| 4.9 Canalizaciones saturadas  | 60            |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 4.10 | Distribución porcentual del número de luminarias con control local y remoto                              | 63  |
| 4.11 | Detalle del tablero 3D en donde se aprecia que no se sigue el código de colores                          | 63  |
| 4.12 | Distribución de la carga   | 64  |
| 4.13 | Distribución porcentual de los distintos tipos de tecnologías para iluminación.                          | 64  |
| 4.14 | Distribución porcentual de la potencia eléctrica de los distintos tipos de tecnologías para iluminación. | 65  |
| 5.1  | Detalle de un panel refractor prismático presente en las luminarias de los edificios en estudio          | 75  |
| 5.2  | Luminaria T-5 2X28 W propuesta modelo SmartForm TCS460   | 75  |
| 5.3  | Superficies rectangulares para el cálculo del número de luminarias necesarias en el baño                 | 78  |
| 5.4  | Vista general de un aula de la Facultad de Contaduría y Administración                                   | 84  |
| 5.5  | Gráfica de isoluxes del plano de trabajo en el área del pasillo de entrada y escritorio                  | 84  |
| 5.6  | Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo del área de pupitres.                                       | 85  |
| 5.7  | Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en una oficina.   | 85  |
| 5.8  | Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en la sala de juntas.                                       | 86  |
| 5.9  | Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en la sala de cómputo.                                      | 87  |
| 5.10 | Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en la cafetería.  | 88  |
| 5.11 | Gráfica de isoluxes para el plano de trabajo en pasillos.  | 88  |
| 5.12 | Planos utilizados en escaleras para los cálculos del nivel de iluminación.                               | 89  |
| 5.13 | Plano de trabajo sobre el acceso a las escaleras.  | 89  |
| 5.14 | Plano de trabajo sobre el primer conjunto de escalones de la escalera mostrada en la figura 5.12.        | 90  |
| 5.15 | Superficie de cálculo sobre el descanso de la escalera   | 90  |
| 5.16 | Superficie de cálculo sobre el segundo conjunto de escalones de la escalera mostrada en la figura 5.12.  | 91  |
| 5.17 | Gráfica de isoluxes obtenida para los baños.   | 92  |
| 5.18 | Distribución luminosa obtenida para el almacén.  | 93  |
| 5.19 | Detalle del sistema eléctrico para iluminación propuesto en un salón de clase                            | 94  |
| 5.20 | Sistema eléctrico de iluminación para un pasillo.  | 95  |
| 5.21 | Sistema eléctrico de iluminación propuesto para los baños en los edificios de aulas                      | 96  |
| 5.22 | Sistema eléctrico propuesto para las luminarias en las escaleras de los edificios de aulas.96            | 96  |
| 5.23 | Plano de la instalación eléctrica de iluminación para la planta baja de los Edificios de Aulas A y B.    | 97  |
| 5.24 | Plano de la instalación eléctrica de iluminación para la planta baja de los Edificios de Aulas C y D.    | 98  |
| 5.25 | Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el primer nivel de los Edificios de Aulas A y B.   | 99  |
| 5.26 | Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el primer nivel de los Edificios de Aulas C y D.   | 100 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 5.27 | Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el segundo nivel de los Edificios de Aulas A y B   | 101 |
| 5.28 | Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el segundo nivel de los Edificios de Aulas C y D.  | 102 |
| 5.29 | Planos de la instalación eléctrica de iluminación para los tres niveles del Edificio F.  | 103 |
| 5.30 | Plano de la instalación eléctrica de iluminación para la panta baja del edificio de oficinas Administrativas.  | 104 |
| 5.31 | Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el primer nivel del edificio de oficinas Administrativas.  | 105 |
| 5.32 | Plano de la instalación eléctrica de iluminación para el segundo nivel del edificio de oficinas Administrativas.   | 106 |
| 5.33 | Instalación eléctrica para iluminación propuesta en el local de dirección de la Facultad de Contaduría y Administración                                  | 107 |
| 5.34 | Instalación eléctrica para iluminación propuesta para una oficina de 5.4X3.5 [m] de la Facultad de Contaduría y Administración                           | 108 |
| 5.35 | Instalación eléctrica para iluminación propuesta para una oficina de 5.4X2.8 [m] de la Facultad de Contaduría y Administración                           | 108 |
| 5.36 | Instalación eléctrica para iluminación propuesta para un baño de uso general en el edificio administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración | 108 |
| 5.37 | Comparación de la carga instalada para iluminación   | 111 |
| 5.38 | Distribución de la carga con el sistema propuesto  | 111 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|      | <b>TABLA</b>   | <b>PÁGINA</b> |
|------|--|---------------|
| 1.1  | Aplicaciones recomendadas y efectos asociados a la temperatura del color   | 6             |
| 3.1  | Densidades de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA)   | 40            |
| 3.2  | Niveles de iluminación   | 41            |
| 3.3  | Niveles de iluminación pedidos por la norma oficial universitaria  | 44            |
| 4.1  | Distribución de la población estudiantil de la Facultad de Contaduría y Administración.  | 48            |
| 4.2  | Comparación de niveles de iluminación recomendados   | 49            |
| 4.3  | Ubicación de los tableros de distribución  | 50            |
| 4.4  | Lámparas presentes en los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración  | 52            |
| 4.5  | Número de receptáculos encontrados en oficinas y aulas   | 53            |
| 4.6  | Número de locales con iluminación manejada por apagador o interruptor  | 54            |
| 4.7  | Número mínimo de mediciones a realizar   | 55            |
| 4.8  | Niveles de iluminación promedio  | 56            |
| 4.9  | DPEA calculado para los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración  | 57            |
| 4.10 | Tableros que presentan desbalance mayor a 10% entre sus fases.   | 61            |
| 4.11 | Circuitos con un interruptor inadecuado.   | 61            |
| 4.12 | Circuitos con una caída de tensión superior a 5%   | 62            |
| 4.13 | comparativa de los niveles de iluminación obtenidos y los establecidos por las Normas Oficial Universitaria (NOU) y Oficial Mexicana 025 de la Secretaría del Trabajo (NOM-025-STPS) | 66            |
| 4.14 | DPEA calculado para los tres niveles del edificio administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración   | 68            |
| 4.15 | DPEA calculado para los tres niveles del edificio A de la Facultad de Contaduría y Administración  | 69            |
| 4.16 | DPEA calculado para los tres niveles del edificio B de la Facultad de Contaduría y Administración  | 69            |
| 4.17 | DPEA calculado para los tres niveles del edificio C de la Facultad de Contaduría y Administración  | 69            |
| 4.18 | DPEA calculado para los tres niveles del edificio D de la Facultad de Contaduría y Administración  | 69            |

---

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 4.19 | DPEA calculado para los tres niveles del edificio F de la Facultad de Contaduría y Administración                         | 70  |
| 5.1  | Comparación de las características del conjunto lámpara-balastro del sistema existente y propuesto.                       | 74  |
| 5.2  | Coeficientes de utilización para la luminaria mostrada en la figura 5.2   | 76  |
| 5.3  | Coeficientes de utilización para la luminaria modelo “SmartForm TPS460” 1X28 W marca Philips.                             | 81  |
| 5.4  | Características de las luminarias propuestas  | 110 |
| 5.5  | Comparación de los niveles de iluminación del sistema actual y el sistema propuesto                                       | 112 |
| 5.6  | DPEA calculado para los tres niveles del edificio de Oficinas Administrativas.  | 113 |
| 5.7  | DPEA calculado para los tres niveles del edificio A de la Facultad de Contaduría y Administración                         | 113 |
| 5.8  | DPEA calculado para los tres niveles del edificio B de la Facultad de Contaduría y Administración                         | 113 |
| 5.9  | DPEA calculado para los tres niveles del edificio C de la Facultad de Contaduría y Administración                         | 114 |
| 5.10 | DPEA calculado para los tres niveles del edificio D de la Facultad de Contaduría y Administración                         | 114 |
| 5.11 | DPEA calculado para los tres niveles del edificio F de la Facultad de Contaduría y Administración                         | 114 |
| 5.12 | Costos del equipo de iluminación requerido para ejecutar el proyecto propuesto.   | 115 |
| 5.13 | Costos del material eléctrico requerido para sustituir el sistema eléctrico de alimentación para alumbrado.               | 116 |
| 5.14 | Costos de diseño y ejecución del proyecto   | 116 |
| 5.15 | Tarifa HM para la región central durante el año 2011  | 117 |
| 5.16 | Horarios de aplicación de las tarifas base, intermedia y punta durante el horario de verano.                              | 117 |
| 5.17 | Horarios de aplicación de las tarifas base, intermedia y punta durante el horario de invierno.                            | 118 |
| 5.18 | Costo de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación actual durante el 2011.                             | 119 |
| 5.19 | Costo anual de la energía eléctrica consumida por el sistema de iluminación propuesto, considerando precios del año 2011. | 119 |
| 5.20 | Costos anualizados de la energía y costos anualizados de mantenimiento  | 120 |

---

## BIBLIOGRAFÍA

- ◆ **Alfredo Adam Adam**, *Reseña Histórica de la Facultad de Contaduría y Administración*, Facultad de Contaduría y Administración, 2007.
- ◆ **Ángeles Mendieta Alatorre, Manuel Carrera Stampa**, *Historia de la Facultad de Contaduría y Administración*, Volumen 1, Universidad Nacional Autónoma de México, 1983.
- ◆ **BUN-CA**, *Manual Técnico de Iluminación*, 1ª Edición 2009, San José de Costa Rica. ISBN
- ◆ **Bticino**, *guía de especificación de detectores de presencia Watt Stopper*, Edición mexicana.
- ◆ **Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión**, *Ley Federal sobre Metrología y Normalización*, Diario Oficial de la Federación, última reforma publicada, 30 de abril de 2009.
- ◆ **ERCO**, *Guía Luminotécnica*, 2007.
- ◆ **Gilberto Enríquez Harper**, *El ABC de las Instalaciones Eléctricas Residenciales*, México Limusa 2008.
- ◆ **Holophane S.A. de C.V.**, *Principios de Iluminación*, 2009.
- ◆ **Illuminating Engineering Society of North America**, *The IESNA Lighting Handbook*, 9ª edición, Departamento de publicaciones IESNA, año 2000.
- ◆ **Indalux Iluminación Técnica S.L.**, *Manual de Luminotecnia Indalux*, España 2002.
- ◆ **Juan Alberto Adam Siade**, *Plan de Desarrollo de la Facultad de Contaduría y Administración Periodo 2009-2013*, Facultad de Contaduría y Administración 2009.
- ◆ **Leland T. Blank**, Anthony J. Tarquin, *Ingeniería Económica*, Cuarta Edición; MG GILL
- ◆ **Ministerio del Trabajo y Asuntos Sociales**, *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*, 3ª edición 1998, Madrid España
- ◆ **Oficina Nacional de Normalización**, *Iluminación de Puestos de Trabajo en Interiores* (ISO 8995:2002/CIE S 008-2001, IDT). 1ª edición octubre de 2003, La Habana Cuba.
- ◆ **Osram**, *Catalogo general de Luz 2009/2010*
- ◆ **Phillips Lighting de México**, *Catalogo General de Lámparas 2010/2011*, última impresión junio de 2010.
- ◆ **Secretaría de Energía**, *NOM-001-SEDE-2005 Instalaciones Eléctricas (Utilización)*, Diario Oficial de la Federación, 13 de marzo de 2006.

- ◆ **Secretaría de Energía, NOM-007-ENER-2004** *Eficiencia Energética En Sistemas De Alumbrado En Edificios No Residenciales*, Diario Oficial de la Federación, 15 de abril de 2005.
- ◆ **Secretaría de Energía, NOM-028-ENER-2010** *Eficiencia Energética para Lámparas de Uso General. Límites y Métodos de Prueba*, Diario Oficial de la Federación, 6 de diciembre de 2010.
- ◆ **Secretaría del Trabajo y Previsión Social, NOM-025-STPS-2008** *Condiciones De Iluminación En Los Centros De Trabajo*, Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2008.
- ◆ **UNAM Dirección General de Planeación, Agenda Estadística UNAM 2010.**
- ◆ **UNAM Proyectos de Ahorro de Energía (PAE), Facultad de Ingeniería, Norma Oficial Universitaria (Instalaciones Eléctricas)**, última actualización 29 de septiembre de 2009.
- ◆ **UNAM Proyectos de Ahorro de Energía (PAE), Facultad de Ingeniería, Planos eléctricos de los edificios de aulas y administrativo de la Facultad de Contaduría y Administración**, elaborados durante el periodo de octubre a diciembre del año 2010.
- ◆ **Universidad Tecnológica Nacional (UTN), Manual ELI de Iluminación**, Buenos Aires Argentina, 2002.