



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO  
E ILUMINACIÓN EN LAS TORRES DEL  
ESTADIO OLÍMPICO UNIVERSITARIO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELÉCTRICO ELECTRÓNICO**

ÁREA

**SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA**

PRESENTAN:

**ERICK JAVIER JIMÉNEZ TENORIO**

**JUAN CARLOS SÁNCHEZ OCAMPO**

**WILLIAMS LAVANA JIMÉNEZ**



**DIRECTOR DE TESIS**

**ING. ARMANDO LÓPEZ PARRA**

**AGOSTO 2011**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

*Agradecemos primeramente a Dios por bendecirnos a lo largo de toda la vida. A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por brindarnos la oportunidad de ser parte de ellas, a todos nuestros profesores que compartieron con nosotros sus conocimientos, ya que gracias a ellos hemos forjado las bases para este trabajo. También queremos agradecer a nuestro asesor el Ing. Armando López Parra por aceptar guiarnos en esta etapa, de igual manera al Ing. José Antonio Cervantes Montiel por incluirnos en este gran proyecto, a la DGOyC por abrirnos las puertas hacia este proyecto, a nuestro jurado por sus comentarios y aportaciones a este trabajo. Nos resta agradecer a todos los que nos apoyaron durante la realización de esta tesis.*

*Por sus enseñanzas y por el tiempo que nos dedicaron, gracias.*

## DEDICATORIAS

*Dedico este trabajo a mis Padres por alentarme en todo momento y siempre guiarme por el camino correcto, los amo. A mis Hermanos por estar siempre conmigo y confiar en mí. A mis Primos y Tíos por sus ánimos y consejos. A mis Amigos por nunca dejar que me sienta solo. Finalmente a Carlos y Williams por compartir este gran trabajo conmigo.*

*Erick Javier J.*

*Con cariño para mis Padres a los que amo con todo mi corazón, por brindarme su cariño y apoyo para cumplir mis metas, a mis hermanas que nunca me dejaron caer y siempre estuvieron a mi lado. A mis abuelos por fomentarme el hábito de trabajar y ser un hombre de bien, a todos mis tíos, primos y amigos que contribuyeron a mi formación en lo largo de mi vida, en especial a Erick y Williams por apoyarme en este proyecto.*

*Juan Carlos S.*

*A todas aquellas personas que a lo largo de mi vida contribuyeron para mi formación...  
A mi familia porque siempre me brindó su apoyo incondicional y porque siempre creyeron en mí...  
Pero sobre todo para mis padres, a quienes amo y que fueron mi motivo de llegar hasta aquí, porque gracias a ellos logro ser lo que ahora soy...*

*Williams L.*

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1 ILUMINACIÓN DE ESTADIOS	
1.1. ANTECEDENTES .....	4
1.2. NORMAS Y PARÁMETROS DE ILUMINACIÓN.....	8
1.3. PROYECTORES.....	10
1.4. MÉTODO DE LOS LUMENES .....	13
1.5. MÉTODO DEL PUNTO POR PUNTO	
CAPÍTULO 2 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN LAS TORRES DEL ESTADIO OLÍMPICO UNIVERSITARIO	
2.1. INSTALACIÓN Y TIPO DE LÁMPARA .....	19
2.2. NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	23
2.3. CARGA DEMANDADA POR EL ALUMBRADO .....	27
2.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	29
CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LAS TORRES DEL ESTADIO OLÍMPICO UNIVERSITARIO	
3.1. CARACTERÍSTICAS.....	35
3.2. ALIMENTACIÓN DE LAS SUBESTACIONES .....	39
3.3. SISTEMA DE TIERRAS DE LAS SUBESTACIONES.....	40
CAPÍTULO 4 ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN LAS TORRES DEL ESTADIO OLÍMPICO UNIVERSITARIO	
4.1. CARACTERÍSTICAS.....	43
4.2. SELECCIÓN DE LA LUMINARIA.....	45
4.3. ESTUDIO DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN.....	51
4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	56
CAPÍTULO 5 ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LAS TORRES DEL ESTADIO OLÍMPICO UNIVERSITARIO	
5.1. MODIFICACIONES Y NUEVO EQUIPO .....	58
5.2. CONDUCTORES Y CANALIZACIÓN .....	61

5.3. SISTEMA DE TIERRAS .....	64
CAPITULO 6    ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LAS TORRES DEL ESTADIO OLÍMPICO UNIVERSITARIO	
6.1. CARACTERÍSTICAS.....	75
6.2. ANTECEDENTES Y NECESIDADES.....	76
6.3. DISEÑO .....	81
CONCLUSIONES .....	97
ANEXOS .....	99
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS .....	123
BIBLIOGRAFÍA .....	126

## **INTRODUCCIÓN**

Ante la necesidad de contar con espacios adecuados para la práctica deportiva en las instalaciones de Ciudad Universitaria en la Ciudad de México, se determinó la construcción de un estadio que, por su modernidad y arquitectura, fuera un modelo para toda América Latina.

El 7 de agosto de 1950 inició la historia; se colocó la primera piedra de lo que hoy es el majestuoso Estadio Olímpico Universitario y que, el 20 de noviembre de 1952, abrió sus puertas con una ceremonia inaugural encabezada por el presidente Miguel Alemán y el rector Luís Garrido, para después, al filo de las 5:30 de la tarde, dar paso a los II Juegos Juveniles Nacionales.

El Estadio Olímpico Universitario se construyó con los más modernos adelantos tecnológicos de la época. Dotándosele de espacio suficiente para que en su entorno se edificaran canchas de calentamiento, una alberca, un gimnasio cerrado y un jardín botánico. Fue el primer edificio construido en lo que actualmente es Ciudad Universitaria.

El proyecto arquitectónico y la dirección estuvieron a cargo de los arquitectos Augusto Pérez Palacios, Raúl Salinas Moro y Jorge Bravo Jiménez, quienes contaron con la valiosa colaboración del entrenador de fútbol americano Roberto *Tapatío* Méndez y el profesor Jorge Molina Celis.

El Estadio Olímpico Universitario tiene capacidad para 68 mil 954 espectadores; tiene 42 túneles de acceso. La construcción que corona la tribuna del costado poniente del estadio en donde se ubican los controles del tablero electrónico, los palcos de prensa, radio y televisión, es conocida como "El Palomar".

El Estadio Olímpico Universitario ha sido sede de las finales nacionales de los Juegos Deportivos Juveniles, los clásicos del fútbol americano estudiantil Politécnico-Universidad y los XIX Juegos Olímpicos en el año de 1968.

Se han celebrado, además, dos ediciones de los Juegos Deportivos Centroamericanos y del Caribe, esto, en los años de 1954 y 1990. Así como también los Juegos Deportivos Panamericanos de 1955 y 1975. En 1977 se efectuaron los Juegos Deportivos Estudiantiles Centroamericanos y del Caribe y en 1979 se realizó la Universiada Mundial. Por si fuera poco, el Estadio Olímpico Universitario fue uno de los escenarios del Campeonato Mundial de Fútbol Soccer de 1986. Actualmente, este recinto universitario es la sede del equipo de fútbol soccer de Primera División de los Pumas, así como también del equipo de fútbol Americano de la UNAM.

Por toda esta historia, por los eventos importantes celebrados en él y como parte integrante del Primer Circuito Universitario de la **Ciudad Universitaria de la UNAM**, el 28 de junio de 2007 fue inscrita por la **UNESCO** en la lista de sitios que son Patrimonio cultural de la Humanidad.

La construcción de las gradas en el estadio fue diseñada de tal manera que se hiciera óptimo el ángulo visual de los espectadores sin importar el lugar en donde se encuentren. Para los encuentros nocturnos, al principio se tenían seis torres, ubicadas 3 por encima del ahora pebetero y tres más en la zona del palomar; con el paso del tiempo se modificó y en la actualidad cuenta con cuatro torres de alumbrado de aproximadamente 45 metros de altura con 1,670 lámparas incandescentes de cuarzo-yodo de 2,000 [W] cada una.

Cada torre de alumbrado está compuesta por dos subestaciones eléctricas, aunque, en total, son 14 las subestaciones instaladas en el Estadio Olímpico Universitario y su distribución es la siguiente: 8 se encuentran en las cuatro torres; el cuadro marcador, el pebetero, el palomar, los vestidores, la zona de prensa y el antiguo maratón cuentan, respectivamente, con una subestación eléctrica cada una de ellas. La subestación eléctrica antiguo maratón se encuentra ubicada en lo que antes era la entrada para atletas por debajo del cuadro marcador; garantizando así que nunca se quede sin energía eléctrica.

Dado que el problema principal radica en el consumo de energía eléctrica que se tiene en los eventos nocturnos, es importante tomar las medidas necesarias para tener un ahorro importante en esta línea, ya que existen los avances tecnológicos para poder analizar y realizar este proyecto que, desde varios años atrás, se ha estado planeado a través de propuestas e invitaciones por parte de varias empresas importantes líderes en el mercado. En suma. se cuenta con el presupuesto y la autorización por parte de las autoridades universitarias para llevarlo a cabo.

Dicho proyecto abarcará la actualización del sistema de iluminación, sistema eléctrico y sistema de protección contra descargas atmosféricas en las torres del Estadio Olímpico Universitario, para así, poder proporcionar la mejor calidad de iluminación a los deportistas y espectadores además de estar a la vanguardia en tecnología de iluminación.

Por ello. en esta tesis se realizará un estudio comparativo y de análisis de los actuales y futuros sistemas de electricidad e iluminación para la realización de los partidos de fútbol principalmente. Todo esto con la finalidad de optimizar el sistema de iluminación a nivel cancha y tribuna considerando la continuidad del sistema eléctrico, sus protecciones y los ahorros de energía eléctrica.



**Estadio Olímpico Universitario.**

## **CAPÍTULO 1**

### **ILUMINACIÓN DE ESTADIOS**

#### **1.1. ANTECEDENTES.**

Un estadio deportivo puede tener diferentes utilidades tales como la realización de partidos de fútbol, básquetbol, béisbol, fútbol americano, encuentros de box, deportes olímpicos, espectáculos musicales, espectáculos masivos u otros tipos de eventos, de manera que para cada uno de ellos se debe contemplar una iluminación especial. Una cancha de fútbol tiene dimensiones muy amplias y en todos los sectores, incluso en el plano vertical, debe cumplir con niveles de iluminación que permitan el mejor espectáculo.

El objetivo de iluminar instalaciones deportivas, como los estadios de Fútbol, es ofrecer un ambiente adecuado para la práctica y disfrute de actividades deportivas por parte de jugadores y público. Lógicamente, las exigencias variarán según el tipo de instalación que se requiera (recreo, entrenamiento o competición) y el nivel de actividad (amateur, profesional y/o transmisión por televisión).

Contar con una buena iluminación en este tipo de instalaciones permite que los jugadores y demás objetos en movimiento sean perfectamente visibles independientemente de su tamaño, posición en el campo, velocidad y trayectoria. Para ello, son importantes los niveles de iluminación tanto horizontal como vertical. Esto es debido a que debe pensarse en una iluminación que cumpla en ambos planos, es decir, que alumbre al jugador en un ángulo de 360 grados. Y, todo esto, es con el fin de que el jugador pueda ver bien al frente, atrás y hacia arriba para los balones en alto. De este modo, se asegura que jugadores, árbitros y cámaras de televisión desempeñen mejor su trabajo.

**La iluminancia horizontal ( $E_H$ )** es una medida de iluminación que está referida al plano horizontal; en este caso son las medidas registradas sobre la cancha. Estos niveles de iluminación determinan el estado de adaptación de ojo del observador y constituye el fondo visual sobre el cual se desarrollan las acciones, en este plano horizontal es necesario alcanzar un nivel de iluminación uniforme óptimo, así como un valor de Iluminancia Media ( $E_M$ ). Para medir este tipo de iluminancia se requiere trazar una rejilla de 10m x 10m sobre el terreno de juego, dicha rejilla es distribuida uniformemente como base para recopilar estas mediciones ( $\zeta$ ) y calcular la iluminación máxima/mínima/media del campo de juego<sup>1</sup>.

**La iluminancia vertical ( $E_V$ )** a nivel de campo es la cantidad de iluminación que recibe la superficie vertical de los jugadores a una altura de 1.5m sobre la superficie del terreno de juego. Ésta iluminación ayuda a presentar detalles del primer plano de los jugadores (particularmente sus rostros), por lo que los valores de iluminación en los planos verticales influyen mucho en la calidad de las transmisiones de TV. Dichos valores también influyen en la correcta visión del balón cuando este alcanza diferentes alturas en el terreno de juego; Las iluminancias verticales se consideran únicamente cuando se tiene una participación de los medios de comunicación audiovisuales.

La iluminación en la cancha debe asegurar una buena uniformidad en los niveles de iluminancia horizontal y vertical con el propósito de evitar que tanto los espectadores, como los medios de comunicación, se vean forzados a realizar ajustes de imagen. El **coeficiente de uniformidad** se expresa como la relación entre el valor de iluminancia mínima y máxima ( $U_1$ ), o una relación entre el valor de iluminancia mínima y media ( $U_2$ ). Esto es:

$$U_1 = \frac{E_{mínima}}{E_{máxima}}, \quad U_2 = \frac{E_{mínima}}{E_{media}} \quad (1.1)$$

---

<sup>1</sup> De acuerdo a la publicación oficial de la FIFA, Estadios de Fútbol, Recomendaciones técnicas y requisitos, Cuarta Edición, 2007.

Al iluminar un espacio deportivo en el cual se desarrollan actividades de alto desempeño físico, se corre el riesgo que ocurra un deslumbramiento a causa de la iluminación artificial, por lo que se requiere que los proyectores se encuentren correctamente direccionados para que éstos no interfieran en el desempeño del deportista.

Para evitar dichos problemas de deslumbramiento, se deben tomar medidas como instalar luminarias apantalladas, reducir el número de puntos de luz agrupando los proyectores, o, evitar colocarlos perpendicularmente a la línea de visión principal. Es conveniente montar las fuentes de luz a una altura adecuada. Para el caso de instalaciones exteriores y visto desde el centro del campo, el ángulo formado por el plano horizontal y el eje de cualquier proyector de la batería debe ser superior a  $25^\circ$ . Tal como se muestra en la figura 1.1.

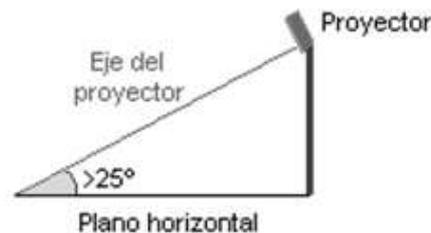


Figura 1.1 Altura de montaje de luminarias

Las lámparas a utilizar dependerán de la finalidad de la instalación. En espacios deportivos, se usan lámparas de HID<sup>2</sup>, pero por sus características de luz fría (3600 - 4900°K), excelente rendimiento del color y alta eficiencia, se emplean lámparas de aditivos metálicos.

Las luminarias, en instalaciones para la iluminación de estadios, se disponen normalmente en torres colocadas en los laterales, esquinas del campo o en una combinación de ambas. En el primer caso, se emplean proyectores rectangulares cuya proyección sobre el terreno tiene forma trapezoidal obteniendo como valor

---

<sup>2</sup> HID (High Intensity Discharge) Lámparas de Alta Intensidad de Descarga.

añadido un buen modelado de los cuerpos. En el segundo caso, se emplean los circulares que dan una proyección en forma elíptica. Ver figura 1.2.

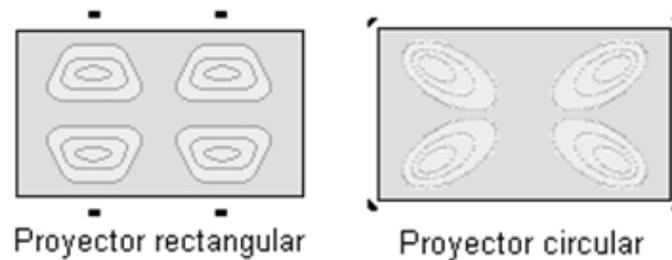


Figura 1.2 Tipos de proyecciones.

A continuación, en la figura 1.3, se pueden observar algunos ejemplos de disposiciones típicas de proyectores en instalaciones de campo de fútbol.

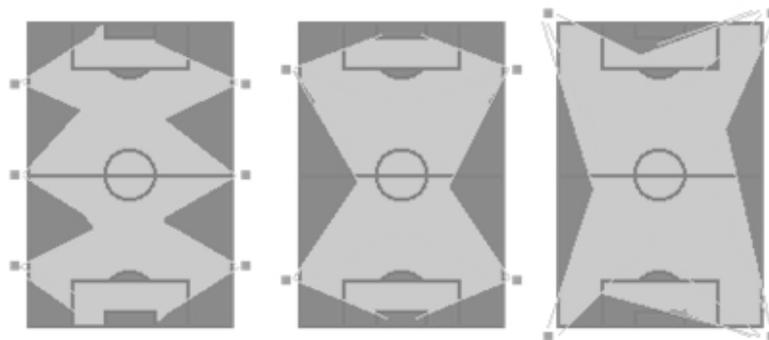


Figura 1.3 Disposiciones de proyectores.

Para garantizar que espectadores y medios de transmisión audiovisual tengan una buena apreciación de lo que sucede en el terreno de juego, es necesario que se tenga una buena percepción del color. Esto se lleva a cabo teniendo buenos parámetros de temperatura y rendimiento del color. La **temperatura del color** describe la sensación de caliente (rojo) y frío (azul) de acuerdo al tipo de iluminación y se mide en grados Kelvin (K), mientras que el **rendimiento del color** ( $R_a$ ), es la capacidad de una fuente de iluminación artificial de reproducir iluminación natural y se mide en una escala de 0 a 100.

## 1.2. NORMAS Y PARÁMETROS DE ILUMINACIÓN

La Federación Internacional de Fútbol Asociado (**FIFA**)<sup>3</sup> estableció para la Copa Mundial jugada en Alemania en 2006 que el nivel promedio de iluminación en cancha debería ser de 2500 luxes y, para el de Sudáfrica 2010, de 3500 luxes. El organismo deportivo establece este tipo de exigencias porque se respalda en los avances tecnológicos que se suceden frecuentemente, pero también porque así lo piden las transmisiones televisivas en Alta Definición y de la misma manera, los jugadores y árbitros. Sin embargo, también incluye criterios para eventos que no son transmitidos en alta definición.

En la tabla 1.1 se muestran los niveles de iluminación necesarios para realizar un evento transmitido en alta definición. En ella, se incluyen los valores de las iluminancias verticales, horizontales, los coeficientes de uniformidad y propiedades de las lámparas. Todo esto de acuerdo a las normas de la FIFA.

Actividad		Iluminancia Vertical			Iluminancia Horizontal			Propiedades de la lámpara	
		Lux	$U_1$	$U_2$	Lux	$U_1$	$U_2$	Temperatura del color [°K]	Rendimiento del color [ $R_a$ ]
Inter-nacional	Cámara fija	2,400	0.5	0.7	3,500	0.6	0.8	> 4,000	≥ 65
	Cámara a nivel campo	1,800	0.4	0.65					
Nacional	Cámara fija	2,000	0.5	0.65	2,500	0.6	0.8	> 4,000	≥ 65
	Cámara a nivel campo	1,400	0.35	0.6					

Tabla 1.1 Niveles de iluminación para transmisiones en HD. Fuente FIFA

<sup>3</sup> Fédération Internationale de Football Association (Federación Internacional de Fútbol Asociación).

Para eventos que no son transmitidos en alta definición se tienen niveles de iluminación diferentes a los mostrados en la tabla 1.1 pues, para este caso, las exigencias de iluminación son menores. En la tabla 1.2 se muestran los niveles de iluminación, de acuerdo a normas de la FIFA.

Actividad	Iluminancia [ $lux$ ]	Coeficiente de uniformidad		Propiedades de la lámpara	
	$E_H$ media	$U_1$	$U_2$	Temperatura del color [ $^{\circ}K$ ]	Rendimiento del color [ $R_a$ ]
Nacionales	750	0.5	0.7	> 4,000	$\geq 65$
Ligas y clubes	500	0.4	0.6	> 4,000	$\geq 65$
Entrenamientos	200	0.3	0.5	> 4,000	$\geq 65$

Tabla 1.2 Niveles de iluminación no transmitidos en HD. Fuente FIFA

Otras entidades que rigen el deporte en el mundo igualmente evalúan sus lineamientos en iluminación y establecen las normas a seguir en sus respectivos eventos por las mismas razones que lo hacen en el Fútbol.

Para iluminar un estadio de fútbol hay que tener en cuenta a quiénes participan en el espectáculo; desde los 22 jugadores y los tres árbitros en una cancha de 100 metros por 70, hasta a los espectadores de sitio y de televisión y, para todos ellos, hay que tomar en cuenta los niveles de iluminación para que el juego sea correctamente apreciado.

En cuanto a las normas nacionales aplicables a este tipo de iluminación, se encuentra la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004 en la cual se indica un valor de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) medido en [ $W/m^2$ ] para establecer niveles de eficiencia energética que se deben cumplir en edificios no residenciales.

Para el caso de espacios deportivos, ésta norma indica un DPEA de 46.2  $[W/m^2]$  para una cancha deportiva<sup>4</sup>. La forma de calcular el DPEA se expresa de la siguiente manera:

$$DPEA = \frac{CARGA\ TOTAL\ CONECTADA\ PARA\ EL\ ALUMBRADO}{AREA\ TOTAL\ ILUMINADA} \quad (1.2)$$

Finalmente, se deben conocer las necesidades presentes y futuras del estadio para dar una solución. La **FIFA** puede recomendar a quién ha realizado la mejor iluminación de estadios en el mundo, pero ella no certifica como diseñador porque no es una entidad experta en la materia; el certificado sobre el conocimiento de uno o varios temas lo otorgan instituciones de renombre mundial que congregan a los expertos como **IESNA**<sup>5</sup>, **IALD**<sup>6</sup>, **PLDA**<sup>7</sup> aunque estas organizaciones no te avalan como iluminador de estadios, pero si, en que tienes el conocimiento para llevar a cabo una obra de este tipo.

### 1.3. PROYECTORES

Un proyector es una luminaria que concentra la luz en un determinado ángulo sólido mediante un sistema óptico (espejos o lentes) para conseguir una intensidad luminosa elevada en alguna zona.

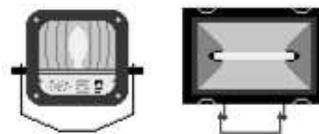


Figura 1.4 Tipos de proyectores.

<sup>4</sup> El valor mencionado de DPEA para canchas deportivas se incluyó en la NOM-007-ENER-2004 con el único fin de orientar en este tipo de espacio de acuerdo a su uso, y se está analizando considerarlo incluirlo a futuro en la norma (Ver Anexo 2).

<sup>5</sup> Illuminating Engineering Society of North America (Sociedad de Ingeniería en Iluminación de Norteamérica).

<sup>6</sup> International Association of Lighting Designers (Asociación Internacional de Diseñadores en Iluminación).

<sup>7</sup> Professional Lighting Designers' Association (Asociación Profesional de Diseñadores en Iluminación).

Los proyectores se clasifican según la apertura o dispersión del haz de luz que se define como el ángulo comprendido entre las dos direcciones en que la intensidad luminosa cae en un determinado porcentaje (usualmente el 10% o el 50%) del valor máximo que hay en el centro del haz donde la intensidad es máxima, tal como se observa en la figura 1.5.

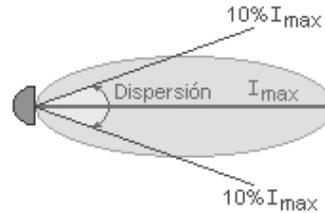


Figura 1.5 Dispersión del haz de luz.

En la tabla 1.3 se muestra la clasificación de las luminarias según la apertura del haz de luz.

Tipo de apertura	Apertura del haz en grados (50% <i>Intensidad<sub>máx</sub></i> )
Pequeña	< 20
Mediana	Entre 20 y 40
Grande	> 40

Tabla 1.3 Clasificación de las luminarias de acuerdo a la apertura del haz de luz.

La forma de la distribución del haz de luz depende del tipo de proyector. Así, en los proyectores circulares puede ser cónico o cónico ligeramente asimétrico, obteniéndose una proyección elíptica sobre las superficies iluminadas. Mientras, en los rectangulares suele ser simétrica en los planos horizontal y vertical. Aunque en éste último plano también puede ser asimétrica y la proyección obtenida tiene entonces forma trapezoidal. Ver figura 1.6.

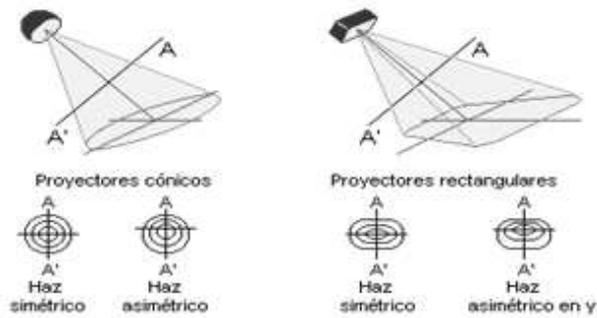


Figura 1.6 Forma de distribución del haz dependiendo el tipo de proyector.

Para la denominación de un proyector basta indicar los ángulos de abertura en sus planos de simetría (vertical y horizontal normalmente). Por ejemplo, 10°/40° indica un proyector que tiene en el plano vertical 5° a cada lado del eje central y 20° en cada lado en el plano horizontal, tal y como se muestra en la figura 1.7.

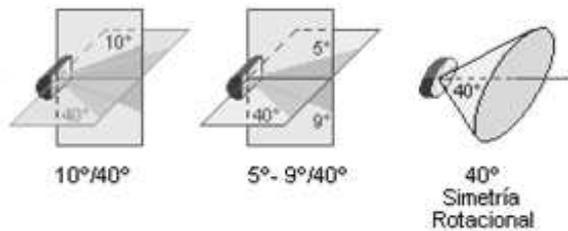


Figura 1.7 Ángulos de abertura.

Finalmente, la eficacia del haz en porcentaje se puede determinar como la relación entre los lúmenes contenidos dentro de la abertura del haz (lúmenes del haz) y los lúmenes de la lámpara en tanto por ciento.

$$Eficacia\ del\ haz\ [\%] = \frac{Lumenes\ del\ haz}{Lumenes\ de\ la\ lampara} \quad (1.3)$$

El cálculo del número de proyectores necesarios es sencillo y se realiza con el método de los lúmenes. Si se requiere más precisión, como en transmisiones deportivas por TV, se puede recurrir al método del punto por punto. Sin embargo, para grandes instalaciones, tales como estadios deportivos u otras análogas, existen programas mediante los cuales los cálculos resultan ser de menor complejidad.

## 1.4. MÉTODO DE LOS LUMENES

Este método es el más sencillo de utilizar para calcular el número de luminarias en una instalación, y esta expresado con la fórmula 1.4:

$$N = \frac{E_m \cdot S}{\Phi \cdot CBU \cdot f_m} \quad (1.4)$$

Donde:

$N$  número de proyectores necesarios.

$E_m$  iluminancia media recomendada para cada aplicación.

$S$  superficie a iluminar en  $m^2$ .

$\Phi$  flujo luminoso de un proyector en lúmenes<sup>8</sup>

$CBU$  Coeficiente de Utilización del Haz (*Coefficient of Beam Utilization*) que se define como la relación entre los lúmenes que llegan a la superficie iluminada y los lúmenes del haz. Su valor oscila entre 0.6 y 0.9.

$f_m$  factor de mantenimiento cuyo valor está entre 0.65 y 0.80. Sirve para cuantificar la disminución del flujo luminoso por el envejecimiento de las lámparas y por la suciedad acumulada en éstas y el proyector.

Una vez realizados los cálculos conviene hacer una comprobación de los resultados para verificar la validez de los resultados. Para ello, se recurre a comparar el valor obtenido de la iluminancia media con el valor de iluminancia media recomendado. Otros parámetros de calidad que se acostumbra a utilizar son la iluminancia media ( $E_m$ ) de la instalación y el coeficiente de uniformidad medio ( $E_{min}/E_m$ ).

$$E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} \quad (1.5)$$

Donde:

$n$  número de lámparas por luminaria.

$\Phi_L$  flujo luminoso de una lámpara.

$\eta$  factor de utilización.

---

<sup>8</sup> El lumen es una unidad de medición de flujo luminoso, cuando se habla de lúmenes en una superficie equivale a emplear lux; 1[lux]=1[lm/m<sup>2</sup>].

## 1.5. MÉTODO DEL PUNTO POR PUNTO

El método de los lúmenes es una forma muy práctica y sencilla de calcular el nivel medio de la iluminancia en una instalación de alumbrado general. Pero ¿Qué pasa si se quiere conocer cómo es la distribución de la iluminación en donde la luz no se distribuye uniformemente? En estos casos se emplea el método del punto por punto que permite conocer valores de la iluminancia en puntos específicos.

Considerando que la iluminancia en un punto es la suma de los componentes de la luz provenientes 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)

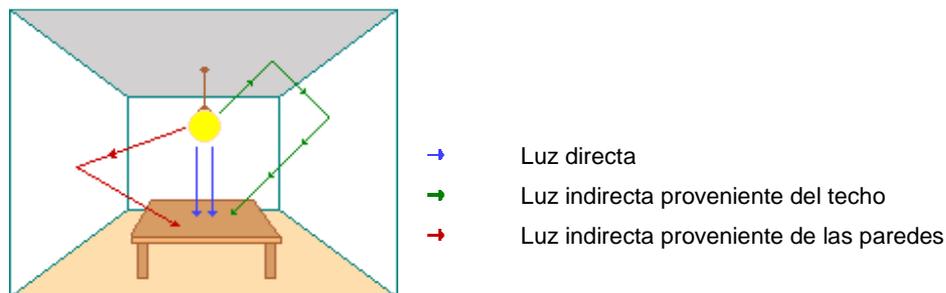


Figura 1.8 Componentes de la luz.

Como se observa en la figura 1.8, 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.

Ahora bien, para utilizar el método del punto por punto, necesitamos conocer previamente las características fotométricas de las lámparas y luminarias empleadas, la disposición de las mismas, así como también la altura de estas sobre el plano de trabajo. Una vez conocidos todos estos elementos podemos empezar a calcular las iluminancias.

Se pueden considerar como fuentes de luz puntuales a las lámparas incandescentes y de descarga que no sean los tubos fluorescentes. Mientras se tenga una mayor cantidad de puntos calculados sobre la superficie a iluminar más información se tiene sobre la distribución de la luz. Esto es particularmente importante si trazamos las curvas isolux<sup>9</sup> de la instalación.

Como ya se ha mencionado, la iluminancia horizontal en un punto se calcula como la suma de la componente de la iluminación directa más la de la iluminación indirecta. Por lo tanto:

$$E_H = E_d + E_i \quad (1.6)$$

Donde:

- $E_H$  iluminancia horizontal.
- $E_d$  componente de iluminación directa.
- $E_i$  componente de iluminación indirecta.

$$E_H = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2}, \quad E_V = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2} \quad (1.7)$$

$$E = \sqrt{E_H^2 + E_V^2} \quad (1.8)$$

Donde:

- $E_V$  iluminancia vertical.
- $I$  intensidad luminosa.
- $\alpha$  ángulo de incidencia.
- $h$  altura de la lámpara.

En la figura 1.10 se puede observar los componentes necesarios para calcular las iluminancias verticales y horizontales a partir de la ubicación de la fuente de iluminación.

---

<sup>9</sup> Las curvas isolux se obtienen a partir de las características de la fuente luminosa y brindan información sobre la forma y magnitud de la emisión de esta.

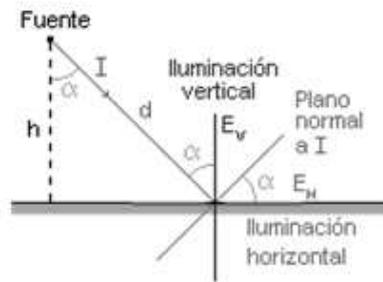


Figura 1.9 Componentes de las iluminancias verticales y horizontales.

En general, si un punto está iluminado, por más de una lámpara, su iluminancia total es la suma de las iluminancias recibidas. Tal como se muestra en las siguientes ecuaciones.

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^3 \alpha_i}{h_i^2}, \quad E_V = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot \sin \alpha_i}{h_i^2} \quad (1.9)$$

El valor de la intensidad luminosa se puede obtener a partir del diagrama de intensidad luminosa de la luminaria referido a un metro de longitud de la fuente de luz. En el caso de un tubo fluorescente desnudo, la intensidad luminosa puede calcularse a partir del flujo luminoso por metro según la fórmula 1.10:

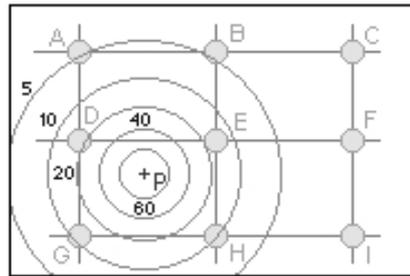
$$I = \frac{\Phi}{9.25} \quad (1.10)$$

El cálculo de las iluminancias horizontales empleando las curvas isolux permite obtener las iluminancias horizontales en cualquier punto del plano de trabajo de forma rápida y directa. Para ello se necesita:

1. Las curvas isolux de la luminaria suministradas por el fabricante.
2. La planta del local con la disposición de las luminarias dibujada con la misma escala que la curva isolux.

El procedimiento de cálculo se realiza de la siguiente manera: Sobre el plano de la planta se sitúa el punto o los puntos en los que se quiere calcular la iluminancia,

después, se coloca el diagrama isolux sobre el plano de tal manera que el centro coincida con el punto y se suman los valores relativos de las iluminancias debidas a cada una de las luminarias que se han obtenido a partir de la intersección de las curvas isolux con las luminarias. En la figura 1.10 se muestra un ejemplo para un sistema de iluminación con 9 luminarias.



Luminaria	A	B	C	D	E	F	G	H	I	TOTAL
Iluminancia [Lux]	4	4	0	19	19	0	12	10	0	$E_T = 68[lux]$

Figura 1.10 Cálculo de iluminancias usando curvas isolux.

Finalmente, los valores reales de las iluminancias en cada punto se calculan a partir de los relativos obtenidos de las curvas aplicando la fórmula 1.11:

$$E_{H\ real} = E_{curvas} \cdot \frac{\Phi_{L\ real}}{1000 \cdot h^2} \quad (1.11)$$

También puede expresarse en valores relativos a la iluminancia máxima (100%) para cada altura de montaje. Los valores reales de la iluminancia se calculan entonces como:

$$E_{real} = E_{curvas} \cdot E_{m\acute{a}x}, \quad \text{donde } E_{m\acute{a}x} = a \cdot \frac{\Phi_{L\ real}}{h^2} \quad (1.12)$$

Donde 'a' es un parámetro que se obtiene a través de las graficas.

Para calcular la componente indirecta o reflejada en un punto, se conjetura 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:

$$E_{indirecta} = E_{ind H} = E_{ind V} = \frac{\Phi}{F_T} \cdot \frac{\rho_m}{1 - \rho_m} \quad (1.13)$$

Donde:

$F_T$  es la suma de las áreas de todas las superficies del local.

$\rho_m$  es la reflectancia media de las superficies del local.

El valor de la reflectancia media se determina mediante la siguiente expresión:

$$\rho_m = \frac{\sum_n \rho_i \cdot F_i}{\sum_n F_i} \quad (1.14)$$

Donde:

$\rho_i$  es el valor de reflectancia en la superficie  $F_i$ .

De esta manera, se ha hablado ya de dos métodos para el cálculo de nuestra instalación. En éste estudio se empleará el método de los lúmenes para determinar la cantidad de luminarias para cada una de las cuatro torres con las que cuenta el EOU<sup>10</sup>. En el capítulo 4 se muestra el cálculo para el método del punto por punto, así como los niveles de iluminación requeridos cumpliendo con las normas Mexicanas y de la FIFA para espacios deportivos.

---

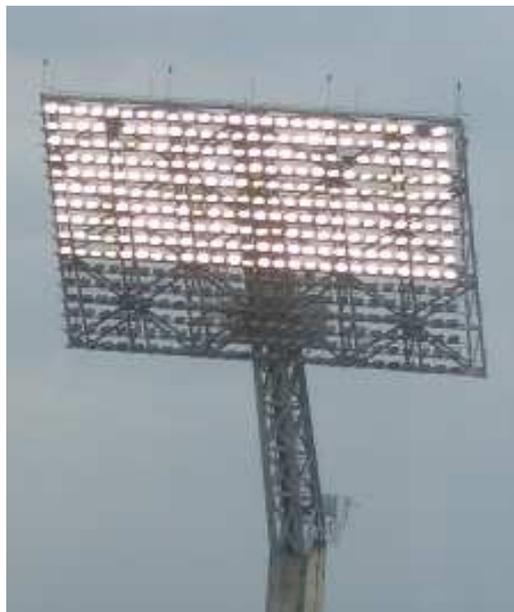
<sup>10</sup> Abreviatura de Estadio Olímpico Universitario.

## **CAPÍTULO 2**

### **ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN LAS TORRES DEL EOU**

#### **2.1. INSTALACIÓN Y TIPO DE LÁMPARA**

El sistema de iluminación de las torres del Estadio Olímpico Universitario cuenta con los niveles de iluminación adecuados para la práctica de cualquier tipo de evento deportivo, sin embargo, estos niveles de iluminación no cumplen con los valores que pide la normatividad de la FIFA. La instalación cuenta con 416 luminarias por cada una de las torres, tal como se muestra en la figura 2.1, en total estamos hablando de 1664 luminarias instaladas; la mayoría son principalmente lámparas tipo cuarzo de 2000 [W] y sólo algunas de 1500 [W]. El principio de funcionamiento de estas lámparas es el ciclo de regeneración yodo-tungsteno, que, a continuación, vamos a explicar resumidamente.



**Figura 2.1 Luminarias por torre.**

Las lámparas incandescentes, a causa de la evaporación del filamento de tungsteno, tienen una vida útil limitada y, además, el flujo luminoso disminuye como consecuencia del progresivo ennegrecimiento de la pared de la ampolla, que es la protección de la lámpara contra cambios atmosféricos. Este ennegrecimiento depende, en muy buena parte, de las dimensiones de la ampolla: cuanto menor es ésta, mayor es el ennegrecimiento. Una buena solución es la regeneración, a lo menos parcial, del tungsteno vaporizado, de esta manera se aumenta la duración de la lámpara y se disminuye el ennegrecimiento, lo que permite, por otro lado, menores dimensiones de la ampolla.

Añadiendo al contenido de la ampolla una pequeña cantidad de yodo vaporizado puede conseguirse la regeneración parcial del filamento de tungsteno. Los átomos de tungsteno evaporados en el filamento se combinan a temperaturas inferiores a  $1450^{\circ}\text{C}$  (zona próxima a las paredes de la ampolla) con el vapor de yodo formando yoduro de tungsteno. Éste se mantiene vaporizado cuando la temperatura es superior a  $250^{\circ}\text{C}$  y, debido a las corrientes de convección térmica, entra en las zonas de altas temperaturas próximas al filamento, en donde se descompone, precipitando el tungsteno sobre dicho filamento y, de esta manera, regenerando el material incandescente, al mismo tiempo que el vapor de yodo queda liberado y en disposición de reiniciar el ciclo de regeneración.

Las lámparas con las que cuenta cada una de las torres, están divididas en 16 hileras con 26 lámparas cada una, tal como se puede apreciar en la figura 2.1. La operación del sistema de iluminación se realiza manualmente a través de interruptores termomagnéticos ubicados en un gabinete instalado en la base de la estructura de cada torre. El control de encendido y apagado de las lámparas se realiza desde el cuarto de control ubicado en el “Palomar”, donde se cuenta con una tablero con relevadores para cada torre. En la figura 2.2 se muestran dos de los cuatro gabinetes en los cuales se controla el encendido y apagado de las lámparas, en esta figura se puede apreciar los indicadores de encendido para cada uno de los 12 circuitos de cada torre.

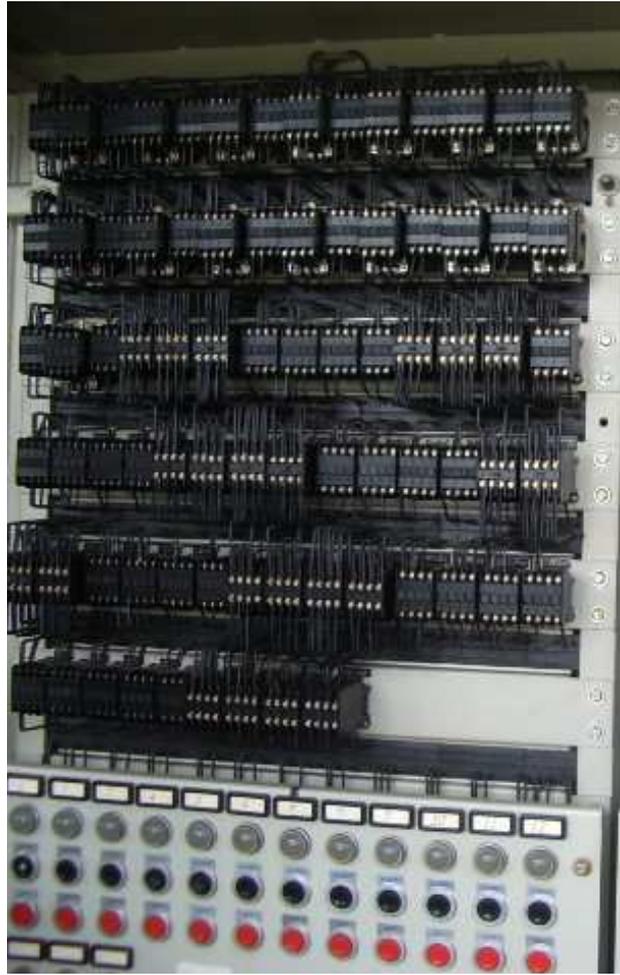
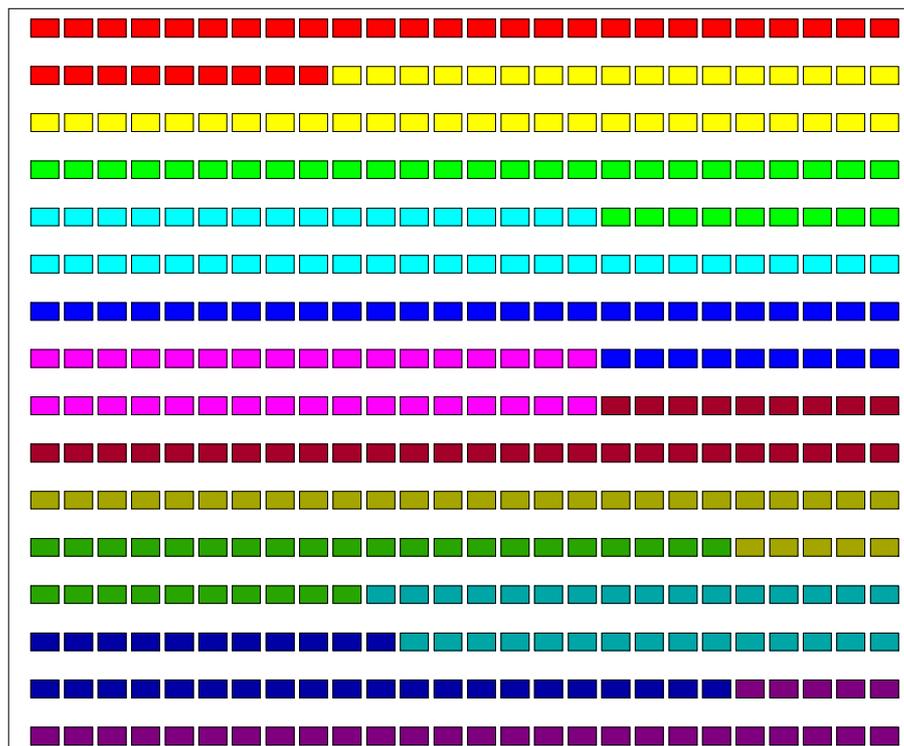


Figura 2.2 Gabinete de control "Palomar".

El sistema de luminarias por cada torre se encuentra dividido en 12 circuitos que controlan entre 36 y 43 lámparas cada uno de ellos, tal y como se muestra en el siguiente diagrama, donde se muestra la distribución de cada uno de los 12 circuitos dentro de la estructura de la torre. La distribución en cada una de las torres es la misma, por esta razón en la figura 2.3 se muestra de manera general la distribución de los circuitos en cada torre.



<span style="color: red;">■</span>	CIRCUITO 1	<span style="color: darkred;">■</span>	CIRCUITO 7
<span style="color: yellow;">■</span>	CIRCUITO 2	<span style="color: olive;">■</span>	CIRCUITO 8
<span style="color: green;">■</span>	CIRCUITO 3	<span style="color: forestgreen;">■</span>	CIRCUITO 9
<span style="color: cyan;">■</span>	CIRCUITO 4	<span style="color: teal;">■</span>	CIRCUITO 10
<span style="color: blue;">■</span>	CIRCUITO 5	<span style="color: navy;">■</span>	CIRCUITO 11
<span style="color: magenta;">■</span>	CIRCUITO 6	<span style="color: purple;">■</span>	CIRCUITO 12

Figura 2.3 Circuitos por Torre

El modo de operación del encendido y apagado de las luminarias se explica a continuación: desde el cuarto de control se manda la señal a cada una de las subestaciones, de acuerdo a la torre y circuito que se desee encender; ahí en este punto llega a un gabinete de contactores que con la alimentación de la subestación<sup>11</sup> manda la señal a otro gabinete que está situado en cada una de las torres, de donde también se puede manipular el encendido de lámparas por medio de interruptores. En este gabinete los luminarias también están divididos en circuitos (12 como se había mencionado), pero cada circuito cuenta con 9

<sup>11</sup> La alimentación de los contactores para cada una de las torres del estadio se puede energizar a través de la compañía suministradora, o bien, por medio de la planta de emergencia.

interruptores, o sea, que cada uno de estos interruptores controla en promedio 3 lámparas.

Cabe resaltar que éste sistema con el que se cuenta, es el segundo en la historia del Estadio Olímpico Universitario ya que en un principio se contaban con 6 torres de alumbrado, 3 encima del palomar y 3 más del lado contrario, en lo que ahora es el “Pebetero”. Pero este sistema fue sustituido para las Olimpiadas de México 68, así que no se cuenta con mucha información acerca de esto, puesto que ni siquiera existen planos que nos puedan revelar información<sup>12</sup>.

De ésta manera es como se encuentra actualmente el control de las luminarias de las torres del Estadio de CU; aunque no se han presentado complicaciones importantes, se sabe que por el tiempo que tiene éste tipo de equipo ya necesitan un cambio, como, por ejemplo, los interruptores que ya están duros (algunos) ocasionando que cueste un poco de trabajo el cerrarlos o abrirlos. Sin dejar de mencionar a los relevadores que, de igual manera, necesitan mantenimiento<sup>13</sup>.

## **2.2. NIVELES DE ILUMINACION**

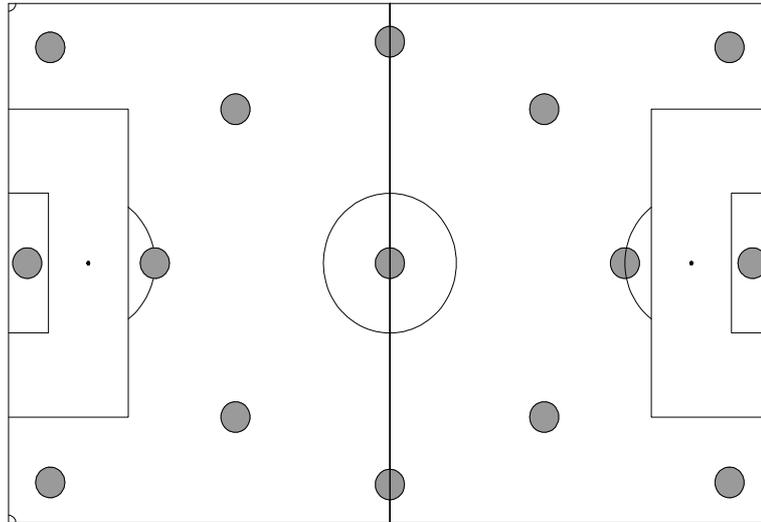
Para proporcionar el mejor ambiente, la mejor visión al jugador y espectador, durante el desarrollo del partido, es necesario cumplir con las normas de iluminación; para comprobarlo se realizaron mediciones de los niveles de Iluminación por parte del PAE<sup>14</sup> el día martes 27 de noviembre de 2007. Estas mediciones fueron tomadas en diferentes puntos de la cancha, que, con base a la Federación Mexicana de Fútbol, son destacados para la realización de esta actividad deportiva a partir de la siguiente distribución:

---

<sup>12</sup> Se consultaron diversas fuentes de información, sin embargo en ninguna de ellas aparecían datos que nos revelaran características eléctricas, aunque si se cuenta con imágenes que revelan la cantidad de torres de alumbrado del Estadio Olímpico Universitario.

<sup>13</sup> Se realizaron varias inspecciones dirigidas al sistema de control eléctrico de las luminarias en las torres del Estadio, una de ellas realizada el día 28 de septiembre de 2009.

<sup>14</sup> Proyectos de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.



**Figura 2.4 Distribución de los puntos para medición de los niveles de iluminación.**

De acuerdo a la figura 2.4 los puntos necesarios para realizar las mediciones y obtener los niveles de iluminación en la cancha están distribuidos a partir de la información de la tabla 2.1.

Ubicación	Tiros de esquina	Porterías	Media luna	Media cancha	A 20 m del área grande
Puntos	4	2	2	3	4

**Tabla 2.1 Distribución de los puntos para medición de los niveles de iluminación.**

Con base a las mediciones realizadas por el PAE el día 27 de noviembre de 2007, ver figura 2.5, se obtuvieron los siguientes datos: luminarias inservibles por torre y niveles de iluminación variando la cantidad de circuitos. Tal como se muestra en la tabla 2.2.

Hileras / luminarias / hora	Luminarias inservibles por torre				Niveles de iluminación [Luxes]		
	Torre 1	Torre 2	Torre 3	Torre 4	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>6 hileras 156 luminarias 23:15 hrs</b>	1	4	6	5	167	354	244
<b>10 hileras 260 luminarias 23:30</b>	3	8	8	10	293	579	405
<b>13 hileras 338 luminarias 23:45</b>	3	13	11	12	381	728	536
<b>16 hileras 416 luminarias 24:00</b>	3	21	17	12	421	888	598

Tabla 2.2 luminarias inservibles y niveles de iluminación (27-11-07).

En la tabla 2.2r se puede apreciar que el valor de iluminancia promedio, cuando se encuentran encendidas todas las luminarias, es de 598 luxes. Sin embargo, la norma de la FIFA menciona que se requieren de por lo menos 500 lux para partidos nacionales de liga y clubes<sup>15</sup> y además que el coeficiente de uniformidad sea de  $U_1 = 0.4$  y  $U_2 = 0.6$ ; el cual al calcularlo para éste caso particular nos resulta de  $U_1 = 0.47$  y  $U_2 = 0.70$  cumpliendo con la especificado por la normatividad de FIFA.

$$U_1 = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \frac{421}{888} = 0.47, \quad U_2 = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}} = \frac{421}{598} = 0.704 \quad (2.1)$$

Sin embargo, como se mencionará más adelante en este capítulo, cuando se tienen encuentros nocturnos solamente se emplean 7 de los 10 circuitos por torre, es decir, solo se tienen encendidas 260 de los 416 luminarias; para este caso observamos de la tabla anterior que se tiene un nivel de iluminación promedio de 405 luxes y un coeficiente de uniformidad calculado de  $U_1 = 0.5$  y  $U_2 = 0.72$ . Ahora bien, aunque el coeficiente de uniformidad cumple con los criterios de FIFA, el valor de iluminancia promedio está por debajo de lo establecido.

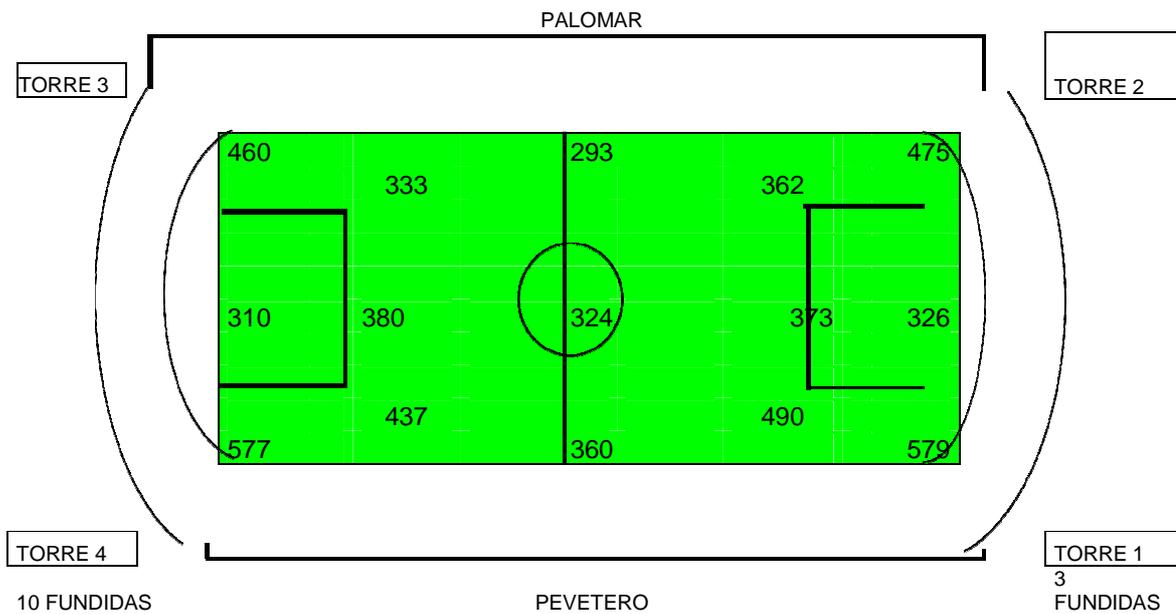
<sup>15</sup> La norma de la FIFA lo menciona en la tabla que incluimos en el capítulo I, tabla 1.2.



Niveles de iluminación



Datos Finales		Cálculos		Medición	
Ilum. Máx.	579	Uniformidad:	1.38	Fecha:	27-nov-07
Ilum. Min.	293			Hora:	23:30 Hr
Prom.	405.27	Coef. Unif.	0.72	Resp:	Ing. Armando L.



Equipo de Medición: Luxometro Digital marca KYORITSU  
 Modelo: 5202  
 Rango: 0 - 2000 luxes

Figura 2.5 Niveles de iluminación en el Estadio Olímpico Universitario. Fuente PAE.

La figura 2.5 muestra los resultados obtenidos a partir de los estudios realizados por el PAE de la Facultad de Ingeniería el 27 de noviembre de 2007, mostrando los niveles de iluminación en diferentes zonas del campo.

### 2.3.- CARGA DEMANDADA POR EL ALUMBRADO

En este apartado, se analizará y estudiará uno de los puntos más importantes en el sistema de iluminación pues, además de los valores de iluminación, también se debe tomar en cuenta la carga que se va a consumir en la operación de los equipos. Para los eventos nocturnos del estadio, cabe mencionar que para alumbrar el Estadio Olímpico Universitario basta con encender solo el 62.5% de las lámparas por cada torre; esto es 10 de las 16 hileras en cada torre, es decir, 260 luminarias en cada una y 1040 en total, empleando 7 de los 10 circuitos por torre.

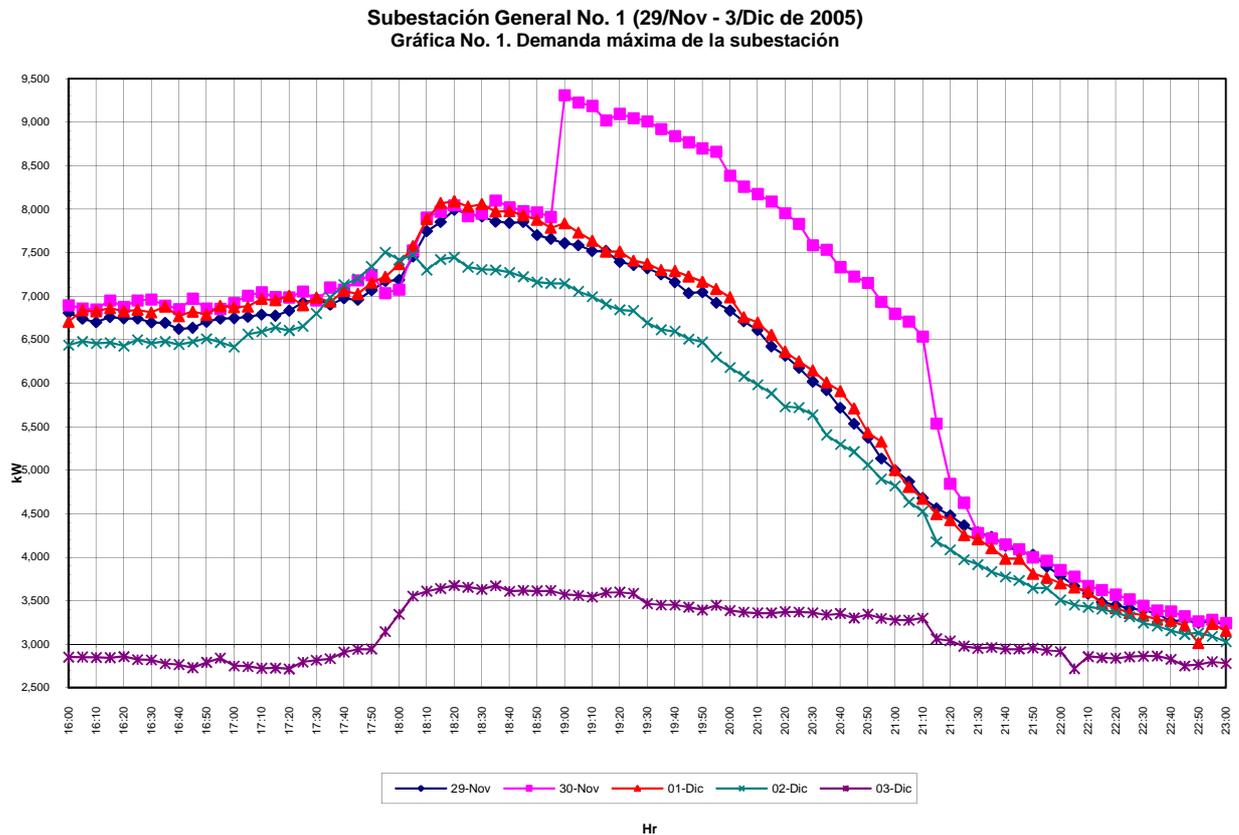


Figura 2.6 Demanda de consumo en la Subestación General No. 1<sup>16</sup>.

<sup>16</sup> Esta gráfica fue obtenida a través de un estudio de consumo eléctrico realizado por el PAE, de la facultad de Ingeniería. El estudio fue realizado el 30 de noviembre de 2005, sin embargo a partir de este periodo a la fecha de realización de este trabajo no ha habido modificaciones que afecten al consumo de energía eléctrica de cada torre por lo cual también empleamos esta gráfica para el análisis económico mostrado en el capítulo 2.4.

En la grafica anterior (figura 2.6) se puede observar que el incremento de demanda eléctrica en la Subestación General No. 1 en Ciudad Universitaria comparada con días anteriores aumenta aproximadamente 1500 [kW] a causa del encendido del Estadio Olímpico Universitario para un partido de futbol nocturno, en este día la carga pasa de estar en 7900 [kW] incrementándose a 9400 [kW] a las 19:00 hrs aproximadamente.

Con el fin de disminuir la carga y tener una menor demanda de energía eléctrica, pues el consumo en su total es elevado, en los partidos nocturnos más recientes se ha optado por alquilar plantas de emergencia para alimentar la carga de las torres y así no conectarse a la acometida de la compañía suministradora de energía eléctrica<sup>17</sup> y de ese modo, obtener un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

Ahora bien, para la realización de eventos nocturnos y en específico para los partidos de fútbol, generalmente se trabaja con 260 luminarias por torre y cada una de estas lámparas tiene una carga de 2000 W; que en total nos da como resultado un consumo de 520 KW por cada torre, o sea 2.08 MW en total:

$$260 \text{ lámparas} \times 2000[W] = 520[kW] \text{ por torre}$$
$$520[kW] \times 4 \text{ torres} = 2080[kW] = 2.08[MW]$$

Sin embargo, al comparar el valor obtenido anteriormente con el de la figura 2.6, se obtiene una diferencia de aproximada de 580 [kW]. Esto se puede deber a que algunas de las lámparas son de menor consumo 1500[W]<sup>18</sup>, otras luminarias de cada torre no se encuentran en funcionamiento debido al tiempo que tienen instaladas así como a las condiciones en las que se encuentran, por ello, resulta que en realidad consumen una menor cantidad de potencia.

---

<sup>17</sup> Para los partidos nocturnos del mes de septiembre de 2009 se contrataron plantas de emergencia de 1000[kW] para cada torre del Estadio.

<sup>18</sup> La cantidad total de luminarias de 1500[W] no se conoce con exactitud, sin embargo para fines de cálculos consideramos que todas son de 2000[W].

A la carga calculada de manera teórica se tienen que sumar los consumos por: túneles, vestidores, pantalla, etc.; pero este análisis sólo se concentra en la carga de las 4 torres de alumbrado para la cancha debido a que al comparar la carga de los demás servicios del estadio, con la carga por iluminación de la cancha, ésta resulta ser mucho mayor, por lo que se optó por no considerarla. Por esta situación es necesario actualizar el sistema de iluminación, para obtener una mejor calidad de iluminación y, principalmente, con un menor consumo de energía.

#### 2.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.

En este punto se realiza un análisis económico a partir de la carga total demandada en la Subestación General No. 1, contemplando el uso del Estadio Olímpico Universitario durante un evento nocturno. Para ello, es preciso considerar el 62.5% de la carga total instalada para iluminación de la cancha, esto es, 10 circuitos con 260 lámparas en total. Este análisis es de vital importancia ya que en este nos basaremos para justificar el objetivo del proyecto.

	Lámparas encendidas	Demanda [W]	Lámparas totales	Carga instalada [W]
<b>Torre 1</b>	260	52,000	416	832,000
<b>Torre 2</b>	260	52,000	416	832,000
<b>Torre 3</b>	260	52,000	416	832,000
<b>Torre 4</b>	260	52,000	416	832,000
<b>Totales</b>	<b>1040</b>	<b>2,080,000</b>	<b>1664</b>	<b>3,328,000</b>

Tabla 2.3 Demanda de las lámparas empleadas por torre.

En la tabla 2.3 se muestran la cantidad de lámparas empleadas en cada torre, así como la demanda de estas y la carga total instalada. Para cálculos se consideró que la carga de las lámparas es de 2000[W] ya que, como se mencionó anteriormente, algunas de ellas consumen una menor potencia. Sin embargo, como es complicado saber el número exacto de éstas, se optó por generalizar su

consumo. Ahora bien, para el análisis económico se emplea valor teórico de la carga instalada expresado en la tercera columna para la demanda facturable.

Las características que consideramos para el análisis de las lámparas instaladas son:

- Tipo de lámpara: Yodo – Cuarzo
- Potencia 2000 [W]

La tarifa actual para el cobro facturable es H-M (Media tensión Horario)<sup>19</sup>, la cual se encuentra vigente para la subestación No. 1 en Ciudad Universitaria.

El periodo tarifario para la tarifa H-M en la región centro que se empleó, es el correspondiente al horario de verano que abarca del último domingo de octubre al sábado anterior al primer domingo de abril. Los horarios correspondientes se muestran en la tabla 2.4.

Día se la semana	Base	Intermedio	Punta
Lunes a viernes	00:00 – 06:00	06:00 – 18:00 22:00 – 24:00	18:00 – 22:00
Sábado	00:00 – 08:00	08:00 – 19:00 21:00 – 24:00	19:00 – 21:00
Domingo	00:00 – 18:00	18:00 – 24:00	---

Tabla 2.4 Horarios tarifarios en H-M

La demanda facturable se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$DF = DP + FRI \cdot \text{máx}(DI - DP, 0) + FRB \cdot \text{máx}(DB - DPI, 0) \quad (2.2)$$

Donde:

<i>DF</i>	demanda facturable.
<i>DP</i>	demanda máxima medida en el periodo punta.
<i>DI</i>	demanda máxima medida en el periodo intermedio.

<sup>19</sup> La tarifa contratada para la subestación No. 1 es H-M, la cual es en media tensión con una demanda de 100 kW o más. Los costos de energía dependen del horario en el que se utilice la energía eléctrica.

*DB* demanda máxima medida en el periodo base.  
*DPI* demanda máxima medida en los periodos punta e intermedio.  
*FRI, FRB* son factores de reducción aplicables por región.

Los valores de los factores de reducción *FRI*, *FRB* para la región tarifaria central se expresan en la tabla 2.5<sup>20</sup>.

Región	FRI	FRB
Central	0.300	0.150

Tabla 2.5 Valores de FRI y FRB

A partir de la gráfica mostrada en la figura 2.6 obtenemos los siguientes parámetros necesarios para el cálculo de la demanda facturable.

DP	9,313 kW
DI	7,782 kW
DB	3,629 kW
DPI	8,561 kW

Tabla 2.6 Parámetros para el cálculo de demanda facturable.

Sustituyendo los valores de la tabla 2.6 en la fórmula 2.2, para calcular la demanda facturable, resulta:

$$\begin{aligned}
 DF[kW] = & 9,913 + 0.5 \cdot \text{máx}(7,782 - 9,313, 0) + 0.15 \\
 & \cdot \text{máx}(3,629 - 8,561, 0)
 \end{aligned}$$

Al realizar los cálculos se puede apreciar que ambas diferencias nos resultan negativas, por lo que se tiene que sustituir el resultado de estas diferencias por cero, lo cual implica que la demanda facturable es de:

$$DF = 9,913[kW]$$

<sup>20</sup> La información de las tarifas presentada se obtuvieron de la página de la CFE (Comisión Federal de Electricidad), cabe mencionar que los valores para los factores mencionados no varían.

Para el análisis económico se consideró como fecha de cálculo el mes de noviembre de 2009 y, para la obtención de los parámetros de la tabla 2.6, se tomó la realización de eventos nocturnos entre semana ya que durante ese mes se realizaron algunos eventos nocturnos. En la tabla 2.7 se muestran los cargos por la demanda facturable, por las energías de punta, intermedia y de base aplicables a ese periodo así como a la región central.

<b>Cargo por [kWh]</b>	<b>Septiembre 2009</b>	<b>Octubre 2009</b>	<b>Noviembre 2009</b>
<b>Demanda facturable</b>	\$153.72	\$154.55	\$156.81
<b>Energía de punta</b>	\$1.5851	\$1.6159	\$1.7106
<b>Energía intermedia</b>	\$0.8413	\$0.8715	\$0.9676
<b>Energía de base</b>	\$0.7032	\$0.7284	\$0.8087

**Tabla 2.7 Cargos facturables.**

De esta manera, se obtienen los resultados finales del consumo del estadio y un valor del costo aproximado durante un día en el que se realizó un evento nocturno en el Estadio Olímpico Universitario, en la tabla 2.8 se presentan los resultados.

<b>Conceptos</b>	<b>Consumo [KWh]</b>	<b>Cargos [\$]</b>
<b>Energía punta</b>	37,252	63,723.27
<b>Energía intermedia</b>	108,948	105,418.09
<b>Energía de base</b>	21,774	17,608.63
<b>Demanda facturable</b>	9,913	1,554,457.81
<b>Total</b>	---	<b>1,741,207.52</b>

**Tabla 2.8**  
consumo y

**Resultados**  
costo<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Los resultados calculados en esta tabla fueron obtenidos considerando la demanda propia de toda la subestación en un día en el cual se presentó un evento nocturno en el Estadio Olímpico Universitario. No se realizaron ajustes por bonificaciones o cargos por factor de potencia durante el periodo registrado. No se aplicó IVA.

Ahora bien, si se realiza el mismo estudio pero ahora se considera un día en el cual no se empleo el Estadio Olímpico Universitario, nos resulta:

<b>DP</b>	8,091 kW
<b>DI</b>	7,809 kW
<b>DB</b>	3,555 kW
<b>DPI</b>	7,950 Kw

Tabla 2.9 Parámetros para el cálculo de demanda facturable no ocupando el EOU.

$$DF[kW] = 8,091 + 0,15 \cdot \text{máx}(7,809 - 8,091, 0) + 0.15 \cdot \text{máx}(3,555 - 7,950, 0)$$

Al realizar el cálculo del valor de la demanda facturable resulta que se presento el mismo caso que en el cálculo de la demanda facturable para cuando se considera el encendido del estadio. Por lo que el resultado resulta en un valor de 8,091 [kW].

En la tabla 2.10 se muestran los resultados de consumo y costo para cada una de las demandas.

<b>Conceptos</b>	<b>Consumo [KWh]</b>	<b>Cargos [\$]</b>
<b>Energía punta</b>	32,364	55,361.85
<b>Energía intermedia</b>	109,326	105,783.83
<b>Energía de base</b>	21,330	17,249.57
<b>Demanda facturable</b>	8,091	1,268,749.71
<b>Total</b>		<b>1.447,144.96</b>

Tabla 2.10 Resultados consumo y costo

Realizando la diferencia entre los dos casos presentados, resulta que ésta es de **\$294,062.56 por hora** debido al encendido del estadio.

Al inicio de este análisis económico se presento la tabla 2.3, la cual muestra la cantidad de lámparas empleadas para la iluminación de la cancha en un evento nocturno, así como la demanda que estas tienen. Sin embargo, al revisar los datos arrojados en el estudio que realizo el PAE, se puede observar que en realidad se requieren de 1,400 [kW] para encender el estadio y no los 2,080 [kW] que teóricamente se presentaron, esto se debe, como se menciono con anterioridad, principalmente al deterioro de las lámparas así como a la instalación eléctrica que las abastece de energía.

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LAS TORRES DEL EOU

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS

Cada una de las cuatro torres del Estadio Olímpico Universitario se encuentra compuesta por una subestación eléctrica con dos transformadores de 600 KVA, es por esto que son consideradas como dos subestaciones por torre. Fue diseñado de esta manera para asegurar un respaldo en cada subestación para que en caso de falla en el transformador principal entrara en operación el segundo transformador y así evitar que las torres encargadas del sistema de iluminación se queden sin energía eléctrica.

Las características eléctricas de los transformadores en cada una de las subestaciones alimentadoras se muestran, para cada torre, en la tabla 3.1.

	Potencia [kVA]	Voltaje [V]	Impedancia [%]	Marca
<b>Torre No. 1</b>	600 x 2	6300 – 220/127	5.8	PROLEC
<b>Torre No. 2</b>	600 x 2	6300 – 220/127	5.8	PROLEC
<b>Torre No. 3</b>	600 x 2	6300 – 220/127	5.7	PROLEC
<b>Torre No. 4</b>	600 x 2	6300 – 220/127	5.8	PROLEC

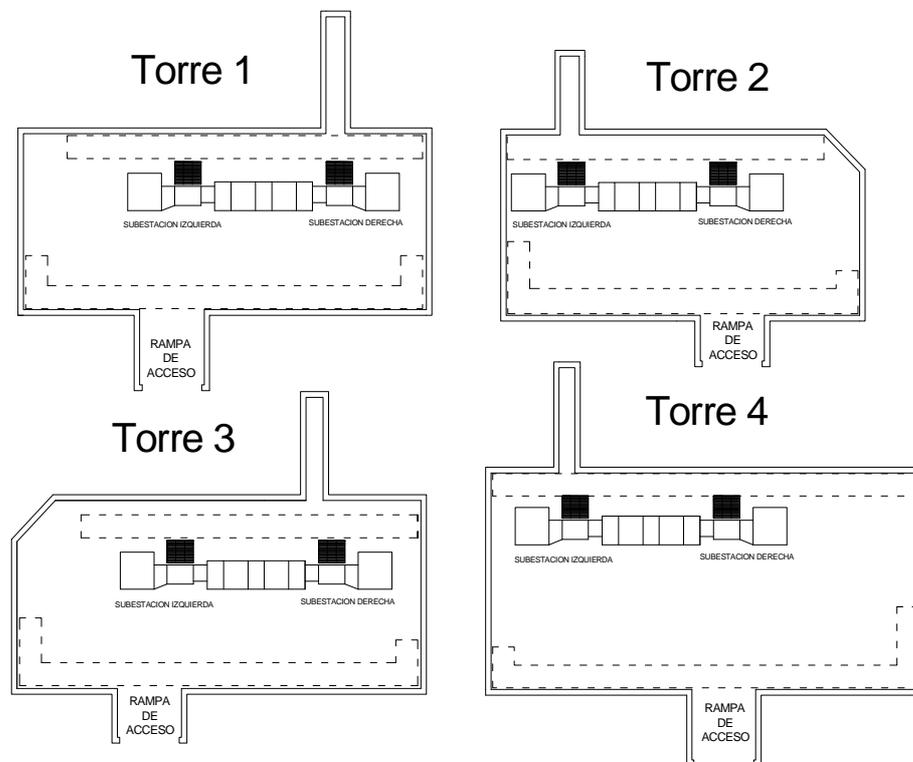
Tabla 3.1 Características eléctricas de las subestaciones en las torres del E.O.U

Cada subestación tiene su conexión a la acometida a través de 3 seccionadores y cuentan con una planta de emergencia. Estas subestaciones son de 15 KW para respaldar la alimentación en caso de una falla en el servicio. Sin embargo, la capacidad de éstas no es suficiente para respaldar toda la carga, solamente es

para evitar que el terreno de juego y principalmente los asistentes al estadio, se queden totalmente a oscuras.

Los dos transformadores están interconectados de tal manera que, cuando se requiera uno, pueda estar alimentando la carga o, en su defecto, los dos pueden estar alimentándola si así se requiere. Aunque nunca se ha tenido la necesidad de utilizar el otro transformador a causa de una falla, ya que nunca llega a trabajar a un 100% de su capacidad y esto reduce la probabilidad, podemos decir que aunque es una medida de protección, el sistema de alimentación está sobreprotegido.

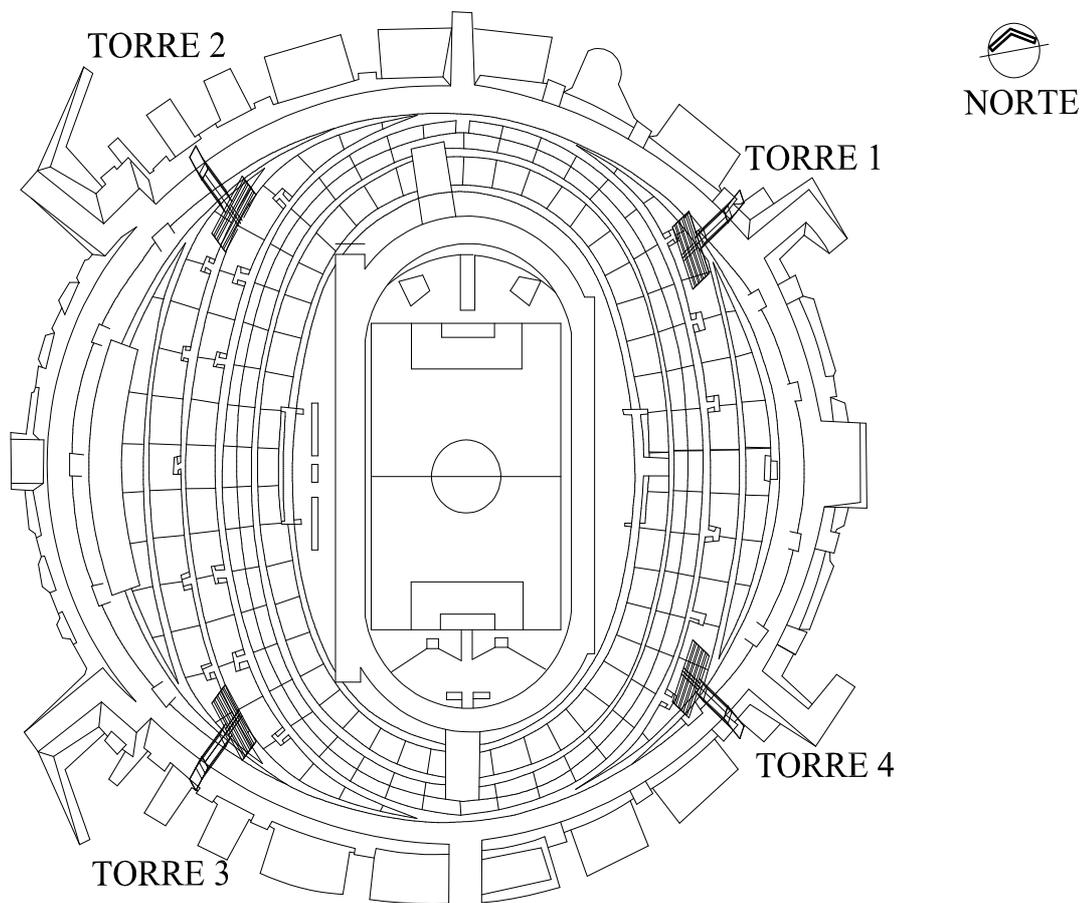
El diseño de cada una de las subestaciones es muy parecido, esto con la intención de tener la misma distribución en cada una de las subestaciones, diferenciándolas solamente por sus dimensiones puesto que tienen la misma capacidad y equipos. En la figura 3.1 se muestra la distribución de las 4 subestaciones.



**Figura 3.1 Subestaciones del Estadio Olímpico Universitario.**

Las subestaciones 1 y 4 están a nivel del suelo y son las de mayor espacio, la 2 y la 3 se encuentran en alto (2 a 3 metros del nivel del suelo) y son un poco más reducidas; sin embargo, la diferencia entre ellas no es demasiada y esto se puede apreciar en la figura 3.1.

Ahora, para un mejor entendimiento de cómo se encuentran distribuidas y diseñadas estas subestaciones, en la figura 3.2 se muestran la ubicación de cada una de ellas en el EOU.



**Fig. 3.2 Ubicación de torres en el Estadio Olímpico Universitario.**

Para un mejor conocimiento acerca de los equipos así como de la distribución y medidas de cada una de las cuatro subestaciones correspondientes, a cada torre se anexan los planos de planta de cada una de ellas (Ver Anexo 1). A continuación se presenta una tabla de la lista de equipos electromecánicos que se encuentran

en cada subestación, como se menciona anteriormente, los equipos de cada una de las cuatro subestaciones son prácticamente los mismos por lo que en la tabla 3.2 se muestra la cantidad de equipos de una de ellas.

Equipo	Cantidad	Capacidad
Seccionadores	3	6 [KV]
Interruptores	15	400, 300 y 250 [A]
Contactores	12	-
Planta de emergencia	1	15 [KVA]

Tabla 3.2 Relación de equipo electromecánico en cada subestación.

En la figura 3.3 se presenta el diagrama unifilar correspondiente a la subestación de la torre No. 1.

### TORRE 1

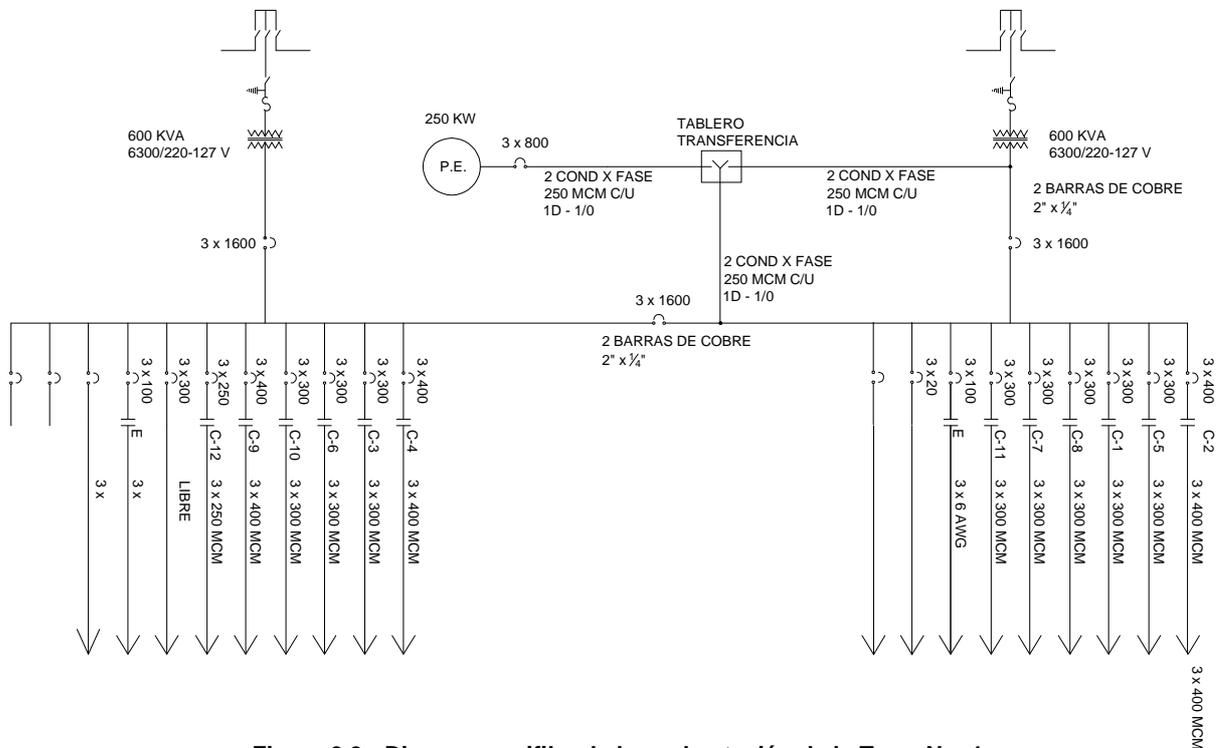


Figura 3.3.- Diagrama unifilar de las subestación de la Torre No. 1.

### 3.2. ALIMENTACION DE LAS SUBESTACIONES

Para alimentar al Estadio Olímpico Universitario y en particular a las subestaciones destinadas al alumbrado de la cancha, se encuentran conectadas a los anillos I y anillo II los alimentadores A, B, C y D de la subestación general No. 1 como se muestra en el siguiente plano (figura 3.4).

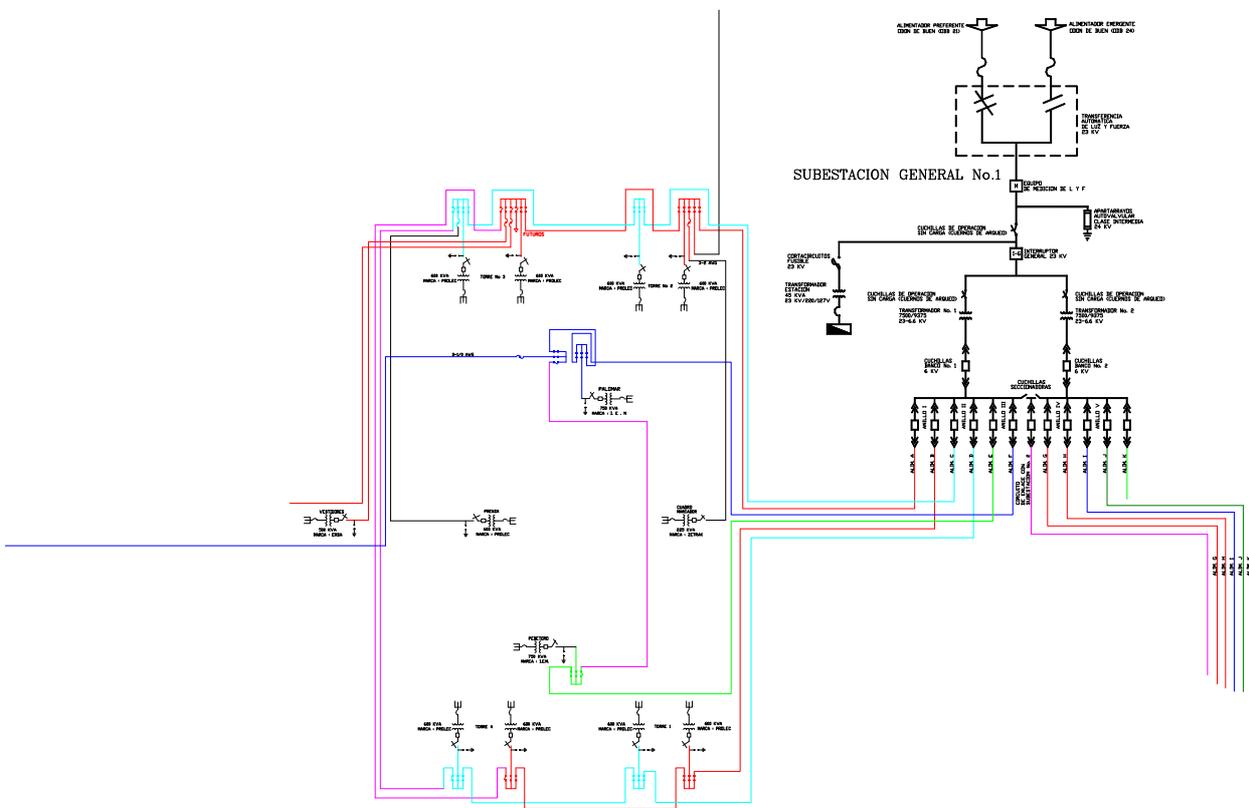


Figura 3.4.- Diagrama de alimentación del estadio.

Para un mejor entendimiento de la distribución de los alimentadores de la Subestación General No. 1, se anexa el plano correspondiente a este diagrama anterior (Ver Anexo 1).

### **3.3. SISTEMA DE TIERRAS DE LAS SUBESTACIONES**

Todas las plantas y subestaciones deben contar con sistema de tierra, el cual se conecta a todos y cada uno de los elementos de la instalación que requieran ser puestos a tierra para:

- Proveer un medio seguro para proteger al personal que se encuentre dentro o en la proximidad del sistema de tierra o de los equipos conectados a tierra de los riesgos de una descarga eléctrica debida a condiciones de falla o por descarga atmosférica.
- Proporcionar un circuito de muy baja impedancia para la circulación de las corrientes a tierra, ya sean debidas a una falla a tierra del sistema o a la propia operación de algunos equipos.
- Proveer un medio para disipar las corrientes eléctricas indeseables a tierra, sin que se excedan los límites de operación de los equipos.
- Facilitar la operación de los dispositivos de protección para la eliminación de fallas a tierra.
- Proveer un medio de descarga de equipos antes de proceder a las tareas de mantenimiento.
- Dar mayor confiabilidad y seguridad al servicio eléctrico.

En el Estadio Olímpico Universitario, el sistema de tierras debe proteger a las subestaciones y también debe conectarse la protección de las torres para el equipo de alumbrado y así proteger al espectador de descargas atmosféricas que puedan generarse.

Hoy en día el estadio Olímpico Universitario cuenta con un sistema de tierras de baja resistividad para su protección, sin embargo, no se cuenta con un plano o

diagrama que contenga la información del sistema ya que ni con los levantamientos realizados se logro identificarlo, es por esto que para saber el estado de éste sistema se decidió medir su impedancia y saber si cumple con las normas mexicanas para este tipo de sistemas.

Para la realización de la medición se identificó la delta de un sistema de tierras correspondiente a la subestación del palomar del Estadio Olímpico Universitario y mediante el “método del 62%” medimos la impedancia de este sistema aislado y en conjunto. Teniendo como resultado lo siguiente:

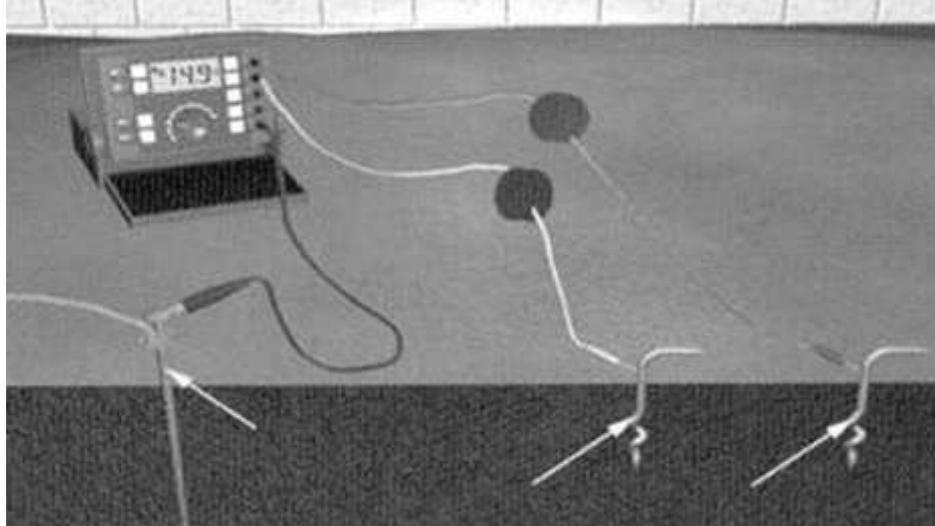
- SISTEMA AISLADO: 6.74  $\Omega$
- EN CONJUNTO: 3.94  $\Omega$

En la figura 3.5 se observa el valor obtenido en la medición.



Figura 3.5. Medición de resistividad del terreno por el método del 62%

En la figura 3.6 se muestra el montaje de las puntas para la realización de la medición de la resistividad del terreno.



**Figura 3.6.- Método del 62%**

En este diagrama se observa que dicha prueba se llevó a cabo empleando un Terrometro<sup>22</sup> y 2 puntas clavadas a tierra, una a 20 metros (Z) y la otra al 62% aproximadamente de esta, esto es, a 12.40 metros (Y); por último, una conexión va al sistema delta, obteniendo las mediciones ya mencionadas.

Debido a las consideraciones anteriormente mencionadas, se puede considerar, con base a los requerimientos de la norma nacional mexicana,<sup>23</sup> como aceptables los valores para nuestro sistema. Sin embargo, por seguridad de los operadores y del mismo sistema eléctrico en el capítulo 5, apartado 5.2 se presenta un diseño de un sistema de tierras para las subestaciones ubicadas en las torres del EOU.

---

<sup>22</sup> Dispositivo para realizar mediciones de resistencia de tierra y resistividad del terreno.

<sup>23</sup> NOM-001-SEDE-2005 (Ver Anexo 2).

## **CAPÍTULO 4**

### **ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN LAS TORRES DEL ESTADIO OLIMPICO UNIVERSITARIO**

#### **4.1. CARACTERÍSTICAS**

Como se menciona anteriormente y por el análisis mostrado, la iluminación de la cancha del EOU resulta ser costosa y de alto consumo de energía eléctrica, tal y como se muestra en los cálculos del análisis económico del capítulo 2 de esta tesis. Esta es una de las razones por las que se pensó actualizar éste sistema para que con el diseño adecuado consuma menor energía y tenga los mejores niveles de iluminación para la realización de eventos deportivos.

Para esto se realizaron estudios a partir de los niveles de iluminación y consumo de energía y así poder determinar la cantidad de luminarias requeridas por torre, respaldando estos resultados a través de una corrida en el programa de iluminación Visual.

El estudio se encuentra basado en las siguientes normas:

- Fédération Internationale de Football Association (FIFA)
- Illuminating International Society of North America (IESNA)
- NOM-007-ENER-2004 Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.

Con el fin de utilizar los niveles de iluminación adecuados para los cálculos, en éste estudio empleamos las especificaciones de iluminación para eventos televisados de las normas de la FIFA e IESNA. La Norma Oficial Mexicana la

utilizamos para determinar el valor de DPEA, requerido para Edificios Deportivos en áreas de deportes.

Para el estudio se encuentran las siguientes necesidades para una iluminación satisfactoria:

- Niveles de iluminación horizontal y vertical acordes a las normas.
- Valores del coeficiente de uniformidad de iluminación (vertical y horizontal).
- La Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) requerida.
- Índice de rendimiento de color.
- Temperatura de color.

En la tabla 4.1 se presentan los parámetros requeridos de iluminación de los puntos anteriores.

Parámetros	
Niveles de iluminación	$E_{h_{media}} = 750 [Lux]$
Coeficiente de uniformidad	$U_1 = 0.5$ y $U_2 = 0.7$
DPEA's	$46.2 [W/m^2]$
Rendimiento del color	$\geq 65$
Temperatura del color	$> 4,000 [K]$

Tabla 4.1 Especificaciones de iluminación.

Una vez establecidos los requerimientos de iluminación y las necesidades visuales del espectador y el deportista, se procederá a la elección de la luminaria de acuerdo a los criterios antes vistos.

## 4.2 SELECCIÓN DE LA LUMINARIA

Como se menciona en el capítulo 1, para la iluminación de exteriores y para áreas deportivas, se utilizan lámparas tipo HID; partiendo de esto se realizará la selección de la luminaria que se adecue a los criterios previamente establecidos comparando tipos de luminarias de distintas marcas, para, finalmente, seleccionar la luminaria que mejor convenga y más se adecue a los requerimientos de nuestro estudio además de que cumpla con lo establecido con las normas antes mencionadas.

Para la selección del equipo se tomarán en cuenta diferentes factores tales como:

- La potencia de la luminaria.
- Flujo luminoso.
- Temperatura del color.
- Índice del rendimiento del color.
- Vida media útil del equipo.

En la tabla 4.2 se presentan algunas luminarias que podrían emplearse en el estudio. Para tener un mejor detalle de las especificaciones de las luminarias presentadas (Ver anexo 3).

Marca	Modelo	Potencia [W]	Voltaje [V]	Flujo luminoso $\phi$ [lm]	Temperatura del color [K]	Rendimiento del color	Vida media [hrs]
<b>G.E.</b>	MVR1500/H BD	1500	480	119,000	3,600	65	3000
<b>Lithonia</b>	TV1500M GP/HD6	1500	480	155,000	4,000	65	NA
<b>Phillips</b>	MVF/404 Arena Vision	2000	400	202,000	5,600	90	5,000

Tabla 4.2 Comparativa de luminarias.

A partir de la tabla 4.2 se puede observar que la luminaria que presenta mayor cantidad de lúmenes, así como temperatura, rendimiento del color y vida útil mayores, es la luminaria de Phillips Arena Vision. Se consideró también que ésta luminaria está especialmente diseñada para estadios deportivos. Sin embargo, se presenta a continuación el cálculo del número de proyectores para cada uno de los distintos tipos de luminaria para tener una visión más profunda acerca de la diferencia en cuanto a consumo y número de proyectores necesarios para cumplir con las normas anteriores para cada una de las marcas seleccionadas.

Para la realización de éstos cálculos se utilizará el método de lúmenes, también conocido, en el caso de iluminación de exteriores con proyectores, como el método del lumen del haz. Retomando lo expuesto en el capítulo 1, el método de lúmenes se expondrá siguiendo los siguientes pasos.

Paso 1: Obtención del coeficiente de utilización del haz (CBU). Este factor depende de distintas variables como la altura de las lámparas, las características fotométricas, el sistema seleccionado, las alturas de los postes y las distancias. Esto ya lo tenemos predeterminado por el diseño y colocación de cada una de las torres del estadio el cual es un sistema de 4 torres con las siguientes distancias:

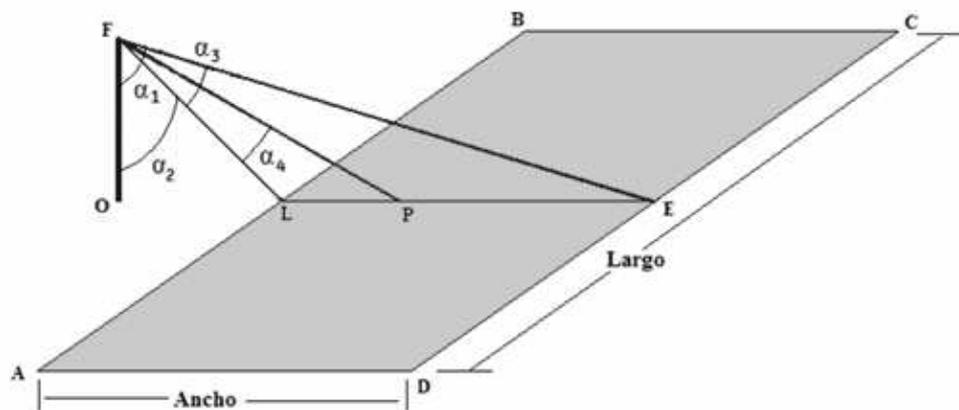


Figura 4.1 Distancias para el cálculo del CBU.

Para el cálculo del CBU son necesarios los siguientes parámetros de acuerdo a la figura 4.1.

- Distancia de la base de la torre a una esquina de la cancha:  $OL(SB) = 40$  m
- Ancho de la cancha:  $LE = 69$  m
- Altura del montaje de la luminaria:  $OF = 55$  metros

Para simplificar los cálculos se puede asumir que la luminaria colocada en el poste sólo derrama luz por su eje vertical y no por su horizontal en el área. Por lo tanto, se debe hallar el ángulo respectivo que determina los lúmenes útiles derramados en el área ( $\alpha_3$ ) donde:

$$\alpha_1 = \text{Arctan} \left( \frac{OE}{FO} \right) = \text{Arctan} \left( \frac{SB + \text{Ancho cancha}}{H} \right) \quad (4.1)$$

$$\alpha_2 = \text{Arctan} \left( \frac{OL}{FO} \right) = \text{Arctan} \left( \frac{SB}{H} \right) \quad (4.2)$$

$$\alpha_3 = \alpha_1 + \alpha_2 \quad (4.3)$$

Una vez calculado  $\alpha_3$ , podemos asumir que el haz central del proyector estará apuntado en un punto del área (P) de tal manera que el ángulo que entregue  $\alpha_3$  sea dividido en dos. Esto genera el ángulo  $\alpha_4$  y así podremos determinar la totalidad de lúmenes útiles derramados por encima ( $+\alpha_4$ ) y por debajo ( $-\alpha_4$ ) del haz central del proyector.

$$\alpha_4 = \left( \frac{\alpha_3}{2} \right) \quad (4.4)$$

Por medio de la distribución lumínica del proyector (dato de fabricantes) se procede a realizar una tabla especificando la acumulación de los lúmenes por encima y por debajo del haz; siendo el centro del haz el punto P ( $0^\circ$ ).

Posteriormente se procede a elaborar una grafica que indique la relación entre los lúmenes acumulativos y los totales de la lámpara en función de los ángulos. Dicha relación expresa el *coeficiente de utilización*, sin olvidar que anteriormente se asumió que los lúmenes solo se derraman por el eje vertical y no por el horizontal. Por lo tanto dicha relación define lo que se llama coeficiente de utilización.

Afortunadamente para éste estudio se cuenta con valores estándar de coeficientes de utilización basados en la experiencia y ya que este tipo de procedimientos manuales son un poco complejos, dichos valores pueden variar de 0.6 hasta 0.9 tipo según el tipo de actividad a realizar en el área. A continuación se presentan estos valores estándar dependiendo del tipo de deporte que se realiza en cada caso (figura 4.3).

Actividad deportiva	Valor típico de CBU
Beisbol	0.65
Futbol	0.60
Tenis	0.75

Tabla 4.3 Valores estándar de CBU.

Paso 2: Obtención del factor de mantenimiento, el cuál se expresa de la siguiente manera:

$$F_m = FDF * FDS \quad (4.5)$$

Donde

*FDF* Depreciación del flujo de la lámpara; el cuál se define como la relación de los lúmenes iniciales entre los lúmenes medios.

$$FDF = \frac{\text{lúmenes iniciales}}{\text{lúmenes medios}} \quad (4.6)$$

*FDS* Depreciación de la luminaria; este factor se determina según las características de las lámparas y la siguiente tabla.

Tipo de luminaria	Muy limpio	Limpio	Medio	Sucio	Muy sucio
Abierta no ventilada	0.90	0.8	0.71	0.64	0.56
Abierta ventilada	0.95	0.89	0.83	0.78	0.72
Cerrada	0.97	0.93	0.88	0.83	0.78
Vidrio refractor o Cerrada y filtrada	0.98	0.95	0.93	0.89	0.86

Tabla 4.4 Valores del Factor de depreciación de la luminaria. Fuente Manual de Iluminación.

En el caso de las luminarias a utilizar, todas son del tipo cerradas y el medio en donde se instalarán se considera medio ya que estará expuesto a las condiciones del medio ambiente. Por lo tanto de la tabla 4.4 tomaremos el valor de 0.88.

Con lo anterior se determina el factor de mantenimiento:

$$Fm = 0.72$$

PASO 3: Cálculo del numero de proyectores.

Finalmente, teniendo los parámetros requeridos se procede a realizar el cálculo para la cantidad de proyectores a utilizar mediante la siguiente formula.

$$N = \frac{E_m * S}{\phi * CBU * F_M} \quad (4.7)$$

Donde:

$N$  número de proyectores.

$E_m$  Iluminancia media; para este análisis se tomara el valor de 2500 lumen de iluminación horizontal, basándonos en el valor propuesto por la FIFA para transmisiones televisivas en HD a nivel nacional (tabla 1.1 capítulo 1 de esta tesis).

$S$  Área de la cancha. Con un valor de  $7590m^2$

$\Phi$  Flujo luminoso; esto se obtiene de las hoja de especificaciones de la luminaria.

$CBU$  Coeficiente de utilización del haz.

$F_m$  Factor de mantenimiento.

Ahora, teniendo los siguientes datos se pueden calcular el número de proyectores para cualquier tipo de luminaria. A continuación se presenta la tabla 4.5 que contiene los datos necesarios y los resultados obtenidos para cada uno de los equipos elegidos previamente. Esto con el objetivo de evaluar cual de las 3 marcas nos ofrece menor cantidad de proyectores con una mayor eficiencia.

MARCA	$\Phi$ [Lm]	CBU	$F_m$	$E_m$ [Lux]	N	CARGA TOTAL [kW]
GE	119,000	0.6	0.9	2500	364	261
Lithonia	155,000	0.6	0.85	2500	279	201
Phillips	202,000	0.6	0.8	2500	216	216

**Tabla 4.5. Resultados para cada tipo de proyector.**

Ahora bien, a partir de los resultados obtenidos se puede determinar que la luminaria más adecuada y conveniente para este estudio es el modelo MVF/404 Arena Visión de Phillips. En los siguientes apartados los cálculos se enfocan a la luminaria que se seleccionó por los criterios antes mencionados.

Considerando que la luminaria elegida es tipo HID requiere de un balastro con las características mostradas en la tabla 4.6, para mayores detalles acerca del balastro consultar el anexo 3.

Tipo	HID para lámpara de aditivos metálicos de 1800 [W]
Tensión [V]	220
Frecuencia [Hz]	60
Factor de potencia	.9%
Regulación	+/- 5%
Corriente [A]	10
Temperatura máx.[°C]	120

Tabla 4.6 Especificadores técnicas del balastro utilizado.

### 4.3 ESTUDIO DE LOS NIVELES DE ILUMINACIÓN

En este apartado se realizará una corrida en el programa Visual® a partir de la luminaria ya seleccionada (Phillips, Arena Vision MVF/404) para observar que la cantidad de lux emitidos a lo largo de toda la cancha cumplan con lo requerido por la norma. Además, se analizarán, de acuerdo a los resultados reales tomados por el PAE, que cumplan con los valores mínimos para cada uno de los parámetros de iluminación; reafirmando así los resultados teóricos obtenidos y confirmando la selección de la luminaria.

En la tabla 4.7 se observan los resultados de la corrida (para ver los resultados de la corrida completa realizada en el programa Visual; ir al anexo 4.

Descripción	Símbolo	E Max [Lux]	E Min [lux]	E Prom [Lux]	1/U <sub>1</sub>	1/U <sub>2</sub>
Cancha derecha	+	1546.9	1089.4	1241.8	1.4:1	1.1:1
Cancha izquierda	+	1738.5	952.2	1216.5	1.8:1	1.3:1
Córner inferior derecho	+	1444.9	727.7	1117.6	2.0:1	1.5:1
Córner inferior izquierdo	+	1443.1	655.6	1086.1	2.2:1	1.7:1
Córner superior derecho	+	1447.0	792.7	1128.8	1.8:1	1.4:1
Córner superior izquierdo	+	1433.0	739.1	1121.3	1.9:1	1.5:1
Niveles de iluminación horizontales	+	1776.2	1149.3	1462.7	1.5:1	1.2:1
Zona media	+	1498.5	732.7	1139.3	2.0:1	1.6:1

Tabla 4.7 Corrida en Visual.

Se puede observar que los resultados obtenidos con la ayuda del programa Visual, cumplen con las normas de calidad de iluminación antes citadas. En lo que destacan los valores mínimos para  $U_1 \geq 0.6$  y para  $U_2 \geq 0.8$ . Además de saber que la lámpara cumple con la temperatura e índice de rendimiento del color.

Otro factor que debe de calcularse es el DPEA, cuyo valor mínimo debe ser de  $46.2 \frac{W}{m^2}$ , como se menciono anteriormente, según la Norma Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2004.

$$DPEA_{visual} = \frac{2250 * 216}{7590} = \frac{486000}{7590} = 64.03 \frac{W}{m^2} > 46.2 \frac{W}{m^2}$$

De esta manera se verifica que el estudio realizado para la actualización del sistema de iluminación de la cancha del EOU cumple con los parámetros requeridos por las normas antes mencionadas.

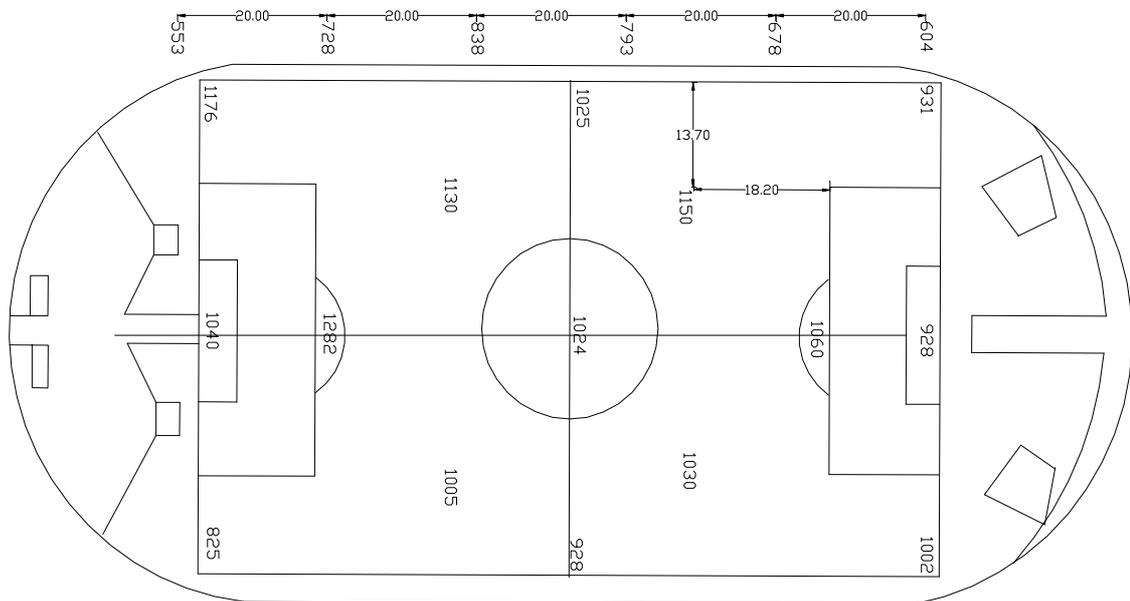
Cabe mencionar que la Dirección General de Obras y Conservación de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizó una evaluación para actualizar el sistema de iluminación de las torres del Estadio Olímpico Universitario. En la cual se instalaron 54 luminarias Arena Vision MVF/404 por torre. Por lo que, a continuación, se presentan los resultados de las mediciones de iluminancias obtenidas por el Programa de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería. A continuación se muestran estos resultados:

#### Niveles de iluminación en forma horizontal

Mediciones en luxes (lx)

Fecha 10-feb-2010

19:30 hrs.



Iluminación máxima: **1282 lx**

Iluminación mínima: **825 lx**

Promedio: **1035.7 lx**

Capacidad

No. de lámparas: **54 cada torre**

Cantidad total de lámparas: **216**

Potencia de lámpara: **1800 W**

Potencia total (lámp / balastro): **218.0kW**

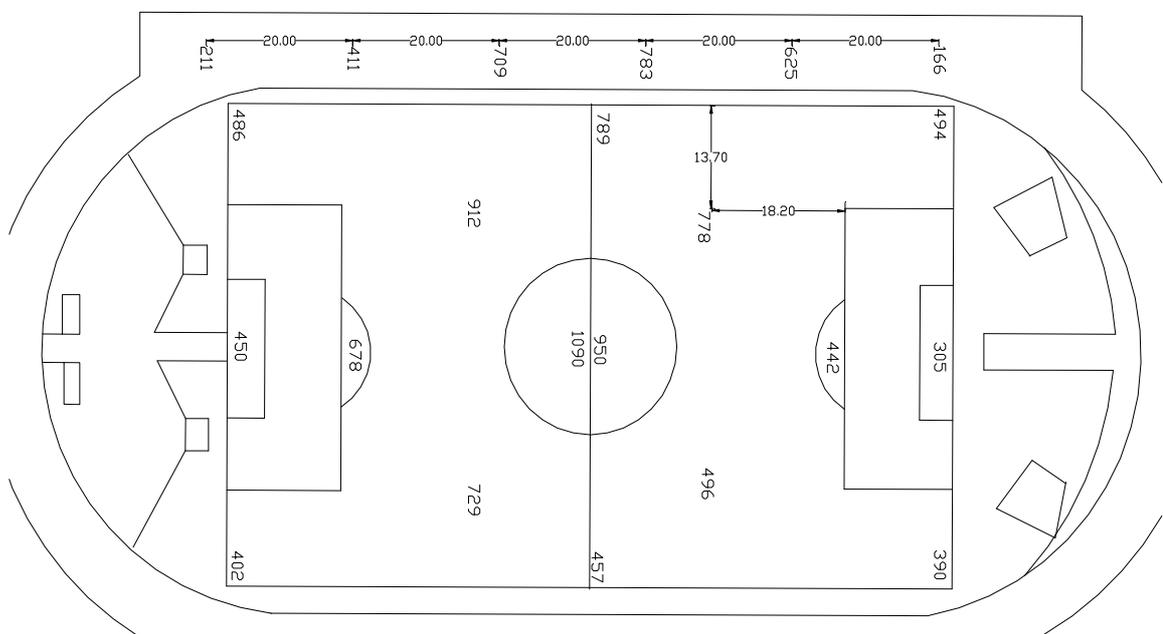
Figura 4.2 Niveles de iluminación horizontales actuales. Fuente PAE.

En la figura 4.2 se pueden apreciar los resultados del sistema de iluminación actualmente instalado en las torres del Estadio Olímpico Universitario. Éstos resultados incluyen los niveles de iluminación horizontales y se observa que el nivel más alto de iluminancia horizontal es de 1282 [lx] ubicado en la media luna de la portería sur, mientras que el más bajo es de 825 [lx] ubicado en el córner sur derecho, en la figura 4.2 está localizado en la esquina inferior izquierda.

### Niveles de iluminación en forma vertical

Mediciones en luxes (lx)  
19:30 hrs

Fecha 10-feb-2010



Iluminación máxima: **1090 lx**

Iluminación mínima: **305 lx**

Promedio: **615.12 lx**

Capacidad

No. de lámparas: **54 cada torre**

Potencia de lámpara: **1800 W**

Cantidad total de lámparas: **216**

Potencia total (lámp / balastro): **2.5kW**

**Figura 4.3 Niveles de iluminación verticales actuales. Fuente PAE.**

En la figura 4.3 se pueden observar los resultados del sistema de iluminación actualmente instalado en las torres del Estadio Olímpico Universitario. Éstos resultados incluyen los niveles de iluminación verticales y se aprecia que el nivel

más alto de iluminancia horizontal es de 1090 [lx] ubicado en el centro del campo, mientras que el más bajo es de 305 [lx] ubicado en la portería norte.

Estos resultados fueron tomados en la fecha y hora indicada por parte del PAE. Ahora, se analizará si estas mediciones cumplen con los valores de uniformidad según la FIFA y con los DEPA para la NOM-007-ENER-2004.

Cabe anticipar que el cálculo de los coeficientes de uniformidad sólo se obtendrá para los niveles de iluminación horizontal, ya que la corrida mostrada anteriormente simplemente arrojó resultados de iluminancia horizontales puesto que éste cálculo es solamente teórico.

$$U1 = \frac{825}{1282} = 0.64 \geq 0.6 \text{ por lo tanto cumple}$$

$$U2 = \frac{825}{1035.7} = 0.8 \geq 0.8 \text{ Por lo tanto cumple}$$

Para los DPEA el cálculo y el resultado es el mismo que en la parte de visual ya que, como se menciona, la cantidad de luminarias instaladas fue la misma que en la parte real, utilizando así los mismos valores del equipo.

$$DPEAreal = \frac{2250 * 216}{7590} = \frac{486000}{7590} = 64.03 \frac{W}{m^2} > 46.2 \frac{W}{m^2}$$

Concluyendo así que el sistema instalado en el Estadio de CU cumple con los lineamientos requeridos por las normatividades de la Federación Internacional de Fútbol Asociación y con la NOM-007-ENER-2004.

Una vez obtenidos los resultados esperados, se presenta una tabla comparativa entre; los niveles de iluminación reales contra los obtenidos en la corrida con el fin de evaluar la diferencia existente entre ambos.

Mediciones	Niveles máximos [lux]	Niveles mínimos [lux]	Promedio [lux]	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>
Corrida en Visual	1776.2	1149.3	1462.7	0.66	0.83
PAE	1282	825	1035.7	0.64	0.79

Tabla 4.8. Comparativa de los niveles de iluminación horizontales.

Como se observa en la tabla 4.8, los niveles de iluminación varían en un 30% aproximadamente; esto se debe a que el programa se realizó en un medio ideal, lo que quiere decir que no se tomaron en cuenta las pérdidas de flujo luminoso de una lámpara, ni tampoco la distancia que existe entre el punto de instalación y la superficie de la cancha, así como las condiciones del medio ambiente en las que viaja el flujo.

De esta manera se puede establecer que aunque se esperaban cantidades más elevadas de los niveles de iluminación en ciertos puntos de la cancha, cabe resaltar que los resultados, en cuanto a los parámetros de calidad, son muy parecidos y que cumplen con las especificaciones de las normas utilizadas.

#### 4.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.

Para la realización de éste estudio se tomó en cuenta la comparación de la carga empleada para la iluminación en eventos nocturnos en el Estadio Olímpico Universitario. Cuando se tenían lámparas de tipo yodo-cuarzo como se mencionó en el capítulo 2, apartado 2.1, se tenían empleadas solamente el 62.5% de la carga total instalada para iluminación en las torres de EOU, esto es un total de 260 lámparas con un consumo de 2,000[W] cada una de ellas, esto es:

$$260 \text{ lámparas} \times 2,000 [W] = 520,000 [W] \text{ por torre.}$$

Multiplicándolas ahora por las cuatro torres, resulta un consumo total de:

$$520,000 [W] \times 4 \text{ torres} = 2,080,000 [W]$$

Éste valor es el consumo total del Estadio con las lámparas de tipo yodo cuarzo. Considerando únicamente la iluminación destinada para la iluminación de la cancha. Ahora, de la misma manera, el consumo total del estadio con la nueva luminaria, recordando que se tienen 54 luminarias por torre y que estas tienen un consumo de 2,250 [W] incluyendo balastro, resulta:

$$54 \text{ luminarias} \times 2,250 [W] = 121,500 [W] \text{ por torre}$$

Considerando ahora las cuatro torres:

$$121,500 [W] \times 4 \text{ torres} = 486,000 [W]$$

Al comparar ambas cargas se puede determinar el porcentaje de ahorro, el cual resulta del 76.63%, por lo que, si consideramos que el gasto por consumo de energía eléctrica con las lámparas de yodo-cuarzo es de **\$294,062.56** por hora, aplicando el ahorro resulta que el costo por consumo de energía eléctrica con la luminaria Arena Vision MVF/404 es de **\$68,722.42** por hora.

Ahora bien, para determinar el ahorro que se tiene al realizar el cambio de luminaria, considerando únicamente la carga destinada para la iluminación de la cancha del EOU, basta con restar ambas cantidades de costo, resultando un ahorro de **\$225,340.14**. Al realizar este cálculo se puede observar que el ahorro es bastante considerable, sin embargo, hay que recordar que los resultados de este cálculo son totalmente teóricos.

## CAPÍTULO 5

### ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

#### 5.1. MODIFICACIONES Y NUEVO EQUIPO

Tal como se muestra, en el capítulo 3 se realizó un estudio del sistema eléctrico actual y del diseño de las subestaciones que alimentan cada una las torres del Estadio Olímpico Universitario, ahora, teniendo en cuenta la nueva carga instalada en las torres de alumbrado y con las modificaciones realizadas para las necesidades del estudio, que constara únicamente de 54 luminarias de 2,250 [W] incluyendo el balastro y divididos en 18 circuitos, cada uno de estos circuitos controlara 3 luminarias, así que cada uno de éstos tendrá una carga de 5400 [W]. Como se muestra en la figura 5.1.

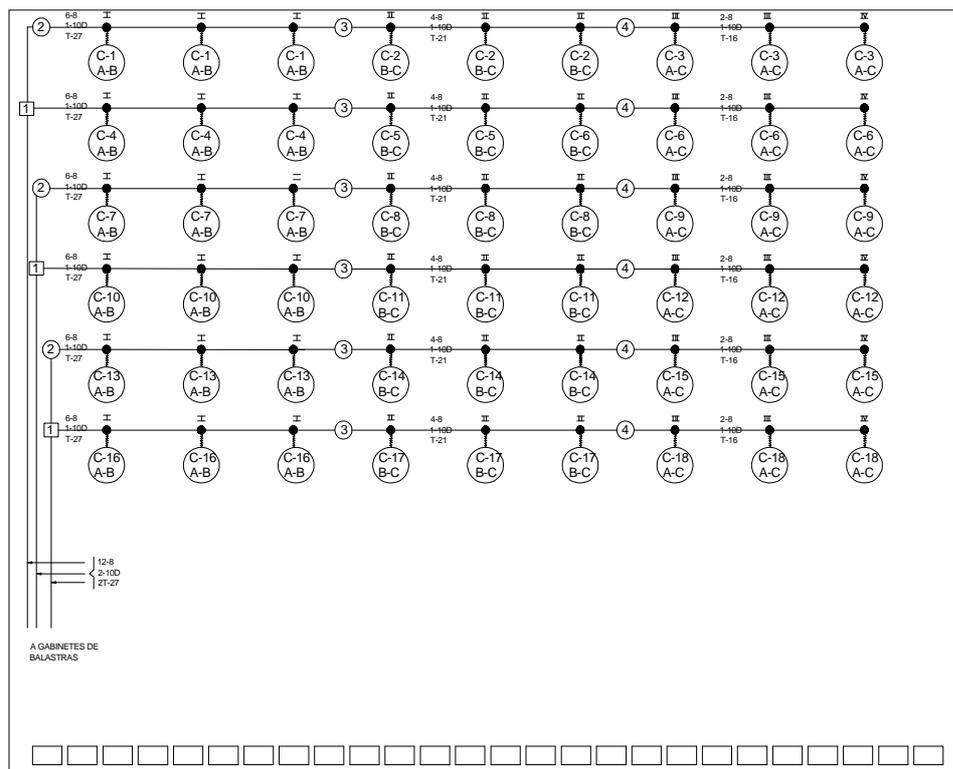
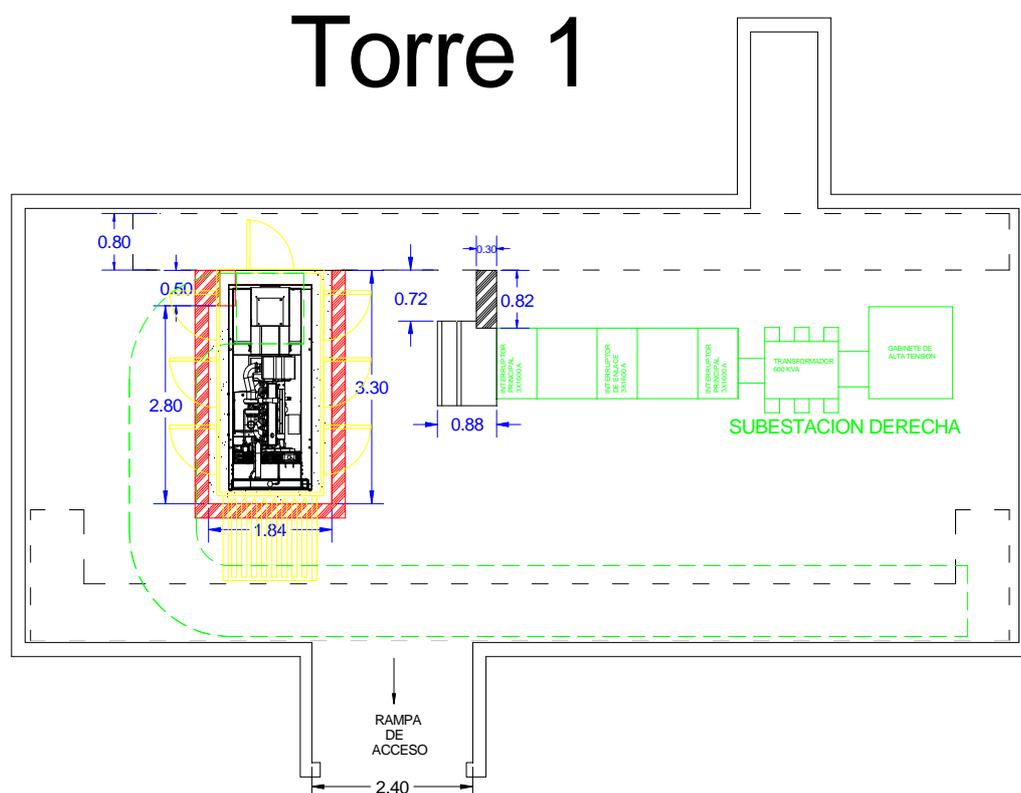


Figura 5.1 Arreglo en la distribución de los circuitos para las lámparas de cada torres

En las subestaciones se opto por realizar cambios; uno de ellos es la desaparición de uno de los 2 transformadores, sin embargo, para mantener la configuración original de un doble anillo y garantizar la continuidad de energía eléctrica se incrementará la capacidad de las plantas de emergencia en cada una de las torres; las plantas de emergencia incluidas en cada subestación tienen una capacidad de 250 [kW].

En la figura 5.2 se muestra la distribución de los equipos en la subestacion1, de tal manera que, como se menciona en el capítulo 3, la distribución es básicamente la misma en las cuatro subestaciones. Para mayor información de la nueva distribución de las subestaciones ver el anexo 1.



**Figura 5.2 Nueva distribución y conexión en las subestaciones de las torres**

También se incluye un tablero de medición y control automático para el encendido de las luminarias con las siguientes especificaciones. Ver tabla 5.1.

<b>Voltaje [v]</b>	220/127
<b>Frecuencia [Hz]</b>	60
<b>Revoluciones por minuto [rpm]</b>	1800
<b>Factor de potencia [fp]</b>	0.8
<b>Sistema</b>	3 F - 4 H
<b>Capacidad interruptiva (A)</b>	3 x 800

**Tabla 5.1 Especificaciones del tablero de medición**

El control se encarga de proporcionar las señales de arranque, paro, control y protección de la planta generadora de energía eléctrica. Monitorea el voltaje de la red normal y del generador, censa alto y bajo voltaje, alta y baja frecuencia para ambas fuentes, controlando automáticamente las funciones de la unidad de transferencia.

Todo esto a través de un display de cristal líquido (LCD) que proporciona la información del estado de operación del equipo y los valores de instrumentación en tiempo real.

Dicho tablero de control incluye botones de dialogo para la selección del modo de operación del sistema.

- Paro / desbloqueo
- Operación manual
- Modo de prueba
- Operación automática
- Arranque

El módulo monitorea por medio de sensores analógicos, los valores de presión de aceite, temperatura de la máquina y nivel de combustible para mostrar las lecturas adecuadas de los valores correspondientes en tiempo real en el display de cristal

líquido, donde se mostrara el estado de operación de la unidad de transferencia, adicionalmente se indica si algún parámetro de la red normal o del generador esta fuera de límites.

## 5.2. CONDUCTORES Y CANALIZACIÓN.

Ahora, tomando en cuenta las modificaciones y las características para las nuevas luminarias y basándonos en la figura 5.1, haremos el cálculo de los calibres de cable adecuado y también para la canalización, empleando la norma oficial mexicana NOM-001-SEDE2005 (Ver anexo 2).

### Alimentador circuito 1

Para el cálculo se cuenta con los siguientes datos (figura 5.2):

<b>Carga</b>	6,750 [W]	<b>Voltaje</b>	220 [v]
<b>Longitud</b>	32.76 [mts]	<b>Factor de demanda F.d</b>	1.0
<b>Caída de tensión e %</b>	3.0 %	<b>Factor de agrupamiento f.a</b>	0.8
<b>Sistema</b>	2F – 3H	<b>Factor de temperatura f.t</b>	1.0

Tabla 5.2. Datos para el cálculo de conductores y canalización.

El cálculo de la corriente nominal, así como de la corriente corregida se muestra a continuación:

$$I_n = \frac{W}{2V_{f-n} \cos\theta} \quad (5.1)$$

$$I_n = \frac{6750}{2 \cdot 127 \cdot 0.9} = 29.53 [A]$$

$$I_c = \frac{I_n \cdot F \cdot d}{f \cdot a \cdot f \cdot t} \quad (5.2)$$

$$I_c = \frac{29.53 \cdot 1.0}{0.8 \cdot 1.0} = 36.91[A]$$

Por ampacidad de la tabla 310-16 de la NOM-001-SEDE-2005, tenemos:

Para una temperatura nominal del conductor de 75 [°C] y una corriente de 50 [A] un **conductor calibre 8 AWG THW-LS**.

Para la selección del conductor por caída de tensión ésta debe ser menor al 3%. En el siguiente cálculo se obtiene el valor de la caída de tensión. Para esto se requieren de los valores de resistencia y reactancia de los conductores.

De la tabla de valores de resistencia y reactancia para cables de 600 V, 60 Hz, 75 °C de la NEC 2008, tenemos:

$$R = 2.56 \Omega/\text{km}$$

$$X = 0.213 \Omega/\text{km}$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} \cdot I_n \cdot L \cdot 100 \cdot [(R \cos\theta) + (X \sin\theta)]}{V_{f-f} \cdot 1000} \quad (5.3)$$

$$e\% = \frac{\sqrt{3} \cdot 36.91 \cdot 32.76 \cdot 100 \cdot [(2.56 \cdot 0.9) + (0.213 \cdot 0.436)]}{220 \cdot 1000} = 2.28\%$$

Para el cálculo de la protección aplicamos incremento del 25% de la corriente corregida.

$$I_{int} = I_c \cdot 1.25 = 46.14[A] \quad (5.4)$$

Este nuevo valor de corriente encontrado es que se va a emplear para determinar la protección en tablero. Por lo que se utilizará un Interruptor Termomagnético con capacidad de 50 [A].

De la tabla 250-95 de la NOM-001-SEDE-2005 correspondiente al Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos, se determina para una protección contra sobrecorriente de 50 [A] un conductor de puesta a tierra calibre 10 AWG.

Cableado: 6 - 8 AWG, 2 F, 1 - 10 AWG T

Para el cálculo de la canalización, empleamos las tablas 10-4 y 10-5 del capítulo 10 de la NOM-001-SEDE-2005.

Canalización: 6 - 8 AWG = 169.2 mm<sup>2</sup>  
1 - 10 AWG = 15.7 mm<sup>2</sup>  
Total = 184.9 mm<sup>2</sup>

Por lo tanto, le corresponde una tubería de 27 (1) de acuerdo a las tablas anteriormente mencionadas. Ver anexo 2.

Como se ha mencionado anteriormente, para que el sistema no sea complejo la distribución en cada una de las torres es la misma, por lo que los cálculos de tubería y canalización son prácticamente los mismos para cada una de las torres.

En la siguiente Tabla 5.3 se muestran los resultados de los cálculos realizados para tubería y canalización de una de las torres. Para determinar los valores de la tabla se empleó el mismo procedimiento que para el circuito 1, calculando los conductores y canalizaciones por caída de tensión, observando que en ningún

circuito esta excede el valor planteado de 3%. Éstos resultados son los que se emplearán para cada una de las cuatro torres.

Circuitos	Carga [W]	L [mts]	In [A]	Ic [a]	Cal [AWG]	e%	Int	Cal tierra [AWG]	Canalización cond-cal	Tubería
1 y 4	6750	32.76	29.53	36.91	8	2.28	2p 50A	10	6 - 8 1 - 10	27(1)
2 y 5	6750	36.78	29.53	36.91	8	2.56	2P 50A	10	4 - 8 1 - 10	21(3/4)
3 y 6	6750	41.62	29.53	36.91	8	2.89	2p 50A	10	2 - 8 1 - 10	16(1/2)
7 y 10	6750	29.3	29.53	36.91	8	2.04	2p 50A	10	6 - 8 1 - 10	27(1)
8 y 11	6750	34.22	29.53	36.91	8	2.38	2p 50A	10	4 - 8 1 - 10	21(3/4)
9 y 12	6750	39.06	29.53	36.91	8	2.61	2p 50A	10	2 - 8 1 - 10	16(1/2)
13 y 16	6750	26.65	29.53	36.91	8	1.85	2p 50A	10	6 - 8 1 - 10	27(1)
4 y 17	6750	31.57	29.53	36.91	8	2.19	2p 50A	10	4 - 8 1 - 10	21(3/4)
15 y 18	6750	36.41	29.53	36.91	8	2.53	2p 50A	10	2 - 8 1 - 10	16(1/2)

Tabla 5.3 Resultados para el cálculo de conductores y canalización de cada Circuito

## 5.2. SISTEMA DE TIERRAS

Dentro de las protecciones de este nuevo sistema eléctrico se debe mencionar que el sistema de tierras no será modificado ya que, como se mostró anteriormente en el análisis del capítulo 3 (apartado 3.4), éste cuenta con una baja impedancia y por lo tanto no es necesario realizar modificaciones. Sin embargo, en este apartado

se hará uso de las herramientas necesarias para proponer un sistema de tierras para cada una de las torres del estadio.

El estadio y, en específico, las subestaciones ubicadas en cada una de las torres, no cuentan con un sistema de tierras propio para las exigencias de un escenario como el EOU, por ello, es necesario que cada una de las subestaciones cuente con su propio sistema de tierras.

Para que un sistema de tierras funcione satisfactoriamente, debe cumplir con ciertos requisitos; el diseño puede ser simple, desde una varilla de tierra hasta algo más complejo como una malla de tierras para una planta, por mencionar algo. En el diseño intervienen factores diversos como son: la resistividad del terreno, el voltaje del servicio, la potencia de cortocircuito, la corriente de cortocircuito, el espacio disponible, el personal y equipo a proteger, etc.

En este caso CU cuenta con un terreno rocoso de diferentes especificaciones como roca volcánica y sedimentaria; para este parámetro es necesario realizar medición de campo, pero además de que es difícil realizar esta medición por las condiciones del terreno, no se cuenta con el dispositivo de medición. Es por eso que tomaremos como valor de resistividad del terreno  $160 [\Omega \cdot m]$ <sup>24</sup> tomado de mediciones realizadas para proyectos anteriores en el estadio.

Ahora, nuestro sistema de tierras lo haremos para el lado de baja tensión ya que el reglamento de instalaciones eléctricas<sup>25</sup> exige a los usuarios de energía eléctrica tener su propia conexión a tierra. En el mismo reglamento se menciona: “El valor de la resistencia a tierra de los electrodos artificiales no debe ser superior a  $25 [\Omega]$ , en las condiciones más desfavorables”. Sin embargo, los fabricantes de equipos de computo, comunicaciones, etc. Piden un valor de resistencia a tierra bastante

---

<sup>24</sup> El dato de la resistividad del terreno fue proporcionado por la DGOyC de la UNAM.

<sup>25</sup> Libro “Sistemas de Tierras en Redes de Distribución”

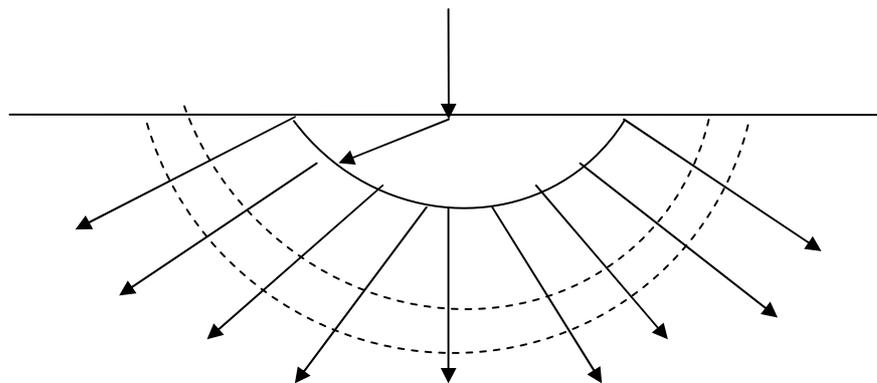
menor que puede ser 3 o 5 [ $\Omega$ ] para poder dar validez a las garantías y a la vez proteger a los equipos.

En este diseño se utilizarán electrodos múltiples para obtener un valor de resistencia a tierra de 10[ $\Omega$ ] o menor, debido a que la carga instalada pueda aumentar y con esta también la corriente de cortocircuito, pero también se usará para dar una mejor protección a nuestros equipos.

A partir del valor de la resistividad del terreno [ $\rho$ ] se determinará su valor de resistencia a tierra con un solo electrodo de puesta a tierra, ya que en realidad éste es el valor que se interesa conocer. La resistencia total de un electrodo puede dividirse en tres partes:

1. La resistencia propia del conductor.
2. La resistencia de contacto entre el electrodo y la tierra.
3. La resistencia de la masa de tierra que rodea al electrodo.

De estas tres, la última es el valor más significativo de resistencia a tierra ya que los otros valores pueden ser despreciados. Ahora se consideran los flujos de corriente en todas direcciones, ya que la corriente tiene una trayectoria infinita. Tal como se muestra en la figura 5.3.



**Figura 5.3** Flujos de corriente en un Electrodo Hemisférico

La fórmula general para determinar la resistencia de los electrodos se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$R = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (5.5)$$

Ahora bien, para poder aplicar la formula 5.5 a cualquier electrodo se tiene:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot C} \quad (5.6)$$

Donde  $C$  es la capacidad electrostática de un electrodo combinado con su imagen en la superficie de la tierra. Una buena aproximación de un electrodo es considerándolo como la mitad de un elipsoide de revolución en el que su eje mayor "a" es muy largo en comparación con su eje menor "b" y a partir de esto se puede emplear la siguiente expresión:

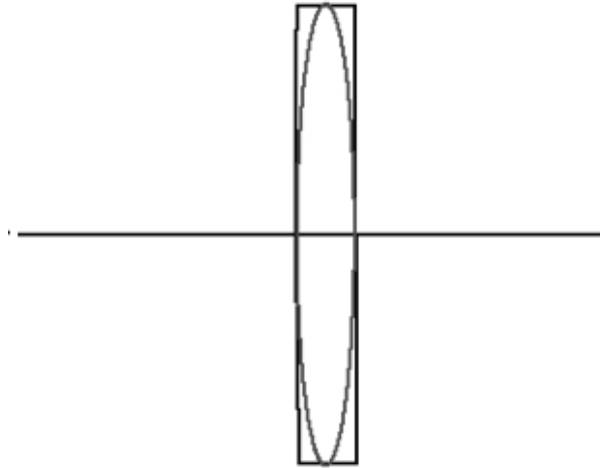
$$C = \frac{a}{2 \cdot \ln \frac{2a}{b}} \quad (5.7)$$

Así, sustituyendo en la formula general se obtiene:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{4 \cdot L}{d} \quad (5.8)$$

Donde:

- $\rho$  Resistividad del terreno.
- $L$  Longitud del electrodo.
- $d$  Diámetro de la varilla.



**Figura 5.4 Electrodo con su imagen considerado como un elipsoide de revolución**

Ahora, si se coloca un electrodo 5/8" con una longitud de 3 [m] y diámetro de la varilla de 0.016 [m], se obtiene:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot Ln \frac{4 \cdot L}{d} = \frac{160}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot Ln \frac{4 \cdot 3}{0.016} = 56.19[\Omega]$$

Como se puede observar, el valor de la resistencia es muy elevado y por ello se emplearán métodos para reducir este valor. Estos métodos pueden ser diversos, desde aumentar el diámetro de la varilla, utilizar sustancias químicas que bajen la resistividad del terreno o bien, utilizar electrodos múltiples.

El electrodo común, es un medio económico de instalar un sistema de tierras, sin embargo, generalmente su valor es muy alto. El método de electrodos múltiples es un procedimiento de colocar varios electrodos en arreglos simples o complejos, dependiendo de como se desee el valor de la resistencia a tierra; estos arreglos pueden ser dos electrodos en paralelo, tres electrodos en delta o bien una red de tierras que dependerá del área de la subestación y de otros parámetros.

Calcular el valor de dos o más electrodos en paralelo representa un margen de error ya que en los cálculos se considera suelo homogéneo en condiciones ideales, algo que en la práctica no acontece. Para calcular resistencias combinadas, se necesita calcular la capacidad de un caso análogo electrostático, puede hacerse por el método de la carga uniforme, usando en el cálculo de la resistencia de un electrodo sencillo, es decir, suponer que las cargas están distribuidas uniformemente sobre ambos electrodos,; los electrodos se sustituyen por electrodos hemisféricos, para simplificar los cálculos y así el potencial de una esfera de radio “r” es:

$$V = \frac{Q}{r} \quad (5.9)$$

Donde:

Q es la carga de la esfera.

Así el potencial a una distancia “d” de la esfera es:

$$V_d = \frac{Q}{d} \quad (5.10)$$

Si se tienen dos electrodos en paralelo a una distancia “d”, cada electrodo puede ser remplazado por una carga equivalente, o sea, por una hemisférica de radio “r” y carga “Q”, obteniendo:

$$V = \frac{Q}{r} + \frac{Q}{d} = \frac{Q}{r}(1 + a); \quad a = \frac{r}{d} \quad (5.11)$$

Sabiendo que  $C = \frac{Q}{V}$ ; sustituyendo en la formula general resulta:

$$R_2 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot r} \cdot (1 + a) \quad (5.12)$$

Dividiendo entre la resistencia de un electrodo enterrado  $R_1$ .

$$R_{eq} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{\frac{\rho}{4 \cdot \pi \cdot r} \cdot (1 + a)}{\frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot r}} = \frac{1 + a}{2} \quad (5.13)$$

Graficando estos valores se obtiene la siguiente gráfica.

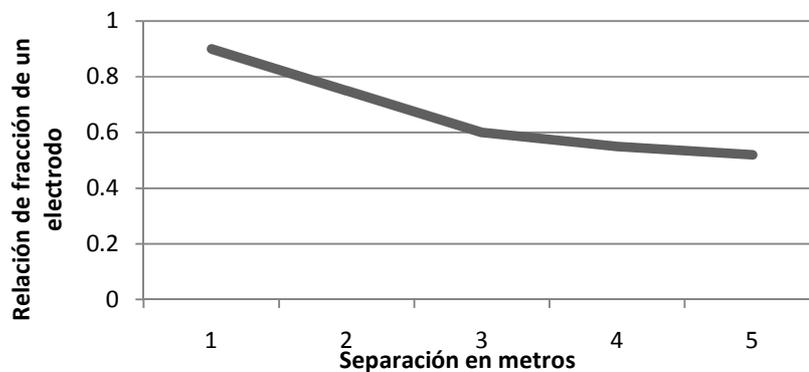


Figura 5.5 Gráfica para dos electrodos en paralelo.

De la grafica anterior (figura 5.5) se puede decir que el valor de resistencia a tierra de un electrodo se reduce al 60% si se coloca otro electrodo en paralelo con una separación de 2 metros. De esta manera, se tienen arreglos de tres electrodos en paralelo, cuatro en línea recta o tres electrodos en delta, lo que representaría el arreglo que se propone en este diseño.

Para estos arreglos se utiliza el mismo procedimiento anteriormente descrito para dos electrodos en paralelo obteniendo los siguientes resultados.

- Tres electrodos en línea recta:

$$R_{eq} = \frac{1 + 2^a}{3} \quad (5.14)$$

- Cuatro electrodos en paralelo:

$$R_{eq} = \frac{12 + 16a - 21a^2}{48 - 40a} \quad (5.15)$$

- Tres electrodos en delta:

$$R_{eq} = \frac{2 + a - 4a^2}{6 - 7a} \quad (5.16)$$

En la tabla 5.4 se muestra el porcentaje en que se disminuye el valor de resistencia de acuerdo a diferentes configuraciones de electrodos.

Número de electrodos.	Valor original.	El valor original se reduce a:
Un sólo electrodo.	100 %	---
Dos electrodos en línea.	---	55%
Tres electrodos en línea.	---	40%
Tres electrodos en delta.	---	38%
Cuatro electrodos en simetría.	---	28%
Ocho electrodos en simetría.	---	16%

**Tabla 5.4 Porcentaje de reducción del valor resistivo en función del tipo de configuración.**

A partir de los valores mostrados en la tabla 5.4 se observa el porcentaje que disminuye el valor de nuestra resistencia a tierra en función de la distancia de separación entre los electrodos; para tres electrodos en delta con una separación de 2 metros, el valor de resistencia disminuiría a un 38%. Éste es el diseño que se empleará.

Para el diseño del sistema de tierras del EOU se tiene un valor de resistencia a tierra con un solo electrodo de 56.192  $\Omega$ ; este valor es elevado, por esa razón se

propone un arreglo en delta de electrodos múltiples. Además de aumentar el diámetro del electrodo de 5/8" a 3/4" para bajar la resistencia a tierra del sistema.

El valor de resistencia resulta:

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \ln \frac{4L}{d} = \frac{160}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \ln \frac{4 \cdot 3}{0.019} = 54.73[\Omega]$$

Ahora bien, si se agregan 2 electrodos en un arreglo en delta con una separación de 4 metros (véase figura 5.6) ya que, basándose nuevamente en la NOM-001-SEDE-2005 artículo 250-83,<sup>26</sup> donde indica que la distancia entre ellas o de cualquier electrodo no debe ser menor a 1,8 [m], aunque se recomienda que estén separadas más del largo de cualquiera de ellas, tenemos entonces una reducción al 38% de nuestro valor con un solo electrodo. Si esto es así, resulta que:

$$R_{\Delta} = 54.73 \cdot 0.38 = 20.79[\Omega]$$

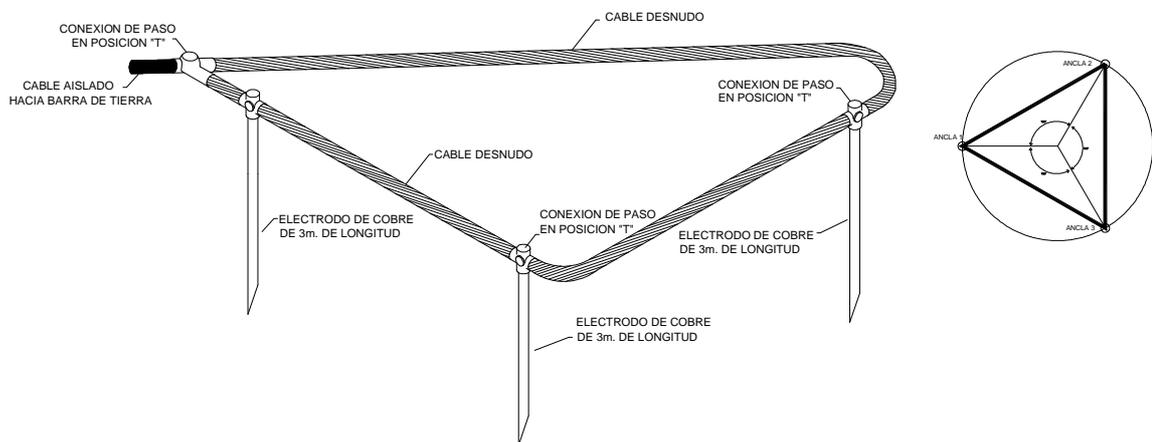


Figura 5.6 Arreglo en delta

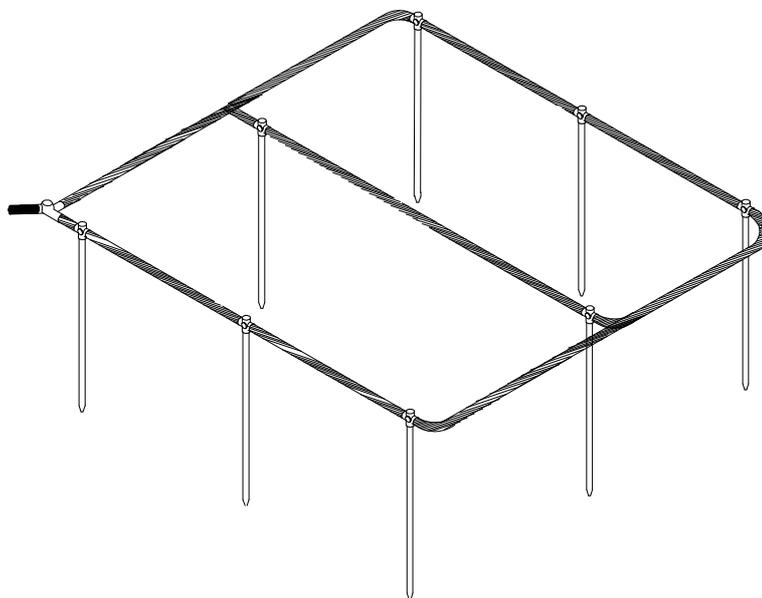
Como se puede observar el sistema cumple con los requerimientos de la NOM-001-SEDE-2005, pero como mencionamos al principio del diseño, el valor

<sup>26</sup> Véase Anexo 2

requerido debe estar alrededor de los 10[Ω], de acuerdo a los equipos electrónicos instalados y contemplando el crecimiento a futuro de la carga. Por esta razón se sugiere un diseño con ocho electrodos en simetría que, como se muestra en la tabla 5.4, reduce el valor de resistencia a un 16% del valor inicial, resultando más del doble de lo que reduce el arreglo en delta. Por lo tanto:

$$R = 53.73 \cdot 0.16 = 8.75[\Omega]$$

Este valor es el buscado en el diseño, en la figura 5.7 se muestra el arreglo sugerido a partir de los cálculos mostrados anteriormente.



**Figura 5.7 Arreglo de ocho electrodos simétricos**

Una vez determinado el arreglo de electrodos se determinará el calibre de los conductores del sistema de tierra; éste conductor debe ser capaz de soportar durante un tiempo específico corrientes eléctricas en condiciones anormales como las de un cortocircuito, pero que no se requiere para conducir corriente eléctrica en condiciones normales de operación del circuito eléctrico.

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005 en su artículo 250-91 el material del conductor de puesta a tierra debe ser:

- De cobre o aluminio.
- Resistente a la corrosión que se pueda producir en la instalación y debe estar adecuadamente protegido contra la corrosión.
- Macizo o cableado, aislado, forrado o desnudo y debe ser de un solo tramo continuo, sin empalmes ni uniones.

De acuerdo a la tabla 290-95 de la NOM-001-SEDE-2005<sup>27</sup> el tamaño nominal del conductor al electrodo de tierra es de cobre de **2 AWG**.

Con la determinación del calibre para los conductores de puesta a tierra, se propone emplear los valores calculados para las 4 torres con las que cuenta el estadio, es decir; se propone que cada una de las subestaciones cuente con su propio sistema de tierras, comprendiendo que un sistema de puesta a tierra sirve para proteger los aparatos eléctricos y electrónicos, pero el objetivo principal de éste sistema es garantizar las condiciones de seguridad de las personas que se encuentren dentro de las subestaciones, ya que la corriente eléctrica puede tener efectos parciales o totales, e incluso la muerte.

---

<sup>27</sup> Véase anexo 2.

## **CAPÍTULO 6**

### **ACTUALIZACIÓN DEL SISTEMA CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EN LAS TORRES DEL EOU**

#### **6.1. CARACTERÍSTICAS**

Un Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas (SPTE) diseñado e instalado adecuadamente basado en Normas Mexicanas, reduce el riesgo de daño que puede provocar un rayo. Sin embargo, es importante señalar que éste tipo de sistemas no garantiza una protección absoluta a personas, estructuras u objetos. Un SPTE no tiene la capacidad de influir o evitar los procesos de formación del rayo o descarga eléctrica a tierra de origen atmosférico, pero sí es capaz de interceptar, conducir y disipar la corriente de rayo.

Un SPTE está integrado de 3 elementos

- Terminales aéreas
- Conductores de bajada
- Electrodo de puesta a tierra (SPT)
- Unión Equipotencial (UE)

Por eso se recomienda que un SPTE sea parte integral del proyecto de instalación eléctrica de una estructura, edificio o instalación; en este caso la instalación de este sistema se encargará de la protección contra descargas atmosféricas a los asistentes al Estadio Olímpico Universitario, así como también a los que se encuentren realizando actividades deportivas a nivel cancha. La ubicación de este sistema debe ser en el punto más alto de la zona que se desea proponer por lo que estará ubicado en las torres de iluminación del estadio.

En este capítulo se analizará y especificará el diseño, los materiales y los métodos para el diseño del sistema de protección contra descargas atmosféricas en el Estadio Olímpico Universitario basándose en la Norma Oficial Mexicana NMX-J-549-ANCE-2005 y en la Norma Oficial Universitaria con la finalidad de analizar y proponer éste sistema.

Cabe destacar que según la norma oficial mexicana un SPTE está formado por un Sistema Externo de Protección SEPTE y un Sistema Interno de Protección SIPTE; aunque en algunas circunstancias el SPTE puede estar formado exclusivamente por el SIPTE y para éste es necesario analizar la valoración de riesgo que es una medida empírica la cual estima en forma razonable la probabilidad de incidencia de un rayo directo sobre una estructura tomando en cuenta la complejidad del fenómeno del rayo.

## 6.2. ANTECEDENTES Y NECESIDADES

En el Estadio Olímpico Universitario la necesidad de instalar un SPTE es evidente ya que se tiene el compromiso de además de brindar la mejor comodidad a espectadores y deportistas, también se debe proveer de una protección al equipo instalado; es por esto que dedicará este apartado a analizar la situación del terreno y dar un veredicto de la necesidad de instalación de éste sistema basándose en la Norma Oficial Mexicana y la Normatividad Universitaria. Ya que el sistema de pararrayos actual se encuentra dañado en su instalación desde el sistema de terminales aéreas hasta el sistema de puesta a tierra, por lo que no se cuenta con las condiciones mínimas que permitan asegurar una protección adecuada.

La frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura ( $N_0$ ), puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$N_0 = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \quad (6.1)$$

Donde

$N_0$  frecuencia anual promedio de rayos directos a una estructura.

$N_g$  densidad promedio anual de rayos a tierra por Km<sup>2</sup> (DRT).

$A_e$  área equivalente da captura de la estructura en m<sup>2</sup>.

Otro parámetro a utilizar es  $N_d$ , que es la frecuencia anual permitida de rayos directos a una estructura y se clasifica dependiendo a su uso y contenido de finidos en la tabla 6.1.

<b>Estructuras comunes</b>	<b>Efectos de las tormentas eléctricas</b>	<b>Frecuencia (Nd)</b>
Residencia	Daño a la instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en la punta de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	0.04
Edificios de servicios como: Centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, centros deportivos, escuelas, estacionamientos, estaciones de autobuses, metro o trenes.	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Perdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y perdida de información.	0.02
Hospitales Asilos Reclusorios	Falla de equipos, daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control. Perdida de enlaces de información, falla de computadoras y perdida de información	0.02
Museos y sitios arqueológicos	Perdida de estigios culturales irremplazables.	0.02
Edificios de telecomunicaciones	Interrupciones inaceptables, daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de servicio.	0.02

**TABLA 6.1 Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes. Fuente NMX-J-549-ANCE-2005 (Ver Anexo 2)**

De esta tabla se puede identificar al EOU como un Edificio de Servicio indicando una frecuencia  $N_d = 0.02$ .

Las áreas equivalentes de captura se clasifican y se calculan de la forma siguiente:

Para una estructura aislada ubicada en terreno plano, con techo y de dos aguas se calcula:

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (6.2)$$

$$A_e = ab + 6hb + 9\pi h^2 \quad (6.3)$$

Para una estructura aislada ubicada en terreno irregular, se calcula:

$$A_e = ab + 6h_e(a + b) + 9\pi h_e^2 \quad (6.4)$$

Para una estructura con otras adyacentes se calculan primero las distancias correspondientes con la siguiente ecuación:

$$X_s = \frac{d + 3(h_s - h)}{2} \quad (6.5)$$

Donde:

- $a$  longitud de uno de los lados de la estructura en metros.
- $b$  longitud del otro lado de la estructura en metros.
- $h$  altura de la estructura en metros.
- $h_e$  altura equivalente de la estructura en el terreno irregular en metros.
- $h_s$  altura del objeto vecino en metros.
- $X_s$  distancia equivalente en metros.
- $d$  distancia horizontal entre la estructura y el objeto vecino en metros.

Como se puede observar, el último punto es el que se adecúa al sistema del EOU, por lo que se empleará la ecuación para el cálculo de las distancias equivalentes, ya que en el estadio se cuenta con 4 estructuras.

Para el cálculo del área equivalente de captura se analizará una torre y, puesto que son simétricas e iguales en estructura y medidas, se tomarán los mismos resultados para las demás.

Considerando que las alturas de las torres son las mismas se puede simplificar la ecuación anterior de la siguiente manera:

$$X_s = \frac{d}{2} \quad (6.6)$$

Por lo tanto, los resultados de las distancias equivalentes aproximadas entre ellas son:

$$X_{s_{12}} = 80.5[m], \quad X_{s_{13}} = 114[m] \text{ y } \quad X_{s_{14}} = 81[m]$$

Ahora, con estos resultados, se puede determinar el área equivalente de captura como se observa en la figura 6.1.

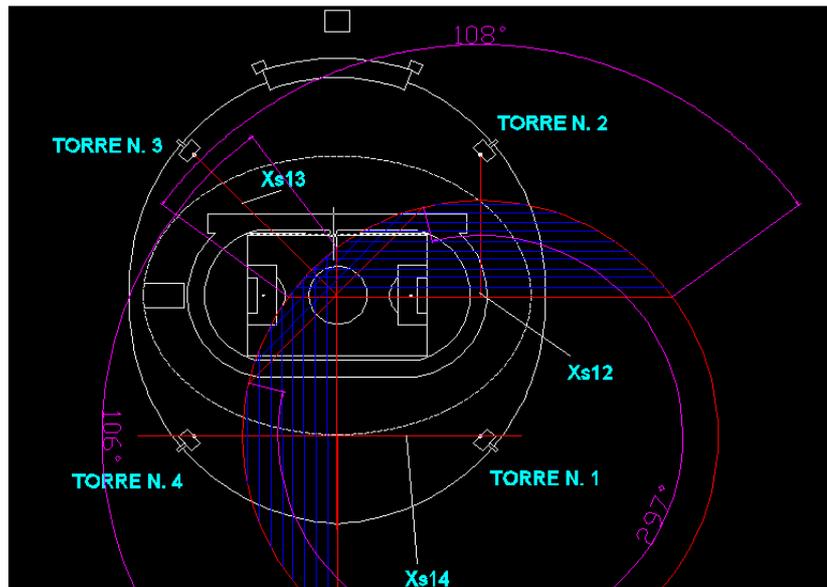


Figura 6.1 Área equivalente de captura para las cuatro torres del EOU

Como se puede observar en la figura anterior, las áreas equivalentes son segmentos de un círculo, por lo que se empleará la siguiente ecuación.

$$\text{Área}_{\text{seg circular } AB} = \text{Área}_{\text{sec circular } AOB} - \text{Área}_{\text{triángulo } AOB} \quad (6.7)$$

Donde el área del sector circular AOB se puede determinar por:

$$X_s = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot \alpha}{360^\circ} \quad (6.8)$$

En la figura 6.1r se tiene un área equivalente  $A_e = 2261.308 \text{ m}^2$  para la torre numero 1; recordando que para las demás torres el resultado es el mismo ya que consideramos simetría entre ellas.

Ahora, en base a tablas de la norma mexicana, se puede calcular el DRT<sup>28</sup> (Ng), para ésta zona del Distrito Federal, en la figura 6.2.

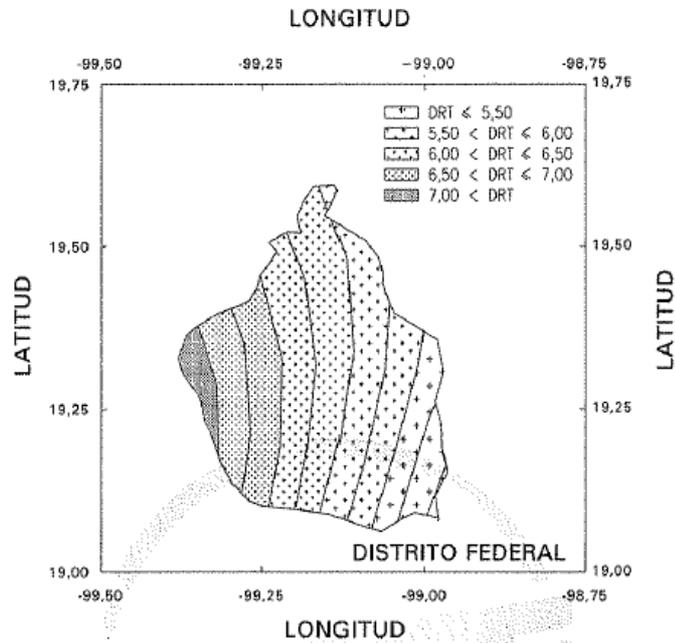


Figura 6.2 Incidencia de rayos por zonas en el Distrito Federal

<sup>28</sup> DRT: Incidencia de rayos.

De esta manera se calcula el valor de la frecuencia promedio anual de rayos directos a una estructura.

$$N_0 = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} = 6 \cdot 2261.308 \cdot 10^{-6} = 0.012$$

Una vez determinado el valor de  $N_0$  se debe comparar con el valor de la frecuencia media anual permitida  $N_d$  para evaluar la necesidad de protección, considerando lo siguiente:

- Si  $N_0 \leq N_d$ , SEPTE es opcional
- Si  $N_0 > N_d$  debe instalarse un SEPTE

Tomando en cuenta la consideración anterior, observamos que el PEPTE es opcional, sin embargo y para mayor seguridad de nuestro equipo y de los espectadores, se realizará el diseño de nuestro sistema contra descargas atmosféricas.

### 6.3. DISEÑO

El diseño está basado en el método de la esfera rodante, el cual consiste en rodar una esfera imaginaria sobre tierra, alrededor y por encima de la instalación a proteger o cualquier otro objeto en contacto con la tierra siendo capaz de actuar como un punto de intercepción de la corriente de rayo.

Para comenzar el diseño de un SPTTE es necesario seleccionar el nivel de protección a utilizarse según la Norma Mexicana NMX-J-549-ANCE-2005 para la altura y ubicación de las terminales aéreas, tal y como se muestra en la tabla 6.2.

<b>Estructuras comunes</b>	<b>Efectos de las tormentas eléctricas</b>	<b>Nivel de protección recomendado</b>
Residencia	Daño a la instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en la punta de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	III o IV
Edificios de servicios como: Centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, centros deportivos, escuelas, estacionamientos, estaciones de autobuses, metro o trenes.	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	II
Hospitales Asilos Reclusorios	Falla de equipos, daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control. Pérdida de enlaces de información, falla de computadoras y pérdida de información	I o II
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de estigios culturales irremplazables.	II

**Tabla 6.2 niveles de protección NOM NMXJ-549**

Debido a las características de la estructura del EOU y del equipo a proteger, se ubica el nivel de protección recomendado en el nivel III; considerando que la estructura es de concreto y cuenta con elementos metálicos salientes. Una vez ubicado el nivel de protección se puede determinar el valor de la corriente de rayo  $i [KV]$ , así como el radio la esfera rodante  $rs [m]$  a través de la tabla 6.3.

Nivel de protección	Radio de la esfera rodante $r_s$ y su correspondiente valor de corriente de rayo		Altura de la terminal aérea a partir del plano a proteger
	$r_s[m]$	$i[KV]$	$h[m]$
I	20	3	$\leq 20$
II	30	6	$\leq 30$
III	45	10	$\leq 45$
IV	60	16	$\leq 60$

Tabla 6.3 Nivel de Protección. Fuente NOM NMXJ-549-ANCE-2005

De la tabla 6.3 se obtiene valor de una corriente de rayo mínima para nuestra protección de 10 [KA] y un radio de nuestra esfera iguala 45 [m]. Para determinar el número y la ubicación de puntas a colocarse es necesario aplicar en método de la esfera rodante como se observa en la figura 6.3.

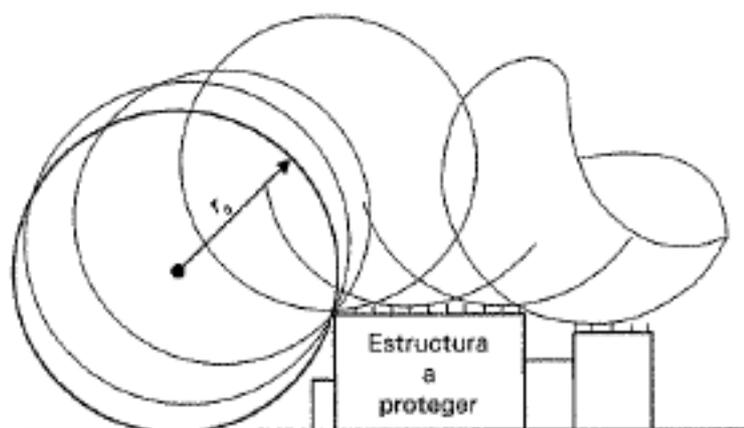


Figura 6.3 Aplicación del método de la esfera rodante para definir altura y posición de las terminales aéreas.

Empleando los criterios anteriormente mencionados, para el diseño de la protección contra descargas atmosféricas en las torres del EOU será en base a la figura 6.4, donde se puede observar que se toma como referencia una punta en el centro de nuestra estructura, ésta queda totalmente cubierta; sabiendo que el aérea protegida es la que se encuentra por debajo del rodamiento de la esfera y que está limitada a la torre y al plano.

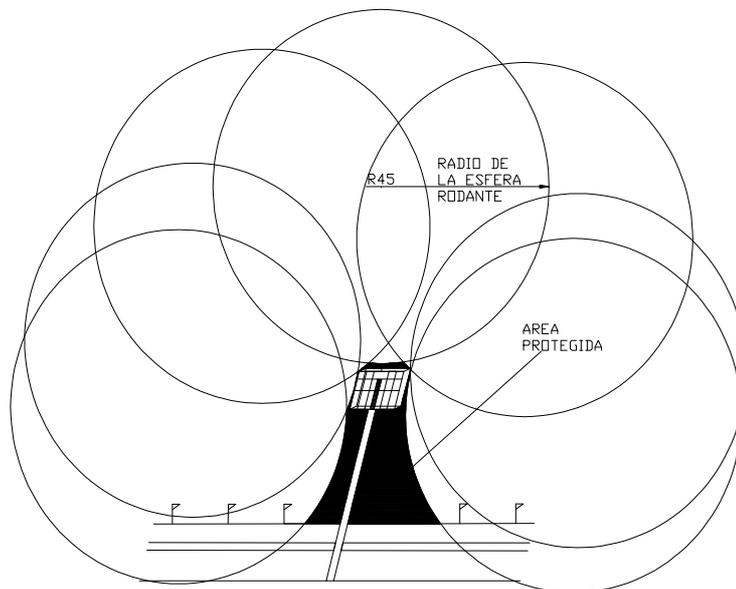


Figura 6.4 Resultados gráficos aplicando el método de la esfera rodante

Las puntas a colocarse pueden ser:

- Elementos metálicos verticales
- Cables aéreos tendidos horizontalmente
- Combinación de ambos

Para la selección de las dimensiones de las terminales aéreas se toman en cuenta las medidas sugeridas por la Norma Oficial Mexicana NOMX-J-549-ANCE-2005 para terminales aéreas en SEPTE no aislado, a partir de la tabla 6.4.

Material	Sección transversal mm <sup>2</sup>
Cobre	35
Aluminio	70
Acero inoxidable (Aleación tipo 304)	50

Tabla 6.4 Materiales y dimensiones mínimas de las terminales aéreas. NOM NMXJ-549-ANCE-2005

Para esta propuesta se decidió emplear una punta "Prevectorn 2" (Figura 6.5), que cuenta con dispositivo de cebado. Esto quiere decir que cuando ocurre un

golpe de rayo, existe a nivel del suelo un campo eléctrico permanente que crece en función de la aproximación del “trazador descendente”. A partir de un cierto umbral (50 a 100 KV/m), el efecto corona, que se desarrolla naturalmente en la punta de ciertas asperezas, permitirá el arranque de descargas ascendentes dirigidas hacia la nube.

Este pararrayos en presencia de un campo eléctrico importante, los captadores inferiores cargan el dispositivo de ionización en energía eléctrica y, durante el golpe de rayo, los electrodos superiores generan chispas que permiten el desarrollo de un trazador ascendente que intercepta y canaliza la corriente del rayo hacia la tierra a través de la punta central. Una punta captadora central de cobre electrolítico o de acero inoxidable. Élla atraviesa el pararrayos y así crea un camino continuo hacia la tierra para conducir la corriente del rayo.

Algunas características de esta punta se mencionan a continuación.

- Electrodo superiores generadores de chispas.
- Un dispositivo eléctrico de cebado, blindado en su caja protectora
- Captadores inferiores de recuperación de la energía ambiente
- Funcionamiento totalmente autónomo
- Fiabilidad inclusive en condiciones climáticas extremas
- Resistencia comprobada en caso de descargas de rayos repetidas
- El pararrayo se activa únicamente cuando hay una elevación del campo eléctrico (ante el riesgo de una descarga eléctrica).
- Seguridad de la punta captadora debido al respeto del principio de continuidad eléctrica entra la punta y la toma de tierra

El radio de protección  $R_p$  del pararrayos es calculado según la fórmula de la norma NFC17–102 de Julio de 1995. Los radios de protección dependen de varios parámetros:

Como se menciona anteriormente, el nivel de protección determinado es nivel III. Mediante las tablas del proveedor podemos obtener el radio de protección especificado a partir de la tabla 6.5.

H (m) >>>	10	20	45	60 (máx)
<b>S6.60</b>	109	113	119	120
<b>S4.50</b>	98	102	109	110
<b>S3.40</b>	87	92	99	100
<b>TS3.40</b>	87	92	99	100
<b>TS2.25</b>	69	75	84	85

Tabla 6.5 Radios estándar de protección para h < 5m

El parámetro H[m] es la altura real del pararrayo arriba por encima de la superficie a proteger, en este caso el valor de éste parámetro es de 60(máx).

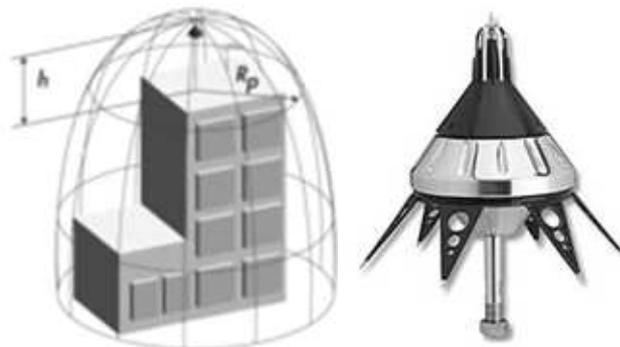


Figura 6.5 Pararrayos Prevetron 2 S6.60

Mediante la siguiente fórmula se puede determinar el radio de protección de la punta.

$$R_p = \sqrt{(h(2D - h)) + \Delta L(2D + \Delta L)}, \text{ para } h > 5[m] \quad (6.9)$$

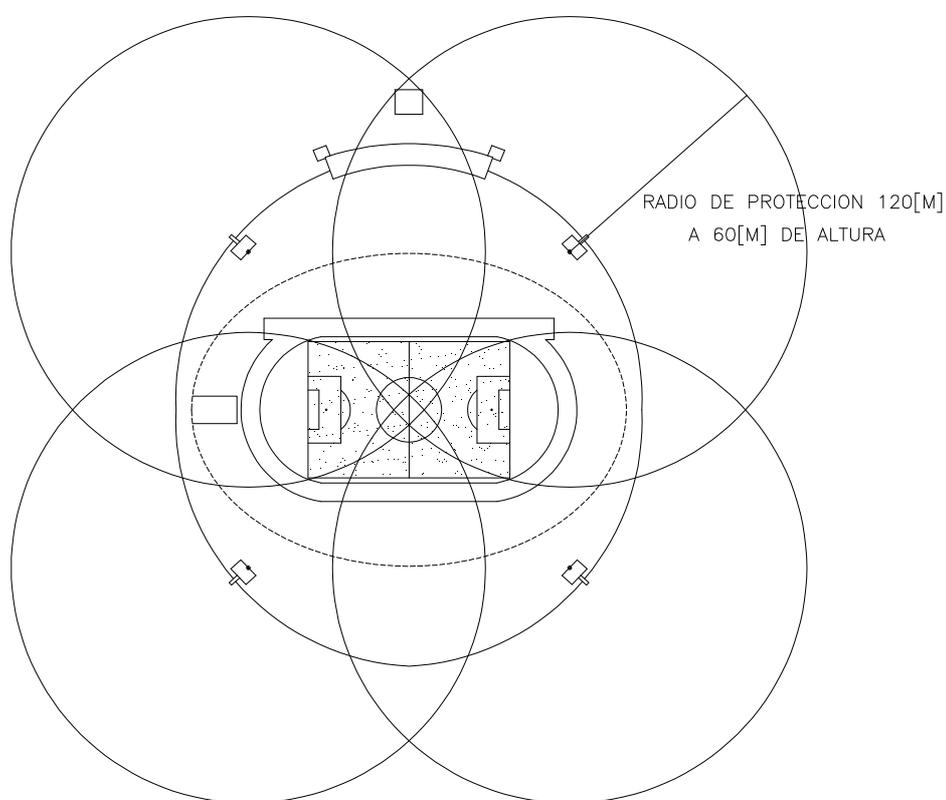
Donde

$D$  20, 45 o 60 en función del nivel de protección requerido.

$h$  Altura real del PREVECTRON 2 arriba de la superficie a proteger.

$\Delta L$   $10^6 \Delta T$

Como se puede observar de la tabla 6.5, se tiene un radio de 120 m de protección por cada una de las puntas ya que usara el modelo S6.60 con una altura de nuestra torre de 60m máximo. Por todo lo anterior y por su capacidad de protección, se decidió elegir este tipo de pararrayo por que en el estadio no solo se debe proteger al equipo instalado, sino también a los asistentes del estadio, además esta punta y sus cálculos están basados en la norma mexicana antes mencionada y en la norma francesa NFC17-102.

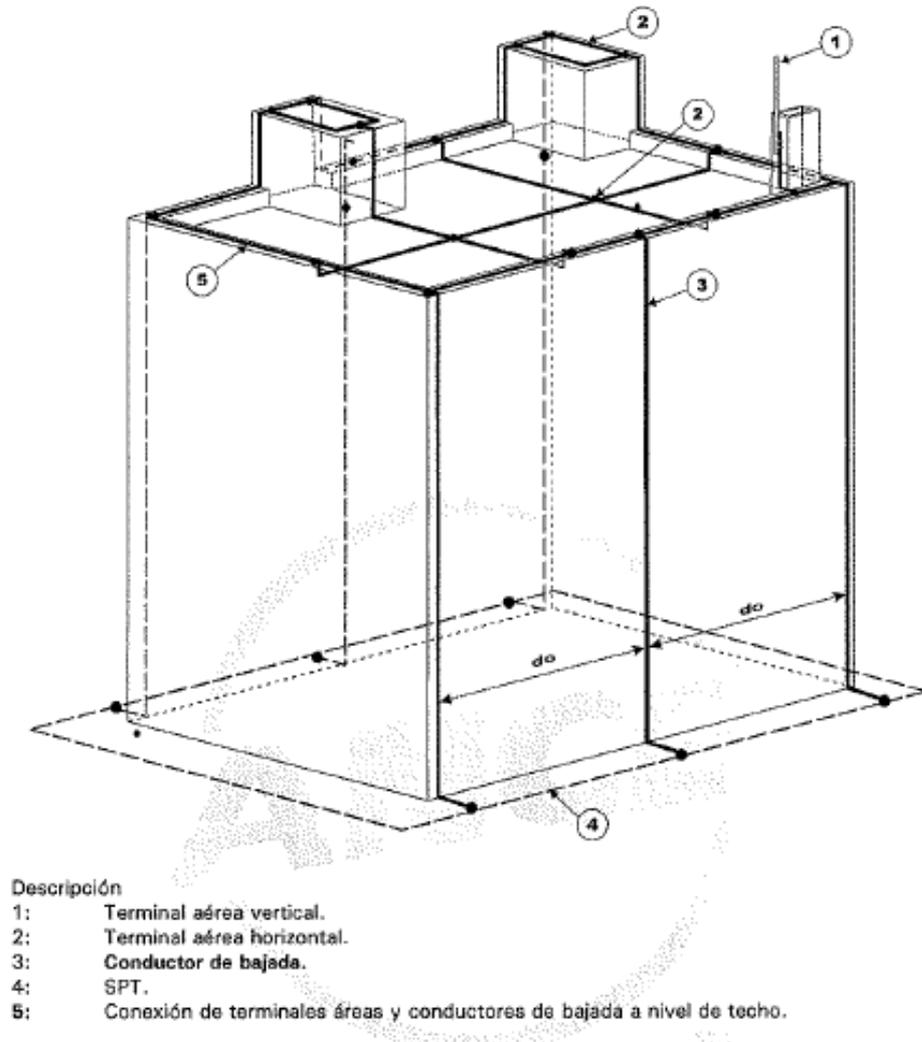


**Figura 6.6 Zona protegida con 4 pararrayos Prevetron 2 S6.60**

Observando que la zona del EOU queda protegida en su totalidad contra descargas eléctricas.

Finalmente, la norma indica que cuando la altura de la estructura está entre 20m y 60m deben instalarse, adicionalmente a las terminales aéreas a nivel techo,

conductores horizontales alrededor del edificio formando lazos cerrados a cada 20m de altura como se indica en la figura 6.7.



**Figura 6.7 Arreglo físico de la conexión entre terminales aéreas, conductores de bajada y SPT en un edificio con diferentes alturas en el techo para un sistema no aislado de protección.**

En este caso la estructura de acero de las torres del EOU serán utilizadas como puntas naturales, esto nos ayudara a omitir los conductores horizontales en el techo de nuestra estructura, tomando en cuenta que nuestra estructura es continua.

El siguiente aspecto en el diseño son los conductores de bajada; los cuales pueden ser:

- Una solera
- Una barra redonda
- Un cable
- Una componente natural (acero estructural o de refuerzo)

Para el diseño de un SEPTE los conductores de bajada deben de cumplir con lo siguiente según la norma NMX-J-549-ANCE-2005:

- Distribuirse uniformemente a lo largo de la estructura o edificio mediante una configuración lo mas simétrica posible.
- Conectarse a los elementos del sistema de puesta a tierra (SPT) a través de la trayectoria más corta.
- Conectarse a las terminales aéreas y al SPT de manera firme y permanente.
- Ubicarse lo más alejado de circuitos eléctricos, electrónicos, de equipo con riesgo de fuego o explosión, acceso para el personal, de puertas y de ventanas.

En un SEPTE no aislado, las terminales aéreas y los conductores de bajada deben estar conectados a nivel techo y a nivel suelo, como se menciona anteriormente, pero cumpliendo con las siguientes especificaciones:

- Si el sistema está formado por una sola Terminal aérea, debe utilizarse dos o más conductores de bajada.
- Si el sistema está formado por conductores horizontales debe atizarle dos o más conductores de bajada.
- Los conductores de bajada deben de estar distribuidos de acuerdo con la tabla 6.6.

Nivel de protección	Distancia promedio (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

**Tabla 6.6** Distancia promedio de separación entre los conductores de bajada contiguo de acuerdo al nivel de protección NOM NMXJ-549-ANCE-2005

- Si la pared de la estructura está hecha con material inflamable, los conductores de bajada deben colocarse a una distancia mayor a 0.1 m del elemento a proteger.
- El radio de curvatura para conductores de bajada en cambios de dirección no debe exceder los 200mm.

Con lo todo lo anterior, se puede resumir que para el diseño sólo es necesario cumplir con la medida de nuestro conductor de bajada, ya que en el sistema no se encuentran conductores horizontales por el material de nuestra estructura como se había mencionado, ni mucho menos alguna de las acepciones mencionadas; así que dichos conductores son desnudos de cobre de 16 mm<sup>2</sup> tal y como indica la norma en la tabla 6.7.

<b>MATERIAL</b>	<b>Conductor de bajada mm<sup>2</sup></b>
ACERO	50
COBRE	16
ALUMINIO	25

**Tabla 6.7** Dimensiones mínimas de los conductores de bajada

La siguiente parte de nuestro SEPTTE es el Sistema de Puesta a Tierra (SPT); el cual, debe utilizarse para minimizar los potenciales de paso y contacto para reducir riesgos de electrocución y la formación de arcos laterales entre partes metálicas

que pongan en peligro a las personas y al equipo en la trayectoria de los conductores de bajada.

El SPT debe integrar, incluir e interconectar a todos los sistemas dentro de la instalación como son: SPTE, sistemas de energía eléctrica, etc (unión equipotencial). Con el fin de mantener la elevación de potencial del SPT a niveles seguros, se recomienda que el valor de resistencia a tierra se mantenga en niveles no mayores a 10  $\Omega$ .

Los elementos que integran un SPT son:

- Electrodo de puesta a tierra
- Conductores desnudos para unir los electrodos en caso de ser varios
- Conexiones soldables
- Registros

En general un electrodo de puesta a tierra puede ser de cualquier tipo y forma siempre y cuando cumpla con los requisitos siguientes:

1. Ser metálico
2. Tener una baja resistencia a tierra
3. Sus componentes no deben tener elementos contaminantes al medio ambiente.

Los formados por varios elementos metálicos, estos deben estar unidos por medio de soldadura.

Dentro de los electrodos de puesta a tierra más comunes se tienen:

- Verticales(varillas, tubos, conductores planos)
- Horizontales(tubos, cables o conductores planos colocados en forma radial o en anillo)
- Los formados por los cimientos de las estructuras(naturales)
- Placas y mallas

- Pero cumpliendo siempre con la siguiente especificación de la norma mexicana.

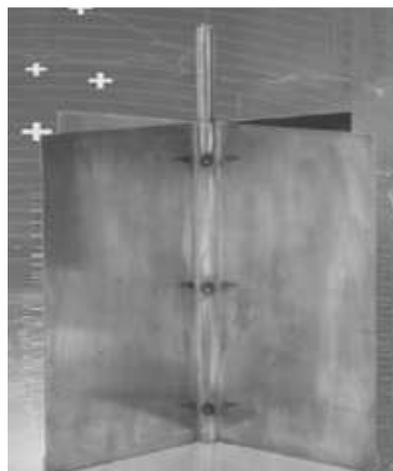
<b>Material</b>	<b>configuración y dimensiones nominales mínimas</b>	
Cobre	Cilíndrico solidó	53.3 mm <sup>2</sup>
	Cintilla	25mm X 1.5mm
	Tubo	Diámetro interior 13mm Espesor de pared mínimo 1.8mm
	Placa plana	500mm X 500mm espesor mínimo 1.52mm
	Lamina	0.25mm <sup>2</sup> Espesor mínimo 0.711mm
	Cable trenzado	53.5mm <sup>2</sup>
Acero	Tubo galvanizado	Diámetro interior 19mm Espesor mínimo de pared 2.71mm Espesor mínimo de recubrimiento 0.086mm
	Placa plana galvanizada	Espesor mínimo de recubrimiento 0.086mm Espesor mínimo de la placa 6.4mm
	Varilla de acero estirada en frío, con recubrimiento de cobre electrolítico	Diámetro de 14.3 X 15.5mm Espesor mínimo del recubrimiento 0.254mm
	Varilla galvanizada	Diámetro mínimo de 13mm y máximo de 25mm Espesor de recubrimiento 0.086mm
Acero inoxidable	Cintilla o solera	Diámetro de 14.3mm mínimo y 15.5 mm máximo
	Placa plana	500mm X 500mm Espesor mínimo de la placa 6.4mm
	Lamina	0.25mm <sup>2</sup> Espesor mínimo 1.245mm de la lamina

**Tabla 6.8 Materiales y dimensiones nominales mínimas de los electrodos de Puesta a Tierra**

Para el diseño se deben tomar en cuenta varios factores como son: La resistividad del terreno, el área disponible, elementos enterrados que obstruyan como rocas y la agresividad del suelo sobre los materiales (corrosión).

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, la resistividad del suelo de Ciudad Universitario es alta ya que está constituido principalmente de roca y, según las medidas tomadas (registradas en el capítulo 3), se tiene un valor promedio de 160 [ $\Omega \cdot m$ ] por ello, basándonos en la Norma Universitaria que indica que si se desea usar electrodos tipo rehilete, éstos se usarán en terrenos donde no sea posible clavar la varilla en excavaciones especiales para ellos; dicho rehilete se colocará en el fondo de la excavación, es muy importante que la excavación sea tapada con tierra con las mejores condiciones de conductividad, al máximo grado de compactación posible.

Este rehilete estará ubicado donde se logre la dispersión fácil de la descarga del terreno con una profundidad de 1.5 a 2 metros; para éstas condiciones se ha propuesto realizar ésta excavación en una plancha ubicada afuera de la subestación; ya que además se debe tomar en cuenta que por norma Universitaria y Mexicana debe instalarse el electrodo mínimo a 7 metros del conductor de bajada. Ahora bien, dicho electrodo está formado por dos placas metálicas soldadas a una varilla de cobre de  $\frac{1}{2}$ " de diámetro que forman una cruz, por su alta conductividad eléctrica y térmica, por ser inatacable e inerte frente a los agentes químicos, es el elemento ideal para construir un electrodo de toma de tierra. (Véase figura 6.8)



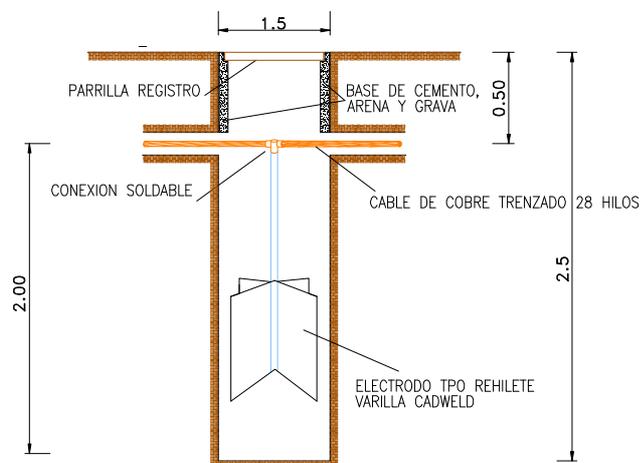
**Figura 6.8 Electrodo tipo rehilete**

Ahora presentamos las especificaciones de este tipo de electrodo:

- Altura Total 70 cm
- Ancho de la hoja 30 cm
- Largo de la hoja 40 cm
- Resistencia teórica 2,5  $\Omega$
- Resistencia empírica 2,0 a 4,0  $\Omega$
- Grosor de la hoja Calibre 22 (0.71 cm)
- Peso 1.2 Kgs

Tiene una Terminal de conexión, varilla de cobre de ½" de diámetro (12.7 mm).

Para su mayor entendimiento en la siguiente figura se observa el diagrama físico de cómo se realizará la conexión e instalación del SPT.



**Figura 6.9 Instalación del SPT.**

Como se menciona en un principio, la Norma Mexicana toma en cuenta que el SPTE consta de 2 partes, un SEPTE y un SIPTE; una vez diseñado el SEPTE, se enfocara al diseño y especificaciones del SIPTE, para ello, es imprescindible hablar de Unión Equipotencial (UE), ya que el diseño se enfoca totalmente de este aspecto. La unión equipotencial es un procedimiento de control y seguridad

mediante el cual se logra la igualación de los potenciales de todos o parte de los elementos metálicos de una instalación; esta igualación de los potenciales se efectúa mediante la conexión física a un punto común. Cabe mencionar que una vez lograda la unión equipotencial a un punto común, debe realizarse una conexión entre dicho punto y la red del SPT de la instalación.

Los elementos que integran la Unión Equipotencial son:

- Conductores de unión: se utilizan para interconectar dos partes metálicas. La longitud de estos conductores deben ser lo más corta posible.
- Barras de unión: se utilizan para interconectar, mediante los conductores de unión, elementos metálicos de diversos sistemas de energía (eléctrica, telecomunicaciones, gas, agua, etc.), así como los elementos estructurales metálicos de la instalación a un solo punto de unión.
- Supresores de Sobretensiones Transitorias (SSTT): estos supresores se utilizan en los dos casos siguientes: 1) para protección de equipo eléctrico o electrónico sensible y 2) donde no se permite el uso de conductores de unión, como por ejemplo en la unión de dos piezas metálicas aisladas entre sí en tuberías de gas y por restricciones del sistema de protección catódica.

En este caso no se hará uso de SSTT, ya que no se cuenta en la subestación de las torres con Elio electrónico sensible ni con tuberías de gas y agua.

Finalmente,, para terminar con el diseño, se ilustra en la figura 6.10 un arreglo conceptual de la UE a nivel interno en donde las barras de unión deben interconectarse entre sí, sin formar lazos cerrados y conectados firmemente a la barra de unión principal y esta al SPT.

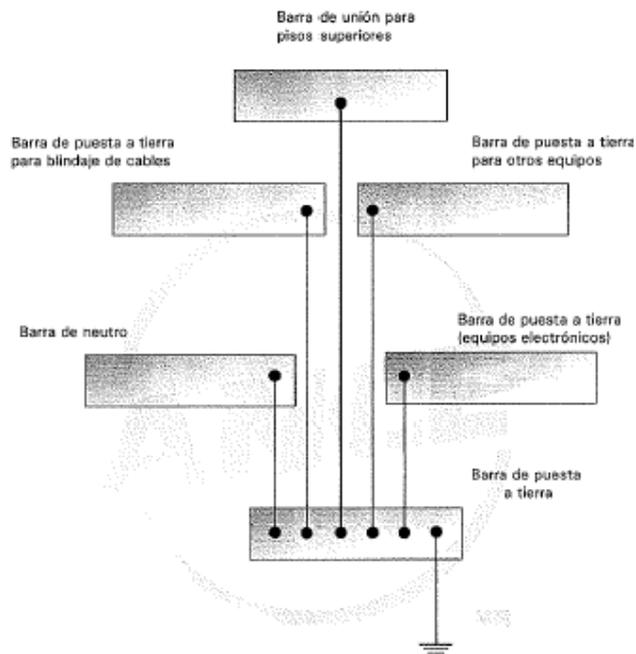


Figura 6.10 Arreglo de la UE a nivel interno.

Así es como queda integrado de manera definitiva el Sistema de Protección contra Tormentas Eléctricas para la protección de las estructuras y de los asistentes al estadio.

## CONCLUSIONES

Para la realización de esta tesis, se analizó, calculó y verificó el proyecto para la iluminación de la cancha del Estadio Olímpico Universitario, cumpliendo como primer objetivo con la reducción en el consumo de energía eléctrica y, en segundo plano, tener una iluminación adecuada que cumpla con las normas nacionales e internacionales que rigen a este tipo de inmueble.

	No. Lámparas	Consumo	Factura	Ahorro	Tiempo de Instalación	Duración
<b>Sistema Anterior</b>	1040	2,080 [MW]	\$ 294,062.56	No existe	> 30 años	44 años
<b>Sistema Actual</b>	216	486 [kW]	\$ 68,722.42	76.63 %	Nuevo	47 años aprox

**Tabla C. Comparación del Sistema Anterior contra el Actual.**

En la tabla C, se muestran los resultados obtenidos de manera teórica para cada uno de los sistemas, es decir, para el sistema anterior y actual. Observando principalmente el ahorro en consumo de energía eléctrica y el ahorro en costo; éstos resultados se obtuvieron considerando el total de carga instalada para la iluminación de la cancha en cada una de las 4 torres con las que cuenta para este propósito el Estadio, empleando los valores teóricos de consumo de las lámparas instaladas. Los resultados mostrados en la tabla C se obtuvieron de las manera que se cumplan siempre con las exigencia de las normas, principalmente la norma NOM-001-SEDE-2005.

Para garantizar la seguridad tanto del sistema eléctrico, como la de los asistentes al estadio, se presento un sistema de tierras y un sistema de protección contra descargas atmosféricas independientes para cada subestación, ya que actualmente estos sistemas se encuentran expuestos a fallas, para el desarrollo de estos sistemas, el estudio se basó en normas mexicanas y universitarias vigentes.

De esta manera se puede decir que el Estadio Olímpico Universitario puede operar sin problemas durante eventos nocturnos, con un menor consumo de energía y unos niveles de iluminación adecuados para el disfrute de las actividades que se realicen en el Estadio Olímpico de Ciudad Universitaria.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Diagramas Unifilares

Anexo 2. Artículos de normas y tablas.

Anexo 3. Especificaciones Luminarias y balastro

Anexo 4. Corrida en Visual

**ANEXO 1. Subestaciones de las torres del Estadio Olímpico Universitario**

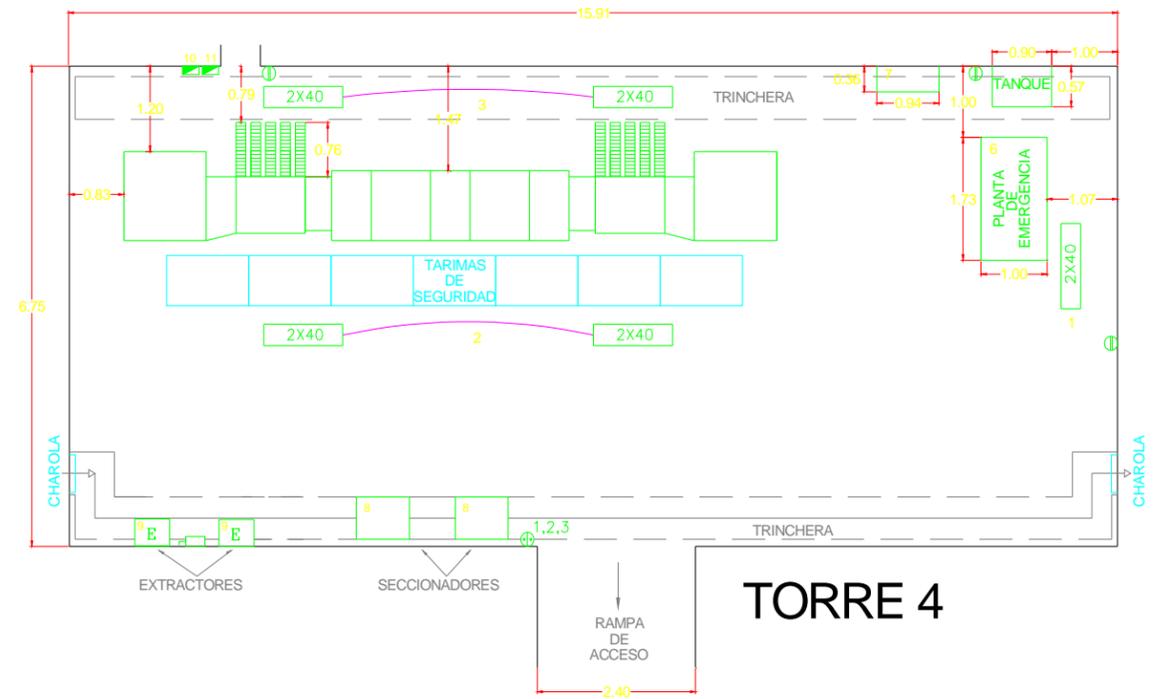
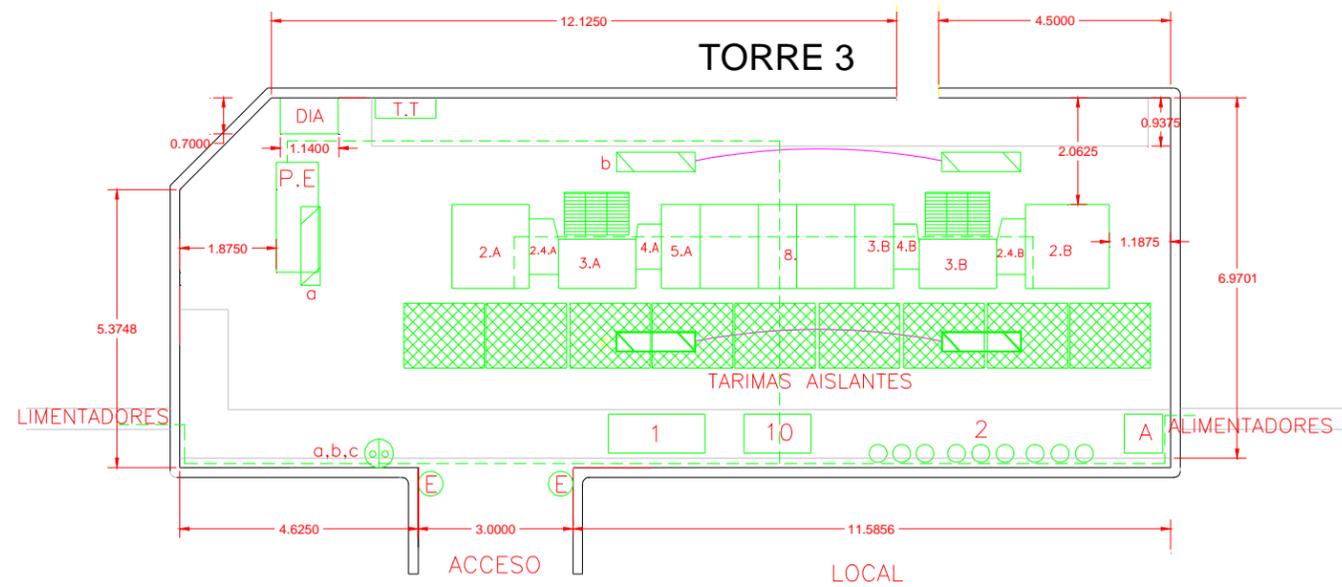
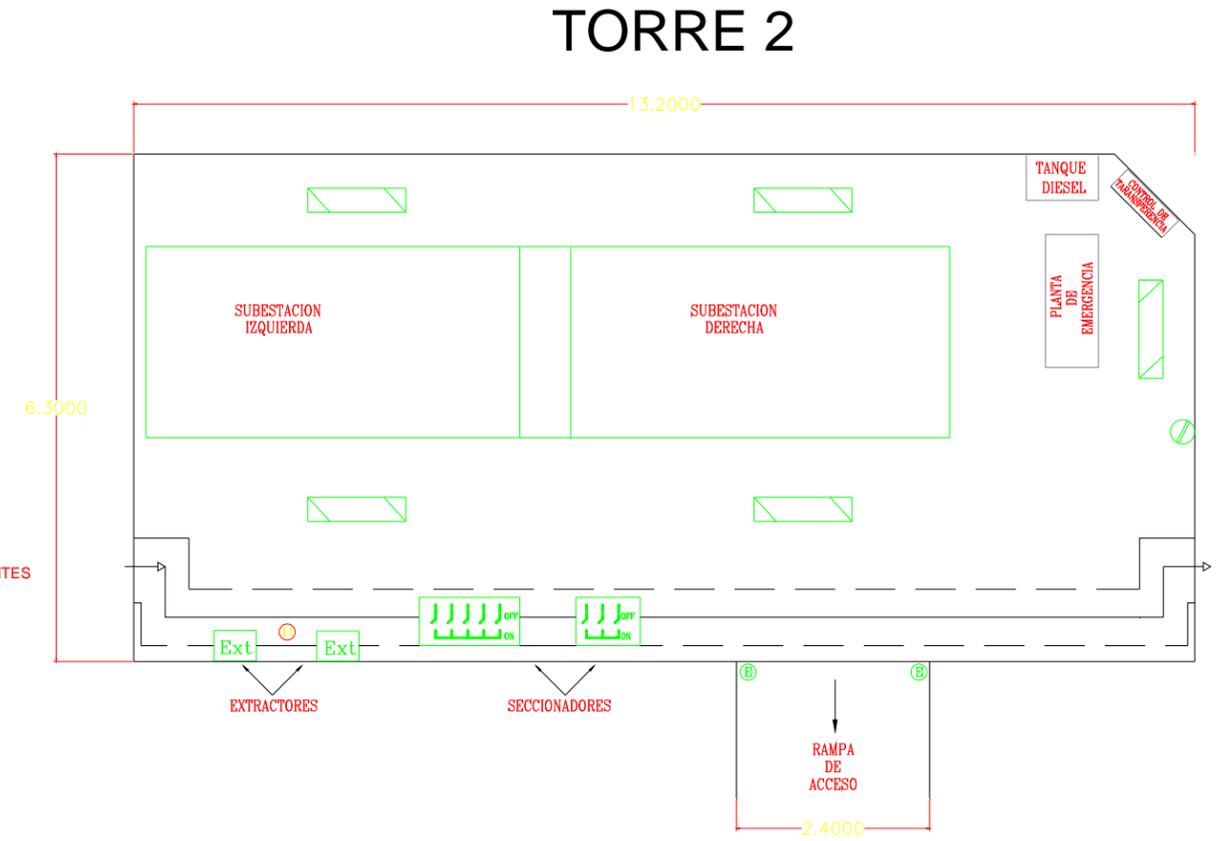
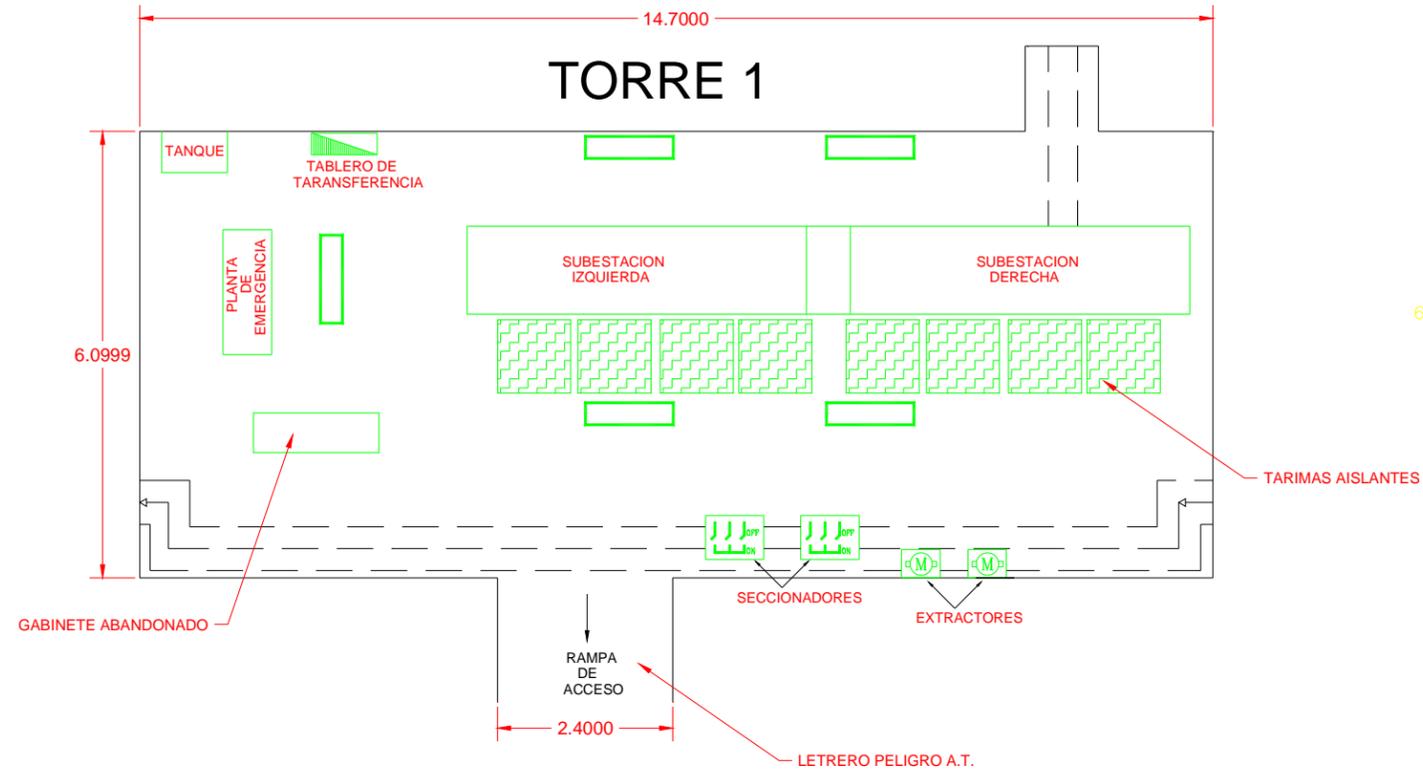
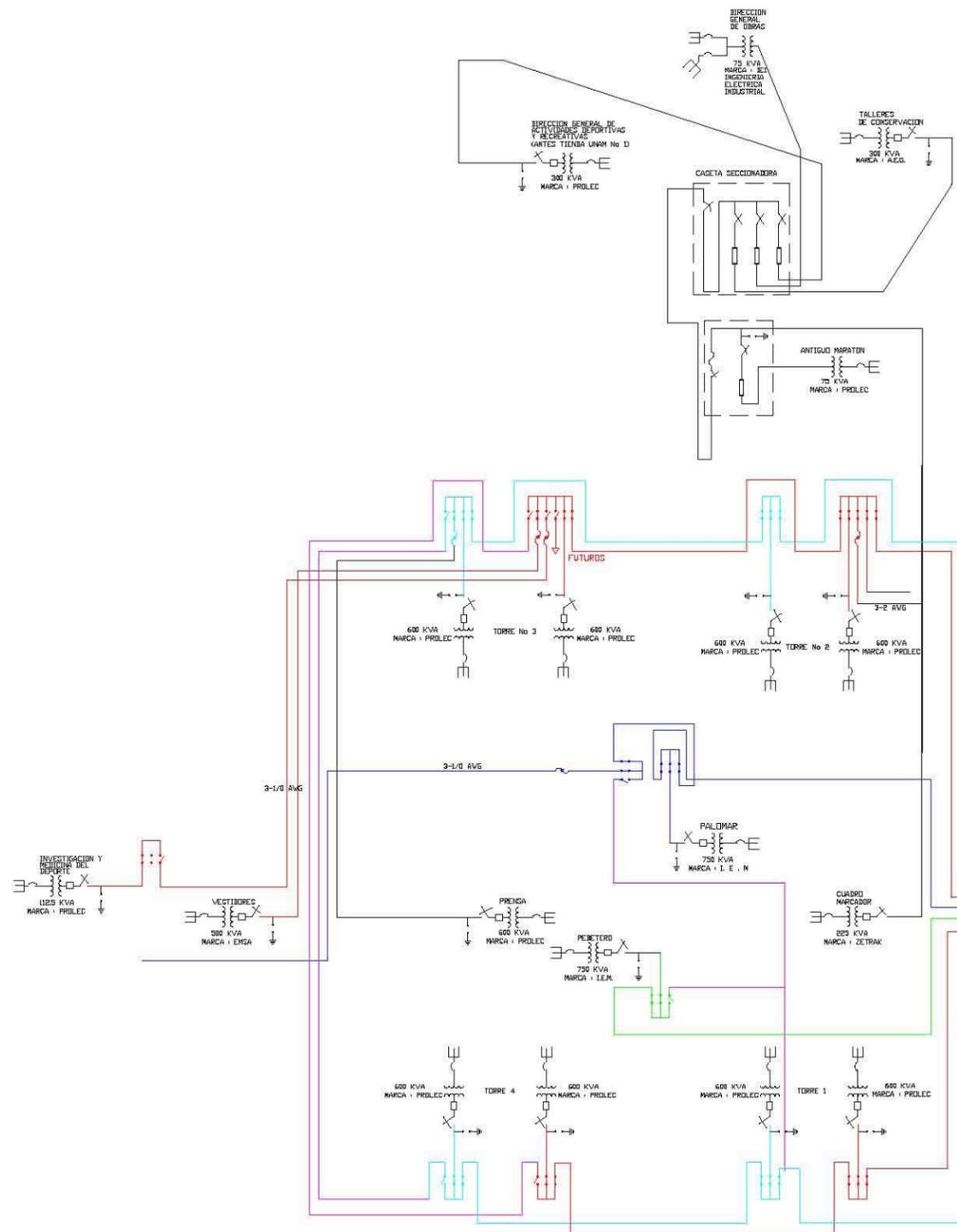
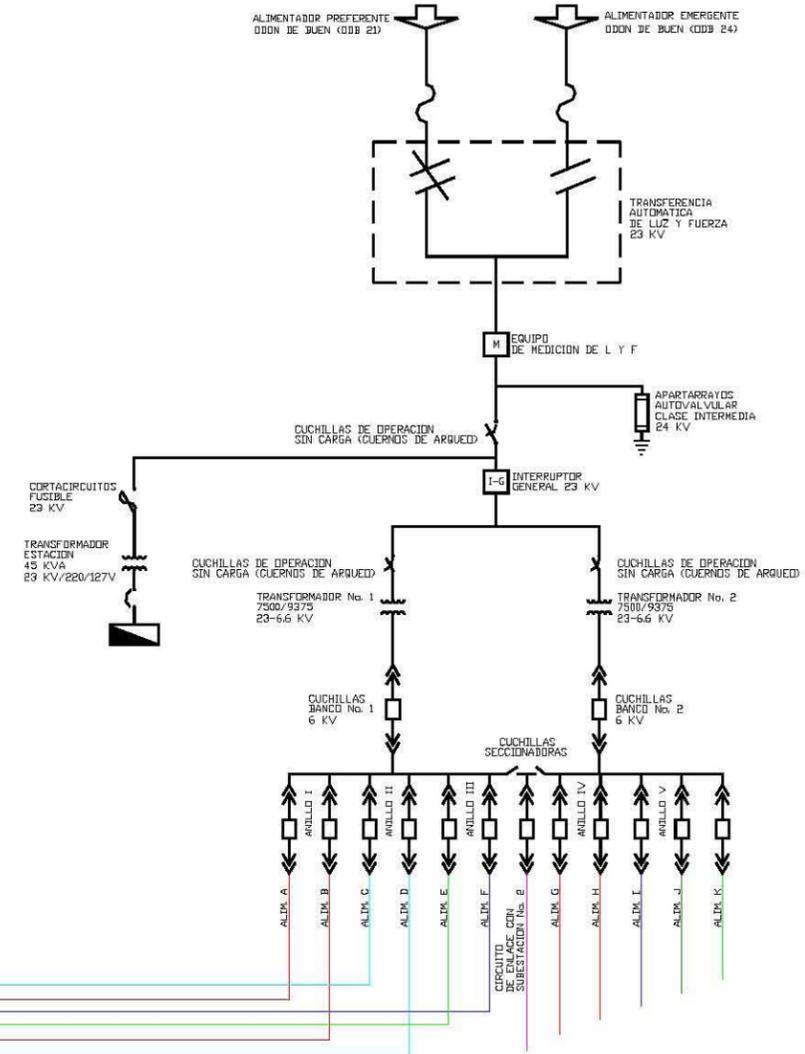




Diagrama unifilar de la alimentación de las subestaciones de las torres del Estadio Olímpico Universitario



SUBESTACION GENERAL No.1



## Anexo 2.

Tabla de los valores de DPEA para edificios deportivos (Apéndice informativo), en particular canchas deportivas, NOM-007-ENER-2004 Eficiencia Energética en Sistemas de Alumbrado en edificios no residenciales.

Los valores de DPEA que se incluyen en este apéndice tienen como único fin el de orientar sobre los desgloses de los espacios que en diferentes tipos de edificios, de acuerdo con su uso, se están analizando para ser considerados a futuro en las normas.

Tipo de edificio	Áreas específicas y DPEA W/m <sup>2</sup>														Áreas específicas y DPEA W/m <sup>2</sup>				
	oficina cerrada	oficina abierta	sala de juntas/salas múltiples	salas de conferencias	auditorio	vestibulo	salas interiores primarias y zonas	salas interiores para actividades	área recreativa	restaurante	preparación de alimentos	baños	corredores	descargas		zonas en activo	área común (M&B)	salas de máquinas o elevación	
<b>MUSEOS</b>																			
Museos	16.1	14.0	16.1	17.2		19.4	14.0	2.1			10.8	7.5	9.7	15.0	15.0	14.0	Exhibición	17.2	
																	Restauración	26.9	
<b>EDIFICIO DE OFICINAS</b>																			
Oficinas	16.1	14.0	16.1	17.2		19.4	14.0	2.1	15.0	15.0	23.7	10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0	Actividades bancarias	25.8
																		Laboratorio	19.4
<b>RECLUSORIOS</b>																			
Reclusorios	16.1	14.0		15.0	20.4	19.4			15.0	15.0	23.7	10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0	Celdas	11.8
<b>EDIFICIOS RELIGIOSOS</b>																			
Edificios religiosos	16.1	14.0	16.1	17.2	34.4	19.4	14.0	2.1	15.0		23.7	10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0	Pulpito, coro	55.8
																		Área de feligreses	24.7
<b>EDIFICIOS VENTAS AL MENUDEO</b>																			
Ventas al menudeo	16.1	14.0	16.1			19.4	14.0	2.1	15.0	15.0	23.7	10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0	Área general de ventas	22.6
																		Galería principal	19.3
<b>EDIFICIOS DEPORTIVOS</b>																			
Área de deportes	16.1	14.0	16.1		5.3	19.4	14.0	2.1	15.0	15.0	23.7	10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0	Cuadrilátero	40.8
																		Cancha deportiva	86.2
																		Cancha interior	28.4
<b>EDIFICIO DE ALMACENAMIENTO</b>																			
Almacén	16.1	14.0	16.1			19.4	14.0	2.1			10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0	Almacenje material fino	17.2	
																		Alm. Material med. o grueso	11.8
Estacionamiento	16.1					19.4					10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0	Área est. autoservicio	2.1	
																		Área est. Con acomodador	1.0
<b>TEATROS</b>																			
Actuación	16.1				19.4	12.0	14.0	2.1	15.0			10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0		*
Cine					14.0	8.8			15.0			10.8	7.5	9.7	11.8	3.2	14.0		*
<b>EDIFICIO DE TRANSPORTES</b>																			

**NOM-001-SEDE-2005**

Tabla 310-16. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C . No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30 °C

Tamaño o Designación		Temperatura nominal del conductor (véase Tabla 310-13)					
mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		TIPOS TW*, CCE TWD-UV	TIPOS RHW*, THHW*, THW*, THW-LS, THWN*, XHHW*, TT, USE	TIPOS MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THHW- LS, THW-2*, XHHW*, XHHW-2, USE-2 FEP*, FEPB*	TIPOS UF*	TIPOS RHW*, XHHW*	TIPOS RHW-2, XHHW*, XHHW-2, DRS
		Cobre			Aluminio		
0,824	18	---	---	14	---	---	---
1,31	16	---	---	18	---	---	---
2,08	14	20*	20*	25*	---	---	---
3,31	12	25*	25*	30*	---	---	---
5,26	10	30	35*	40*	---	---	---
8,37	8	40	50	55	---	---	---
13,3	6	55	65	75	40	50	60
21,2	4	70	85	95	55	65	75
26,7	3	85	100	110	65	75	85
33,6	2	95	115	130	75	90	100
42,4	1	110	130	150	85	100	115
53,5	1/0	125	150	170	100	120	135
67,4	2/0	145	175	195	115	135	150
85,0	3/0	165	200	225	130	155	175
107	4/0	195	230	260	150	180	205
127	250	215	255	290	170	205	230
152	300	240	285	320	190	230	255
177	350	260	310	350	210	250	280
203	400	280	335	380	225	270	305
253	500	320	380	430	260	310	350
304	600	355	420	475	285	340	385
355	700	385	460	520	310	375	420
380	750	400	475	535	320	385	435
405	800	410	490	555	330	395	450
458	900	435	520	585	355	425	480
507	1 000	455	545	615	375	445	500
633	1250	495	590	665	405	485	545
760	1500	520	625	705	435	520	585
887	1750	545	650	735	455	545	615
1010	2000	560	665	750	470	560	630
<b>FACTORES DE CORRECCION</b>							
Temperatura ambiente en °C		Para temperaturas ambientes distintas de 30 °C, multiplicar la anterior capacidad de conducción de corriente por el correspondiente factor de los siguientes					
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	1,04
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	0,96
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	0,91
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	0,87
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	0,82
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	0,76
56-60	....	0,58	0,71	....	0,58	0,71	0,71
61-70	....	0,33	0,58	....	0,33	0,58	0,58
71-80	....	....	0,41	....	....	0,41	0,41

\* A menos que se permita otra cosa específicamente en otro lugar de esta norma, la protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un asterisco (\*), no debe superar 15 A para 2,08 mm<sup>2</sup> (14 AWG); 20 A para 3,31 mm<sup>2</sup> (12 AWG) y 30 A para 5,26 mm<sup>2</sup> (10 AWG), todos de cobre.

Véase Sección 310-15

**TABLA 250-95.- Tamaño nominal mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos.**

Capacidad o ajuste del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, canalizaciones, etc. Sin exceder de:	Tamaño nominal mm <sup>2</sup> (AWG o kcmil)	
	(A)	Cable de cobre
15	2,08 (14)	---
20	3,31 (12)	---
30	5,26 (10)	---
40	5,26 (10)	---
60	5,26 (10)	---
100	8,37 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,2 (4)
300	21,2 (4)	33,6 (2)
400	33,6 (2)	42,4 (1)
500	33,6 (2)	53,5 (1/0)
600	42,4 (1)	67,4 (2/0)
800	53,5 (1/0)	85,0 (3/0)
1 000	67,4 (2/0)	107 (4/0)
1 200	85,0 (3/0)	127 (250)
1 600	107 (4/0)	177 (350)
2 000	127 (250)	203 (400)
2 500	177 (350)	304 (600)
3 000	203 (400)	304 (600)
4 000	253 (500)	405 (800)
5 000	354,7 (700)	608 (1 200)
6 000	405 (800)	608 (1 200)

Véase limitaciones a la instalación en 250-92(a)

**Nota:** Para cumplir lo establecido en 250-51, los conductores de puesta a tierra de los equipos podrían ser de mayor tamaño que lo especificado en esta Tabla.

**TABLA 10-4. Dimensiones de tubo (conduit) metálico tipo pesado, semipesado y ligero y área disponible para los conductores (basado en la Tabla 10-1, Capítulo 10).**

Designación	Diámetro interior mm	Área interior total mm <sup>2</sup>	Área disponible para conductores mm <sup>2</sup>		
			Uno conductor fr = 53%	Dos conductores fr = 31%	Más de dos conductores fr = 40%
16 (1/2)	15,8	196	103	60	78
21 (3/4)	20,9	344	181	106	137
27 (1)	26,6	557	294	172	222
35 (1-1/4)	35,1	965	513	299	387
41 (1-1/2)	40,9	1313	697	407	526
53 (2)	52,5	2165	1149	671	867
63 (2-1/2)	62,7	3089	1638	956	1236
78 (3)	77,9	4761	2523	1476	1904
91 (3-1/2)	90,1	6379	3385	1977	2555
103 (4)	102,3	8213	4349	2456	3282
129 (5)	128,2	12907	6440	4001	5163
155 (6)	154,1	18639	9879	5778	7456

\*Para tubo (conduit) flexible metálico o no metálico y para tubo (conduit) de PVC y de polietileno, los cálculos deberán basarse en las dimensiones interiores reales proporcionadas por el fabricante o indicadas en la norma de producto.

**Nota:** El tamaño nominal del tubo es el correspondiente a la normativa internacional IEC. De forma que el lector se familiarice con la designación internacional en la Tabla anterior, se indica entre paréntesis la designación correspondiente en pulgadas.

**TABLA 10-5. Dimensiones de los conductores aislados y cables de artefactos.**

Tipos: AFF, FFH-2, RFH-1, RFH-2, RH, RHH <sup>s</sup> , RHW <sup>s</sup> , RHW-2 <sup>s</sup> , RHH, RHW, RHW-2, SF-1, SF-2, SFF-1, SFF-2, TF, TFF, XF, XFF				
Tipo	Tamaño o designación		Diámetro Aprox. mm	Area Aprox. mm <sup>2</sup>
	mm <sup>2</sup>	AWG		
RFH-2	0,824	18	3,45	9,44
FFH-2	1,31	16	3,76	11,1
RH	2,08	14	4,14	13,5
	3,31	12	4,62	16,8
RHW-2, RHH RHW RH, RHH RHW RHW-2	2,08	14	4,90	18,9
	3,31	12	5,38	22,8
	5,26	10	5,99	28,2
	8,37	8	8,28	53,9
	13,3	6	9,25	67,2
	21,2	4	10,5	86,0
	26,7	3	11,2	98,1
	33,6	2	12,0	113
	42,4	1	14,8	172
	53,5	1/0	15,8	196
	67,4	2/0	18,97	226,13
	85,0	3/0	18	263
	107	4/0	19,8	307
	127	250	22,7	406
	152	300	24,1	457
177	350	25,4	508	
	203	400	26,6	557
	253	500	28,8	650
	304	600	31,6	783
	355	700	33,4	875
	380	750	34,2	921
	405	800	35,1	965
	456	900	36,7	1057
	507	1 000	38,2	1143
	633	1250	43,9	1515
	760	1500	47,0	1738
	887	1750	49,9	1959
	1 010	2 000	52,6	2175
SF-2, SFF-2	0,824	18	3,07	7,42
Tipo	Tamaño o designación		Diámetro Aprox. mm	Area Aprox. mm <sup>2</sup>
	mm <sup>2</sup>	AWG		
		1,31	16	3,38
	2,08	14	3,76	11,1
SF-1, SFF-1	0,824	18	2,31	4,19
RFH-1, AF, XF, XFF	0,824	18	2,69	5,16
AF, TF, TFF, XF, XFF	1,31	16	3,00	7,03
AF, XF, XFF	2,08	14	3,38	8,97

Tipos: AF, RHH*, RHW*, RHW-2*, THW, THW-2, TFN, TFFN, THWN, THWN-2, XF, XFF				
RHH*, RHW*, RHW-2*	2,08	14	4,14	13,5
	3,31	12	4,62	16,8
	5,26	10	5,23	21,5
AF, XF, XFF	8,37	8	6,76	35,9
	2,08	14	3,38	8,97
RHH*, RHW*, RHW-2*	3,31	12	3,86	11,7
	5,6	10	4,47	15,7
TW	8,37	8	5,99	28,2
THHW, THHW-LS	13,3	6	7,72	46,8
	21,2	4	8,94	62,8
THW, THW-LS	26,7	3	9,65	73,2
	33,6	2	10,5	86,0
THW-2	42,4	1	12,5	123
	53,5	1/0	13,5	143
TW	67,4	2/0	14,7	169
	85,0	3/0	16,0	201
THW	107	4/0	17,5	240
	127	250	19,4	297
THW-LS	152	300	20,8	341
	177	350	22,1	384
THHW	203	400	23,3	427
	263	500	25,5	510
THHW-LS	304	600	28,3	628
	355	700	30,1	710
THW-2	380	750	30,9	752
	405	800	31,8	792
RHH*	456	900	33,4	875
RHW*	507	1 000	34,8	954
RHW 2*	633	1250	39,1	1 200
	760	1500	42,2	1400
	887	1750	45,1	1598
	1 010	2 000	47,8	1795
	0,824	18	2,13	3,55
TFN	1,31	16	2,44	8,58
	2,08	14	2,82	6,26
TFFN	3,31	12	3,30	8,58
	5,26	10	4,17	13,6
THHN	8,37	8	5,49	23,6
	13,3	6	6,45	32,7
THWN	21,2	4	8,23	53,2
	26,7	3	8,94	62,8
THWN-2	33,6	2	9,75	74,7
	42,4	1	11,3	100
	53,5	1/0	12,3	120
	67,4	2/0	13,5	143
	85,0	3/0	14,8	173
	107	4/0	16,3	209
	127	250	18	256
	152	300	19,5	297

Tipos: FEP, FEPB, PAF, PAFF, PF, PFA, PFAH, PFF, PGF, PGFF, PTF, PTFE, TFE, THHN, THWN, THWN-2, ZF, ZFF				
THHN THWN THWN-2	177	350	20,8	338
	203	400	21,9	378
	253	500	24,1	456
	304	600	26,7	560
	355	700	28,	638
	380	750	29,4	677
	405	800	30,2	715
	466	900	31,8	794
507	1 000	33,3	870	
PF, PGFF, PGF, PFF	0,824	18	2,18	3,74
PTF, PAF, PTFE, PAFF	1,31	16	2,49	4,84
PF, PGFF, PGF, PFF, PTF PAF, PTFE, PAFF, TFEFEP, PFA, FEPB, PFAH	2,08	14	2,87	6,45
TFE, FEP PFA, FEPB PFAH	3,31	12	3,35	8,84
	5,28	10	3,98	12,3
	8,37	8	5,23	21,5
	13,3	6	6,20	30,2
	21,2	4	7,42	43,3
	26,7	3	8,13	51,9
	33,8	2	8,94	62,8
Tipos: PAF, PFAH, TFE, Z, ZF, ZFF				
TFE PFA PFAH, Z	42,4	1	10,7	90,3
	53,5	1/0	11,7	108
	67,4	2/0	12,9	131
	85,0	3/0	14,2	159
	107	4/0	15,7	194
ZF, ZFF	0,824	18	1,93	2,90
	1,31	16	2,24	3,94
Z, ZF, ZFF	2,08	14	2,62	5,35
	3,31	12	3,10	7,55
	5,28	10	3,98	12,3
	8,37	8	4,98	19,50
	13,3	6	5,94	27,7
	21,2	4	7,16	40,3
	26,7	3	8,38	55,2
	33,8	2	9,19	66,4
	42,4	1	10,21	81,9

Tipos: XHH, XHHW, XHHW-2, ZW				
XHH, ZW XHHW-2 XHH	2,08	14	3,38	8,97
	3,31	12	3,88	11,88
	5,26	10	4,47	15,88
	8,37	8	5,99	28,19
	13,3	6	6,98	38,08
	21,2	4	8,18	52,52
	28,7	3	8,89	62,08
	33,6	2	9,70	73,94
XHHW XHHW-2 XHH	42,4	1	11,23	98,97
	53,5	1/0	12,24	117,74
	67,4	2/0	13,41	141,29
	85,0	3/0	14,73	170,45
	107	4/0	16,21	208,26
	127	250	17,91	251,87
	152	300	19,30	292,64
	177	350	20,60	333,29
	203	400	21,79	373,03
	253	500	23,95	450,58
	304	600	26,75	561,87
	355	700	28,55	640,19
	380	750	29,41	679,48
	405	800	30,23	1362,71
	456	900	31,85	798,84
Tipos: KF-1, KF-2, KFF-1, KFF-2, XHH, XHHW-2, ZW				
XHHW XHHW-2 XHH	507	1 000	33,3	872,19
	633	1250	37,6	1108
	760	1500	40,7	1300
	887	1750	43,6	1492
	1 010	2 000	46,3	1682
KF-2 KFF-2	0,824	18	1,80	2,00
	1,31	16	1,91	2,84
	2,08	14	2,29	4,13
	3,31	12	2,77	6,00
	5,26	10	3,38	8,97
KF-1 KFF-1	0,824	18	1,45	1,68
	1,31	16	1,75	2,39
	2,08	14	2,13	3,55
	3,31	12	2,62	5,35
	5,26	10	3,23	8,19

**Artículo 250-83. Electrodo especialmente contruidos.** Cuando no se disponga alguno de los electrodos especificados en 250-81, debe usarse uno o más de los electrodos especificados en los incisos a continuación, en ningún caso el valor de resistencia a tierra del sistema de electrodos de puesta a tierra debe ser superior a 25  $\Omega$ .

Cuando sea posible, los electrodos de puesta a tierra contruidos especialmente deben enterrarse por debajo del nivel de humedad permanente. Los electrodos de puesta a tierra especialmente contruidos deben estar libres de recubrimientos no conductores, como pintura o esmalte. Cuando se use más de un electrodo de puesta a tierra para el sistema de puesta a tierra, todos ellos (incluidos los que se utilicen como electrodos de puesta a tierra de pararrayos) no deben estar a menos de 1,8 m de cualquier otro electrodo de puesta a tierra o sistema para puesta a tierra. Dos o más electrodos de puesta a tierra que estén efectivamente conectados entre sí, se deben considerar como un solo sistema de electrodos de puesta a tierra.

**250-91. Materiales.** Los materiales de los conductores de puesta a tierra se especifican en los incisos siguientes:

**a) Conductor del electrodo de puesta a tierra.** El conductor de puesta a tierra debe ser de cobre o de otro material resistente a la corrosión. El material elegido debe ser resistente a la corrosión que pueda producirse en la instalación y debe estar adecuadamente protegido contra la corrosión. El conductor debe ser alambre o cable, aislado, forrado o desnudo y debe ser de un sólo tramo continuo, sin empalmes ni uniones.

**Excepción 1:** Se permiten empalmes en barras conductoras.

**Excepción 2:** Cuando haya una acometida con más de un envolvente, como se permite en la Excepción 2 de 230-40, está permitido conectar derivaciones al conductor del electrodo de puesta a tierra. Cada una de estas derivaciones debe llegar hasta el interior del envolvente. El tamaño nominal del conductor del electrodo de puesta a tierra debe estar de acuerdo con lo indicado en 250-94, pero los conductores de la derivación pueden tener un tamaño nominal de acuerdo con los conductores del electrodo de puesta a tierra especificados en 250-94, según el conductor de mayor tamaño nominal que entre en los respectivos envolventes. Los conductores de la derivación se deben conectar al conductor del electrodo de puesta a tierra de modo que este conductor no contenga ningún empalme o unión.

**Excepción 3:** Se permite empalmar el conductor del electrodo de puesta a tierra por medio de conectores de presión del tipo irreversible aprobados para ese fin o mediante un proceso de soldadura exotérmica.

**b) Tipos de conductores para la puesta a tierra de equipo.** El conductor de puesta a tierra de equipo tendido con los conductores del circuito o canalizado con ellos, debe ser de uno de los siguientes tipos o una combinación de varios de ellos:

- (1) un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión. Este conductor debe ser alambre o cable, aislado, cubierto o desnudo y formar un cable o barra de cualquier forma;
- (2) un tubo (conduit) metálico tipo pesado;
- (3) un tubo (conduit) metálico tipo semipesado;

- (4) un tubo (conduit) metálico tipo ligero;
- (5) un tubo (conduit) metálico flexible, si tanto el tubo (conduit) como sus accesorios están aprobados para puesta a tierra;
- (6) la armadura de un cable de tipo AC;
- (7) el blindaje de cobre de un cable con blindaje metálico y aislamiento mineral;
- (8) el blindaje metálico de los conductores con blindaje metálico y los conductores de puesta a tierra que sean cables de tipo MC;
- (9) canalizaciones prealambradas, tal como se permite en 365-2(a);
- (10) otras canalizaciones metálicas con continuidad eléctrica, aprobadas para utilizarse para puesta a tierra.

**Excepción 1:** Cuando los conductores de un circuito, como los contenidos en este Artículo, estén protegidos por dispositivos de sobrecorriente de 20 A nominales o menos, se permiten como medios de puesta a tierra de esos circuitos a tubo (conduit) metálico flexible y tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos con designación de 12 (3/8) a 35 (1¼), siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

- a. Que la longitud sumada del tubo (conduit) metálico flexible y del tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos en la misma trayectoria de puesta a tierra, no sea superior a 1,8 m.
- b. Que el tubo (conduit) termine en accesorios aprobados y listados para puesta a tierra.

**Excepción 2:** Cuando los conductores de un circuito contenidos en ellos estén protegidos por dispositivos de sobrecorriente de más de 20 A nominales, pero que no excedan de 60 A, se permite utilizar como medios de puesta a tierra de esos circuitos al tubo (conduit) metálico flexible y hermético a los líquidos aprobado con designación de 12 (3/8) a 35 (1¼), siempre que se cumplan las condiciones siguientes:

- a. Que la longitud total del tubo (conduit) metálico flexible del tramo de retorno de tierra, no sea superior a 1,8 m.
- b. Que no haya otro tubo (conduit) metálico flexible o tubo (conduit) metálico flexible hermético a los líquidos con designación de 12 (3/8) a 35 (1¼) que sirva como conductor de puesta a tierra de equipo en el mismo tramo de retorno de tierra.
- c. Que el tubo (conduit) termine en accesorios aprobados para puesta a tierra.

**c) Electrodo suplementarios de puesta a tierra.** Se permite conectar electrodos suplementarios de puesta a tierra a los conductores de puesta a tierra de equipo especificados en 250-91(b), pero el terreno natural no debe utilizarse como el único conductor de puesta a tierra de equipo.

## NMX-J-549-ANCE-2005

### 4.2.2. Frecuencia anual permitida de rayos directos a una estructura.

La frecuencia anual permitida de rayos directos a una estructura,  $N_d$ , es el riesgo permitido de incidencia de un rayo directo a una estructura de acuerdo al tipo de estructura, uso y contenido, definidos en la tabla 1.

**Nota:** una frecuencia anual permitida de 1 rayo cada 10 años tiene un riesgo mayor para las estructuras que una frecuencia de 1 rayo cada 20, 50 ó 100 años. A mayor intervalo de años, es menor el riesgo de rayo directo sobre la instalación, edificio o estructura

**Tabla 1. Frecuencia anual media permitida de rayos directos sobre estructuras comunes.**

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Frecuencia ( $N_d$ )
Residencia	Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	0,04
Granja	Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para animales.	0,02
Tanques de agua elevados: metálicos. Concreto con elementos metálicos salientes.	Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua.	0,04
Edificios de servicios tales como: Aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano.	Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	0,02
Hospital Asilo Reclusorio	Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	0,02
Industria tales como: Máquinas herramientas, ensambladoras, textil, papelería, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtiderías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras.	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	0,01
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	0,02
Telecomunicaciones Véase nota	Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas por falta de continuidad de servicio.	0,02
<b>NOTAS</b>		
1 Para cualquier estructura común debe evaluarse el nivel de riesgo en función de su localización, densidad, altura y área equivalente de captura, para decidir la protección.		
2 Para estructuras en zonas con densidad de rayos a tierra mayor a 2, y si el techo de la construcción es de material inflamable (madera o paja), debe instalarse un SEPTE.		

La selección del **nivel de protección** a utilizarse en el diseño para la ubicación y altura de las terminales aéreas depende del tipo y uso de la estructura conforme a lo indicado en la tabla 2.

Cuando se instale o no un sistema externo de protección SEPTe, la protección debe ser integral, por lo que en cualquier caso debe instalarse un sistema interno de protección SIPTE, independientemente del tipo de estructura o edificio y su contenido.

**Tabla 2. Nivel de protección.**

Estructuras comunes	Efectos de las tormentas eléctricas	Nivel de protección recomendado
Residencia	Daño a instalación eléctrica, equipo y daños materiales a la estructura. Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra.	III o IV
Granja	Riesgo principal de incendio y potenciales de paso. Riesgo secundario derivado de la pérdida de suministro eléctrico provocando posibles desperfectos por falla de controles de ventilación y de suministro de alimentos para los animales.	II o III
Tanques de agua elevados: metálicos Concreto con elementos metálicos salientes.	Daño limitado a objetos expuestos en el punto de incidencia del rayo o sobre su trayectoria a tierra, así como posibles daños al equipo de control de flujo de agua.	III
Edificios de servicios tales como: aseguradoras, centros comerciales, aeropuertos, puertos marítimos, centros de espectáculos, escuelas, estacionamientos, centros deportivos, estaciones de autobuses, estaciones de trenes, estaciones de tren ligero o metropolitano.	Daño a las instalaciones eléctricas, y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	II
Hospital Asilos Reclusorio	Falla de equipo de terapia intensiva. Daño a las instalaciones eléctricas y pánico. Falla de dispositivos de control, por ejemplo alarmas. Pérdida de enlaces de comunicación, falla de computadoras y pérdida de información.	II
Industria, tales como: máquinas herramientas, ensambladoras, textil, papelera, manufactura, almacenamiento no inflamable, fábrica de conductores, fábrica de electrodomésticos, armado equipo de cómputo, muebles, artefactos eléctricos, curtidurías, agrícola, cementeras, caleras, laboratorios y plantas bioquímicas, potabilizadoras.	Efectos diversos dependientes del contenido, variando desde menor hasta inaceptable y pérdida de producción.	I o II
Museos y sitios arqueológicos	Pérdida de vestigios culturales irremplazables	II
Telecomunicaciones	Interrupciones inaceptables, pérdidas por daños a la electrónica, altos costos de reparación y pérdidas económicas por falta de continuidad en el servicio.	I

NOTA- El nivel de protección I es el de mayor protección y el nivel de protección IV es el de menor protección.

## **Norma Oficial Universitaria. Instalaciones Eléctricas.**

### **11. Sistemas de pararrayos**

Debe instalarse en los diferentes inmuebles de la UNAM, de acuerdo a su tamaño, tipo de estructura y uso específico, así como su localización y el nivel isocerámico de la región.

#### **11.1 Sistemas a utilizar.**

Los sistemas de pararrayos a utilizar deben ser de Jaula de Faraday (Principio Receptor Pasivo) y Sistema Reactivo (tipo ionizante) cuyos diseños se apoyan y basan en la NMX-J-549-ANCE-2005, NOM 001-SEDE-2005, NOM-022-STPS-2008 y el NFC 17-102.

#### **11.2 Generalidades.**

11.2.1 Todas las bajadas de los sistemas de pararrayos deben estar canalizadas con tubería (conduit) PVC servicio pesado, o lo indicado por la DGOyC.

11.2.2 En el sistema de Jaula de Faraday, todas las bajadas deben diseñarse con un registro a 1.8 m del nivel de piso terminado para alojar el desconectador.

11.2.3 En el caso del sistema de Jaula de Faraday, todos los equipos y estructuras ubicados en azoteas deben conectarse al sistema de pararrayos. (Los sistemas se deben diseñar e instalar con una garantía por escrito de por lo menos 5 años).

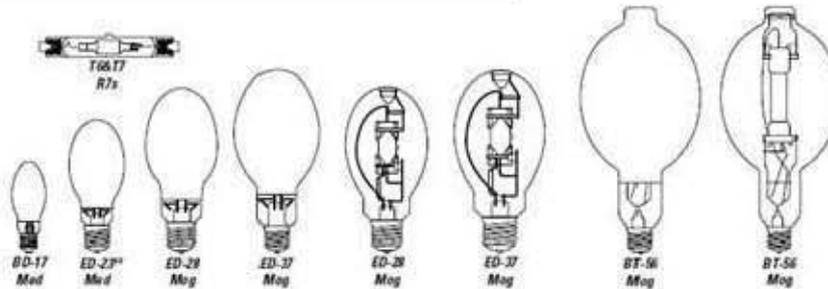
11.2.4 Para aterrizaje del sistema de pararrayos debe cumplirse con lo indicado en el capítulo 10 Sistemas de Tierra de esta Norma.

### Anexo 3.

## Lámpara GE MVR/1500/HBU



### Lámparas de Descarga de Alta Intensidad (HID)



Energía Utilizada	Watts	Balbo	Base	Código México	Código USA	Descripción	Pas Caja	Información Adicional	Watts a Balbo/Una AMU	Protección	Lámparas Incluidas	Lámparas Medidas	Vida Media horas	MFL mm	LCL mm	Temp. de Color °K	IRC
<b>LUZ MIXTA (AUTOBALASTRADA) E-Z MERC</b>																	
180	ED-23 <sup>Med</sup>	Med		495303	25606	LM150CC/26	1,2	Blanco de Lujo-Color Corregido (9)	220	U	2600	2280	6000	170	105	4200	50
250	ED-28	Mogul		495403	20389	LM250CC/40	1,2	Blanco de Lujo-Color Corregido (9)	220	U	4500	3960	6000	208	143	4200	50
500	ED-37	Mogul		495603	20291	LM500CC/40	6	Blanco de Lujo-Color Corregido (9)	220	U	14750	12960	6000	280	175	4200	50
<b>VAPOR DE MERCURIO</b>																	
100	ED-23 <sup>Med</sup>	Med		400463	25989	HR1000X38	1,2	Blanco de Lujo (6)	H08	V	4400	2900	24000	186.0	127.0	3900	50
										H	4000	2640					
175	ED-28	Mogul		400553	20299	HR1750X39	1,2	Blanco de Lujo (6)	H09	V	8500	7225	24000	206.0	127.0	3900	50
										H	8000	6560					
250	ED-28	Mogul		410203	81751	HR2500X37	1,2	Blanco de Lujo (6)	H07	V	12100	10140	24000	206.0	127.0	3900	50
										H	11500	9980					
250	ED-28	Mogul		691973	32127	HR2500X37	1,2	Blanco de Lujo (6)	H07	U	11200	8400	24000	380.0	241.0	3900	50
400	ED-37	Mogul		411203	20305	HR4000X33	6	Blanco de Lujo (7)	H03	V	23000	18630	24000	282.0	178.0	3900	50
										H	21750	16530					
1000	BT-56	Mogul		414203	81752	HR1000X36	6	Blanco de Lujo (6)	H06	V	63000	44730	24000	380.0	241.0	3900	50
										H	60000	39000					
<b>ADITIVOS METALICOS HALARC</b>																	
50	ED-17	Med		697433	12583	MVR50/C/U/MED	6	Solo en luminario cerrado (3)	M110	U	2800	2000	5000	138.0	87.0	4000	75
70	ED-17	Med		697443	12594	MVR70/C/U/MED	6	Solo en luminario cerrado (3)	M98	U	4500	2900	12000	138.0	87.0	4000	75
100	ED-17	Med		697453	12653	MVR100/C/U/MED	6	Solo en luminario cerrado (3)	M90	U	7600	4900	15000	138.0	87.0	4000	75
150	ED-17	Med		697463	12604	MVR150/C/U/MED	6	Solo en luminario cerrado (3)	M102	U	11200	7100	15000	138.0	87.0	4000	75
<b>ADITIVOS METALICOS MULTI-VAPOR</b>																	
175	ED-28	Mogul		692003	47760	MVR175/U	12	Claro (6,14)	M57	V	13800	8600	10000	210.0	127.0	4000	65
										H	11700	7400	6000				
175	ED-28	Mogul		694133	47761	MVR175/C/U	12	Fosforado (6,14)	M57	V	12900	8200	10000	210.0	127.0	3900	70
										H	11900	7900	6000				
250	ED-28	Mogul		692013	42729	MVR250/U	12	Claro (6,14)	M58	V	20800	13500	10000	210.0	127.0	4200	65
										H	19100	12400	6000				
250	ED-28	Mogul		693113	42731	MVR250/C/U	12	Fosforado (6,14)	M58	V	19800	12600	10000	210.0	127.0	3900	70
										H	18200	11600	6000				
400	ED-37	Mogul		692023	43828	MVR400/U	6	Claro (7,14)	M59	V	36000	24000	20000	287.0	178.0	4000	65
										H	33100	22100	15000				
400	ED-37	Mogul		692033	43829	MVR400/C/U	6	Fosforado (7,14)	M59	V	35000	21000	20000	287.0	178.0	3700	70
										H	32200	19300	15000				
1000	BT-56	Mogul		692043	41826	MVR1000/U	6	Claro (6)	M47	V	105000	66000	12000	391.0	241.0	4000	65
										H	98600	60700	9000				
1000	BT-56	Mogul		668613	41827	MVR1000/C/U	6	Fosforado (6)	M47	V	99800	59900	12000	391.0	241.0	3400	70
										H	91800	55100	9000				
1500	BT-56	Mogul		692803	37465	MVR1500/HBU	6	Claro, Base arriba hasta 15° abajo de la horizontal (6,17)	M48	V	155000	126000	3000	391.0	241.0	3600	65
										H	148000	119000	3000				
1500	BT-56	Mogul		692813	37466	MVR1500/HBD	6	Claro, Base abajo hasta 15° arriba de la horizontal (6,17)	M48	V	155000	126000	3000	391.0	241.0	3600	65
										H	148000	119000	3000				
<b>ADITIVOS METALICOS MOI</b>																	
70	T6	R7s		668903	84074	MOI/70/T6/30	12	Claro, Operación horizontal ± 45°	M85	H	5800	3900	6000	114.0	---	3000	80
70	T6	R7s		668813	84075	MOI/70/T6/43	12	Claro, Operación horizontal ± 45°	M85	H	5500	4100	6000	114.0	---	4300	85
150	T7	R7s		668903	84076	MOI/150/T7/30	12	Claro, Operación horizontal ± 45°	M81	H	11000	10000	6000	132.0	---	3000	80
150	T7	R7s		668913	84077	MOI/150/T7/43	12	Claro, Operación horizontal ± 45°	M81	H	11250	10000	6000	132.0	---	4300	85
<b>ADITIVOS METALICOS MULTI-VAPOR HIGH OUTPUT</b>																	
400	ED-37	Mog		692783	49657	MVR400/HBV	6	Claro 11694983	M59	V	41000	25500	20000	287.0	178.0	4000	65
400	ED-37	Mogul		694973	13024	MVR400/CABU/9HD	6	Fosforado, Watt-Misset, Posición de operación Vertical ± 15° (6)	M59	V	4300	25800	20000	287	178	3700	70

Para ahorrar un costo de energía, busque la lámpara con la luz que necesite y seleccione la de menor potencia (watts).

\* Todas las notas se encuentran al final de esta sección.

\* Algunos de estos productos están sujetos a cotización de precio y tiempo de entrega.

Lámpara ahorradora de energía.

Alto índice de rendimiento de color.

# Lithonia TV1500M GP/HD6



## FEATURES & SPECIFICATIONS

**INTENDED USE** — Use for recreational or competitive sports fields, parking areas and industrial yards.

**CONSTRUCTION** — Heavy-gauge, hydroformed, aluminum ballast housing is mounted to integral die-cast monoframe with horizontal degree aiming scale and repositioning locator. Die-cast aluminum socket housing provides vertical aiming adjustment, complete with degree aiming scale and repositioning stop.

**OPTICS** — Heavy-gauge, anodized, aluminum reflectors provide a range of NEMA beamspreads. Optical chamber is sealed to inhibit entrance of contaminants. Hinged lens is heavy-duty thermal shock and impact-resistant, tempered glass. Optional heavy-duty shroud also available.

**ELECTRICAL** — All electrical components are contained in the ballast housing that is thermally isolated from the socket housing and optical assembly. This promotes longer ballast life. Ballast is high-power factor, constant-wattage autotransformer and 100% factory-tested. Super CWI Probe Start ballasts, 88% efficient and EISA legislation compliant, are required for 400W (most order SCWA option) for US shipments only. CSA, NOM or NTL required for probe start shipments outside of the US.

Adjustable mounting bracket standard. Porcelain, mogul-base socket with copper alloy, nickel-plated screw shell and weather contact. UL listed 1500W, 600W.

**INSTALLATION** — Fixture is mounted by securing the integral cross-arm mounting bracket directly to the cross-arm. No additional adapters are required. A 5/8"-11UNC mounting bolt is provided. Exposed bolt length is 1-1/2".

**LISTINGS** — UL listed, for 25°C ambient and wet locations. Listed and labeled to comply with Canadian Standards (see Options).

Note: Specifications subject to change without notice.

Catalog Number
Name
Type



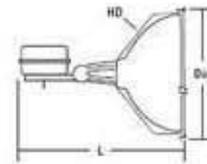
Sportlighting

TV

METAL HALIDE: 400W, 1000W, 1500W  
HIGH PRESSURE SODIUM: 400W, 1000W

Specifications	
Diameter:	NEMA 2,3: 23-1/8 (58.7) NEMA 4,5,6: 21-1/2 (54.6)
Length:	NEMA 2,3: 30 (76.2) NEMA 4,5,6: 31-1/2 (80.8)
EPR:	NEMA 2,3: 2.9 ft. <sup>2</sup> (27 m <sup>2</sup> ) NEMA 4,5,6: 2.5 ft. <sup>2</sup> (23 m <sup>2</sup> )
*Weight:	53 lbs. 24 kg

All dimensions are inches (centimeters) unless otherwise indicated.  
\*Weight as configured in example below.



**ORDERING INFORMATION** For shortest lead times, configure product using **standard options (shown in bold)**. **Example: TV 1500M GP4 TB**

TV	Wattage/lamp	Distribution	Voltage	Ballast	Mounting
TV	<b>High pressure sodium</b>	<b>General purpose</b>	<b>120</b>	<b>(blank)</b> Magnetic ballast	<b>Shipped installed</b>
	400S	GP2 HD2	208 <sup>1</sup>	CWI Constant wattage isolated	<b>(blank)</b> 5/8" bolt
	1000S	GP3 HD3	240 <sup>1</sup>	<b>Probe Start</b>	<b>Shipped separately</b>
	<b>Metal halide</b>	<b>GP4</b> HD4	<b>277</b>	SCWA Super constant wattage autotransformer	WC Wood cross-arm mounting bolt (5/8"-11 UNC exposed length 6-3/4", total length 8")
	400M <sup>2</sup>	GP5 HD5	347	NOTE: For shipments to U.S. territories, SCWA must be specified to comply with EISA.	TVTS Tension slipfitter <sup>3</sup>
	<b>1000M</b>	<b>GP6</b> HD6	<b>480<sup>4</sup></b>		
	<b>1500M<sup>5</sup></b>		<b>TB<sup>6</sup></b> 23050HZ <sup>7</sup>		

Options	Finish <sup>8</sup>
<b>Shipped installed in fixture</b>	<b>(blank)</b> Dark bronze
C22 2 ft. of 12-3 SED cord pre-wired	DWH White
C42 2 ft. of 14-3 SED cord pre-wired	DBL Black
C62 2 ft. of 16-3 SED cord pre-wired	DNA Natural aluminum
CV3P 3 ft. of 16-3 SED cord pre-wired with three-prong plug for use with pre-wired cages and cross-arms <sup>9</sup>	CR Enhanced corrosion-resistance
PER NEMA Twist-lock receptacle only <sup>10</sup>	CRT Non-stick protective coating <sup>11</sup>
QRS Quartz restrike system <sup>12</sup>	
SF Single fuse (120, 277, 347V) <sup>13</sup>	
DF Double fuse (208, 240, 480V) <sup>14</sup>	
AM Above horizontal aiming	
CF Charcoal filter <sup>15</sup>	
LS Lamp support	
SLR Stainless steel lens ring	
CSA Listed and labeled to comply with Canadian Standards	
NTL Available for MH probe start shipping outside the U.S.	
NOM NOM Certified <sup>16</sup>	
REG1 California Title 20 effective 1/1/2010	
IBL Internal bottom louvers <sup>17</sup>	
SC Shoring cap	
PE1 NEMA twist-lock PE (120, 208, 240V)	
PE3 NEMA twist-lock PE (347V)	
PE4 NEMA twist-lock PE (480V)	
PE7 NEMA twist-lock PE (277V)	
UV Upper visor <sup>18</sup>	

NEMA	BEAM SPREAD
2	25°H X 24°V
3	43°H X 42°V
4	65°H X 65°V
5	84°H X 84°V
6	102°H X 104°V

- Notes**
- These wattages require the REG1 option to be chosen for shipments into California for Title 20 compliance.
  - Not available with SCWA.
  - Requires CWI ballast option in Canada.
  - NOM not available with 480V, probe start.
  - Multi-tap ballast (120, 208, 240, 277V, 347, 347V in Canada). Ships as 120/247.
  - Consult factory for available wattage.
  - May be ordered as an accessory.
  - Must specify finish when ordered as an accessory.

- WC option must be ordered. Not available with 1500W-120V.
- Must be ordered with the fixture, N/A 1500M.
- Maximum allowable wattage lamp included.
- Not available with 1500W 480V.
- Must specify wattage. Not available with TB.
- For use with heavy-duty shroud only.
- Cannot be ordered with UV option.
- See www.lithonia.com/techcenter for additional color options.
- Black finish only.

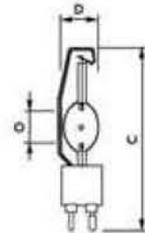
## Phillips Arena Vision MVF/404

### Lamp specifications

	Power (W)	Supply voltage (V)	Light output (Lm)	Luminous efficacy (Lm/W)	Cap size	Operating position	Average lifetime (h)	Lamp current (A nominal)	Lamp voltage (V nominal)
MHN-SE 2000W/956 400V	2000	400	202.000	101	GX22	Universal	5000	11.6	205

	Color rendering (R <sub>a</sub> )	Color temperature (K)	Chromaticity coordinate X	Chromaticity coordinate Y
MHN-SE 2000W/956 400V	90	5600	0.320	0.355

Lamp dimensions	C		D	O
	Nom.	Max.	Max.	Nom.
MHN-SE 2000W/956 400V	196	198	41	25



### Datos del producto

#### • Información general

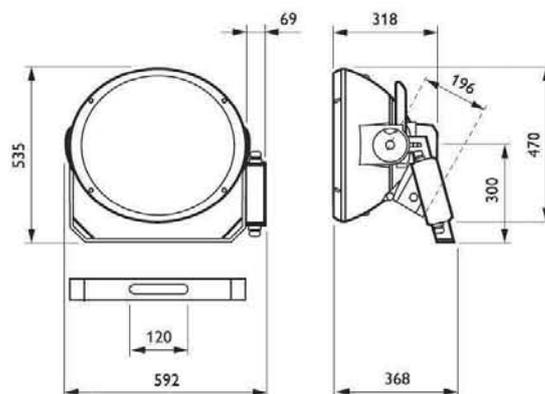
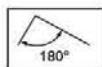
Código de gama de producto	MVF404 [MVF404]
Número de lámparas	1 [1 pc]
Código de gama de la lámpara	MHN-SE [MASTER MHN-SE]
Potencia de lámpara	2000 W [2000 W]
Código de color de la lámpara	956 [Luz de día 956]
Kombipack	K [Lámpara incluida]
Equipo	No [-]
Clase de seguridad	I [Seguridad clase I]
Código IP	IP65 [Protegido contra penetración de polvo, protegido contra chorros de agua]
Sistema óptico	B2 [Beam category B2]
Cubierta óptica	DOWN [Cristal delantero versión downlighting]
Arrancador	HRE [Hot-restrike electronic]
Memoria de apuntamiento	AM [Memoria apuntamiento incluida]
Marcado CE	CE [CE mark]
Marcado ENEC	ENEC [ENEC mark]

#### • Datos Electricos

Tensión suministro lámpara	400 V [400 V]
Tensión de línea	380-415 V [380 to 415 V]

#### • Product Data

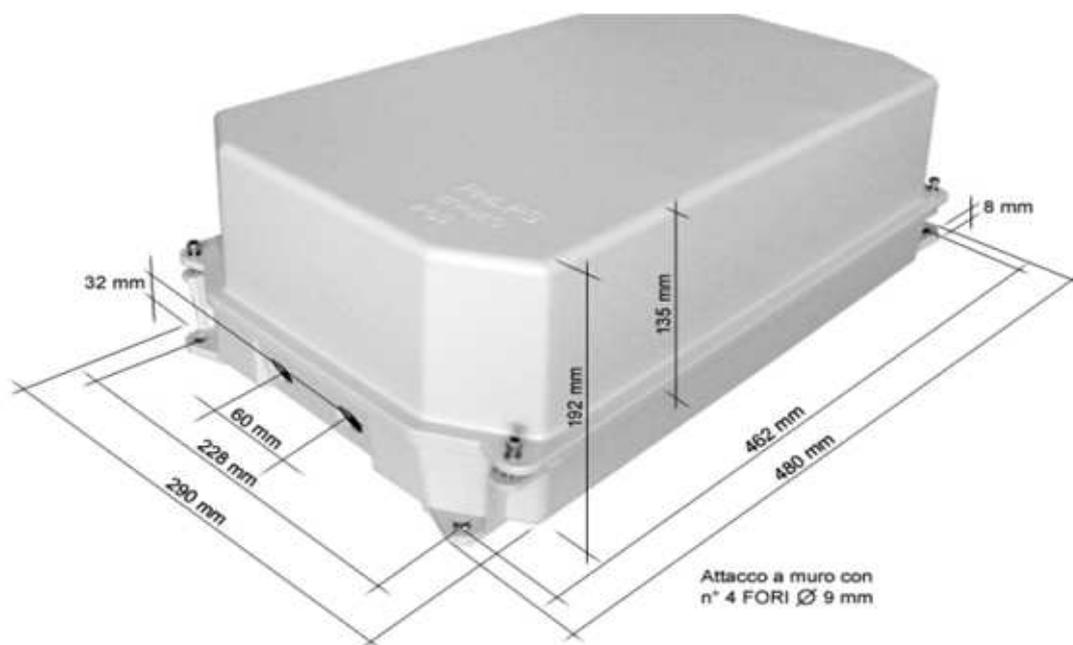
Código de pedido	502220 00
Código de producto	872790050222000
Nombre de Producto	MVF404 MHN-SE2000W/956 B2 HRE AM
Nombre de pedido del producto	MVF404 MHN-SEH2000W/956 B2 HRE AM
Piezas por caja	0
Cajas por caja exterior	1
Código de barras de la caja exterior	8727900502220
Código logístico - 12NC	910502220318
Peso neto por pieza	19.150 kg



MVF404 HRE



## Balastro para luminaria Arena Vision MVF/404



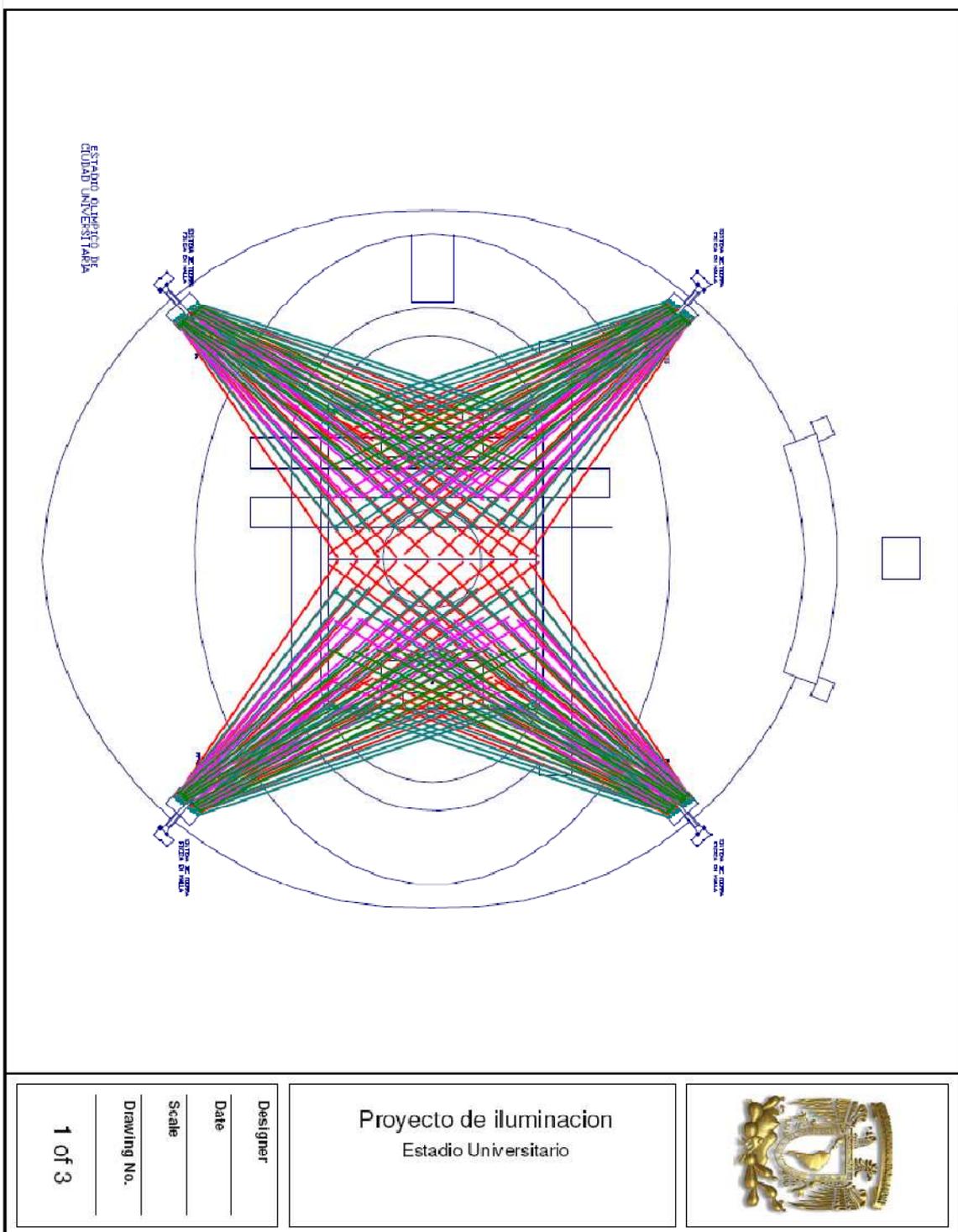
## BALASTRO HID PARA LAMPARA DE ADITIVOS METALICOS DE 1800W

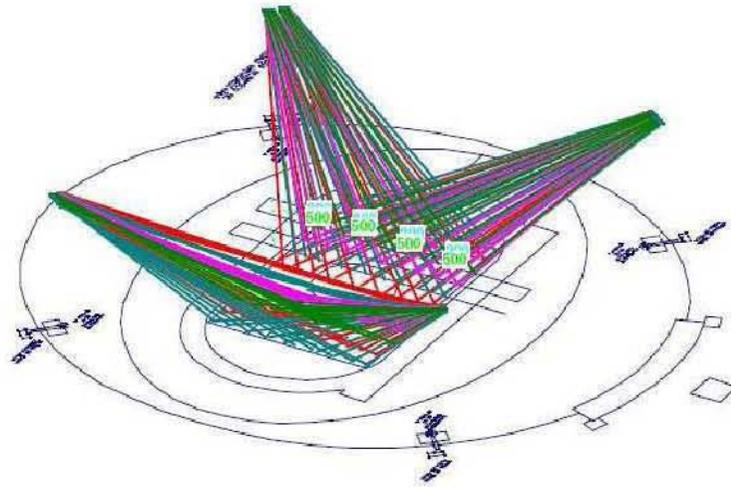
<b>Voltaje de alimentación</b>	220 [V]
<b>Frecuencia de operación</b>	60 [Hz]
<b>Factor de potencia</b>	90 %
<b>Regulación</b>	+/- 5 %
<b>Corriente de línea</b>	10 [A]
<b>Clase de aislamiento</b>	180[°C]
<b>Temperatura mínima de arranque</b>	-30 [°C]
<b>Voltaje de circuito abierto</b>	220 [V]
<b>Potencia de entrada</b>	1870[W]
<b>Características de capacitores</b>	200/250 f/v +/- 10 %
<b>Máxima temperatura de operación</b>	120 [°C]

**NOTA:** Si la energía eléctrica es interrumpida por más de 2 minutos la lámpara se apagará. Después de un periodo de tiempo de enfriamiento de aproximadamente 10 minutos, la lámpara volverá a encender sin la necesidad de un dispositivo especial. Esto se aplica en el caso de que la energía sea restaurada antes de este periodo de 10 minutos.

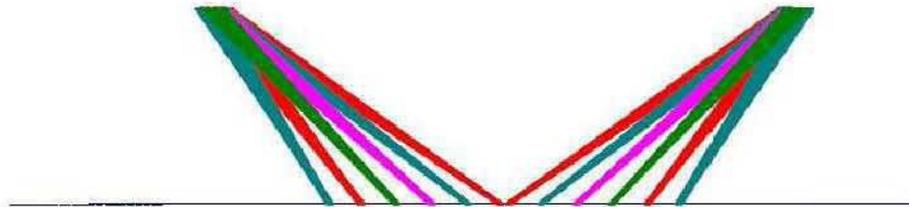
### Anexo 4.

Resultados de Niveles de Iluminación en el programa de simulación Visual.





Alura de Montaje 50m en la 1er. Fila y sube cada 90cm hasta la Ultima Fila



Proyecto Iluminacion  
Estadio Universitario

Designer

Date

Scale

Drawing No.

2 of 3

STATISTICS						
Description	Symbol	Avg	Max	Min	Max/Min	Avg/Min
Cancha Derecha	+	1241,8 lux	1546,9 lux	1089,4 lux	1,4:1	1,1:1
Cancha Izquierda	+	1216,5 lux	1738,5 lux	952,2 lux	1,8:1	1,3:1
Corner inferior derecho	+	1117,6 lux	1444,9 lux	727,7 lux	2,0:1	1,5:1
Corner inferior izquierdo	+	1086,1 lux	1443,1 lux	655,6 lux	2,2:1	1,7:1
Corner superior derecho	+	1128,8 lux	1447,0 lux	792,7 lux	1,8:1	1,4:1
Corner superior izquierdo	+	1121,3 lux	1433,0 lux	739,1 lux	1,9:1	1,5:1
Niveles de Iluminación Horizontales	+	1462,7 lux	1776,2 lux	1149,3 lux	1,5:1	1,2:1
Zona media	+	1139,3 lux	1498,5 lux	732,7 lux	2,0:1	1,6:1

LUMINAIRE SCHEDULE								
Symbol	Label	Qty	Catalog Number	Description	Lamp	File	LLF	Watts
	A	72	MVF404 B1	Arena Vision	MHN-SE2000W/400V/956	MVF404 1xMHN- SE2000W_400 V_956 B1.ies	0,85	2133
	B	72	MVF404 B2	Arena Vision	MHN-SE2000W/400V/956	MVF404 1xMHN- SE2000W_400 V_956 B2.ies	0,85	2133
	C	36	MVF404 B3	Arena Vision	MHN-SE2000W/400V/956	MVF404 1xMHN- SE2000W_400 V_956 B3.ies	0,85	2133
	D	36	MVF404 B4	Arena Vision	MHN-SE2000W/400V/956	MVF404 1xMHN- SE2000W_400 V_956 B4.ies	0,85	2133



Proyecto Iluminación  
Estadio Universitario

Designer

Date

Scale

Drawing No.

3 of 3

## **ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS**

### **TABLAS**

- Tabla 1.1 Niveles de iluminación para transmisiones en HD. Fuente FIFA, 8
- Tabla 1.2 Niveles de iluminación no transmitidos en HD. Fuente FIFA, 9
- Tabla 1.3 Clasificación de las luminarias de acuerdo a la apertura del haz de luz, 11
- Tabla 2.1 Distribución de los puntos para medición de los niveles de iluminación, 24
- Tabla 2.2 luminarias inservibles y niveles de iluminación (27-11-07), 25
- Tabla 2.3 Demanda de las lámparas empleadas por torre, 29
- Tabla 2.4 Horarios tarifarios en H-M, 30
- Tabla 2.5 Valores de FRI y FRB, 31
- Tabla 2.6 Parámetros para el cálculo de demanda facturable, 31
- Tabla 2.7 Cargos facturables, 32
- Tabla 2.8 Resultados consumo y costo, 33
- Tabla 2.9 Parámetros para el cálculo de demanda facturable no ocupando el EOU, 33
- Tabla 2.10 Resultados consumo y costo, 34
- Tabla 3.1 Características eléctricas de las subestaciones en las torres del E.O.U, 35
- Tabla 3.2 Relación de equipo electromecánico en cada subestación, 38
- Tabla 4.1 Especificaciones de iluminación, 44
- Tabla 4.2 Comparativa de luminarias, 45
- Tabla 4.3 Valores estándar de CBU, 48
- Tabla 4.4 Valores del Factor de depreciación de la luminaria. Fuente Manual de Iluminación, 49
- Tabla 4.5. Resultados para cada tipo de proyector, 50
- Tabla 4.6 Especificadores técnicas del balastro utilizado, 51
- Tabla 4.7 Corrida en Visual, 52
- Tabla 4.8. Comparativa de los niveles de iluminación horizontales, 56
- Tabla 5.1 Especificaciones del tablero de medición, 60
- Tabla 5.2. Datos para el cálculo de conductores y canalización, 61

Tabla 5.3 Resultados para el cálculo de conductores y canalización,	64
Tabla 5.4 Porcentaje de reducción del valor resistivo en función del tipo de configuración,	71
Tabla 6.1 Frecuencia media anual permitida de rayos directos sobre estructuras comunes,	77
Tabla 6.2 niveles de protección NOM NMXJ-549,	82
Tabla 6.3 NOM NMXJ-549,	83
Tabla 6.4 Materiales y dimensiones mínimas de las terminales aéreas. NOM NMXJ-549,	84
Tabla 6.5 Radios estándar de protección para $h < 5m$ ,	86
Tabla 6.6 Distancia promedio de separación entre los conductores de bajada contiguo de acuerdo al nivel de protección,	90
Tabla 6.7 Dimensiones mínimas de los conductores de bajada,	90
Tabla 6.8 Materiales y dimensiones nominales mínimas de los electrodos de Puesta a Tierra,	92

## **FIGURAS**

Figura 1.1 Altura del montaje de luminarias,	6
Figura 1.2 Tipos de proyecciones,	7
Figura 1.3 Disposiciones de proyectores,	7
Figura 1.4 Tipos de Proyectores,	10
Figura 1.5 Dispersión del haz de luz,	11
Figura 1.6 Forma de distribución del haz dependiendo el tipo de proyector,	12
Figura 1.7 Ángulos de abertura,	12
Figura 1.8 Componentes de la Luz,	14
Figura 1.9 Componentes de las iluminancias verticales y horizontales,	16
Figura 1.10 Cálculo de iluminancias utilizando curvas isolux,	17
Figura 2.1 Luminarias por torre,	19
Figura 2.2 Gabinete de control "Palomar",	21
Figura 2.3 Circuitos por Torre,	22
Figura 2.4 Distribución de los puntos para medición de los niveles de iluminación,	24
Figura 2.5 niveles de iluminación en el Estadio Olímpico Universitario. Fuente PAE,	26

Figura 2.6 Demanda de consumo en la Subestación General No. 1,	27
Figura 3.1 Subestaciones del Estadio Olímpico Universitario,	36
Figura 3.2 Ubicación de torres en el Estadio Olímpico Universitario,	37
Figura 3.3. Diagrama unifilar de las subestación de la Torre No. 1,	38
Figura 3.4. Diagrama de alimentación del estadio,	39
Figura 3.5. Medición de resistividad del terreno por el método del 62% ,	41
Figura 3.6.- Método del 62%,	42
Figura 4.1 Distancias para el cálculo del CBU,	46
Figura 4.2 Niveles de iluminación horizontales actuales,	53
Figura 4.3 Niveles de iluminación horizontales actuales,	54
Figura 5.1 Arreglo en la distribución de los circuitos para las lámparas de cada torres,	58
Figura 5.2 Nueva distribución y conexión en las subestaciones de las torres,	59
Figura 5.3 Flujos de corriente en un Electrodo Hemisférico,	66
Figura 5.4 Electrodo con su imagen considerado como un elipsoide de revolución,	68
Figura 5.5 Grafica para dos electrodos en paralelo,	70
Figura 5.6 Arreglo en delta,	72
Figura 5.7 Arreglo de ocho electrodos simétricos,	73
Figura 6.1 Área equivalente de captura para las cuatro torres del EOU,	79
Figura 6.2 Incidencia de rayos por zonas en el Distrito Federal,	80
Figura 6.3 Aplicación del método de la esfera rodante y posición de las terminales aéreas,	83
Figura 6.4 Resultados gráficos aplicando el método de la esfera rodante,	84
Figura 6.5 Pararrayos Prevetron 2 S6.60,	86
Figura 6.6 Zona protegida con 4 pararrayos Prevetron 2 S6.60,	87
Figura 6.7 Arreglo físico de la conexión entre terminales aéreas, conductores de bajada y SPT en un edificio con diferentes alturas en el techo para un sistema no aislado de protección,	88
Figura 6.8 Electrodo tipo rehilete,	93
Figura 6.9 Instalación del SPT,	94
Figura 6.9 Arreglo de la UE a nivel interno,	96

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Fédération Internationale de Football Association. [2007]. Estadios de Fútbol, Recomendaciones técnicas y requisitos. 4a Edición.
- [2] Norma Oficial Mexicana. NOM-007-ENER-2007.
- [3] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005.
- [4] Norma Oficial Universitaria. NOU-DEL-15
- [5] Norma Mexicana MNX-J-549-ANCE-2005
- [6] Carlos Marino, R. Manual de procedimientos para la ingeniería de iluminación de interiores y áreas deportivas. [2000]. Universidad Simón Bolívar.
- [7] Página Web. Comisión Federal de Electricidad.  
<http://www.cfe.gob.mx/negocio/conocetarifa/Paginas/Tarifas.aspx>
- [8] Sistemas de Tierra en Redes de Distribucion. "s.a."