



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA ILUMINACIÓN DEL ÁREA DEPORTIVA USAC CAMPUS CENTRAL

Oscar Rolando Marroquín Vásquez

Asesorado por el Ing. Mario Rómulo Cuc Tarot

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA ILUMINACIÓN
DEL ÁREA DEPORTIVA USAC CAMPUS CENTRAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

OSCAR ROLANDO MARROQUÍN VÁSQUEZ
ASESORADO POR EL ING. MARIO RÓMULO CUC TAROT

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya Barrios
EXAMINADOR	Ing. Romeo Nefalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Ramírez Ortiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA ILUMINACIÓN DEL ÁREA DEPORTIVA USAC CAMPUS CENTRAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 9 de noviembre de 2010.



Oscar Rolando Marroquín Vásquez

Guatemala, 27 de octubre de 2014

Universidad San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Mecánica Eléctrica
Director Ing. Guillermo Puente

Estimado Director:

El motivo de la presente es para dictaminar sobre el trabajo de graduación de Oscar Rolando Marroquin Vásquez perteneciente a la **Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica**, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala, quien se identifica con carne 1998-11251. Yo Mario Romulo Cuc Tarot he guiado como parte de la labor de asesor en el trabajo titulado **"PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA ILUMINACION DEL AREA DEPORTIVA USAC CAMPUS CENTRAL"** autorizado para tal efecto, mi dictamen final del trabajo es aprobado.

Sin otro particular me despido.

f) 
Ing. Mario Romulo Cuc Tarot
Colegiado 7298
Asesor

Ing. Mario Romulo Cuc Tarot
Ingeniero Electricista
Colegiado No. 7298



Ref. EIME 24. 2015
Guatemala, 18 de marzo 2015.

Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA ILUMINACIÓN DEL ÁREA
DEPORTIVA USAC CAMPUS CENTRAL,** del estudiante Oscar
Rolando Marroquín Vásquez , que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Otto Fernando Andriano González
Coordinador Área Electrotécnica



S/O



REF. EIME 25. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; OSCAR ROLANDO MARROQUÍN VÁSQUEZ titulado: PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA ILUMINACIÓN DEL ÁREA DEPORTIVA USAC CAMPUS CENTRAL, procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero

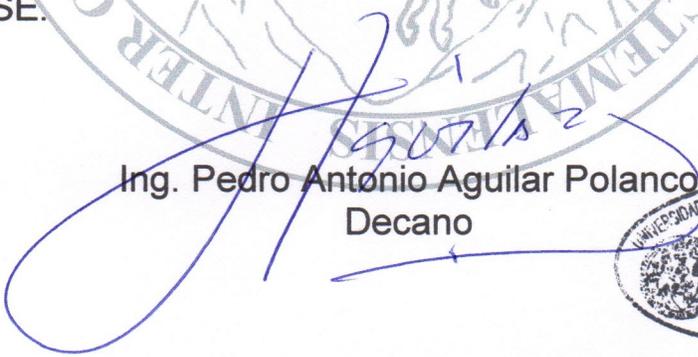
GUATEMALA, 2 DE JUNIO 2,015.





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA ILUMINACIÓN DEL ÁREA DEPORTIVA USAC CAMPUS CENTRAL**, presentado por el estudiante universitario: **Oscar Rolando Marroquín Vásquez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, octubre de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por regalarme la vida, darme la mejor familia y siempre estar conmigo.
- Mis padres** Catalina Vásquez y Aurelio Marroquín (q. e. p. d.) por ser guía y mentores a lo largo de mi vida, sin ellos este logro académico no fuera posible.
- Mis abuelos** Julian Gutiérrez, Bernarda Vásquez, Cupertina Gómez y en especial Félix Marroquín, sé que todos desde el cielo, junto a mi padre, me cuidan.
- Mis hermanos** Ana, Natividad, Aura, Marta, Julio, Miriam, Rosa y Brenda Marroquín, por ser la mejor familia del mundo.
- Mis sobrinos** Aunque son muchos para mencionarlos a todos, saben que les tengo un cariño especial.

Amigos

Por ser mis amigos de siempre, compañeros de estudio y apoyo incondicional a Ing. Guillermo Mota, Benny Mazariegos, Ing. Edgar Miranda, Vinicio Oliva, William Valenzuela, Saúl Martínez, Alex Caal, Héctor Pablo, Ing. Fernando Pauu.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la fuente de mis conocimientos.

**Facultad de Ingeniería,
Escuela de Ingeniería
Mecánica Eléctrica**

Parte integral en mi aprendizaje profesional.

Ing. Mario Cuc

Por su apoyo y dirección, por aportar su experiencia y conocimientos en la asesoría de este trabajo de graduación.

Familia

Por su apoyo moral y económico, en especial a mis padres y mis hermanas Miriam, Rosa y Brenda Marroquín.

Amigas

Maribel Contreras y Claudia Carranza, por su apoyo.

Excompañeros

Quienes han aportado mucho en mi experiencia laboral y por brindarme su amistad, Rocío Blanco, Ing. Luis Reyes, Ing. Mario Cuc, Guillermo Montenegro, Luis Carlos García y Eduardo Torres.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES DE LAS INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL CAMPUS CENTRAL, USAC.....	1
1.1. Historia de las instalaciones deportivas del campus central.....	3
1.2. Localización geográfica de las instalaciones deportivas.....	3
1.3. Organigrama de las autoridades que administran el área deportiva.....	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE ILUMINACIÓN EN RECINTOS DEPORTIVOS.....	7
2.1. Conceptos básicos.....	7
2.1.1. La luz.....	7
2.1.2. Medición de la luz.....	10
2.2. Tipos y métodos para iluminación de recintos deportivos.....	14
2.2.1. Tipos de luminarias.....	14
2.2.2. Datos fotométricos de una luminaria.....	21
2.2.3. Iluminancia del plano horizontal.....	23
2.2.4. Iluminancia del plano vertical.....	23
2.2.5. Uniformidad en la iluminación.....	23

2.2.6.	Restricción del alumbrado	24
2.2.7.	Reproducción del color	25
2.2.8.	Impacto ambiental	26
3.	ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS INSTALACIONES DEPORTIVAS.....	29
3.1.	Aspectos generales.....	29
3.2.	Descripción de las instalaciones eléctricas actuales	29
3.3.	Capacidad en líneas de transmisión de energía eléctrica cercanas	36
3.4.	Investigación y evaluación de proyectos existentes para iluminación del área deportiva.....	37
4.	DISEÑO DE ILUMINACIÓN PARA EL ESTADIO REVOLUCIÓN	39
4.1.	Valores mínimos recomendados de iluminación.....	39
4.2.	Luminaria a utilizar	41
4.3.	Simulación de iluminación por computadora	42
4.3.1.	Análisis de la simulación en computadora	49
4.4.	Montaje de las torres de luminarias.....	50
4.4.1.	Diseño de los postes	55
4.4.2.	Ubicación de los postes.....	73
4.4.3.	Tala y poda de árboles	73
4.4.4.	Disposición de lámparas.....	74
5.	DISEÑO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO.....	75
5.1.	Diseño de extensión de líneas en media tensión.....	77
5.2.	Diseño de acometida eléctrica	79
5.3.	Diseño de distribución de energía eléctrica para torres	81
5.3.1.	Unifilar	87

5.3.2.	Líneas subterráneas en media tensión	90
5.3.3.	Centros de transformación	92
5.3.4.	Protección y control para alimentación de cada torre de iluminación.....	98
6.	DISEÑO DE ILUMINACION PARA CANCHAS DE TENIS Y PISCINA.....	109
6.1.	Valores mínimos recomendados de iluminación	109
6.2.	Luminaria a utilizar.....	112
6.3.	Simulación de iluminación en computadora	112
6.3.1.	Análisis de simulación por computadora	118
6.4.	Montaje de postes para luminarias	119
6.4.1.	Postes a utilizar.....	119
6.4.2.	Ubicación de postes.....	120
6.5.	Suministro de energía.....	120
	CONCLUSIONES.....	125
	RECOMENDACIONES.....	129
	BIBLIOGRAFÍA.....	131
	APÉNDICES.....	133
	ANEXOS	145

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del Complejo Deportivo Revolución	4
2.	Organigrama del Departamento de Deportes	5
3.	Diagrama del espectro electromagnético	8
4.	Escala de temperatura de color en grados Kelvin	9
5.	Flujo luminoso	10
6.	Ángulo sólido	11
7.	Iluminancia	12
8.	Luminancia.....	12
9.	Lámparas incandescentes	16
10.	Luminiscencia por alta descarga eléctrica	17
11.	Lámpara fluorescente.....	18
12.	Curva fotométrica de una lámpara	22
13.	Evitar deslumbramiento.....	25
14.	Niveles de iluminación invasiva permisible	28
15.	Instalaciones eléctricas, cuarto de bombas	30
16.	Tablero eléctrico, área de piscina.....	31
17.	Tablero eléctrico TD-1	35
18.	Luminaria Lithonia TV	42
19.	Cargar nuevas luminarias al software Visual 2012	45
20.	Importar archivos al software Visual 2012	46
21.	Marcar área en estudio, software Visual 2012.....	47
22.	Especificación de utilización del área exterior	48
23.	Modificaciones a la simulación inicial	49

24.	Cantidad de bastidores para canchas, clasificación V	51
25.	Cantidad de bastidores para canchas, clasificación IV	52
26.	Cantidad de postes para canchas, clasificación III	53
27.	Cantidad de postes para canchas, clasificación II	53
28.	Cantidad de postes para canchas, clasificación I	54
29.	Altura de montaje de luminarias	55
30.	Velocidad máxima del viento para Guatemala (en millas/hora)	57
31.	Poste poligonal de tres secciones	66
32.	Especificaciones del poste metálico seccionable	71
33.	Cortes del poste seccionable con pernos de anclaje	72
34.	Postes cercanos de distribución de energía eléctrica	78
35.	Detalle para realizar medición en primario	80
36.	Sistema de distribución eléctrica radial	82
37.	Sistema de distribución eléctrica en anillo	83
38.	Cable subterráneo para media tensión	84
39.	Diagrama unifilar	88
40.	Partes de la celda tripolar	89
41.	Detalle caja tipo H	91
42.	Detalle del recubrimiento para tubería subterránea	92
43.	Detalle de plataforma para transformador	96
44.	Detalle de caja de registro cercana al transformador	96
45.	Transformador <i>Padmounted</i>	97
46.	Cortacircuito para 15 kV y fusible limitador tipo T	99
47.	Fusible de expulsión tipo <i>bay-o-net</i>	99
48.	Partes de un interruptor termomagnético	101
49.	Diagrama de conexión de relevador controlado por pulsador	102
50.	<i>Switch ethernet</i> industriales Stratix 5700, 6 puertos	103
51.	Micrologix 1 400	104
52.	Factory Talk	105

53.	Red de control.....	106
54.	Diagrama de control para cada luminaria.....	107
55.	Ubicación de luminarias	115
56.	Selección de área	116
57.	Modificaciones a simulación.....	117
58.	Cálculo al realizar modificaciones en la simulación	118
59.	Detalle de acometida eléctrica, instalación de baja tensión menor a 75 kVA	124

TABLAS

I.	Longitud de onda, por colores que percibe el ojo humano	8
II.	Resumen de magnitudes en luminotecnía.....	13
III.	Comparativo, tipos de lámparas.....	21
IV.	Nivel de iluminación invasiva permisible	27
V.	Clasificación de estadios según tipo de competición.....	40
VI.	Especificación de iluminación para eventos televisados	40
VII.	Especificación de iluminación para eventos no televisados	41
VIII.	Coeficiente de fuerza Cf.....	59
IX.	Coeficiente de fuerza Ca.....	60
X.	Tipos de postes según su origen botánico	61
XI.	Tipos de postes de madera y su nomenclatura	63
XII.	Dimensiones, usos y resistencia de postes de concreto utilizados en distribución de energía eléctrica	65
XIII.	Datos técnicos de postes de acero de alta resistencia de sección poligonal	67
XIV.	Datos técnicos de postes de acero de sección circular, para iluminación.....	68
XV.	Cálculo de potencia, centros de transformación 1, 3, 4 y 6	76

XVI.	Cálculo de potencia, centros de transformación 2 y 5.....	76
XVII.	Cálculo de potencia, centro de transformación 7	76
XVIII.	Cálculo de demanda.....	77
XIX.	Conductores XLPE para 15 kV	86
XX.	Normas de referencia de fabricación de transformadores.....	95
XXI.	Nivel de iluminación para piscinas	110
XXII.	Nivel de iluminación para canchas de tenis	111
XXIII.	Cálculo de demanda TI-Piscina	120
XXIV.	Cálculo de demanda TI-Tenis.....	121
XXV.	Cálculo de potencia demandada acometida propuesta	121

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cd	Candela
cm	Centímetro
cm²	Centímetro cuadrado
sr	Estereorradián
°K	Grados Kelvin
g	Gramo
Hz	Hertz
Eh	Iluminación horizontal
k	Kilo
lb	Libra
lm	Lumen
lx	Lux
m	Metro
m²	Metro cuadrado
Mph	Milla por hora
nm	Nanómetro
N	Newton
Pa	Pascal
ft	Pie
Ra	Reproducción de color
U_x	Uniformidad lumínica
W	Vatio
V	Voltio

GLOSARIO

Acometida	Conjunto de componentes utilizados para transportar la energía eléctrica, desde las líneas de distribución a la instalación eléctrica del inmueble servido.
ASTM	American Society for Testing Materials.
AWG	American Wire Gauge.
Bastidor	Rack, armazón o armario en metal para soportar equipos electrónicos.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica de Guatemala.
Cuerpo negro	Constituye un sistema físico idealizado para el estudio de la emisión de radiación electromagnética.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A.
Eficiencia luminosa	Rendimiento luminoso, se obtiene dividiendo el flujo luminoso entre la potencia consumida para generarlo.
Estroboscópico	Efecto óptico que se produce al iluminar mediante destellos.

FIFA	Federación Internacional de Fútbol Asociado.
Flujo luminoso	Es la medida de la potencia luminosa percibida.
HID	<i>High intensity discharge.</i>
INDE	Instituto Nacional De Electrificación.
Insivumeh	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrológica.
Intensidad luminosa	Es la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido. Su unidad de medida en el Sistema Internacional de Unidades es la candela.
Iluminancia	Cantidad de luz que alcanza un área unitaria de superficie, medida en luxes o candelas.
Led	Light emitting diode.
Luminancia	Es la densidad superficial de intensidad luminosa en una dirección.
Luminiscencia	Es todo proceso de emisión de luz.
Luz	Parte de la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.

Metalarc	Son lámparas de descarga de alta presión, del grupo de las lámparas llamadas HID, también conocidas como lámparas de aditivos metálicos, lámparas de halogenuros metálicos.
NEC	National Electric Code.
NEMA	National Electrical Manufacturers Association.
Potencia contratada	Es el valor de la potencia requerida en kilovatio por el usuario, de acuerdo a su necesidad.
Real Cédula	Era una orden expedida por el rey de España entre los siglos XV y siglo XIX. Su contenido resolvía algún conflicto de relevancia jurídica, creaba alguna institución, nombraba algún cargo real, otorgaba un derecho personal o colectivo u ordenaba alguna acción concreta.
TIA/EIA	Telecommunications Industry Association/Electronic Industries Association.
U1	Relación de uniformidad lumínica entre la iluminancia mínima y la iluminancia máxima.
U2	Relación de uniformidad lumínica entre la iluminancia mínima y la iluminancia media.

UNE	Una Norma Española, especificación técnica de aplicación repetitiva o continuada, la elaboración de una norma UNE, incluye la adopción de normas europeas, se lleva a cabo en el seno de los Comités Técnicos de Normalización español.
Usac	Universidad de San Carlos de Guatemala.
Visual	Software de simulación de iluminación propiedad de Acuity Lighting Group, existen varias versiones de este software por ejemplo Visual 2012.

RESUMEN

La Universidad de San Carlos de Guatemala, en su campus central, cuenta actualmente con un área designada para realizar deporte, conformada por canchas de tenis, piscina y estadio de futbol con pista de atletismo. Esta área es utilizada durante el día y podría ser aprovechada para actividades nocturnas, razón por la cual se realiza este trabajo de graduación, integrando, en forma armónica, los principios de diseño lumínico, aplicando los principios técnicos de ingeniería en la iluminación, distribución y control de energía eléctrica. Se toman en cuenta criterios tecnológicos, estéticos, de eficiencia energética, ambientales y, unidos a estos, los conceptos técnicos de las normativas internacionales vigentes para la iluminación de este tipo de recintos deportivos.

Para tal efecto, este trabajo de graduación se encuentra desarrollado en seis capítulos. El capítulo primero refiere los antecedentes generales de la Universidad San Carlos de Guatemala y, específicamente, del área deportiva. En el segundo capítulo se establece la base teórica que debe tomarse en cuenta para el desarrollo del diseño de iluminación enfocado en áreas deportivas. El capítulo tres describe el estado actual de las instalaciones, investigando los factores que influirán en el momento que se ejecutará el proyecto.

El diseño propio de iluminación del estadio Revolución se trata en el capítulo cuatro, empezando por los niveles mínimos de iluminación que son adecuados para el recinto, la ubicación de postes y tipo de luminarias que son necesarios para alcanzar estos niveles de iluminación. El capítulo cinco se

refiere al diseño del suministro de energía para la iluminación del estadio Revolución.

Lo referente a la propuesta de iluminación para la cancha de tenis y la piscina se describe en el capítulo seis, incluyendo la alimentación eléctrica, distribución de luminarias y distribución de postes.

OBJETIVOS

General

Realizar una propuesta de diseño para la iluminación del área deportiva del campus central, Usac.

Específicos

1. Presentar los antecedentes generales de la Universidad San Carlos de Guatemala y del Complejo Deportivo Revolución.
2. Dar a conocer los fundamentos teóricos sobre iluminación enfocada a recintos deportivos.
3. Determinar el estado actual de las instalaciones del Complejo Deportivo Revolución, para implementar el proyecto de iluminación.
4. Diseñar bajo normas internacionales vigentes la iluminación del estadio Revolución para que este pueda ser utilizada en la Liga Nacional de Fútbol.
5. Realizar el diseño de la iluminación de las áreas de las canchas de tenis y piscina, bajo criterios técnicos de ingeniería, para que estos sean funcionales y eficientes energéticamente.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo de graduación se establecen los aspectos generales sobre ubicación, historia y cómo es el organigrama de la administración de la Universidad San Carlos de Guatemala, una institución con más de 300 años de historia, dependiente de fondos del Estado de Guatemala, pero autónoma en su dirección y administración.

En la parte teórica del diseño de iluminación se describe qué es la luz y sus magnitudes fotométricas, para poder comprender los principios de la iluminación y cuáles son las magnitudes que se deben alcanzar para obtener una buena iluminación, cumpliendo con los requisitos o normativas que rijan para cada caso o proyecto de iluminación de las áreas del Complejo Deportivo Revolución.

Desde que se inventó el bombillo incandescente, la iluminación artificial con energía eléctrica ha evolucionado y existen varios tipos de luminarias, las cuales aportan diferentes características y deben seleccionarse según las consideraciones técnicas que dependen de su aplicación. Para esta propuesta se utilizarán lámparas de alta descarga de haluros metálicos.

Se toma en consideración el estado actual de las instalaciones donde se desarrollará el proyecto, partiendo que son componentes necesarios en el diseño que se está proponiendo. En el diseño de iluminación se utiliza la simulación por software, herramienta tecnológica que ha pasado a ser parte integral de luminotecnia. Los procedimientos de cálculo de la simulación posibilitan el análisis cuantitativo que permite la verificación exacta de las

iluminancias requeridas, para alcanzar las características deseadas en cada una de las áreas.

Se realizan planos con el diseño eléctrico para la propuesta de iluminación, utilizando un sistema de distribución subterráneo en media tensión para el estadio y en baja tensión para el área de piscina y cancha de tenis, lo cual no afecta las instalaciones eléctricas actuales, que tienen varias deficiencias. En la elección del tipo de poste o bastidor se tomó en cuenta la carga del viento, el peso de las luminarias y la altura a la cual deben colocarse las luminarias.

1. ANTECEDENTES GENERALES DE LAS INSTALACIONES DEPORTIVAS DEL CAMPUS CENTRAL, USAC

La Universidad de San Carlos de Guatemala fue fundada el 31 de enero de 1676, según licencia contenida en la Real Cédula del monarca español Carlos II, en sus inicios impartía las carreras de derecho civil y derecho canónico, medicina, filosofía y teología, así como docencia de lenguas indígenas. La Universidad San Carlos de Guatemala se estableció en la Ciudad de Santiago de los Caballeros, antigua capital del Reino de Guatemala en el Valle Panchoy, el inicio de sus labores académicas se realizó el 7 de enero de 1681. Debido a los terremotos de Santa Marta en 1773, se realiza su traslado a la nueva capital del Reino de Guatemala, la última reunión del claustro en estas instalaciones se celebró el 30 de octubre de 1777.

Con autorización real, se ordenó el traslado de la ciudad al Valle de la Virgen, recibiendo luego el título de Nueva Guatemala de la Asunción, según orden de Carlos III, a la Universidad también se trasladó hacia la nueva capital del reino y la primera reunión en la Nueva Guatemala tuvo lugar el 5 de noviembre de 1777. El traslado se llevó a cabo muy lentamente, en medio de crisis y caos, sin embargo la Universidad logró mantener su categoría y reputación de excelente casa de estudios superiores.

Desde 1944 la Usac es autónoma, la Constitución de la República de Guatemala, en su artículo 82 establece “La Universidad San Carlos de Guatemala, es una institución autónoma con personalidad jurídica. En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del Estado y la educación

profesional universitaria estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales”.

Se rige por su Ley Orgánica, por los estatutos y reglamentos que de ella se emitan, debiendo observarse en la conformación de los órganos de dirección, el principio de representación de sus catedráticos titulares, sus graduados y sus estudiantes.

Después de más de 300 años, la Universidad cuenta con 42 carreras a nivel técnico, 36 profesorado, 99 carreras a nivel licenciatura, 4 especializaciones, 75 maestrías y 6 doctorados. Para el 2014, se atienden aproximadamente a 170 000 estudiantes en 18 centros universitarios, 10 facultades, 8 escuelas y 2 institutos. Orientados hacia una política de puertas abiertas, la Universidad ofrece diferentes programas, tanto para estudiantes universitarios como para el público en general. Dentro de su organización cuenta con la Dirección General de Extensión Universitaria, quien dirige la política cultural universitaria con el objetivo de promover el desarrollo del arte, la cultura, la ciencia y el deporte al interior de la Universidad.

La Dirección General de Extensión fue creada cuando se aprueba su presupuesto en el punto número 4 del acta 1 052 del Consejo Superior Universitario con fecha 13 de junio de 1970. Se nombró al arquitecto Manuel Méndez Dávila como primer director, según acta 1 056, punto 6, el 11 de julio del mismo año. Al fundarse la Dirección, se le fueron adscritas la Imprenta Universitaria, el Centro de Producción de Materiales, la Coordinadora de Deportes, el Teatro de Arte Universitario, la Asociación Coral de Guatemala, la Cinemateca Universitaria, la Casa de Cultura Flavio Herrera y el programa de

Extensión en la Antigua Guatemala, en la sede del Colegio Santo Tomás. Posteriormente, se establecieron nuevos programas y en 1999 se formó el Consejo de Extensión Universitaria.

1.1. Historia de las instalaciones deportivas del campus central

El Departamento de Deportes fue creado según el acuerdo de Rectoría número 27 420 de fecha 15 de enero de 1971. El Complejo Deportivo Revolución fue fundado el 23 de octubre de 1977, contando con piscina olímpica, cancha para tenis, gimnasio y el estadio con capacidad para 5 000 personas, el estadio fue inaugurado en octubre de 1979.

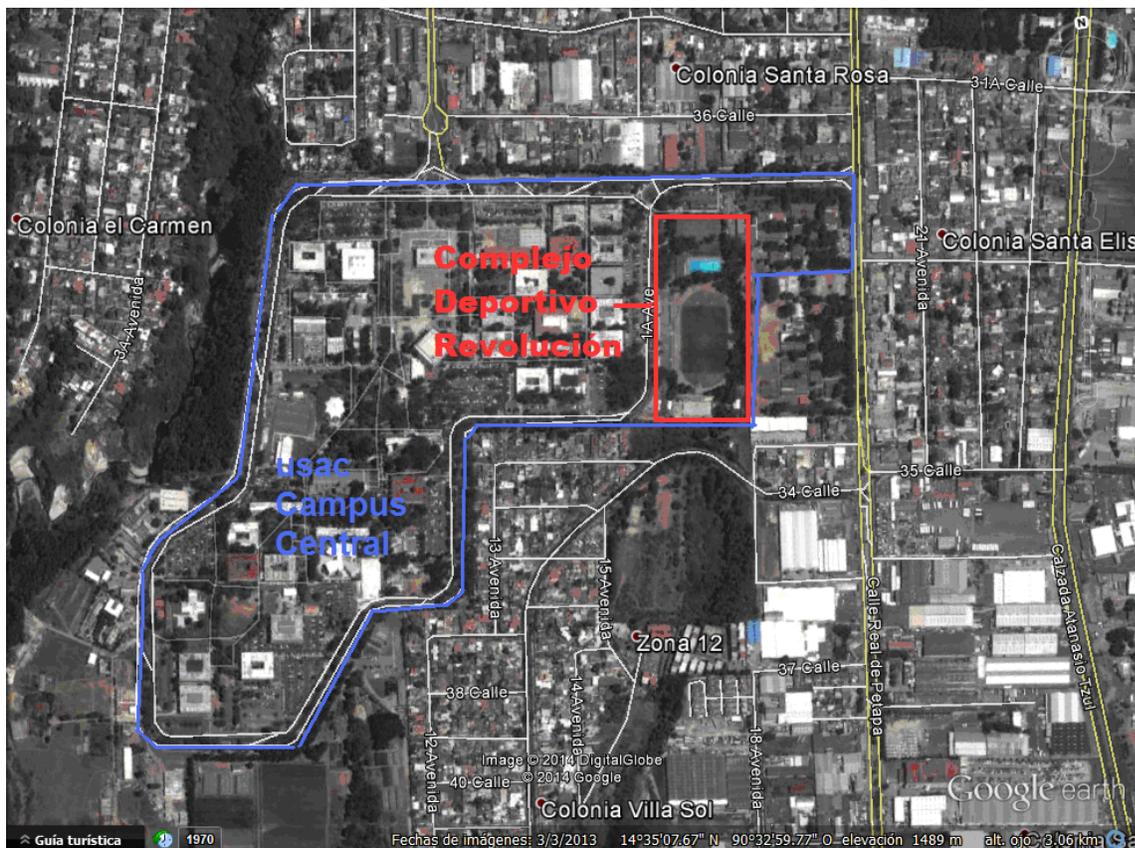
Las instalaciones son utilizadas por visitantes, claustro de catedráticos, trabajadores y estudiantes de la Universidad. El estadio Revolución es usado para juegos del club de fútbol Universidad SC, el cual fue fundado en 1922 con el nombre de Escuela de Medicina, después de haber tenido varios nombres se le conoce como Usac. Actualmente, el club de fútbol Universidad SC juega en la liga nacional de fútbol de Guatemala. Además, se imparten clases de natación y tenis, aunque no se realizan campeonatos continuamente, actualmente esta en construcción un polideportivo.

1.2. Localización geográfica de las instalaciones deportivas

El Complejo Deportivo Revolución está ubicado dentro del campus central de la Universidad San Carlos de Guatemala, Ciudad Universitaria, zona 12, al sur de la ciudad de Guatemala, con ingresos por el anillo periférico y la avenida Petapa, entre 36 y 37 calle. El campus central colinda al norte con la colonia Santa Rosa, al sur con la colonia Villa Sol, al este por la avenida Petapa y al oeste por la colonia El Carmen, todas en la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

El Complejo Deportivo Revolución se encuentra cercano al ingreso por la avenida Petapa.

Figura 1. **Ubicación del Complejo Deportivo Revolución**

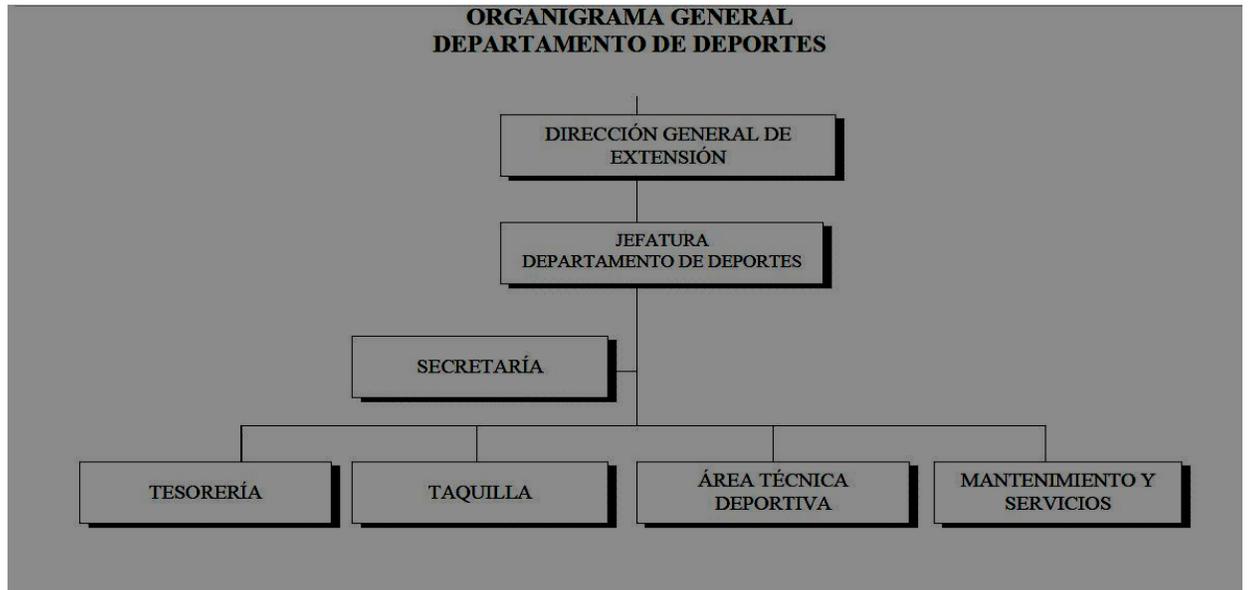


Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth. Consulta: julio de 2014.

1.3. Organigrama de las autoridades que administran el área deportiva

Para el desarrollo de las actividades, el Departamento de Deportes cuenta con personal administrativo, de servicios y entrenadores deportivos, organizados como se muestra en la figura 2.

Figura 2. Organigrama del Departamento de Deportes



Fuente: Dirección General de Extensión Universitaria, Usac. *Manual de organización*. p. 63.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS SOBRE ILUMINACIÓN EN RECINTOS DEPORTIVOS

En este capítulo, se describe la base teórica de iluminación, utilizada para el desarrollo del diseño luminotécnico.

2.1. Conceptos básicos

Es necesario conocer los conceptos básicos de iluminación para poder comprender, revisar, diseñar y desarrollar un proyecto luminotécnico.

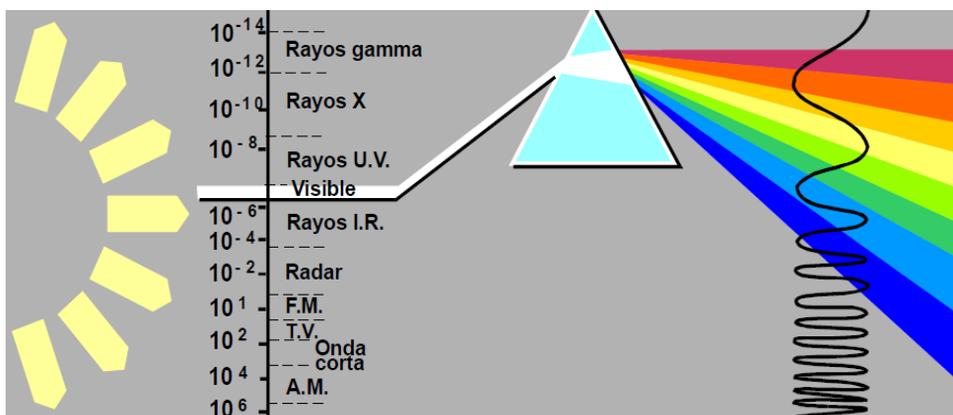
2.1.1. La luz

Las fuentes de luz emiten energía en forma de onda electromagnética. Para el hombre, la luz es la percepción natural a través de la vista de claridad u oscuridad con el espectro de los colores visibles, esto es tan común que pensar en una zona de frecuencia distinta a la radiación electromagnética que puede ser percibida por el ojo humano resulta difícil de concebir.

En realidad, la luz visible por el humano denota la radiación en el espectro visible que es una pequeña parte del espectro electromagnético. El ojo humano, como órgano receptor, se ha adaptado a la luz del sol, que es la fuente principal de luz, a través de la evolución del hombre, por eso, el ojo humano tiene su mayor sensibilidad donde también el sol tiene su mayor radiación, aprovechando una parte del espectro electromagnético que es reflejado o irradiado por los cuerpos, para informarse sobre el entorno que le rodea. El espectro visible para el ser humano está comprendido entre la banda

3 800 a 7 600 nanómetros. Como se observa en la figura 4, la franja del espectro visible por el ser humano es estrecha y está limitada por la radiación ultravioleta y por las radiaciones infrarrojas, radiaciones que no son percibidas por la visión humana.

Figura 3. **Diagrama del espectro electromagnético**



Fuente: COLOMBO, Elisa; O'DONELL, Beatriz. *Iluminación eficiente*. p. 3.

Tabla I. **Longitud de onda, por colores que percibe el ojo humano**

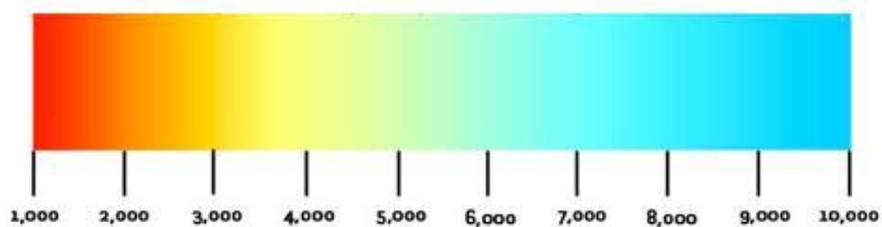
Longitud de onda de los colores que percibe el ojo	
Color	Longitud de onda (nm)
Violeta	380-436
Azul	436-495
Verde	495-566
Amarillo	566-589
Naranja	589-627
Rojo	627-780

Fuente: MANRRUFO, Enrique. *Instalaciones eléctricas interiores*. p. 176.

El color de la luz depende de la distribución espectral de la luz, la longitud de onda del espectro visible indica el color de la luz, (ver figura 4 y tabla I). Las ondas de longitud más corta y de mayor frecuencia son los colores azulados, si prevalecen ondas más largas o de menor frecuencia la luz que se percibe es rojiza.

En luminotecnia, se utiliza otra magnitud para fuentes de luz, la temperatura del color. Para poder describir la temperatura del color de una fuente de luz debe realizarse una comparación con un patrón, el de un cuerpo negro que se considera radiante perfecto, el cual, al calentarse a una temperatura, irradia diferentes colores, cambiando desde rojo oscuro con temperaturas menores pasando por naranja, amarillo, blanco, blanco azulado y azul para las temperaturas mayores. Por tal motivo, la temperatura de color se establece en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) al ser relativa a la temperatura del cuerpo negro.

Figura 4. **Escala de temperatura de color en grados Kelvin**

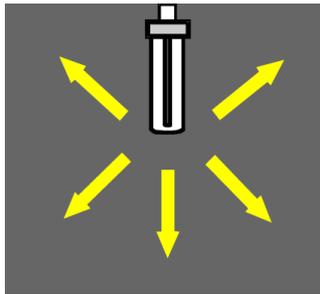


Fuente: *Fotonostra*. <http://www.fotonostra.com>. Consulta: julio de 2014.

2.1.2. Medición de la luz

Existen varias medidas para la luz, entre estas está el flujo luminoso. Este se define como la magnitud que mide la cantidad total de luz o energía radiada por una fuente al espacio, por unidad de tiempo, perceptible por el ojo humano. Su unidad de medida es el lumen (lm) y su símbolo es Φ . Matemáticamente, el flujo luminoso se define como la cantidad de energía radiante por unidad de tiempo multiplicada por la sensibilidad espectral humana integrada sobre el rango de longitudes de onda visibles.

Figura 5. Flujo luminoso

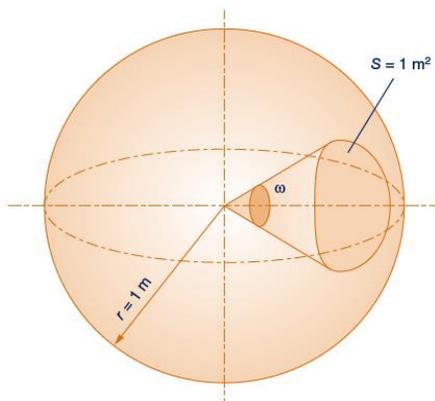


Fuente: COLOMBO, Elisa; O`DONELL, Beatriz. *Iluminación eficiente*. p. 5.

Una de las características de las fuentes de luz es la intensidad luminosa (I), esta se define como la cantidad de flujo luminoso que se emite en un segundo por una fuente, en una unidad de ángulo sólido cuyo eje coincida con la dirección establecida para el flujo, el valor del ángulo sólido debe expresarse en estereorradianes. La unidad de medida de la intensidad luminosa es la candela (Cd), la candela es una unidad básica en la luminotecnia. “Un ángulo sólido se define por el volumen por la superficie lateral de un cono cuyo vértice coincide con el centro de una esfera de radio r y cuya base se encuentra

situada sobre la superficie S de la base del cono es de 1 m^2 , el ángulo sólido vale un estereorradián (1 sr)".¹

Figura 6. **Ángulo sólido**



Fuente: MARRUFO, Enrique. *Instalaciones eléctricas interiores*. p. 178.

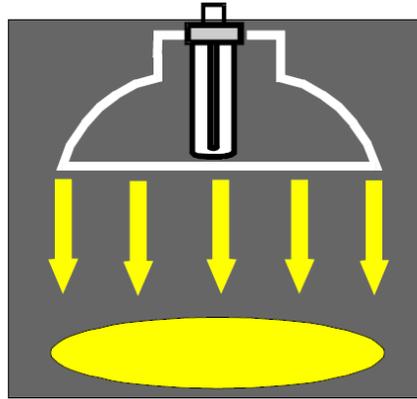
$$I = \frac{\Phi}{\omega} \quad 1 \text{ cd} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ sr}} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

La iluminancia (E), o nivel de iluminación, es la cantidad del flujo incidente sobre una superficie dada. Esta magnitud es la más utilizada en luminotécnica, ya que representa cuanta cantidad de luz llega al área en estudio, la unidad de la iluminancia es el lux (lx) y es 1 lumen que incide uniformemente sobre un área de 1 m^2 . Existen tablas y normativas establecidas para los niveles de iluminación que deben existir en diferentes espacios o tipos de construcción.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

¹ MARRUFO GÓNZALEZ, Enrique. *Instalaciones eléctricas interiores*. p. 178.

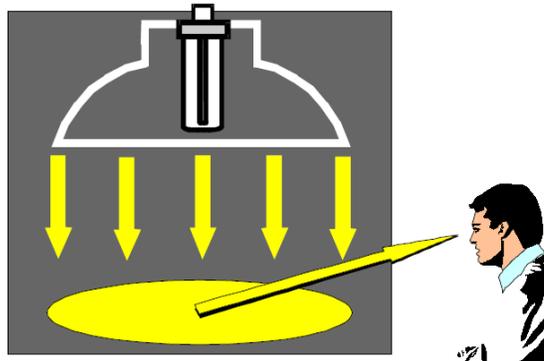
Figura 7. **Illuminancia**



Fuente: COLOMBO, Elisa; O`DONELL, Beatriz. *Illuminación eficiente*. p. 5.

La luminancia es el brillo de la fuente de luz o la superficie iluminada, se puede definir como la intensidad luminosa emitida o reflejada por una fuente o superficie, en la dirección de un observador, dividida por el área de la fuente o superficie vista por el observador; la unidad es candela por metro cuadrado.

Figura 8. **Luminancia**



Fuente: COLOMBO, Elisa; O`DONELL, Beatriz. *Illuminación eficiente*. p. 5.

La eficiencia luminosa de una fuente de luz expresa el rendimiento energético de una fuente, es la potencia eléctrica que se utiliza para que una fuente lumínica transforme la energía eléctrica a energía radiante visible, también se le conoce como el rendimiento luminoso. Matemáticamente se obtiene dividiendo el flujo luminoso entre la potencia eléctrica consumida. La eficiencia máxima posible producida por una fuente de luz es de 683 lm/W a 550 nm, este es el 100 % de eficiencia de allí se puede convertir la eficiencia luminosa en un porcentaje.

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

Ecuación 2.3

Tabla II. **Resumen de magnitudes en luminotecnia**

Magnitud	Ecuación	Unidad	Abreviatura
Flujo luminoso	ϕ	Lumen	(lm)
Intensidad luminosa	$I = \phi / \omega$	Candela	(cd)
Iluminancia	$E = \phi / S$	Lumen/m ²	(lx)
Luminancia	$L = I / S$	Candela/m ²	(cd/m ²)
Eficiencia luminosa	$\eta = \phi / P$	Lumen / Vatio	(lm/W)

Fuente: elaboración propia.

2.2. Tipos y métodos para iluminación de recintos deportivos

Para seleccionar el tipo y el método de iluminación se debe tener en cuenta las necesidades y requerimientos de los usuarios de las instalaciones de los diferentes tipos de recintos deportivos, para poder brindar comodidad visual, ser eficiente energéticamente y satisfacer las necesidades propias de la actividad deportiva a realizar. Al iluminar una instalación deportiva, hay que tomar en cuenta que el objetivo es ofrecer un espacio adecuado para la práctica del deporte y el disfrute del espectador, ambos deben quedar satisfechos tanto al practicar el deporte como al observar la práctica del mismo.

Las exigencias dentro de las instalaciones varían según el tipo de deporte, la finalidad en el momento del deporte, si es recreo, entrenamiento o competición, y el nivel de actividad del deporte *amateur* o profesional. Para establecer qué tipo de luminaria se instalará, deben conocerse los diferentes tipos de tecnologías que se disponen en la actualidad, sus bondades y desventajas.

2.2.1. Tipos de luminarias

Para realizar el alumbrado de diferentes áreas, se emplean varios tipos de luminarias, dependiendo su elección de consideraciones técnicas y económicas.

Desde el punto de vista eléctrico, existen tres formas principales de producir luz: incandescencia, por arco voltaico o descarga eléctrica HID, led o de estado sólido.

Las luminarias o lámparas incandescentes producen un haz de luz al hacer fluir una corriente eléctrica a través de un filamento dentro de un bombillo al vacío o lleno de un gas inerte, este filamento se calienta sin romperse. En la actualidad, los bombillos incandescentes han sido reemplazados en la mayoría de casos, su uso ha mermado mucho debido a que su eficiencia lumínica es muy baja, para bombillos al vacío entre 10 y 20 lm/W, al igual que su vida útil de aproximadamente 1 000 horas. Lo que hace que aún exista este tipo de luminarias en el mercado, es el bajo precio. En algunos países se ha restringido o prohibido por completo su uso y fabricación.

Los bombillos incandescentes que utilizan gases inertes son conocidos como bombillos halógenos (ver figura 9). Estos están rellenos de gases halógenos, regularmente yodo, lo cual mejoró la eficiencia lumínica hasta 30 Lm/W, al permitir llevar a mayor temperatura el filamento. Además, aumentó su vida útil, porque cuando se evaporizan las partículas del filamento de tungsteno y wolframio, el gas halógeno permite que regresen al filamento.

Los bombillos y lámparas incandescentes emiten un espectro de luz continuo, regularmente cálido, teniendo una excelente reproducción de color, por lo cual este tipo de lámpara es usado en estudios de filmación, teatros y escenarios. La energía eléctrica que no es aprovechada para producir energía lumínica se transforma, en su mayoría, en calor, por lo que este tipo de lámparas tiene una baja eficiencia lumínica, ya que produce mucho calor.

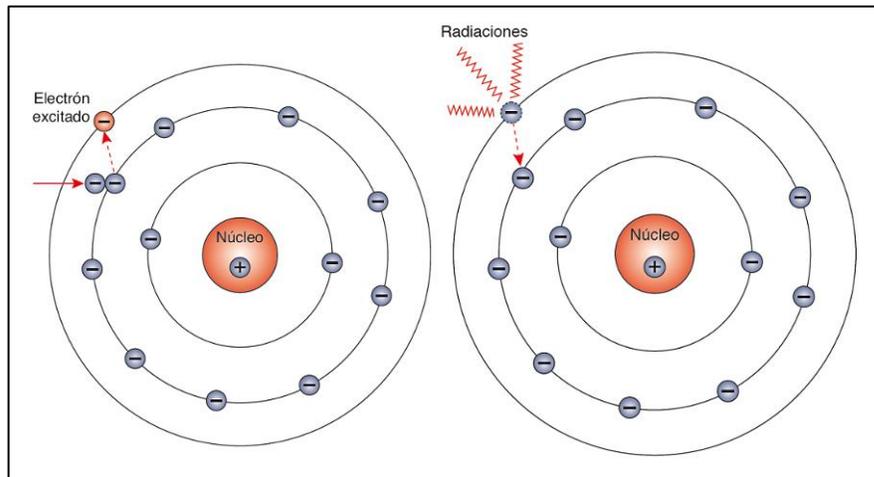
Figura 9. **Lámparas incandescentes**



Fuente: MARRUFO, Enrique. *Instalaciones eléctricas interiores*. p. 182.

Las lámparas de descarga eléctrica se basan en el fenómeno de la luminiscencia, producido por la descarga de electrones entre dos electrodos. La corriente debe atravesar un gas o un vapor de gas. Se pueden clasificar por el gas que utilizan y la presión a que funcionan. La luminiscencia por alta descarga eléctrica en gases es producida al chocar un electrón a una velocidad elevada contra un átomo, haciendo que algunos de los electrones del átomo pasen a un nivel superior de energía. Al regresar estos electrones a su nivel inicial, ceden su energía en radiación electromagnética (ver figura 10). Los electrones de algunos gases producen radiación electromagnética en el espectro visible por el ojo humano.

Figura 10. **Luminiscencia por alta descarga eléctrica**



Fuente: MARRUFO, Enrique. *Instalaciones eléctricas interiores*. p. 187.

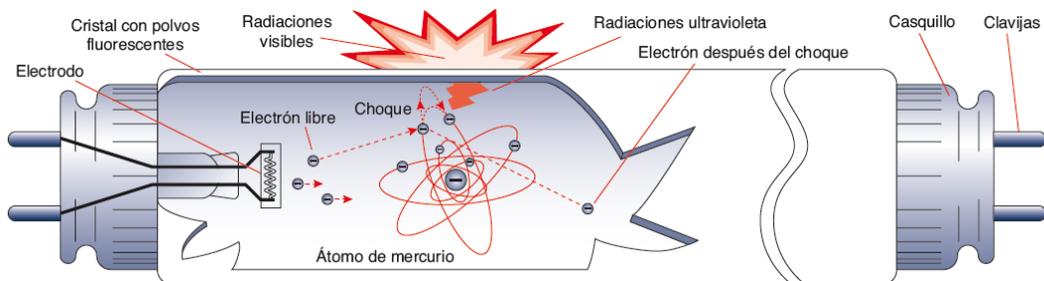
Las lámparas de alta descarga eléctrica producen un efecto estroboscópico, también conocido como destello, el cual se debe porque la luminiscencia se hace pasar una corriente alterna, cuya señal senoidal tiene dos puntos donde pasa por cero. Cuando se alimenta una lámpara a una frecuencia de 60 hertz, pasa 120 veces por cero en un segundo. Cuando pasa por cero, la lámpara tiende a apagarse, pero, al ser muy corto el tiempo, provoca fluctuaciones de iluminación que no se aprecian. Sin embargo, la vista es sometida a un esfuerzo mayor para adaptarse a este efecto. Cabe mencionar que todas las lámparas de alta descarga eléctrica necesitan aumentar el nivel de voltaje y limitar la corriente, por lo que es necesario utilizar un balastro.

Las lámparas de descarga de vapor de mercurio a baja presión, también conocidas como lámparas fluorescentes, son de gran uso en áreas residenciales e industriales, debido a su alta eficiencia lumínica que se encuentra entre los 38 y 91 lm/W, dependiendo de las características de cada

lámpara. La duración de estas lámparas es entre 5 000 y 7 000 horas, aunque por su gran uso y por aplicación, algunas marcas han hecho crecer su vida útil hasta las 25 000 horas. Como todo producto en el mercado, el precio depende de la durabilidad y la aplicación, algunos modelos tienen un bajo costo, lo que las ha convertido en el reemplazo de las lámparas incandescentes sobre todo en interiores.

La fluorescencia es la propiedad de algunas sustancias, que les permite transformar la radiación no visible al ojo humano a radiación visible, por ejemplo la radiación ultravioleta producida por luminiscencia en alta descarga, en un tubo con vapor de mercurio a baja presión. En este tipo de lámpara, se utilizan polvos fluorescentes en las paredes internas de los tubos para producir radiación visible.

Figura 11. Lámpara fluorescente



Fuente: MARRUFO, Enrique. *Instalaciones eléctricas interiores*. p. 189.

Las lámparas de mercurio a alta presión emiten luz azul verde, lo que las hace tener un pobre rendimiento de color, aunque se mejora con la aplicación de polvos de fluorescentes. Tienen buena eficiencia lumínica, alrededor de 80 lm/W y larga vida útil, 16 000 horas, pero un coeficiente de depreciación de

iluminación alto. Este tipo de lámpara aún es utilizado en alumbrado de exteriores.

Las lámparas de alta y baja presión de sodio se emplean en iluminación de exteriores. Su rendimiento luminoso es elevado y varía desde 100 a 160 lm/W. Estas lámparas suministran luz dorada con gran cantidad de rojo, resultan muy favorables en caso de niebla, en condiciones normales dan una buena visibilidad, la reproducción de color es muy mala. Aunque es bastante eficiente, su color hace prohibitivo su uso cuando debe existir una buena reproducción de los colores. Tienen una vida promedio de 20 000 horas y un buen coeficiente de depreciación de iluminación. Su utilización es recomendada para espacios donde sea necesaria una alta cantidad de iluminación pero baja reproducción de colores, como en alumbrado público de calles, parqueos, plazas públicas y, por su temperatura de color, en aplicaciones como fachadas y monumentos.

Las luminarias de descarga de haluros metálicos, o metalarc, además de tener mercurio en el bulbo, cuentan con kriptón, argón y neón. También contienen sales de haluros metálicos, estos agregan los colores que no reproducen las lámparas de mercurio, además, pueden tener elementos cerámicos que aumentan su vida útil, disminuyendo la depreciación de la luz. Estas lámparas tienen un alto rendimiento de color, su eficiencia va de 60 a 100 lm/W, el rendimiento de color entre 70 a 75, el control de luz es más preciso pues la luz es emitida por el pequeño tubo de arco. Debido a su rendimiento de color, eficiencia lumínica, poca depreciación luminosa y larga vida útil, aproximadamente 25 000 horas, esta lámpara es ideal para ser usada en recintos deportivos, plazas y monumentos.

La iluminación de estado sólido utiliza componentes electrónicos, tanto para su alimentación, como para convertir la energía eléctrica en energía lumínica, estos semiconductores son conocidos como led (*light emitting diode*), diodos emisores de luz. Los ledes funcionan por el efecto de la electroluminiscencia, este efecto es cuando un material emite luz al pasar una corriente eléctrica a través de él o bien, al estar bajo el efecto de un campo electromagnético. En la actualidad, las lámparas led se pueden usar para cualquier aplicación, desde el alumbrado decorativo hasta el vial y jardines, presentando ventajas como ahorro energético y mayor vida útil, con las desventajas de tener mayor costo inicial y mayor sensibilidad a las perturbaciones eléctricas.

Esta tecnología está actualmente en pleno desarrollo y no existen luminarias de alto flujo lumínico, además la luminancia o brillo es muy alto, por lo que actualmente no pueden tomarse en cuenta para la iluminación de canchas deportivas donde es necesario un flujo alto y baja luminancia. Tienen una vida útil entre las 25 000 y 50 000 horas, con eficiencia lumínica entre 80 lm/W a 110 lm/W. La marca Philips, en mayo del 2013, anunció que desarrolló un prototipo led con eficiencia de 200 lm/W, el cual probablemente salga al mercado a mediados del 2015.

Tabla III. **Comparativo, tipos de lámparas**

Tipo de Lámpara	Eficiencia lumínica (lm/W)	Temperatura de color (°K)	Horas de vida útil
Incandescente	10 a 30	2 100 a 3 200	1 000 a 2 000
Fluorescente	38 a 91	3 000 a 6 000	5 000 a 7 000
Mercurio alta presión	80	3 500	16 000
Sodio baja presión	160	1 800	15 000
Sodio alta presión	100	2 000	20 000
Haluros Metálicos	60 a 100	3 000 a 6 000	25 000
Led	60 a 110	2 000 a 7 000	25 000 a 50 000

Fuente: elaboración propia.

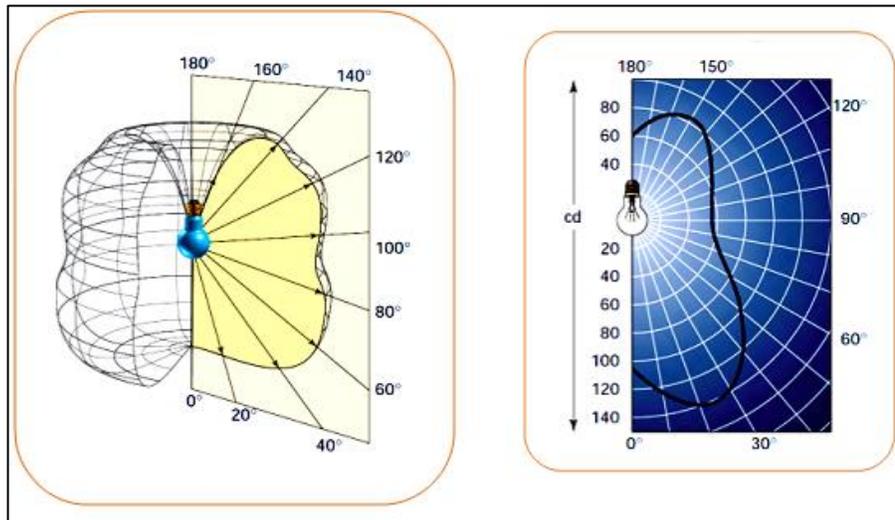
2.2.2. Datos fotométricos de una luminaria

La fotometría toma en cuenta únicamente la luz visible tal como la percibe la visión de un ser humano promedio, así pues, con los datos fotométricos de una luminaria, se describen las características de salida de luz que son sensibles para el ser humano.

Para poder calificar una luminaria no es suficiente disponer del dato de la potencia eléctrica y el flujo luminoso, es muy importante conocer cómo se distribuye el flujo que emite en el espacio, lo cual se realiza a través de una representación de un diagrama polar o lineal, en el que se puede leer el número de candelas por cada 1 000 lm de flujo luminoso, además de los criterios de espaciamiento, eficiencia del luminaria, coeficiente de utilización e información de luminancia. Toda esta información fotométrica ayuda al diseñador a realizar una adecuada selección de la luminaria y hacer una distribución de luminarias eficiente según la necesidad del trabajo. Cuando la luminaria no es simétrica es necesaria la representación de la curva fotométrica en los ejes principales.

- 0° - 180° plano transversal al eje de la luminaria
- 90° - 270° plano paralelo a la luminaria

Figura 12. **Curva fotométrica de una lámpara**



Fuente: *Agencia chilena de eficiencia*. <http://www.apeficiente.cl/contenido>. Consulta: junio de 2014.

2.2.3. Iluminancia del plano horizontal

El terreno de juego forma la mayor parte del campo de visión para jugadores y espectadores. La iluminación horizontal constituye una medida de la luz que alcanza un plano horizontal. Para realizar la medición de iluminancia de plano horizontal en el campo se emplea una rejilla de 10 metros x 10 metros en toda la extensión del campo de juego como base para recopilar todas las mediciones y calcular la iluminación máxima, mínima y media a un metro sobre la superficie del terreno de juego. La iluminación horizontal es conocida por las siglas (Eh).

2.2.4. Iluminancia del plano vertical

La iluminancia vertical es esencial para observar objetos en el plano vertical; a nivel del campo es la cantidad de iluminación que recibe la superficie vertical de los jugadores. La iluminación vertical posee el mayor grado de influencia para la calidad de una imagen de televisión, ya que ayuda a presentar en primer plano a los jugadores. Las variaciones verticales producirán imágenes de video de baja calidad.

2.2.5. Uniformidad en la iluminación

Se refiere a la variación en la iluminancia. Es muy importante una adecuada uniformidad en ambos planos, tanto en el vertical como en el horizontal, para la adecuada visión y adaptación de los deportistas como los espectadores. Para la retransmisión por televisión en alta definición, la uniformidad es necesaria para evitar problemas de enfoque y sombras que eviten que se visualice de una forma adecuada.

El nivel de uniformidad en la iluminación puede ser expresado como la relación de la iluminancia mínima a la iluminancia máxima (U_1) y como la relación de la iluminancia mínima a la media (U_2).

La uniformidad adecuada dependerá de la clasificación del estadio, si se utilizará para eventos televisados, la uniformidad debe contemplarse para los dos planos y si no será televisado, únicamente el plano horizontal (ver tabla VII).

2.2.6. Restricción del alumbrado

Cuando se utilizan fuentes de luz de alta intensidad luminosa, puede presentarse deslumbramiento perturbador o molesto para los usuarios de cualquier recinto. El deslumbramiento es la condición visual que produce molestia, interferencia o perturbación en la eficacia visual debido a la gran luminosidad en un punto o de una sección de la visual, provocado por una fuente de luz o luminaria. Hay dos tipos de deslumbramiento, el molesto y el perturbador. El deslumbramiento perturbador consiste en la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. El deslumbramiento molesto consiste en una sensación molesta provocada porque la luz que llega a los ojos es demasiado intensa, produciendo fatiga visual, esta es la principal causa de deslumbramiento en interiores.

Pueden producirse deslumbramientos de dos formas, la primera es por observación directa de las fuentes de luz, al ver directamente las luminarias o un grupo de luminarias. La segunda forma de deslumbramiento es por observación indirecta o reflejada de las fuentes, como ocurre cuando se ven reflejadas en alguna superficie.

Es importante considerar el deslumbramiento en los recintos deportivos, ya que puede afectar a los deportistas, a los espectadores y a personas que circulen por el lugar. Por eso, al elegir las luminarias, no debe tomarse en cuenta solamente su limitación de luz dispersa por fuera del haz principal, también deben proyectarse adecuadamente en el ángulo preciso, para que este problema no aparezca.

Figura 13. **Evitar deslumbramiento**



Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 174.

2.2.7. Reproducción del color

La percepción o reproducción de color en todos los deportes es muy importante, la distorsión del color es intrínseca del alumbrado artificial, por eso es aceptable cierta distorsión, pero no deben existir problemas en cuanto a discriminación cromática o distinción de colores, ya que esta puede ocasionar problemas en la práctica del deporte. Las cualidades cromáticas de una lámpara se caracterizan por dos atributos: la apariencia del color que está dada por su temperatura de color (ver subcapítulo 2.1.1.), describe la sensación de

caliente (rojo) o frío (azul) y está dada en grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$). Para canchas deportivas, es aceptable para todo tipo de competición una temperatura $^{\circ}\text{K} \geq 4\ 000$.

Otro atributo de las fuentes de luz es la capacidad de rendimiento de color de una luminaria. Este es el factor que afecta al aspecto cromático de los objetos iluminados por la lámpara, se le llama reproducción de color (R_a). Es la capacidad de la fuente de iluminación artificial de reproducir una iluminación natural, un color de buena calidad producido por un sistema artificial de iluminación se encuentra en $R_a \geq 65$.

2.2.8. Impacto ambiental

Toda actividad humana crea un impacto ambiental, la iluminación artificial trae varias repercusiones ambientales, entre ellas se encuentra el consumo de energía eléctrica, la cual a su vez genera otros tipos de desechos según sea su generación. Otra repercusión es la contaminación lumínica del entorno, algunas formas concretas de contaminación lumínica reciben nombres particulares: la difusión hacia el cielo que consiste en la emisión de flujos luminosos que se difunden hacia la atmósfera, causando el resplandor del cielo nocturno y la intrusión lumínica que es la luz que incide fuera de los límites de la propiedad en que están situadas las instalaciones de alumbrado.

La iluminación artificial produce perturbaciones en los seres vivos, al ser humano puede causarle molestias como alteración del sueño, molestias diversas de visión, fatiga mental y fisiológica, intrusión en la privacidad del entorno doméstico de los alrededores e invasión de insectos.

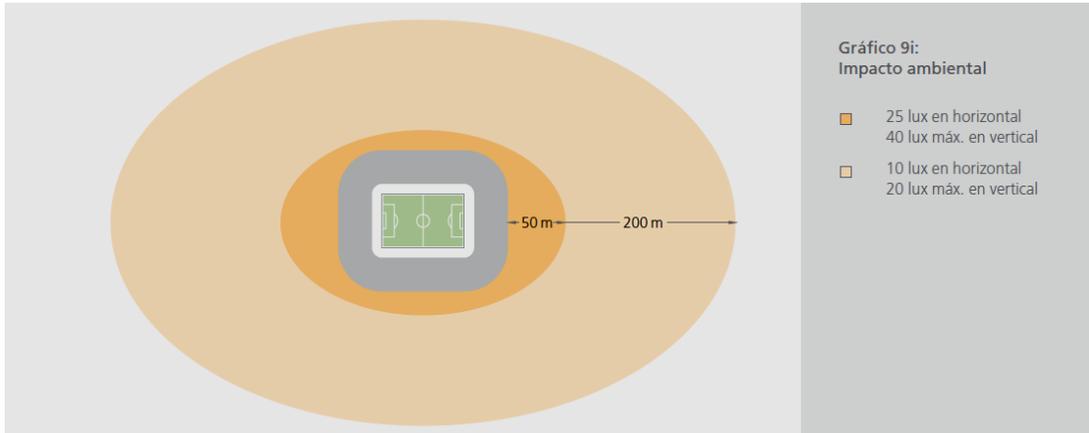
La agresión al medio ambiente más fácilmente detectable es la atracción de insectos por la luz blanca, sobre todo la que contiene emisión en el rango ultravioleta, de tal modo que quedan atrapados alrededor de las luminarias, impidiendo su alimentación y apareamiento, o matándolos por el calor, o provocándoles cansancio o desorientación. Debe tomarse en cuenta que los insectos son la base de muchas pirámides tróficas. En el diseño de iluminación en recintos deportivos, para tener un menor impacto ambiental, deben tomarse en cuenta reflectores *cut off*. La normativa internacional para estadios según FIFA se presenta en la tabla IV y la figura 14.

Tabla IV. **Nivel de iluminación invasiva permisible**

Ángulo de iluminación	Distancia desde el perímetro del estadio	
Invasión horizontal	50 m desde el perímetro del estadio	25 lux
Invasión horizontal	200 m más allá	10 lux
Máximo vertical	50 m desde el perímetro del estadio	40 lux
Máximo vertical	200 m desde el perímetro del estadio	20 lux

Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 178.

Figura 14. **Niveles de iluminación invasiva permisible**



Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 178.

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LAS INSTALACIONES DEPORTIVAS

3.1. Aspectos generales

En Guatemala, los recintos deportivos en su mayoría no cuentan con la iluminación necesaria para ser utilizados en la práctica de los deportes para los cuales fueron diseñados, sobre todo durante la noche. Por lo general, no cumplen con las normas internacionales en varios aspectos como seguridad, confort, comunicación, instalaciones eléctricas de suministro normal y en emergencia.

El Complejo Deportivo Revolución no cumple con varias normas internacionales de los deportes que allí se pueden practicar, este trabajo de graduación se enfoca únicamente en los aspectos eléctricos y de iluminación del mismo.

3.2. Descripción de las instalaciones eléctricas actuales

El Complejo Deportivo cuenta con dos acometidas eléctricas. La acometida 1 es del tipo medición autocontenida con demanda, contador eléctrico L – 96224, voltaje 120/240V, tres fases, cuatro conductores, protección principal T-P con interruptor tipo cuchillas marca Square D, tablero de distribución T-D1 de 24 polos trifásico marca Electrix General Electric. Está ubicada en el cuarto de bombas (ver figura 15).

El banco de transformación se encuentra en el poste de la Empresa Eléctrica de Guatemala, identificado con el número 355659, alimenta ambas acometidas. El banco se conforma de 2 transformadores de 25 kVA conectados en delta abierta. Para la acometida 1 se utiliza bajada secundaria subterránea con 3 cables de aluminio calibre # 4/0 y 1 cable de aluminio calibre # 2. La acometida 2 es una acometida monofásica aérea con cable tipo triplex calibre de aluminio #4.

Figura 15. **Instalaciones eléctricas, cuarto de bombas**



Fuente: cuarto de bombas, Complejo Deportivo Revolución, Usac.

La instalación eléctrica para la acometida 1 no cuenta con un sistema de conexión a tierra en el tablero TD-1, tampoco existe cableado de puesta a tierra desde TD-1 hacia los subtableros TD-2 y TD-4.

En el ingreso a vestidores de la piscina, se encuentra instalado el subtablero T-D2 de 14 espacios, monofásico, marca Electrix General Electric, 120/240 voltios, alimentado desde el tablero de distribución T-D1 con 3 cables THHN calibre # 8 empalmados o unidos en el tablero con cable de aluminio # 4 para intemperie y protección con interruptor termomagnético 2x50 amperios (ver figura 16).

Figura 16. **Tablero eléctrico, área de piscina**



Fuente: ingreso área de piscina, Complejo Deportivo Revolución, Usac.

En la garita de ingreso, se encuentra el subtablero T-D3 con un espacio, monofásico, marca Federal Pacific, 120 voltios, alimentado desde tablero de distribución T-D2 con cable paralelo calibre #12. En el área de gimnasio de la Facultad de Ingeniería, se encuentra instalado el subtablero T-D4 de 2 espacios marca Bticino 120/240 voltios, alimentado desde tablero de distribución T-D1 (ver apéndice 3, plano de alimentadores existentes).

La iluminación de encaminamientos se realiza en el área de piscina con dos lámparas de vapor de mercurio decorativas (L-1 y L-2); dos lámparas de vapor de mercurio decorativas en el acceso por rampa al complejo (L-3 y L-4); dos lámparas de vapor de mercurio tipo canasta en el área de canchas de tenis (L-5 y L-6), estas dos pertenecen al alumbrado público de EEGSA, y recientemente se instalaron 2 lámparas tipo cobra de vapor de sodio en el área de piscina, conectadas al servicio de alumbrado público de EEGSA (L-7 y L-8) (ver apéndice 7, plano de iluminación general existente).

La demanda máxima actual de la acometida 1 con el medidor L - 96224 es de 23 kW. La segunda acometida eléctrica se encuentra en el ingreso al estadio Revolución, esta acometida eléctrica alimenta únicamente el área de prensa y taquilla del estadio.

Después de analizar cada uno de estos elementos, se deduce que existen varias deficiencias en las instalaciones eléctricas actuales del Complejo Deportivo Revolución.

En el país, a través del Acuerdo Gubernativo 256-97, se promulga la Ley General de Electricidad, dentro de la ley general de electricidad, la cual da vida a la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, quien, entre sus atribuciones, establece “dar cumplimiento a ley y sus reglamentos en materia de su

competencia, e imponer las sanciones a los infractores, emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico y fiscalizar su cumplimiento en congruencia con prácticas internacionales aceptadas”.

Para la construcción y diseño de instalaciones eléctricas en baja tensión, menores a 1 000 V, para instalaciones domiciliarias, comerciales, industriales o, para este caso particular, deportivas, la CNEE aún no ha emitido ningún reglamento o normativa, por lo que existe un vacío en el cual se consideran buenas prácticas con referencia al marco legal o normativo. Por lo tanto, para hacer una crítica constructiva adecuada sobre las instalaciones actuales, se tomará como base la normativa que se utiliza en Estados Unidos de América. Esta normativa se llama National Electric Code (NEC, Código Eléctrico Nacional) y ha sido usada como base para la realización de las normas utilizadas en países como México y Colombia. La CNEE ha aprobado únicamente la norma para acometidas de EEGSA la cual también es usada en este trabajo de graduación.

La acometida eléctrica 1 fue construida junto al complejo deportivo en 1979, cumpliendo seguramente con la normativa para acometidas de esa fecha. Este contador se encuentra en el cuarto de bombas, lo cual no cumple con los requerimientos actuales de EEGSA, anexo IV, numeración 6.1 para suministros de cargas individuales trifásicas hasta 75 kVA “El medidor será auto contenido con demanda, deberá instalarse en el límite de la propiedad privada y la propiedad pública, y estará ubicado en un lugar con acceso desde la vía pública”.

“De no ser posible la instalación del medidor de energía eléctrica en el límite de la propiedad pública y la propiedad privada, y a requerimiento del usuario, se podrá instalar en un lugar interior del inmueble, en cuyo caso el

usuario debe garantizar el acceso desde la vía pública; desde el límite de ambas propiedades el usuario construirá, operará y mantendrá todas las instalaciones necesarias por cuenta propia”.²

Dentro de la canalización de los conductores que aún no pasan por el contador eléctrico, o conductores no medidos, se encuentran conductores que vienen del TD-1, los cuales están ya medidos. Esta práctica no debe realizarse, mezclar conductores medidos con no medidos. La distribuidora de energía eléctrica ha optado la política de dejar como se encuentran todas las instalaciones anteriores a la aprobación de esta normativa, hasta que se requiera realizar algún cambio en la acometida, solicitando en ese momento que se regularice según lo descrito en los numerales 6.1.1 y 6.1.2, y los demás incisos que correspondan para cada uno de los casos.

En el alimentador que va desde el tablero TD-1 hacia el tablero TD-2, se unen o empalman conductores de diferente material, aislamiento y calibre, incumpliendo el artículo 110.14 del NEC donde se especifica “No se deben mezclar en un terminal o en un conector de empalme, conductores de metales distintos cuando se produzcan contactos físicos entre ellos (como por ejemplo, cobre y aluminio, cobre y aluminio revestido de cobre o aluminio y aluminio revestido de cobre)”.

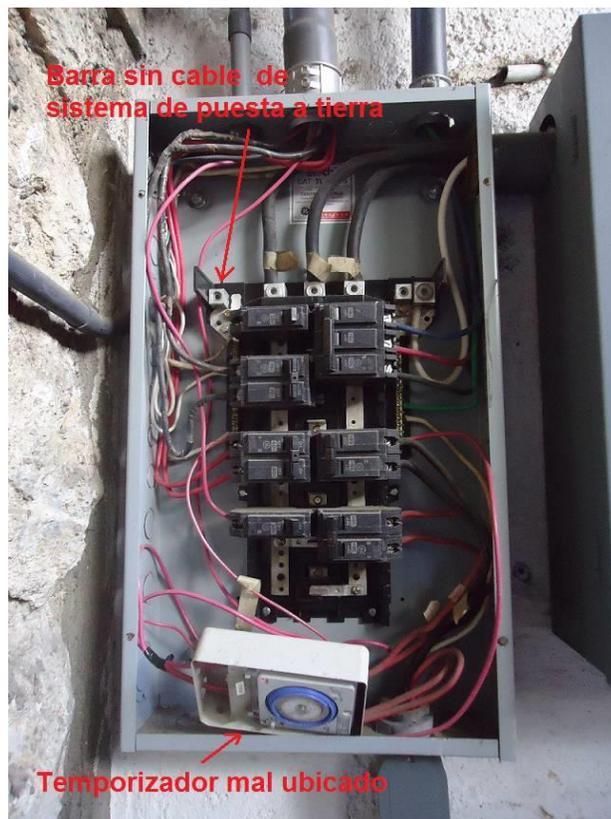
Para el caso del alimentador eléctrico que va desde el tablero TD-2 hacia el subtablero T-D3 en la garita de ingreso, el conductor paralelo no está especificado para su uso a la intemperie o en sitios mojados, lo cual resultará en el deterioro del aislamiento expuesto a las inclemencias del medio ambiente (sol, lluvia, viento), provocando su rompimiento o pérdida de las cualidades

² MORALES, Juan; ALVAREZ, Rolando; GONZALEZ, Mario. *normas de acometida eléctrica*. p. 10.

dieléctricas del material aislante, pudiendo incluso provocar un cortocircuito. Los conductores no cuentan con soportes, incumpliendo los artículos del NEC 300.4 Protección contra daños físicos, 310-8 Lugares mojados y, de realizarse expuesta, debe seguirse el artículo 336-6 Instalaciones expuestas.

A las lámparas L-5 se les colocó un interruptor termomagnético, esto no se encuentra normado para las unidades constructivas de EEGSA. Las lámparas L-7 y L-8 se encuentran en postes pertenecientes a EEGSA sin numeración, conectadas a líneas secundarias de esta distribuidora de energía eléctrica.

Figura 17. **Tablero eléctrico TD-1**



Fuente: cuarto de bombas, Complejo Deportivo Revolución, Usac.

La instalación eléctrica de la acometida eléctrica 1 no tiene un sistema de conexión a tierra y, según la Norma de Acometida de EEGSA, debe contar con, por lo menos, con un electrodo de puesta a tierra. El NEC recomienda “Un electrodo único que consista en una barra o varilla, tubo o placa y que no tenga una resistencia a tierra de 25 ohmios o menos, o se debe complementar con un electrodo adicional de cualquiera de los tipos especificados en los Artículos 250-52 A2 a A7. Cuando se instalen varios electrodos de barras, tuberías o placas para cumplir los requisitos de este Artículo, deben tener entre sí una separación mínima de 1,80 m.” Desde este tablero de distribución, todos los alimentadores deben contar con un conductor para el sistema de puesta a tierra, lo cual tampoco se cumple en las instalaciones actuales (ver apéndice 1, plano de instalaciones actuales del Complejo Deportivo Revolución).

3.3. Capacidad en líneas de transmisión de energía eléctrica cercanas

Según el artículo 65 del Reglamento la Ley General de Electricidad de Guatemala, “todo distribuidor autorizado a brindar el servicio en una zona, adquiere la obligación de conectar sus redes a todos los consumidores que lo requieran, y que estén ubicados dentro de una franja que no podrá ser inferior a 200 metros en torno a sus instalaciones” y el artículo 66 de este reglamento expone “tendrá derecho a que el distribuidor le suministre toda la potencia y energía eléctrica que demande”. A menos de 100 metros del Complejo Deportivo Revolución existen postes y líneas de media tensión que pertenecen a la distribuidora autorizada para el departamento de Guatemala, por lo que es obligatorio para la distribuidora poder dar la potencia y energía necesaria para el proyecto.

3.4. Investigación y evaluación de proyectos existentes para iluminación del área deportiva

Al consultar a la jefatura de deportes de la Universidad San Carlos de Guatemala, se comprobó que no existe ningún proyecto anterior al presente para la iluminación del área deportiva del campus central. El proyecto que está en construcción es el Gimnasio y Cancha Polideportiva, esta construcción se realiza actualmente contigua al estadio Revolución, pero no incluye ninguna mejora a las áreas existentes (canchas de tenis, piscina, estadio Revolución).

4. DISEÑO DE ILUMINACIÓN PARA EL ESTADIO REVOLUCIÓN

4.1. Valores mínimos recomendados de iluminación

El nivel de iluminación que recomiendan las entidades internacionales para una instalación deportiva depende de varios factores, como tipo de actividad visual a realizar, velocidad de acción, número de espectadores y distancia al campo de juego.

Para el diseño de iluminación en un estadio de fútbol debe conocerse el tipo de competición o partido que se contempla realizar en el terreno de juego, también debe tomarse en cuenta la capacidad de aficionados que albergará, lo cual determinará las dimensiones del complejo deportivo, y si los eventos serán televisados. En el caso específico de este trabajo de graduación, el estadio Revolución ya está construido, por lo tanto, el diseño debe estar enfocado a cumplir con los requerimientos, acoplándose a los espacios disponibles y a las dimensiones.

Tabla V. **Clasificación de estadios según tipo de competición**

Clase V	Partido internacional televisado
Clase IV	Partido nacional televisado
Clase III	Partido nacional no televisado
Clase II	Partido de liga y/o clubes no televisado
Clase I	Entrenamientos y juegos de recreo no televisados

Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de futbol*. p. 168.

En las especificaciones de FIFA para la clasificación de estadios, se encuentran dos clases para eventos televisados, la clase V internacional y la clase IV nacional. En las recomendaciones técnicas y requisitos de la FIFA para esta clasificación, se hace mención de que este tipo las transmisiones son en alta resolución. Sin embargo, este tipo de transmisión no se lleva a cabo en el país y no se especifica algún nivel de iluminación para una transmisión televisiva que no sea del tipo de alta resolución.

Tabla VI. **Especificación de iluminación para eventos televisados**

		Iluminancia vertical			Iluminancia horizontal			Propiedades de las lámparas	
		Ev media de las cámaras	Uniformidad		Eh media	Uniformidad		Temperatura del color	Reproducción de color
Clase	Cálculo hacia	Lux	U1	U2	Lux	U1	U2	K	Ra
Clase V Internacional	Cámara fija	2,400	0.5	0.7	3,500	0.6	0.8	> 4,000	≥ 65
	Cámara de campo (al nivel del campo)	1,800	0.4	0.65					
Clase IV Nacional	Cámara fija	2,000	0.5	0.65	2,500	0.6	0.8	> 4,000	≥ 65
	Cámara de campo (al nivel del campo)	1,400	0.35	0.6					

Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de futbol*. p. 176.

En el caso específico del estadio Revolución, el diseño se realiza tomando en cuenta que la mayor exigencia lumínica será para juegos de recreo, competencias federadas de fútbol de liga o clubes no televisadas, en la tabla VII se especifican los niveles de iluminación como actividad de clase II.

Tabla VII. **Especificación de iluminación para eventos no televisados**

Nivel de actividad	Iluminancia horizontal	Uniformidad	Temperatura del color de la lámpara	Reproducción de color de la lámpara
Clase	Eh media (lux)	U2	Tk	Ra
Clase III Partidos nacionales	750	0.7	> 4,000	≥ 65
Clase II Ligas y clubes	500	0.6	> 4,000	≥ 65
Clase I Entrenamiento y recreo	200	0.5	> 4,000	≥ 65

Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 176.

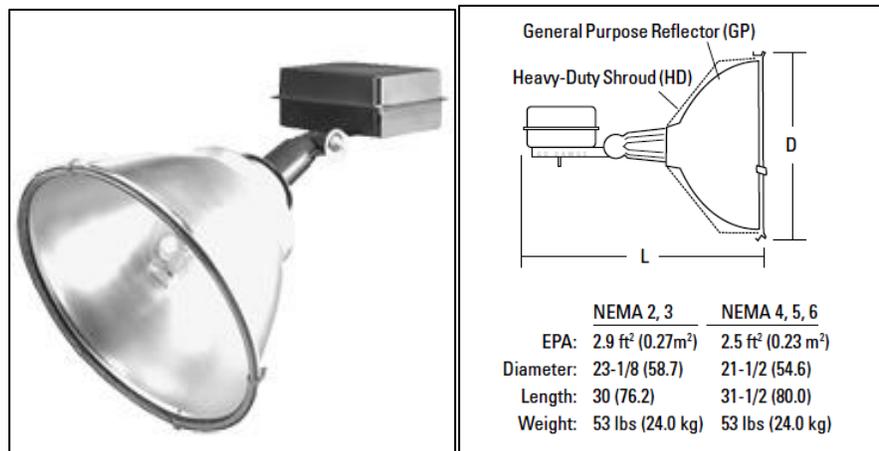
4.2. Luminaria a utilizar

Para la iluminación de recintos deportivos existen en el mercado varias marcas con respaldo en el diseño y construcción de luminarias de buena calidad, como Philips, General Electric, Holophane y Lithonia, las cuales tienen diferentes descripciones y accesorios, aunque coinciden en la clasificación NEMA del haz.

La propuesta se realiza con la marca Lithonia, utilizando la luminaria TV 1500M GP/HD debido a que esta es de uso especializado en áreas deportivas, la caja de enchufe o conexión permite un ajuste vertical, apunta al objetivo con escala de grados y deja el reposicionamiento. La óptica está compuesta por un reflector de alto calibre anodizado de aluminio, el cual proporciona una serie de

aperturas de haz NEMA. La cámara óptica está sellada para inhibir la entrada de contaminantes. El lente con bisagras es pesado, tiene térmica de choques y cristal templado resistente a los impactos. Todos los componentes eléctricos están térmicamente aislados del conjunto óptico, lo cual le proporciona una vida más larga.

Figura 18. **Luminaria Lithonia TV**



Fuente: *Lithonia sport lighting*. www.lithonia.com. Consulta: enero de 2011.

4.3. Simulación de iluminación por computadora

La simulación y el cálculo de iluminación han llegado a ser parte fundamental e integral de la luminotecnica, esto hace necesario el uso de la computadora para el desarrollo óptimo de proyectos lumínicos. La simulación para este trabajo de graduación se realiza con el programa de computadora Visual, propiedad de Acuity Lighting Group, previo haber adquirido licencia para usarla, la cual es gratuita temporalmente con vigencia de 30 días.

Antes de realizar la simulación, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Levantado de dimensiones del recinto, en campo.
- Dibujo de la planta del proyecto a iluminar (ver apéndice 6), programa elegido por compatibilidad AutoCAD.
- Descargar software elegido Visual 2012, de la página www.visual-3d.com.
- Instalar software con licencia temporal.
- Selección de luminarias a partir archivos compatibles con el software a utilizar, para Visual 2012, extensión .ies en la página <http://www.lithonia.com/product/advsrch.aspx?q=sport>, lithonia TV1500M GP H/D.
- Instalar curvas fotométricas de la luminaria en software Visual 2012, utilizando el comando *schedule luminaire* (ver figura 19).

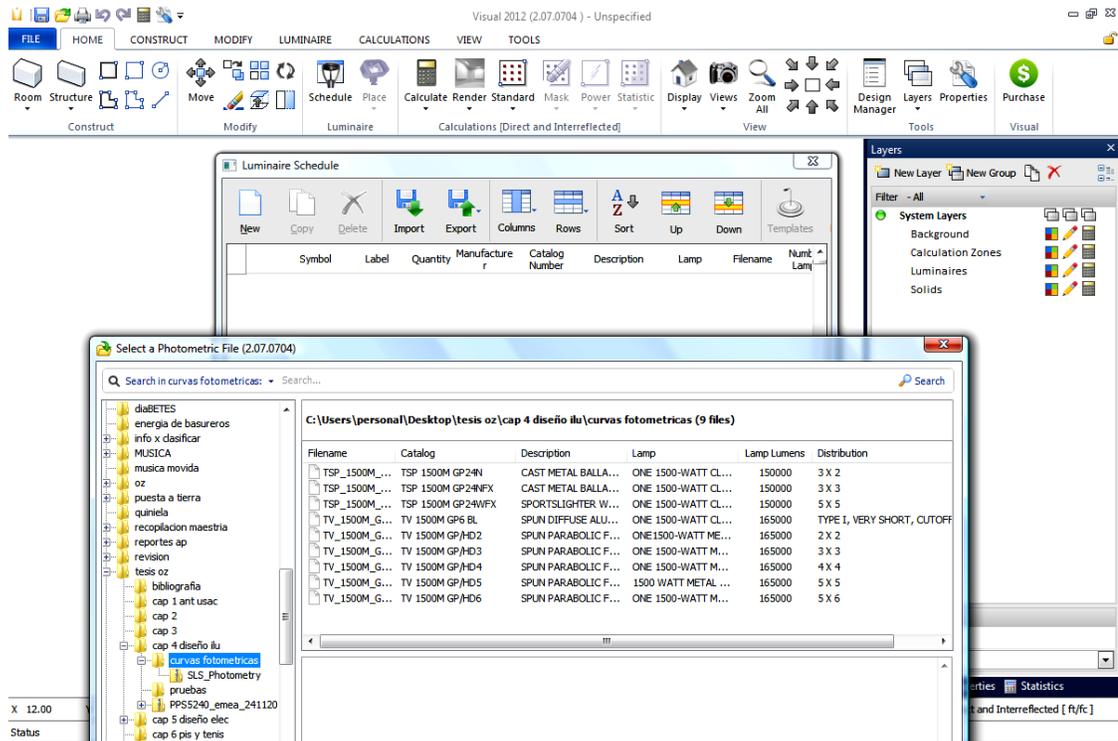
Al utilizar el software de simulación, se deben los siguientes pasos:

- Abrir software previa instalación.
- Se selecciona *FILE*, en el cuadro de diálogo *New, exterior Project*.
- Importar plano previo dibujo, en archivo con extensión .dwg (ver figura 20).

- Seleccionar área donde se desea realizar cálculo (ver figura 21).
- Seleccionar *TOOLS*, en el cuadro de diálogo, comando área, según especificación de niveles deseados de iluminación y área específica *soccer* (ver figura 22).
- Seleccionar *AutoCalculate*.
- Realizar modificaciones en altura, dirección y posición de luminarias según necesidades del diseño (ver figura 23).
- Seleccionar *AutoCalculate*.
- Imprimir el cálculo del área.

La FIFA especifica los niveles recomendados descritos en la tabla VI, estos son los mínimos utilizados para esta simulación.

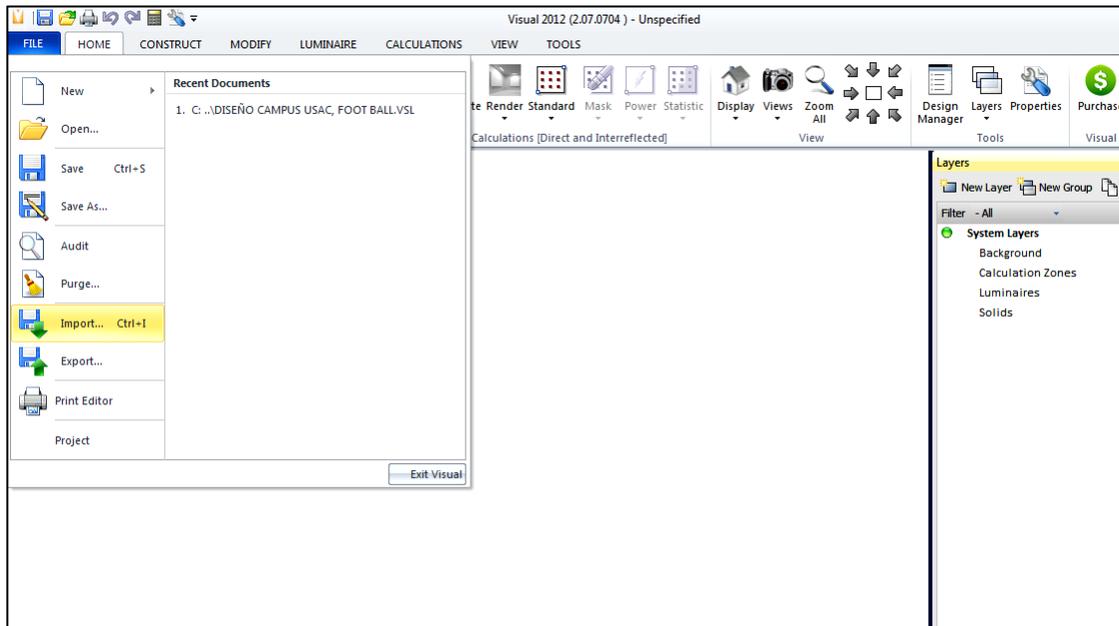
Figura 19. Cargar nuevas luminarias al software Visual 2012



Fuente: elaboración propia, empleando Visual 2012.

Para poder desarrollar cualquier proyecto de iluminación en Visual 2012, primero deben cargarse las luminarias que se van a utilizar. El software no trae ningún archivo de curvas fotométricas, por lo tanto se debe seleccionar *Schedule* en el cuadro de diálogo *Luminaire Schedule* se selecciona *New*, aparece el cuadro de diálogo *Search in* y se selecciona el archivo donde se descargaron previamente las curvas fotométricas necesarias para el proyecto, en este proyecto las curvas son las de la luminaria Lithonia TV1500M.

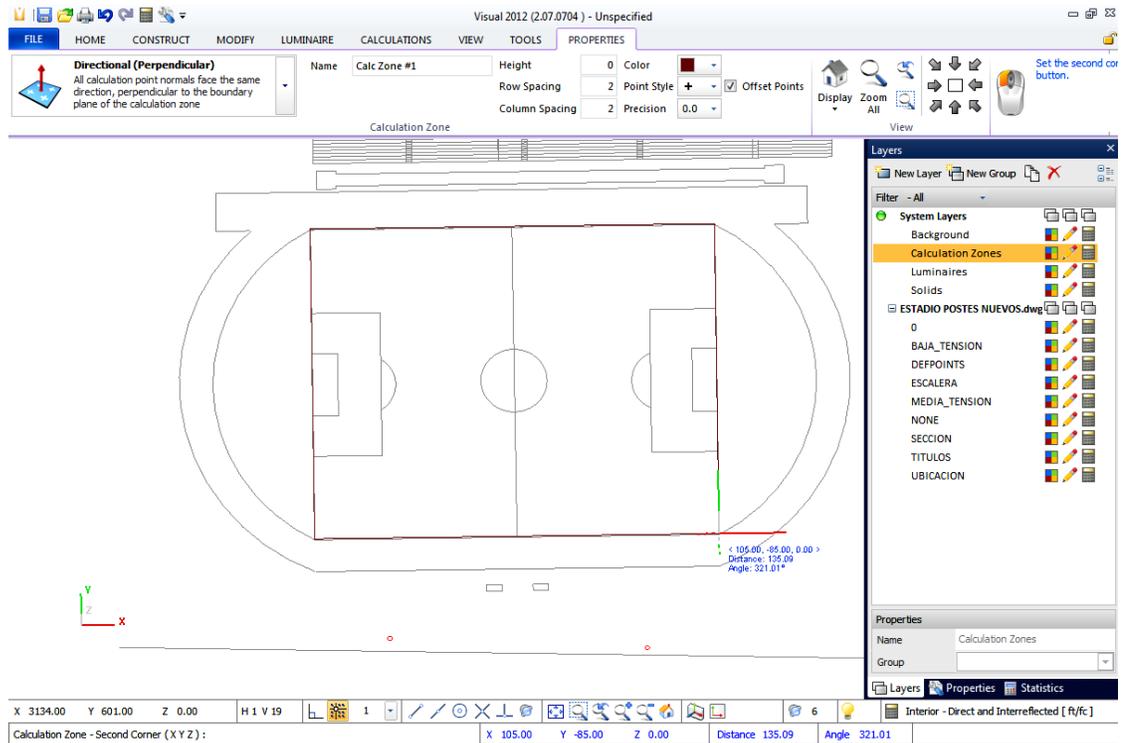
Figura 20. Importar archivos al software Visual 2012



Fuente: elaboración propia, empleando Visual 2012.

Se debe importar el dibujo previamente realizado en el programa AutoCAD, para realizar la simulación sobre el levantado de las dimensiones del área en estudio. Si se toma el ejemplo del estadio Revolución, en este mismo cuadro de diálogo está el comando New, en el que se encuentra la opción de elegir el tipo de proyecto, interior o exterior. Entonces, antes de cargar el archivo .dwg, debe elegirse *Exterior Project*.

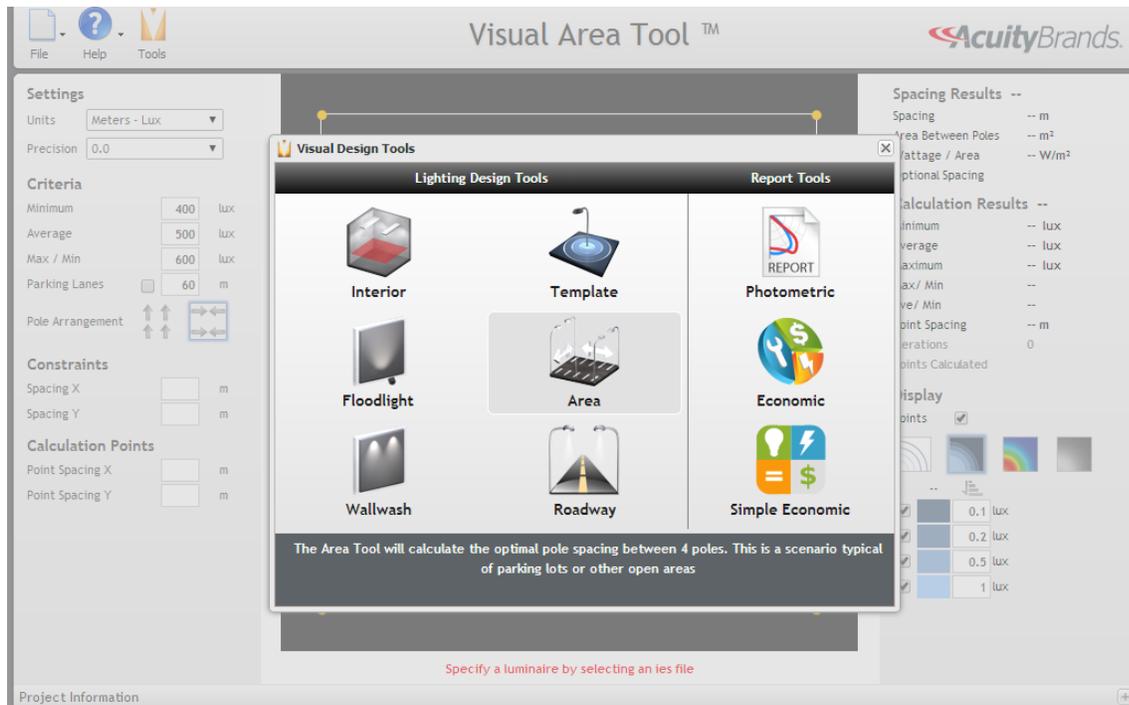
Figura 21. Marcar área en estudio, software Visual 2012



Fuente: elaboración propia, empleando Visual 2012.

En el menú del software, se elige *PROPERTIES*, luego se selecciona el área donde se realizará el estudio, teniendo en cuenta que es necesario tener los valores de iluminancia, también se puede escoger el color de la línea que delimitara el área.

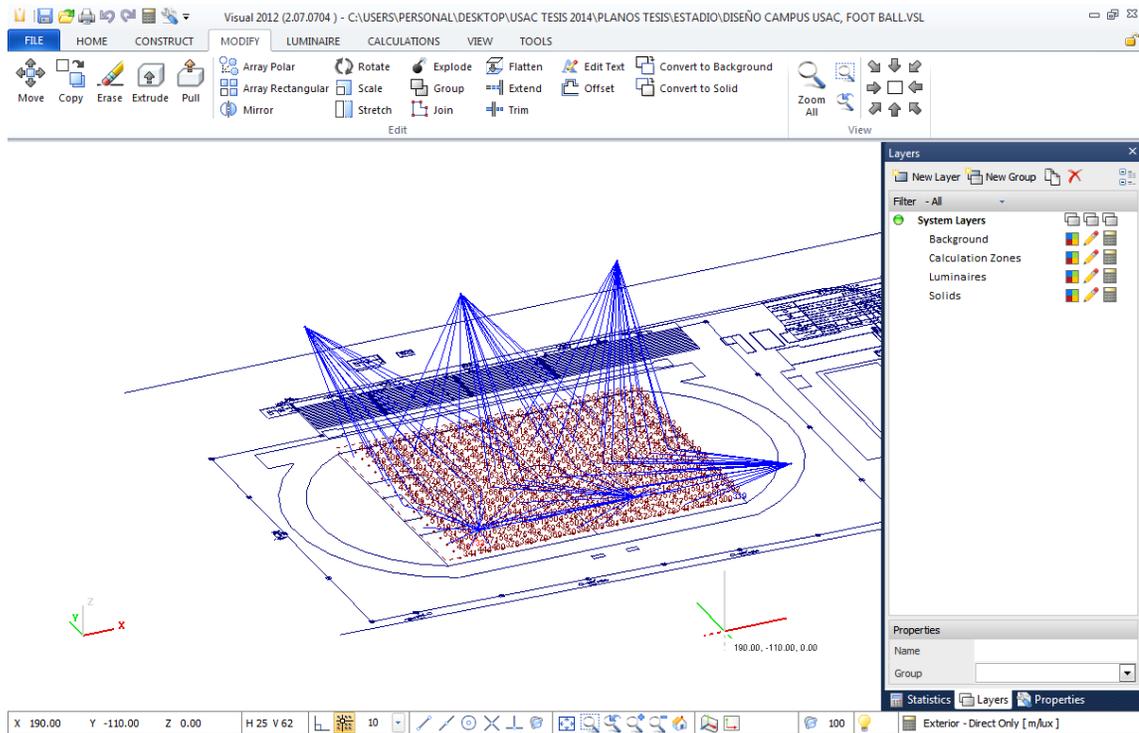
Figura 22. Especificación de utilización del área exterior



Fuente: elaboración propia, empleando Visual 2012.

Este comando permite que el software realice una propuesta para un área abierta, únicamente eligiendo la cantidad de postes y niveles de iluminación, se selecciona la opción soccer.

Figura 23. **Modificaciones a la simulación inicial**



Fuente: elaboración propia, empleando Visual 2012.

Si es necesario cambiar la posición del grupo de luminarias, se realiza con el comando *MODIFY*. Si se necesita redireccionar o cambiar alguna luminaria, se puede realizar eligiendo *LUMINAIRE* seleccionando cualquiera de los comandos *Place*, *Place and Orient*, *Place and Aim*, *Raim*.

4.3.1. **Análisis de la simulación en computadora**

Es importante verificar que se cumpla con todas las recomendaciones y requisitos que FIFA exige, ya que el recinto deportivo se utilizará en competiciones federas por esta institución. En la tabla VI se encuentran los niveles de iluminancia promedio que debe tener el campo, siendo de 500 luxes;

en la simulación el valor promedio es 505 luxes. La uniformidad según la tabla debe ser mayor a 0,6; en la simulación es de 0,65. Por lo tanto, la simulación cumple para ambos casos. En el apéndice 2 se encuentra la impresión de la simulación final para el estadio Revolución.

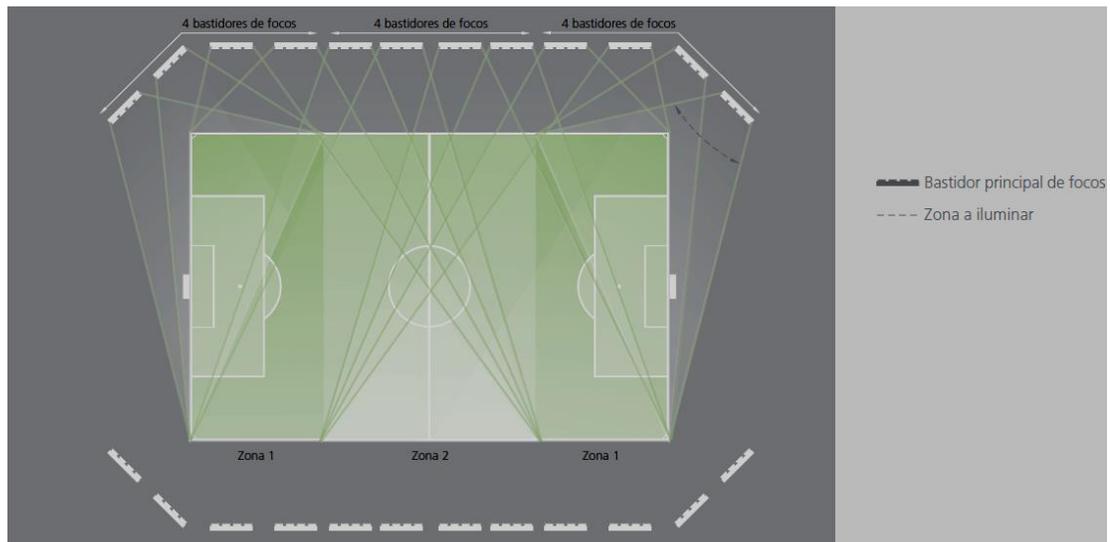
La simulación indica la cantidad de luminarias a utilizar, siendo un total de 106 luminarias, con 17 lámparas en cada poste de las esquinas y 19 en cada poste del centro, además de su distribución y direccionamiento (ver figura 23 y apéndice 3). La altura de los postes que se utilizó para la simulación se calcula en el siguiente subcapítulo, para el lado oeste del estadio la altura mínima es de 37,30 m y para el lado este es de 32,64 m. Se estandarizó el uso de 6 postes de 44 m para tener un espacio libre para la instalación de la estructura con lámparas.

4.4. Montaje de las torres de luminarias

El dispositivo donde se instalan las luminarias son estructuras, también llamadas torres de iluminación, conformadas por postes que pueden ser de madera, fundidos de hormigón o metálicos. FIFA recomienda la cantidad y distribución según la utilización del recinto deportivo. Los estadios modernos tienen la tendencia a ser techados casi en su totalidad, algunos también tienen techada el área de juego, en este caso, las luminarias se instalan en la estructura del techo, este tipo de recinto es de clasificación V, ya que en él se juegan partidos internacionales televisados. Este tipo de estadios está en países desarrollados o donde el fútbol genera muchos recursos económicos, por lo que las transmisiones televisivas son en alta definición.

En la figura 24 se aprecia que la iluminación viene de casi todos lados, lo que provoca que no hayan sombras y exista una buena iluminación, tanto el plano horizontal como en plano vertical.

Figura 24. **Cantidad de bastidores para canchas, clasificación V**



Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 172.

Para la clasificación IV (ver figura 25), la cantidad de bastidores disminuye, ya que el nivel de iluminación requerido es menor, aunque la iluminación es similar a la clasificación V, teniendo luminarias en todo el contorno del estadio. Tanto la clasificación V y como la IV son para recintos donde se transmitirá por televisión en alta definición.

Figura 25. **Cantidad de bastidores para canchas, clasificación IV**



Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 172.

Dependiendo del tipo de competición a realizar se clasifican los estadios, los recintos donde se disputan partidos nacionales se encuentran en la clasificación III, la disposición de los postes son ocho en total, cuatro a cada lado, uno en cada esquina y dos más repartidos equitativamente a lo largo de la lateral del campo (ver figura 26).

Figura 26. **Cantidad de postes para canchas, clasificación III**



Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 172.

La clasificación II es la indicada para juegos de liga y de club, esta es la actividad máxima que se lleva a cabo en el estadio Revolución, esta es la disposición de postes que se tomará como base para el diseño lumínico, con un poste en cada una de las esquinas y uno a cada lado de la línea del centro del estadio (ver figura 27).

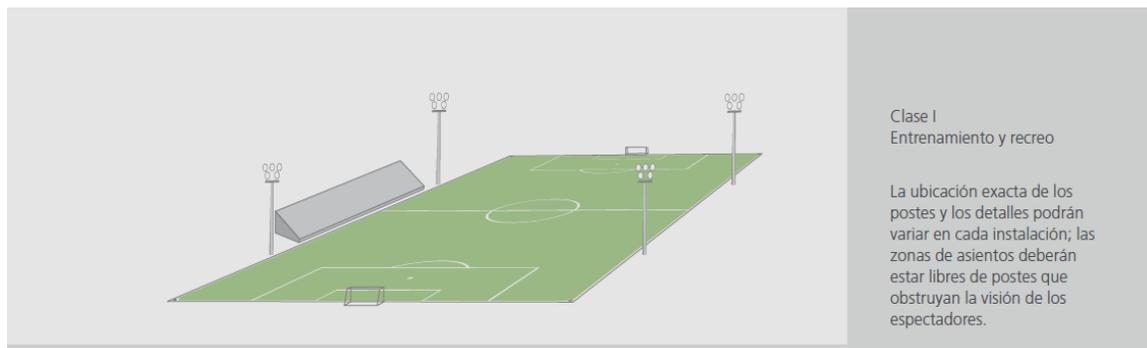
Figura 27. **Cantidad de postes para canchas, clasificación II**



Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 172.

Para los recintos de práctica, entrenamiento y recreo de fútbol, únicamente es necesario un total de cuatro postes, dos por lado, tomando en consideración que no se debe de entorpecer la visual de los espectadores.

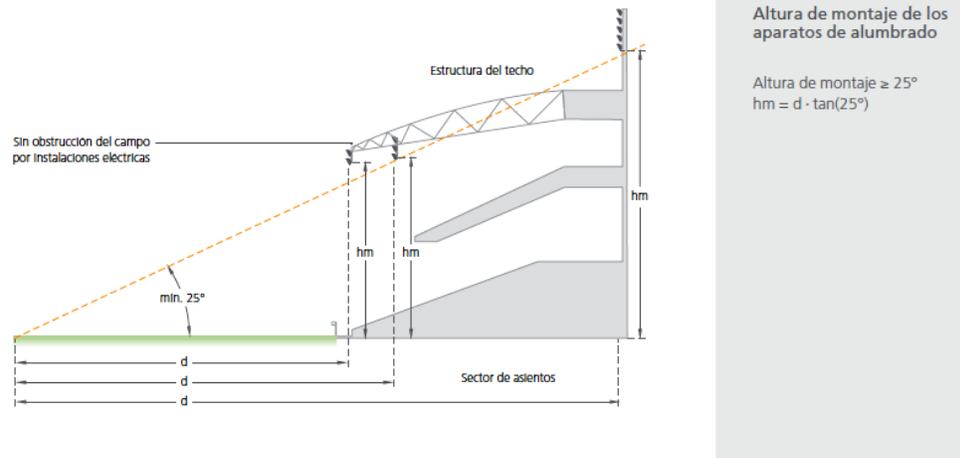
Figura 28. **Cantidad de postes para canchas, clasificación I**



Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 172.

La altura de montaje de las luminarias es de vital importancia, para que la iluminación de un estadio de fútbol sea exitosa. La altura se calcula por la geometría de la distancia medida desde el centro del campo con un ángulo mayor a 25° sobre la horizontal del campo. Para el cálculo de la altura, se pueden exceder los 25°, pero debe ser menor a 45° (ver figura 29).

Figura 29. **Altura de montaje de luminarias**



Fuente: FIFA. *Recomendaciones técnicas y requisitos, estadios de fútbol*. p. 172.

La altura de montaje de las luminarias para el estadio Revolución, tomará en cuenta la figura 20, donde se especifica la distancia entre el centro del campo y el espacio donde se propone la ubicación de los postes. Para el lado de las gradas, es de 77 m y para el lado del montículo de tierra, la distancia es de 70 m, (ver apéndice 9).

$$hm = 80 \tan 25^\circ = 37,30 \text{ m}$$

$$hm = 70 \tan 25^\circ = 32,64 \text{ m}$$

4.4.1. **Diseño de los postes**

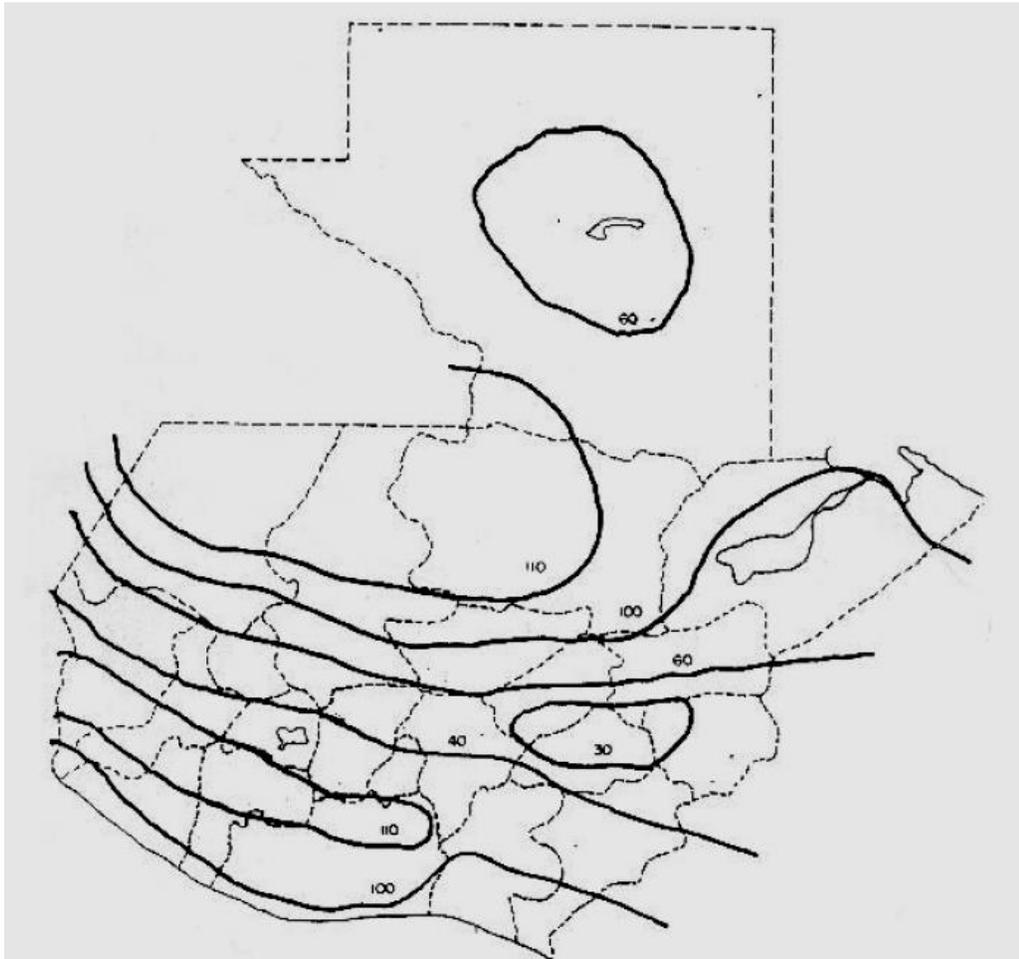
Para la elección del diseño de los postes del estadio Revolución, se deben tomar en cuenta tres aspectos importantes, la accesibilidad para instalarlos, por ser un estadio ya construido, la altura necesaria y la carga del viento, los cuales restringen el tipo de estructura que se elegirá.

Los postes están afectados por varias cargas, se debe considerar el efecto de la gravedad y las cargas laterales. La gravedad afecta a todos los objetos con masa que están sobre la superficie de la Tierra, básicamente es el peso propio del poste y de los equipos a sostener.

Las cargas laterales son de dos tipos, las cargas originadas por el viento y las cargas originadas por un movimiento telúrico. El viento actúa en cualquier dirección sobre la estructura, las cargas laterales provocadas por el viento se deben a la fuerza generada por la presión o succión causada por a la energía cinética del viento que actúa en dirección perpendicular a la superficie expuesta al viento.

Se debe analizar la velocidad sostenida máxima del viento y no debida a ráfagas de viento. La velocidad del viento varía según la localidad geográfica, es importante tener este dato para la región donde se realizará el proyecto en evaluación. En la figura 30 se indica la velocidad máxima en millas/hora para Guatemala.

Figura 30. **Velocidad máxima del viento para Guatemala (en millas/hora)**



Fuente: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología, e Hidrología, (Insivumeh).

Para la parte central del país la velocidad máxima del viento, según el Insivumeh es 40 Mph o 6 436 m/h, aunque en la parte alta del departamento de Guatemala se observan velocidades de 60 Mph o 9 654 m/h. La medición de la velocidad del viento en un centro meteorológico se realiza a 10 m sobre el terreno circundante, esta velocidad se toma general para una región pero puede variar por efectos de la topografía o estructuras existentes en el lugar.

Para poder calcular la fuerza perpendicular a una estructura se utiliza la ecuación.

$$F = qz Gh [Cf Ae + \Sigma(Ca Aa)] \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde se utilizan varios coeficientes según la estructura y su altura. El primer coeficiente es la representación del aumento la presión en una estructura al aumentar su altura, y se calcula por la siguiente ecuación.

$$qz = 0,613 Kz V^2 \quad \text{con } V \text{ es en metros por segundo} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$Kz = [z/10]^{2/7} \quad \text{con } z \text{ metros} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Kz debe de estar entre los límites $1,00 \leq Kz \leq 2,58$

Las condiciones de ráfagas se consideran en el coeficiente Gh . Las ráfagas se presentan debido a bolsas de aire de mayor densidad que aumentan la presión sobre la estructura, para calcular este coeficiente se utiliza la siguiente ecuación.

$$Gh = 0,65 + 0,60/(h/10)^{1/7} \quad \text{con } h \text{ en metros} \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Gh debe estar entre los límites $1,00 \leq Gh \leq 1,25$, con excepción de los monopolos donde Gh debe de ser igual a 1,69.

El coeficiente de fuerza Cf , depende de la relación de solidez y la sección transversal de la torre. Para el cálculo del coeficiente Cf para monopolos, consultar la tabla VIII.

Tabla VIII. Coeficiente de fuerza Cf

Coeficientes de fuerza (C _F) para estructuras tipo monoposte en voladizo					
C (mph ft)	Circular	16 lados r < 0,26	16 lados r ≥ 0,26	12 lados	8 lados
< 32	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
32 a 64	$\frac{130}{(C)^{1,3}}$	$1,78 + 1,40r - \frac{C}{91,5} - \frac{C(r)}{22,9}$	$0,72 + \frac{(64 - C)}{44,8}$	$\frac{12,5}{(C)^{0,6}}$	1,20
> 64	0,59	1,08-1,40r	0,72	1,03	1,20
Unidades del SI					
C (m/s m)	Circular	16 lados r < 0,26	16 lados r ≥	12 lados	8 lados
< 4,4	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
4,4 a 8,7	$\frac{9,74}{(C)^{1,3}}$	$1,78 + 1,40r - \frac{C}{12,5} - \frac{C(r)}{3,12}$	$0,72 + \frac{(8,7 - C)}{6,10}$	$\frac{3,78}{(C)^{0,6}}$	1,20
> 8,7	0,59	1,08 -1,40r	0,72	1,03	1,20
$C = \sqrt{K_z} V D_p$ para D _P en ft [m]					

Fuente: TIA / EIA. Norma 222-F. p. 26.

El área efectiva Ae, es el área proyectada efectiva de la estructura. Para monopolos, Ae debe ser el área proyectada basada en el diámetro del polo o el ancho total, para otras estructuras se calcula por la siguiente ecuación.

$$A_e = D_f A_f + D_r A_r R_r \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Los accesorios lineales no considerados como parte del poste, se incluyen en el término de la ecuación $\sum C_a A_a$.

El diseño de cargas de viento (Fc) para un accesorio en monopolos, como las plataformas, soportes, entre otros (excluyendo antenas de microondas y reflectores pasivos), debe ser calculado a partir de la siguiente expresión.

$$F_c = qzGh [\Sigma(C_a A_c)]$$

Ecuación 4.6

El coeficiente C_a es el producido por la fuerza en los accesorios (ver tabla VIII) y A_c es el área del accesorio.

Tabla IX. **Coeficiente de fuerza C_a**

Coeficientes de fuerza para accesorios		
Tipo de miembro	Relación largo/ancho ≤ 7	Relación largo/ancho ≥ 25
	C_a	C_a
Plano	1.4	2
Cilíndrico	0.8	1.2

Relación largo/ancho = longitud total/ancho, en un plano normal a la dirección del viento, (la relación largo/ancho no está en función del espaciamiento entre puntos de apoyo del accesorio lineal, ni la fuerza es considerada uniformemente distribuida a lo largo de la sección).

Nota: la interpolación lineal puede ser usada para otras relaciones de longitud/ancho que no son indicadas.

Fuente: TIA / EIA. *Norma 222-F*. p. 28.

Las estructuras o torres para el alumbrado de instalaciones deportivas pueden estar conformadas por postes de madera, hormigón, acero, estructuras de acero o acero galvanizado. El tipo de estructura o poste a utilizar dependerá de las necesidades requeridas por en el proyecto, la capacidad de soportar las cargas que actúen sobre la estructura, la factibilidad de poder instalarlos y la durabilidad en el tiempo. Estos son utilizados generalmente a la intemperie en climas que van desde el frío al cálido y en ambientes húmedos o secos.

Antiguamente, los postes de madera fueron de uso generalizado, actualmente se han reemplazado por postes de concreto y metálicos. Los postes de madera son los más económicos de fabricación y montaje, se pueden

instalar sin el uso de grúas, lo que permite su instalación aún en lugares de difícil acceso. Su resistencia mecánica es alta comparada con su masa, su flexibilidad los hace resistentes a golpes, además, tienen excelentes propiedades de aislamiento térmico y eléctrico. Con el fin de evitar que se deterioren, los postes reciben un tratamiento con alquitrán, pez o betún. Otro tipo de tratamiento es con óxidos OSMOSE, CCA-C, K-33 que los hacen resistentes al ataque de hongos e insectos. Estos tratamientos pueden ser por aplicación superficial o por impregnación.

Las maderas utilizadas para postes son pino, abeto, eucalipto y acacia. La madera, con el pasar del tiempo, será atacada por hongos y plagas que deteriorarán el poste, por lo que este es un limitante en su utilización. Las especies de crecimiento rápido, como el pino insignis y el eucalipto, no pueden ser usadas más que en instalaciones provisionales para una duración no superior a los 2 años.

Tabla X. **Tipos de postes según su origen botánico**

Poste	Esfuerzo a la flexión Mpa	Vida útil años	Peso kg 11m/clase 6	Nombre botánico
Pino amarillo	55	40	360	<i>Pinus taeda</i>
Eucalipto	50	15	400	<i>Eucalyptus globulus</i>
Pino rojo	44	40	380	<i>Pinus resinosa</i>
Pino radiata	44	40	360	<i>Pinus radiata</i>
Abeto Douglas	55	40	380	<i>Pseudotsuga menziesii</i>

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú. *Normas DGE 015-PD-1*. p. 131.

Se le llama pie de un poste de madera a la parte más ancha, esta es la parte del poste destinada a ser empotrada en el suelo; a la parte superior se le llama despunte o cogolla, esta es la parte de menor sección del poste. La cogolla está achaflanada para dificultar la penetración del agua de lluvia y generalmente se pinta con alquitrán, pez o betún con el mismo objetivo.

En los postes de madera deben definirse las siguientes características: especie forestal, longitud total, diámetro en la punta o en el despunte, índice de aguzamiento y la clase, que está dada por carga total a la ruptura por la flexión estática.

Tabla XI. Tipos de postes de madera y su nomenclatura

Clase Carga de rotura kg	Grupo	Diámetro mínimo en la punta (mm)	Long. total (m) Long. emp. (m)	8*	9*	10*	11*	12*	13*	14*	15*
				1.40	1.50	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	2.10
1	A	175	D	2.35	2.68	2.77	2.86	2.96	3.05	3.12	3.22
	B	184	I	2.64	2.77	2.86	2.99	3.08	3.16	3.24	3.34
	C	194	Á	2.74	2.93	3.02	3.15	3.24	3.34	3.44	3.50
	D	203	M	2.96	3.12	3.21	3.34	3.44	3.58	3.66	3.72
	2040	E	215	E	3.19	3.34	3.47	3.59	3.72	3.82	3.94
2	A	166	T	2.39	2.46	2.59	2.67	2.77	2.86	2.95	2.99
	B	175	R	2.48	2.61	2.70	2.80	2.89	2.90	3.05	3.12
	C	181	O	2.61	2.74	2.83	2.93	3.02	3.12	3.21	3.28
	D	191		2.77	2.90	3.02	3.12	3.24	3.34	3.40	3.50
	1680	E	200	M	2.99	3.12	3.24	3.37	3.50	3.59	3.89
3	A	159	Í	2.23	2.33	2.43	2.51	2.58	2.67	2.73	2.80
	B	165	N	2.39	2.42	2.51	2.61	2.67	2.77	2.83	2.96
	C	171	I	2.45	2.55	2.64	2.73	2.85	2.93	2.99	3.05
	D	176	M	2.58	2.71	2.83	2.93	3.02	3.12	3.18	3.28
	1360	E	191	O	2.80	2.93	3.02	3.13	3.24	3.34	3.44
4	A	143	DE	2.07	2.17	2.26	2.32	2.38	2.48	2.54	2.61
	B	149		2.13	2.26	2.32	2.42	2.48	2.58	2.64	2.71
	C	156	LA	2.27	2.36	2.45	2.54	2.64	2.70	2.77	2.96
	D	162		2.49	2.52	2.61	2.70	2.80	2.89	2.96	3.02
	1090	E		171	2.61	2.71	2.83	2.93	3.02	3.12	3.18
5	A	130	S	1.91	2.01	2.07	2.16	2.23	2.29	2.35	2.39
	B	136	E	1.97	2.07	2.16	2.23	2.29	2.39	2.45	2.51
	C	145	C	2.10	2.20	2.26	2.35	2.42	2.51	2.59	2.64
	D	149	C	2.23	2.33	2.42	2.51	2.58	2.67	2.73	2.80
	860	E	159	I	2.45	2.52	2.61	2.70	2.80	2.86	2.96
6	A	108	Ó	175	185	191	197	203	210	216	223
	B	114	N	185	191	200	207	215	219	226	232
	C*	121		194	204	210	218	226	232	238	245
	D*	127	DE	207	217	223	232	238	245	251	258
	680	E		136	223	235	242	251	256	264	273
7	A	101	E	166	172	176	184	191	197	200	210
	B	108	M	172	178	184	191	197	203	210	216
	C*	114	P	181	188	197	203	210	216	223	226
	D*	121	O	191	201	207	216	223	229	235	242
	550	E	127	T	207	217	226	232	242	248	254
8	A	92	R	152	159	168	172	178			
	B	98	A	159	169	175	181	184			
	C	100	M	169	175	184	191	197			
	D	114	I	176	188	194	200	207			
	450	E	121	E	194	201	210	216	226		
9	A	86	N	140	147						
	B	89	T	146	153						
	C	95	O	152	159						
	D	105		162	172						
	340	E	114	(mm)	175	188					
G	A	MAYOR DE	800 kg/cm ²	(Esfuerzos de flexión)							
R	B	701 - 800		* Clases, grupos y alturas de							
U	c	601 - 700		postes que se encuentran							
P	D	501 - 600		normalmente en el mercado							
O	E	400 - 500		nacional							

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú. Normas DGE 015-PD-1. p. 133.

Los postes de concreto están compuestos por un armazón de acero recubierto por concreto, son de forma de tronco cónico hueco en su interior, tienen entre sus características importantes su gran resistencia a la compresión y su duración. Por su construcción, están los postes de concreto armado, concreto vibrado, centrifugado y pretensado, este tipo de construcción mejora las características para soportar cargas y la resistencia a los agentes atmosféricos.

Un poste fabricado correctamente debe de poseer las siguientes características: no tener marcas de superficiales de encofrado, sin fisuras o porosidad, debe tener una superficie lisa y los agujeros cilíndricos, el poste debe ser completamente recto. La vida útil esperada es de 35 años después de la fecha de fabricación, cualquier parte de la armadura de hierro debe tener una capa de, por lo menos, 15 mm de concreto.

Para la armadura principal pretensada, se utiliza acero con un esfuerzo mínimo de $1\ 700\ \text{kg/cm}^2$; para la armadura sin tensar, el acero es de grado 60 con esfuerzo mínimo a la rotura de $500\ \text{kg/cm}^2$.

La prueba para carga de ruptura debe ser en condiciones de empotramiento, aplicando cada vez esfuerzos mayores hasta la rotura del poste, el valor máximo leído en el dinamómetro es la carga real de ruptura y esta debe ser 200 % mayor a la carga de trabajo máxima. Como en varios temas, en Guatemala no existe estandarización gubernamental en el diseño de postes de concreto, el diseño para la carga máxima de trabajo difiere según tres empresas, las dos distribuidoras de energía y el Instituto Nacional de Electrificación.

Tabla XII. **Dimensiones, usos y resistencia de postes de concreto utilizados en distribución de energía eléctrica**

Altura		Carga de trabajo Norma		
pies	metros	EEGSA (lb)	INDE (lb)	Caribe (daN)
30	9.14	500	500	300-500
35	10.67	750	750	300-500-800
40	12.2	750	750	500-800
45	13.71	750	750	500-800
	16		1000-2000-3000	454-908-1362
	18		1000-2000-3000	454-908-1362
	21		1000-2000-3000	
	24		2000-3000	
	27		2000-3000	

Fuente: CIFA. *Catálogo comercial prefabricados*. p. 2.

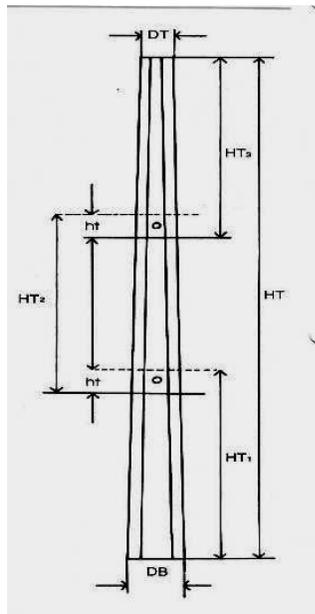
Las estructuras metálicas se construyen regularmente de acero, estas estructuras se utilizan como soporte para la colocación de equipos a mayor altura. Pueden clasificarse por las piezas y las formas de piezas que conforman las estructuras, postes de perfiles, postes tubulares o de sección circular de una pieza o seccionable, estructuras de celosías.

Se puede utilizar como poste o apoyo, un perfil metálico con forma cuadrada, tubular, en U, I, H, L, regularmente este tipo de poste se utiliza para alturas pequeñas. Las estructuras de perfiles laminados o de celosía, son aquellas que están compuestas por perfiles en forma de L, U, T, I; los perfiles son unidos con pernos, tornillos o remaches, formando una estructura que puede ser triangular o cuadrada. Las ventajas sobre los otros tipos de poste es su mayor resistencia mecánica y cómodo armado en el lugar de izado, fácil mantenimiento y mejor estética. Las partes metálicas que forman la estructura,

deben ser pintadas o galvanizadas para protegerse de agentes agresivos del ambiente, evitando su oxidación y corrosión.

En el mercado nacional se encuentran también otras alternativas de emplazamiento de luminarias, aparte de los postes de concreto que son los más usados. En remodelaciones recientes de instalaciones deportivas se utilizaron aplicaciones de postes metálicos de sección poligonal. Estos postes son fabricados con lámina de acero de alta resistencia, galvanizados en caliente, generalmente están compuestos de tres a siete secciones poligonales. Este tipo de poste es utilizado también en aplicaciones de transmisión de energía, alumbrado y telefonía. En la tabla XII y figura 31 se muestra un ejemplo de poste octogonal de tres secciones que puede ser utilizado en telefonía o transmisión de energía eléctrica.

Figura 31. **Poste poligonal de tres secciones**



Fuente: Metales de Milpas Altas. *Catálogo comercial*. p. 4

Tabla XIII. **Datos técnicos de postes de acero de alta resistencia de sección poligonal**

MODELO	8/60	8/120	9/120	9/500
CODIGO	JOAV -1712-8-60	JOAV -1712-8-120	JOAV -1712-9-120	JOAV -1712-9-500
HT *	8Mts	8Mts	9 Mts	9Mts
HT1	2877mm	3000mm	3333mm	3333mm
HT2	2877mm	3000mm	3333mm	3333mm
HT3	2877mm	3000mm	3333mm	3333mm
DT	65mm	105 mm	135mm	135mm
DB	119mm	220mm	250mm	250mm
ht	300mm	500mm	500mm	500mm
Espesor mínimo de lámina	14 Ga (2 mm)	14 Ga (2 mm)	14 Ga (2 mm)	10 Ga (3 mm)
Peso (Kg)	40	75	90	130
Resistencia a tracción en la punta (kg)	60	120	120	500
Material	Acero de alta resistencia (ASTM A-570 Grado 36)			
Recubrimiento:	Galvanización en caliente (ASTM A-123)			

Fuente: Metales de Milpas Altas. *Catálogo comercial*. p. 3.

Tabla XIV. Datos técnicos de postes de acero de sección circular, para iluminación

Catalog Number	Nom. mount. ht (ft.)	Top Section		Bottom Section		EPA (ft ²) with 1.3 gust								Num. of Anchor Bolts
		Base Dia. (in.)	Wall Thick. (in.)	Base Dia. (in.)	Wall Thick. (in.)	80 mph	Max. wt.	90 mph	Max. wt.	100 mph	Max. wt.	Bolt Circle (in.)	Bolt Size (in. x in. x in.)	
SPRTS 40 HT01	40	—	—	9	0.1193	17.2	430	13.5	338	10.8	270	12.5	1 x 36 x 4	4
SPRTS 40 HT02	40	—	—	9	0.1793	26.1	654	20.6	517	16.7	419	12.5	1.25 x 42 x 6	4
SPRTS 40 HT03	40	—	—	10	0.1793	38.6	965	30.6	765	24.6	615	13.5	1.25 x 42 x 6	4
SPRTS 50 HT01	50	—	—	10	0.1193	13.2	330	10.6	265	8.3	208	13.5	1 x 36 x 4	4
SPRTS 50 HT02	50	—	—	10	0.1793	20.5	512	16.5	412	13.6	340	13.5	1.25 x 42 x 6	4
SPRTS 50 HT03	50	—	—	11	0.1793	29.9	748	23.5	588	18.6	465	15	1.25 x 42 x 6	4
SPRTS 50 HT04	50	—	—	13	0.1793	50.4	1,260	39.7	992	31.4	785	17	1.50 x 54 x 6	4
SPRTS 50 HT05	50	—	—	13	0.2391	69.2	1,730	55.0	1,375	44.2	1,105	17.5	1.75 x 84 x 6	4
SPRTS 60 HT01	60	5	0.1196	11.5	0.1793	20.0	600	16.0	480	13.0	390	16	1.25 x 42 x 6	4
SPRTS 60 HT02	60	6.5	0.1196	13	0.1793	36.0	1,080	29.0	870	22.0	660	17	1.25 x 42 x 6	6
SPRTS 60 HT03	60	6.6	0.1793	13	0.2391	49.0	1,470	40.0	1,200	32.0	960	17	1.50 x 54 x 6	6
SPRTS 60 HT04	60	12	0.1793	15.87	0.1875	78.0	2,340	62.0	1,860	50.0	1,500	21	1.50 x 54 x 6	6
SPRTS 70 HT01	70	6.6	0.1793	13	0.1793	20.6	515	16.7	417	13.7	342	17	1.50 x 54 x 6	4
SPRTS 70 HT02	70	6.6	0.1793	13	0.2391	23.8	595	19.3	482	15.9	397	17.5	1.75 x 84 x 6	4
SPRTS 70 HT03	70	12	0.1793	14.57	0.1875	39.0	1,170	30.0	900	23.0	690	19	1.25 x 42 x 6	6
SPRTS 70 HT04	70	12	0.1793	15.87	0.1875	52.0	1,560	41.0	1,230	33.0	990	21	1.50 x 54 x 6	6
SPRTS 70 HT05	70	12	0.1793	16.82	0.1875	65.0	1,950	53.0	1,590	42.0	1,260	22.75	1.50 x 54 x 6	6
SPRTS 80 HT01	80	12	0.1793	15.87	0.1875	37.0	1,110	29.0	870	23.0	690	21	1.50 x 54 x 6	6
SPRTS 80 HT02	80	12	0.1793	16.82	0.1875	45.0	1,350	36.0	1,080	28.0	840	22.75	1.50 x 54 x 6	6
SPRTS 80 HT03	80	13	0.1875	17.53	0.2092	58.0	1,740	46.0	1,380	35.0	1,050	23	1.50 x 54 x 6	6
SPRTS 80 HT04	80	12	0.1793	18.7	0.1875	70.0	2,100	56.0	1,680	44.0	1,320	23	1.50 x 54 x 6	8

Fuente: Lithonia Lighting. *Guía de selección de productos*. p. 380.

Para la elección de postes debe tomarse en cuenta las consideraciones para su instalación, además, que soporte las cargas que actuarán sobre él. Por su durabilidad, montaje, capacidad de soportar el peso y las tensiones resultantes por el viento, el poste elegido para soportar las luminarias en el estadio Revolución es un poste metálico, seccionable, de 16 lados, de 44 metros de alto.

Es de vital importancia la logística para poder realizar el izaje y montaje del poste. Para resolver esta dificultad, el poste debe ser seccionable, por lo que existen dos opciones para este tipo de poste: el de concreto seccionable o metálico seccionable. El poste metálico es mucho más liviano, su espacio interior hueco puede utilizarse para conducir perfectamente el cableado para la alimentación de las luminarias y alojar los componentes de protección y control.

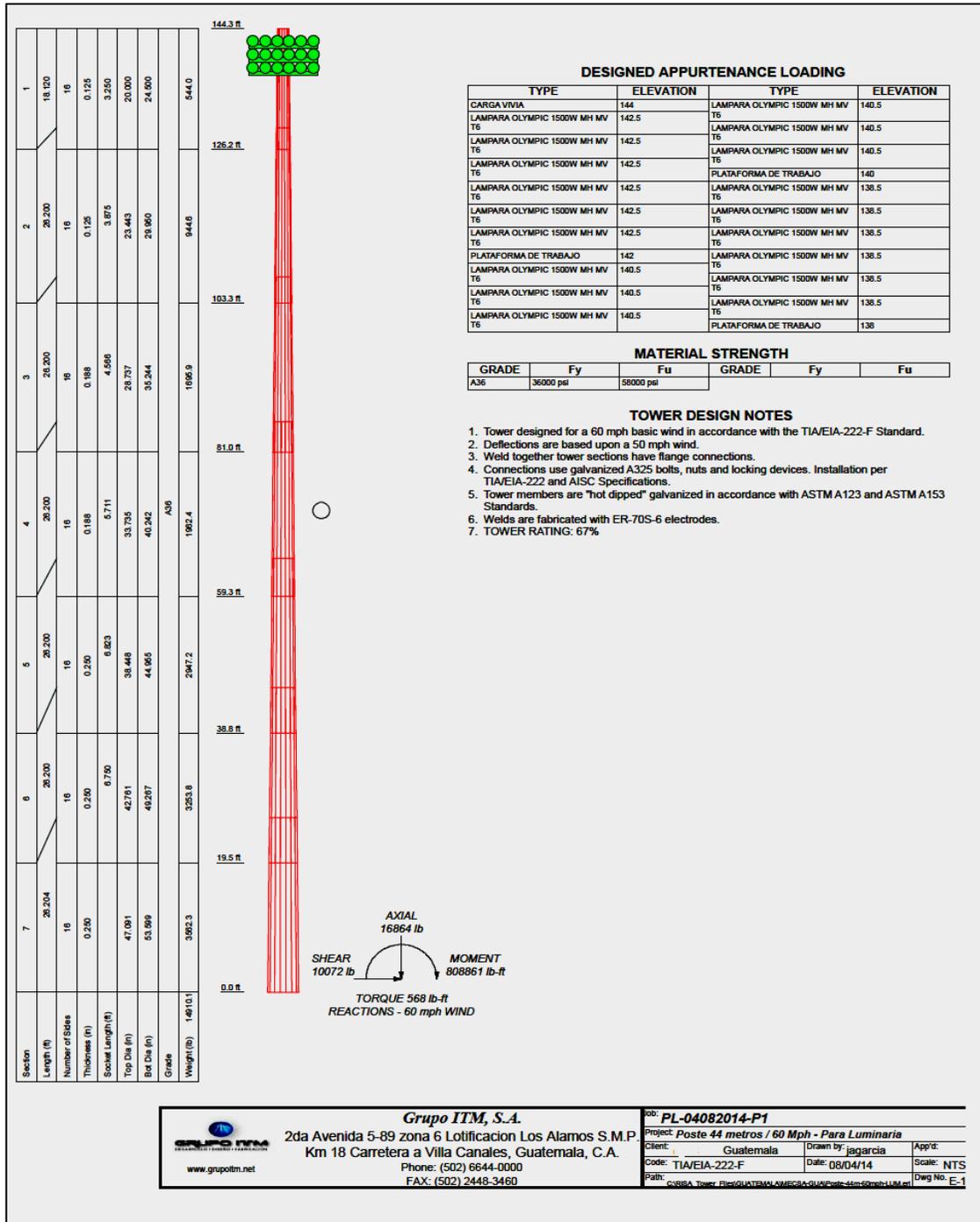
El poste elegido es fabricado en Guatemala por empresas como Milpas Altas o Grupo ITM S. A., en este trabajo se incluyen las especificaciones del Grupo ITM. En el anexo 3 se detalla el cálculo fuerzas que actúan sobre la estructura con un software especializado con licencia para ITM. El diseño se realiza basándose en la norma EIA TIA 222F, las ecuaciones y coeficientes que se utilizan en esta normativa se describen en el subcapítulo 4.4.1 de este trabajo de graduación. La estructura se fabrica con acero ASTM A36, es galvanizada por inmersión en caliente según norma ASTM A123 y ASTM A153 (ver figura 32).

El acero ASTM A36 es una especificación normalizada para acero al carbono estructural rolado en caliente sin decapar. Este estándar trata sobre perfiles, placas, y barras de acero al carbono de calidad estructural para usar en construcción remachada, atornillada o soldada, en puentes y edificios, para propósitos estructurales generales. El acero A36 tiene una densidad de 7 850 kg/m³. En planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 203,2 mm, tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPa y un límite de rotura mínimo de 410 MPa. Las planchas con espesores mayores de 8 203,2 mm tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPa y el mismo límite de rotura (ver anexo 1).

El galvanizado por inmersión en caliente es un proceso cuya finalidad es evitar la corrosión de aceros expuestos a la intemperie o a ambientes corrosivos. Este proceso consiste en la inmersión de piezas de acero en un crisol de acero para realizar un baño de metal fundido, conformado principalmente de zinc a 450 °C. El espesor de la capa de recubrimiento es determinada por el tiempo de inmersión. Los estándares ASTM A123 y ASTM 153 especifican los requerimientos y espesor del recubrimiento de zinc (ver anexo 2).

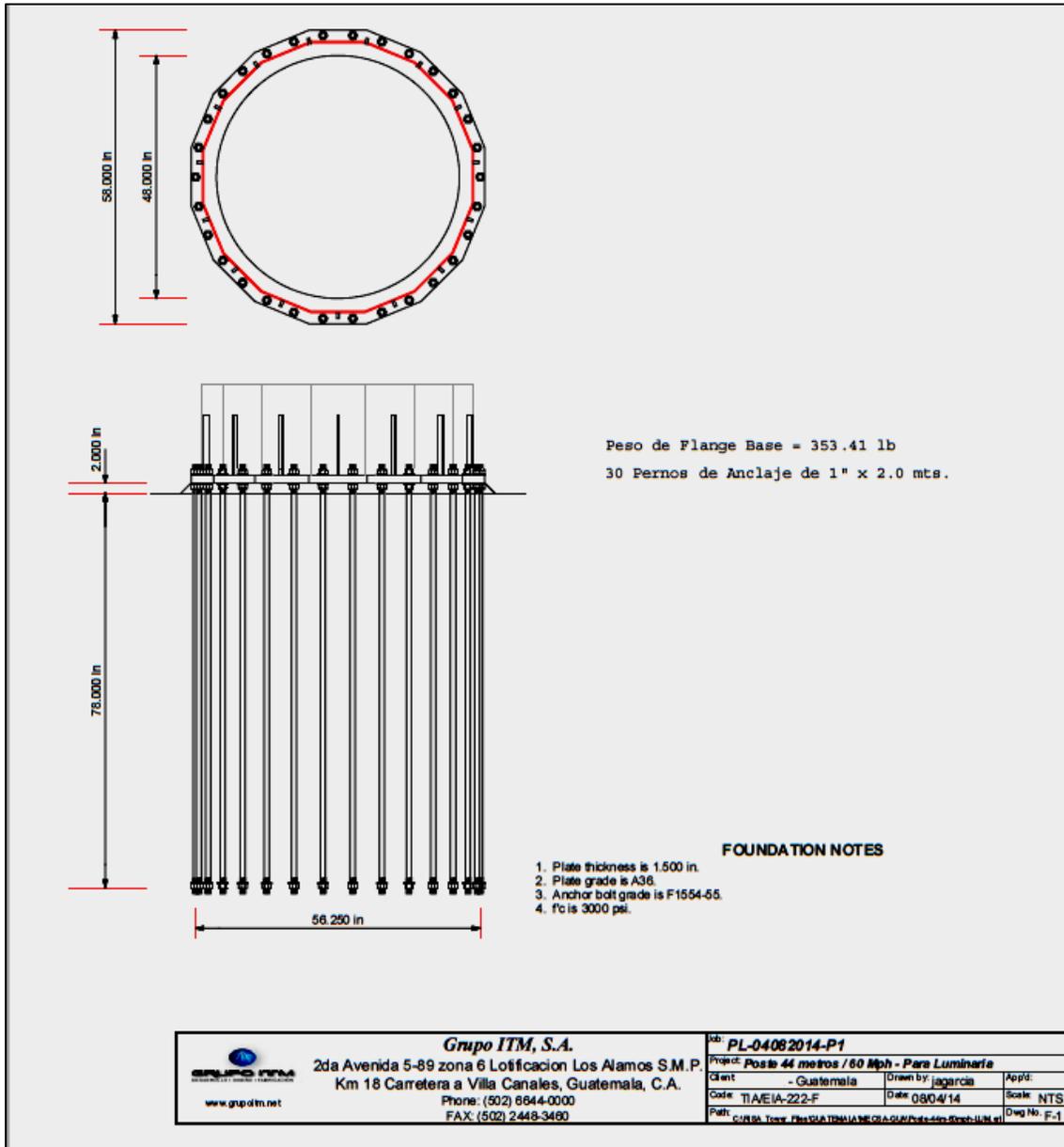
El método de anclaje al suelo es por medio de 30 pernos de anclaje de 1" de diámetro y 2 m de largo (ver figura 33). El monopolo o la estructura tiene 7 secciones, cada sección tiene una longitud total de 22,5 ft con una longitud en común o acoplada entre la primera y la segunda sección de 3,20 ft, acople de 3 ft entre la segunda y tercer sección, de 2,67 ft entre la tercera y cuarta sección, de 2 ft entre la cuarta y quinta sección, de 1,73 ft entre la quinta y sexta sección y de 1,33 ft entre la sexta y séptima sección. La estructura en total mide 144,3 ft o 44 m de altura.

Figura 32. Especificaciones del poste metálico seccionable



Fuente: Grupo ITM, S. A.

Figura 33. Cortes del poste seccionable con pernos de anclaje



Fuente: Grupo ITM, S. A.

4.4.2. Ubicación de los postes

La ubicación de postes está ligada con la utilización del estadio. En este caso, la utilización para este recinto deportivo, como se mencionó anteriormente, la clasificación es clase II, según las recomendaciones y requisitos de FIFA. En el estadio se instalarán 6 postes con luminarias (ver figura 27): cuatro postes en cada una de las esquinas, pero, alineados con la esquina noreste del campo están la taquilla y el ingreso para el sector de gradas, por lo que este poste se ubicará hacia el lado norte del graderío, contiguo al palco de prensa; los otros dos postes se ubican de cada lado del campo, alineados con el centro.

4.4.3. Tala y poda de árboles

Las condiciones topográficas del espacio donde se encuentra el estadio Revolución son las de un valle formado a un costado por el graderío y al otro costado un montículo de tierra con árboles. Estos árboles, por su altura, se encuentran en la trayectoria del haz de luz de las luminarias por lo que será necesario podar, en cantidad mínima, algunos de ellos. En la ciudad de Guatemala existe un reglamento municipal el cual indica que para podar árboles debe presentarse por escrito la solicitud dirigida a la Dirección de Medio Ambiente de la Municipalidad de Guatemala. Si es por construcción, debe adjuntarse la licencia de construcción y plano de ubicación de los árboles, para este caso no habrá edificaciones nuevas, por lo que no es necesario una licencia de construcción (ver apéndices 9, plano de sección de corte del estadio Revolución).

4.4.4. Disposición de lámparas

La disposición de lámparas se realiza con respecto a la ubicación de los postes, la altura y la cantidad de lámparas necesarias, según la simulación hecha con el del software de iluminación. La distribución de lámparas en la plataforma se realiza para que cada luminaria enfoque el área a iluminar y se cumpla con el nivel de iluminación deseado. Esto mejora la uniformidad de la iluminación al poder dirigir el haz de luz, correspondiente al NEMA adecuado de cada luminaria, hacia la trayectoria donde se quiere aumentar el nivel de iluminación.

5. DISEÑO DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

El diseño eléctrico se inicia con el cálculo de potencia eléctrica que demandarán las instalaciones eléctricas. Esta demanda eléctrica es la sumatoria de todas las cargas o potencias eléctricas de cada carga que debe alimentarse. Se debe tomar en cuenta el factor de utilización por cada unidad y un factor de simultaneidad entre las diferentes cargas.

Para la iluminación del estadio, ambos factores, tanto el de utilización como el de simultaneidad, se tomarán con valor 1, ya que es necesaria la utilización del 100 % de la capacidad lumínica y estarán encendidas simultáneamente todas las luminarias al realizar juegos de liga o club. En este caso, la demanda máxima es la sumatoria de la potencia instalada en iluminación por torre y al final sumar las 6 torres de iluminación.

Para esta propuesta se contempla capacidad extra, en caso el estadio se utilice para otra actividad que nos sea deportiva y se requiera energía eléctrica para su uso, como un evento musical o cultural donde exista iluminación de escenario o alimentación para equipo de audio y vídeo.

Tabla XV. **Cálculo de potencia, centros de transformación 1, 3, 4 y 6**

Transformadores 1, 3, 4, 6					
ítem	Carga	Potencia (W)	Cantidad	Factor Utilización	Total en (kW)
1	Lámpara TV1500M	1 625	17	1	27,62
2	Control de iluminación	400	1	1	0,4
3	Tomacorrientes de mantenimiento	380	2	0,8	0,60
				Total	28,63

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Cálculo de potencia, centros de transformación 2 y 5**

Transformadores 2, 5					
ítem	Carga	Potencia (W)	Cantidad	Factor Utilización	Total en (kW)
1	Lámpara TV1500M	1 625	19	1	30,87
2	Control de iluminación	400	1	1	0,4
3	Tomacorrientes de mantenimiento	380	2	0,8	0,60
				Total	31,88

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Cálculo de potencia, centro de transformación 7**

Transformador 7					
ítem	Carga	Potencia (W)	Cantidad	Factor Utilización	Total en (kW)
1	Equipo de sonido eventos	3 000	5	1	15
2	Iluminación escenario	1 000	12	1	12
3	Iluminación ambiental	500	20	1	10
4	Otros equipos	1 000	1	0,8	0,8
				Total	37,8

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Cálculo de demanda**

Demanda total					
ítem	Carga	Potencia (kW)	Cantidad	Factor Simultaneidad	Total en (kW)
1	Centros de transformación 1, 3, 4, 6	28,63	4	1	114,54
2	Centros de transformación 2, 5	31,88	2	1	63,76
3	Centro de transformación 7	37,8	1	0,5	18,90
				Total	197,20

Fuente: elaboración propia.

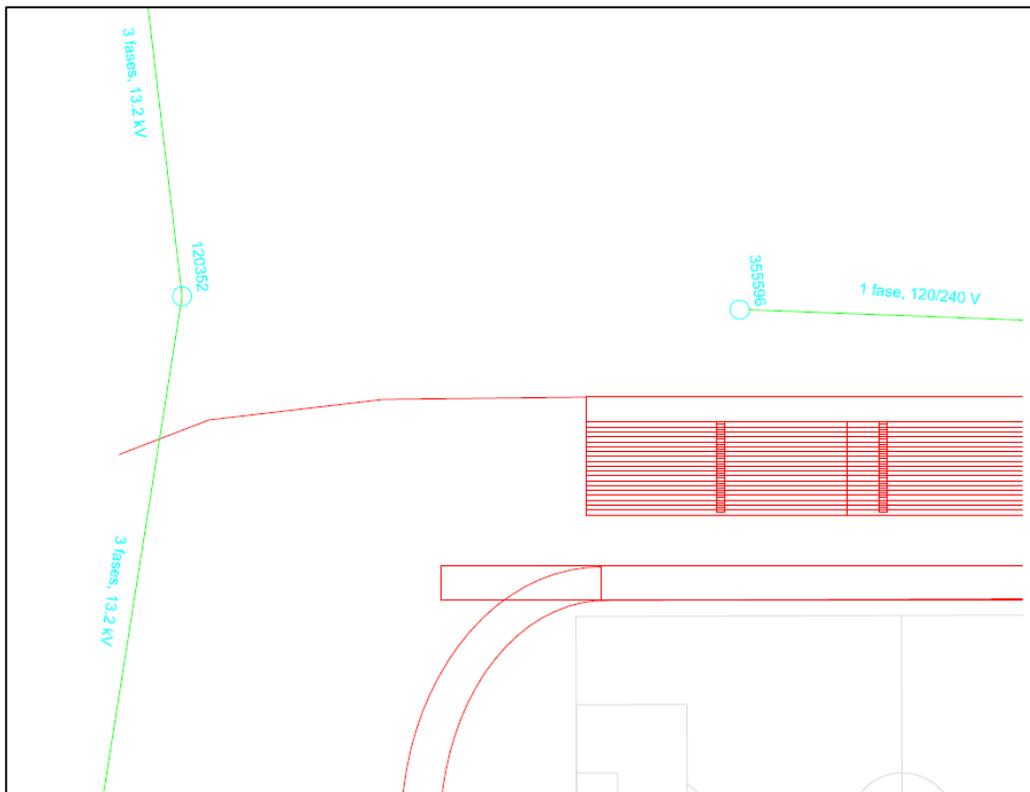
El cálculo de la potencia demandada determina el tipo de acometida eléctrica que se debe de adoptar. En el manual de acometidas eléctricas se definen rangos para las diferentes potencias, en este caso, el rango en el que se ajusta es en el mayores a 75 kVA y menores a 225 kVA.

5.1. **Diseño de extensión de líneas en media tensión**

En Guatemala existen tres empresas distribuidoras de energía eléctrica, para el caso del departamento de Guatemala la distribuidora es EEGSA. En el campus central de la Usac, se encuentra la red de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A. en las cercanías del Complejo Deportivo Revolución: frente al graderío, en la acera, está instalado el poste más cercano con número 355561. Esta sección de la red es trifásica y la configuración de esta unidad constructiva es suspensión en vertical 3 fases, plano 773300 de las normas constructivas de Empresa Eléctrica de Guatemala, en esta configuración no se puede realizar una medición y bajada en primario.

Hacia al sur del Complejo Deportivo, en colindancia con la colonia Villasol, se encuentra otra sección de la red de EEGSA. Está a menos de 100 metros con líneas trifásicas, el poste más cercano, en la vía pública, es el 120352, con un banco de transformación que se instaló para alimentar el nuevo gimnasio y cancha polideportiva. Próximo a este poste, se solicitará el punto de entrega de energía eléctrica, como se observa en la figura 34. EEGSA, por su parte, hará el estudio técnico-económico, tomando en cuenta la propuesta del usuario, condiciones económicas del suministro y punto de colocación del equipo de medida.

Figura 34. **Postes cercanos de distribución de energía eléctrica**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

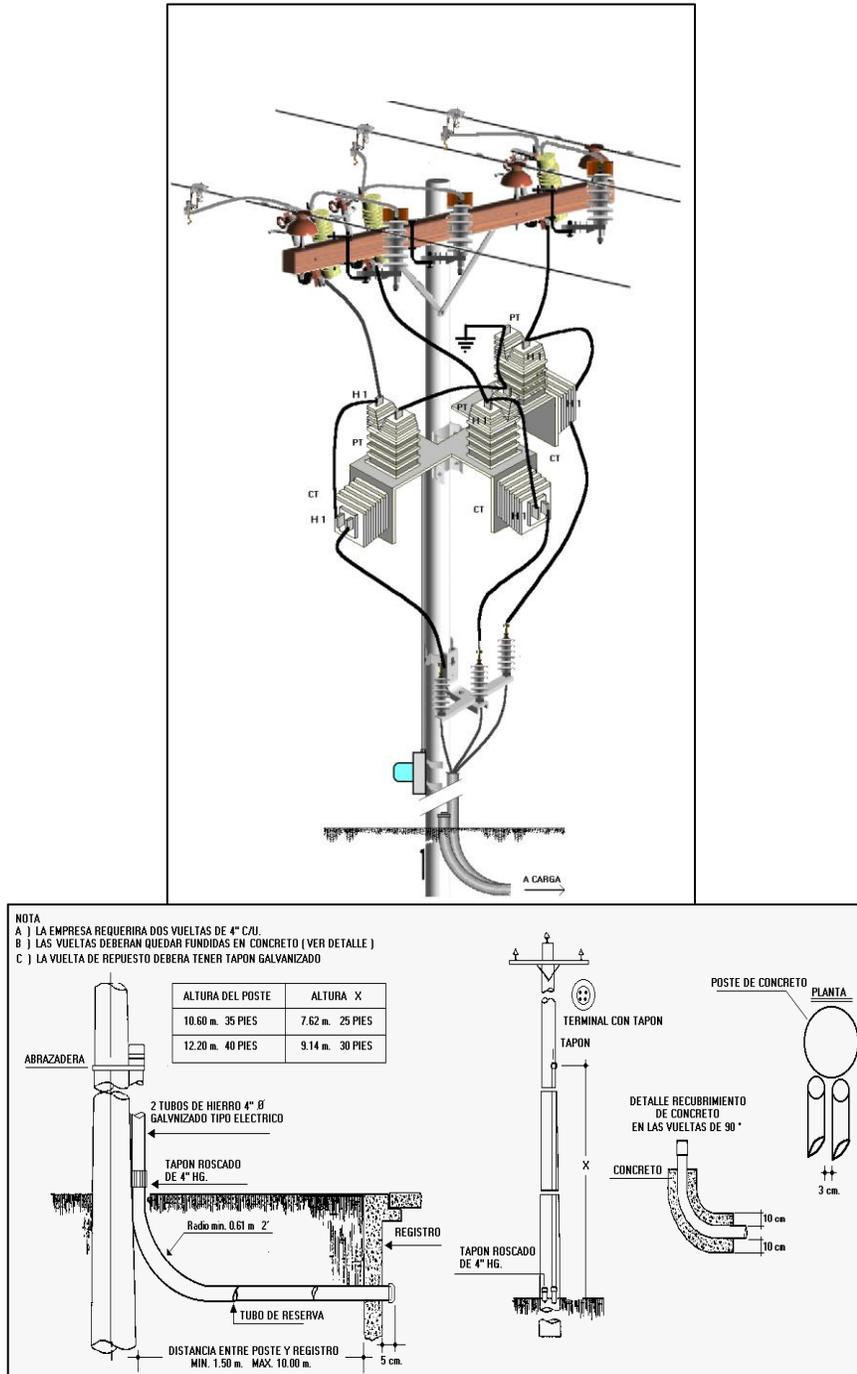
5.2. Diseño de acometida eléctrica

La potencia a contratar para alimentar las 6 torres de iluminación y el centro de transformación para eventos es de 197,20 kW. Para esta potencia existen dos opciones de conexión a la red de distribución de energía eléctrica, o acometida eléctrica. La primera es una acometida con servicio en media tensión y la segunda es un banco trifásico en poste con medición indirecta en secundario. Para esta propuesta se considera instalar una acometida trifásica en media tensión, debido a los requerimientos de potencia y las distancias a las cuales se instalarán las estructuras de iluminación, además, por la conveniencia de poder comprar energía como gran usuario. Las distancias entre estructuras son considerables, las cuales provocan una significativa caída de tensión y pérdidas eléctricas para la corriente a conducir.

Para realizar esta acometida, la empresa distribuidora de energía eléctrica establece, en el anexo III de las *Normas de acometida 2006*, que el equipo de medición lo instalará EEGSA en un poste de su propiedad, accesible desde la vía pública para su lectura, inspección y verificación. Los casos especiales que requieran una ubicación diferente para el equipo de medición deberán consultarse previamente con EEGSA.

En la figura 35 se detalla la forma de construcción para una acometida en media tensión, según normativa de EEGSA, es importante aclarar que es necesario colocar tubería de reserva hasta el pie del poste, con tapón con un registro mínimo a 1,5 m y máximo a 10 m.

Figura 35. **Detalle para realizar medición en primario**



Fuente: EEGSA. Normas de acometida 2006, p. 35, 36.

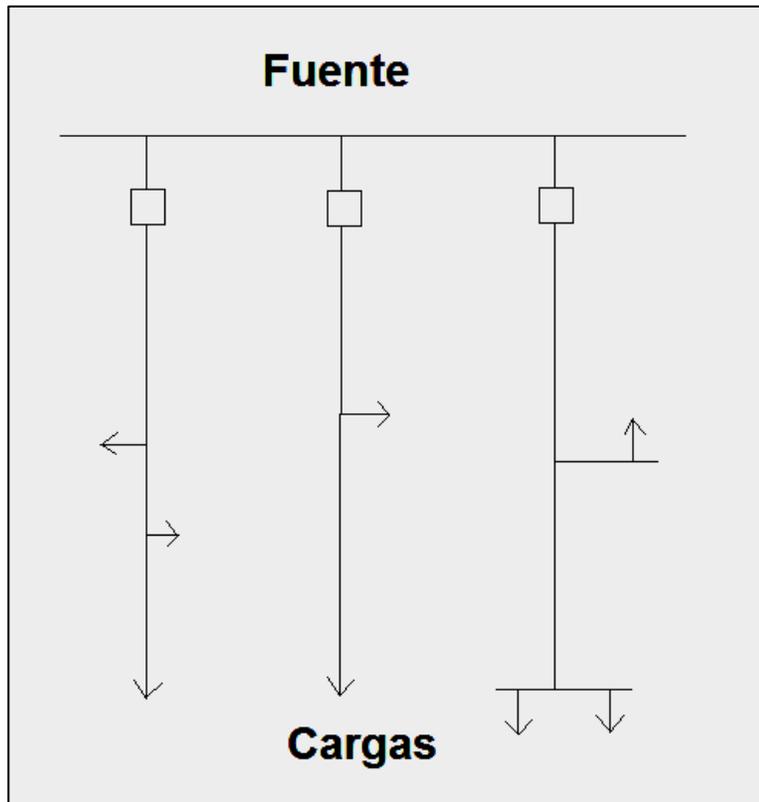
5.3. Diseño de distribución de energía eléctrica para torres

Para distribuir la energía eléctrica en los puntos deseados, se tomará en cuenta carga instalada, voltaje de alimentación, corriente a conducir, caída de tensión, conductor a utilizar y centros de transformación.

La demanda se calcula en la tabla XVIII con una carga de 197,20 kW por la distancia que deben recorrer los cables con energía. Se propone la utilización de una distribución en media tensión 13,2kV, 3 fases, 60 Hz. Al considerarse la utilización de un voltaje mayor, la corriente que circulará será menor, aminorando así la sección del cable, la caída de tensión y las pérdidas de energía en la conducción.

La distribución puede realizarse en varias configuraciones, estas definen como estarán interconectados los elementos que conforman la red de distribución. Existen dos formas principales de patrón o configuración de distribución. Radial, esta forma es la más simple y de menor costo, su característica principal es que tiene en uno de sus extremos una sola alimentación y los elementos de carga no están interconectados entre sí. La desventaja de esta configuración es la poca confiabilidad de servicio continuo, ya que al presentarse una falla, regularmente la distribución completa sale de servicio.

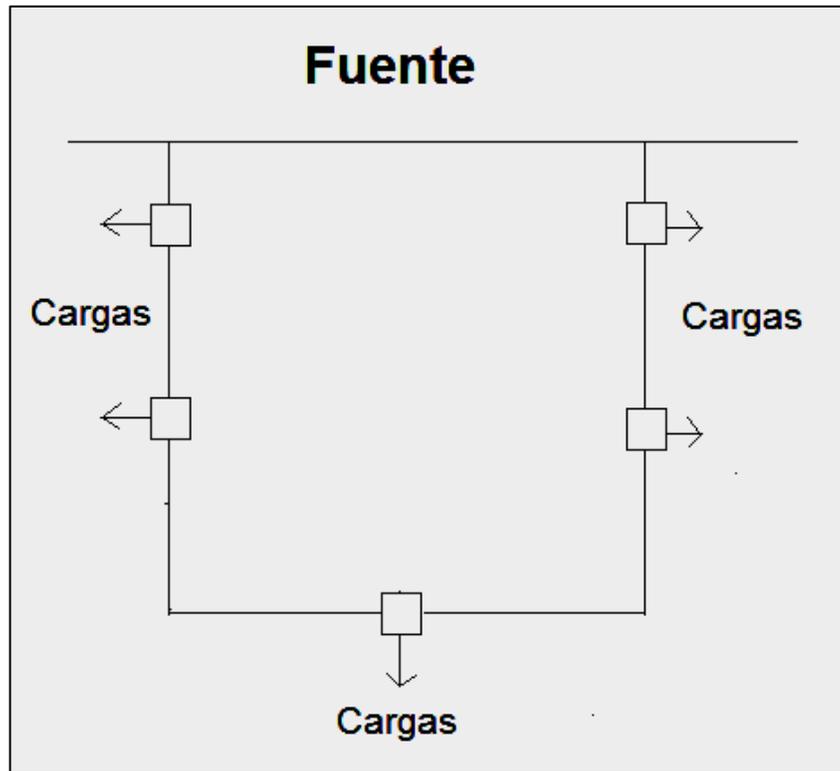
Figura 36. Sistema de distribución eléctrica radial



Fuente: elaboración propia.

La configuración en anillo es un circuito que llega a dos o más cargas individuales, sale de la fuente pasa por las cargas y regresa a la fuente. Una falla en cualquiera de los cables entre la subestación y la primera carga se solventará temporalmente alimentándola por el otro extremo al cerrar los interruptores adecuados, lo cual implicará que el total de la corriente de carga fluya por el cable o la trayectoria en buen estado. Así pues, el sistema en anillo tiene la ventaja de poder alcanzar varias cargas y darles servicio continuo aún con una falla en una sección del cable, mediante el uso adecuado de relevadores o interruptores (ver figura 37).

Figura 37. **Sistema de distribución eléctrica en anillo**



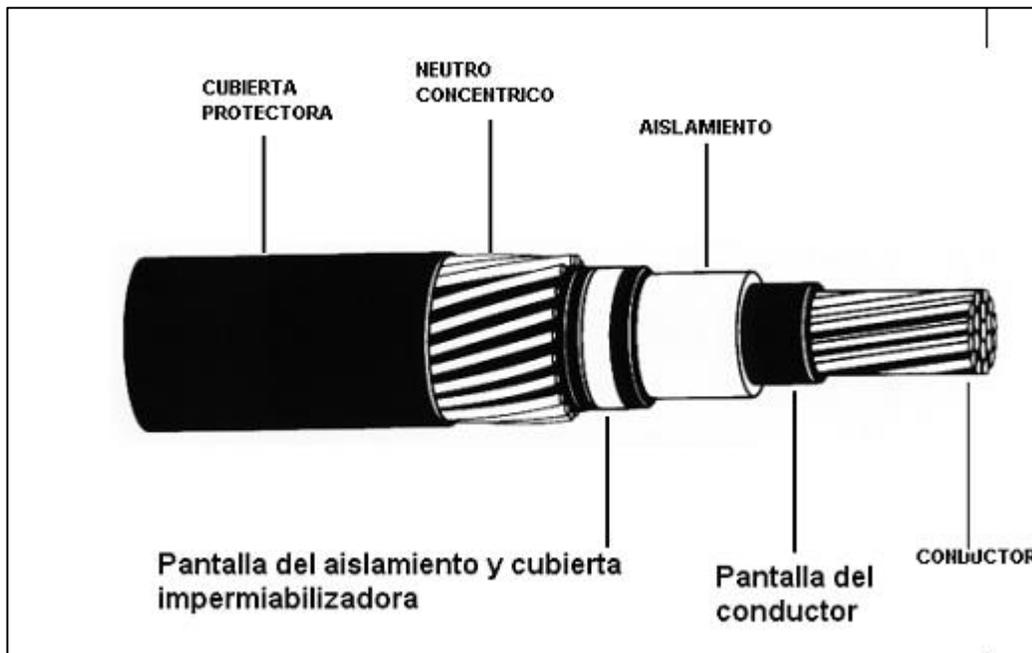
Fuente: elaboración propia.

El diseño propuesto contempla un cuarto eléctrico con una celda en media tensión para realizar maniobras en caso de falla en la red de distribución, con un generador eléctrico en emergencia. En el diseño se toman en cuenta los criterios para la utilización de una distribución subterránea en 13,2 kV, como se mencionó anteriormente por el tamaño del circuito en distancia y carga, la seguridad en operación y de los usuarios del estadio.

Los conductores a utilizar en la distribución eléctrica deben cumplir con algunos requerimientos técnicos, estos son: mecánicos, térmicos, de regulación y ionización. Tomando en cuenta esto, se seleccionó el conductor subterráneo para 15 kV con las siguientes características.

- Cable para 15 kV
- 100 % nivel de aislamiento
- Cubierta XLPE
- Espesor de aislamiento de 4,45 mm
- Cable de aluminio

Figura 38. **Cable subterráneo para media tensión**



Fuente: EEGSA. *Normativa NE 05.04.02, fichas técnicas.* p. 7.

El cálculo del calibre del conductor se realiza por dos métodos, el primero es por corriente, el segundo por caída de tensión. Para el cálculo del calibre del conductor por corriente la carga o potencia demandada de la distribución es la de la tabla XVIII, la corriente está definida por.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V}$$

Ecuación 5.1

I = corriente (amperios)

P = potencia (vatio)

V = voltaje (voltios)

$$I = \frac{(197\ 200)}{(1,73205) * (13\ 200)} = 8,62\ A$$

Para el cálculo del calibre del conductor por caída de tensión en un anillo, se realiza como si fuera una configuración radial desde cada una de las salidas desde el punto de entrega, aunque la configuración en anillo tenga dos puntos de alimentación desde la fuente en caso de fallo el caso crítico sería en el punto más cercano al punto de entrega quedando toda la carga alimentada desde solo uno de los punto de alimentación. El área del conductor es directamente proporcional a la longitud y la corriente, e inversamente proporcional al voltaje, a la constante de conductividad del material utilizado y al porcentaje de caída de tensión tolerado, al ser un alimentador es 2 %.

$$A = \frac{\sqrt{3} L I}{e V K}$$

Ecuación 5.2

A = área (milímetros cuadrados)

L = longitud del cable (metros)

I = corriente (amperios)

V = voltaje (voltios)

K = constante de conductividad para material

$$A = \frac{(1,73205) * (708) * (8,62)}{(0,02) * (13\ 200) * (36)} = 1,11 \text{ mm}^2$$

Tabla XIX. Conductores XLPE para 15 kV

XLPE - 15 kV											
Designación	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Diámetro del conductor	100% Nivel de Aislamiento Espesor de aislamiento : 4,45 mm (175 mils)				133% Nivel de Aislamiento Espesor de aislamiento : 5,59 mm (220 mils)			
				Diámetro sobre el aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso Total aproximado (kg / 100 m)		Diámetro sobre el aislamiento	Diámetro total aproximado	Peso Total aproximado (kg / 100 m)	
AWG o kcmil	mm ²		mm	mm	mm	Cobre	Aluminio	mm	mm	Cobre	Aluminio
2	33,62	7	6,8	17,2	25,6	82,6	60,7	19,5	28,5	95,6	73,8
1/0	53,48	19	8,6	19,0	27,4	106	71,4	21,3	30,4	120	85,6
2/0	67,43	19	9,6	20,0	28,5	122	78,4	22,3	31,4	137	93,1
3/0	85,01	19	10,8	21,2	29,7	142	87,0	23,5	32,7	158	103
4/0	107,2	19	12,1	22,5	31,1	167	97,1	24,8	34,1	183	113
250	126,7	37	13,2	23,9	32,5	191	108	26,2	36,0	211	128
300	152,0	37	14,5	25,2	34,3	221	122	27,5	37,4	239	140
350	177,3	37	15,7	26,4	35,5	248	133	28,7	38,6	268	152
400	202,7	37	16,7	27,4	36,5	275	143	29,7	39,7	295	163
500	253,4	37	18,7	29,4	38,6	328	163	31,7	41,8	350	185
600	304,0	61	20,6	31,5	40,7	384	186	33,8	44,0	407	209
750	380,0	61	23,0	33,9	43,2	463	215	36,2	48,1	505	258
1 000	506,7	61	26,9	37,8	48,8	609	280	40,1	52,6	643	314

Fuente: *Viakon*. www.viakon.com. Consulta: julio de 2014.

El menor de los calibres que se encuentran comercialmente para conductores en media tensión, es el calibre 2 AWG. La capacidad de conducción del cable calibre 2 AWG en aluminio es mayor a 8,62 amperios y la sección del área es mayor a los 1,11 mm² cumpliendo con lo requerido en caída de tensión, área necesaria y ampacidad del conductor.

5.3.1. Unifilar

El diagrama unifilar es una representación gráfica o dibujo en forma simbólica a través de un solo hilo que pasa por todo el equipo mayor que forma parte de la instalación. Deben tomarse en cuenta tres aspectos básicos que determina el desarrollo y diseño de un diagrama unifilar: el voltaje, el tamaño de la distribución en longitud y carga, y el modelo a utilizar.

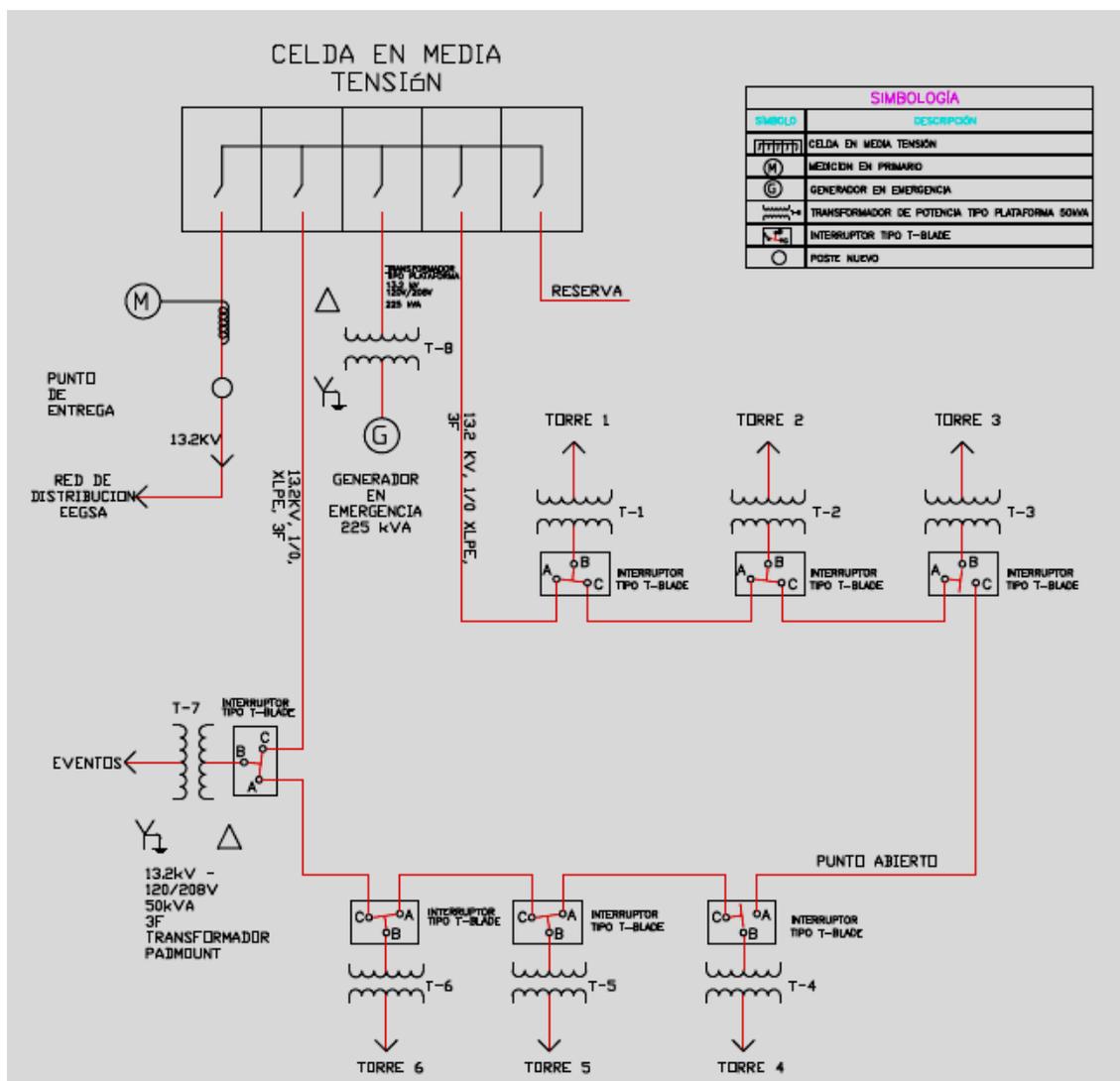
Todos los aspectos están ligados y el diseño de cada uno de estos aspectos influye directamente en los otros dos. El objetivo del diseño es mantener continuidad en el servicio, seguridad de los elementos con el menor costo inicial y de mantenimiento.

Para esta propuesta, el voltaje de alimentación desde la acometida hasta la base de los monopolos de iluminación será de 13,2 kV, con derivación y protección con una celda unitaria, la cual está compuesta por celdas con seccionador tripolar, ubicada en el cuarto eléctrico; se proyecta la utilización de un sistema en anillo (ver figura 39).

La celda unitaria debe contar con 5 celdas, la primera es la que recibirá la alimentación comercial desde la red de distribución de energía eléctrica de EEGSA con acometida en media tensión; la segunda es uno de los puntos de donde se alimentará el circuito en anillo de distribución; la tercera se utilizará

para colocar la alimentación desde el generador de emergencia a través de un transformador elevador; la cuarta es el segundo punto de alimentación del circuito en anillo y la quinta es para reserva o crecimientos futuros (ver apéndice 7).

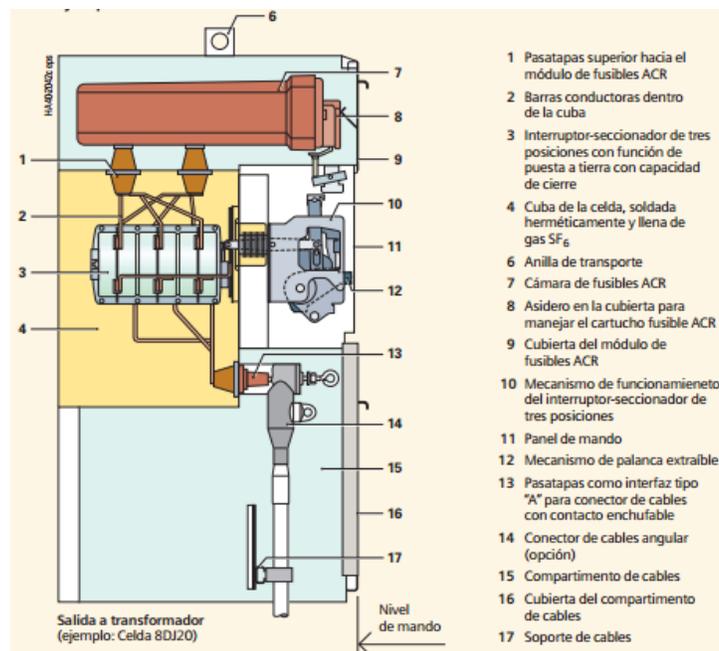
Figura 39. Diagrama unifilar



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Las celdas de media tensión, por su diseño, pueden ser instaladas en cualquier proyecto que requiera el uso de energía eléctrica de redes de distribución de media tensión. La finalidad principal de una celda es maniobrar y proteger el circuito eléctrico, lo cual se logra a través de los fusibles y el interruptor seccionador. Esta también protege contra operación monofásica o bifásica al contar con un mecanismo que se activa automáticamente abriendo las tres fases cuando se funde o dispara un fusible. La operación del seccionador se realiza por medio del accionamiento de disco, cuenta con un seguro mecánico desde el exterior frontal de la celda, que evita poder abrir la puerta si no está desconectado el seccionador para impedir el riesgo de contacto eléctrico a los usuarios al estar en operación.

Figura 40. Partes de la celda tripolar



Fuente: *Global website*. www.siemens.com. Consulta: julio de 2014.

5.3.2. Líneas subterráneas en media tensión

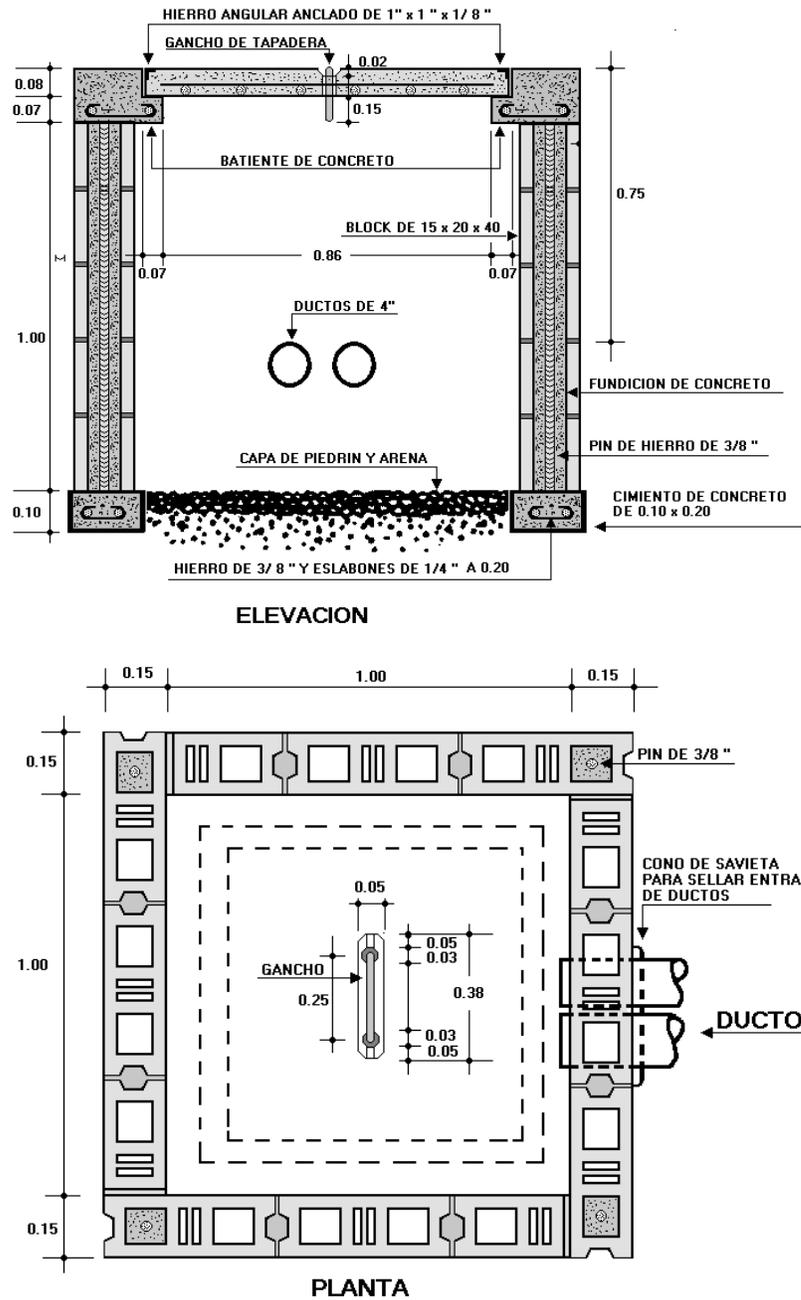
La propuesta de utilización de un sistema subterráneo se debe a la seguridad que representa para los usuarios del estadio, la confiabilidad de servicio, la limitante en espacio y la visibilidad para instalar un sistema aéreo. Para el diseño de las líneas de distribución subterránea se debe definir especificación de ductería, cantidad de líneas de ductos, cajas de registro y recubrimiento de tuberías. Como en los incisos anteriores, los factores y aspectos que influyen en el diseño son principalmente funcionalidad y seguridad.

El diámetro lo define la cantidad de cables y el calibre de cada uno de estos, para este caso el calibre de diseño es 2 AWG, el diámetro a utilizar en la tubería es de 4". Deben instalarse dos líneas de tubería para contar con una tubería de reserva. Se utilizarán cajas de registro tipo H establecidas en las normas de acometida de empresa eléctrica (ver figura 41).

En la distribución subterránea, una vez colocados los cables se taponarán los orificios de paso con una espuma de polietileno expandido u otro medio similar que evite la entrada de roedores y no dañe la cubierta del cable.

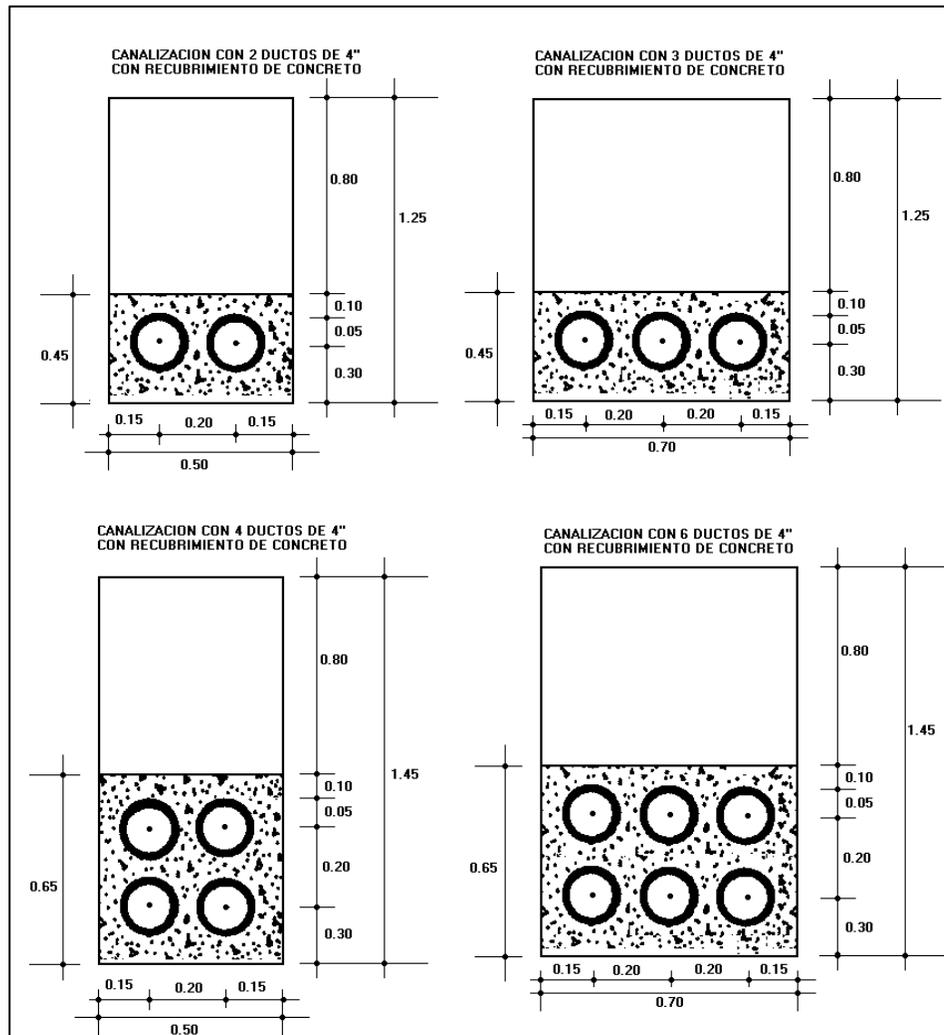
Al realizar modificaciones o futuras construcciones se corre el riesgo de que se pueda dañar alguna canalización que conduzca los cables de la distribución eléctrica. Por lo tanto, se debe colocar a una profundidad mínima de 0,8 m y aplicar una capa protectora de concreto pobre o mortero para las líneas subterráneas, esto evitará que se produzcan accidentes con cables energizados (ver figura 42).

Figura 41. Detalle caja tipo H



Fuente: EEGSA. Normas de acometida 2004. p. 146 – 147.

Figura 42. Detalle del recubrimiento para tubería subterránea



Fuente: EEGSA. Normas de acometida 2004. p. 148.

5.3.3. Centros de transformación

Al definirse la distribución de energía eléctrica subterránea, los centros de transformación deben ser acorde al tipo de distribución. Los transformadores tipo pedestal o *pad mounted* son construidos para una aplicación de

distribución de energía subterránea. El tipo de construcción es acorazado, el cual no tiene tornillos externos que puedan ser manipulados por personas no autorizadas. El material con que están construidas sus paredes es sumamente resistente, la pintura que se le aplica debe tener un espesor de 5 a 7 milésimas, del tipo Polestron, el cual le da una resistencia a la intemperie por muchos años.

Estas cualidades lo convierten en un transformador de gran aplicación, adecuado para distribuciones comerciales, industriales o residenciales por la seguridad que brinda, no requiere espacios grandes ni costosas instalaciones, los cables de entrada, como los de salida, se incorporan por la parte inferior, evitando así el consiguiente peligro. Además, puede instalarse en banquetas, jardines y cualquier lugar a la intemperie.

En Guatemala no existen normas mínimas que cumplir publicadas por el MEM o a través de la CNEE en lo que ha transformadores tipo pedestal se refiere. Las empresas distribuidoras del país, EEGSA y Energuate, han creado documentos o normas propias que deben cumplirse en las ampliaciones de redes que se construyan y que pasarán a ser parte de su red de distribución. Dichas normas se tomarán como referencia en este documento para los centros de transformación propuestos en el diseño.

Las características de la coraza o cabina de seguridad, eléctricas, rangos de cambio de voltaje, las pérdidas en el transformador deben cumplir los procesos y requerimientos descritos en las normas ANSI C57.12.28, ANSI C57.12.26, ANSI 57.12.00 y ANSI 57.12.90, respectivamente.

El aceite aislante o dieléctrico deberá ser del tipo mineral nuevo, que cumpla con los requerimientos de la norma ASTM D3487, también deberá

superar las pruebas exigidas en la norma ASTM D117. Todos los ensayos deberán realizarse de acuerdo con la norma ANSI C57.12.90 y ANSI C57.12.00, el fabricante deberá estar en posesión de un certificado de aseguramiento de la calidad ISO 9000.

El transformador será para conexión en anillo y la maniobra de la línea se realizará mediante un interruptor de cuatro posiciones tipo *T-Blade*, sin corte en la línea durante la operación. El interruptor de maniobra deberá satisfacer los ensayos indicados en la norma ANSI C37.71.

La placa de características debe de incluir la siguiente información.

- Número de serie
- Clase de ventilación (OA, OA/FA, entre otras)
- Número de fases
- Frecuencia
- Rango de potencias
- Rango de tensiones
- Incremento de temperatura en grados Celsius
- Polaridad de las fases
- Diagrama fasor del transformador
- Impedancia de cortocircuito
- Masa aproximada en kilogramos
- Diagrama de conexiones
- Nombre del fabricante
- Instrucciones de referencia de instalación y operación
- Tipo de aislante líquido (preferentemente nombre genérico)
- Material conductor del bobinado
- Las palabras “NO PCB”

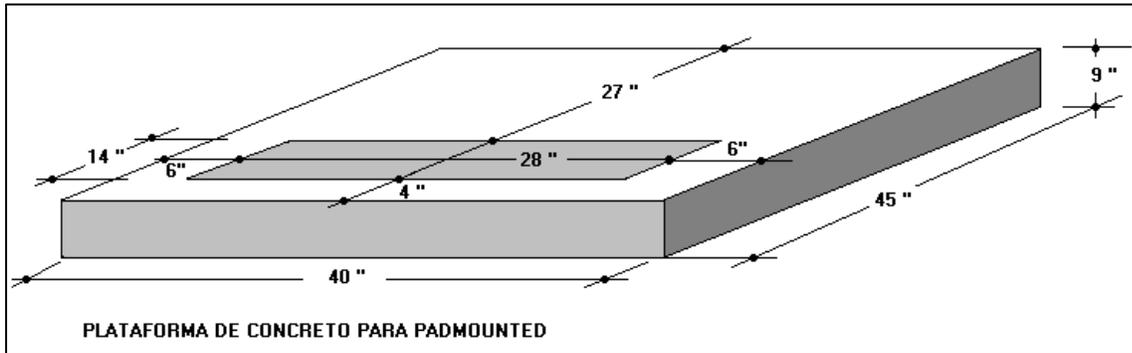
Los transformadores deben estar instalados sobre una plataforma, para su aseguramiento y fijación, con pernos de anclaje y evitar que puedan ser movidos por personas ajenas a las instalaciones. La plataforma brinda una elevación para que el transformador no esté en contacto con agua en caso de empozamiento (ver figura 43) y debe contar con una caja de registro próxima para realizar el cableado correspondiente (ver figura 44).

Tabla XX. **Normas de referencia de fabricación de transformadores**

NORMA	FECHA	TÍTULO
ANSI C57.12.00	1993	IEEE Standard General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers.
ANSI C57.12.26	1989	Pad-Mounted Compartmental-Type Self-Cooled Three-Phase Distribution Transformers For Use with Separable Insulated High Voltage Connectors, High Voltage, 34 500 Grd Y /19920 Volts and Below; 2500 kVA and Smaller.
ANSI C57.12.28	1988	Switchgear and Transformers - Pad-Mounted Equipment - Enclosure Integrity
ANSI C57.12.90	1999	IEEE Standard Test Code for Liquid Immersed, Distribution, Power, and Regulating Transformers.
ANSI C37.71	1984	Standard for Three-Phase, Manually Operated Subsurface Load Interrupting Switches for Alternating-Current Systems
IEEE 386	1995	Standard for Separable Insulated Connector Systems for Power Distribution Systems Above 600 V
ASTM D3487	2000	Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus
ASTM D117	1996	Standard Guide for Sampling, Test Methods, Specifications, and Guide for Electrical Insulating Oils of Petroleum Origin

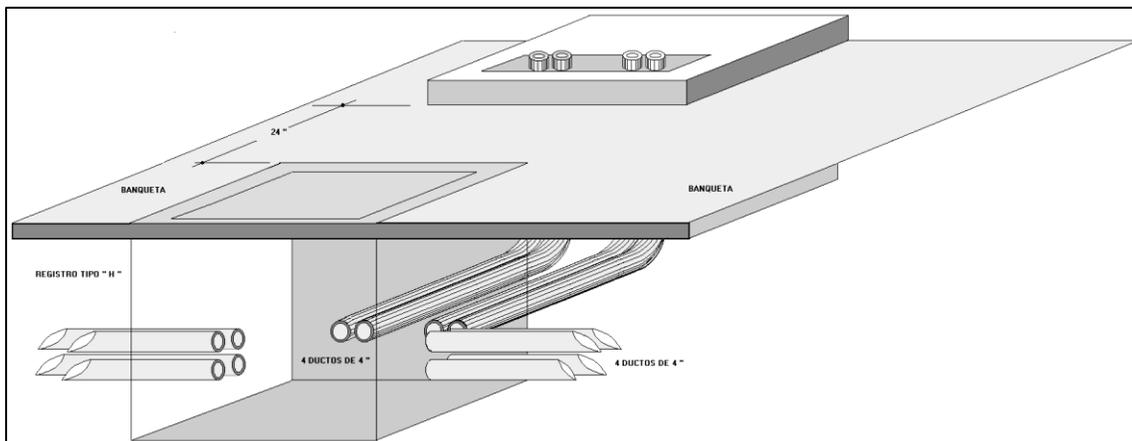
Fuente: Unión Fenosa. *Especificaciones técnicas de materiales*. p. 24.

Figura 43. **Detalle de plataforma para transformador**



Fuente: EEGSA. *Normas de acometida 2004*. p. 137.

Figura 44. **Detalle de caja de registro cercana al transformador**



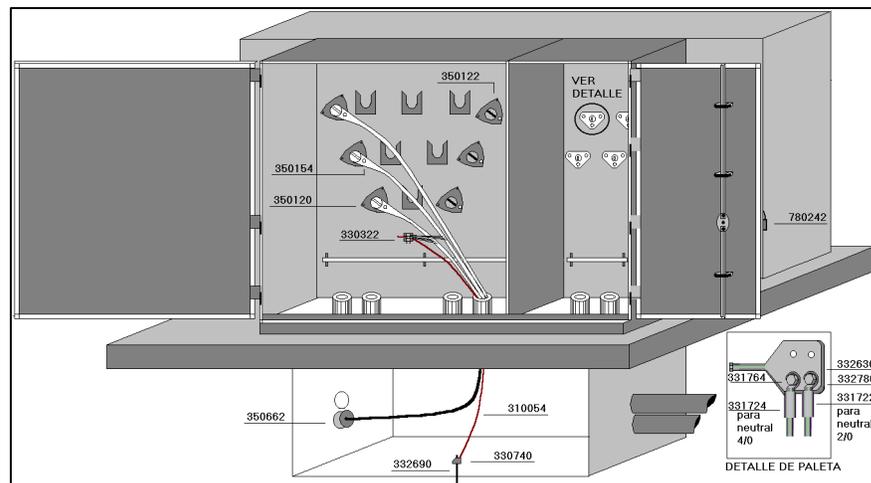
Fuente: EEGSA. *Normas de acometida 2004*. p. 137.

El diseño propuesto para la distribución del suministro de energía eléctrica para cada una de las torres y el centro de transformación para eventos se encuentra en el apéndice 8, plano de distribución de energía eléctrica, conjunto estadio Revolución. Se utilizará una acometida en media tensión

compuesta por CT y PT, celda en media tensión 15 kV tipo unitaria, generador en emergencia 120V/208 V de 225 kVA, distribución tipo anillo compuesto por 2 tuberías de 4" de hierro galvanizado y cajas de registro tipo H, cableado subterráneo con conductor para 15 kV, centros de transformación al pie de cada poste de 50 kVA delta-estrella, 13,2 kV-120V/208 V tipo plataforma conexión en anillo o *loop feed* y puesta a tierra en cada uno de los transformadores, celda unitaria y medición en primario.

Algunas marcas no comercializan transformadores tipo pedestal de 50 kVA trifásicos con las características que son necesarias para esta propuesta, es aceptable potencias inmediatas debajo o arriba, ejemplo 45 kVA o 75 kVA, siempre que cumplan con los requerimientos anteriormente descritos y la potencia sea arriba de 35 kVA.

Figura 45. **Transformador Padmounted**



Fuente: EEGSA. Normas para constructores. Plano 774496.

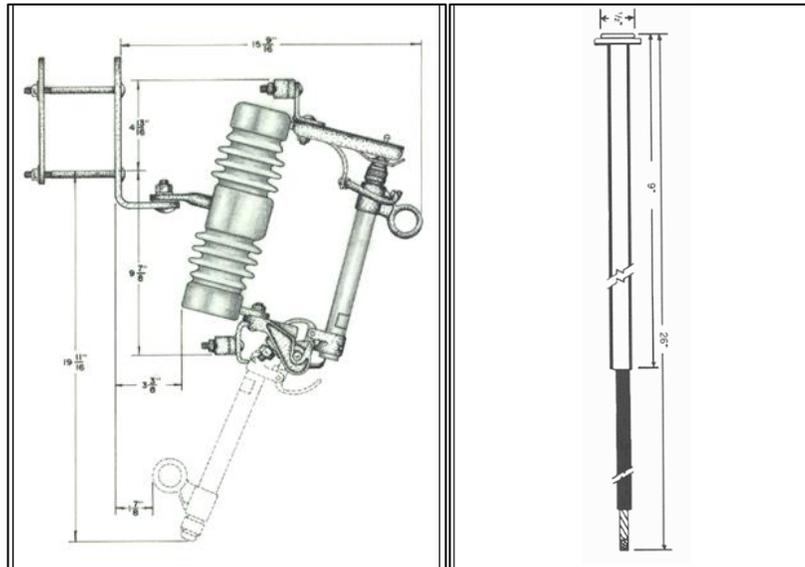
5.3.4. Protección y control para alimentación de cada torre de iluminación

Toda instalación eléctrica tiene que estar dotada de una serie de protecciones que la hagan segura, tanto desde el punto de vista de los conductores, los dispositivos y aparatos a ellos conectados, como de las personas que han de trabajar con ella. La función del sistema de protecciones es liberar fallas, minimizar el tiempo de falla, poder ubicarla fácilmente, prevenir daños, minimizar números de paros y fallas permanentes.

Las instalaciones eléctricas deben protegerse de 2 fallas principales, sobrecorriente y sobrevoltaje. Una falla de sobrecorriente es generada por un cortocircuito, un cortocircuito se debe a la unión de dos conductores o partes de un circuito eléctrico donde exista una diferencia de potencial entre ellos sin que exista alguna impedancia. Al existir impedancia cero, aplicando la Ley de Ohm, la corriente eléctrica tenderá a infinito, debido a esta corriente elevada se genera una temperatura peligrosa donde, de no detenerse a tiempo, esta elevación de temperatura puede destruir los conductores. En la realidad, la corriente que se produce en un cortocircuito es amortiguada por la resistencia de los conductores.

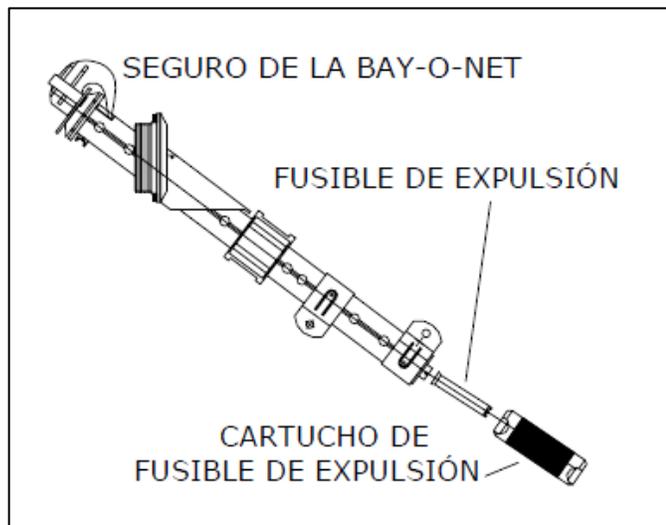
Para protegerse contra este tipo falla eléctrica, en la trayectoria de la distribución eléctrica debe colocarse un dispositivo de desconexión que pueden ser fusibles calibrados. En la acometida eléctrica en media tensión deben colocarse tres cortacircuitos en poste con un fusible limitador de corriente de cabeza sólida tipo T de 10 amperios (ver figura 46). Los transformadores tipo pedestal cuentan con un fusible de expulsión llamado fusible bayoneta, este funciona en caso de falla en el secundario o sobrecarga en el transformador (ver figura 47).

Figura 46. **Cortacircuito para 15 kV y fusible limitador tipo T**



Fuente: EEGSA. *Fichas técnicas*. 20.00.01.01.

Figura 47. **Fusible de expulsión tipo bay-o-net**



Fuente: Manual del instalador digital. *Manual de manejo, instalación, operación y servicio para transformadores MI-03 REV. No. 01*. p. 14.

Para proteger las cargas finales en cada una de las estructuras de iluminación o en el tablero para eventos se utilizarán interruptores termomagnéticos. Estos son dispositivos que se emplean para la protección de los circuitos eléctricos, por sobrecorriente derivados de cortocircuitos, falla de fase a tierra o falla de fase a neutro y sobrecargas. El funcionamiento de estos interruptores se realiza por dos de los efectos que se producen de la circulación de intensidad o corriente eléctrica, el efecto térmico y el efecto electromagnético. Para su funcionamiento el dispositivo consta de dos partes, una lámina bimetálica y un electroimán conectados en serie por donde circula la corriente.

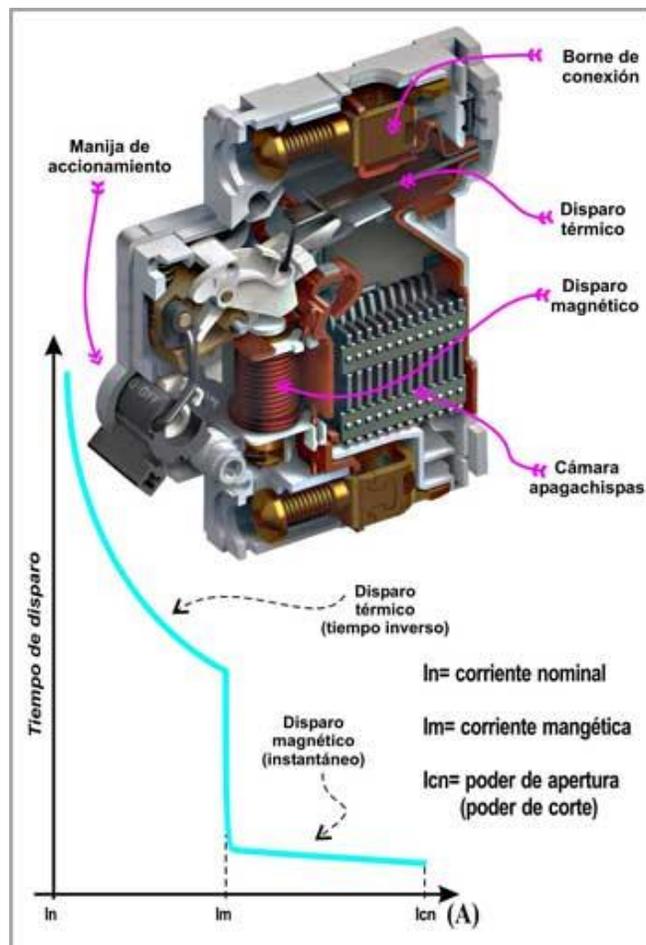
El electroimán, al circular una corriente que pasa por él, crea una fuerza que activa un mecanismo que abrirá el contacto entre la alimentación y la carga, pero este mecanismo se activará solo si el valor de la corriente eléctrica sobrepasa el límite fijado para cada dispositivo. La operación de este mecanismo es de aproximadamente 25 milisegundos, esta parte del mecanismo es la que ofrece protección ante un elevación de corriente rápida o cortocircuito.

La lámina bimetálica se activa al calentarse por encima del límite programado, sufre una deformación, lo cual activa el mecanismo de apertura del contacto entre la fuente y la carga. Este dispositivo actúa dependiente de la curva de diseño de disparo de cada dispositivo. La parte del bimetálico es la encargada de proteger de sobrecarga o corrientes que son superiores a las permitidas en la instalación donde fue colocado.

Ambas partes del dispositivo se complementan en su actuación automática para proteger contra cortocircuitos y sobrecargas en una curva de tiempo de disparo característica de cada dispositivo. Además de la desconexión automática, el dispositivo está provisto de una palanca que

proporciona su actuación manual, tanto para la desconexión como para la reconexión después de dispararse automáticamente.

Figura 48. Partes de un interruptor termomagnético



Fuente: *Electromagazine*. www.electromagazine.com.uy. Consulta: julio de 2014.

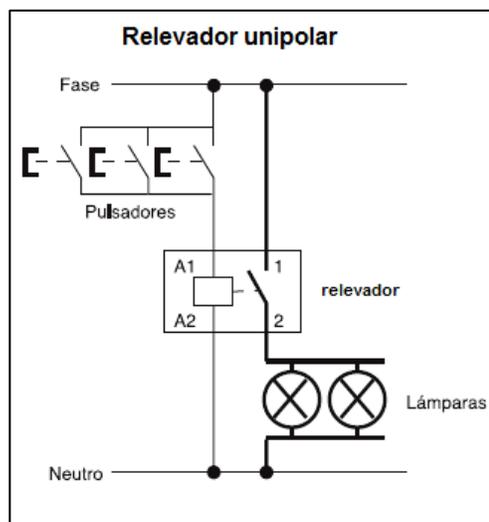
El control de los diferentes sistemas donde no interviene el hombre se le denomina automatización. La automatización eléctrica es uno de los sistemas de automatización más empleada, es utilizada no solo en la industria, también en actividades del diario vivir. La automatización ha permitido el aumento de

producción y el control de los procesos, haciéndolos más seguros y con mayor confort para los usuarios y operadores.

La automatización eléctrica es un sistema diseñado con el fin de aprovechar la capacidad de las máquinas en la realización de determinadas tareas, así como para controlar la secuencia de los diferentes procesos. Los sistemas de actuación eléctrica se basan en motores, actuadores electromagnéticos, sensores y el control por autómatas programables mediante relés eléctricos.

En principio, se encuentra la relevación, este es el uso de relevadores o contactores para poder arrancar o encender equipos eléctricos a distancia, desde varios puntos o de potencia elevada. Los relevadores pueden estar controlados desde un pulsador o un autómata y realizar diferentes maniobras.

Figura 49. **Diagrama de conexión de relevador controlado por pulsador**



Fuente: Schneider. *Manual y catálogo del electricista*. p. 32.

En el diseño propuesto se centraliza el control de la iluminación en el cuarto eléctrico, se establecen 3 niveles de iluminación el nivel bajo con 30 % de la iluminación total con 6 luminarias por poste, el nivel intermedio con el 60 % de la iluminación con 12 luminarias por poste y el nivel alto de iluminación con el 100 % de luminarias encendidas, esta propuesta se realiza a través de un controlador programable marca Allen Bradley Micrologix 1400.

Para poder realizar la comunicación entre los controladores programables en el diseño se propone una red de *ethernet*. Para la construcción de la red se debe contar con un *switch* de datos en cada torre de iluminación, comunicando el control principal en el cuarto eléctrico con cada torre con fibra óptica, convirtiendo la fibra óptica a *ethernet* con el equipo *switch ethernet* industriales stratix 5700, disponible en 3 configuraciones 6,10 y 20 puertos, proporciona entrada de alimentación doble, alarmas y hasta 4 ranuras listas para fibra.

Figura 50. **Switch ethernet industriales Stratix 5700, 6 puertos**

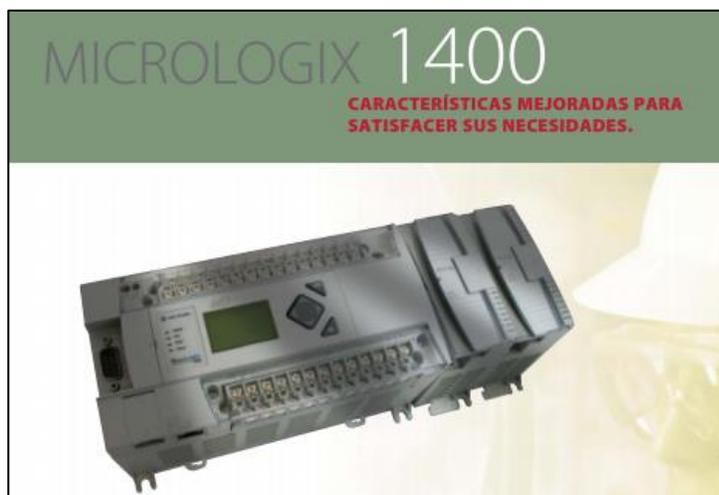


Fuente: *Rockwell*. <http://literature.rockwellautomation.com>. Consulta: julio de 2014.

Al utilizar como medio de comunicación la fibra óptica, se anula la interferencia eléctrica, la inducción de voltaje y los disturbios de los sistemas eléctricos, tiene la ventaja que pueden cubrirse distancias largas, como en el caso del estadio Revolución.

El controlador Micrologix 1400 es de tipo microcontrolador compacto, cuenta con una pantalla LCD incorporada. Estos controladores ofrecen un alto recuento I/O, salida de tren de impulsos, capacidades de red mejoradas. El rápido procesamiento ofrece un tiempo de rendimiento efectivo típico de 1,5 milisegundos para un programa de 500 instrucciones. La memoria incorporada retiene toda la lógica de escalera y los datos si el controlador sufre una interrupción de la alimentación eléctrica, eliminando así la necesidad de batería de respaldo o de un módulo de memoria separado. El puerto *ethernet* proporciona capacidades de transmisión de mensajes entre dispositivos similares, servidor de web y correo electrónico.

Figura 51. **Micrologix 1 400**



Fuente: *Rockwell*. <http://literature.rockwellautomation.com>. Consulta: julio de 2014.

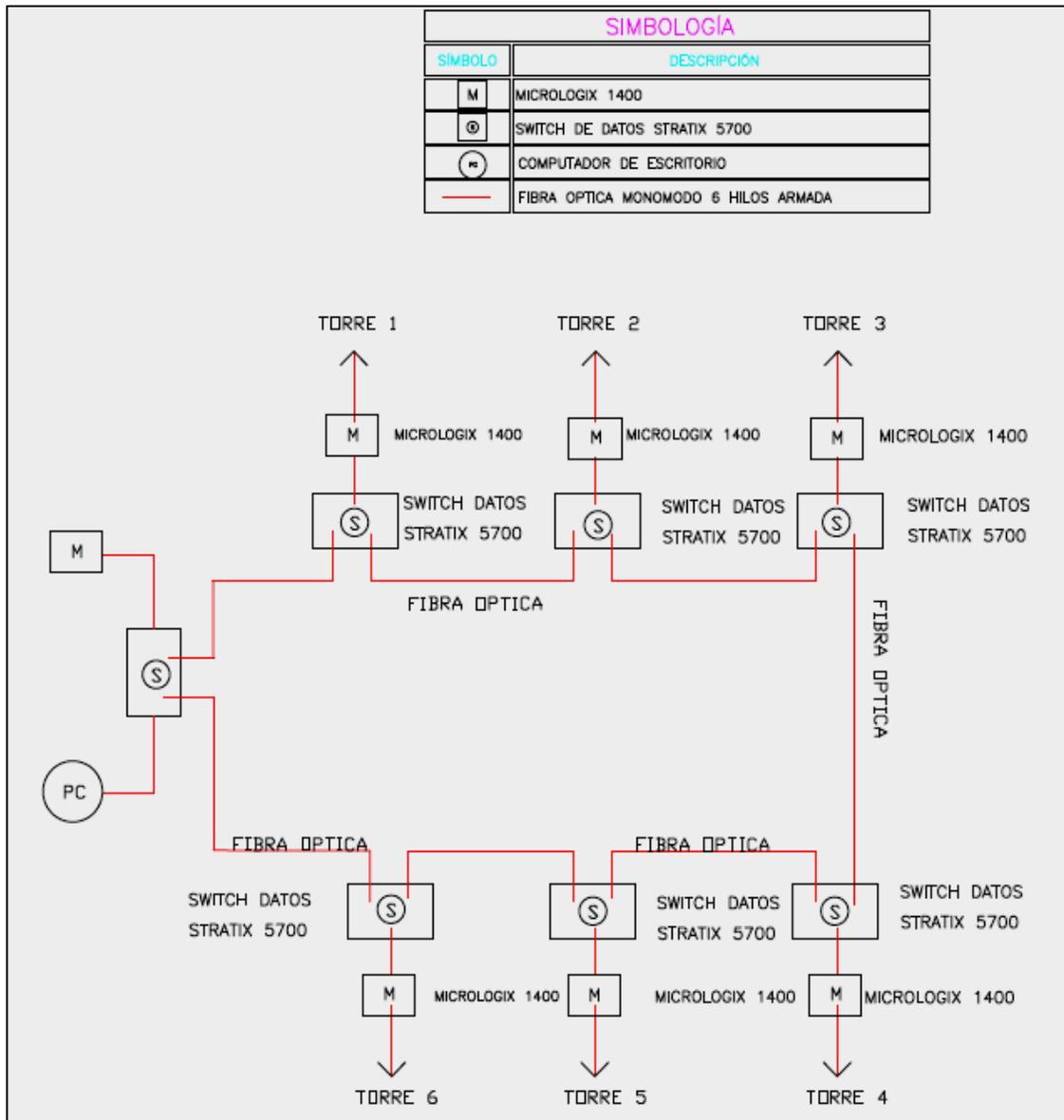
El controlador Micrologix 1 400 puede utilizarse como principal o máster y como secundario o esclavo, la propuesta incluye la visualización de los componentes a controlar, para este caso cada una de las luminarias en sus respectivos postes, haciendo interfaz con el usuario y los controladores en una computadora a través del sistema FactoryTalk de Allen Bradley. Este sistema permite mantener la comunicación entre el usuario y los componentes conectados en red, manipulando los controladores esclavos para así encender las luminarias necesarias o establecidas para cada escenario de iluminación desde la PC.

Figura 52. **Factory Talk**



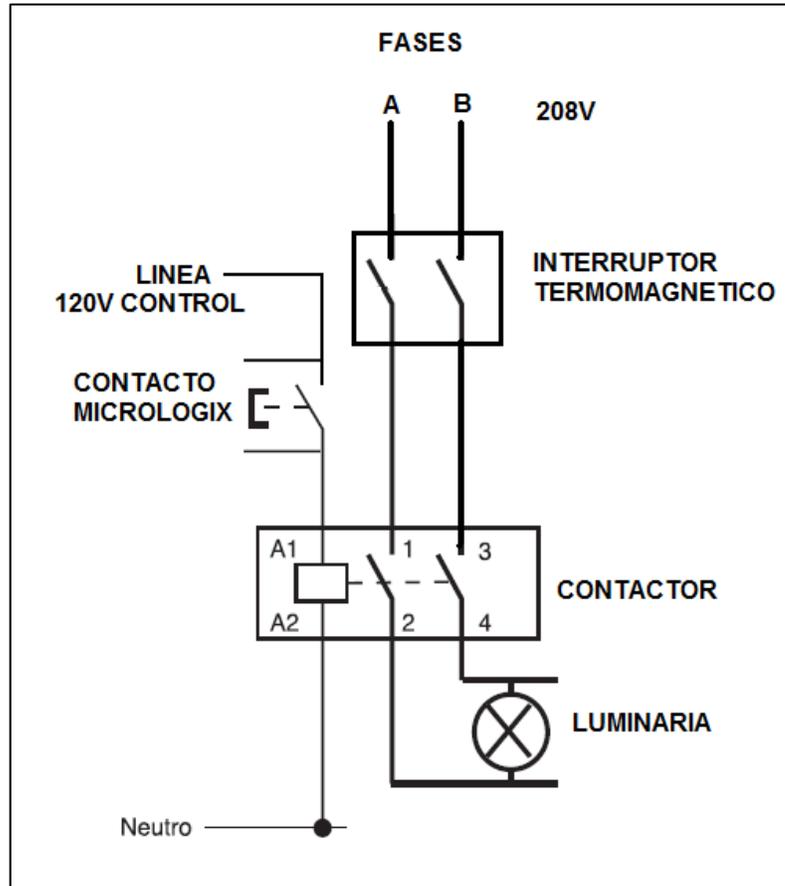
Fuente: *Rockwell*. <http://literature.rockwellautomation.com>. Consulta: julio de 2014.

Figura 53. Red de control



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 54. Diagrama de control para cada luminaria



Fuente: elaboración propia, empleando Circuit Maker.

En el apéndice 1 se encuentra el cálculo de costo de la implementación de la propuesta de diseño para el área del estadio Revolución.

6. DISEÑO DE ILUMINACIÓN PARA CANCHAS DE TENIS Y PISCINA

6.1. Valores mínimos recomendados de iluminación

En el capítulo anterior se mencionó que en Guatemala, hasta el día de hoy, no existe normativa vigente para los niveles de iluminación para ningún tipo de recinto. Por lo tanto, se toman en consideración entidades internacionales que han normado la iluminación en instalaciones deportivas, estas indican que los niveles mínimos de iluminación dependen de factores tales como tipo de actividad visual a realizar, velocidad de acción, número de espectadores, distancia al área donde se realiza la competición y nivel de la misma.

Los lineamientos de entidades como la normativa española para la iluminación de áreas deportivas recomiendan que la iluminación artificial para piscinas debe ser uniforme y de manera que no dificulte la visión de los competidores, espectadores, jueces, cronometradores y no debe de provocar reflejos en las láminas de agua. La norma UNE- EN 12193 indica los niveles que deben cumplirse en este tipo de instalación y están basados en el reglamento de la Federación Internacional de Natación y la Federación Internacional de Tenis.

Tabla XXI. Nivel de iluminación para piscinas

NIVELES MINIMOS DE ILUMINACION PISCINAS POLIVALENTES (Interior y exterior)		
NIVEL DE COMPETICION / USO	Iluminancia horizontal	
	E med (lux)	Uniformidad E min/E med
Competiciones locales y regionales ¹	500	0.7
Entrenamiento, uso escolar y recreativo	300	0.5

¹ Valor mínimo sobre las plataformas de salida y los extremos de viraje: 600 lux

NIVELES MINIMOS DE ILUMINACION NATACION (Interior y Exterior)		
NIVEL DE COMPETICION	Iluminancia horizontal	
	E med (lux)	Uniformidad E min/E med
Competiciones internacionales ¹	1.500	0.7
Competiciones nacionales, regionales, entrenamiento alto nivel ²	500	0.7
Competiciones locales, entrenamiento, uso escolar y recreativo	300	0.5

¹ En todo el ámbito de la piscina resto 750 lux

² Valor mínimo medido sobre las plataformas de salida y los extremos de viraje: 600 lux

NIVELES MINIMOS DE ILUMINACION PISCINAS DE ENSEÑANZA (Interior y Exterior)		
NIVEL Y USO	Iluminancia horizontal ¹	
	E med (lux)	Uniformidad E min/E med
Enseñanza, uso escolar y recreativo	300	0.5

Fuente: UNE. Norma española UNE- EN 12193. p. 127.

Tabla XXII. **Nivel de iluminación para canchas de tenis**

NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN	Iluminancia horizontal	Uniformidad
(interior)	E med (lux)	E min/E med
Competiciones internacionales y nacionales.	750	0,7
Competiciones regionales, entrenamiento alto nivel.	500	0,7
Competiciones locales, entrenamiento, uso escolar y recreativo.	300	0,5
NIVELES MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN	Iluminancia horizontal	Uniformidad
(exterior)	E med (lux)	E min/E med
Competiciones internacionales y nacionales.	500	0,7
Competiciones regionales, entrenamiento alto nivel.	300	0,7
Competiciones locales, entrenamiento, uso escolar y recreativo.	200	0,6

Fuente: UNE. Norma española UNE- EN 12193. p. 139.

6.2. Luminaria a utilizar

Debe utilizarse una lámpara que tenga un nivel alto de reproducción de color, eficiencia lumínica y gran intensidad luminosa, debe de tener un haz de luz amplio. Para área de la piscina y la de la cancha de tenis se propone la misma lámpara, es necesario el mismo perfil de luminaria y se homogenizarán para efecto de repuestos y mantenimiento. Para este trabajo se proponen las luminarias marca Lithonia, con la luminaria TV 1000M GP/HD4 y HD6. La imagen de la luminaria es la que se presenta en la figura 18.

6.3. Simulación de iluminación en computadora

La simulación en la luminotecnica comprende dos campos. La simulación cuantitativa cuya finalidad es averiguar valores numéricos correctos, con el objeto de verificar la iluminancia que las normas indican, y la simulación cualitativa, esta le permiten al proyectista o diseñador luminotécnico transmitir los conceptos estéticos que su proyecto de iluminación debe materializar. En este trabajo se evalúan ambos campos con énfasis en cumplir los valores mínimos recomendados por instituciones internacionales encargadas de su normativa.

La simulación de iluminación es realizada con el mismo software que se utiliza en el área del estadio Revolución, el programa de computadora Visual propiedad de Acuity Lighting Group, previo haber adquirido licencia para usar este software la cual es gratuita temporalmente con vigencia de 30 días.

El procedimiento previo a la simulación es:

- Levantado de dimensiones del área en estudio en campo.
- Dibujo de la planta del proyecto a iluminar (ver apéndice 10).
- Descargar software elegido Visual 2012 de la página www.visual-3d.com.
- Instalar software licencia temporal.
- Selección de luminarias con archivos compatibles, extensión .ies, con el software Visual 2012, en www.lithonia.com. Descargar las curvas en <http://www.lithonia.com/commercial/tv.html#.VCCPn5R5Oul> para este caso, Lithonia TV1000M GP/HD4.
- Instalar curvas fotométricas de la luminaria en software Visual 2012, utilizando el comando *schedule luminaire* (ver figura 19).

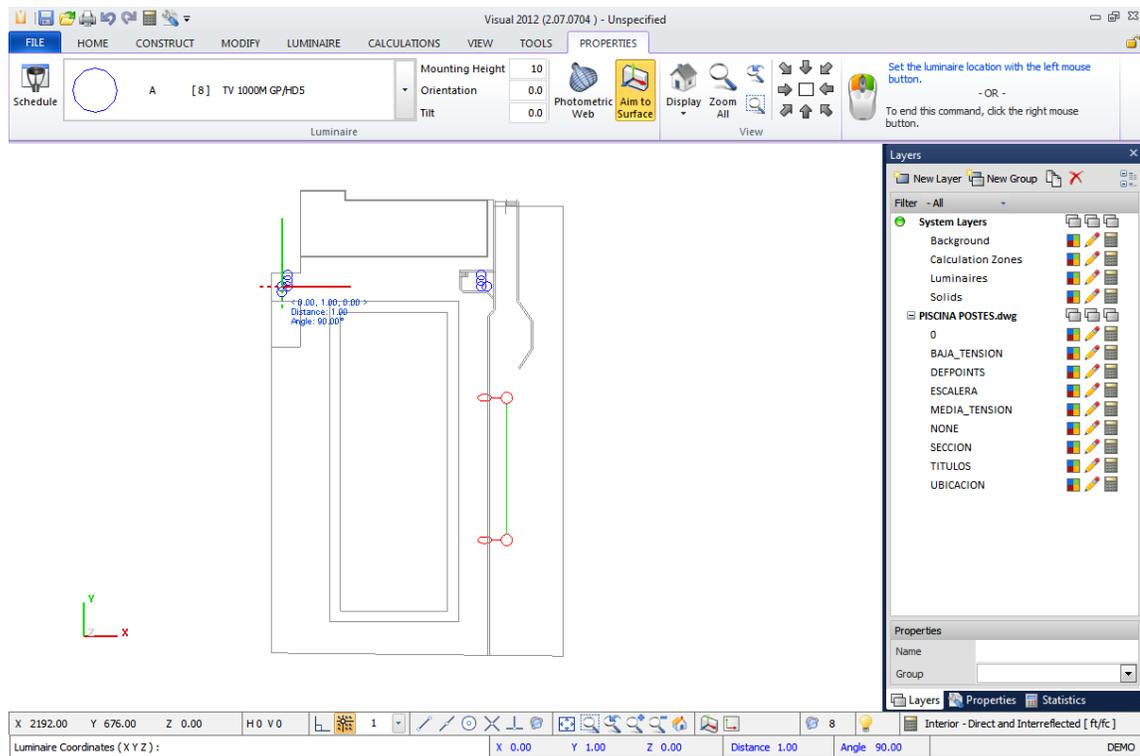
Al utilizar el software de simulación se deben seguir los siguientes pasos:

- Abrir software.
- Se selecciona *FILE*, en el cuadro de dialogo *New, exterior Project*.
- Importar plano en archivo con extensión .dwg (ver figura 20).
- Seleccionar el comando *LUMINAIRE*, eligiendo de las curvas la de Lithonia TV1000M GP/HD4 para cancha de tenis y TV1000M GP/HD5 para el área de piscina.

- Seleccionar el comando *Place*, con el ratón se ubica el lugar donde se requiere la luminaria, se abre el cuadro de dialogo *PROPERTIES* en el cual se puede especificar la altura de instalación y modo de montaje 55.
- Seleccionar área donde se desea realizar cálculo (ver figura 56).
- Seleccionar comando de *AutoCalculate*.
- Realizar modificaciones en altura, dirección posición de luminarias, según necesidades del diseño (ver figura 57).
- Seleccionar auto cálculo (ver figura 58).
- Imprimir el cálculo del área.

Los niveles recomendados, descritos en las tablas XXI y XXII, para el área de piscina se utiliza 300 lux ya que el uso de la piscina en el Complejo Deportivo Revolución es natación y, como máximo, se realizan competencias locales, entrenamiento. Para las canchas de tenis, igual que en para el área de piscina, se realizan competencias locales y el nivel de iluminancia promedio debe de ser 200 lux, estos son los valores utilizados para esta simulación.

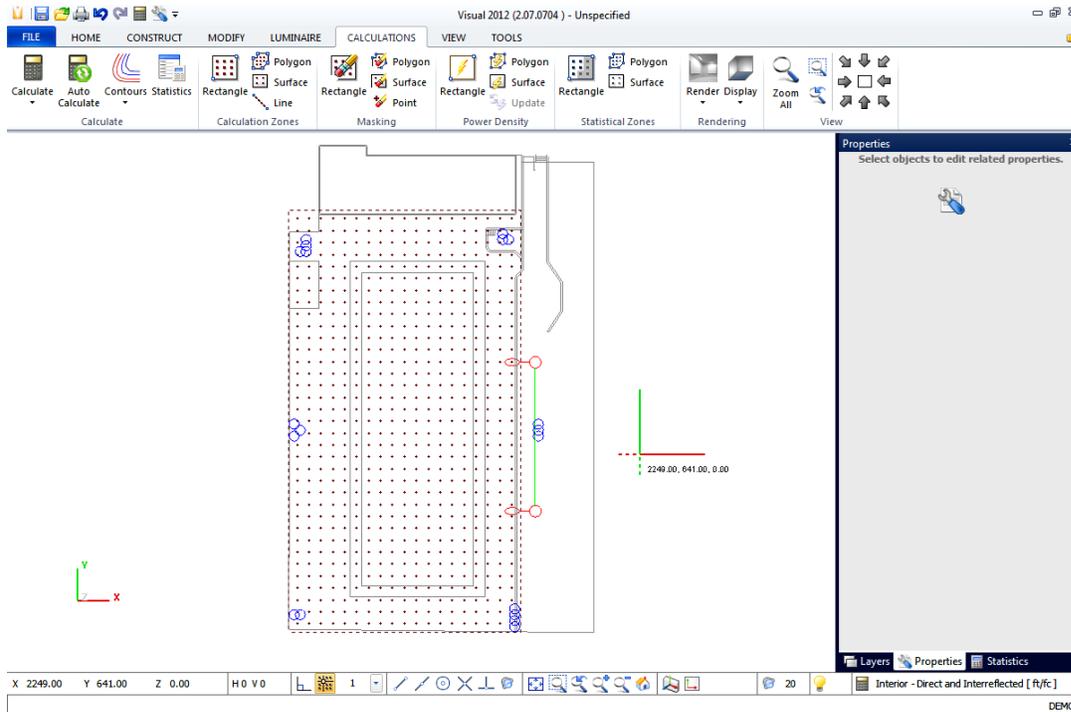
Figura 55. Ubicación de luminarias



Fuente: elaboración propia, empleando Visual 2012.

Abierto el software Visual 2012, cargado el plano del área en estudio, se ubican las lámparas o luminarias en los lugares que permitan practicar debidamente el deporte, se selecciona el comando *LUMINAIRE* y los diálogos que continúan *Schedule/Editor/Configuration/pole*, se elige la altura y modo de montaje utilizando *Mounting Hieght*, *Orientation* y *Tilt*.

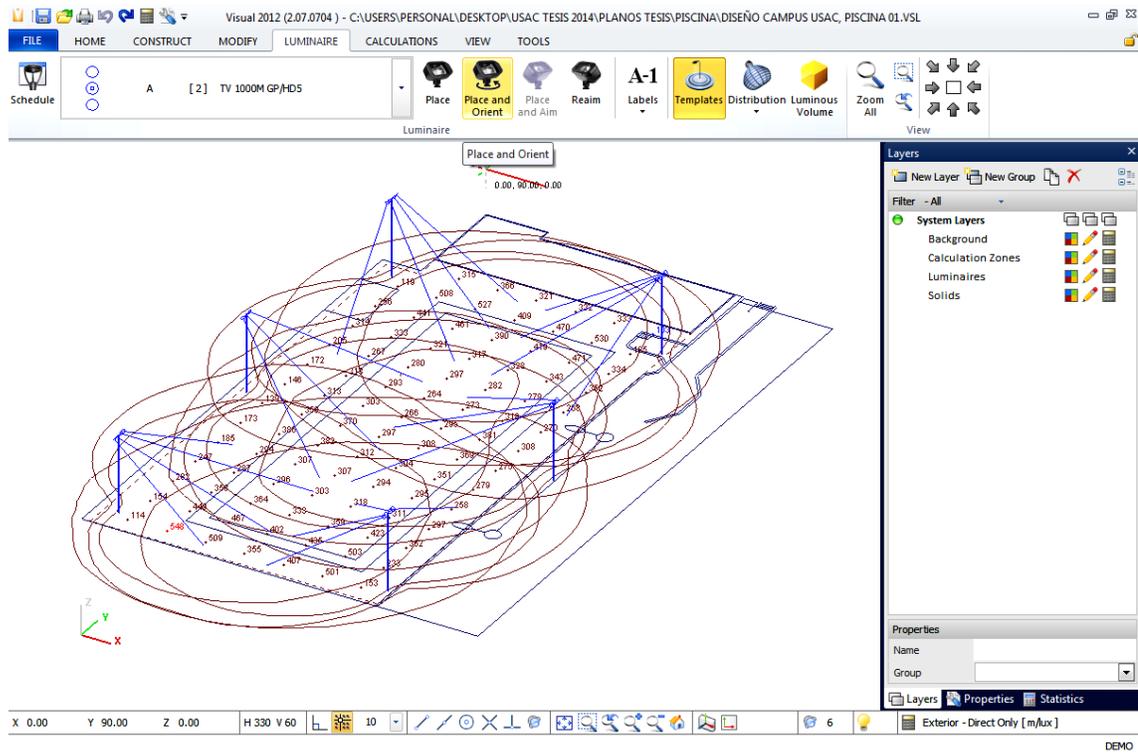
Figura 56. Selección de área



Fuente: elaboración propia, empleando Visual 2012.

Dentro del menú del software se elige *CALCULATIONS*, dependiendo del tipo de área puede elegirse *Polygon* o *Rectangle*. Con el ratón se selecciona el área donde se realizará el estudio, se puede escoger el color de la línea que delimitara el área, para diferenciar distintas áreas. Para obtener la simulación se elige *AutoCalculate*.

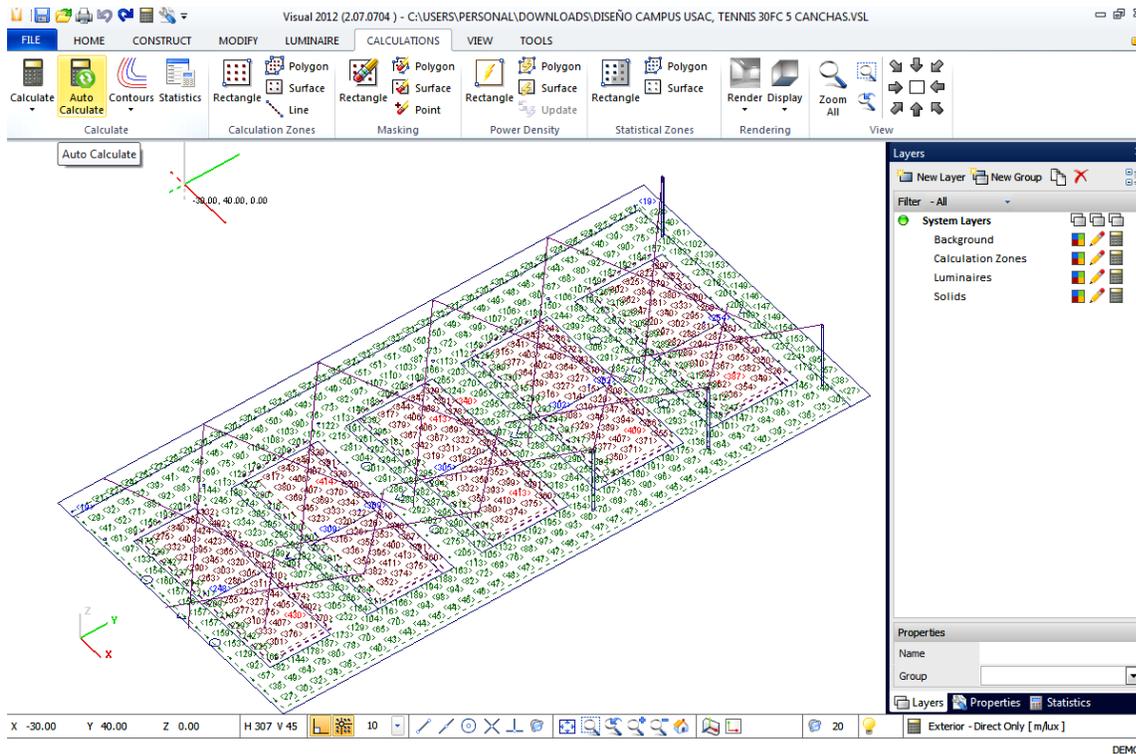
Figura 57. Modificaciones a simulación



Fuente: elaboración propia, empleando Visual 2012.

Si es necesario cambiar el grupo de luminarias de posición, se realiza a través del comando *MODIFY*. Si se necesita redireccionar o cambiar alguna luminaria, se puede realizar eligiendo *LUMINAIRE* y seleccionando cualquiera de los comandos *Place*, *Place and Orient*, *Place and Aim*, *Raim*.

Figura 58. Cálculo al realizar modificaciones en la simulación



Fuente: elaboración propia, empleando Visual 2012.

Después de realizar los cambios para llegar a los niveles deseados de iluminación se elige de nuevo *AutoCalculate*, el simulador procesa los cambios realizados y despliega la nueva información.

6.3.1. Análisis de simulación por computadora

Importante en el análisis de la simulación son las magnitudes fotométricas para la propuesta definitiva como solución al proyecto de iluminar un área con un fin específico. En este caso en particular, la normativa exige dos valores fotométricos la iluminancia horizontal media y la uniformidad.

Para el área de piscina en la simulación se obtuvo para la iluminancia media el resultado de 344 lx, iluminancia máxima 551 lx, iluminancia mínima 241 lx y una uniformidad U_2 de 0,7. Cumpliendo con lo recomendado en la tabla XXI por la Norma Española UNE- EN 12193.

En el área de las canchas tenis con la simulación se obtuvo una iluminancia media de 288 lx, iluminancia máxima 358 lx, iluminancia mínima de 218 lx y uniformidad U_2 de 0,757. Cumpliendo y sobrepasando con lo recomendado en la tabla XXII por la Norma Española UNE- EN 12193.

6.4. Montaje de postes para luminarias

En el área de la piscina se propone la instalación de 6 postes metálicos para lograr la uniformidad de la iluminación y el nivel de iluminancia deseado, se ubican en lugares donde no provoquen estorbo en la práctica del deporte. En el área de canchas de tenis se instalarán 12 postes metálicos.

6.4.1. Postes a utilizar

Para el área de canchas de tenis y la piscina, se utilizarán postes metálicos seccionables, con estructura de 4 secciones, troncopiramidales en acero ASTM A36 galvanizado, de 10 metros de altura, con crucero galvanizado para la colocación de las luminarias en las direcciones expuestas en el apéndice 7. Los postes seccionables tienen la ventaja de ser de fácil montaje al dividirse en varias secciones, son resistentes a la corrosión por el tratamiento galvanizado al que son expuestos (ver figura 57).

En el área de la piscina hay postes de concreto que fueron utilizados con lámparas tipo cobra. Este tipo de luminaria es para iluminación peatonal o de tránsito de vehículos en las áreas públicas, lo cual únicamente brinda una iluminación general no específica para practicar natación.

6.4.2. Ubicación de postes

Para el área de la piscina se ubican en las cuatro esquinas y 2 en el área central. Se colocará un *rack* metálico o crucero galvanizado para soportar las luminarias unidas al poste con abrazadera doble y apoyos tipo *braces* para poder ubicar el *rack* a la altura adecuada en el diseño. Para las canchas de tenis la ubicación de los postes será entre las diferentes canchas de tenis, como se muestra en el apéndice 8.

6.5. Suministro de energía

En el capítulo 3, al revisar las instalaciones actuales, se encontró que la acometida eléctrica con la que cuentan las instalaciones del Complejo Deportivo Revolución, no cumple con varias normativas actuales de EEGSA y del NEC, por lo que la propuesta contempla una acometida nueva para la instalación.

Tabla XXIII. Cálculo de demanda TI-Piscina

Tablero piscina					
item	Carga	Potencia (W)	Cantidad	Factor utilización	Total en (kW)
1	Lámpara TV1000M	1 080	22	1	23,76
2	Control de iluminación	400	1	1	0,4
3	Tomacorrientes de mantenimiento	380	2	0,8	0,608
				Total	24,768

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Cálculo de demanda TI-Tenis**

Tablero tenis					
ítem	Carga	Potencia (W)	Cantidad	Factor Utilización	Total en (kW)
1	Lámpara TV1000M	1 080	20	1	21,6
2	Control de iluminación	400	1	1	0,4
3	Tomacorrientes de mantenimiento	380	2	0,8	0,608
				Total	22,608

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Cálculo de potencia demandada acometida propuesta**

Demanda total					
ítem	Carga	Potencia (W)	Cantidad	Factor Simultaneidad	Total en (kW)
1	Tablero piscina	24,768	1	1	24,768
2	Tablero tenis	22,608	1	1	22,608
				Total	47,376

Fuente: elaboración propia.

La potencia necesaria para alimentar ambos sistemas de iluminación, no la puede cubrir el banco de transformación que alimenta la acometida 1 y 2 existentes, la sumatoria de la potencia ya demandada y la que se le agregará es superior al banco de 50 kVA. Por lo que, para poder alimentar eléctricamente este sector, se contempla una acometida nueva, independiente a las existentes y la del estadio Revolución.

La potencia a contratar para alimentar las nuevas instalaciones de iluminación es de 47,37 kW. Para esta potencia, la opción de conexión a la red

de distribución de energía eléctrica es un banco trifásico en poste con medición directa en secundario.

Para realizar esta acometida, la empresa distribuidora de energía eléctrica establece, en el anexo IV de las Normas de acometida 2006, normas de condiciones generales para el servicio en baja tensión y requisitos constructivos para acometidas de servicio eléctrico, cargas individuales trifásicas hasta 75 kVA: “El medidor será auto contenido con demanda, deberá instalarse en el límite de la propiedad privada y la propiedad pública, y estará ubicado en un lugar con acceso desde la vía pública”.

En la figura 59, se detalla la forma de construcción para una acometida en baja tensión, trifásica menor a 75 kVA según normativa EEGSA, la altura de la caja tipo *socket* para medidor debe ser de $1,80 \pm 0,1\text{m}$. Se debe utilizar una caja *socket* para medidor polifásico clase 200 amperios, con caja metálica de resguardo con puerta y cerradura normalizada por EEGSA.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V}$$

Ecuación 6,1

I = corriente (amperios)

P = potencia (vatios)

V = voltaje (voltios)

$$I = \frac{(47\ 367)}{(1,73205) * (208)} = 131,48 \text{ amperios}$$

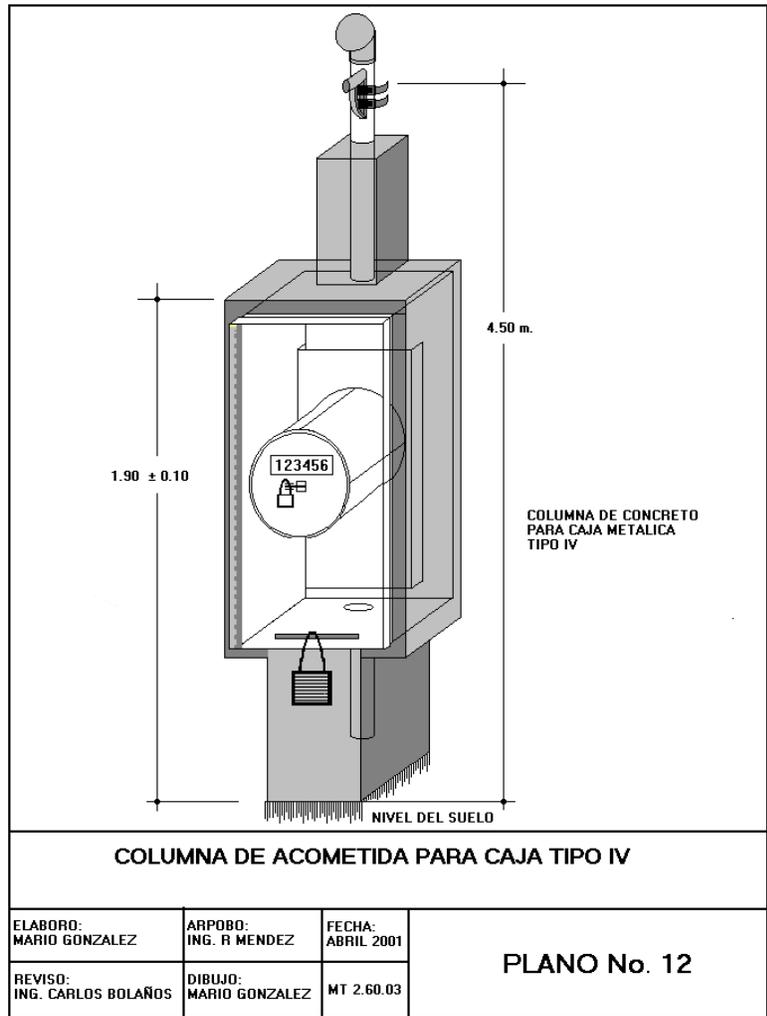
En el apéndice 10 se encuentra el plano de diseño de alimentación eléctrica para los sistemas de iluminación para las áreas de piscina y de canchas de tenis. La alimentación eléctrica viene desde la distribución en baja tensión de EEGSA, con un banco de transformación, alimenta la caja *socket* polifásica para 200 amperios.

La propuesta contempla que desde la caja *socket* se alimenta el tablero en garita de acceso con 4 conductores calibre 4/0 cobre THHN y 1 conductor AWG 6 THHN canalizado con tubería de 3 pulgadas, llegando al tablero TI-Tenis con un interruptor principal termomagnético de 150 amperios, 30 polos, 3 fases, 240 VAC, propuesto ALF3302ABS marca Electrix. Desde TI-Tenis se alimenta el tablero de distribución TI-Piscina de 24 polos, 3 fases, 240 VAC , propuesto TM24415S marca Electrix, con 4 conductores calibre AWG 2 cobre THHN y 1 conductor AWG 8 cobre THHN canalizado en ducto HG 2”.

El control se realiza con contactores de 23 amperios, controlados desde el interruptor de enclave, según circuitos de alimentación (ver apéndice 10), con conductores calibre AWG 10 cobre THHN para retornos y AWG 12 cobre THHN para cable de puesta a tierra, canalización de 2” galvanizada de pared gruesa HG.

En el apéndice 2 se encuentra la tabla con costos de la implementación de la propuesta de diseño de iluminación para las áreas de piscina y cancha de tenis.

Figura 59. **Detalle de acometida eléctrica, instalación de baja tensión menor a 75 kVA**



Fuente: EEGSA. *Normas de acometida 2006*. p. 27.

CONCLUSIONES

1. Es necesario establecer los antecedentes generales del lugar de implementación de cualquier proyecto, la historia, como se rige y la forma de su organización. La Universidad San Carlos de Guatemala es una institución con más de 300 años, estatal, autónoma, se rige por su Ley Orgánica, cuenta con el Departamento de Deportes y de este depende el Complejo Deportivo Revolución.
2. Para desarrollar adecuadamente un proyecto de luminotecnia es necesario conocer los fundamentos teóricos sobre iluminación, la forma en que se mide la luz, como es apreciada por el ojo humano, los parámetros, dimensionales y las tecnologías que actualmente existen, su eficiencia y aplicación.
3. Se determinó que las instalaciones eléctricas actuales del Complejo Deportivo Revolución no cumplen con las normas de EEGSA, ni con la normativa NEC.
4. Se realizó el diseño de iluminación utilizando las recomendaciones y requisitos internacionales de FIFA, para que el estadio Revolución pueda ser utilizado en juegos de Liga Nacional de Fútbol.
5. Para el presente trabajo de graduación, se aplican los criterios técnicos y de ingeniería, como el de eficiencia luminosa, reproducción de color e iluminancia, para el diseño de iluminación del área de piscina y las canchas de tenis.

6. En lo que a iluminación se refiere, no se ha publicado ninguna recomendación o requisitos por parte del Estado guatemalteco, para poder tomarlo como base de cumplimiento en los centros recreativos, educativos o de competición federadas.
7. Después de una investigación de la normativa vigente en Guatemala no existe una base legal que pueda tomarse como principios básicos para el diseño o bien, para poder realizar una crítica o supervisión y concluir, con base en esta, si una instalación eléctrica está bien diseñada o construida, en lo que se refiere a baja tensión.
8. Dentro de esta propuesta se proyectó un sistema de control automatizado, con tecnología actual, factible de adquisición a través de empresas locales, con capacidad de ampliación y modernización según requerimientos futuros.
9. A pesar que no existe leyes, normativas o entes encargados en la supervisión de instalaciones en baja tensión e iluminación, existen elementos de ingeniería, equipo, empresas y recurso humano para realizar un diseño adecuado, como el realizado en el presente trabajo de graduación, utilizando normativas internacionales como FIFA, UNE, ASTM, TIA/EIA, NEC y normas de EEGSA, cumpliendo así con estándares nacionales e internacionales.
10. Desde la perspectiva de las recomendaciones y requisitos de FIFA, en Guatemala no existe un estadio que cumpla con sus requerimientos, tanto en seguridad, área de parqueos, accesibilidad, comunicación, electricidad y confort. Para la presente propuesta de diseño se toman

únicamente los requisitos que corresponden a iluminación y alimentación eléctrica de este sistema.

RECOMENDACIONES

1. Para el uso del estadio Revolución es importante que el Departamento de Deportes de la Usac tome en cuenta las recomendaciones técnicas y requisitos de FIFA, como mínimo en lo que a instalaciones eléctricas, accesibilidad y seguridad se refiere y se remoce dichas instalaciones, para evitar que tanto los deportistas como los espectadores sufran inconvenientes o accidentes.
2. Al Ministerio de Energía y Minas, a través de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, es responsable de emitir las normas técnicas relativas al subsector eléctrico. Es importante que tome en cuenta la creación de las normas técnicas de instalaciones eléctricas menores a 1 000 V.
3. A la Comisión Nacional de Energía Eléctrica acompañada del Ministerio de Deportes, es importante que se tome en cuenta la creación de la normativa y estandarización de los requisitos, tanto para la construcción de áreas de deportes que incluya, por supuesto, la iluminación adecuada para cada tipo de recinto deportivos, como la construcción y diseño de instalaciones eléctricas.
4. Acompañada de la normalización y estandarización, se sugiere al Ministerio de Energía y Minas incluir los mecanismos necesarios para que se cumpla con la creación de la normativa. Para los diseños eléctricos, es importante el aval por profesionales, acompañado de una adecuada supervisión por parte de las autoridades encargadas de la

vigilancia en la construcción en cada localidad, en el caso de Guatemala, las diferentes municipalidades, para que se realice un buen diseño y se concrete una adecuada construcción.

BIBLIOGRAFÍA

1. COLOMBO, Elisa; O'DONELL, Beatriz. *Iluminación eficiente*. Buenos Aires: Proyecto Efficient Lighting Innovative (ELI), 2002. 34 p.
2. DOBIAS NUILA, Jonas Antonio. *Criterios estructurales sobre torres para telefonía celular*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 130 p.
3. EARLY, Mark; SARGENT, Jeffrey; COACHE, Chirstopher; ROUX, Richard. *National electric code*. 12a ed. EUA: NFPA, 2011. 1 498 p.
4. Federación Internacional de Futbol Asociado. *Recomendaciones técnicas y requisitos estadios de futbol*. 4a ed. Suiza: FIFA, 2007. 252 p.
5. MARRUFO GÓNZALEZ, Enrique. *Instalaciones eléctricas interiores grado medio*. España: McGraw-Hill, 2010. 336 p.
6. MORALES, Juan; ALVAREZ, Rolando; GONZALEZ, Mario. *Normas de acometida eléctrica*. Guatemala: CNEE, 2006. 232 p.
7. PONCE VILLELA, Edgar Augusto, *Caracterización de la cultura organizacional de la Universidad San Carlos de Guatemala*. Usac, 2007. 45 p.

APÉNDICES

1. Costos para el diseño propuesto para área del estadio Revolución.
2. Costos para el diseño propuesto para el área de piscina y canchas de tenis.
3. Impresión de simulación estadio Revolución.
4. Impresión de simulación piscina.
5. Impresión de simulación cancha de tenis.
6. Plano 1: Instalación eléctrica de alimentadores existentes. Levantamiento de recinto del Complejo Deportivo Revolución.
7. Plano 2: Diagrama unifilar. Propuesta de diseño de diagrama unifilar para el estadio Revolución.
8. Plano 3: Instalación eléctrica, iluminación del estadio. Propuesta de diseño de alimentadores eléctricos para el estadio Revolución.
9. Plano 4: Elevación. Propuesta de diseño de la elevación de los postes o estructuras para el estadio Revolución.
10. Plano 5: Iluminación piscina y canchas de tenis. Levantamiento del área de piscina y canchas de tenis. Propuesta de diseño de alimentación eléctrica para área de piscina y cancha de tenis.

Costos de sistema de iluminación estadio Revolución				
ítem	Descripción	Unidades	Costo unitario	Costo
	Instalación Eléctrica potencia			
1	Acometida en media tensión	1	Q 20 000,00	Q 20 000,00
2	Celda en media tensión	5	Q 55 000,00	Q 275 000,00
3	Metros cable tripolar 15 kV, Al	708	Q 160,00	Q 113 280,00
4	Juego codo rompecarga 15 kV	19	Q 1 200,00	Q 22 800,00
5	Transformador 3F, anillo, 50 kVA	7	Q 55 000,00	Q 385 000,00
6	Transformador 3F, radial, 225 kVA	1	Q 280 000,00	Q 280 000,00
7	Generador en emergencia 225 kVA	1	Q 380 000,00	Q 380 000,00
8	Instalaciones complementarias	1	Q 50 000,00	Q 50 000,00
				Q 1 526 080,00
	Instalación Eléctrica Control			
9	Computador de escritorio	1	Q 5 000,00	Q 5 000,00
10	Micrologix 1400	6	Q 6 500,00	Q 39 000,00
11	Factory Talk (ignition V.7)	1	Q 58 500,00	Q 58 500,00
12	Switch ethernet Stratix 5700	7	Q 7 500,00	Q 52 500,00
13	Fibra óptica monomodo	708	Q 11,00	Q 7 788,00
14	Contactador 3 polos, 23 amperios, 600VAC, 120V.	106	Q 1 082,00	Q 114 692,00
15	Contacto frontal para contactor	106	Q 220,00	Q 23 320,00
16	Interruptor termomagnético 2P, 25 kA, 20A	106	Q 190,00	Q 20 140,00
17	Contacto lateral para interruptor	106	Q 35,00	Q 3 710,00
18	Gabinetes IP65	6	Q 4 300,00	Q 25 800,00
19	Instalaciones complementarias	1	Q 35 000,00	Q 35 000,00
				Q 385 450,00
20	Postes o estructuras 44 m con rack	6	Q 250 000,00	Q 1 500 000,00
21	Luminarias TV1500	106	Q 2 500,00	Q 265 000,00
				Q 1 659 000,00
	Obra civil			
22	Zanjeado y relleno metros	700	Q 175,00	Q 122 500,00
23	Tubería 4" HG	470	Q 550,00	Q 258 500,00
24	Vueltas 4" HG	8	Q 475,00	Q 3 800,00
25	Tubería 2" HG	470	Q 325,00	Q 152 750,00
26	Vueltas 2" HG	8	Q 275,00	Q 2 200,00
27	Resanado área de gradas	135	Q 250,00	Q 33 750,00
28	Cajas de registro de concreto tipo H	18	Q 1 900,00	Q 34 200,00
29	Cimiento para postes	6	Q 20 000,00	Q 120 000,00
30	Cuarto eléctrico	1	Q 178 000,00	Q 178 000,00
31	Instalaciones complementarias	1	Q 40 000,00	Q 40 000,00
				Q 945 700,00
			TOTAL	Q 4 622 230,00

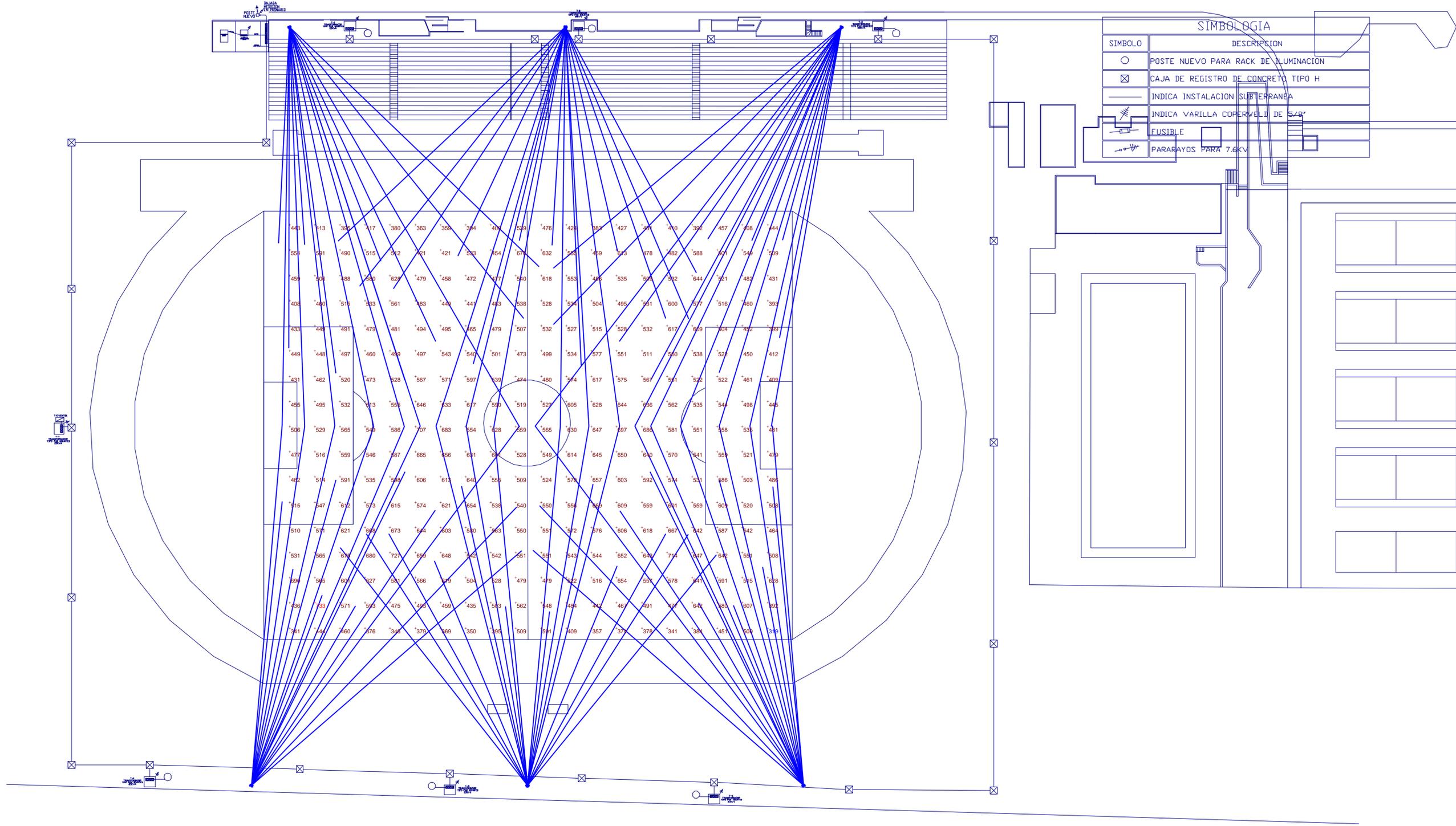
Fuente: elaboración propia.

Costos Iluminación piscina y cancha de tenis				
ítem	Descripción	Unidades	Costo Unitario	Costo
	Instalación eléctrica potencia			
1	Acometida en baja tensión 3F hasta tablero TI-Tenis	1	Q 15 000,00	Q 15 000,00
2	Tablero eléctricos	2	Q 3 000,00	Q 6 000,00
3	Cableado de alimentadores	30	Q 210,00	Q 6 300,00
4	Cableado de alimentación luminarias	100	Q 50,00	Q 5 000,00
5	Instalaciones complementarias	1	Q 5 000,00	Q 5 000,00
				Q 37 300,00
	Instalación eléctrica control			
6	Caja con botoneras	2	Q 1 200,00	Q 2 400,00
7	Contacto 3 polos, 23 amperios, 600VAC, 120V.	11	Q 1 080,00	Q 11 880,00
8	Contacto frontal para contactor	11	Q 220,00	Q 2 420,00
9	Interruptor termomagnético 2P, 25 kA, 20A	11	Q 190,00	Q 2 090,00
10	Contacto lateral para interruptor	11	Q 35,00	Q 385,00
11	Gabinetes	2	Q 1 500,00	Q 3 000,00
12	Instalaciones complementarias	1	Q 1 500,00	Q 1 500,00
				Q 23 675,00
13	Postes metálicos seccionables 10 m con crucero metálico	18	Q 11 000,00	Q 198 000,00
14	Luminarias TV1000	46	Q 2 100,00	Q 96 600,00
				Q 294 600,00
	Obra civil			
15	Zanjeado y relleno metros	100	Q 175,00	Q 17 500,00
16	Tubería 2" HG	66	Q 325,00	Q 21 450,00
17	Vueltas 2"HG	12	Q 275,00	Q 3 300,00
18	Resanado área de concreto	70	Q 250,00	Q 17 500,00
19	Cajas de registro de concreto	18	Q 200,00	Q 3 600,00
20	Cimiento para postes	18	Q 2 500,00	Q 45 000,00
21	Columna para acometida	1	Q 3 000,00	Q 3 000,00
22	Instalaciones complementarias	1	Q 15 000,00	Q 15 000,00
				Q 126 350,00
			TOTAL	Q 481 925,00

Fuente: elaboración propia.



ESTADIO REVOLUCION
USAC



SIMBOLOGIA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
○	POSTE NUEVO PARA RACK DE ILUMINACION
⊠	CAJA DE REGISTRO DE CONCRETO TIPO H
—	INDICA INSTALACION SUBTERRANEA
⚡	INDICA VARILLA COPERWELI DE 5/8"
⊞	FUSIBLE
⚡	PARARAYOS PARA 7.6KV

Plan View
Scale 1:400

STATISTICS					
Description	Avg	Max	Min	Max/Min	Avg/Min
SOCCER	532 lux	733 lux	319 lux	2.3:1	1.7:1

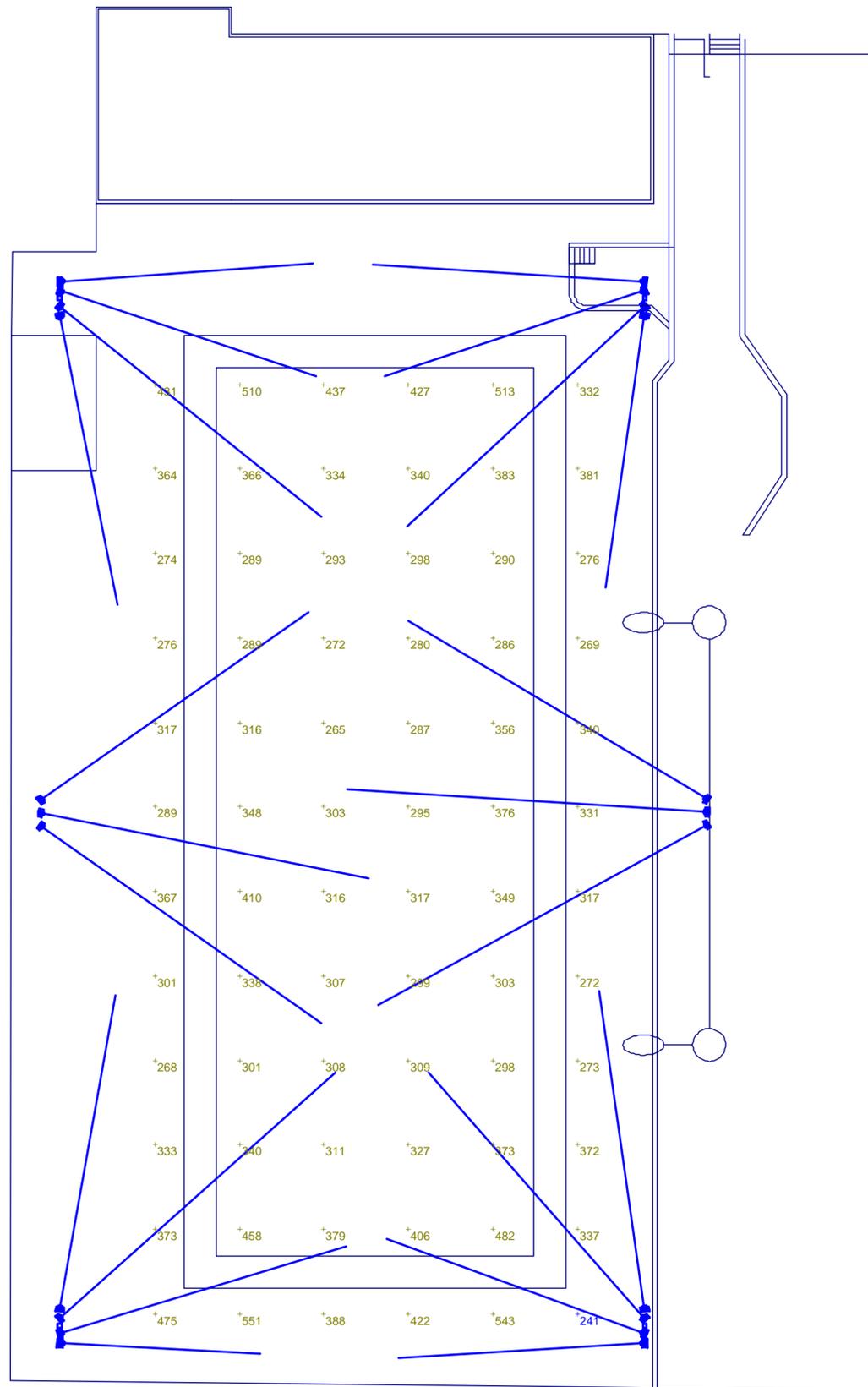
LUMINAIRE SCHEDULE									
Symbol	Label	Qty	Catalog Number	Description	Lamp	File	Lumens	LLF	Watts
□	A	100	TV 1500M GP/HD2	SPUN PARABOLIC FLOODLIGHT - NEMA 2 DISTRIBUTION	ONE 1500-WATT METAL HALIDE	TV_1500M_GP_HD2.ies	165000	0.80	1625

Designer _____

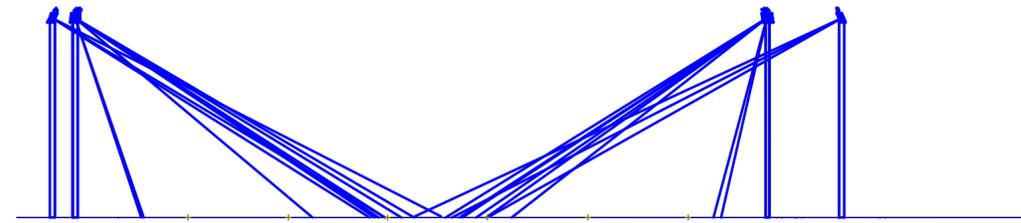
Date _____

Scale _____

Drawing No. _____



Plan View
Scale 1 : 250



South Elevation
Scale 1 : 250

NOTES

1. ALTURA DE LOS POSTES 10.00 METROS, SNP.



STATISTICS

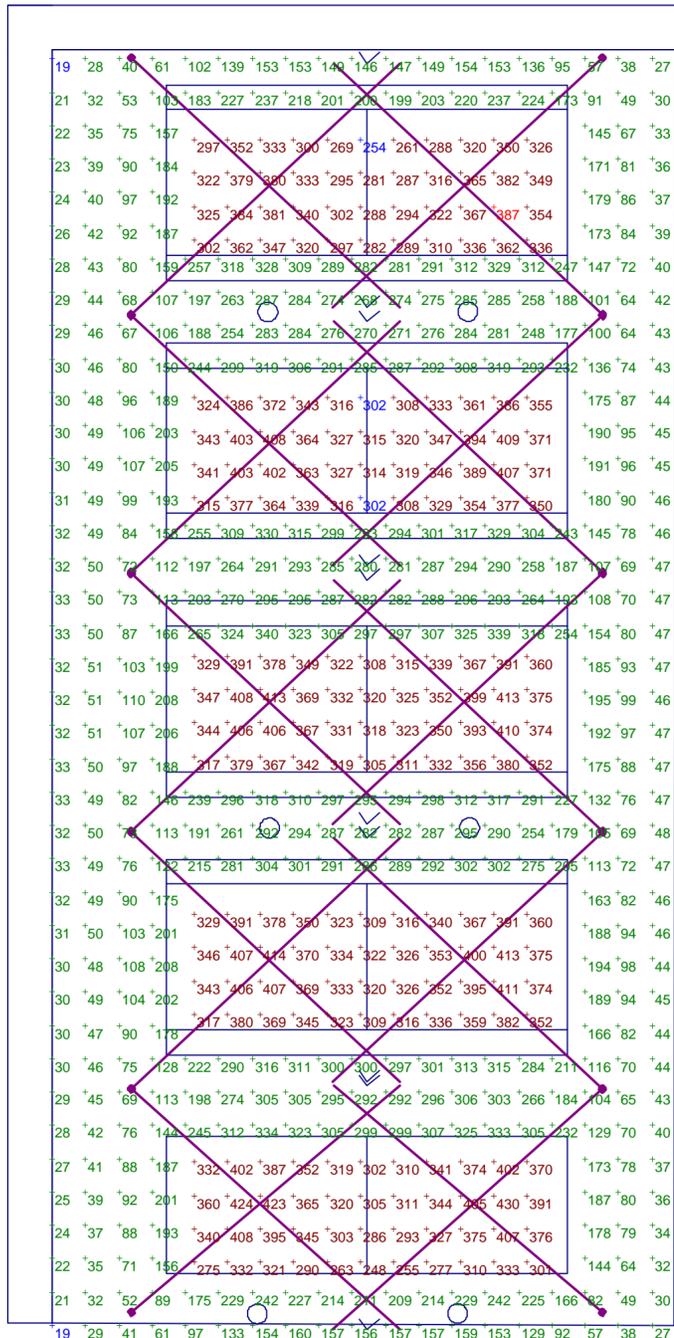
Description	Avg	Max	Min	Max/Min	Avg/Min
PISCINA	344 lux	551 lux	241 lux	2.3:1	1.4:1

LUMINAIRE SCHEDULE

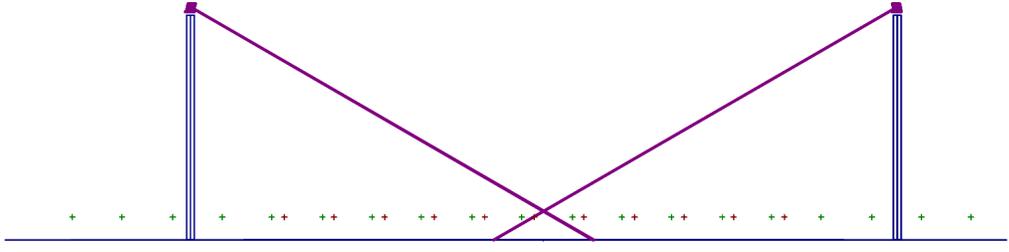
Symbol	Label	Qty	Catalog Number	Description	Lamp	File	Lumens	LLF	Watts
	A	2	TV 1000M GP/HD5	SPUN PARABOLIC FLOODLIGHT - NEMA 5 DISTRIBUTION	ONE 1000-WATT CLEAR BT-56 METAL HALIDE, HORIZONTAL POSITION.	TV_1000M_GP_HD5.ies	110000	0.74	3240
	B	4	TV 1000M GP/HD5	SPUN PARABOLIC FLOODLIGHT - NEMA 5 DISTRIBUTION	ONE 1000-WATT CLEAR BT-56 METAL HALIDE, HORIZONTAL POSITION.	TV_1000M_GP_HD5.ies	110000	0.74	4320



CANCHAS DE TENIS, CAMPUS CENTRAL USAC
 PROPUESTA DE ILUMINACION



Plan View
Scale 1 : 300



South Elevation
Scale 1 : 200

STATISTICS					
Description	Avg	Max	Min	Max/Min	Avg/Min
IN_LINES 1	326 lux	387 lux	254 lux	1.5:1	1.3:1
IN_LINES 2	352 lux	409 lux	302 lux	1.4:1	1.2:1
IN_LINES 3	356 lux	413 lux	305 lux	1.4:1	1.2:1
IN_LINES 4	358 lux	414 lux	309 lux	1.3:1	1.2:1
IN_LINES 5	342 lux	430 lux	248 lux	1.7:1	1.4:1
TENNIS	160 lux	340 lux	19 lux	17.9:1	8.4:1

- NOTES**
1. ALTURA DE LOS POSTES 9.00 METROS.

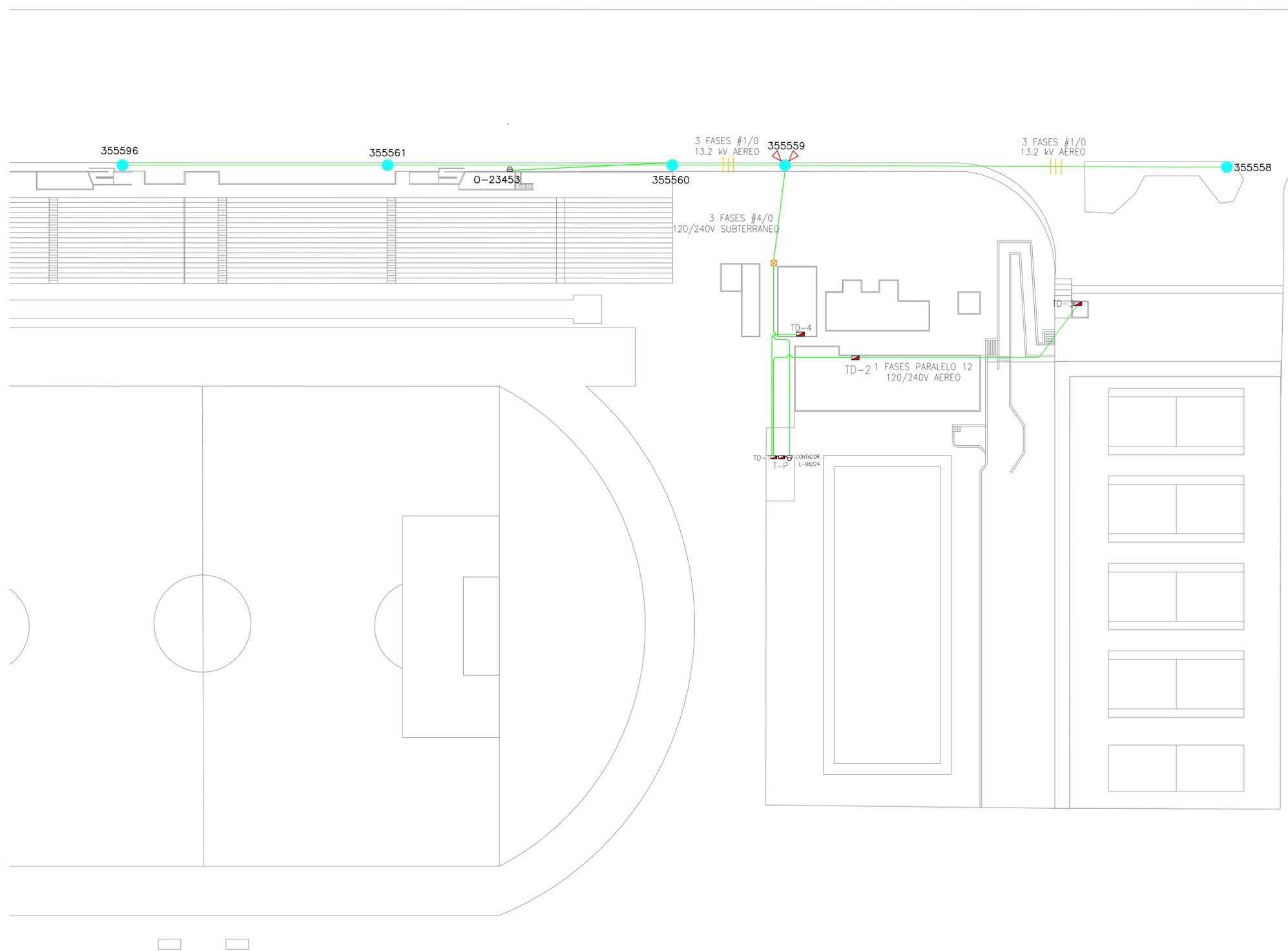
LUMINAIRE SCHEDULE									
Symbol	Label	Qty	Catalog Number	Description	Lamp	File	Lumens	LLF	Watts
	6	20	TV 1000M GP/HD6	SPUN PARABOLIC FLOODLIGHT - NEMA 6 DISTRIBUTION	ONE 1000-WATT METAL HALIDE	19732.IES	110000	0.74	1080

Designer
Oscar Marroquin

Date
Oct 14 2014

Scale

Drawing No.



SIMBOLOGIA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA
	INDICA CAJA DE REGISTRO DE CONCRETO EN PISO
	INDICA INSTALACIÓN ÁEREA
	INDICA INSTALACIÓN SUBTERRÁNEA
	INDICA POSTE DE EEGSA EXISTENTE

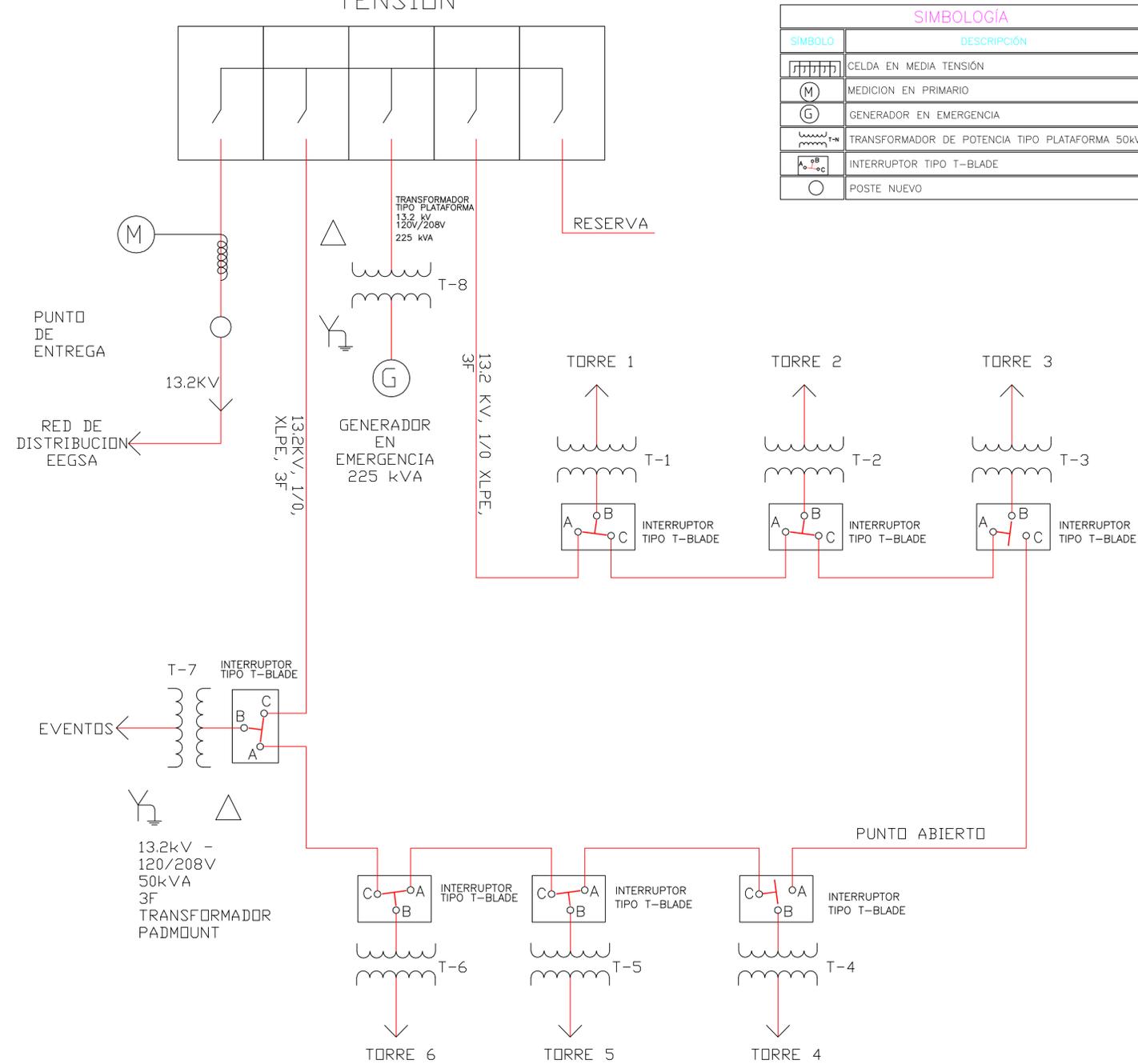
INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE ALIMENTADORES EXISTENTES
ESTADIO REVOLUCIÓN

ESC: 1/400



PROYECTO:	PROPUESTA DISEÑO ÁREA DEPORTIVA CAMPUS CENTRAL USAC
PLANO DE:	ALIMENTADORES EXISTENTES
UBICACION:	USAC
DISEÑO:	OSCAR MARROQUIN
FECHA:	JUNIO 2 014
ESCALA:	INDICADA
DIBUJO:	O.M.
No. DE HOJA	1 / 5

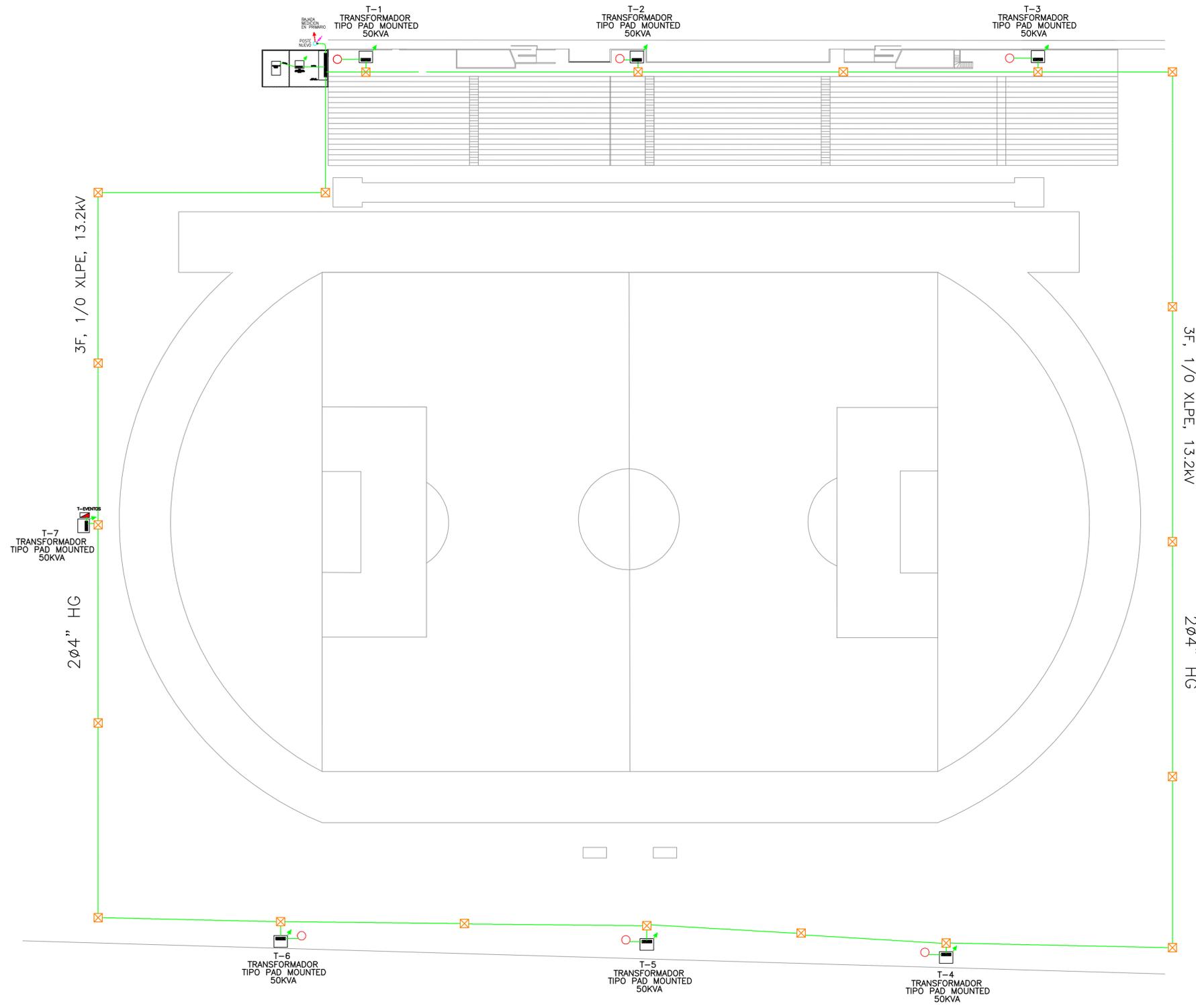
CELDA EN MEDIA TENSION



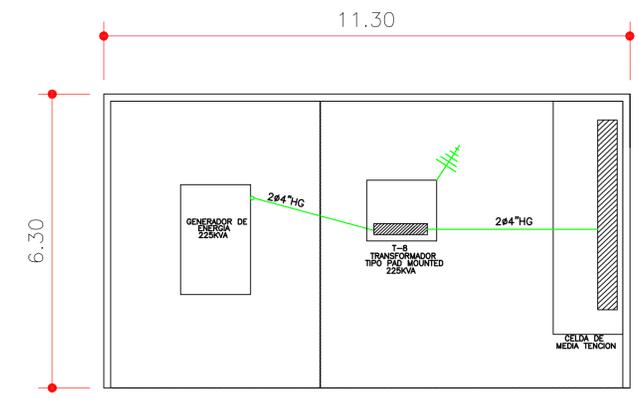
SIMBOLOGÍA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	CELDA EN MEDIA TENSION
	MEDICION EN PRIMARIO
	GENERADOR EN EMERGENCIA
	TRANSFORMADOR DE POTENCIA TIPO PLATAFORMA 50kVA
	INTERRUPTOR TIPO T-BLADE
	POSTE NUEVO



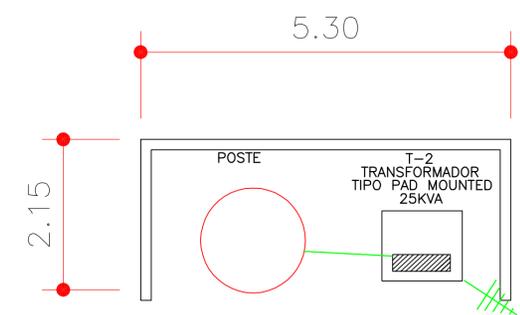
PROYECTO:	PROPUESTA DISEÑO ÁREA DEPORTIVA CAMPUS CENTRAL USAC
PLANO DE:	UNIFILAR
UBICACION:	USAC
ESCALA:	INDICADA
DISEÑO:	OSCAR MARROQUIN
FECHA:	JUNIO 2 014



SIMBOLOGÍA	
SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
○	POSTE NUEVO PARA RACK DE ILUMINACIÓN
⊠	CAJA DE REGISTRO DE CONCRETO TIPO H
—	INDICA INSTALACIÓN SUBTERRÁNEA
⚡	INDICA VARILLA COPERWELD DE 5/8"
⚡	FUSIBLE
⚡	PARARAYOS PARA 7.6KV



CASETA ELECTRICA ESC 1/75



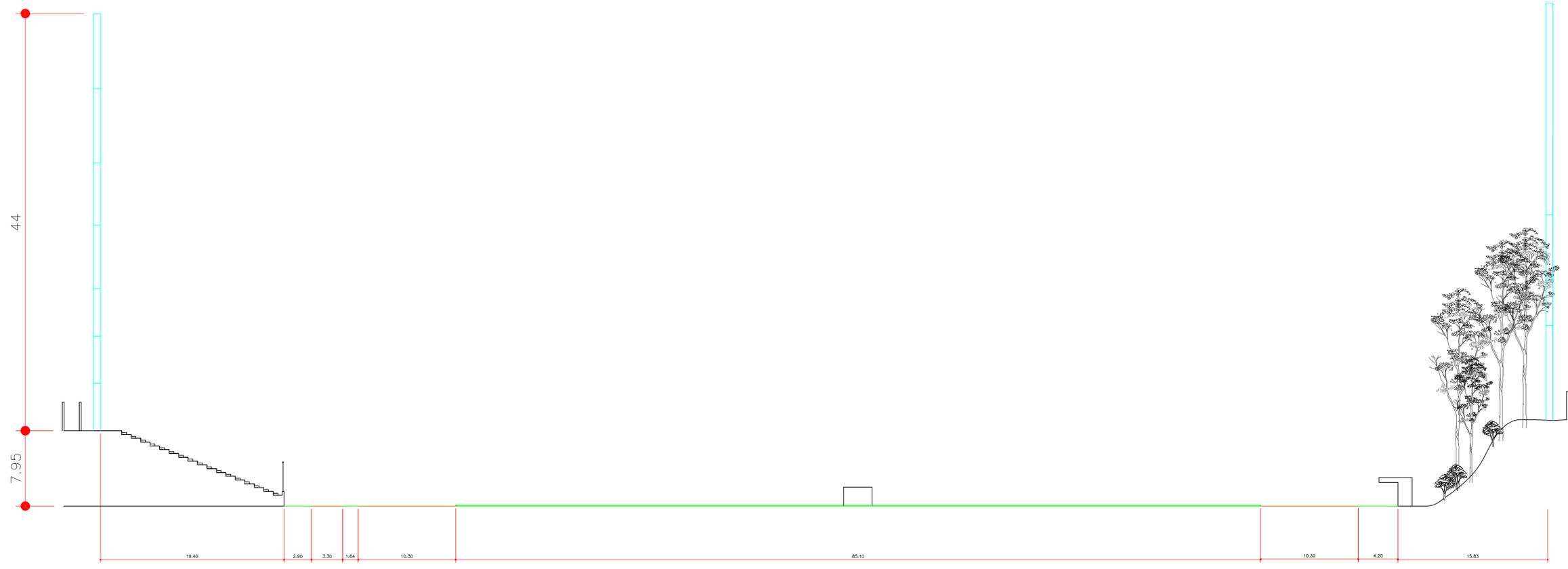
NICHOS ESC 1/50

INSTALACIÓN ELÉCTRICA ILUMINACIÓN ESTADIO
ESTADIO REVOLUCIÓN ESC: 1/400



PROYECTO: PROPUESTA DISEÑO ÁREA DEPORTIVA CAMPUS CENTRAL USAC
PLANO DE: ILUMINACIÓN ESTADIO REVOLUCIÓN
UBICACION: USAC

ESCALA: INDICADA	DIBUJO: O.M.
DISEÑO: OSCAR MARROQUIN	No. DE HOJA: 3/5
FECHA: JUNIO 2 014	



ELEVACIÓN
ESTADIO REVOLUCIÓN

ESC: 1/200



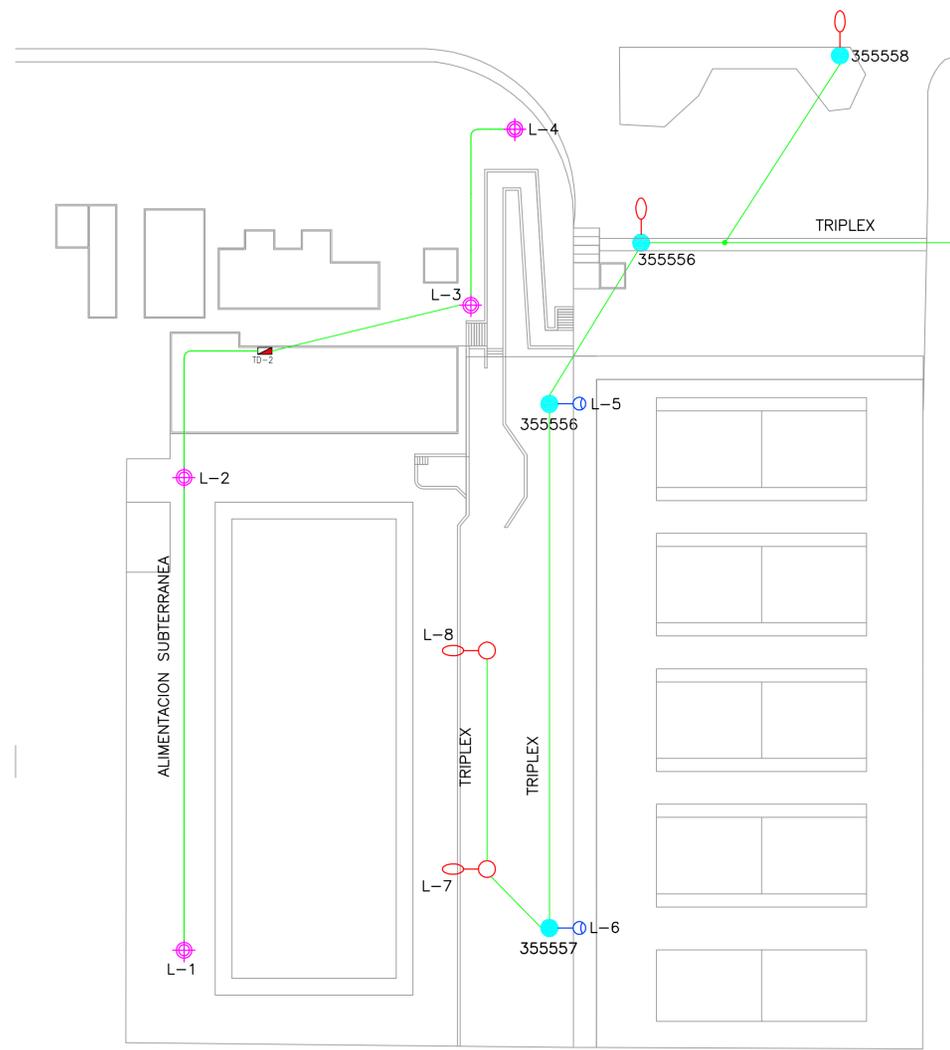
POYECTO: PROPUESTA DISEÑO ÁREA
DEPORTIVA CAMPUS CENTRAL USAC
PLANO DE: ELEVACIÓN ESTADIO REVOLUCIÓN
UBICACION: USAC

ESCALA: INDICADA
DIBUJO: O.M.

DISEÑO: OSCAR MARROQUIN

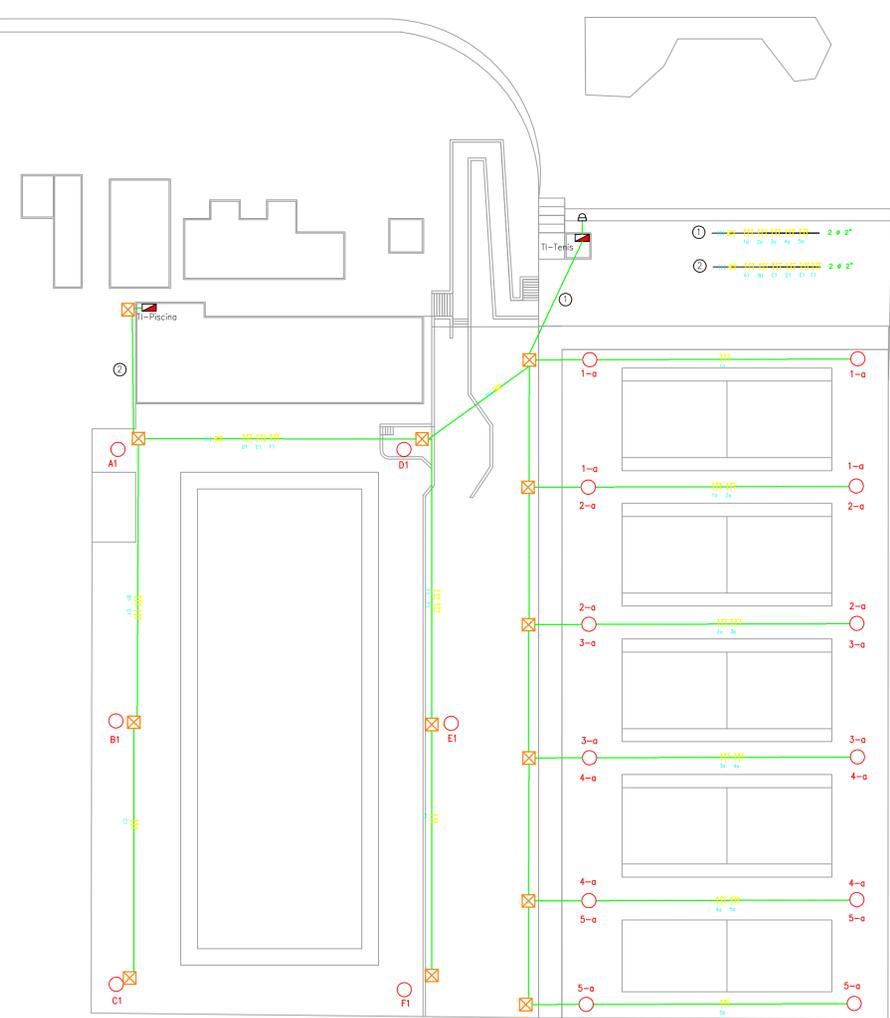
FECHA: JUNIO 2 014

No. DE HOJA
4
5



ILUMINACIÓN GENERAL EXISTENTE
ESTADIO REVOLUCIÓN

ESC: 1/400



ILUMINACIÓN ÁREA DE PISCINA Y CHANCHA DE TENIS
ESTADIO REVOLUCIÓN

ESC: 1/400

SIMBOLOGÍA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA
	CONTADOR POLIFÁSICO 200 AMPERIOS
	POSTE METALICO SECCIONABLE 10 METROS
	INDICA INSTALACIÓN ÁREA
	INDICA INSTALACIÓN SUBTERRANEA
	INDICA POSTE DE EEGSA EXISTENTE
	LAMPARA DE VAPOR DE SODIO DECORATIVA
	INDICA CAJA DE REGISTRO DE CONCRETO EN PISO
	INDICA LINEA, NEUTRO, TIERRA Y RETORNO
	LAMPARA TIPO COBRA DE VAPOR DE SODIO EN POSTE
	LAMPARA TIPO CANASTA, DE VAPOR DE SODIO EN



PROYECTO:	PROPUESTA DISEÑO ÁREA DEPORTIVA CAMPUS CENTRAL USAC
PLANO DE:	ILUMINACIÓN
UBICACION:	USAC
DIBUJO:	O.M.

ESCALA:	INDICADA	No. DE HOJA
DISEÑO:	OSCAR MARROQUIN	
FECHA:	JUNIO 2 014	5

ANEXOS

1. Hoja técnica Acero A-36
2. Normativa ASTM-153
3. Resumen de diseño por computadora de poste 44m por Grupo ITM

HOJA TECNICA ACERO A-36

Descripción

Placa de Acero al Carbón, Rolada en Caliente sin decapar, Calidad Estructural.

Composición Química (ASTM A36/A36M-08)

Elemento	Mínimo	Máximo
C ⁽²⁾	---	0.260%
Mn ^{(1), (2)}	---	---
P	---	0.04%
S	---	0.05%
Si ⁽¹⁾	---	0.40%
Cu ⁽³⁾	0.200%	---

(1) El contenido de Manganeso de 0.85 – 1.35% y el contenido de Silicio de 0.15 – 0.40% será requerido para placas de espesor mayor a 75mm o con más de 634 Kg/m.

(2) Para cada reducción de 0.01% debajo de lo especificado como máximo de Carbono, se permite un incremento de 0.06% de Manganeso sobre el máximo especificado, hasta un máximo de 1.35%.

(3) Valor mínimo cuando es especificado el nivel de Cobre.

Propiedades Mecánicas (ASTM A36/A36M-08)

Propiedad		ksi	MPa
Límite Elástico (Yield Strength)	Min	36	250
	Max	---	---
Resistencia a la Tensión (Tensile Strength)	Min	58	400
	Max	80	550
Elongación en 200 mm (%) ⁽⁴⁾	Min		20
	Max		---
Elongación en 50 mm (%) ⁽⁴⁾	Min		23
	Max		---

(4) Para placas de ancho mayor a 600mm, los requerimientos de elongación se reduce en dos puntos porcentuales.

(5) La orientación de las piezas para prueba deberán ser acorde a ASTM A6

Tabla de Rango Dimensional, Espesores y Pesos

Espesor		Ancho			Largo		Peso aprox.
mm	plg	pies	plg	m	pies	m	Kg/mt lineal
6.4	1/4	6	72	183	20	6.1	91.2
7.9	5/16	6	72	183	20	6.1	114.1
9.5	3/8	6	72	183	20	6.1	136.9
12.7	1/2	6	72	183	20	6.1	182.4
15.9	5/8	6	72	183	20	6.1	228.1
15.9	5/8	8	96	2.44	20	6.1	303.9
19.1	3/4	6	72	183	20	6.1	273.7
19.1	3/4	8	96	2.44	20	6.1	364.6
25.4	1	6	72	183	20	6.1	364.9
25.4	1	8	96	2.44	20	6.1	486.1

Fuente: Aceros Ternium. www.ternium.com. Consulta: octubre de 2014.

NORMATIVIDAD – ASTM A 153

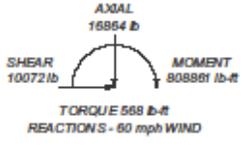
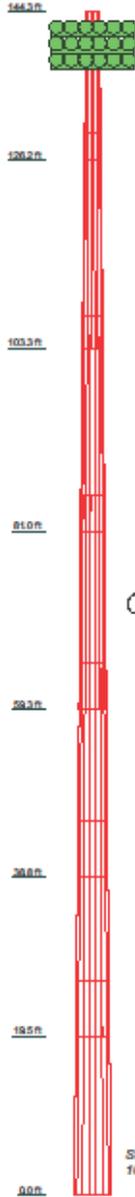
TABLE 1 Thickness or Weight [Mass] of Zinc Coating for Various Classes of Material

NOTE 1—Length of the piece, stated in Classes B-1, B-2, and B-3, refers to the finished dimension of the piece after fabrication.

Class of Material	Weight [Mass] of Zinc Coating, oz/ft ² [g/m ²] of Surface, Minimum		Coating Thickness, mils [microns], Minimum	
	Average of Specimens Tested	Any Individual Specimen	Average of Specimens Tested	Any Individual Specimen
Class A—Castings—Malleable Iron, Steel	2.00 [610]	1.80 [550]	3.4 [86]	3.1 [79]
Class B—Rolled, pressed, and forged articles (except those which would be included under Classes C and D):				
B-1— $\frac{1}{8}$ in. [4.76 mm] and over in thickness and over 15 in. [381 mm] in length	2.00 [610]	1.80 [550]	3.4 [86]	3.1 [79]
B-2—under $\frac{3}{16}$ in. [4.76 mm] in thickness and over 15 in. [381 mm] in length	1.50 [458]	1.25 [381]	2.6 [66]	2.1 [53]
B-3—any thickness and 15 in. [381 mm] and under in length	1.30 [397]	1.10 [336]	2.2 [56]	1.9 [48]
Class C—Fasteners over $\frac{3}{16}$ in. [9.52 mm] in diameter and similar articles. Washers $\frac{3}{16}$ in. and $\frac{1}{4}$ in. [4.76 and 6.35 mm] in thickness	1.25 [381]	1.00 [305]	2.1 [53]	1.7 [43]
Class D—Fasteners $\frac{3}{16}$ in. [9.52 mm] and under in diameter, rivets, nails and similar articles. Washers under $\frac{3}{16}$ in. [4.76 mm] in thickness	1.00 [305]	0.85 [259]	1.7 [43]	1.4 [36]

HORNOS (CUBAS) DE ALTA TEMPERATURA – CERAMICOS –

Section	Length (ft)	Number of Slides	Thickness (in)	Stocked Length (ft)	Top Dia (in)	Bot Dia (in)	Grade	Weight (lb)
1	16.120	16	0.126	3.200	20.000	24.000	A36	544.0
2	26.200	16	0.125	3.075	26.443	28.960	A36	944.6
3	20.200	16	0.180	4.666	20.737	25.244	A36	1666.9
4	20.200	16	0.180	5.711	20.736	40.242	A36	1862.4
5	20.200	16	0.250	6.623	20.448	44.955	A36	2087.2
6	26.200	16	0.250	6.700	42.701	49.267	A36	3023.6
7	26.204	16	0.250	47.001	53.099	56.623	A36	3662.3



DESIGNED APPURTENANCE LOADING

TYPE	ELEVATION	TYPE	ELEVATION
GARGA/VIA	144	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	140.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	142.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	140.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	142.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	140.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	142.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	140.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	142.5	PLATAFORMA DE TRABAJO	140
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	142.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	138.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	142.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	138.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	142.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	138.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	142.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	138.5
PLATAFORMA DE TRABAJO	142	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	138.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	140.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	138.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	140.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	138.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	140.5	LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	138.5
LAMPARA OLYMPIC 1500W MH MV T8	140.5	PLATAFORMA DE TRABAJO	138

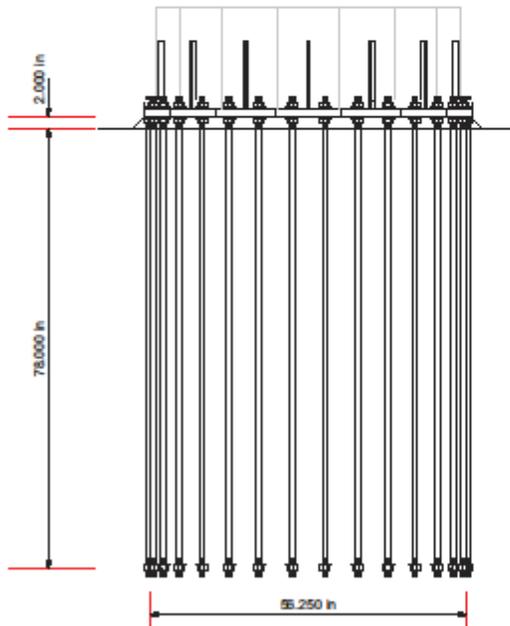
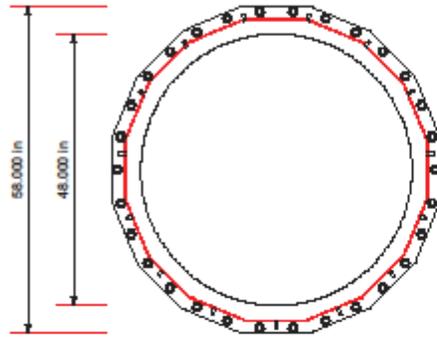
MATERIAL STRENGTH

GRADE	Fy	Fu	GRADE	Fy	Fu
A36	36000 psi	58000 psi			

TOWER DESIGN NOTES

1. Tower designed for a 60 mph basic wind in accordance with the TIA/EIA-222-F Standard.
2. Deflections are based upon a 50 mph wind.
3. Weld together tower sections have flange connections.
4. Connections use galvanized A325 bolts, nuts and locking devices. Installation per TIA/EIA-222 and AISC Specifications.
5. Tower members are "hot dipped" galvanized in accordance with ASTM A123 and ASTM A153 Standards.
6. Welds are fabricated with ER-70S-6 electrodes.
7. TOWER RATING: 67%

<p>2da Avenida 5-89 zona 6 Lofitacion Los Alamos S.M.P. Km 18 Carretera a Villa Canales, Guatemala, C.A. Phone: (502) 8644-0000 FAX: (502) 2448-3480</p>	<p>Id: PL-04082014-P1</p> <p>Proy: Poste 44 metros / 60 Mph - Para Luminada</p>
	<p>Client: MECSA - Guatemala</p> <p>Code: TIA/EIA-222-F</p> <p>Path: C:\BDA_Tower_Plan\BDA\ITM\MECSA - GUATEMALA - 04082014-P1.dwg</p>

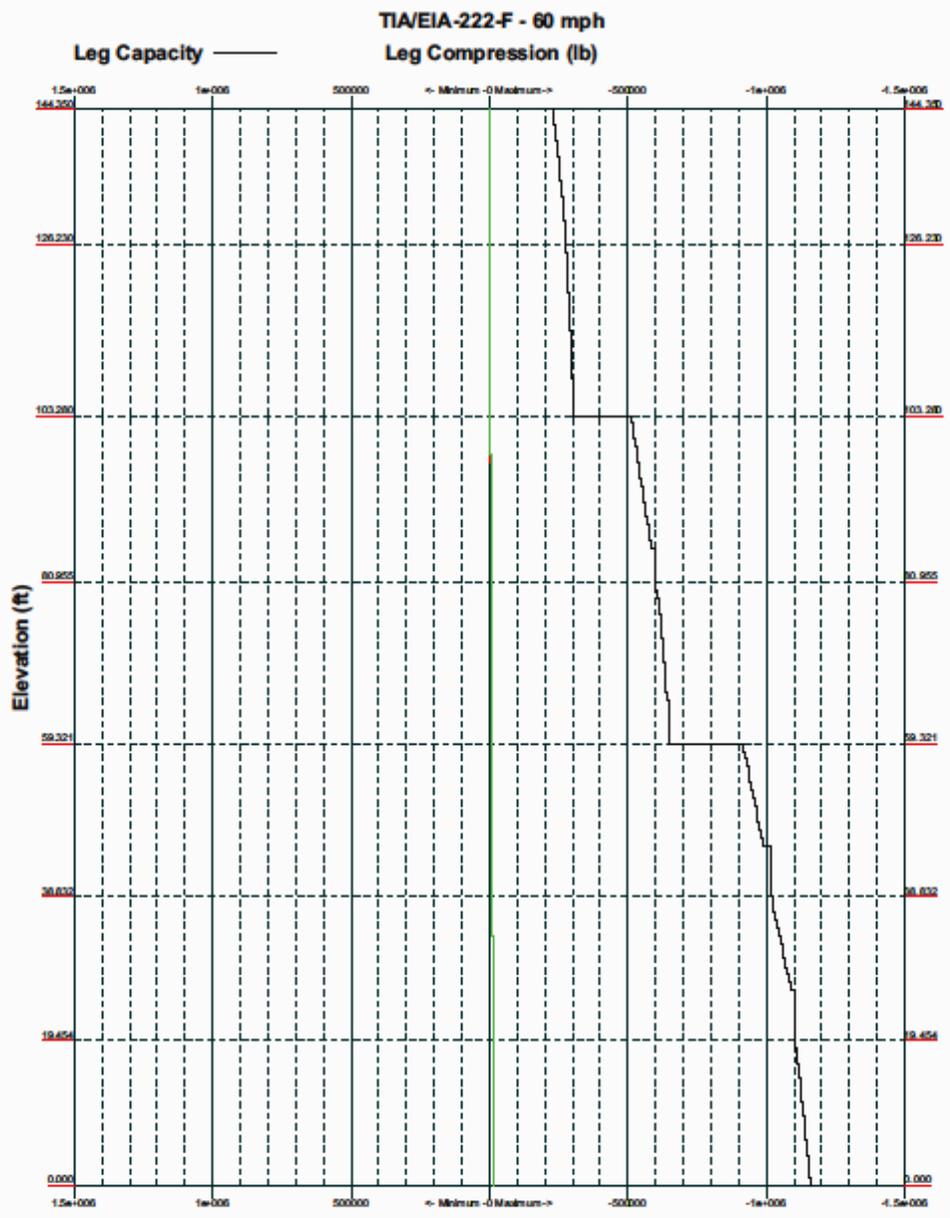


Peso de Flange Base = 353.41 lb
 30 Pernos de Anclaje de 1" x 2.0 mts.

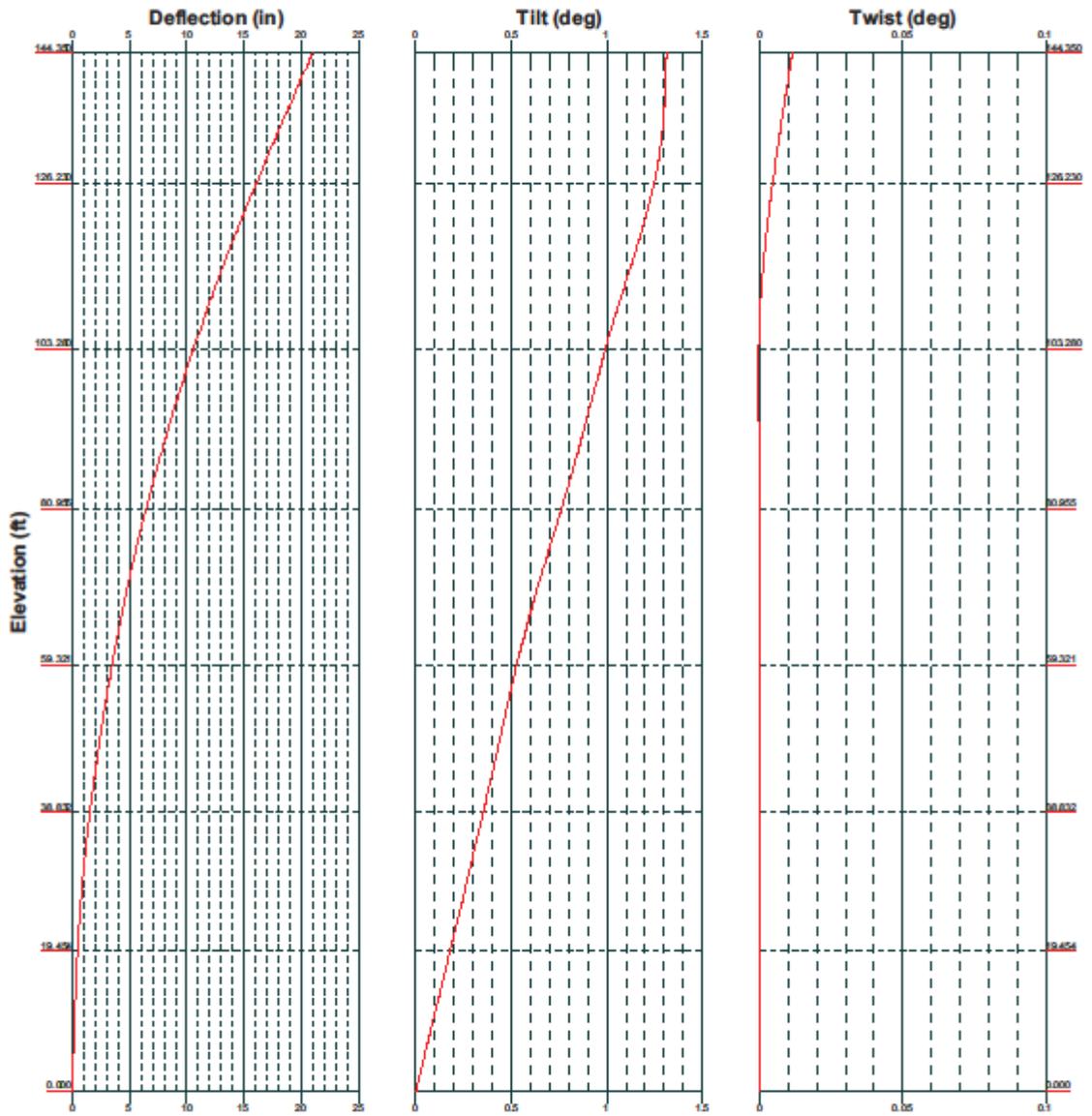
FOUNDATION NOTES

1. Plate thickness is 1.500 in.
2. Plate grade is A36.
3. Anchor bolt grade is F1554-55.
4. fc is 3000 psi.

 <p>www.grupoitm.net</p>	Grupo ITM, S.A.		Id: PL-04082014-P1		
	2da Avenida 5-89 zona 6 Lotificación Los Alamos S.M.P.		Proy: Poste 44 metros / 60 Mph - Para Luminaria		
	Km 18 Carretera a Villa Canales, Guatemala, C.A.		Clien: MECSA - Guatemala	Diseñ: jagarda	Apdt:
	Phone: (502) 8644-0000	FAX: (502) 2448-3460	Cod: TIWEIA-222-F	Date: 08/04/14	Escale: NTS
		FAB: CIRSA, Toluca, México		Dwg No: P-1	



 <p>Grupo ITM, S.A. 2da Avenida 5-89 zona 6 Lotificación Los Alamos S.M.P. Km 18 Carretera a Villa Canales, Guatemala, C.A. Phone: (502) 8644-0000 FAX: (502) 2448-3460</p>	Id: PL-04082014-P1		
	Project: Poste 44 metros / 60 Mph - Para Luminaria		
	Client: MECSA - Guatemala	Drawn by: jagordia	Appl:
	Code: TIA/EIA-222-F	Date: 08/04/14	Scale: NTS
Path: C:\BDA_Team\Files\BDA\ITM\PL\MECSA-0408\Poste 44 metros / 60 Mph - L.L.M.d		Drawn by: E-3	



 <p>www.grupoitm.net</p>	Grupo ITM, S.A.		PL-04082014-P1	
	2da Avenida 5-89 zona 6 Loficacion Los Alamos S.M.P. Km 18 Carretera a Villa Canales, Guatemala, C.A.			
	Phone: (502) 8644-0000		Drawn by: jagordia	
	FAX: (502) 2448-3460		Date: 08/04/14	
		Code: TIA/BA-222-F		Scale: NTS
		Path: C:\BDA_Tier1_Plan\BDA\TIA\MECSA-04082014-P1.dwg		Dwg No: E-5

tnxTower Grupo ITM, S.A. 2da Avenida 5-89 zona 6 Lorigacion Los Alamos S.M.P. Km 18 Carretera a Villa Canales, Guatemala, C.A. Phone: (502) 6644-0000 FAX: (502) 2448-3460	Job PL-04082014-P1	Page 26 of 27
	Project Poste 44 metros / 60 Mph - Para Luminaria	Date 14:54:56 08/04/14
	Client MECSA - Guatemala	Designed by jagarcia

Section No.	Elevation ft	Size	Actual M_x lb-ft	Actual f_{bx} psi	Allow. F_{bx} psi	Ratio $\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	Actual M_y lb-ft	Actual f_{by} psi	Allow. F_{by} psi	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$
L2	126.23 - 103.28 (2)	TP29.95x23.44x0.125	88229.1 67	12923.1 00	19538.8 01	0.661	0.000	0.000	19538.8 01	0.000
L3	103.28 - 80.955 (3)	TP35.244x28.73x0.188	177438. 333	12557.8 00	21600.0 00	0.581	0.000	0.000	21600.0 00	0.000
L4	80.955 - 59.3207 (4)	TP40.242x33.73x0.188	287407. 500	15669.9 00	20785.1 00	0.754	0.000	0.000	20785.1 00	0.000
L5	59.3207 - 38.8317 (5)	TP44.955x38.44x0.25	415344. 167	13717.7 00	21600.0 00	0.635	0.000	0.000	21600.0 00	0.000
L6	38.8317 - 19.4543 (6)	TP49.267x42.761x0.25	567173. 333	15453.9 00	21600.0 00	0.715	0.000	0.000	21600.0 00	0.000
L7	19.4543 - 0(7)	TP53.599x47.091x0.25	808860. 833	17344.6 99	20417.0 00	0.850	0.000	0.000	20417.0 00	0.000

Pole Shear Design Data

Section No.	Elevation ft	Size	Actual V lb	Actual f_v psi	Allow. F_v psi	Ratio $\frac{f_v}{F_v}$	Actual T lb-ft	Actual f_s psi	Allow. F_s psi	Ratio $\frac{f_s}{F_s}$
L1	144.35 - 126.23 (1)	TP24.5x20x0.125	2384.64 0	253.747 00	14400.0 00	0.036	7.586	0.807	14400.0 00	0.000
L2	126.23 - 103.28 (2)	TP29.95x23.44x0.125	3515.28 0	305.448 00	14400.0 00	0.043	7.587	0.538	14400.0 00	0.000
L3	103.28 - 80.955 (3)	TP35.244x28.73x0.188	4746.08 0	233.914 00	14400.0 00	0.033	7.587	0.260	14400.0 00	0.000
L4	80.955 - 59.3207 (4)	TP40.242x33.73x0.188	5991.26 0	259.261 00	14400.0 00	0.036	7.587	0.200	14400.0 00	0.000
L5	59.3207 - 38.8317 (5)	TP44.955x38.44x0.25	7197.74 0	209.841 00	14400.0 00	0.029	7.586	0.121	14400.0 00	0.000
L6	38.8317 - 19.4543 (6)	TP49.267x42.761x0.25	8391.30 0	222.261 00	14400.0 00	0.031	7.585	0.100	14400.0 00	0.000
L7	19.4543 - 0(7)	TP53.599x47.091x0.25	10074.4 00	236.792 00	14400.0 00	0.033	7.585	0.079	14400.0 00	0.000

Pole Interaction Design Data

Section No.	Elevation ft	Ratio $\frac{P}{F_c}$	Ratio $\frac{f_{bx}}{F_{bx}}$	Ratio $\frac{f_{by}}{F_{by}}$	Ratio $\frac{f_v}{F_v}$	Ratio $\frac{f_s}{F_s}$	Comb Stress Ratio	Allow. Stress Ratio	Criteria
L1	144.35 - 126.23 (1)	0.011	0.231	0.000	0.036	0.000	0.243	1.333	H1-3+VT ✓
L2	126.23 - 103.28 (2)	0.014	0.661	0.000	0.043	0.000	0.676	1.333	H1-3+VT ✓
L3	103.28 - 80.955 (3)	0.011	0.581	0.000	0.033	0.000	0.592	1.333	H1-3+VT ✓
L4	80.955 - 59.3207 (4)	0.014	0.754	0.000	0.036	0.000	0.768	1.333	H1-3+VT ✓
L5	59.3207 - 38.8317 (5)	0.012	0.635	0.000	0.029	0.000	0.648	1.333	H1-3+VT ✓
L6	38.8317 -	0.015	0.715	0.000	0.031	0.000	0.731	1.333	H1-3+VT ✓

tnxTower Grupo ITM, S.A. 2da Avenida 5-89 zona 6 L. Atitlicacion Los Alamos S.M.P. Km 18 Carretera a Villa Canales, Guatemala, C.A. Phone: (502) 6644-0000 FAX: (502) 2448-3460	Job	PL-04082014-P1	Page	27 of 27
	Project	Poste 44 metros / 60 Mph - Para Luminaria	Date	14:54:56 08/04/14
	Client	MECSA - Guatemala	Designed by	jagarcia

Section No.	Elevation β	Ratio $\frac{P}{F_u}$	Ratio $\frac{f_u}{F_{ux}}$	Ratio $\frac{f_u}{F_{uy}}$	Ratio $\frac{f_c}{F_c}$	Ratio $\frac{f_{ct}}{F_{ct}}$	Comb. Stress Ratio	Allow. Stress Ratio	Criteria
	19.4543 (6)								
L7	19.4543 - 0 (7)	0.019	0.850	0.000	0.033	0.000	0.869	1.333	H1-3+VT ✓

Section Capacity Table

Section No.	Elevation β	Component Type	Size	Critical Element	P lb	SP*P _{allow} lb	% Capacity	Pass/Fail	
L1	144.35 - 126.23	Pole	TP24.5x20x0.125	1	-2316.250	270585.659	18.2	Pass	
L2	126.23 - 103.28	Pole	TP29.95x23.443x0.125	2	-3196.550	299749.032	50.7	Pass	
L3	103.28 - 80.955	Pole	TP35.244x28.737x0.188	3	-4720.530	584201.889	44.4	Pass	
L4	80.955 - 59.3207	Pole	TP40.242x33.735x0.188	4	-6554.910	640270.532	57.6	Pass	
L5	59.3207 - 38.8317	Pole	TP44.955x38.448x0.25	5	-9160.750	987618.326	48.6	Pass	
L6	38.8317 - 19.4543	Pole	TP49.267x42.761x0.25	6	-12366.800	1087052.12	54.8	Pass	
L7	19.4543 - 0	Pole	TP53.599x47.091x0.25	7	-16862.199	1157911.73	65.2	Pass	
							5		
							Summary		
							Pole (L7)	65.2	Pass
							Base Plate	67.0	Pass
							RATING =	67.0	Pass

