

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN EN LAS TORRES DEL EOU

2.1. INSTALACIÓN Y TIPO DE LÁMPARA

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

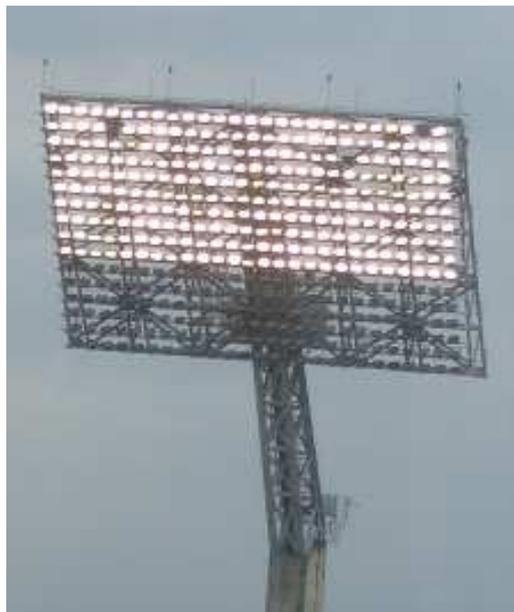


Figura 2.1 Luminarias por torre.

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

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

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

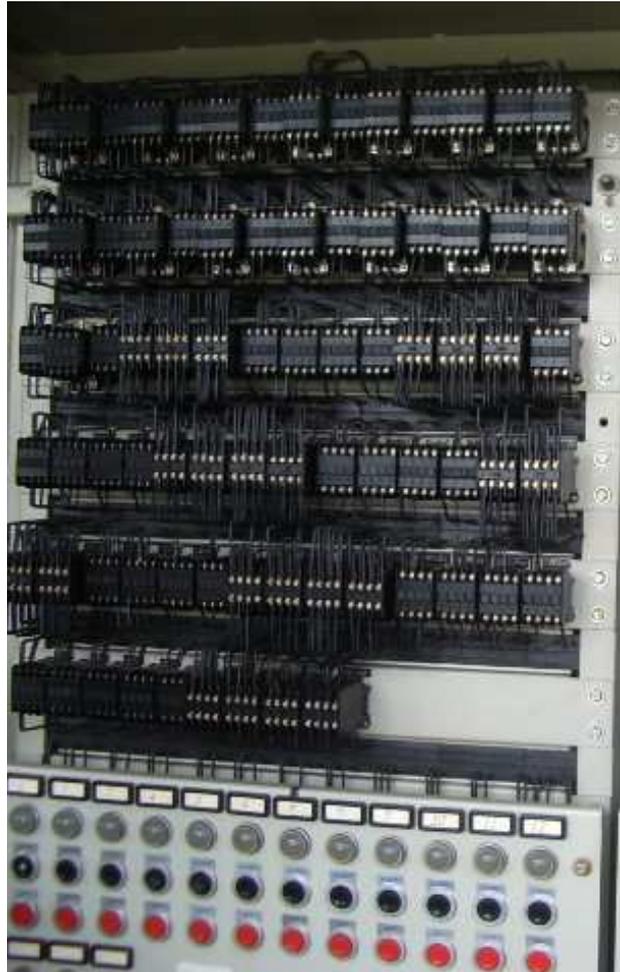


Figura 2.2 Gabinete de control "Palomar".

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

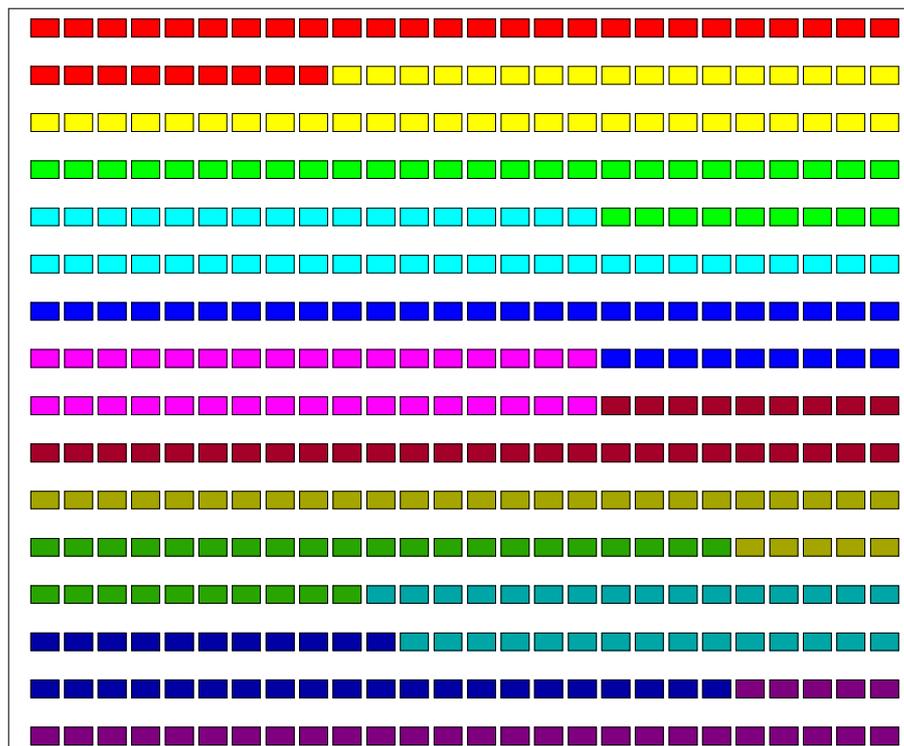


Figura 2.3 Circuitos por Torre

El modo de operación del encendido y apagado de las luminarias se explica a continuación: desde el cuarto de control se manda la señal a cada una de las subestaciones, de acuerdo a la torre y circuito que se desee encender; ahí en este punto llega a un gabinete de contactores que con la alimentación de la subestación¹¹ manda la señal a otro gabinete que está situado en cada una de las torres, de donde también se puede manipular el encendido de lámparas por medio de interruptores. En este gabinete los luminarias también están divididos en circuitos (12 como se había mencionado), pero cada circuito cuenta con 9

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

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

Cabe resaltar que éste sistema con el que se cuenta, es el segundo en la historia del Estadio Olímpico Universitario ya que en un principio se contaban con 6 torres de alumbrado, 3 encima del palomar y 3 más del lado contrario, en lo que ahora es el “Pebetero”. Pero este sistema fue sustituido para las Olimpiadas de México 68, así que no se cuenta con mucha información acerca de esto, puesto que ni siquiera existen planos que nos puedan revelar información¹².

De ésta manera es como se encuentra actualmente el control de las luminarias de las torres del Estadio de CU; aunque no se han presentado complicaciones importantes, se sabe que por el tiempo que tiene éste tipo de equipo ya necesitan un cambio, como, por ejemplo, los interruptores que ya están duros (algunos) ocasionando que cueste un poco de trabajo el cerrarlos o abrirlos. Sin dejar de mencionar a los relevadores que, de igual manera, necesitan mantenimiento¹³.

2.2. NIVELES DE ILUMINACION

Para proporcionar el mejor ambiente, la mejor visión al jugador y espectador, durante el desarrollo del partido, es necesario cumplir con las normas de iluminación; para comprobarlo se realizaron mediciones de los niveles de Iluminación por parte del PAE¹⁴ el día martes 27 de noviembre de 2007. Estas mediciones fueron tomadas en diferentes puntos de la cancha, que, con base a la Federación Mexicana de Fútbol, son destacados para la realización de esta actividad deportiva a partir de la siguiente distribución:

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

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

¹⁴ Proyectos de Ahorro de Energía de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

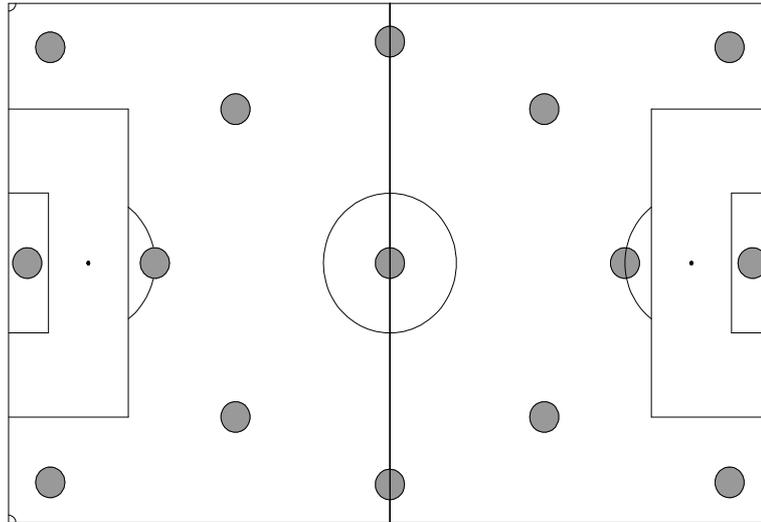


Figura 2.4 Distribución de los puntos para medición de los niveles de iluminación.

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

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

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

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

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

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

En la tabla 2.2r se puede apreciar que el valor de iluminancia promedio, cuando se encuentran encendidas todas las luminarias, es de 598 luxes. Sin embargo, la norma de la FIFA menciona que se requieren de por lo menos 500 lux para partidos nacionales de liga y clubes¹⁵ y además que el coeficiente de uniformidad sea de $U_1 = 0.4$ y $U_2 = 0.6$; el cual al calcularlo para éste caso particular nos resulta de $U_1 = 0.47$ y $U_2 = 0.70$ cumpliendo con la especificado por la normatividad de FIFA.

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

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

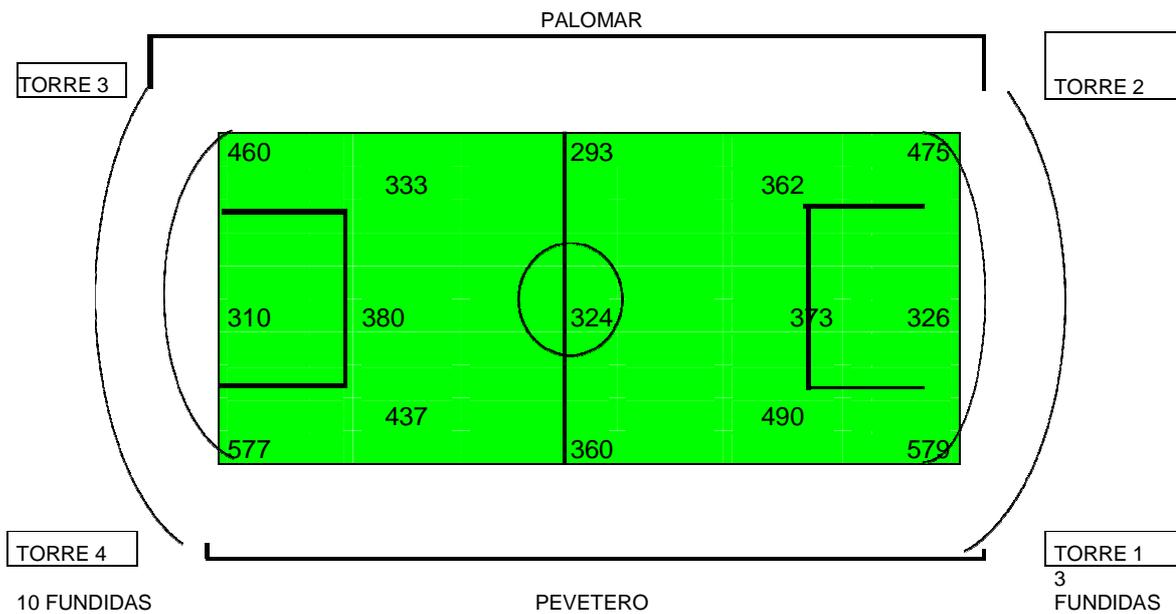
¹⁵ La norma de la FIFA lo menciona en la tabla que incluimos en el capítulo I, tabla 1.2.



Niveles de iluminación



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



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

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

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

2.3.- CARGA DEMANDADA POR EL ALUMBRADO

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

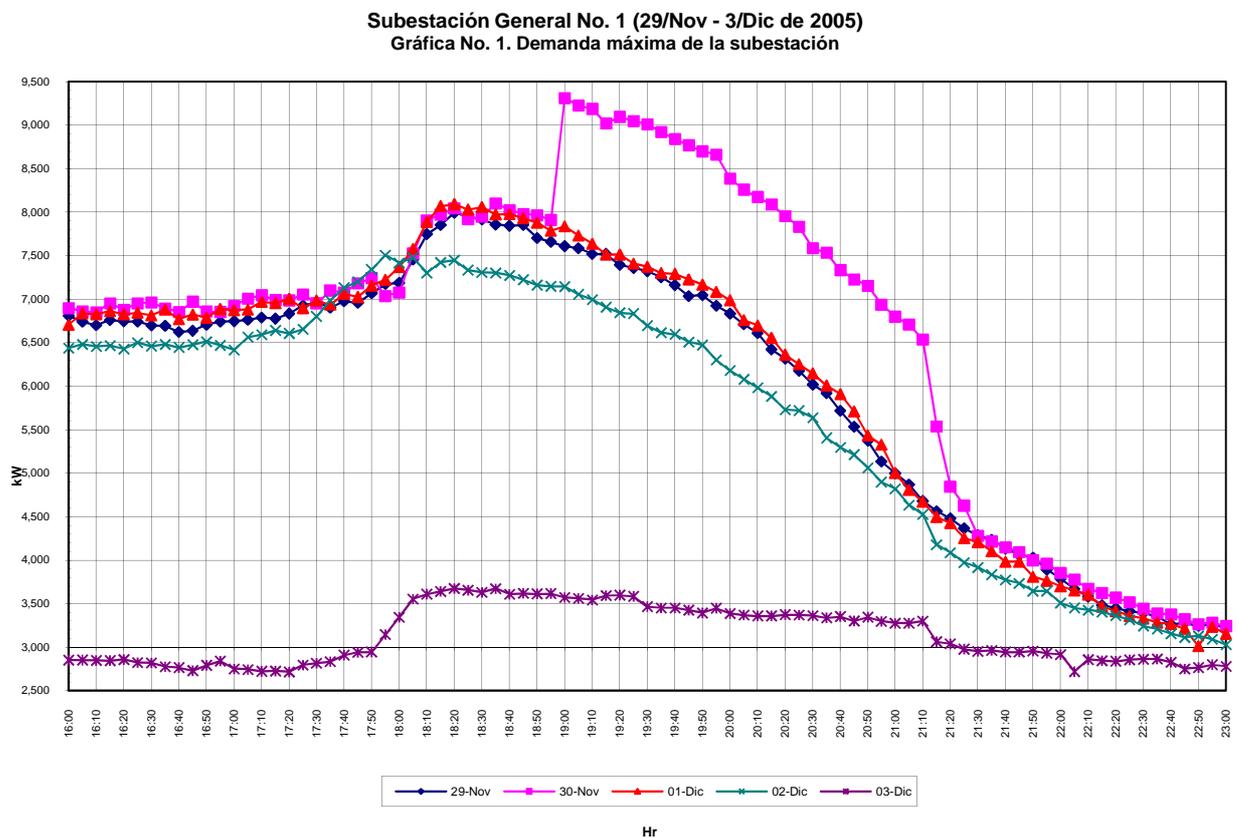


Figura 2.6 Demanda de consumo en la Subestación General No. 1¹⁶.

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

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

Con el fin de disminuir la carga y tener una menor demanda de energía eléctrica, pues el consumo en su total es elevado, en los partidos nocturnos más recientes se ha optado por alquilar plantas de emergencia para alimentar la carga de las torres y así no conectarse a la acometida de la compañía suministradora de energía eléctrica¹⁷ y de ese modo, obtener un ahorro en el consumo de energía eléctrica.

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

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

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

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

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

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

2.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.

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

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

Tabla 2.3 Demanda de las lámparas empleadas por torre.

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 2.4 Horarios tarifarios en H-M

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

$$DF = DP + FRI \cdot \max(DI - DP, 0) + FRB \cdot \max(DB - DPI, 0) \quad (2.2)$$

Donde:

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

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

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

Los valores de los factores de reducción *FRI*, *FRB* para la región tarifaria central se expresan en la tabla 2.5²⁰.

Región	FRI	FRB
Central	0.300	0.150

Tabla 2.5 Valores de FRI y FRB

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

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

Tabla 2.6 Parámetros para el cálculo de demanda facturable.

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

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

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

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

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

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

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

Tabla 2.7 Cargos facturables.

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

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

Tabla 2.8
consumo y

Resultados
costo²¹

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

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

DP	8,091 kW
DI	7,809 kW
DB	3,555 kW
DPI	7,950 Kw

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

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

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

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

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

Tabla 2.10 Resultados consumo y costo

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

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