

## DISEÑO DE ILUMINACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICO PARA EL CAMPO DEPORTIVO MULTIPROPÓSITO EN LA UDFJC SEDE FAMARENA.

1. Eric Leonardo Perico Caicedo

**Docente Asesor:** José Miguel Cepeda Rendón

**Semillero de Investigación:** Agua y Medio Ambiente

### RESUMEN

Este artículo, tiene como objetivo realizar un diseño que cumpla los reglamentos técnicos de Colombia para iluminación y alumbrado público, de igual manera en instalaciones eléctricas, esto, pensado en un escenario deportivo recreativo y multipropósito que integre el microfútbol, el voleibol y el basquetbol en un solo campo. Al mismo tiempo, busca postular la utilización de energías alternativas, como la energía solar fotovoltaica para este tipo de instalaciones.

Se logró en el diseño la disminución de la potencia consumida por cada bombilla, la eliminación de cables aéreos, y una notable mejora en términos de visibilidad en horas de la noche, estos resultados se obtuvieron mediante el pro-

grama DIALux 4.1, para el diseño de iluminación en exteriores, Google Earth para determinar la ubicación geográfica y, NASA-POWER con el que se estableció la radiación solar en el punto determinado. Se analizaron, los resultados con la literatura actualizada. El mejor diseño es el que cuenta con 4 luminarias, cada una de 8 metros de altura y bombillas LED de 300 watts- hora (DC), dirigidas en ángulos determinados para asegurar la uniformidad de lúmenes en el campo, estas luminarias son energizadas por un sistema solar aislado de corriente continua de 3.600 W/hora.

### PALABRAS CLAVES

Sistema fotovoltaico, energías renovables, desarrollo sostenible.

---

1. Proyecto Curricular Ingeniería Ambiental UDFJC- leoperico201511@gmail.com

## ABSTRACT

This article have the objective to carry out a design that reach technical regulations of Colombia for illumination and street lighting, in the same way in electrical installations, this about in a sport recreational and multipurpose field that joint microfutbol, volleyball and basketball. At the same time try to postulate the implementation of alternative energies, such a photovoltaic solar energy for this kind of facilities. The design got the decrease in the power consumed by each bulb, the elimination of aerial cables and a remarkable improvement for the visibility at the night, this results were obtained through DIALux 4.1, program for the outdoor lighting design, Google Earth to determinate the geographic location and NASAPOWER with wich established the solar radiation at the given point. The results were analyzed with updated literature. The best design is that have 4 luminaires, each with 8 meters high and LED bulbs of 300 watts- hour (DC), directed in a certain angles for ensure the lumen uniformity in the field, this luminaires

are energized by a isolated solar system of direct current of 3.600 W/hour.

## KEYWORDS

Photovoltaic system, renewable energy, sustainable development

## INTRODUCCIÓN

En Bogotá para la iluminación de espacios deportivos exteriores se utilizan bombillas de vapor de mercurio, estas tienen altos consumos energéticos y una vida útil corta. Debido a esto, estas bombillas se han venido cambiando por los diodos luminiscentes, más conocidos por sus siglas en inglés LED (*Light-Emitting Diode*), una tecnología muy prometedora en el mercado por su eficiencia energética, el control de las diferentes formas de contaminación lumínica y su capacidad de regulación por medios electrónicos (Dorremocha, 2012).

Para enero del 2019 en Bogotá se instaló la luminaria Led numero 80 mil y según el alcalde Enrique Peñalosa “para el final del año serán 150 mil las luminarias ya instaladas”,

adicional a esto, agregó que “la reducción del consumo es del 45% lo cual representa beneficios para el medio ambiente y a su vez, para disminuir costos de operación y funcionamiento”. (Capital, 2019)

Para los diseños de iluminación en campos deportivos en Colombia existe actualmente el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), donde en su apartado 560.3 se define un sistema de iluminación eficiente como aquel que, “además de satisfacer necesidades visuales y crear ambientes saludables, seguros y confortables, posibilite a los usuarios disfrutar de ambientes agradables, empleando los recursos tecnológicos más apropiados y evaluando todos los costos que se incurren en la instalación, operación y mantenimiento del proyecto de iluminación.”

Cerca del 3% de la energía generada para Bogotá es utilizada en alumbrado público, 95% de esa energía es obtenida por Hidroeléctricas que han cobrado un alto costo social, económico y ambiental. (Ortiz, 2013). Debido a esto, se ha impulsado el uso de energías renovables y se

pretende dar soluciones en términos económicos y energéticos a largo plazo, para esto se propone el uso de energía solar fotovoltaica en el abastecimiento energético del diseño. “Este tipo de energía permite convertir directamente la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, que consiste en generar una tensión eléctrica para producir una corriente eléctrica”. (Morales, 2014)

Se requiere un conjunto de equipos integrados para realizar tres funciones básicas: transformar, almacenar y entregar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica. (Morales, 2014). Para las instalaciones solares se encuentra el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, éste permite garantizar que: instalaciones, equipos y productos usados en la generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de la energía eléctrica, cumplan con los siguientes objetivos legítimos:

- La protección de la vida, la salud humana, la vida animal y vegetal.

- La preservación del medio ambiente.
- La prevención de prácticas que puedan inducir a error al usuario.

## MÉTODOS

El diseño se realizó para las instalaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales – sede Vivero, específicamente en el campo recreativo multideportivo ubicada en la latitud:  $4^{\circ}35'48.53''N$  y longitud:  $74^{\circ}3'52.00''O$ . A una altura de 2850 msnm. Con una temperatura promedio de  $14^{\circ}C$ .

Para esta propuesta primero se muestra la localización del proyecto seguido por una previa revisión de algunos conceptos y parámetros del reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP, seguido por el dimensionamiento, características de los elementos que se usaran para el sistema de iluminación y el sistema fotovoltaico. (RAMIREZ, 2019)

Para la simulación de los parámetros del diseño de alumbrado para canchas de recreación multipropósito se utiliza el programa DIALux

4.12. donde se obtienen los valores de: altura de instalación, potencia y flujo luminoso de las luminarias.

### Factor de pérdida

Como primer paso se debe suponer un factor de pérdida, que corresponde al porcentaje de la energía que supondremos se disipa por la eficiencia real de las baterías, los reguladores y los inversores.

Molina, 2016 recomienda “usar un factor de seguridad por encima del 20% de la energía estimada”. Esto siempre y cuando se utilicen baterías nuevas y de ciclo profundo de descarga. (Freddy, 2016)

### Angulo de inclinación

Es importante para asegurar la mejor eficiencia de los paneles solares, elegir el ángulo de inclinación adecuado que dependerá de su latitud y de la radiación promedio por un año del ángulo.

Según la UPME “Dadas las condiciones de operación y la ubicación geográfica de Colombia, el módulo o el campo fotovoltaico

debe orientarse de tal manera que las regiones de Colombia que están en el hemisferio norte tengan una inclinación no mayor de  $15^\circ$  con respecto a la horizontal y orientados hacia el sur. Para las regiones ubicadas en el hemisferio sur la inclinación no debería ser mayor a  $12^\circ$  con respecto a la horizontal y orientados hacia el norte. En todo caso, se recomienda que la inclinación no sea menor de  $10^\circ$  (BID, 2015)

### **Panel solar**

El componente más importante de los paneles es el silicio. La diferencia entre los tipos de paneles es la cantidad de silicio usado en su fabricación. Cuanto más puro es el silicio, mejor alineadas están sus moléculas, y mejor convierte la energía solar en electricidad.

Por tanto, la eficiencia de los paneles solares va de la mano con la pureza del silicio, pero los procesos para aumentar la pureza son muy caros. Por ello, a la hora de elegir un buen panel, lo mejor es tener en cuenta la relación coste-eficiencia por  $m^2$ .

El silicio cristalino es la base de las celdas monocristalinas y policristalinas. (Vélez, 2015)

Por el coste elevado actualmente el 80% de producción corresponde a paneles policristalinos.

Las células monocristalinas tienen mayor eficiencia que las policristalinas, así para poder captar la misma radiación solar se necesita menor superficie de captación cuando las células son monocristalinas. Por lo tanto, para una misma potencia de panel solar, el tamaño de los paneles monocristalinos es menor. Sin embargo, los paneles monocristalinos pueden dañarse si sufren de una sombra parcial ocasionada por suciedad, nieve o algún objeto extraño. Su eficiencia va del 15 al 21% para las mejores marcas y son más resistentes a altas temperaturas. (Vélez, 2015)

Por otro lado, los paneles policristalinos son más resistentes a sombras parciales. Tienen una eficiencia máxima del 15%. Y son notablemente más económicos. Son precisos cuando el área de instalación no está limitada. (AUTOSOLAR, 2019)

## Las baterías

Es muy importante que el dimensionamiento de las baterías sea enfocado a lograr la máxima cantidad de ciclos de descarga, esto está estrechamente ligado con el porcentaje de descarga al que las exponemos, para lograr el máximo número de ciclos de descarga que también se pueden identificar como los días de uso de la batería es necesario no exponer las baterías a una profundidad de descarga mayor al 30 % con esto tendremos una duración en las baterías de hasta 4 años. (Vélez, Tipos de baterías solares, 2015)

Los mejores tipos de baterías para los sistemas caseros son las baterías en tipo gel de plomo, que pueden ser ubicadas en cualquier posición, funcionan bien a bajas temperaturas y no requieren mantenimiento. También existen otros factores como la calidad de fabricación y el uso correcto que se tenga durante su funcionamiento. Para asegurar una larga vida de una batería es necesario una buena carga, tener suficiente capacidad de paneles solares para que la carga sea completa, una buena temperatura

en el lugar donde está instalada (a más temperatura la vida útil de una batería es más reducida). (Fernando, 2016)

## Regulador de Carga

Siempre que se cargan baterías de ciclo profundo con paneles solares se hace indispensable el uso de un controlador de carga en el circuito para proteger la batería contra sobre carga, y en algunos casos contra ciclos profundos de descarga. Para la selección del controlador solo es necesario tener en cuenta dos criterios importantes. (Vélez, Selección del regulador de carga, 2015)

El primer paso involucra seleccionar un controlador de carga que sea compatible con el voltaje del sistema, siendo 12, 24 y 48 Voltios las configuraciones más comunes.

El segundo paso consiste en seleccionar un controlador de carga con capacidad de trabajar con la corriente de salida máxima del panel solar (o paneles solares). La corriente máxima de un panel solar es la corriente de corto circuito Y puede verse en la etiqueta del panel o en hoja de especificaciones indi-

cada como  $I_{sc}$ . En días soleados por reflejo de superficies como nieve o agua, los paneles pueden producir una sobrecarga de corriente del 25% por lo que es necesario un factor de seguridad del 25% a la hora de elegir el mejor regulador de carga. (International, 2018).

## RESULTADOS

Con la ayuda de un decámetro, se obtuvieron las medidas del campo deportivo recreativo multipropósito para baloncesto, fútbol y voleibol: largo (L) = 28.05m; ancho (b)= 15.84m; Área (A)= (L\* b) = 444.31m<sup>2</sup>, la distancia entre luminarias (dl)= 16m.

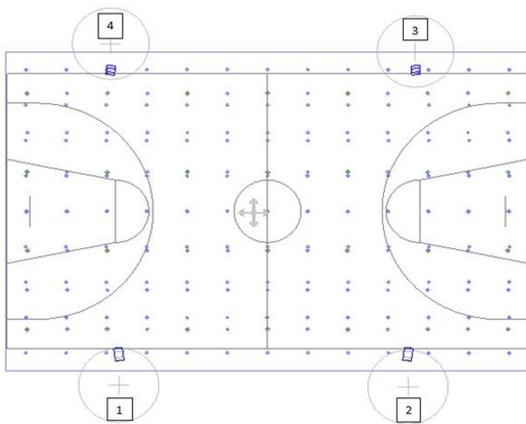


Imagen 1. Cancha múltiple.

Con estos datos se utilizó la fórmula de altura mínima de montaje del RETILAP

$$hm = \frac{W}{3} + SEP * \tan(O^\circ) \quad \text{Ecuacion No 1}$$

Donde:

hm = Altura mínima de montaje

W = Ancho campo deportivo

SEP = Distancia entre la luminaria y el campo deportivo.

O = Ángulo de montaje.

Tabla 1. Distancia entre la luminaria y el campo deportivo, ángulo de montaje, altura mínima de montaje.

Pos (No.)	SEP (m)	(°)	hm (m)	Hm (m)	Hp (m)
1	2.1	3	5.39	8	6
2	2.2	3	5.39	8	6
3	1.2	50	6.71	8	6
4	1.91	50	7.55	8	8

hm= Altura mínima de montaje.

Hm= Altura de montaje

Hp= Altura del poste

SEP= Distancia entre la luminaria y el campo deportivo.

O= Ángulo de montaje.

POS = Poste

Fuente: Autores 2019

Es necesario tres brazos extensores para alcanzar la altura de montaje (Hm) adecuada.

**Tabla 2.** Comparación consumo y horas de vida útil. Lámpara de vapor de mercurio y lámpara LED.

Lámpara	No. Lámparas	Consumo (W*hr)	Consumo (día)	Consumo total de lámparas	Horas de vida útil (hr)
Vapor de mercurio	4	400	4800	19200	15000
LED	4	300	3600	14400	50000

**Fuente:** Autores 2019

Se consiguieron los parámetros de diseño adecuados con una bombilla LED de 300 watts/hora alimentado por corriente directa a 24 V.

Consumo bombilla actual = 400. watts/hora alimentada por corriente alterna a 110 V.

Para el consumo diario se multiplicó este valor por el número de horas que esta encendida la bombilla en un día.

Consumo Iluminación = 400 watts/hora \* 12 horas\*día = 4800 watts-día.

Este valor multiplicado por el número de bombillas, nos da el consumo total por día de toda la iluminación del campo recreativo deportivo.

Consumo Campo Recreativo= 4800 watts-día \* 4 bombillas = 19200 watts-día.

**Tabla 3.** Diseño iluminación cancha múltiple / DIALux4.12 / Resumen.

E medio (lx)	E mínimo (lx)	E máximo (lx)	E min /E max
88	57	142	0.4

E= Iluminancia en luxes

**Fuente:** Autores 2019

Los valores arrojados por el programa corresponden al flujo luminoso (cantidad de luz emitida por una fuente. Lumen) y a la iluminancia horizontal (cantidad de flujo luminoso que cae sobre una superficie) de las bombillas representado en Luxes (lumen/m<sup>2</sup>).

**Tabla 4.** Resultados cálculos arreglo solar para cada luminaria.

Cons. (w*h)	No. pan.	No. Pan serie	No. Pan en paralelo	I regulador-entrada (Amp)	I regulador-salida (Amp)	Cap. nominal baterías (Amp*h)	No. baterías
3600	4	2	2	50	16	200	3

Cons. = Consumo.

No. Pan= Numero de paneles

No pan en serie= Numero de paneles en serie

No pan en paralelo= Numero de paneles en paralelo.

I regulador-entrada= Corriente del regulador a la entrada.

I regulador-salida= Corriente del regulador a la salida.

Cap. nominal baterías= Capacidad nominal de las baterías.

No. Baterías= Numero de baterías.

**Fuente:** Autores 2019

Se utilizo un día de autonomía para los cálculos.

Serán dos ramas en paralelo con dos paneles en serie por rama.

Se tomo una irradiancia (potencia o radiación incidente por unidad de superficie) promedio de los meses con valores más bajos. HSP (horas solar pico: corresponde al número de horas en que se dispone de una hipotética irradiancia solar constante de  $1000\text{W/m}^2$ ) =  $3.93\text{W/m}^2$ .

No es necesario del uso de Inversor ya que se propone utilizar bombillas de Corriente continua.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según el RETILAP (2010) La iluminancia horizontal necesaria para un campo deportivo determinado depende de:

- El nivel de competencia previsto para la cancha (recreativa, entrenamiento, torneos o profesional)
- El tipo de juego, que a su vez determina la velocidad y tamaño de la pelota, el movimiento de los deportistas y la distancia entre éstos y la pelota durante el juego.

Según los resultados obtenidos, el campo deportivo es para uso recreativo de balonces-

to, futbol y voleibol, RETILAP (2010) en su tabla número 550-3.1 ilustra los niveles de iluminancia horizontal en luxes y la uniformidad, recomendados de acuerdo con los criterios anteriores: Iluminancia horizontal (lx)= 60; Uniformidad = 0.33. Esto indica que el diseño cumple con los parámetros establecidos por el RETILAP los postes de cemento actuales son de mayor altura que la altura de montaje, por ende, no es necesario cambiarlos, bastara con una extensión metálica que acerca las bombillas a las líneas del campo deportivo. También menciona que los escenarios mayores a 500 m<sup>2</sup> necesitan certificación plena, por lo que en nuestro diseño no será necesario ya que el área del campo es de 440 m<sup>2</sup>.

Por otra parte, Herranz Dorremocha (2012) dice “Actualmente una luminaria de LED puede alcanzar en términos de rendimiento luminoso valores solo ligeramente por debajo de los que se obtienen con otras fuentes de luz tradicionales de tecnología actual como las lámparas de vapor sodio de alta presión (VSAP) o las lámparas de halogenuros metálicos (HM)

con quemador cerámico”. Se obtiene aproximadamente un 10 % más rendimiento luminoso (lm/W), pero si hablamos de la vida útil se obtiene una duración del 70 % más que en las lámparas de presión de mercurio. En nuestro caso de estudio se obtuvo un ahorro en el consumo diario de energía del 25 % con el cambio a bombillas LED.

Para el caso de Colombia, las fuentes disponibles de información de recurso solar indican que el país cuenta con una irradiación promedio de 4,5 kWh/m<sup>2</sup> /d (UPME, IDEAM, 2005), la cual supera el promedio mundial de 3,9 kWh/m<sup>2</sup> /d, y está muy por encima del promedio recibido en Alemania (3,0 kWh/m<sup>2</sup> /d), país que hace mayor uso de la energía solar FV a nivel mundial. (Morales, 2014) El resultado de irradiación para el diseño está muy cercano al promedio mundial y está por encima del promedio recibido en Alemania. Según (UPME, 2015)“Los factores de emisiones asociados con los sistemas solar FV se encuentran en el orden de 50 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh, frente a

valores por encima de 450 kg CO<sub>2</sub> eq/MWh para plantas operadas con combustibles fósiles”.

En Colombia la producción de energía primaria proviene de la hidroelectricidad, por la abundancia de agua en la mayoría de las zonas del país, y en un segundo lugar de los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), cuyas reservas ya se están agotando. (Colombia M. d., 2014). Según la Unidad de Planeación Minero-Energética (2015) en su balance de gas natural para Colombia concluye que con una oferta como la actual, se espera un déficit nacional para el año 2023, esto si no se toman medidas correspondientes. por esto el uso de recursos renovables como la energía solar permite superar la crisis energética mundial y contribuye a un medio ambiente más limpio.

La ley 1715 de 2014 dice en el artículo 7 “El Gobierno Nacional promoverá la generación con FNCE y la gestión eficiente de la energía mediante la expedición de los lineamientos de política energética, regulación técnica y económica, beneficios fiscales, campañas publicita-

rias y demás actividades necesarias, conforme a las competencias y principios establecidos en esta ley y las Leyes 142 y 143 de 1994”. El gobierno debería estar de acuerdo e impulsar este tipo de diseños en los campos deportivos de parques, colegios y universidades públicas.

Asimismo, en el artículo 19 dice “El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Vivienda y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el marco de sus funciones, fomentarán el aprovechamiento del recurso solar en proyectos de urbanización municipal o distrital, en edificaciones oficiales, en los sectores industrial, residencial y comercial”.

Por otro lado, según (Morales, 2014) Los módulos fotovoltaicos proveen corriente continua de 12 o 24 V, por lo que se requiere de un componente adicional, el inversor, que transforme, a través de dispositivos electrónicos, la corriente continua de 12 V a corriente alterna de 110 220 V. En el diseño no

se requiere inversor, ya que las bombillas son alimentadas de corriente directa de 12V.

## CONCLUSIONES

- El cambio a las bombillas LED genera un ahorro del 25 % en la energía utilizada por día con respecto a las bombillas de presión de mercurio actuales, de igual manera tendrán una vida útil mayor.
- Con la modelación del programa Dialux 4.1 se consiguió un promedio adecuado de luxes y una uniformidad adecuada para el desarrollo de actividades recreativas deportivas en: fútbol, baloncesto y voleibol según la norma técnica colombiana.
- En el lugar se cuenta con una irradiación solar suficiente para la instalación de un sistema solar fotovoltaico que de energía a la iluminación del campo deportivo multipropósito. Ya que es mayor al promedio mundial y mayor al promedio de países pioneros en la utilización de esta energía como lo son Francia y Alemania.

- La instalación de un sistema solar fotovoltaico impulsaría el uso de energías renovables, disminuyendo las emisiones de dióxido de carbono de igual manera serviría de ejemplo en la comunidad educativa de que si es posible la adaptación de estas tecnologías en nuestra sociedad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUTOSOLAR. (2019). *“Paneles Solare Policristalinos.”*. Bogotá: Retrieved June 05, 2020.
- BID, U. a. (2015). *Integración de Las Energías Renovables No Convencionales En Colombia*. Retrieved ([http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion\\_Energias\\_Renovables/INTEGRACION\\_EN](http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/INTEGRACION_EN)).
- Capital, C. (2019). 80.000 luminarias LED modernizan el alumbrado público de Bogotá. *Conexión Capital*.
- Colombia, C. d. (2014). *Por medio de la cual se regula la integración de las energías*

- renovables*. Bogotá: Gobierno de Colombia.
- Colombia, M. d. (2014). Colombia una potencia en energías alternativas. *Noticias, C. v. (s.f.)*.
- Dorremochea, C. H. (2012). LA ILUMINACIÓN CON LED Y EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACION LUMINICA. *ASTRONOMIA*, 36-39.
- Energía, M. d. (2013). *Reglamento técnico para instalaciones eléctricas*. Bogotá: Republica de Colombia.
- Fernando, M. ., (2016). *Instalación de Sistemas Solares Fotovoltaicos Individuales En Zonas No Interconectadas*.
- Freddy, M. F. (2016). “*Estudio de Factibilidad Para Un Sistema de Energía*”. Bogotá.
- Gómez-Ramírez, J. (2018). *LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA POTENCIALES ANTECEDENTES Y ESPECTATIVAS*. Bogotá: Universidad Santo Tomás.
- International, S. E. (2018). *Energía Solar*. Estados Unidos: SEI.
- Morales, S. R. (2014). Energía Solar Fotovoltaica. En S. R. Morales, *Fuentes de energía renovables y no renovables* (págs. 280-290). Chile: Alfaomega.
- Ortiz, A. M. (2013). *Análisis de la situación energética*. Bogotá: FEDESARROLLO.
- RAMIREZ, S. M. (2019). *ESTUDIO TÉCNICO DE APLICACIÓN DE ALUMBRADO*. BOGOTA: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Turismo, M. d. (2010). *RETILAP*. Bogotá: Republica de Colombia.
- UPME, M. d. (2015). Energía fotovoltaica. En T. G. Estrada, *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia* (págs. 40 - 43). Bogotá: La Imprenta Editores S.A.
- Vélez, J. (2015). *¿Qué debo saber de un panel solar?* Bogotá: Politécnico Industrial Nueva Colombia.
- Vélez, J. (2015). *Selección del regulador de carga*. Bogotá: Politécnico Industrial Nueva

Colombia.

Vélez, J. (2015). *Tipos de baterías solares*. Bogotá: Politécnico Industrial Nueva Colombia.