

Diseño de Poste de Iluminación Peatonal Autónomo y Resiliente

María de Fátima Vélez Torres

Programa: Maestría en Ingeniería en Ingeniería Civil

Mentor: Dr. Manuel E. Coll Borgo

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura

Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — *El propósito de este proyecto es el diseño de un sistema de iluminación para aceras autónoma, con enfoque en las situaciones donde haya fallas en el sistema de provisión de energía eléctrica. Específicamente eventos de vientos extremos como huracanes que es cuando ocurre la mayoría de los fallos en energía eléctrica. Este trabajo está fundamentado en investigaciones, estudios y análisis de las situaciones y causas por las cuales los postes de luz se desploman en Puerto Rico. Como resultado de la investigación se realizó un diseño de poste de luz resistente a los fuertes vientos y con iluminarias independientes del sistema de energía eléctrica actual el cual se mantendrá en servicio aun luego de un evento extremo de diseño.*

Palabras claves — *Fallas Eléctricas, Fuertes Vientos, Postes de Luz, Sistemas de Energía Solar.*

INTRODUCCIÓN

El propósito de este proyecto es diseñar un poste que sea autónomo y resiliente a eventos extremos de viento y que no se afecte por fallas estructurales o del sistema eléctrico como ha ocurrido en eventos anteriores de esta naturaleza. La necesidad de iluminación segura, resiliente, duradera y confiable es uno de los aspectos de mayor importancia en muchas partes del mundo. En respuesta, se busca diseñar un poste de iluminación que sea autónomo y resistente. El diseño parte de la necesidad de un poste resistente a vientos fuertes y que pueda funcionar con paneles solares y batería. Una de las consideraciones más importantes en el diseño y construcción para un sistema de alumbrado público solar es el material del poste. Los materiales que se utilizan generalmente incluyen hierro, acero, aluminio y hormigón. Su rendimiento y durabilidad dependerá de las propiedades de estos materiales [1].

El segundo factor más importante es la altura. Un poste de iluminación peatonal es un diseño que se usa en áreas con peatones y ciclistas, como aceras y caminos para bicicletas. Estos postes deben ser lo suficientemente altos para iluminar el área, pero no tan altos como para ser peligrosos para los peatones. A mayor altura se afecta el material utilizado en su construcción. La iluminación debe ser lo suficientemente brillante para permitir que los peatones vean a donde se están dirigiendo, pero no tan brillante como para causar deslumbramiento. El diseño del poste de iluminación peatonal debe ser resiliente para resistir el impacto de los peatones y las bicicletas, y debe ser capaz de resistir fuertes vientos.

Además, la iluminación es un elemento importante para la seguridad vial, especialmente en áreas peatonales. En muchas ciudades, la iluminación pública está conectada a la red eléctrica, lo que significa que, si hay una interrupción de luz, también habrá ausencia de iluminación. Por esta razón, es importante el desarrollo de un poste de iluminación peatonal con placas solares y batería especialmente en situaciones como huracanes o interrupciones eléctricas que prevengan la falta de iluminación prolongada.

FUNDAMENTO TEÓRICO

La investigación de este proyecto se basó en la búsqueda de diferentes fuentes de información procedentes de los daños causados por huracanes en Puerto Rico a través de los años. La información estudiada llevó a la identificación del problema eléctrico del país que se fundamenta no solo en la toma energética sino en el diseño del poste.

El ejemplo más importante sobre este tipo de emergencias en Puerto Rico está fundamentando en los problemas de energía eléctrica causados por el

huracán María que devastó a Puerto Rico el 20 de septiembre de 2017. Los fuertes vientos dañaron el sistema de luz eléctrica de la isla [1].

La isla estuvo alrededor de 11 meses sin luz, situación que no debería pasar en un tiempo tan prolongando, ya que el sistema de luz eléctrica en un país es la fundamental para su economía. La Figura 1 muestra una imagen obtenida de postes de luz que cayeron durante los fuertes vientos en el Huracán María.



Figura 1
Poste de Luz Caído por Fuertes Vientos

Puerto Rico por su localización geográfica está más expuesto a estos fenómenos que otros países. Una vez que se forma un huracán, los expertos pronostican su trayectoria y fuerza [2]. La clasificación de los huracanes es por categorías y se determina basado en la velocidad de los vientos sostenidos. En la actualidad existen cinco categorías que es descrita por la escala Saffir-Simpson. En la Tabla 1 se explica brevemente las diferentes categorías de huracanes y la velocidad del viento presente en ellos.

Tabla 1
Escala de Huracanes Saffir-Simpson

Categoría	Velocidad del viento
1	74-95 mph
2	96-110 mph
3	111-129 mph
4	130-156 mph
5	157 mph o mas

Para determinar la velocidad de diseño se utilizan los siguientes códigos: Puerto Rico Building Code (PRBC) y el American Society of Civil Engineers (ASCE) [3]. Haciendo uso de la

tabla 1604.5 de categoría de riesgos de la ASCE y la velocidad que presenta el ASCE para la categoría de riesgo IV. Adicional haciendo uso de la página Hazards by Location se determinó que velocidad del viento ideal para el diseño del poste es de 214 mph para categoría de riesgo IV que es para estructuras de facilidad esencial. La tabla utilizada para identificar la categoría de riesgo es presentada en la figura 2.

RISK CATEGORY	NATURE OF OCCUPANCY
I	Buildings and other structures that represent a low hazard to human life in the event of failure, including but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Agricultural facilities. • Certain temporary facilities. • Minor storage facilities.
II	Buildings and other structures except those listed in Risk Categories I, III and IV <ul style="list-style-type: none"> • Buildings and other structures that represent a substantial hazard to human life in the event of failure, including but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Buildings and other structures whose primary occupancy is public assembly with an occupant load greater than 300. • Buildings and other structures containing elementary school, secondary school or day care facilities with an occupant load greater than 250. • Buildings and other structures containing adult education facilities, such as colleges and universities, with an occupant load greater than 500. • Group I-2 occupancies with an occupant load of 50 or more resident care recipients but not having surgery or emergency treatment facilities. • Group I-3 occupancies. • Any other occupancy with an occupant load greater than 5,000^a. • Power generating stations, water treatment facilities for potable water, waste water treatment facilities and other public utility facilities not included in Risk Category IV. • Buildings and other structures not included in Risk Category IV containing quantities of toxic or explosive materials that: <ul style="list-style-type: none"> • Exceed maximum allowable quantities per control area as given in Table 307.1(1) or 307.1(2) or per outdoor control area in accordance with the <i>International Fire Code</i>; and • Are sufficient to pose a threat to the public if released^b.
III	Buildings and other structures designated as essential facilities, including but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> • Group I-2 occupancies having surgery or emergency treatment facilities. • Fire, rescue, ambulance and police stations and emergency vehicle garages. • Designated earthquake, hurricane or other emergency shelters. • Designated emergency preparedness, communications and operations centers and other facilities required for emergency response. • Power-generating stations and other public utility facilities required as emergency backup facilities for Risk Category IV structures. • Buildings and other structures containing quantities of highly toxic materials that: <ul style="list-style-type: none"> • Exceed maximum allowable quantities per control area as given in Table 307.1(2) or per outdoor control area in accordance with the <i>International Fire Code</i>; and • Are sufficient to pose a threat to the public if released^b. • Aviation control towers, air traffic control centers and emergency aircraft hangars. • Buildings and other structures having critical national defense functions. • Water storage facilities and pump structures required to maintain water pressure for fire suppression.
IV	Buildings and other structures containing quantities of highly toxic materials that: <ul style="list-style-type: none"> • Exceed maximum allowable quantities per control area as given in Table 307.1(2) or per outdoor control area in accordance with the <i>International Fire Code</i>; and • Are sufficient to pose a threat to the public if released^b.

a. For purposes of occupant load calculation, occupancies regulated by Table 1006.1.2 to use gross floor area calculations shall be permitted to use net floor area to determine the total occupant load.
b. Where approved by the building official, the classification of buildings and other structures as Risk Category III or IV based on these quantities of toxic, highly toxic or explosive materials is permitted to be reduced to Risk Category II, provided it can be demonstrated by a hazard assessment in accordance with Section 1.5.3 of ASCE 7 that a release of the toxic, highly toxic or explosive materials is not sufficient to pose a threat to the public.

Figura 2
Tabla de Categorías de Riesgo del ASCE

Según indica el ASCE 7-16 los edificios designados como instalaciones esenciales incluyen instalaciones generadoras de energía y otras de servicios públicos [3]. Se puede decir que cualquier estructura que resguarde alguna necesidad esencial o básica de la vida cotidiana es una facilidad esencial. Un poste de iluminación es considerado una facilidad esencial por lo cual se seleccionó la categoría IV para este diseño.

Los postes de luz son un material fundamental para los proyectos eléctricos. Son estructuras que se utilizan para dar soporte a la infraestructura eléctrica, cableado, elementos de telecomunicaciones, entre otros. Los elementos más comunes que soportan los postes son cables eléctricos, transformadores, luminarias, cámaras de seguridad, y elementos de fibra óptica. Existen diferentes tipos de postes, entre estos se encuentran:

- Postes de madera- Son de madera tipo ciprés o secoya que tiene buena resistencia a la humedad y mayor durabilidad.
- Postes de fibra de vidrio- Están fabricados con poliéster reforzado con fibra de vidrio, material resistente y duradero frente a la intemperie.
- Postes de hormigón: generalmente se construyen con varillas de acero, alambre y hormigón armado.
- Postes metálicos- Son de acero galvanizado en caliente, que en su mayoría son fraccionados.

CRITERIOS Y METODOLOGÍA DE DISEÑO

El Departamento de Transportación [4] establece en la especificación 612 del sistema de iluminación de carreteras en el enunciado c para los estándares de iluminación de concreto indican que:

- Los postes de concreto deben ser instalados directamente sobre el suelo o como indique el plano. Si estos son instalados en el suelo se debe hacer un hoyo de 5 pies de profundidad para instalar el poste.
- Las fundaciones para el estándar de iluminación y pedestales deben ser de hormigón simple o reforzado conforme a los detalles que muestre el plano o diseño.
- Entre los requisitos para estructuras asignadas a la categoría de diseño sísmico D específicamente para los postes. Si los postes son como columnas empotradas en la tierra o en zapatas de hormigón, se utilizan para resistir cargas laterales. La profundidad de empotramiento requerida para que los postes resistan fuerzas sísmicas se determina mediante la investigación y resultados de la fundación.

Las características seleccionadas para el poste trabajado para este diseño están descritas a continuación. El material de construcción es de concreto con forma rectangular y en el tope tiene una base con un hueco en el que se incrustará la luminaria. En la figura 3 se muestra una imagen que provee un ejemplo del poste a trabajar en este diseño.



Figura 3
Ejemplo del Diseño del Poste

Las dimensiones del poste son 15 pies de altura, 1 pies con 6 pulgadas de ancho y 1 pies 6 pulgadas de profundidad. Con las dimensiones y características del poste diseñado y un diagrama de las diferentes cargas presentadas en la figura 4 se realizan los cálculos para el análisis estructural del poste.



Figura 4
Diagrama de Cargas para Análisis Estructural

Para las cargas del viento según establece el código ASCE 7-16 se utiliza (1).

$$F = qz * G * Cf * A \quad (1)$$

El poste diseñado tiene una forma rectangular o por lo que para determinar el área se debe utilizar la presentada en la (2).

$$A = a \times b \quad (2)$$

Es importante determinar el coeficiente de fuerza neta, el cual se encuentra en la figura 29.4-1 del ASCE 7-16 presentada en la figura 5. Sin embargo, para determinar el Cf se debe utilizar la presentada en la (3).

Force Coefficients, C_f				
Cross Section	Type of Surface	h/D		
		1	7	36
Square (wind normal to face)	All	1.3	1.4	2.0
Square (wind along diagonal)	All	1.0	1.1	1.5
Hexagonal or octagonal	All	1.0	1.2	1.4
Round, $D_s/q_s \leq 2.5$	Moderately smooth	0.5	0.6	0.7
$D_s/q_s > 5.3$ (in S.I.)	Rough ($D'/D=0.02$)	0.7	0.8	0.9
Round, $D_s/q_s \leq 2.5$	Very rough ($D'/D=0.08$)	0.8	1.0	1.2
$D_s/q_s > 5.3$ (in S.I.)	All	0.7	0.8	1.2

Notation
 D = Diameter of circular cross section and least horizontal dimension of square, hexagonal, or octagonal cross sections at elevation under consideration, in ft (m)
 D' = Depth of protruding elements such as ribs and spoilers, in ft (m)
 h = Height of structure, in ft (m)
 q_s = Velocity pressure evaluated at height z above ground, in lb/ft² (N/m²).

Notes
1. The design wind force shall be calculated based on the area of the structure projected on a vertical plane normal to the wind direction.
The force shall be assumed to act parallel to the wind direction.
2. Linear interpolation is permitted for h/D values other than shown.

Figura 5

Figura Utilizada para Coeficiente de Fuerza Neta

$$\frac{h}{D} \quad (3)$$

La presión del viento es uno de los análisis estructurales más importantes a tomar en cuenta al momento de realizar un diseño estructural y este se obtiene mediante la (4). Es de suma importancia recordar que la velocidad de diseño a utilizar en este proyecto es de 214 mph. La velocidad fue determinada utilizando el Hazards by Location.

$$q_z = 0.00256 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 \quad (4)$$

Otro elemento importante para considerar para el análisis estructural es el coeficiente de velocidad de exposición. Para este se utiliza la tabla que muestra el código ASCE 7-16 y se presenta en la figura 6. En este caso la altura del poste es de 15 pies y en el ASCE se especifica que el Exposure C es para terreno abierto, los postes de luz son utilizados en este tipo de terreno. Por lo que se debe utilizar el valor para 0 a 15 pies de altura en la exposición C que es $K_z=0.85$

Table 26.10-1 Velocity Pressure Exposure Coefficients, K_z and K_d

Height above Ground Level, z	Exposure			
	B	C	D	
ft	m			
0-15	0-4.6	0.57 (0.70) ^a	0.85	1.03
20	6.1	0.62 (0.70) ^a	0.90	1.08
25	7.6	0.66 (0.70) ^a	0.94	1.12
30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18.0	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34
80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.40
100	30.5	0.99	1.26	1.43
120	36.6	1.04	1.31	1.48
140	42.7	1.09	1.36	1.52
160	48.8	1.13	1.39	1.55
180	54.9	1.17	1.43	1.58
200	61.0	1.20	1.46	1.61
250	76.2	1.28	1.53	1.68
300	91.4	1.35	1.59	1.73
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

^aUse 0.70 in Chapter 28, Exposure B, when $z < 30$ ft (9.1 m).

Figura 6

Tabla de Coeficiente de Exposición del ASCE 7-16

Adicional para continuar este análisis se debe determinar el factor direccional del viento y factor topográfico. En este caso para el factor direccional el k_d se utiliza la tabla 26.6-1 del ASCE 7-16 presentada en la figura 7 y para el factor topográfico se utiliza 1 para terrenos planos.

Table 26.6-1 Wind Directionality Factor, K_d

Structure Type	Directionality Factor K_d
Buildings	
Main Wind Force Resisting System	0.85
Components and Cladding	0.85
Arched Roofs	0.85
Circular Domes	1.0 ^a
Chimneys, Tanks, and Similar Structures	
Square	0.90
Hexagonal	0.95
Octagonal	1.0 ^a
Round	1.0 ^a
Solid Freestanding Walls, Roof Top Equipment, and Solid Freestanding and Attached Signs	0.85
Open Signs and Single-Plane Open Frames	0.85
Trussed Towers	
Triangular, square, or rectangular	0.85
All other cross sections	0.95

^aDirectionality factor $K_d=0.95$ shall be permitted for round or octagonal structures with nonaxisymmetric structural systems.

Figura 7

Tabla para Factor Direccional del Viento del ASCE 7-16

En este caso el diseño es un poste cuadrado y en la tabla no especifica un factor para este tipo de estructuras, pero si similares y da un valor para todas las secciones de otros tipos. Pero en este caso no se hace un análisis en ambas direcciones por lo que el K_d a utilizar es 1. También se debe conocer

el factor topográfico para suelo plano así que el valor a utilizar es 1,

Otro elemento importante que considerar es el factor de respuesta de ráfaga. A pesar de que el ASCE 7-16 presenta diferentes métodos para encontrar este valor es significativo considerar que un poste de luz en concreto es una estructura rígida, por lo que utilizar la (5) en este diseño es lo correcto para evaluar este factor.

$$G = 0.925 \left(\frac{1+(0.7*gq+Iz*Q)}{1+(0.7*gv+Iz)} \right) \quad (5)$$

Importante que el factor de respuesta de ráfaga tiene varios elementos que se deben determinar y conocer para poder obtener el resultado, Por lo que se deben utilizar (6), (7), (8) y (9).

$$Iz = c \left(\frac{33}{z} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (6)$$

$$\bar{z} = 0.6 * h \quad (7)$$

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1+0.63\left(\frac{B+h}{Lz}\right)}} \quad (8)$$

$$Lz = 1 \left(\frac{\bar{z}}{33} \right)^E \quad (9)$$

Para estos datos se debe considerar que gq y gv ya están establecidos por el ASCE 7-16 como 3.4. Mientras que para los demás valores a utilizar para continuar con la determinación del factor de respuesta de ráfaga se utiliza la tabla 26.11-1 del ASCE presentada en la figura 8.

Table 26.11-1 Terrain Exposure Constants

Customary Units										
Exposure	z	z_g (ft)	a	b	c	e	f (ft)	d	z_{min} (ft) ^a	
B	7.0	1,200	1.70	0.84	1/4.0	0.45	0.30	320	1/3.0	30
C	9.5	900	1.95	1.00	1/6.5	0.65	0.20	500	1/5.0	15
D	11.5	700	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	650	1/8.0	7

SI Units										
Exposure	z	z_g (m)	a	b	c	e	f (m)	d	z_{min} (m) ^a	
B	7.0	365.76	1.77	0.84	1/4.0	0.45	0.30	97.54	1/3.0	9.14
C	9.5	274.32	1.95	1.00	1/6.5	0.65	0.20	152.40	1/5.0	4.57
D	11.5	213.36	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	198.12	1/8.0	2.13

^a z_{min} = minimum height used to ensure that the equivalent height z is the greater of 0.60 or z_{min} . For buildings or other structures with $h \leq z_{min}$, z shall be taken as z_{min} .

Figura 8
Tabla para Constantes de Terreno de Exposición

Sin embargo, se debe resaltar que en este diseño el poste tiene una base de concreto en el tope por lo que se debe tomar en cuenta la carga

que el viento ejerce en esta parte alta del poste, para esto se debe utilizar la (10).

$$P = qh * G * CN \quad (10)$$

En este caso el coeficiente de respuesta de ráfaga puede ser utilizado como 0.85, que es el valor estándar para estructuras rígidas según se indica en la sección 26.11 del ASCE 7-16. El Kz se obtiene de la tabla 26.10-1 que es presentada en la figura 5 y en este caso se utilizó el coeficiente para componentes y revestimiento que es $Kz=0.85$.

El análisis del esfuerzo cortante y momento flector fue determinado y analizado utilizando el código ACI-318 [5]. Primero es importante determinar el área mínima de refuerzo y para esto de utiliza la (11). Para la misma se debe tomar en cuenta el radio mínimo de refuerzo requerido como 0.01 ya establecido por el ACI-318.

$$As = pg * Ag \quad (11)$$

Uno de los elementos principales en esta sección del análisis al diseño estructural del poste es el momento nominal por flexión (12). Para determinar el momento nominal se deben utilizar la (13), (14) y (15). Junto con estos elementos de puede determinar la resistencia de diseño a la flexión utilizando la (16).

$$Mn = As * fy \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (12)$$

$$a = \frac{As * fy}{0.85 * f'c * b} \quad (13)$$

$$c = \frac{a}{\beta 1} \quad (14)$$

$$\phi t = \frac{dt - c}{c} * 0.003 \quad (15)$$

$$\phi Mn = \phi * f'c * a * b \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (16)$$

Sin embargo, otros factores importantes al momento de analizar un diseño estructuralmente se debe determinar la resistencia nominal al corte, el mínimo de refuerzo de corte requerido y la resistencia de corte que provee el refuerzo. Para estos se utilizan (17), (18), (19).

$$V_c = 2 * b_w * d * \text{sqrt}(f'c) \quad (17)$$

$$A_v = \frac{50 * b_w * s}{f_y} \quad (18)$$

$$V_s = A_v * f_y * \left(\frac{d}{s}\right) \quad (19)$$

El momento último de resistencia, la carga axial y la fuerza cortante ultima son otros aspectos importantes que deben ser evaluados al momento de realizar un diseño y para estos se utiliza (20), (21) y (22).

$$M_u = F * x \frac{L}{2} \quad (20)$$

$$P_u = \phi * P \quad (21)$$

$$V_u = V_d + V_w \quad (22)$$

Es importante evaluar las fuerzas en la parte superior del poste, tanto el momento como la fuerza cortante y para esto se utiliza (23) y (24).

$$M = -(qh * x * a) + (qz * x * h) \quad (23)$$

$$P = P_u + (qh * x * A) \quad (24)$$

También es importante evaluar las combinaciones de momento aceptable y capacidades axiales estructurales del poste y para esto se utiliza el diagrama de interacción del ACI 318-19 presentado en la figura 9.

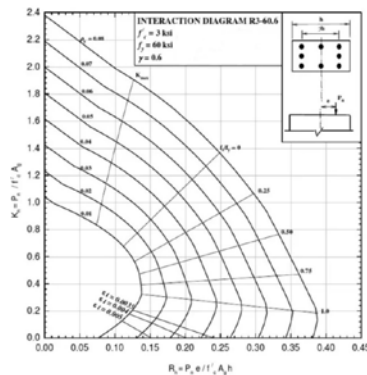


Figura 9

Diagrama de Interacción L4-60.7 del ACI 318-19

Para un diseño conservador se utiliza $\phi=0.65$, se debe evaluar K_n y R_n para el diagrama y esto se realiza utilizando las (23) y (24).

$$K_n = \frac{P_n}{f'c * A_g} \quad (23)$$

$$R_n = \frac{P_n * e}{f'c * A_g * h} \quad (24)$$

En adición es importante conocer la posición en la que se encuentra el diseño en el diagrama de interacción. Para conocer la posición es importante que conocer la densidad y para eso se utiliza la (25).

$$\rho = \frac{A_s}{h * x * h} \quad (25)$$

Como se ha destacado una parte importante del diseño del poste es la luminaria. Esta debe cumplir con el objetivo principal de proveer iluminación en momentos de fallas en el sistema de luz eléctrica. En la selección de esta se tomaron en cuenta los requerimientos para los lúmenes, color de temperatura para las luminarias establecidas para iluminación peatonal. Según el “Lighting Design Guidance” de la guía de diseños de carretera global, la temperatura de color utilizada en peatones es de 3,000 K y 5,000 K para el tránsito de vehículos [6]. En la figura 10 se presenta la luminaria escogida para ser instalada en la base del poste.



Figura 10

Luminaria en Forma de V (Suburbana Solar LED)

La luminaria utilizada en este diseño es la lampara suburbana solar todo en uno de 1,000 W. Esta luminaria tiene varias características que

ayudaron a su selección para este diseño. Algunas de las ventajas y características de esta luminaria son:

- Luz solar – super brillante
- No consume energía – 0 consumo
- Alto lumen en la superficie – para mejor visibilidad de las personas
- Alto rango con luz – aproximadamente 30 pie de cobertura
- Cubre tanto el área de la carretera como el área de la acera con bastante claridad
- No necesita mantenimiento
- Se carga entre 6 a 8 horas durante el día. En días con bastante sol 6 hora y con poca luz solar 8 horas.
- Trabajan todo el tiempo sin importar si hay o no energía eléctrica.
- Pueden durar un tiempo de descarga de más de 18 horas – por lo que es difícil no tener luz.
- La vida útil de estas lámparas puede llegar a más de 6 años- es decir, con cero mantenimientos y solo hay que hacer un cambio de la luminaria en ese largo tiempo.
- Su encendido y apagado es automático.
- Para aquellos días donde los efectos atmosféricos traen mucha lluvia con carga completa puede durar 36 horas en modo tenue.
- Se puede ajustar el nivel del brillo en varios niveles.
- Tiene una iluminación bidireccional (ángulo de 220 grados) en forma de V en comparación con la luz de calle tradicional de 180 grados.
- Además, está instalada en un poste que en la parte superior donde va la lámpara tiene una inclinación hacia el centro de la calle para cubrir la mayor área disponible en comparación con las tradicionales que están totalmente enfocada hacia abajo en 90 grados con respecto al poste.
- Área de iluminación sobrepasa los 2000 pies cuadrados para una altura entre 16 a 26 pies, lo que hace posible la disminución de los puntos ciegos (sin luz) entre los postes.

- Las lámparas son impermeables. El material es a prueba de rayos, lluvia, oxidación entre otras.
- Temperatura de trabajo está entre -22° F a 140° F, así que en el clima de Puerto Rico trabajará de forma excelente.
- Fácil de instalar (montaje y desmontaje).
- Poco peso – oscilan aproximadamente entre 10 a 18 libras.
- El tamaño (aprox. 1' x 2.5') hace posible el fácil manejo de esta luminaria.

Para la luminaria es importante conocer la iluminación horizontal y la intensidad luminosa real. En este caso para el poste a diseñar de 20 ft con una altura útil de 16 ft utilizando el método punto a punto para determinar el nivel de iluminación. Utilizando las (26) y (27) se puede analizar el nivel de iluminación en el plano horizontal y la intensidad luminosa real.

$$EH = \frac{Ir}{H^2} * \cos \theta^3 \quad (26)$$

$$Ir = \frac{I_g * \phi_1}{1000} \quad (27)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de realizar el análisis estructural del diseño, utilizando las formulas necesarias según establecido en los códigos de diseño utilizados para el diseño de este poste, los resultados obtenidos se presentan en la tabla 2.

Tabla 2
Resultados de los Cálculos del Análisis

Factor o Elemento	Valor
Area del poste	22.5 ft ²
Coefficiente de fuerza neta Cf	1.5
Coefficiente de velocidad de exposición (Kz)	0.85
Factor direccional del viento (Kd)	1
Factor topográfico (Kzt)	1
Presión del viento (qz)	99.65 lb/ft ²
Factor de respuesta de ráfaga (G)	0.91
Carga del viento (F)	3,060.5 lbs
Coefficiente de velocidad de exposición en el tope del poste (Kz)	0.85
Factor topográfico en el tope del	1

poste (Kzt)	
Coefficiente de presión neta (CN)	2.4 (0°)
Presión de velocidad en el tope del poste (qh)	84.7 lb/ft ²
poste (qh)	
Presión del viento en el tope del poste (P)	172.79 lb/ft ² (0°)
(F)	
Carga del viento en el tope del poste (F)	1,166.33 lbs (0°)
(F)	
Area mínima de refuerzo (As)	3.24 in ²
Momento nominal por flexión (Mn)	3,190 kip.in
Resistencia de diseño a la flexión (ØMn)	2,871 kip.in
Resistencia nominal al corte (Vc)	40.98 kips
Carga muerta (D)	5,056.76 lb
Momento factorizado (Mu)	31,701.23 lb
Momento en el tope del poste (M)	1,367.7 lb/ft
Fuerza cortante en el tope del poste	3,815.11 lb/ft
Carga axial (Pu)	3,433.96 lbs (0°)
Fuerza cortante última (Vu)	7,131.94 lb
Mínimo requerido de refuerzo de corte (Av)	0.135 in ²
Resistencia de corte por el refuerzo (Vs)	16.2 kips
Kn-poste (diagrama de interacción)	0.004
Kn tope	0.003
Rn-poste	0.02
Rn tope	0.01
Densidad	0.01
Nivel de Iluminación	159.12 lux
Intensidad luminosa	11,250 cd

Analizando todos los resultados obtenidos se puede mostrar la posición en el diagrama de interacción marcado en la figura 11.

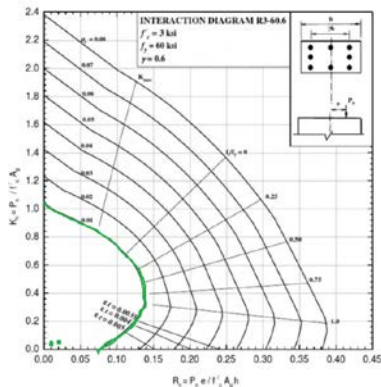


Figura 11
Posición en el Diagrama de Interacción

Luego de este análisis con todo el análisis realizado se pasa a la etapa de diseño.

DISEÑO

El poste diseñado se realizó tomando en cuenta diferentes requerimientos y datos obtenidos en la investigación realizada. La altura del poste es de 15 pies, utilizando la altura requerida por los códigos de diseño de luminaria que para peatones es de 15 a 20 pies. El ancho del poste es de 1 pie 6 pulgadas y la profundidad de 1 pies 6 pulgadas en el tope. El poste termina con una base de 3 pies. En esta base en el centro se encuentra un hueco en el cual se introduce la luminaria. El diseño del poste se presenta en la figura 12 con las dimensiones descritas anteriormente. La estructura que incluye el poste, la base y la zapata fue realizado utilizando el programa Auto Cad.

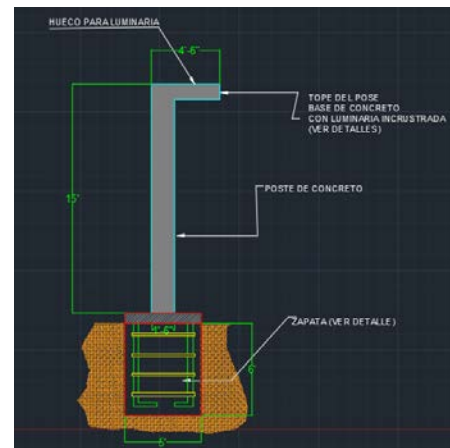


Figura 12
Diseño del Poste con sus Dimensiones

La luminaria tiene un tamaño de 1 pie de ancho y 2 pies 6 pulgadas de largo, por lo que el hueco de la base del poste tiene estas dimensiones para la fácil instalación de la luminaria. Los detalles de la base se presentan en las figuras 13 y 14, estos fueron realizados usando el programa Auto Cad.

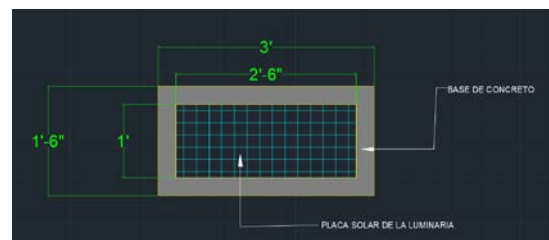


Figura 13
Detalles de la Base y Tope de Luminaria con Placa Solar

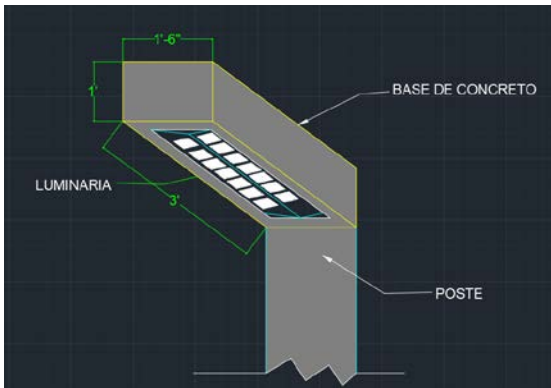


Figura 14
Diseño de la Base con la Luminaria Instalada

Con los cálculos realizados en el análisis estructural se determinó que la varilla requerida para el poste son 3 varillas #10 a 6 pulgadas y para el tope en el poste 6 varillas #8 a 6 pulgadas. En las figuras 15 y 16 se presentan los detalles estructurales del poste y la base del tope del poste.

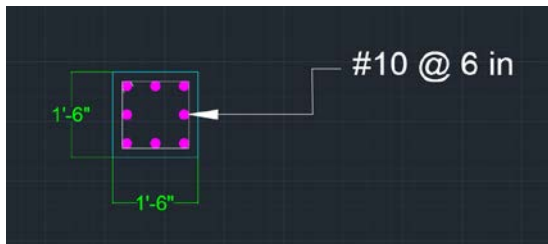


Figura 15
Detalle Estructural de Sección del Poste

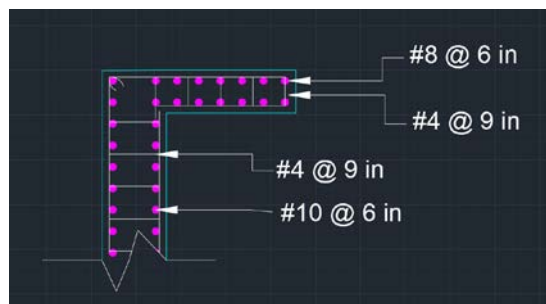


Figura 16
Detalle Estructural del Poste

El detalle estructural de la fundación es establecido en el manual de alumbrado público de la Autoridad de Energía Eléctrica [7]. Entre las especificaciones establecen que la base debe ser de 4 pies de ancho y 5 pies 6 pulgadas de alto. En este caso el diseño se realizó de 6 pies de alto y 5 pies de ancho. Además, según los requerimientos en la información estudiada se indica el concreto debe

ser de 3,000 psi y soportar un peso máximo de 700 libras, ambas exigencias están incluidas en el diseño presentado. En la figura 17 se presenta un dibujo realizado en Auto CAD de la zapata siguiendo las especificaciones establecidas por la autoridad.

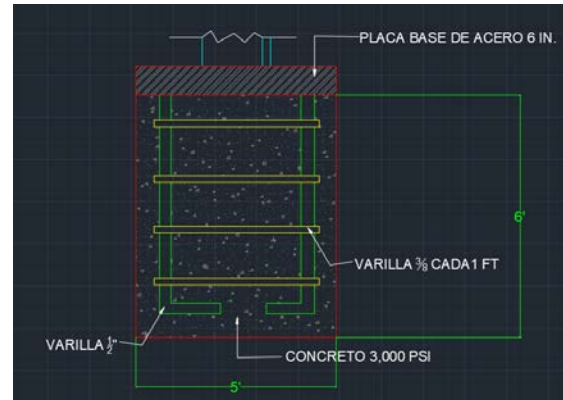


Figura 17
Detalles de Zapata

Como parte del análisis de este diseño se presenta en la tabla 3 un estimado de costo preliminar, ya que un análisis de costo profundo lleva mayor investigación.

Tabla 3
Estimado de Costo

Equipo o Material	Cantidad	Costo por unidad	Costo Total
Concreto (Poste)	33.75 ft ³	\$70	\$2,362.50
Varillas #10	30 quintales	\$45	\$1,350
Varillas #8	28 quintales	\$40	\$1,120
Concreto (Zapata)	60 ft ³	\$60	\$3,600
Varilla 3/8	20 quintales	\$35	\$700
Varilla 1/2	15 quintales	\$40	\$600
Luminaria	1	\$3,200	\$3,200
Mano de obra	1	\$3,000	\$3,000
Instalación	1	\$1,500	\$1,500
Total			\$17,432.50

El estimado preliminar obtenido con información general de precios para los materiales es de \$17,432.50. Hay que notar que, aunque el propósito del proyecto no es minimizar los costos de construcción y/o de operación. La mayoría del costo (80%) es estructural por lo cual es requerido

para cumplir con los requisitos por reglamentación, independiente del sistema de alumbrado utilizado. Pero el mantenimiento de este solo requiere cambiar la luminaria cada 6 años, por lo que este sistema podría ser más económico a largo plazo.

CONCLUSIÓN

Al realizar este proyecto se puede concluir que fue diseñado con efectividad un poste con luminaria que resuelve el problema de postes de luz caídos luego de ser impactados por fuertes vientos y a la vez puede cumplir con el objetivo de tener luz en casos de emergencia y momentos específicos en los que falle el sistema de luz eléctrica. El diseño propuesto cumple con las normas y códigos de construcción, además que es resistente a fuertes vientos huracanados que son la principal causa de las caídas de los postes de luz.

Es un poste moderno, resistente, de buen material y con un buen análisis estructural según lo estudiado y analizado con los códigos y en el proceso de la elaboración de este. Se recomienda que antes de llevar a cabo la construcción de este diseño se estudie y analice el terreno y lugar donde se va a colocar por si requiere de algún elemento adicional.

Como parte de un proyecto futuro se recomienda estudiar los costos de operación a largo plazo versus los costos de un sistema de alumbrado tradicional.

REFERENCIAS

- [1] J. Muñiz. (2022, September 19). *La lenta reconstrucción de Puerto Rico a cinco años del huracán María* [En línea]. Disponible: https://www.swissinfo.ch/spa/p-rico-hurac%C3%A1n_la-lenta-reconstrucci%C3%B3n-de-puerto-rico-a-cinco-a%C3%B1os-del-hurac%C3%A1n-mar%C3%ADa/47912632#:~:text=%2D%20Casas%20destruidas%20y%20postes%20el%C3%A9ctricos,20%20%25%20de%20los%20proyectos%20aprobados.
- [2] Eco Exploratorio. (2020). *Ciclones Tropicales* [En línea]. Disponible: <https://ecoexploratorio.org/amenazas-naturales/huracanes/que-son-los-huracanes/>.
- [3] SEI & ASCE. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/68636118/ASCE_7_16_MINIMUM_DESIGN_LOADS_2017_.
- [4] Puerto Rico Highway and Transportation Authority. (2005). *Standard Specifications for Road and Bridge Construction* [En línea]. Disponible: <https://act.dtop.pr.gov/manual-de-especificaciones-estandares-para-la-construccion-de-carreteras-y-puentes/>.
- [5] American Concrete Institute. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete* [En línea]. Disponible: [PDF] Aci 318 19 Pdf Free Download - eBooks Review (ardhindie.com).
- [6] Island Press. (2023). *Lighting Design Guidance* [Global Street Design Guide] [En línea]. Disponible: <https://globaldesigningcities.org/publication/global-street-design-guide/utilities-and-infrastructure/lighting-and-technology/lighting-design-guidance/>.
- [7] AEE. (2001). *Manual de Normas de Alumbrado Público* [En línea]. Disponible: <https://aepr.com/es-pr/Site-Servicios/Manuales/Alumbrado%20Publico.pdf>.