



Author: María de Fátima Vélez Torres  
 Advisor: Dr. Manuel E. Coll Borgo  
 Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Agrimensura

## 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 luminarias independientes del sistema de energía eléctrica actual el cual se mantendrá en servicio aun luego de un evento extremo de diseño.

## 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.

## Trasfondo

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]. 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.

## Problema

La iluminación es un factor importante para la seguridad vial, especialmente en áreas peatonales. Por lo general está conectada a la red eléctrica, lo que significa que, si hay una interrupción de luz, también habrá ausencia de iluminación. Por eso es importante el desarrollo de un poste de iluminación peatonal autónomo y resiliente para estas situaciones como huracanes o interrupciones eléctricas que prevengan la falta de iluminación prolongada.

## Metodología

Las dimensiones del poste son 15 pies de altura, 1 pies con 6 pulgadas de ancho y 1 pies 6 pulgadas de profundidad. Sin embargo, para realizar el análisis del poste primero se debe determinar la velocidad del viento que debe resistir el diseño. Para determinar la velocidad de diseño se utiliza la tabla 1604.5 de categoría de riesgos de la ASCE y la velocidad que presenta el ASCE para la categoría de riesgo IV. Utilizando adicional la herramienta de 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. Con las dimensiones y características del poste diseñado y un diagrama de las diferentes cargas presentado en la figura 1 se realizan los cálculos para el análisis estructural del poste.

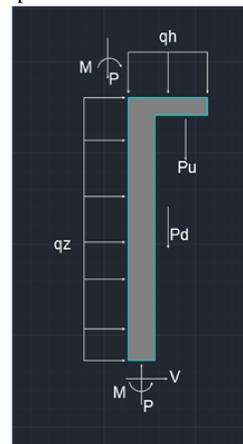


Figura 1  
Diagrama de Cargas para Análisis Estructural

Para el análisis estructural del poste diseñado y determinar las diferentes cargas se utilizaron las fórmulas, tablas de coeficientes y diagramas que establecen los códigos del ASCE 7-16 [3] y el ACI 318-19 [5]. En la tabla 1 se presentan las fórmulas principales para este análisis estructural del poste.

Tabla 1  
Fórmulas para Análisis Estructural

Formula	Utilidad
$F = qz * G * Cf * A$	Carga del viento en el poste
$P = qh * G * CN$	Carga del viento en el tope del poste
$qz = 0.00256 * Kz * Kzt * Kd * V^2$	Presión del viento
$G = 0.925 * \left( \frac{1 + (0.7 * gq * Iz * Q)}{1 + (0.7 * gv * Iz)} \right)$	Factor de respuesta de rafaga
$As = pg * Ag$	Area minima de refuerzo
$Mn = As * fy * \left( d - \frac{a}{2} \right)$	Momento nominal
$Vc = 2 * bw * d * \text{sqrt}(f'c)$	Resistencia de corte
$Mu = F * \frac{L}{2}$	Momento último de resistencia
$Pu = \phi * P$	Carga axial
$Vu = Vd + Vw$	Fuerza cortante última

Otra parte importante del diseño del poste es la luminaria ya debe cumplir con el objetivo principal de proveer iluminación en momentos de fallas en el sistema de luz eléctrica. La luminaria utilizada en este diseño es la lampara suburbana solar todo en uno de 1,000 W. Algunas de las características de esta luminaria son: tiene un rango de luz de aproximadamente 30 pie de cobertura. Se carga entre 6 a 8 horas durante el día, funciona todo el tiempo sin importar si hay o no energía eléctrica, tiempo de descarga de más de 18 horas, vida útil de 6 años o más, tiene una iluminación bidireccional (ángulo de 220 grados) en forma de V.

## Resultados y Discusión

Luego de realizar el análisis estructural del diseño, utilizando las fórmulas necesarias según establecido en los códigos de diseño utilizados para el diseño de este poste se utilizó el diagrama de interacción R3-60.6 para encontrar la posición en el diagrama. En la figura 2 se presenta el resultado obtenido.

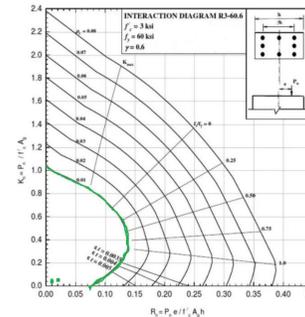


Figura 2  
Posición en el Diagrama de Interacción

El poste diseñado se realizó tomando en cuenta diferentes requerimientos y datos obtenidos en la investigación realizada. El diseño fue realizado en AutoCAD. 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 pie 6 pulgadas en el tope. 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. 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. El detalle estructural de la fundación se realizó siguiendo las especificaciones presentadas en el manual de alumbrado público de la Autoridad de Energía Eléctrica. En las figuras 3, 4, 5, 6, 7 y 8 se presenta el diseño descrito.

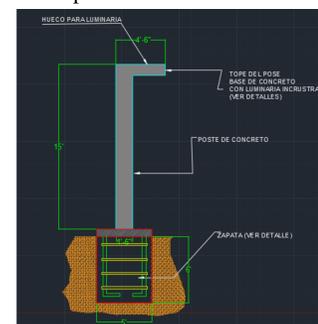


Figura 3  
Diseño del Poste con sus Dimensiones

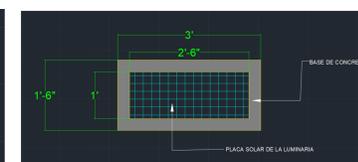
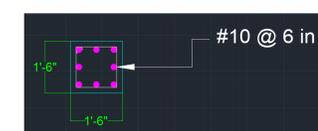


Figura 4  
Detalles del tope del poste

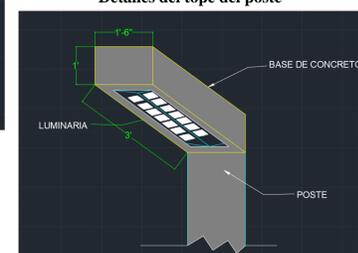
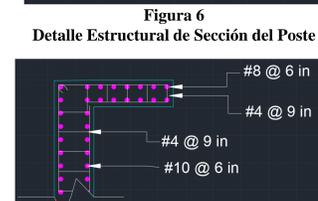


Figura 5  
Detalle de la Base con la Luminaria

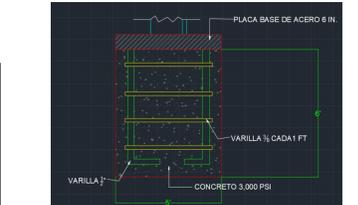


Figura 6  
Detalles de Zapata

## 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.

## Trabajos Futuros

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.

## Agradecimientos

Dr. Manuel Coll Borgo (Mentor)  
 Sr. Marcos Acosta-Ingeniero Eléctrico (Compañero de trabajo)  
 Sr. Elías Mateo- Ingeniero Eléctrico

## Referencias

- 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%20pos,tes%20el%C3%A9ctricos,%20%25%20de%20los%20proyec, tos%20aprobados.](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%20pos,tes%20el%C3%A9ctricos,%20%25%20de%20los%20proyec, tos%20aprobados.)
- Eco Exploratorio. (2020). *Ciclones Tropicales* [En línea]. Disponible: [https://ecoexploratorio.org/amenazas-naturales/huracanes/que-son-los-huracanes/.](https://ecoexploratorio.org/amenazas-naturales/huracanes/que-son-los-huracanes/)
- 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\\_](https://www.academia.edu/68636118/ASCE_7_16_MINIMUM_DESIGN_LOADS_2017_)
- 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/.](https://act.dtop.pr.gov/manual-de-especificaciones-estandares-para-la-construccion-de-carreteras-y-puentes/)
- American Concrete Institute. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete* [En línea]. Disponible: [PDF] <https://www.concrete.org/publications/ACI318-19> Pdf Free Download - eBooks Review (ardhindie.com).