Análisis del terreno y condiciones ambientales para el diseño de estructuras eléctricas

Presentado por

José Alejandro Noy Estrada

Alison Daniela Nuñez Martínez

Director Rolando Andrés Rincón Saravia, MBA

Magíster en Dirección de Empresas

Codirector Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, PhD, MSc

Doctor en Tecnología

Magíster en Informática Industrial y Automática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T)

Bucaramanga

2026

Tabla de contenido

Introducción 4
1. Análisis del terreno para determinar la profundidad de cimentación de postes eléctricos. 4
1.1 Tipo de terreno**.** 4
1.2 Postes en fibra de vidrio. 5
1.3 Postes en ferro concreto vibrados y centrifugados. 6
2. Investigación sobre como las corrientes de viento y fenómenos atmosféricos pueden llegar a afectar las estructuras eléctricas. 6
3. Selección de la ruta. 8
4. Análisis viabilidad de distancias y terreno. 8
Conclusiones 12
Referencias 13

Lista de tablas

Figura 1. *Características dimensionales* ……5

Figura 2. *Velocidad del viendo máximo en la vereda.* ……7

Figura 3 *Velocidad del viendo medio en la vereda* ……7

Figura 4. *Velocidad del viendo mínimo en la vereda.* ……..8

Figura 5. *Ruta 1, por las vías de acceso a cada finca* …….9

Figura 6. *Ruta 2, Tramos rectos* ……...10

Figura 7. *Ruta 3, Tramos rectos.* ……10

Introducción

El presente análisis evalúa las condiciones técnicas para la implementación de redes de media tensión aéreas y subterráneas en la vereda Matanegra, considerando el trazado, las características del terreno, la accesibilidad y la exposición a fenómenos atmosféricos. Para la red aérea se prioriza un recorrido con tramos rectos, cercano a la vía y sin cruces de cuerpos de agua, con el fin de reducir estructuras especiales, facilitar el mantenimiento y disminuir la intervención sobre los predios.

De manera complementaria, se estudia la selección y cimentación de postes de ferro concreto y PRFV, teniendo en cuenta las exigencias mecánicas, la profundidad de empotramiento y las condiciones de humedad e inundación del terreno. También se analiza la influencia del viento sobre postes, conductores y herrajes. Para la alternativa subterránea se adopta un trazado paralelo a la carretera, facilitando las actividades de construcción, inspección y mantenimiento.

1. Análisis del terreno para determinar la profundidad de cimentación de postes eléctricos.

1.1 Tipo de terreno**.**

La vereda Matanegra, ubicada en el corregimiento de Tilodirán del municipio de Yopal, Casanare, presenta un clima cálido y húmedo, con temperaturas que oscilan entre 21 °C y 35 °C y un promedio anual de 27 °C. La región registra un promedio de precipitación anual de aproximadamente 2.270 mm, concentrada principalmente entre los meses de abril y octubre.

El área se encuentra dentro de la cuenca media de los ríos Cravo Sur, Charte y Guachiría, y se caracteriza por el predominio de paisajes de sabana. De acuerdo con Sánchez Heredia y Bautista Guerrero (2022), las vías del departamento de Casanare atraviesan paisajes naturales de

sabana inundable, ecosistemas sujetos a inundaciones estacionales asociadas a los periodos de lluvia y a las condiciones propias de la planicie de los Llanos Orientales.

Estas características deben ser consideradas en el diseño de la infraestructura eléctrica, debido a que las condiciones de humedad, inundación temporal y baja pendiente del terreno pueden influir en la selección de estructuras, cimentaciones, alturas del montaje y localización de equipos de distribución [1].

1.2 Postes en fibra de vidrio.

Los postes de Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV) son estructuras fabricadas a partir de resina de poliéster y fibras de vidrio de alta resistencia, diseñadas para soportar cargas mecánicas y eléctricas en redes de distribución.

Figura 1.

Características dimensionales.

Caracteristicas Dimensionales Postes PRFV					
Denominacion	Altura (m)	Diametro de cima (cm)	Diametro de base (cm)	Conicidad (cm/m)	Altura de empotramiento(m)
9-510 kgf	9	14	30	1,8	1,5
11-510 kgf	11	15	35	1,8	1,7
12-750 kgf	12	14	35	1,8	1,8
12-1050 kgf	12	14	35	1,8	1,8
12-1350 kgf	12	14	35	1,8	1,8
14-1050 kgf	14	16	41	1,8	2,0
14-1350 kgf	14	16	41	1,8	2,0

El costo unitario de estas estructuras oscila aproximadamente entre $1.895.140 y $3.013.437 COP, dependiendo de su altura y capacidad mecánica.

1.3 Postes en ferro concreto vibrados y centrifugados.

Para el diseño de la red de distribución eléctrica de media tensión, se seleccionan postes de ferro concreto vibrados y centrifugados, de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas por ENERCA S.A. E.S.P [2] para redes de Nivel de Tensión 2 (13,2 kV).

Según la norma, los postes deben ser auto soportados, tener una altura mínima de 12 m. y una capacidad mínima de 510 kgf. Adicionalmente, se establece que el empotramiento debe corresponder al 10 % de la longitud total del poste más 60 cm. mientras que la excavación debe contemplar 10 cm. adicionales.

Para un poste de 12 m. la profundidad de excavación se calcula de la siguiente manera:

Altura de empotramiento = (0,10 × 12) + 0,60 + 0,10 = 1,90 m.

Por lo tanto, la excavación requerida para la instalación de los postes será de aproximadamente 1,90 m. de profundidad.

La selección de postes de ferro concreto se considera adecuada para las condiciones de la vereda Matanegra, debido a su alta resistencia mecánica, durabilidad y amplia utilización en sistemas de distribución rural. Además, presentan una ventaja económica importante, ya que su costo unitario oscila entre $850.000 y $1.200.000 COP.

2. Investigación sobre como las corrientes de viento y fenómenos atmosféricos pueden llegar a afectar las estructuras eléctricas.

Con el fin de evaluar la influencia de las cargas de viento sobre las estructuras de la red de distribución proyectada, se realizó un análisis de la velocidad del viento para la vereda Matanegra, corregimiento de Tilodirán, municipio de Yopal (Casanare). Los datos fueron obtenidos a través

de la plataforma NASA POWER [3], la cual proporciona información meteorológica y climática basada en observaciones satelitales y modelos atmosféricos.

A partir de la información recopilada, se determinaron los valores de velocidad máxima, media y mínima del viento para la zona de estudio. Estos parámetros permiten evaluar las condiciones ambientales a las que estarán expuestas las estructuras eléctricas y sirven como criterio para la selección de postes, conductores y herrajes.

Figura 2.

Velocidad del viendo máximo en la vereda.

WS10M_MAX	2015	9.66	10.94	10.19	6.35	6.40	6.14	6.32	5.06	5.95	5.73	6.47	8.42	10,94	m/s
WS10M_MAX	2016	10.16	9.27	9.64	5.80	5.48	5.48	5.51	4.93	4.57	4.87	6.90	8.62	10,16	m/s
WS10M_MAX	2017	8.65	9.85	9.61	8.94	6.00	5.48	5.76	5.22	5.60	5.95	6.78	9.12	9,85	m/s
WS10M_MAX	2018	9.64	11.59	9.30	6.38	5.84	5.67	6.47	4.52	6.14	5.29	8.13	9.45	11,59	m/s
WS10M_MAX	2019	8.93	10.04	6.67	8.84	6.57	6.26	6.33	6.36	5.30	5.35	7.33	7.88	10,04	m/s
WS10M_MAX	2020	9.90	10.57	10.07	8.27	5.52	5.62	5.43	6.33	5.23	6.65	6.94	8.55	10,57	m/s
WS10M_MAX	2021	9.79	9.99	9.69	6.42	5.43	6.31	7.54	7.51	7.60	7.30	8.38	9.69	9,99	m/s
WS10M_MAX	2022	10.87	10.78	8.66	6.70	6.36	7.03	5.70	6.24	4.96	7.20	7.87	8.60	10,87	m/s
WS10M_MAX	2023	7.87	9.36	8.54	5.92	4.97	5.24	4.25	4.66	4.63	5.24	6.26	7.97	9,36	m/s
WS10M_MAX	2024	8.57	9.56	8.26	8.43	5.65	5.34	7.61	4.69	6.23	5.59	4.94	7.64	9,56	m/s
WS10M_MAX	2025	8.24	8.86	8.51	6.91	4.76	5.75	6.32	5.19	5.80	4.72	7.17	8.92	8,92	m/s
PROMEDIO														10,168	

Figura 3.

Velocidad del viendo medio en la vereda.

WS10M	2015	3,67	3,42	3,66	2,06	1,85	2,08	0	1,68	1,89	2,19	2,67	3,47	2,56	m/s
WS10M	2016	4.05	3.59	3.05	2.09	1.92	1.81	1.89	2.02	1.82	1.81	2.34	3.43	2,48	m/s
WS10M	2017	3.53	3.48	3.06	2.37	1.92	1.98	2.33	1.88	1.86	2.13	2.67	4.04	2,6	m/s
WS10M	2018	3.50	5.46	3.57	2.05	1.94	2.25	2.15	1.62	2.18	1.94	2.96	3.82	2,77	m/s
WS10M	2019	3.55	3.93	2.53	2.29	1.73	2.09	2.02	1.92	1.73	1.93	2.56	2.86	2,42	m/s
WS10M	2020	3.84	4.06	3.85	2.47	1.84	1.96	1.83	2.12	1.98	2.23	2.41	3.16	2,63	m/s
WS10M	2021	3.96	4.15	3.34	2.13	1.99	2.34	2.52	3.14	3.10	2.32	2.63	4.03	2,97	m/s
WS10M	2022	4.61	4.14	2.78	2.10	1.90	1.93	1.85	2.27	1.84	2.08	2.43	3.16	2,58	m/s
WS10M	2023	2.91	3.58	2.62	2.17	1.84	2.01	1.64	1.73	1.78	1.91	2.34	2.44	2,24	m/s
WS10M	2024	3.36	3.12	2.44	2.41	1.73	1.76	2.14	1.88	1.79	1.99	1.86	2.43	2,24	m/s
WS10M	2025	3.06	3.26	2.44	1.92	1.84	1.80	1.79	2.00	1.67	1.57	2.92	3.73	2,33	m/s
PROMEDIO														2,529	

Figura 4.

Velocidad del viendo mínimo en la vereda.

WS10M_MIN	2015	0.16	0.08	0.27	0.16	0.20	0.23	0.07	0.03	0.09	0.19	0.34	0.40	0,03	m/s
WS10M_MIN	2016	0.18	0.14	0.13	0.25	0.12	0.09	0.07	0.13	0.04	0.23	0.04	0.61	0,04	m/s
WS10M_MIN	2017	0.34	0.20	0.07	0.07	0.10	0.07	0.09	0.08	0.07	0.26	0.13	0.99	0,06	m/s
WS10M_MIN	2018	0.12	0.83	0.13	0.04	0.02	0.04	0.11	0.02	0.12	0.08	0.67	0.84	0,02	m/s
WS10M_MIN	2019	0.04	0.06	0.08	0.18	0.06	0.02	0.07	0.05	0.13	0.16	0.12	0.28	0,02	m/s
WS10M_MIN	2020	0.25	0.08	0.22	0.05	0.06	0.09	0.13	0.08	0.14	0.05	0.11	0.14	0,05	m/s
WS10M_MIN	2021	0.29	0.02	0.04	0.09	0.05	0.16	0.11	0.28	0.81	0.02	0.04	0.16	0,02	m/s
WS10M_MIN	2022	0.07	0.08	0.11	0.23	0.04	0.08	0.14	0.08	0.09	0.06	0.14	0.19	0,04	m/s
WS10M_MIN	2023	0.12	0.15	0.02	0.08	0.08	0.06	0.15	0.20	0.18	0.33	0.06	0.09	0,02	m/s
WS10M_MIN	2024	0.29	0.23	0.08	0.15	0.08	0.09	0.12	0.09	0.06	0.14	0.10	0.06	0,06	m/s
WS10M_MIN	2025	0.11	0.09	0.09	0.08	0.11	0.06	0.12	0.11	0.07	0.05	0.22	0.83	0,05	m/s
PROMEDIO														0,0373	

3. Selección de la ruta.

El trazado de la línea debe ser en su gran longitud de carácter recto a menos que sea necesaria la desviación en algún punto de este, sin que ésta origine complicaciones ambientales, sociales, culturales o políticas. En caso de rutas cercanas a edificaciones o vías existentes la línea debe proyectarse y ubicarse a las distancias mínimas establecidas en el RETIE, para evitar complicaciones con futuras ampliaciones de las mismas. El levantamiento topográfico de la ruta se debe realizar teniendo en cuenta estándares de construcción y demarcando detalles localizados en los alrededores de la línea [4].

4. Análisis viabilidad de distancias y terreno.

Red aérea.

Se escoge la ruta 3 que se muestra en la figura 7, priorizando los tramos rectos porque operan como estructuras de alineamiento, donde las tensiones longitudinales de los cables se anulan. El poste solo soporta el peso del conductor y la fuerza del viento, lo que elimina la necesidad de instalar estructuras de retención, herrajes dobles y retenidas ancladas al suelo. Esto

reduce directamente los costos de materiales y la invasión del terreno. El trazado es funcional para la zona arrocera y ganadera porque no cruza cuerpos de agua, lo que evita construir vanos largos con postes especiales. Al estar cerca de la carretera, garantiza el acceso inmediato de maquinaria para su mantenimiento. Finalmente, la vegetación baja cumple las distancias de seguridad del RETIE [6] sin requerir tala ni afectaciones al medio ambiente.

Red subterránea.

Para el trazado de la red de media tensión subterránea se seleccionó la Ruta 1 que se muestra en la figura 5, la cual se desarrolla de manera paralela a la carretera existente. Esta alternativa se considera la más adecuada desde el punto de vista técnico, constructivo y operativo, debido a que facilita la ejecución continua de las excavaciones y permite el acceso directo de maquinaria y personal para actividades de instalación, inspección y mantenimiento.

Adicionalmente, el trazado cuenta con acceso disponible en la vía , reduciendo la necesidad de intervenciones en predios privados y simplificando los procesos de construcción, debido a que los conductores se instalarán de forma subterránea dentro de ductos, los cambios de dirección requeridos para seguir el alineamiento de la vía no generan esfuerzos mecánicos significativos ni requieren estructuras especiales, permitiendo una mayor flexibilidad en el recorrido.

Figura 5.

Ruta 1, por las vías de acceso a cada finca.



Nota. Imagen elaborada mediante Google Earth.

Figura 6.

Ruta 2, Tramos rectos.



Nota. Imagen elaborada mediante Google Earth.

Figura 7.

Ruta 3, Tramos rectos.



Nota. Imagen elaborada mediante Google Earth.

Conclusiones

Las condiciones de humedad, lluvias e inundaciones temporales de la vereda Matanegra influyen directamente en la instalación de la red. Por esta razón, la cimentación de los postes debe proporcionar estabilidad y resistencia frente a las características del terreno.

Los postes de ferro concreto representan la alternativa más adecuada para la red aérea, debido a su resistencia mecánica, durabilidad, disponibilidad comercial y menor costo en comparación con los postes fabricados en fibra de vidrio.

La Ruta 3 presenta mejores condiciones para la red aérea porque aprovecha tramos rectos, evita cuerpos de agua y facilita el acceso para mantenimiento. Para la red subterránea, la Ruta 1 resulta más conveniente por desarrollarse paralela a la carretera y reducir la intervención sobre los predios.

Referencias

[1] VULNERABILIDAD FAUNÍSTICA EN LA VÍA DEL CORREGIMIENTO DE TILODIRAN MUNICIPIO DE YOPAL CASANARE. (2022). SENA. https://revistas.sena.edu.co/index.php/CEMI/article/view/5325/5364

[2] NORMA DE CONSTRUCCIÓN DE REDES DE MEDIA y BAJA TENSIÓN. (2017, junio). https://www.enerca.com.co/media/e04of14w/ma-mde-pse-01-norma-de-construcci%C3%B3n-de-redes-de-media-y-baja-tensi%C3%B3n.pdf

[3] NASA POWER Data Access Viewer (DAV). (s. f.). Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER). https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

[4] NORMAS DE DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. (s. f.). https://www.ebsa.com.co/uploads/entidad/normatividad/ee4fb-normas-de-diseno-de-redes-de-distribucion-de-energia-electrica.pdf

[5] Introducción – Google Earth. (s. f.). Google Earth. https://www.google.es/intl/es/earth/index.html

[6] Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE. (s. f.). https://www.minenergia.gov.co/es/misional/energia-electrica-2/reglamentos-tecnicos/reglamento-t%C3%A9cnico-de-instalaciones-el%C3%A9ctricas-retie/