

ANÁLISIS COMPARATIVO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA: RADIAL VS. EN ANILLO

Daniel Fernando Aranda Contreras
Escuela E3T, Universidad Industrial de Santander
Correo electrónico: daniel2221648@correo.uis.edu.co

Resumen—El presente documento tiene como finalidad establecer una comparación detallada entre las dos topologías fundamentales de redes de distribución eléctrica: la configuración radial y la configuración en anillo (o bucle). Se analizan sus definiciones estructurales, se contrastan sus ventajas, desventajas, y se detallan sus usos más comunes, prestando especial atención al impacto de cada diseño en la fiabilidad del servicio y el costo operativo.

Index Terms—Distribución Eléctrica; Red Radial; Red en Anillo (Loop); Topología; Continuidad de Servicio; Fiabilidad; Costo/Economía; Manejo de Fallas; Cargas Críticas; Simplicidad Operativa.

I. INTRODUCCIÓN

La distribución de energía eléctrica es un componente vital de cualquier sistema de potencia, siendo el enlace final entre la fuente de generación y el consumidor. La topología de la red de distribución es un factor determinante en la calidad, la continuidad del servicio y el costo de la infraestructura. Históricamente, han prevalecido dos configuraciones primarias para los alimentadores: la radial y la en anillo (o bucle).

La elección entre una y otra no es trivial y depende de las prioridades de diseño, como la densidad de carga, la importancia crítica de los usuarios finales (e.g., hospitales, industrias) y las restricciones presupuestarias. A continuación, se definen y comparan estos dos enfoques de diseño para comprender cómo influyen en el funcionamiento global de la red.

II. OBJETIVOS

El objetivo principal de este documento es **definir, comparar y analizar las características operativas y de diseño**, así como las ventajas y desventajas inherentes, de los sistemas de distribución eléctrica con configuración radial y en anillo.

III. DESARROLLO Y ANÁLISIS COMPARATIVO DE REDES

III-A. Definición de Redes de Distribución Radial y en Anillo

III-A1. Red de Distribución Radial: Una red de distribución radial (Radial Feeder System) se caracteriza por presentar un **solo camino simultáneo** para el flujo de potencia hacia la carga. Las líneas se extienden desde la subestación de manera similar a las ramas de un árbol (configuración dendrítica). Si el camino se interrumpe, el resultado es la pérdida total del servicio para el cliente ubicado “río abajo”.

III-A2. Red de Distribución en Anillo (Loop): Una red de distribución en anillo (Loop Feeder System) está diseñada para ofrecer **más de un camino simultáneo** para el flujo de potencia entre las fuentes de energía y cada cliente. Aunque están contruidos como un bucle, a menudo se operan como un bucle abierto (open loop) con un interruptor normalmente abierto cerca del medio, manteniendo operativamente un circuito radial, pero con la capacidad de reconfiguración.

III-B. Ventajas, Desventajas y Usos Comunes

La siguiente tabla resume las principales características, contrastando ambos diseños:

III-C. Diferencias Fundamentales

Las diferencias operacionales y estructurales se resumen en cuatro puntos clave:

- Topología y Caminos de Flujo:** La red radial posee una **única trayectoria**, mientras que la red en anillo tiene **al menos dos trayectorias** de suministro entre la fuente y la carga.
- Costo y Capacidad:** El diseño **Radial** es el de menor costo y el más simple. El diseño **Anillo** es más costoso, ya que requiere conductores y equipos de mayor capacidad para soportar la carga desde cualquiera de los dos extremos.
- Manejo de Fallas y Fiabilidad:** En un sistema **Radial**, una falla interrumpe a todos los clientes aguas abajo, requiriendo reconfiguración manual. En el sistema **Anillo**, la fiabilidad es mucho mayor: la sección con falla se aísla rápidamente, y el servicio se mantiene alimentando al resto del circuito desde la dirección alternativa.
- Complejidad de Análisis:** Los flujos de potencia **Radiales** son predecibles, simplificando el análisis. La red **Anillo**, si se opera como bucle cerrado, requiere técnicas de red más complejas para el análisis de flujos, fallas y protección.

IV. CONCLUSIONES

La decisión de implementar una red de distribución eléctrica radial o en anillo es un balance directo entre el costo inicial y la continuidad del servicio deseada. La red **Radial** se ha consolidado como la opción predominante a nivel global

Cuadro I: Comparación de Características: Red Radial vs. Red en Anillo

| Característica | Red Radial (Radial) | Red en Anillo (Loop) |
|---------------------|--|--|
| Ventajas | <ul style="list-style-type: none"> Costo más bajo y simple de instalar. Sencillo de operar y económico. Predicción y control más fáciles de los flujos de potencia y voltaje. Protección de corriente de falla más sencilla. | <ul style="list-style-type: none"> Mayor fiabilidad y continuidad del servicio. Cualquier punto puede ser alimentado desde dos direcciones. Las fallas interrumpen el servicio a un segmento pequeño o a ningún cliente (redirección). El impacto de una falla se reduce al mínimo (cambio de voltaje ligero) cuando se opera cerrado. |
| Desventajas | <ul style="list-style-type: none"> Menos fiable que los sistemas en anillo o malla. Una falla en cualquier punto deja fuera de servicio a todos los clientes río abajo. Los alimentadores primarios radiales suelen ser los responsables de la falta de continuidad. | <ul style="list-style-type: none"> Más costoso que el arreglo radial. Requiere más equipo y el conductor debe ser más grande para manejar la carga desde cualquiera de los dos extremos (doble capacidad). Ligeramente más complicado de analizar y operar. |
| Usos Comunes | <ul style="list-style-type: none"> Diseño más utilizado (más del 99 % en Norteamérica). Zonas Habitacionales y Comerciales consideradas no muy importantes. Cargas Ligeras y áreas de carga de densidad media. Uso en la mayoría de los circuitos de distribución primaria y secundaria. | <ul style="list-style-type: none"> Cargas Críticas (e.g., hospitales) donde la continuidad es crucial. Grandes Cargas Urbanas o edificios medianos/grandes. Distribución Subterránea Urbana (UG practice) como regla. Utilizado en URD para una restauración de servicio más rápida tras una falla. |

debido a su **simplicidad operativa y bajo costo**. Sin embargo, esta topología sacrifica la fiabilidad, ya que cualquier falla resulta en una interrupción inevitable del servicio para los clientes aguas abajo.

Por otro lado, la red **En Anillo** emerge como la solución ideal para **cargas críticas y áreas de alta densidad** donde la continuidad del servicio es primordial. Aunque requiere una inversión inicial significativamente mayor y un análisis más complejo, su capacidad de aislar fallas y reconfigurar el servicio de manera automática o semiautomática garantiza una alta resiliencia. En la práctica moderna, es común que los sistemas radiales incluyan lazos de interconexión con otros circuitos (normally open ties) para aumentar su flexibilidad, combinando la economía del diseño radial con un nivel básico de redundancia.

REFERENCIAS

- [1] T. A. Short, *Electric Power Distribution Handbook*, ser. The Electric Power Engineering Series, L. L. Grigsby, Ed. Boca Raton, FL: CRC Press LLC, 2004.
- [2] H. L. Willis, *Power Distribution Planning Reference Book* [6, 7], second edition, revised and expanded [6, 7] ed., ser. Power Engineering [10]. New York • Basel [6]: Marcel Dekker, Inc. [6, 8, 9], 2004 [9].
- [3] T. de Monterrey — Innovación Educativa. (2019) Redes radiales, en anillo y malladas. Video en YouTube. Explicación del Dr. Jesús Valdez. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=sTJfCU5UbMo>