



Generación Distribuida: Beneficios y Desafíos

Dr. Julio Romero Agüero

**Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)
Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE)**

Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA)

- **La crisis del petróleo de 1973 dio lugar a un interés creciente en la eficiencia energética y los sistemas de generación de energía utilizando recursos renovables**
- **Para promover estos sistemas, el Presidente de EUA Jimmy Carter firmó en 1978 la **Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA)****
- **PURPA le permitió a ciertas instalaciones industriales y consumidores **construir y operar sus propios generadores locales de pequeña capacidad** y mantenerlos conectados a la red de distribución o transmisión**
- **Antes de PURPA, las empresas de suministro eléctrico **podían negar el servicio a estos consumidores**, lo cual implicaba que los autogeneradores debían suministrar toda su potencia, durante todo el tiempo, e instalar sus propios sistemas redundantes de respaldo**
- **Esto había eliminado toda posibilidad de utilizar sistemas eficientes y económicos de generación local de energía para suministrar una parte de la demanda de los consumidores**

Public Utility Regulatory Policies Act (PURPA)

- PURPA también requirió a las empresas de servicio eléctrico comprar electricidad de ciertas **“instalaciones calificadas”** a un precio justo y razonable
- Esto estimuló la construcción de numerosas instalaciones de energía basadas en **recursos renovables**, ya que se garantizaba un mercado, a un buen precio, para cualquier electricidad generada
- PURPA, como fue implementada por la Federal Energy Regulatory Commission (FERC), permitió la interconexión a la red de **“Pequeños Productores de Energía Calificados”** e **“Instalaciones de Cogeneración Calificadas”**
- Los pequeños productores tienen una capacidad menor de 80 MW y utilizan al menos 75% de energía solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica o residuos orgánicos
- Los cogeneradores son definidos como instalaciones que producen electricidad y energía térmica en un proceso secuencial, utilizando una fuente única de combustible
- **PURPA demostró que la generación local de pequeña capacidad puede suministrar energía a precios competitivos**

Generación distribuida (GD)

- “Generación distribuida” o “generación dispersa” es un término que se refiere a **generación conectada en la red de distribución**
- El EPRI (Electric Power Research Institute) define a la GD como “la utilización de tecnologías modulares de **generación de pequeña capacidad**, dispersas a lo largo del **sistema de distribución**”, cerca del punto de consumo
- La GD puede ser propiedad de una **distribuidora o con mayor frecuencia de un consumidor**, quien puede utilizar toda su potencia, o puede vender una parte, o quizás toda, a la distribuidora local
- Cuando existe calor residual disponible del GD, el consumidor puede utilizarlo para aplicaciones tales como procesos industriales, calefacción o aire acondicionado, incrementando la eficiencia global
- El proceso de capturar y utilizar calor residual mientras se genera electricidad es denominado **cogeneración** y en algunas ocasiones **combined heat and power (CHP)**

Generación distribuida (GD)

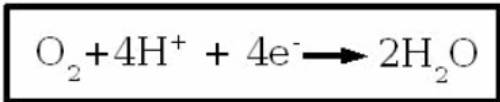
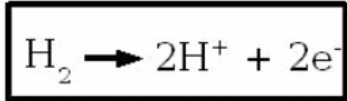
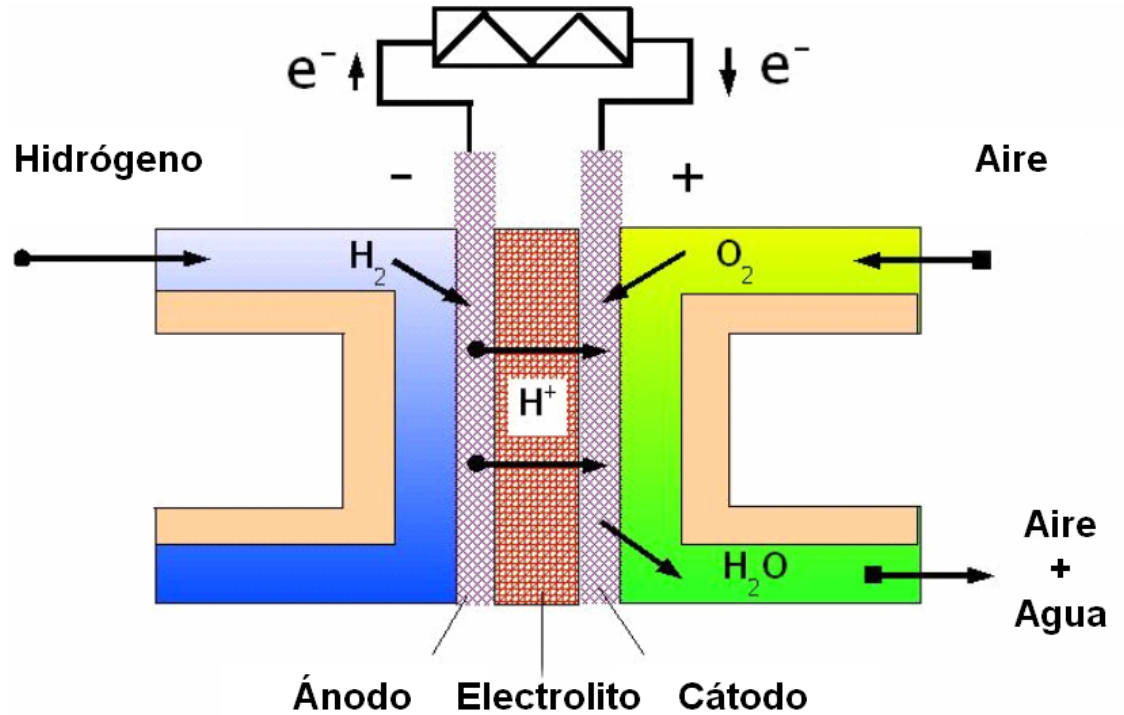
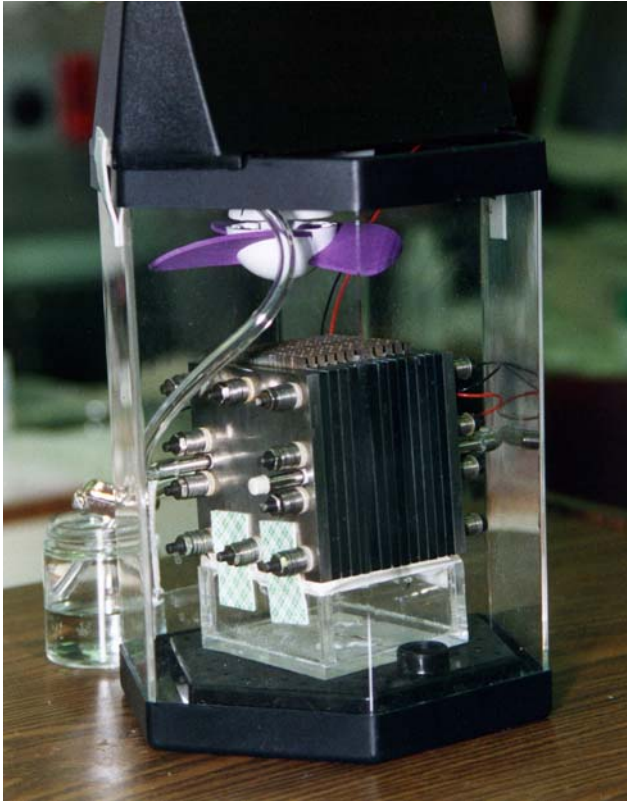
- No existen **capacidades (MVA) o niveles de tensión (kV)** aceptados como definición para la GD
- La generación conectada en **subestaciones de distribución o en la red de subtransmisión** también es considerada en algunas ocasiones como GD
- Un término más amplio es **recursos distribuidos**, el cual incluye a las tecnologías de GD, generación de respaldo, almacenamiento de energía y de gestión del lado de la demanda

Características de los GD

- **Principales fuentes de energía:**
 - **Motores y turbinas de combustión**
 - **Microturbinas**
 - **Pequeñas centrales hidráulicas**
 - **Centrales de biomasa**
 - **Turbinas eólicas**
 - **Celdas de combustible**
 - **Sistemas solares y fotovoltaicos**
- **Conversión de potencia e interconexión:**
 - **Generador sincrónico**
 - **Generador de inducción**
 - **Inversor**
- **Los motores y turbinas de combustión se interconectan mediante generadores sincrónicos**
- **Algunas turbinas eólicas se interconectan mediante generadores de inducción**
- **Microturbinas, turbinas eólicas, celdas de combustible y sistemas fotovoltaicos se interconectan mediante inversores**

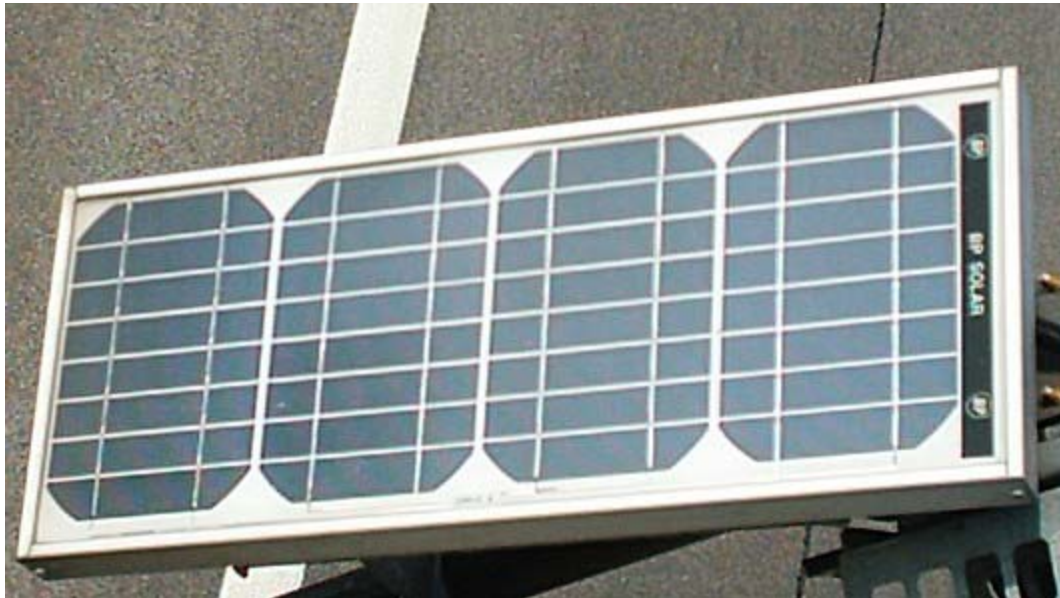
Características de los GD

Celda de combustible



Características de los GD

Celda solar



Turbina eólica



Generadores sincrónicos

- Un generador sincrónico puede operar de forma **independiente** (aislada) o **sincronizado** con el sistema de distribución
- Los generadores sincrónicos pueden operar con un factor de potencia en adelanto o en atraso y pueden operar en modo de control o de seguimiento de tensión
- La mayoría de los GD sincrónicos operan en un modo de **seguimiento de tensión** (siguen la tensión del sistema de distribución)
- La mayoría de los GD sincrónicos inyectan una cantidad constante de potencia activa y reactiva (**factor de potencia constante**)
- La mayoría de los GD sincrónicos operan a **factor de potencia unitario** (mayor cantidad de watts por kVA nominal)

Generadores de inducción

- Los generadores de inducción son utilizados principalmente en aplicaciones con **turbinas eólicas**, donde la velocidad del primo motor varía
- Los generadores de inducción son **más simples** que los generadores sincrónicos (no tienen excitadores, reguladores de tensión, gobernadores o equipo de sincronización)
- El generador de inducción requiere **excitación suplementaria**, ya sea suministrada por el sistema de distribución o por capacitores locales

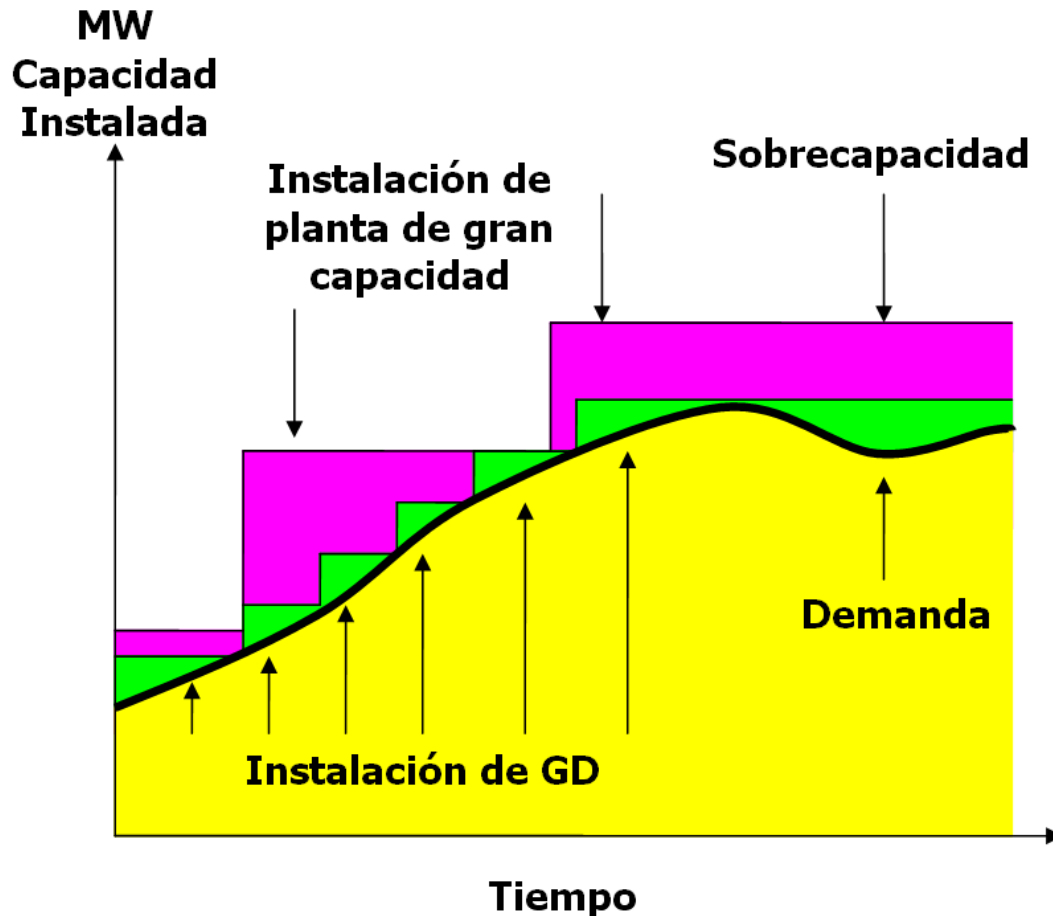
Inversores

- Los sistemas fotovoltaicos y las celdas de combustible generan en **corriente directa**
- Las turbinas eólicas y las microturbinas generan **frecuencias incompatibles** con las del sistema de distribución
- Para interconectarlas es necesario **rectificar** a corriente directa y luego **invertir** a corriente alterna

Beneficios de la GD

1. Menor capacidad subutilizada

- Incrementos pequeños en la generación pueden seguir el crecimiento de la demanda más de cerca, reduciendo la capacidad no utilizada y sus costos asociados



Beneficios de la GD

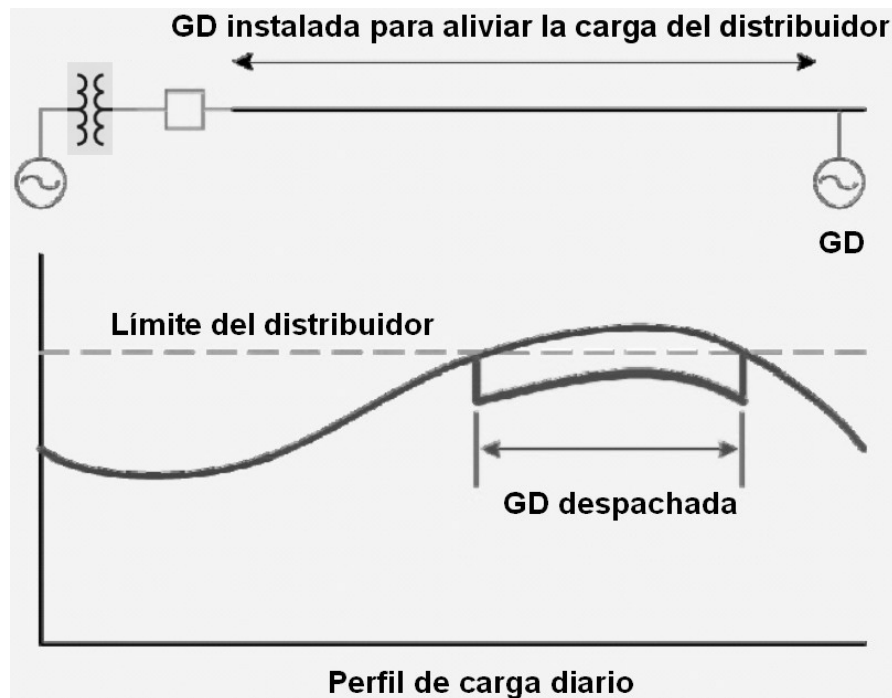
- **Los tiempos requeridos para el diseño, autorización, construcción y puesta en operación de los GD, son menores que los de una planta de gran capacidad**
- **Los tiempos necesarios para la recuperación de la inversión y el riesgo para los inversionistas también es menor**

2. Retraso de inversiones en capacidad en las redes de transmisión y distribución

- **Los activos de distribución (líneas, transformadores, etc.) representan aproximadamente el 20% del costo total del suministro eléctrico**
- **Estos activos son típicamente subutilizados, excepto en ciertas ubicaciones críticas durante ciertas horas del día y del año (un alimentador típico opera a más del 50% de su capacidad solamente durante un tercio del tiempo)**

Beneficios de la GD

- Cuando la demanda crece, se debe aumentar la capacidad de los alimentadores y subestaciones de distribución, aunque su capacidad solamente sea excedida durante unas pocas horas del día y del año
- **La GD puede evitar o retrasar los aumentos de capacidad del sistema de distribución, lo cual implica un uso más eficiente de las instalaciones existentes**



Beneficios de la generación distribuida (GD)

3. Mejoramiento de la calidad del servicio eléctrico y la confiabilidad del sistema de distribución

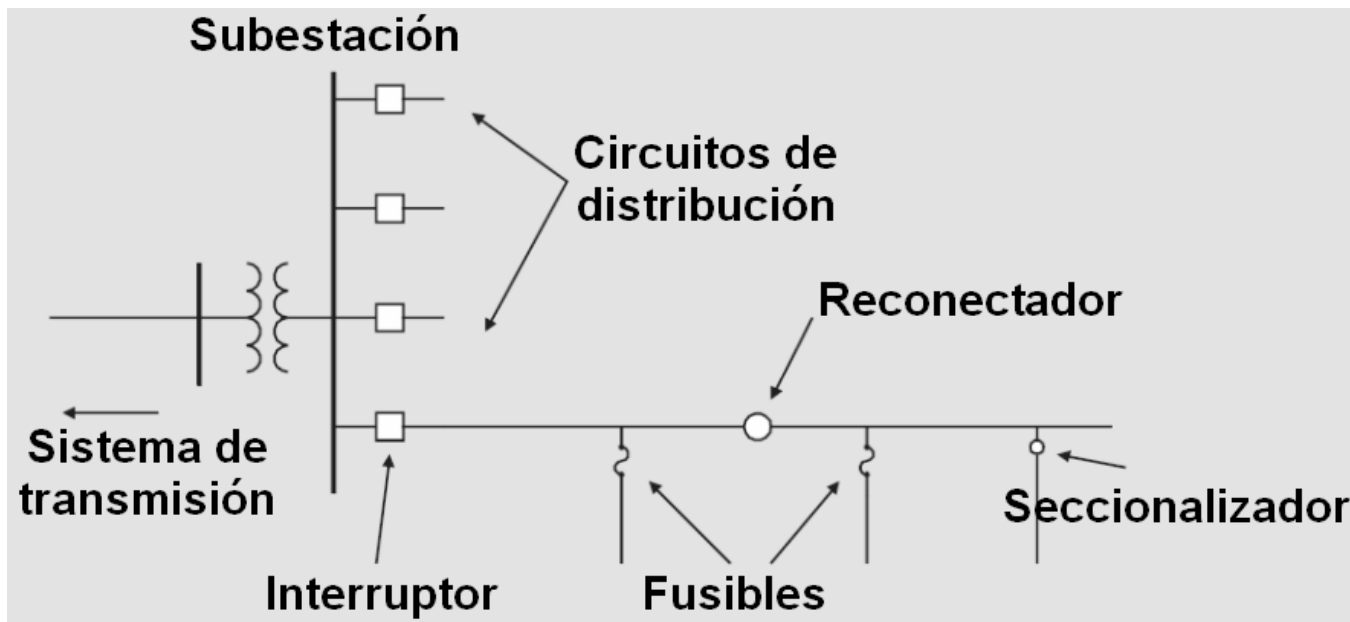
- **La confiabilidad es muy importante cuando el GD es crítico: sistemas independientes, micro-redes, generación utilizada para aliviar carga durante los períodos de punta**
- **La GD tiene disponibilidades que oscilan entre 90% y 97%, esta es mucho más baja que la disponibilidad de las distribuidoras típicas**
- **Sin embargo, si la GD es utilizada como un suplemento a la conexión de la distribuidora, puede incrementar significativamente la confiabilidad del usuario final**
- **Por ejemplo, si un GD con disponibilidad de 97% (11 días de interrupción anual) es conectado en paralelo a una distribuidora con una disponibilidad de 99.966% (3.5 horas de interrupción anual), la disponibilidad total crece a 99.9988% (6 minutos de interrupción por año)**

Beneficios de la GD

- 4. Reducción en el flujo de potencia a través de las redes de transmisión y distribución**
 - Reducción de las pérdidas de transmisión y distribución**
 - Suministro de potencia reactiva para el mejoramiento y mantenimiento del nivel de tensión**
 - Mejoramiento del factor de potencia de la red, reducción de las pérdidas en los transformadores, aumento de la capacidad disponible y vida útil**

Desafíos de la GD

- No es sencillo integrar generación a los sistemas de distribución existentes
- Los sistemas de distribución fueron diseñados para un **flujo de potencia unidireccional**, desde la subestación hacia los usuarios finales
- Los GD violan esta asunción básica y pueden **perturbar la operación del sistema de distribución** sino se toman las precauciones necesarias

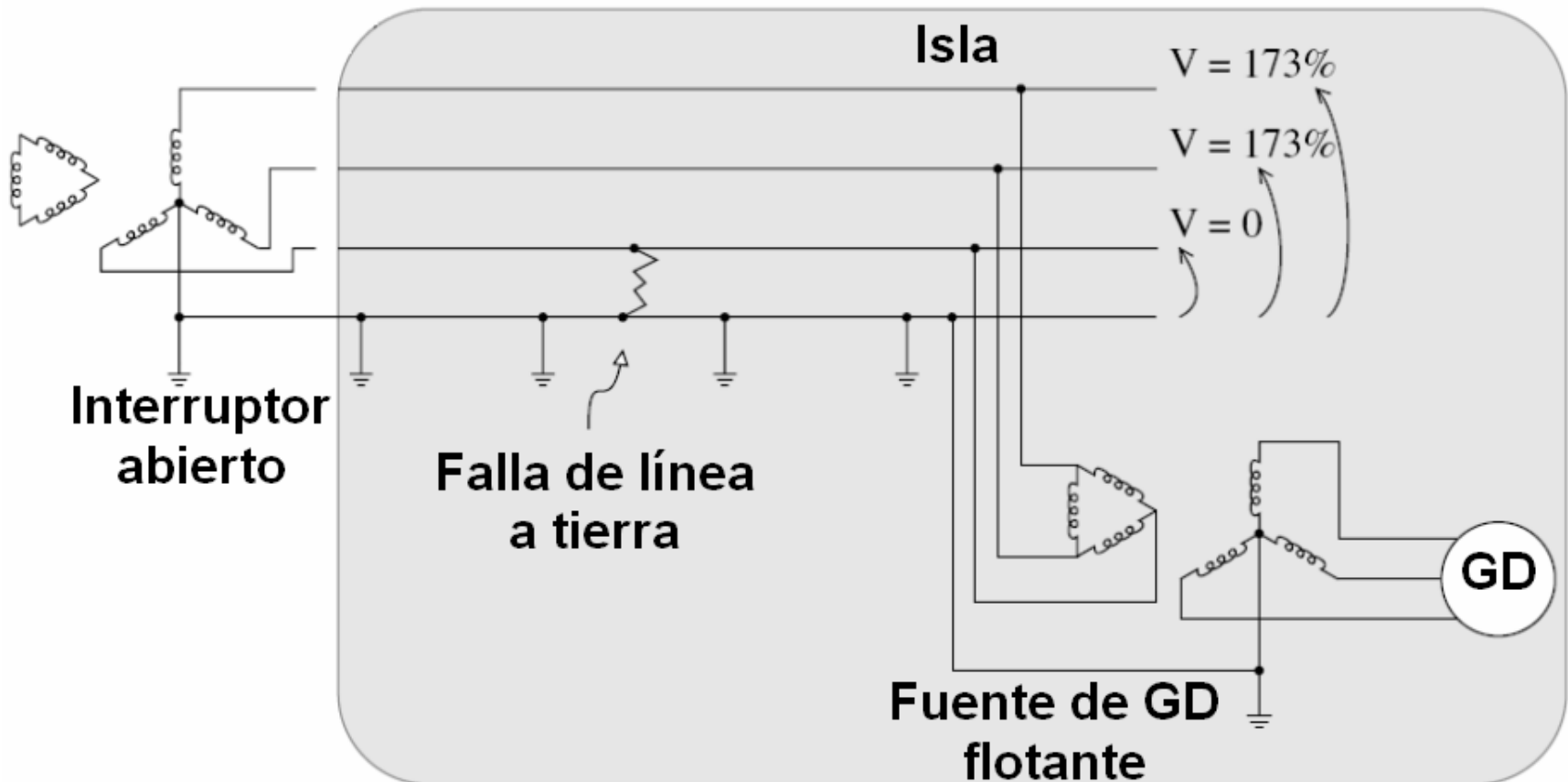


Aislamiento no intencional

- El aislamiento es una situación en la que uno o más GDs y una parte del sistema operan de **forma separada** respecto al resto del sistema de distribución
- La formación de una isla no intencional generalmente representa un problema para las distribuidoras, las preocupaciones más importantes son:
- **Seguridad de los trabajadores y del público:** un GD puede mantener energizada una sección de la red de distribución, a pesar de que esta sección esté desconectada del resto del sistema de distribución
- **Daño a equipo de la distribuidora y de los consumidores por reconexión fuera de sincronismo:** una vez que la isla se forma, esta típicamente pierde sincronismo con el resto del sistema de distribución.
- Si se intenta **reconectar sin sincronizar** se puede causar daño al generador, a las cargas de los consumidores y al equipo de reconexión de la distribuidora
- Además, se pueden causar **perturbaciones** importantes a clientes ubicados aguas arriba

Aislamiento no intencional

- **Problemas de tensión:** GDs interconectados por un transformador con un lado de media tensión no aterrizado, pueden convertir a un circuito normalmente aterrizado en uno no aterrizado



Puesta a tierra

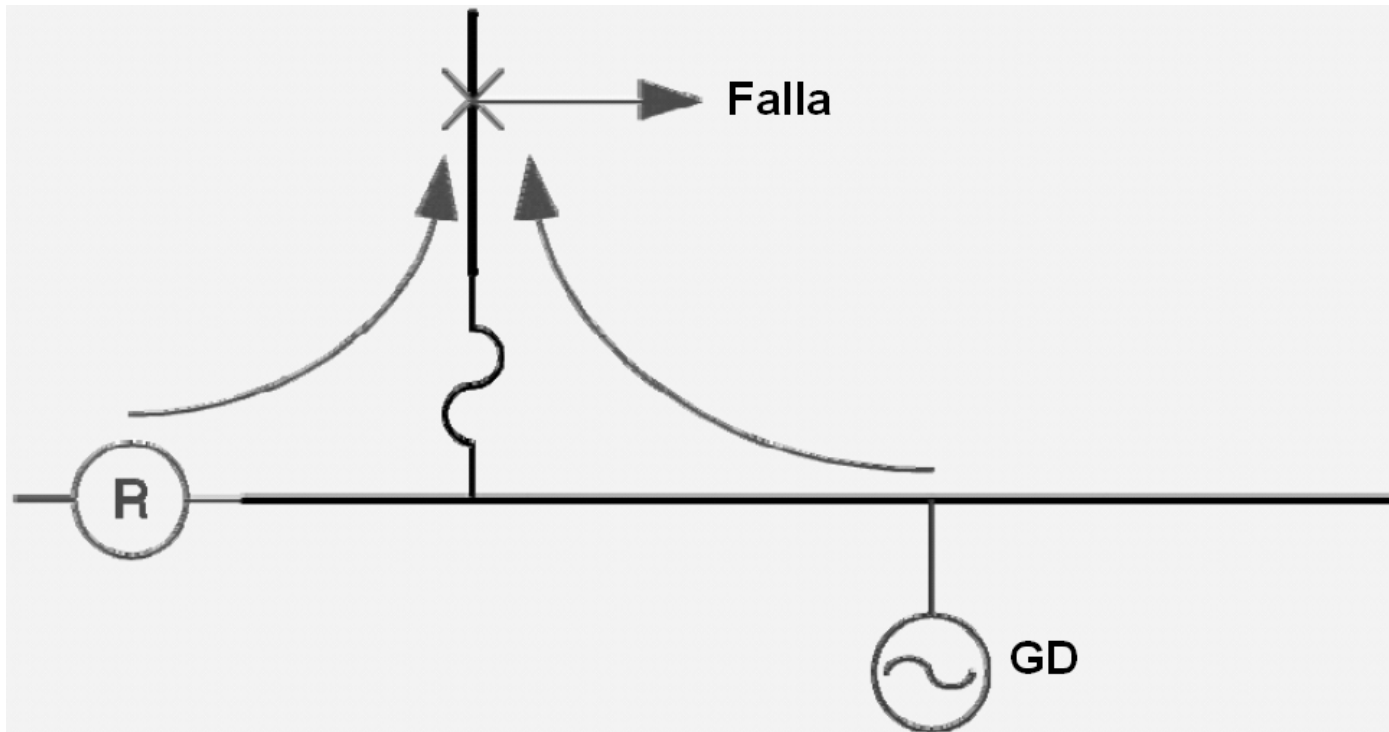
- La puesta a tierra del transformador/generador involucra una **relación de compromiso**
- Los mejores arreglos de puesta a tierra crean fuentes para la **circulación de corrientes de falla** que pueden interferir con los **sistemas de protección de distribución**
- Limitar la corriente de falla crea una interconexión que no está aterrizada (sobretensiones más altas)

Protección contra aislamiento no intencional

- En la mayoría de los sitios, se utilizan **relevadores de tensión y frecuencia** como protección principal contra el aislamiento no intencional
- Cuando se crea una isla, generalmente **la generación y la carga no son iguales**, esto causa variaciones de tensión y frecuencia
- Si la tensión y frecuencia exceden los **límites de operación normal**, los relevadores ordenan la desconexión de la GD

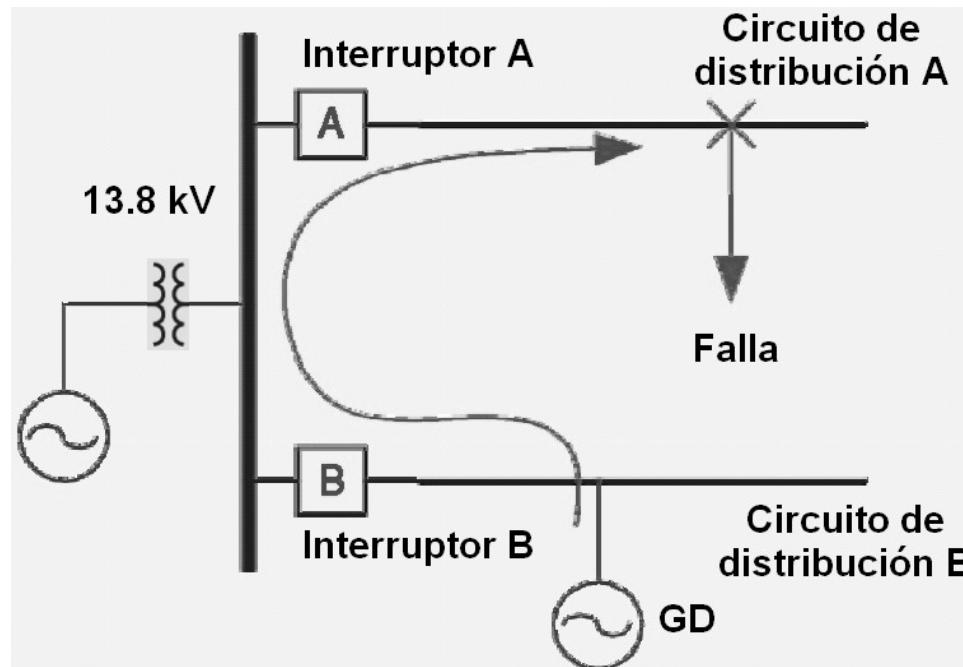
Impacto de la GD en la protección del sistema de distribución

- La corriente de falla inyectada por la GD puede tener un impacto adverso sobre los esquemas “**salvadores de fusibles**”
- Durante una falla temporal, la corriente inyectada por la GD puede **fundir los fusibles** antes de la primera operación rápida de los reconectores ubicados aguas arriba



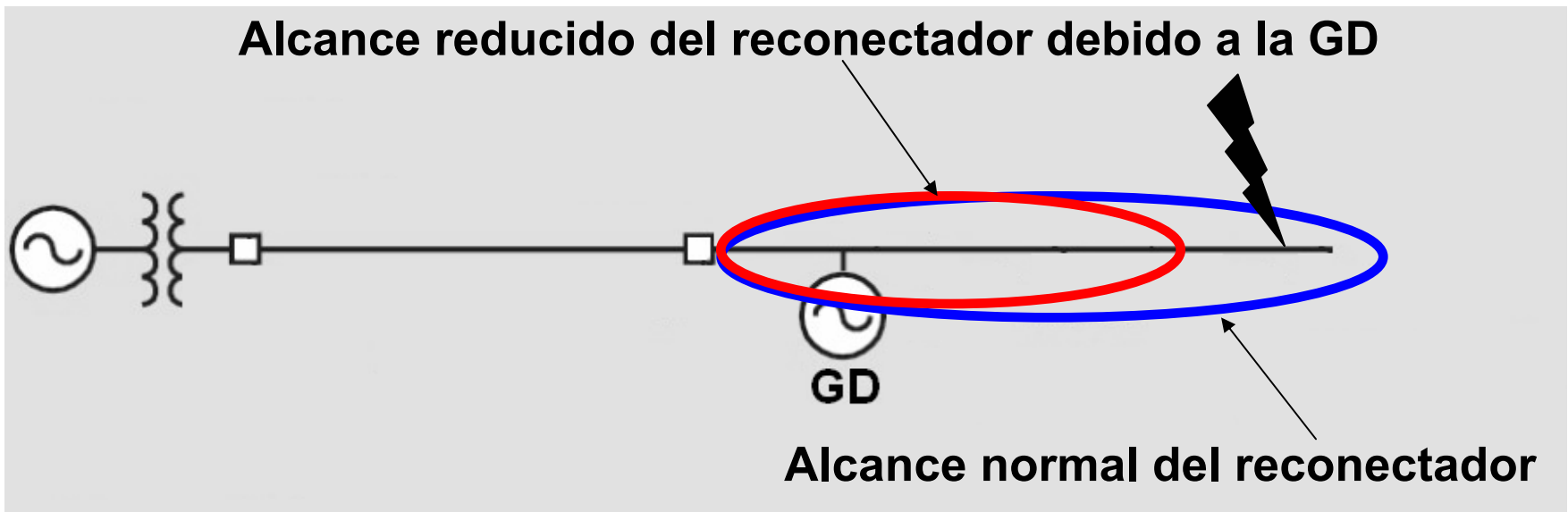
Impacto de la GD en la protección del sistema de distribución

- Cuando la penetración de GD en un circuito de distribución es **grande**, una falla en un circuito vecino puede causar la **apertura del interruptor principal** del circuito donde está conectada la GD
- Este problema puede ser solucionado instalando **relevadores direccionales** en los circuitos con gran penetración de GD



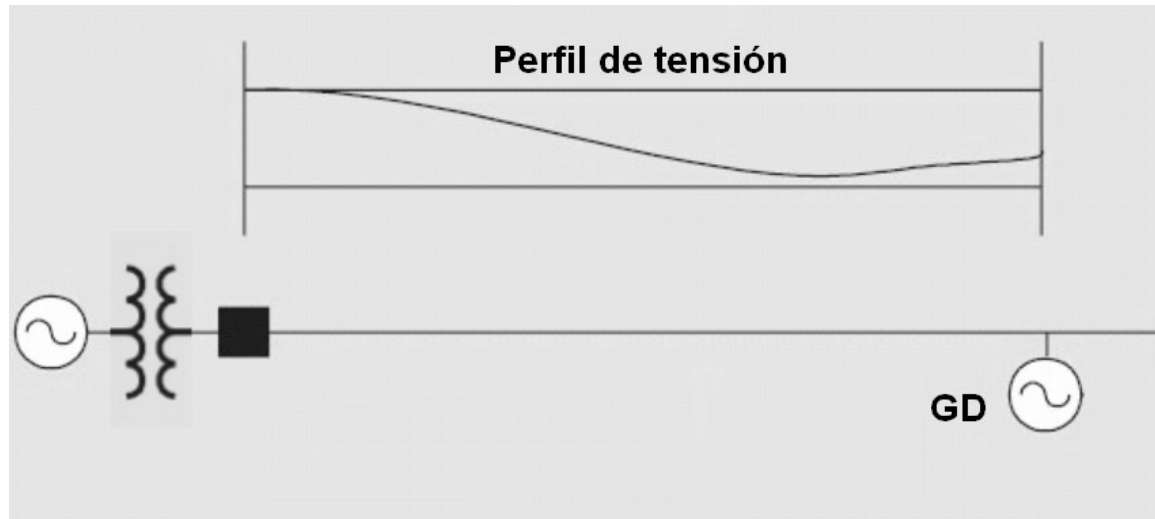
Impacto de la DG en la protección del sistema de distribución

- La corriente de carga suministrada por la GD puede modificar el **alcance** de los dispositivos de protección
- Durante la hora pico, el esquema de protección es bastante sensible (**el alcance es largo**), no se necesita mucha corriente adicional para abrir el interruptor
- Sin embargo, la corriente inyectada por la GD puede **reducir el alcance** de los dispositivos de protección



Regulación de tensión

- La GD **generalmente mejora** la tensión en un circuito de distribución porque **compensa la caída de tensión causada por las cargas**



- Sin embargo, la GD puede causar tensiones fuera de los **límites permitidos** (Ej. ANSI 84.1)
- La GD puede causar sobretensiones porque puede **inyectar potencia real aguas arriba** (flujo de potencia invertido) dentro del sistema, causando un aumento de tensión o interactuar con los reguladores de tensión y causar sobretensiones o subtensiones, dependiendo del escenario

Conclusiones

- La GD ofrece **beneficios importantes**, por ejemplo retrasar inversiones de capacidad en los sistemas, reducción de pérdidas, mejorar la confiabilidad, etc.
- Sin embargo, su integración en la red de distribución representa **desafíos importantes**, porque los sistemas de distribución han sido diseñados para una operación radial (flujo de potencia unidireccional)
- Estos problemas aumentan a medida que crece la penetración de la GD en la red de distribución
- Es necesario **“modernizar”** los sistemas de protección, supervisión y control de la red de distribución, para permitir la integración efectiva de la GD
- En el mediano y largo plazo, la red de distribución evolucionará operativamente y estructuralmente hasta convertirse en una **red similar a la de transmisión**

Referencias

- 1. R.C. Dugan, T.E. McDermott, Distributed Generation, IEEE Industry Applications Magazine, Mar-Apr 2002, pp. 19-25**
- 2. PQ, Reliability and DG, T.E. McDermott, R.C. Dugan, IEEE Industry Applications Magazine, Sep-Oct 2003, pp. 17-23**
- 3. M. Nagpal, F. Plumptre, R. Fulton, T.G. Martinich, Dispersed Generation Interconnection – Utility Perspective, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 42, No. 3, pp. 864-872**
- 4. A. Pansini, Guide to Electrical Power Distribution Systems, The Fairmont Press Inc., 2005**
- 5. Electric Power Distribution Handbook, CRC Press, 2004**

iGracias!

www.geocities.com/drjera