



Generación Distribuida: Nuevo Paradigma de la Generación de Energía Eléctrica

Dr. Julio Romero Agüero

Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH)

Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE)

Colegio de Ingenieros Mecánicos, Electricistas y Químicos de Honduras (CIMEQH)

1

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

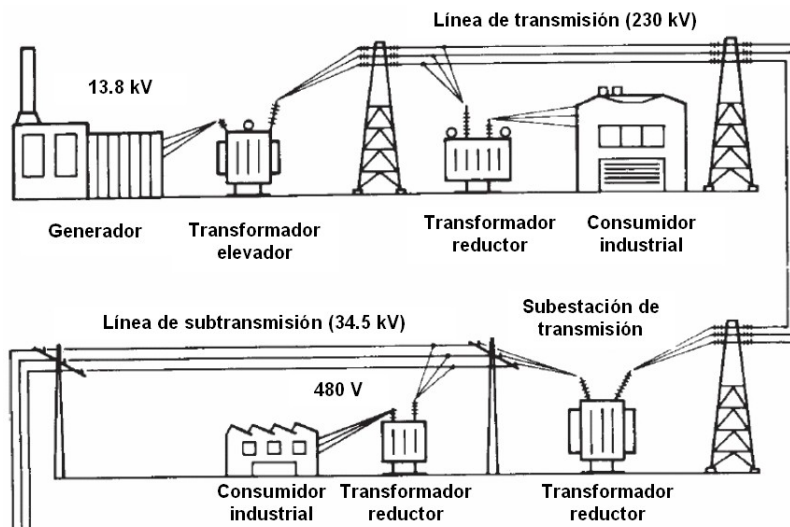
2

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 Calificadas" 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

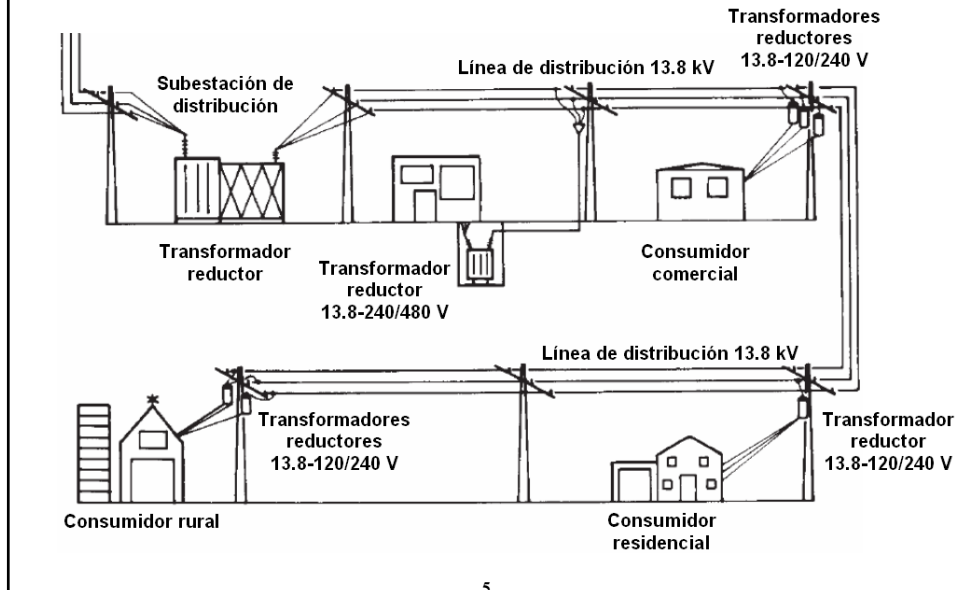
3

Sistema de transmisión



4

Sistema de distribución



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

7

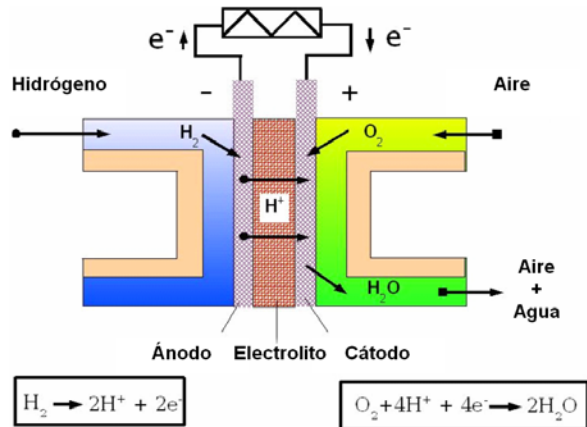
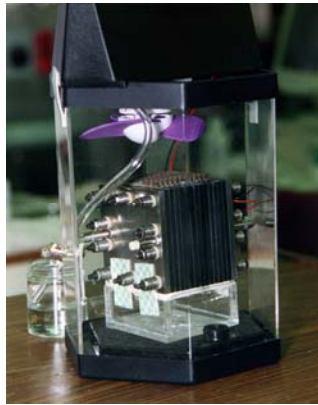
Características de los GD

- **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**

8

Características de los GD

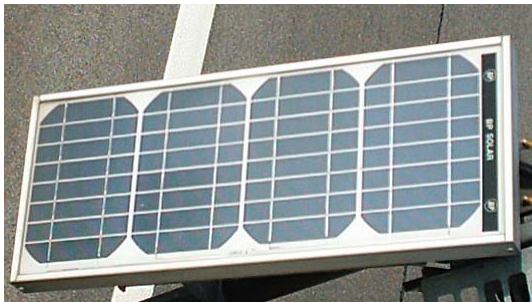
Celda de combustible



9

Características de los GD

Celda solar



Turbina eólica



10

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)

11

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

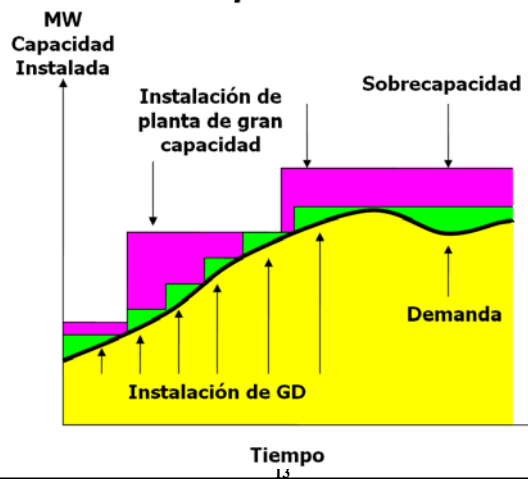
- Los sistemas fotovoltaicos y las celdas de combustible generan en **corriente directa**
- Las turbinas eólicas y las microturbinas generan **frecuencias incompatibles** con las del sistema de distribución
- Para interconectarlas es necesario **rectificar** a corriente directa y luego **invertir** a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

12

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

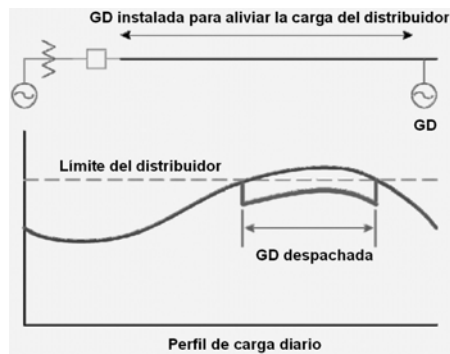
- Los tiempos requeridos para el diseño, autorización, construcción y puesta en operación de los GD, son menores que los de una planta de gran capacidad
- Los tiempos necesarios para la recuperación de la inversión y el riesgo para los inversionistas también es menor

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**



15

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)

16

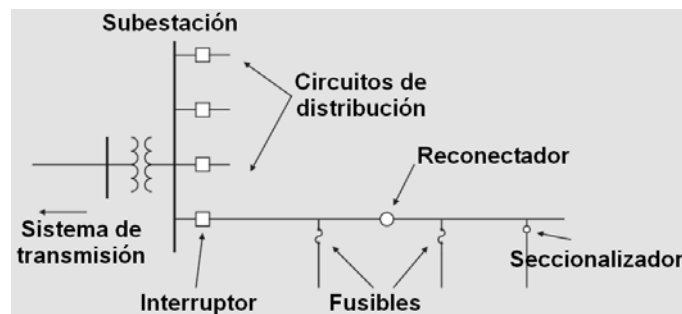
Beneficios de la GD

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**

17

Desafíos de la GD

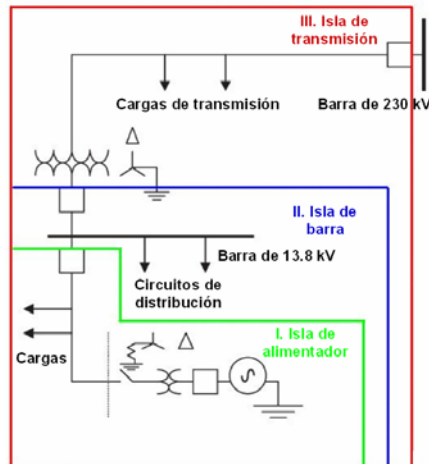
- **No es sencillo integrar generación a los sistemas de distribución existentes**
- **Los sistemas de distribución fueron diseñados para un flujo de potencia unidireccional, desde la subestación hacia los usuarios finales**
- **Los GD violan esta asunción básica y pueden perturbar la operación del sistema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



18

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



19

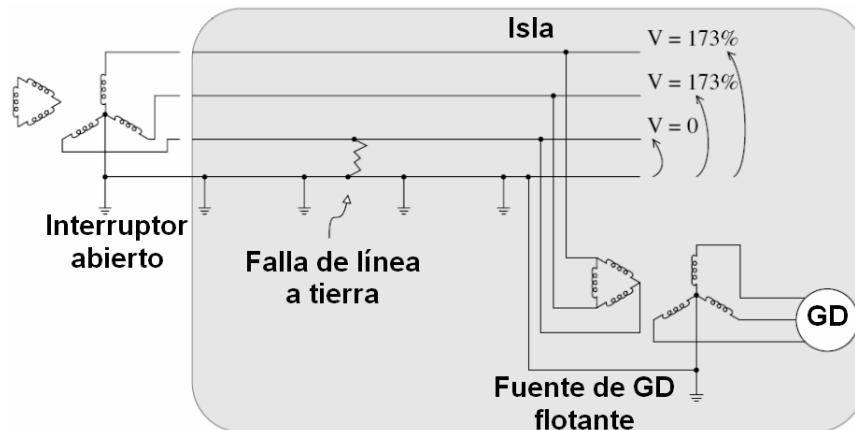
Aislamiento no intencional

- 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

20

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



21

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)

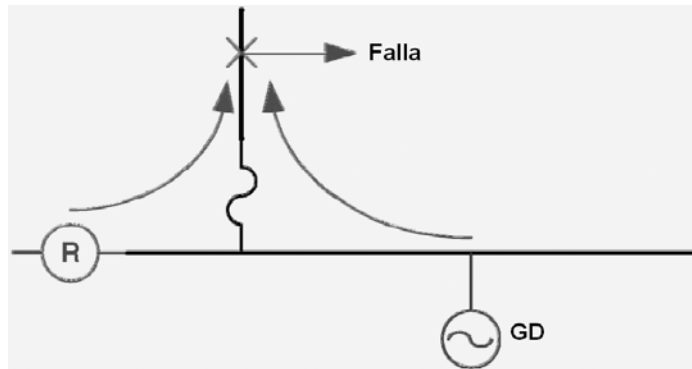
Protección contra aislamiento no intencional

- 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

22

Impacto de la GD en la protección del sistema de distribución

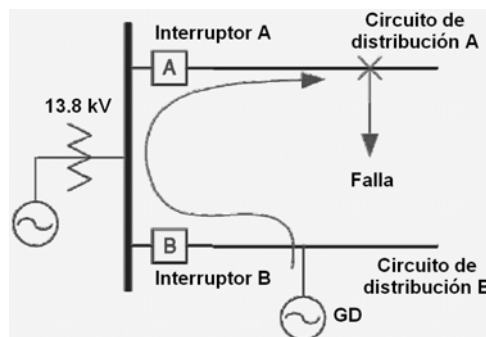
- La corriente de falla inyectada por la GD puede tener un impacto adverso sobre los esquemas "salvadores de fusibles"
- Durante una falla temporal, la corriente inyectada por la GD puede fundir los fusibles antes de la primera operación rápida de los reconfiguradores ubicados aguas arriba



23

Impacto de la GD en la protección del sistema de distribución

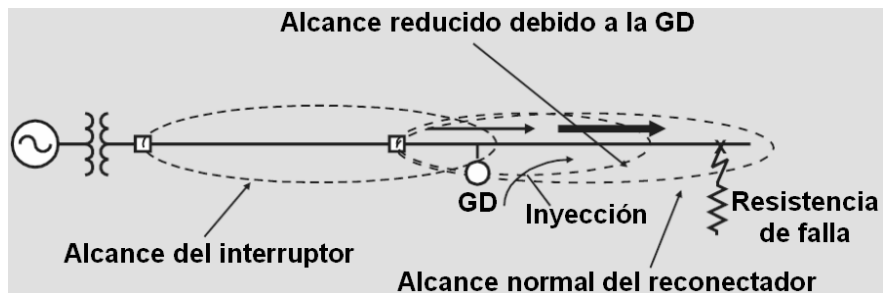
- Cuando la penetración de GD en un circuito de distribución es grande, una falla en un circuito vecino puede causar la apertura del interruptor principal del circuito donde está conectada la GD
- Este problema puede ser solucionado instalando relevadores direccionales en los circuitos con gran penetración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



24

Impacto de la DG en la protección del sistema de distribución

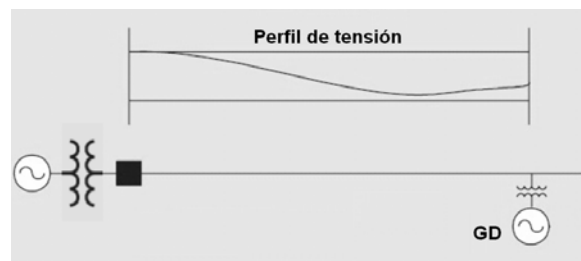
- La corriente de carga suministrada por la GD puede modificar el **alcance** de los dispositivos de protección
- Durante la hora pico, el esquema de protección es bastante sensible (**el alcance es largo**), no se necesita mucha corriente adicional para abrir el interruptor
- Sin embargo, la corriente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



25

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

26

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**

27

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

28

iGracias!
www.geocities.com/drjera