



**Universidad del Azuay**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

Estudio de los sistemas de Generación Distribuida

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de  
Ingeniera Electrónica

Autora

Katherine Estefanía Bustamante Paredes

Director

Francisco Eugenio Vásquez Calero

Cuenca, Ecuador

2013

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>INDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>v</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>vi</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>viii</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>

### **CAPITULO 1: GENERALIDADES DE LA GENERACION DISTRIBUIDA Y SU SITUACION ACTUAL EN EL MUNDO**

1.1	Antecedentes Históricos de la Generación Distribuida.....	3
1.2	Definición y características de la Generación Distribuida.....	4
1.3	Rango de la Generación Distribuida .....	7
1.4	Generación Distribuida y su potencial aplicación en el Ecuador .....	8
1.4.1	Situación actual del país.....	8
1.4.2	Análisis económico.....	11
1.4.3	Generación Distribuida en el Ecuador .....	15
1.4.3.1	Proyectos de generación hidroeléctricos .....	16
1.4.3.2	Proyectos de generación térmicos.....	18
1.4.3.3	Proyectos de generación mediante energías renovables.....	18
1.5	Generación Distribuida en otros países .....	19
1.5.1	Generación Distribuida en España .....	20
1.5.2	Generación Distribuida en Alemania.....	21
1.5.3	Generación Distribuida en Honduras .....	22
1.5.4	Generación Distribuida en Guatemala .....	22
1.5.5	Generación Distribuida en América Latina y el Caribe.....	23

### **CAPITULO 2: SISTEMAS PARA LA GENERACION DISTRIBUIDA**

2.1	Fuentes de energía utilizadas para Generación Distribuida. Energías Renovables .....	24
2.2	Tecnologías de generación.....	25

2.2.1	Tecnologías de generación convencionales .....	25
2.2.1.1	Motores alternativos de combustión interna.....	25
2.2.1.2	Turbinas de gas.....	26
2.2.1.3	Microturbinas.....	27
2.2.1.4	Pilas de combustible.....	28
2.2.1.5	Cogeneración.....	30
2.2.2	Tecnologías de generación no convencionales .....	31
2.2.2.1	Eólica .....	31
2.2.2.2	Mini-hidráulica .....	32
2.2.2.3	Solar térmica .....	33
2.2.2.4	Solar fotovoltaica.....	34
2.2.2.5	Energía marina.....	37
2.2.2.6	Biomasa .....	38
2.2.2.7	Residuos sólidos urbanos.....	39
2.3	Sistemas de almacenamiento energético .....	40
2.3.1	Sistema de baterías.....	41
2.3.2	Sistema de bombeo.....	42
2.3.3	Sistema de almacenamiento térmico .....	42
2.3.4	Sistema de aire comprimido .....	42
2.3.5	Sistema de volante de inercia.....	43
2.3.6	Sistema de bobinas superconductoras .....	43
2.4	Sistemas de interconexión a la red .....	44
2.4.1	Sistemas aislados de la red.....	45
2.4.2	Sistemas conectados a la red.....	46
2.4.2.1	Estaciones de energía que alimentan la red.....	46
2.4.2.2	Sistemas que intercambian energía con la red .....	46

### **CAPITULO 3: APLICACIONES, VENTAJAS Y BARRERAS DE LA GENERACION DISTRIBUIDA**

3.1	Aplicaciones de la Generación Distribuida.....	49
3.2	Ventajas de la Generación Distribuida.....	50
3.2.1	Ventajas tecnológicas.....	50
3.2.2	Ventajas económicas y sociales .....	51

3.2.3	Ventajas medioambientales.....	51
3.3	Barreras de la generación Distribuida.....	52
3.3.1	Barreras tecnológicas.....	52
3.3.2	Barreras económicas y regulatorias.....	53
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>57</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>61</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Tabla de clasificación de los principales tipos de Generación Distribuida.	8
Tabla 1.2	Nivel de cobertura urbana y rural por provincia.	9
Tabla 1.3	Cuadro de producción anual de energía eléctrica a nivel nacional.	10
Tabla 1.4	Cuadro de pérdidas anuales de energía eléctrica en el Sistema Nacional de Transmisión SNT.	11
Tabla 1.5	Demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo (GWh).	12
Tabla 1.6	Demanda mensual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo (GWh).	13
Tabla 1.7	Precios medios a clientes finales de distribuidoras (USD ¢/kWh).	14
Tabla 1.8	Costo del servicio eléctrico (USD ¢/kWh).	15
Tabla 2.1	Esquema de clasificación de la biomasa.	38
Tabla 2.2	Características y aplicaciones de los diferentes sistemas de almacenamiento.	44

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ejemplo de aplicación de GD en un sistema eléctrico.....	6
Figura 1.2 Evolución de la potencia instalada de las diferentes tecnologías de GD en España. ....	21
Figura 2.1 Motor diésel de Guascor.....	26
Figura 2.2 Turbina de gas de 3,8 MW.....	27
Figura 2.3 Microturbina Magnetek. ....	28
Figura 2.4 Funcionamiento de una celda de combustible PEM (de membrana polimérica).....	29
Figura 2.5 Pila de combustible Ballard.....	29
Figura 2.6 Esquema típico de una planta de cogeneración.....	30
Figura 2.7 Parque Eólico Villonaco. ....	31
Figura 2.8 Esquema de la producción de energía eléctrica mediante energía solar térmica.....	33
Figura 2.9 Efecto Fotoeléctrico. ....	35
Figura 2.10 Vivienda Shuar electrificada con paneles fotovoltaicos. Proyecto Yantasa li Etsari.....	37
Figura 2.11 Planta incineradora de basura. ....	40
Figura 2.12 Baterías electroquímicas.....	41
Figura 2.13 Sistema de interconexión.....	47

*Revisado  
en  
07/305*

## ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE GENERACION DISTRIBUIDA

### RESUMEN

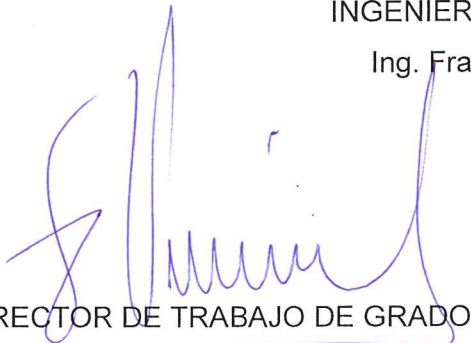
Para determinar las ventajas de la implementación de un sistema de generación distribuida sobre el sistema de generación tradicional centralizado y analizar las principales tecnologías de generación de energía, así como los sistemas de almacenamiento e interconexión utilizados dentro de dicho sistema, se ha realizado una investigación detallada que contiene una recopilación de información proveniente de varios autores, a partir de la cual se ha elaborado una guía acerca de esta modalidad de generación energética.

La Generación Distribuida posee diversas aplicaciones y representa una forma eficiente de generación eléctrica portadora de grandes ventajas desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental, ya que puede satisfacer la demanda energética mediante el uso de fuentes renovables de energía y tecnologías de ahorro y eficiencia energética.

**PALABRAS CLAVE:** Generación Distribuida, Generación Centralizada, Energías Renovables, interconexión a red, almacenamiento energético.



DIRECTOR DE ESCUELA  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
Ing. Francisco Vásquez.



DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO  
Ing. Francisco Vásquez.



AUTORA  
Katherine Bustamante P.

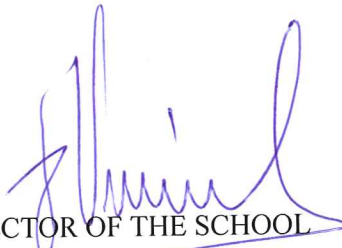
*Bustamante*  
*130513*

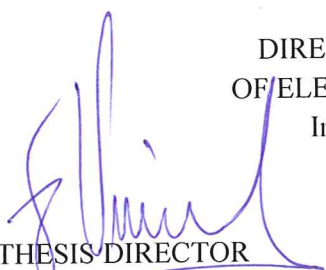
## ABSTRACT


### STUDY OF DISTRIBUTED GENERATION SYSTEMS

In order to determine the advantages of the implementation of distributed generation systems over centralized traditional generation and to analyze the main energy generation technologies as well as the storing and interconnection methods employed within this system, we have carried out a detailed investigation that contains information from several authors. Then, we developed a guide regarding this type of energy generation. Distributed Generation System contains several applications and represents an efficient way of electricity generation. It has great technical, economic, and environmental advantages since it can satisfy the energy demand through the use of renewable energy sources, technology saving, and energy efficiency.

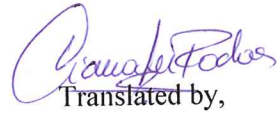
**Key Words:** Distributed Generation, Centralized Generation, Renewable Energy, web interconnection, energy storing.

  
DIRECTOR OF THE SCHOOL  
OF ELECTRONIC ENGINEERING  
Ing. Francisco Vásquez

  
THESIS DIRECTOR  
Ing. Francisco Vásquez

  
AUTHOR  
Katherine Bustamante

  
  
UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
DPTO. IDIOMAS

  
Translated by,  
Diana Lee Rodas



Bustamante Paredes Katherine Estefanía  
Trabajo de graduación  
Ing. Francisco Vásquez  
Mayo 2013

## **ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE GENERACION DISTRIBUIDA**

### **INTRODUCCION**

Hoy en día la generación de energía eléctrica en los países industrializados está limitada a las grandes instalaciones centralizadas, tales como centrales de combustible fósil, hidroeléctricas, etc. Normalmente en función de factores económicos, de seguridad, logísticos o medioambientales, las centrales eléctricas se localizan en determinados lugares, los cuales por lo general se encuentran alejados de los puntos de consumo, por lo que existen pérdidas de energía en la red debido a las grandes distancias que recorre la misma, lo que provoca que la generación de energía tenga un limitado rendimiento energético, económico y medioambiental.

La crisis energética experimentada actualmente por el mundo, la desregulación del mercado eléctrico y la necesidad de encontrar sistemas eléctricos confiables, nos conduce a la búsqueda de nuevas tecnologías de generación, en las cuales se haga uso de todas las fuentes disponibles de energía con un óptimo rendimiento energético y medioambiental, es así que se ha impulsado el concepto de Generación Distribuida (GD).

La Generación Distribuida se enfoca en el uso integrado de pequeñas unidades de generación, ubicadas en el interior de las instalaciones del usuario o conectadas directamente al sistema de distribución. Ya que las fuentes necesitan ser conectadas a la red eléctrica en el punto más cercano de su generación, el sistema eléctrico tradicional cambia sus características en lo que concierne a la estructura y aprovechamiento operacional.

Es así que los cambios y las tendencias a nivel mundial de las estructuras de mercado en el sector eléctrico, plantean importantes desafíos en el diseño, control, operación y protección de las redes de distribución.

Dentro de este contexto en el siguiente trabajo se presenta una investigación acerca de los Sistemas de Generación Distribuida (GD), abarcando temas como sus principales características y su situación actual en el Ecuador y otros lugares del mundo, se habla también de las fuentes de energía, tecnologías de generación y sistemas de almacenamiento e interconexión utilizados en esta modalidad de generación. Además se establecen los beneficios de este tipo de generación sobre los sistemas centralizados; a fin de aportar con una guía para un mayor conocimiento de esta tecnología.

## CAPITULO 1

### GENERALIDADES DE LA GENERACION DISTRIBUIDA Y SU SITUACION ACTUAL EN EL MUNDO

#### 1.1 Antecedentes Históricos de la Generación Distribuida

Los sistemas de generación energética se han desarrollado de manera que las centrales de producción entregan electricidad a los consumidores a través de los sistemas de transmisión, subtransmisión y distribución de energía eléctrica, comúnmente en este esquema las fuentes de energía más utilizadas son de carácter fósil, no renovable y contaminante, a base de hidrocarburos como el petróleo, gas natural y carbón. Sin embargo debido al crecimiento demográfico y un aumento a nivel mundial de la demanda de bienes y servicios, estos recursos primarios convencionales se están agotando a un ritmo acelerado, por lo que se están promoviendo iniciativas y políticas orientadas a la introducción de nuevas tecnologías que utilicen como fuente de generación energías primarias renovables.

En la actualidad el principal modo de producción de energía eléctrica es la Generación Centralizada, por lo que aparentemente el concepto de Generación Distribuida (GD) simboliza un cambio novedoso para la explotación energética, sin embargo este fue el concepto original con el cual se desarrolló la idea de generación eléctrica.

Inicialmente la industria eléctrica se basó en la generación de energía en el sitio donde se encontraba la carga, pero debido al crecimiento geográfico de las poblaciones y por consiguiente de la demanda de energía, se emigró hacia el sistema de Generación Centralizada, justamente porque la central eléctrica se encontraba en el centro geométrico del consumo mientras los usuarios crecían a su alrededor, pero este esquema tenía ciertas limitaciones debido a los generadores eléctricos de corriente continua ya que por la baja tensión, la distancia máxima a la que se podía trasladar la energía era de 30 a 57 kilómetros.

Posteriormente se implementó el uso de transformadores de corriente alterna en sistemas eléctricos con generadores de gran tamaño, cuya energía debía ser necesariamente transportada hacia la demanda mediante grandes redes de transmisión, de esta manera se evolucionó hacia un sistema de Generación Centralizada en el cual las instalaciones de la central se encontraban en lugares alejados de las zonas de consumo.

Luego en la década de los setentas a causa de la creciente conciencia ambiental, la crisis petrolera y el aumento de la demanda energética, surge la necesidad de encontrar una alternativa tecnológica que brinde energía eléctrica oportuna y de calidad de una manera amigable con el medioambiente mediante un uso eficiente de los recursos naturales, de esta manera se recupera la idea original de generar la energía en puntos cercanos al lugar de consumo, además se incorporan ciertas transformaciones en cuanto a los flujos de energía, ya que normalmente en las estructuras tradicionales jerárquicas de las redes la energía fluye desde los centros de generación hasta los consumidores finales, pues en esta tecnología se implementa al esquema la opción de interactuar (comprar y vender) con la red eléctrica, y por otro lado se considera a las energías renovables como fuentes auxiliares para la generación. A esta modalidad de generación eléctrica se le conoce como Generación In-Situ, Generación Dispersa, o más comúnmente, Generación Distribuida.

Las ventajas que brinda la Generación Distribuida son varias, entre ellas se encuentran una mayor seguridad de suministro, disminución de la cantidad de energía que se pierde durante el transporte y baja contaminación. Sin embargo debido a que aún existen limitaciones técnicas, económicas, legales y regulatorias no se ha logrado un pleno desarrollo de la Generación Distribuida en los sistemas eléctricos.

## **1.2 Definición y características de la Generación Distribuida**

No existe un concepto universalmente aceptado de Generación Distribuida (GD) dado que son varios los factores que intervienen en su definición entre éstos: las tecnologías empleadas, límites de potencia, sistemas de conexión a red, modo de operación, propósito, ubicación, impacto medioambiental etc. Por lo tanto se ha realizado una recopilación de varias definiciones dadas por algunos organismos internacionales y autores, las cuales se citan a continuación.

Por ejemplo, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) de México ha reunido las siguientes definiciones:

- *“Generación en pequeña escala instalada cerca del lugar de consumo.*
- *Producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico.*
- *Es la generación conectada directamente en las redes de distribución.*
- *Es la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas.*
- *Es la producción de electricidad a través de instalaciones de potencia reducida, comúnmente por debajo de 1 000 kW.*
- *Son sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento, que están situados dentro o cerca de los centros de carga.*
- *Es la generación de energía eléctrica a pequeña escala cercana a la carga, mediante el empleo de tecnologías eficientes, destacando a la cogeneración, con la cual se maximiza el uso de los combustibles utilizados.”<sup>1</sup>*

El DPCA (*Distribution Power Coalition of America*) define a la GD como, cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona electricidad en puntos más cercanos al consumidor que la generación centralizada y que se puede conectar directamente al consumidor o a la red de transporte o distribución.

La IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) contempla como Generación Distribuida a aquellas instalaciones de generación eléctrica conectadas al sistema eléctrico mediante un punto de conexión común, un subconjunto de fuentes distribuidas.

El departamento de energía de los Estados Unidos DOE (*Department of Energy*) describe GD como cualquier tecnología de generación eléctrica a pequeña escala, modular y conectada a la red, que se sitúe en el punto de consumo. *The California Energy Commission* define como GD a aquellas tecnologías de generación de

---

<sup>1</sup> CONUEE, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Generación Distribuida.

<[http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_1917\\_generacion\\_distribui?page=1](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1917_generacion_distribui?page=1)>

potencia eléctrica pequeña, situadas cerca de los puntos de consumo para proporcionar una alternativa o una mejora al sistema eléctrico tradicional.

La Agencia Internacional de la energía IEA (*International Energy Agency*) considera como Generación Distribuida, únicamente, la que se conecta a la red de distribución en baja tensión y la asocia a tecnologías como los motores, mini y micro turbinas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica.

Para aportar con una definición podríamos englobar los criterios anteriores y decir que la Generación Distribuida (GD), es la tecnología que consiste en la producción de energía eléctrica mediante instalaciones de potencia reducida (mucho más pequeñas que las centrales convencionales), situadas en las proximidades de las cargas o puntos de consumo de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico, es decir se conectan a una red de distribución en lugar de una red de transmisión de alta tensión, y que además plantea la posibilidad de interactuar con la red eléctrica para efectos de compra y venta. A continuación en la Figura 1.1 se ilustra un sistema de GD.



Figura 1.1 Ejemplo de aplicación de GD en un sistema eléctrico.  
(FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida, Pág. 9)

### 1.3 Rango de la Generación Distribuida

El rango de la capacidad instalada en el que se manejan los sistemas de Generación Distribuida varía según diferentes factores como: la fuente de energía utilizada y la tecnología de generación, entre otros, por lo cual es difícil establecer un estándar de potencias general pues existen varios criterios.

Por ejemplo *The California Energy Commission* contempla un rango de entre 3 y 10 000 kW y el Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos establece un rango que va desde 1 kW hasta decenas de MW.

En España el Régimen Especial plantea un límite máximo de potencia de 50 MW, mientras en el Reino Unido la consultoría *EscoVale Consultancy*, considera un rango que se extiende hasta 100 MW, sin embargo establece una potencia de 10 MW como el límite máximo para instalaciones en las que se utilizan fuentes de energía renovables para la generación.

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) de México, de acuerdo con las características de generación eléctrica, establece que la capacidad de generación de los sistemas de GD está en un rango que varía de cientos de kW hasta 10 000kW de potencia instalada.

Según los criterios mencionados se realiza una clasificación de los rangos de potencia de la siguiente manera:

Micro-generación: Potencias inferiores a los 5 kW

Mini-generación: Potencias entre 5 kW hasta 5MW

Generación de media escala: Potencias entre 5 MW hasta 50MW

Generación de gran escala: Potencias entre 50 MW hasta 100MW

En el siguiente cuadro mostrado en la Tabla 1.1 se clasifican los tres tipos principales de GD (uno a pequeña escala, dos a escala comercial).

	Pequeña escala	Escala Comercial	
Conexión	Carga de usuarios	Carga de usuarios	Red de distribución
Venta de electricidad	Electricidad excedente	Toda la electricidad	Toda la electricidad
Sectores	Residencial, no residencial	No residencial	No residencial
Principales tecnologías de ER	Solar fotovoltaica (FV), eólica, hidroeléctrica	Cogeneración industrial	Solar fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica, cogeneración con biomasa
Capacidad Aproximada	Hasta 100 kW	Hasta 1MW	Superior a 1MW

Tabla 1.1 Tabla de clasificación de los principales tipos de Generación Distribuida.  
(GISCHLER, Christiaan. JANSON, Nils. Perspectivas para la generación distribuida mediante energías renovables en América Latina y el Caribe. 2011. Pág.4)

## 1.4 Generación Distribuida y su potencial aplicación en el Ecuador

### 1.4.1 Situación actual del país

*“Según las estadísticas publicadas por el Consejo Nacional de la Electricidad (CONELEC) de acuerdo el Censo de Población y Vivienda, realizado en noviembre de 2010 por el INEC, el porcentaje total de viviendas con energía eléctrica alcanzó el 93,53 %, siendo para el área Urbana el 94,82 % y para la Rural el 89,03 %”<sup>2</sup>.*

Lo que indica que aunque la mayoría de la población urbana y rural del Ecuador cuenta ya con un suministro de energía eléctrica, existe aún un porcentaje que no posee dicho servicio, siendo el mismo más alto en el sector rural. En el siguiente cuadro en la Tabla 1.2, se ilustra el porcentaje de cobertura eléctrica de las diferentes provincias.

<sup>2</sup> CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador. 2012. <<http://www.conelec.gob.ec>>



PROVINCIA	URBANO			RURAL			Total Usuarios con servicio eléctrico	Total Total Viviendas	Total % Cobertura
	Usuarios con servicio eléctrico	Total Viviendas	% Cobertura	Usuarios con servicio eléctrico	Total Viviendas	% Cobertura			
AZUAY	115,569	117,022	98.76%	63,674	66,895	95.18%	179,243	183,917	97.46%
BOLÍVAR	27,763	30,560	90.85%	13,705	16,550	82.81%	41,468	47,110	88.02%
CAÑAR	32,085	33,102	96.93%	22,742	24,275	93.68%	54,827	57,377	95.56%
CARCHI	27,497	27,741	99.12%	14,193	15,159	93.63%	41,690	42,900	97.18%
CHIMBORAZO	68,370	71,718	95.33%	44,596	51,327	86.89%	112,966	123,045	91.81%
COTOPAXI	55,148	58,346	94.52%	37,940	43,454	87.31%	93,088	101,800	91.44%
EL ORO	129,592	133,181	97.31%	24,317	25,835	94.12%	153,909	159,016	96.79%
ESMERALDAS	76,097	82,633	92.09%	35,567	46,277	76.86%	111,664	128,910	86.62%
GALÁPAGOS	6,030	6,058	99.54%	1,066	1,103	96.65%	7,096	7,161	99.09%
GUAYAS	802,905	867,710	92.53%	63,804	73,002	87.40%	866,709	940,712	92.13%
IMBABURA	63,010	63,947	98.53%	35,235	37,139	94.87%	98,245	101,086	97.19%
LOJA	75,073	77,354	97.05%	32,530	36,354	89.48%	107,603	113,708	94.63%
LOS RÍOS	137,168	151,213	90.71%	41,823	48,723	85.84%	178,991	199,936	89.52%
MANABÍ	236,466	258,276	91.56%	66,880	79,694	83.92%	303,346	337,970	89.76%
MORONA SANTIAGO	14,665	16,846	87.05%	10,127	15,945	63.51%	24,792	32,791	75.61%
NAPO	12,120	12,981	93.37%	7,271	9,357	77.71%	19,391	22,338	86.81%
ORELLANA	15,894	17,540	90.62%	9,367	13,837	67.70%	25,261	31,377	80.51%
PASTAZA	10,641	11,246	94.62%	5,111	8,216	62.21%	15,752	19,462	80.94%
PICHINCHA	521,603	524,805	99.39%	192,904	196,125	98.36%	714,507	720,930	99.11%
SANTA ELENA	40,824	44,819	91.09%	24,644	29,496	83.55%	65,468	74,315	88.10%
SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS	76,023	78,327	97.06%	13,780	15,696	87.79%	89,803	94,023	95.51%
SUCUMBIOS	24,542	26,866	91.35%	11,811	15,916	74.21%	36,353	42,782	84.97%
TUNGURAHUA	75,524	76,575	98.63%	57,442	60,859	94.39%	132,966	137,434	96.75%
ZAMORA CHINCHIPE	11,779	12,785	92.13%	6,642	8,200	81.00%	18,421	20,985	87.78%
ZONAS NO DELIMITADAS	-	-	0.00%	6,142	7,834	78.40%	6,142	7,834	78.40%
<b>Total general</b>	<b>2,656,388</b>	<b>2,801,651</b>	<b>94.82%</b>	<b>843,313</b>	<b>947,268</b>	<b>89.03%</b>	<b>3,499,701</b>	<b>3,748,919</b>	<b>93.35%</b>

Tabla 1.2 Nivel de cobertura urbana y rural por provincia.  
(CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador. 2012. Estadísticas)

Por otro lado como podemos ver a continuación en la Tabla 1.3, a lo largo de los años, en la producción de energía eléctrica a nivel nacional en cuanto a las fuentes energéticas utilizadas para la generación se refiere, destaca notablemente la hidráulica y la térmica, sin embargo dentro de las fuentes de energía renovables, la solar y la eólica no han sido mayormente desarrolladas a pesar de su gran capacidad y potencial.

Producción anual de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética (GWh)										
Año	Renovable				No Renovable			Importación	Total	Variación (%)
	Hidráulica	Solar	Eólica	Térmica Turbo- vapor*	Térmica					
					MCI	Turbo-gas	Turbo- vapor			
1999	7.177,36	-	-	-	291,27	538,21	2.301,28	23,76	10.331,88	
2000	7.359,01	-	-	-	578,44	524,07	2.150,92	-	10.612,44	2,72%
2001	6.886,29	-	-	-	711,28	1.053,40	2.398,83	22,23	11.072,03	4,33%
2002	7.338,89	-	-	-	695,65	1.313,98	2.539,04	56,30	11.943,86	7,87%
2003	7.007,12	-	-	-	731,17	1.335,17	2.472,67	1.119,61	12.665,74	6,04%
2004	7.206,20	-	-	3,24	1.366,84	1.739,72	2.268,84	1.641,61	14.226,46	12,32%
2005	6.677,55	-	0,01	102,86	1.384,89	2.483,39	2.755,32	1.723,45	15.127,47	6,33%
2006	6.917,77	-	0,01	145,56	2.103,16	3.136,13	2.813,22	1.570,47	16.686,32	10,30%
2007	8.789,16	0,96	0,02	218,75	3.340,42	2.437,45	2.549,90	860,87	18.197,52	9,06%
2008	11.026,16	2,68	0,03	208,32	3.243,67	1.839,86	2.287,80	500,16	19.108,69	5,01%
2009	9.225,41	3,20	0,01	216,52	3.145,61	2.816,44	2.857,43	1.120,75	19.385,37	1,45%
2010	8.636,40	3,43	-	235,56	4.087,07	3.820,33	2.727,06	872,90	20.382,76	5,15%
2011	11.133,09	3,34	0,06	278,20	4.375,78	2.272,25	2.481,42	1.294,59	21.838,73	7,14%
2012**	12.623,20	2,60	0,15	267,68	4.790,33	1.917,34	2.387,11	639,77	22.628,18	3,61%

Nota: \* Se refiere a la energía obtenida de la Biomasa (Bagazo de Caña utilizado por la centrales de las empresas azucareras)

\*\* Año móvil

Tabla 1.3 Cuadro de producción anual de energía eléctrica a nivel nacional.  
(CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador. 2012. Estadísticas)

También como se aprecia en el mapa del Sistema Nacional de Generación, Transmisión y Distribución SNGTD (ver [Anexo 1](#)), las centrales de generación de energía eléctrica en el Ecuador se encuentran agrupadas en determinadas zonas del territorio, mientras que otras como por ejemplo el sur de la Amazonía están desprovistas de instalaciones generadoras.

Esta situación provoca que además de haber lugares privados de energía, existan otros donde las pérdidas por transmisión son elevadas debido al distanciamiento geográfico con las centrales. Como es conocido, durante el traslado de energía eléctrica desde la central de generación hasta los puntos de consumo donde se encuentran los usuarios finales, existen pérdidas de la misma dentro de la red de transporte.

En nuestro país, de acuerdo a los porcentajes de pérdidas anuales de energía eléctrica en el Sistema Nacional de Transmisión (SNT), podemos observar en el siguiente cuadro, Tabla 1.4, que durante los últimos doce años dicho porcentaje ha permanecido relativamente estable en un rango de entre el 3 y 4 %, registrándose en el último año una pérdida de 3,96 % de la energía.

Pérdidas anuales de energía eléctrica en el Sistema Nacional de Transmisión -SNT- (GWh)					
Año	Energía Recibida	Energía Entregada	Pérdidas	Pérdidas (%)	Variación (%)
1999	6.419,47	6.137,57	281,90	4,39%	0,00%
2000	8.906,14	8.568,08	312,57	3,51%	0,00%
2001	9.062,05	8.711,72	346,96	3,83%	0,00%
2002	9.888,75	9.511,60	372,75	3,77%	0,00%
2003	10.782,53	10.392,74	367,25	3,41%	0,00%
2004	11.579,73	11.147,46	405,75	3,50%	0,00%
2005	12.265,35	11.849,19	396,19	3,23%	0,00%
2006	12.813,36	12.366,27	426,61	3,33%	0,00%
2007	13.498,62	12.966,25	509,25	3,77%	0,00%
2008	14.290,43	13.669,03	597,41	4,18%	0,00%
2009	14.919,05	14.293,87	605,41	4,06%	0,00%
2010	15.745,87	15.208,38	512,88	3,26%	0,00%
2011	16.462,55	15.809,23	624,18	3,79%	0,00%
2012*	17.078,19	16.370,37	676,76	3,96%	8,42%

Nota: \* Año Móvil a julio 2012

Tabla 1.4 Cuadro de pérdidas anuales de energía eléctrica en el Sistema Nacional de Transmisión SNT.

(CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador. 2012. Estadísticas)

#### 1.4.2 Análisis económico

Como se puede observar en la Tabla 1.5, la demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional, ha ido incrementando progresivamente a lo largo de los años. Este aumento de la demanda energética se debe principalmente al desarrollo de proyectos de electrificación rural con los cuales ha aumentado el número de consumidores, otro elemento que ha contribuido es el crecimiento de los sectores industrial y comercial, además de un aumento de la demanda de bienes y servicios ocasionado por un vertiginoso avance tecnológico a nivel mundial.

Dados estos factores, el valor total de la demanda anual compuesta por todos los grupos de consumidores prácticamente se ha duplicado en los últimos 10 años, alcanzando en el 2012 un valor de 16 090,02 GWh, con una variación de 5,52 % respecto al 2011. En la Tabla 1.6 se muestra un detallado mensual de la demanda energética durante el 2012.

Demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo (GWh)							
Año	Residencial	Comercial	Industrial	A. Público	Otros	Total	Variación (%)
1999	2,960.30	1,263.99	2,072.56	593.21	840.63	7,730.69	
2000	2,803.32	1,362.01	2,218.43	620.24	900.29	7,904.29	2.25%
2001	2,915.74	1,432.41	2,139.39	634.09	888.61	8,010.25	1.34%
2002	3,098.30	1,496.52	2,460.19	663.68	893.74	8,612.43	7.52%
2003	3,269.65	1,805.04	2,589.59	675.04	812.00	9,151.32	6.26%
2004	3,515.64	2,051.34	2,792.61	696.54	938.17	9,994.29	9.21%
2005	3,702.24	2,377.57	3,052.41	715.82	962.70	10,810.73	8.17%
2006	3,896.09	2,598.15	3,332.52	741.24	1,068.81	11,636.80	7.64%
2007	4,095.19	2,633.77	3,478.32	765.46	1,216.52	12,189.25	4.75%
2008	4,384.86	2,519.61	3,418.36	806.40	1,524.20	12,653.44	3.81%
2009	4,672.28	2,532.71	4,147.86	819.57	1,045.50	13,217.92	4.46%
2010	5,114.18	2,672.33	4,416.76	812.03	1,061.30	14,076.61	6.50%
2011	5,350.95	2,955.82	4,797.85	882.97	1,261.22	15,248.80	8.33%
2012*	5,611.70	3,186.17	5,128.86	913.67	1,249.62	16,090.02	5.52%

\*Año Móvil a noviembre de 2012

Tabla 1.5 Demanda anual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo (GWh).  
(CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador. 2012. Estadísticas)

Demanda mensual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo (GWh)								
Año	Mes	Residencial	Comercial	Industrial	A. Público	Otros	Total	Variación (%)
2011	Dic	453.62	259.82	412.60	73.49	110.93	1,310.46	
2012	Ene	473.98	263.04	412.53	76.71	100.15	1,326.41	1.22%
	Feb	458.35	254.62	401.16	74.15	101.04	1,289.32	-2.80%
	Mar	465.11	256.68	423.18	73.20	105.84	1,324.01	2.69%
	Abr	496.02	271.34	421.43	75.68	104.94	1,369.41	3.43%
	May	485.09	272.34	446.48	76.54	109.44	1,389.89	1.50%
	Jun	486.78	273.90	437.34	76.06	106.62	1,380.69	-0.66%
	Jul	458.23	265.26	432.11	77.61	105.22	1,338.44	-3.06%
	Ago	455.87	267.26	446.10	78.37	106.28	1,353.90	1.15%
	Sep	449.59	261.18	424.04	76.83	91.10	1,302.73	-3.78%
	Oct	459.86	266.78	435.82	78.25	105.91	1,346.62	3.37%
Nov	469.21	273.94	436.06	76.77	102.14	1,358.13	0.85%	
<b>Totales</b>		<b>5,611.70</b>	<b>3,186.17</b>	<b>5,128.86</b>	<b>913.67</b>	<b>1,249.62</b>	<b>16,090.02</b>	

Tabla 1.6 Demanda mensual de energía eléctrica a nivel nacional por grupo de consumo (GWh).  
(CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador. 2012. Estadísticas)

A continuación en la Tabla 1.7 se muestran los precios medios de la energía eléctrica aplicados a los clientes de los diferentes grupos de consumo, como se puede ver los costos del kWh se han mantenido relativamente estables en la última década. En el 2012 el precio medio de la electricidad fue de 7,87 ¢/kWh.

Precios medios a clientes finales de distribuidoras (USD ¢/kWh)												
Año	Residencial		Comercial		Industrial		A. Público		Otros		Medio	Variación (%)
	Precio Medio	Variación (%)	Precio Medio	Variación (%)	Precio Medio	Variación (%)	Precio Medio	Variación (%)	Precio Medio	Variación (%)		
1999	5.01		3.68		3.62		5.12		3.87		4.30	
2000	3.64	-27.37%	3.49	-5.32%	3.52	-2.65%	3.95	-22.85%	3.66	-5.49%	3.61	-16.21%
2001	5.95	63.73%	6.44	84.68%	6.83	93.83%	6.78	71.76%	6.79	85.86%	6.43	78.43%
2002	8.66	45.51%	8.16	26.77%	6.61	-3.30%	10.07	48.54%	8.37	23.21%	8.07	25.39%
2003	9.46	9.14%	8.44	3.42%	5.98	-9.45%	11.24	11.58%	8.21	-1.91%	8.29	2.81%
2004	9.83	3.93%	8.01	-5.07%	4.82	-19.36%	11.49	2.30%	7.72	-6.03%	7.97	-3.84%
2005	9.73	-0.96%	7.58	-5.42%	4.32	-10.42%	10.97	-4.58%	7.56	-2.00%	7.62	-4.46%
2006	9.77	0.41%	7.55	-0.40%	4.05	-6.21%	11.59	5.65%	7.31	-3.35%	7.53	-1.21%
2007	9.64	-1.39%	7.58	0.50%	3.98	-1.85%	11.97	3.30%	7.35	0.62%	7.50	-0.40%
2008	9.36	-2.92%	7.82	3.14%	4.49	12.88%	11.40	-4.78%	7.08	-3.74%	7.59	1.26%
2009	9.04	-3.34%	7.74	-1.02%	5.71	27.14%	10.52	-7.66%	7.06	-0.25%	7.68	1.20%
2010	9.22	1.93%	7.85	1.35%	6.12	7.11%	9.86	-6.31%	5.86	-16.96%	7.77	1.11%
2011	9.42	0.29%	7.83	-0.09%	6.00	0.16%	10.17	-0.01%	6.19	-0.94%	7.81	0.03%
2012*	9.58	1.64%	7.86	0.43%	6.03	0.35%	10.04	-1.27%	6.22	0.57%	7.87	0.72%

\*Año Móvil a noviembre de 2012

Tabla 1.7 Precios medios a clientes finales de distribuidoras (USD ¢/kWh).  
(CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador. 2012. Estadísticas)

Los siguientes datos expuestos en la Tabla 1.8, fueron obtenidos del estudio de costos realizado por el CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad) en el mes de diciembre de 2012. La presente tabla contiene las cifras concernientes a los precios de la energía eléctrica, durante las etapas de generación, transmisión, distribución y un estimado del costo medio, correspondientes a las principales empresas proveedoras de electricidad en las diferentes provincias. Como se observa el valor medio total del costo de la electricidad durante ese mes fue de 8,534 ¢/kWh.

EMPRESAS	GENERACIÓN USD¢/kWh	TRANSMISIÓN USD¢/kWh	DISTRIBUCIÓN USD¢/kWh	COSTO MEDIO USD¢/kWh
AMBATO	4,366	0,549	3,837	8,751
AZOGUES	4,366	0,549	4,651	9,566
CNEL - BOLÍVAR	4,366	0,549	8,465	13,380
ELÉCTRICA DE GUAYAQUIL	4,366	0,549	2,501	7,415
CENTRO SUR	4,366	0,549	4,661	9,575
COTOPAXI	4,366	0,549	3,629	8,543
CNEL - EL ORO	4,366	0,549	4,132	9,046
CNEL - GUAYAS-LOS RÍOS	4,366	0,549	3,842	8,757
CNEL - ESMERALDAS	4,366	0,549	3,862	8,777
CNEL - LOS RÍOS	4,366	0,549	4,138	9,052
CNEL - MANABÍ	4,366	0,549	4,254	9,168
CNEL - MILAGRO	4,366	0,549	3,669	8,584
NORTE	4,366	0,549	4,777	9,692
QUITO	4,366	0,549	3,159	8,073
RIOBAMBA	4,366	0,549	5,487	10,401
CNEL - SANTA ELENA	4,366	0,549	4,374	9,289
CNEL - SANTO DOMINGO	4,366	0,549	4,506	9,420
SUR	4,366	0,549	7,063	11,977
CNEL - SUCUMBIOS	4,366	0,549	7,149	12,063
GALAPAGOS	4,366	-	9,774	14,140
<b>TOTAL</b>	<b>4,366</b>	<b>0,547</b>	<b>3,621</b>	<b>8,534</b>

Tabla 1.8 Costo del servicio eléctrico (USD ¢/kWh).  
(CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador. 2012. Tarifas)

### 1.4.3 Generación Distribuida en el Ecuador

Aunque actualmente en el Ecuador el desarrollo tecnológico ha permitido proveer de energía eléctrica a la mayoría de ciudades y poblaciones mediante el sistema de Generación Centralizada, existen zonas remotas mayoritariamente del sector rural, en donde la energía aún no es accesible por esta vía, o es necesario mejorar las condiciones de calidad del servicio, o por otro lado se requiere conseguir electricidad más económica al evitar costos de transporte.

En este escenario dado que el Ecuador posee varios recursos naturales como el sol, viento, vertientes, etc. que en nuestro país poseen favorables características para su explotación, es factible el desarrollo de tecnologías de generación mediante energías renovables no convencionales en distintos puntos topográficos y surge así como alternativa la aplicación de la Generación Distribuida.

Además, lo que hace a las pequeñas plantas de generación ser una opción competitiva económicamente dentro del mercado eléctrico, es el hecho de que aun cuando la electricidad que generan es más cara en la fuente, ésta no está sujeta a las grandes pérdidas que se dan durante el transporte de la energía en su recorrido hacia los usuarios.

Aunque el concepto de Generación Distribuida no ha sido muy difundido en el país, éste se ha ido introduciendo poco a poco, por lo que se han desarrollado algunos proyectos con esta tecnología de generación obtenida mediante formas convencionales y alternativas. A continuación citaremos algunos de los proyectos de generación que se están desarrollando actualmente mediante las tecnologías, hidráulica, térmica y otras energías renovables.

#### **1.4.3.1 Proyectos de generación hidroeléctricos**

- Chorrillos: En Zamora, a través de la empresa pública Hidrozamora EP, la Alcaldía y el Ministerio de Energía y Minas construyen el proyecto hidroeléctrico Chorrillos, cuya edificación empezó en el 2004 y se tiene previsto la iniciación de las pruebas de funcionamiento para diciembre de 2013. Esta central generará 3,96 MW.
- Mazar Dudas: Ubicado en la provincia de Cañar, con este proyecto se prevé la implementación de 21 MW, compuestos por tres centrales hidroeléctricas, tendrá una producción media anual de 125,3 GWh, y cuenta con una inversión aproximada 45,5 millones de dólares. Se estima que su operación inicie a principios del año 2014.
- Coca Codo Sinclair: Desarrollado por el Gobierno Nacional cuenta con una capacidad de 1 500 MW, el área del proyecto está constituida por la cuenca del río Coca y se encuentra ubicado en las provincias del Napo (Cantón El Chaco) y Sucumbíos (Cantón Gonzalo Pizarro). Se estima que para este año, este proyecto represente el 44 % y 62 % de la demanda de potencia y energía respectivamente, afirmando así la generación y reduciendo la posibilidad de desabastecimiento eléctrico en el país.
- Toachi Pilatón: Ubicado en los límites de las provincias de Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Cotopaxi, este proyecto contará con una potencia instalada de 254,4 MW. Con una inversión aproximada de US\$ 385,5 millones, actualmente se encuentra en proceso de construcción y se prevé su terminación de obra para mayo de 2015.



- Sopladora: El proyecto hidroeléctrico Paute-Sopladora se encuentra ubicado en las provincias del Azuay y Morona Santiago, este tendrá una potencia instalada de 487 MW, con una producción media anual de 2 800 GWh, y una inversión aproximada de US\$ 685,7 millones. Actualmente se encuentra en etapa de construcción, y se prevé que entre en funcionamiento para mediados del año 2015.
- Manduriacu: En la cuenca del río Guayllabamba, ubicado en la vertiente occidental del país, se encuentra el proyecto Manduriacu, el cual se prevé contará con una potencia instalada de 60 MW y una energía media anual de 356 GWh. Su ingreso a operación comercial comenzará a mediados del año 2015.
- Delsi-tanisagua: Este proyecto captará los caudales de los ríos Delsi y Tanisagua, ubicado a unos 36 km de Yanacocha en la ciudad de Loja, tendrá una potencia instalada de 116 MW, con una energía media anual de 906 GWh y un presupuesto de US\$ 215,8 millones de dólares. Se estima que inicie su operación comercial para fines del año 2015.
- Quijos: El proyecto se ubica aproximadamente a 80 km al sureste de la ciudad de Quito, este captará las aguas de los ríos Papallacta y Quijos, y generará una potencia instalada de 50 MW y una energía media anual de 355 GWh. Este proyecto contará con un presupuesto US\$ 110,8 millones de dólares e iniciará su operación comercial a fines del año 2015.
- Enerjubones: Este proyecto integrado por las generadoras Minas de San Francisco y La Unión, aportará al sistema nacional integrado unos 400 MW, es decir el doce por ciento de la producción nacional. La central Minas de San Francisco ubicada entre las provincias del Oro y Azuay, aportará una potencia instalada de 276 MW, con una energía media anual de 1 321 GWh, mientras que el proyecto hidroeléctrico La Unión, se localiza en la cuenca del río Jubones ubicado al sur-oeste del Ecuador, y producirá una energía anual de 412 GWh. Se estima que inicie operaciones para inicios del año 2016.
- Ocaña: Ubicado en la parroquia San Antonio en la provincia del Cañar y desarrollado por la empresa ElecAustro S.A, cuenta con una capacidad de 26 MW, está en pleno funcionamiento desde febrero de 2012.
- Saymirín V: Este proyecto también desarrollado por la empresa ElecAustro S.A, se ubica en la parroquia Chiquintad, provincia del Azuay y constará de dos unidades generadoras cada una con una potencia nominal de 3,76 MW.

### 1.4.3.2 Proyectos de generación térmicos

- Centrales Quevedo y Santa Elena: Conforman la etapa 1- 190 MW del proyecto de generación térmica, se encuentran en operación desde febrero de 2011, la central Quevedo con 100 MW y la Santa Elena\_1 con 90 MW.
- Guangopolo: Forma parte del convenio con la república de Cuba, se prevé la implementación de esta central térmica de 50 MW para febrero de 2013. Tiene un presupuesto estimado US\$ 60,9 millones de dólares.
- Ciclo combinado y tercera unidad para la central gas Machala 170 MW: Se estima para finales del año 2013, la construcción de la tercera unidad para la central gas Machala con 70 MW, adicionalmente, se ha programado la implementación del ciclo combinado de las tres unidades de gas, para aprovechar el calor de los gases de escape con una generación a vapor de 100 MW. Con esta estructura, la central tendrá una potencia instalada de aproximadamente 302 MW.

### 1.4.3.3 Proyectos de generación mediante energías renovables

- Proyecto geotérmico Chacana: Ubicado en la las provincias de Napo-Pichincha en el cantón Quijos-Quito, contará con una capacidad estimada de 318 MW, se prevé que entre en operación en enero de 2017.
- Proyecto eólico Villonaco: Es ejecutado por el Consejo Provincial con la asistencia de la Dirección de Energías Renovables y Eficiencia Energética, se estima que producirá la energía necesaria para satisfacer el 70 % de la demanda del cantón Loja. Es el primer proyecto eólico en Ecuador continental, además de ser el primero en el mundo que se desarrollará a una altitud de 2700 msnm. Se encuentra en construcción y se espera que inicie su operación en julio de 2012, con una potencia instalada de 15 MW y una energía media anual de 64 GWh. Su presupuesto estimado es de US\$ 40,5 millones de dólares.
- Proyecto eólico san Cristóbal: En la Isla de San Cristóbal en Galápagos se construyó un parque de energía eólica que fue inaugurado en el 2008 y genera 2,5 MW de energía.
- Proyecto geotérmico Chachimbiro: se ubica en la provincia de Imbabura (Cantón San Miguel de Urququi), contará con capacidad estimada de 113 MW, la fecha estimada en la que entrará a operación es enero de 2017.

- Proyecto geotérmico Tufiño: Se estima que tendrá una potencia instalada de 138MW, se ubica en el cantón Tulcán de la provincia de Imbabura, empezará su funcionamiento en enero de 2018.
- Proyecto fotovoltaico Yantsa li Etsari (luz de nuestro sol): Desarrollado por la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C.A. – CENTROSUR, con el financiamiento del gobierno nacional a través de Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, fue diseñado para mediante sistemas fotovoltaicos, proveer de electricidad a las comunidades aisladas de la red eléctrica convencional. Ubicado en la provincia de Morona Santiago, este proyecto busca abastecer energéticamente a 99 comunidades Shuar y Achuar conformadas por más de 2 449 familias, cada sistema fotovoltaico doméstico instalado está compuesto de: 1 Generador fotovoltaico, de 150W, compuesto por 2 paneles de 75W cada uno; 1 regulador de 20 Amperios., 1 inversor de 300 W, 1 batería de electrolito absorbido; 3 luminarias fluorescentes compactas de 15W cada una, en corriente continua; 1 tomacorriente en corriente alterna.; autonomía de 3 días; instalaciones eléctricas y sistemas de protección.

### **1.5 Generación Distribuida en otros países**

El concepto de Generación Distribuida se ha ido impulsando dentro de las industrias energéticas tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo extendiéndose por toda la geografía mundial, en diversos países del mundo se ha incrementado el porcentaje de la potencia instalada de GD, en relación con la capacidad total instalada.

Según predicciones de la Agencia Internacional de Energía, los países desarrollados serán responsables del 50 % del crecimiento de la demanda de energía eléctrica mundial en los próximos 20 años, equivalente a 7 millones de MW, donde el 15 % de esta demanda le corresponderá a GD, de este modo se prevé que en los próximos 10 años el mercado mundial para la GD será del orden de 4 a 5 mil millones de dólares. Sin embargo existen varios elementos que obstaculizan el desarrollo de este tipo de tecnología en los diferentes países, como por ejemplo; la disponibilidad de recursos, las características físicas del país, el nivel de madurez tecnológica y los factores económicos, sociales y políticos. A continuación se menciona la situación de la GD en algunos lugares del mundo.

### 1.5.1 Generación Distribuida en España

La mayor parte de las instalaciones de GD en España se regulan dentro del régimen especial de producción de energía eléctrica, en el aspecto medioambiental este país ostenta una de las tasas más altas de incorporación de capacidad de generación eléctrica de origen renovable en Europa, además debido a las políticas de fomento de fuentes renovables, la GD presenta un notable aumento en los últimos años en cuanto a la potencia instalada, en el 2011 se registraron más de 60,000 puntos de generación, de los cuales el 95 % corresponden a instalaciones fotovoltaicas conectadas a las redes de distribución, por lo cual esta tecnología ha sido protagonista del despegue de la GD en España, gracias a la abundante irradiación del país y a la sorprendentemente rápida reducción de costes de la tecnología.

Por otro lado desde mediados de los años noventa se ha producido una expansión extraordinaria del aprovechamiento de la energía eólica para la generación en España, convirtiéndose este país en líder mundial, tanto en potencia instalada, donde ocupa el tercer puesto detrás de Alemania y Estados Unidos, como en número y volumen de empresas que participan en los distintos ámbitos de la energía eólica. Cabe destacar además que la tecnología de cogeneración ha sufrido un constante aumento en los últimos años, aportando actualmente con un total de potencia instalada sobre los 6 100MW.

El futuro desarrollo de las instalaciones fotovoltaicas para generación distribuida, y la aplicación del Autoconsumo con Balance Neto, son dos de las grandes esperanzas del sector para los años siguientes. A continuación en el siguiente cuadro ilustrado en la Figura 1.2, se expone la evolución de potencia anual instalada en las diferentes tecnologías de GD (régimen especial), en España, desde los años 1990-2011.

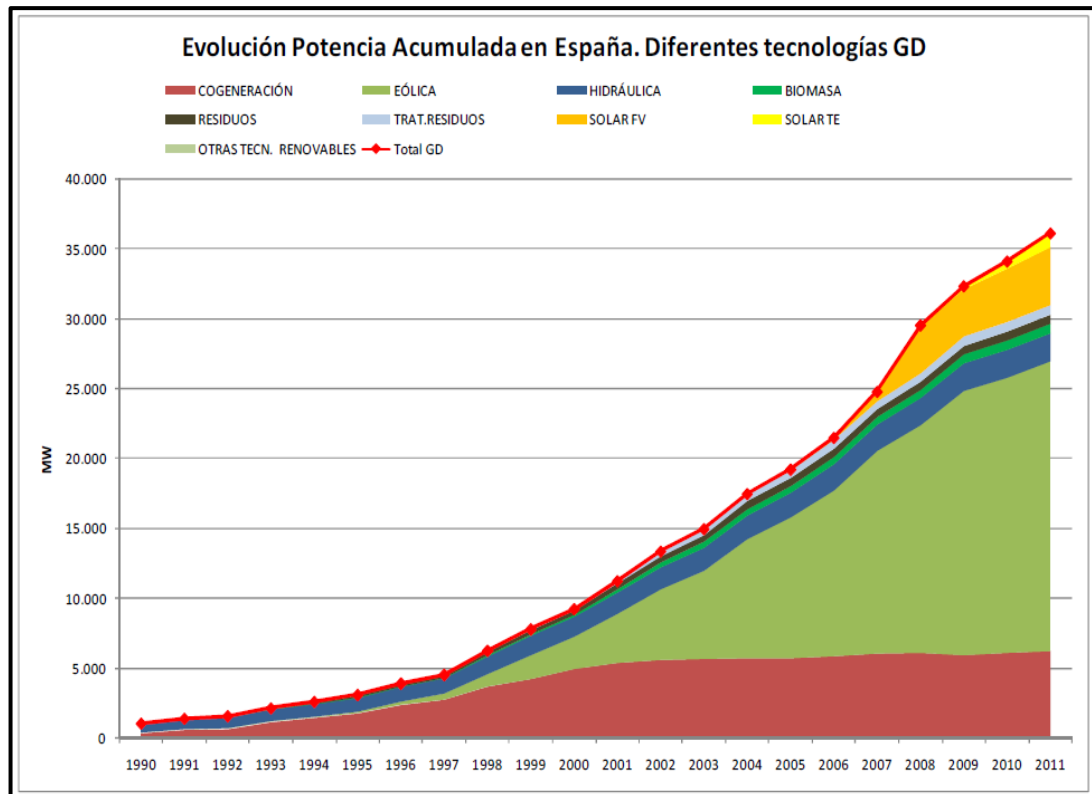


Figura 1.2 Evolución de la potencia instalada de las diferentes tecnologías de GD en España. (CETENMA, Centro Tecnológico de la Energía y del medio Ambiente. Generación Eléctrica Distribuida. 2012. Pág.35)

### 1.5.2 Generación Distribuida en Alemania

Alemania posee el mayor y más próspero mercado de energías renovables en Europa, principalmente en el campo de la fotovoltaica y eólica, por esta razón su Ley de Energías Renovables EEG (*Erneuerbare-Energien-Gesetz*) es considerada como un modelo de referencia mundial para GD, el objetivo que persigue dicha ley es permitir un desarrollo sostenible del suministro energético en beneficio de la protección del medio ambiente, por lo cual se ha propuesto incrementar la proporción de las energías renovables en el suministro energético nacional a un mínimo del 30 % para el año 2020. En este país se busca contribuir al aumento de la cogeneración de calor y electricidad en un 25 % a través de la promoción de la modernización y construcción de plantas cogeneradoras, además se apoya la introducción de las pilas de combustible así como la financiación para el desarrollo de redes de calor.

### **1.5.3 Generación Distribuida en Honduras**

En Honduras dentro de la matriz de tecnologías de generación en el sector eléctrico se destacan principalmente con un 62 % las centrales termoeléctricas a base de combustibles derivados del petróleo, seguidas en un 33 % por las centrales hidroeléctricas y en un 5 % por las centrales a base de biomasa, siendo la capacidad instalada del sistema de generación de alrededor de los 1 605 MW con un factor de disponibilidad del 85 %.

Sin embargo se ha considerado que aquellas fuentes de generación conectadas directamente a la barra de subestación y circuitos o alimentadores en niveles de tensión de distribución, con un total de 16,0 % corresponden al concepto de GD, siendo un 9,0 % de estas tecnologías a base recursos renovables. No obstante dentro de las expectativas de cambio y diversificación de la matriz energética promovidas por el gobierno, se estima que el nivel de participación de las energías renovables en el sistema eléctrico interconectado nacional para el año 2022 sea del 52 %, con un porcentaje de 9 % correspondiente a la GD.

### **1.5.4 Generación Distribuida en Guatemala**

En Guatemala la matriz de fuentes de generación energética tiene la siguiente composición: fuentes hidráulicas 39 %, geotérmica 3 %, biomasa 8 %, bunker 35 % y carbón 15 %, como se puede apreciar el porcentaje de fuentes renovables y no renovables es equitativo con un 50 % cada una.

En este país el recurso natural con un mayor potencial para la generación de energía eléctrica es el eólico, con una capacidad de 7 840 MW, seguido del hidráulico que dispone de un potencial de 6 958 MW, el recurso solar con 5 913 MW, el recurso geotérmico con un estimado de 1 000 MW y la biomasa con 1 000 MW. Cabe recalcar que el potencial disponible de generación de energía eléctrica en Guatemala es de 21 594 MW, lo que significa que el 95 % de su potencial eléctrico no ha sido utilizado, no obstante, después de la aprobación de la Norma de Generación Distribuida, se iniciaron los proyectos de GDR (Generación Distribuida Renovable), habiéndose registrado 10,8 MW de nueva generación hasta el año 2010.

### **1.5.5 Generación Distribuida en América Latina y el Caribe**

En América Latina y el Caribe existe un porcentaje bajo de producción de energía mediante Generación Distribuida con respecto al resto del mundo, ya que países como Dinamarca, Finlandia, Países Bajos y Letonia ostentan porcentajes de alrededor del 50 % de producción mediante GD en la generación total de energía, seguidos por República Checa, Hungría y Alemania, con porcentajes en el orden del 20 %, mientras países como Chile y México desarrollan alrededor de un 10 % del total estimado, empleando una tecnología que combina la utilización de energías renovables y convencionales, otros como Jamaica y Barbados generan apenas un 1 % de energía mediante recursos renovables.

Sin embargo en México por ejemplo, se ha desarrollado una estrategia nacional de energía que prevé que la “energía limpia” deberá alcanzar el 25 % de la capacidad para el año 2025 y en Chile mediante la Cartera estándar de ER se estableció que el 5 % de la electricidad vendida para el año 2014 deberá ser renovable y dicho porcentaje se incrementará a una tasa del 0,5 % anual para alcanzar un 10 % hacia el año 2024.

## CAPITULO 2

### SISTEMAS PARA LA GENERACION DISTRIBUIDA

#### 2.1 Fuentes de energía utilizadas para Generación Distribuida. Energías Renovables

*“Los sistemas empleados como fuentes de energía distribuida (FED) son plantas de generación de energía a pequeña escala (normalmente entre el rango de 3 kW a 10000 kW) usadas para proporcionar una alternativa o una ayuda a las tradicionales centrales de generación eléctricas”.*<sup>3</sup>

Actualmente, debido a una creciente conciencia a nivel internacional de la crisis medioambiental, dados factores naturales como el agravamiento del efecto invernadero y el consecuente calentamiento global; dentro de la industria energética, las Energías Renovables (ER) representan una excelente alternativa verde para lograr el desarrollo de un sistema de generación eléctrica sostenible y eficiente, dado que provienen de recursos naturales primarios, virtualmente inagotables y autóctonos, que no emiten dióxido de carbono y además contribuyen al reequilibrio territorial.

Dentro de este concepto, dependiendo de los recursos naturales utilizados para la generación energética, existen diferentes tipos de fuentes de energía renovables, que se clasifican en dos categorías: no contaminantes o limpias y contaminantes, dentro de las primeras tenemos: la eólica, geotérmica, solar, mareomotriz y undimotriz, por otro lado la biomasa y los biocombustibles, son de carácter contaminante, mientras que la hidroeléctrica genera un gran impacto ambiental. Aunque todas las energías renovables son distribuidas, a excepción de las grandes centrales hidráulicas, dentro de la Generación Distribuida no todas las tecnologías utilizadas en la generación están basadas en fuentes de energía renovables.

---

<sup>3</sup> MENDOZA, Sergio. SORIA, Carlos. Estudio del estándar IEC 61850 y su aplicabilidad en la integración del sector eléctrico del Ecuador.  
<<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21382/1/TESISMENDOZASORIAFINAL.pdf>>.



Hoy en día, dentro del mercado eléctrico, para las fuentes de energía renovables es difícil competir con las fuentes de generación convencionales establecidas, sin la ayuda de las diferentes leyes energéticas medioambientales aplicadas en cada país, pues aunque siempre son más sostenibles que la media de los generadores tradicionales basados en combustibles fósiles, a nivel general, las fuentes de generación renovables no son rentables desde el punto de vista de la explotación económica en el mercado libre.

## **2.2 Tecnologías de generación**

En la actualidad existen varias tecnologías de generación, unas más desarrolladas que otras y con diferentes niveles de penetración en el mercado. En este escenario el éxito de la GD, radica en el uso de tecnologías de punta que permitan, para potencias pequeñas, generar energía eléctrica en forma eficiente, confiable y de calidad. En función de la energía primaria que utilicen para la generación, estas tecnologías se clasifican en dos grandes categorías: convencionales y no convencionales, el primer grupo está compuesto por aquellas tecnologías que utilizan como energía primaria combustibles fósiles, mientras que el segundo comprende aquellas tecnologías basadas principalmente en energías renovables.

### **2.2.1 Tecnologías de generación convencionales**

#### **2.2.1.1 Motores alternativos de combustión interna**

Los motores alternativos o de combustión interna, ilustrados en la Figura 2.1, son motores térmicos, cuyo funcionamiento se basa en la combustión de gases, utilizan diésel o gas natural, tienen capacidades de hasta 20 000 kW aproximadamente, por lo que gozan de un amplio rango de operación; además alcanzan eficiencias eléctricas del orden del 40 % y eficiencias térmicas cercanas al 33 %, son flexibles ante las variaciones de carga, poseen una conversión eléctrica relativamente elevada, son altamente eficientes y su crecimiento puede ser modular. Estos motores se emplean principalmente en plantas de cogeneración. La utilización de este tipo de motores, tiene además ventajas como: un bajo costo de inversión, se requiere poco espacio para la instalación, consumo medio de agua y una vida útil de 25 años, lo que los hace confiables, sin embargo su gran desventaja es que realiza emisiones contaminantes.



Figura 2.1 Motor diésel de Guascor.

(FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida, Pág. 13)

### 2.2.1.2 Turbinas de gas

La turbina de gas ilustrada en la Figura 2.2, es una máquina térmica que desarrolla trabajo al expandir un gas, generalmente gas natural o diésel. Estas turbinas tienen eficiencias térmicas del 55 %, ofrecen una alta seguridad de operación, poseen un corto tiempo de arranque, responden con rapidez a los cambios en la demanda, tienen un bajo costo de inversión, requieren un mínimo de espacio físico y sus emisiones durante el funcionamiento son algo inferiores a los motores.

Las turbinas actúan en varias configuraciones: ciclo simple (que es una turbina produciendo solo electricidad), ciclo combinado (añadiendo una turbina de vapor que aprovecha el calor recuperado para obtener más energía eléctrica) y cogeneración (en la que se añade a la turbina de ciclo simple un recuperador de calor que permite obtener vapor o agua caliente del calor de los gases de escape) , la cogeneración es usada generalmente para cubrir demandas eléctricas por encima de los 5 MW y se utiliza frecuentemente en redes de distribución de calor. La capacidad de las turbinas varía entre 0,25 MW a 500 MW, y su eficiencia ronda el 40 % en ciclo simple; entre el 40-60%, en ciclo combinado; y entre el 70-90 % en cogeneración. Gracias a los avances en eficiencia y fiabilidad, esta tecnología constituye una excelente alternativa para aplicaciones de GD.



Figura 2.2 Turbina de gas de 3,8 MW.  
(FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida, Pág. 15)

### 2.2.1.3 Microturbinas

Las microturbinas son turbinas de combustión de pequeña potencia (25-500kW), utilizadas principalmente en aplicaciones industriales y comerciales, cuyo funcionamiento es similar al de una turbina de gas convencional con la particularidad de que los elementos adicionales para la generación eléctrica se encuentran acoplados a la propia turbina. Funcionan en cuatro modos distintos de operación: aislado de la red eléctrica, conectado a la red, en paralelo con exportación de energía, y de modo continuo o intermitente a la misma.

Estas unidades de generación tienen un alto coste, sin embargo poseen eficiencias térmicas en el rango del 50-60 % y eléctricas entre 15-30 %, son de tamaño compacto, requieren un mantenimiento mínimo, operan sin vibración por lo que no producen ruidos, genera menos emisiones contaminantes que una turbina de gas y utilizan como combustible gas natural, keroseno, gasolina, diésel, propano y biomasa.

Las microturbinas de gas son una tecnología emergente con una aplicación directa en la GD, ya que pueden ser utilizadas como elementos independientes de generación, o como integrantes de instalaciones híbridas con pilas de combustible, o micro-cogeneración. En la Figura 2.3 se muestra una microturbina.



Figura 2.3 Microturbina Magnetek.

(FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida, Pág. 33)

#### 2.2.1.4 Pilas de combustible

Las pilas de combustible son dispositivos que transforman la energía química de un combustible rico en hidrógeno en energía eléctrica. Este sistema está conformado por un ánodo, en el que se inyecta el combustible, normalmente hidrógeno y un cátodo en el que se introduce un oxidante, en este caso aire u oxígeno, estos dos electrodos están separados por un electrolito conductor de iones y la electricidad se genera mediante un proceso de electrólisis inversa en el que se obtiene una corriente por medio de la reacción entre estos dos gases. En la pila el combustible básico es el hidrógeno que normalmente procede del reformado de algún combustible de origen fósil, generalmente el gas natural, para extraer hidrógeno puro, los combustibles fósiles deben pasar primero por un reformador. El hidrógeno se suministra desde una fuente externa por lo que la pila de combustible puede funcionar de modo continuo o ininterrumpido.

Las celdas de combustible están formadas por “stacks” de conexión modular, por lo que la potencia de salida es adaptable en función del número de módulos y las conexiones empleadas. Además funcionan dentro de un amplio rango de carga, manteniendo una eficiencia constante, generalmente entre el 35 % y el 65 %, por otro lado puesto que no hay combustión a alta temperatura, poseen un bajo impacto ambiental ya que no se producen emisiones de CO<sub>2</sub> durante su funcionamiento.

Los principales inconvenientes de las pilas de combustible que impiden su rentabilidad son su elevado costo y su limitado tiempo de vida útil puesto que esta está sujeta a la degradación del electrolito, rentabilidad. No obstante, esta es una tecnología con un gran potencial de desarrollo. En el siguiente cuadro mostrado en Figura 2.4 se ilustra el esquema de funcionamiento de una celda de combustible, y en la Figura 2.5 se muestra una pila de combustible Ballard.

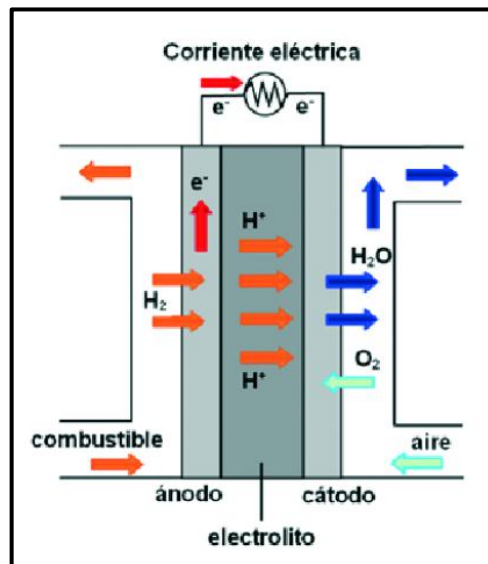


Figura 2.4 Funcionamiento de una celda de combustible PEM (de membrana polimérica).  
(FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida, Pág. 34)

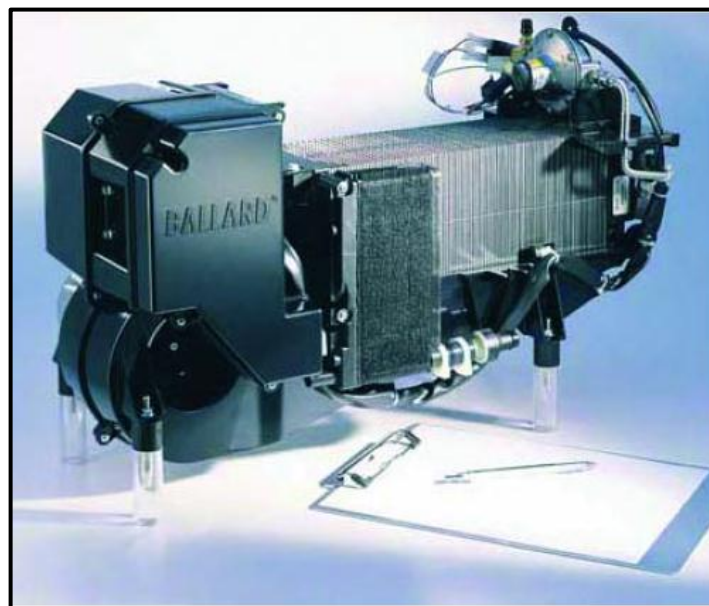


Figura 2.5 Pila de combustible Ballard.  
(FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida, Pág. 34)

### 2.2.1.5 Cogeneración

El término cogeneración se refiere a la generación secuencial de energía eléctrica y térmica, en este tipo de sistemas se parte de la energía del combustible para obtener otras formas energéticas, en primer lugar electricidad y posteriormente vapor y agua caliente, siendo estos últimos muy útiles en los procesos productivos. Dadas las características de esta generación, la eficiencia global del sistema aumenta y se puede llegar a aprovechar hasta el 85 % de la energía que entrega el combustible. En la Figura 2.6 se muestra el esquema típico de una planta de cogeneración

Las tecnologías más utilizadas para cogeneración son: los motores alternativos de gas y diésel, usados en instalaciones de baja potencia unitaria normalmente por debajo de 10 MW, las turbinas de gas con o sin ciclo combinado, las turbinas de vapor, las microturbinas y las pilas de combustible. Por otro lado aunque la cogeneración aporta con una mayor eficiencia energética, estos sistemas tienen una irregular fiabilidad y uno de sus principales inconvenientes es su dependencia respecto de otros factores, específicamente los industriales del autogenerador. Hoy en día el concepto de cogeneración ha evolucionado, y se han introducido en el mercado los sistemas trigeneración, en los cuales se produce electricidad, calor y frío.

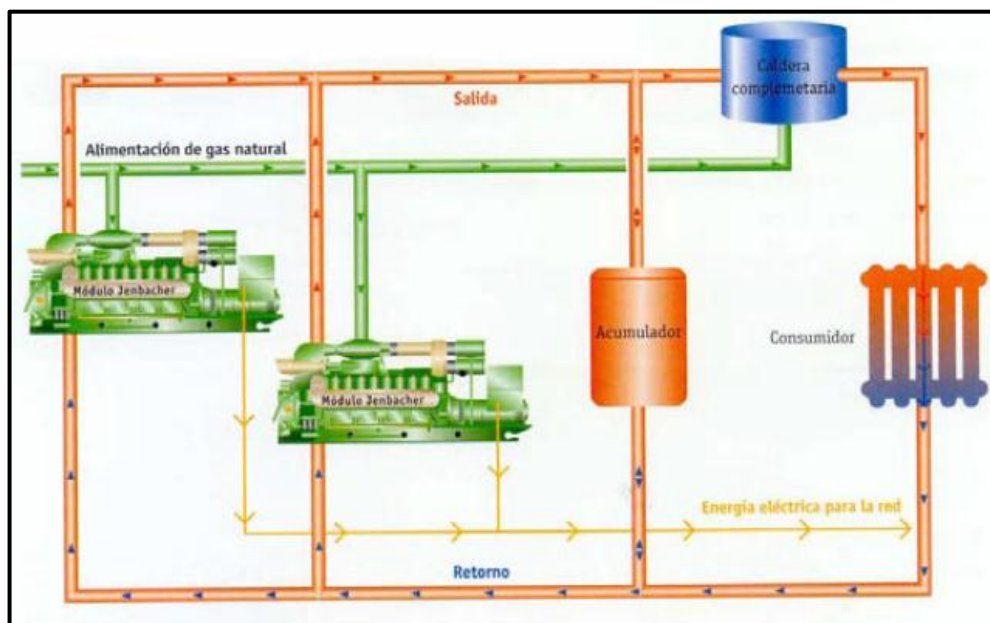


Figura 2.6 Esquema típico de una planta de cogeneración.

(Diputación Foral de Bizkaia. Energías renovables - Generación Distribuida, Pág. 21)

## 2.2.2 Tecnologías de generación no convencionales

### 2.2.2.1 Eólica

La fuente de energía primaria de un generador eólico es el viento y funciona de la siguiente manera: al incidir el aire en movimiento sobre las palas del aerogenerador se produce energía cinética, la cual genera una presión que provoca el giro del eje y posteriormente esta energía mecánica es transformada a energía eléctrica. Existen dos tipos de tecnología de transformación, una mediante generador síncrono y otra mediante generador asíncrono, prevaleciendo actualmente la segunda opción.

Esta tecnología es bastante eficiente, los índices de fiabilidad de las máquinas alcanzan porcentajes cercanos al 97 % y los rangos de potencia en los que trabajan superan los 2 MW, sin embargo presenta ciertos inconvenientes como el alto coste de inversión inicial, la intermitencia de los vientos, los ruidos, vibraciones, su impacto ambiental y visual, etc. No obstante la generación eólica está empezando a ser competitiva y representa una excelente opción dentro del concepto de generación distribuida. A continuación en la Figura 2.7 se muestra una imagen del Parque Eólico Villonaco ubicado en la provincia de Loja.



Figura 2.7 Parque Eólico Villonaco.  
(Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Galería)

### 2.2.2.2 Mini-hidráulica

Este tipo de generación se basa en el aprovechamiento de la energía potencial del agua, almacenada en un embalse o procedente de un río, para producir energía eléctrica. El proceso de generación es el siguiente: la energía potencial del agua debida a la diferencia de alturas, se transforma en energía cinética mientras ésta es conducida hacia una turbina hidráulica, desarrollando en la misma un movimiento giratorio que acciona un alternador, convirtiendo éste la energía mecánica procedente en energía eléctrica. El conjunto de instalaciones e infraestructura que intervienen durante este proceso se denomina central hidroeléctrica.

Dentro de esta tecnología de generación, solamente se consideran como GD las llamadas centrales mini hidráulicas cuya potencia máxima instalada no supera los 10MW, en estos sistemas la potencia de instalación viene dada por el producto del caudal por el salto. El elemento diferenciador de una central hidráulica es la turbina y la elección de la misma se realiza a través de análisis hidrológicos, pues cada turbina tiene su propio rendimiento en función del régimen de utilización, generalmente para este tipo de sistemas, se utilizan turbinas de acción Pelton ya que se adaptan mejor al aprovechamiento del potencial de caudales limitados, otro tipo de turbinas son las llamadas de reacción entre las que tenemos a la Francis y Kaplan.

Por otro lado según la modalidad de toma y acumulación de las aguas, las centrales mini hidráulicas para generación eléctrica pueden ser de dos tipos:

- a) Central de agua fluyente o en derivación: En este tipo de centrales, el caudal del agua varía durante el año, en función del régimen hidrológico del curso de agua.
- b) Central de embalse o de regulación: El agua es almacenada en un embalse, y ésta se puede regular a través de un depósito de regulación diario, semanal o mensual.

Este tipo de generación tiene varias ventajas entre las cuales tenemos: mínimo mantenimiento y baja contaminación, además de algunos beneficios sociales, como la prevención de inundaciones y disponibilidad de agua para riego y uso doméstico. Además posee un rendimiento superior al de las demás tecnologías de GD.



### 2.2.2.3 Solar térmica

Los sistemas helio térmicos, se basan en la conversión de la energía solar en energía térmica, mediante la captación de la radiación por medio de un elemento denominado colector. De acuerdo a la temperatura alcanzada por la superficie captadora, estos sistemas se clasifican en tres grupos: de baja temperatura, media temperatura y alta temperatura, según que la captación sea directa, de bajo índice de concentración o de alto índice de concentración, respectivamente.

- Solar térmica de baja temperatura: se emplea para el calentamiento de agua, el aprovechamiento térmico se realiza a través de captadores planos o de tubo de vacío, ambos carentes de poder de concentración.
- Solar térmica de media temperatura: usa sistemas colectores de concentración como paraboloides, comprende un rango de temperatura entre 100 y 650°C, se utiliza para la producción de vapor o para el calentamiento de otro tipo de fluido.
- Solar térmica de alta temperatura: esta tecnología se usa generalmente en la producción de energía eléctrica y emplea sistemas de concentración tales como discos parabólicos y centrales de torre. En un sistema, los discos parabólicos concentran la energía del sol en un punto, alcanzando temperaturas de más de 750°C, esta energía es aprovechada por una microturbina o un motor *Stirling*, que es un motor de combustión externa, que se acopla a un alternador para producir electricidad, como se muestra a continuación en la Figura 2.8.

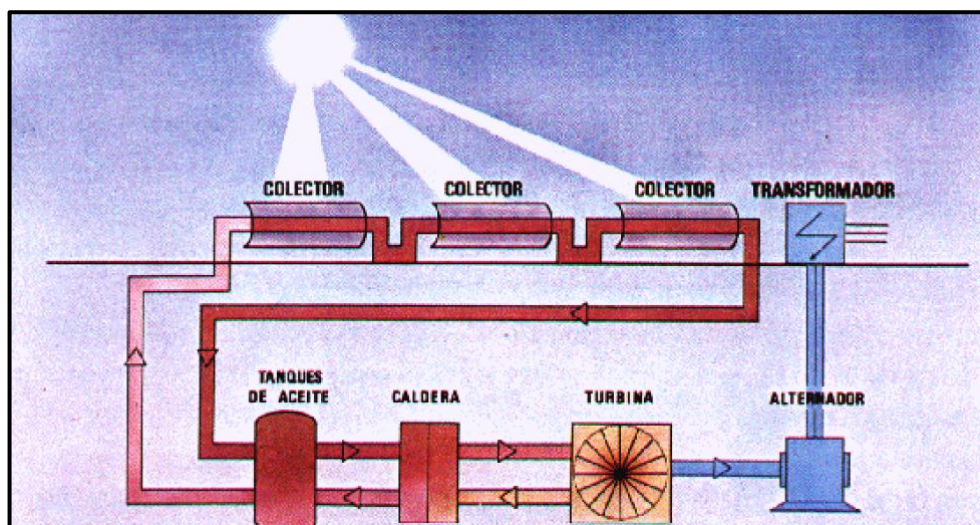


Figura 2.8 Esquema de la producción de energía eléctrica mediante energía solar térmica.  
(Diputación Foral de Bizkaia. Energías renovables - Generación Distribuida, Pág. 38)

Dentro de esta clasificación de acuerdo los rangos de potencia, sólo se puede considerar GD a los sistemas de baja temperatura y a los discos parabólicos, siendo estos últimos viables para aplicaciones individuales o pequeños sistemas eléctricos aislados, ya que poseen altas eficiencias teóricas.

La generación de energía mediante esta tecnología es de gran eficiencia, pues la radiación solar constituye una fuente de energía virtualmente inagotable y además los rendimientos de captación de la luz solar por estos medios son muy altos (del 80%), por otro lado dicha generación se desarrolla de una manera favorable al medioambiente ya que está exenta de cualquier tipo de contaminación. No obstante existen ciertos inconvenientes como: problemas de duración y fiabilidad, debidos a las altas temperaturas que soportan los materiales; impacto visual y dependencia del clima, pues la energía llega a la Tierra de manera dispersa y semi aleatoria, estando sometida a ciclos día-noche y estacionales invierno-verano.

#### **2.2.2.4 Solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica (FV), se basa en el efecto fotoeléctrico. *“Se conoce con el nombre de efecto fotoeléctrico al fenómeno físico por el cual una radiación lumínica incidente libera electrones del material iluminado. Cada fotón de luz solar contiene una pequeña cantidad de energía que, al ser absorbida por el material, puede liberar un electrón de éste (fotoelectrón). Para cada sustancia hay una frecuencia umbral de radiación electromagnética por debajo de la cual no se producen fotoelectrones por más intensa que sea la radiación. una vez iniciado el efecto, la emisión electrónica aumenta cuando se incrementa la intensidad de la radiación incidente.”*<sup>4</sup> En la Figura 2.9 se muestra este fenómeno a nivel atómico.

---

<sup>4</sup> Glosario.net. Efecto Fotoeléctrico. < <http://ciencia.glosario.net/ecotropia/efecto-fotoel%E9ctrico-9321.html>>

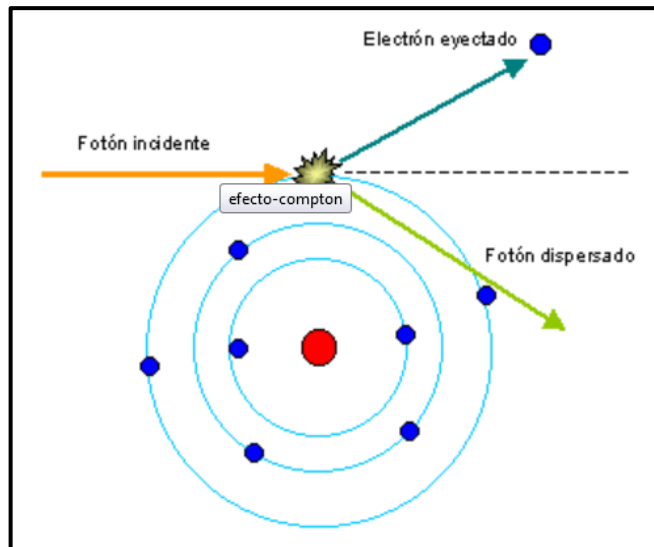


Figura 2.9 Efecto Fotoeléctrico.

(Grupo 2rbp. Efectos de interacción radiación – materia.

<http://grupo2rbp.wordpress.com/2012/02/02/efectos-interaccion-radiacion-materia/>)

Así, la generación fotovoltaica, aprovecha la radiación solar para producir electricidad mediante el siguiente proceso: los fotones de luz provenientes de la radiación son absorbidos por un material semiconductor denominado celda fotovoltaica, la cual crea un campo eléctrico permanente, de manera tal que al exponer la célula al sol se produce una circulación de electrones, surgiendo así una corriente eléctrica entre las dos caras de ésta. Entre los materiales que se usan para la fabricación de celdas fotovoltaicas, el más utilizado es el silicio, que puede ser monocristalino, policristalino o amorfo, siendo el primero el de mayor eficiencia con un rendimiento teórico de hasta el 25 %.

Dado el carácter modular de la tecnología, ésta presenta una eficiencia independiente del tamaño o la escala de la instalación. Por ello, la generación FV tiene un amplio rango de aplicaciones, que comprende desde pequeños sistemas de pocos kilovatios pico (kWp) de potencia instalada, hasta centrales de varios megavatios pico (MWp), en función de la potencia la clasificación de los sistemas FV es la siguiente:

- Instalaciones pequeñas de 3 kW (con rango hasta 5 kW).
- Instalaciones medianas de 15 kW (con rango entre 5 y 20 kW).
- Instalaciones grandes de 100 kW (con rango entre 20 kW y 100 kW).
- Centrales FV de 3 MW (con rango superior a 100 kW).

Aunque originalmente la generación FV era de carácter aislado ya que estaba orientada al suministro eléctrico en zonas con pequeños consumos y de difícil acceso para la red de distribución, actualmente ha evolucionado hacia sistemas conectados a la red, los cuales operan paralelamente con la red eléctrica, pues en caso de un déficit de generación son abastecidos por ella, y cuando la generación excede el consumo del sistema a alimentar, se puede revertir la energía sobrante a la red, cobrando por la energía aportada. Básicamente una instalación FV de carácter aislado se compone de:

- Sistema de generación: constituido por los paneles de células FV.
- Sistema de regulación de carga: equipamiento electrónico que gestiona los flujos de potencia hacia el sistema de acumulación, controla la carga y descarga de las baterías.
- Sistema de acumulación: generalmente es una batería de plomo-ácido.
- Inversor DC-AC.

Por otro lado las instalaciones fotovoltaicas conectadas a red, constan de los mismos componentes mencionados anteriormente utilizados para el modelo aislado, con la excepción de que el sistema de acumulación se convierte en un elemento opcional y además contiene un sistema adicional de interconexión, el cual posibilita la conexión en paralelo con la red, este está conformado formado por sistemas de puesta a tierra, protección frente a sobretensiones y un contador, con capacidad de registrar la energía suministrada por la red, la energía suministrada a la red y la energía generada.

En este contexto, los sistemas FV son idóneos para la generación distribuida, ya que los módulos, en general cuentan con 20 a 25 años de garantía, y tienen un nivel de mantenimiento mínimo, además este tipo de energía no contamina. Actualmente se están desarrollando sistemas híbridos en los que se combinan varias fuentes de energía para obtener un mayor rendimiento. A continuación, en la figura 2.10 se muestra una vivienda electrificada con paneles solares correspondiente al programa de electrificación rural Yantsa li Etsari, ubicado en la provincia de Morona Santiago.



Figura 2.10 Vivienda Shuar electrificada con paneles fotovoltaicos. Proyecto Yantasa li Etsari.  
 (El Mercurio de Cuenca. Reportaje: Energía Fotovoltaica en Morona Santiago. Fecha: 8 feb, 2011  
<http://www.elmercurio.com.ec/269022-energia-fotovoltaica-en-morona-santiago.html>)

#### 2.2.2.5 Energía marina

La energía marina es la tecnología que consiste en el aprovechamiento de los diferentes tipos de energía existentes en el mar, mediante distintos métodos de acuerdo a las características de cada uno. De esta manera, los sistemas de utilización energéticos, están basados en los siguientes tipos de energía:

- a) Energía mareomotriz: utiliza la energía cinética de las mareas, las cuales son provocadas por la influencia gravitacional de la luna sobre las masas oceánicas. Funciona de la siguiente manera: se retiene el agua de la altamar y en la bajamar la salida controlada del agua hace girar unas turbinas ubicadas en diferentes zonas de la costa. Presenta inconvenientes como: el reducido número de horas en que se puede utilizar, los costes de inversión son altos con respecto al rendimiento, además la construcción de una central mareomotriz requiere sistemas tecnológicos avanzados. Tiene un rendimiento es de un 25%.
- b) Energía de las corrientes marinas: Se utiliza el flujo de la corriente marina para hacer girar un rotor, y obtener energía eléctrica. Dentro de esta tecnología se emplean las llamadas turbinas marinas.
- c) Energía de las olas (undimotriz): aprovecha la energía cinética de las olas formadas por la acción del viento sobre la superficie del mar. Los sistemas de

generación se dividen en dos grupos: los que se fijan a la plataforma continental y los flotantes, que se instalan en el mar. Sin embargo, este es un recurso de densidad energética débil, por lo que su explotación se hace difícil.

- d) Energía térmica oceánica (maremotérmica): se produce energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía térmica, debida al gradiente de temperatura existente a diferentes profundidades como consecuencia de la irradiación solar. Los sistemas utilizados en esta tecnología son básicamente dos: el primero consiste en usar directamente el agua de mar en un circuito abierto, evaporando el agua a baja presión para mover una turbina. El segundo consiste en el uso de un circuito cerrado y un fluido de baja temperatura de ebullición, que se evapora en contacto con el agua caliente de la superficie, generando vapor el cual mueve un turbogenerador. Desafortunadamente el rendimiento de esta tecnología es sumamente bajo con valores de alrededor de un 7 %.

### 2.2.2.6 Biomasa

La biomasa se define como toda la materia orgánica originada mediante un proceso biológico. Según su origen, se clasifica en dos grupos: cultivos energéticos, que son plantaciones con la finalidad de ser utilizadas como fuente de energía, o como materia prima para la obtención de combustibles biocarburantes y en segundo lugar está la biomasa vegetal. En la Tabla 2.1 se ilustra esta clasificación.

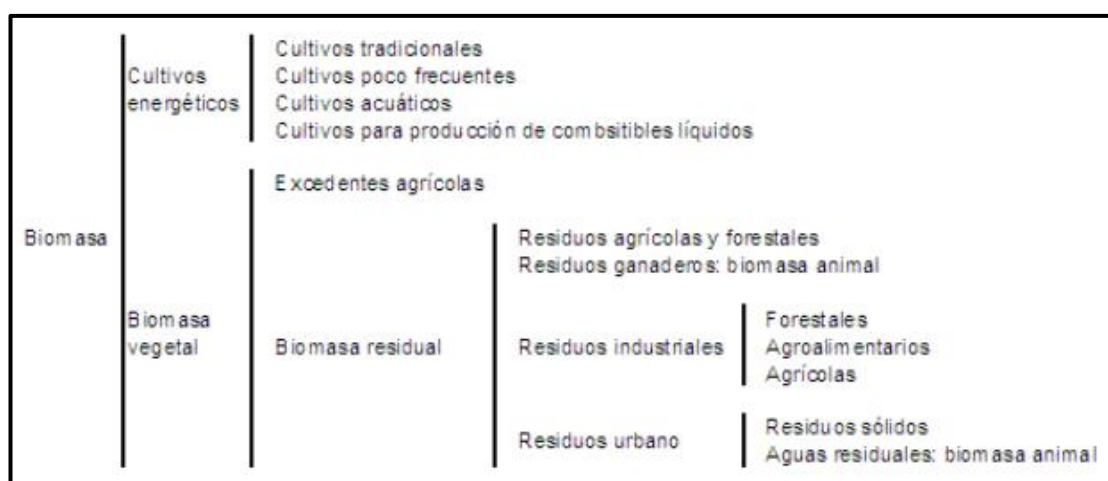


Tabla 2.1 Esquema de clasificación de la biomasa.

(EcoDesarrollo. Biomasa, origen y clasificación. <http://ecodesarrollo.cl/portal1/content/view/54/30/>)

La energía química de la materia orgánica, producida en las plantas a través de la fotosíntesis, está constituida básicamente de carbono e hidrógeno, y puede ser transformada en energía eléctrica, térmica o combustible mediante diferentes procesos, dependiendo del tipo de biomasa y de los productos que se quieran obtener. De acuerdo a su grado de humedad, la biomasa sigue distintos tratamientos, entre los cuales se tienen los procesos termoquímicos y los procesos químicos y bioquímicos. El proceso termoquímico consiste en la descomposición térmica de la biomasa bajo diferentes condiciones de oxidación y mediante los procesos químicos y bioquímicos se obtienen combustibles usados para la producción de calor o electricidad.

En general, la biomasa presenta unas características de combustión inferiores, comparada con los combustibles fósiles, debido a su baja densidad energética y alta humedad, sin embargo, se trata de una tecnología que favorece al el reciclaje de residuos. En la siguiente imagen, Figura 2.11, se muestra una planta de aprovechamiento de residuos forestales.

### **2.2.2.7 Residuos sólidos urbanos**

Los residuos sólidos urbanos, son aquellos residuos valorizables procedentes de la actividad social humana. Actualmente debido al crecimiento de la producción de dichos residuos, se hace necesaria una adecuada gestión de los mismos, por lo que se han desarrollado diferentes procesos para su eliminación final o reutilización. Existen distintos métodos para la eliminación de los residuos sólidos urbanos, algunos como: la digestión anaeróbica, incineración, pirolisis y la valorización energética del gas obtenido, permiten la obtención de energía y otros como el reciclaje y compostaje que contribuyen a la conservación de los recursos.

Dentro de estos métodos, la incineración de los residuos, reduce el volumen de basura y produce una gran cantidad de calor que puede ser usado para calefacción urbana o para la generación de energía eléctrica. Por otro lado, la recuperación energética del biogás de vertedero, generado debido a la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos, es uno de los métodos de aprovechamiento más utilizados debido a su bajo coste. Sin embargo, el principal inconveniente de esta tecnología, lo constituyen los gases como el dióxido de carbono y los óxidos de nitrógeno y de azufre, que se generan durante la combustión, los cuales deben controlarse a través de sistemas de lavado y filtrado que evitan la emisión de

sustancias tóxicas. En la Figura 2.11 se muestra el esquema del funcionamiento de una planta incineradora de basura.

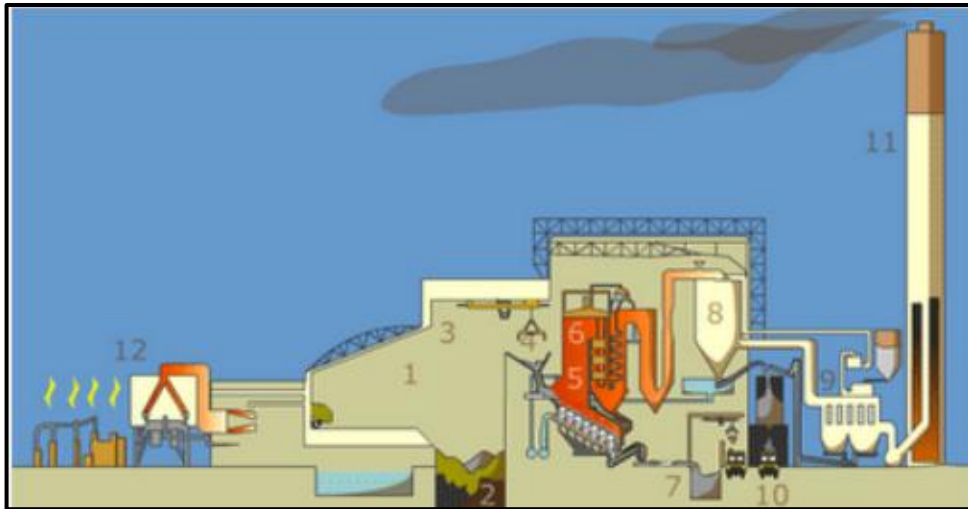


Figura 2.11 Planta incineradora de basura.

(PEH, Partido Ecologista y Humanista. No, a la incineradora en Asturias, Pág. 1  
< <http://pehpartidoecologista.blogspot.com/2010/02/no-la-incineradora-en-asturias.html>>

### 2.3 Sistemas de almacenamiento energético

Debido a la inconstancia a la que están sujetos los sistemas de generación basados en fuentes de energía renovable, es necesario contar con sistemas de almacenamiento que permitan disponer de la energía de forma continua. Además estos sistemas cumplen funciones adicionales como; realizar un seguimiento de la demanda por parte de la generación, cubrir las irregularidades de suministro y optimizar el consumo. Los aspectos principales que se debe tomar en cuenta para elegir el sistema de almacenamiento adecuado son los siguientes:

- Capacidad de almacenamiento.
- Potencia aportada.
- Respuesta suficientemente rápida, modulada y controlada.
- Vida útil.
- Costes de mantenimiento y consumibles reducidos.
- Coste compatible.
- Bajo impacto ambiental.



Hoy en día, los sistemas de almacenamiento energético más desarrollados son: las baterías, bombeo, almacenamiento térmico, aire a presión, volantes de inercia y bobinas superconductoras, siendo las baterías las más utilizadas.

### 2.3.1 Sistema de baterías

Las baterías, son mecanismos electroquímicas que almacenan la energía eléctrica en forma de corriente continua. Basan su funcionamiento en reacciones de oxidación – reducción que tienen lugar en electrodos separados por un electrolito. Actualmente el tipo de baterías más difundido en el mercado corresponde a las baterías de plomo – ácido. En las baterías plomo – ácido, los electrodos son de plomo y óxido de plomo y el electrolito está compuesto por una disolución de ácido sulfúrico en agua. Las baterías más usuales dentro de la categoría plomo – ácido, son las de plomo - antimonio, plomo - selenio, y plomo - calcio.

Entre las desventajas de este tipo de batería se tiene: una baja energía específica, ciclo de vida corto, limitaciones con la temperatura, problemas de corrosión en las pletinas positivas y la imposibilidad de recuperación una vez que la descarga descende por debajo del 80% de la carga. Además, genera gases durante su funcionamiento, por lo que requiere un mantenimiento periódico añadiendo agua. Otra clase de baterías son las de níquel – cadmio, éstas son más eficaces que las de plomo – ácido, pero son más costosas. Actualmente existen varios tipos de baterías en desarrollo, como: las de Sodio – Azufre, las de Zinc – Aire, las de flujo (*redox*) o pilas de combustible regenerativas, que son las de Zinc – Bromo – Cloro, las de Bromuro de Sodio – Polisulfuro de Sodio y finalmente las de litio. En la Figura 2.12 se muestran un lote de baterías electroquímicas.



Figura 2.12 Baterías electroquímicas.

(FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida, Pág. 40)

### **2.3.2 Sistema de bombeo**

Los sistemas de bombeo de agua o hidrobombeo, utilizan dos depósitos de agua a diferente altura, para almacenar energía en forma de energía potencial. Estos sistemas funcionan de la siguiente manera: durante los períodos de baja demanda, el agua es elevada del depósito inferior al superior, mientras que durante las horas pico, dejan caer el agua y generan electricidad funcionando como una central hidroeléctrica convencional. Sin embargo, el principal inconveniente de esta tecnología de almacenamiento, es el limitado número de lugares apropiados para la construcción de los depósitos.

### **2.3.3 Sistema de almacenamiento térmico**

Los sistemas de almacenamiento térmico, utilizan un medio de almacenamiento para guardar el calor. Su principio de funcionamiento consiste en que: durante las horas de baja demanda energética, el calor que se produce al consumir la electricidad, es acumulado como reserva. Esta tecnología, es usada principalmente en el sector residencial.

Los medios de almacenamiento térmico más comunes son: lechos de roca, agua caliente, líquidos orgánicos, metales, aceites, ladrillos, sales fundidas, etc. Especialmente para este tipo de sistemas se utilizan fluidos basados en aceites minerales parafínicos altamente refinados, debido a que éstos presentan una mayor estabilidad de fase a altas temperaturas.

### **2.3.4 Sistema de aire comprimido**

Un sistema de aire comprimido CAES (*Compressed Air Energy Storage*), consiste en, durante las horas de baja demanda, almacenar aire a alta presión en depósitos, los cuales pueden ser artificiales como: minas abandonadas, cavidades rellenas con soluciones minerales, acuíferos, etc.; o naturales bajo tierra. Posteriormente, el aire almacenado se expande, generando un movimiento que hace actuar un turbogenerador durante las horas pico de demanda.

### **2.3.5 Sistema de volante de inercia**

Los volantes de inercia o *flywheel*, constituyen un sistema en el cual, la energía excedente es almacenada en forma de energía cinética de rotación, mediante el giro permanente de una masa o volante, de este modo la velocidad de giro del volante aumenta conforme aumenta la energía almacenada. Estos volantes giratorios son conectados a un motor generador para producir energía eléctrica.

Dentro del mercado, existen una amplia variedad de volantes, entre los cuales están aquellos de baja velocidad y de acero de alta resistencia, y otros más avanzados de fibra de alta resistencia y baja densidad que giran a alta velocidad.

### **2.3.6 Sistema de bobinas superconductoras**

En este tipo de sistemas de almacenamiento energético, la energía es almacenada en forma de campo electromagnético, el cual es creado por la acción de bobinas superconductoras. Dentro de esta tecnología, los materiales superconductores pueden ser de baja temperatura, del orden de los 4°K, o de alta temperatura de hasta 77°K.

A continuación, en la Tabla 2.1, se muestra un cuadro comparativo de los distintos sistemas de almacenamiento energético, en el cual se especifican las características principales de cada uno, dentro de las cuales se encuentran el tiempo de descarga, banda de potencia, eficiencia y aplicaciones. Estos parámetros deben ser tomados en cuenta para escoger la tecnología idónea dentro de un sistema.

Tecnología	Tiempo de descarga	Banda de potencia	Eficiencia	Disponibilidad comercial	Aplicación
Térmico			65 % (en promedio)		Solar térmica, biomasa, geotérmica y electricidad de red con muchas renovables.
Bombeo	Horas-días	100 – 1.000 MW	66 % (en promedio)	Disponible.	Hidráulica y electricidad de red con muchas renovables.
Volante	Segundos-minutos	10 – 100 kW	78 % (en promedio)	Disponible.	Electricidad de red con muchas renovables.
Aire a presión	Horas-días	100 – 1.000 MW	69 % (en promedio)	Disponible.	Electricidad de red con muchas renovables.
Batería Plomo ácido	Minutos-horas	1 kW – 40 MW	60,7-67,7 %	Disponible.	Hidráulica, fotovoltaica, eólica, maremotriz y undimotriz.
Batería Níquel-Cadmio	Segundos-horas	1 kW – 40 MW		Disponible.	
Batería Sodio-Azufre	Horas-días	50 kW – 10 MW	56,7-72,2 %		
Hidrógeno			24-58 %		Hidráulica, fotovoltaica, eólica, maremotriz y undimotriz.
SMES	Segundos	1 – 100 MW		Prototipos.	Fotovoltaica y electricidad de red con muchas renovables.
Ultra-capacidad	Segundos	10 kW – 1 MW	90 % (en promedio)	Prototipos.	Fotovoltaica y electricidad de red con muchas renovables.

Tabla 2.2 Características y aplicaciones de los diferentes sistemas de almacenamiento.  
(FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida, Pág. 40)

## 2.4 Sistemas de interconexión a la red

La mayoría de las unidades de generación distribuida operan en paralelo con la red eléctrica, por lo cual es necesario que estén conectadas a esta de manera adecuada. *“El sistema de interconexión está formado por una serie de equipos (hardware y software) que permiten realizar la conexión física del generador distribuido y los equipos de almacenamiento con la red eléctrica (normalmente, la red de distribución local) y con las cargas (consumidores). Proporciona*

*acondicionamiento y conversión de la energía (en caso necesario), protección, monitorización, control, medida y despacho de la unidad de GD.*<sup>5</sup> Los aspectos técnicos más importantes que se deben considerar en la interconexión son:

- Relevadores de protección.
- Conexión del transformador.
- Sistema de puesta a tierra.
- Coordinación de protecciones y regulación de la tensión de la compañía.
- Equipos de calidad de servicio.
- Conformidad con normas de los convertidores de potencia.
- Monitoreo y control remoto del grupo.
- Mantenimiento preventivo y correctivo periódico.
- Sistema de comunicación entre el operador privado y el controlador de la red de distribución.

Sin embargo, cabe recalcar que algunos equipos de GD no se conectan a la red, es decir, operan en todo momento en “modo aislado”. De esta manera, las modalidades de GD en cuanto a los sistemas de interconexión se clasifican de la siguiente manera:

- Sistemas aislados de la red.
- Sistemas conectados a red.
  - Estaciones de energía que alimentan a la red.
  - Sistemas que intercambian energía con la red.

#### **2.4.1 Sistemas aislados de la red**

Este tipo de sistemas son utilizados principalmente para suministrar energía eléctrica en zonas remotas y aisladas, como por ejemplo en el sector rural. Dentro de este tipo de configuración, existen distintas alternativas como: extensión de redes, plantas eléctricas individuales o comunitarias, baterías recargables, generadores diésel, sistemas fotovoltaicos, etc.

---

<sup>5</sup> FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida.

<<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-basica-de-la-generacion-distribuida-fenercom.pdf>>

## **2.4.2 Sistemas conectados a la red**

Estos sistemas poseen una conexión física con la red eléctrica, y la complejidad de su conexión dependerá principalmente del nivel de interacción que se necesite entre los generadores, las cargas y la red eléctrica, permitiendo: cubrir cualquier eventualidad del sistema de compra o venta de energía eléctrica, proporcionar servicios auxiliares al sistema eléctrico y mejorar la fiabilidad proporcionando una fuente de energía alternativa. Los sistemas conectados a red se clasifican a su vez en dos subcategorías: estaciones de energía que alimentan la red y sistemas que intercambian energía con la red.

### **2.4.2.1 Estaciones de energía que alimentan la red**

Los sistemas que alimentan la red son operados por las compañías eléctricas, por lo general poseen generadores de salida de energía y toda la electricidad producida es directamente inyectada a la red eléctrica. Estos proyectos son muy confiables, robustos, de rápida construcción, y obviamente conllevan beneficios financieros.

### **2.4.2.2 Sistemas que intercambian energía con la red**

Estos sistemas están constituidos por los consumidores normales de electricidad conectados a la red, con la diferencia de que éstos poseen sistemas de generación que les permiten adaptarse a sus necesidades energéticas, pues están en capacidad de: autoabastecerse, vender energía a la red eléctrica cuando existan excedentes o comprar electricidad en caso de un déficit en la generación.

En el siguiente esquema, Figura 2.13, se ilustran los componentes de un sistema de interconexión.

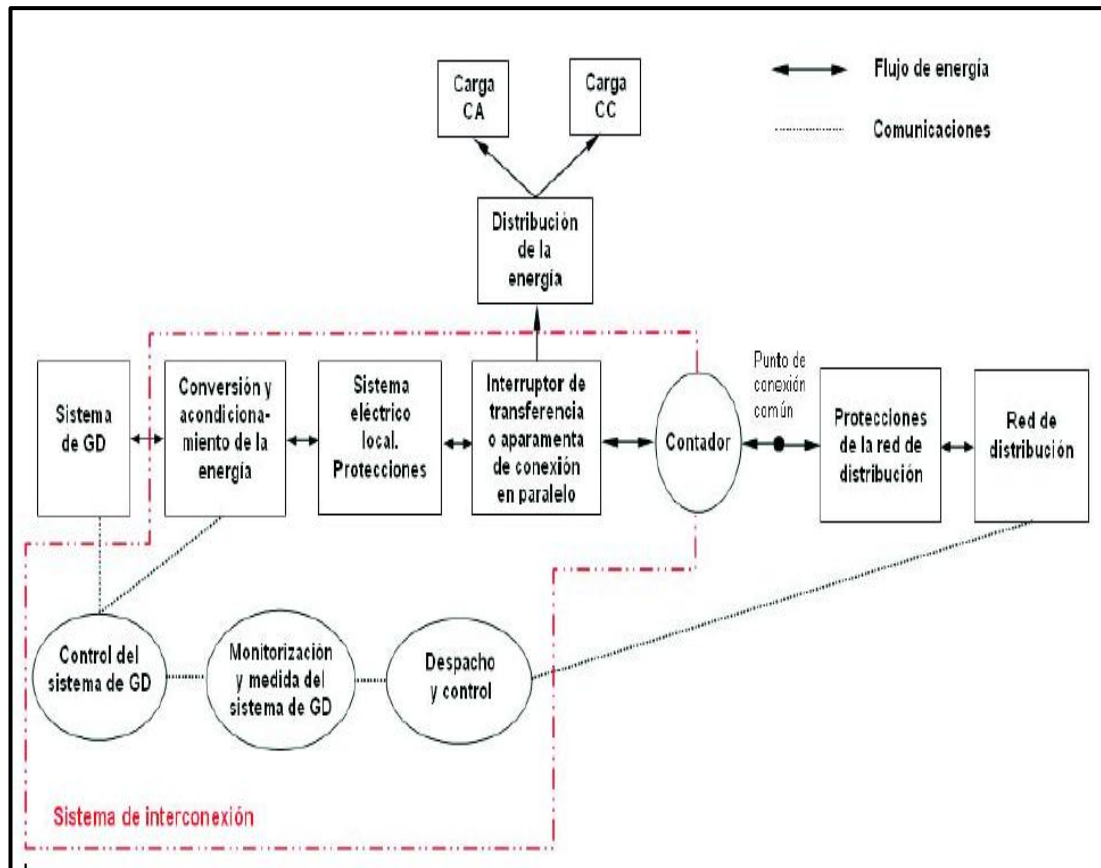


Figura 2.13 Sistema de interconexión.

(FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida, Pág. 42)

A continuación se enlistan los diferentes componentes del sistema de interconexión y las respectivas funciones que cumple cada uno dentro del mismo.

- **Conversión y acondicionamiento de la energía:** este sistema está compuesto por el inversor que es el dispositivo electrónico que convierte la corriente continua CC en corriente alterna CA y se usa en tecnologías de GD tales como la pila de combustible, el panel fotovoltaico y la microturbina. Otro elemento de este sistema es el transformador, el cual se utiliza en líneas de CA para transformar la energía de un nivel de tensión a otro y en algunos casos para proporcionar aislamiento eléctrico. Este dispositivo debe tener baja distorsión armónica, resistencia a potencias punta y posibilidad de conectarse en paralelo.
- **Control del sistema de GD:** está compuesto por un dispositivo que controla la unidad de GD y proporciona un interfaz de comunicaciones, gestión de la energía, monitorización y medida.
- **Distribución de la energía:** está conformado por un tablero que contiene interruptores, fusibles y dispositivos automáticos de control de

sobreintensidades. Todos estos componentes, conectan la red y la unidad de GD con la canalización eléctrica de la instalación, y proporcionan seguridad personal y protección a los equipos.

- Sistema eléctrico local: es el conjunto de canalizaciones eléctricas, tableros y componentes que constituyen la unidad de GD y el sistema de interconexión que se encuentran en el lado de la unidad de GD del punto de conexión común (PCC).
- Protecciones del sistema eléctrico local y de la red de distribución: son dispositivos eléctricos que funcionan de la siguiente manera: interpretan las condiciones de entrada y, si las especificaciones se cumplen, controlan la operación de los equipos con el fin de proteger el circuito eléctrico.
- Interruptor/Conmutador de transferencia: este equipo puede ser automático o estático y sirve para transferir cargas de un generador a otro.
- Aparataje de conexión en paralelo: Dispositivo que conecta en paralelo y sincroniza la operación de las unidades de GD con la red de distribución.
- Punto de conexión común: es el punto donde el sistema eléctrico local se conecta con la red de distribución.
- Contador: es el dispositivo que mide y registra la electricidad generada, la suministrada a la red y la suministrada por la red. Este elemento no es necesario en los sistemas aislados.
- Red de distribución: Es la red de la compañía eléctrica distribuidora local.
- Despacho y control: está conformado por los dispositivos y equipos de comunicación que interactúan con el sistema de GD y lo gestionan.
- Monitorización y medida del sistema de GD: es el dispositivo que monitoriza y mide varias funciones del sistema de GD.



## CAPITULO 3

### APLICACIONES, VENTAJAS Y BARRERAS DE LA GENERACION DISTRIBUIDA

#### 3.1 Aplicaciones de la Generación Distribuida

Existen diferentes tipos de aplicaciones en lo que concierne a Generación Distribuida pues, dependiendo de las exigencias específicas de cada usuario, se emplea un determinado arreglo tecnológico de GD, siendo los más usuales los citados a continuación:

- **Carga base:** Esta aplicación se utiliza para generar energía eléctrica de manera continua, opera en paralelo con la red de distribución, por lo que está en capacidad de tomar energía cuando sea necesario, o en su defecto vender sus excedentes a la red, además usa la red para respaldo y mantenimiento.
- **Proporcionar carga en punta:** esta metodología se utiliza para suministrar la energía eléctrica en los períodos punta o picos de consumo, de esta manera se disminuye la demanda máxima del consumidor, pues el costo de la energía durante este período es el más alto.
- **Generación aislada o remota:** Se usa para generar energía eléctrica en el modo de autoabastecimiento o autoconsumo. Este tipo de arreglo generalmente es utilizado en localidades aisladas de la red eléctrica convencional, imposibilitadas de recibir un suministro energético.
- **Soporte a la red de distribución:** Se utiliza como suministro auxiliar o de apoyo para la red eléctrica, dado que eventual o periódicamente se presentan altas demandas en diversas épocas del año, o fallas en la red, por lo que la empresa eléctrica necesita reforzar su red mediante la instalación de pequeñas plantas generadoras, incluida la subestación de potencia.
- **Almacenamiento de energía:** Esta alternativa se puede tomar en consideración cuando se dispone de un sistema en el cual las interrupciones del suministro son frecuentes o se cuenta con fuentes de energía renovables. Esta aplicación es utilizada cuando es viable el costo de la tecnología a emplear.

## 3.2 Ventajas de la Generación Distribuida

La Generación Distribuida responde a los problemas de la generación tradicional centralizada, el apogeo de esta tecnología dentro del sistema eléctrico se debe a los numerosos beneficios que esta presenta, tanto para el usuario como para la red eléctrica. Dentro de este concepto, las ventajas de este tipo de sistemas se pueden clasificar en los siguientes grupos: tecnológicas, medioambientales, económicas y sociales.

### 3.2.1 Ventajas tecnológicas

- Existe una reducción de pérdidas de energía en las redes de transporte y distribución, pues la adecuada ubicación y topología de los sistemas reduce el flujo de potencia por estas y por consiguiente aumenta la capacidad de distribución de la red eléctrica, mejorando la eficiencia global y el aprovechamiento de la energía primaria.
- Aumento de la confiabilidad y calidad en el suministro energético, ya que se reducen las probabilidades de fallos por caídas de las líneas de alta tensión al disminuir su porcentaje de uso. Menor saturación
- Sirve como soporte para la red eléctrica durante la demanda en horas pico, ya que se puede utilizar como suministro de reserva. Además aporta en los programas de gestión del consumo pues proporciona servicios auxiliares como: participación en los mercados de ajuste y reservas, inyección/consumo de potencia reactiva para estabilizar tensión y gestión de posibles congestiones en las redes de transmisión logrando una disminución de las mismas.
- Puede evitar la sobrecapacidad instalada, puesto que las pequeñas plantas de GD son más apropiadas para responder a los cambios de la demanda.
- Ayuda en la fiabilidad y continuidad del sistema, pues ante cortes en el suministro centralizado, las centrales de GD puede trabajar en “isla”.
- La GD puede aumentar la calidad de la onda eléctrica mediante su conveniente localización y las características de la energía inyectada a la red.
- Los sistemas de GD son modulares y proporcionan flexibilidad al sistema eléctrico, pues pueden variar su capacidad total aumentando o disminuyendo el número de módulos, además son de fácil instalación y mantenimiento.
- Promueve la utilización de una mayor diversidad de combustibles y fuentes de energía.

### 3.2.2 Ventajas económicas y sociales

- Reducción de las inversiones en infraestructura, pues dadas las características de los sistemas de GD, se puede reducir o evitar la construcción de nuevas líneas de transporte y distribución, además de mejorar los sistemas eléctricos existentes. Esta reducción de costes, permite reducir el precio de la electricidad y hace que los sistemas de GD sean económicamente competitivos.
- Disminución de los costes de operación y mantenimiento, pues la GD aumenta la vida útil de los transformadores y de los equipos del sistema de transporte y distribución.
- Reducción de los costes y ahorro de combustible, debido a la mejora de la eficiencia, como por ejemplo en el caso de aplicaciones de cogeneración, donde se usa el calor residual para calefacción o refrigeración.
- Promueve la participación de un gran número de pequeñas y medianas empresas locales en negocios de generación de energía, creando fuentes de empleo.
- Permite a las regiones remotas y comunidades aisladas recibir un suministro energético adecuado y de calidad. Favorece el desarrollo de localidades rurales.
- El monto y el riesgo de las inversiones se reducen, pues se tiene una estrecha correlación entre la capacidad instalada y el crecimiento de la demanda.
- Se reduce la vulnerabilidad de los sistemas energéticos a fenómenos climáticos y de otra índole.
- Se incrementa la seguridad energética al ampliarse la gama de fuentes de energía en el sistema.
- Facilidad de adaptación a las condiciones del sitio.
- Aplazan la necesidad de readecuación de los sistemas de transmisión.

### 3.2.3 Ventajas medioambientales

- Los impactos medioambientales se reducen, en particular cuando se utilizan fuentes renovables de energía para la generación. No obstante, cualquier sistema de GD disminuye la emisión de contaminantes debido a la reducción de pérdidas energéticas que ocasiona.
- La ventaja económica de disminución en redes de transporte y centros de transformación, implica una reducción del impacto visual, mejor aceptación social y menores inversiones.

### 3.3 Barreras de la generación Distribuida

Dentro del concepto de GD, existen ciertos factores negativos y barreras que impiden la implementación masiva de este tipo de sistemas y su pleno desarrollo. A continuación se describen algunos de los principales obstáculos de esta tecnología clasificados en las siguientes categorías: tecnológicos, económicos y regulatorios.

#### 3.3.1 Barreras tecnológicas

- Escaso nivel de desarrollo y falta de madurez de algunas tecnologías, lo que conlleva menores eficiencias y fiabilidad.
- En cuanto al control frecuencia-potencia, en el caso de los sistemas de GD renovables, su producción se ve condicionada a la disponibilidad de los recursos renovables, los cuales por lo general son de carácter aleatorio, lo que hace difícil la estimación de la reserva secundaria, necesaria para la adecuación de la generación a los cambios en la demanda y por otro lado provoca que la producción varíe durante su operación y se produzcan desvíos en los programas de compra de energía de las distribuidoras.
- En lo referente a los sistemas de interconexión, las barreras las constituyen las exigencias de las compañías distribuidoras concernientes a la compatibilidad con la explotación de la red (especificaciones relativas a calidad de suministro, fiabilidad, continuidad, seguridad, distribución local y control).
- Debido a que las redes de distribución están diseñadas para conectar carga y no generadores, al acoplar sistemas de GD se presentan inconvenientes relativos a la estabilidad, fiabilidad y flujos de corriente, por lo que es necesario implementar normativas técnicas de interconexión.
- La GD tiene un importante impacto sobre el control de tensión reactiva, pues los flujos de potencia activa y reactiva por las líneas se ven alterados al tener instalaciones con inyección a la red, lo que modifica los perfiles de tensión en la misma.
- En cuanto a la calidad del servicio, el impacto más importante de la GD se debe a los huecos de tensión, además existen aspectos relacionados con las fluctuaciones de voltaje que afectan a los consumidores vecinos.
- Si un generador quedara funcionando en isla, la distribuidora no podría garantizar los niveles de calidad al estar fuera de su control.
- Se requiere de un sistema de adquisición de datos más complejo.

- Debido a que las redes de distribución son típicamente radiales, de carácter unidireccional, mientras que los sistemas de GD requieren de flujos de energía bidireccionales, surge la necesidad de tener sistemas de distribución enmallados o en anillo. Por lo tanto, la red de distribución tiene alta resistencia de cortocircuito en comparación con la de transporte, y si a esto se une los bajos niveles de tensión, la GD conectada puede afectar significativamente a los mismos y también generar pérdidas de energía.
- La implantación de sistemas de GD genera un impacto sobre los refuerzos de la red en el momento de adecuarse a las nuevas conexiones, además se crean desviaciones imprevisibles con respecto al programa previsto, por lo que se hace difícil mantener ciertos factores de energía.
- Se debe diseñar e implementar un procedimiento de gestión de la congestión de la distribución para despachar la GD, en el caso de congestión en la red.
- Necesidad de complejas estructuras de control.
- Falta de recursos para la investigación y desarrollo de proyectos piloto.

### **3.3.2 Barreras económicas y regulatorias**

- Dado que algunas tecnologías de generación de GD aún no han alcanzado una madurez adecuada, en ciertos casos los costos de inversión inicial son altos, lo que implica plazos de amortización elevados para el inversor.
- Existen inconvenientes para obtener licencias de instalación, que involucran autoridades locales, regionales y nacionales, lo que hace que los trámites sean largos y tediosos. Por otro lado también se requieren permisos y regulaciones medioambientales.
- Ausencia de políticas energéticas estables a largo plazo, y de incentivos que promuevan la utilización de energías renovables. Esto se debe a que la mayoría de países, aún no poseen un mercado diseñado para todas las opciones tecnológicas que existen hoy día, por ende la mayoría de políticas energéticas están únicamente direccionadas a mercados tradicionales de generación centralizada.
- Falta de un engranaje regulatorio que incentive y apoye a las personas naturales y jurídicas interesadas en desarrollar tecnologías de GD.
- Poca desarrollo de leyes que regulen y planifiquen la adaptación de los sistemas de GD, así como de políticas de precios y estructuras de tarifas en los mercados.

- Ausencia de tratados de libre comercio y de regulaciones para la libre importación de tecnologías de GD.
- Falta de estándares para la conexión de pequeños generadores que impiden su desarrollo.

## CONCLUSIONES

El concepto de Generación Distribuida constituye una nueva alternativa de generación eléctrica frente a los sistemas de producción convencionales. Definida como la generación de electricidad de pequeña potencia, cercana a los puntos de consumo, y utilizando para ello las redes locales de media y baja tensión, la GD posee diversas aplicaciones y representa una forma eficiente de generación eléctrica portadora de grandes ventajas desde el punto de vista técnico, económico y medioambiental, pues con su implementación se tiene un menor impacto en lo referente a la continuidad de suministro, fallos, tiempos de reposición y sobrecargas, además se reducen las infraestructuras de transporte y distribución con lo que se logra una disminución de pérdidas energéticas, un ahorro de energía primaria, y consiguientemente una reducción de costos.

La GD promueve además la utilización de fuentes de energía renovables y el uso de combustibles también renovables o menos contaminantes tales como el gas natural, de esta manera la GD contribuye con la disminución de los impactos ambientales mediante la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera, aportando así a un mayor desarrollo sostenible. Por otro lado esta tecnología presenta beneficios tanto para las empresas eléctricas como para los consumidores, pues mientras las empresas se evitan inversiones destinadas a mejorar las redes de transporte y distribución, los usuarios adquieren la capacidad de convertirse en productores participando activamente en la demanda. Esta tipo de generación favorece a varios sectores como el industrial, y residencial, pero especialmente es de gran utilidad para su aplicación en regiones remotas y comunidades aisladas carentes de servicios eléctricos.

Desde el punto de vista técnico, la introducción de pequeñas estaciones de generación en la red de distribución, genera ciertos impactos, por lo que se debería realizar un estudio de los flujos de potencia en las redes de distribución y transporte, que permita asegurar la fiabilidad del sistema. Para garantizar que exista un suministro eficiente de energía y también una sincronía con la red principal, es necesaria una mejor comunicación entre los equipos involucrados.

Aunque a nivel mundial la GD presenta un evidente aumento en los últimos años, en parte debido a las políticas de fomento de fuentes renovables, aún existen barreras que impiden su pleno desarrollo, como son los esquemas financieros, el marco legislativo, la falta de madurez en el desarrollo de las tecnologías, los altos costos de inversión inicial, etc. Por lo que el gobierno y las instituciones afines deberían incentivar la aplicación de este tipo de generación, así como destinar más recursos para la investigación y el desarrollo tecnológico. También se debería concientizar a la población acerca de la necesidad de desarrollar nuevos métodos de generación mediante la utilización de fuentes de energía renovables que contribuyan a la conservación del medioambiente.

En el Ecuador, el concepto de Generación Distribuida aún no ha sido mayormente difundido, sin embargo nuestro país tiene grandes aptitudes para desarrollar este tipo de tecnología, especialmente la basada en energías renovables, puesto que es potencialmente rico en recursos naturales que no son suficientemente explotados, por lo que la GD tiene grandes oportunidades de lograr un espacio en nuestro mercado energético.

El concepto de GD representa un futuro eléctrico, que nos lleva hacia un nuevo modelo energético en el que los sistemas de micro y mini generación basados en fuentes renovables de energía y tecnologías de ahorro y eficiencia energética están en capacidad de satisfacer las necesidades de los consumidores. Dentro de este nuevo concepto se encuentra el futuro eléctrico.



## BIBLIOGRAFIA

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- [1]. FACCHINI Marcos, MORÁN, Federico. Valoración técnica y económica del impacto de penetración de generación distribuida a través de energía solar fotovoltaica. Argentina. 2010. 8 páginas.
- [2]. GISCHLER, Christiaan. JANSON, Nils. Perspectivas para la generación distribuida mediante energías renovables en América Latina y el Caribe. Santo Domingo. 2011. 23 páginas.
- [3]. LORENTE, Javier. Estudio sobre el estado actual de las Smart Grids. España. 2011. 117 páginas.

### REFERENCIAS ELECTRONICAS:

- [1]. ALMEIDA, Wendy. Generación Distribuida y su potencial aplicación en Ecuador. Ecuador. [s.a.]. 6 páginas. Disponible en internet en:

<http://boletin.cenace.org.ec/alpha/ObtenerArticulo?id=26&num=65>

Accedido en: 15 de enero de 2013.

- [2]. CASTRO, M. COLLADO, E. COLMENAR, A. CARPIO, J. GUIRADO, R. Generación Distribuida: viabilidad de las instalaciones fotovoltaicas con el futuro real decreto de balance neto. España. 2012. 32 páginas. Disponible en internet en:

[http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.EXE?CMD=VERDOC&BASE=TODO&DOCR=1&SORT=-FECH&RNG=20&SEPARADOR=&\\*=GENERACI%3N+DISTRIBUIDA](http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.EXE?CMD=VERDOC&BASE=TODO&DOCR=1&SORT=-FECH&RNG=20&SEPARADOR=&*=GENERACI%3N+DISTRIBUIDA)

Accedido en: 15 de enero de 2013.

- [3]. CATILLO, Alejandro. Barreras para la implementación de generación distribuida. Colombia. 2011. Disponible en internet en:

[http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-921X2011000200007&lng=es&nrm=is](http://www.sci.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2011000200007&lng=es&nrm=is)

Accedido en: 11 de marzo de 2013.

- [4]. CELEC, Corporación Eléctrica del Ecuador. Ecuador. 2013. Disponible en internet en:

<http://www.celec.com.ec/>

Accedido en: 17 de enero de 2013.

- [5]. CETENMA, Centro Tecnológico de la Energía y del medio Ambiente. Generación Eléctrica Distribuida. España. 2012. 155 páginas. Disponible en internet en:

<http://fundaciondesarrollosostenible.org/GD.pdf>

Accedido en: 8 de enero de 2013.

[6]. CNE, Comisión Nacional de la Energía. Informe sobre el sector energético español. España. 2012. 19 páginas. Disponible en internet en:

[http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/cne004\\_12.pdf](http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/cne004_12.pdf)

Accedido en: 8 de enero de 2013.

[7]. CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador. 2013. Disponible en internet en:

<http://www.conelec.gob.ec>

Accedido en: 16 de enero de 2013.

[8]. CONUEE, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Generación Distribuida. México. 2010. 6 páginas. Disponible en internet en:

[http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_1917\\_generacion\\_distribui?page=1](http://www.conuee.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1917_generacion_distribui?page=1)

Accedido en: 4 de enero de 2013.

[9]. COYOS, C. IBARLUCEA, C. GÓMEZ, J. VASCHEETTI, J. Generación Distribuida: Impacto en la calidad de potencia y en las protecciones. Argentina. [s.a.]. 6 páginas. Disponible en internet en:

<http://www.argencon.org.ar/sites/default/files/070.pdf>

Accedido en: 15 de marzo de 2013.

[10]. DFB, Diputación Foral de Bizkaia. Energías renovables - Generación Distribuida. España. 2006. 121 páginas. Disponible en internet en:

[http://www.programasustatu.com/pdf/Informe\\_Energias\\_renovables.pdf](http://www.programasustatu.com/pdf/Informe_Energias_renovables.pdf)

Accedido en: 10 de febrero de 2013.

[11]. DÍAZ, Tomás. Generación Distribuida, Balance Neto y Redes Inteligentes. España. 2012. 41 páginas. Disponible en internet en:

[http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.EXE?CMD=VERDOC&BASE=TODO&DOCR=8&SORT=-FECH&RNG=20&SEPARADOR=&\\*=GENERACI%3N+DISTRIBUIDA](http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.EXE?CMD=VERDOC&BASE=TODO&DOCR=8&SORT=-FECH&RNG=20&SEPARADOR=&*=GENERACI%3N+DISTRIBUIDA)

Accedido en: 11 de enero de 2013.

[12]. ESPEJO, Cayetano. La energía eólica en España. España. 2004. 65 páginas. Disponible en internet en:

<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1065440>

Accedido en: 11 de enero de 2013.

[13]. FENERCOM. Guía Básica de la Generación Distribuida. España. [s.a.]. 64 páginas. Disponible en internet en:

<http://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/guia-basica-de-la-generacion-distribuida-fenercom.pdf>

Accedido en: 3 de enero de 2013.

[14]. FIGUEROA, Miguel. Crecimiento de la generación distribuida en Honduras. Honduras. 2012. 124 páginas. Disponible en internet en:

[http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.EXE?CMD=VERDOC&BASE=TODO&DOCR=11&SORT=-FECH&RNG=20&SEPARADOR=&&\\*=GENERACI%3N+DISTRIBUIDA](http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.EXE?CMD=VERDOC&BASE=TODO&DOCR=11&SORT=-FECH&RNG=20&SEPARADOR=&&*=GENERACI%3N+DISTRIBUIDA)

Accedido en: 18 de enero de 2013.

[15]. MARTÍNEZ, Lope del Amo. Generación energética distribuida. España. [s.a]. 15 páginas. Disponible en internet en:

<http://www.cerien.upc.edu/jornades/jeedee2007/ponencies/07-05-29%20Generacion%20energetica%20distribuida.pdf>

Accedido en: 12 de enero de 2013.

[16]. MENDOZA, Sergio. SORIA, Carlos. Estudio del estándar IEC 61850 y su aplicabilidad en la integración del sector eléctrico del Ecuador. Ecuador. 2012. 84 páginas. Disponible en internet en:

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21382/1/TESISMENDOZASORIAFINAL.pdf>

Accedido en: 3 de marzo de 2013.

[17]. MERCADO, Pedro. Generación Distribuida de electricidad, situación y desarrollos. Argentina. 2009. 26 páginas. Disponible en internet en:

<http://perusolar.org/16-spes-taller/Presentacion%20CYTED%20Arequipa%20061109%20-%20Pedro%20E%20Mercado.pdf>

Accedido en: 9 de enero de 2013.

[18]. MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE. Ecuador. 2013. Disponible en internet en:

<http://www.energia.gob.ec/>

Accedido en: 14 de enero de 2013.

[19]. NADIECHDA, Oliva. Sistemas Solares Fotovoltaicos Generación Distribuida de Energía. Chile. 2012. Disponible en internet en:

<http://www.acesol.cl/noticias/sistemas-solares-fotovoltaicos-generacion-distribuida-de-energia>

Accedido en: 11 de enero de 2013.

[20]. PROYECTO HIDROELÉCTRICO COCA CODO SINCLAIR. Ecuador. 2013. Disponible en internet en:

[http://www.ccs.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=featured&Itemid=10](http://www.ccs.gob.ec/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=10)

Accedido en: 3 de marzo de 2013.

[21]. SEPÚLVEDA, Javier. La Generación Distribuida en España. España. 2010. 99 páginas. Disponible en internet en:

[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/10866/1/PFC\\_FJavier\\_Sepulveda\\_Gonzalez.pdf](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/10866/1/PFC_FJavier_Sepulveda_Gonzalez.pdf)

Accedido en: 13 de enero de 2013.

[22]. VELASQUEZ, Sergio. Conceptos generales y desarrollo en Guatemala de la generación distribuida. Guatemala. 2012. 110 páginas. Disponible en internet en:

[http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.EXE?CMD=VERDOC&BASE=TODO&DOCR=10&SORT=-FECH&RNG=20&SEPARADOR=&&\\*=GENERACI%3N+DISTRIBUIDA](http://www.cne.es/cgi-bin/BRSCGI.EXE?CMD=VERDOC&BASE=TODO&DOCR=10&SORT=-FECH&RNG=20&SEPARADOR=&&*=GENERACI%3N+DISTRIBUIDA)

Accedido en: 9 de enero de 2013.

[23]. YADAICELA, Julio. Estudio técnico económico sobre la implementación de generación distribuida en el sistema eléctrico ecuatoriano. Ecuador. 2011. 242 páginas. Disponible en internet en:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4709/1/CD-4337.pdf>

Accedido en: 10 de enero de 2013.

[24]. ZEBALLOS, Raúl. VIGNOLO, Mario. ¿Redes de transmisión o generación distribuida?. 2000. 13 páginas. Disponible en internet en:

<http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/syspot/TvsGD.pdf>

Accedido en: 8 de marzo de 2013.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Mapa del Sistema Nacional de Generación, Transmisión y Distribución SNGTD. (CONELEC, Consejo Nacional de Electricidad. Ecuador).