

AUTORIZADA LA ENTREGA DE LA TESIS DE MÁSTER DEL ALUMNO:

Claudio García Pérez

EL DIRECTOR

José Luis Moreno San Juan

Fdo.:  Fecha: 09 /01/2013

EL TUTOR

Pablo Frías Marín

Fdo.:  Fecha: 18 /01 /2013

Vº Bº del Coordinador de Tesis

Luis Olmos Camacho

Fdo.:  Fecha: 12 /02 /2013



INSTITUTO GLOBAL DE ALTOS ESTUDIOS EN CIENCIAS SOCIALES (IGLOBAL)
UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS

Propuesta de Normativa Complementaria de Regulación para la Explotación
Óptima y Conexión a las Redes de Distribución de la Generación Distribuida en
la República Dominicana

Tesis para optar por el título de
MÁSTER EN REGULACIÓN ECONÓMICA DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

Proponente

Claudio García Pérez

Director

José Luis Moreno San Juan

Tutor

Pablo Frías Marín

1 de marzo de 2013
Santo Domingo, República Dominicana

Propuesta de Normativa Complementaria de
Regulación para la Explotación Óptima y Conexión a las
Redes de Distribución de la de Generación Distribuida
en la República Dominicana

RESUMEN

El término “*Generación Distribuida*” no tiene una definición única, atendiendo al tamaño de la potencia del generador distribuido y a los niveles de tensión a lo que se conectan, se puede considerar en sentido general, como un tipo de generación a pequeña escala, cercana al lugar de consumo y conectada directamente a la red de distribución eléctrica o a través del contador de un consumidor de electricidad. La definición puede variar según el tamaño de las instalaciones, la ubicación del generador y del tipo de tecnología que se utilice.

Hay diferentes motivos que han impactado en la aparición de la generación distribuida, entre lo que podemos mencionar:

- La necesidad de las compañías distribuidoras de aumentar la eficiencia de la red o la calidad del servicio al consumidor final
- Incentivos económicos para su instalación, que reportan otros beneficios, como es el caso de la obtención de bonos por reducción de emisiones (medioambientales)
- Reducción de los costos de la electricidad derivado de la configuración de los sistemas tradicionales, entre otros

Hablar de Generación Distribuida (GD) no significa hablar de un tipo de tecnología en particular, ni de un tipo específico de fuente de producción primaria, sino, que la generación distribuida puede ser producida por cualquier tipo de tecnología, renovable o no renovable. Atendiendo a la definición considerada (producción a pequeña escala y conexión directa a las red de distribución), la conexión de este tipo de generación, causan una serie impactos en las redes de distribución que podrían afectar el funcionamiento normal de los flujos de energía por las líneas, además de otros tipos de impactos, que necesariamente deberán ser considerado para no afectar de manera negativa la operatividad del negocio de la distribución. Estos impactos pueden presentar aspectos positivos y negativos, ya que las redes de distribución se diseñan fundamentalmente para suministrar las demandas con un criterio de flujo de potencia unidireccional y radial, desde la subestación hacia las cargas.

Un aspecto importante y que debe ser considerado para aprovechar al máximo la producción de generación distribuida, tiene que ver con el tipo de tecnología y su perfil de producción, ya que en función de las características técnicas y la disponibilidad del recurso de cada tecnología en particular, se producirán impactos diferentes en la redes donde se inyecta la energía producida y por lo tanto, será de suma importancia considerar este aspecto a los fines de modelar y cuantificar de manera consciente, el impacto de cada una de las tecnologías que sean utilizadas

dentro del esquema de generación distribuida, tanto en el aspecto técnico como en el aspecto económico.

En nuestro país, aunque no existen importantes desarrollos de producción de energía que se pueda enmarcar dentro de un régimen de producción especial, todo apunta a que en el futuro, se instalaran las tecnologías necesarias que permitirán implementar mecanismos de mercado tendentes a desarrollar la producción de energía a partir este esquema de generación.

El esquema actual de operación, arquitectura y topología de las redes de distribución de la República Dominicana, presentan unas características particulares que deberán ser tratada con especial atención a la hora de evaluar los impactos técnicos y económicos que causan la conexión de generación distribuida a la red de distribución. En ese sentido, el desarrollo eficiente de un esquema de generación distribuida en la República Dominicana, deberá contemplar la utilización de herramientas de análisis en los procedimientos de planificación, operación y control, además del diseño de mecanismos regulatorios que permitan ir resolviendo en el futuro los nuevos problemas que la GD está planteando. En un futuro cercano, se necesitará superar una serie de barreras técnicas, económicas, como regulatorias, que faciliten una mayor integración de la GD a las redes y los mercados de electricidad.

La Ley 57-07 sobre incentivo a las energías renovables, además de los procedimientos para la conexión de generación distribuida y el programa de medición neta en la República Dominicana, contemplan e incentivan la instalación de fuentes de generación distribuida, debido a que es muy ventajoso desde un punto de vista económico para las empresas y para el estado, sin embargo, la referida ley y los procedimientos posteriores, permiten la instalación de dichas centrales sin valorar a profundidad los impactos técnicos y económicos que pueden causar en las redes de distribución.

En este proyecto se identifican los impactos técnicos y económicos que causa la conexión de generación distribuida en las redes de distribución, considerando la tecnología, la potencia, la localización y el número de generadores en una red de distribución dada, por lo tanto, se han considerado diferentes modelos ya desarrollados en otros ensayos y se aplican a redes de distribución típicas de la República Dominicana, considerando las características actuales de operación, como la gestión a la demanda y las altas pérdidas de energía en la red.

ABSTRACT

The term "distributed generation" has no single definition, based on the size of distributed generator power and voltage levels are connected to what can be considered in a general sense, as a type of small-scale generation, close to place of consumption and directly connected to the electrical distribution network or through a meter electricity consumer. The definition can vary depending on the size of the facility, the location of the generator and the type of technology used.

There are various reasons that have impacted the development of distributed generation, among which we can mention:

- The distribution companies need to increase network efficiency and service quality to the end consumer
- Economic incentives for installation, which reported other benefits, such as obtaining emission reduction bonds (environmental)
- Reduced power costs stemming from the design of traditional systems, among other

Speaking of Distributed Generation (DG) does not mean talk about a particular type of technology, or a specific type of primary production source, but that distributed generation can be produced by any technology, renewable or nonrenewable. According to the definition considered (small-scale production and direct connection to the grid), the connection of this type of generation, cause a number of impacts on the distribution networks that could affect the normal operation of the energy flows through the lines, and other types of impacts, which must necessarily be considered to not adversely affect the operation of the distribution business. These impacts can have positive and negative aspects, as distribution networks are designed mainly to supply the demands with a criterion of unidirectional power flow radially from the substation to the loads.

An important aspect that should be considered to maximize the production of distributed generation, has to do with the type of technology and production profile as a function of the technical and resource availability of each particular technology , impacts occur in different networks where the energy produced is injected and therefore, will be very important to consider this aspect in order to model and quantify consciously, the impact of each of the technologies that are used within the Distributed generation scheme, both on the technical and economic aspects.

In our country, although there are no significant development of energy production that can be framed within a particular production system, it seems that in the future,

it will install the necessary technologies that will implement market mechanism aimed at developing the production of from this power generation scheme.

The current scheme of operation, architecture and topology of the distribution networks of the Dominican Republic, have particular characteristics that must be treated with special attention to assessing the technical and economic impacts that cause the connection of distributed generation to the grid distribution. In that sense, the efficient development of a distributed generation scheme in the Dominican Republic, shall provide for the use of analytical tools in planning procedures, operation and control, and the design of regulatory mechanisms that allow to solve in future new problems that GD is posing. In the near future, they will need to overcome a number of technical, economic, and regulatory, to facilitate greater integration of DG to networks and electricity markets.

Law 57-07 on incentives for renewable energy, as well as procedures for the connection of distributed generation and net metering program in the Dominican Republic, provide for and encourage the installation of distributed generation sources, because it is very advantageous from an economic standpoint for businesses and for the state, however, said law and subsequent procedures, allow the installation of such plants Unrated-depth technical and economic impacts that may result in distribution networks.

This project will identify technical and economic impacts that cause the connection of distributed generation in distribution networks, considering the technology, the power, the location and the number of generators in a given distribution network, therefore, has been considered different models already developed in other trials and applied to distribution networks typical of the Dominican Republic, considering the current operating characteristics, such as managing demand and high energy losses in the network

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	6
<i>Capítulo 1. Introducción.....</i>	<i>12</i>
1. Motivación de la Propuesta.....	12
2. Objetivos de la Propuesta.....	13
3. Estructura de la Propuesta.....	14
<i>Capítulo 2. La Generación Distribuida.....</i>	<i>17</i>
1. Introducción.....	17
2. La Generación Distribuida.....	20
2.1. Concepto Generales de Generación Distribuida.....	21
2.1.1. Definición Organismos y Agencias Internacionales.....	21
2.1.2. Definición Algunos Autores	22
2.2. Motivo para la Utilización y Desarrollo de la Generación Distribuida	24
2.3. Opciones Tecnológicas de Generación Distribuida.....	25
2.3.1. Principales Alternativas Tecnológicas:.....	25
2.3.2. Biomasa.....	27
2.3.3. Mini-hidráulica	29
2.3.4. Generador Eólico.....	30
2.3.5. Generador Solar Fotovoltaico.....	35
<i>Capítulo 3. Análisis Prospectivo de la Evolución de la Generación Distribuida en República Dominicana</i>	<i>39</i>
1. Perspectiva de la Generación Distribuida en el Mundo	39
2. Análisis Prospectivo de la Evolución de la Generación Distribuida en República Dominicana	42
2.1. Punto de Partida	42
2.2. Esquema de Distribución de la República Dominicana	46
2.3. Instituciones y Normativas Eléctricas	51
2.3.1. La Comisión Nacional de Energía (CNE).....	51
2.3.2. La Superintendencia de Electricidad (SIE)	52
2.3.3. Ley No. 57-07 sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de	

Energía y de sus Regímenes Especiales.....	53
2.4. Situación Actual.....	56
3. Resumen y Conclusiones	61
Capítulo 4. Impacto de la Generación Distribuida en las Redes de Distribución.....	65
1. Introducción	65
2. Impacto de la Generación Distribuida en las Redes de Distribución	66
2.1. Impacto en las Pérdidas.....	67
2.2. Impacto en los Perfiles de Tensión.....	68
2.3. Impacto Calidad del Suministro.....	71
2.4. Impacto en la potencia de cortocircuito.....	74
2.5. Operación y Mantenimiento.....	74
2.6. Impacto en las Inversiones.....	75
Capítulo 5. Caso de Estudio.....	79
1. Introducción	79
2. Redes típicas de Distribución de República Dominicana.....	79
3. Tipos de Redes	80
3.1. Selección de Redes Tipos.....	80
3.1.1. Redes Urbanas de Tipo 1 (predominantemente residencial)	80
3.1.2. Redes Urbanas de Tipo 2 (predominantemente comercial industrial)	83
3.1.3. Redes Rurales.....	85
3.2. Análisis Redes Tipos.....	87
3.3. Perfiles de Producción.....	88
3.3.1. Perfil de Producción Generador Eólico.....	88
3.3.2. Perfil de Producción Generador Solar	88
4. Impacto de la GD en la red de MT.....	89
4.1. Problemática Reconocida de la Generación Distribuida	89
4.2. Impacto en Redes Tipos (Urbanas, Rural).....	91
4.2.1. Potencias Activa y Reactiva Inyectadas	91
4.2.2. Nivel de penetración de la GD.....	91
4.2.3. Localización de la GD.....	91
4.2.4. Análisis y Conclusiones.....	92

4.2.5.	Caso de Aplicación Práctico.....	93
4.2.6.	Escenarios de Generación Distribuida	93
4.2.7.	Pérdidas Estimadas Escenarios de Penetración.....	95
4.2.8.	Pérdidas Totales Estimadas Escenarios de Penetración.....	97
4.2.9.	Cálculo Estimado del Sobre Costo (Beneficio).....	98
<i>Capítulo 6. Propuesta Final.....</i>		102
1.	Conclusiones y Recomendaciones Finales	102
<i>Bibliografías.....</i>		108

Capítulo 1

Introducción

Capítulo 1. Introducción

1. Motivación de la Propuesta

El término “*Generación Distribuida*” no tiene una definición única, atendiendo al tamaño de la potencia del generador distribuido y a los niveles de tensión a lo que se conectan, se puede considerar en sentido general como un tipo de generación a pequeña escala, cercana al lugar de consumo y conectada directamente a la red de distribución eléctrica o a través del contador de un consumidor de electricidad. La definición puede variar según el tamaño de las instalaciones, la ubicación del generador y del tipo de tecnología que se utilice.

Hay diferentes motivos que han impactado en la aparición de la generación distribuida, entre lo que podemos mencionar:

- La necesidad de las compañías distribuidoras de aumentar la eficiencia de la red o la calidad del servicio al consumidor final
- Incentivos económicos para su instalación, que reportan otros beneficios, como es el caso de la obtención de bonos por reducción de emisiones (medioambientales)
- Reducción de los costos de la electricidad derivado de la configuración de los sistemas tradicionales, entre otros

Hablar de Generación Distribuida (GD) no significa hablar de un tipo de tecnología en particular, ni de un tipo específico de fuente de producción primaria, sino que la generación distribuida puede ser producida por cualquier tipo de tecnología, renovable o no renovable. Atendiendo a la definición considerada (producción a pequeña escala y conexión directa a las red de distribución), la conexión de este tipo de generación, causan una serie impactos en las redes de distribución que podrían afectar el funcionamiento normal de los flujos de energía por las líneas, además de otros tipos de impactos que necesariamente deberán ser considerado para no afectar de manera negativa la operatividad del negocio de la distribución. Estos impactos pueden presentar aspectos positivos y negativos, ya que las redes de distribución se diseñan fundamentalmente para suministrar las demandas con un criterio de flujo de potencia unidireccional y radial, desde la subestación hacia las carga.

En nuestro país, aunque no existen importantes desarrollos de producción de energía que se pueda enmarcar dentro de un régimen de producción especial, todo apunta a que en el futuro se instalaran las tecnologías necesarias que permitirán implementar mecanismos de mercado tendentes a desarrollar la producción de energía a partir este tipo de generación.

El esquema actual de operación, arquitectura y topología de las redes de distribución de la República Dominicana presentan unas características particulares que deberán ser tratada con especial atención a la hora de evaluar los impactos técnicos y económicos que causan la conexión de generación distribuida a la red de distribución. En ese sentido, el desarrollo eficiente de un esquema de generación distribuida en la República Dominicana, deberá contemplar, la utilización de herramientas de análisis en los procedimientos de planificación, operación y control, además del diseño de mecanismos regulatorios, que permitan ir resolviendo en el futuro los nuevos problemas que la GD está planteando. En un futuro cercano, se necesitará superar una serie de barreras técnicas, económicas, como regulatorias, que faciliten una mayor integración de la GD a las redes y los mercados de electricidad.

La Ley 57 – 07, además de los procedimientos para la conexión de generación distribuida y el programa de medición neta en la República Dominicana, contemplan e incentivan la instalación de fuentes de generación distribuida debido a que es muy ventajoso desde un punto de vista económico para las empresas y para el estado, sin embargo, la referida ley y los procedimientos posteriores, permiten la instalación de dichas centrales sin valorar a profundidad el impacto técnico y económico que pueden tener en las redes de distribución.

El rápido crecimiento y desarrollo de tecnología de producción, son un claro indicativo de que en los años venideros, el esquema tradicional de planificación de los sistema de distribución, sufrirá variaciones importantes debido a la presencia de GD, y por lo tanto, este nuevo esquema llegará a jugar un papel preponderante en los sistemas eléctricos, convirtiéndose en un nuevo reto para las instituciones que deberán regular esta nueva forma de mercado. La propuesta presentada en la presente tesis surge con la motivación de dar respuesta regulatoria, asociada a los impactos técnicos que produce la integración de la GD en la red de distribución.

2. Objetivos de la Propuesta

La presente tesis se desarrolla con la intención de analizar los diferentes tipos de impactos que surgen como consecuencia de la integración de generación distribuida a la red de distribución, atendiendo a tres objetivos fundamentales:

- Evaluar el impacto técnico que tiene la conexión de Generación Distribuida en las redes de distribución, mediante el análisis de diferente tipo de tecnología, considerando la potencia, cantidad y localización de generadores en la red.
- Analizar el comportamiento del impacto que provoca la generación distribuida al considerar por separado áreas típicas de distribución, como son: una red puramente urbana, una red puramente rural y una red combinada (semiurbana),

además de considerar algunas características particulares que son propias de las redes de distribución en la República Dominicana, como son los cortes programados y las altas pérdidas de energía en la red.

- Obtener recomendaciones que sirvan de base para la creación de normativas complementarias que regulen la integración de GD a las redes de distribución, estableciendo procedimientos técnicos y administrativos, que contribuyan de forma eficiente a una mejor y mayor integración de generación distribuida en la República Dominicana.

3. Estructura de la Propuesta

Se abordará el tema de estudio, utilizando una metodología deductiva, partiendo de lo general hacia lo particular y haciendo una descripción conceptual de la problemática planteada (impacto técnico de la generación distribuida en las red de distribución) y de la herramienta o mecanismo para su tratamiento y mitigación (propuesta complementaria de regulación); se argumentará sobre las implicaciones que tiene la conexión de la Generación Distribuida a la red de distribución para el caso particular de la República Dominicana, considerando diferentes características o topología de red, como son: red urbana, red semiurbana y red rural.

Se presentará una propuesta que sirva de referencia regulatoria para la creación de normativas que regulen las condiciones de conexión de GD a la red de distribución, estableciendo procedimientos técnicos y administrativos objetivos y transparentes, que contribuyan de forma eficiente al desarrollo e integración de la generación distribuida en la República Dominicana.

En el Capítulo 2, se hace una revisión del término Generación Distribuida y las causas que han motivado su uso como alternativa de producción frente a esquemas tradicionales. Además se hace una revisión de las diferentes acepciones que algunos organismos internacionales y autores individuales hacen del término, para luego analizar las principales características de las diferentes tecnologías utilizadas como generación distribuida abordando con más nivel de detalle la eólica y la solar.

En el Capítulo 3, se hace un análisis prospectivo de la evolución de la generación distribuida en la República Dominicana, así como de las tendencias mundiales en cuanto a la producción de energía utilizando como fuente de producción primaria la energía eólica y la solar. Se hace referencia a los resultados de diferentes estudios llevados a cabo por reconocidas instituciones que han evaluado el potencial eólico y solar en la República Dominicana. Se concluye este capítulo con un análisis de las diferentes normativas y procedimientos para el fomento e incentivo de energía con recursos renovables.

En el capítulo 4, se recogen diferentes estudios donde se analizan los diferentes impactos, tanto técnicos como económicos, al introducir generación distribuidas a las redes de distribución, y se analizan redes tipos, considerando los niveles de tensión al que se conecta y las condiciones actuales de operación del sistema en la República Dominicana, como son los cortes programados y las altas pérdidas de energía en la red.

Por último, en el capítulo 5 se hace una revisión de las ventajas y problemática de la generación distribuida para mencionar aquellos aspectos más importantes que han de ser fundamentales para determinar el marco regulatorio de generación distribuida, para luego concluir en el capítulo 6 con las recomendaciones más importantes de la propuesta

Capítulo 2

La Generación Distribuida

Capítulo 2. La Generación Distribuida

1. Introducción

Como en todos los sistemas eléctricos, las estructuras que conforman el conjunto generación, transmisión y distribución de electricidad, esta jerarquizada siguiendo un patrón determinado:

1. Grandes centrales eléctricas transformado algún tipo de energía primaria en electricidad a través de un generador a un nivel de tensión determinado y ubicada casi siempre en lugares lejanos a los centros de consumo
2. Equipo de transformación apoyados en un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos (subestación) responsable de transformar los niveles de tensión al que se genera la electricidad, para permitir su tránsito a larga distancia en mayores cantidades y a mínimo costos
3. Líneas de transmisión destinadas al tránsito de la electricidad a los centros de carga
4. Equipo de transformación apoyado por un conjunto de dispositivos eléctricos y mecánicos (subestación) responsable de transformar - reducir los niveles de tensión, para permitir la distribución de la electricidad a los diferentes centro de consumo.
5. Líneas de distribución destinadas a alimentar los diferentes centros de transformación, que son los responsable de distribuir la electricidad por medio de redes de baja tensión a cada uno de los usuarios conectados a las mismas

Bajo ese patrón descrito anteriormente, el tránsito de la energía desde los puntos de transformación hasta los usuarios finales, deberá recorrer grandes distancias y pasar por una serie de cambio en sus niveles de tensión (siempre de niveles superiores a niveles inferiores) hasta convertirse en energía útilmente aprovechable.

Los diferentes niveles de tensión son una característica particular de cada sistema, en la República Dominicana, que es el caso que nos atañe; la transmisión en AT es a 138 KV y 69 KV, y ya se han construido infraestructuras de transmisión para el transporte de electricidad a 230 KV y 345 KV (líneas futuras); la distribución es en MT, y comprende voltaje entre $2.4 \text{ KV} < V \leq 34.5 \text{ KV}$ (la mayoría de las redes de distribución son a 12.5 KV); la tendencia es al uso en distribución de un único nivel de tensión (12.5 KV); la tensión de alimentación a los usuarios finales es en BT y comprende valores de voltaje $\leq 1 \text{ KV}$. En la figura 1, se presenta el diagrama unifilar del sistema eléctrico de la República Dominicana

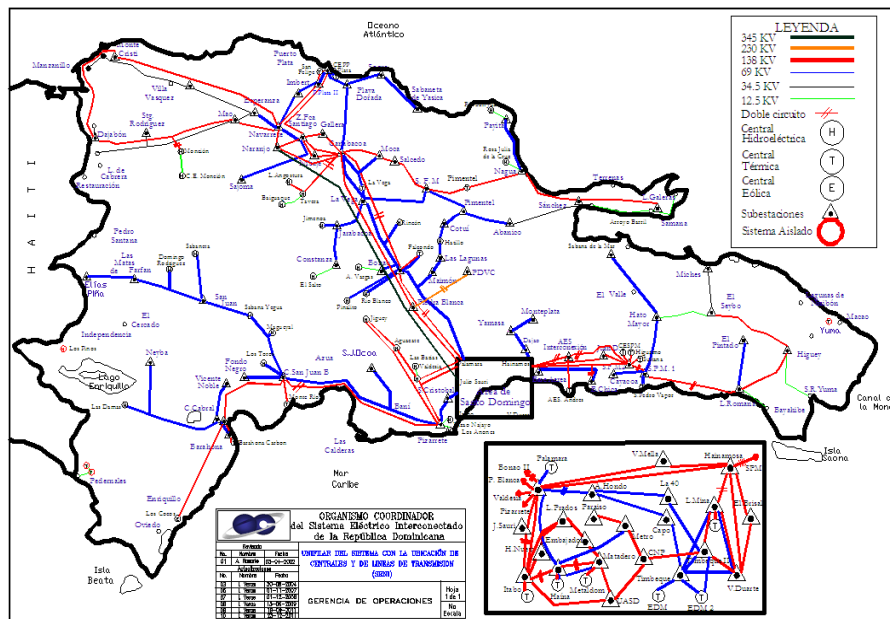


Figura 1. Unifilar del Sistema Eléctrico Dominicano con la Ubicación de Centrales y de Líneas de Transmisión

La siguiente figura representa un sistema eléctrico en su forma tradicional

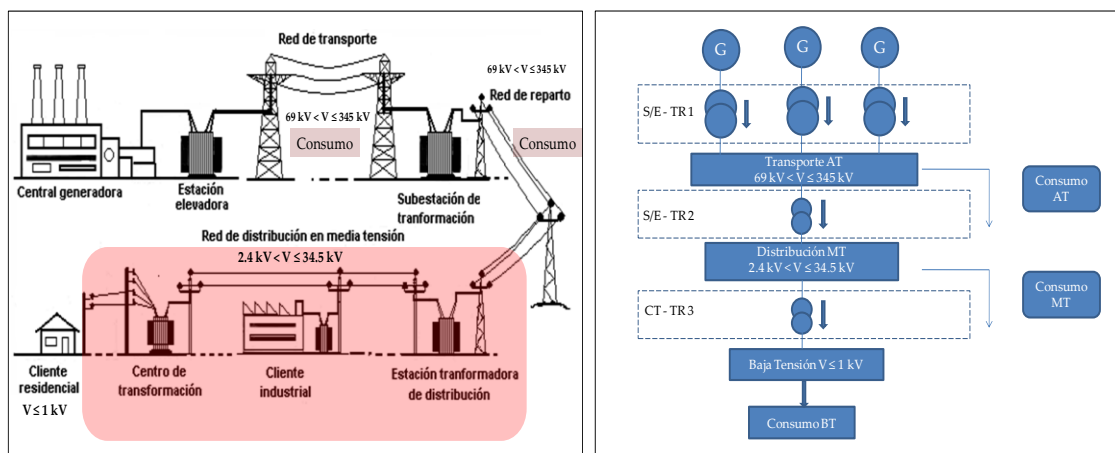


Figura 2. Esquema Jerárquico Sistema Eléctrico Tradicional

Cabe destacar que el esquema representado en la figura 2, se implementa a raíz del desarrollo de las naciones y en la búsqueda de soluciones por satisfacer una demanda de electricidad en aumento. La utilización de grandes plantas de generación permitió la producción a gran escala con mayores niveles de eficiencia, el transformador permitió la elevación de los niveles de voltajes generados para transmitir grandes cantidades de energía con bajo niveles de pérdidas. Sin embargo, por diversas razones (medioambientales, cercanías a fuentes primaria, cercanía puertos marítimo, entre otras) esas centrales por lo general se situaban a grandes distancias de los centros de consumo, por lo que la utilización de su producción por parte de los usuarios finales, requiere de grandes inversiones, no solo en la tecnología utilizada para la conversión de las fuentes primarias (carbón, petróleo), sino, en las infraestructuras intermedias que hacen posible un cambio en los niveles

de tensión (transformación) y su tránsito hasta lugares más asequible para su consumo (transporte y distribución), además del consecuente aumento de las pérdidas de energía en la medida en que aumenta la distancia de los centros de generación a los centros de consumo.

Así como el desarrollo de las naciones con su creciente demanda de electricidad, impuso el esquema tradicional de los sistemas eléctricos, son esas mismas condiciones las que están imponiendo un cambio a ese sistema jerarquizado. La necesidad en la búsqueda de soluciones para un planeta con mayores niveles de eficiencia y un mejor aprovechamiento de sus fuentes energéticas en su estado natural (recursos naturales inagotables), así como el compromiso de las naciones frente al cambio climático y otras causas de tipo puramente comercial (líderes en desarrollo de potenciales industrias), ha venido a contribuir a este cambio.

Inmerso en ese escenario, y en comparación con las grandes centrales de producción que casi siempre transforman combustibles fósiles como carbón y petróleo, en los últimos años se han producido importantes desarrollos y mejoras en las tecnologías de producción de electricidad a pequeñas escalas y más amigables con el medio ambiente. Con el desarrollo de esas nuevas tecnologías, nace el interés creciente en un nuevo esquema de producción de electricidad, ya no se piensa en el sistema tradicional jerarquizado, sino, que la tendencia mundial es hacia la conexión de esas pequeñas centrales de producción, lo más cercanas a los centros de consumo a través de la red de distribución e incluso a las propias instalaciones de los consumidores, de esta manera, nace así el concepto de generación distribuida, cuya definición, desde nuestro punto de vista, va a estar condicionada a las características propias de cada sistema eléctrico en particular.

No obstante a la tendencia de los mercados eléctricos al cambio de la estructura tradicional, a una configuración centralizada (distribuida), la conexión a las redes de distribución de este tipo de generación, causan una serie de impactos tanto técnicos como económicos y regulatorios, que necesariamente deberán ser considerados a la hora de fomentar su explotación y utilización. Estos impactos pueden presentar aspectos positivos como negativos, ya que las redes de distribución se diseñan fundamentalmente para suministrar la demanda con un criterio de flujo de potencia unidireccional y radial, desde la subestación hacia la carga.

Para los próximos años, la estrategia en materia energética apunta hacia un escenario de alta penetración de generación distribuida en las redes eléctricas. En la República Dominicana no existe en la actualidad una cantidad significativa de generación distribuida conectada a la red de distribución, pero no debemos estar ajenos de esta tendencia mundial. En ese sentido, la República Dominicana deberá contemplar la utilización de herramientas de análisis en los procedimientos de planificación, operación y control, conjuntamente con la revisión de los mecanismos regulatorios

vigentes, que permitirán ir resolviendo en el futuro los nuevos retos que la generación distribuida está planteando y que deberán ser comprendidos con anticipación.

2. La Generación Distribuida

Como se menciona en el capítulo introductorio de este trabajo, el mismo desarrollo de las naciones que dio origen a los grandes sistemas eléctricos, es también el que está contribuyendo a la utilización de pequeños generadores instalados a las redes de distribución, rompiendo así, con el paradigma de grandes centrales generadoras produciendo a grandes distancia de los centros de consumo. Factores medioambientales, agotamiento de las fuentes de energía provenientes de combustible fósiles, además de contaminantes y la competencia por el liderazgo comercial en el desarrollo de nuevas tecnologías, han permitido la creación de un mercado capaz de satisfacer las necesidades de energía a partir de fuentes no convencionales o renovables como la eólica y la solar, entre otras; el grado de madurez alcanzado por estas tecnologías, han permitido su competición tanto en precio como en eficiencia con las grandes centrales de producción. Ese grado de madurez, es lo que ha permitido que en muchos sistemas tradicionales se estén conectando pequeños generadores lo más cercano a los centros de consumo a través de la red de distribución e incluso en las propias instalaciones de estos, dando así cabida al concepto de *Generación Distribuida*, que no es más que el aprovechamiento en el desarrollo de nuevas tecnologías, para utilizar en menor proporción las grandes infraestructuras de los sistemas tradicionales y como consecuencia una reducción del costo de la electricidad del sistema eléctrico en su conjunto, que viene a ser el fundamento clave para su promoción.

Los sistemas eléctricos en general están divididos en tres partes fundamentales: La generación, la transmisión y la distribución de la electricidad, sin embargo, dependiendo del país, del tamaño de sus instalaciones, el tipo de tecnología y la forma en que se estructura el mercado, cada sistema eléctrico presenta en algunos aspectos características muy particulares, en ese sentido y obedeciendo a esas características, el concepto *Generación Distribuida* no tiene una única definición generalmente aceptada, por tal razón, diferentes autores y organismos internacionales, aunque plantean definiciones similares en cuanto a su conexión (estar conectada a la red de distribución), por los menos difieren en algunos aspectos. En el siguiente apartado se recogen algunas definiciones al respecto:

2.1. Concepto Generales de Generación Distribuida

2.1.1. Definición Organismos y Agencias Internacionales

- **International Energy Agency (IEA):** Este organismo la define como la producción de energía en las instalaciones de los consumidores o en las instalaciones de la empresa distribuidora, suministrando energía directamente a la red de distribución, asociándola a un tipo de energía en particular como motores, mini y micros turbinas, pilas de combustibles y energía solar fotovoltaica.
- **DTI/Ofgem Distributed Generation Co-Ordinating Group (DTI/OFGEM Distributed Generation Co-Ordinating Group, 2002):** Este organismo define la Generación Distribuida como la generación de electricidad conectada a las redes de distribución en vez de a la red nacional de alta tensión
- **U.S.A Departamen of Energy (DOE):** la define como cualquier tecnología de generación eléctrica a pequeña escala, modular y conectada a la red, que se sitúe en el puntos de consumo, pudiendo en ocasiones proveer además, de energía térmica a las instalaciones donde este instalada
- **The California Energy Comussion:** Considera la generación distribuida como aquella tecnología de generación de potencia eléctrica a pequeña escala (típicamente entre 3 y 10,000 KW) situada cerca de los de los puntos de consumo (por ejemplo en una casa, en un negocio etc.) para proporcional una alternativa o una mejora al sistema eléctrico tradicional
- **Comisión Nacional Para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) de México:** consideran a la generación distribuida como la generación o almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y en algunos casos considerando la máxima eficiencia energética
- **Comisión Nacional de Energía–CNE, República Dominicana (Reglamento Interconexión Generación Distribuida):** Generación Distribuida es la generación que se conecta a la red de distribución de energía eléctrica y se caracteriza por encontrarse instalada en puntos cercanos al consumo. Consiste básicamente en la generación de energía eléctrica por medio de muchas pequeñas fuentes de energía
- **Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (Reglamento para la Interconexión de Generadores con el Sistema de Distribución Eléctrica):** Se refieren a la generación distribuida como generadores eléctricos o inversores, equipo de protección, seguridad, interconexión y equipos asociados necesarios para

producir energía eléctrica en las instalaciones del clientes y ser capaz de operar en paralelo con el sistema de distribución de la autoridad

2.1.2. Definición Algunos Autores

— **Willis & Scott (Willis and Scott, 2000):** Estos autores definen la GD como pequeños generadores (típicamente entre 15 kW y 10 MW) esparcidos en los sistemas eléctricos. Según dichos autores, estos generadores pueden estar conectados a las redes de distribución (en las instalaciones de la empresa distribuidora o en las instalaciones de los consumidores) o estar aislados de éstas. Asimismo, utilizan el concepto de generación dispersa para referirse a generadores muy pequeños, del tamaño necesario para alimentar consumos residenciales o pequeños negocios (típicamente entre 10 y 250 kW) y conectados en las instalaciones de los consumidores o aislados de las redes.

— **Thomas Ackermann, Göran Andersson, Lennart Söder:** Estos autores proponen una definición de GD atendiendo a una serie de aspectos, propósito de la GD, ubicación, capacidad o tamaño de la instalación, área de servicio, tecnología de generación, impacto medioambiental, modo de operación, propiedad y penetración de la GD. Los dos primeros aspectos son considerados relevantes por dichos autores proponiendo la siguiente definición: “Generación Distribuida es una fuente de potencia eléctrica conectada directamente a la red de distribución o en las instalaciones de los consumidores”. La distinción entre red de distribución y red de transporte la dejan supeditada a lo establecido legalmente en cada país.

— **Mendez Quezada 2005:** Generación Distribuida son todas aquellas fuentes de energía eléctrica conectadas en las redes de distribución, ya sea directamente a dichas redes o conectadas a éstas por medio de las instalaciones de los consumidores, pudiendo operar en este último caso en paralelo con la red o en forma aislada.

De las definiciones anteriores, es notable la forma distinta en que es concebido el termino, sin embargo, cada una de las definiciones apuntan a un punto de convergencia, generación de menor tamaño que las centrales tradicionales y conectada a la red de distribución. La palabra clave para que esta generación pueda enmarcarse dentro del concepto de generación distribuida, es la inyección de energía directamente a la red de las empresas de distribución o a través de las propias instalaciones de los consumidores, en oposición a los generadores convencionales que se conectan en transporte y que en comparación con las grandes instalaciones (generación y transporte), presentan características de operación con diferencias muy marcada, por lo general el transporte de electricidad presentan una configuración muy mallada, mientras que las redes de distribución se diseñan

fundamentalmente para suministrar la demanda con un criterio de flujo de potencia unidireccional y radial, desde la subestación hacia las carga.

Para el caso de la República Dominicana, ya se ha planteado una definición del término, por lo tanto la definición adoptada en el presente trabajo será la definida por el órgano oficial (Comisión Nacional de Energía).

La definición oficial adoptada por la Comisión Nacional de Energía de la República Dominicana en el reglamento que establece los requisitos y el proceso para la instalación y operación de los Sistemas de Generación Interconectados con el Sistema de Distribución Eléctrica es la siguiente:

“Generación Distribuida es la generación que se conecta a la red de distribución de energía eléctrica y se caracteriza por encontrarse instalada en puntos cercanos al consumo. Consiste básicamente en la generación de energía eléctrica por medio de muchas pequeñas fuentes de energía”.

Además de cada una de las definiciones que cada organismo o autor asocia al término Generación Distribuida, el **Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos** (IEEE, por sus siglas en inglés), ha elaborado el estándar 1547 “IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems”. Donde resaltan criterios a considerar con este tipo de conexión, como son: Regulación de Tensión, Tensiones en la Red en Estado de Operación Normal, Variaciones de Tensión Debidas a la Conexión/Desconexión del Generador, Funcionamiento en Isla no Intencional, Comportamiento del Generador Frente a Faltas en la Red, Comportamiento del Generador Frente a Reconexiones en la Red.

De las diferentes acepciones del concepto “generación distribuida” y considerando el punto de convergencia de cada una de las definiciones “generación a menor escala cercana al consumo conectada a la red de distribución de las empresas distribuidora o en la propia instalaciones de los consumidores”, el esquema tradicional representado en la figura 2, adoptaría la configuración representada en la figura 3.1 y 3.2

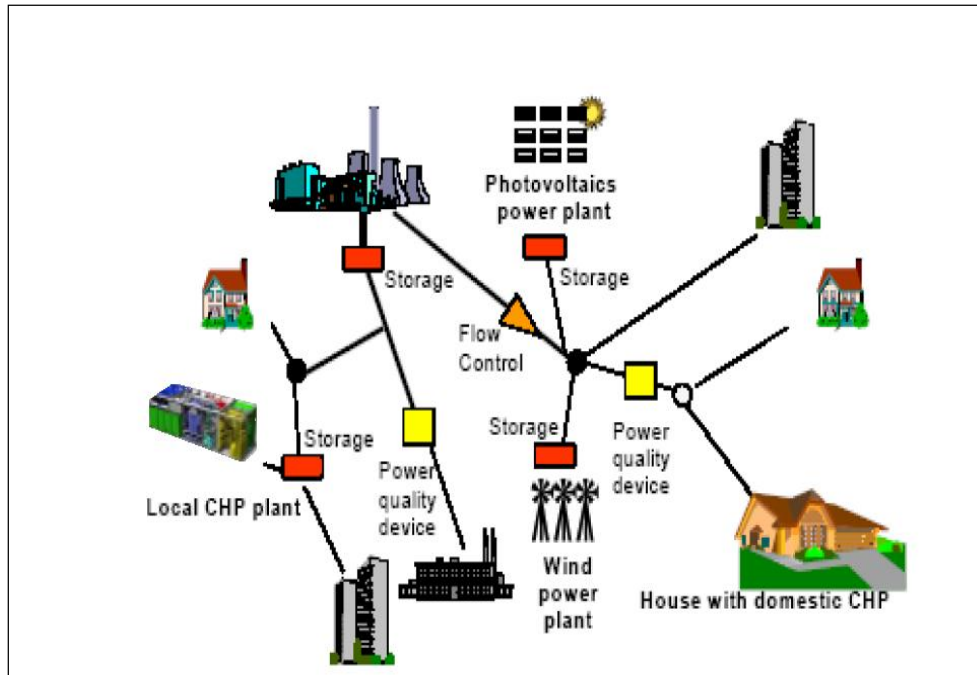


Figura 3.1. Esquema Reestructurado con la Presencia de Generación Distribuida (Trebolle, 2006)

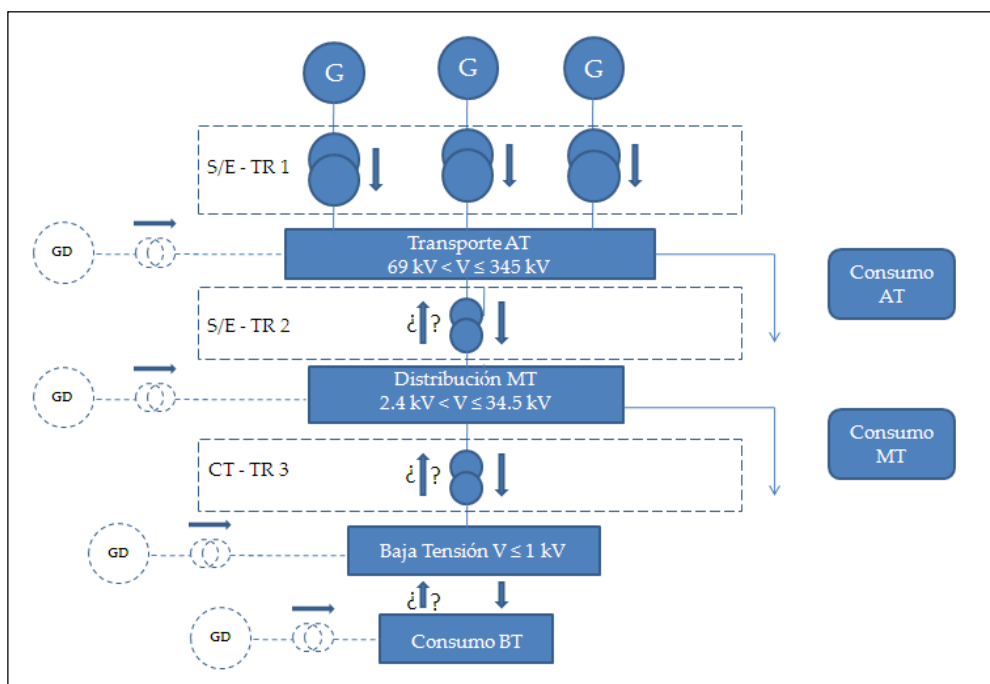


Figura 3.2. Esquema Reestructurado de los Flujos de potencia con la Presencia de Generación Distribuida

2.2. Motivo para la Utilización y Desarrollo de la Generación Distribuida

Aunque existen diferentes motivos para utilizar esta nueva configuración de los sistemas eléctricos en los mercados emergentes de América Latina y el Caribe, el principal motivo es la reducción de los costos de la electricidad derivado de la configuración tradicional de esos grandes sistemas. No obstante a esta ventaja, la utilización de generación distribuida impacta positivamente en otros aspectos, los cuales representan beneficios para la economía de los países. En la medida que crece

el nivel de penetración de la GD, la generación se va haciendo menos dependiente de las grandes plantas tradicionales y las larga líneas de transporte y por consiguiente una reducción en la utilización de fuentes de energía contaminante y de vida finita. La utilización de generación distribuida cercana a los centros de consumo reduce las pérdidas de energía del sistema debido a la disminución de los flujos en las redes de transporte, además permite a las empresas de distribución y a los propios consumidores aumentar la eficiencia energética, mejora de la seguridad y de la calidad de suministro al consumidor final

Otro de los principales motivo para su uso, se ha debido a la influencia que han tenido los países mediante la promoción de políticas ambientales y el desarrollo de una nueva industria, la llamada industria verde, y la oportunidad de acceder a incentivos económicos para su instalación, que además reportan otros beneficios (beneficios medioambientales por reducción de gases de efectos invernadero)

2.3. Opciones Tecnológicas de Generación Distribuida

Como ya he apuntado en párrafos anteriores, el interés de los países por el desarrollo de una industria verde trajo consigo el desarrollo de alternativas tecnológicas de generación distribuida con mayores niveles de eficiencia y menores costos de producción, dando lugar en los últimos años a una mayor utilización de las mismas. Existen diferentes tipos de tecnología que son utilizadas para la producción de energía eléctrica y que se enmarcan perfectamente dentro del concepto de GD, sin embargo, cada tecnología presenta características particulares que deberán ser consideradas a los fines de comprender sus efectos tanto técnicos, económicos y regulatorios.

A continuación se describen las diferentes opciones tecnológicas y sus características principales:

2.3.1. Principales Alternativas Tecnológicas:

Tecnologías de Generación Distribuida	Maduras	Motor Alternativo
		Turbinas de Gas
		Mini - Hidráulica
		Eólica
		Solar Térmica
		Solar Fotovoltaica
		Residuo
	Seme - Maduras	Biomasa
		Microturbina
		Pila de Combustible
	Emergente	Marina
		Geotérmica

Para los fines de este trabajo, solo se presenta un cuadro comparativo de las principales características de cada una de las alternativas, y se hará una descripción más detallada de las que se enmarcan dentro de las renovables (hidráulica pequeña, eólica, solar, biomasa, geotérmica), poniendo especial atención a la eólica y solar fotovoltaica, por considerarla, para el caso de la República Dominicana, las alternativas con mayores probabilidades de utilización, por ser la de mayor presencia en los mercados a nivel comercial. En ese sentido, cabe destacar el carácter aleatorio de los recursos renovables, por lo tanto el uso de las mismas introduce implicaciones desde el punto de vista de control, producción y dispersión de su producción. A diferencia de las demás tecnología, las fuentes renovables van estar ubicadas donde las condiciones y disponibilidad del recurso o fuente primaria de producción lo permitan (agua, viento, sol). La CNE de la República Dominicana define la Energía Renovable como aquellas que se producen de forma continua y son inagotables a escala humana: solar, eólica, hidráulica, biomasa y geotérmica. Las energías renovables son fuentes de abastecimiento energético respetuosas con el medio ambiente.

Comparación Características Principales de Tecnologías: las tablas a continuación muestran un resumen comparativo con las características más importante de las diferentes tecnologías de generación distribuida (*MENDEZ, 2005*)

Tabla 1. Comparación de las Diversas Tecnologías de GD y sus Prestaciones

Prestaciones Tecnología	Cogeneración	Despacho	Func. en Isla	Seguimiento de la demanda	Serv. comp.	black start	Armónicos	flicker
Turbinas de gas	***	***	***	***	***	***	***	***
Micro-turbinas	*	***	***	***	*	***	♦♦ ⁱⁱⁱ	♦
Turbinas de vapor	**	***	***	***	***	***	***	***
Ciclos combinados	**	***	***	***	***	***	***	***
Motores alternativos	**	***	***	***	***	***	**	**
Mini-hidráulica	♦♦♦	♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦ ⁱ	♦	♦
Eólica	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦	♦♦♦	♦♦	♦♦
Mini-eólica	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦	♦♦♦	♦♦	♦♦
Solar Fotovoltaica	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦♦	♦♦	♦♦
Solar Térmica	♦♦	**	**	**	**	♦	**	**
Pilas de combustible	*** ⁱⁱ	***	**	**	♦♦	♦♦	♦♦ ⁱⁱⁱ	♦

i: Depende de que exista el recurso hidráulico en ese momento.

ii: Depende del tipo de pila de combustible.

iii: Los nuevos tipos de inversores tienden a minimizar este problema.

*** : Muy buena
 ** : Buena
 ♦ : Normal
 ♦♦ : Malo
 ♦♦♦ : Muy malo

Tabla 2. Comparativo de Rendimiento (Fenercon, 2007)

Tecnologías	Energía Primaria	Potencia (MW)	Rendimiento eléctrico (%)	Coste Inversión (€/kW)	Disponibilidad Comercial
Motor alternativo	Gas natural, Diesel, Biogás, Propano	0,08-20	28-42% (GN) 30-35% (Diesel) 80-85% (Cogeneración)	500-900	Actual
Turbina de gas	Gas natural, Biogás, Propano	0,25-500	25-60% 70-90% (Cogeneración)	600-1400	Actual
Minihidráulica	Agua	0,01-10	80-90%	1000-1800	Actual
Eólica	Viento	0,005-5	43%	1100-1700	Actual
Fotovoltaica	Sol	0,001-0,1	14%	5000-7000	Actual
Biomasa	Biomasa		32%	1500-2500	Actual
Microturbina	Gas natural, Hidrógeno, Propano, Diesel,	0,025-0,4	25-30% Hasta 85% (Cogeneración)	900-2000	Actual (limitada)
Pilas de Combustible	Gas natural, Metano, Propano, Hidrógeno	0,001-11	35-65% Hasta 85% (Cogeneración)	2500-3700	Algunas ya disponibles (PAFC, MCFC, PEMFC, SOFC)

Tabla 3. Comparativo de Emisiones (IIT, 2002)

Tecnología	Emisiones (kg/MWh)			
	CO ₂	NO _x	SO ₂	CO
Motor Alternativo	590 - 800	4.5 - 18.6	0.18 - 1.36	0.18 - 4
Mini - Turbina	545 - 700	1.8 - 5	0.14 - 0.18	0.5 - 4.5
Mini - Hidraulica	0	0	0	0
Eolica	0	0	0	0
Solar Termica	0	0	0	0
Fotovoltaica	0	0	0	0
Biomasa	0 - 15,625,000,000	0.15 - 3	< 0.15	1 - 4
Microturbina	590 - 800	0.09 - 0.64	Despreciable	0.14 - 0.82
Pilas de Combustible	360 - 630	< 0.023	0	0.005 - 0.055
Ciclo Combinado	320 - 400	0.05 - 0.4	Despreciable	0.02 - 0.45

2.3.2. Biomasa

Esta tecnología típica de centrales convencionales tiene su justificación en GD en aplicaciones de cogeneración (cuando se utilizan combustibles fósiles) o como generación renovable. En el caso de la biomasa, ésta se puede obtener principalmente de residuos forestales o agrícolas y de cultivos energéticos. Los residuos forestales o agrícolas se obtienen como un subproducto de otras actividades como las podas de olivos o viñedos, paja de cereales como el trigo y la cebada, procesos de transformación de la madera, residuos de la industria aceitera, limpieza de montes, etc. Los cultivos energéticos son cultivos dedicados exclusivamente a la producción de biomasa con el fin de generar electricidad. Se utilizan especies de gran potencial energético y de rápido crecimiento como el cardo y el eucalipto. La biomasa es producida a partir de la energía solar en forma natural, actualmente esta forma de energía es la más rentable de toda la forma de energía solar. La gasificación

de la biomasa presenta un gran potencial energético, ya que se puede obtener de 6 a 10 veces la energía recuperable en relación a la simple combustión de la biomasa, lo que la convierte en un potencial comercial para la generación eléctrica (*Moreno San Juan 2005*). El desarrollo más exhaustivo de esta forma de energía no es objeto del presente trabajo y por lo tanto se recomienda profundizarlo en futuras investigaciones.

Las características principales de esta tecnología para el caso de utilización de biomasa como combustible se presentan en la tabla 4:

Tabla 4. Características y Propiedades de la Tecnología de Turbinas de Vapor con Combustible de Biomasa

Turbinas de vapor					
Característica				Aspectos Favorables	
Combustible:		Biomasa (también pueden utilizarse gas natural, Diesel, R.S.U., etc.)		Cogeneración	✱ ✱
Tamaño (MW):		> 5		Despacho	✱ ✱ ✱
Eficiencia %:		20-30		Func. en isla	✱ ✱ ✱
Emisiones (kg/MWh) ¹ :	CO ₂	0-1.000	●	Seg. demanda	✱ ✱ ✱
	NO _x	0.15-3	●	Servicios comp.	✱ ✱ ✱
	SO ₂	menor de 0.15	●	black start	✱ ✱ ✱
	CO	1-4	●	Aspectos Desfavorables	
Disponibilidad %:		90		Armónicos	✱ ✱ ✱
Superficie (m ² /kW):				flicker	✱ ✱ ✱
Coste Inversión (€/kW):		1.500-3.000		Comentarios: Es una tecnología de generación madura.	
O&M (cent/kWh):		0,8-1			
LEC (cent/kWh) ⁱⁱ :		9,1 (6,9-12,0)			
LEC (pts/kWh) ⁱⁱ :		15,2 (11,5-20,0)			

i: El comportamiento de las emisiones depende del tipo de combustible que se utilice. Los valores presentados en la tabla corresponden a la utilización de biomasa. Si se utiliza biomasa renovable, las emisiones de CO₂ se pueden considerar nulas ya que en este caso el CO₂ que se emite al quemarla es el que ha absorbido durante su crecimiento.

ii: El primer valor es el valor promedio calculado con los promedios de disponibilidad, coste de instalación, O&M, precio de combustible y eficiencia. Los valores entre paréntesis son los valores calculados para todo el rango de variación.

- | | |
|---|-------------------|
| ● : Peor que un ciclo combinado de gas | ✱ ✱ ✱ : Muy buena |
| ● : Aproximadamente igual que un ciclo combinado de gas | ✱ ✱ : Buena |
| ○ : Mejor que un ciclo combinado de gas | ◆ : Normal |
| | ◆◆ : Malo |
| | ◆◆◆ : Muy malo |

Esta tecnología presenta similares características de las grandes estaciones generadoras. No presentan problemas de armónicos ni flicker y puede ser perfectamente programada. Sus características técnicas les permiten operar en isla. Si se utiliza biomasa como combustible, tiene el inconveniente de que se necesitan grandes extensiones de terreno para obtener suficiente biomasa y que el empleo de monocultivos puede llevar al deterioro del terreno.

2.3.3. Mini-hidráulica

La tecnología mini-hidráulica convierte la energía potencial de una masa de agua en energía eléctrica. El caudal de agua se emplea para mover los álabes de la turbina produciendo que el eje gire y opere al generador. La energía eléctrica que se obtiene es proporcional al caudal y a la diferencia de altura entre los puntos por lo que fluye el agua. Esta diferencia de alturas se conoce como salto.

Muchas de las aplicaciones de esta tecnología son del tipo fluyente por lo que su producción no puede ser despachada y puede representar limitaciones a la hora de responder a cambios bruscos de demanda. En la mayoría de casos emplean generadores síncronos por lo que en principio no habría problemas de potencia reactiva ni de armónicos. A continuación sus características principales:

Tabla 5. Características y Propiedades de la Tecnología Mini-Hidráulica

Mini-hidráulica				
Característica			Aspectos Favorables	
Energía primaria:		Agua	Cogeneración	◆◆◆
Tamaño (MW):		0,1-10	Despacho	◆◆
Eficiencia %:		75-90	Func. en isla	◆◆◆
Emisiones (kg/MWh):	CO ₂	0 ○	Seg. demanda	◆◆◆
	NO _x	0 ○	Servicios comp.	◆◆◆
	SO ₂	0 ○	black start	◆ ¹
	CO	0 ○	Aspectos Desfavorables	
Horas equivalentes (h):		2.500-3.500	Armónicos	◆
Superficie (m ² /kW) ⁱⁱ :		1-1000	flicker	◆
Coste Inversión (€/kW):		1.500-4.000	Comentarios: Su posibilidad de crecimiento es muy limitada ya que la mayoría de saltos ya están siendo utilizados. Es una tecnología madura.	
O&M (cent/kWh):		0,8-1,9		
LEC (cent/kWh) ⁱⁱⁱ :		8,7 (4,0-15,5)		
LEC (pts/kWh) ⁱⁱⁱ :		14,5 (6,7-25,8)		

i: Depende de que exista el recurso hidráulico en ese momento.

ii: Incluye el área de toda la instalación. Fuente: (Eberhard, *et al.*, 2000).

iii: El primer valor es el valor promedio calculado con los promedios de disponibilidad, coste de instalación, O&M, precio de combustible y eficiencia. Los valores entre paréntesis son los valores calculados para todo el rango de variación.

●	: Peor que un ciclo combinado de gas	***	: Muy buena
●	: Aproximadamente igual que un ciclo combinado de gas	**	: Buena
○	: Mejor que un ciclo combinado de gas	◆	: Normal
		◆◆	: Malo
		◆◆◆	: Muy malo

Las tecnologías que se describen a continuación, para objeto de esta tesis, tendrán un mayor nivel de detalle y se tratan con especial atención todos los aspectos relacionados a su funcionamiento y a los impactos que producen en los parámetros de sistema (tensión, flujo, frecuencia) y sus implicaciones regulatorias al conectarse a la red de distribución.

2.3.4. Generador Eólico

La energía producida por el viento es muy aceptada en todo el mundo debido a que la tecnología utilizada para la conversión a energía eléctrica no produce emisiones contaminantes, es una tecnología muy limpia en ese sentido. El aprovechamiento de la energía del viento se realiza por medio de aerogeneradores. Consiste en transformar la energía cinética que tiene el viento, en energía mecánica, y esta a su vez en energía eléctrica. El sistema físico consiste en unas palas que mueven el rotor de un motor, que funciona como generador. Los generadores eléctricos que se emplean en los aerogeneradores pueden ser síncronos, asíncronos o de corriente continua.

En sistemas eólicos que emplean generadores síncronos con distintas configuraciones generalmente suelen dividirse en dos grandes grupos: turbinas eólicas de velocidad de giro fija conectadas directamente a la red, y turbinas con velocidad de giro variable. Las turbinas de velocidad de giro constante basadas en máquinas síncronas se emplean solo en sistemas de poca potencia y en parques con un reducido número de aerogeneradores. Actualmente están muy desarrollados y extendidos los aerogeneradores con control de velocidad de giro en función de la velocidad del viento, para aprovechar al máximo la potencia que se puede obtener en un momento dado

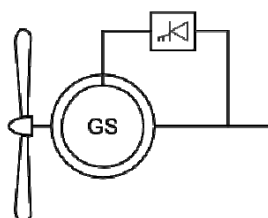


Figura 4. Sistema Eólico Basado en Máquina Síncrona Directamente Conectada a la Red.

Los sistemas de velocidad variable son en la actualidad mucho más usados debido a su mayor flexibilidad y mejora en la eficiencia de conversión energética. La posibilidad de variar la velocidad de giro se debe al empleo de dispositivos basados en electrónica de potencia que permiten variar la frecuencia de la energía eléctrica. El empleo de una combinación concreta de convertidor y generador depende de variables tales como el coste, la complejidad, el comportamiento dinámico, etc. La Figura 5 muestra una configuración genérica de este tipo de sistemas.

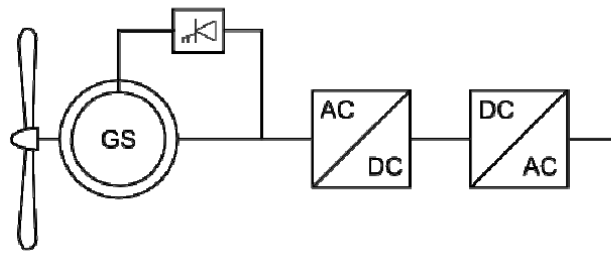


Figura 5. Sistema Eólico Basado en Máquina Síncrona y DC Link.

La mayoría de las turbinas eólicas utilizan un generador asíncrono trifásico, también llamado generador de inducción. Fuera de la industria eólica y de las pequeñas unidades hidroeléctricas, este tipo de generadores no está muy extendido. Esta máquina fue inicialmente diseñada como motor eléctrico, siendo ampliamente utilizado en esta modalidad. De hecho, se calcula que una tercera parte del consumo mundial de electricidad se utiliza para hacer funcionar motores de inducción. Otra de las razones para la elección de este tipo de generador es que es muy fiable y, comparativamente, no suele resultar caro. Este generador también tiene propiedades mecánicas que lo hace especialmente útil en turbinas eólicas (el deslizamiento del generador y una cierta capacidad de sobrecarga).

El generador de inducción doblemente alimentado (Figura 6) está capacitado para trabajar como generador, tanto en la zona de deslizamiento positivo como negativo. En estas máquinas el rotor está conectado a la red mediante un convertidor doble. El convertidor conectado directamente a la red trabaja siempre a la frecuencia de ésta, mientras que el conectado al lado del rotor trabaja a frecuencia variable.

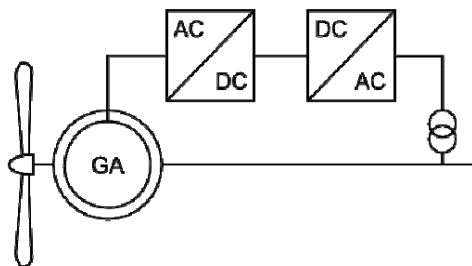


Figura 6. Máquina de Inducción Doblemente Alimentada

La máquina de inducción con rotor cortocircuitado (o en jaula de ardilla) tiene el inconveniente de que su factor de potencia es siempre inductivo, ya que debe absorber de la red la potencia reactiva necesaria para mantener el campo magnético en el entrehierro indispensable para que se produzca la conversión electromagnética de energía. Por su parte, la máquina doblemente alimentada puede absorber esta potencia reactiva de la alimentación del rotor que proviene de uno de los convertidores de conexión a la red. Esto le confiere la propiedad de poder absorber o suministrar potencia reactiva neta al sistema eléctrico de potencia.

Los sistemas basados en máquinas de inducción directamente conectados a la red son los más usados en generadores eólicos de baja o media potencia debido a la simplicidad y economía de la instalación. La Figura 7 muestra una configuración genérica de este tipo de sistemas.

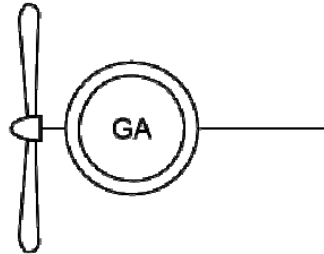


Figura 7. Sistema Eólico Basado en Máquina de Inducción Directamente Conectada a la Red

Otra posibilidad es el empleo de una máquina de inducción con rotor en jaula de ardilla y conexión a red a través de dos convertidores en fuente de tensión (VSC) que adaptan la frecuencia generada por la máquina a la frecuencia del sistema eléctrico. Alternativamente, se puede emplear un convertidor tipo ASCI (Auto-Sequential Commutated Inverter) del lado de la máquina de inducción, y un inversor basado en tiristores del lado de la red (Figura 8). Esta configuración permite controlar la potencia reactiva que se cede o consume de la red, ya que ésta se controla usando un grado de libertad del convertidor.

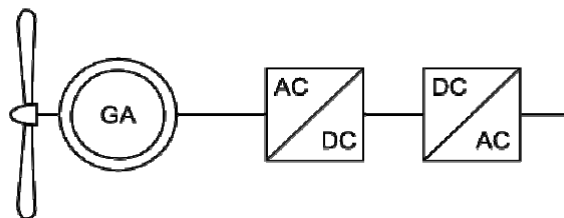


Figura 8. Sistema Eólico Basado en Máquina de Inducción Directamente Conectada a la Red

Por último, puede emplearse la configuración de control dinámico del deslizamiento (Figura 9). Ésta se basa en una máquina de inducción de rotor bobinado. El deslizamiento se controla variando electrónicamente la resistencia del rotor. Este esquema tiene como ventaja su simplicidad, pero cuenta con el inconveniente de tener un rango reducido de velocidades de funcionamiento, restricción que impide optimizar el rendimiento de la conversión energética. Además, bajo esta configuración la máquina consume la energía reactiva de magnetización de la red, presentando por tanto un carácter inductivo.

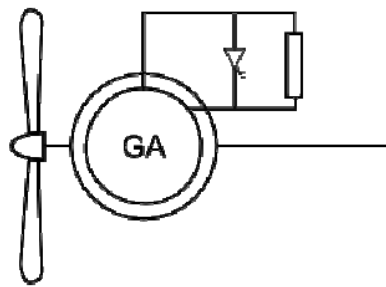


Figura 9. Sistema Eólico Basado en Máquina de Inducción con Control Dinámico del Deslizamiento

Otro tipo de generadores utilizados en aerogeneradores son los de corriente continua. Con estos generadores es necesario usar electrónica de potencia para acondicionar su generación a las características de la red. Esto permite tener un mejor control sobre la tensión y el factor de potencia pero son más caros que los generadores asíncronos. Otro posible esquema que se puede emplear es el de generar corriente alterna a frecuencia variable y luego usar un convertidor para acondicionarla a la red. Este esquema permite que el rotor gire más rápidamente durante ráfagas de viento y aprovechar ese exceso de energía. El inconveniente es que se requieren esquemas de control más sofisticados con el consecuente coste.

En la República Dominicana la energía eólica es la de mayor potencial dentro de las renovables de acuerdo al Instituto de Energía de la UASD, que desde la década de los 90` evaluó y recomendó zonas para la ubicación de campos eólicos(Moreno San Juan, 2005)

La tecnología de generación eólica se puede clasificar según su tamaño en dos categorías: eólicos y mini-eólicos. Los primeros son los que se emplean en los parques eólicos y son los que han tenido gran auge gracias a las políticas de incentivos a la generación renovable. Las principales características de estos aerogeneradores se presentan en la siguiente tabla (*Mendez, 2005*).

Tabla 6. Características y Propiedades de la Tecnología Eólica

Eólica				
Característica			Aspectos Favorables	
Energía primaria:		viento	Cogeneración	◆◆◆
Tamaño (MW) ⁱ :		> 5	Despacho	◆◆◆
Eficiencia %:		15-30	Func. en isla	◆◆◆
Emisiones (kg/MWh):	CO ₂	0 ○	Seg. demanda	◆◆◆
	NO _x	0 ○	Servicios comp.	◆◆
	SO ₂	0 ○	black start	◆◆◆
	CO	0 ○	Aspectos Desfavorables	
Horas equivalentes (h):		2.000-2.500	Armónicos	◆◆
Superficie de barrido (m ² /kW):		1,9-2,6	flicker	◆◆
Superficie (m ² /kW) ⁱⁱ :		60-330	Comentarios: Las nuevas tecnologías de generación eólica tratan de minimizar algunos de los aspectos desfavorables. Esta tecnología ha alcanzado un nivel de madurez importante pero todavía se puede desarrollar más.	
Coste Inversión (€/kW):		750-1.500		
O&M (cent/kWh):		1,5-2		
LEC (cent/kWh) ⁱⁱⁱ :		5,8 (3,6-8,5)		
LEC (pts/kWh) ⁱⁱⁱ :		9,6 (6,0-14,2)		

i: El tamaño se refiere a parques eólicos y no a aerogeneradores individuales.

ii: Incluye el área de toda la instalación. Fuente: (Eberhard, *et al.*, 2000).

iii: El primer valor es el valor promedio calculado con los promedios de disponibilidad, coste de instalación, O&M, precio de combustible y eficiencia. Los valores entre paréntesis son los valores calculados para todo el rango de variación.

- | | |
|---|-----------------|
| ● : Peor que un ciclo combinado de gas | *** : Muy buena |
| ● : Aproximadamente igual que un ciclo combinado de gas | ** : Buena |
| ○ : Mejor que un ciclo combinado de gas | ◆ : Normal |
| | ◆◆ : Malo |
| | ◆◆◆ : Muy malo |

Su principal inconveniente es que su generación fluctúa demasiado como consecuencia de la aleatoriedad del viento. Esto puede llevar a que constantemente se violen los umbrales mínimos o máximos de velocidad del viento y provoque la desconexión del aerogenerador. Cuando un generador asíncrono se vuelve a conectar a la red demanda una gran corriente de magnetización que puede llegar a provocar caídas de tensión importantes en la red. Los aerogeneradores modernos permiten un acoplamiento suave a la red por medio de electrónica de potencia minimizando dicho problema. La aleatoriedad del viento también provoca fluctuaciones en la energía que inyecta el aerogenerador a la red lo que puede ocasionar problemas de flicker. Otra consecuencia de la variación del viento es que no permite despachar la producción de los aerogeneradores. El funcionamiento en isla estaría limitado a la combinación con otra tecnología como por ejemplo motores alternativos. Otro inconveniente es que los lugares con mayor potencial eólico se encuentran por lo general alejados de las redes eléctricas y por lo tanto su conexión puede representar un coste considerable. Las instalaciones eólicas suelen agrupar varios aerogeneradores llegando a alcanzar tamaños considerables de incluso varias decenas de MW.

Los aerogeneradores mini-eólicos presentan las mismas características y propiedades de los aerogeneradores de mayor tamaño y se diferencian principalmente de estos en su tamaño y precio. Este tipo de aerogeneradores no se suelen agrupar en grandes parques y encuentran su mayor uso en aplicaciones

aisladas. Sus principales características se presentan en la siguiente tabla (Mendez, 2005):

Tabla 7. Características y Propiedades de la Tecnología Mini-Eólica

Mini-eólica				
Característica			Aspectos Favorables	
Energía primaria:		viento	Cogeneración	◆◆◆
Tamaño (kW) ⁱ :		10-200	Despacho	◆◆◆
Eficiencia %:		15-30	Func. en isla	◆◆◆
Emisiones (kg/MWh):	CO ₂	0 ○	Seg. demanda	◆◆◆
	NO _x	0 ○	Servicios comp.	◆◆
	SO ₂	0 ○	black start	◆◆◆
	CO	0 ○	Aspectos Desfavorables	
Horas equivalentes (h):		2.000-2.500	Armónicos	◆◆
Superficie de barrido (m ² /kW):		2,8-3,9	flicker	◆◆
Superficie (m ² /kW) ⁱⁱ :		60-330		
Coste Inversión (€/kW):		1.000-2.500		
O&M (cent/kWh):		1,5-2		
LEC (cent/kWh) ⁱⁱⁱ :		8,0 (4,4-12,5)		
LEC (pts/kWh) ⁱⁱⁱ :		13,3 (7,3-20,8)		

i: En este caso, el tamaño se refiere a un aerogenerador individual que es el caso típico de esta tecnología.

ii: Incluye el área de toda la instalación. Fuente: (Eberhard, *et al.*, 2000).

iii: El primer valor es el valor promedio calculado con los promedios de disponibilidad, coste de instalación, O&M, precio de combustible y eficiencia. Los valores entre paréntesis son los valores calculados para todo el rango de variación.

- | | |
|---|-----------------|
| ● : Peor que un ciclo combinado de gas | *** : Muy buena |
| ● : Aproximadamente igual que un ciclo combinado de gas | ** : Buena |
| ○ : Mejor que un ciclo combinado de gas | ◆ : Normal |
| | ◆◆ : Malo |
| | ◆◆◆ : Muy malo |

Sus características de funcionamiento son similares a las descritas anteriormente para el caso de los aerogeneradores de mayor tamaño.

2.3.5. Generador Solar Fotovoltaico

La energía solar es una realidad desde el punto de vista tecnológico y económico debido a los avances y proliferación de paneles solares en los últimos años. Dentro de los próximos 10 años, esta energía podría competir con cualquier forma de energía convencional, considerando los avances que se han logrado en su desarrollo tecnológico. En la actualidad, existen dos formas de aprovechamiento de este recurso, la solar térmica y solar fotovoltaica. Como ya apunte en párrafos anteriores, a los fines del presente trabajo, solo será objeto de estudio la solar fotovoltaica por las razones ya explicada.

En la actualidad los llamados paneles solares fotovoltaico se usan para generar electricidad a pequeña escala. El efecto fotoeléctrico depende de la frecuencia de la radiación recibida, pues la energía del fotón viene dada por la ecuación de Planck ($E = h\nu$). La energía solar fotovoltaica aprovecha la radiación solar para producir electricidad, la absorción de los rayos solares es a través de un material semiconductor que forman las células fotovoltaicas provocando un desplazamiento de cargas en su interior y originando la generación de una corriente continua. La potencia aprovechable por efecto fotoeléctrico viene dada por la siguiente expresión:

$$P = (I_s - I_o(e^{E_0V/KT} - 1))V$$

I_s : es la corriente total

I_o : es la corriente parasite a la temperatura ambiente

V : es la diferencia de potencial producida

E_o : es la carga eléctrica del electrón

K : es la constante de Stefan Boltzman

T : es la temperatura de la celda

e : es la base del logaritmo neperiano

Esta fórmula relaciona el efecto de la temperatura de la celda con su eficiencia en lo relativo a potencia entregada conocidos la corriente y el voltaje producidos, partiendo de la corriente parasita a temperatura ambiente (25°C), solo válida para temperaturas de 0 a 75°C, expresados en °K (*Moreno San Juan, 2005*).

La conversión de energía mediante efecto fotoeléctrico tiene un rendimiento muy bajo, del orden del 20 o el 25%, llegando en algunos casos alcanzar hasta el 28%, que traducido a potencia, vendría a ser de unos 180W-pico por cada m² de superficie. Por esta razón se necesitan amplias superficies de terreno para conseguir producir potencias apreciables. En la siguiente tabla se recogen las principales características de esta tecnología (*Mendez, 2005*)

Tabla 8. Características y Propiedades de la Tecnología Solar Fotovoltaica

Solar Fotovoltaica					
Característica				Aspectos Favorables	
Energía primaria:		radiación solar		Cogeneración	◆◆◆
Tamaño (kW):		1-500		Despacho	◆◆◆
Eficiencia %:		10-20		Func. en isla	◆◆◆
Emisiones (kg/MWh):	CO ₂	0	○	Seg. demanda	◆◆◆
	NO _x	0	○	Servicios comp.	◆◆◆
	SO ₂	0	○	black start	◆◆◆
	CO	0	○	Aspectos Desfavorables	
Horas equivalentes (h):		1.100-1.500		Armónicos	◆◆
Superficie (m ² /kW):		7,5-20		flicker	◆◆
Coste Inversión (€/kW):		5.000-7.000		Comentarios: Algunos de estos aspectos se pueden mejorar si se combinan con sistemas de almacenamiento. Es una tecnología todavía en desarrollo.	
O&M (€/año):		40-50			
LEC (cent/kWh) [†] :		37,4 (26,9-51,7)			
LEC (pts/kWh) [†] :		62,2 (44,8-86,0)			

i: El primer valor es el valor promedio calculado con los promedios de disponibilidad, coste de instalación, O&M, precio de combustible y eficiencia. Los valores entre paréntesis son los valores calculados para todo el rango de variación.

● : Peor que un ciclo combinado de gas

● : Aproximadamente igual que un ciclo combinado de gas

○ : Mejor que un ciclo combinado de gas

*** : Muy buena

** : Buena

◆ : Normal

◆◆ : Malo

◆◆◆ : Muy malo

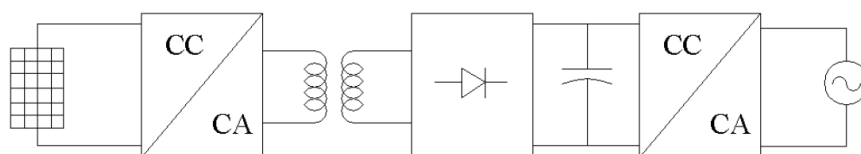
Esta tecnología no permite su utilización en cogeneración. Puede presentar problemas de flicker debido a que las nubes pueden hacer variar la radiación solar

que alcanza a los paneles. Dependiendo del tipo de inversor que utilice, puede presentar problemas de armónicos. No se puede despachar y no es posible generar electricidad durante las horas de la noche a menos que se utilice un sistema de almacenamiento y además tiene un coste elevado (*Mendez, 2005*).

Para la conexión a red de la generación fotovoltaica existen básicamente dos tipos de inversores, los autoconmutados y los conmutados por red, aunque estos últimos han quedado obsoletos. Los inversores autoconmutados usan dispositivos de conmutación que controlan libremente los estados de conducción y no conducción del interruptor, como son los transistores IGBT y MOSFET. Este tipo de inversores puede controlar libremente la forma de onda de la tensión y corriente en la parte de alterna, lo que permite controlar el factor de potencia de la instalación. Se dividen en inversores en fuente de corriente (CSI) y en fuente de tensión (VSI). Los primeros disponen de una fuente de corriente aproximadamente constante en la entrada de continua, mientras que en los segundos la fuente de entrada constante es de tensión.

En relación con la topología, los inversores pueden dividirse en inversores con convertidor CC/CC, y sin convertidor. A su vez tanto unos como otros pueden disponer o no de aislamiento eléctrico a través de un transformador. El uso o no de aislamiento está condicionado por los requisitos técnicos impuestos por la normativa de cada país. La figura 10, es una representación de un inversor autoconmutado con aislamiento.

Figura 10. Inversor Autoconmutado con Aislamiento



Aun en la actualidad, desde el punto de vista económico, la producción de electricidad con paneles fotovoltaico no compiten con su equivalente convencionales. La razón por la cual se fomenta el uso de esta tecnología es debido a que no tiene ninguna emisión durante la producción de electricidad, no produce ruido y se está investigando mucho para bajar sus costes y hacerla más competitiva (*Mendez, 2005*). Sin embargo en ciertas circunstancias, el uso de esta tecnología al igual que la eólica también impactan de manera positiva en otros aspectos que resultan en mayores beneficios netos para un país y por lo tanto se justifica el pago de sus costos, siendo en la actualidad más elevado que los costos derivado de las tecnologías convencionales.

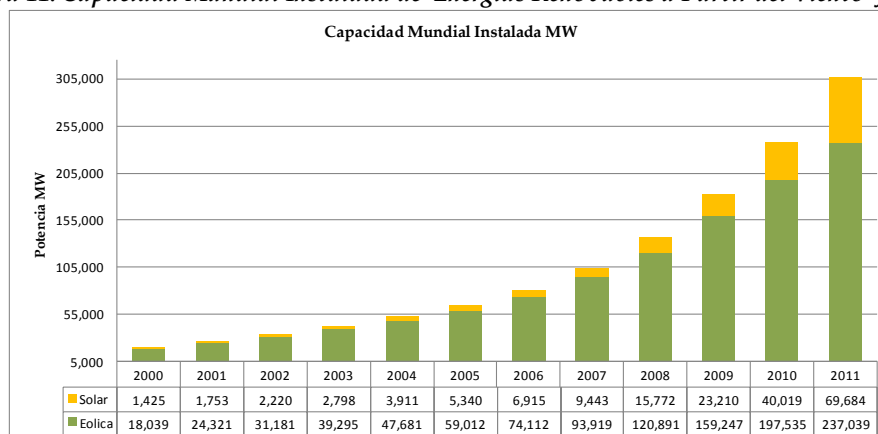
Capítulo 3
Análisis Prospectivo de la Evolución de
la Generación Distribuida en República
Dominicana

Capítulo 3. Análisis Prospectivo de la Evolución de la Generación Distribuida en República Dominicana

1. Perspectiva de la Generación Distribuida en el Mundo

Para hablar del futuro de la generación distribuida en el mundo, necesariamente tenemos que abordar el concepto de energías renovables, particularmente la eólica y la solar, y que se está haciendo para promover su uso como recurso distribuido. La producción de electricidad a partir de la velocidad del viento y la radiación solar, crece a ritmo acelerado y se proyecta para el año 2050, como la energía dominante en la mayoría de los sistemas eléctricos en todo el mundo. En un informe titulado “The Renewable Electricity Futures Study” publicado por el National Renewable Energy Laboratory (NREL), se destaca que las energías renovables, especialmente la eólica y la solar fotovoltaica podrían satisfacer, con la tecnología actualmente disponible, hasta el 80% de la demanda eléctrica que se estima habrá en los Estados Unidos en 2050, siempre y cuando sean gestionadas con “un sistema eléctrico más flexible”. La siguiente figura muestra el comportamiento evolutivo de los dos principales tipos de energía no convencionales que mayor crecimiento han experimentado en los últimos 11 años.

Figura 11. Capacidad Mundial Instalada de Energías Renovables a Partir del Viento y el Sol



La capacidad de producción instalada a nivel mundial para la producción de energía a partir del viento y el sol, superó los 300,000 MW para el año 2011, solo en energía eólica, la capacidad de producción alcanza los 500 terawatthoras por año, equivalente al 3% del consumo global en todo el mundo (WWEA, 2011).

Position 2011	Country	Total Offshore Capacity 2011 [MW]	Added Offshore Capacity 2011 [MW]	Total Offshore Capacity 2010 [MW]	Added Offshore Capacity 2010 [MW]	Total Offshore Capacity 2009 [MW]
1	United Kingdom	1524,6	183,6	1341,0	653,0	688,0
2	Denmark	857,6	3,6	854,0	190,4	663,6
3	Netherlands	249,0	0,0	249,0	2,0	247,0
4	China	222,3	99,3	123,0	100,0	23,0
5	Germany	215,3	108,3	107,0	35,0	72,0
6	Belgium	195,0	0,0	195,0	165,0	30,0
7	Sweden	164,0	0,0	164,0	0,0	164,0
8	Finland	30,0	0,0	30,0	0,0	30,0
9	Japan	25,3	0,0	25,3	14,0	11,3
10	Ireland	25,0	0,0	25,0	0,0	25,0
11	Spain	10,0	0,0	10,0	0,0	10,0
12	Norway	2,3	0,0	2,3	0,0	2,3
13	Portugal	2,0	2,0	0,0	0,0	0,0
Total		3522,4	396,8	3125,6	1159,4	1966,2

Tabla 9. Producción eólica Principales Ciudades Alrededor del Mundo (WWEA, 2011)

Para los próximos cinco años se proyecta un crecimiento para la energía eólica y solar de más de 95%, llegando para el año 2016 a una capacidad instalada de más de 600,000 MW en todo el mundo. En la figuras a continuación se muestran la proyecciones de crecimiento

*Figura 12. Wind Total Installed Capacity 1997-2020 [GW]
Development and Prognosis (WWEA, 2011)*

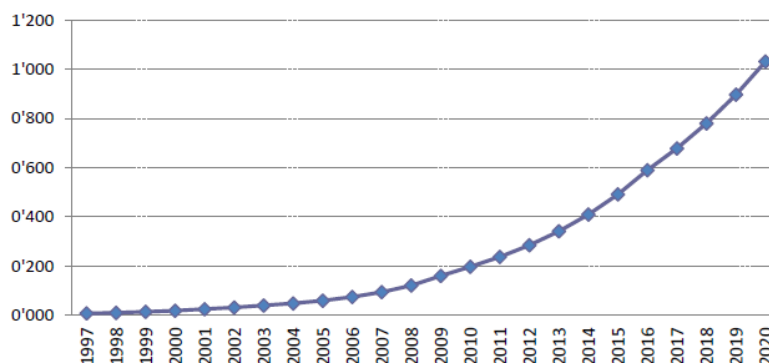
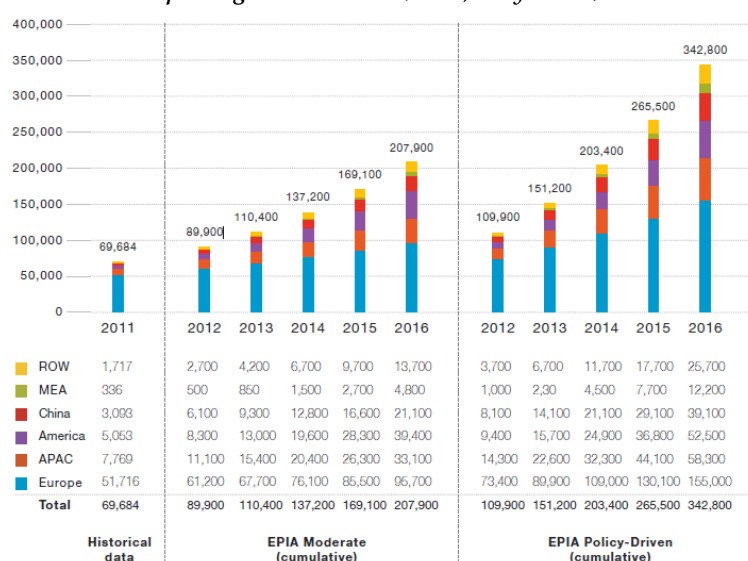


Figura 13. Evolution of Global Cumulative Installed Capacity (MW) per Region 2011-2016 (EPIA, Mayo 2012)



Como se puede apreciar en las figuras 12 y 13, esa tendencia de crecimiento acelerado en el uso de estos recursos energéticos, nos indica las acciones considerar para hacer frente a estos nuevos retos que la nueva configuración de los sistemas eléctrico está planteando.

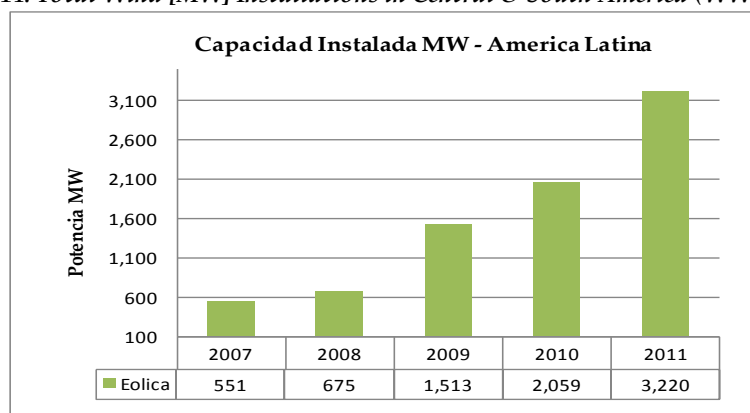
América Latina y el Caribe no están exentos de estos cambios mundiales, durante el 2011 la utilización de estos recursos para producir electricidad, también tuvo un crecimiento bastante dinámico, haciendo que estos países se aboquen a la implementación de políticas de regulación tendente a fomentar el uso de energías renovables y a la consecución de procedimiento complementarios para su integración como recursos distribuido. Estas políticas y procedimientos incluyen la creación de leyes para incentivar la producción de energía a partir de fuentes renovables, además de la creación de procedimientos para la conexión de generación distribuida y de programa de medición neta.

América Latina añadió durante el año 2011 una capacidad eólica de 3,220 MW. Esto representó un crecimiento de 56.4% respecto a 2010. Brasil (498 MW) y México (408 MW), seguido por Argentina (75.2 MW) y Honduras con su primer parque eólico mayor (70 MW). La tasa de crecimiento de la región se situó por encima de la media en todo el mundo, sin embargo el continente representó sólo el 1.2% de la energía añadida por turbinas de viento.

Ocho países de América Latina instalaron nuevas turbinas eólicas en el año 2011, Brasil, México, Argentina, Honduras, Costa Rica, Jamaica, República Dominicana y Chile. Otros dos países se unieron a la lista de los países con las mayores granjas eólicas, Honduras con 70 MW y la República Dominicana, con un parque eólico de 33.2 MW. Dos países más se unirán a la lista en el futuro cercano, Venezuela con 72

MW y Panamá con el mayor parque eólico en América Central, además del aumento a 100 MW de energía eólica en la República dominicana.

Figura 14. Total Wind [MW] Installations in Central & South America (WWEA, 2011)



En resumen a este apartado, y de acuerdo con información del EWEA, la energía eólica y solar, fueron responsables de 68% de las nuevas instalaciones de energía en 2011 en la Unión Europea y de renovables en su conjunto, fueron responsables de alrededor del 70%. Más de 30,000 megavatios MW de nueva capacidad de energía provenían de fuentes eólica y solar. Desde el año 2000, el 28.2% de la nueva capacidad instalada ha sido de energía eólica y para el año 2011 la energía solar fotovoltaica fue líder en nuevas instalaciones de energía, representando 21 GW (46,7%) de la nueva capacidad de energía a nivel global (WWEA, 2011).

2. Análisis Prospectivo de la Evolución de la Generación Distribuida en República Dominicana

2.1.Punto de Partida

En la República Dominicana, la conexión de generación con fines comercial a las redes de distribución no es nueva, en el esquema representado en la Figura.1 se pueden apreciar algunas centrales de generación a pequeña escala conectada directamente a la red de distribución y con una potencia total instalada de aproximadamente 8.65 MW, además de algunos sistemas aislados que suplen las necesidades de energía de algunas zonas del país y que vierten su energía directamente a la red de distribución y zonas rurales.

Con el empuje en los últimos años de la industria de tecnologías renovables, la tendencia de los diferentes países para la producción de electricidad es hacia el uso de energía renovable, principalmente la eólica y la solar, como forma de implementar el modelo de cambio a los sistemas eléctricos que esos avances tecnológicos están planteando, instalar una considerable cantidad de potencia a

partir de estos recursos y conectarlo directamente a la red de distribución, como forma de reducir los costos de la electricidad a los usuarios finales.

La República Dominicana cuenta con un excelente potencial eólico y solar que la coloca en un sitio importante para desarrollar proyectos energéticos a partir de esas fuentes primarias de energía. En el año 2001 el Departamento de Energía (DOE) y la Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), en colaboración con Winrock International y la United States National Rural Electric Cooperative Association (NRECA), patrocinó un estudio para facilitar y acelerar el uso energía eólica en la República Dominicana, en dicho estudio, titulado "Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic" se detalla con precisión cada una de las zonas geografía con mayores potencialidades para desarrollar proyecto de generación eléctrica utilizando la energía del viento. De acuerdo a este informe, la superficie del país podría aportar más de 10.000 MW de capacidad instalada. En dicho estudio, además se recomiendan estudios adicionales para evaluar con mayor precisión el potencial eléctrico del viento, teniendo en cuenta otros factores, como la red de transporte existente y la accesibilidad.

El potencial eólico en la República Dominicana con recursos moderado a excelente se muestra en las tablas y figuras siguientes (*NREL, Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic, 2001*)

Tabla 10. Potencial eólico en la República Dominicana

<i>Wind Energy Resource</i> <i>Atlas of the Dominican Republic</i>					
DOMINICAN REPUBLIC - WIND ELECTRIC POTENTIAL Moderate-to-Excellent Wind Resource at 30 m (Utility Scale)					
Wind Resource Utility Scale	Wind Power (W/m ²)	Wind Speed (m/s)	Total Area (km ²)	Total Capacity Installed (MW)	Total Power (GWh/yr)
Moderate	200–300	6.1–7.0	2,923	20,300	34,700
Good	300–400	7.0–7.7	1,022	7,000	15,600
Excellent	400–600	7.7–8.9	377	2,600	7,100
Excellent	600–800	8.9–9.8	61	400	1,400
Excellent	800–1000	9.8–10.5	22	200	500
Total			4,405	30,500	59,300
Good-to-Excellent Wind Resource at 30 m (Utility Scale)					
Wind Resource Utility Scale	Wind Power (W/m ²)	Wind Speed (m/s)	Total Area (km ²)	Total Capacity Installed (MW)	Total Power (GWh/yr)
Good	300–400	7.0–7.7	1,022	7,000	15,600
Excellent	400–600	7.7–8.9	377	2,600	7,100
Excellent	600–800	8.9–9.8	61	400	1,400
Excellent	800–1000	9.8–10.5	22	200	500
Total			1,482	10,200	24,600

* Wind speeds are based on a Weibull k value of 3.0.

Assumptions

Turbine Size – 500 kW
 Hub Height – 40 m
 Rotor Diameter – 38 m
 Turbine Spacing – 10D by 5D
 Capacity/km² – 6.9 MW

Figura 15. Potencial Eólico República Dominicana con Recursos Moderado a Excelente

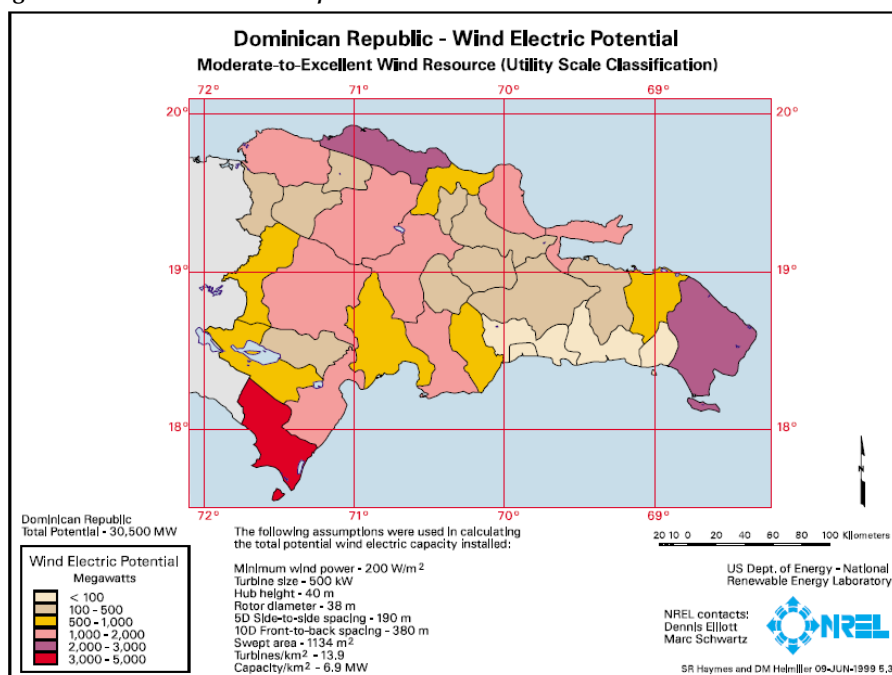
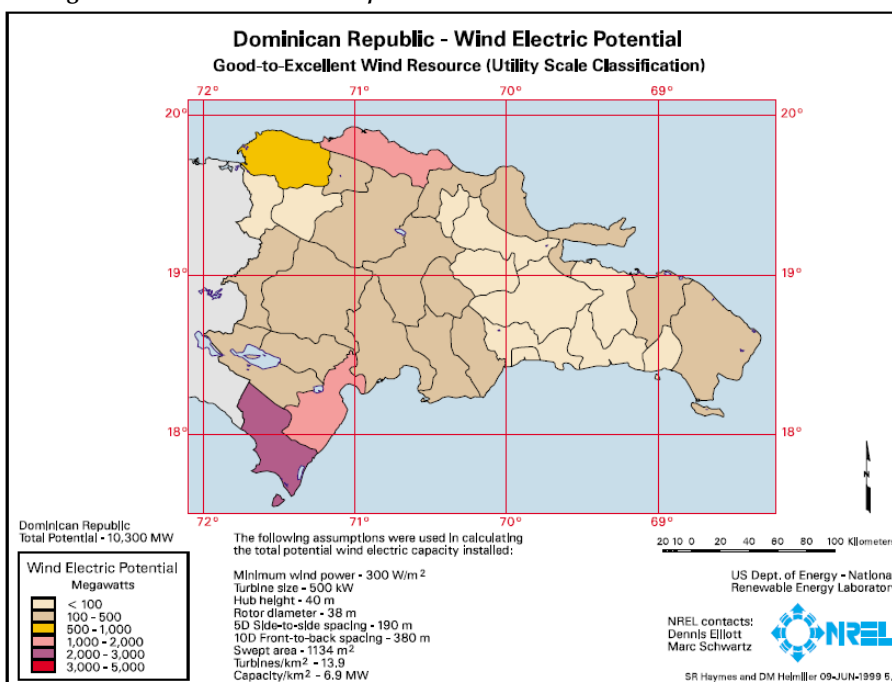


Figura 16. Potencial Eólico República Dominicana con Recursos Bueno a Excelente



La República Dominicana tiene buenos recursos eólicos y solar como lo demuestran todos los estudios realizados hasta el momento. Existe un sólido potencial solar en todo el país, con una irradiación horizontal global (GHI) promedio generalmente en el rango de 210 a 250 vatios por metro cuadrado (**APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS EÓLICOS Y SOLARES DE LA REPÚBLICA DOMINICANA -3TIER, 2011**). Estos niveles de insolación permiten tanto aplicaciones térmicas (calentamiento de agua) como para la generación de electricidad (solar fotovoltaica).

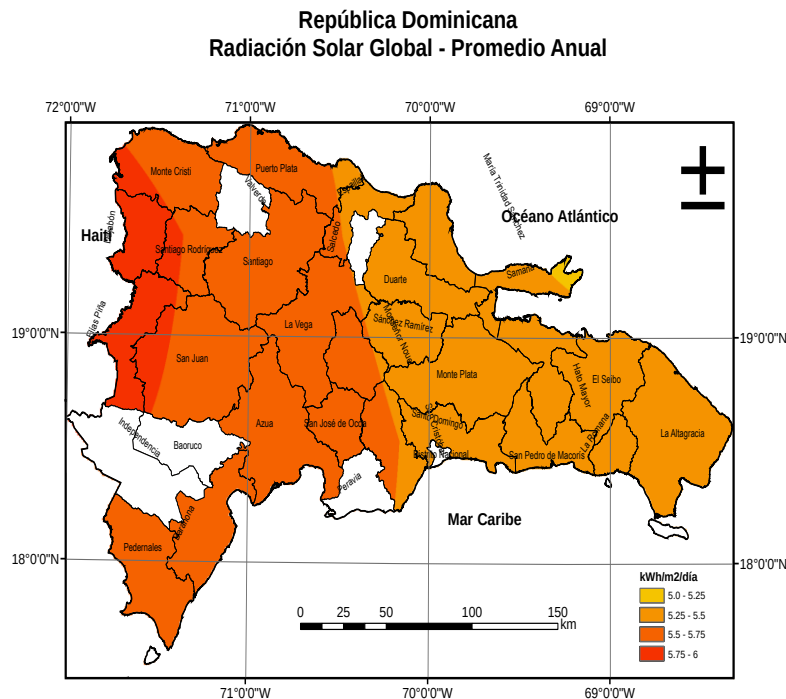


Figura 17. Radiación Solar Global – Promedio Anual

Como se puede observar de los datos anteriores, la potencia disponible para producir electricidad, le proporcionaría a la República Dominicana suplir sus necesidades de energía eléctrica a partir de estas fuentes renovable (tabla. 10) para los próximos 20 años, solo en energía eólica, se estima una producción promedio anual entre 24,000 y 60,000 GWh/años. Este es el punto que marca el inicio de la creación de políticas regulatorias para promoción y fomento a nivel comercial de las energías renovables en el mercado eléctrico de la República Dominicana. Apoyado en ese potencial, principalmente eólico y solar se crea en el año 2007 la Ley 57/07 o Ley de Incentivos a las Energías Renovables y Regímenes Especiales, cuyos objetivos principales es reducir la dependencia de combustibles fósiles, estimular proyectos de inversión privada a partir de fuentes renovables de energía, mitigar los impactos ambientales, entre otros.

La referida Ley contempla la instalación de parques eólicos y molinos de vientos aislados cuya capacidad no supere los 50 MW, pequeñas centrales hidroeléctricas que no superen los 5 MW, cualquier tipo de instalación electro-solares (fotovoltaicas), instalaciones termosolares inferiores a 120 MW por unidad o central, centrales eléctricas que usen biomasa primaria como combustible principal, que puedan utilizarse directamente o tras un proceso de transformación para producir energía (como mínimo 60% de la energía primaria) y cuya potencia instalada no supere los 80 MW por unidad o central; fincas energéticas, plantaciones e infraestructuras agropecuarias o agroindustriales de cualquier magnitud destinadas exclusivamente a la producción de biomasa con destino a consumo energético;

instalaciones de explotación de energías oceánicas, plantas de producción de bio-combustibles (destilerías o bio-refinerías).

Como se puede observar, esta Ley incentiva la producción de electricidad a partir de fuentes primaria de producción que se enmarcan dentro el concepto de generación distribuida, por lo tanto es un incentivo al cambio del modelo tradicional de los grandes sistema eléctrico, con esta ley se permite la instalación de generación a pequeña escala y su conexión a la red de los sistemas de distribución de las empresas distribuidoras abriendo así una puerta al nuevo modelo o esquema de generación distribuida.

Otro aspecto a destacar para la integración de generación distribuida en el mercado eléctrico de la República Dominicana, es la implementación en año 2011 del Reglamento de Interconexión Generación Distribuida, cuyo objetivo es servir de plataforma para promover el uso eficiente de la energía y al desarrollo de alternativas de energía renovable, garantizando la seguridad de los empleados, clientes y equipos del distribuidor, así como la preservación del medio ambiente.

Las disposiciones de este reglamento aplican a todo Proyecto de Generación que se interconecte al Sistema de Distribución Eléctrica. Este Reglamento no aplica a la instalación u operación de Sistemas de Generación interconectados al sistema de transmisión, o que operen de forma aislada del Sistema de Distribución Eléctrica". Adicional a este reglamento se han implementado mecanismo de apoyo para la interconexión de generación distribuida, como el reglamento de medición neta y el Procedimiento Certificación Sistema Fotovoltaico, ambos emitido por CNE.

Anterior a etas normativas y procedimientos, ya en el país se venía incentivando el uso de generación a pequeña escala a partir de combustible no convencional, tal como se especifica en el decreto No. 557-02 sobre Generación Eléctrica con Biomasa en los Ingenios mediante el aprovechamiento del potencial energético de la caña de azúcar como forma de disminuir sustancialmente la dependencia de las importaciones de combustibles (petróleo y carbón mineral), la Ley Medio Ambiente y Recursos Naturales No. 64 – 00 y la propia Ley de Hidrocarburo No. 112 – 00 en la que se establece un impuesto al consumo de combustibles fósiles y derivados del petróleo.

2.2.Esquema de Distribución de la República Dominicana

A partir del proceso de capitalización de la antigua Corporación Dominicana de Electricidad (CDE), llevado a cabo en base a las previsiones de la Ley General de Reforma de la Empresa Pública No. 141-97, del 24 de junio del 1997, el Sector Eléctrico Dominicano experimentó una transformación derivada de la individualización de las distintas actividades que componen el servicio de suministro de energía eléctrica, transformando el modelo de integración vertical

hasta ese entonces prevaleciente. Las plantas de generación térmicas de la CDE fueron agrupadas en dos compañías de generación: Itabo y Haina, y sus facilidades de distribución fueron divididas en tres compañías de distribución:

1. Empresa Distribuidora de Electricidad del Norte (EdeNorte)
2. Empresa Distribuidora de Electricidad del Sur (EdeSur)
3. Empresa de Distribución de Electricidad del Este (EdeEste).

Los conceptos básicos que definen la actividad de distribución están contenidos en la Ley General de Electricidad y su Reglamento de Aplicación (Artículos 2, 41, 51, 93, 103, 104, 108, 110, 113, 115, 116, 117, 123, 134, de la LGE y los artículos 1, 45, 49, 82, 99, 100, 111, 139, 140, 143, 145, 159, 364, 468, 475, 495 del RLGE).

Mediante la firma de un contrato de otorgamiento el 5 de agosto de 1999, firmado por cada uno de los representantes privados y la Corporación Dominicana de Electricidad (hoy CDEEE), el Estado cede los derechos a los inversionistas privados de las empresas distribuidoras para la explotación de obras eléctricas relativa al servicio público de distribución a usuarios finales, que estuvieran ubicado en su área de concepción o que se conectaran a las instalaciones de la empresa propietaria del derecho de explotación de obras eléctricas mediante líneas propia o de terceros, respetando el criterio de delimitación de exclusividad de los 100 metros a los costados y extremos de las líneas. Con la firma de ese contrato de otorgamiento, las compañías distribuidoras se comprometían a garantizar la calidad y continuidad del servicio a los usuarios, conforme lo establezcan las autoridades competentes y las leyes de la República Dominicana.

La actividad de distribución está definida como la prestación del servicio de distribución y comercialización de electricidad por parte de una empresa de distribución, a los usuarios finales. La empresa de distribución es responsable de abastecer de energía eléctrica a sus usuarios, obligada a suministrar el diseño, materiales, instalación y mantenimiento del alumbrado público de cada municipio y sus distritos municipales, reservándose los ayuntamientos la facultad, si así lo decidiera, de servir ya sea por sus propios medios o contratando con terceros la prestación de dichos servicios.

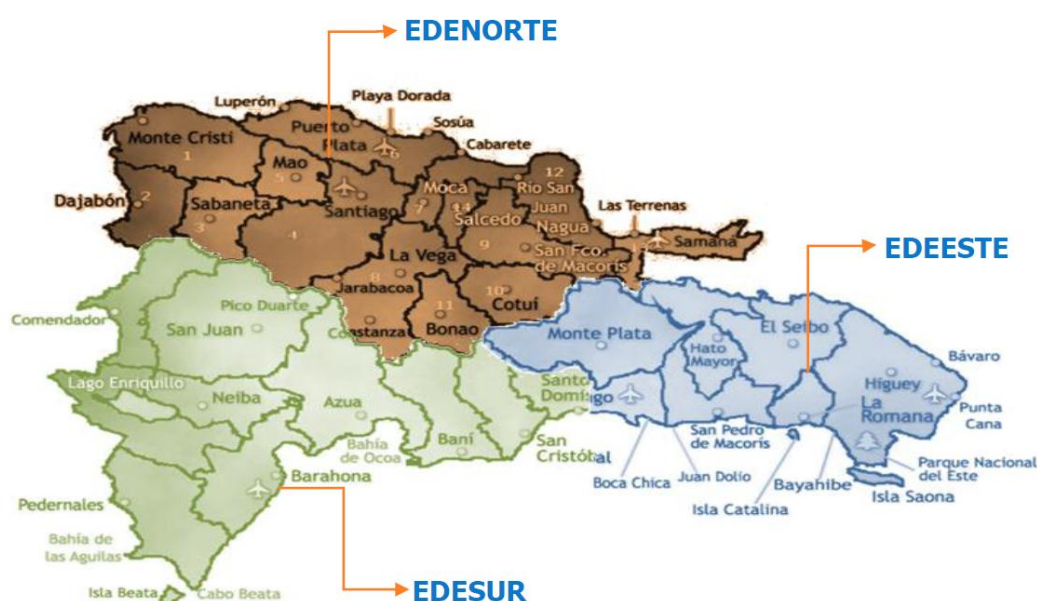
El servicio público de distribución es el suministro, a precios regulados, de una empresa de distribución a usuarios finales ubicados en sus zonas de concesión, o que se conecten a las instalaciones de la concesionaria mediante líneas propias o de terceros. Las Empresas de Distribución de servicio público estarán obligadas a ofrecer servicio a quien lo solicite, en su zona de concesión, dentro de los plazos establecidos en el reglamento y también permitir que otra empresa alimente a clientes no sujetos a regulación de precios en dicha zona, pagando a la Empresa de Distribución, por la utilización de sus líneas, los peajes correspondientes.

Se requiere concesión para establecer y explotar el servicio público de distribución, la autorización de concesión definitiva de servicio público de distribución establece

los límites de la zona de concesión definida por las facilidades de distribución instaladas en el área geográfica, cuyo límite está dado por las provincias comprendidas dentro de un área de influencia de 100 metros, medidos a partir del tendido de las líneas de distribución existentes y en caso de expansiones futuras por parte de la Empresa de Distribución medidos a partir de tales expansiones.

La figura 18 muestra las tres áreas de concepción geográficamente separada para la explotación del servicio de distribución por parte de las empresas eléctricas

Figura 18. Mapa con la Limitación Geográfica de la Zona de Concesión de las Empresas Distribuidoras



La red de distribución corresponde a las instalaciones de media y baja tensión destinadas a transferir electricidad, desde el seccionador de barra del interruptor de alta del transformador de potencia en las subestaciones de distribución, hasta el medidor de energía de los clientes dentro de la zona de concesión.

Los usuarios regulados son los usuarios que reciben el servicio público de distribución a precios regulados por la SIE, el usuario no regulado es aquel cuya demanda mensual sobrepasa los límites establecidos por la SIE para clasificar como usuario de servicio público y que cumplan con los requisitos establecidos en el reglamento, el usuario o cliente de servicio público, o usuario de bajo consumo, es todo cliente con capacidad instalada igual o menor a 2 MW.

La distribución de electricidad en la República Dominicana presenta características muy particulares, a pesar de ser un mercado pequeño, la distribución de la electricidad a los usuarios finales es responsabilidad de tres empresas independientes, que distribuyen electricidad con carácter de exclusividad en cada una de las zonas geográficas legalmente concesionadas.

Empresa	Área de Concesión (Km2)	Redes MT (Km2)
EdeNorte	18,161	10,446
EdeSur	19,060	6,125
EdeEste	11,700	4,261
Total	48,921	20,832

Tabla 11. Redes de Distribución por Empresa al 2010

La red de distribución corresponde a las instalaciones de media y baja tensión destinadas a transferir electricidad, desde el seccionador de barra del interruptor de alta del transformador de potencia en las subestaciones de distribución, hasta el medidor de energía de los clientes dentro de la zona de concesión.

Las redes de distribución son operadas bajo un esquema de control de la demanda, que dificulta el diseño e implementación de un modelo eficiente de instalación de generación distribuida, la presencia de cortes programados supera lo tolerable por los mercados de electricidad de distribución de otras regiones. El hecho de que no toda la demanda está siendo abastecida en la hora de la punta por causa de cortes programados, produce una importante distorsión de la información para el planeamiento y el cálculo de la cantidad de generación distribuida. Los cortes programados son tan frecuentes, que hacen del servicio de electricidad un recurso con disponibilidad casi aleatoria y sin garantías de calidad del servicio. Este problema ocasiona varios efectos que tendrán que ser considerado con sumo cuidado a la hora de cuantificar los impactos que producen la conexión de generación distribuida a las redes de distribución.

Otro aspecto a destacar, son las altas pérdidas de energía, tanto técnicas como las no técnicas en las redes de distribución del mercado eléctrico Dominicano, que alcanzan niveles superior al 35%, sin considerar la energía gestionada, que también afectan el balance de pérdidas totales de las empresas de distribución y comercialización.

Los costos de distribución o Valor Agregado de Distribución (VAD), están definido mediante LGE y su reglamento, determinado como la sumatoria de la anualidad del Valor Nuevo de Reemplazo (VNR) de las redes optimizadas requeridas para la prestación del servicio, los costos de explotación resultantes del diseño de una empresa modelo operando en condiciones de eficiencia en el área de cobertura de la distribuidora, el Costo del Capital de Trabajo y un nivel de Incobrabilidad objetivo. El Valor Agregado de Distribución se determinará cada 4 años, sobre la base del costo incremental de desarrollo, y el costo total de largo plazo del servicio de distribución en sistemas eficientemente dimensionados.



Los costos de explotación son los gastos anuales requeridos por cada una empresa para operar en forma eficiente en el área de cobertura de las redes la distribuidora, estos gastos consideran los gastos de personal, materiales y contratistas externos, requeridos para operar y mantener las redes optimizadas y realizar la atención comercial a los clientes. También consideran los gastos de las actividades administrativas de apoyo, las cuales posteriormente se prorratan entre las actividades de explotación técnica y comercial, para su asignación en las tarifas. También son considerados dentro de VAD, el costo del capital de trabajo y un nivel de Incobrabilidad. El costo de comercialización corresponde a los gastos directos de gestión comercial, y la proporción asignada a esta actividad de los gastos administrativos de la empresa.

La remuneración de la distribución es incluida en la tarifa a través del Valor Agregado de Distribución. Las tarifas a usuarios de servicio público serán fijadas por la Superintendencia. Las mismas estarán compuestas del costo de suministro de electricidad a las empresas distribuidoras establecido competitivamente, referido a los puntos de conexión con las instalaciones de distribución más el valor agregado por concepto de costos de distribución, adicionándolos a través de fórmulas tarifarias indexadas que representan una combinación de dichos valores. El valor agregado de distribución es único para las tres empresas distribuidora, o sea que no se consideran las diferencias espaciales de la ubicación geográfica de cada área de distribución, la tarifa aplicada a los usuarios de este servicio es única para las tres empresas distribuidoras.

La regulación de la calidad del servicio está establecido en la ley general de electricidad y su reglamento de aplicación, así como en resoluciones emitida por la SIE (SIE-56-2002, y su modificatoria, la Resolución SIE-01-2003), en las que se establecen los estándares de calidad que deberá cumplir el servicio prestado por las Empresas Eléctricas y las compensaciones a que tendrán derecho los Usuarios de Servicio Público por el incumplimiento de los estándares de calidad establecidos. En

la actualidad los índices utilizados para medir la calidad del servicio son el SAIDI, el SAIFI y el CAIDI. En particular en el Artículo 97, en consonancia con el Artículo 93, párrafo I de la LGE, se indica que a partir del 1 de enero del 2003 las distribuidoras deberán compensar a los usuarios finales regulados por el equivalente al 150% de la electricidad no entregada. También existen penalizaciones por la calidad de la onda de tensión. Las resoluciones emitidas en la que se definen los parámetros de calidad del servicio, no son acogidas por las empresas distribuidoras en lo relacionado a la continuidad del servicio, debido a los altos valores de los índices de calidad SAIDI y SAIFI, provocado por los cortes del servicio, producto del déficit de las empresas distribuidoras.

2.3.Instituciones y Normativas Eléctricas

Con la separación de actividades y posterior capitalización de esas empresas eléctricas, nace el marco legal del Sector Eléctrico Dominicano, definido por la Ley General de Electricidad No. 125-01 (modificada por la ley 186-07), promulgada en fecha 26 de julio de 2001, y su reglamento de aplicación de fecha 19 de julio de 2002. La Ley General de Electricidad (LGE), estableció el marco legal e institucional que rige la actividad del servicio público eléctrico. Los objetivos básicos de la LGE son garantizar la oferta de electricidad en condiciones adecuadas de calidad y seguridad, promover la participación privada en el desarrollo del sector, promover la sana competencia en aquellas actividades en que resulte factible, regular las actividades de características monopólicas a través de tarifas establecidas con criterios económicos de eficiencia y equidad, evitar la discriminación en la provisión de los servicios y proteger los derechos de los usuarios. De conformidad al artículo 9 de esta Ley, las entidades que producen, transportan o distribuyen la electricidad a terceros son: las empresas eléctricas y los auto productores y cogeneradores de electricidad que venden sus excedentes a través del sistema eléctrico, y los propietarios de líneas de distribución y subestaciones eléctricas de distribución que otorgan derecho de paso de electricidad a través de sus instalaciones. Estas entidades podrán comercializar directamente su electricidad y su capacidad de distribuirla. Las labores de regulación y fiscalización inherentes al Estado Dominicano son facultad de dos órganos rectores:

2.3.1. La Comisión Nacional de Energía (CNE)

Encargada de elaborar y coordinar los proyectos de normativa legal y reglamentaria; proponer y adoptar políticas y normas; elaborar planes indicativos para el buen funcionamiento y desarrollo del Sector Energía, promover las decisiones de inversión en concordancia con dichos planes y asesorar al Poder Ejecutivo en todas aquellas materias relacionadas con el sector.

2.3.2. La Superintendencia de Electricidad (SIE)

Encargada de elaborar, hacer cumplir y analizar sistemáticamente la estructura y niveles de precios, fiscalizar y supervisar el cumplimiento de las disposiciones legales y reglamentarias, así como de las normas técnicas en relación con la generación, la transmisión, la distribución y la comercialización de electricidad, supervisar el comportamiento del mercado de electricidad a fin de evitar prácticas monopólicas, entre otras. Bajo dependencia de la Superintendencia esta la Oficina de Protección al Consumidor de Electricidad, la cual tendrá como función atender y dirimir sobre los reclamos de los consumidores de servicio público frente a las facturaciones, mala calidad de los servicios o cualquier queja motivada por excesos o actuaciones indebidas de las empresas distribuidoras de electricidad.

Bajo este nuevo orden se oficializa la existencia del Organismo Coordinador del Sistema Eléctrico Interconectado (Operador Mercado), y del Centro de control de Energía (Operador del Sistema). La nueva Ley también crea la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE), la Empresa de Transmisión Eléctrica Dominicana (ETED) y la Empresa de Generación Hidroeléctrica Dominicana (EGEHID), empresas éstas de propiedad estrictamente estatal. En los actuales momentos, la totalidad de la distribución paso a responsabilidad del Estado.

Asimismo, se establece la clasificación de las empresas que producen, transportan o distribuyen la electricidad a terceros como: a) Las empresas eléctricas y los autosproductores y cogeneradores de electricidad que venden sus excedentes a través del sistema y b) Los propietarios de líneas de distribución y subestaciones eléctricas de distribución. Todas estas empresas podrán comercializar directamente su electricidad y su capacidad de distribuirla, y las mismas estarán sujetas y regidas por la Ley 125-01, independientemente de que las mismas sean de capitales nacionales y/o extranjeros, privados y/o públicos sin ninguna discriminación por estas circunstancias. Acorde con sus principios fundamentales, la nueva Ley General de Electricidad No. 125-01 pretende evitar la formación de monopolios en el sector eléctrico. A estos fines, la Ley establece que en sistemas eléctricos interconectados cuya demanda máxima de potencia sea superior a la definida en los reglamentos y que incluyan suministro a empresas distribuidoras, las empresas eléctricas, los autoproductores y los cogeneradores podrán efectuar solo una de las actividades de generación, transmisión o distribución. Como única excepción a este principio, la Ley establece que excepcionalmente, cada una de las tres empresas de distribución resultantes del proceso de capitalización de la Corporación Dominicana de Electricidad podrá ser propietaria directa o indirectamente de instalaciones de generación, siempre que esta capacidad no exceda el quince por ciento (15%) de la demanda máxima del sistema eléctrico interconectado.

2.3.3. Ley No. 57-07 sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y de sus Regímenes Especiales.

Esta ley se fundamenta en el gran potencial del país para el desarrollo de las energías renovables proveniente del viento y del sol. Además de otras consideraciones que sirvieron de base al estado dominicano para promover e incentivar su uso como alternativa de producción de electricidad y la cual se destacan a continuación las principales:

1. Fomentar el desarrollo de fuentes de energías renovables, para la consolidación del desarrollo y el crecimiento macroeconómico, así como la estabilidad y seguridad estratégica de la República Dominicana; constituyendo una opción de menor costo para el país en el largo plazo por lo que debe ser apoyado e incentivado por el Estado
2. Que la República Dominicana es signataria y ha ratificado diferentes convenciones y convenios internacionales, como lo son la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kioto, donde el país se compromete a realizar acciones en la producción de energías renovables que reducen las emisiones de gases efectos de invernadero, que contribuyen al calentamiento global del planeta
3. Que el país cuenta con abundantes fuentes primarias de energía renovable, entre las que figuran las eminentemente agropecuarias, las cuales pueden contribuir a reducir la dependencia de combustibles fósiles importados si se desarrolla su explotación y, por lo tanto, tienen un alto valor estratégico para el abastecimiento del país y/o su exportación
4. Que en la actualidad se desarrollan en el país y en el mundo novedosos sistemas alternativos de energía, combustibles y mejoramiento, tanto de los tradicionales hidrocarburos, como de los sistemas que usan estos últimos, los cuales deben de ser incentivados como forma de compensación económica para hacerlos competitivos en razón de sus cuantiosos beneficios ambientales y socioeconómicos

En las Tablas a continuación de resumen las principales leyes y procedimientos relacionadas al sector eléctrico de la República Dominicana y que consideran como alternativa de producción la generación distribuida

Tabla 12. Principales Características - Ley General de Electricidad

	Nombre	Fecha Promulgación	Objetivos Principales
Ley No. 125-01	Ley General de Electricidad y su Reglamento de Aplicación	26 de Julio 2001, modificada por la Ley No. 186-07, de fecha Seis 06 de Agosto de 2007.	a) Promover y garantizar la oportuna oferta de electricidad que requiera el desarrollo del país, en condiciones adecuadas de calidad, seguridad y continuidad, con el óptimo uso de recursos y la debida consideración de los aspectos ambientales b) Promover la participación privada en el desarrollo del subsector eléctrico c) Promover una sana competencia en todas aquellas actividades en que ello sea factible y velar porque ella sea efectiva, impidiendo prácticas que constituyan competencias desleales o abuso de posición dominante en el mercado, de manera que en estas actividades las decisiones de inversión y los precios de la electricidad sean libres y queden determinados por el mercado en las condiciones previstas d) Regular los precios de aquellas actividades que representan carácter monopolístico, estableciendo tarifas con criterios económicos, de eficiencia y equidad a manera de un mercado competitivo e) Velar porque el suministro y la comercialización de la electricidad se efectúen con criterios de neutralidad y sin discriminación f) Asegurar la protección de los derechos de los usuarios y el cumplimiento de sus obligaciones.

	Principales Incentivos	Observaciones
Ley No. 125-01	Art. 112.- Párrafo.- Las empresas que desarrollen de forma exclusiva la generación de energía renovable, tales como: eólica, solar, biomasa, marina y otras fuentes alternativas, estarán exentas de todo pago de impuestos nacionales o municipales durante cinco (5) años, a partir de su fecha de instalación, previa certificación de la Secretaría de Estado de Industria y Comercio.	Art. 112.- Las empresas distribuidoras y comercializadoras en igualdad de precios y condiciones, les darán preferencia en las compras y despacho de electricidad a las empresas que produzcan o generen energía eléctrica a partir de medios no convencionales que son renovables como: la hidroeléctrica, la eólica, solar, biomasa y marina y otras fuentes de energía renovable Art. 11.- Párrafo I.- Excepcionalmente, cada una de las tres empresas de distribución resultantes del proceso de capitalización de la Corporación Dominicana de Electricidad podrán ser propietarias directa o indirectamente de instalaciones de generación, siempre que esta capacidad no exceda el quince por ciento (15%) de la demanda máxima del sistema eléctrico interconectado. La operación de estas empresas generadoras estará regida por las previsiones establecidas en esta ley y su reglamento. Así mismo, de conformidad con el párrafo III del aludido artículo 11 de la Ley, se excluye de dicho porcentaje la generación de energía eléctrica a partir de medios no convencionales que son renovables proveniente del viento, el sol, el agua y otras fuentes de energía renovable

Tabla 13. Principales Características - Ley Sobre Incentivos a las Energías Renovables

	Nombre	Fecha promulgación	Objetivos Principales
Ley No. 57-07	Ley sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y de sus Regímenes Especiales	17 de enero del 2007	a) Aumentar la diversidad energética del país en cuanto a la capacidad de autoabastecimiento de los insumos estratégicos que significan los combustibles y la energía no convencionales, siempre que resulten más viables b) Reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados c) Estimular los proyectos de inversión privada, desarrollados a partir de fuentes renovables de energía d) Propiciar que la participación de la inversión privada en la generación de electricidad a ser servida al SENI esté supeditada a las regulaciones de los organismos competentes y de conformidad al interés público e) Mitigar los impactos ambientales negativos de las operaciones energéticas con combustibles fósiles f) Propiciar la inversión social comunitaria en proyectos de energías renovables g) Contribuir a la descentralización de la producción de energía eléctrica y biocombustibles, para aumentar la competencia del mercado entre las diferentes ofertas de energía h) Contribuir al logro de las metas propuestas en el Plan Energético Nacional específicamente en lo relacionado con las fuentes de energías renovables, incluyendo los biocombustibles.

	Principales Incentivos	Observaciones
Ley No. 57-07	1- Exención de todo tipo de impuestos de importación a los equipos, maquinarias y accesorios importados por las empresas o personas individuales, necesarios para la producción de energía de fuentes renovables. La exención será del 100% de dichos impuestos. Este incentivo 2- Exención del pago del Impuesto de Transferencia a los Bienes Industrializados y Servicios (ITBIS) y de todos los impuestos a la venta final 3- Reducción a 5% el impuesto por concepto de pago de intereses por financiamiento externo 4- Incentivo fiscal a los autoprodutores. En función de la tecnología de energías renovables asociada a cada proyecto, se otorga hasta un 75% del costo de la inversión en equipos	Artículo 5. Ámbito de aplicación: a) Parques eólicos y aplicaciones aisladas de molinos de viento con potencia instalada inicial, de conjunto, que no supere los 50 MW b) Instalaciones hidroeléctricas micros, pequeñas y/o cuya potencia no supere los 5 MW c) Instalaciones electrosolares (fotovoltaicas) de cualquier tipo y de cualquier nivel de potencia d) Instalaciones termosolares (energía solar concentrada) de hasta 120 MW de potencia por central e) Centrales eléctricas que como combustible principal usen biomasa primaria, que puedan utilizarse directamente o tras un proceso de transformación para producir energía (como mínimo 60% de la energía primaria) y cuya potencia instalada no supere los 80 MW por unidad termodinámica o central f) Plantas de producción de biocombustibles (destilerías o biorefinerías) de cualquier magnitud o volumen de producción g) Fincas Energéticas, plantaciones e infraestructuras agropecuarias, agroindustriales de cualquier magnitud destinadas exclusivamente a la producción de biomasa con destino a consumo energético, de aceites vegetales o de presión para fabricación de biodiesel, así como plantas hidrolizadoras productoras de licores de azúcares (glucosas, xilosas y otros) para fabricación de etanol carburante y/o para energía y/o biocombustibles) h) Instalaciones de explotación de energías oceánicas, ya sea de las olas, las corrientes marinas, las diferencias térmicas de aguas oceánicas etc., de cualquier magnitud i) Instalaciones termosolares de media temperatura dedicadas a la obtención de agua caliente sanitaria y acondicionamiento de aire en asociación con equipos de absorción para producción de frío. - Todas aquellas instituciones de interés social (organizaciones comunitarias, asociaciones de productores, cooperativas registradas e incorporadas) que deseen desarrollar fuentes de energía renovables a pequeña escala (hasta 500Kw) y destinado a uso comunitario, podrán acceder a fondos de financiamientos a las tasas más bajas del mercado para proyectos de desarrollo, por un monto de hasta el 75% del costo total de la obra y su instalación - Artículo 17. Toda instalación generadora de energía eléctrica sujeta al régimen especial interesada en acogerse a los incentivos de la presente ley, en sus relaciones con las empresas distribuidoras el derecho de conectar en paralelo su grupo o grupos generadores a la red de la compañía distribuidora y de transmisión, transferir al sistema, a través de la compañía distribuidora de electricidad, su producción o excedentes de energía y percibir por ello el precio del mercado mayorista más los incentivos previstos en esta ley - Las Empresas Distribuidoras estarán obligadas a comprarles sus excedentes a precios regulados por la SIE, previo estudio y recomendación del CNE, a los usuarios regulados y no regulados que instalen sistemas para aprovechar recursos renovables para producir electricidad con la posibilidad de generar excedentes que pueden ser enviados a las redes del SENI

Tabla 14. Principales Características – Reglamento Interconexión Generación Distribuida

	Nombre	Fecha Promulgación	Objetivos Principales	Observaciones
Reglamento	Reglamento Interconexión Generación Distribuida	30 de Noviembre de 2011	Establecer los requisitos y el proceso para la instalación y operación de los Sistemas de Generación interconectados con el Sistema de Distribución Eléctrica y servir de plataforma para promover el uso eficiente de la energía y al desarrollo de alternativas de energía renovable garantizando la seguridad de los empleados, clientes y equipos del distribuidor, así como la preservación del medio ambiente	Las disposiciones de este reglamento aplican a todo Proyecto de Generación que se interconecte al Sistema de Distribución Eléctrica. Este Reglamento no aplica a la instalación u operación de Sistemas de Generación interconectados al sistema de transmisión, o que operen de forma aislada del Sistema de Distribución Eléctrica Este Reglamento aplica e incluye: 1. Las instalaciones privadas de Sistemas de Generación Renovables en edificios o estructuras de personas naturales o jurídicas, se interconectarán con el Sistema de Distribución o Transmisión, utilizando el sistema de medición correspondiente a su nivel de tensión. 2. Los Sistemas de Generación privados con Capacidad de hasta 1 MVA. Los Proyectos con Capacidad mayor de 25 KW monofásico o 200 KW trifásico e igual o menor de 1 MVA se evaluarán mediante un Estudio Suplementario. El mismo considerará las características del Proyecto y del circuito de distribución o transmisión al cual se propone la interconexión. 3. Persona natural o jurídica, pública o privada que solicite la interconexión de Sistemas de Generación con el Sistema de Distribución Eléctrica.

Tabla 15. Principales Características – Reglamento Medición Neta

	Nombre	Fecha Promulgación	Objetivos Principales	Observaciones
Reglamento	Reglamento Medición Neta	28 de Julio de 2011	1. Establecer el procedimiento para las solicitudes y requisitos que deben observar los Clientes con sistemas de generación propia que utilicen fuentes renovables de energía y deseen participar del Programa de Medición Neta, interconectándose a las redes de la Empresa de Distribución o de Transmisión. 2. Define la manera en que se reflejará en la factura del Cliente, el cobro de la energía consumida o la acreditación de la generada y exportada por el Cliente. 3. Promover y fomentar el uso de Fuentes Renovables de Energía. 4. Contribuir con el proceso de descarbonización del medio ambiente.	Las disposiciones del presente reglamento aplican para: 1. Clientes Residenciales que se autoabastecen con sistemas de generación propios de electricidad y que utilicen energía solar, eólica u otras Fuentes Renovables de energía cuya capacidad sea menor o igual a 25 Kilovatios (KW), ubicados en fincas, edificios o estructuras de personas naturales o jurídicas, los cuales podrán conectarse a las redes de la Empresa de Distribución. 2. Sistemas de generación de electricidad privada y ubicadas en fincas, edificios o estructuras de personas naturales o jurídicas, que utilicen energía solar, eólica u otras Fuentes Renovables de Energía y que tengan una capacidad no mayor de 1 megavatio (MW) para Clientes comerciales e industriales, los cuales podrán conectarse a las redes de la Empresa de Distribución y/o Transmisión. 3. Persona natural o jurídica, pública o privada y cualquier agrupación de ellas que solicite el Programa de Medición Neta.

	Nombre	Fecha Promulgación	Objetivos Principales	Observaciones
Reglamento	Codigo de Conexion	Mayo de 2004	definición de los requisitos técnicos a cumplir por los agentes para integrarse al Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI)	Condiciones Operativas: Voltaje dentro de los rangos de variación máximos permitidos serán los siguientes: 1.- Barras de 69Kv, 138Kv o mayor: $\pm 5\%$ 2.- Barras de los Generadores: $\pm 5\%$ 3.- Barras de distribución: $\pm 7.5\%$ (zonas urbanas) $\pm 10\%$ (zonas rurales) Frecuencia. En estado de operación normal los rangos de variación máximo permitidos serán: 1.- 59.85 a 60.15 Hz durante el 99.0% del tiempo. 2.- 59.75 a 60.25 Hz. durante el 99.8 % del tiempo. Requisitos de los equipos: Todos los equipos deberán estar diseñados y contruidos de acuerdo a las normas IEC y/o ANSI operados y mantenidos de acuerdo con las prácticas internacionalmente aceptadas para empresas de electricidad.

Todas estas leyes y procedimientos son una adaptación al nuevo esquema que los sistemas eléctricos están planteando, reducir los costos totales de la electricidad a los usuarios finales mediante la adopción de un conjunto de políticas de incentivos, ambientales y regulatorios, tendente a modificar las estructuras actuales de los sistemas tradicionales. La Ley 57 - 07 incentiva la producción de energía a partir de fuentes renovables, lo que a su vez posibilita, que una mayor cantidad de esta generación se conecte la red de distribución.

2.4.Situación Actual

Como se menciona en capítulos anteriores de este trabajo, la generación distribuida se apoya principalmente en el desarrollo de tecnologías de producción de fuentes renovables y la promoción de los gobiernos por el uso de energías limpia. La producción de energía eléctrica en la República Dominicana ha venido variando en los últimos años en cuando a las fuentes primarias de producción. Para finales del

2011, la demanda de energía fue abastecida por un alto componente de gas natural y recientemente fueron integrado al mix de generación unos 33 MW de energía eólica y se espera para el próximo año (2013), esa capacidad alcance los 75 MW, además de la participación de un reducido grupo de consumidores que se han acogido al programa de medición neta mediante la utilización de paneles fotovoltaico cuyos excedente de producción es inyectado directamente a red de distribución de las empresas distribuidoras.

Actualmente la capacidad instalada de generación eléctrica en la República Dominicana se estima 3,100 MW

Figura 19. Capacidad Total Instalada por Tecnología de Generación (ADIE, 2011)

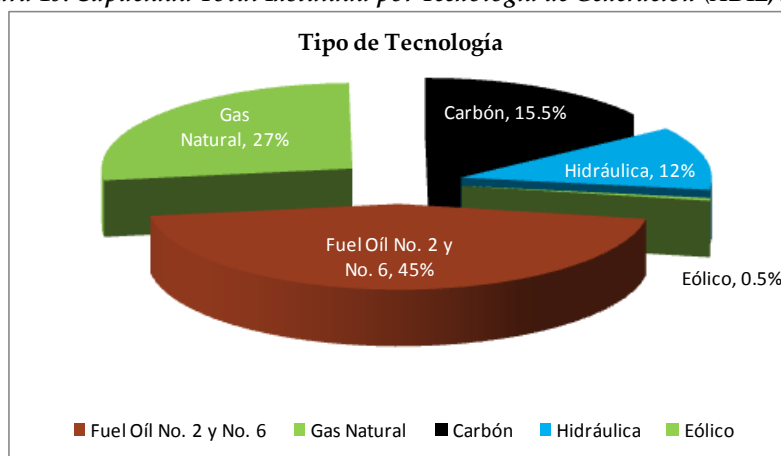
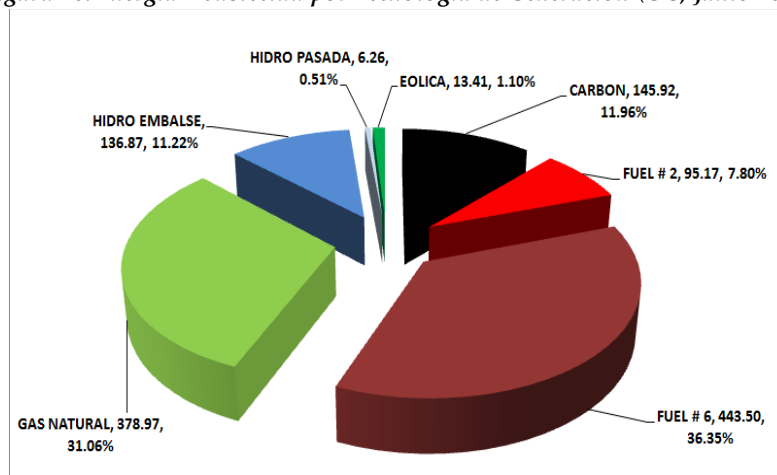


Figura 20. Energía Abastecida por Tecnología de Generación (OC, Junio 2012)



La configuración actual del Sistema Eléctrico Nacional es la representada en la figura No. 1. Desde sus inicios, el Sistema Eléctrico se ha caracterizado por la realización de grandes inversiones en la actividad de generación no localizadas en la red en las zonas que más lo necesitan. Además, por tener un sistema de transporte con grandes congestiones y baja fiabilidad. Se han diseñado líneas a 345 KV operada a 138 KV, y para los próximos meses se contempla la construcción de una línea de 230 KV desde

la zona Este del país hasta la zona Norte para interconectar al sistema la potencia excedente de dos nuevas centrales de 215 MW c/u que entraran en operación en los próximos años.

Voltaje de Diseño (KV)	Voltaje de Operación (KV)	Longitud (KM)
69	69	1,798
138	69	64
	138	1,642
345	138	130
Total General		3,634

Tabla 16. Líneas de Transporte actualmente en Operación

El Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI) es un sistema radial, cuyo centro es la ciudad de Santo Domingo (Subestación Palamara) de la cual se derivan tres troncales, uno hacia la zona norte del país con una capacidad de transporte de 486 MVA, otro hacia la zona sur con una capacidad de transporte de 135 MVA y un último hacia la zona este con una capacidad de transporte de 265 MVA.

En las Zonas Sur y Norte se concentra la mayor parte de Generación disponible, considerándose esta dos, como zonas exportadoras, y la Zona Este como importadora. Para el 2009 la Zona Sur Generó el 44.14% de la capacidad del sistema demandando un 35.33%; la Zona Norte Generó el 39.19% de la capacidad del sistema demandando un 28.38%; y la Zona Este Generó el 19.67% de la capacidad del sistema demandando un 27.41%.

Aunque en el país no existen importantes desarrollo a nivel comercial de generación distribuida, el avance de la energía limpia se ha convertido en una prioridad nacional. La Ley 57-07 establece una cuota del 25% de la energía renovable en el consumo final del país para 2025, y crea mecanismos de apoyo para incentivar los recursos de energía renovable con créditos impositivos integrales. Además, el gobierno recientemente declaró un objetivo de reducir las emisiones de efecto invernadero en un 50% por debajo de los niveles de 2010 para 2030.

Todas estas medidas, sumada a la reciente promulgación del procedimiento para la conexión de generación distribuida y el reglamento de medición neta, son una clara señal de cambio del sistema tradicional de producción y operación del sistema eléctrico. El potencial eólico y solar disponible en el territorio nacional tanto para el desarrollo de sistemas aislados como para interconexión con el sistema y para desarrollo como recursos distribuido, se ha traducido en el otorgamiento de concesiones para producir electricidad a partir de este tipo de energía, superior a los 1,900 MW. Como parte de dichas concesiones se han realizado estudios más detallados orientados a cuantificar el potencial de sitios específicos y evaluar la infraestructuras eléctricas existentes.

En la tabla a continuación se resume la potencia concesionada durante el periodo 2005 – 2012 por la CNE

Tabla 17. Concepciones Otorgadas para la Explotación de Energías Renovables (Resoluciones CNE, 2005 - 2012)

Año	Tipo de Concesion	Empresa Peticionaria	Potencia (50 MW)	Fuente de Producción	Zona	Observación
2005	Provisional	Generación Eólica Internacional, S. L. (GENI)	50	Eólica	Zona Sur	
2007	Definitiva	Grupo Eólico Dominicano, c. x a	50	Eólica	Zona Norte	
2007	Definitiva	Poseidón Energías Renovables, c. x a	100	Eólica	Zona Norte	
2007	Provisional	Jasper Caribbean Windpower L.L.C., Grand Cayman	115	Eólica	Zona Norte	
2008	Definitiva	Inversiones Dihue, S.A., Guájara	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Multigestiones Ofir, Isabel de Torres	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Inversiones Galloway, El Manantial	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Los Cuatro Vientos C. por A.	50	Eólica	Zona Norte	Caducada
2008	Provisional	W2E Resources, Biomasa	-	Biomasa	Zona Este	
2008	Provisional	Alisios de Monte Cristi	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	El Morro Eólico	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Aim Powergen Corporation	99	Eólica	Zona Sur	
2008	Provisional	Callot	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Inversiones Birhan	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Inversiones Tazaret, S.A.	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Inveravante Dominicana, S.A.	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Materiales Industriales Domingo (MATEINDOCA) .	50	Fotovoltaico	Zona Sur	
2008	Provisional	Natural Wind Energía Corporación	50	Eólica	Zona Sur	
2008	Provisional	Energías Alternativas, S.A.	50	Eólica	Zona Sur	Caducada
2008	Provisional	Royal London Investment , S.A	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Inveravante Dominicana, S.A.	50	Eólica	Zona Norte	
2008	Provisional	Inveravante Dominicana, S.A.	50	Eólica	Zona Norte	
2009	Provisional	Fluitecnik Solar, S. A.	50	Eólica	Zona Norte	
2009	Provisional	Renewable Energy, S. A.	50	Eólica	Zona Norte	
2009	Provisional	Dominicana Renovables; S. L.	50	Eólica	Zona Norte	Rechazada
2009	Provisional	Servicios Eléctricos Edgardo Camacho	50	Eólica	Zona Norte	
2009	Provisional	Solar Money República Dominicana, S. A	50	Eólica	Zona Sur	Caducada
2009	Provisional	Summerwisper Business Group, S. A	50	Eólica	Zona Norte	Caducada
2009	Provisional	Renewable Energy, S. A. Rensa	50	Fotovoltaico	Zona Norte	
2009	Provisional	Energías Renovables, , S. A	15	Biomasa	Zona Este	
2009	Definitiva	Parques Eólicos del Caribe, S. A.	50	Eólica	Zona Norte	
2009	Provisional	Consorcio Energético Punta Cana	50	Eólica	Zona Sur	
2009	Provisional	Generadora de Electricidad Haina, S. A.	50	Eólica	Zona Sur	
2010	Provisional	Generación Eólica de las Galeras, S. A. (GEGSA)	50	Eólica	Zona Norte	
2010	Provisional	Electrotex del Caribe, S. A.	60	Fotovoltaico	Zona Este	
2010	Provisional	Sunovia Energy Technologies, Inc.	100	Eólica	Zona Este	
2012	Definitiva	Koar Energy Dominicana	1	Biomasa	Zona Norte	
2012	Provisional	DOMINICAN EOLIC ENTERPRISE, S. R. L	12.5	Eólica	Zona Este	
2012	Provisional	PHINIE CORP. & CO. DEVELOPMENT, S. R. L.	9	Fotovoltaico	Zona Sur	
2012	Provisional	DELHI GLOBAL DG, S. R. L.	50	Fotovoltaico	Zona Norte	
2012	Provisional	INVERMIDAS IVM INVERSIONES, S. R. L.	50	Fotovoltaico	Zona Sur	
2012	Provisional	GESTAMP ASETYM SOLAR, S. L	57.96	Fotovoltaico	Zona Norte	
2012	Provisional	SHANTI INVESTMENT, S. R. L.	5	Hidroeléctrica	Zona Norte	
2012	Provisional	PHINIE CORP. & CO. DEVELOPMENT, S. R. L.	17	Fotovoltaico	Zona Sur	
2012	Provisional	RENSA RENEWABLE ENERGY, S. R. L.	50	Fotovoltaico	Zona Norte	
2012	Provisional	ENERGIA RENOVABLES EL LIMON, S. R. L	5	Hidroeléctrica	Zona Norte	
2012	Provisional	ISO FOTON, S. A	50	Fotovoltaico	Zona Este	
Potencia Total Concesionada 2005 - 2012			1,996			

De la tabla anterior, se observa que la gran mayoría de los contratos otorgado para la explotación de obras eléctricas a partir de fuentes renovables son de 50 MW o más, este nivel de potencia, de acuerdo a la definición de generación distribuida adoptada por la CNE, no se enmarca dentro del concepto propiamente dicho, por lo que el reto de la CNE, es otorgar contrato de explotación que incentiven el uso de estos recursos como generación distribuida.

En la República Dominicana, los planes a largo plazo del gobierno incluyen agregar una importante capacidad de energía eólica a escala de servicio público. Dos parques eólicos adyacentes, Juancho Los Cocos y Quilvio Cabrera, comenzaron a funcionar en el último trimestre de 2011. El proyecto combinado, ubicado en la frontera de las provincias de Pedernales y Barahona, tiene una capacidad instalada total de 33 MW y con potencial de expandirse hasta 75 MW. Dos proyectos adicionales, uno en Matafongo, Peravia, y el otro en El Guanillo, Montecristi, se espera que estén en línea a fines de 2013 o principios de 2014, con 80 MW de capacidad instalada.

En la actualidad, en el Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SENI) existe una capacidad conectada de generación distribuida de 298.75kw de tecnología fotovoltaica, 8.33 MW en mini hidroeléctrica y 7 MW en diesel, para un total de: 15.63 MW.

Tabla 18. Generación Distribuida por Zonas en la República Dominicana

Tecnología	Capacidad instalada Por Zonas de Distribucion (MW)			
	EdeSur	EdeEste	Edenorte	Total Instalado
Minihidraulica	1.38	-	6.95	8.33
Fotovoltaica	0.26	0.01	0.03	0.30
Pequeñas Turbinas	-	-	7.00	7.00
Total	1.64	0.01	13.98	15.63

Estas pequeñas centrales, aunque están conectadas a la red de distribución, son coordinadas por el operador del mercado (OC) y controlada por el estado a través del operador del sistema. Los desarrollos de generación distribuida a nivel comercial que mayor presencia ha tenido en los últimos tres años son los programas de medición neta entre las empresas de distribución y algunos consumidores, no superando la potencia total instalada los 300 KW.

Tabla 19. Programa Medición Neta por Zonas en la República Dominicana

Proyectos EdeSur		
Cliente	Municipio	KW
INGELAP ,SRL.	Distrito Nacional	6.60
MPG Y ASOCIADOS	Distrito Nacional	8.88
TRACE INTERNATIONAL	Distrito Nacional	72.00
TRACE INTERNATIONAL	Distrito Nacional	23.70
RES. JOSE DOMINGUEZ H.CASTAÑO	Distrito Nacional	15.84
RES. CARLOS JOSE SANTOS GOMEZ	Distrito Nacional	3.45
RES. ROSARIO MUSELLA COLLUCCI	Distrito Nacional	4.14
ESPAÑA DOMINICANA S. A	Distrito Nacional	20.70
CECOMSA	Distrito Nacional	22.80
RES. MARIA JOSE GONZALEZ DEL REY	Distrito Nacional	3.00
ORANGE DOMINICANA	Distrito Nacional	23.52
RES. EDUARDO ANTONIO VALERA	Bani	6.90
RES. SOCORRO ELENA DE LEROUX	Distrito Nacional	4.68
RES. JOSE FERNANDO ROLDAN	Distrito Nacional	2.80
GRUPO MALESPIN	Distrito Nacional	25.38
RES. JOSE GUSMAN IBARRA	Distrito Nacional	5.94
RES. OSCAR MARINO PEÑA	Ocoa, Azua	3.15
RES. JOSE MANUEL PEÑA	Ocoa, Azua	3.15
Total EdeSur		256.63
Proyectos EdeEste		
Cliente	Municipio	KW
Trace International S.R.L.	San Domingo Este	3.2
Trace International S.R.L.	La Romana	3.2
Trace International S.R.L.	Higüey	3.2
Trace International, NARCISO CEDANO CASTILLO	San Domingo Este	2.3
Total EdeSur		11.90
Proyecto en EdeNorte		
Cliente	Municipio	KW
Diana Estrella	Santiago	4.4
Juan Verdugo	Santiago	7.92
Sergio Guzmán	Santiago	8.1
Juan Batista	Santiago	8
Castellanos Capellán (Cristóbal Guzmán)	Santiago	1.8
Total EdeSur		30.22
Total EdeSur		298.75

La CNE define el Programa de Medición Neta como un servicio provisto por el Distribuidor a los clientes con sistemas de generación propia, que utilicen Fuentes Renovables de Energía, interconectados a sus redes de distribución de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 20 de la Ley 57-07. Este servicio permite el flujo de electricidad hacia y desde las instalaciones del cliente a través del medidor de facturación bidireccional. Al fin del periodo de facturación, el distribuidor cobrará el consumo neto del cliente, o acreditará el exceso por exportación de energía a su próxima factura. El programa está abierto a todos los tipos de clientes, residenciales, comerciales e industriales y la capacidad máxima de interconexión es de 25 KW para clientes residenciales y un (1) MW para los demás tipos de clientes.

3. Resumen y Conclusiones

Es real el avance de las energías renovables en el mundo y es innegable que en el futuro, este auge impacte en el esquema actual de los sistemas eléctricos. El desarrollo de los últimos años de las tecnologías de producción que utilizan recursos renovable como el sol y el viento, está siendo el punto de apoyo para desarrollar esquema de generación distribuida, a tal punto que ya muchos países han desarrollado regulaciones para integrar de manera eficiente este nuevo esquema de producción a los sistemas eléctricos tradicionales. Sin embargo, a pesar de que el uso de este nuevo esquema reporta beneficios indudables, para decidir el peso óptimo

que deben tener al integrarse como recurso distribuido, estos beneficios deben ponerse en contexto. Para ello, resulta necesario analizar los factores limitantes que hacen que la integración de generación a la red de distribución, deba ser estudiada y analizada.

Debemos destacar sin embargo, que a pesar de las perspectivas de crecimiento de las energías renovables y su uso generalizado como principal fuente de producción, no todo son ventajas. Existen importantes factores que limitan su expansión, como lo es aún su elevado costo y como consecuencia directa, los costes de generación por KWh de las distintas tecnologías de generación renovable aún están lejos de la paridad de red con otras tecnologías. Sin embargo, es importante señalar que en el caso de la fabricación de paneles solares y aerogeneradores, los costes de fabricación por unidad de capacidad, están disminuyendo de manera sostenida gracias a los esfuerzos que se están llevando a cabo. En general, esta disminución indica que en el futuro el coste de generación de las renovables se igualará a los precios de mercado sin necesidad de incentivos a la generación. Es tanto así, que la mayoría de los expertos pronostican que tanto la generación solar como la generación eólica, podrían alcanzar la paridad de red entre el 2015 y el 2020. Esto quiere decir que esta tendencia tiene que ser tomada muy en cuenta a la hora de diseñar y planificar políticas regulatorias en cuanto a los esquemas de incentivo para el desarrollo de estas tecnologías.

Otro de los factores limitantes que se mencionan frecuentemente lo constituye la intermitencia y difícil previsibilidad de las fuentes primaria de producción, esta limitación es muy relevante en la medida en que impide que fuentes renovables sustituyan a otras tecnologías de generación con capacidad para aportar de base.

Otro de los factores limitantes que es necesario considerar, es la inadecuada topología y forma de operación de la red de distribución. La topología actual y forma operación no es la más adecuada para aprovechar los emplazamientos de mayor potencial de generación de electricidad con energía renovable. Además, los cortes programado del suministro (Gestión a la Demanda) impide habilitar al consumidor final de electricidad como un agente activo con capacidad para gestionar proactivamente sus pautas de consumo y, eventualmente, de generación mediante uso de tecnologías altamente modulares.

Los estudios realizados hasta el momento demuestran el gran potencial eólico y solar en la superficie Dominicana y como resultados de esos estudios, se han otorgado contratos para la explotación de esos recursos. La Comisión Nacional de Energía, que es la encargada de asignar los derechos de explotación de obras eléctrica, ha otorgado los derechos a diferentes empresas para la instalación de más de 1,900 MW de energía renovable, en su gran mayoría eólica y solar, sin embargo, el nivel de potencia establecido en los contratos, de acuerdo a la definición de generación distribuida adoptada por la CNE, no se enmarca dentro del concepto

propiamente dicho, por lo que a nuestro juicio, el reto de la CNE y otros órganos reguladores, será otorgar contrato de explotación que incentiven el uso de estos recurso como generación distribuida, además del reto de las empresas eléctricas de invertir en la reconfiguración de las redes y mejorar la calidad del servicio, como forma de aprovechar al máximo la conexión de generación como recurso distribuido.

Como conclusión final de este apartado, destaca el carácter aleatorio de las tecnologías que son objeto de este trabajo, y por lo tanto, aprovecharlo como recurso distribuido, implica una gestión activa de las redes. La topología de la red y la planificación de la operación deben permitir su aprovechamiento cuando la disponibilidad del recurso lo permita, por lo tanto no tendría sentido incentivar el uso de generación distribuida sin antes hacer las adecuaciones que sean necesarias para aprovecharla de manera eficiente. Al no existir económicamente los medios de almacenamiento que permitan un uso posterior de esta energía, la misma deberá ser despachada (utilizada) cuando la disponibilidad del recurso lo permita, en ese sentido se destaca un aspecto de suma importancia a tener en cuenta para el caso particular de la República Dominicana, como lo es el relacionado a la programación de los cortes del suministro del servicio por parte de las empresas distribuidora, a nuestro juicio, una mayor integración de generación distribuida, necesariamente tiene que ir de la mano con una mejora en la calidad del servicio (eliminar cortes programado) y una nueva reconfiguración de las redes de distribución que permitan el acceso a este nuevo esquema de producción, por lo tanto, encontrar un sitio viable para generación eólica o solar requiere equilibrar el recurso disponible en el lugar con su proximidad a una infraestructura existente. Los temas operativos también influyen sobre la flexibilidad general de la red, debido a que existen muchas situaciones donde no se puede acceder a la generación flexible existente debido al marco institucional o a las reglas de programación de la red. Si los códigos de la red no están diseñados para incluir energía eólica y solar FV, los operadores de la red pueden, por ejemplo, reducir la energía renovable más de lo necesario.

Capítulo 4
Impacto de la Generación Distribuida en
las Redes de Distribución

Capítulo 4. Impacto de la Generación Distribuida en las Redes de Distribución

1. Introducción

En el desarrollo del presente capítulo, centraremos nuestra atención en evaluar los impactos producidos en la red, tanto técnicos como económicos al integrar GD. En ese sentido, para poder cuantificar estos impactos, será necesario conocer las características y perfiles de producción de cada una de las tecnologías utilizadas y las condiciones de operación de las redes de distribución que suplen una determinada demanda. Los impactos serán analizados atendiendo a tres tipos diferentes de configuraciones de redes, una red urbana, una red rural y una combinación de las dos anteriores. Para el caso particular de este trabajo, solo consideraremos redes aéreas. Además se consideran los niveles de tensión ya definido en el capítulo 2, el escenario definido es un solo, debido a que la curva de demanda es prácticamente plana por los cortes programados (gestión a la demanda) que ejecutan cada una de las empresas distribuidoras y la gran cantidad de dispositivos de emergencias para suplir la energía no servida (plantas e inversores)

Las tecnologías de producción que son objeto de estudio en este trabajo (eólica, solar FV) son fuentes de generación variable (GV), cuya producción de energía tiene carácter aleatorio y como consecuencia directa de esa aleatoriedad, su uso introduce implicaciones desde el punto de vista de control, y dispersión de su producción.

A diferencia de las demás tecnologías, las fuentes renovables van estar ubicadas donde las condiciones y disponibilidad del recurso o fuente primaria de producción lo permitan (agua, viento, sol), lo que significa que no pueden almacenar su fuente de combustible y que sin un almacenamiento asociado, no pueden ser enviadas, ni se les puede ordenar que generen energía en respuesta a cambios en la demanda. Por lo tanto, ambas tienen desafíos técnicos particulares en relación a la conexión e integración en la red de distribución.

Los impactos asociados a la conexión de GD al sistema eléctrico, serán analizado atendiendo a esas características particulares de producción de la energía eólica y solar, a la forma pasiva de operación de los sistemas de distribución y las condiciones actuales de operación de las redes de distribución de la República Dominicana (considerando la gestión de la demanda y los altos niveles de pérdidas de energía). La conexión de fuentes de energía (GD) en las redes de distribución modifica la actual estructura del sistema de distribución, produciendo una serie de impactos propios de la reconfiguración de la arquitectura de la red y de la modificación de los flujos de las corrientes por las líneas.

2. Impacto de la Generación Distribuida en las Redes de Distribución

En general, las redes de distribución han sido planificadas y diseñadas siguiendo un esquema radial, para suministrar potencia desde un alimentador principal, generalmente ubicado en un punto fijo (subestación) y con una determinada carga de diseño, casi siempre superior a la demanda conectada a dicho alimentador. Ese esquema con características radial, supone un flujo unidireccional, desde la subestación hacia los consumidores.

Al conectar cualquier fuente adicional de producción de energía en diferentes puntos de la red de distribución, el funcionamiento del esquema tradicional, sufre alteraciones que modifican el funcionamiento del sistema en su conjunto, debido principalmente a la modificación que sufren los flujos de potencia por dichas redes, tanto en su magnitud como su dirección. Debido a esas variaciones en los flujos, la conexión de GD, provocan unas series de impactos tanto técnicos como económicos que deben ser considerados en el diseño y explotación de generación distribuida

Un aspecto importante y que debe ser considerado para aprovechar al máximo la producción de las tecnologías que se utilizan como generador distribuido, es el relacionado a su perfil de producción, ya que en función de las características técnicas y la disponibilidad del recurso de cada tecnología en particular, se producirán impactos diferentes en la red donde se inyecta la energía producida. Para los casos que son objeto de estudio en este trabajo (Eólica, Solar), será de suma importancia considerar este aspecto a los fines de modelar y cuantificar de manera consiente el impacto de cada una.

Los principales aspectos a considerar y que pueden tener consecuencia directa al conectar generación distribuida son los siguientes:

- Impacto en las pérdidas de energías (pérdidas técnicas).
- Impacto en el perfil de tensión
- Impacto calidad del suministro
- Impacto en la potencia de cortocircuito
- Seguridad del personal de mantenimiento
- Impacto en la operación y explotación de la red
- Impacto sobre las inversiones de red
- Impacto en las regulaciones vigentes
- Impacto en las tarifas

2.1. Impacto en las Pérdidas

La inyección de energía en las redes de distribución en puntos diferente, adicional a la barra del alimentador principal en la subestaciones, introduce variación en los flujos de las corrientes que circulan por éstas, y como consecuencia directa, impactan en las pérdidas que se producen por efecto joule. Este impacto puede ser o no beneficioso dependiendo del punto de suministro y de la inyección de la cantidad de energía en la red. Cuando la conexión de generación distribuida abastece localmente la demanda, los flujos desde el alimentador principal disminuyen y por lo tanto las pérdidas por efecto joule también disminuyen. En caso de que la energía inyectada alcance niveles elevados de penetración de GD, los flujos pueden invertirse pudiendo llegar a producir mayores pérdidas que cuando no existe GD.

El Impacto que la generación distribuida puede ocasionar en la red de distribución es muy variado y en particular el efecto que produce sobre las pérdidas va a depender de varios factores y muy particularmente de la topología y estructura de la red, así como de la forma de operación y manejo de la demanda.

Entre los factores más importantes a considerar a la hora de cuantificar el impacto sobre las pérdidas podemos destacar:

- El punto de ubicación de la generación distribuida en la red
- El grado de penetración de la generación distribuida
- El perfil de la demanda
- El tipo de tecnología utilizada
- La topología, estructura y operación de la red

La ubicación de la generación distribuida en la red juega un papel muy importante, ya que mientras más cerca a los lugares de consumo, mayor reducción en los niveles de pérdidas se tendrá.

El grado de penetración indica la cantidad óptima de generación distribuida a inyectar en las redes, en la medida que aumenta la cantidad de generación distribuida en la red, se puede llegar a un punto donde las pérdidas pueden aumentar si se llegara a exceder ciertos niveles de generación. Si intentamos aproximar matemáticamente el grado de penetración con las pérdidas, se obtienen curvas en forma de U (*Mendez, 2005*)

Las curvas tipo U, representan las pérdidas frente a nivel de penetración de GD. En ese sentido se entiende por nivel de penetración de GD a:

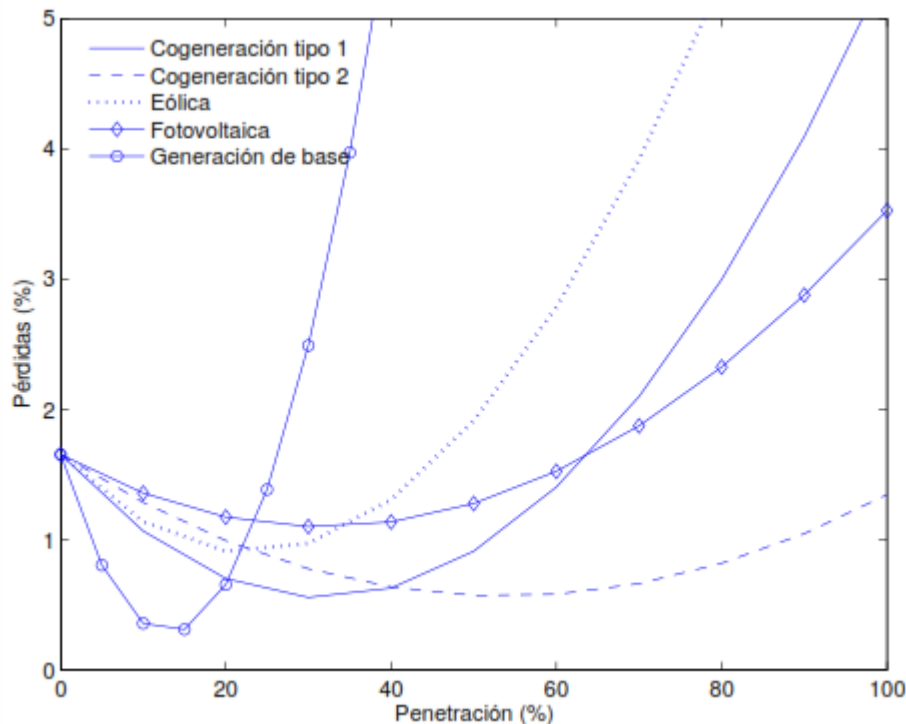
Potencia Instalada de GD

Penetración (%) =

Potencia Contratada del Alimentador

La figura 21 muestra el comportamiento de las pérdidas para distintas tecnologías de generación distribuida

Figura 21. Comportamiento de las Pérdidas para Distinta Tecnología (Mendez, 2005)



Inicialmente las pérdidas disminuyen hasta alcanzar un valor mínimo y luego se incrementan llegando incluso a superar el valor existente en el caso cuando no hay GD conectada.

2.2.Impacto en los Perfiles de Tensión

Los sistemas tradicionales de distribución, en donde la tensión de alimentación de los diferentes centros de transformación es proporcionada de forma radial y desde un único alimentador principal (desde la subestación). Las tensiones descerecen en la medida en que la distancia de la red aumenta y se introducen nuevas cargas a las mismas.

La conexión de generación distribuida a las redes de distribución, impacta en el perfil de tensiones de red debido principalmente a que se suministra demanda de manera local, sustituyéndose la distancia entre el alimentador principal de la subestación y los centros de consumo, y también a la inyección o consumo de

energía en la red. En el primer caso se produce una disminución en la caída de tensión y en el segundo caso las tensiones de red estarán influenciadas dependiendo de la cantidad de energía que se inyecta o se consume, provocando este comportamiento que se presenten las siguientes situaciones:

- a) Que la GD suministre energía activa y reactiva.
- b) Que la GD suministre energía activa y consuma energía reactiva.
- c) Que la GD suministre energía activa y no suministre ni consuma energía reactiva.

El impacto que tiene la generación distribuida en el control de tensiones, está ligado a las situaciones antes descritas. El impacto de subir o bajar tensiones dependerá de donde se conecta el generador distribuido y del tamaño de este.

Las ecuaciones que relacionan las potencias inyectadas, activas y reactivas en un nudo de la red con la tensión de dicho nudo, estarán determinada por las siguientes ecuaciones de acuerdo a su equivalente de Thévenin

$$P+kQ = -Vs\sin\alpha$$

$$Q+kP = V^2-V\cos\alpha$$

Donde V es la tensión en p.u. y k es el ratio R/X,

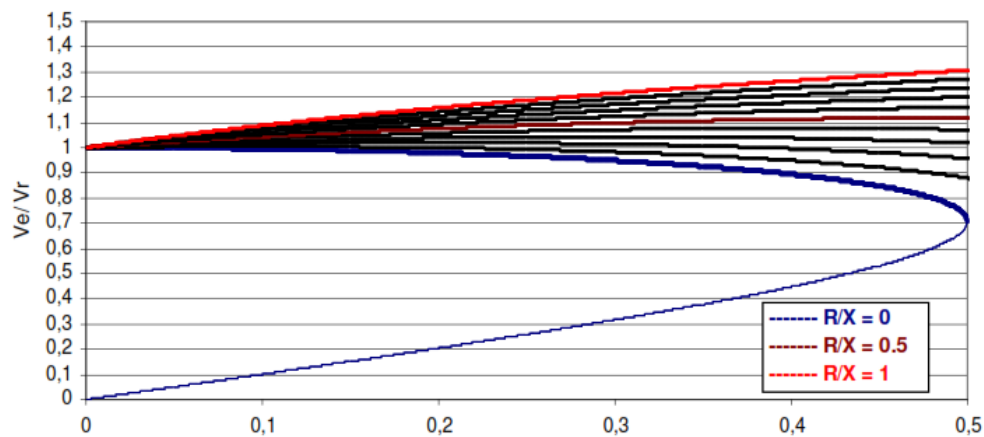
Eliminando el desfase α entre ambas ecuaciones, se obtiene la curva PV en el punto de inyección de potencia, teniendo en cuenta en este caso que tanto P como Q son potencias inyectadas en el nudo de conexión:

$$V^2 = 0.5 + Q - kP \pm \sqrt{0.25 + Q - kP - (P - kQ)^2}$$

El hecho de que la GD pueda suministrar o consumir energía reactiva depende de la tecnología del generador (síncrono, asíncrono o inversores) y de las señales económicas que le incentiven en una u otra dirección (suministro o consumo de reactiva). En general, las distribuidoras suelen exigir que la GD opere a un factor de potencia cercano a la unidad (que no suministre ni consuma energía reactiva), despreciando la posibilidad de ayuda en el control de tensión que puede ejercer la GD.

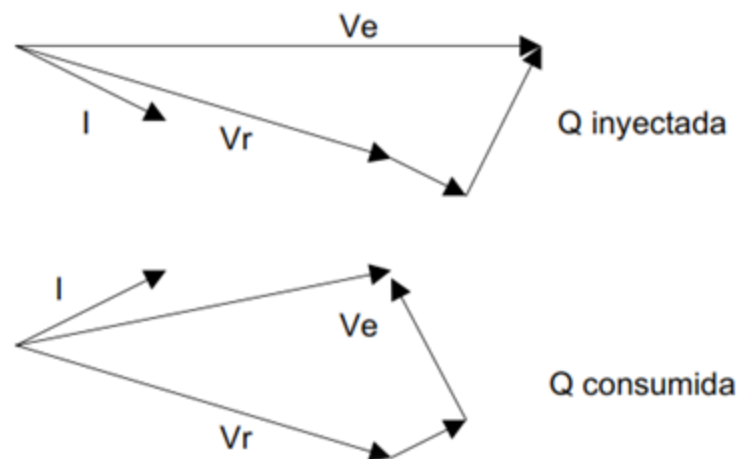
La figura 22 muestra cómo varía la tensión al aumentar la potencia inyectada, para distintos valores de k ($k = R/X$) y suponiendo factor de potencia unidad ($Q = 0$).

Figura 22. Curvas PV para Distintos Valores del Ratio R/X.



Cuando la resistencia es despreciable frente a la reactancia, el incremento de la potencia inyectada implica una caída de tensión en el punto de inyección. Con el aumento del ratio R/X es cuando aparecen sobretensiones en el punto de conexión debido a la inyección de potencia. En ese sentido, la inyección de potencia reactiva junto a la potencia activa no hace sino empeorar el problema de las sobretensiones, siendo necesario consumir potencia reactiva (intensidad inyectada en adelanto respecto a la tensión) para mantener las tensiones en niveles aceptables, como se muestra en el siguiente diagrama vectorial representado en la figura 23

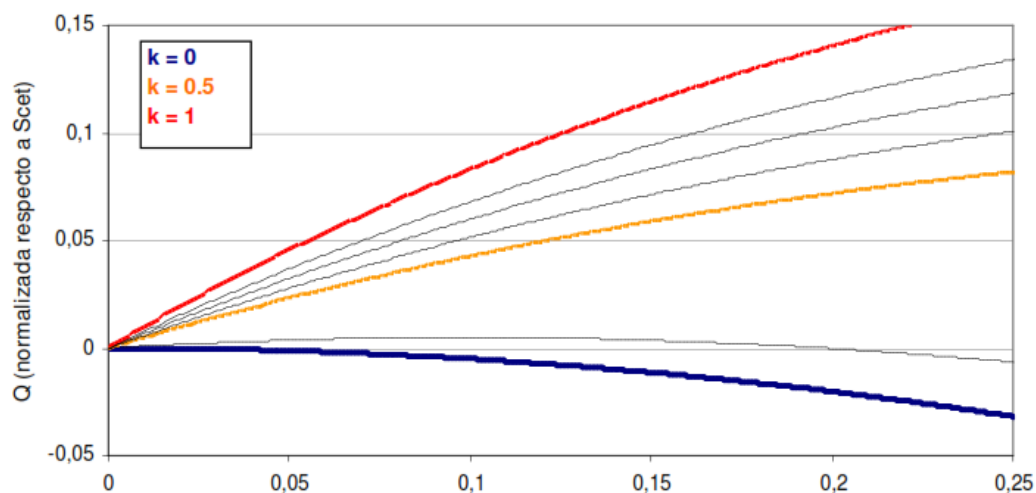
Figura 23. Diagrama Vectorial para Intensidad en Retraso y en Adelanto.



Un aspecto relevante desde el punto de vista del control de la generación distribuida para mantener la tensión en el punto de conexión a niveles aceptables, consiste en cuantificar la potencia reactiva que es necesario generar o consumir. La Figura 24 presenta la potencia reactiva que es necesario consumir para mantener la tensión al valor nominal, para distintos valores del ratio R/X .

Como ya se ha comentado anteriormente, con valores de $R = 0$ es necesario inyectar potencia reactiva para evitar problemas de tensiones bajas. No obstante, incluso con valores reducidos de $k = R/X$ ya es necesario consumir potencia reactiva para evitar sobretensiones. La potencia reactiva necesaria aumenta rápidamente con k para una misma potencia activa generada, siendo necesario disponer de recursos de potencia reactiva consumida que pueden llegar a ser una fracción importante de la potencia nominal de la instalación.

Figura 24. Potencia Reactiva Necesaria para Mantener la Tensión en el Punto de Conexión al Valor Nominal, para Distintos Valores del Ratio R/X .



2.3. Impacto Calidad del Suministro

Desde el punto de vista de los aspectos técnicos de la calidad del suministro, es decir, continuidad del suministro y calidad del producto, la GD puede tener un impacto que debe ser adecuadamente valorado. Desde el punto de vista del suministro eléctrico, la calidad del servicio se caracteriza por tres aspectos diferenciados:

1. La continuidad del suministro, medida por el número y la duración de las interrupciones del suministro eléctrico.
2. La calidad del producto o de la onda de tensión, medida por las diferentes perturbaciones que afectan a los parámetros ideales de la onda de tensión: variaciones de la magnitud de la tensión, oscilaciones periódicas del valor de la tensión, armónicos, interrupciones breves del suministro (de duración inferior a tres minutos), etc.
3. La atención comercial, medida por indicadores tales como, tiempo de espera para obtener la conexión a la red de un nuevo cliente desde que éste lo solicitó, tiempo de respuesta a los reclamos que presentan los clientes

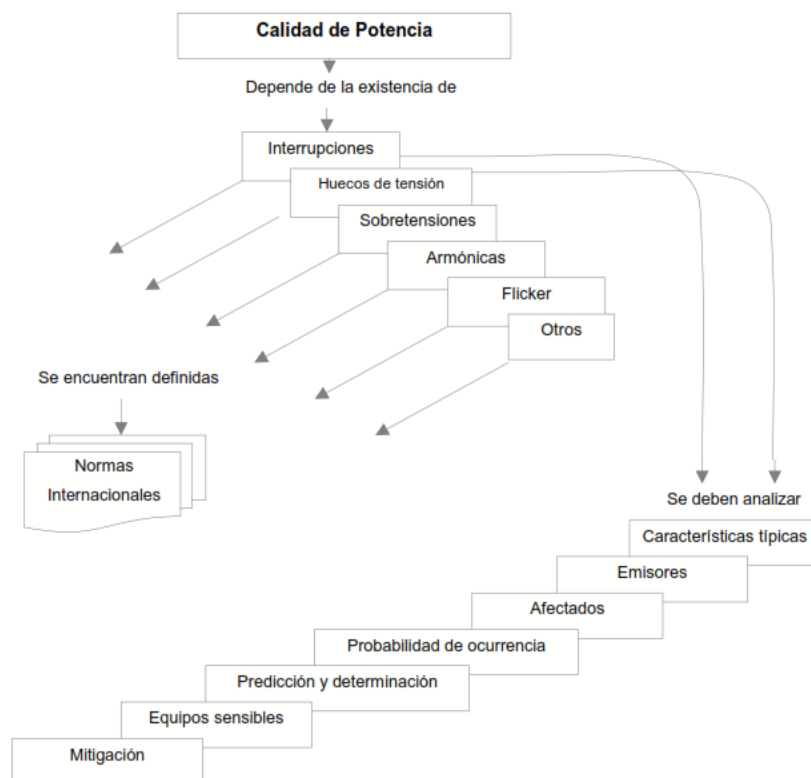
afectados por mala calidad, número de facturaciones con base en estimación de la lectura del contador en lugar de la lectura real, etc.

En lo relativo a continuidad de suministro, la GD, por sus características aleatorias de producción y por ser una energía no almacenable comercialmente en los actuales momentos, puede fallar con una determinada tasa de avería, su fallo podrá afectar al funcionamiento de otros consumidores conectados en la misma red y por tanto aumentar los índices de indisponibilidad de la compañía distribuidora. En el lado opuesto, si la GD permitiera ser controlada por la compañía distribuidora, la GD podría ser utilizada para dar energía de apoyo a los consumidores cercanos en el caso de una avería en la red, bien bajo funcionamiento en isla o bien conectada a través de una alimentación de emergencia. En este último caso, por el contrario se podrían mejorar los índices de continuidad de la distribuidora.

Con relación a la calidad del producto, en aspectos tales como mantenimiento de tensiones dentro de márgenes, emisión de perturbaciones, tales como flicker o armónicos, etc., el impacto de la GD es muy variado, dependiendo fundamentalmente de la tecnología y de su interfaz de acoplamiento con la red. Así por ejemplo generadores cólicos, basados en generadores asíncronos, pueden introducir flicker por las oscilaciones de potencia generada debidas a las variaciones del viento; o también pueden provocar problemas de tensión asociados a la falta de control de la potencia reactiva consumida. Ambos fenómenos se pueden mejorar si se utilizan generadores asíncronos con rotor doblemente alimentado. Otro ejemplo lo constituyen las células fotovoltaicas que necesitan un convertidor de potencia para pasar la energía eléctrica generada en corriente continua a corriente alterna y verterla en la red. Estos convertidores deben llevar asociados filtros para eliminar la emisión de corrientes armónicas que, de no ser así, serían inyectadas en la red de la distribuidora.

La figura 25 muestra un mapa conceptual con las principales causas asociadas que afectan la calidad del producto.

Figura 25. Principales Causas Asociadas que Afectan la Calidad del Producto



Para el caso particular de la República Dominicana, este impacto (**Impacto Calidad del Suministro**) debe ser valorado y ponderado atendiendo a las características de operación y funcionamiento del servicio de distribución por parte de las empresas distribuidoras. En la actualidad no se incentiva a las empresas a mejorar la calidad del servicio a los usuarios finales y por lo tanto el impacto positivo de la GD en ese aspecto no podría ser cuantificado, además de que el servicio eléctrico está matizado por cortes programado del suministro (Gestión a la Demanda), lo que se contrapone al carácter aleatorio de producción y no almacenamiento de la GD.

Otro aspecto a considerar es la proporción de fallos que se producen en las redes de distribución en relación a la red de transporte. Para el año 2010 y 2011, más del 90% de los cortes de suministro debido a fallas en la red, fueron ocasionados por la red de distribución. En la tabla 20 se muestran los cortes del servicio eléctrico de los años 2010 y 2011 para una cantidad determinada de circuitos de la empresa EDEESTE.

Tabla 20. Detalles de Interrupciones Circuitos EDEESTE

Resumen Calidad Servicio	2010				2011			
Circuito	Interrupciones	% EdeEste	% Gestión Demanda	Int/Día (2010)	Interrupciones	% EdeEste	% Gestión Demanda	Int/Día (2011)
CAPOTILLO, NO 10	1,016	85%	77%	2.78	1,158	98%	87%	3.17
VILLA DUARTE, NO 1	528	81%	58%	1.45	789	92%	84%	2.16
RECLOSER VILLA DUARTE, NO 1D	470	88%	49%	1.29	992	93%	67%	2.72
EL BRISAL, NO 3	958	90%	58%	2.62	826	99%	76%	2.26
EL BRISAL, NO 5	1,036	88%	65%	2.84	825	99%	69%	2.26
EL BRISAL, NO 6	963	90%	77%	2.64	1,339	99%	90%	3.67
RECLOSER HIPICA	1,040	91%	70%	2.85	1,392	99%	86%	3.81
LOS MINA 138, NO 3	336	81%	44%	0.92	266	83%	42%	0.73
RECLOSER SABANA LARGA	365	90%	47%	1.00	287	98%	44%	0.79

Fuente: Detalles de Interrupciones 2010 - 2011

Cabe destacar, que la red de transporte está estructurada de forma tal que se garantiza la estabilidad y seguridad del sistema, mientras que la red distribución está destinada a garantizar calidad del servicio que perciben los clientes

2.4. Impacto en la potencia de cortocircuito

El tipo más frecuente y peligroso de una falla es el cortocircuito, que origina grandes incremento de corriente y reducciones de voltaje en los elementos del sistema, lo que puede dañar los equipos por sobrecalentamiento y afectar por bajo voltaje la operación normal de los consumidores y el sincronismo de los generadores del sistema. Los cortocircuitos son las fallas más violenta y peligrosa, la magnitud de las corrientes que alimentan el punto de la falla depende de las características de la red.

2.5. Operación y Mantenimiento

Uno de los aspectos que deberán ser tratado con mayor cuidado y considerando la forma en que son operada las redes del sistema de distribución de la República Dominicana, es lo concerniente a la seguridad del personal de mantenimiento. En este caso, es fundamental poder asegurar que las instalaciones que van a ser manipuladas se encuentran convenientemente desenergizadas y conectadas a tierra. La integración de generación distribuida implica la operación no controlada directamente por el distribuidor, ocasionando esta condición problemas desde el punto de vista de la seguridad. En ese sentido, la regulación deberá contemplar la exigencia de mecanismo de protección automática, que permita que se desconecte de la red en ausencia de la tensión de alimentación aguas arriba. En este caso, se deberá llegar a un sistema más flexible de operación y control que, al mismo tiempo, garantice en todo momento la seguridad de las personas en caso de intervenciones en la red, sin perjudicar los intereses económicos del generador.

La posibilidad de que la GD energice parte de la red plantea una serie de problemas desde el punto de vista de aislamiento y puesta a tierra durante trabajos de mantenimiento. Cuando curre una falta y el personal de mantenimiento acuden a

repararla, puede suceder que la falta esté siendo alimentada por la GD con el consiguiente peligro para la seguridad de las brigadas

La presencia de GD también influye en la flexibilidad de los planes de mantenimiento ya que es necesario coordinar dichos planes con la GD para que éstos se desarrollen sin ningún inconveniente.

El impacto más frecuente se produce al abrir el alimentador principal de la subestación y la salida de baja tensión de los centros de transformación, este impacto deberá ser controlado mediante el fiel cumplimiento de las cinco reglas de oro para trabajos sin tensión.

Figura 26. Cinco Reglas de Oro para trabajo sin Tensión



Los sistemas eléctricos tradicionales están diseñados para que el flujo de energía sea de las SS/EE hasta los consumidores en MT y BT, sin embargo, esta hipótesis de diseño ha cambiado con la integración de GD en las redes de distribución. En ese sentido, si no se toman acciones correctoras, la GD puede potencialmente causar problemas, incluso poner en riesgo la seguridad del trabajo. Para minimizar los riesgos se requiere un exhaustivo análisis de ingeniería de los criterios de operación y protección de las redes eléctricas.

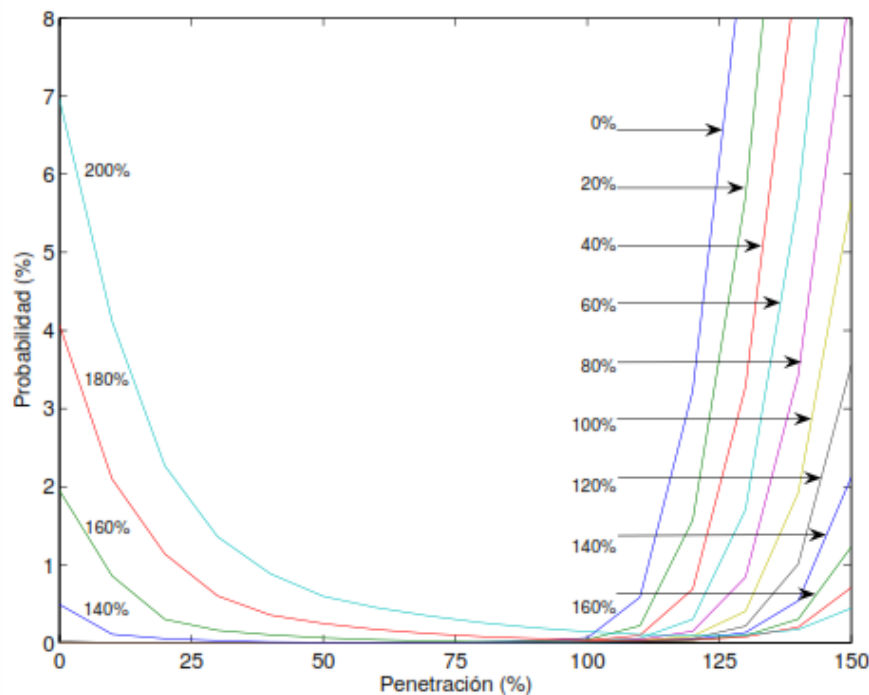
2.6. Impacto en las Inversiones

Niveles de penetración elevados de GD podrían tener un gran impacto en la operación y planificación de redes de distribución. Las redes de distribución se diseñan con amplio margen de operación, sin embargo, la conexión de nuevas generación implica necesariamente para algunos casos, un rediseño de la red en el momento de la conexión de la GD. Esto se debe a que generalmente las redes de

distribución se diseñan sin tener en cuenta la posibilidad de que se conecte GD por lo que cualquier modificación del diseño original puede ocasionar nuevas inversiones. Otro aspecto muy importante lo es el hecho de que una vez instalada la GD, ésta puede suministrar demanda localmente, abriendo la posibilidad de conexión de nuevos consumidores sin necesidad de reforzar el alimentador. Esto se traduce en que la GD puede llegar a ser una alternativa para cubrir el crecimiento de la demanda en lugar de reforzarla red.

Se han realizados estudio que abordan el tema de las inversiones al considerar generación distribuida en la red de distribución atendiendo al grado de sobrecarga de las instalaciones en función de la penetración de generación distribuida en la red de distribución, llegando a tener la potencialidad de prorrogar inversiones. En general, el aumento de la penetración de la GD disminuye la probabilidad de sobrecargas en el alimentador. Sin embargo, si el aumento de la penetración de la GD alcanza valores excesivos, este comportamiento se puede invertir, dando origen a nuevas inversiones.

Figura 27. Aumento de sobrecargas debido a la alta penetración de la GD



La calidad de adaptación entre el perfil de producción de la GD y el perfil de demanda del alimentador determina el impacto de la GD en las inversiones. Por otra parte el impacto de la GD sobre las inversiones de redes se relaciona también con el diseño de nuevas redes, obligando a las empresas distribuidoras a incluir la GD en el proceso de planificación de las redes como una variable de decisión más. Si la GD se incluye en dicho proceso, se modificará el diseño de las redes de distribución y por consiguiente las inversiones. Este nuevo aspecto de considerar la GD dentro de los

planes de expansión de las empresas distribuidoras, obliga a modificar la forma tradicional de operación de sus redes, requiriendo nuevos diseños de infraestructura.

Capítulo 5
Caso de Estudio

Capítulo 5. Caso de Estudio

1. Introducción

Para la aplicación del caso de estudio, analizaremos los resultados obtenidos en estudios similares llevados a cabo en otros países. En ese sentido, el primer paso será definir las características de las redes tipos de la República Dominicana y compararla con redes tipos de otros países tomado como referencia. Es importante identificar las características de las redes que se toman como modelos para la aplicación del caso de estudio, ya que son esas características la que definirán las similitudes de operación entre tipos de redes de un país y otro, para luego escalar los resultados obtenidos a las redes de la República Dominicana.

El primer punto será identificar los tipos de redes de distribución de la República Dominicana (rural, urbana), para tales fines se considera la ubicación geográfica, la concentración y tipo de clientes enmarcarla dentro una zona en particular, ya sea una rural o una zona urbana. Para este caso tomaremos circuitos de distribución reales actualmente en operación de la empresa EdeEste y se generalizaran los resultados para las demás empresas de distribución de la República Dominicana.

2. Redes típicas de Distribución de República Dominicana

La distribución de electricidad en la República Dominicana es responsabilidad de tres empresas de distribución que distribuyen electricidad con carácter de exclusividad en cada una de las zonas geográficas legalmente concesionadas. La red de distribución comprenden las instalaciones en media y baja tensión destinadas a transferir electricidad, desde el seccionador de barra del interruptor de alta del transformador de potencia en las subestaciones de distribución, hasta el medidor de energía de los clientes dentro de la zona de concesión.

La operación de la red es radial, desde el alimentador principal en la subestación hasta la carga. En el capítulo 2, se destacan los niveles de tensión actualmente en operación en el sistema eléctrico de la República Dominicana. Las redes que consideramos para el análisis corresponden a redes en MT conectadas en 12.5KV, los parámetros eléctricos de operación de la red están especificados en el reglamento de aplicación de la ley general de electricidad. La operación de control de voltaje se efectúa a fin de mantenerlo dentro del rango establecido, para distribución en zonas urbana el límite permitido de variación es de $\pm 5\%$ y para la distribución rural $\pm 10\%$. El control de las tensiones para mantenerla entre los límites establecidos se realiza mediante el cambio de las toma de los transformadores o a través de la instalación de banco de capacitores.

3. Tipos de Redes

Las redes de distribución en MT se diseñan atendiendo a las características de los clientes y ámbito geográfico o zona de influencia de la red (urbana, rural). Los grandes núcleos de carga se concentran en las principales ciudades, por lo tanto, los diseños de redes en media tensión corresponden en su gran mayoría a redes urbanas con un componente mínimo de redes rurales. Para el caso particular de la zona este del país, las redes en MT del tipo rural representan el 25% de las redes, sin embargo, la potencia que manejan solo representa el 10% o menos de la potencia total de las redes. Existe un bajo porcentaje de redes que alimentan zonas combinadas (rural, urbana), sin embargo para objeto del análisis no son consideradas, ya que la tendencia en el corto y mediano plazo es al uso de redes urbanas y rurales únicamente.

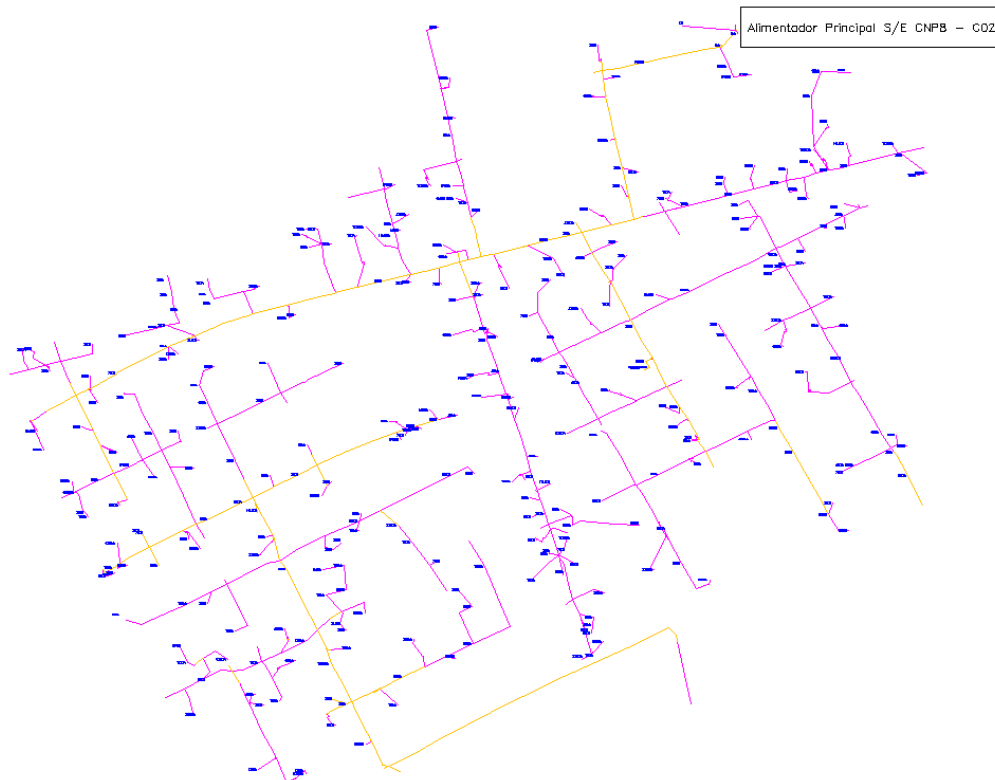
En la actualidad no existe un documento oficial en la República Dominicana que separe los diferentes tipos de redes más comunes que se pueden encontrar en el sistema de distribución. En ese sentido, para hacer una aproximación más exacta de la realidad, se han seleccionado dos tipos de zonas características para la distribución de la energía. La selección de cada red tipo corresponden a circuito de distribución actualmente en operación de la empresa EdeEste (Empresa Distribuidora de Electricidad del Este) que tiene carácter de exclusividad de la distribución de la electricidad en toda la zona este de la República Dominicana, sin embargo, por la similitud en las redes con las demás zonas del país (sur, norte), los resultados se pueden generalizar y ser utilizado como un referente.

3.1. Selección de Redes Tipos

3.1.1. Redes Urbanas de Tipo 1 (predominantemente residencial)

Para definir las características de este tipo de red, se ha seleccionado la configuración representada en la figura 28. Es un tipo de configuración de red aérea en MT utilizadas para alimentar grandes concentraciones de cargas en zonas geográficas densamente poblada con edificaciones continua y en altura y con consumo predominantemente residencial.

Figura 28. Red Predominantemente Residencial, Circuito No.2 de la S/E Cesar Nicolás Penson – Empresa EdeEste



- De la figura 28 se derivan las siguientes conclusiones:

Las líneas de color amarillo se utilizan como eje principal o troncal. A este eje o línea principal se conectan líneas derivadas (líneas rosadas) formada por conductores de menor diámetro, de las líneas derivadas también se subderivan líneas de menor diámetro destinadas a alimentar los diferentes centros de transformación (puntos azules), los que a su vez alimentan los diferentes consumos de los clientes conectados.

En el tabla 21 se presentan los valores de diseño y demanda del circuito de la figura 28. Estos valores corresponden a datos reales del circuito del mes de julio de 2012, (KPIs EdeEste, Julio 2012)

Tabla 21. Valores del Circuito

Red Urbana Residencial	Valores
Carga Instalada (KVA)	37,230.00
Demanda Max (KVA)	10,203.12
Demanda Prom (KVA)	5,532.72
Factor de Potencia	0.95
Factor de Carga	0.54
Factor de Demanda	0.27
Tipo Conductor Línea Principal	CAIRO 465.4 MCM AAAC
Tipo Conductor Línea Derivadas	4/0 AAAC
Tipo Conductor Línea Subderivadas	2/0 - 1/0 AAAC
Área Servida (Km2)	1.31

- Perfil de la Demanda

Figura 29. Curva de Demanda Mensual – Red Urbana Residencial

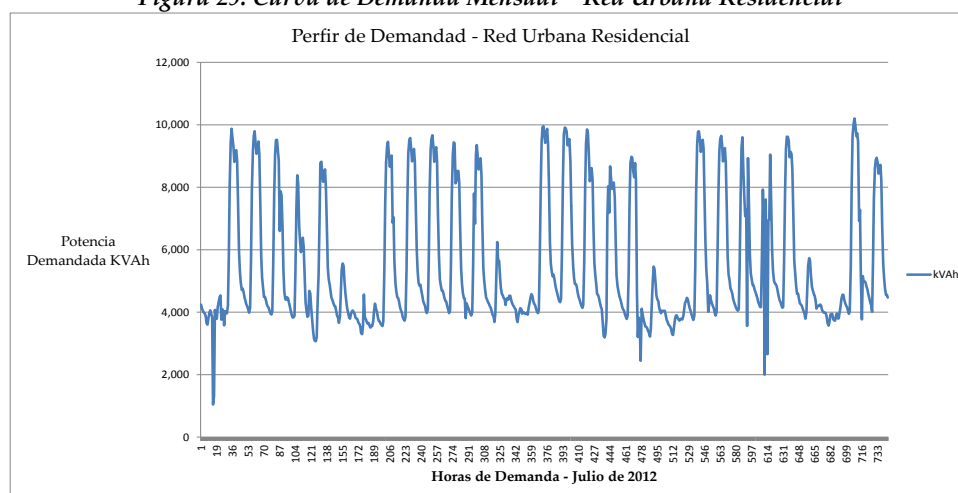
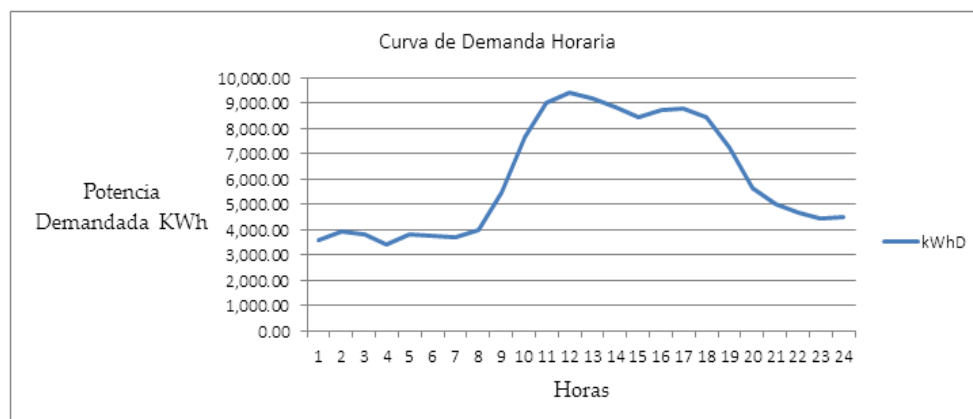


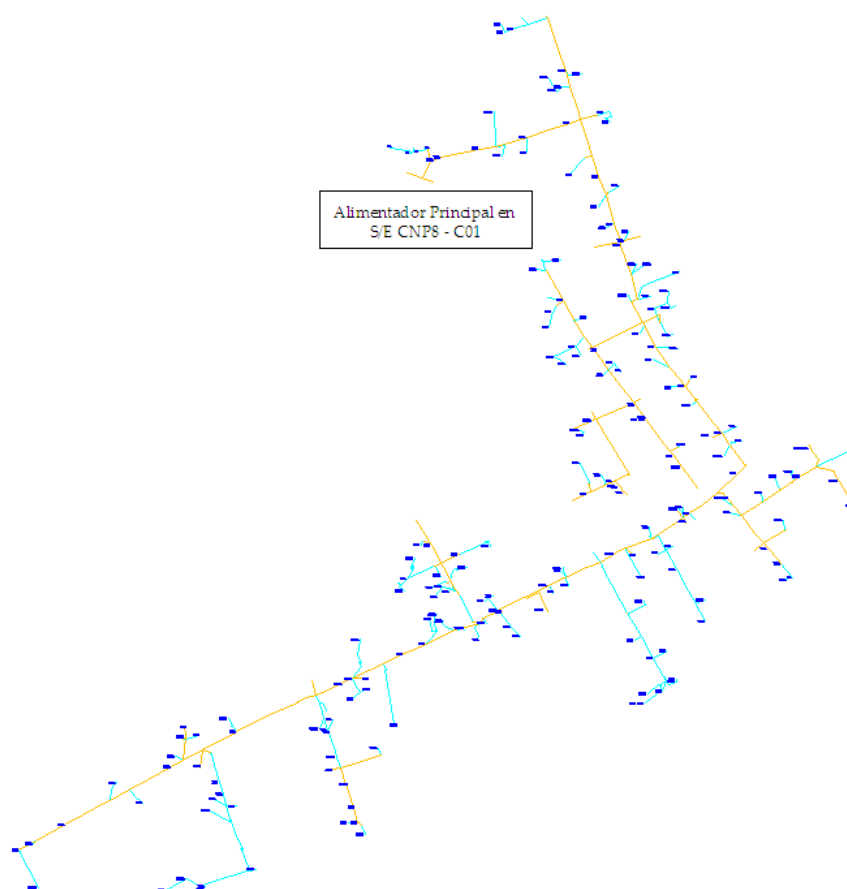
Figura 30. Curva de Demanda Diaria – Red Urbana Residencial



3.1.2. Redes Urbanas de Tipo 2 (predominantemente comercial industrial)

Para definir las características de este tipo de red, se ha seleccionado la configuración representada en la figura 31. Es un tipo de configuración de red aérea en MT utilizadas para alimentar concentraciones de cargas en zonas geográficas industrial y comercial. En cuanto a la arquitectura y diseño de la red, es semejante a la del tipo rural residencial.

Figura 31. Red Predominantemente Comercial Industrial, Circuito No.1 de la S/E Cesar Nicolás Penson – Empresa EdeEste



- De la figura 31 se derivan las siguientes conclusiones:

Las líneas de color amarillo se utilizan como eje principal o troncal, a este eje o línea principal se conectan líneas derivadas (líneas azules) formada por conductores de menor diámetro, de las líneas derivadas también se subderivan líneas de menor diámetro destinadas a alimentar los diferentes centros de transformación (puntos azules), los que a su vez alimentan los diferentes consumos de los clientes conectados

En el tabla 22 se presentan los valores de diseño y demanda del circuito de la figura 31. Estos valores corresponden a datos reales del circuito del mes de julio de 2012, (KPIs EdeEste, Julio 2012)

Tabla 22. Valores del Circuito

Red Urbana Residencial	Valores
Carga Instalada (KVA)	8,617.50
Demanda Max (KVA)	10,677.76
Demanda Prom (KVA)	7,174.21
Factor de Potencia	0.97
Factor de Carga	0.67
Factor de Demanda	1.24
Tipo Conductor Línea Principal	CAIRO 465.4 MCM AAAC
Tipo Conductor Línea Derivadas	4/0 AAAC
Tipo Conductor Línea Subderivadas	2/0 - 1/0 AAAC
Área Servida (Km2)	0.96

- Perfil de la Demanda

Figura 32. Curva de Demanda Mensual – Red Urbana Comercial Industrial

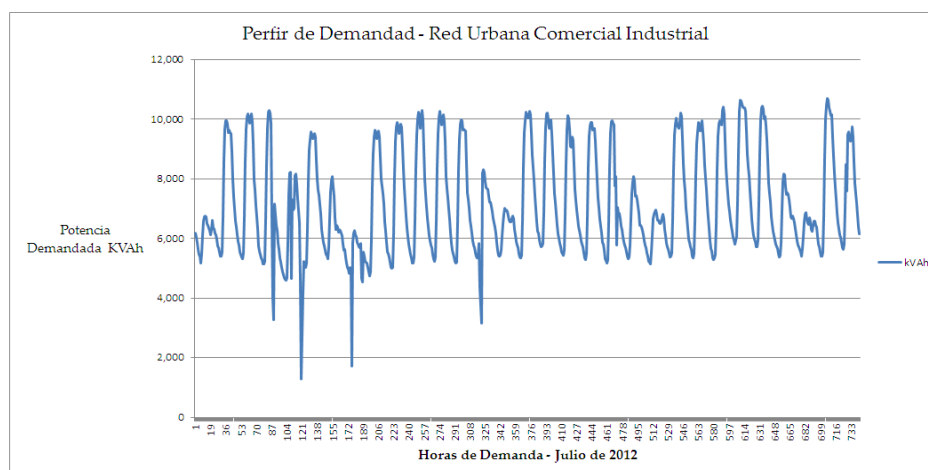
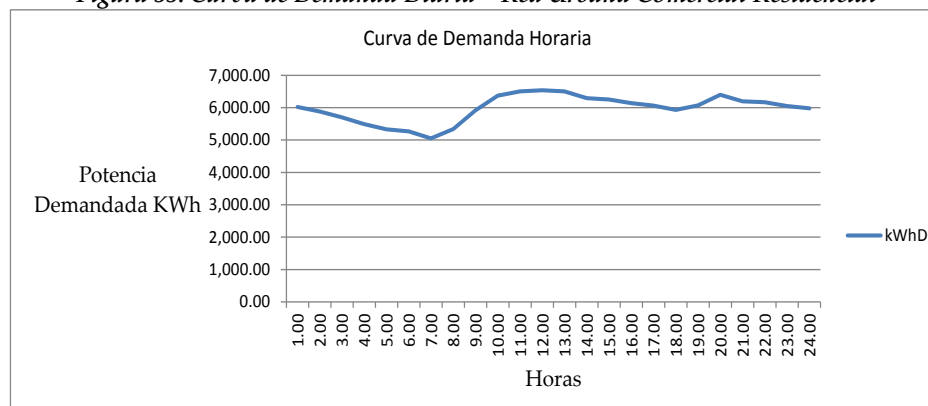


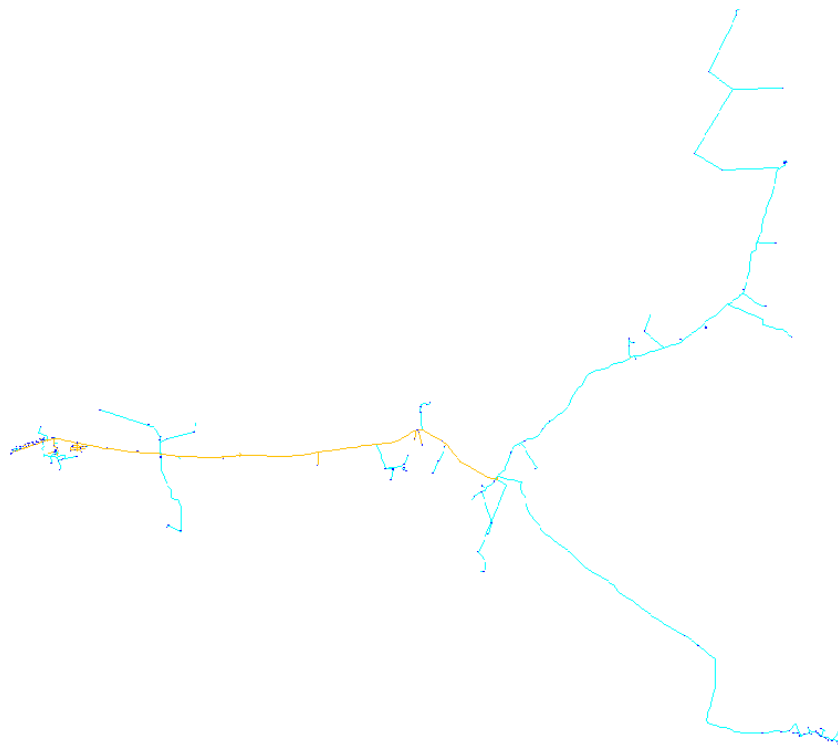
Figura 33. Curva de Demanda Diaria – Red Urbana Comercial Residencial



3.1.3. Redes Rurales

Para definir las características de este tipo de red, se ha seleccionado la configuración representada en la figura 34. Es un tipo de configuración de red aérea en MT utilizadas para alimentar zonas constituida por pequeño núcleo de población y edificaciones discontinuas.

Figura 34. Red Rural, Circuito No.1 de la S/E Zona Franca Sam Pedro – Empresa EdeEste



- De la figura 34 se derivan las siguientes conclusiones:

Las líneas de color amarillo se utilizan como eje principal o troncal. A este eje o línea principal se conectan líneas derivadas (líneas azules) formada por conductores de menor diámetro, de las líneas derivadas también se subderivan líneas de menor diámetro destinadas a alimentar los diferentes centros de transformación (puntos azules), los que a su vez alimentan los diferentes consumos de los clientes conectados. Se observa que este tipo de líneas recorre grandes distancia para alimentar carga geográficamente muy dispersa, por lo tanto la densidad de carga por unidad de área para este tipo de red es muy baja

En el tabla 22 se presentan los valores de diseño y demanda del circuito de la figura 34. Estos valores corresponden a los valores del circuito del mes de julio de 2012, (KPIs EdeEste, Julio 2012)

Tabla 23. Valores del Circuito

Red Urbana Residencial	Valores
Carga Instalada (KVA)	2,945.00
Demanda Max (KVA)	2,733.91
Demanda Prom (KVA)	1,913.28
Factor de Potencia	0.96
Factor de Carga	0.70
Factor de Demanda	0.93
Tipo Conductor Línea Principal	CAIRO 465.4 MCM AAAC
Tipo Conductor Línea Derivadas	4/0 AAAC
Tipo Conductor Línea Subderivadas	2/0 - 1/0 AAAC

- Perfil de la Demanda

Figura 36. Curva de Demanda Mensual – Red Rural

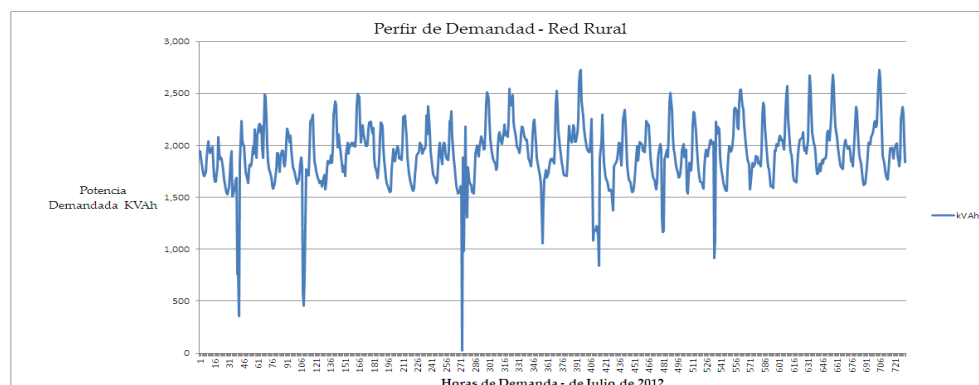
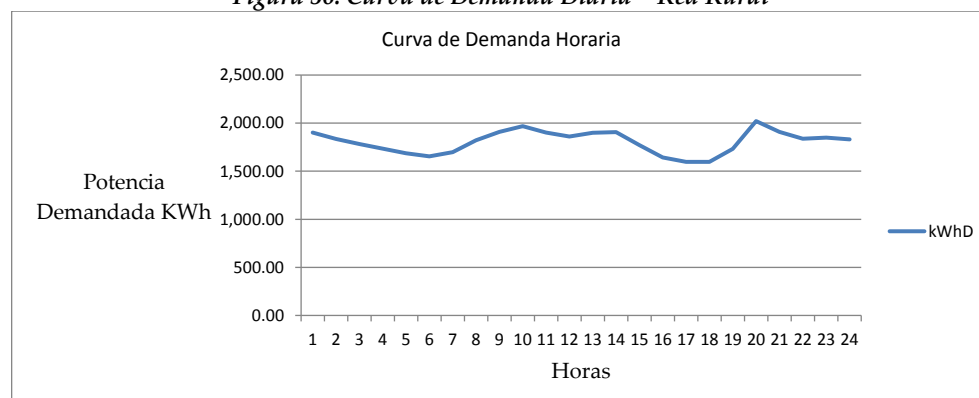


Figura 36. Curva de Demanda Diaria – Red Rural



3.2. Análisis Redes Tipos

De los tipos de redes seleccionadas en el apartado anterior, se pueden establecer las siguientes definiciones:

- 3.2.1. Red Urbana Residencial. La densidad de carga para este tipo de red es alta, destinada a alimentar a un área de la población muy densamente poblada y con edificaciones continuas y en altura.
- 3.2.2. Red Urbana Industrial Comercial. Este tipo de red se diseña para alimentar zonas compuesta por pequeñas industrias y comercios y a diferencia de la red anterior, presenta características claramente diferenciadas en cuanto a los perfiles de demanda.
- 3.2.3. Red Rural: la red rural corresponde a zonas constituida por pequeño núcleo de población y edificaciones discontinuas y con una baja densidad de carga. Este tipo de red se caracteriza por que las cargas están geográficamente muy dispersa, por lo que las líneas tienen que recorrer grandes distancia.

Los conductores para las líneas aéreas utilizados en la red de distribución en MT se presentan en la tabla 23.

Tabla 24. Características de Conductores de redes de Distribución

Tipo de Red	Líneas	Tensión de Uso	Tipo Conductor Utilizado	Intensidad Máxima del Conductor en Amp	Codigo Conducto
Urbana	Principal	12.5KV	MCM 465.4 AAC	590	Cairo
			MCM 477 A5CR	568	Hawk
	Derivadas	12.5KV	MCM AAAC 4/0	395	Allience
			MCM 266 ACSR	392	Partridge
	Subderivadas	12.5KV	MCM AAAC 2/0	296	Anahein
			MCM 1/0 ACSR	191	Raven
Rural	Principal	12.5KV	MCM 465.4 AAC	590	Cairo
			MCM 477 A5CR	568	Hawk
	Derivadas	12.5KV	MCM AAAC 4/0	395	Allience
			MCM 266 ACSR	392	Partridge
	Subderivadas	12.5KV	MCM AAAC 2/0	296	Anahein
			MCM 1/0 ACSR	191	Raven

En general, los tipos de red observada, se componen de líneas o eje principal llamado troncal y líneas derivadas y subjetivadas, además de los diferentes centros de transformación. La línea principal constituye el eje troncal de una determinada zona geográfica de distribución, de dicha línea derivan líneas secundarias que alimentan líneas subderivadas, las que a su vez alimentan a los diferentes centros de transformación. De acuerdo a los valores de diseño, las líneas se diseñan con un criterio de seguridad que permite su operación sin sobrecarga y con posibilidad de

absorber el crecimiento vegetativo de la zona sin necesidad de realizar inversiones adicionales dentro del horizonte comprendido para su explotación.

Después de haber construido los datos para el caso de estudio en base a informaciones obtenida de la empresa EdeEste y aproximar una definición para los dos tipos de redes más predominantes (red urbana, red rural), en el siguiente acápite analizaremos los impactos que se producen en la red de distribución al conectar generación distribuida atendiendo a los dos tipos de redes seleccionados. La generación Distribuida bien podría conectarse en una red urbana o en una red rural, sin embargo, dependiendo del tipo de red a la que se conecta y a las características de cada una, se producirán impactos diferentes. Esos impactos también van depender del perfil de producción de la tecnología que se utilice como generador distribuido. En capítulos anteriores habíamos apuntados que solo consideramos la eólicas y solar

Los perfiles de producción típicos de la generación distribuida dependen de la tecnología. La generación eólica presenta perfiles muy variable. La distribución de la GD por nivel de tensión junto con su perfil de generación nos permite definir los escenarios más relevantes de estudio para medir los impactos.

3.3.Perfiles de Producción

Atendiendo sus características técnicas y a la disponibilidad del recurso, el perfil de producción de la tecnología utilizada como generador distribuido, provoca distintos impactos en las redes, por tanto, a la hora de estudiarlo será necesario modelarlo adecuadamente para considerar su comportamiento particulares.

3.3.1. Perfil de Producción Generador Eólico

Esta tecnología no presenta ningún patrón en su perfil de producción debido a la aleatoriedad que presenta el viento.

3.3.2. Perfil de Producción Generador Solar

Esta tecnología se observa un patrón diario aunque presenta variaciones debido al efecto que producen las nubes en la radiación que llega a los paneles fotovoltaicos.

En la figura 37 se presenta el perfil de producción de estas de tecnología (Mendez, 2005)

Figura 37. Perfil de Producción de una Instalación Eólica y una Fotovoltaica

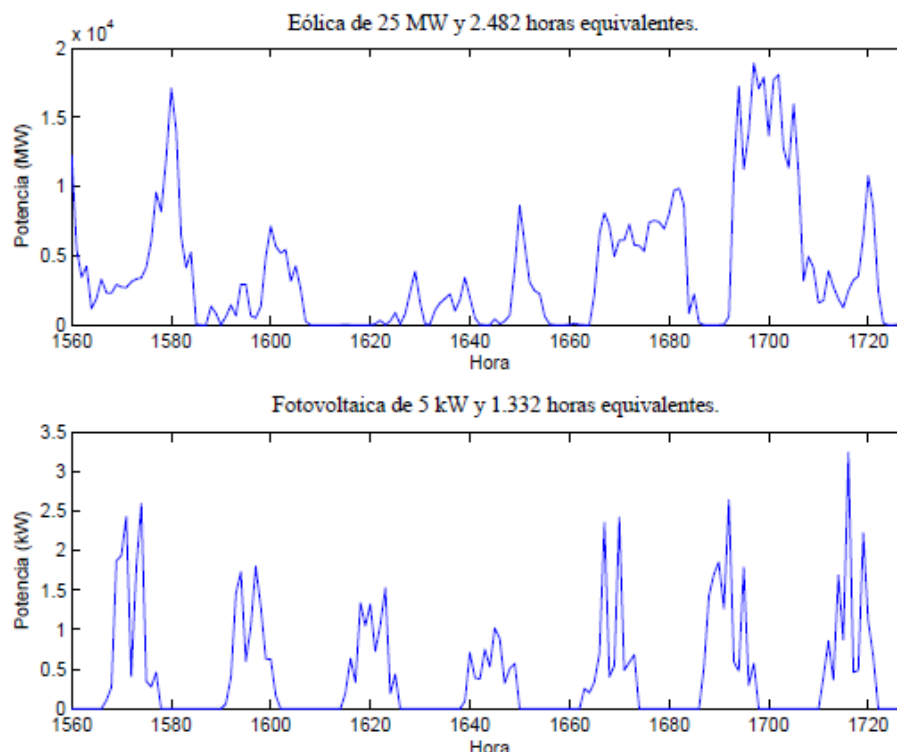


Figura 88. Perfil de Producción de una Instalación Eólica y una Fotovoltaica

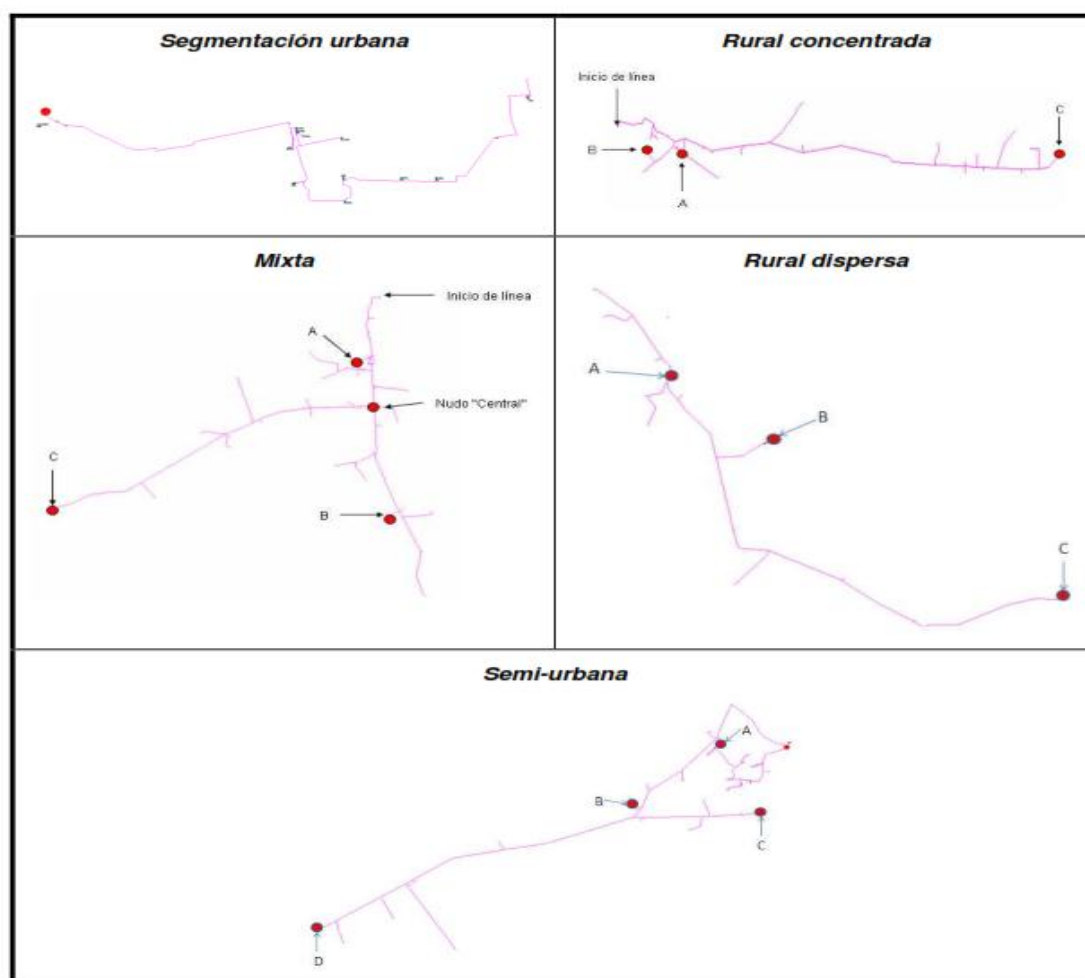
Como se indicó anteriormente, no existe un desarrollo importante de generación distribuida conectada a la red de distribución en la República Dominicana, sin embargo, en las redes de baja tensión se están desarrollando programa de medición neta con conexiones de generación solar y pequeños generadores eólicos. Además, se prevé que en el corto y medio plazo una cantidad importante de este tipo de generación se instale de forma distribuida a la red de MT

4. Impacto de la GD en la red de MT

4.1.Problemática Reconocida de la Generación Distribuida

Para hablar de la problemática de la generación distribuida se toman como referencia estudios anteriores llevados a cabo en otros países (tomaremos como referencia el caso español) y se escalan esos resultados al caso Dominicano, considerando las características propias de una red tipo urbana y otra de tipo rural.

Figura 37. Unifilares de las Redes de Media Tensión Tipo – Caso Español



	Urbana	Semiurbana	Rural concentrada	Rural disperso	Mixta
Longitud aérea (km)	0.80	9.57	19.54	28.23	45.74
Longitud subterránea (km)	4.41	4.90	0.79	0.18	2.91
Potencia instalada (kVA)	6,980	6,925	3,115	860	9,080
Potencia contratada (kW)	5,411	11,153	2,978	883	10,396
Número de CTs	11.00	28.00	24.00	13.00	48.00
Longitud total (km)	5.21	14.47	20.33	28.41	48.65
% línea aérea	15%	66%	96%	99%	94%
% línea subterránea	85%	34%	4%	1%	6%
CTs/km	2.11	1.94	1.18	0.46	0.99
Línea #	8	13	17	22	23

Tabla 25. Parámetros de las Redes Tipo de Media Tensión – Caso español

Al comparar los parámetros de las redes de media tensión del caso Español, con los parámetros de las redes del caso Dominicano, es claro que la red semi-urbana para el caso Español guarda similitud con una red tipo urbana del caso Dominicano, mientras que la del tipo rural concentrada se podría escalar a una red de tipo rural.

Hechas las similitudes de redes, procederemos a aplicar los resultados obtenidos para el caso Español, a las redes tipos de la República Dominicana (figura 28, figura 33).

4.2. Impacto en Redes Tipos (Urbanas, Rural)

4.2.1. Potencias Activa y Reactiva Inyectadas

Al conectar generación distribuida al final de la línea, el efecto de los flujos de potencia activa sobre las tensiones es mayor que los de potencia reactiva debido a que el ratio R/X de las líneas de media tensión suele ser mayor que la unidad.

4.2.2. Nivel de penetración de la GD

El impacto de la penetración de la GD en el perfil de tensiones de redes de media tensión depende de la segmentación y del escenario de demanda. El incremento de la tensión es linealmente proporcional a la inyección de potencia activa en el nudo. Para redes de tipo rural, al ser redes caracterizadas por larga distancia, el nivel de penetración de GD, provoca una gran variación en el perfil de tensiones, contrario a las redes urbanas que tienen menores longitudes de red. Las variaciones de la tensión en horas de menor demanda, son menores a las variaciones de las tensiones en las horas mayor demanda, debido a que la producción de la GD es función de la demanda, por lo tanto, al reducirse la demanda, principalmente en las horas de valle, la producción de generación distribuida también se reduce, siendo las redes rurales donde se producen mayores impactos.

4.2.3. Localización de la GD

La inyección de potencia activa en un punto de la red, reduce el flujo de potencia en los tramos aguas-arriba, lo que se traduce en una menor caída de tensión. En ese sentido, se producen aumento en las tensiones de la red, manteniendo su mismo perfil. Cuanto más próximo a la cabecera de la línea se localice la GD, menor es el efecto sobre las tensiones aguas-abajo, dado que los tramos donde se reducen los flujos de potencia serán menos. La mayor variación de las tensiones se produce si la inyección se realiza al final de la línea, dado que se invierte el sentido de los flujos de potencia en los tramos finales, y se aumentan notablemente las tensiones. De esta forma el escenario que sirve como referencia al límite superior de tensión en la red es el correspondiente a GD al final de la línea en un escenario de máxima demanda, donde habrá mayor producción.

4.2.4. Análisis y Conclusiones

La principal conclusión que arrojan las investigaciones sobre la conexión de generación distribuida a las redes de distribución, es que esta provoca una serie de impactos tanto técnicos como económicos, que en ausencia de una adecuada regulación, podrían afectar de manera significativa el desempeño óptimo del sistema eléctrico en su conjunto. En ese sentido, existen diversos estudios llevados a cabo en otros países, que han desarrollado modelos para medir esos impactos considerando redes tipos usualmente utilizadas en distribución (urbana, rural, etc.), diferentes niveles de tensión, niveles de penetración y localización de generación, así como los diferentes escenarios de demanda por parte del consumidor final (punta, valle, llano). A medida que aumenta la penetración de GD en las redes, se elevan los perfiles de tensión en ambos escenarios de demanda, dependiendo de la red analizada.

El impacto en las tensiones de las redes de distribución analizadas, al inyectar potencia reactiva es mayor que el resultante de inyectar potencia activa. Este resultado difiere de lo que ocurre en líneas de transporte. La impedancia de las líneas de distribución tiene una componente resistiva similar o mayor a su componente inductiva (no así en las líneas de transporte). Esta característica hace que la caída de tensión por variación de los flujos de potencia activa tenga un mayor efecto que la originada por los flujos de reactiva.

La inyección de potencia activa en las redes de distribución supone un incremento de las tensiones de toda la red, siendo esta afectación lineal con el nivel de penetración. Para el 200% de penetración de GD respecto al consumo base, en las redes analizadas, la variación de las tensiones es del 1% y el 10% para las redes de media tensión, y entre el 1% y el 10% para redes de baja tensión.

El efecto en las tensiones difiere según la segmentación de la red analizada. El impacto es mayor en redes rurales que en redes urbanas, debido a la mayor longitud de las primeras, lo que da lugar a una mayor impedancia y por tanto una mayor caída de tensión.

La localización de la GD influye notablemente en las tensiones de las redes de distribución analizadas. El impacto de la inyección de potencia activa aumenta cuanto más nos alejamos de la cabecera de la línea, dado que se reducen las caídas de tensión en más tramos.

En las redes de media y baja tensión, el impacto más relevante es el que tiene lugar cuando la GD se conecta al final de la línea.

4.2.5. Caso de Aplicación Práctico

Para ver el comportamiento real del impacto de la GD en las redes tipos que han sido seleccionadas en este trabajo de tesis, centraremos nuestra atención a un escenario de generación distribuida considerando solo el aporte de generación solar fotovoltaica. Se analizarán los impactos derivados de la conexión de generación distribuida en función de los perfiles de demanda de cada red tipo y para diferentes niveles de penetración.

Se estimarán los impactos (pérdidas, inversiones) incluyendo generación distribuida considerando tres escenarios diferentes de penetración. Se consideran las curvas tipo U del comportamiento de las pérdidas para diferentes niveles de penetración, ampliamente desarrollado en otros estudios (*Mendez, 2005*)

Para estimar los valores de pérdidas utilizaremos las curvas de demanda que se han definido en cada red tipo y supondremos un escenario donde toda la potencia de generación distribuida que se conecta, se inyecta en un único nudo de la red para tres niveles diferente de penetración de generación distribuida.

Para medir el grado de penetración de generación distribuida a inyectar en los diferentes escenarios utilizaremos la siguiente expresión

$$\text{Penetración (\%)} = \frac{\text{Potencia Instalada de GD}}{\text{Potencia Contratada del Alimentador}}$$

Para simular el impacto en las pérdidas consideramos los valores expuestos anteriormente para cada tipo de red y sus respectivos perfiles de demanda. Esos valores se obtuvieron de las redes de EdeEste y corresponden a los valores horarios de consumo para el mes de julio de 2012.

4.2.6. Escenarios de Generación Distribuida

- **Escenario No.1, 25% de penetración en función de la carga conectada al alimentador principal**

La potencia instalada del alimentador es de 37.2 MVA, sin embargo, considerando el hecho de que en los tipos de redes estudiada, la carga instalada está muy sobredimensionada, para el cálculo de la potencia de penetración, consideramos la carga de diseño de los conductores (límite térmico), que para el caso Dominicano, no deberá ser superior a los 12 MVA.

Para el 25% de la carga de diseño del alimentador, la potencia de generación distribuida a conectar en la red, es equivalente a $0.25 \times 12 \text{ MVA} = 3 \text{ MVA}$. Para este nivel de penetración, y en comparación con la curva horaria de demanda, la potencia de generación distribuida inyectada es menor que la demanda agregada de los consumidores conectados al alimentador principal.

De la curva tipo U de la figura 21, se estima que para la generación solar fotovoltaica, con niveles de penetración del 25%, las pérdidas se reducen en aproximadamente un 21%.

- **Escenario No.2, 50% de penetración en función de la carga conectada al alimentador principal**

Para el 50% de la carga de diseño del alimentador, la potencia de generación distribuida a conectar en la red es equivalente a $0.50 \times 12 \text{ MVA} = 6 \text{ MVA}$. Para este nivel de penetración, y en comparación con la curva horaria de demanda de la red, la potencia de generación distribuida inyectada, para las horas donde se producen picos de demanda, es menor que la demanda agregada de los consumidores provocando una disminución en los flujos de corrientes por las líneas, sin embargo, la producción de generación distribuida, para este nivel de penetración, para las horas de llano de la red, es mayor que la demanda agregada de los consumidores, resultando beneficiosa su inyección a la red.

De la curva tipo U de la figura 21, se estima que para la generación solar fotovoltaica, con niveles de penetración del 50%, las pérdidas sufren una variación negativa de 6.3%.

- **Escenario No.3, 100% de penetración en función de la carga conectada al alimentador principal**

Para el 100% de la carga de diseño del alimentador, la potencia de generación distribuida a conectar en la red es equivalente a $1 \times 12 \text{ MVA} = 12 \text{ MVA}$. Para este nivel de penetración, y en comparación con la curva horaria de demanda de la red, la potencia de generación distribuida inyectada supera la máxima demanda agregada de los consumidores, por lo tanto se producen efecto negativo en la red.

De la curva tipo U de la figura 21, se estima que para la generación solar fotovoltaica, con niveles de penetración del 100%, las pérdidas se verán aumentadas en aproximadamente un 103%.

4.2.7. Pérdidas Estimadas Escenarios de Penetración

En los cuadros del 26 al 29, se presentan las pérdidas estimadas, para los tipos de red seleccionada considerando el perfil de producción de la tecnología de generación distribuida y el comportamiento horario de la demanda durante el periodo analizado (Julio de 2012). Luego se estiman esos valores de perdida para 8,760 y se generalizan los resultados para toda la red, considerando el porcentaje de participación de cada red en el total de redes de EdeEste. Las pérdidas técnicas consideradas para el escenario de generación distribuida, corresponden a valores cuantificados por la empresa EdeEste para cada red. En el cuadro 26 se presentan los valores de pérdidas actuales

Estimación Pérdidas Técnicas

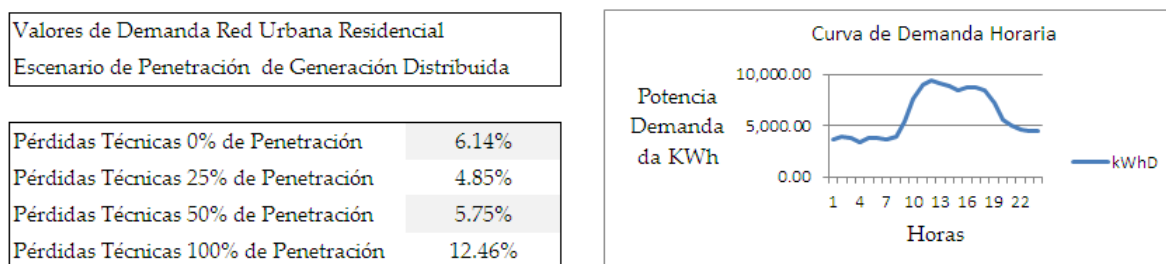
EDEESTE

Tipo de Red	Demanda Max		Pérdidas Técnicas %				Total
	kVA	kW	Líneas MT	Tranf MT/BT	Líneas BT	PT Medidores, AC	
Urbana Industrial	10,444	10,144	1.35%	1.48%	1.68%	0.33%	4.83%
Urbana Residencial	10,408	9,784	1.50%	2.34%	1.92%	0.38%	6.14%
Rural	2,596	2,503	5.95%	2.34%	2.69%	0.37%	11.36%

Tabla 26, Pérdidas Técnicas Por Tipo de Red

- **Pérdidas Estimadas Red Urbana Residencial**

Cuadro 27. Pérdidas Estimadas Red Urbana Residencial



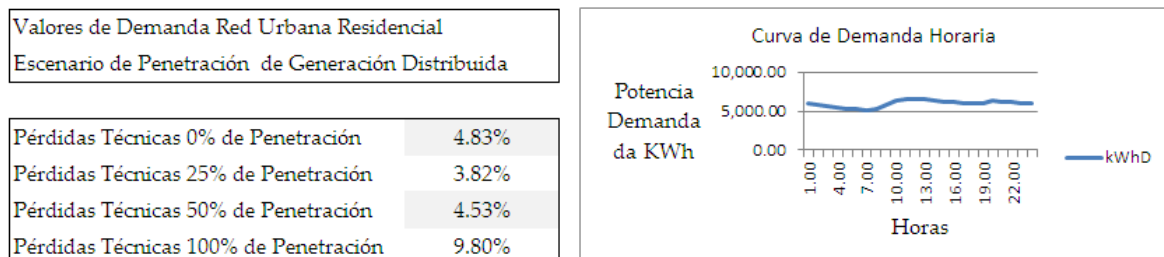
			Perdidas Estimadas MWh/Mes			
Periodos de Consumo	Horas	MWhD	Sin Penetración de GD (MWh)	25% de Penetración de GD (MWh)	50% de Penetración de GD (MWh)	100% de Penetración de GD (MWh)
Horas Mínima Demanda	19:00 - 08:00	2,190.52	134.50	106.25	126.02	273.03
Horas Maxima Demanda	09:00 - 18:00	1,716.54	105.40	83.26	98.76	213.95
Total		3,907.06	239.89	189.52	224.78	486.98

Periodos de Consumo	Horas	MWhD	Pérdidas Estimadas MWh/Año			
			Sin Penetración de GD (MWh)	25% de Penetración de GD (MWh)	50% de Penetración de GD (MWh)	100% de Penetración de GD (MWh)
Horas Mínima Demanda	19:00 - 08:00	26,286.22	1,613.97	1,275.04	1,512.29	3,276.37
Horas Máxima Demanda	09:00 - 18:00	20,598.53	1,264.75	999.15	1,185.07	2,567.44
Total		46,884.74	2,878.72	2,274.19	2,697.36	5,843.81

De los valores anteriores se deduce que para niveles de penetración del 25% y 50%, las pérdidas en la red se reducen, mientras que para niveles de penetración del 100% de la potencia de diseño del interruptor, la potencia inyectada supera la máxima demanda del alimentador, provocando un aumento en las pérdidas en comparación con las pérdidas sin generación distribuida. Este escenario de máxima inyección hace que se trabaje cercano al límite térmico de los conductores, por lo que las empresas distribuidora tendrán que hacer refuerzos en la red. El máximo aprovechamiento de la inyección de generación distribuida se produce en las horas diurnas, donde se demanda mayores niveles de potencia. Para los demás tipos de red estudiadas, las pérdidas presentan un comportamiento similar, por lo tanto las conclusiones se generalizan. En los cuadros 28 y 29 se presentan los valores obtenidos para los demás tipos de red.

- **Pérdidas Estimadas Red Urbana Industrial**

Cuadro 28. Pérdidas Estimadas Red Urbana Industrial



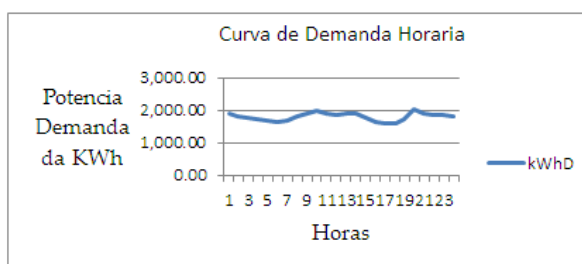
Periodos de Consumo	Horas	MWhD	Perdidas Estimadas MWh/Mes			
			Sin Penetración de GD (MWh)	25% de Penetración de GD (MWh)	50% de Penetración de GD (MWh)	100% de Penetración de GD (MWh)
Horas Mínima Demanda	01:00 - 08:00	1,416.10	68.40	54.03	64.09	138.85
Horas Máxima Demanda	09:00 - 24:00	3,745.56	180.91	142.92	169.51	367.25
Total		5,161.66	249.31	196.95	233.60	506.10

Periodos de Consumo	Horas	MWhD	Pérdidas Estimadas MWh/Año			
			Sin Penetración de GD (MWh)	25% de Penetración de GD (MWh)	50% de Penetración de GD (MWh)	100% de Penetración de GD (MWh)
Horas Mínima Demanda	01:00 - 08:00	44,946.72	2,170.93	1,715.03	2,034.16	4,406.98
Horas Máxima Demanda	09:00 - 24:00	61,939.89	2,991.70	2,363.44	2,803.22	6,073.14
Total		106,886.62	5,162.62	4,078.47	4,837.38	10,480.13

- **Red Rural**

Cuadro 29. Pérdidas Estimadas Red Rural

Valores de Demanda Red Rural	
Escenario de Penetración de Generación Distribuida	
Pérdidas Técnicas 0% de Penetración	11.36%
Pérdidas Técnicas 25% de Penetración	8.97%
Pérdidas Técnicas 50% de Penetración	10.64%
Pérdidas Técnicas 100% de Penetración	23.06%



Periodos de Consumo	Horas	MWhD	Perdidas Estimadas MWh/Mes			
			Sin Penetración de GD	25% de Penetración de GD (MWh)	50% de Penetración de GD (MWh)	100% de Penetración de GD (MWh)
Horas Mínima Demanda	16:00 - 19:00	5.72	0.65	0.51	0.61	1.32
Horas Máxima Demanda	20:00 - 15:00	1,342.39	152.50	120.47	142.89	309.57
Total		1,348.11	153.15	120.98	143.50	310.88

Periodos de Consumo	Horas	MWhD	Pérdidas Estimadas MWh/Año			
			Sin Penetración de GD (MWh)	25% de Penetración de GD (MWh)	50% de Penetración de GD (MWh)	100% de Penetración de GD (MWh)
Horas Mínima Demanda	01:00 - 08:00	68.58	7.79	6.16	7.30	15.82
Horas Máxima Demanda	09:00 - 24:00	16,108.72	1,829.95	1,445.66	1,714.66	3,714.80
Total		16,177.30	1,837.74	1,451.82	1,721.96	3,730.62

4.2.8. Pérdidas Totales Estimadas Escenarios de Penetración

Con los resultados previos obtenidos para las tres redes propuestas, y conociendo el número de estas redes en RD, se estima el sobre costo (o beneficio) para los tres niveles de penetración en RD. Ya habíamos apuntados que la tendencia en el futuro es al uso de dos tipos de red, la de tipo urbana y la de tipo rural, también habíamos dicho que el 25% correspondían a redes rurales, mientras que menos del 2% correspondían a redes mixtas (no consideradas en este trabajo por razones ya

explicada), por lo tanto consideraremos que el restante 73% lo integran las redes de tipo urbana.

Actualmente la cantidad de redes de distribución de la zona este del país están integrada por 132 circuitos de distribución con su alimentador principal. Cada circuito representa un tipo de red en específico, en ese sentido, la cantidad de cada red tipo seleccionada estará en función de este valor y su porcentaje de participación correspondiente. El sobre costo o beneficios se estiman de acuerdo a la variación de las pérdidas para cada nivel de penetración y se valoran al precio monomio de compra, ya que una variación en las pérdidas, se traduce en una disminución o aumento de la compra de energía de las empresas de distribución.

4.2.9. Cálculo Estimado del Sobre Costo (Beneficio)

- Red Urbana

Cantidad Total de Líneas	132
Cantidad Líneas Urbanas	96
Cantidad Líneas Rurales	33
Otras Líneas	3
Monoico de Compra Año 2011 (USCents/kWh)	12.3

			Pérdidas Estimadas Total Redes MWh/Año			
Periodos de Consumo	Horas	MWhD	Sin Penetración de GD (MWh)	25% de Penetración de GD (MWh)	50% de Penetración de GD (MWh)	100% de Penetración de GD (MWh)
Horas Mínima Demanda	19:00 - 08:00	2,532,939.72	155,522.50	122,862.77	145,724.58	315,710.67
Horas Máxima Demanda	09:00 - 18:00	1,984,874.22	121,871.28	96,278.31	114,193.39	247,398.69
Total		4,517,813.93	277,393.78	219,141.08	259,917.97	563,109.36

Tabla 30. Calculo Estimado del Sobre Costo o (Beneficio) Total Redes Tipo Urbana

De los valores de la tabla 30, para el 25% de penetración en toda la red de tipo rural, para la zona este de la República Dominicana, las pérdidas se reducen de 60.65 GWh hasta 47.91 GWh, traduciéndose este efecto de inyección de generación distribuida en un beneficio de 12.74 GWh/año, que valorado al precio monomio de compra representarían valores monetarios de 1.56MMUS\$.

Para el 50% de penetración, las pérdidas se reducen de 60.65 GWh hasta 56.821 GWh, traduciéndose este efecto de inyección de generación distribuida en un beneficio de 3.82 GWh/año, que valorado al precio monomio de compra representarían valores monetarios de 0.47MMUS\$.

Para el 100% de penetración, las pérdidas de la red aumentan de 60.65 GWh hasta 123.11 GWh, traduciéndose este efecto de inyección de generación distribuida en un sobrecosto de 62.42 MWh/año, que valorado al precio monomio de compra representarían valores monetarios de 7.66MMUS\$.

- **Red Rural**

Cantidad Total de Líneas	132
Cantidad Líneas Urbanas	96
Cantidad Líneas Rurales	33
Otras Líneas	3
Monoico de Compra Año 2011 (USCents/kWh)	12.27

			Pérdidas Estimadas Total Redes MWh/Año			
Periodos de Consumo	Horas	MWhD	Sin Penetración de GD (MWh)	25% de Penetración de GD (MWh)	50% de Penetración de GD (MWh)	100% de Penetración de GD (MWh)
Horas Mínima Demanda	01:00 - 08:00	2,263.28	257.11	203.12	240.91	521.93
Horas Máxima Demanda	09:00 - 24:00	531,587.77	60,388.37	47,706.81	56,583.90	122,588.39
Total		533,851.04	60,645.48	47,909.93	56,824.81	123,110.32

Tabla 31. Calculo Estimado del Sobre Costo o (Beneficio) Total Redes Tipo Rural

De los valores de la tabla 31, para el 25% de penetración en toda la red de tipo rural, para la zona este de la República Dominicana, las pérdidas se reducen de 277.39 GWh hasta 219.14 GWh, traduciéndose este efecto de inyección de generación distribuida en un beneficio de 58.25 GWh/año, que valorado al precio monomio de compra representarían valores monetarios de 7.15MMUS\$.

Para el 50% de penetración, las pérdidas se reducen de 277.39 GWh hasta 258.91 GWh, traduciéndose este efecto de inyección de generación distribuida en un beneficio de 17.48 GWh/año, que valorado al precio monomio de compra representarían valores monetarios de 2.14MMUS\$.

Para el 100% de penetración, las pérdidas de la red aumentan de 277.39 GWh hasta 563.11 GWh, traduciéndose este efecto de inyección de generación distribuida en un sobrecosto de 285.72 MWh/año, que valorado al precio monomio de compra representarían valores monetarios de 35.06MMUS\$.

Como conclusión de del caso de aplicación práctico para redes tipos de la República Dominicana, al analizar los valores obtenidos para cada red tipo para diferentes escenarios de penetración, se destaca que:

Dependiendo del escenario que se pueda presentar en cuanto los aspectos antes considerado, la conexión de GD puede impactar en los siguientes parámetros de operación de la red de distribución:

- Variación de los Flujos de Corriente
- Variación de las Perdidas de Red
- Variación de las Tensiones

Dependiendo del comportamiento de los parámetros de red antes considerados, se producirán una series de impactos, que necesariamente van afectar ya sea de manera positiva o negativa las operaciones del negocio de la distribución en sentido general, todo va a depender del nivel de penetración de generación distribuida, de la configuración o tipo de red, del perfil de producción del generador distribuido y del comportamiento horario de la demanda de la red.

Esta afectación producida por la integración de generación distribuida a las redes de distribución, deberá ser evaluada atendiendo a los principales impactos que se listan a continuación:

- Impacto en las pérdidas de energías (pérdidas técnicas).
- Impacto en los perfil de tensión
- Impacto calidad del suministro
- Impacto en la potencia de cortocircuito
- Seguridad del personal de mantenimiento
- Impacto en la operación y explotación de la red
- Impacto sobre las inversiones de red.
- Impacto en las regulaciones vigentes
- Impacto en las tarifas

Capítulo 6

Propuesta Final

Capítulo 6. Propuesta Final

1. Conclusiones y Recomendaciones Finales

Después de hacer una revisión de los impactos técnicos que producen en las redes de distribución la conexión de generación distribuida, es importante destacar aspectos importantes que deben ser considerados para regular forma eficiente este nuevo esquema de mercado (generación a pequeña escala conectado a la red de distribución). La regulación vigente en la República Dominicana, aunque incentivan el uso y desarrollo de las energías renovables como alternativa de producción por las múltiples ventajas que reportan al país y al sistema eléctrico en su conjunto, no abordan la problemática reconocidas cuando se opera bajo un esquema de generación distribuida. El diseño de políticas regulatoria, tiene y debe estar orientado a maximizar el beneficio del sistema en su conjunto, por lo tanto será necesario introducir los cambios que incentiven de manera eficiente y transparente el desarrollo del esquema de generación distribuida que los nuevos retos están planteando.

Existen inquietudes legítimas acerca del impacto sobre la red de los sistemas de GD, lograr una alta penetración de GD interconectada, requerirá que los operadores y los reguladores de la red tengan un mejor entendimiento de varios temas fundamentales, así como una mayor conciencia de las soluciones potenciales.

La principal conclusión que arrojan las investigaciones sobre la conexión de generación distribuida a las redes de distribución, es que esta provoca una serie de impactos tanto técnicos como económicos, que en ausencia de una adecuada regulación, podrían afectar de manera significativa el desempeño óptimo del sistema eléctrico en su conjunto. En ese sentido, existen diversos estudios llevados a cabo en otros países, que han desarrollado modelos para medir esos impactos considerando redes tipos usualmente utilizadas en distribución (urbana, rural, etc.), y diferentes niveles de tensión, niveles de penetración y localización de generación, así como los diferentes escenarios de demanda por parte del consumidor final (punta, valle, llano).

A nuestro juicio, todos los modelos analizados tienen un buen desempeño para medir esos impactos en función del nivel de penetración y localización de generación distribuida, por lo tanto el problema no es qué modelo se aplica, sino como se obtiene la información relevante para su aplicación.

En primer lugar se ha hecho una revisión del posible impacto que puede causar la generación distribuida en la red de distribución atendiendo a varios aspectos fundamentales como son:

- Tipos de Redes (rural, urbana)
- Niveles de Penetración y Localización de la Generación Distribuida
- Perfiles de la Demanda para Diferente Escenario de Producción (Punta, Valle, Llano)

Dependiendo del escenario que se pueda presentar en cuanto los aspectos antes considerado, la conexión de GD puede impactar en los siguientes parámetros de operación de la red de distribución:

- Variación de los Flujos de Corriente
- Variación de las Perdidas de Red
- Variación de las Tensiones

Dependiendo del comportamiento de los parámetros de red antes considerados, se producirán una series de impactos, que necesariamente van afectar ya sea de manera positiva o negativa las operaciones del negocio de la distribución en sentido general.

Esta afectación producida por la integración de generación distribuida a las redes de distribución, deberá ser evaluada atendiendo a los a los principales impactos que se listan a continuación:

- Impacto en las pérdidas de energías (pérdidas técnicas).
- Impacto en los perfil de tensión
- Impacto calidad del suministro
- Impacto en la potencia de cortocircuito
- Seguridad del personal de mantenimiento
- Impacto en la operación y explotación de la red
- Impacto sobre las inversiones de red.
- Impacto en las regulaciones vigentes
- Impacto en las tarifas

A los fines analizar esos impactos aplicados a las redes de la República Dominicana, se han considerado dos tipos de generadores distribuidos, el eólico y el fotovoltaico y a las características propias de la red y del mercado de la distribución, donde la demanda no sigue un comportamiento natural en función de los perfiles de consumo de los diferentes tipos de consumidores (industrial, comercial, residencial), sino que, las empresas de distribución se ven precisada a implementar medidas administrativas como parte de reducir el déficit de caja como consecuencia de las altas pérdidas de energía que se producen en la red. Una de esas medidas y que afectaría de forma directa la aplicación de un modelo con distintos escenario de generación distribuida, lo es el relacionado a los cortes programado del suministro, lo que a su vez incide en una variación de los diferentes perfiles de consumo de los clientes conectados.

En la práctica el regulador carece de información acerca de los impactos técnicos en distribución para diferentes escenarios de generación distribuida y por lo tanto, las leyes actuales fueron diseñadas con el único propósito de incentivar su uso. En consideración a resolver dichos problemas, así como también para aprovechar con mayor fuerza la utilización de la información disponible en cuanto a las ventajas y problemáticas de la generación distribuida para diferentes escenarios de penetración, se debe establecer con claridad el concepto de Generación Distribuida. Un hecho cierto lo es, que cada una de las definiciones descrita en el capítulo 2, coinciden en que se trata de generación a pequeña escala y conectada directamente a la red de distribución o en la propias instalaciones del cliente.

El desarrollo de generación distribuida se está generalizando poco a poco, instituyéndose como alternativa de producción de los nuevos esquemas de distribución por las ventajas que reporta, tanto desde el punto de vista económico como medioambiental.

El desarrollo de esquema de generación distribuida, debe estar acompañado de políticas regulatorias que garanticen su correcto funcionamiento. Esto implica medidas prácticas y concretas entre las que destacamos:

- Aplicación de reglas y procedimientos transparentes complementados con modelos de desarrollo de red que permitan la instalación óptima de generación distribuida.
- Recopilación de información en forma estandarizada y sistemática de modelos de regulación de generación distribuida llevado a cabo en otros países y ajustarlo a las características propia de operación de las redes en la República Dominicana.

En teoría, se pueden aplicar modelos ya desarrollados de diferentes escenarios de generación distribuida, basándose únicamente en la ingeniería y parámetros de una red dada. Esto puede ser útil para establecer de inicio las pautas regulatoria que deberán implementarse para corregir las fallas de la regulación actual.

Para poder evaluar de una manera más realista el desempeño de un esquema con generación distribuida, se propone iniciar, a la mayor brevedad posible, un proceso de evaluación preliminar para identificar las áreas claves para la implementación de los esquemas con presencia de GD, así como las barreras para la instalación y uso de estas tecnologías. De esta manera se tendrá un mayor entendimiento del aspecto a regular, para facilitar la integración de la GD en la red. Actualizar y expandir las redes distribución y mejorar la calidad del servicio afectaría de manera positiva la flexibilidad de la red.

Cualquier estrategia para promover los recursos de energía de GD en la República Dominicana, debe considerar los siguientes pasos de acción:

- Es conveniente encarar el trabajo que conlleva implementar un sistema de normas regulatorias como una experiencia conjunta del regulador y el regulado, con equipos multidisciplinarios con alta dedicación de ambas partes.
- Es importante que se incorporen temporalmente al proyecto a todos los sectores funcionales vinculados al mismo (Operador del Mercado, Operador del sistema, etc.); que se comprendan las problemáticas y ventajas que conlleva la integración de generación distribuida. La colaboración entre las partes interesadas, trabajar con otras instituciones del gobierno (Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE), la Superintendencia de Electricidad (SIE), el Ministerio de Medioambiente, el Ministerio de Turismo, etc.) y muchas entidades privadas relacionadas con la generación de electricidad, brindarían importantes aportes para desarrollar políticas regulatorias de manera más efectiva. Además, la colaboración con instituciones internacionales, pueden ayudar a definir el tipo de esquema, herramientas y mecanismos de financiamiento que sean los más apropiados para el desarrollo de las mismas.
- A nuestro juicio, una vez revisado los esquemas actuales de regulación y los procedimientos posteriores para el desarrollo de generación distribuida en la República Dominicana, la implementación de este nuevo esquema de generación implica importantes modificaciones que deben realizarse a los fines de considerar los diferentes impactos que causan en las redes y las empresas eléctricas. Debe anticiparse el efecto que estos cambios tendrán en la planificación actual de las empresas distribuidoras y de la Superintendencia de Electricidad, a fin de anticiparse a los impactos no deseados y realizar a tiempo las correcciones necesarias.

Por otra parte, se propone, implementar políticas de regulación diferenciada por tipo de conexión a la red, por un lado se deberán adoptar políticas regulatorias para generación a pequeña escala, en la que la conexión es a través de la carga del usuario en la que únicamente se vende el excedente de generación después del consumo propio. Por otro lado, implementar políticas regulatorias para generación a escala comercial, en la que la conexión se hace directamente a la red de distribución y vende toda la electricidad de manera continua. La recomendación de esta diferenciación radica en que la conexión a pequeña escala, considerando la potencia máxima definida en los procedimientos actuales de la República Dominicana, no

impacta de forma significativa en los flujos de potencia por la redes, y por lo tanto a nuestro juicio, los impactos técnicos que pueden producir son mínimo.

Por último, el objetivo principal de este trabajo de investigación, es analizar los impactos que desde el punto vista técnico, implica la conexión de generación distribuida a la red de distribución y proponer una oferta de regulación tendente a mitigar sus efectos, por lo tanto, para una mejor integración de la generación distribuida, se recomienda un análisis de viabilidad económica que sirva de sustento a las recomendaciones que se plantean en el presente trabajo.

En sentido general, es difícil obtener con exactitud el nivel de penetración de la GD que requerirá fortalecimiento de la red de distribución de la República Dominicana. Sin embargo, es crucial que los instaladores de la GD y los operadores de la red presten gran atención a estos problemas y por lo tanto, se deberá tener una gran comprensión de los desafíos y soluciones que se refieren a una ubicación particular de red, los parámetros de los servicios públicos y el sistema de GD. También es útil para las empresas de distribución, planificar para la futura penetración de GD al completar el mantenimiento estándar de la red para reducir futuras cargas sobre la red o sus clientes.

Bibliografías

Bibliografías

- <http://www.edenorte.com.do>
- <http://www.edeeste.com.do>
- <http://www.edesur.com.do>
- <http://www.cdeee.gov.do>
- <http://www.sie.gov.do>
- <http://www.cne.gov.do>
- <http://oc.com.do>
- http://www.improgres.org/fileadmin/improgres/user/docs/Improgres_Final_Report_D7.pdf
- <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2007/e07083.pdf>
- http://webhotel2.tut.fi/units/set/raportteja/dg/yleiset/Loppuraportti_DENSY.pdf
- <http://www.nrel.gov>
- <http://www.wwindea.org/home/index.php>
- <http://www.epia.org/home/>
- <http://www.labein.es>
- Ley General de Electricidad No. 125-01, de fecha Veintiséis (26) del mes de Julio del año Dos Mil Uno (2001), modificada por la Ley No. 186-07, de fecha Seis (06) del mes de Agosto del año Dos Mil Siete (2007)
- Reglamento de aplicación de la Ley General de Electricidad 125-01. Poder Ejecutivo, República Dominicana
- Ley No. 57-07 de Incentivo a la Energías Renovables y Regímenes Especiales Poder Ejecutivo, 2007, República Dominicana
- Reglamento Medición Neta. Comisión Nacional de Energía, Mayo de 2011, República Dominicana

- Reglamento Interconexión de Generación Distribuida. Comisión Nacional de Energía, Noviembre de 2011, República Dominicana.
- decreto No. 557-02 sobre Generación Eléctrica con Biomasa
- Ley Medio Ambiente y Recursos Naturales No. 64 – 00
- Ley de Hidrocarburo No. 112 – 00
- Estudio para la definición de Normas de Evaluación y Valorización de la Calidad del Servicio y para el Cálculo, Fijación y Revisión del VAD, República Dominicana, Marzo de 2003, PA Consulting Group
- Estudio para Aprovechamiento de los Recursos Eólicos y Solares de la República Dominicana - 3TIER, 2011
- NREL, Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic, 2001)
- Christiaan Gischler y Nils Janson, Perspectivas para la generación distribuida con energías renovables en América Latina y el Caribe, 2011
- Carlos Ponce Corral, Planificación Óptima de la generación distribuida en redes de Distribución de Energía Eléctrica, Zaragoza, España , 2010
- J.L. MORENO SAN JUAN. Costos de Producción y Márgenes de Utilidad en la Generación de Electricidad. Santo Domingo, República Dominicana Año 2005.
- Ing. Roberto Espinosa y Lara. Los Sistemas de Distribución. NORIEGA EDITORES.
- Manuel S. Diaz Ceballo. Libro de Las Energías Renovables. Colección ERA SOLAR, 1998.
- R. Cossent, L. Olmos, T. Gómez, C. Mateo, P. Frías, "Distribution network costs under different penetration levels of distributed generation", European Transactions on Electrical Power. vol. 21, no. 6, pp. 1869-1888, Septiembre 2011.
- P. Frías, R. Cossent, T. Gómez, "How traditional regulation of Distribution System Operators can be improved to accommodate higher levels of distributed generation", Energy Review. vol. 2, no. 1, pp. 102-104, Marzo 2010.

- D. Trebolle, T. Gómez, R. Cossent, P. Frías, "Distribution planning with reliability options for distributed generation", *Electric Power Systems Research*. vol. 80, no. 2, pp. 222-229, Enero 2010.
- P. Frías, T. Gómez, R. Cossent, J. Rivier, "Improvements in current European network regulation to facilitate the integration of distributed generation", *International Journal of -Electrical Power & Energy Systems*. vol. 31, no. 9, pp. 445-451, Octubre 2009.
- R. Cossent, T. Gómez, P. Frías, "Towards a future with large penetration of distributed generation: Is the current regulation of electricity distribution ready? Regulatory recommendations under a European perspective", *Energy Policy*. vol. 37, no. 3, pp. 1145-1155, Marzo 2009.
- V. Méndez Quezada. "Generación distribuida: Aspectos técnicos y su tratamiento regulatorio", Instituto de Investigación Tecnológica; 2005
- F. Martín Morillas. "Producción de electricidad con energía renovables". Instituto de Estudios de la Energía (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas CIEMAT) 1996.
- Fundación Labein. "Generación Distribuida, Oportunidad y Reto Tecnológico". Boletín de Tecnología e Innovación Nº36, Septiembre 2001.
- Carlos Medina. "Modelos de negocio en Generación Distribuida". Informe Proyecto MONEDIS – Fundación Labein, Marzo 2002.
- Barker, Philip. De Mello, Robert. "Determining the Impact of Distributed Generation on Power System: Part 1 – Radial Distribution Systems". 0-7803-6420-1, pp.1645-1656, IEEE 2000.
- Power System Operation, R.H. Miller and J.H. Malinowski, McGraw Hill, 1994.