



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

**Generación de Energía con un Sistema Híbrido Renovable para  
Abastecimiento Básico en Vereda sin  
Energización de Yopal - Casanare**

**LUISA MARLEN CARRILLO MEDRANO**

**Universidad Nacional de Colombia  
Facultad De Ingeniería, Departamento de Eléctrica Y Electrónica  
Bogotá, D.C., Colombia  
2015**

# Generación de Energía con un Sistema Híbrido Renovable para Abastecimiento Básico en Vereda sin Energización Yopal - Casanare

**LUISA MARLEN CARRILLO MEDRANO**

Tesis ó trabajo de profundización presentada como requisito parcial para optar al título de:  
**MAGÍSTER EN INGENIERÍA - INGENIERÍA ELÉCTRICA**

Director:

**DR. - ING. MSC FABIO EMIRO SIERRA**

**Universidad Nacional de Colombia**  
**Facultad De Ingeniería, Departamento de Eléctrica Y Electrónica**  
**Bogotá, D.C., Colombia**  
**2015**

## Tabla de contenido

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN .....   | 15 |
| INTRODUCCIÓN.....   | 17 |
| 1. ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES .....           | 19 |
| 1.1 USO RECURSOS ENERGÉTICOS Y EMISIONES CO <sub>2</sub> .....                  | 19 |
| 1.1.1 PERSPECTIVAS DE FUENTES RENOVABLES DE ELÉCTRICIDAD.....                   | 19 |
| 1.1.2 GAS NATURAL Y DERIVADOS .....   | 20 |
| 1.1.3 EL CARBON .....   | 22 |
| 1.1.4 ENERGÍA SOLAR.....  | 23 |
| 1.1.6 BIOMASA.....  | 27 |
| 1.1.7 ACTIVIDAD GEOTÉRMICA.....   | 27 |
| 1.1.8 PEQUEÑA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS .....                                   | 28 |
| 1.1.9 DIÓXIDO DE CARBONO CO <sub>2</sub> .....                                  | 30 |
| 1.2 REDES INTELIGENTES COMO SISTEMA DE MASIFICACION DE ENERGÍAS RENOVALES ..... | 32 |
| 1.2.1 GENERALIDADES.....  | 32 |
| 1.2.2 DEFINICIONES <i>SMART GRID</i> .....                                      | 33 |
| 1.2.3 BENEFICIOS .....  | 34 |
| 1.2.4 ESTUDIOS DE CASO.....   | 36 |
| 1.3 RED ELÉCTRICA COLOMBIANA .....  | 41 |
| 1.3.1 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL PAÍS SEGÚN TIPOS DE ENERGÍAS USADOS .....   | 41 |
| 1.3.2 ZONAS INTERCONECTADAS Y NO INTERCONECTADAS COLOMBIA.....                  | 42 |
| 1.3.3 ENERGIZACIÓN EN EL PAÍS .....   | 43 |
| 1.3.4 POLÍTICAS Y LEGISLACIÓN DE ENERGIZACIÓN .....                             | 44 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1.3.4 | PROURE.....   | 52 |
| 1.3.5 | NUEVA LEY RENOVABLES COLOMBIA 1715.....                                 | 52 |
| 1.4   | CRECIMIENTO DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES .....                   | 56 |
| 1.4.1 | DATOS NACIONALES.....   | 56 |
| 1.4.2 | DATOS MUNDIALES.....  | 59 |
| 1.4.3 | DESCRIPCION BREVE DE UN SISTEMA HÍBRIDO .....                           | 67 |
| 2.    | POTENCIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA VEREDA YOPAL CASANARE..... | 69 |
| 2.1   | CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y SOCIOCULTURALES DEL MUNICIPIO.....        | 70 |
| 2.1.1 | DESCRIPCIÓN FÍSICA DE YOPAL.....  | 70 |
| 2.1.2 | POBLACIÓN MUNICIPAL.....  | 72 |
| 2.1.3 | TERRITORIO RURAL DEL MUNICIPIO DE YOPAL .....                           | 72 |
| 2.1.4 | DIVISIÓN POLÍTICA RURAL.....  | 74 |
| 2.1.5 | CLIMATOLOGÍA.....   | 79 |
| 2.1.6 | HIDROGRAFIA DE CASANARE.....  | 80 |
| 2.1.7 | PUESTOS DE SALUD DE LAS VEREDAS .....                                   | 81 |
| 2.2   | ESTABLECIMIENTOS DE EDUCACIÓN .....                                     | 82 |
| 2.2.1 | CANTIDAD DE ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS EN ÁREA URBANA Y RURAL... 82    |    |
| 2.2.2 | LOCALIZACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS Y SEDES EDUCATIVAS POR VEREDA . 83     |    |
| 2.2.3 | COBERTURA DE EDUCACION FORMAL REGULAR YOPAL 2007-2012 .....             | 84 |
| 2.3   | SITUACIÓN DE ACTIVIDADES EN YOPAL.....                                  | 85 |
| 2.3.1 | SITUACIÓN SOCIAL .....  | 85 |
| 2.3.2 | SITUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL.....                                    | 86 |
| 2.3.2 | SITUACIÓN PRODUCTIVA.....   | 86 |
| 2.4   | COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA .....                                    | 87 |
| 2.4.1 | COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL PAÍS .....                           | 87 |

|   |     |
|---|-----|
| 2.4.2 COBERTURA DE RED DE ELÉCTRICA DEL DEPARTAMENTO DE CASANARE .....  | 91  |
| 2.4.3 CENTROS INTERCONECTABLES YOPAL .....                              | 92  |
| 2.4.4 FUENTES DE SUMINISTRO DE ENERGÍA.....                             | 93  |
| 2.5 SITUACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS EN LAS VEREDAS .....              | 94  |
| 2.5.1 VEREDAS SIN ENERGIZACIÓN NI PLANES A CORTO PLAZO .....            | 94  |
| 2.5.2 DATOS DEL IDEAM .....   | 94  |
| 2.5.3 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE DATOS METEOROLÓGICOS - IDEAM.....       | 103 |
| 2.5.4 VEREDA ELEGIDA SEGÚN ANÁLISIS, EVALUACIÓN Y DATOS DEL IDEAM ..... | 123 |
| 2.5.5 TRABAJO DE CAMPO EN LA VEREDA MATA NEGRA.....                     | 124 |
| 3. TECNOLOGÍAS RENOVABLES DEL SISTEMA HÍBRIDO .....                     | 128 |
| 3.1 TECNOLOGÍA CON TURBINA EÓLICA.....                                  | 128 |
| 3.1.1 TOPOLOGÍAS DE LOS AEROGENERADORES.....                            | 128 |
| 3.1.2 TAMAÑO EN LOS AEROGENERADORES.....                                | 129 |
| 3.1.3 ROTOR.....  | 130 |
| 3.1.4 SISTEMA DE CONTROL.....   | 131 |
| 3.1.5 SISTEMA ELÉCTRICO.....  | 132 |
| 3.1.6 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....                                    | 132 |
| 3.1.7 POTENCIA Y ENERGÍA DEL GENERADOR EÓLICO .....                     | 134 |
| 3.1.8 CONSIDERACIONES DE INSTALACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EÓLICA.....       | 136 |
| 3.1.9 MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN RAYLEIGH.....                              | 138 |
| 3.2 TECNOLOGÍA CON CELDAS FOTOVOLTAICAS O PANELES.....                  | 139 |
| 3.2.1 PANELES O CELDAS FOTOVOLTAICAS .....                              | 139 |
| 3.2.2 MATERIAL USADOS .....   | 140 |
| 3.2.3 MÓDULO Ó PLACAS FOTOVOLTAICAS .....                               | 141 |
| 3.2.4 TIPOS DE CELDAS FOTOVOLTAICAS .....                               | 141 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.2.5 INCLINACIÓN DEL SISTEMA DE PANELES .....   | 143 |
| 3.2.6 EL CONTROLADOR DE CARGA O REGULADOR.....   | 144 |
| 3.2.7 BATERÍAS .....   | 146 |
| 3.2.8 EL INVERSOR.....   | 146 |
| 3.3 LAS BATERIAS Ó ACUMULADORES.....   | 147 |
| 3.3.1 DESCRIPCION .....  | 147 |
| 3.3.2 CAPACIDAD DE UNA BATERÍA .....   | 148 |
| 3.3.3 CAPACIDAD DE RÉGIMEN .....   | 148 |
| 3.3.4 PROFUNDIDAD DE DESCARGA.....   | 148 |
| 3.3.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA BATERÍA.....   | 149 |
| 3.3.6 TIPOS DE BATERÍAS MÁS USADAS .....   | 149 |
| 4. PROPUESTA DE SISTEMA HÍBRIDO PARA LA VEREDA SELECCIONADA.....                             | 151 |
| 4.1 SUMINISTRO .....   | 151 |
| 4.1.1 TIPO DE ESTRUCTURA DE SUMINISTRO PARA LA VEREDA MATA NEGRA.....                        | 151 |
| 4.1.2 CONSUMO DE ELECTRODOMESTICOS HABITUALES EN UN HOGAR .....                              | 152 |
| 4.1.3 POTENCIA, ENERGÍA Y CONSUMO DE ELECTRODOMÉSTICOS ESTIMADO EN LA VEREDA MATA NEGRA..... | 153 |
| 4.1.4 PERFIL DE CARGA ESTIMADO POR USUARIO EN LA VEREDA MATA NEGRA....                       | 153 |
| 4.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS YOPAL.....                                 | 155 |
| 4.2.1 RECURSO ENERGÉTICO PROMEDIO ANUAL EN EL MUNICIPIO .....                                | 155 |
| 4.2.2 ENERGÍA TOTAL REQUERIDA EN LA VEREDA MATA NEGRA.....                                   | 155 |
| 4.2.3 POTENCIA DEL GENERADOR.....  | 156 |
| 4.2.4 TENSIÓN NOMINAL DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS.....                                       | 157 |
| 4.2.5 ARREGLO DE PANELES SOLARES NECESARIOS .....  | 157 |
| 4.2.6 DIMENSIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS .....   | 158 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.2.7 DIMENSIONAMIENTO REGULADOR O CONTROLADOR DE CARGA.....  | 161 |
| 4.2.8 DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR.....  | 163 |
| 4.2.9 DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES .....   | 164 |
| 4.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA CON AEROGENERADOR-YOPAL .....   | 168 |
| 4.3.1 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO PRELIMINAR EN LA VEREDA MATA NEGRA ....  | 168 |
| 4.3.2 RECURSO EÓLICO EN EL SITIO.....   | 169 |
| 4.3.3 PARAMETRO DE DISEÑO DEL AEROGENERADOR PARA LA VEREDA MATA NEGRA<br>.....                                      | 171 |
| 4.3.4 DIMENSIONAMIENTO REQUERIDO DEL GENERADOR MINIEÓLICO.....  | 171 |
| 4.3.5 ELECCIÓN DEL AEROGENERADOR PARA LA VEREDA MATANEGRA .....   | 172 |
| 4.3.6 PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL EQUIPO .....  | 174 |
| 4.3.7 EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EÓLICA .....  | 175 |
| 4.2 COSTOS DEL SISTEMA RENOVABLE .....  | 176 |
| 4.4.1 VALOR PRESENTE DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAÍCA EN LA VEREDA   | 176 |
| 4.4.2 VALOR PRESENTE DE LA TECNOLOGÍA EÓLICA EN LA VEREDA.....  | 177 |
| 4.4.3 VALOR PRESENTE DEL SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO RENOVABLE (SEHR) EN<br>VEREDA.....                              | 178 |
| 4.4.4 VALOR FUTURO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA DEL SISTEMA DE ENERGÍA<br>HÍBRIDO RENOVABLE (SEHR) EN VEREDA ..... | 178 |
| 4.4.5 VALOR FUTURO DE LA TECNOLOGÍA EÓLICA DEL SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO<br>RENOVABLE (SEHR) EN VEREDA.....        | 180 |
| 4.4.6 VALOR FUTURO DEL SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO RENOVABLE (SEHR) EN<br>VEREDA.....                                | 181 |
| 4.5 ALTERNATIVAS DE CONFIGURACIONES PARA EL SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO<br>RENOVABLE (SEHR) .....                    | 181 |
| 4.5.1 MODELOS DE CONRACIONES DEL SEHR.....  | 181 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.5.2 ESQUEMA DE CONEXIÓN ELEGIDA DEL SEHR SELECCIONADO ..... | 184 |
| 4.5.3 BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIALES DEL SEHR .....        | 184 |
| 5. CONCLUSIONES .....   | 187 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA.....                                   | 194 |



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del Crecimiento de Fuentes Renovables de Electricidad en el futuro

Figura 2. Producción de Gas en Colombia

Figura 3. Cobertura de Gasoductos y Poliductos en Colombia

Figura 4. Total de Extracción de Carbón y sus Usos en Colombia

Figura 5. Cantidad de Carbón Extraído por Zonas en Colombia

Figura 6. Mapa Radiación Solar Anual

Figura 7. Mapa de Brillo Solar Anual

Figura 8. Mapa de Vientos en Superficie

Figura 9. Distribución Geotérmica de Colombia según sus Capas Tectónicas

Figura 10. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en las Regiones del País

Figura 11. Crecimiento de Emisiones por Combustibles Fósiles y Cemento

Figura 12. Previsión Toneladas CO<sub>2</sub>.Percapita o por Año 2050

Figura 13. Mapa Sistema Interconectado Nacional

Figura 14. Mapa de Energización Nacional

Figura 15. Potencia Eólica Instalada en el Mundo 2010

Figura 16. Potencia Eólica Instalada en el Mundo 2014

Figura 17. Evolución de Potencia Eólica Instalada en el Mundo Periodo 2010-2014

Figura 18. Histórico Potencia Acumulada a Nivel Mundial

Figura 19. Localización Geográfica Municipio de Yopal.

Figura 20. Municipios que Limitan con Yopal

Figura 21. División Política Rural Municipio de Yopal

Figura 22. Corregimientos del Municipio de Yopal.

Figura 23. Mapa Hídrico del Departamento de Casanare

Figura 24. Mapa de Localización de Sedes Educativas en el municipio de Yopal

Figura 25. Diagrama de Barras Cobertura Bruta de Educación Anual

Figura 26. Cobertura por Nivel de Educación Formal

Figura 27. Centros Poblados Geo-referenciados de Colombia

Figura 28. Infraestructura de la Estructura Eléctrica Geo-referenciada de Colombia

Figura 29. Centros Poblados Inter-conectables Nacionales

Figura 30. Red de eléctrica actual del Departamento de Casanare y Municipio Yopal

Figura 31. Cobertura Eléctrica Casanare

Figura 32. Fuentes de Suministro de Energía Urbano

Figura 33. Fuentes de Suministro de Energía Rural

Figura 34. Localización Estación Meteorologica, El Morro

Figura 35. Localización Estación Meteorologica, Molinos de Casanare

Figura 36. Localización Estación Meteorologica, Toquilla Aquitania

Figura 37. Localización Estación Meteorologica, Pajarito Boyacá

Figura 38. Mapa Político de Boyacá

Figura 39. Localización Estación Meteorologica, Macucuna, Orocué

Figura 40. Localización Estación Meteorologica, Romerena

Figura 41. Localización Estación Meteorologica, San Luis de Palenque

Figura 42. Localización Estación Meteorologica, Z\_Ema\_Final3

Figura 43. Mapa Político de Casanare

Figura 44. Valores Totales Mensuales de Precipitación, estación Morro

Figura 45. Valores Anuales de Precipitación, estación Morro

Figura 46. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, estación Morro

Figura 47. Valores N° Días Anuales de Precipitación, estación Morro

Figura 48. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, estación Molinos de Casanare

Figura 49. Valores N° Días Anuales de Precipitación, estación Molinos de Casanare

Figura 50. Valores Medios Anuales de Nubosidad, estación Toquilla

Figura 51. Valores Totales Mensuales de Precipitación, estación Toquilla

Figura 52. Valores Anuales de Precipitación, estación Toquilla

Figura 53. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, estación Toquilla

Figura 54. Valores N° Días Anuales de Precipitación, estación Toquilla

Figura 55. Valores Medios Anuales de Nubosidad, estación Corinto

Figura 56. Valores Totales Mensuales de Precipitación, estación Corinto

Figura 57. Valores Anuales de Precipitación, estación Corinto

Figura 58. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, estación Corinto

Figura 59. Valores N° Días Anuales de Precipitación, estación Corinto

Figura 60. Valores Medios Mensuales de Temperatura, estación Corinto

Figura 61. Valores Máximos Mensuales de Temperatura, estación Corinto

Figura 62. Valores Totales Mensuales de Precipitación, estación Macucuana

Figura 63. Valores Anuales de Precipitación, estación Macucuana

Figura 64. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, estación Macucuana

Figura 65. Valores N° Días Anuales de Precipitación, estación Macucuana

Figura 66. Valores Medios Anuales de Nubosidad, estación Romerena

Figura 67. Valores Medios Anuales de Nubosidad, Estación San Luis de Palenque

Figura 68. Valores Totales Mensuales de Precipitación, San Luis de Palenque

Figura 69. Valores Anuales de Precipitación, estación San Luis de Palenque

Figura 70. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, estación San Luis de Palenque

Figura 71. Valores N° Días Anuales de Precipitación, Estación San Luis de Palenque

Figura 72. Topología de Rotores Eólicos de Eje Vertical (recuadro Izq.) y Eje Horizontal

Figura 73. Tamaño Relativo de Pequeñas Turbinas Eólicas

Figura 74. Velocidad del Viento vs. Altura

Figura 75. Curva de Potencia Eléctrica vs. Velocidad del viento

Figura 76. Escala de Viento de BEAUFORT

Figura 77. Distribución de Rayleigh

Figura 78. Efecto de una Celda Fotovoltaica

Figura 79. Funcionamiento Básico de los Paneles Solares

Figura 80. Arreglo Fotovoltaico

Figura 81. Formato de inclinación del Sistema Solar

Figura 82. Configuración Shunt de un Sistema Híbrido Solar-Eólico

Figura 83. Perfil de Carga Proyectado por Vivienda - Vereda Mata Negra

Figura 84. Características Eléctricas del Panel Yingli 145 [W], 12[V]

Figura 85. Especificaciones Técnicas Batería MTEK 205 [Ah]

Figura 86. Especificaciones Eléctricas Controlador VICTRON 50 [A]

Figura 87. Especificaciones Eléctricas Controlador XANTRES 40 [A]

Figura 88. Especificaciones Eléctricas Inversor Xantrex 400[W]

Figura 89. Rosa de los Vientos, Yopal Casanare

Figura 90. Curva de Potencia vs Velocidad del Viento

Figura 91. Tamaño estimado Mini-Aerogenerador 3kW

Figura 92. Ficha Técnica y Curvas de Potencia Mini-Aerogenerador 3kW

Figura 93. Diagrama de bloques de una instalación híbrida CC

Figura 94. Diagrama de bloques de una instalación híbrida CA

Figura 95. Diagrama de bloques de una instalación híbrida CC/CA

Figura 96. Diagrama Unifilar de la Instalación de un Sistema Híbrido Solar Fotovoltaico y Eólico

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad Neta del SIN

Tabla 2. Resumen de los Límites de Yopal

Tabla 3. Resumen de Corregimientos de Yopal

Tabla 4. Área de los Corregimientos del Municipio de Yopal

Tabla 5. Límites de los Corregimientos

Tabla 6. Red Hídrica del municipio de Yopal

Tabla 7. Puestos de Salud Yopal

Tabla 8. Consolidado de Establecimientos Educativos Zona Urbana y Rural

Tabla 9. Valores Totales Mensuales de Precipitación, estación Morro

Tabla 10. VR N° Días Mensuales de Precipitación, estación MORRO

Tabla 11. VR N° Días Mensuales de Precipitación, estación Molinos de Casanare

Tabla 12. VR Medios Mensuales de Nubosidad, estación Toquilla

Tabla 13. VR Totales Mensuales de Precipitación, estación Toquilla

Tabla 14. VR N° Días Mensuales de Precipitación, estación Toquilla

Tabla 15. VR Medios Mensuales de Nubosidad, estación Corinto

Tabla 16. VR Totales Mensuales de Precipitación, estación Corinto

Tabla 17. VR N° Días Mensuales de Precipitación, estación Corinto

Tabla 18. VR Medios mensuales de Temperatura, estación Corinto

Tabla 19. VR Max mensuales de Temperatura, estación Corinto

Tabla 20. VR Totales Mensuales de Precipitación, estación Macucuana

Tabla 21. VR N° Días Mensuales de Precipitación: estación Macucuana

Tabla 22. VR Medios Mensuales de Nubosidad, estación Romerena

Tabla 23. VR Medios Mensuales de Nubosidad, estación San Luis Palenque

Tabla 24. VR Totales Mensuales de Precipitación, estación San Luis Palenque

Tabla 25. VR N° Días Mensuales de Precipitación, estación San Luis Palenque

Tabla 26. Constante k (Weibull)

Tabla 27. Variación de la Densidad del Aire con la Temperatura ó Altitud

Tabla 28. Distribución de Rayleigh para Velocidades Medias Anuales del viento

Tabla 29. Células Fotovoltaicas de Paneles usados Comúnmente

- Tabla 30. Resumen Inversores según Tipo de Onda
- Tabla 31. Características de Tipos de Batería usadas en instalaciones Fotovoltaicas.
- Tabla 32. Potencia y Consumo de Electrodomésticos en un Hogar
- Tabla 33. Potencia, Energía Diaria y Mensual estimada por vivienda en Mata Negra
- Tabla 34. Consumo de Energía de Electrodomésticos esperados en Mata Negra
- Tabla 35. Guía general para caídas máximas de tensión
- Tabla 36. Longitud de Tramos de los circuitos Conductores
- Tabla 37. Distribución de Rayleigh para un Mini-aerogenerador 3kW, Viento 4(m/s)
- Tabla 38. Valor Presente Estimado con la Solución Solar Fotovoltaica - Vereda Mata Negra, Yopal
- Tabla 39. Valor Presente Estimado con la Solución Eólica - Vereda Mata Negra, Yopal
- Tabla 40. Valor Presente estimado con la Solución SEHR - Vereda Mata Negra, Yopal
- Tabla 41. Proyección del Consumo Residencial Fotovoltaico a 25 años
- Tabla 42. Precio de la Energía con la Tecnología Fotovoltaica para recuperar la Inversión a 25 años
- Tabla 43. Proyección del Consumo Residencial Eólico a 25 años
- Tabla 44. Precio de la Energía con la Tecnología Eólica para recuperar la Inversión a 25 años
- Tabla 45. Precio de la Energía con el Sistema de Energía Hibrido Renovable (SEHR) para recuperar la Inversión a 25 años

## RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como finalidad un estudio de viabilidad para generar energía eléctrica con un Sistema Híbrido Solar Fotovoltaico – Eólico. El diseño pretende aprovechar, complementar, maximizar el potencial obtenido de estas energías renovables y generar un menor impacto ambiental. Esta aplicación es ideal para un área sin energización donde por lo general la interconexión a la red es costosa. Durante el proyecto se hizo un estudio para identificar las posibles veredas candidatas en el municipio de Yopal – Casanare. El documento evalúa e identifica la metodología y las características que son requisito al implementar este tipo de sistemas.

Se describe el desarrollo y aplicación que han tenido los sistemas híbridos a nivel nacional y mundial. Después se investigan los recursos disponibles, la situación energética actual en el municipio y se elige una vereda para el desarrollo del proyecto, de acuerdo al protocolo empleado la vereda seleccionada fue Mata Negra del corregimiento Quebrada Seca. Allí se valoraron las necesidades energéticas, perfil de carga, consumo energético y distancia entre hogares. De acuerdo a los datos obtenidos se propone instaurar un sistema distribuido en cada vivienda con las tecnologías mencionadas. Finalmente se hace un análisis económico del sistema híbrido en su totalidad, detectando sus posibles pros y contras con los resultados del mismo.

**Palabras claves:** Generación, Sistemas Híbridos Renovables, Energía Renovable, Energía Eólica, Energía Solar, Desarrollo limpio, Yopal.

## ABSTRACT

This finality work is a feasibility study to generate electricity with a hybrid system Solar Photovoltaic - Wind. The design goal is to build, supplement, maximizing the potential obtained from these renewable energy and generate less environmental impact. This application is ideal for an area without energizing, and generally, a place where the interconnection network is expensive. In this case, an appropriately path that has those characteristics are chosen at municipality of Yopal – Casanare. The document identifies and assesses the methodology and characteristics as a prerequisite for implementing such systems clean development through a literature review, where development and application that have hybrid systems at national and global level is described. After the resources available, the current energy situation in the city are investigated and then a path for the project is selected, there needs, load profile, energy consumption and distance between households are measured; According to the data obtained is projected to establish a distributed in each home, this includes the technologies mentioned, eventually became an economic analysis of the hybrid system in its entirety, detecting the possible pros and cons with the results.

**Keywords:** Generation, Renewable Hybrid Systems, Renewable Energy, Wind Energy Solar Energy, Clean Development, Yopal.



## INTRODUCCIÓN

La energía mejora las condiciones de vida de la población y crea bienestar al permitir un desarrollo productivo económico y social. Hasta el momento las fuentes de energía eléctrica han sido en su mayoría recursos naturales no renovables, es decir que son agotables pues no se pueden regenerar una vez se usan como son los combustibles fósiles. Por eso es importante y necesario el progreso e implementación de tecnologías alternativas, que funcionen con recursos renovables disminuyendo problemas ambientales al bajar las emisiones.

La energía renovable es definida por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) [1] « como aquella que se produce en forma continua, por lo que se le considera inagotable. Aprovecha directamente los recursos como el sol, aire, agua, calor interior de la tierra, la vegetación». A continuación se estudia y define un sistema Híbrido renovable con tecnología Eólica – Solar, para el abastecimiento de energía limpia. Se investiga el proceso de generación y funcionamiento, exponiendo parámetros principales, ventajas, perjuicios, y posibles aplicaciones.

Normalmente la infraestructura eléctrica está concentrada donde la densidad de población es alta, quedando desamparadas las localidades disgregadas, según Ahmadi y Pedrasa [2]: « Estas regiones se caracterizan por la baja densidad de población y pequeña demanda de electricidad ». De lo cual se deduce que llevar ramificaciones o distenciones de la red a lugares separados tiene un costo bastante elevado.

Para contra restar dichas situaciones, nacen nuevas iniciativas para la generación de energía con energía renovable en los sectores rurales ó de difícil acceso, dado que es difícil afrontar las crisis energéticas. Adicionalmente la planeación y ejecución de proyectos ahí generalmente suele tornarse lenta o nula, debido a la cara interconexión, ya que como se menciona la demanda de la población no es considerada relevante en comparación con las demás zonas interconectadas.

En dichas localizaciones, se proyecta emplear micro-redes con sistemas distribuidos para abastecer la energía por ejemplo en partes principales, como: centros de salud, escuelas ó dar soluciones de riego y saneamiento. En regiones aisladas el apoyo técnico y financiero es restringido, como lo

mencionan Helal, El-Mohr y Eldosouki [3]: « Comunidades remotas no pueden ser capaces de conectarse a una red de energía eléctrica debido a las condiciones físicas y / o económicas».

El sistema híbrido de energía como alternativa de solución, es definido por S. Ashok [4]: «como un sistema que consiste generalmente de dos o más fuentes de energía renovables utilizadas en conjunto para proporcionar una mayor la eficiencia del sistema, así como un mayor equilibrio en el suministro de energías renovables», de esta manera se busca aprovechar esta caracterización que ofrece este sistema, en este caso con la tecnología, eólica y solar para que sea más productivo que el uso de un solo tipo de energía renovable.

El interés por realizar e investigar sobre la integración de energías alternativas, surge para dar apoyo en la profundización de estos temas en el Grupo de Investigación MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio y Gestión Energética) de la Universidad Nacional de Colombia. Debido a que las energías renovables están siendo abordadas como proyección sostenible para las futuras generaciones, al colaborar con el medio ambiente (disminuyendo las emisiones), y al generar energía aprovechando el gran potencial existente mediante tecnologías renovables.

Se plantea la estructura de tal forma que en el primer y segundo capítulo se hace una introducción al estado de arte y perspectivas del uso de energías renovables, redes inteligentes y más en detalle de los Sistemas Híbridos. En los siguientes dos capítulos se describe el estudio, análisis y proyección del potencial en las zonas rurales sin interconexión en el municipio de Yopal, departamento de Casanare, para la implementación del sistema de generación con energía renovable. Después se procede a abordar aspectos técnicos, ambientales y sociales de los sistemas con Energía Solar y Energía Eólica. También se investiga sobre baterías ó almacenamiento de energía. Luego se señalan beneficios y se hace una predicción con la suplencia del sistema híbrido renovable en la zona rural elegida, de acuerdo a estimaciones preliminares hechas. Por último, se esboza un análisis de costos presentes y futuros para llevar a cabo la recuperación de la inversión. Finalmente se puede evaluar como fase I de un proyecto de generación de electricidad con la combinación de dos energías renovables.

# 1. ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS DE SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES

## 1.1 USO RECURSOS ENERGÉTICOS Y EMISIONES CO2

### 1.1.1 PERSPECTIVAS DE FUENTES RENOVABLES DE ELÉCTRICIDAD

Muchos estudios de perspectiva mundial de la energía renovable señalan que los mecanismos limpios son viables técnica y económicamente, por lo cual se prevé una masificación principalmente de sistemas con tecnologías hídras, solares y eólicas, además afirma Sven Teske, Arthouros Zervos, Oliver Schäfer [5]: « para alcanzar un desarrollo sostenible e ir abandonando la dependencia de los combustibles fósiles, se tienen que ir implementando cada vez más fuentes a partir de energías renovables, lo cual se observa ya en varias zonas y principalmente en países desarrollados ».

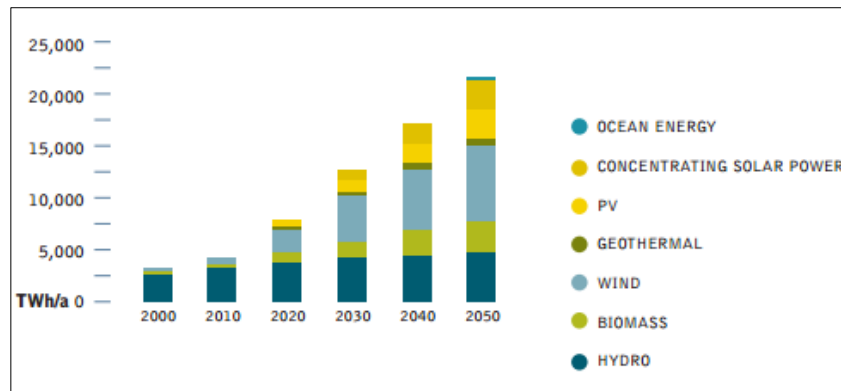


Figura1. Crecimiento de Fuentes Renovables de Electricidad en el Futuro.

(Fuente [5] Teske, Zervos, Schäfer , 2007)

De la Fig. 1 se observa que se cuenta con un gran potencial eólico y solar existente que puede ser aprovechado e ira aumentando su uso en los siguientes años. También se ve detalladamente que la energía hidroeléctrica tiene un crecimiento desde el año 2000 hasta el año 2050 sin mucha variación, la biomasa va aumentando de 2500 TWh/a hasta 5000 TWh/a, de igual forma que la anterior se observa que la energía eólica aumenta con más magnitud de 2500 TWh/a hasta 15000 TWh/a, luego se aprecia un crecimiento desde el año 2020 hasta el 2050 de la energía Geotérmica de 7500 TWh/a hasta 16000 TWh/a, los sistemas fotovoltaicos de 7500 TWh/a hasta 20000 TWh/a, los concentradores solares crecen de 15000 TWh/a hasta 25000 TWh/a, y la energía oceánica se manifiesta finalmente hasta el año 2050.

Según Benavides, Coordinador del Observatorio de Energías Renovables para Latinoamérica y el Caribe, indica que en Colombia, [6]: « El carbón representa el 57.64%, la Hidroenergía 17.43%, el Petróleo 15.12%, el Gas Natural 5.04%, y Otros 4.76% donde Solar 2.25%, Eólico 2.00%, Biodiesel 0.33%, Alcohol 0.17%».

### 1.1.2 GAS NATURAL Y DERIVADOS

Según la Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2010), en la década de los 90 el uso del gas natural tuvo un gran desarrollo en Colombia, puesto que hubo mayor disponibilidad de este recurso. Según la UPME en el año 2009 este recurso alcanzo 810 MPCD y sus exportaciones a países como Venezuela fueron de 179 MPCD, de igual manera el consumo de gas natural en el país se repartió de la siguiente manera: 27,9% a la industria, 13,9% a residenciales, y las refinerías utilizaron el 10,9% del consumo.

A continuación se muestra las principales zonas de producción de gas del país, en la figura 2:

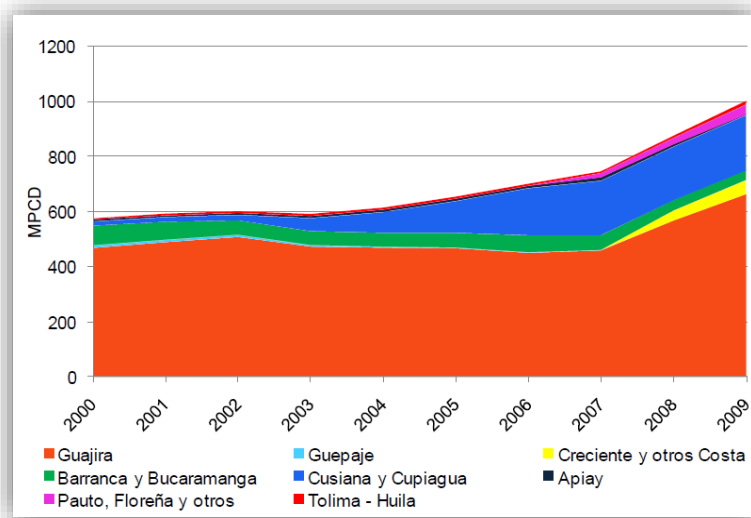


Figura 2. Producción de Gas en Colombia.

(Fuente: UPME, 2010)

A partir de la Fig. 2, se ve que la zona con mayor índice de producción es la de Guajira, de igual forma la zona de Barranca-Bucaramanga tiene una producción que en los últimos años ha venido descendiendo. De otro lado se ve que Cusiana - Cupiagua han venido incrementando su producción en los últimos años, el resto de las zonas presentes tienden según la figura a mantener sus niveles de producción.

En cuanto a la Cobertura Nacional de Gasoductos y Poliductos se ve en la siguiente figura:

Figura 3. Cobertura Nacional de Gasoductos y Poliductos



(Fuente [6] Ecopetrol, 2012)

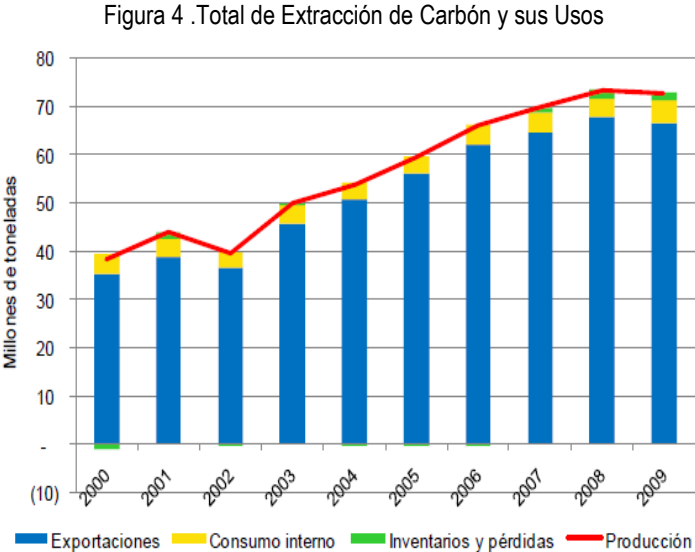
El tema del petróleo ha sido uno de los recursos que en los últimos años ha venido en ascenso, en la actualidad hay distintos tipos de esquemas de participación de las reservas como de la producción de crudo, depende una gran parte de Ecopetrol ya sea mediante los esquemas de asociación ó participación directa con algún porcentaje en este aspecto.

Actualmente según Ecopetrol (2012), [7]: « la mayor concentración de crudo se da en los llanos orientales con cerca del 60% del crudo nacional, lo siguen los valles del Magdalena con el 28%, el restante 4% se da en el sur del país; el país es un fuerte consumidor de combustibles derivados del

petróleo, en el informe se presenta que cerca del 98% del consumo se dan en derivados como la gasolina y el Diesel. El 8,7% de sus ventas se dan para uso residencial y otros como el kerosene y el Fuel-Oil están en el 0,5%».

### 1.1.3 EL CARBON

El carbón es el recurso con mayor demanda en el país. Pero gran parte de su producción es exportada (UPME 2010). En la siguiente figura se presenta el panorama de extracción del mineral para el año 2009, en donde es posible apreciar un incremento en su extracción.



(Fuente: UPME, 2010)

De igual manera es posible ver que la cantidad de carbón usada en el país no es tan grande en comparación con la que se exporta. Este fenómeno se da debido a que las zonas de mayor extracción se encuentran en la zona norte del país, en los departamentos de la Guajira y del Cesar. En las otras zonas de extracción al no estar cerca de la costa atlántica, su destino es el consumo interno. En la Fig. 5 se presenta en detalle los niveles de extracción del carbón en Colombia:

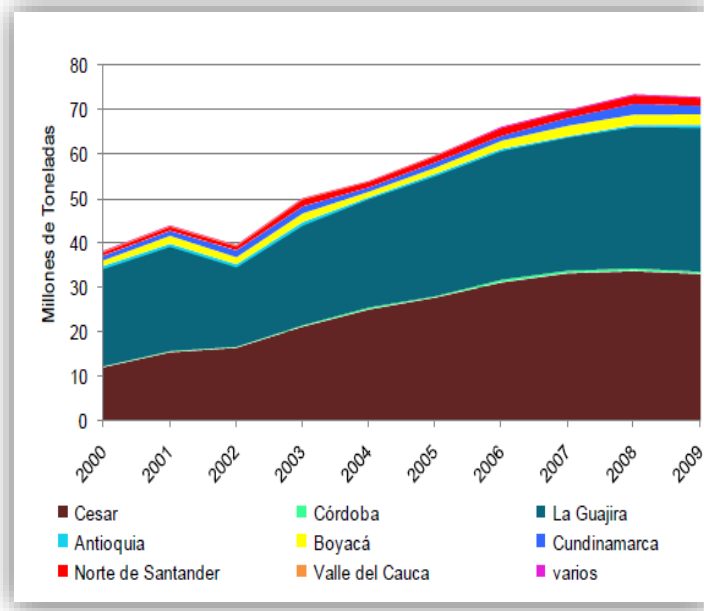


Figura 5. Cantidad de Carbón Extraído por Zonas  
(Fuente:UPME, 2010)

La Fig. 5 permite observar que este recurso además de encontrarse principalmente en la zona Caribe está presente en varias zonas del país, por lo cual se piensa que en sectores donde seguramente no son parte del sistema interconectado, podría ser una fuente útil para la generación de energía, además en nuestro país el carbón es usado principalmente por la industria y la generación de energía eléctrica. La distribución del consumo del carbon al interior del país según el UPME, está sobre el 98%, el restante es de tipo domiciliario y en otros usos, de los cuales no existe conocimiento. En los últimos años se ha visto afectado su uso debido a los constantes cambios climáticos que se tienen en la actualidad.

#### 1.1.4 ENERGÍA SOLAR

Con la energía solar se busca la adecuada utilización como solución de necesidades energéticas, para esto se identifican regiones estratégicas de acuerdo al comportamiento por zonas durante un periodo de tiempo, y se establecen mapas en los cuales se hace un análisis de la radiación (energía emitida por el sol), brillo solar y rayos ultravioleta. En el mapa de la Fig. 6, UPME (2005), [8]: « se presenta el potencial energético solar en las diferentes regiones del país ».

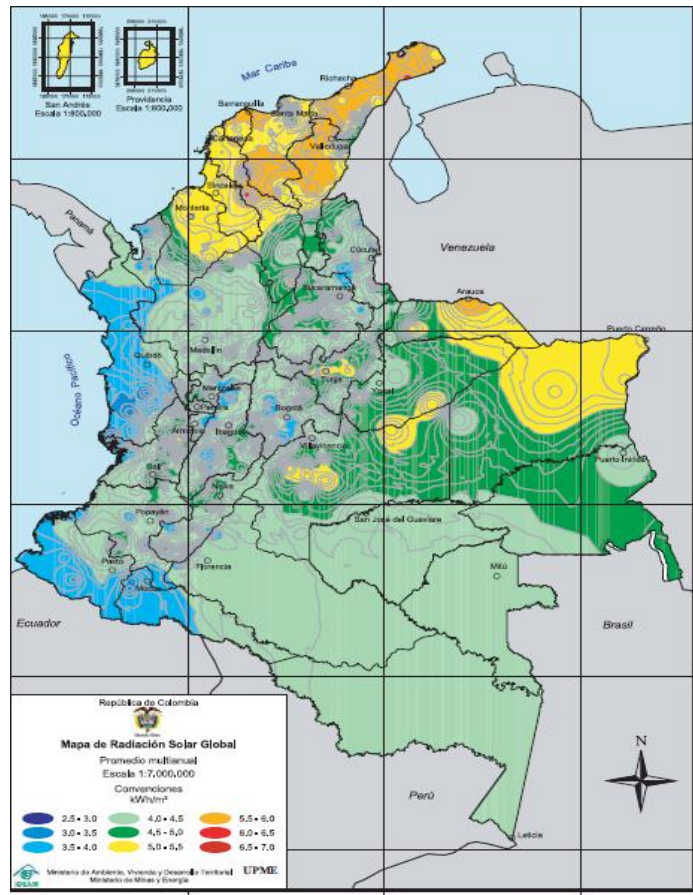


Figura 6. Mapa de Radiación Solar Anual kWh/m<sup>2</sup>.

(Fuente: UPME, 2005)

En la Fig. 6, hay mayores promedios en el norte del país y los menores hacia el occidente y suroccidente. Muchas ZNI tienen niveles de radiación solar altos. Según la UPME (2005), [9]: « Las zonas con menor intensidad de radiación solar global en Colombia, menores a 4.0 kWh/m<sup>2</sup> por día, se presentan en sectores de Chocó, Nariño, Putumayo, Caquetá, Cauca, Tolima, Eje Cafetero, Cundinamarca, Antioquia y Santanderes. Los valores más bajos (entre 3.0 y 3.5 kWh/m<sup>2</sup> por día) se presentan al sur del departamento de Chocó, Altiplano Nariñense, occidente de Putumayo y pequeños sectores de Cauca, Tolima y Santander. Las zonas que reciben mayor intensidad de radiación solar global en Colombia, entre 4.5 y 6.0 kWh/m<sup>2</sup> por día, son: región Caribe, nororiente de la Orinoquia y sectores de los departamentos de Cauca, Huila, Valle, Tolima, Caldas, Boyacá, Santanderes, Antioquia y las Islas de San Andrés y Providencia. Los valores más altos (entre 5.5 y 6.0 kWh/m<sup>2</sup> por día) se presentan en el departamento de La Guajira, norte y sur del Magdalena, norte de Cesar y reducidos sectores de Atlántico y Bolívar».



A continuación se muestra el mapa de brillo solar el cual permite calcular el potencial energético

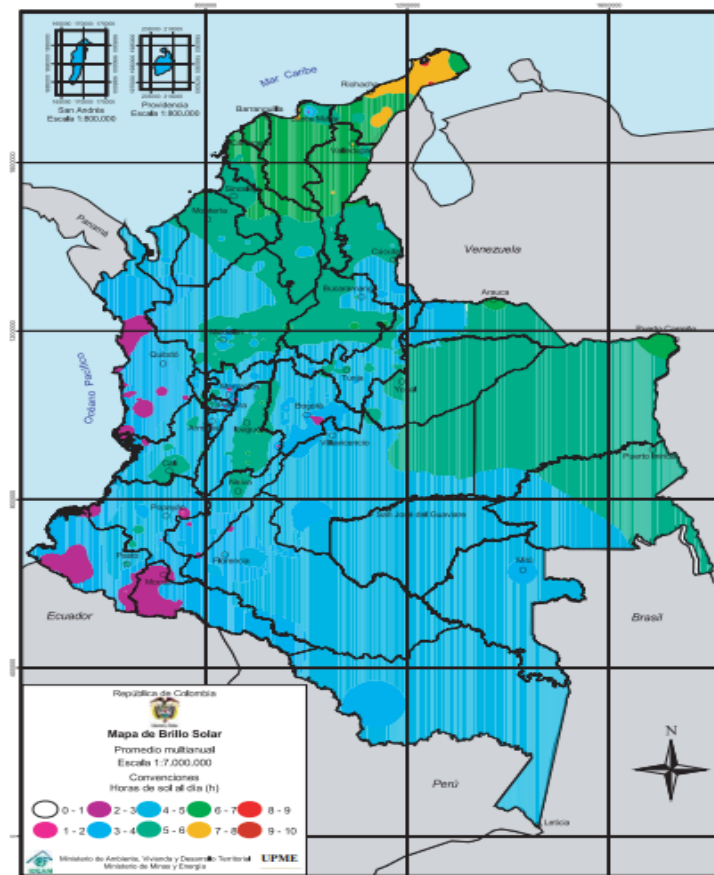


Figura 7. Mapa de Brillo Solar Promedio Anual.

(Fuente: UPME, 2005)

En nuestro país hay altas posibilidades de aprovechar este tipo de energía, como menciona la Organización de los estados Americanos (OAS) en un programa de las naciones unidas para el medio ambiente [10]: « La radiación solar es aprovechada por medio de distintos dispositivos tecnológicos que permiten el uso de la radiación como fuente de calentamiento del agua, deshidratación solar de productos agrícolas, calefacción solar, generación de energía eléctrica mediante generación térmica y fotovoltaica, etc».

### 1.1.5 ENERGÍA EÓLICA

El 'Atlas del Viento y la Energía Eólica en Colombia', presenta la información procesada sobre vientos en la forma de mapas tanto de vientos (velocidades medias mensuales y promedio anuales de vientos de superficie así como las desviaciones estándar de las velocidades) desarrollado por la UPME[11]. La velocidad del viento en superficie se refiere a la velocidad que alcanza esta variable

meteorológica a 10 metros de altura, que es la norma internacional establecida por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como estándar para la medición y seguimiento del viento. Figura 8.

Dentro de los mapas encontrados 2006 se tienen el de velocidades del viento, densidad de potencia eólica sobre la superficie de 20 y 50 m.

A continuación se presenta como es el comportamiento del viento en promedio al año. Este mapa nos permite hacernos una idea del potencial que se tiene a nivel eólico en las diversas zonas del país:

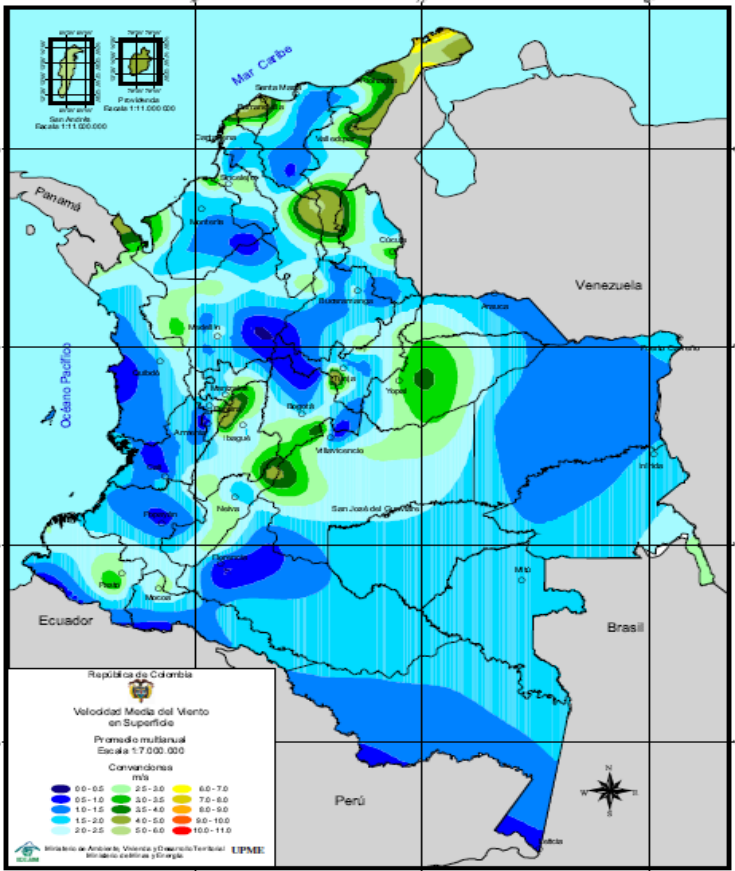


Figura 8. Mapa de Vientos Anual.  
(Fuente:UPME, IDEAM 2006)

El potencial estimado de energía eólica podría ser más aprovechado ya que los vientos en Colombia se clasifican entre los mejores de Sudamérica. La Fig. 8 permite establecer que en la Guajira se tienen vientos de 5m/s, por lo cual allí hay un buen lugar para el uso de este recurso, en otras regiones del país como Córdoba, Antioquia, Cundinamarca, Tolima, Nariño, Eje Cafetero, presentan meses donde se tienen mejores niveles que en otros. En el municipio de Yopal Casanare se tienen vientos de 3 - 4

### 1.1.6 BIOMASA

La biomasa es definida en el atlas sobre biomasa UPME (2010), como [12]: « La materia viva presente en una capa muy fina de la superficie terrestre, llamada biosfera. Los residuos que se obtienen a partir de los procesos de transformación natural o artificial de la materia viva, también son biomasa. Este tipo de fuente puede ser terrestre o acuática. Las biomasa producidas en el país no son necesariamente consumidas en un mercado de oferta y demanda, sino que son usadas como subproducto del proceso. En su composición las biomasa tienen grandes cantidades de Carbono e Hidrogeno involucrados de forma directa en las reacciones exotérmicas, que son generadores de calor. De igual forma al someterlas a calentamiento sus emisiones de CO<sub>2</sub> es neutro, lo que nos indica que no genera mayor contaminación de la existente. En Colombia cerca del 44,77% del territorio que se dedica a la actividades agropecuarias representando un sitio propicio para el desarrollo de biomasa residuales».

Al ver el potencial energético de residuos agrícolas en Colombia se deduce que las energías con biomasa que se encuentran en Colombia son unos de los recursos con mayor presencia, razón por la cual puede ser un recurso de mucha utilidad para la creación de energía y condiciones de asequibilidad por las condiciones naturales del país.

### 1.1.7 ACTIVIDAD GEOTÉRMICA

En el mapa de la Fig.9 se puede observar según el periódico UN, impreso N° 144, de la Universidad Nacional de Colombia [13]: « que principalmente existe mayor actividad geotérmica en la zona andina y el pacífico. Y que esta estructura geológica también puede convertirse en una opción para la exploración de recursos naturales no renovables en Colombia, principalmente en zonas como Chocó, Risaralda, Caldas, Quindío, Tolima, Cundinamarca, Casanare y Meta. Además de esto, se encontró que específicamente hay potencial sin ninguna explotación actual en los departamentos de Caldas, Cauca, Huila y Nariño».

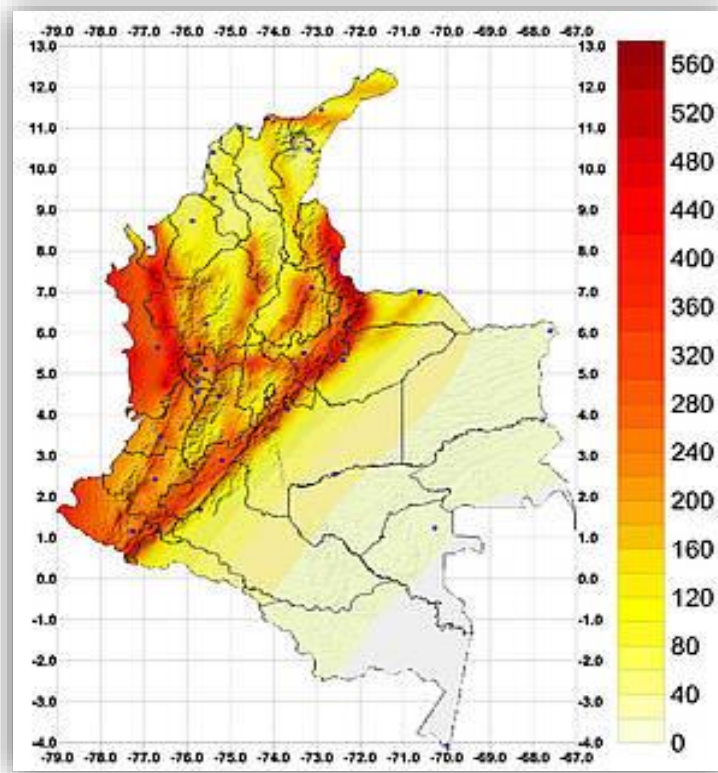


Figura 9. Distribución del gradiente Geotérmico de acuerdo a sus capas tectónicas  
(Fuente: Periódico UN, 2011)

Según el Consorcio Energético (CORPOEMA), [14]: « se ha identificado tres áreas de potencial geotérmico: i) Azufral en el departamento de Nariño, donde está ubicado el volcán Azufral y parece que hay una alta temperatura embalse ii) Tufiño Cerro-negro, entre Colombia y Ecuador, donde se encuentra el volcán de Chiles en una cámara magnética de la profundidad de 5-10 km a temperaturas entre 220 ° y 230 ° C, las temperaturas óptimas para el uso de la energía geotérmica, y iii) Paipa ubicado en la Cordillera Oriental en Boyacá, donde las rocas sedimentarias y el magma están a una profundidad de unos 5 kilómetros . Además de estos lugares, un área en el macizo volcánico Ruiz-Tolima parece prometedor».

#### 1.1.8 PEQUEÑA CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

En Colombia gracias al recurso hídrico que hay en la mayoría de regiones es viable implementar tecnologías de Pequeña Centrales Hidroeléctricas (PCH's). Una Pequeña central hidroeléctrica se define aquí teniendo en cuenta diversos criterios, que pueden ser técnicos o de acuerdo a la aplicación.

Un PCH es según la OLADE [15]: « es una instalación donde se utiliza energía hidráulica para generar reducidas cantidades de electricidad hasta 5000 kW aproximadamente por medio de uno o más grupos de conjuntos turbina/generador».

Se tienen diversos tipos de PCH, según el Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas [16]: « dentro de las que se clasifican por su Potencia se destacan: Pico-centrales, la cuales entregan potencias entre 0.5 y 5 kW, Micro-centrales las cuales tienen entre 5 y 50 kW, Mini-centrales entre 50 y 500 kW y Pequeñas Centrales las cuales entregan potencias de 500 a 5000 kW. Y las que se clasifican por el salto en metros, están: Micro centrales menor a 15m y mayor a 50m, Mini central menor a 20m y mayor a 100m, PCH's menor a 25m y mayor a 130m».

La ubicación de las principales centrales hidroeléctricas del país, se indica en un boletín electrónico de la Energía Eléctrica en Colombina (2010), [17]: « Antioquia: Guadalupe, Rio Grande y Troneras, Cundinamarca: El Colegio, El Charquito, El Salto y Laguneta, Valle: Anchicayá y Calima, Caldas: la Ínsula y la Esmeralda». A continuación en la Fig.10 nos presenta las zonas donde existe presencia PCH menores a 500 kW.

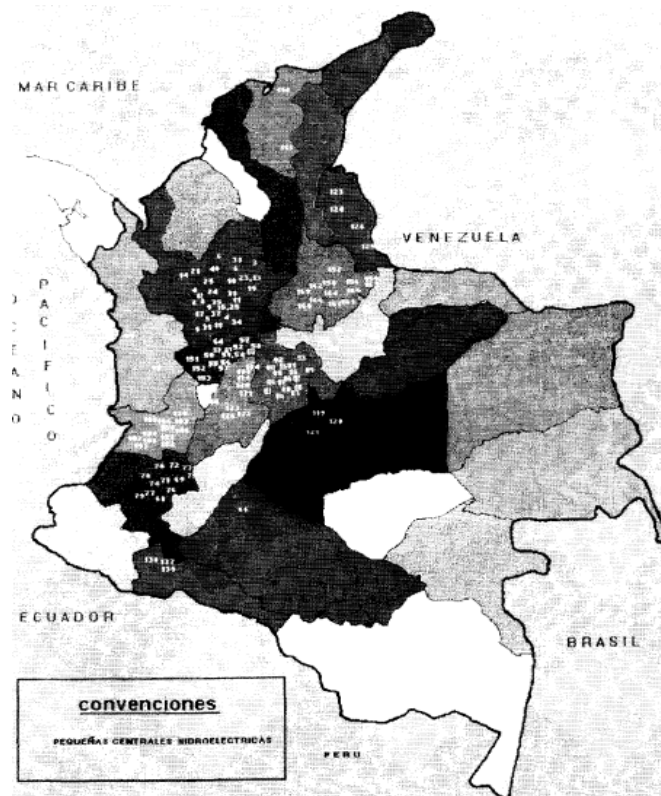


Figura 10. Pequeñas Centrales Existentes menores a 5000 k[w].  
(Fuente: UPME, Guía 20-20 de Diseño para Pequeñas Centrales)

### 1.1.9 DIÓXIDO DE CARBONO CO<sub>2</sub>

A nivel global en la atmósfera, las emisiones de Dióxido de carbono CO<sub>2</sub> relevantes provienen de los combustibles fósiles, como indica Shell Visión (2008), [18]: « el crecimiento del dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) y otros gases de efecto invernadero la atmósfera debido al uso de combustibles sólidos desde el inicio de la revolución industrial, y la deforestación a gran escala del planeta iniciada en la Edad Media, modificó el equilibrio de carbono del planeta. La creciente concentración de CO<sub>2</sub> y gases de efecto invernadero en la atmósfera (casi universalmente aceptado como responsable del calentamiento global) se ha elevado de 280 partes por millón en volumen (ppmv) en la época preindustrial, a 380 ppmv hoy día y demuestra una rápida tendencia alcista según se acelera el desarrollo económico mundial. Esta tendencia no es sustentable si el cambio climático debe ser moderado».

Adicionalmente, Le Quéré, Global Carbón Burget (2013), [19]: « La mayoría de las emisiones provienen del carbón (43%), cuyo aumento supone el 54% del crecimiento de las emisiones de combustibles fósiles; seguido por el aceite, el gas, la quema de gas y el cemento».

En la Fig. 11 se puede apreciar el 'Crecimiento de las emisiones debido a Combustibles Fósiles y Cemento 2012'

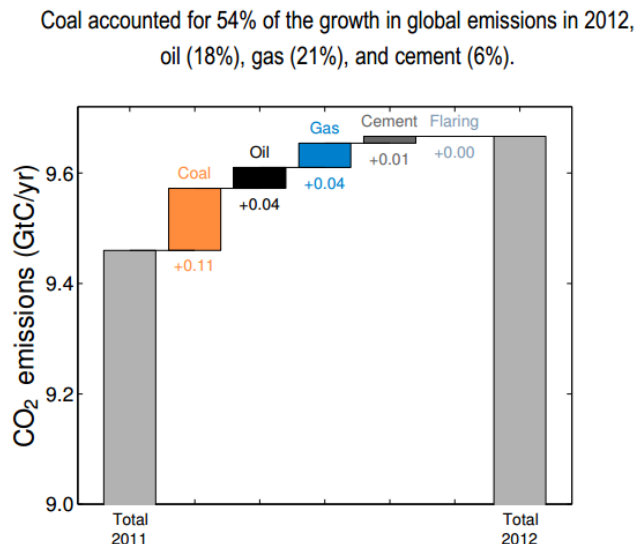


Figura 11. Crecimiento de las emisiones por Combustibles Fósiles y Cemento en el 2012  
(Fuente: Global Carbón Burget, 2013)

Según el Presupuesto Global de Carbono (2013), también observa que los principales países contribuyentes a las emisiones en el 2012 son [19]: « China (27%), Estados Unidos (14%), la Unión Europea e India (6%)».

La perspectiva ideal según Shell Visión (2008), [18]: « más energía, menos dióxido de carbono; y la menor participación del hidrocarburo en la combinación energética general, la creciente contribución de fuentes energéticas alternativas y una eficiencia energética mayor, moderan la tasa de crecimiento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera». A continuación se detalla la previsión de Toneladas CO<sub>2</sub> por año esperada en el 2050 a nivel global en la Fig. 12, en la que se ve que China ya es el mayor emisor de CO<sub>2</sub> y alrededor del año 2035 las emisiones de carbono totales de China representan el 30 % del total mundial:

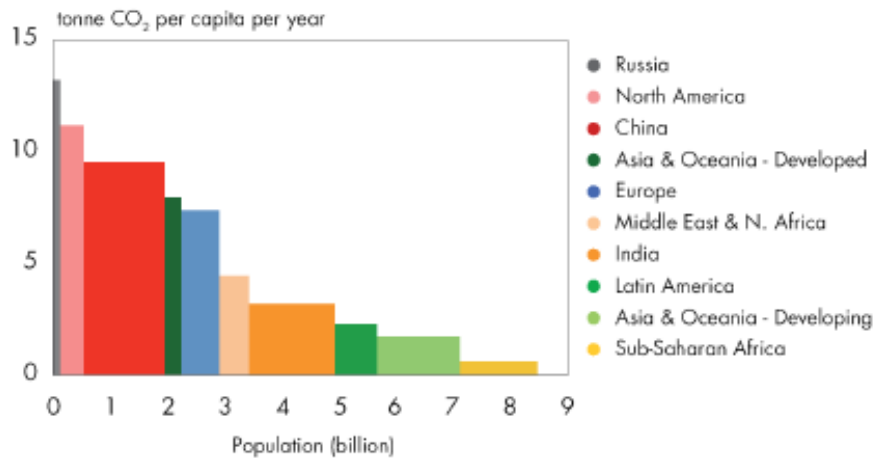


Figura 12. Previsión Toneladas CO<sub>2</sub>Per capita o por Año 2050.  
(Fuente :Shell Visión, 2008)

Se resalta que entre 2000 y 2025, la industria mundial del carbono duplicará su tamaño y en 2050 será dos veces y media más extensa. Escenarios energéticos Shell Visión indican que, [18]: «A la luz de las crecientes preocupaciones sobre la energía, las fuerzas políticas y del mercado favorecen el desarrollo del carbono como opción energética ampliamente disponible y de bajo costo». Por esto se espera que con la implementación de tecnologías con recursos renovables para la producción de energía se comience a reforzar los sumideros naturales de Carbono, los cuales se están viendo limitados por exceso en capacidad de absorción debido a las producciones estimadas de energía en el mundo.

## **1.2 REDES INTELIGENTES COMO SISTEMA DE MASIFICACION DE ENERGÍAS RENOVALES**

### 1.2.1 GENERALIDADES

Las redes inteligentes están encargadas de colocar tecnologías de comunicación e información en la cadena de generación, suministro y cobertura de energía. Ellas plantean un nuevo esquema que relaciona el sector eléctrico con sectores de transporte, construcción, medio ambiente u otras energías.

Para contribuir con una sociedad sostenible se pretende responder a grandes desafíos globales con mejores tecnologías y mayor capacidad de innovación, por ello las *Smart Grids* ya se está materializando y fortaleciendo en muchos sistemas eléctricos, al tomarse como una aplicación progresiva de mejores prácticas para resolver problemas, tales como suficiencia energética, pérdidas eléctricas, etc. Como indica IEEE *Smart Grid* busca vincular proveedores de electricidad y usuarios finales con redes de alta velocidad que proporcionan en tiempo real información acerca de las capacidades del sistema, la demanda, los precios y el estado, siendo una concentración de un amplio conjunto de tecnologías y comunicaciones avanzadas.

Las *Smart Grids*, hacen posible también un nuevo modelo de gestión energética, como se menciona en la conferencia IEEE (2010), [20]: «La integración de las comunicaciones y la información con la red eléctrica facilitará mercados eficientes, competitivos para la energía, permitirá a cada participante gestionar activamente su propia producción y el consumo, estas decisiones ayudaran al equilibrio del sistema de suministro y la demanda tanto en condiciones normales, condiciones de estrés, y en general proporcionarán información de diagnóstico y herramientas para gestionar mejor, tanto las operaciones del sistema y las aplicaciones de usuario final. También al suavizar los picos y valles de la producción de electricidad diaria y consumo, se beneficia tanto a los proveedores de electricidad y los usuarios finales, así la "Respuesta a la demanda" se traducirá en un menor consumo de energía, y los usuarios finales en general ganaran con gastos más bajos para la energía, mientras que los proveedores se beneficiarán con la reducción de costos de operación y un mejor aprovechamiento de su generación, transmisión, y activos de distribución».



El uso de las tecnologías de redes inteligentes es significativo porque garantiza un porcentaje alto en la integración de energías renovables en la red eléctrica, permite la producción descentralizada de energía y mejora el control del sistema.

### 1.2.2 DEFINICIONES *SMART GRID*

El sistema energético actual cambiará drásticamente si se introduce a gran escala las energías renovables y se amplía la electrificación en la sociedad. Por lo cual se necesitan que las redes de energía futuras sean inteligentes y sostenibles. Esto significa según un proyecto de la UE, cofinanciado por la Comisión Europea, con los socios de los Países Bajos, Francia, Grecia, España y Suecia, [21]: « red inteligente significa ser capaz de integrar y gestionar un gran número de recursos energéticos distribuidos (DER) en tiempo real. Fuentes de energía renovables como la fotovoltaica, la eólica, la cogeneración y PCHs, así como coches eléctricos y electrodomésticos inteligentes en hogares y oficinas, todos ellos contribuyen como componentes de una red inteligente; con lo que se busca una coordinación dinámica de distribución activa de redes, mercados de comercio de energía y cargas activas de los clientes finales: eso es lo que hace una red inteligente».

Hay varias definiciones Smart Grids, según The International Energy Agency (IEA), [22]:

« “Una red inteligente es una red eléctrica que utiliza tecnologías digitales y otras tecnologías avanzadas para monitorear, controlar y gestionar el transporte de electricidad desde todas las fuentes de generación hasta los usuarios finales para satisfacer sus demandas de electricidad”.

“Las redes inteligentes coordinan las necesidades y las capacidades de generadores, operadores de red, usuarios finales y grupos de interés del mercado eléctrico, para operar todas las partes del sistema tan eficientemente como sea posible, minimizando los costos y los impactos ambientales, al tiempo que maximiza la confiabilidad del sistema, la estabilidad y la resiliencia” ».

Se presenta diversas definiciones donde European Committee for Standardization (2012), ve las redes Inteligentes como [23]: « “Sistema de Sistemas, consistente de sistemas heterogéneos pero interactivos, cada uno con varios componentes. La interacción es posible usando tecnologías de información, a su vez implantada por sistemas y componentes”. “Una evolución de la red actual para tener en cuenta nuevos requisitos, para desarrollar nuevas aplicaciones y para integrar tecnologías

actuales en particular las de tecnologías de información”. “El desarrollo resultará en “una nueva arquitectura con múltiples actores, múltiples aplicaciones, múltiples redes que debe interoperar” ».

Como características fundamentales de Smart Grid nombra un boletín electrónico de U.S. Department of Energy (<http://www.energy.gov>), [24]:« Que permiten la participación activa de los consumidores, acomodan todas las opciones de generación y las opciones de almacenamiento, habilitan nuevos productos, servicios y mercados, proporcionan la calidad de la energía necesaria para la soportar la economía digital, optimizan la utilización de los activos y su operación eficiente, anticipan y responden a las perturbaciones del sistema (auto-curación), permiten operar flexiblemente ante desastres naturales o ataques».

### 1.2.3 BENEFICIOS

La revolución de la información de tecnologías ha venido transformado varias industrias de red de América (por ej., telecomunicaciones) y aún está en camino a transformar el negocio de energía eléctrica, como se menciona en un reciente documento preparado por la Oficina de Energía de Transmisión y Distribución (OETD) del Departamento de Energía de EE.UU. (DOE), según Baer S., Fulton B., Mahnovski S. [25]:« Smart Grids busca modernizar el sistema de electricidad de la nación central de generación a los dispositivos de los clientes, equipos y crear una red de colaboración en el mercado llena de información abundante, basada en oportunidades, uso avanzado de telecomunicaciones, información y métodos de control, que pueden crear una "sociedad" de dispositivos que funcionen como un sistema para combatir el envejecimiento, ineficiencia y congestión, e incapacidad de reunir a las futuras necesidades energéticas de la economía de la información sin cambios de funcionamiento y la inversión de capital sustancial en los próximos décadas».

Al incluir redes inteligentes como una nueva red se espera una solución a problemas del sistema eléctrico como falta de reparación, control avanzado, impacto ambiental, confiabilidad, costos de servicio, eficiencia; puesto que las redes inteligentes tienen opciones técnicas como: sensores en todo el sistema, ampliación del monitoreo, expansión del porcentaje de las energías, proyectar un flujo y comunicación bidireccional.

Indica Tengku Hashim, Azah Mohamed, Hussain Shareef [26]:« Las redes de distribución convencional se diseñan basándose en el ascenso de flujo de potencia unidireccional. Con la creciente conexión de Generadores de Distribución (DG), la red se vuelve más dinámica con flujo de potencia bidireccional, lo que es conocido como redes de distribución activas (ADN). Que dentro de sus retos técnicos busca mantener un nivel de tensión aceptable, controlar el perfil de tensión de red, mitigar los problemas de tensión incluyen el uso coordinado o centralizado y métodos descentralizados. Así los Sistemas de distribución de energía, se encuentran en estado de transición pasivos a redes activas».

Según D'Adamo C., Samuel J., and Chad A., [27]:«Una red de distribución activa se define como una red de distribución con sistemas para el control de una combinación de recursos energéticos distribuidos que comprende generadores y almacenamiento ».

Las redes de distribución activas (ADN), las define Hidalgo R., Abbey C., Joo, x, and s G., [28]:«como un nuevo sistema que adopta, la integración del control y las tecnologías de comunicación, que los operadores de redes de distribución puede gestionar y dar cabida a la nueva red de distribución».

Por otro lado, el despliegue de contadores inteligentes está aumentando rápidamente en todo el mundo. Según Doris E. y Peterson K. [29]:« Se espera para el 2019 que se implementen en treinta y ocho estados de Estados Unidos. Puesto que mediante "medidores inteligentes", se podrá obtener un seguimiento de la salida en cualquier sistema alternativo que se elija, para que se notifique automáticamente a los operadores de red y los técnicos problemas en el funcionamiento».

En Austria, la Victoria es el primer estado en instalar medidores inteligentes. Menciona las distribuidoras de electricidad CitiPower y Powercor (2011), [30]:« La revisión del Gobierno con el programa de medidores inteligentes, encontró que se traería mayor beneficios a los consumidores, ya que los contadores inteligentes son seguros y están dentro de los requisitos electromagnéticos y las emisiones de radiofrecuencia. De acuerdo con ello, se instaló contadores inteligentes en todos los hogares y negocios en Victoria por diciembre de 2013».

Las aplicaciones de tecnologías de redes inteligentes sirven para lugares aislados o grandes sistemas integrados, puesto que son técnica, económicamente factibles al acomodar la demanda de electricidad creciente, las diferentes fuentes de energía e incluir altos niveles de energías renovables.

Muestran Emperne, Komor , Hoke (2013), [31]: « países en desarrollo que comienzan a implementar redes eléctricas a partir de tecnologías de redes inteligentes corrigiendo la infraestructura energética obsoleta y progresando con la creación de sistemas de redes eficientes y flexibles, lo cual se demuestra en varios países como Dinamarca, Jamaica, Países Bajos, Singapur y los Estados Unidos (Nueva México y Puerto Rico) ».

Indico también el Senado de Colorado SB 10-180, [32] :« Un futuro Smart Grid permitirá un mejor sistema distribuido, con potencia que fluye entre centrales eléctricas, grandes centros de energía renovable, pequeña centros distribuidos de generación de energía, vehículos eléctricos, casas inteligentes y edificios inteligentes. El flujo de energía y el uso serán marcadamente más variados de lo que es hoy. Smart Grid puede tanto activar, así como ayudar a controlar y regular estos variados usos futuros, se espera una evolución en el que cada nueva incorporación permitirá más usos, crear más desafíos, y ofrecer oportunidades con riesgos y recompensas».

#### 1.2.4 ESTUDIOS DE CASO

Se espera que la red del futuro se base en gran parte en el desarrollo de las redes inteligentes, lo cual también implicara cambios en las políticas, marcos regulatorios para abordar problemas para crear la infraestructura de la red para un futuro con energía sostenible.

Los proyectos que se presentan a continuación, muestran pruebas que ya hay una transformación del sector eléctrico hacia las energías renovables y está siendo exitosa al usar tecnologías de redes inteligentes con la integración de las energías renovables.

##### 1.2.4.1 Estudios de Caso 1: Dinamarca

Según la Asociación Danesa de Energía (2012), [33]: « Dinamarca ha utilizado durante mucho tiempo varias tecnologías de redes inteligentes para apoyar la introducción de energía eólica más alta del mundo, alrededor del 30% de su electricidad proviene de viento, este es el país que alcanza la máxima

confiabilidad del sistema eléctrico en Europa. Dinamarca tiene previsto aumentar la penetración de la energía eólica a 50% en el 2025,

Por otra parte, según la mayor empresa de Dinamarca Energinet.dk (2010), [34]: « esta en prueba la automatización de distribución avanzada para dividir la red en células autónomas, o "centrales eléctricas virtuales", que consta de inversores eólicos inteligentes y generación distribuida, tales como plantas de cogeneración. Algunas de estas células puede operar "en Isla" o micro redes».

#### 1.2.4.2 Estudio de caso 2: Puerto Rico

Según la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (2011), [35]: «Puerto Rico cuenta con un sistema de 5,8 GW de capacidad, una red eléctrica de 3,4 GW demanda pico. Tiene planes para instalar 1 gigavatios (GW) de electricidad renovable (excluyendo hidroeléctrica). Puerto Rico como es una isla, no puede depender de los países vecinos». Y para la regulación de Potencia en las plantas, indica Burder (2012), [36]: « Los proyectos solares cumplen con la regulación de plantas mediante la instalación de inversores inteligentes, y soporte a fallo mediante la inclusión de sistemas de almacenamiento de la batería en paralelo con plantas fotovoltaicas. Convirtiendo la acumulación de energía en mejores términos económicos para Puerto Rico, debido al alto costo de la electricidad en su red principalmente de gasoil».

Estos proyectos de energía renovable son parte de un amplio despliegue de redes inteligentes que se inició en 2010 menciona Cordero, M. (2010), [37]: «incluyen automatización de la distribución con FLISR (es decir, la localización de fallos, el aislamiento y la restauración del sistema), la instalación de fasor unidades de medida (UGP), respuesta a la demanda (DR), la infraestructura de medición avanzada (AMI) con portales y vehículos eléctricos (EV) infraestructura; todos los cuales son además de aumentar la energía basada en la generación de Energía Renovable y almacenamiento de energía». Y planes para implementar la Energía Renovable en Puerto Rico, según Romero Barceló (2012), [38]: « estos incluyen la energía solar fotovoltaica, eólica, plantas de vertedero y residuales sólidos de gas, plantas despedido. Las comunicaciones y el control estará a cargo de un sistema de radio mejorado y nuevos sistemas de comunicaciones de línea eléctrica».

Puerto Rico también ha adoptado explícitamente una serie de normas internacionales relacionadas con la red inteligente y el despliegue Energías Renovables, ayudando a garantizar la interoperabilidad de sus diversos sistemas.

### 1.2.4.3 Estudio de caso 3: Singapur

Red eléctrica de Singapur es considerada según Gross (2010), [39]: « una de las más confiables en el mundo, con un sistema de TIEPI duración índice inferior a 1,5, lo que significa que, en promedio, un cliente va a estar sin electricidad por menos de 1,5 minutos por año. Esto es debido en gran parte a la utilización de sensores y controles automatizados en la transmisión y distribución de sistemas de energía. La red eléctrica de Singapur incluye una extensa bidireccional control de supervisión y adquisición de sistema de datos, con DA instalado en la mayoría de las subestaciones y alimentadores».

Singapur comenzó la expansión de su red eléctrica ya bastante inteligente en 2010 y señala Menon (2011), [40]: «La primera fase de su " Proyecto Sistema Energía Inteligente" implicó la expansión de su red de comunicaciones utilizando una combinación de comunicaciones por radio, fibra óptica y banda ancha por línea eléctrica (BPL), con miras a apoyar a los edificios inteligentes, vehículos y los sensores, junto con la captación y Energías Renovables. La red de radio apoya un proyecto piloto para infraestructura de medición avanzada (AMI) utilizada para respuesta a la demanda (DR), que emplea pantallas en el hogar, portales web y fijación dinámica de precios en intervalos de 30 minutos. El piloto AMI / DR ha reducido cargas residenciales pico de 3,9% y el consumo total de energía en un 2,4%. Los datos AMI también se utilizan para localizar y responder a las interrupciones».

Se observa que muchos clientes industriales tienen sus propias plantas de cogeneración, y estos planes insinúan un mayor uso de fuentes de energía distribuida y sostenible. Se propone que los planes futuros incluyan para el restante clientes el despliegue de infraestructura de medición avanzada (AMI), así como la integración de los sistemas avanzados de gestión de la energía a nivel residencial, comercial y localizaciones industriales.

Singapur también está instalando un proyecto piloto, menciona Singapur Energy Market Authority (2012), [41]: « que es un proyecto sobre la micro-red pequeña en la isla de Pulau Ubin. Actualmente suministrado por los altos costos de los generadores diesel, la micro-red incorporara generación de energía solar fotovoltaica para reducir las emisiones». Se dice que esta micro-red es la intención de servir como banco de pruebas para otras tecnologías de redes inteligentes y desarrollar el conocimiento y la experiencia local con tecnologías de redes avanzadas en preparación para futuras micro-redes en otras islas y en los entornos comerciales».

#### 1.2.4.4 Estudio de caso 4: Jamaica

Jamaica obtiene actualmente más del 90% de su electricidad de los generadores diesel, lo que lleva a los altos precios de la electricidad y un drenaje escaso en el capital del país. Además, casi una cuarta parte de la electricidad producida en Jamaica es "Perdida" -10% en el sistema de transmisión y distribución y gran parte del resto en robo. Jamaica tiene planes ambiciosos para aumentar la cantidad de las energías renovables en su sistema, mejorar la eficiencia energética y reducir las pérdidas.

Según Stennet, D., [42]: « Jamaica ha invertido 50 millones de dólares anualmente en T & D de las actualizaciones, está gastando 10 millones de dólares en infraestructura de medición avanzada (IAM) y se ha instalado un nuevo control de supervisión y adquisición de datos que mejorará la integración de las energías renovables, apoyar y ayudar a DSM identificar pérdidas».

#### 1.2.4.5 Estudio de caso 5: Nuevo México

Una visión a largo plazo según New México Green Grid, N.D [43]: « es la combinación de varias fuentes de energías renovables y generación para dar mayor eficiencia, un sistema optimizado e integrado a través de tecnologías de redes inteligentes. Así una versión a pequeña escala es la comunidad en Albuquerque, de Nuevo México ». El sistema, una vez instalado completamente, como indica Shimizu Corporation (2012), [44]: « se pondrá como una "Isla" en caso de que la red se caiga; Por lo tanto, es un buen ejemplo de una micro red. Además, el sistema podría cambiar o reducir la demanda en solicitud de la utilidad, y como tal, servir como una fuente de energía gestionable».

#### 1.2.4.6 Estudio de caso 6: Países Bajos

La visión avanzada de un sistema de redes inteligentes de tecnología intensiva totalmente descentralizado está ilustrado por el "Power Matching City" proyecto de demostración en Hoogkerk, de los Países Bajos. Este proyecto de muy alta tecnología según Bliet, et al (2010), [45]: « implica 25 residencias y una serie de tecnologías avanzadas, algunas de las cuales tienen el calor combinado del hogar de tamaño y las unidades de energía que utilizan gas natural para generar electricidad y calor. Estas unidades tienen una potencia eléctrica máxima de 1 kilovatio (kW). Cada hogar tiene un sistema fotovoltaico de 1,6 kilovatios pico (kWp). Bomba de aire-agua, y el calor se utilizan para calefacción. Lavadoras y lavavajillas inteligentes, que funcionan cuando los costos de electricidad son bajos, ayuda en torno la demanda de electricidad a los períodos de menor actividad. También hay

sistemas eléctricos y vehículos - híbridos. Todos los componentes están integrados a través de un sistema de comunicaciones común».

#### 1.4.2.7 Estudio de caso 7: Austin

Austin Energy (AE), tiene 360.000 clientes y completó su despliegue de medidores inteligentes en 2008, con cobertura del 100% en su territorio de servicio. La utilidad se encuentra trabajando en el desarrollo posterior de la red inteligente. La razón principal para la medición avanzada es el promover la eficiencia energética a través del control directo de la carga, termostatos inteligentes y sistemas de respuesta de demanda de los clientes integrados. Según Hoff, Perez, Braun, Kuhn , Norris [46]: « La generación eléctrica se busca con la integración de la generación de energía solar y el sistema de distribución, incentivando los sistemas fotovoltaicos (FV) de propiedad del cliente, además con la instalación de 15 MW de generación de energía solar y con un objetivo de 100 MW en 2020. AE emite dos solicitudes de propuestas para asegurarse que el costo de generación de energía solar es proporcional a su valor, donde determina el valor de los beneficios del desarrollo económico de la energía solar. Y el valor de generación de energía solar a AE».

#### 1.2.4.8 Estudio de caso 8: Colorado

El Senado de Colorado SB 10-180 [32]: « dirigió un grupo de trabajo (conformado por representantes de servicios públicos, educadores, investigadores, consumidores y defensores del medio ambiente y el sector privado y los representantes del sector público), para elaborar recomendaciones sobre la "viabilidad, costo y oportunidad de la transición a una red eléctrica segura, resistente y tecnológicamente avanzada", llamada en su reporte como "Smart Grid." En el transcurso de las deliberaciones, el Grupo de Trabajo da recomendaciones de consenso desarrolladas para el Gobernador, la Asamblea General, y la Comisión de Servicios Públicos de Colorado (PUC). Estos son: (1) Desafíos y Oportunidades en Colorado, (2) La Fuerza Laboral y el Desarrollo Económico, (3) Temas de consumo y Gestión de Datos, (4) Recursos para la Distribución de Energía y Gestión de Red (5) Especificaciones técnicas, y (6) Operaciones de Red. El informe describe el contexto y los antecedentes de cada uno de estos recomendaciones y articula tres vías que los responsables políticos de Colorado podrían usar para guiar la transición a la Smart Grid en Colorado».



### 1.3 RED ELÉCTRICA COLOMBIANA

#### 1.3.1 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DEL PAÍS SEGÚN TIPOS DE ENERGÍAS USADOS

Se generó un informe en el cual indica la UPME en su plan de expansión, [47]: « Que el sector eléctrico en Colombia ha sido desagrupado en generación, transmisión, red de distribución y comercialización desde que se llevaron a cabo las reformas del sector eléctrico en 1994. Y actualmente es mayormente dominado en cuanto a zonas interconectadas por generación de energía hidráulica (64% de la producción) y generación térmica (33%), el 4,7% para lo que se denominan sistemas menores y el 0,4% para co-generadores. Sin embargo, el gran potencial del país en nuevas tecnologías de energía renovable (principalmente eólica, solar y biomasa) apenas si ha sido explorado». Según estos datos se ve que hay aumento de la demanda energética del país, también que las grandes plantas de energía hidráulica y térmica dominan los planes de expansión actuales y la necesidad de inclusión de energías alternativas.

A continuación se contempla el comportamiento energético del país en cuanto a los tipos de energías usados, como se aprecia a continuación en la Tabla 1:

| TABLA 1. Capacidad Neta del SIN |           |          |
|---------------------------------|-----------|----------|
| <i>Recursos</i>                 | <i>MW</i> | <i>%</i> |
| Hidráulicos                     | 8.525     | 64,1%    |
| Térmicos                        | 4.089     | 30,8%    |
| Gas                             | 990       | 27.41%   |
| Gasolina -Diésel                | 434       |          |
| Combustóleos                    | 187       |          |
| ACPM                            | 0         |          |
| Menores                         | 620,6     | 4,7%     |
| Hidráulicos                     | 518,8     |          |
| Térmicos                        | 83,4      | 5,2%     |
| Eólico                          | 18,4      | 0,7%     |
| Cogeneradores                   | 54,9%     | 0,4%     |
| Totales SIN                     | 13.289,5  | 100%     |

(Fuente: UPME, 2011)

En estos datos se ve que la capacidad neta efectiva instalada es de 13 GW con su respectiva proporción por fuente, las zonas que se encuentran fuera del sistema interconectado plantean condiciones de electrificación especialmente difíciles, así como importantes insuficiencias en la dotación del servicio, por eso son muchas las que no han sido bien desarrolladas u abordadas al igual que los sitios donde este servicio aún no está presente, además de que en la gran mayoría de casos también se debe a los altos costos que se requiere para llevar infraestructura de energía a zonas no interconectadas, por lo cual en muchas sitios el servicio no está presente, ó si lo está depende de

otras fuentes de energía y por horas.

### 1.3.2 ZONAS INTERCONECTADAS Y NO INTERCONECTADAS COLOMBIA

En cuanto a la Energía Eléctrica en Colombia, como indica un boletín electrónico (2010), [19]: «El suministro eléctrico en Colombia depende del Sistema de Interconexión Nacional (SIN) y varios sistemas locales aislados en las Zonas No Interconectadas (ZNI). En Colombia, la cobertura eléctrica el SIN comprende la tercera parte del territorio, proveyendo cobertura al 96 por ciento de la población en áreas urbanas y el sistema ZNI, cubre las dos terceras partes restantes del territorio nacional, equivalente a 55% en áreas rurales. Por otra parte, el ZNI es servido principalmente por pequeños generadores diésel, muchos de los cuales no están en buenas condiciones de funcionamiento, puesto que padece importantes di-economías de escala ya que el 80 % de la capacidad se encuentra en plantas en el umbral inferior a 100 kW ».

En el mapa de la Fig. 13, se observa todas las zonas que no hacen parte del Sistema Interconectado Nacional SIN (en verde oscuro). Para dar un mayor acercamiento de la situación eléctrica del país se presenta el mapa correspondiente a las zonas interconectadas y no conectadas en Colombia.



Figura 13. Mapa Sistema Interconectado Nacional (Fuente: Colombian National Electricity Grid ,GENI )

A partir del mapa se ve también que el Sistema No Interconectado en Colombia comprende gran parte del territorio nacional, y aún son varias las zonas que no tienen un acceso cercano a este recurso, como las regiones de Amazonia, Pacifico, parte de la Orinoquia, puesto que algunas de las nombradas como zonas interconectadas actualmente existentes carecen realmente de este servicio.

### 1.3.3 ENERGIZACIÓN EN EL PAÍS

El Sistema Interconectado Nacional (STN) existente, según el Ministerio de Minas y Energía en la adopción del Plan Expansión de Referencia Generación -Transmisión (2010 - 2024), [48]: «está presente principalmente en la zona Andina y una parte de la zona Caribe», donde muestra el mapa de expansión de redes de trasmisión que se ve en la Fig.14 a continuación:



Figura14. Mapa de Energización Nacional  
(Fuente: Colombian National Electricity Grid ,GENI )

La energización nacional se concentra en la zona Andina y tiene un vínculo con el Sistema Interconectado de países vecinos como lo son Ecuador y Venezuela, muchos de los proyectos a ejecutar son por usuarios que aún carecen del sistema interconectado y que están en espera de una atención a la necesidad, como se puede apreciar por ejemplo en algunas áreas de la Orinoquia, entre otras.

Las energías renovables son una respuesta que representa ganancias en la cadena de suministro, ya que al generar más venta de energía y ser promovidas por las empresas o el estado con programas de incentivos, tarifas o eficiencia, se ampliara el crecimiento de las nuevas tecnologías con almacenamiento de energía para ser aprovechado en los sistemas eléctricos y ser implementadas en comunidades aisladas ó rurales sin cubrimiento energético.

#### 1.3.4 POLÍTICAS Y LEGISLACIÓN DE ENERGIZACIÓN

Para conocer los escenarios relacionados que inciden sobre estos temas ó sobre el usuario final interesado, se investiga las políticas, normas u entidades con que cuenta Colombia para la operación de este tipo de tecnologías que nacen para potencializar las energías renovables, y mejorar el uso racional de la energía, se vio que entre estas sobresale:

##### 1.3.4.1 El Protocolo de Kioto

Según la organización de las Naciones Unidas, [49]: « el protocolo busca regular las emisiones de los 6 gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Especificando objetivos y programas de obligado cumplimiento legal para conseguir una disminución de gases de efecto invernadero por los países desarrollados de hasta un 5% de las emisiones en el periodo de 2008-2012 en relación con los niveles de 1990. El Protocolo fue suscrito inicialmente por 84 países, y desde entonces lo han ratificado o han accedido a él 166. El Protocolo entró en vigor y adquirió la condición de obligado cumplimiento legal el 16 de febrero de 2005. Este es el único mecanismo internacional para empezar a hacer frente al cambio climático y minimizar sus impactos ».

Los países que se encuentran en el proceso de Kioto, deben emplear diferentes mecanismos comerciales diseñados en el Protocolo. Estos son denominados, mecanismos flexibles, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) y la Implementación Conjunta (IC), son algunos de ellos.

#### 1.3.4.2 Ley 1099 de 2006

Esta Ley aparece posteriormente a la Ley 633 de 2000. Donde se indica según el Ministerio de Minas y Energía [50]: « que se da una prolongación del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de Zonas no Interconectadas hasta el 31 diciembre de 2014, se adiciona la posibilidad de reembolsar total o parcialmente los estudios de prevención». Consiguientemente el FAZNI es reglamentado medio del Decreto Reglamentario 1124 de 2008.

#### 1.3.4.3 Decreto 3683 del 2003

Por el cual se reglamenta la Ley 697 de 2001 (que fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas) y se crea una Comisión Intersectorial, según el Ministerio de Minas y Energía [51]: « que crea un estímulo a la educación e investigación en fuentes de energía renovable (FER); los proyectos a los que se refiere pueden ser elegibles para los mercados de reducciones de emisiones de gases con efecto invernadero».

#### 1.3.4.4 Ley 697 de 2001

Por la cual se debe establecer la Ley URE (Uso Racional y Eficiente de la Energía) y las energías alternas. Donde se indica según el Ministerio de Minas y Energía [51]: « con el objeto que el país tenga una eficiencia energética para garantizar el abastecimiento pleno y oportuno, la competitividad del mercado energético colombiano, la protección al consumidor, la promoción de fuentes no convencionales de energía dentro del marco de desarrollo sostenible y respetando la normatividad vigente sobre medio ambiente y recursos naturales renovables».

#### 1.3.4.5 Ley 633 de 2000, art. 82

El Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI) [50]: « fue creado en los artículos 81 al 83 de la Ley 633 de 2000 con una vigencia a 31 de diciembre de 2007. FAZNI, se estableció aquí para financiar los planes, programas y proyectos de inversión en infraestructura energética en las zonas no interconectadas (ZNI), de acuerdo con la ley y con las políticas de energización que para las zonas no interconectadas ha determinado el Ministerio de Minas y Energía, conforme con los lineamientos de política establecidos por el Consejo Nacional de Política Económica y Social en documentos tales como los Documentos Conpes 3108 de 2001 y 3453 de 2006, para financiar planes, programas y/o proyectos priorizados de inversión para la construcción e instalación de la nueva infraestructura eléctrica y para la reposición o la rehabilitación de la existente,

con el propósito de ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía en las Zonas No Interconectadas».

#### 1.3.4.6 Las reformas de 1994

El gobierno avanzó en la modernización del sector eléctrico, abriéndolo a la participación privada. La reestructuración se llevó a cabo mediante las Leyes 142 (Ley de Servicios Públicos) y 143 (Ley de Electricidad) de 1994.

##### 1.3.4.6.1 Ley 142 de 1994

Esta ley establece los siguientes aspectos según el Congreso de Colombia [52]: «

- Los servicios públicos conectados al SIN, deben de haber cumplido con el estatuto de la operación y de los acuerdos adoptados para la operación.
- Servicios públicos de transporte y distribución deben permitir la conexión y el acceso de otros servicios públicos o clientes finales que lo soliciten.
- Funciones específicas del Centro Nacional de Despacho, CND, se establecen: la planificación, la coordinación, la supervisión, el control y el análisis de la operación de generación, interconexión y transmisión en el SIN.

##### 1.3.4.6.2 Ley 143 de 1994

El congreso de Colombia establece que [53]: « la generación, interconexión, transmisión y comercialización, son actividades asociados con los servicios de energía públicas para satisfacer permanentemente, colectivo y requisitos fundamentales, se consideran como algo esencial, obligatorio, de los servicios de utilidad pública y deben aplicar los fundamentos de la eficiencia, la calidad, continuidad, adaptabilidad, neutralidad, solidaridad y equidad. Entre otros Ítems».

#### 1.3.4.7 Norma NTC - ISO 50001 - Sistemas de Gestión de la Energía

El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC) menciona que [54]: «

##### 1.3.4.7.1 Concepto General

- Establece los requisitos que debe tener un sistema de gestión de la energía en una organización para ayudarla a mejorar su desempeño energético, aumentar su eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, así con también incrementar sus ventajas

competitivas dentro de los mercados en que participan, sin sacrificio de la productividad.

- La propuesta de la ISO busca proveer una estructura de sistemas y procesos necesarios para la mejora del desempeño energético, incluyendo la eficiencia, uso y consumo de la energía.
- Al igual que otros estándares ISO, la norma de sistema de gestión de la energía se enmarca en el ciclo de mejoramiento continuo PDCA (Plan, Do, Check, Act) (planificar, hacer, verificar, actuar).
- Normativa estándar internacional desarrollada por ISO (Organización Internacional para la Estandarización u Organismo Internacional de Normalización).
- Publicado por ISO en junio de 2011. Se establecen requisitos para el establecimiento de un Sistema de Gestión de Energía, SGE.
- Especifica los requerimientos para establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de administración de energía.
- El sistema ha sido modelado a partir del estándar ISO 9001 de sistemas de gestión de calidad y del estándar ISO 14001, de sistemas de gestión ambiental.

Desempeño energético. Resultados medibles respecto de: Uso de Energía; Consumo de Energía; Intensidad de Energía; Eficiencia Energética, entre otros.

#### *1.3.4.7.2 Finalidad*

- Facilitar a las organizaciones una herramienta para la reducción de consumos de energía, costos financieros y emisiones de gases GEI.
- Implantar esquemas de “medir para identificar” e “identificar para mejorar”.
- Permitir a las empresas ahorrar energía con pronto de retornos.

#### *1.3.4.7.3 Objetivos Generales*

- Tiene como objetivo principal la mejora del desempeño energético y de la eficiencia energética de manera continua.
- Identificar oportunidades de reducción de utilización energética.
- Permite a una organización alinearse con un enfoque sistemático para lograr el mejoramiento continuo del desempeño de energía.
- Apunta a reducir en las organizaciones continuamente el uso de energía, los costos respectivos y los gases de efecto invernadero.
- La organización evaluará y revisará de manera periódica su sistema de gestión de la energía.
- Evaluación y revisión para identificar oportunidades de mejora y su implementación.

#### 1.3.4.7.4 Aplicabilidad

- Esta normativa es de aplicación en todo tipo de empresas y organizaciones, grandes o pequeñas, tanto del ámbito público o privado.
- Aplicable también a las organizaciones que se dediquen a la provisión de servicios o la elaboración de productos y equipos.

#### 1.3.4.8 Reglamentación Autogeneración, Cogeneración y Generación con Pequeñas Plantas en el Sistema Interconectado Nacional – SIN

1.3.4.8.1 *Conceptos Básicos de la Reglamentación*, según Minminas - Ministerio de Minas y Energía (1998), [55]: «

##### Autogenerador

Persona natural o jurídica que produce energía eléctrica sólo porque ellos son dueños de los requisitos. Por lo tanto, no utilice la red pública para otros fines no diferentes de obtener el apoyo del SIN y puede ser o no el propietario del sistema de generación.

##### Generador

Persona natural o jurídica que produce energía eléctrica, y tiene mínimo, una planta de energía o la unidad conectada al SIN ».

Según el Ministerio de Minas y Energía (2010,) [56], define: «

##### Cogenerador

Persona natural o jurídica que tiene un proceso de producción combinada de energía eléctrica y térmica, que es parte integral de su actividad productiva, que cumple las condiciones y requerimientos técnicos que se deben considerar como la cogeneración. Cogenerador puede ser o no propietario de los activos que componen este sistema de Cogeneración; de todos modos proceso de cogeneración debe ser que realice la actividad productiva que se integra por parte

##### Cogeneración

Proceso de producción combinada de energía eléctrica y térmica, que es parte integral de la actividad productiva de la persona que produce estas energías, tanto destinados a propio consumo o el consumo de otros, en los procesos industriales o comerciales de acuerdo con lo establecido en virtud de la Ley 1215 de 2008, y en la presente decisión».



Según Minminas - Ministerio de Minas y Energía (1998), Una Pequeña planta de energía. Es todo de plantas y/o unidad de generación con capacidad efectiva de menos de 20 MW de potencia. Se excluyen de esta definición los auto productores o cogeneradores.

#### *1.3.4.8.2 Principales Normas sobre Autogeneración*

La resolución CREG 084 de 1996 regula las actividades de la Autogeneración que se conectan al SIN y establece:

- La categoría de regulado o no regulado usuario si la demanda máxima del autogenerador es menor, igual o mayor, respectivamente, a límite de potencia establecido por la CREG.
- Por medio de la Resolución CREG-001 de 1994 (artículos 21, 22 y 23) y la Resolución CREG-003 de Noviembre de 1994 (artículos No: 18, 19 y 20), respectivamente, las condiciones para la conexión del Autogenerador al STN (Sistema de Transmisión Nacional) y STR (sistema de Transmisión Regional) o SDL (Sistema de Distribución Local), se establecen.
- El Autogenerador con categoría de usuario regulado debe ser apoyado por la comercialización del mercado regulado en el que se localiza la planta de energía, mientras que el usuario Autogenerador no regulado, debe contratar el servicio con cualquier comercializador.

#### *1.3.4.8.3 Principales normas sobre generación con pequeñas plantas en el Sistema Interconectado Nacional - SIN*

De acuerdo con el artículo 3° de la Resolución 86 de 1996, las plantas de energía con capacidad efectiva de menos de 10 MW, no tendrán acceso al envío central, y por lo tanto no va a participar en el mercado de la electricidad en general; será decisión de cada generador de su acceso al envío central para plantas de poder entre 10 MW y 20 MW, mientras que las plantas de energía más grande que 20 MW debe acceder al envío central.

Las centrales eléctricas con una capacidad efectiva de menos de 10 MW, no tendrán acceso al envío central, por lo tanto no va a participar en el MEM. La energía generada por esta central se puede comercializar de las siguientes maneras:

- De acuerdo con el precio de bolsa, o aun comercializador que proporciona energía al mercado regulado
- A un comercializador que proporciona energía al mercado regulado, bajo licitación pública.
- De acuerdo con los precios establecidos libres, en usuarios no regulados, generadores o

comercializadores que destinen esta energía a usuarios no regulados.

#### *1.3.4.8.4 Principales normas sobre cogeneración, en el Sistema Interconectado Nacional - SIN*

La Resolución CREG 005 de 2010, establece requerimientos y las condiciones técnicas que deben cumplir los procesos de producción combinada de energía eléctrica y térmica, que han de considerarse como un proceso de cogeneración. Este reglamento establece:

- Los indicadores mínimos para el rendimiento eléctrico equivalente, REE.
- El cogenerador debe tener en cuenta con los sistemas de medición para el registro de energía eléctrica y térmica, con respecto al consumo de combustible, para evaluar REE.

Requerimientos para el sistema de medición y las mediciones, son:

- Las condiciones establecidas para el informe de las mediciones de la energía eléctrica y térmica, y la energía primaria del consumo de combustible.
- La certificación de un REE índice por encima del mínimo.

La regulación mencionada indica que comercialización de exceso de energía producida por cogeneradores debe estar en acuerdo con las reglas siguientes:

El exceso de energía o con poder garantizado  $< 20$  MW, puede comercializarse bajo varios aspectos incluidos en este reglamento:

- Sin acceso al envío central, por lo tanto, sin participar en la Bolsa de energía
- Con acceso al envío central con la participación en la Bolsa de Energía: con esta opción, el exceso de energía con un poder calorífico debe ser considerado como inflexible; directrices para la comercialización de esta energía, se establecen.

El exceso de energía o con poder garantizado  $\geq 20$  MW de potencia, con la participación obligatoria al envío central y por lo tanto en la Bolsa de Energía. El exceso de energía con un poder garantizado debe considerarse inflexible; directrices para la comercialización de esta energía, se establecen.

El exceso de energía sin poder garantizado, puede ser comercializado:

- Sin acceso al envío central, y por lo tanto sin participación en la Bolsa de Energía. El exceso de energía sin poder garantizado puede ser comercializado, con precios libres definidos, a comercializadores que destinen esta energía sólo para Usuarios No Regulados
- Con acceso al despacho central y la comercialización del exceso de energía sin poder

garantizado, en la Bolsa de Energía.

La Resolución CREG 047 de 2011 [57] regula las pruebas y auditorías en estar de acuerdo con Resolución CREG 005 de 2010.

#### 1.3.4.9 Nueva Ley de Renovables 1715

Debido a su importancia se hablara más adelante en detalle de esta en el ítem 1.3.6

#### 1.3.4.10 Instituciones

**El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE)** [58]: « aplica para las zonas no Interconectadas adscrito al Ministerio de Minas y Energía, se encarga de mejorar las condiciones de vida de las comunidades, a través de la identificación, elaboración, promoción y viabilidad de proyectos para llevar energía a las localidades que no la poseen o donde la prestación del servicio es deficiente».

**Ministerio de Minas y Energía**, el cual se encarga de las políticas estatales para la electrificación del Sector Rural Colombiano y **Unidad de Planeación Minero Energética** que se encarga junto con las anteriores entidades y el IDEAM sobre estudios de potenciales energéticos

*Objetivo Central:* Maximizar la contribución del sector energético al desarrollo sostenible del país.

*Objetivo Principal 1:* Asegurar la disponibilidad y el pleno abastecimiento de los recursos energéticos para atender la demanda nacional y garantizar la sostenibilidad del sector energético en el largo plazo.

*Objetivo Principal 2:* consolidar la integración energética regional

*Objetivo Principal 3:* consolidar esquemas de competencia en los mercados

*Objetivo Principal 4:* Formación de precios de Mercado de los energéticos, que aseguren competitividad

*Objetivo Principal 5:* Maximizar cobertura con desarrollo local

En este sentido se tratan aspectos como el desempeño de los fondos aplicados para aumento de cobertura y la prestación del servicio de energía eléctrica en las Zonas no Interconectadas, entre otros

**Fondo De Apoyo Financiero Para La Energización De Las Zonas Rurales Interconectadas (FAER)**, [59]: « permite que los Entes Territoriales con el apoyo de las Empresas Prestadoras del Servicio de Energía Eléctrica en la zona de influencia, sean los gestores de planes, programas y

proyectos de inversión priorizados para la construcción e instalación de la nueva infraestructura eléctrica. El objetivo es ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía en las zonas rurales interconectadas, conforme con los planes de ampliación de cobertura que estructurarán cada uno de los Operadores de Red y que deberá contar con la viabilidad de la Unidad de Planeación Minero Energética - UPME ».

**Programa de Normalización de Redes Eléctricas (PRONE)**, [60]: «para proyectos de electrificación, consiste en la financiación por parte del Gobierno Nacional de planes, programas o proyectos elegibles de conformidad con las reglas establecidas en el Decreto 1123 de 2008 y las normas que lo sustituyan o complementen, cuya vigencia será igual a la establecida para los diferentes fondos que financien el Programa. PRONE recibe sus recursos del Plan Nacional de Desarrollo y de IPSE».

#### 1.3.4 PROURE

Promueve el Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás Formas de Energía No Convencionales, que contribuyan a asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el ambiente y los recursos naturales.

Como menciona Prias Omar, [61]: « En la dinámica de la economía global, el Uso Racional y Eficiente de Energía ha evolucionado hacia la Eficiencia Energética como un concepto de cadena productiva, dinámico, en permanente cambio de acuerdo con los nuevos enfoques del desarrollo sostenible en relación con la disminución de los impactos ambientales, el incremento de la productividad, el manejo eficiente de los recursos y su impacto en las organizaciones y en los procesos productivos».

PROURE se enfoca en consolidar una cultura para el manejo sostenible y eficiente de los recursos naturales a lo largo de la cadena energética, construye las condiciones económicas, técnicas, regulatorias y de información para impulsar un mercado de bienes y servicios energéticos eficientes en Colombia, fortalecer las instituciones e impulsar la iniciativa empresarial de carácter privado, mixto o de capital social para el desarrollo de subprogramas y proyectos que hacen parte del PROURE. Facilita la aplicación de normas relacionadas con incentivos, incluyendo los tributarios, que permitan impulsar el desarrollo de subprogramas y proyectos que hacen parte del PROURE.

#### 1.3.5 NUEVA LEY RENOVABLES COLOMBIA 1715

De acuerdo a un comunicado del Ministerio de Minas y Energía (MME), la Ley 1715 de 2014, [62]: « Regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional».

### 1.3.6.1 Generalidades

El Ministerio de Minas y Energía (MME) indicó que con esta norma, Colombia da pasos importantes en procura de un sistema energético más limpio, que involucra a las administraciones públicas, empresa privada y autoridades locales, e incentiva la penetración de las fuentes no convencionales de energía con criterios de sostenibilidad medioambiental, social y económica.

“Menos contaminación y mayor eficiencia es el objetivo de esta iniciativa”, afirmó el Ministro Acosta, quien agregó que "mediante esta Ley se declaran las energías renovables como asunto de utilidad pública, de interés social y de conveniencia nacional, dado el carácter substancial que tiene la utilización de estas fuentes no convencionales en la protección del medio ambiente y en el uso eficiente de la energía".

El Gobierno Nacional implementará un programa destinado a sustituir progresivamente la generación con diésel en las Zonas No Interconectadas (ZNI) con el objetivo de reducir los costos de prestación del servicio y las emisiones de gases contaminantes. Además, se creará el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía para financiar programas de eficiencia energética.

La nueva Ley establece también el marco legal y los instrumentos necesarios para la promoción y aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, así como para el fomento de la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía; la eficiencia energética y la respuesta de la demanda en el marco de la política energética nacional. Además, se establecen incentivos para inversión en generación de energías no convencionales.

La Ley sancionada busca también establecer planes de actuación para fomentar el aprovechamiento energético de la biomasa agrícola y forestal, los residuos sólidos que no sean susceptibles de reutilización y reciclaje, el recurso eólico en proyectos de generación en Zonas No Interconectadas (ZNI), y el potencial de la geotermia y la energía solar.

Al respecto, el Ministerio de Minas y Energía promoverá el desarrollo de soluciones híbridas que combinen fuentes locales de generación eléctrica con fuentes diésel y minimicen el tiempo de funcionamiento de los equipos diésel en coherencia con la política de horas de prestación del servicio de energía para las ZNI.

Así mismo, en desarrollo del Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PROURE) y demás formas de energía no convencionales, el Ministerio de Minas y Energía, junto a los ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y de Hacienda y Crédito Público, deberá desarrollar una serie de instrumentos técnicos, jurídicos, económico-financieros, de planificación y de información, entre los

que se contempla un plan de acción indicativo para el desarrollo del PROURE, reglamentaciones técnicas, sistemas de etiquetado e información al consumidor sobre eficiencia energética, y campañas de información y concientización.

Y según IPSE – por medio de la LEY 1715 DE 2014, [63]: « regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Donde detalla sus objetivos, finalidad, ámbito de aplicación y definiciones, a continuación:

#### 1.3.6.2 Objetivo Principal

Es la expedición de lineamientos de política, regulación, beneficios etc, para promover el desarrollo y la utilización de FNCER (Fondo No Convencional de Energías Renovables), el cual entrega mecanismos a los auto generadores a pequeña escala como excedentes a MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio), créditos de energía y venta de créditos para integrarlo en el mercado eléctrico, con participación en las ZNI y otros usos energéticos. Esta ley también promueve la gestión eficiente de la energía como respuesta a la demanda.

##### 1.3.6.2.1 Objeto

- Promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos.
- promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

#### 1.3.6.3 Finalidad de la Ley

- Establecer el marco legal y los instrumentos para la promoción del aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, lo mismo que para el fomento de la inversión, investigación y desarrollo de tecnologías limpias para producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda, en el marco de la política energética nacional.
- Incentivar la penetración de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable en el sistema energético colombiano.
- Establecer el deber a cargo del Estado a través de las entidades del orden nacional,

departamental, municipal o de desarrollar programas y políticas para asegurar el impulso y uso de mecanismos de fomento de la gestión eficiente de la energía de la penetración de las fuentes no convencionales de energía.

- Estimular la inversión, la investigación y el desarrollo para la producción y utilización de energía a partir de fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, mediante el establecimiento de incentivos tributarios, arancelarios o contables y demás mecanismos que estimulen el desarrollo de tales fuentes en Colombia.
- Establecer los criterios y principios que complementen el marco jurídico actual, otorgando certidumbre y estabilidad al desarrollo sostenible de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable y al fomento de la gestión eficiente de la energía. Suprimiendo o superando gradualmente las barreras de tipo jurídico, económico y de mercado

#### 1.3.6.4 Ámbito de Aplicación

- Cobija a todos los agentes públicos y privados que intervengan en la definición de políticas sectoriales en el desarrollo y aprovechamiento de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el fomento de la gestión eficiente de la energía y en la prestación del servicio de energía eléctrica y sus actividades complementarias conforme a lo dispuesto en las leyes 142 y 143 de 1994 y demás normas complementarias.

#### 1.3.6.5 Algunas Definiciones

- **Autogeneración.** Aquella actividad realizada por personas naturales o jurídicas que producen energía eléctrica principalmente, para atender sus propias necesidades. En el evento en que se generen excedentes de energía eléctrica a partir de tal actividad, estos podrán entregarse a la red, en los términos que establezca la CREG para tal fin.
- **Cogeneración.** Producción combinada de energía eléctrica y energía térmica que hace parte integrante de una actividad productiva.
- **Gestión eficiente de la energía.** Conjunto de acciones orientadas a asegurar el suministro energético a través de la implementación de medidas de eficiencia energética y respuesta de la demanda.
- **Respuesta de la Demanda.** Consiste en cambios en el consumo de energía eléctrica por

parte del consumidor, con respecto a un patrón usual de consumo, en respuesta a señales de precios o incentivos diseñados para inducir bajos consumos ».

## **1.4 CRECIMIENTO DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS RENOVABLES**

### 1.4.1 DATOS NACIONALES

En Colombia se ha venido avanzando en el desarrollo y aplicación de sistemas con tecnologías alternativas para la obtención de energías limpias, y de igual forma las ZNI del país tienen varios recursos que permiten la implementación de tecnologías del tipo hídrico, eólico ó fotovoltaico como es el caso de siguientes experiencias encontradas en el Censo y evaluación de sistemas solares fotovoltaicos instalados en Colombia, en el año 2006 [64]: «

Región Caribe: En Colombia se estableció según un estudio de la Universidad de los Andes que el mercado de consumo 300 KW en sistemas solares fotovoltaicos al año. En cuanto a la demanda tradicional de la industria solar fotovoltaica colombiana, la demanda para electrificación rural por parte del sector privado (agroindustriales y personas naturales con propiedades en el campo) ha decrecido, lo que no ha ocurrido con el estado, el otro comprador de electrificación rural, donde entidades como la gobernación del Atlántico llevó a cabo varios proyectos de electrificación rural en los entre el 2006 y el 2010 (Cantillo y Conde, 2001). En general la demanda tanto en el Caribe colombiano como en todo el país, tiene en cuenta tres factores a la hora de adquirir, bien sea por importación o compra a una empresa local lo siguiente: prestigio y experiencia del país fabricante en generación en energías renovables, la calidad de los equipos ofrecidos, y el precio.

En cuanto a la oferta en ICEX, destaca un listado de importadores para el 2003, que para el año 2010 se mantienen como empresas que hacen parte de la cadena de suministro (Distribuidores – ingeniería – servicio técnico) de la industria solar fotovoltaica en Colombia y con presencia en la región Caribe colombiana. Existen otra serie de empresas que con un nivel de importaciones más modesto, las cuales tienen presencia en la oferta regional y nacional desde los años 80, cómo lo menciona INEA, y se pueden considerar como las más representativas de un sector que por lo general a través de los años de presencia en Colombia varias de las compañías que nacieron con el sector, han ido desapareciendo, bien sea por no seguir invirtiendo más en el sector o porque solo nacieron para abastecer una necesidad puntual de contratación en la cual unos inversionistas desearon participar,



tal es el caso de los negocios de electrificación rural estatales que siempre cuentan con la participación de una serie de empresas cuyo objeto social primordial no gira en torno las energías limpias o a la energía solar fotovoltaica.

En la región caribe colombiano se cuenta con una importante empresa perteneciente a un grupo empresarial con sede en Cali, quienes son importadores mayorista, y representan en Colombia a una marca de origen japonés, que goza de un excelente posicionamiento en el sector (Rodríguez, 2008). También, se ubican en la región tres empresas de tradición en el mercado nacional, que actúan como mayoristas y detallistas. Una de ellas, es de capital local, y maneja distribuidores en el Caribe y venta directa a empresas de ingeniería, el estado y la gran industria ubicada en la región que demanda este tipo de productos. En cuanto a las otras dos, tienen presencia directa en la región Caribe colombiana a través de representantes comerciales».

Existen proyectos pilotos, aunque el tema no es muy abordado, según Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas IPSE “En la actualidad en el país hay más de 15000 sistemas con fuentes de energías renovables instalados y se están desarrollando soluciones innovadoras con sistemas híbridos”; y en este momento los usos que han tenido las energías renovables en el país, según CORPOEMA-UPME [65]: « han sido para actividades agrícolas, agroindustrial, salud, domestico, telecomunicaciones, turismo y recreación. Esto principalmente mediante el uso directo de la radiación solar, calentadores y paneles solares, sistemas fotovoltaicos, entre otros ».

Los sistemas híbridos para generar energía, crean soluciones a las zonas del país no cubiertas por el servicio público de electricidad, como es el caso según el Portafolio en el Tiempo de [66]: « Titumate (Chocó), Nazaret y Puerto Estrella (La Guajira) y de la zona insular de la Costa Caribe, como la Isla Fuerte, Múcura y Santa Cruz del Islote, que cuentan desde el 2013 con el servicio de electricidad permanente, a través de sistemas híbridos solar -diésel, en los cuales se asocian fuentes renovables que se complementan con plantas diésel».

En Colombia se pueden ubicar proyectos destacados que han fomentado la generación de energías con fuentes renovables, como son: Según EPM, el Parque Eólico Jeparachí que cuenta con 15

aerogeneradores (Nordex N60/1300) con potencia nominal c/u de 1.3MW que aportan un total de 19,5MW al sistema interconectado, implementado por las empresas públicas de Medellín (EPM).

IPSE nombran los proyectos más específicamente a continuación:

- Localidad de Titumate Ungía Choco (Jun 2008):  
Estudio de demanda, Instalación del sistema de generación fotovoltaica, diseño y construcción de redes de baja tensión, acometidas y luminarias mediante un Sistema Híbrido Solar Diesel.
- Nazareth Guajira (Junio 2008):  
Estudio de Demanda de Potencial de Generación de organización comunitaria y generación eléctrica. La Generación cuenta con un Sistema Híbrido Solar – Eólico. Este sistema de Poligeneración tiene con 2 aerogeneradores monopólicos de 100 KW cada uno, un sistema de seguidores solares fotovoltaicos de 150kW con respaldo técnico en
- Zonas urbanas de San Andrés (Enero 2009) :  
Implementación de Energía Eólica en Edificaciones. Implementación de tecnologías de Sistemas Solares con evaluación del comportamiento en instalaciones residenciales y comerciales. Estimación de implementación de energía Solar Térmica.
- Necolí:  
Producción de energía eléctrica a partir de gas de madera.
- Guajira y Bolívar ( Septiembre 2009):  
Implementación de 10 seguidores Solares de dos ejes, 8 de los cuales estarán ubicados en la alta Guajira y dos en Bolívar (Isla Fuerte), con una capacidad de 12.5kw cada uno para un total 125 kw, mediante la construcción y puesta en operación de 125 kw de energía solar fotovoltaica.
- San José del Guaviare (Noviembre 2009):  
Construcción de Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica para 451 viviendas de la zona Rural sin Energía Eléctrica, mediante la implementación de Sistemas de Energía Solar.
- Utilización de Alumbrado Público Fotovoltaico y Luminarias tipo Leds.

## 1.4.2 DATOS MUNDIALES

### 1.4.2.1 Iniciativas Internacionales de Integración de Fuentes Renovables

Indica Gómez Sarduy y Viego Felipe [67]: « Hasta la crisis del petróleo de la década del 70 se tomó conciencia y se comenzó a pensar en una solución global que incluyera cada uno de los sectores que conformaban la cadena de suministro eléctrico de energía como son: generación, distribución, transporte y consumo. En ese período las energías renovables comenzaron a presentar desarrollos tecnológicos que mejoraron su competitividad con respecto a las fuentes convencionales. Surge así un modelo que incluye la generación producida en la propia área de distribución, denominado generación distribuida, en el que el uso de las fuentes renovables de energía (FRE) juega un importante papel.

Actualmente existen proyectos concretos y avances reconocidos en diversos países, e iniciativas regionales e internacionales que tienen como finalidad la promoción y el fomento de la tecnología aplicada a las redes inteligentes, desde la I+D hasta su comercialización, y que apuntan a la consecución de importantes logros en la aplicación de esta tecnología. Uno de los más significativos es el conocido proyecto SmartCity, que se convertirá en un referente mundial en el desarrollo de tecnologías energéticas de vanguardia, compartiendo protagonismo con otras iniciativas ya operativas en Estocolmo (Suecia), Dubai, Malta, Ohio y Colorado (USA), y que se enmarca dentro del PLAN 20-20-20, diseñado por la Unión Europea. Smart City es un proyecto impulsado por un grupo de once empresas y liderado por la empresa española ENDESA, que se desarrollará en Málaga, España. Las fuentes renovables de energía se integrarán de forma óptima en la red, acercando la generación al consumo mediante la instalación de paneles fotovoltaicos en edificios públicos, y el uso de micro-generación eléctrica en algunos hoteles o instalación de sistemas micro-eólicos en la zona. Existirán sistemas de almacenamiento energético en baterías, de manera que parte de la energía podrá ser consumida después en la climatización de edificios, el alumbrado público y el transporte eléctrico, por lo que el usuario final se hace partícipe en todo el proceso.

En América Latina también se trabaja en esta dirección. Países como Brasil, Argentina, Chile y Colombia tienen grupos de trabajo para el desarrollo y asimilación de tecnología Smart Grid.

En el Estado cubano, a partir de la Revolución Energética, comenzada en 1996, acomete la producción más limpia y descentralizada de electricidad, baja en carbono. Y ha venido incrementándose el desarrollo y producción de recursos energéticos renovables, incluidos la biomasa, el biogás, las pequeñas hidroeléctricas en zonas montañosas y el uso de las energías solar y eólica ».

Se deduce que la generación de energía en el mundo va encaminada a incluir Sistemas Híbridos Renovables, puesto que con ellos se contempla además, la reducción de las emisiones de carbono, el incremento e integración de las fuentes renovables a la red existente y la mejora de la eficiencia energética, por esto se cree que el uso de más de una tecnología alternativa aumentara en el mundo.

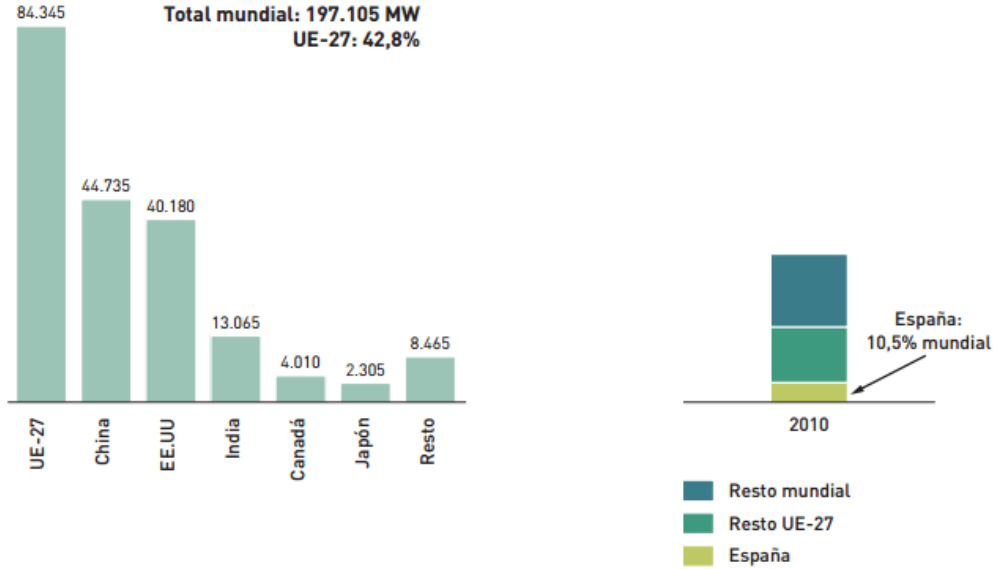
Actualmente internacionalmente menciona Céspedes [68]: «

- Países como Alemania cuentan con 20GW, España 15GW, los cuales han invertido en energías renovables eólica y solar.
- Para el año 2020 Europa tiene el plan 20-20-20, 20% más eficiencia, 20% reducción GHG (Green House Gas), 20% renovables.
- Estocolmo opera con una visión integrada, que combina el crecimiento con el desarrollo sostenible, en beneficio 800.000 habitantes, las emisiones del transporte son relativamente bajas, y todos los trenes y los autobuses urbanos funcionan con combustibles renovables. Las emisiones de gases de efecto invernadero se han reducido en un 25% desde 1990, y el ayuntamiento tiene el ambicioso objetivo de convertirse en totalmente independiente de los combustibles fósiles para el año 2050.
- España: El objetivo global en Malaga es la gestión energética inteligente 8% a 5% reducción de emisiones, edificios Inteligentes 30 a 50% reducción de emisiones, generación de energía, reservas energéticas, movilidad inteligente, información consumidor 5% al 15% reducción de emisiones».

#### 1.4.2.2 Capacidad de Energía Eólica Mundial

Según Global Wind Energy Council (GWEC) [69]: «Desde el año 2001 la capacidad instalada mundial de generación eólica ha crecido un promedio anual del 23%, hasta alcanzar los 197 GW de potencia instalada en 2010, siendo Europa el área con un mayor desarrollo, con el 43% del total mundial. El papel que ha jugado España en este crecimiento ha sido fundamental, ya que representa el 11% de la capacidad instalada mundial en 2010 con 20,7 GW puestos en marcha, asociado a todos ellos a la tecnología de eólica en tierra. Al finalizar el año 2010, España se situaba como la cuarta potencia

eólica mundial –y segunda europea– en términos de potencia eólica instalada, tras China –con 44.735 MW–, Estados Unidos –con 40.180 MW–, y Alemania –con 27.215 MW». Como se muestra:



Fuente: EWEA y GWEC

Fig.15 Potencia Eólica Instalada en el Mundo (MW).  
(Fuente: GWEC 31/12/2010)

Se puede ver que la mayoría de la capacidad instalada en energía eólica en 2010 corresponde a la Unión Europea líder con 84.345 MW, China fue el segundo con 44.735 MW, EEUU con 40.180 MW e India con una de capacidad de 13.065 MW, España resaltó porque suministra el 10% de la capacidad energética nacional mediante generación eólica contando con 16.754 MW de capacidad instalada en energía eólica. Según Lobal Wind Energy Council, Alemania genera más del 5% de su electricidad con el viento. En los estados norteros de Sajonia-Anhalt, de Mecklenburg-Pomerania Occidental y de Schleswig-Holstein, el viento resuelve un 30% de las necesidades de electricidad.

A continuación en la Fig. 16 se puede apreciar % de la Capacidad Instalada de Energía Eólica en los principales países hasta el 2014:

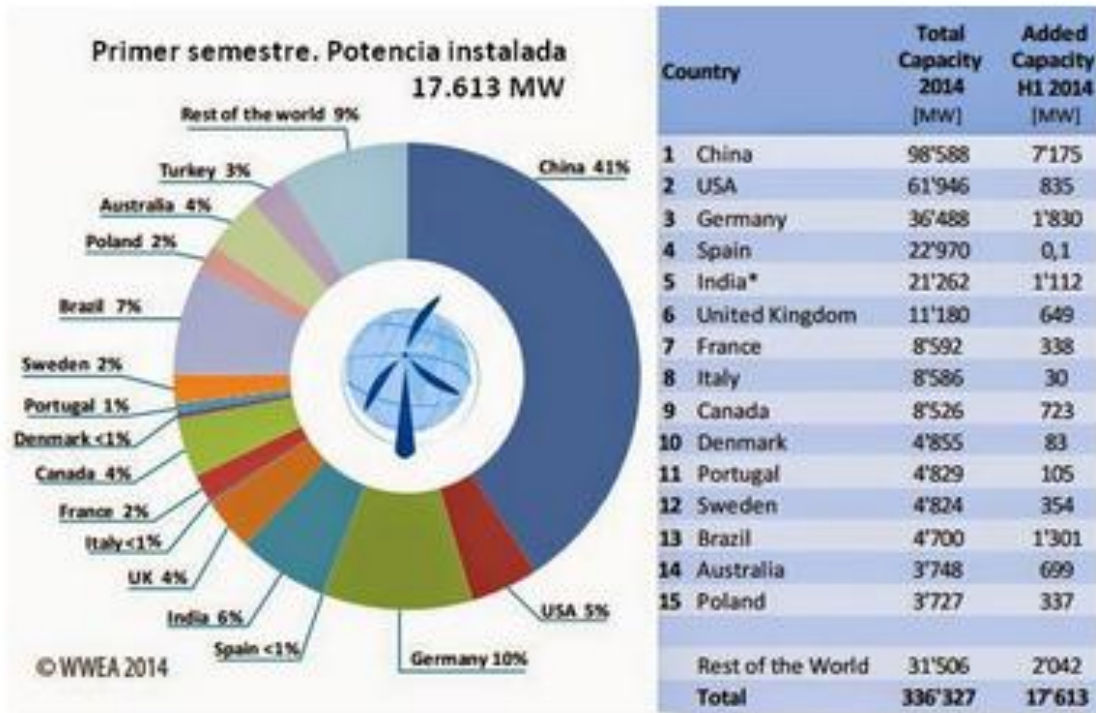


Figura 16. Potencia Eólica Instalada en el Mundo (MW).

(Fuente: GWEC 31/12/2014)

La potencia eólica en todo el mundo llegó a 336.327 MW a finales de junio de 2014, indica la Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA), [70]: « 17.613 MW se añadieron en los primeros seis meses de 2014. Los cinco países eólicos tradicionales, China, EE UU, Alemania, España e India, representan conjuntamente una cuota del 72% de la capacidad mundial de energía eólica. También en términos de nueva capacidad, la participación de los cinco grandes en nueva capacidad se incrementó del 57% al 62%.

El mercado eólico chino mostró un muy buen desempeño y añadió 7,2 GW, sustancialmente más que en los años anteriores. China alcanzó una capacidad eólica total de 98 GW en junio de 2014 y ahora ha cruzado la marca 100 GW eólicos.

Alemania tuvo un fuerte desempeño con la adición de 1,8 GW en el medio primer año. Parte de este nuevo crecimiento se debe a los cambios previstos en la legislación de energías renovables, que pueden llevar a una desaceleración del mercado eólico alemán en los próximos años.

Por primera vez, Brasil ha entrado en los mejores mercados al convertirse en el tercer mayor mercado de nuevas turbinas eólicas, que representan el 7% de todas las nuevas ventas de aerogeneradores. Con esto, Brasil ha sido capaz de extender su liderazgo eólico indiscutible en América Latina.

India mantiene claramente su posición como número dos de Asia y el número cuatro en todo el mundo y pronto superará a España, con 1,1 GW de nueva capacidad eólica. Y teniendo en cuenta los planes ambiciosos del nuevo gobierno de India, el mercado eólico indio tiene perspectivas muy positivas.

Al igual que en 2013, los cuatro países instalaron más de 1 GW en el primer semestre de 2014: China (7,1 GW de nueva capacidad), Alemania (1,8 GW), Brasil (1,3 GW) y la India (1, 1 GW).

Los diez primeros países en energía eólica muestran un panorama similar en del primer semestre de 2014, pero cinco países crecieron más fuertemente que en 2013: China, EE.UU., Alemania, Francia y Canadá.

Cinco países registraron un mercado decreciente: España, Reino Unido, Italia, Dinamarca y, en menor medida, India. España e Italia vieron prácticamente un estancamiento total, con sólo 0,1 MW y 30 MW, respectivamente, de la nueva capacidad instalada. Polonia se encuentra ahora en la lista de los 15 países de la capacidad mundial eólica instalada, mientras que Japón sigue estancado.

Los diez mercados eólicos más grandes para los nuevos aerogeneradores incluyen, junto a China, India y Alemania, a Brasil (1.301 MW), EE.UU. (835 MW), Canadá (723 MW), Australia (699 MW), Reino Unido (649 MW), Suecia (354 MW) y Polonia (337 MW).

Nuevos parques eólicos también se han instalado en Sudáfrica y otros países africanos, por lo que este continente, evidentemente, ha entrado en la carrera para ponerse al día con el resto del mundo. Asia: Nuevo líder de la capacidad total instalada. Con el 36,9% de la capacidad eólica instalada mundial, Asia es ahora el continente con más instalaciones de energía eólica que Europa, que representa el 36,7%.

China representó el 41% del mercado mundial de las nuevas turbinas eólicas.

Otros dos mercados potencialmente importantes, Japón y Corea, siguen creciendo a tasas muy modestas: los dos países muestran tasas de crecimiento de menos del 2% en el primer semestre de 2014. Por desgracia, en ambos países, el lobby nuclear ha logrado aún prevenir el avance de la energía eólica, a pesar de sus ventajas económicas e industriales.

Alemania sigue siendo el principal mercado de la energía eólica indiscutible en Europa, con una nueva capacidad de 1,8 GW y un total de 36,5 GW. Reino Unido (649 MW eólicos nuevos), Suecia (354 MW nuevo) y Francia (338 MW nuevo) pertenecen a los mayores mercados eólicos europeos, mientras que España e Italia registraron descensos dramáticos a casi cero.

Canadá ha instalado 723 MW durante el primer semestre de 2014, 92% más que en el período anterior de 2013, convirtiéndose en el sexto mayor mercado de nuevas turbinas eólicas en todo el mundo. La victoria de los defensores pro-renovables en las elecciones en la provincia más grande de Ontario da esperanza de que esta tendencia positiva continúe, a pesar de las señales más bien negativas a nivel federal.

Los acontecimientos positivos ocurridos en Australia cuya energía eólica aumentó 699 MW, lo que equivale a un crecimiento del 23% en comparación con finales de 2013, similar a 2011 y 2012, se verán interrumpidos por el nuevo gobierno de Australia. No hay nuevos parques eólicos en Nueva Zelanda ».

China y Brasil lideraron el crecimiento global en energía eólica en 2014, según el Consejo Mundial de Energía Eólica, señaló [71]: « de China instalado 23 GW de nueva potencia eólica el año pasado, elevando su total a más de 114 GW. Mientras tanto, Brasil se ha convertido en el cuarto mayor mercado del mundo después de China y Alemania, y por delante de EE.UU. y la India, entre los trece mercados eólicos de América Latina en 2014, después de instalar 1,3 GW en la primera mitad de 2014 y alcanzar una capacidad total de 4,7 GW, con un crecimiento del 38,2% sólo durante el primer semestre de 2014. China 23 GW de nueva potencia eólica fue inesperado y ajuste " otro récord ", China en 2014 superó la marca de 100.000 MW, y añadió otro hito a su ya excepcional historia del desarrollo de las energías renovables desde 2005 ».



Agregó el informe que el mercado de la energía eólica de América Latina se triplicó y registró un crecimiento de la instalación de un 80 por ciento con respecto al año pasado. México adquirió 633,7 MW de nueva capacidad para llegar a un total de 2.551 MW a finales de 2014, mientras que Chile añadió 506 MW hasta alcanzar un total de 836 MW de capacidad total instalada. Mientras tanto, Uruguay agregó casi 405 MW de nueva capacidad, Perú agregó casi 146 MW, y Argentina agregó 53 MW el año pasado. América y el Caribe habían añadido una nueva capacidad de 3.749 MW que el año pasado, quedando su capacidad total instalada 8,5 GW. Otros países de América Latina se están convirtiendo en mercados de energía eólica: sin embargo, en un nivel mucho más bajo.



Fig.17 Evolución de Potencia Eólica Instalada en el Mundo (MW).

(Fuente: Consejo Mundial de Energía Eólica, 2011-2014)

La capacidad de energía eólica mundial creció un 5,5 por ciento en los seis meses (después del 5% en el mismo período en 2013 y 7,3% en 2012) y un 13,5 por ciento sobre una base anual (a mediados de 2014 en comparación con mediados de 2013).

Razones para ver el desarrollo relativamente positivo de los mercados de energía eólica en todo el mundo. La energía eólica ha alcanzado un nivel de competitividad y confiabilidad que son sin duda ventajas económicas para el mercado de la energía eólica (dominado por la empresa danesa VESTAS (22.8%), el segundo fabricante fue GE WINDS (16.6%) de EE. UU., y en tercer lugar la industria española GAMESA (15.4%). Otras empresas que comparten el resto del mercado mundial son ENERCON, SUZLON, SIEMENS, ACCIONA (WINDPOWER), entre otras; después de todo cada vez pesa más su creciente competitividad y la imperiosa necesidad de ir a por las tecnologías libres de emisiones de CO2 con el fin de mitigar el cambio climático y la contaminación atmosférica, lo que la

convierte en una opción natural para los gobiernos, los productores de electricidad, así como los consumidores de todo el mundo.

### 1.4.2.3 Evolución Mundial de la Producción de Células Solares

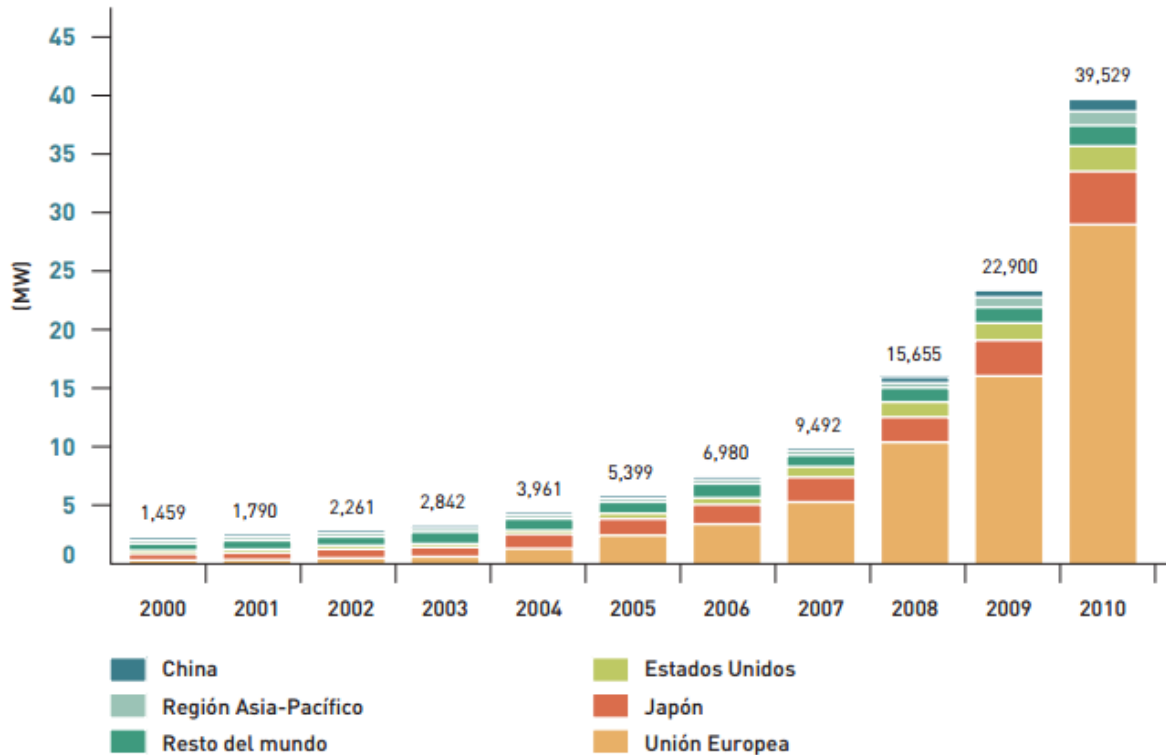


Figura 18. Histórico Potencia Acumulada a Nivel Mundial  
(Fuente: European Photovoltaic Industry Association EPIA, 2010)

En la Fig. 18 se representa el histórico de la potencia acumulada a nivel mundial en los últimos años, apreciándose claramente el crecimiento exponencial. Según datos de la European Photovoltaic Industry Association (EPIA) [72]: « A finales de 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40.000 MWp, de los cuales cerca de 29.000 MWp, un 72%, se localiza en la Unión Europea. Y la potencia mundial instalada fue 16.600 MW, lo que supuso un incremento del 72% de la potencia mundial acumulada con respecto al año 2009.

Las tres áreas de mayor interés en el mundo, según la potencia acumulada, son Europa (destacando Alemania y España, con más de un 52% del total mundial), Japón y EE.UU. Japón, con cerca de 3.622

MW acumulados y EE.UU., con aproximadamente 2.727 MW representan el 9 y el 6,80% respectivamente de la potencia total.

Los países principales por potencia instalada en 2010, por orden, fueron: Alemania (7.408 MW), Italia (2.321 MW), República Checa (1.490 MW) Japón (990 MW) y EE.UU. (980 MW) ».

Indico EPIA, más en detalle que:

- El 79% de la potencia mundial instalada en 2010 fue en la Unión Europea, con más de 13.240 MW. Dentro de la Unión Europea el mercado alemán fue claramente el preponderante representando el 59% de todo el mercado europeo.
- Japón ha instalado 990 MW en 2010, llegando a una potencia total instalada de 3,6 GW. • EE.UU. instaló 980 MW en 2010, alcanzando aproximadamente los 2,7 GW.
- Italia, con una potencia total acumulada de 3,4 GW se convierte en el segundo mercado mundial en el año 2009 y 2010, habiendo instalado 711 y 2.321 MW respectivamente. Aparecen nuevos actores como China, con 520 MW acumulados, y la India con 30 MW.

Indica Boletín de las Energías Limpias [73]: « Países como España, Alemania y Japón, son obligadas por ley a comprar la energía inyectada a su red por centrales FV. Por eso los generadores de electricidad tienen que incluir fuentes de energía renovable. En Portugal dic 2008 se inauguró la mayor central de energía solar del mundo, en un área de 250 hectáreas, y tiene 262.000 paneles solares fotovoltaicos con una capacidad instalada de 46.41 MW y en gran parte de Europa, actualmente se tiene un modelo que es conocido como huerta solar, que consiste en la agrupación de varias instalaciones de distintos propietarios. Por ejemplo en España algunas de las instalaciones tienen una potencia hasta de 100 kW, en estos momentos hay conectados cerca de 57,7 MW, de los cuales 42,5 MW están conectados a la red y pueden vender su electricidad al mercado y 15,2 MW están aislados. Estas instalaciones pueden ser fijas o con seguimiento».

#### 1.4.3 DESCRIPCION BREVE DE UN SISTEMA HÍBRIDO

Indica Juana (2003), [74]: « Son aquellas instalaciones que usan además un equipo auxiliar de generación de energía eléctrica, otra fuente de generación puede ser otro tipo de energía renovable o un grupo electrógeno (motores de gasolina, Diesel, etc) ». Por tanto, se ve que los Sistemas Híbridos permiten la utilización de varias fuentes de energía, buscando el aprovechamiento de los recursos

disponibles localmente, lo cual maximiza la disponibilidad de energía debido a la complementariedad de los recursos.

También los Sistemas Híbridos de Energía son definidos por Orellana [75]: « como aquellos sistemas que utilizan diferentes fuentes de generación de energía como son: módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas, generadores diésel, etc., y tienen el objeto de suministrar energía eléctrica a una carga o conjunto de cargas de manera aislada y confiable».

Teniendo en cuenta las anteriores definiciones de los Sistemas Híbridos y el interés en específico en este proyecto de analizar más adelante y en detalle la combinación de la generación Eólica y Solar Fotovoltaica en sistemas de este tipo, se concentrara aquí información detallada también de estas dos tecnologías especialmente.

Específicamente la Tecnología con Energía Eólica, según el Ministerio de Minas y Energía (Brasil 2008), [76]: « ha tenido un crecimiento exponencial considerado a nivel internacional dentro de las energías alternativas, por potencia instalada y por energía generada. Esta funciona a través del aire que se pone en movimiento, el viento es aprovechado por los aerogeneradores mediante el movimiento de sus palas para producir energía eléctrica. Para que la Energía Eólica se establezca en una localización concreta, el lugar debe cumplir una serie de requisitos, como una medición de viento a diferentes alturas (velocidad del viento y dirección del viento); para que la ubicación sea adecuada y ver que disposición deben llevar los aerogeneradores para obtener la mayor energía eólica posible».

La Tecnología con Energía Fotovoltaica, la define la organización APPA [77]: « como la transformación directa de la radiación solar en electricidad, hecha a través de paneles fotovoltaicos, donde la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores». Se especifica en un informe de la Compañía de Innovación de la

Energía AMT Solar [78]: « que los *Paneles Fotovoltaicos* son varios módulos que son conectados unos con otros. *Los Módulos Fotovoltaicos* son varias células conectadas eléctricamente entre sí, y estas

son hechas de un material semiconductor de silicio. Los módulos producen electricidad en corriente continua, pudiendo ser conectados en serie o en paralelo para conseguir el voltaje que se requiera».

Globalmente se busca que los Sistemas Híbridos sean capaces de ser puestos en práctica, con un enfoque adecuado y optimizado para la generación de energía, por lo cual se considera de gran valor que los países compartan sus experiencias, porque así es más probable que aumenten las expectativas del uso de este tipo de sistemas, por ejemplo Cochran J., Bird L., Heeter J., and Arent J., muestran que [79]: « Muchos países que reflejan diferentes geografías, mercados y fuentes de los sistemas, están gestionando con éxito los altos niveles de energía renovable variable sobre la red eléctrica, incluso la procedente de la combinación de la energía eólica y solar. Lo cual evidencia de los diversos enfoques de la integración eficaz de la energía renovable variable entre seis países, como son: Australia (Australia del Sur), Dinamarca, Alemania, Irlanda, España, y Estados Unidos (Colorado y Texas), y en ellos se resume las mejores prácticas de política que los ministros de energía y otras partes interesadas han seguido para asegurar que los mercados de la electricidad y los sistemas de energía pueden co-evolucionar efectivamente con el aumento de penetración de la energía renovable variable. A pesar de la diversidad de los enfoques de todos se unen en torno a cinco áreas estratégicas: conducir el compromiso público, en particular para la nueva transmisión; coordinar e integrar la planificación; desarrollar normas para la evolución del mercado que permiten la flexibilidad del sistema; ampliar el acceso a los diversos recursos y la huella geográfica de las operaciones; y mejorar las operaciones del sistema ». De ellos se aprende que no hay fórmula única para todos; cada país ha elaborado su propia combinación de políticas, modelos de mercado y las operaciones del sistema para lograr la confiabilidad del sistema y la flexibilidad necesaria para integrar con éxito las energías renovables.

## **2. POTENCIAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA VEREDA YOPAL CASANARE**

Para poder saber qué ventajas o inconvenientes presenta la realización de un proyecto de generación eléctrica solar fotovoltaica o eólica, es importante conocer aspectos generales de la región como: economía, aspectos ambientales, sociales, acceso de vías etc.

## 2.1 CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y SOCIOCULTURALES DEL MUNICIPIO

A continuación se observa en la Fig. 19 el departamento de Casanare (parte gris) con sus 19 municipios en total y en ellos el municipio de Yopal que está señalado con el color verde oscuro, el cual es la capital del departamento.

Indica el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y [80]: « Yopal tiene un área aproximada de 2771 km<sup>2</sup>, y de este gran total tan sólo 10, de 47 km<sup>2</sup>, corresponden a la cabecera Municipal, lo que indica que cerca de 2760.53 km<sup>2</sup> corresponde a suelos ubicados en el área rural. El municipio está ubicado cerca del Río Cravo Sur, en el piedemonte de la cordillera Oriental, por su topografía el municipio presenta tres pisos térmicos cuyas áreas son: Cálido 1.906 km<sup>2</sup>, Medio 106 km<sup>2</sup> y Frío 25 km<sup>2</sup>. La altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 350m».

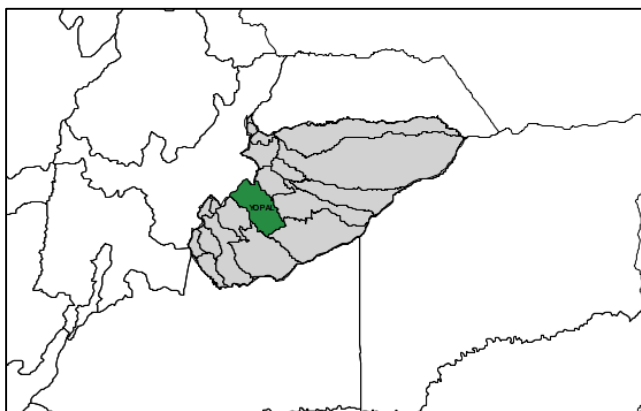


Figura 19. Localización Geográfica Municipio de Yopal  
(Fuente: PBOT, Municipio de Yopal-Casanare, 2003)

### 2.1.1 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE YOPAL

Según el POT, la ciudad de Yopal y capital del departamento colombiano de Casanare, ubicada cerca del río Cravo Sur, en el piedemonte de la cordillera Oriental, por su topografía el municipio presenta tres pisos térmicos cuyas áreas son: Cálido 1.906 Km<sup>2</sup>, Medio 106Km<sup>2</sup> y Frío 25Km<sup>2</sup>. Tiene una extensión total 2771 Km<sup>2</sup>, una extensión de área urbana 10,47 Km<sup>2</sup>, una extensión área rural: 2760,53 Km<sup>2</sup>, una altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 350 m, Temperatura media: 26°C C y se encuentra a una distancia de Bogotá de 387 km

### 2.1.1.1 Límites del municipio

A continuación se puede apreciar en la Fig. 20 los municipios con los que limita Yopal y en la Tabla 3. La información correspondiente a cada uno



Figura 20. Municipios que Limitan con Yopal  
(Fuente: PBOT, Municipio de Yopal-Casanare, 2003)

TABLA 3. Resumen de los Límites de Yopal

| MUNICIPIO            | PUNTO ORIGEN  | PUNTO FINAL  | LONGITUD   |
|----------------------|---|--|------------|
| Nunchía              | Puente vega de Paya(Río Payero)<br>N=1.100.000<br>E=1.195.150 | Paso del Sirivana<br>N=1.084.600<br>E=1.218.550                | 57.35 Km   |
| San Luis de Palenque | Paso del Sirivana<br>N=1.084.600<br>E=1.218.550               | Quebrada Seca<br>N=1.070.050<br>E=1.233.000                    | 57.6 Km    |
| Orocué               | Quebrada Seca<br>N=1.070.050<br>E=1.233.000                   | Paso real (Caño Guerrillean)<br>N=1.034.200<br>E=1.212.900     | 35.3 Kms.  |
| Maní                 | Paso real (Caño Guerrillean)<br>N=1.034.200<br>E=1.212.900    | Cruce Carreteable El Nogal<br>N=1.053.300<br>E=1.191.400       | 51.75 Kms. |
| Aguazul              | Cruce Carreteable El Nogal<br>N=1.053.300<br>E=1.191.400      | Río Charte con cuchilla de Guaimara                            | 56.0 Kms.  |
| DPTO de Boyacá       | Río Charte con cuchilla de Guaimara                           | Puente vega de Paya (Río Payero)<br>N=1.100.000<br>E=1.195.150 | 44.5 Km.   |

(Fuente: PBOT, Municipio de Yopal-Casanare, 2003)

### 2.2.1.2 Generalidades

Yopal, es una tierra de hermosos contrastes en fauna, flora, recursos hídricos y riqueza de hidrocarburos que hacen de esta región un lugar potencialmente económico y turístico (PBOT, Diagnostico Territorial 2003), a continuación se muestran algunos datos de interés:

- Extensión total: 2771 Km<sup>2</sup>
- Extensión área urbana: 10,47 Km<sup>2</sup>
- Extensión área rural: 2760,53 Km<sup>2</sup>
- Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 350 m
- Temperatura media: 26°C
- Distancia de referencia: Se encuentra a una distancia de Bogotá de 387 km
- Habitantes con Necesidades Básicas Insatisfechas: 24.67%

### 2.1.2 POBLACIÓN MUNICIPAL

- **Densidad de población:** 54,68 (Hab/Km<sup>2</sup>)
- **Tasa Bruta de mortalidad:** 21,68 (%)
- **Tasa de crecimiento:** 2,67 (%)
- **Hombres:** 65,6
- **Mujeres:** 72,58
- **Habitantes en el municipio**  
**No. Habitantes Cabecera:** 113802  
**No. Habitantes Zona Rural:** 23176
- **Total:** 136978 Habitantes

### 2.1.3 TERRITORIO RURAL DEL MUNICIPIO DE YOPAL

Se describe el territorio rural del Municipio de Yopal a continuación por Alcaldía (2010), [81]: « el cual está dividido en 10 corregimientos que agrupan un total de 92 veredas, en su contexto rural conforme se distribuyeron así: Morro, Mata limón, Chaparrera, Tacarimena, Punto Nuevo, Tilodirán, Morichal, Charte, Quebrada Seca y Alcaraván La Niata, de los cuales tienen centros poblados Morro, Chaparrera, Morichal, Tilodiran y la Guafilla ».



### 2.1.3.1 Corregimientos

En la Tabla 3. Se resume la información de cada corregimiento del municipio de Yopal

| TABLA 3. Resumen de Corregimientos de Yopal |               |            |   |  |                     |
|---|---------------|------------|---|--|---------------------|
| N°  | NOMBRE        | N° VEREDAS | LOCALIZACIÓN  | CENTRO POBLADO   | ACUERDO DE CREACIÓN |
| 1   | EI CHARTE     | 11         | Occidente del municipio, paisaje de montaña y pie de monte, cuenca altas del río Charte                                     | Centro Poblado, La Guafilla más dos Barrios                              | 016 1.995           |
| 2   | EL MORRO      | 18         | Nor – occi,paisaje de montaña y pie de monte ( colinas y Vega), cuenca alta del río Cravo Sur                               | Centro El morro poblado, más un Barrio                                   | 016 1.995           |
| 3   | LA CHAPARRERA | 10         | Norte del municipio occidente,paisaje de montaña y pie de monte ( colina y Vegas), cuenca del Tocaria y Media del Cravo Sur | Centro Poblado la Chaparrera más un barrio                               | 016 1.995           |
| 4   | MATA LIMÓN    | 7          | Norte del municipio occidente,paisaje de montaña y pie de monte ( colina y Vegas), cuenca del Río Payero                    | Sin Centro Poblado   | 016 1.995           |
| 5   | MORICHAL      | 12         | Centro-Sur del municipio, Paisaje de Sabana,Cuenca baja del río Charte  | Centro Poblado Morichal más un barrio Y un barrio en la vereda La Porfia | 016 1.995           |
| 6   | PTO NUEVO     | 6          | Oriente del municipio, Paisaje de Sabana,Cuenca río Cravo Sur   |  | 016 1.995           |
| 7   | TACARIMENA    | 8          | Oriente del municipio, Paisaje de Sabana,Cuenca río Cravo Sur   |  | 016 1.995           |
| 8   | TILODIRÁN     | 8          | Centro del Municipio, Paisaje de sabana, Cuenca media de los ríos Cravo sur , Charte y Guachiria                            | Centro poblado en Tilodiran, más un Barrio                               | 016 1.995           |

|    |                    |    |   |                                     |                       |
|----|--------------------|----|---|-------------------------------------|-----------------------|
| 9  | QUEBRADA SECA      | 3  | Sur-Oriente del municipio, Paisaje de sabana, cuenca baja   | Sin Centro Poblado                  | 019 Agosto<br>2.001   |
| 10 | ALCARAVAN LA NIATA | 10 | Centro del Municipio, paisaje de Piedemonte de (colinas, valles) Sabana, Cuenca media del río cravo Sur | Más un barrio en la vereda la Niata | 011 de Julio<br>2.003 |

(Fuente: PBOT, Municipio de Yopal-Casanare, 2003)

### 2.1.3.2 Área de los Corregimientos del Municipio de Yopal

En la Tabla 4, se especifica el numero de Hectareas de acuerdo al corregimiento del municipio de Yopal:

| TABLA 4. Área de los Corregimientos del Municipio de Yopal |            |
|--|------------|
| Corregimiento  | AREA / Has |
| EL MORRO   | 22874,81   |
| LA CHAPARRERA  | 20172,38   |
| MATA DE LIMON  | 7264,221   |
| ALCARABAN - LA NIATA                                       | 11479,63   |
| CHARTE   | 20361,61   |
| TACARIMENA   | 33924,96   |
| CASCO URBANO   | 1187       |
| MORICHAL   | 42916,78   |
| PUNTO NUEVO  | 16122,47   |
| TILODIRAN  | 54282,3    |
| QUEBRADA SECA  | 16705,95   |

(Fuente: Alcaldía de Yopal)

### 2.1.4 DIVISIÓN POLÍTICA RURAL

A continuación se muestra la división Política del municipio de Yopal:

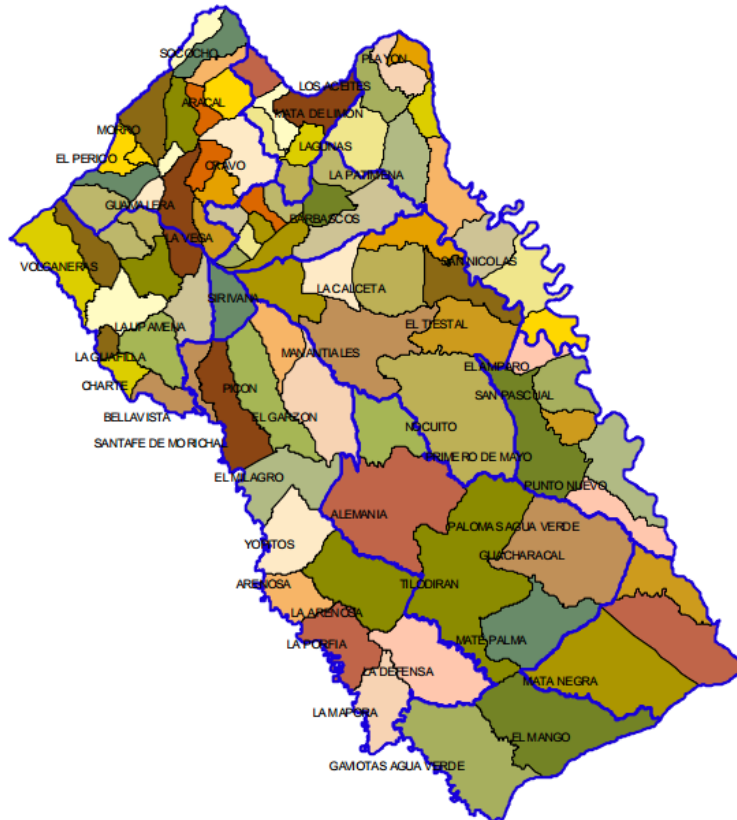


Figura 21. División Política Rural Municipio de Yopal.  
(Fuente: PBOT, Municipio de Yopal-Casanare, 2003)

#### 2.1.4.1 Veredas por Corregimientos

- Corregimiento El Charte (12 veredas): Vereda Bellavista, Vereda Brisas Del Cravo, Vereda Cagüi Charte, Vereda Cagüi Esperanza, Vereda Cagüi Milagro, Vereda Cagüi Primavera, Vereda El Charte, Vereda Jordán, Vereda La Guafilla, Vereda La Upamena, Vereda Rincón Del Soldado, Vereda Volcaneras
- Corregimiento El Morro (18 veredas): Vereda El Aracal, Vereda El Cravo, Vereda El Morro, Vereda El Perico, Vereda El Porvenir, Vereda El Progreso, Vereda Guayaquito, Vereda La Cabaña, Vereda La Colorada, Vereda La Guamalera, Vereda La Libertad, Vereda La Reforma, Vereda La Vega, Vereda Los Gaques, Vereda Marroquín, Vereda Planadas, Vereda Socochó,
- Corregimiento Mata de Limón (6 veredas): Vereda El Palmar, Vereda Floreña, Vereda Mata de Limón, Vereda Naranjitos, Vereda Palo Bajito, Vereda Villa del Carmen

- Corregimiento La Chaparrera (10 veredas): Vereda El Playón, Vereda El Taladro, Vereda La Chaparrera, Vereda La Patimena, Vereda Lagunas, Vereda Los Aceites, Vereda Rincón del Moriche, Vereda San Antonio del Tocaría, Vereda San Nicolás del Tocaría, Vereda Santa Bárbara
- Corregimiento Alcaraván La Niata (10 veredas): Vereda Arguaney, Vereda Barbascos, Vereda Brisas de Oriente, Vereda El Bajo, Vereda Guayaque, Vereda La Niata, Vereda La Reserva, Vereda San Cristóbal, Vereda Vista Alta, Vereda Vista Baja
- Corregimiento de Morichal (12 veredas): Vereda El Garzón, Vereda El Milagro, Vereda La Arenosa, Vereda La Argelia, Vereda La Defensa, Vereda La Mapora, Vereda La Porfía, Vereda La Unión, Vereda Morichal, Vereda Picón, Vereda San Rafael, Vereda Yopitos
- Corregimiento de Quebrada Seca (3 veredas): Vereda Mata Negra, Vereda Quebrada Seca, Vereda San José de Caño Seco
- Corregimiento de Tilodirán (7 veredas): Vereda Alemania, Vereda El Arenal, Vereda El Mango, Vereda Gaviotas Aguaverde, Vereda Guacharacal, Vereda Mate Palma, Vereda Tilodirán.
- Corregimiento de Tacarimena (8 veredas): Vereda El Nocuito, Vereda El Tiestal, Vereda La Calceta, Vereda La Manga, Vereda Manantiales, Vereda Palomas, Vereda Sirivana, Vereda Tacarimena
- Corregimiento de Punto Nuevo (6 veredas): Vereda Amparo, Vereda Barbilla, Vereda Palomas Agua Verde, Vereda Primero de Mayo, Vereda Punto Nuevo, Vereda San Pascual.

En la siguiente Fig. 22, se ve la distribución de las veredas por cada uno de los 10 corregimientos del Municipio:



Figura 22. Corregimientos del Municipio de Yopal

(Fuente [82])

#### 2.1.4.2 Límites de los Corregimientos

En la Tabla 5. Se nombran los límites de cada corregimiento del municipio de Yopal

TABLA 5. Límites de los Corregimientos

| N° | Nombre             | Límites  |
|----|--------------------|--|
| 1  | ELCHATE            | <b>Norte:</b> La Cuchilla de las Barras el límite con Boyacá. <b>Sur:</b> El Río Charte marca límite con el municipio de Aguazul en el sector de Piedemonte. <b>Oriente:</b> La Cuchilla de ** y la Cuchilla de Caguí marca el límite con el Corregimiento del Morro. El Cñ Usivar lo separa del área urbana de Yopal y el cañi la Upamena del Corregimiento de Morichal. <b>Occidente:</b> El río Charte marca el límite con la zona Cerro del municipio de Aguazul.  |
| 2  | EL MORRO           | <b>Norte:</b> La Cuchilla de las Barra y la Quebrada la Yopera marcan el límite entre el Departamento de Casanare y el Charte Departamento de Boyacá, los cuales constituyen los límites del corregimiento. <b>Sur:</b> Cerro de Palo bajito y la quebrada la Niata forma el límite con el corregimiento de la Niata; El Cerro de Guamalera ** marca el límite entre el Morro y el Charte. <b>Oriente:</b> Las cuchillas del Aracal y Peña negra y Q. Peña negra separan el Corregimiento del Morro del Corregimiento de Mata de Limón. <b>Occidente:</b> La Cuchilla de *** y la Cuchilla de Cagüi marca el límite con el corregimiento del Charte. |
| 3  | MATA DE LIMON      | <b>Norte:</b> El río Payero lo separa del Departamento de Boyacá y el municipio de Nunchía. <b>Sur:</b> La loma de Peña negra y la Q. Peña negra lo separan del Morro; La loma de Buena Vista La Q. La Niata y el Cerro de Palo Bajito lo separan del Corregimiento del Alcaraván. <b>Oriente:</b> La Cuchillas del Aracal es el Límite con el morro. <b>Occidente:</b> La Loma *** y la Q. son el límite con el Corregimiento de la Chaparrera.   |
| 4  | LA CHAPARRERA      | <b>Norte:</b> Los ríos Tocana y Payero marcan la divisoria con el Municipio de Nunchía. <b>Sur:</b> El río Cravo Sur marca el límite con los Corregimientos de Tacarimena y Punto Nuevo. <b>Oriente:</b> con el Municipio de Nunchía y límite el río Tocaría. <b>Occidente:</b> Las Q. la Niata, la Patimena, Curazao y la loma larga lo separan del Corregimiento de Aclaraban la Niata Las Cuchilla de Palo bajito, lo separan del Corregimiento Mata de Limón.  |
| 5  | ALCARAVAN LA NIATA | <b>Norte:</b> La Loma de Buena Vista y la Q. La Niata lo separan del Morro; La Q. La Niata y la cuchilla de Palo Bajito lo separan del corregimiento de Mata de Limón. <b>Sur:</b> El río Cravo sur es el límite con Tacarimena. <b>Oriente:</b> Las Qs. La Niata, La Patimena y curazao y la Loma larga lo separan de la Chaparrera. <b>Occidente:</b> el río Cravo sur lo separa la ciudad de Yopal.   |
| 6  | MORICHAL           | <b>Norte:</b> Con el casco urbano; EL caño Agua Verde Lo separa del C. Tacarimena. <b>Sur:</b> El río charte lo separa del municipio de aguazul. <b>Occidente:</b> La quebrada la Upamena lo separa del C. del Charte. El río charte lo separa del municipio de Aguazul. <b>Oriente:</b> El Carreteable Cñ Canacabare - Cñ Las Casitas. Carreteable al Cñ Aguaverde gaviotas hasta el Hato canacabarrito. Y luego el caño El Corozo lo separan del corregimiento de Tilodirán.   |

| TABLA 5. Límites de los Corregimientos |               |   |
|--|---------------|---|
| N°                                     | Nombre        | Límites   |
| 7                                      | TILODIRÁN     | <b>Norte:</b> EL Caño aguaverde lo separan de los Corregimientos de Tacarimena y Punto Nuevo. <b>Sur:</b> Los Caños Canacavare, las Casitas, lo separa del Centro Poblado de Morichal: El caño Guarimena marca el límite con el municipio de Aguazul. <b>Occidente:</b> El Carreteable, Cñ Aguaverde(La Ciénaga)-La Argelia (Cñ Seco), La conquista - Cñ Mojadador (Cñ Canacavare), Carreteable Cñ Canacabare. <b>Oriente:</b> El Carreteable, Caño Agua Verde (La macarena), Cñ Seco (Santa Bárbara), Caño Canacabare (Las Casitas), son los límites con Q. Seca |
| 8                                      | QUEBRADA SECA | <b>Norte:</b> El Cñ aguaverde lo separan del corregimiento de Pto. Nuevo y el río Cravo Sur del municipio de San Luis de Palenque. <b>Sur:</b> El Canacavare (Las casitas - Camino ganadero) Lo separa del corregimiento de Tilodirán. <b>Occidente:</b> El Carreteable caño aguaverde (La Macarena)Cñ seco(Sta. Bárbara) - Caño Canacabare (Las casitas). Son los límites con el corregimiento de Tilodiran. <b>Oriente:</b> El Camino ganadero lo separa del municipio de Orocué.   |
| 9                                      | TACARIENA     | <b>Norte:</b> El río Cravo sur lo dividen los Corregimientos de Alcaraván La Niata y la Chaparrera. <b>Sur:</b> El Cñ Agua Verde lo separa de los corregimientos de Morichal y Tilodirán. <b>Occidente:</b> Con el casco urbano. <b>Oriente:</b> El Carreteable Río Cravo sur (La realidad)- El Copey sobre la vía Yopal Pto. Nuevo. La vía a Pto. Nuevo sector el olival -el Copey. El Carreteable santa rosita (El Copey)-Hato Canta rana- Cñ Agua verde los separan del corregimiento de Pto. Nuevo  |
| 10                                     | PUNTO NUEVO   | <b>Norte:</b> El río Cravo Sur lo separa del corregimiento de la chaparrera y del municipio de San Luis de Palenque. <b>Sur:</b> El caño aguaverde lo separa de los corregimientos de punto nuevo. <b>Occidente:</b> El carreteable río Cravo sur (La realidad)- El copey   |

(Fuente: PBOT, Municipio de Yopal-Casanare, 2003)

## 2.1.5 CLIMATOLOGÍA

El Plan de Ordenamiento Territorial POT Yopal, da una idea en cuanto a estos aspectos relevantes para el proyecto, a continuación se resumen:

### 2.1.5.1 Precipitación

En el departamento se presenta un patrón de lluvias mono-modal, caracterizado por un periodo de lluvias abril, mayo, junio y julio, donde la precipitación se incrementa considerablemente sobre todo el municipio. Las cantidades sobrepasan los 500 mm, sin embargo las temperaturas varían desde 18 °C en los meses de junio y julio a 28 °C. En los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre presentan una distribución territorial semejante a los precedentes, destacándose igualmente por las abundantes precipitaciones caídas; sin embargo los totales se reducen en cerca de 100 mm con respecto a los anteriores, pero se establece un promedio anual de 26 °C para todo el municipio. Luego

es seguido por un periodo seco, diciembre, enero, febrero y marzo. Los índices máximos de precipitación se presentan en el mes de mayo y los mínimos en enero. El total de precipitación media anual para la estación el Morro es 3781,5 mms, La Chaparrera 2375,6 mms y Apto Yopal 2324,8 mm.

#### 2.1.5.2 Temperatura

La temperatura media anual registra valores entre 22°C y 30,4°C. El período húmedo es el más fresco ya que las temperaturas descienden en más de dos grados, mientras que el período seco es el más caluroso con valores que superan los 24°C, teniendo como base los valores medios mínimos. El promedio medio anual es de 26,4 °C para el municipio de Yopal, presentándose una baja oscilación intra-anual, lo cual es típico en las regiones tropicales.

#### 2.1.5.4 Brillo Solar

El mayor número de horas de brillo solar se presenta en el periodo seco en el mes de enero con un valor aproximado de 245 horas/mes y el mes de menores horas insolación se registra en julio con un valor de 123 h/mes. El promedio anual de brillo solar es de 1976,7 horas.

### 2.1.6 HIDROGRAFIA DE CASANARE



Figura 23. Mapa Hídrico del Departamento de Casanare

(Fuente: Vive Colombia)



### 2.1.6.1 Red Hídrica Municipal

El territorio municipal de Yopal hace parte de las cuencas del Río Charte y del Río Cravo Sur como se observó en el ítem anterior, estas cuentas están conformadas por las subcuencas de otros cuerpos hídricos, es necesario ubicarlas para saber si la vereda que se escoja podría tener una solución energética con PCH, lo cual se mirara más adelante, para más detalle se describen en la tabla 6:

| TABLA 6. Red Hídrica del municipio de Yopal |  |
|---|--|
| Cuenca                                      | Subcuencas   |
| <b>Río Charte</b>                           | Cuenca Hidrográfica del río Tocaría y su Afluente el río Payero<br>Micro cuenca Quebrada la Tablona<br>Micro cuenca Quebrada la Calabozza<br>Micro cuenca Quebrada Aguatoca<br>Micro cuenca Quebrada la Niata<br>Cuenca Caño Tiestal<br>Cuenca Caño Palomas Agua Verde<br>Cuenca Caño Seco |
| <b>Río Cravo Sur</b>                        | Micro cuenca Quebrada la Aguazula<br>Micro cuenca Quebrada la Upamena<br>Micro cuenca Caño Usivar  |

### 2.1.7 PUESTOS DE SALUD DE LAS VEREDAS

| TABLA 7. Puestos de Salud Yopal |                       |
|---------------------------------|-----------------------|
| Puestos de Salud                | Dependencia           |
| Corregimiento de la Chaparrera  | Hospital Yopal E.S.E. |
| Corregimiento Tilodiran         | Hospital Yopal E.S.E. |
| Corregimiento Morichal          | Hospital Yopal E.S.E. |
| Corregimiento Tacarimena        | Hospital Yopal E.S.E. |
| Vereda San Antonio              | Hospital Yopal E.S.E. |
| Vereda Rincón del Moriche       | Hospital Yopal E.S.E. |
| Vereda La Manga                 | Hospital Yopal E.S.E. |
| Vereda Socochó                  | Alcaldía Municipal    |
| Vereda Mata Limón               | Alcaldía Municipal    |
| Vereda La Libertad              | Alcaldía Municipal    |
| Vereda Cagui Esperanza          | Alcaldía Municipal    |
| Vereda El Venado                | Alcaldía Municipal    |

|                       |                    |
|-----------------------|--------------------|
| Vereda Rincón Soldado | Alcaldía Municipal |
| Vereda Quebrada Seca  | Alcaldía Municipal |
| Vereda Punto Nuevo    | Alcaldía Municipal |
| Vereda Cagui Charte   | Alcaldía Municipal |

(Fuente: Gerencia Municipal de Salud, 2003)

## 2.2 ESTABLECIMIENTOS DE EDUCACIÓN

### 2.2.1 CANTIDAD DE ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS EN ÁREA URBANA Y RURAL

El municipio de Yopal, según una Comunicación Oficial del Sistema Integrado de Gestión 2013, [83]: « cuenta con 23 Instituciones Educativas y un (1) Centro Educativo, de los cuales 14 establecimientos son urbanos y 10 rurales, se tiene un total de 87 sedes educativas activas». La distribución por sedes de los establecimientos educativos se presenta a continuación:

TABLA 9. Consolidado de Establecimientos Educativos Zona Rural y Urbana, 2013.

| Zona<br>COMUNA/CORREG. |                           | OFICIAL            |                  |              |           |                    | NO OFICIAL       |              |  |  |           | Total NO<br>OFICIAL | Total<br>general |
|------------------------|---------------------------|--------------------|------------------|--------------|-----------|--------------------|------------------|--------------|--|--|-----------|---------------------|------------------|
|                        |                           | ANTIGUO-<br>ACTIVO | NUEVO-<br>ACTIVO | TEMPORA<br>L | OFICIAL   | ANTIGUO-<br>ACTIVO | NUEVO-<br>ACTIVO | TEMPORA<br>L |  |  |           |                     |                  |
| <b>URBANA</b>          | COMUNA 1                  | 4                  |                  |              | 4         | 11                 | 4                |              |  |  | 15        | 19                  |                  |
|                        | COMUNA 2                  | 4                  |                  |              | 4         | 8                  | 1                |              |  |  | 9         | 13                  |                  |
|                        | COMUNA 3                  | 3                  |                  |              | 3         | 7                  | 5                | 1            |  |  | 13        | 16                  |                  |
|                        | COMUNA 4                  | 3                  |                  |              | 3         | 5                  |                  | 1            |  |  | 6         | 9                   |                  |
|                        | COMUNA 5                  | 1                  | 1                |              | 2         |                    | 1                | 1            |  |  | 2         | 4                   |                  |
|                        | CORREG MORICHAL           | 2                  |                  |              | 2         |                    |                  |              |  |  |           | 2                   |                  |
| <b>Total URBANA</b>    |                           | <b>17</b>          | <b>1</b>         |              | <b>18</b> | <b>31</b>          | <b>11</b>        | <b>3</b>     |  |  | <b>45</b> | <b>63</b>           |                  |
| <b>RURAL</b>           | CORREG ALCARABAN-LA ÑIATA |                    | 7                | 1            | 8         |                    |                  |              |  |  |           | 8                   |                  |
|                        | CORREG EL CHARTE          | 6                  |                  | 2            | 8         | 1                  |                  | 1            |  |  | 2         | 10                  |                  |
|                        | CORREG EL MORRO           | 10                 |                  | 4            | 14        |                    |                  |              |  |  |           | 14                  |                  |
|                        | CORREG LA CHAPARRERA      | 9                  |                  |              | 9         |                    |                  |              |  |  |           | 9                   |                  |
|                        | CORREG MATA DE LIMON      |                    | 6                |              | 6         |                    |                  |              |  |  |           | 6                   |                  |
|                        | CORREG MORICHAL           | 5                  | 5                |              | 10        | 2                  |                  |              |  |  | 2         | 12                  |                  |
|                        | CORREG PUNTO NUEVO        | 5                  |                  |              | 5         |                    |                  |              |  |  |           | 5                   |                  |
|                        | CORREG QUEBRADASECA       | 1                  |                  |              | 1         |                    |                  |              |  |  |           | 1                   |                  |
|                        | CORREG TACARIMENA         | 7                  | 1                |              | 8         | 1                  |                  |              |  |  | 1         | 9                   |                  |
|                        | CORREG TILODIRAN          | 6                  |                  |              | 6         |                    |                  |              |  |  |           | 6                   |                  |
| <b>Total RURAL</b>     |                           | <b>49</b>          | <b>19</b>        | <b>7</b>     | <b>75</b> | <b>4</b>           |                  | <b>1</b>     |  |  | <b>5</b>  | <b>80</b>           |                  |
| <b>Total general</b>   |                           | <b>66</b>          | <b>20</b>        | <b>7</b>     | <b>93</b> | <b>35</b>          | <b>11</b>        | <b>4</b>     |  |  | <b>50</b> | <b>143</b>          |                  |

(Fuente: SINEB, 2013)

## 2.2.2 LOCALIZACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS Y SEDES EDUCATIVAS POR VEREDA

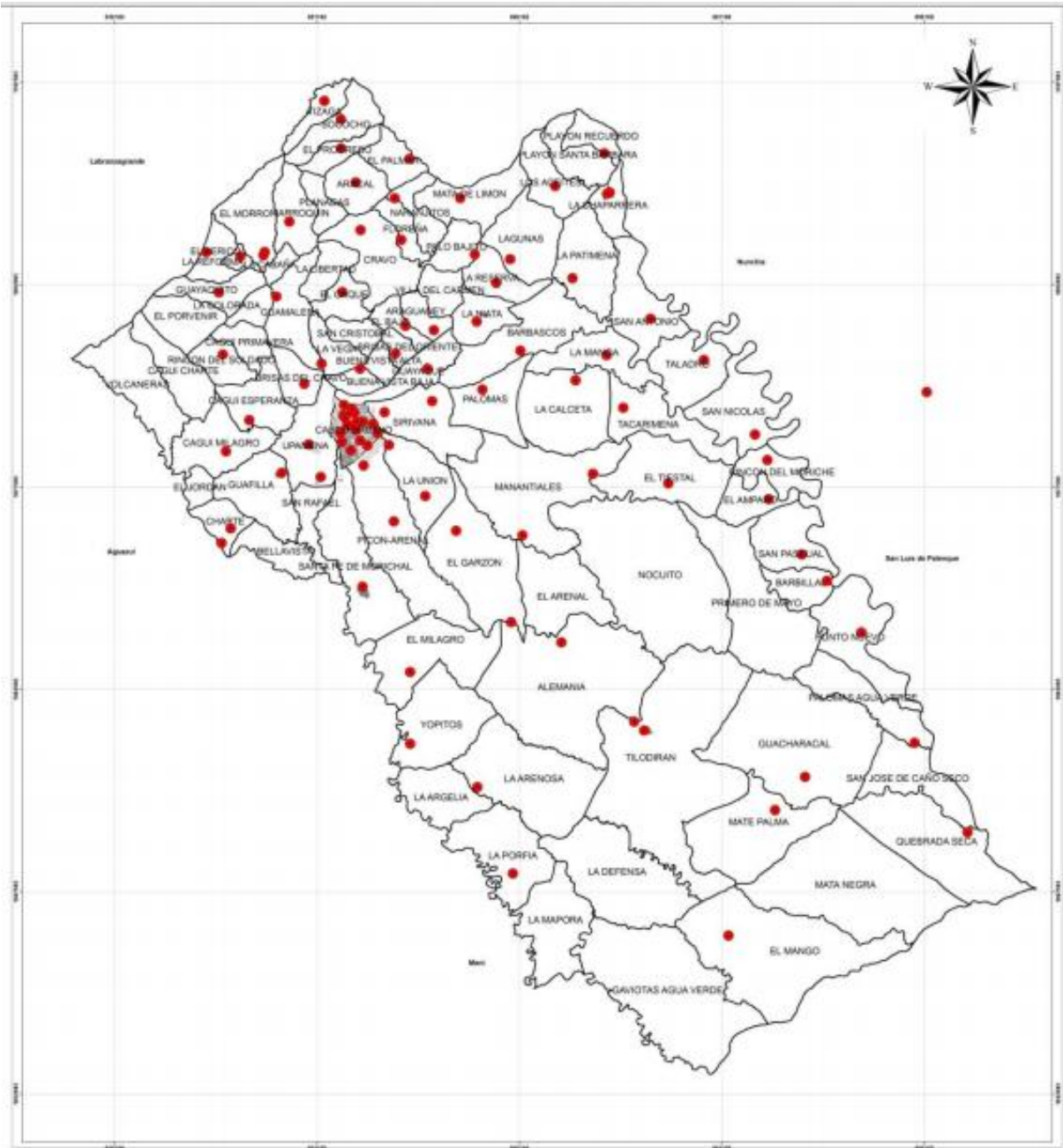


Figura 24. Mapa de Localización de Sedes Educativas en el municipio de Yopal  
(Fuente: Secretaria de Educación de Yopal)

Los puntos rojos indican la ubicación de los establecimientos educativos existes en el municipio de Yopal.

### 2.2.3 COBERTURA DE EDUCACION FORMAL REGULAR YOPAL 2007-2012

Teniendo en cuenta las proyecciones de población (Grado 0 a 11-Rango de Edad 5 a 16 años), según la Comunicación Oficial del Sistema Integrado de Gestión 2013, las proyecciones con ajuste del 12 de mayo de 2011, el total de la población atendida y la población proyectada por atender de 5 a 16 años nos genera un indicador de cobertura bruta del 104,26%, esto indica que se está atendiendo más población de la proyectada por el DANE, situación que se da por el alto crecimiento de la población flotante que se encuentra en el municipio y el alto índice de población que recibe el municipio en situación de desplazamiento. Como se ve a en la Fig. 25

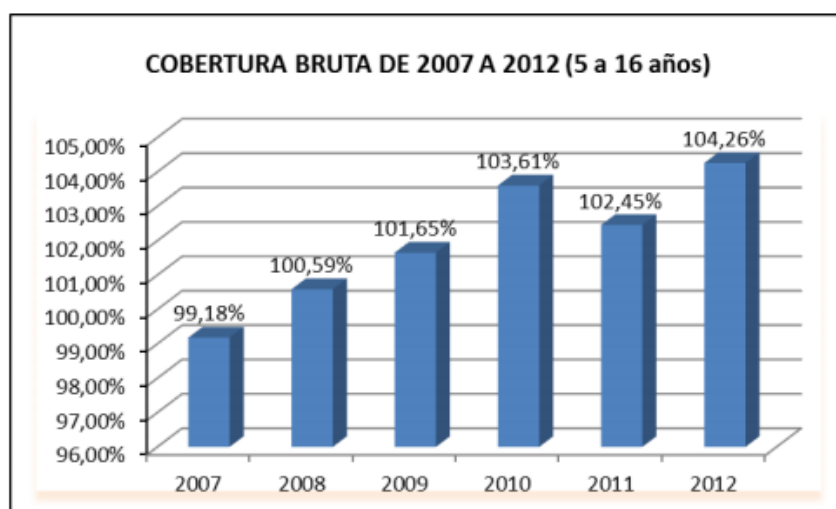


Figura 25. Diagrama de Barras Cobertura Anual Bruta de Educación  
(Fuente: Sineb MEN, 2012)

Según el informe si hacemos una comparación entre la población matriculada y la población a ser atendida por grado, tenemos lo reflejado en la Fig. 26 sin tener en cuenta la población matriculada en el programa de adultos, se presentan un déficit de 2331 jóvenes en edad escolar sin atender.

Esto significa también que el auge petrolero y la gran afluencia de población migratoria, en especial la población desplazada ha ocasionado una gran presión sobre el servicio educativo en el municipio de Yopal, ocasionando una alta demanda de cupos en todos los niveles educativos, generando problemas de acceso al sistema educativo y hacinamiento en las aulas escolares del área urbana, lugar de mayor asentamiento de la población desplazada.

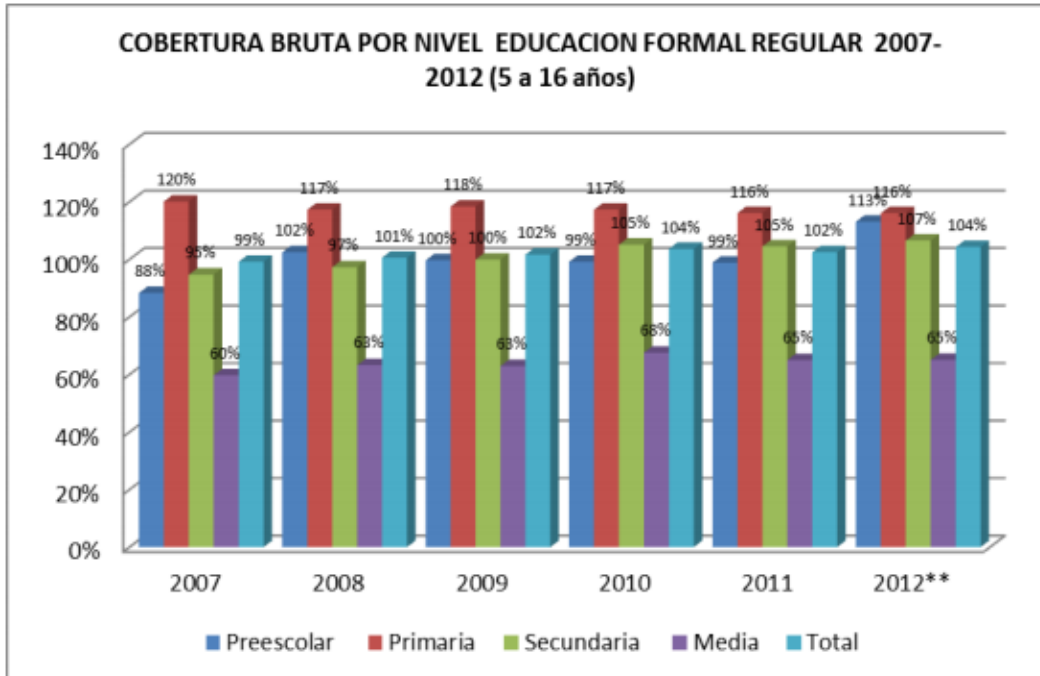


Figura 26. Cobertura por Nivel de Educación Formal  
(Fuente: Sineb MEN, 2012)

### 2.3 SITUACIÓN DE ACTIVIDADES EN YOPAL

Basado en la agenda ambiental del municipio, se indica a continuación un resumen de las diferentes situaciones [84]: «

#### 2.3.1 SITUACIÓN SOCIAL

Yopal, es centro de actividades administrativas y financieras, y por su cercanía a Aguazul, Tauramena, por ofrecer mejores condiciones de infraestructura y servicios, ha recibido gran parte de las nuevas actividades ligadas a la explotación petrolera y del dinamismo poblacional ocurrido con la expansión de la frontera agrícola y la apertura de vías de acceso terrestre en el Casanare, y el descubrimiento de los pozos Cusiana-Cupiagua, Floreña a finales de los años 80.

El crecimiento poblacional es afectado con corrientes migratorias atraídas por el auge petrolero, y también de población desplazada que llega con la expectativa de encontrar el apoyo económico para obtener una vivienda digna, condiciones mejores de vida, ocasionando presión para el acceso a los servicios públicos y sociales.

### 2.3.2 SITUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL

La actividad económica del municipio gira en torno a la extracción de petróleo, la agricultura y la ganadería. La ganadería vacuna es la principal actividad económica de la población. En menor escala se desarrolla la piscicultura, avicultura porcicultura en sectores aledaños a la red vial y los centros de consumo local, con mercados limitados que no permiten el aumento de la oferta. En cuanto a la agricultura los principales cultivos son arroz (actividad que genera serios problemas de contaminación debido a la inadecuada o sobre utilización en la aplicación de agroquímicos, afectando notoriamente la fauna, flora y recursos hídricos), palma africana, plátano, maíz tradicional, café y yuca; en este ramo son fundamentales las agroindustrias molinera, palmera y de alimentos. En el pie de monte presenta cultivos a poca escala especialmente cítricos, papaya, maracuyá, guanábana, café patilla y piña favorecidos por el clima que es apto para el desarrollo de estos. Hasta el momento no se han adelantado procesos de agricultura sostenible con el fin de establecer una relación armónica hombre naturaleza, con miras a obtener buenas producciones bajo un esquema de conservación de los recursos naturales.

El petróleo es la actividad de mayor generación de ingresos en el departamento de Casanare, siendo los campos de Cusiana y Cupiagua ( Tauramena y Aguazul respectivamente) algunos de los más importantes del país; y aunque en Yopal no se producen regalías provenientes de la explotación petrolera en su territorio, percibe importantes recursos provenientes de los impuestos de las empresas de esta industria que operan en el departamento, cuya sede principal se encuentra ubicada en Yopal, y aunque se cobran en algunos casos las tasas de aprovechamiento, los recursos captados no se revierten en la recuperación de los daños ambientales, el sector petrolero genera las regalías pero la compensación no se ve reflejada en la Recuperación Ambiental de las áreas petroleras y las áreas urbanas se ven afectadas por los impactos ocasionados con la migración de centenares de personas que llegan en busca de los beneficios que genera la actividad.

### 2.3.2 SITUACIÓN PRODUCTIVA

No existen canales de comercialización regional y nacional bien establecidos para los productos menos representativos diferentes al arroz, la palma africana y la ganadería, por lo que estos productos se ven limitados al consumo local, fenómeno que restringe el desarrollo de otras cadenas productivas,

para las cuales no se han tenido políticas continuas y serias que estimulen su desarrollo, es el caso de la Yuca y el procesamiento del matadero.

Hay baja productividad y rentabilidad en la actividad agropecuaria, esto se debe a las prácticas inadecuadas de manejo y explotación del suelo, que no han tenido en cuenta la conservación dentro de criterios sostenibilidad del recurso, las aguas, los bosques protectores; la falta de organización gremial e institucional, la falta de una política seria dirigida al sector agropecuario por parte del gobierno central, departamental, y a fallas en la articulación de estos».

## **2.4 COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

### **2.4.1 COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL PAÍS**

Esta información es recopilada para determinar el déficit de cobertura, el cual es el insumo principal y el objetivo a cubrir en el Plan Indicativo de Expansión de la Cobertura de Energía Eléctrica (PIEC). La estimación del déficit de la cobertura a continuación es suministrada por los Operadores de Red, los entes territoriales y el departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), [85]: «. Las alternativas que actualmente evalúa el modelo son: la opción de interconexión al Sistema Interconectado Nacional (SIN) y la solución aislada por medio de generación diésel. Pero se señala que las fuentes no convencionales y los esquemas híbridos (renovable-diésel) están en proceso de inclusión ».

Se estima la cobertura eléctrica haciendo una consideración de la demanda (la cual se observa en el ítem 2.4.1.1 de Centros Poblados del País) y de la Oferta (La cual se muestra en el ítem 2.4.1.2) y así se cuantifica la inversión total requerida para la expansión de cobertura del sistema eléctrico colombiano, como se ve a continuación:

### 2.4.1.1 Centro Poblados Geo-referenciados

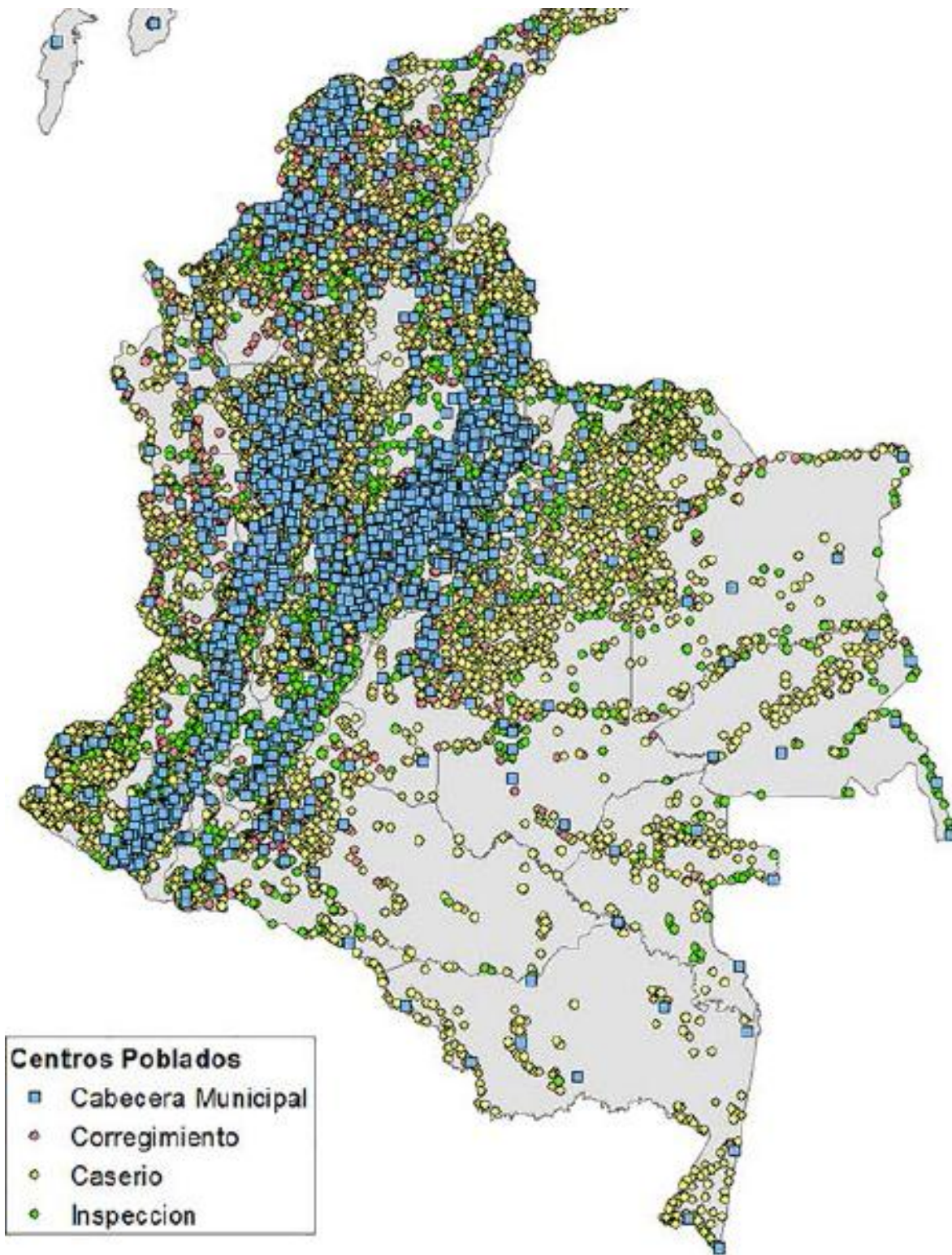


Figura 27. Centros Poblados Geo referenciados-Demanda  
(Fuente UPME Grupo de Cobertura y Fondos, 2013)



### 2.4.1.2 Estructura Eléctrica

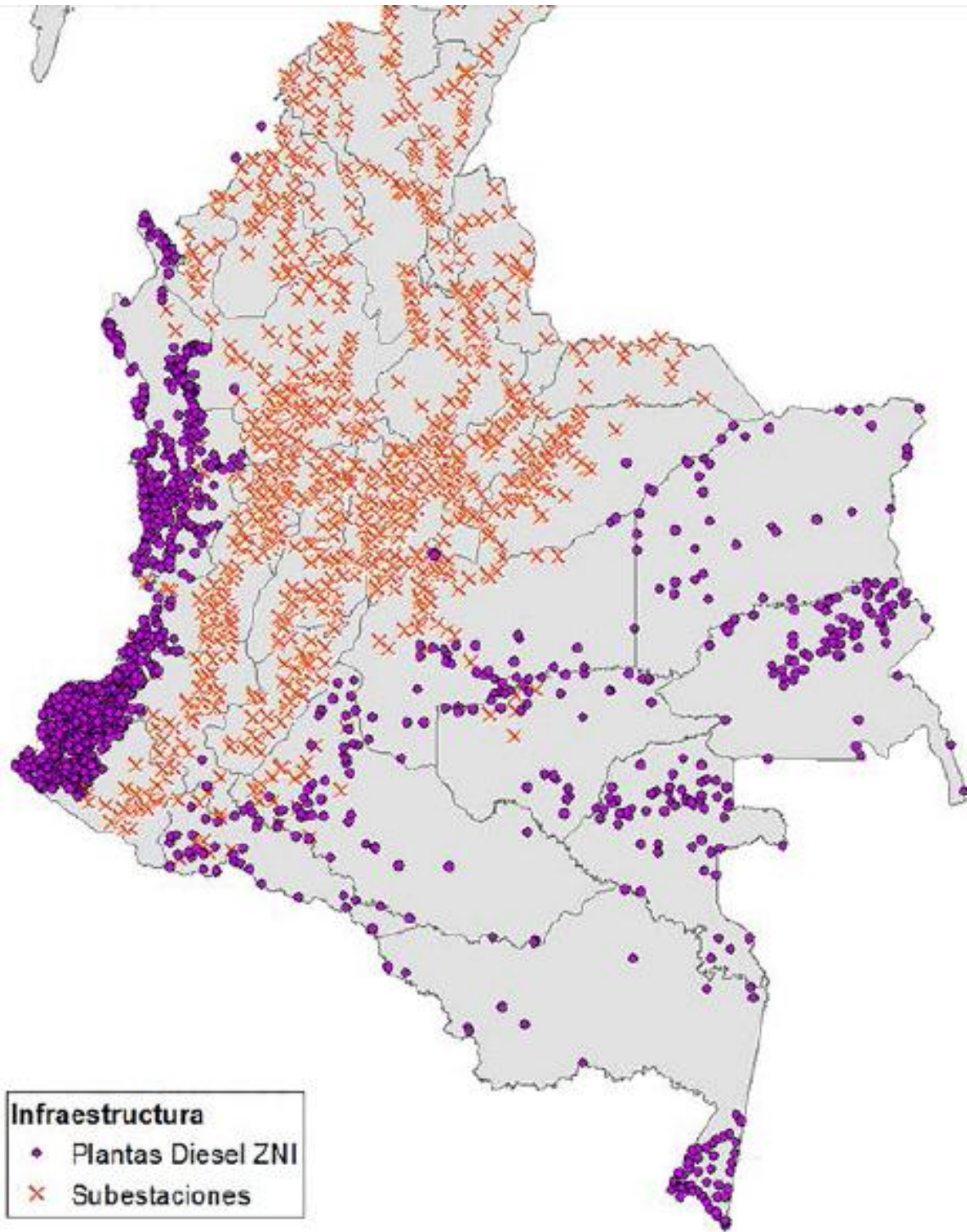


Figura 28. Infraestructura de la Estructura Eléctrica Geo-referenciada  
(Fuente UPME Grupo de Cobertura y Fondos, 2013)

Como se aprecia en la anterior Fig. 31 Yopal tiene demanda sin atender aún, la cual corresponde a los caseríos y corregimientos que están relativamente lejos de las subestaciones existentes según se ve. Con la Fig. 27 y 28 se define el número de VSS (viviendas factibles de interconectar) en el área de influencia de las subestaciones reportadas por cada empresa distribuidora, y las VSS, que requerirían recursos del estado, para las cuales se les solicitaría apoyo de los fondos FAER<sub>1</sub> y FAZNI<sub>2</sub>.

#### 2.4.1.3 Centros Poblados Inter-conectables

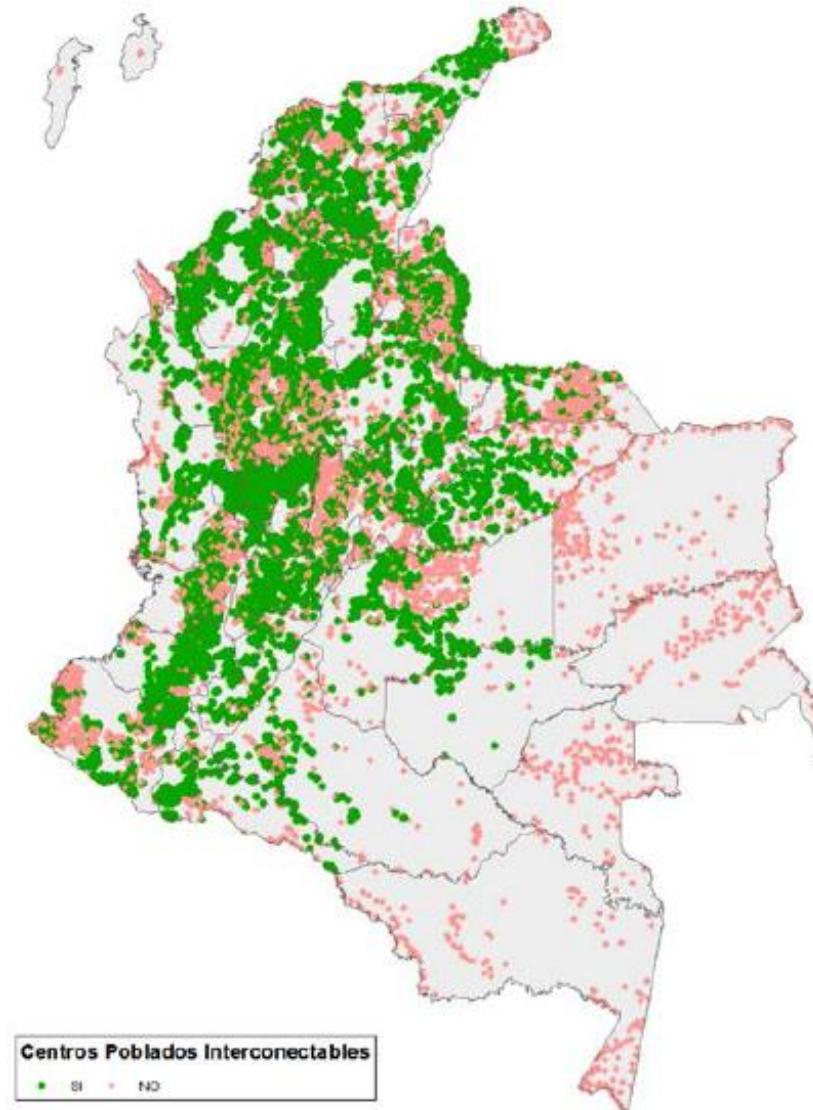


Figura 29. Centros Poblados Inter-conectables  
(Fuente: Grupo de cobertura y Fondos UPME, 2013-2017)

Como se observa en la Fig. 29, anterior, en Yopal la mayoría de centros poblados se proyectan como inter-conectables, a continuación se muestra la cobertura eléctrica más detalladamente en el mapa de Casanare, donde se centrara la atención en el municipio de Yopal

#### 2.4.2 COBERTURA DE RED DE ELÉCTRICA DEL DEPARTAMENTO DE CASANARE

A continuación se muestra la Cobertura Eléctrica de Centros Urbanos del Municipio de Yopal que se encuentra localizado en la sub-región Centro del Departamento de Casanare:

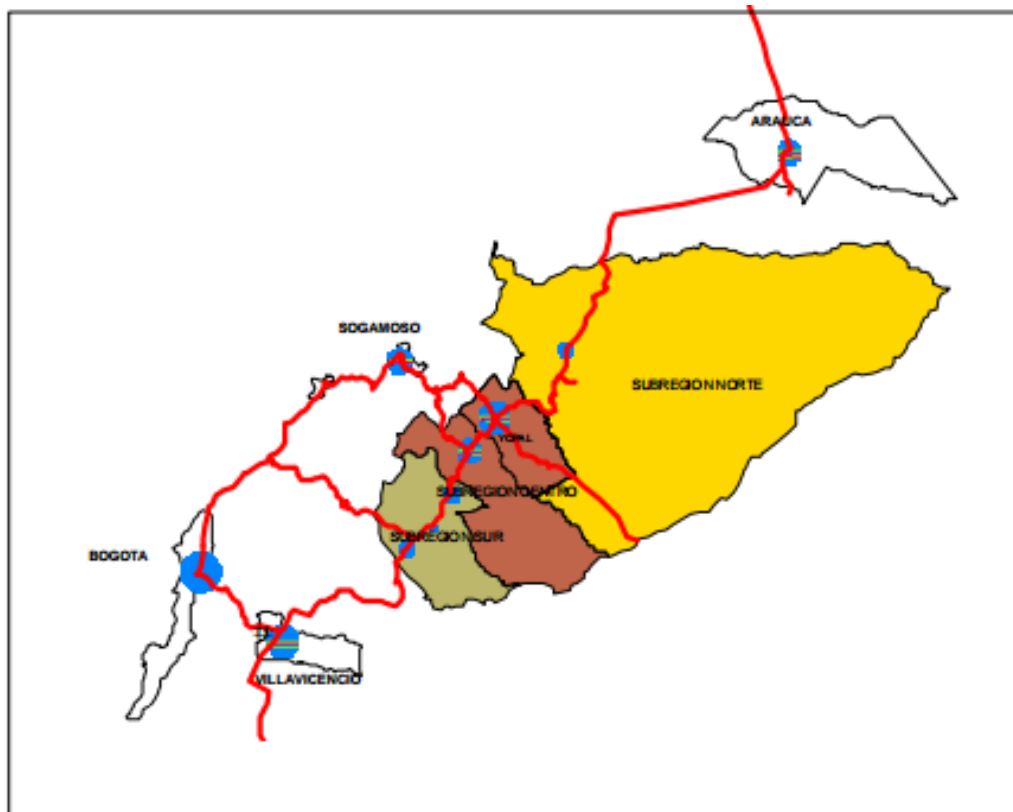


Figura 30. Red Eléctrica Actual del Departamento de Casanare y Municipio Yopal  
(Fuente: PBOT, Municipio de Yopal-Casanare, 2003)

### 2.4.3 CENTROS INTERCONECTABLES YOPAL

La información a continuación es suministrada directamente por agentes de la Unidad de Planeación Minero Energética y muestra la cobertura Eléctrica de Casanare, donde se puede apreciar en detalle Yopal.

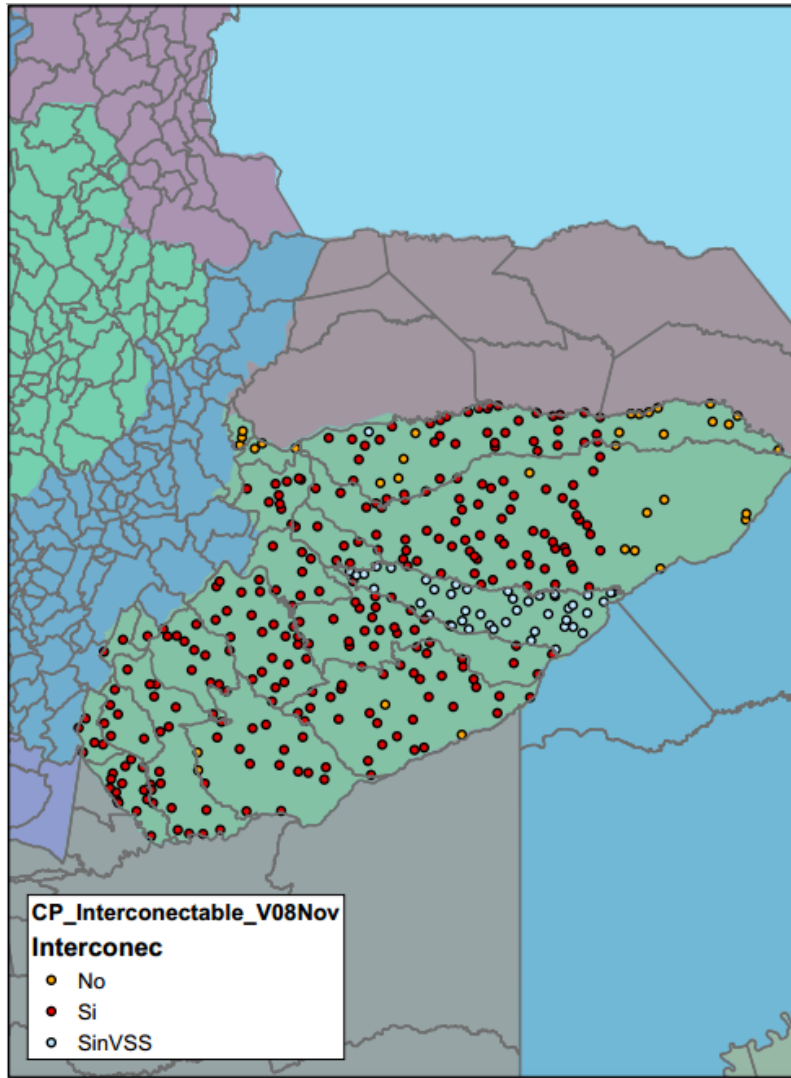


Figura 31. Cobertura Eléctrica Casanare.

(Fuente: UPME, 2013)

Para las convenciones de la Fig. 31 se especifica que los puntos amarillos corresponden a los no interconectables al Sistema Interconectado Nacional, los blancos son viviendas con servicio que están en el 100 de la cobertura (Sin VSS indica viviendas que ya están interconectadas), y los puntos

rojos son VSS viviendas que indican que son factibles de interconectar en el área de influencia de las subestaciones pero no han llegado al 100 de la cobertura.

Como se puede ver, el municipio Yopal tiene una distribución de puntos rojos, lo que indica que son Viviendas Factibles de Interconectar pero aún no han llegado al 100 % de cubrimiento como es el caso de las veredas que se presentan sin cobertura eléctrica, donde aún hay logros que alcanzar.

### 2.4.4 FUENTES DE SUMINISTRO DE ENERGÍA

Para presentar en detalle el servicio de Energía Eléctrica en el Municipio de Yopal, se muestra la Fig. 32 donde se ve que ha avanzado en el área Urbana 94 % y en la Fig.33 se aprecia parcialmente la falta de cubrimiento energético existente, mostrándose también las fuentes alternas de Suministro de Energía que usan los habitantes:

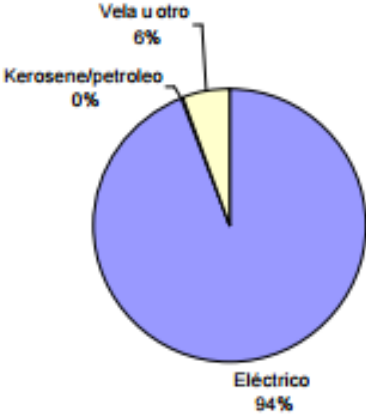


Figura 32. Fuentes de Suministro de Energía Urbano  
(Fuente: SISBEN Municipal, 2003)

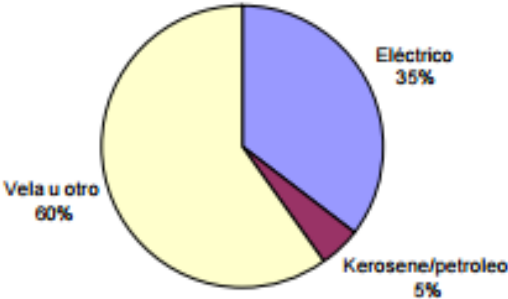


Figura 33. Fuentes de Suministro de Energía Rural  
(Fuente: SISBEN Municipal, 2003)

## **2.5 SITUACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS EN LAS VEREDAS**

### 2.5.1 VEREDAS SIN ENERGIZACIÓN NI PLANES A CORTO PLAZO

Se hizo una visita a ENERCA (Empresa de Energía de Casanare), donde se informó los corregimientos y veredas correspondientes a estos, que no contaban con redes de Distribución y no se tenían contemplados en proyectos a corto plazo por esta institución, los cuales son:

- Corregimiento Quebrada seca :
  - Vereda San José de Caño Seco
  - Vereda Mata Negra
  
- Corregimiento El Morro:
  - Vereda Tizagá
  - Vereda Socochó

En esta dirección se encontró un Mapa de Rutas disponibles para acceder a la población rural en Yopal y hacer la visita correspondiente: [http://www.yopal-casanare.gov.co/apc-aa-files/38373637613335353231613733653633/r02\\_division-politica.pdf](http://www.yopal-casanare.gov.co/apc-aa-files/38373637613335353231613733653633/r02_division-politica.pdf)

### 2.5.2 DATOS DEL IDEAM

Para la solicitud de información hecha al IDEAM, se contempla la siguiente dirección web:

<[http://institucional.ideam.gov.co/jsp/solicitud-de-informacion\\_993](http://institucional.ideam.gov.co/jsp/solicitud-de-informacion_993)>, donde se observa las estaciones meteorológicas cercanas a las veredas de nuestro interés (las cuales están sin el 100% de cubrimiento).

#### 2.5.2.1 Estaciones Meteorológicas cerca del corregimiento Morro

Se logró recolectar información meteorológica a través del Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) de las estaciones más cercanas a las veredas Tizagá y Socochó (veredas sin energización) en el corregimiento Morro, a continuación se muestra la ubicación de estas:

- Estación 35210010 El Morro :

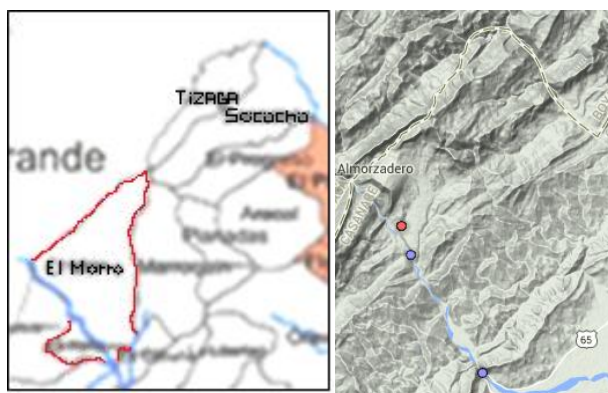


Figura 34. Localización Estación 35210010 – El Morro

En la Fig.34 se observa la localización Geografica de la estación El Morro, que se indica con el pto rojo, se ve tambien la ubicación de las veredas Sococho y Tizaga que limitan con el departamento de Boyaca.

- ✓ Código de la Estación: 35210010, Área Operativa: Área Operativa 06, Nombre: Morro, Tipo Convencional, Clase: Meteorologica, Categoría: Pluviometeorologica Esiñoptica Principalecialtrica, Estado: Activa, Departamento: Casare, Municipio: Yopal, Latitud: S. 454917 Longitud: -72.460806, Altitud: 656, Corriente: Cravo sur, Fecha Instalación: 11/15/1974 (Fuente: I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES)

- Estación 35210040 Molinos de Casanare



Figura 35. Localización Estación 35210040 – Molinos de Casanare

En la Fig. 35 se observa la localización Geografica de la estación Molinos de Casanare, que se indica con el pto rojo, se ve tambien la ubicación de las veredas Sococho y Tizaga que limitan con el departamento de Boyaca.

✓ Código de la Estación: 35210040, Área Operativa: Área Operativa 06, Nombre: Molinos de Casanare, Tipo Convencional, Clase: Meteorologica, Categoría: Pluviografica, Estado: Activa, Departamento: Casare, Municipio: Yopal, Latitud: S. 416111, Longitud: -72.301889, Altitud: 330, Corriente: Cravo sur, Fecha Instalación: 11/15/1995 (Fuente: I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES)

- Estación 35190020 Toquilla, Boyacá

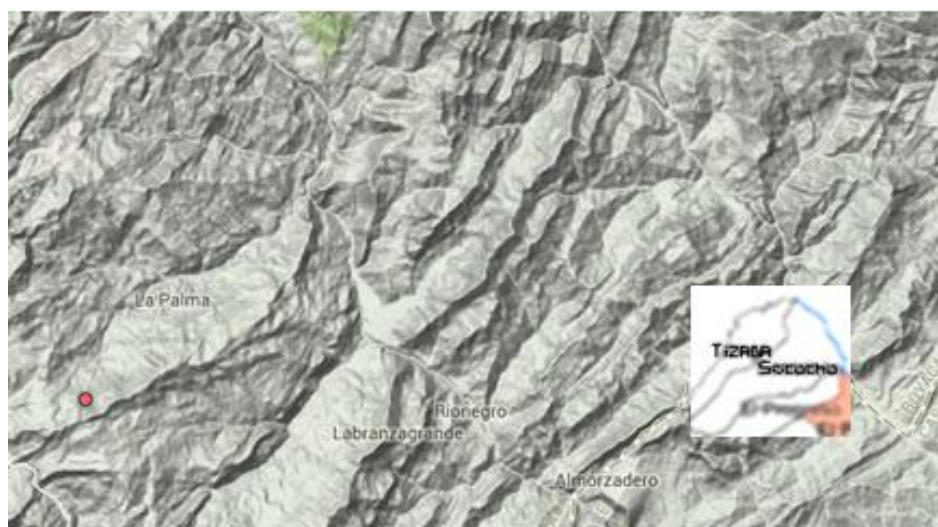
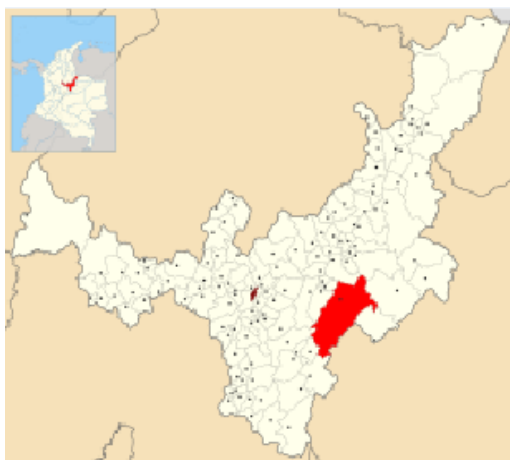


Figura 36. Localización Estación 35190020 – Toquilla Aquitania



En la Fig.36 se observa la localización Geografica de la estación Toquilla Aquitania Boyacá, que se indica con el pto rojo, se ve tambien la ubicación de las veredas Sococho y Tizaga que limitan con el departamento de Boyaca.

- ✓ Código de la Estación: 35190020,Área Operativa: Área Operativa 06,Nombre: Toquilla,Tipo : Convencional,Clase: Meteorologica,Categoría: Pluviometeorologica Esinoptica ,rincipalecialtrica Estado: Activa,Departamento: Boyaca, Municipio: Aquitania,Latitud: S. 523611,Longitud: - 72.704778,Altitud: 2950,Corriente: Cusiana,Fecha Instalación: 04/15/1971

- Estación 35195050, Corinto, Pajarito, Boyacá:



Figura 37. Localización Estación 35195050 - Pajarito Boyacá

En la Fig.37 se observa la localización Geografica de la estación Pajarito Boyacá, que se indica con el punto rojo, se ve tambien la ubicación de las veredas Sococho y Tizaga que limitan con el departamento de Boyaca.

✓ Código de la Estación: 35195050, Área Operativa: Área Operativa 06, Nombre: Corinto, Tipo : Convencional, Clase: Meteorologica, Categoría: Climatologica Ordinaria, Estado: Activa, Departamento: Boyaca, Municipio: Pajarito, Latitud: S. 407278, Longitud: -72.717222, Altitud: 1550 Corriente: Cusiana, Fecha Instalación: 06/15/1984 (Fuente: I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES)

▪ Mapa Político de Boyaca

Como guía para ubicarse en los municipios de Boyaca se presenta el mapa a continuación:

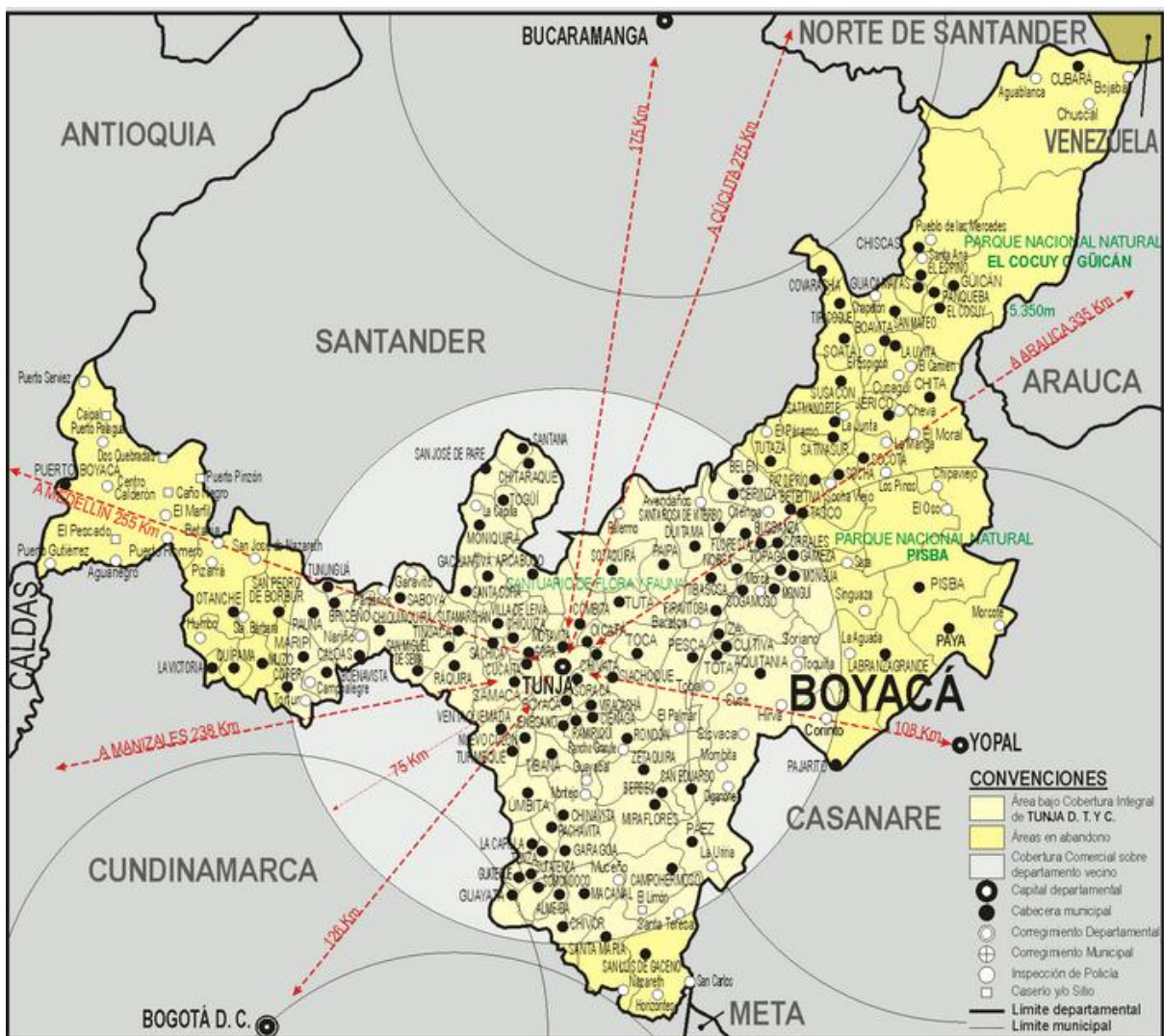


Figura 38. Mapa de División Política Boyacá  
(Fuente: Reorganización territorial, 2010)

### 2.5.2.2 Estaciones Meteorológicas cerca del corregimiento Caño Seco

Se logró recolectar información meteorológica a través del Instituto De Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales (IDEAM) de las estaciones más cercanas a las veredas San José de Caño Seco y Mata negra (veredas sin energización) en el corregimiento Caño Seco, a continuación se muestra la ubicación de estas:

- Estación 35220040, Macacuana,Orocue:

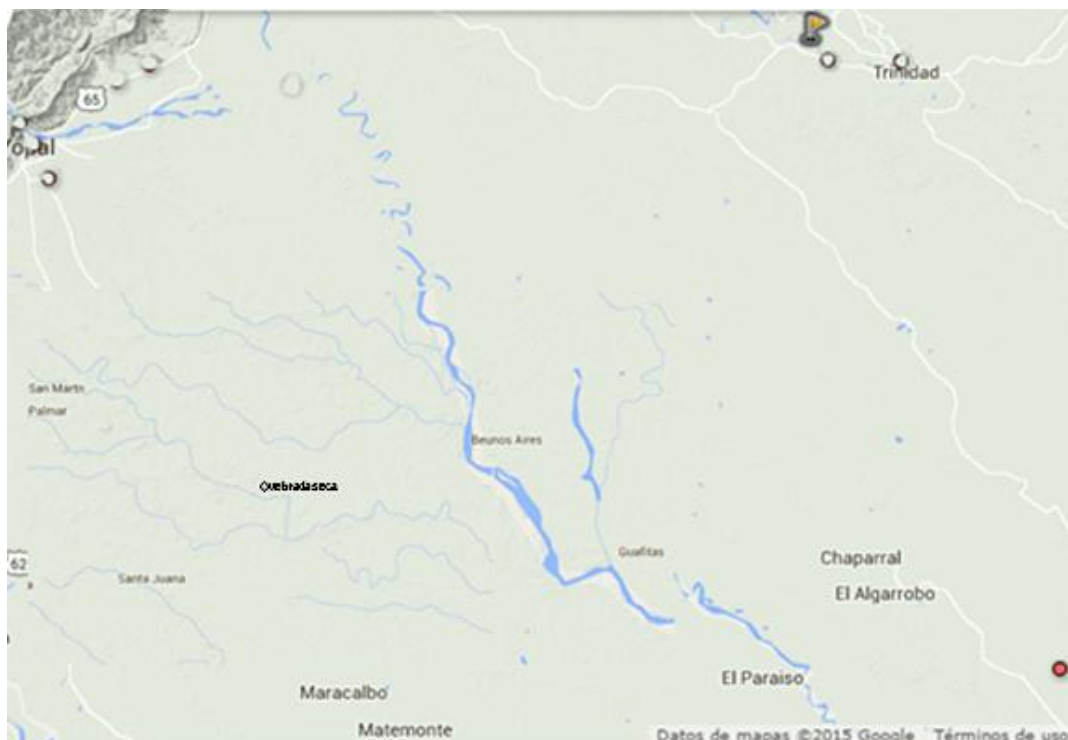


Figura 39. Localización Estación 35220040, Macacuana,Orocue

En la Fig.39 se observa la localización Geografica de la estación Macacuana,Orocue, que se indica con el pto rojo, se ve tambien la ubicación de el corregimiento Quebrada Seca .

- ✓ Código de la Estación: 35220040, Área Operativa: Área Operativa 03, Nombre: Macacuana,Tipo : Convencional, Clase: Meteorologica, Categoría: Pluviometeorologica Esinoptica, Principalecialtrica, Estado: Activa,Departamento: Casanare,Municipio: Orocue,Latitud: 4.908167 Longitud: -71.531389,Altitud: 117,Corriente: Meta,Fecha Instalación: 06/15/1983, (Fuente: I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES)

- Estación 35200020, Romerena



Figura 40. Localización Estación 35200020 - Romerena

En la Fig.40 se observa la localización Geografica de la estación Macucuana, Orocue, la cual se indica con el pto rojo, cercana a el corregimiento Quebrada Seca.

- ✓ Código de la Estación: 35200020, Área Operativa: Área Operativa 03, Nombre: Romerena, Tipo : Convencional, Clase: Meteorologica, Categoría: Pluviometeorologica Esi noptica Principalecialtrica, Estado: Susi noptica Principalelndida, Departamento: Casanare, Municipio: Orocue, Latitud: 4.683333, Longitud: -71.58333, Altitud: 135, Corriente: Meta, Fecha Instalación: 06/15/1983, Fecha de Suspensión: 03/15/1985, (Fuente: I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES)

- Estación 35230010, San Luis de Palenque, Casanare



Figura 41. Localización Estación 35230010 - San Luis de Palenque

En la Fig. 41 se observa la localización Geografica de la estación, San Luis de Palenque, que se indica con el pto rojo, limitando con el corregimiento Quebrada Seca .

- ✓ Código de la Estación: 35230010, Área Operativa: Área Operativa 06, Nombre: San Luis de Palenque Tipo : Convencional, Clase: Meteorologica, Categoría: Pluviometeorologica Esinoptica Principalecialtrica, Estado: Activa, Departamento: Casanare, Municipio: San Luis de Palenque, Latitud: 5.4205, Longitud: -71.728056, Altitud: 170, Corriente: Pauto, Fecha Instalación: 11/15/1974 (Fuente: I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES)

- Estación 35205501, Z\_EMA\_FINAL3:



Figura 42 Localización Estación 35205501 - Z\_ema\_Final3

En la Fig. 42 se observa la localización Geografica de la estación, Z\_ema\_Final3, que se indica con el pto rojo, cercana a el corregimiento Quebrada Seca .

- ✓ Código de la Estación: 35205501, Área Operativa: Área Operativa 01, Nombre: Z\_EMA\_FINAL3, Tipo : Automatica, Clase: Meteorologica, Categoría: Pluviometeorologica Esinoptica Principalecialtrica, Estado: Activa, Departamento: Casanare, Municipio: Maní, Latitud: 4.566667 Longitud: -71.833333, Altitud: 140, Corriente: Meta (Fuente: I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES)

- Mapa Político de Casanare

Como guía para ubicarse en los municipios que limitan con Yopal de Casanare se presenta el mapa Fig. 43 a continuación:

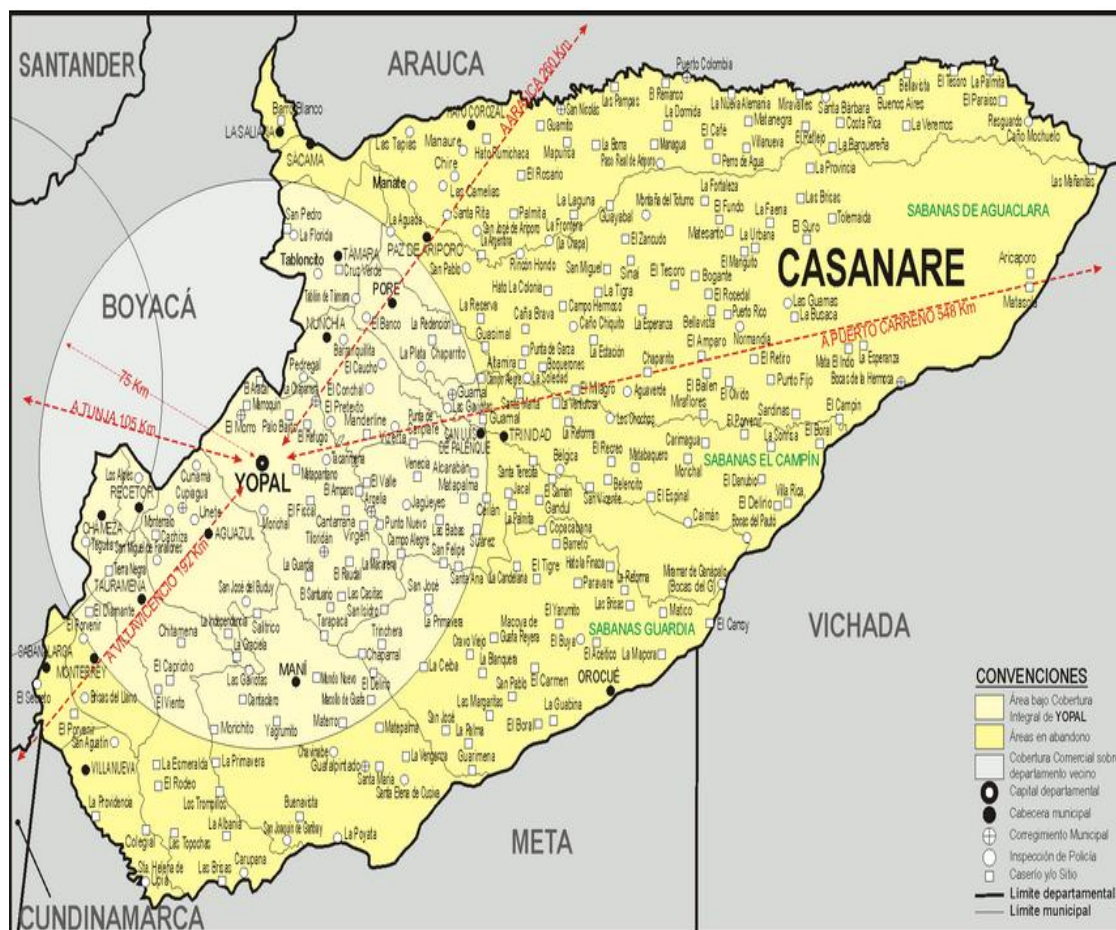


Figura 43. Mapa Político de Casanare

(Fuente: Casanare Proyecto de Reorganización Territorial)

## 2.5.3 REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE DATOS METEOROLÓGICOS - IDEAM

### 2.5.3.1 Estación 35210010: El Morro

Tabla 9. Valores Totales Mensuales de Precipitación (mms) : Estación MORRO

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 2005 | 23  | 132 | 53  | 605 | 622 | 686 | 448 | 507 | 540 | 553 | 337 | 2   | 4512     |
| 2006 | 82  | 0   | 130 | 245 | 336 | 604 | 738 | 789 | 273 | 369 | 164 | 25  | 3759     |
| 2007 | 1   | 54  | 207 | 380 | 747 | 511 | 384 | 407 | 372 | 547 | 142 | 76  | 3826     |
| 2008 | 26  | 12  | 20  | 241 | 556 | 583 | 638 | 341 | 675 | 550 | 227 |     | 3870     |
| 2009 | 59  | 15  | 34  | 211 | 484 | 539 | 290 | 496 | 248 | 552 | 139 | 3   | 3073     |
| 2010 | 0   | 80  | 389 | 432 | 655 | 462 | 615 | 458 | 243 | 356 | 276 | 84  | 4048     |
| 2011 | 7   | 18  | 34  | 282 | 631 | 394 | 418 | 351 | 255 | 397 | 413 | 27  | 3427     |
| 2012 | 0   | 2   | 244 | 922 | 489 | 460 | 664 | 375 | 484 | 456 | 110 | 102 | 4310     |

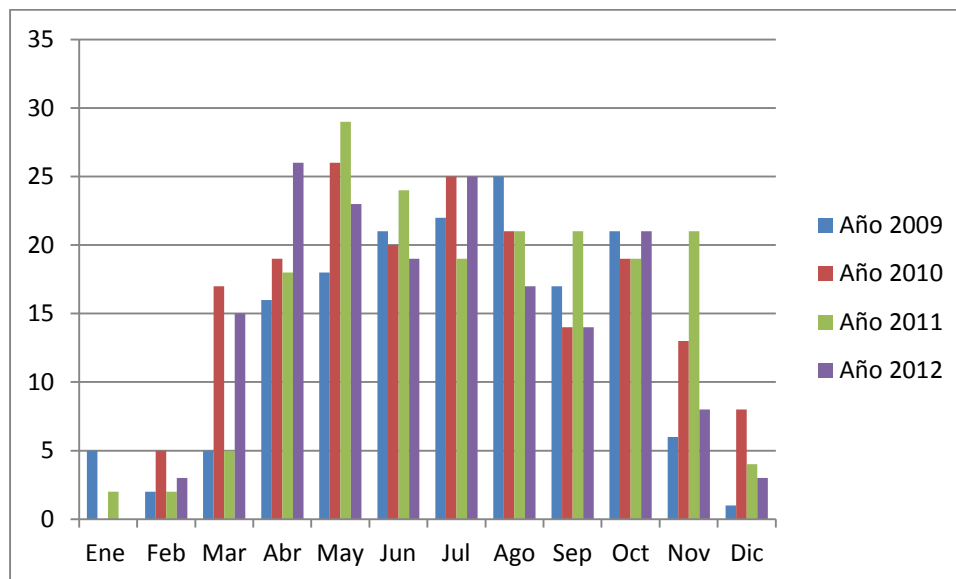


Figura 44. Valores Totales Mensuales de Precipitación (mms), Estación 35210010 Morro

En la Fig. 44 se nota que en los últimos cuatro años en los meses Enero, Febrero, Noviembre (a excepción de nov del 2011) y Diciembre las precipitaciones totales mensuales fueron mínimas, en el resto de meses se presentaron mayores precipitaciones mensuales.

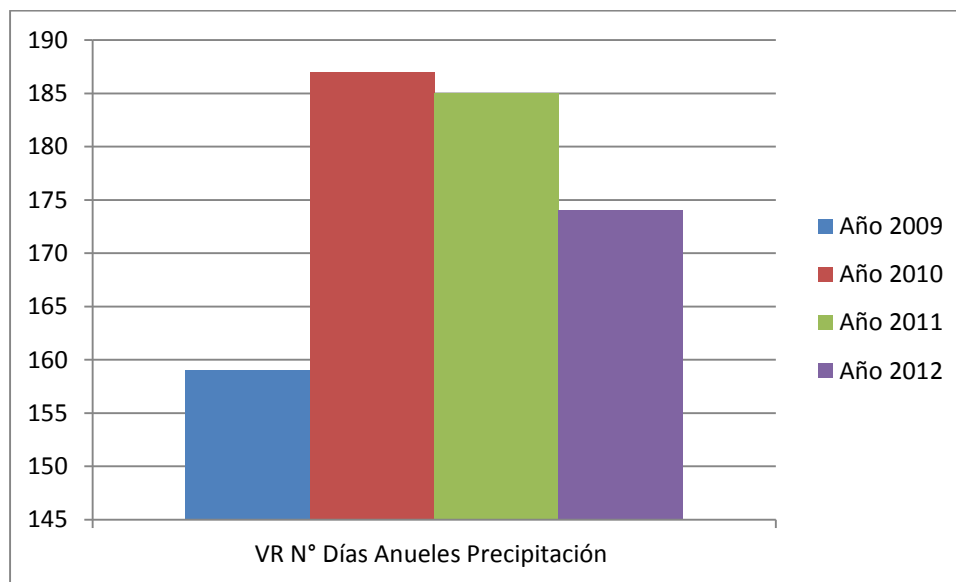


Figura 45. Valores Anuales de Precipitación (mms), Estación 35210010 Morro



En la Fig.45 se ve que en el año 2009 la precipitación anual fue reducida en comparación con los últimos tres años donde las precipitaciones totales mensuales incrementaron bastante sobretodo en el 2010. Notándose así altas precipitaciones anuales de los últimos años.

| TABLA 10. Valores No Días Mensuales De Precipitación, Estación MORRO 35210010 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |          |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| Año   | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
| 2009  | 5   | 2   | 5   | 16  | 18  | 21  | 22  | 25  | 17  | 21  | 6   | 1   | 159      |
| 2010  | 0   | 5   | 17  | 19  | 26  | 20  | 25  | 21  | 14  | 19  | 13  | 8   | 187      |
| 2011  | 2   | 2   | 5   | 18  | 29  | 24  | 19  | 21  | 21  | 19  | 21  | 4   | 185      |
| 2012  | 0   | 3   | 15  | 26  | 23  | 19  | 25  | 17  | 14  | 21  | 8   | 3   | 174      |

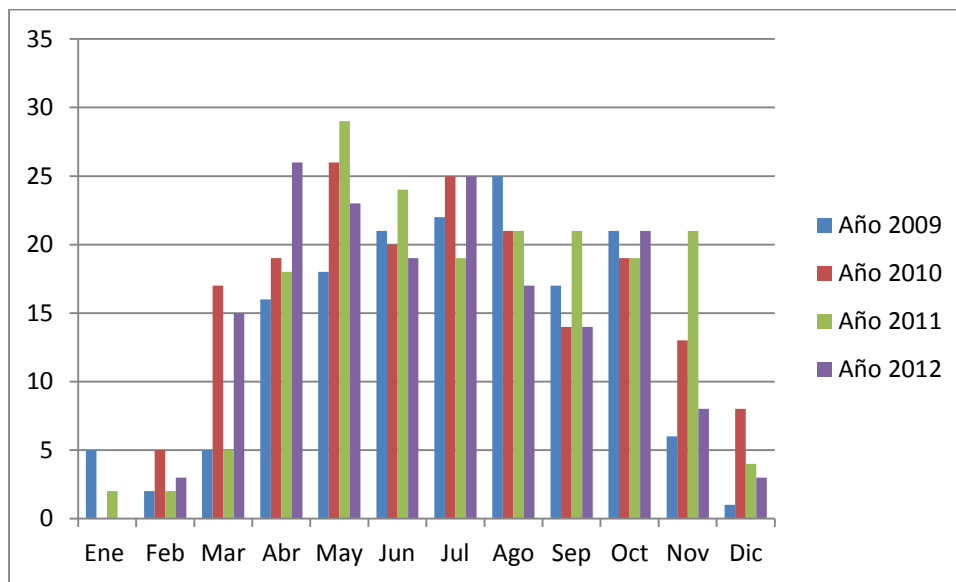


Figura 46. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, Estación 35210010 Morro

En la Fig.46 se confirma que los Valores N° Días Mensuales de Precipitación en los últimos cuatro años en los meses Enero, Febrero, Noviembre (a excepción de nov del 2011) y Diciembre fueron mínimas con las precipitaciones totales mensuales, y en el resto de meses se presentaron mayores precipitaciones mensuales.

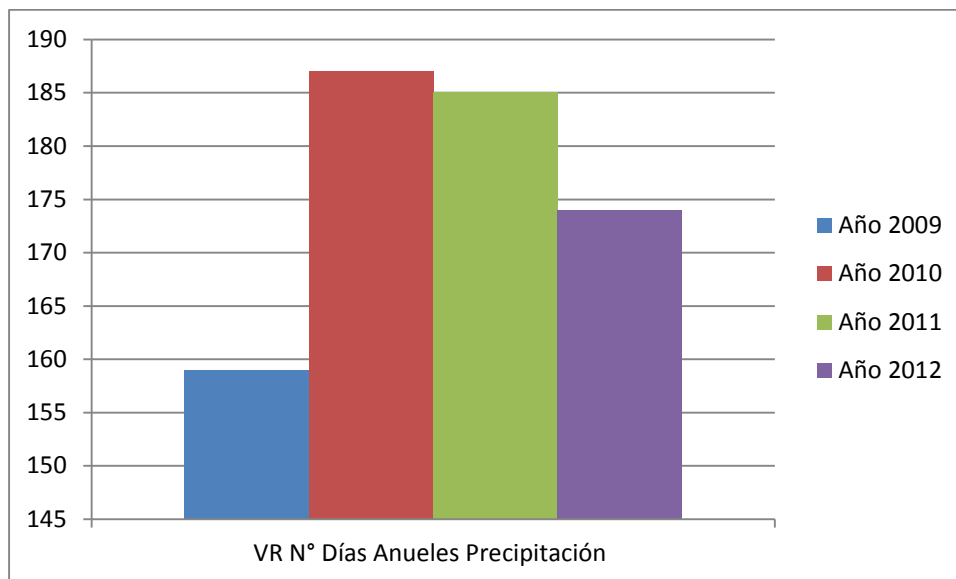


Figura 47. Valores N° Días Anuales de Precipitación, Estación 35210010 Morro

De igual forma en la Fig. 47 se ve que en el año 2009 el valor del N° de días anual de precipitación fue reducido en comparación con los últimos tres años donde los valores del N° de días anuales de precipitación fueron altos. Estos datos resultan ser acordes efectivamente a las precipitaciones totales mensuales que se incrementaron también como se mostró en la Fig. 44, notándose así que aunque haya disminuido en el 2012, hay altas precipitaciones últimos años.

### 2.5.3.2 Estación 35210040 Molinos de Casanare

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR N° Días Anuales |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|
| 2009 | 6   | 2   | 11  | 14  | 17  | 18  | 21  | 22  | 13  | 15  | 8   | 1   | 148                |
| 2010 | 0   | 3   | 17  | 23  | 23  | 23  | 25  | 18  | 18  | 16  | 16  | 6   | 188                |
| 2011 | 4   | 5   | 7   | 14  | 26  | 25  | 18  | 15  | 16  | 14  | 17  | 4   | 165                |
| 2012 | 0   | 5   | 15  | 19  | 21  | 15  | 24  | 17  | 13  | 16  | 8   | 2   | 155                |
| 2013 | 0   | 5   | 12  | 13  | 16  | 14  | 18  | 16  | 14  | 14  | 11  | 6   | 139                |

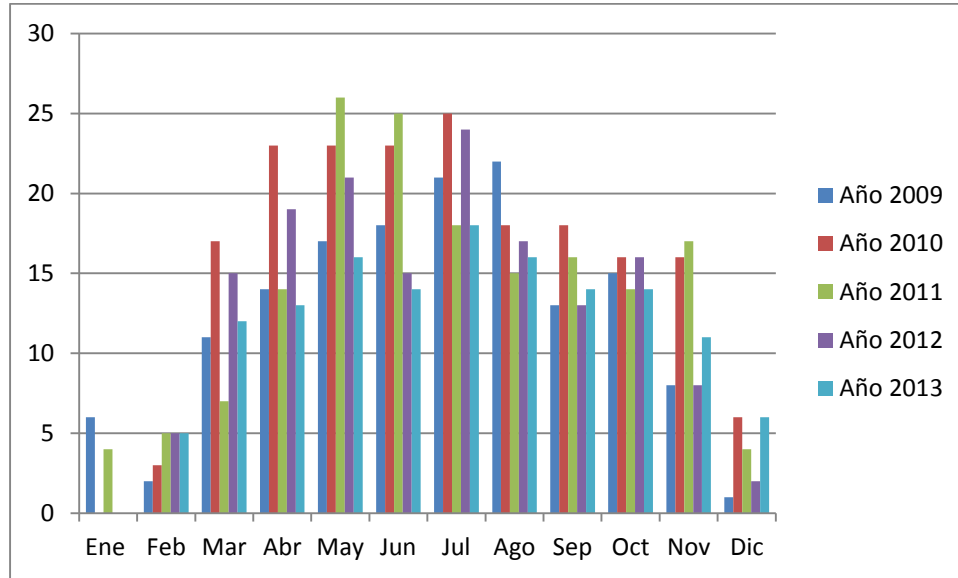


Figura 48. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, Estación 35210040 Molinos de Casanare

En la Fig. 48 se nota que en los últimos cuatro años en los meses Enero, Febrero y Diciembre las precipitaciones totales mensuales fueron mínimas y en el resto de meses se presentó un incremento grande en las precipitaciones mensuales.

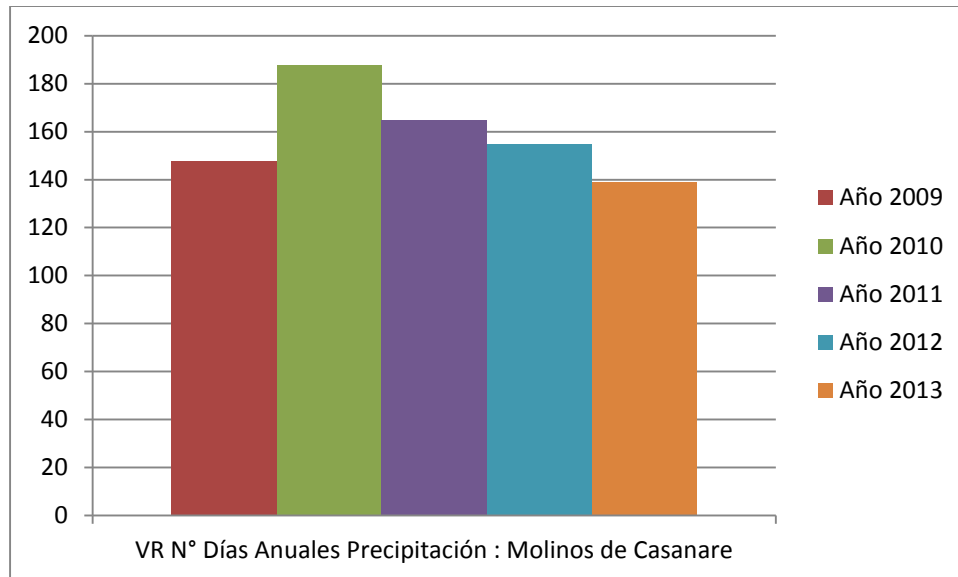


Figura 49. Valores N° Días Anuales de Precipitación, Estación 35210040 Molinos de Casanare

En la Fig. 49 se ve menor el valor de N° de días del año 2009 de precipitación en comparación con los últimos cuatro años donde se observa que los valores del N° de días anuales de precipitación aumentaron desde el 2010 y van decreciendo hasta el 2013 pero aun así siguen siendo altos.

### 2.5.3.3 Estación 35190020 Toquilla, Boyacá

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 1983 | 2   | 2   | 3   | 5   | 7   | 6   | 7   | 7   | 7   | 7   | 7   | 6   | 6        |
| 1984 | 6   | 7   | 6   | 6   | 7   | 7   | 8   | 8   | 8   | 2   | 2   | 2   | 7        |

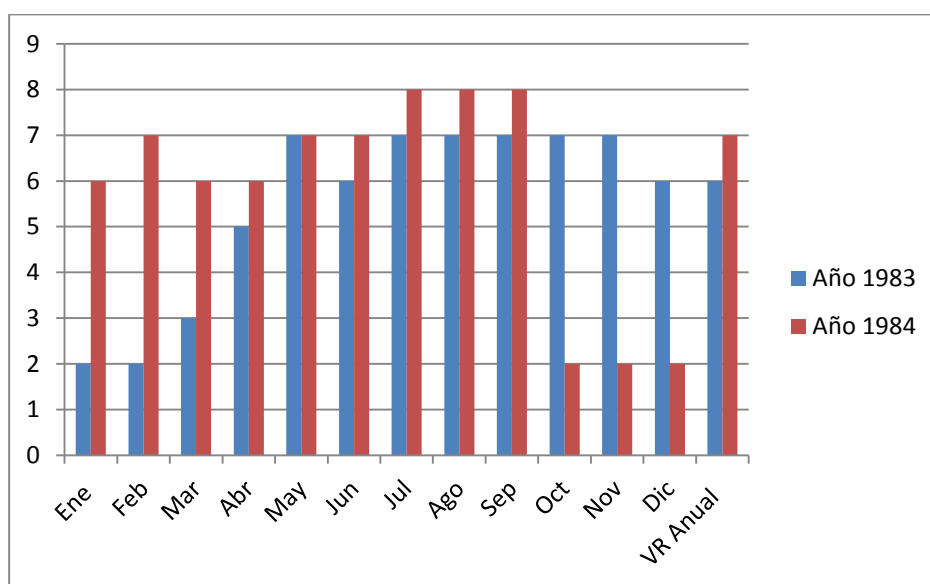


Figura 50. Valores Medios Anuales de Nubosidad, Estación 35190020 Toquilla, Boyacá

En la Fig. 50 se observan que los valores medios de Nubosidad alcanzados en los dos años mostrados de la estación de toquilla Boyacá son altos, aunque en el último año decrecieron en los meses de Octubre Noviembre y Diciembre.

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 2008 | 31  | 14  | 27  | 51  | 122 | 94  | 169 | 147 | 267 | 103 | 108 | 0   | 1134     |
| 2009 | 5   | 7   | 20  | 74  | 71  | 166 | 249 | 110 | 45  | 41  | 42  | 0   | 829      |
| 2010 | 0   | 43  | 72  | 80  | 100 | 140 | 199 | 89  | 74  | 221 | 84  | 18  | 1120     |
| 2012 | 4   | 28  | 115 | 429 | 212 | 210 | 392 | 191 | 132 | 116 | 64  | 27  | 1922     |
| 2013 | 0   | 34  | 38  | 83  | 134 | 158 | 227 | 199 | 146 | 111 | 95  | 53  | 1279     |

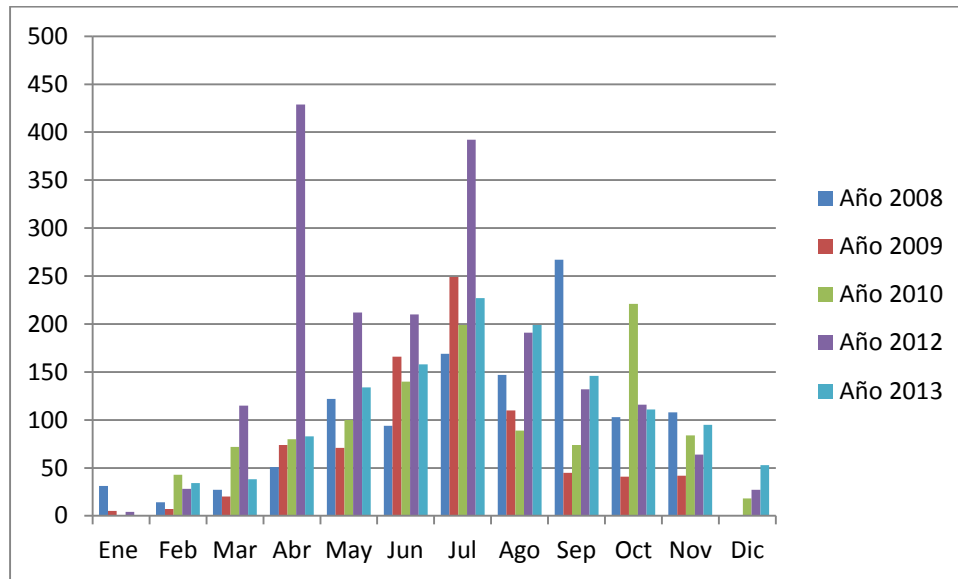


Figura 51. Valores Totales Mensuales de Precipitación (mms), Estación 35190020 Toquilla, Boyacá

En la Fig. 51 se observan que fueron bajos los valores totales mensuales de precipitación alcanzados en Enero, Febrero, Marzo, Noviembre, Diciembre y en el restante de meses altos.

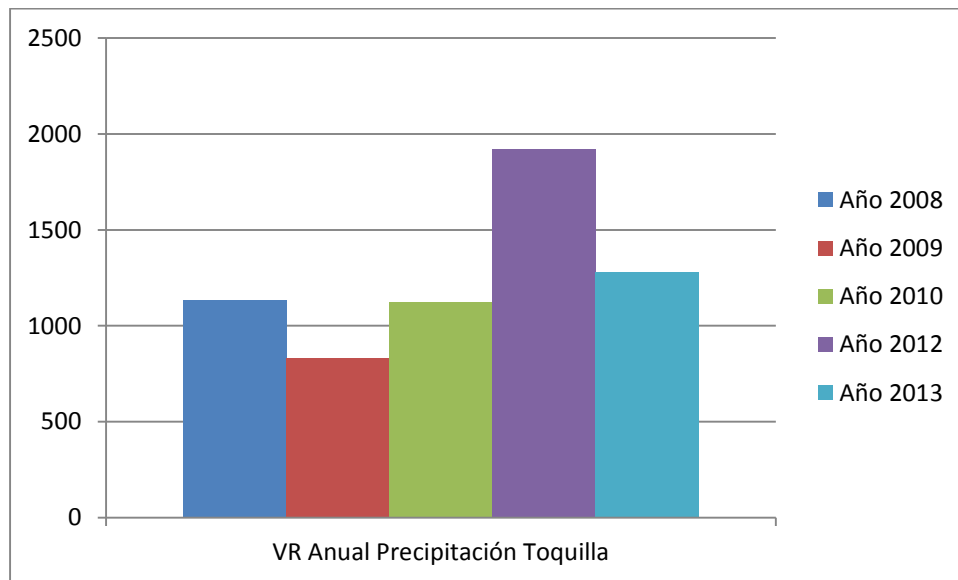


Figura 52. Valores Anuales de Precipitación (mms), Estación 35190020 Toquilla, Boyacá

La Fig. 52 muestra que en los últimos años los valores anuales de Precipitación son altos a excepción del año 2009, aunque en el 2013 los valores anuales decrecen considerablemente hasta un promedio medio en los anteriores años, sin embargo sigue siendo alta la precipitación.

| TABLA 14. VR N° Días Mensuales de Precipitación : Estación 35190020 Toquilla |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                    |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|
| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR N° Días Anuales |
| 2009   | 3   | 1   | 5   | 8   | 7   | 20  | 20  | 19  | 5   | 7   | 5   | 0   | 100                |
| 2010   | 0   | 4   | 7   | 9   | 15  | 12  | 18  | 12  | 14  | 22  | 11  | 2   | 126                |
| 2011   | 1   | 11  | 14  | 11  | 23  | 17  | 21  | 16  | 11  | 8   | 7   | 0   | 140                |
| 2012   | 1   | 3   | 11  | 18  | 19  | 16  | 24  | 21  | 14  | 14  | 7   | 4   | 152                |
| 2013   | 0   | 5   | 10  | 13  | 22  | 22  | 23  | 23  | 17  | 13  | 13  | 14  | 175                |

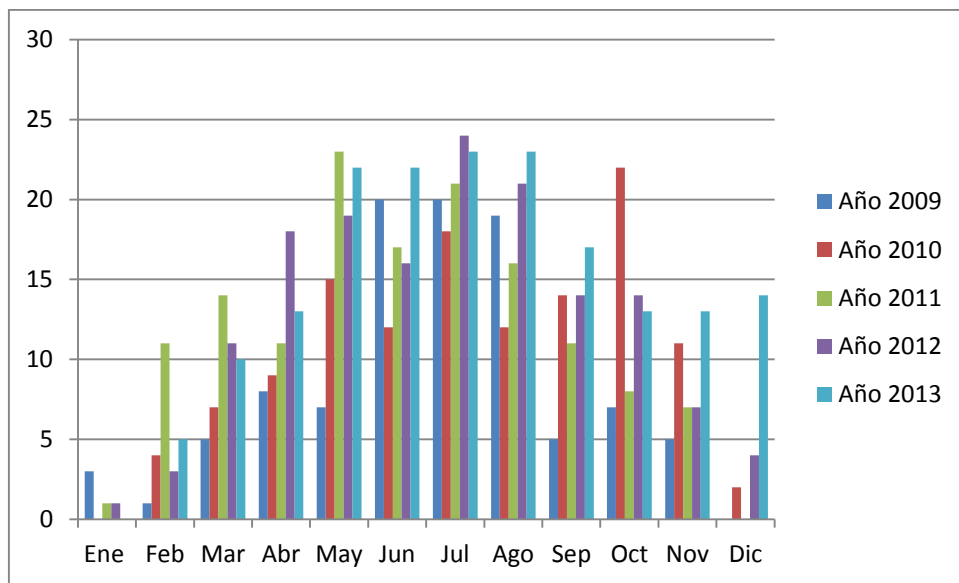


Figura 53. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, Estación 35190020 Toquilla, Boyacá

Al observar la Fig. 53 se ve que hay una mayor cantidad de número de días de Precipitación en todos los meses, a excepción de Enero y Diciembre que sin contar con el año 2013 el cual tuvo un incremento significativo.

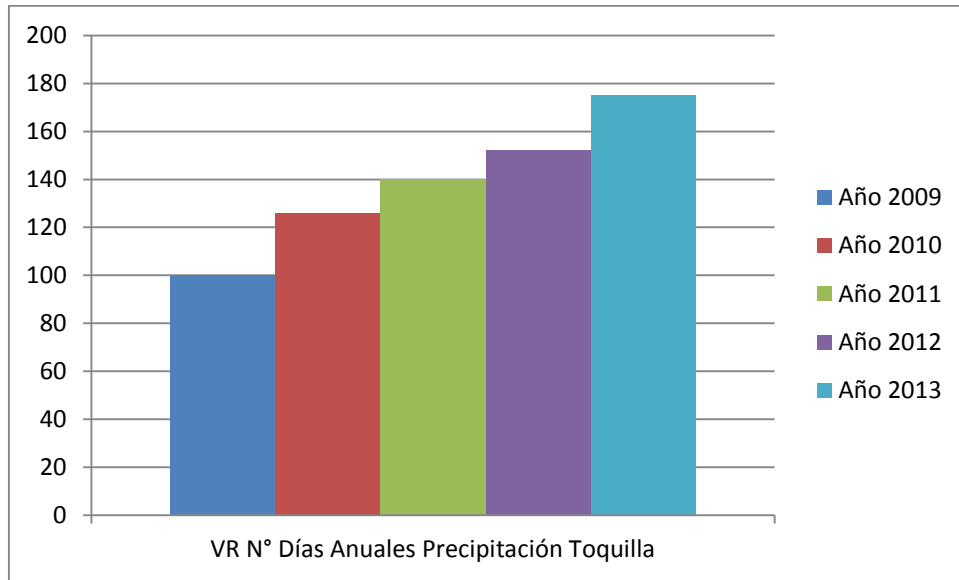


Figura 54. Valores N° Días Anuales de Precipitación, Estación 35190020 Toquilla, Boyacá

En la Fig. 54 se nota que anualmente en los últimos 5 años ha incrementado significativamente el valor de número de días mensuales de precipitación con cada año.

#### 2.5.3.4 Estación 35195050 Corinto, Pajarito, Boyacá

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 2009 | 6   | 6   | 7   | 7   | 7   | 7   | 6   | 7   | 6   | 6   | 7   | 6   | 7        |
| 2010 | 6   | 6   | 7   | 6   | 7   | 7   |     | 6   | 7   | 6   | 7   | 7   | 7        |
| 2011 | 6   | 7   | 7   | 7   |     |     | 7   | 7   | 7   | 6   |     | 6   | 7        |
| 2012 | 6   | 6   | 7   | 7   | 7   | 7   |     | 7   | 6   | 7   | 6   | 6   | 7        |
| 2013 | 6   | 7   | 6   | 7   | 7   |     | 6   | 7   | 6   | 6   | 6   | 6   | 6        |

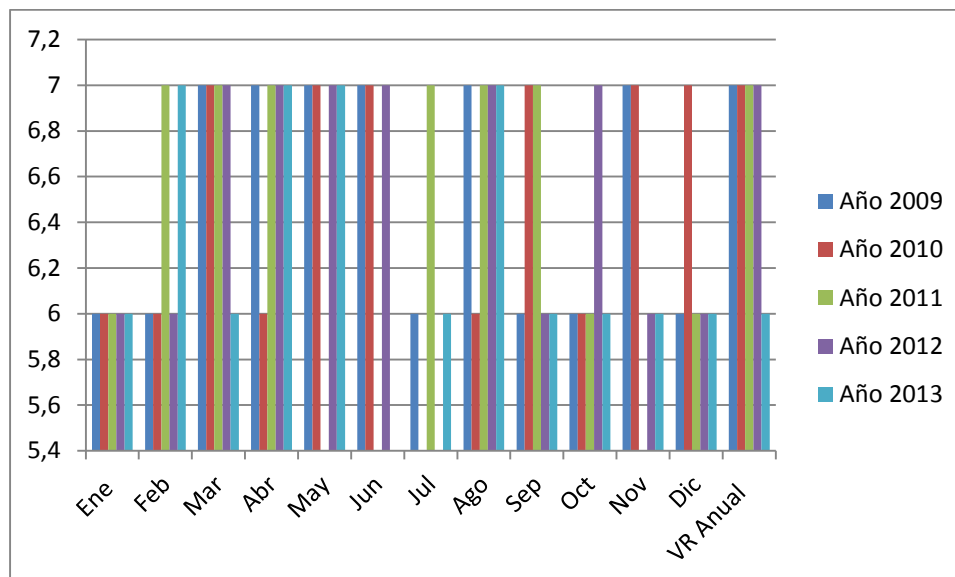


Figura 55. Valores Medios Anuales de Nubosidad, Estación 35195050 Corinto, Pajarito, Boyacá

En la Fig. 55 se observa los valores medios de Nubosidad alcanzados en los últimos 5 años, mostrando que aunque en el 2013 decrece, en los anteriores años son altos dichos valores, de igual forma se ve que en los meses de Enero, Febrero, Julio, Septiembre, Octubre y Diciembre se nivelan un poco aunque en algunos años de estos meses hay incrementos y el valor de igual forma sigue siendo alto.

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 2009 | 151 | 24  | 88  | 144 | 324 | 498 | 232 | 429 | 211 | 425 | 262 | 62  | 2852     |
| 2011 | 13  | 100 | 115 | 401 | 603 | 357 | 288 | 366 | 456 | 441 | 416 | 145 | 3703     |
| 2012 | 32  | 65  | 317 | 367 | 331 | 473 | 523 | 492 | 319 | 303 | 235 | 109 | 3565     |
| 2013 | 12  | 63  | 108 | 199 | 243 | 342 | 443 | 413 | 259 | 316 | 299 | 72  | 2769     |



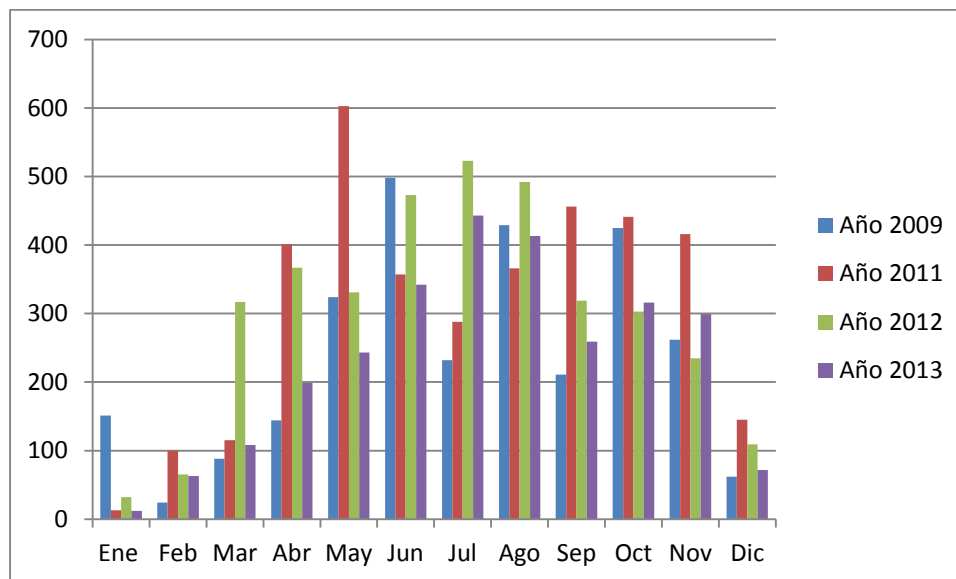


Figura 56. Valores Totales Mensuales de Precipitación (mms), Estación 35195050 Corinto, Pajarito, Boyacá

En la Fig. 56 se muestra que los meses de Enero, Febrero, Marzo y Diciembre, hay menos valores totales mensuales de Precipitación que el restante de meses en los últimos cuatro años vistos.

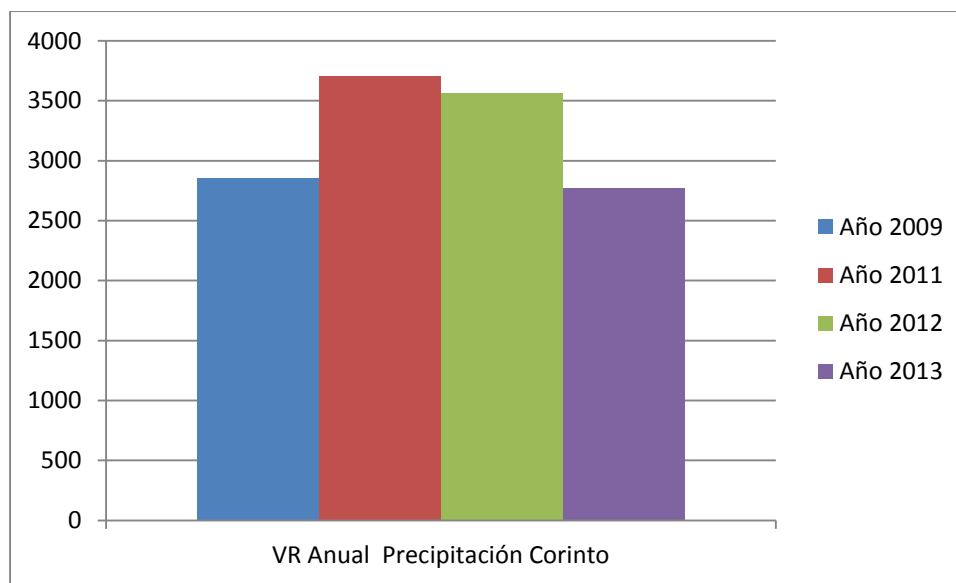


Figura 57. Valores Anuales de Precipitación (mms), Estación Corinto, Pajarito, Boyacá

La Fig. 57 indica que hay menos valor anual de Precipitación en el 2013, tras un incremento que se manifestó en el año 2011 y que fue decreciendo conforme se acercaba al año 2013

| TABLA 17. VR N° Días Mensuales de Precipitación: Estación 35195050 Corinto |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |          |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
| 2009   | 14  | 7   | 16  | 17  | 24  | 28  | 28  | 29  | 21  | 23  | 21  | 10  | 238      |
| 2010   | 1   | 6   | 19  | 25  | 28  | 29  | 29  | 23  | 22  | 27  | 20  | 15  | 244      |
| 2011   | 5   | 15  | 16  | 22  | 30  | 22  | 26  | 27  | 21  | 28  | 24  | 16  | 252      |
| 2012   | 7   | 8   | 23  | 24  | 26  | 24  | 30  | 26  | 20  | 24  | 16  | 10  | 238      |

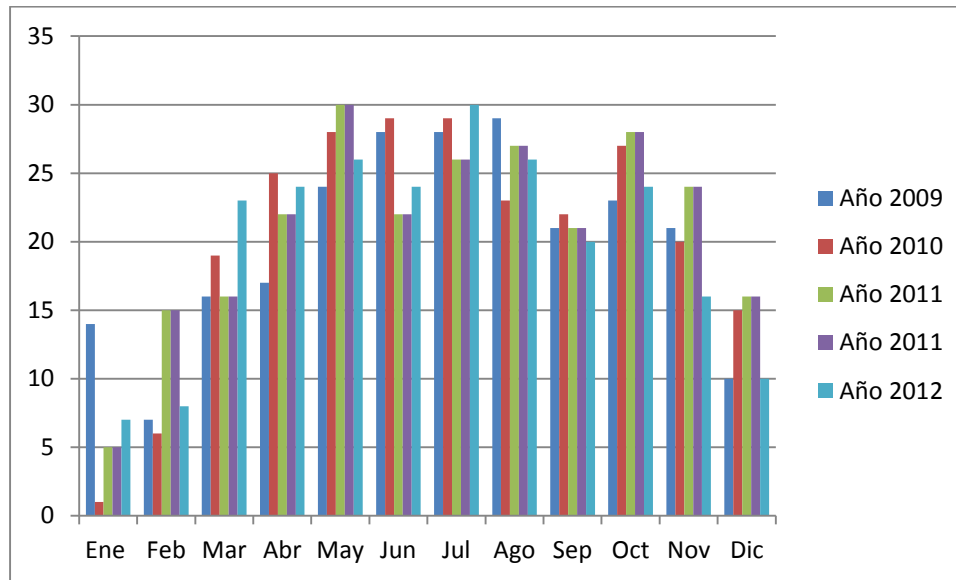


Figura 58. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, Estación 35190020 Corinto, Pajarito, Boyacá

En la Fig. 58 se muestra que el valor de N° de días de precipitación es alto en todos los meses a excepción de Enero, Febrero, Marzo y Diciembre

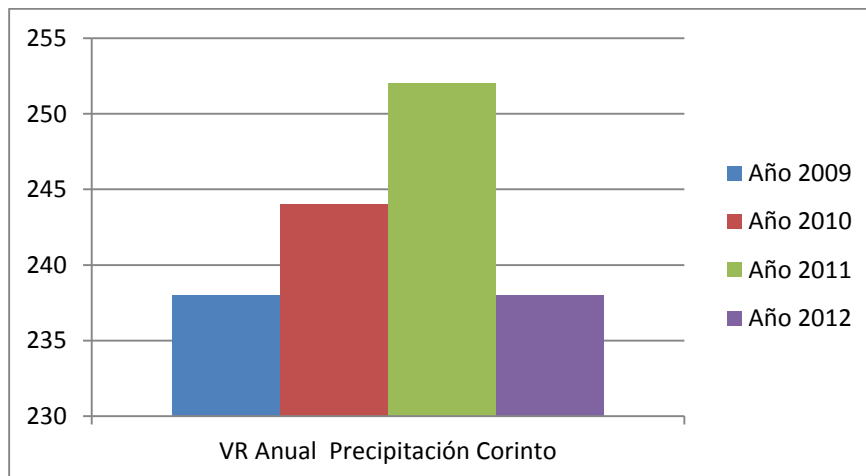


Figura 59. Valores N° Días Anuales de Precipitación, Estación 35190020 Corinto, Pajarito, Boyacá

En la Fig. 59 se observa un incremento significativo en los valores del número de días anuales de Precipitación desde el 2009 hasta el 2011, aunque en el 2012 hay un decrecimiento grande de estos valores sin embargo sigue siendo alto.

| TABLA 18. VR Medíos mensuales de Temperatura (°C) : Estación 35195050 Corinto |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |               |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|
| Año   | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual (°C) |
| 2009  | 19  | 20  | 20  | 20  | 20  | 19  | 18  | 19  | 19  | 19  | 20  | 21  | 19            |
| 2010  | 21  | 22  | 20  | 20  | 19  | 19  | 19  | 19  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20            |
| 2011  | 20  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 20  | 19            |
| 2012  | 19  | 20  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 19  | 20  | 20  | 19            |
| 2013  | 20  | 20  | 20  | 20  | 20  | 19  | 19  | 19  | 19  | 20  | 20  | 20  | 20            |

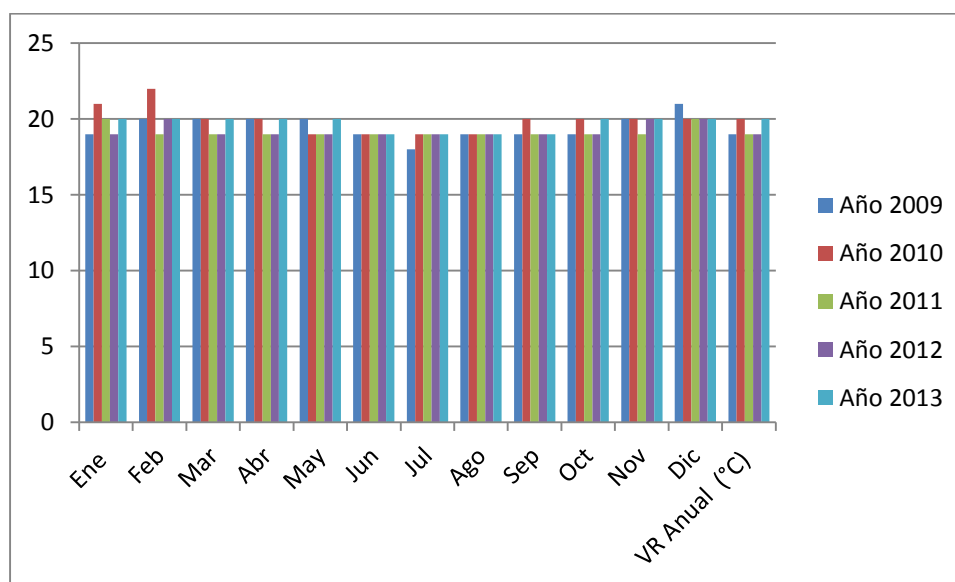


Figura 60. Valores Medios Mensuales de Temperatura (°C), Estación 35190020 Corinto, Pajarito, Boyacá

En cuanto a los valores medios de temperatura de la Fig. 60 se observa que hay un buen promedio de al mantenerse cercanos a los 20°C.

| TABLA 19. VR Max mensuales de Temperatura (°C) : Estación 35195050 Corinto |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |               |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|
| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual (°C) |
| 2009   | 26  | 27  | 27  | 28  | 26  | 27  | 26  | 26  | 27  | 26  | 27  | 27  | 28            |
| 2010   | 29  | 30  | 29  | 27  | 28  | 25  | 25  | 26  | 27  | 26  | 26  | 26  | 30            |
| 2011   | 26  | 27  | 27  | 26  | 25  | 27  | 25  | 26  | 25  | 25  | 25  | 25  | 27            |
| 2013   | 27  | 27  | 27  | 26  | 26  | 25  | 25  | 26  | 26  | 26  | 26  | 27  | 27            |

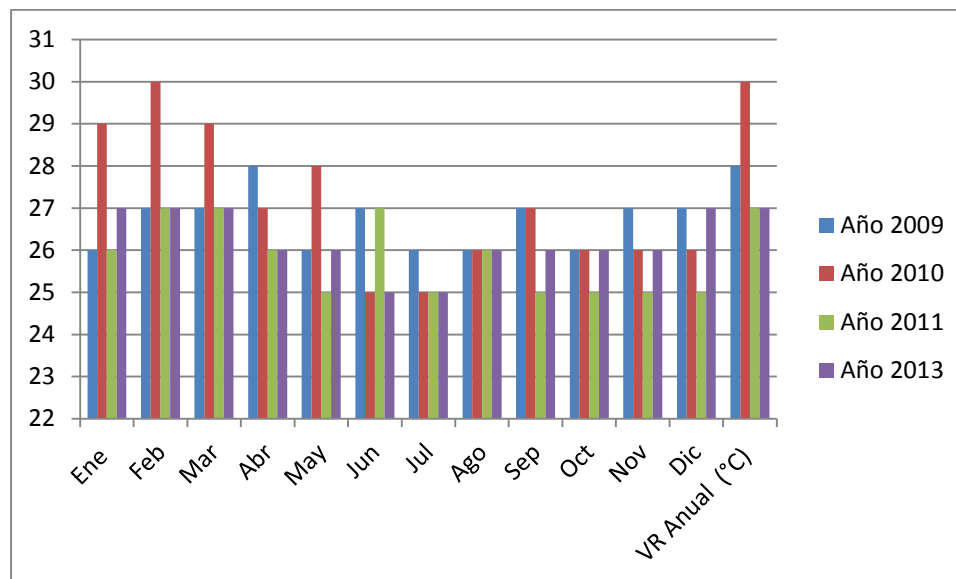


Figura 61. Valores Máximos Mensuales de Temperatura (°C), Estación 35190020 Corinto, Pajarito, Boyacá

Al igual que en la Fig. 60 anterior, en la Fig. 61 se ve que los valores máximos de temperatura son buenos al mantenerse cercanos a los 27°C en promedio.

#### 2.5.3.5 Estación 35220040, Macucuana, Orocué

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 2009 | 26  | 0   | 74  | 176 | 281 | 385 | 399 | 489 | 187 | 196 | 82  | 7   | 2302     |
| 2010 | 0   | 38  | 73  | 372 | 310 | 311 | 495 | 369 | 141 | 182 | 221 | 74  | 2586     |
| 2011 |     | 43  | 57  | 268 | 607 | 279 | 400 | 522 | 327 | 129 | 297 | 65  | 2994     |
| 2012 | 0   | 45  | 103 | 394 | 236 | 313 | 341 | 120 | 212 | 229 | 135 | 28  | 2156     |
| 2013 | 0   | 2   | 106 | 106 | 483 | 218 | 301 | 219 | 310 | 242 | 157 | 19  | 2163     |

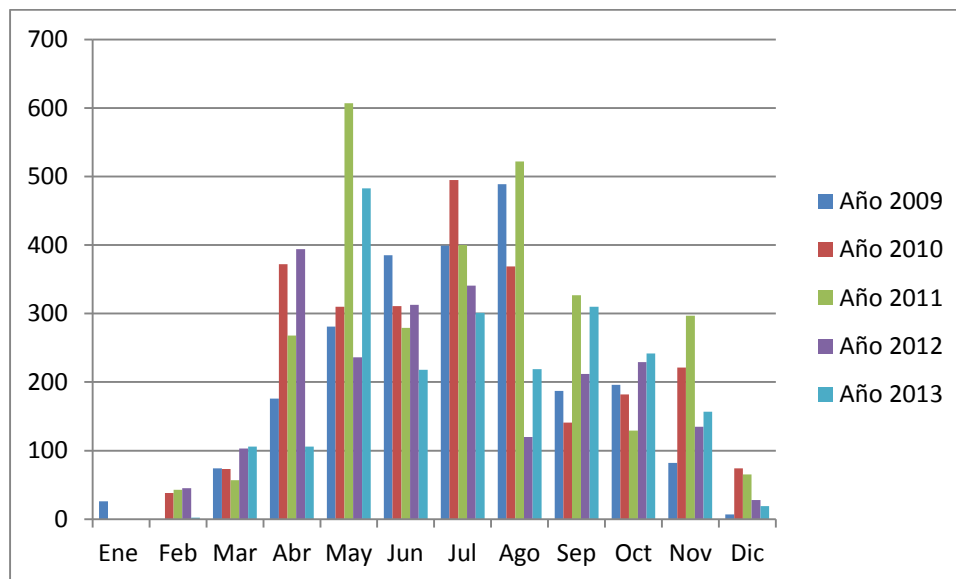


Figura 62. Valores Totales Mensuales de Precipitación (mms), Estación 35220040, Macacuana, Orocue

En la Fig. 62 se muestra que los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Noviembre y Diciembre, hay menos valores totales mensuales de Precipitación que el restante de meses en los últimos años.

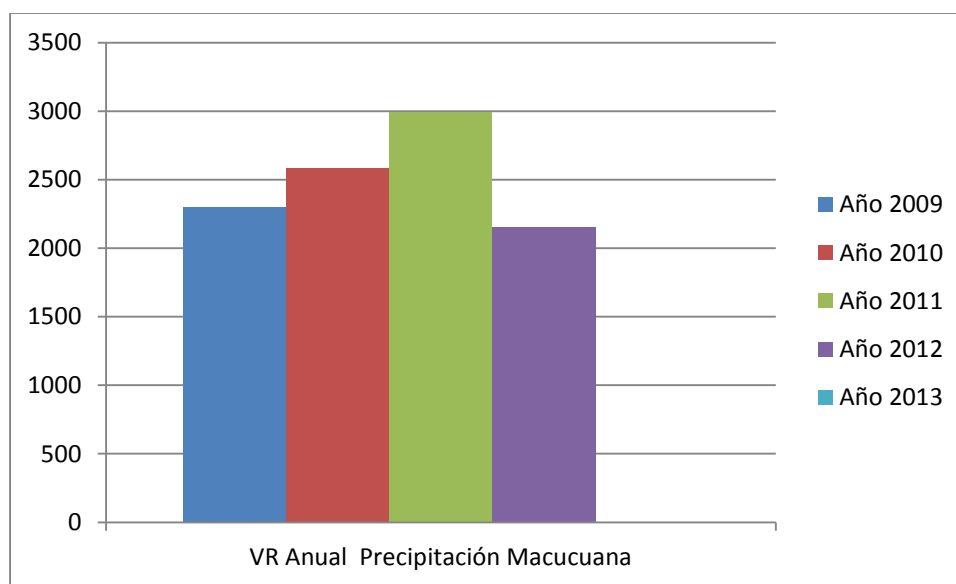


Figura 63. Valores Anuales de Precipitación (mms), Estación 35220040, Macacuana, Orocue

La Fig. 63 indica que hay menos valor anual de Precipitación en el año 2013, tras un incremento que se manifestó desde el año 2009 hasta el año 2012 y el cual decrece significativamente en el año 2013.

| TABLA 21. VR N° Días Mensuales de Precipitación: Estación 35220040 Macucuana |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |          |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
| 2009   | 2   | 0   | 2   | 12  | 11  | 13  | 15  | 15  | 7   | 9   | 4   | 1   | 91       |
| 2010   | 0   | 3   | 7   | 13  | 12  | 14  | 18  | 10  | 7   | 8   | 9   | 3   | 104      |
| 2011   |     | 4   | 4   | 8   | 20  | 14  | 13  | 14  | 12  | 8   | 8   | 2   | 107      |
| 2012   | 0   | 2   | 6   | 10  | 14  | 17  | 11  | 6   | 7   | 5   | 7   | 2   | 87       |
| 2013   | 0   | 1   | 5   | 3   | 14  | 8   | 9   | 10  | 10  | 6   | 3   | 1   | 70       |

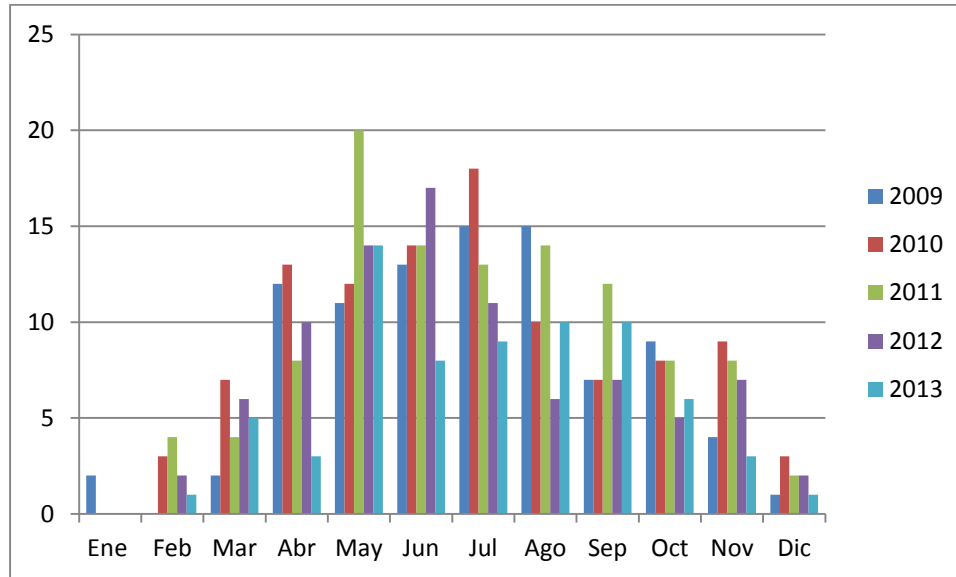


Figura 64. Valores N° Días Mensuales de Precipitación, Estación 35220040, Macucuana, Orcue

En la Fig. 64 se muestra que el valor de N° de días de precipitación es bajo en casi todos los meses en los últimos cinco años a excepción de unos incrementos en mayo, junio y julio.

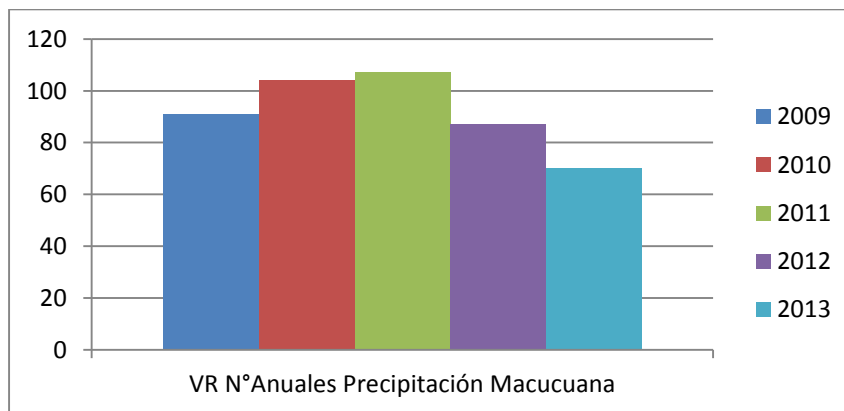


Figura 65. Valores N° Días Anuales de Precipitación, Estación 35220040, Macucuana, Orcue

En la Fig. 65 se observa que hay un valor bajo en los valores del número de días anuales de Precipitación en todos los años sin embargo hay un incremento en los años 2010 y 2011, pero estos valores de los días no son muy altos, de igual forma se vuelve a ver que desde el 2011 hasta el 2013 hay un decrecimiento grande de estos valores los cuales llegan a ser aún más bajos.

### 2.5.3.6 Estación 35200020, Romerena

| TABLA 22. VR Medios Mensuales de Nubosidad (Octas): Estación 35200020 Romerena |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |          |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
| Año 1983   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 4   | 2   | 2   | 2   | 4        |
| Año 1984   | 3   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 4        |

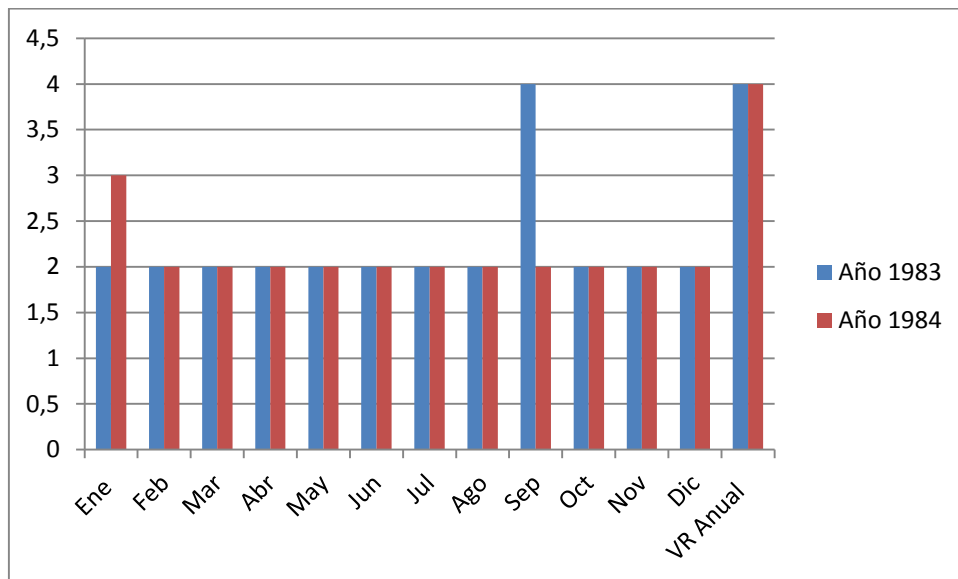


Figura 66. Valores Medios Anuales de Nubosidad, Estación 35200020, Romerena

En la Fig. 66 se observa que los valores medios de Nubosidad alcanzados en todos los meses mostrados de la estación de Romerena son bajos, con unos pequeños incrementos en los meses de Enero y Septiembre, aunque no significativos, además se ve que hay no hay mucha variación en los valores anuales de nubosidad los cuales son bajos en estos dos años.

### 2.5.3.7 Estación 35230010, San Luis de Palenque, Casanare

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 1983 | 2   | 2   | 2   | 3   | 3   | 4   | 3   | 4   | 3   | 2   | 2   | 2   | 3        |
| 1984 | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2        |

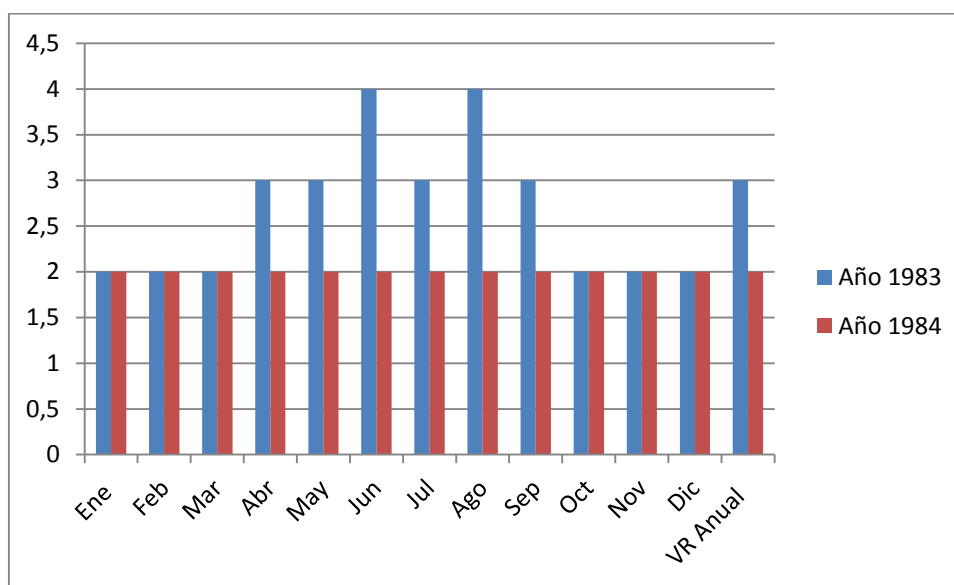


Figura 67. Valores Medios Anuales de Nubosidad, Estación 35230010, San Luis de Palenque

La Fig. 67 muestra que los valores medios de Nubosidad alcanzados en todos los meses mostrados de la estación de San Luis son bajos, con unos pequeños incrementos en los meses de Junio y Agosto, aunque no significativos, por otra parte se observa que hubo más nubosidad en el primer año que en el segundo pero que de igual forma mantiene un promedio bajo en estos dos años.

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR Anual |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|
| 2009 | 65  | 4   | 33  | 254 | 218 | 241 | 325 | 363 | 173 | 215 | 63  | 2   | 1957     |
| 2010 | 0   | 37  | 140 | 328 | 531 | 263 | 233 | 191 | 264 | 172 | 112 | 31  | 2303     |
| 2011 | 6   | 56  | 15  | 374 | 504 | 145 | 242 | 263 | 230 | 48  | 198 | 90  | 2172     |
| 2012 | 0   | 79  | 64  | 274 | 234 | 416 | 310 | 133 | 200 | 432 | 185 | 6   | 2331     |
| 2013 | 0   | 15  | 169 | 237 | 242 | 303 | 211 | 156 | 279 | 136 | 130 | 11  | 1889     |



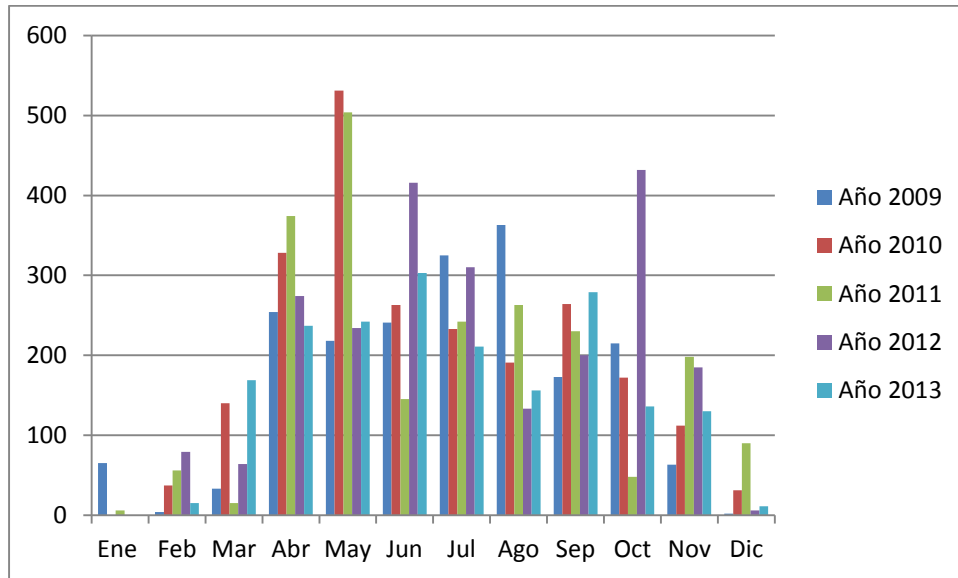


Figura 68. Valores Totales Mensuales de Precipitación (mms), Estación 35230010 San Luis Palenque

En la Fig. 68 se muestra que el valor total de precipitación es bajo en casi todos los meses principalmente de los últimos años, y en general en los anteriores años también a excepción de unos incrementos en abril, mayo, junio y octubre.

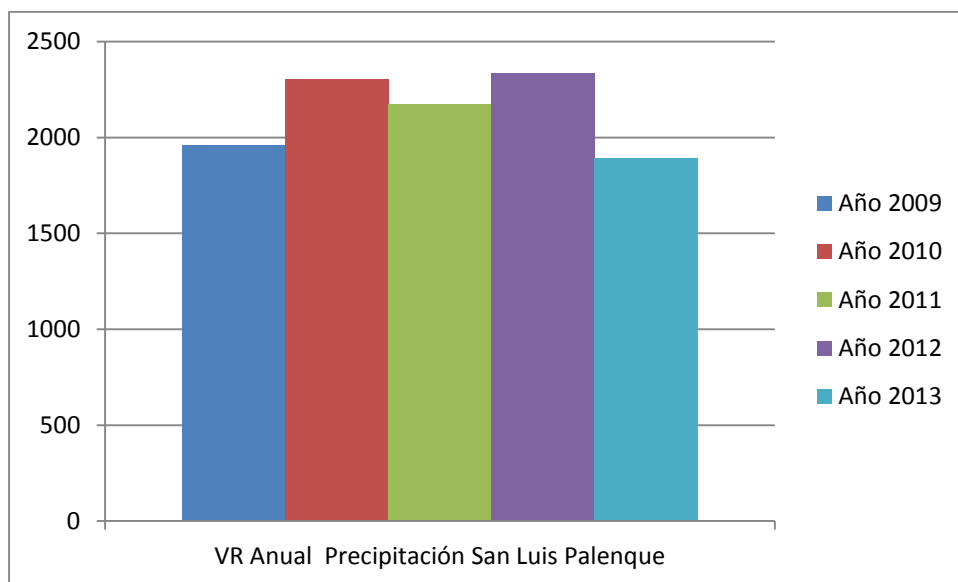


Figura 69. Valores Anuales de Precipitación (mms), Estación 35230010 San Luis Palenque

En la Fig. 69 se muestra que en el último año 2013 los valores de precipitación decrecen significativamente, sucesivo a un incremento que se presentó desde el 2010, que de igual forma no toma valores tan altos

| Año  | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | VR N° Días Anual |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|
| 2009 | 3   | 1   | 5   | 10  | 9   | 15  | 17  | 12  | 11  | 10  | 5   | 2   | 100              |
| 2010 | 0   | 4   | 11  | 9   | 16  | 14  | 13  | 9   | 12  | 11  | 10  | 2   | 111              |
| 2011 | 3   | 1   | 4   | 6   | 18  | 9   | 10  | 9   | 11  | 4   | 10  | 2   | 87               |
| 2012 | 0   | 4   | 10  | 11  | 13  | 14  | 17  | 8   | 5   | 13  | 7   | 1   | 103              |
| 2013 | 0   | 2   | 7   | 8   | 11  | 12  | 10  | 7   | 10  | 8   | 6   | 2   | 83               |

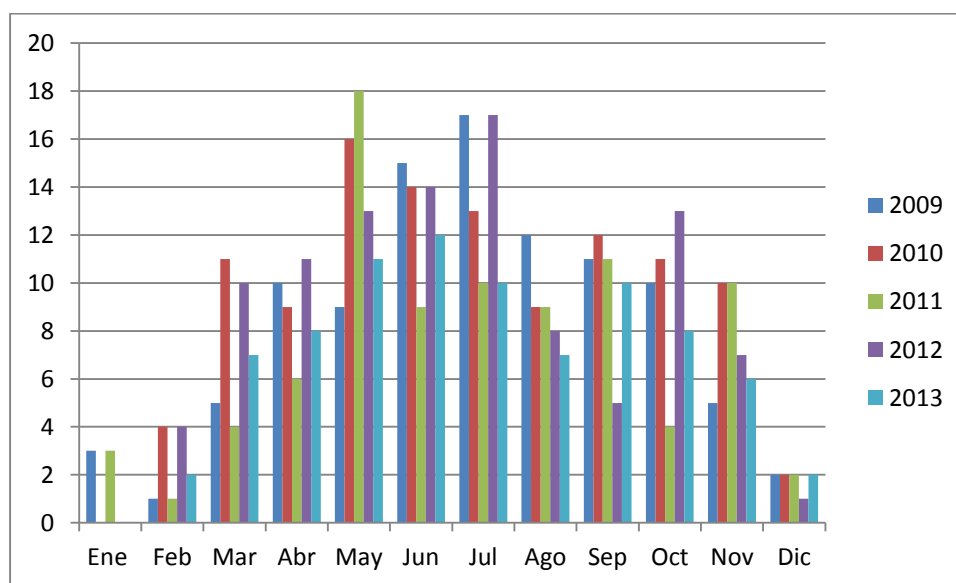


Figura 70. VR N° Días Mensuales de Precipitación, Estación 35230010 San Luis Palenque

En la Fig. 70 los valores del número de días mensuales de precipitación son bajos en los últimos 5 años mostrados, a excepción de los meses de mayo, junio y julio en los cuales hay algunos años con incremento.

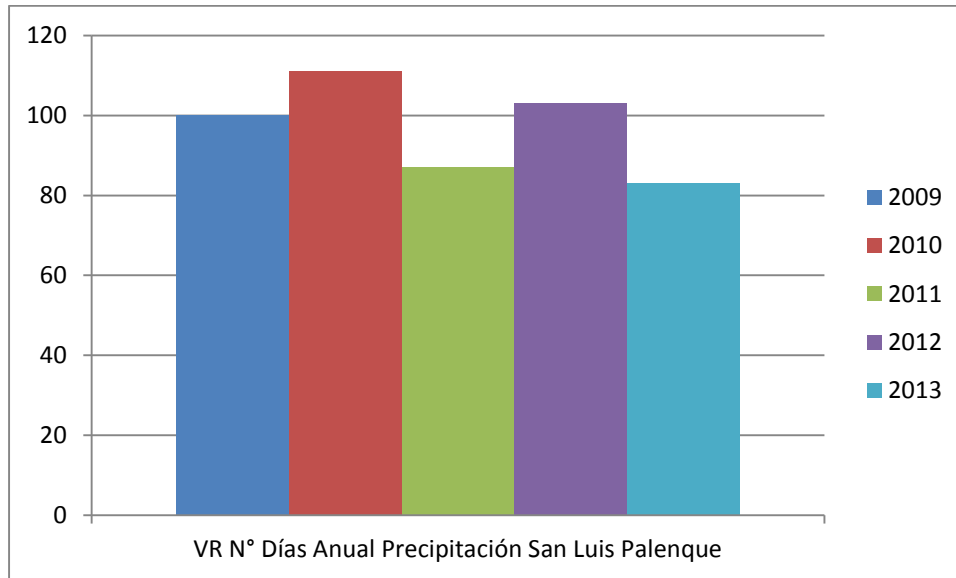


Figura 71. Valores Anuales de Precipitación (mms), Estación 35230010 San Luis Palenque

La Fig. 71 se observa que hay un valor bajo de valores del número de días anuales de Precipitación en todos los años vistos, sin embargo hay un incremento en los años 2010 y 2012, pero estos valores de los días de precipitación no son muy altos, de igual forma se vuelve a ver que en el 2011 y el 2013 hay un decrecimiento grande de precipitación los cuales llegan a ser aún más bajos.

#### 2.5.4 VEREDA ELEGIDA SEGÚN ANALISIS, EVALUACIÓN Y DATOS DEL IDEAM

Anteriormente se nombraron las veredas que no contaban con redes de Distribución y no se tenían contemplados en proyectos a corto plazo por la empresa de energía de Casanare. Teniendo en cuenta esto en este ítem se escogerá la vereda que se va a trabajar como opción para abastecer energía por medio de Sistemas Híbridos de este proyecto.

La vereda se escogerá según los datos suministrados por el IDEAM en los dos ítems anteriores y la información meteorológica correspondiente a las estaciones cercanas a los corregimientos de interés. Según el ítem 2.5.2 donde se identificó las Estaciones Meteorológicas cercanas al corregimiento El Morro, donde está la Vereda Tizagá y Socochó, las cuales son:

- Estación El Morro
- Estación Molinos de Casanare
- Estación Toquilla, Boyacá
- Estación Corinto, Pajarito, Boyacá

Y las Estaciones Meteorológicas cercanas al corregimiento Quebrada Seca, donde está la Vereda San José, Quebrada Seca y Mata Negra, estas son:

- Estación El Macucuana
- Estación Romerena
- Estación San Luis de Palenque
- Z\_Ema\_Final3

Partiendo de esto de acuerdo al Item 2.5.3 se vio con los datos suministrados por el IDEAM de las estaciones meteorológicas cercanas al corregimiento El Morro, que estas han tenido en los últimos 5 años en promedio buenos índices de temperatura pero presentan mayores valores totales de precipitaciones, mayor número de días mensuales de precipitación y mayor promedio de nubosidad que las estaciones cercanas al corregimiento Quebrada Seca , además las veredas de Socochó y Tizagá limitan geográficamente con Boyacá y al ser este un territorio montañoso se pueden presentar, como se ve en los datos más lluvias .Con lo anterior se concluye que se va a trabajar en el corregimiento Quebrada Seca.

Para la elección de la vereda en Quebrada Seca por sugerencia de entes territoriales del municipio y del inspector del corregimiento, llamado Alexander Rivera, se sugiere la comunidad rural necesidad y más abandono energético, la cual es:

- Vereda Mata Negra, Corregimiento Quebrada Seca, Municipio Yopal - Casanare

#### 2.5.5 TRABAJO DE CAMPO EN LA VEREDA MATA NEGRA

A partir de la información suministrada por el inspector del corregimiento de Quebrada Seca, y de la visita en dichas veredas, se ve que las vías de acceso son caminos sin pavimentar, y que en Mata negra se detallan 20 latifundios de 300-700 Hectáreas aproximadamente, las cuales poseen en promedio cuatro habitaciones, una cocina, sala, comedor. En esta vereda se vio que se establecen 20 familias en su totalidad, con aproximadamente de 60 habitantes, la forma de extracción del agua por medio de molinos de viento instalados como solvento a la explotación que están llevando a cabo en la vereda debido al establecimiento de tres empresas petroleras como es el caso de los lugares de Rancho Hermoso, Morichal y Canacavare.

Según información suministrada por algunos habitantes de Mata Negra comentan que aún existe variedad de Fauna puesto que aún se conservan especies como chigüiros, venados, tigres, canagueros, diferentes patos, corocoras, tortugas, matos, y garzones. Se observó también que la

economía se basa en ganadería y agricultura como Manojó, Topocho, Plátano, Yuca, Arroz, Maíz, Nony, principalmente. Los habitantes también indican que se presentan problemas de impacto ambiental con las petroleras, hay sequía por la perforación, problemas sociales debido a esto y a la falta de electrificación.

Las personas también manifiestan que la energía les sería útil para sus servicios básicos (actualmente utilizan mecheras, plantas eléctricas, etc), proyectos de industria, galpones, cercas eléctricas, proyectos pecuarios y de piscicultura, proyección turística por ej. Estaderos.

- Se visitó en la vereda las fincas de:

Punto fijo de Francelina Pérez y Fernando Pérez,

Canaima de Maruja Soler

Camasas de José Noé Alarcón

Romance de Jorge Rivas

Diamante y Zafiro de Fidel Rivera

Sabanales de Willian Alfonso Mejía

La Envidia de Venilda Guanaro

California de Jesús Rodrigo

Esmeralda de Luis Francisco Soler

Ponderosa de Gilma Tapia

Rubí a cargo de Félix Hernán Fonseca

Veracruz de Cayetano Soler

Oasis de Ilda Tapia

Antares que está en sucesión de Flia. Caparro

Leones de Aurora Tapia

Candalalles de Ofelia Soler

Corozo de Vilma Soler

Se observó que las características principales de las viviendas son:

- a. Edificación del bloque de habitaciones. O edificación principal
- b. Cocina, comedor y depósitos
- c. Habitaciones para los trabajadores
- d. Caballerizas

### 2.5.5.1 Fotos de la Vereda Mata Negra



Vía en la Vereda Mata Negra, se ve carreteras sin pavimento, y totugas garzas, chiguiros.



Paisajes habituales, grandes extenciones de tierra, pocos arboles en los terrenos morados



Prototipo de Viviendas en Vereda.



Reconocimiento hecho en moto



Captura en horas del atardecer en vías



Vivienda rodeada de Arboles



Habitante de más de 10 años encuestado



Fogones de Leña, condiciones de cocina



Trabajo de Campo con mi padre acompañando



Mecheros reemplazan bombillos



Desplazamiento en caballos Flia. encuestada



Condiciones de las Viviendas. Techo en Palma



Condiciones Sociales y Habitaciones promedio



Casas con Molinos para extraer agua

### 3. TECNOLOGÍAS RENOVABLES DEL SISTEMA HÍBRIDO

Ver concepto en el Item 1.4.3 Sistema Híbrido

#### 3.1 TECNOLOGÍA CON TURBINA EÓLICA

Se afirma según Instituto Alemán de Energía Eólica (DEWI) que actualmente las tecnologías de los aerogeneradores de potencia inferior a la media menor de 1kW es una tecnología madura, los de gran potencia, mayores a 1kW, se encuentran en la fase de consolidación.

##### 3.1.1 TOPOLOGÍAS DE LOS AEROGENERADORES

La topología estudia la geometría sin atender a las dimensiones. Hay dos formas principales de turbina de viento. A continuación se muestra Fig. 72 Rotores Eólicos de Eje Vertical y Horizontal:

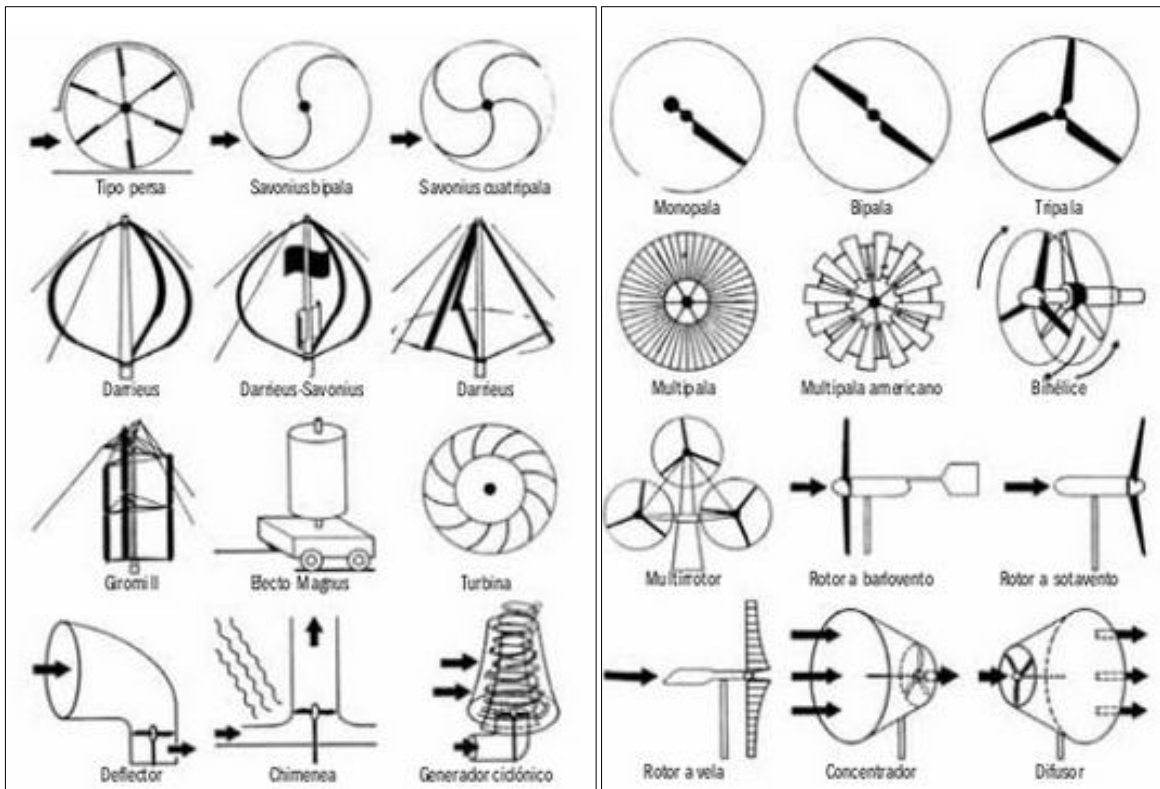


Figura. 72 Topología de Rotores Eólicos de Eje Vertical (recuadro Izq.) y Eje Horizontal (Recuadro Derecho)

(Fuente: J. Cadíz y J. Ramos)



Una posee aspas fijas a un eje vertical como la del recuadro izquierdo y la otra posee ejes horizontales. Los siguientes conceptos están en base al Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems (1978), [86]: «

#### 3.1.1.1 La Turbina de Viento Darrieus (aspas verticales)

Sus aspas están fijas sobre un eje, facilitando la captura del viento proveniente de cualquier dirección para producir electricidad por medio de un generador. Dentro de las ventajas esta que no necesita mecanismo de orientación. Se puede situar la maquinaria en el suelo. Gira a baja velocidad. Poco ruido. Y en las desventajas se insinúa que tiene baja velocidad de viento en el suelo. Baja eficiencia. El rodamiento inferior soporta el peso de toda la turbina.

#### 3.1.1.2 Turbina de Viento (eje horizontal)

La mayoría de las turbinas de viento poseen un eje horizontal (el eje se encuentra paralelo al suelo) y tiene 2 o 3 aspas. Se eleva el aerogenerador bastante, con el objeto de evitar las bajas velocidades de viento junto a la superficie del terreno. El valor típico de la altura es  $H = 0,75D + 10m$ .

- Multipala: No se emplean para generación de electricidad.
- Monopala - Bipala vs. Tripala: cuentan con mejores costos teóricos (1-2 palas menos). Mayor velocidad de giro (menor multiplicadora – generador). Menor empuje axial (Torre más ligera). Facilidad de instalación. Necesidad de contrapeso (monopala). Desequilibrios aerodinámicos, sobre todo en orientación. Alto ruido. Menor Eficiencia

Las turbinas pequeñas son utilizadas especialmente en granjas y comunidades aisladas. Estas turbinas generan energía que se almacena en baterías para emplearse cuando el viento baja».

#### 3.1.2 TAMAÑO EN LOS AEROGENERADORES

No hay una clasificación universal, se encontraron varias clasificaciones para definir el tamaño de los aerogeneradores y se vio que no existe un acuerdo general para delimitar a las Turbinas Eólicas de Pequeño Tamaño, pues es relativo, a continuación en la Fig.73, según Paul Gipe [87]: «

se puede estimar el tamaño comparativo con de una pequeña turbina eólica y también el área que puede ocupar la instalación, de acuerdo al diámetro del rotor, además también se puede apreciar comparativamente la estatura estandar de una persona con esta tecnología».

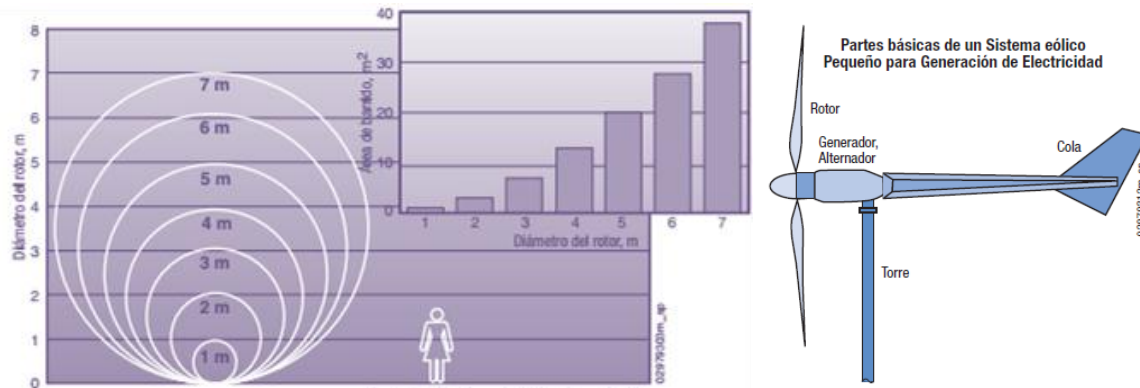


Figura 73. Tamaño Relativo de Pequeñas Turbinas Eólicas  
(Fuente: Paul Gipe, Conceptos de Energía Eólica)

Según la Comisión electrotécnico Internacional en norma IEC 1400-2 (normas de certificación de aerogeneradores) [88]: « definen aerogeneradores pequeños como turbinas eólicas con superficie de captación del rotor inferior a 40m<sup>2</sup>, y en el caso de aerogeneradores de eje horizontal esto corresponde a rotores de un diámetro inferior a 7m<sup>2</sup> aproximadamente».

Otros autores se refieren a la definición de tamaños de aerogeneradores como: Pequeña potencia < 100 kW, Media potencia < 700 kW (alta madurez tecnológica), superiores o cercanos a 700 kW (de primera generación).

Y en otra enunciación de Cuba Solar, 2007 [89]: « Las turbinas de Mega-tamaño son las capaces de alcanzar vientos de 1000k [W], las de mediano tamaño se consideran aquellas con potencia entre 200 y 1000k [W]. Las Pequeñas Turbinas Eólicas empleadas en sistemas aislados de la red son clasificadas en el orden de tamaño creciente en micro (menores a 1,25m. de diámetro), mini (1,25-3m de diámetro) y tamaño doméstico (estas son las más grandes para suministrar energía en lugares aislados, menores a 10m. de diámetro) ».

### 3.1.3 ROTOR

Los rotores de tipo Darrieus se postulan como demandantes para un futuro, actualmente la mayoría son de rotor horizontal. Hay una tendencia a los rotores Tri-pala por su mayor suavidad de giro, al aumentar el tamaño se detecta una mayor proporción de rotores bi-pala, por la reducción de costo y peso que representa.

Indica Glauert [90]: « El rotor puede ser una pieza rígida o poseer articulaciones. La más frecuente es la de cambio de paso. Además, es posible encontrar partes de las aspas que pueden reflectarse, con el objeto de actuar de modificadores de la aerodinámica, como pueden ser flaps o frenos

aerodinámicos. Se ha estudiado el dotar de cierta flexibilidad a las aspas al objeto de que actúe de reductora de vibraciones por amortiguamiento aerodinámico».

Los materiales empleados son: madera (buen comportamiento a la fatiga), metal (como el acero o el aluminio), y el material más utilizado es la fibra de vidrio con resinas sintéticas (poliéster), en previsión de una futura reducción de su costo se explora continuamente el empleo de fibras de carbono y Kevlar con epoxi.

### 3.1.4 SISTEMA DE CONTROL

Debido a la inconstancia del viento es necesario disponer de métodos pasivos o activos de control del aerogenerador. El sistema de control más necesario es el de protección frente al exceso de viento. Fundamentalmente existen dos tipos:

- Control por cambio de paso
- Control por pérdida aerodinámica

El sistema de control se usa en el momento en que la aero-turbina comienza a dar potencia a partir de una velocidad del viento mínima requerida para la generación eléctrica pues es importante controlar el paso de las palas, como indica Eggleston y Stoddard [91]: « con el mecanismo de variación de paso, se orienta óptimamente las palas al viento. Otra posibilidad es que se vaya aumentando la velocidad de giro del rotor a medida que aumenta la velocidad del viento, lo cual permite asimismo mejorar el rendimiento de extracción, pero dificulta el uso de la maquinaria eléctrica. Se debe evitar sobrecargar el tren de potencia de la Aero-turbina, fundamentalmente por par motor. Y también evitar una velocidad de giro excesiva que ocasione sobreesfuerzos centrífugos. Se debe tener cuidado con los límites de funcionamiento del generador, generalmente régimen de giro e intensidad».

#### 3.1.4.1 Control por cambio de paso

Se encuentra frecuentemente en los aerogeneradores de mayor tamaño, pues al resultar caro y complejo se puede justificar al permitir ganancias apreciables de potencia. Frente a vientos intensos ofrece protección efectiva al permitir colocar las palas en dirección al viento. Las menores cargas que origina el control de cambio de paso, permite reducir el peso de la caja de engranajes.

#### 3.1.4.2 Control por pérdida aerodinámica

Consiste en usar los perfiles aerodinámicos, que consisten en una brusca disminución de la fuerza que hace girar las palas y un brusco aumento de la fuerza que se opone al giro de las palas. Así, si un

rotor gira a velocidad constante, lo cual es muy frecuente, al aumentar la velocidad del viento aumenta el ángulo de ataque, con lo que a partir de una cierta velocidad aparece la pérdida aerodinámica, limitándose de forma natural el par que aparece en el eje. Debido a que puede resultar insuficiente, se añaden frenos aerodinámicos. La entrada en pérdida ocasiona vibraciones que hace que el conjunto móvil haya de ser reforzado

### 3.1.5 SISTEMA ELÉCTRICO

Los aerogeneradores de decenas de Watios ó de pequeño tamaño, según Neumann [92]: «usan generadores de corriente continua, dínamos. Su limitado rango de funcionamiento hace que a partir de 100 W se usen alternadores de imanes permanentes, hasta los 5 kW. Por no necesitar excitación externa se usan en aplicaciones aisladas de la red, en cuyo caso suelen incorporar un grupo rectificador para permitir la acumulación de energía en baterías.

La tendencia general es el uso de generadores de inducción con rotor en jaula de ardilla, por su sencillez, ausencia de contacto giratorio, robustez, bajo coste, bajo mantenimiento y sencillez de enganche a la red, con velocidades diferentes a la de sincronismo. Las bobinas del estator requieren alimentación y consumen potencia reactiva. Cuando están conectados a la red, el régimen de giro es próximo al de sincronismo por lo que las turbinas operan a régimen casi constante. Requieren una protección que evite que funcionen como motores al bajar la velocidad del viento. Los generadores síncronos se usan minoritariamente. Requieren efectuar maniobras complicadas para lograr en sincronismo con la red. Debido a las ventajas de rendimiento y de reducción de ruido de la velocidad de giro variable (por girar más espacio con vientos flojos), se exploran alternativas. Otra posibilidad en desarrollo es el uso de generadores multipolares, que permiten la eliminación de la caja multiplicadora, necesaria por la insuficiente velocidad de giro de las palas cuando el tamaño excede un cierto valor que es bastante pequeño».

### 3.1.6 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Se usa para los períodos de baja velocidad de viento o de calma, y dispone de sistemas de almacenamiento de diverso tipo. (Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems, 1978)

#### 3.1.6.1 Acumulación térmica

La energía extraída del viento se usa para calentar agua, directamente por medio de un freno hidráulico o por calentamiento de resistencias eléctricas tras la conversión a electricidad. El agua se

almacena y el aprovechamiento energético posterior sería solo adecuado si se requiere en forma calorífica.

#### 3.1.6.2 Bombeo de agua

Durante períodos con exceso de producción de energía se puede usar la energía eléctrica para bombear agua hasta un depósito elevado. Durante períodos de viento insuficiente la carga podría alimentarse con una mini-central hidráulica cuyo generador síncrono se conectaría en paralelo con el aerogenerador a través de un sistema de protección y control adecuado. Este método proporciona una eficiencia de energía eléctrica recuperada a energía eléctrica enviada al almacenamiento del 50% al 80%. Requiere inversiones iniciales elevadas. Es la solución encontrada para poder electrificar eólicamente al 100% la isla de El Hierro.

#### 3.1.6.3 Baterías

Permite construir sistemas de muy pequeño tamaño, es el sistema más utilizado actualmente, adecuados para balizas, repetidores de señal, estaciones de recogida de datos y puestos de socorro remotos. Su rendimiento es del 60% al 75%. Se emplean baterías especiales que permitan reducciones de su carga hasta el 60% sin daños. Su vida en estas condiciones es del orden de 5 a 7 años. No es adecuado para tamaños grandes por su elevado coste y dificultades de mantenimiento.

#### 3.1.6.4 Generación de hidrógeno y célula de combustible

La electricidad producida descompondría el agua, almacenándose el hidrógeno y eventualmente el oxígeno. Su uso posterior podría ser directo, como combustible, o bien para generar electricidad de corriente continua directamente con una célula de combustible. El rendimiento de recuperación gira en torno al 50%, pudiendo llegar al 70%. Se estima que es el sistema de almacenamiento del futuro para grandes instalaciones. La célula de combustible puede ser usada con otros compuestos.

#### 3.1.6.5 Volante de inercia

Se almacena la energía en un volante capaz de girar a elevado régimen en un recinto al vacío, que impida la resistencia aerodinámica, probablemente haciendo uso de cojinetes magnéticos. Este sistema es capaz de absorber potencias instantáneas elevadas, resultando por ello conveniente a las fuertes fluctuaciones de la energía eólica. Logran un rendimiento de recuperación alto, del orden del 80%. Otra de sus ventajas es una vida operativa larga, del orden de 20 años. El intercambio de energía puede ser electromagnético o por medio de un tren de engranajes.

### 3.1.6.6 Desalación de agua

En lugares donde coincida la demanda de agua potable con la disponibilidad de energía eólica y su impacto ecológico sea aceptable, es posible recurrir a emplear la energía sobrante en desalinizar agua, la cual es fácilmente almacenable y proporciona una utilidad completa ».

### 3.1.7 POTENCIA Y ENERGÍA DEL GENERADOR EÓLICO

La potencia eléctrica disponible se define en función de la velocidad del viento, y la velocidad del viento aumenta con la altura de la instalación eólica (Paul Gipe, Conceptos de Energía Eólica), como se aprecia en la Fig. 74:

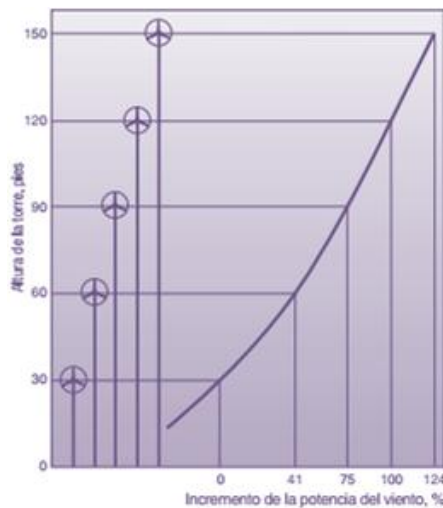


Figura 74. Velocidad del Viento vs. Altura  
(Fuente: Paul Gipe, Conceptos de Energía Eólica)

Lo anterior sucede porque la potencia de una turbina eólica está dada por la fórmula que se muestra a continuación, la cual está hecha teniendo en cuenta que no es posible convertir toda la energía del viento en energía eléctrica por la eficiencia aerodinámica de las palas y la eficiencia mecánica del resto de componentes: La eficiencia eléctrica del generador, controlador e inversor. Así para saber la potencia generada:

$$Potencia = k C_p 0.5 \rho A V^3$$

Donde, P = Potencia obtenida [kwatts];  $C_p$  = Coeficiente de máxima potencia (se toma 20% al 30% para el pto. trabajo nominal);  $\rho$  = Densidad del aire [lb/pie<sup>3</sup>]; A = Área de barrido del rotor [pie<sup>2</sup> ó  $\pi \times D^2/4$ ], (D es el diámetro del rotor y  $\pi = 3.1416$ ); V = Velocidad del viento, [m.p.h]; K = 0.000133 Cte. de transformación de unidades a Kilowatts (multiplicando el resultado obtenido por 1.340 se obtiene un resultado en por lo tanto 1kW = 1.340 Caballos de potencia (H.P.))

Al observar la fórmula, se puede ver que la tecnología eólica tiene como ventaja que el factor de la velocidad del viento tiene un exponente a la tercera potencia, lo que implica que aún con un pequeño incremento de la velocidad del viento, la potencia disponible se incrementa en una forma mayor. Esta se convierte en una razón atractiva para generar con turbinas eólicas y también explica porque al incrementar la altura en la torre, se tiene acceso a mayores velocidades de viento como se mostró en la Fig.78. Otro punto importante según Enair Energy, cuando la  $k$  de Weibull no es conocida, se puede usar los valores de la siguiente tabla 26:

| TABLA 26. Constante $k$ (Weibull) |                |
|-----------------------------------|----------------|
| Terreno                           | $K$ de Weibull |
| Terreno interior                  | 2              |
| Mar                               | 3              |
| Islas                             | 4              |

A continuación se muestra la curva de potencia de una turbina de eje horizontal con regulación por cambio de paso y por pérdida aerodinámica:

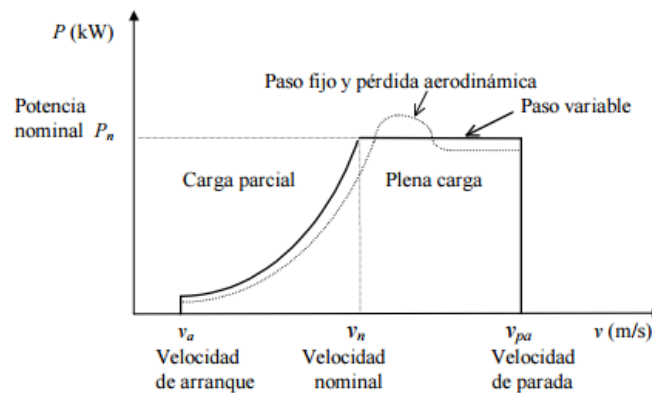


Figura 75. Curva de Potencia Eléctrica vs. Velocidad del viento  
(Fuente: Paul Gipe, Conceptos de Energía Eólica)

En la Fig. 75 se ve que la potencia es nula hasta una velocidad mínima o de arranque  $V_a$ , a partir de ella crece rápidamente (aproximadamente como el cubo de la velocidad) creciendo asimismo el régimen de giro del rotor. Al llegar el viento a una velocidad nominal,  $V_n$ , (en torno 10 a 15 m/s) comienzan a actuar los mecanismos de limitación y la potencia de salida y régimen del rotor se

mantiene aproximadamente constantes. Esta potencia se denomina potencia nominal  $P_n$  (se mantiene hasta los 20 a 25 m/s). A partir de aquí,  $V_{pa}$ , la potencia de salida cae rápidamente o se anula el funcionamiento, pues comienzan a actuar los mecanismos de protección, frenando el rotor para evitar riesgos. Con los datos anteriores y con la curva de potencia del aerogenerador se puede obtener una estimación de la energía generada en un periodo de tiempo determinado.

### 3.1.8 CONSIDERACIONES DE INSTALACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EÓLICA

A continuación en la Fig.76 se muestra la escala de Viento Ideal de BEAUFORT, usada en la Tierra, para estimaciones correspondientes :

| Grado | Nombre usual                 | Efectos apreciables en tierra   | Velocidad (m/s) | Velocidad (Km/h) |
|-------|------------------------------|---|-----------------|------------------|
| 0     | Calma                        | Humo vertical.  | 0 a 0,2         | 0 a 1            |
| 1     | Ventolina                    | Se inclina el humo, las banderas y las veletas no se mueven.                                    | 0,2 a 1,4       | 1 a 5            |
| 2     | Flojito -brisa muy débil-    | Se siente el viento en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, las banderas y las veletas. | 1,4 a 3         | 6 a 11           |
| 3     | Flojo -brisa débil-          | Se agitan las hojas de los árboles. Las banderas ondean.  | 3 a 5,3         | 12 a 19          |
| 4     | Bonancible -brisa moderada-  | Se levanta polvo y papeles pequeños. Se mueven las ramas pequeñas.                              | 5,6 a 7,8       | 20 a 28          |
| 5     | Fresquito -brisa fresca-     | Se mueven los árboles pequeños. Pequeñas olas en los estanques.                                 | 7,8 a 10,5      | 29 a 38          |
| 6     | Fresco -brisa fuerte-        | Se mueven las ramas grandes. Silban los hilos del telégrafo. Dificultad con los paraguas.       | 10,5 a 13,1     | 39 a 49          |
| 7     | Frescachón -viento fuerte-   | Todos los árboles en movimiento. Es difícil andar contra el viento.                             | 13,1 a 17       | 50 a 61          |
| 8     | Temporal -duro-              | Se rompen las ramas delgadas de los árboles. Generalmente no se puede andar contra el viento.   | 17 a 20,5       | 62 a 74          |
| 9     | Temporal fuerte -muy duro-   | Árboles arrancados y daños en edificios.  | 20,5 a 24,5     | 75 a 88          |
| 10    | Temporal duro -temporal-     | Graves daños en edificios.  | 24,5 a 28,3     | 89 a 102         |
| 11    | Temporal muy duro -borrasca- | Destrozos generalizados.  | 28,3 a 32,5     | 103 a 117        |
| 12    | Huracán                      | Enormes daños.  | Más de 32,5     | Más de 118       |

Figura 76. Escala de Viento de BEAUFORT

(Fuente: Enair)

Otros factores a tener en cuenta son la temperatura y la altura sobre el nivel del mar del sitio elegido, ya que influyen directamente sobre la potencia generada, como se ve en la Fig. 27 a y b:



| Tabla 27a. Variación de la Densidad del Aire con la Temperatura |  |   |       |
|---|--|---|-------|
| Temperatura (°C)  | Variación Relativa de la Densidad (respecto a 15°) | Tabla 27b. Variación de la Densidad del Aire con la Altitud |       |
| 20  | 1,138  | 0   | 1.000 |
| -15   | 1,116  | 152   | 0,990 |
| -10   | 1,095  | 305   | 0,970 |
| -5  | 1,075  | 610   | 0,940 |
| 0   | 1,055  | 915   | 0,910 |
| 5   | 1,036  | 1220  | 0,880 |
| 10  | 1,018  | 1524  | 0,850 |
| 15  | 1,000  | 1829  | 0,820 |
| 20  | 0,983  | 2134  | 0,790 |
| 25  | 0,966  | 2439  | 0,760 |
| 30  | 0,951  | 2744  | 0,730 |
| 35  | 0,935  | 3049  | 0,700 |
| 40  | 0,920  |   |       |

(Fuente: Enair)

Por experiencia técnica el aerogenerador típico que se adquiere para Conectarse a la Red tiene las siguientes características: es de eje horizontal, tripala con viento de frente (barlovento), con torre tubular, con un generador asíncrono con caja multiplicadora de tres etapas, regulación por pérdida y/o cambio de paso y sistema de orientación activa . Y para la Generación Aislada prevalece un aerogenerador de eje horizontal, tripala con viento de frente (barlovento), con un generador síncrono de imanes permanentes, orientado por timón de cola o veleta y con regulación de la velocidad mediante cabeceo o cambio de paso pasivo. Con 2 sistemas de Frenado (uno de freno mecánico). Se ofrece con diferentes tipos de torre y alturas de buje.

Separadamente de lo anterior, hay dos formas de instalar una turbina, según Moreno F. C. (2007), [93]:« • En un mástil: están aisladas y se levantan en una ubicación adecuadamente desprotegida. Normalmente para instalaciones con más altas potencias. • Sobre una cubierta: Son más pequeñas y se pueden colocar en la cubierta de la casa en el que haya una fuente de viento adecuada.

Normalmente producen Potencias más bajas ». Apreciándose que según la potencia del equipo se escoge la estructura para la instalación del equipo eólico, además menciona López Solís (2011), [94]: « La mayoría de fabricantes clasifican a sus equipos de acuerdo a la potencia que en forma segura operan a cierta velocidad de viento».

### 3.1.9 MÉTODO DE DISTRIBUCIÓN RAYLEIGH

Se debe tener claro el lugar y la velocidad del viento medio, luego con la distribución de Rayleigh (distribución de probabilidades de la velocidad del viento) se tendrá la frecuencia de los vientos de acuerdo a la velocidad del viento buscada. Después con la curva de potencia del equipo seleccionado (en el datasheet) y los datos de la distribución de Rayleigh se podrá determinar la producción de energía eléctrica en un intervalo de tiempo. Puesto que es usada comúnmente para calcular la energía producida en un intervalo de tiempo en pequeñas máquinas eólicas (Moreno F., 2007).

Tabla 28. Distribución de Rayleigh para Velocidades Medias Anuales del viento

| Vel.<br>m/s | Probabilidad de ocurrencia para velocidades medias anuales, en m/s |        |        |        |        |        |
|-------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
|             | 3  | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      |
| 3           | 0,239  | 0,189  | 0,142  | 0,108  | 0,083  | 0,066  |
| 4           | 0,173  | 0,179  | 0,152  | 0,1231 | 0,0992 | 0,0807 |
| 5           | 0,098  | 0,1439 | 0,1432 | 0,1264 | 0,1074 | 0,0903 |
| 6           | 0,045  | 0,1006 | 0,1217 | 0,1194 | 0,108  | 0,0947 |
| 7           | 0,017  | 0,062  | 0,0943 | 0,1049 | 0,1023 | 0,0942 |
| 8           | 0,005  | 0,0339 | 0,0673 | 0,0864 | 0,0919 | 0,0895 |
| 9           | 0,001  | 0,0166 | 0,0444 | 0,0671 | 0,0788 | 0,0817 |
| 10          | 0  | 0,0072 | 0,0272 | 0,0492 | 0,0645 | 0,0719 |
| 11          | 0  | 0,0028 | 0,0154 | 0,0343 | 0,0507 | 0,0612 |
| 12          | 0  | 0,001  | 0,0082 | 0,0226 | 0,0383 | 0,0503 |
| 13          | 0  | 0,0003 | 0,004  | 0,0142 | 0,0278 | 0,0401 |
| 14          | 0  | 0,0001 | 0,0019 | 0,0085 | 0,0194 | 0,031  |
| 15          | 0  | 0      | 0,0008 | 0,0048 | 0,0131 | 0,0233 |
| 16          | 0  | 0      | 0,0003 | 0,0026 | 0,0085 | 0,017  |
| 17          | 0  | 0      | 0,0001 | 0,0014 | 0,0053 | 0,012  |
| 18          | 0  | 0      | 0      | 0,0007 | 0,0032 | 0,0083 |
| 19          | 0  | 0      | 0      | 0,0003 | 0,0019 | 0,0056 |
| 20          | 0  | 0      | 0      | 0,0001 | 0,0011 | 0,0036 |
| 21          | 0  | 0      | 0      | 0,0001 | 0,0006 | 0,0023 |

(Fuente: Moreno Figueroa, 2007)

Los valores que aparecen en la tabla 28 representan la probabilidad de ocurrencia o frecuencia de aparición de cada uno de los valores de velocidad del viento y las velocidades medias anuales. Una representación gráfica de esta tabla se presenta en la Fig. 77.

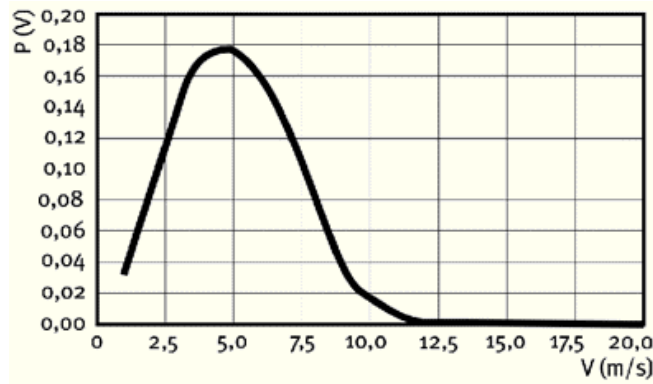


Figura 77. Distribución de Rayleigh  
(Fuente: Moreno F., 2007)

### 3.2 TECNOLOGÍA CON CELDAS FOTOVOLTAICAS O PANELES

#### 3.2.1 PANELES O CELDAS FOTOVOLTAICAS

Según Solener [95]: « Los paneles Fotovoltaicos están formados de una serie de celdas fotovoltaicas, las cuales transforman directamente la radiación solar (compuesta por fotones) que reciben, en energía eléctrica mediante el “Efecto Fotovoltaico”, donde la incidencia de la radiación luminosa sobre la celda crea una diferencia de potencial y una corriente aprovechable». Las más empleadas son las realizadas con silicio cristalino.

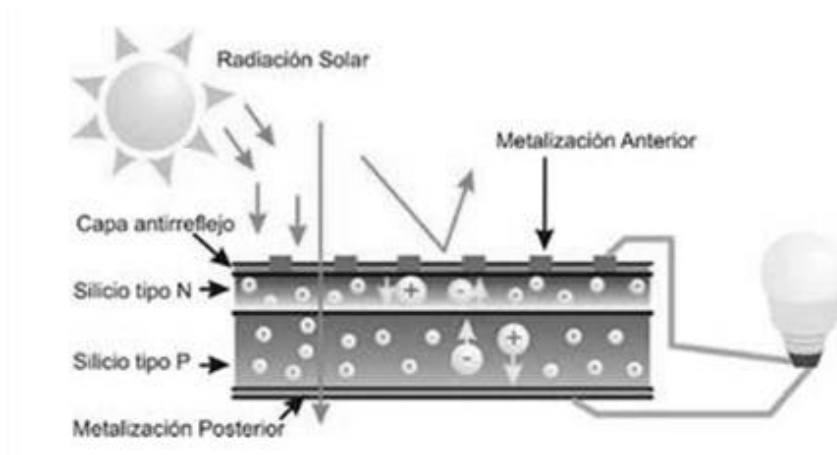


Figura 78. Efecto de una Celda Fotovoltaica  
(Fuente: Solener)

En la Fig. 78 se ve como se genera corriente eléctrica mediante la producción de cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de diferente tipo (silicio tipo N y silicio tipo P), aquí según R.W. Miles et al, [96]: « se resaltan los procesos de difusión y de arrastre de portadores que

139

constituyen los mecanismos más importantes de transporte eléctrico del dispositivo. Los fotones con energía mayor o igual a la brecha de energía prohibida ( $E_g$ ) del material absorbente son absorbidos en este. La energía del fotón absorbido se usa para excitar electrones de la banda de valencia a la banda de conducción, generando pares hueco-electrón los cuales pueden ser transportados por procesos de difusión y de arrastre hasta un circuito exterior, generando de esta manera una fotocorriente».

### 3.2.1.1 Funcionamiento

A continuación se muestra en la Fig. 79 el funcionamiento básico de los paneles solares, en este caso se propone como uso particular domiciliario. Como se ve la radiación solar es captada por los paneles solares que generan corriente eléctrica continua. Luego en un controlador de la carga para luego ser almacenado en baterías para su uso en forma continua, y también pasa por un inversor para su uso en alterna.

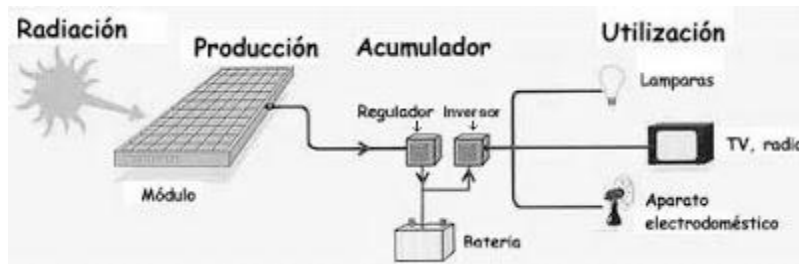


Figura 79. Funcionamiento básico de los Paneles Solares  
(Fuente: R. W Miles)

### 3.2.2 MATERIAL USADOS

El material que más eficiencia presenta en la conversión fotovoltaica es el silicio (Si). Y el proceso de conversión para producir materiales semiconductores cuando estos no cuentan intrínsecamente con esta propiedad, se conoce como dopado. Usualmente el Silicio, es dopado con fósforo dando como resultado el material semiconductor más utilizado en la industria fotovoltaica.

Indica D.B. Mitzi, et al., [97]: « El Si con adición de impurezas de elementos como boro y fósforo, es capaz de generar cada celda una corriente de 2 a 4 Amperios, a un voltaje de 0.46 a 0.48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa. Parte de la radiación incidente se pierde por reflexión y otra parte por transmisión (atravesada las celdas). El resto es capaz de hacer saltar electrones de una

capa a la otra creando una corriente proporcional a la radiación incidente. La capa antirreflejo aumenta la eficacia de las celdas ».

Los primeros fabricantes de células fotovoltaicas en el mundo han sido Suntech Power (5,8% del mercado mundial), JA Solar (5,4%), First Solar (5,2%), Trina Solar (3,9%), Q-Cells (3,7%), Yingli (3,6%), Motech (3,5%), Sharp (3,3%), Gintech (3,0%) y Kyocera (2,4%). Existen en la industria comercializadas tres tipos de celdas de silicio cuyos nombres son función de su estructura cristalina (Solar Electricity John Wiley & Sons).

### 3.2.3 MÓDULO Ó PLACAS FOTOVOLTAICAS

Según la Secretaría de Energía de Argentina, [98]: « Los módulos son un conjunto de celdas fotovoltaicas conectadas entre sí, que generan electricidad en corriente continua, como se ve en la Fig. 80 y dependen directamente de cuánta luz llega hasta el módulo, esta es la máxima corriente generada por el módulo solar. Para su mejor aprovechamiento se busca orientarlas (teniendo en cuenta la ubicación y latitud) con el fin de obtener un mayor rendimiento ». Un arreglo Fotovoltaico se puede conectar eléctricamente en serie o paralelo

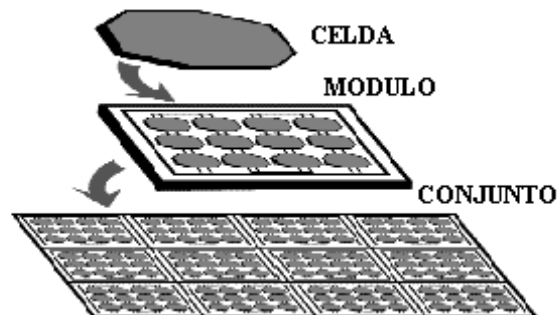


Figura 80. Arreglo Fotovoltaico  
(Fuente: Secretaría de Energía de Argentina)

### 3.2.4 TIPOS DE CELDAS FOTOVOLTAICAS

#### 3.2.4.1 Celdas Fotovoltaicas Mono-cristalinos

Las celdas de silicio mono-cristalino se obtienen a partir de silicio muy puro. Tienen una estructura uniforme. Como ventajas según Roldan (2011), [99]: « recientemente han alcanzado mejores eficiencias en la celda bajo incidencia normal de la luz solar y bajo concentración. En módulos, la

eficiencia conseguida 12 años atrás se ha doblado. La confiabilidad ha realizado también un progreso grande. La máxima degradación durante el período de vida es inferior al 10%. Hoy a estos módulos se les prevé una duración cercana a los treinta años. Dentro de las desventajas están que requieren una gran cantidad de material, una gran cantidad de energía para producir este material y las técnicas de producción en serie no son fáciles de adaptar. Son bastante caras y difíciles de conseguir».

#### 3.2.4.2 Celdas Fotovoltaicas Poli-cristalinas

Se constituyen básicamente con silicio, mezclado con Arsenio y Galio. Las ventajas de estas celdas son que las celdas fotovoltaicas tienen partes móviles, son virtualmente libres de mantenimiento, tienen una vida útil de entre 20 y 30 años, su costo de fabricación es menor que el del silicio monocristalino aunque su rendimiento es menor que estas se trabaja en este tipo de células para alcanzar una eficiencia mayor.. Las desventajas de estas celdas son que tienen una estructura no uniforme, no duran tanto tiempo, pues se rompen si se encuentran en lugares desérticos y en las altas montañas. (Roldan 2011)

#### 3.2.4.3 Celdas Fotovoltaicas Capa Fina

La mayor ventaja de ellas es que el semiconductor se deposita en forma de lámina delgada y sobre un sustrato de bajo costo (vidrio, cristal o plástico). Los materiales que se suelen usar como semiconductor son el silicio amorfo, el cobre-indio-di selenio, el telurio de cadmio, y el cobre-indio-galio selenio. Esto permite su abaratamiento y la posibilidad de técnicas de producción en serie, ya que grandes módulos se pueden depositar en un único proceso. La eficiencia de los dispositivos de silicio amorfo ha crecido drásticamente. Su limitación es que tienen menor eficiencia que las anteriores tecnologías, pues a pesar de haberse alcanzado eficiencias de un 10%, la mayoría de los módulos comerciales andan actualmente en el entorno del 5 al 6%. Además, los dispositivos de silicio amorfo se degradan cuando se exponen a la luz solar y por otra parte, no ha sido demostrado su comportamiento a largo plazo. (Roldan 2011)

| TABLA 29. Células Fotovoltaicas de Paneles usados Comúnmente |                         |                     |   |                                       |
|--|-------------------------|---------------------|---|---------------------------------------|
| CELULAS  | RENDIMIENTO LABORATORIO | RENDIMIENTO DIRECTO | CARACTERÍSTICAS   | FABRICACIÓN                           |
| MONOCRISTALINO   | 24%                     | 15 – 18 %           | Es típico los azules homogéneos y la conexión de células individuales entre sí. | Se obtiene del Silicio puro fundido y |

| TABLA 29. Células Fotovoltaicas de Paneles usados Comúnmente |        |        |  |   |
|--|--------|--------|--|---|
|  |        |        |  | dopado con boro   |
| POLICRISTALINO   | 19-20% | 12-14% | La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules       | Igual que el del mono-cristalino , pero se disminuye el número de fases de cristalización |
| CAPA FINA (Amorfo)   | 16%    | < 10%  | Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células | Menos costosas, formas de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico       |

(Fuente: Roldan, 2011)

### 3.2.5 INCLINACIÓN DEL SISTEMA DE PANELES

La conversión de radiación solar en energía eléctrica, es directamente proporcional según Jutglar (2004), [101]: « al ángulo de inclinación que hay en el panel solar con respecto a los rayos solares incidentes, pues si el panel se encuentra perpendicular a estos rayos la conversión es máxima, y a la orientación que tengan de acuerdo a la ubicación geográfica del lugar donde se desee la instalación de dichos equipos, para ello se usan seguidores solares que son estructuras de soporte del arreglo que ajustan automáticamente el azimut y/o la elevación, ó estructuras fijas que puedan ser adecuadas al criterio de análisis del ángulo de elevación del Sol anual óptimo del arreglo, que garantice la máxima producción de energía eléctrica , como se muestra en la Fig. 81

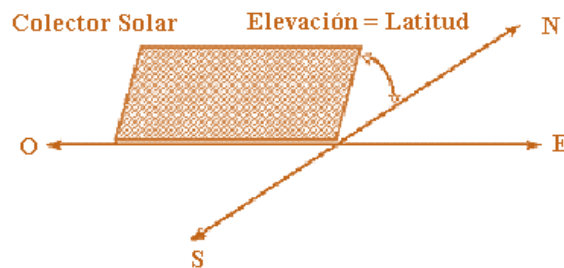


Figura 81. Formato de Inclinación del Sistema Solar

(Fuente: Salgado, 1994)

### 3.2.6 EL CONTROLADOR DE CARGA O REGULADOR

Los reguladores con control de carga según Pareja (2010), [102]: « son equipos electrónicos que se instalan entre los sistemas generadores renovables y la batería, para proteger a estas contra sobrecargas (impidiendo que la batería continúe recibiendo energía del colector una vez alcanza carga máx.) Y descargas profunda (desconecta las baterías de los paneles). Asegurando el funcionamiento del sistema en el punto de máx. eficacia».

Así, para el caso del sistema Solar – Eólico el voltaje de salida de los paneles fotovoltaicos es nulo durante la noche; al amanecer, atardecer o en días nublados, el nivel de insolación es bajo y los paneles no pueden cargar las baterías; al igual que cuando la velocidad del viento es nula o muy baja (bajo los 3 m/seg). Entonces el control de carga cumple un rol pasivo, aislando el banco de acumulación del bloque de generación, evitando su descarga. Cuando la insolación aumenta, el voltaje de los paneles supera al del banco de baterías y el proceso de carga se reanuda. Es entonces cuando el control de carga tiene un rol activo, evitando una gasificación excesiva del electrolito, la disminución del líquido en el interior de la batería, aumentando la vida útil de la misma, esto también sucede cuando existen vientos de velocidades utilizables por el aerogenerador utilizado.

#### 3.2.6.1 Métodos de Control de Carga

Existen cuatro métodos básicos para controlar o regular la carga, como se indica a continuación Style (2012), [103]: «

- Controlador en serie, donde la regulación se lleva a cabo impidiendo el paso de la corriente cuando la batería se encuentra en condiciones de plena carga y cuando la tensión baja de nuevo se restablece la carga. En un sistema híbrido por ejemplo cuando se conecta un generador eólico a un control de carga deberá cuidarse que el voltaje máximo que éste puede tolerar a su entrada excede el máximo dado por la salida del generador. Los paneles fotovoltaicos nunca alcanzan un voltaje de salida mayor que el de circuito abierto, mientras que los generadores eólicos suelen alcanzar valores más elevados para el voltaje de salida. Se recomienda por esto elegir un generador a viento moderno, los que ofrecen una salida de voltaje regulada. Estos modelos son, además, muy eficientes y seguros ya que comienzan a generar electricidad con bajas velocidades del viento y poseen un diseño mecánico que



disminuye la velocidad de rotación cuando la velocidad del viento es muy elevada, reduciendo la fuerza que éste ejerce sobre el soporte.

- Método de Shunt, se conecta en paralelo el generador y la batería. En un sistema híbrido Fig. 86 por ejemplo la carga se regula al provocar un corto circuito en el arreglo fotovoltaico y el aerogenerador; mediante un diodo de bloqueo colocado en serie entre la batería y el arreglo, y otro entre la batería y el aerogenerador. Los controladores tipo Shunt se usan en aplicaciones de corrientes eólico-solares menores de 20 A.

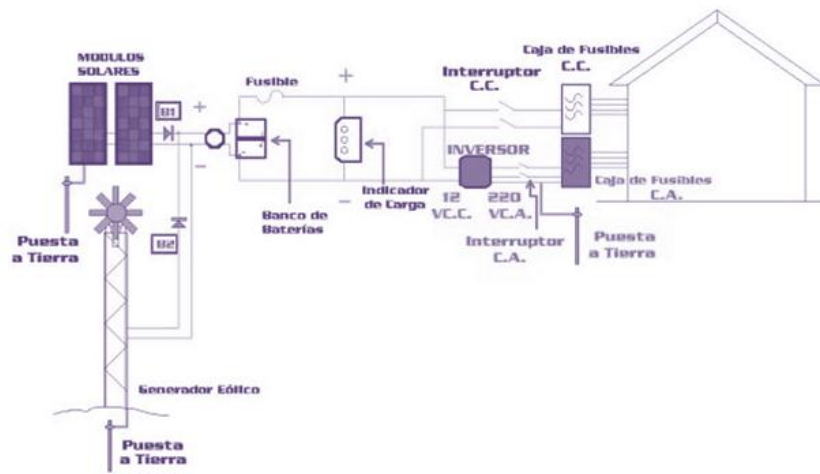


Figura 82. Configuración Shunt en un Sistema Híbrido Solar-Eólico  
(Fuente Style, 2012).

Debido a que la corriente directa se conduce en una sola dirección, se debe conservar la polaridad en un sistema eólico-solar, para esto se cuenta con diodos de bloqueo contra polaridad invertida así como con fusibles que protejan a las aplicaciones de eventuales sobrecargas. Como se aprecia en la Fig. 82 los diodos B1 y B2 proveen el bloqueo eléctrico entre los dos generadores. Además cuando llega la noche los módulos fotovoltaicos no tienen voltaje de salida, pero el generador eólico puede estar activo, entonces el diodo B1 tendrá entonces una polaridad opuesta a la de conducción, bloqueando el paso a través de los módulos. Durante el día, cuando el voltaje de salida del generador eólico supera el de los módulos (más la caída en el diodo), éste contribuirá una corriente adicional al circuito de carga. Si el viento disminuye o cesa, el diodo B2 tiene la polaridad revertida, impidiendo la conducción en el circuito del generador eólico.

- Modulación de anchura de pulso (PWM): emiten pulsos de carga a la batería cuya intensidad depende del estado de carga de la misma. Mientras va cargando la batería, la anchura de los pulsos se va reduciendo progresivamente.

- Punto de máxima potencia (MPPT): dotados de convertidores de corriente continua para trabajar a la punta de máxima potencia del módulo. Un regulador MPPT puede aumentar en un 10-35% la energía que recibe de los módulos».

En la actualidad se usan generalmente los reguladores tipo PWM o MPPT

### 3.2.6.2 Capacidad del Controlador

Para manejar una corriente excesiva ocasional, se debe multiplicar la corriente de cortocircuito del conjunto por 1,25. En el caso de un sistema híbrido se busca que el controlador tenga la suficiente capacidad para controlar la máxima corriente producida por el conjunto fotovoltaico y por el aerogenerador (Style 2012).

Por ejemplo, en una aplicación si un conjunto de 6 módulos de 12 Volts nominales y 3.5 Amperes cada uno, está arreglado en 3 series paralelas de 2 módulos, entonces la capacidad del controlador deberá ser: Capacidad del controlador =  $1.25 \times 3.5 \times 3 = 13.125 \text{ A @ } 24 \text{ V}$ . Un controlador de 15 Amperes a 24 Volts será suficiente.

### 3.2.7 BATERÍAS

Almacenan la energía eléctrica producida durante las horas de generación renovable, en el caso de un sistema de generación solar, almacena en horas de radiación solar, permitiendo y garantizando suficiente autonomía para los períodos en los que el sistema fotovoltaico no produce electricidad. En este tipo de aplicaciones normalmente se utilizan baterías estacionarias, carga durante el día y descarga durante la noche; sobrepuesto al ciclo diario hay un ciclo estacional, que está asociado a períodos de reducida disponibilidad de radiación. (Secretaría de Energía de Argentina, 2008) Se hablara en detalle en el ítem 3.3.1

### 3.2.8 EL INVERSOR

Se usa para convertir la corriente directa de un sistema fotovoltaico o batería a corriente alterna. Los inversores son unidades acondicionadoras de potencia para alimentar cargas de artefactos eléctricos de corriente alterna (CA). Los inversores más comunes de sistemas eólico-solares aislados funcionan a 12, 24, 48 o 120 Volts de entrada en corriente continua (CC) y salida a 120 o 240 Volts en Corriente Alterna a 60 Hertz (Hz). Si se requiere su funcionamiento continuo, deben tener un exceso de capacidad sobre el valor de régimen. En general dicho exceso debe ser .de 25 % o más para aumentar

la confiabilidad y vida útil (se obtiene en información de fábrica, en los parámetros específicos de rendimiento).

### 3.2.8.1 Parámetros de Dimensionamiento y Tipos de Inversores

Los inversores se dimensionan de dos formas. La primera es la cantidad de Watts que el inversor puede proporcionar durante ciertos periodos. La segunda es mediante la capacidad pico del inversor. En la Tabla 30 se muestra un cuadro resumen de los tipos de inversores más comunes que se clasifican de acuerdo al tipo de onda de salida, empleados en sistemas solares - eólicos.

| TABLA 30. Resumen Inversores según Tipo de Onda        |                             |                            |                              |                                 |
|--|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------------|
| Tipos Inversor   | Onda Cuadrada               | Onda Modificada            | Pulso Modulado               | Onda Sinodal<br>(Estado Sólido) |
| Salida Estándar<br>(watts)                             | Hasta 1'000000              | 300 a 2500                 | Hasta 20000                  | Hasta 2000                      |
| Capacidad Pico(watts)                                  | 20 veces la salida estándar | 4 veces la salida estándar | 2.5 veces la salida estándar | 4 veces la salida estándar      |
| Eficiencia Típica sobre el rango de potencia de salida | 70 a 98%                    | 70 a 85%                   | 90%                          | 80 a 85%                        |
| Distorsión Armónica*                                   | Hasta 40%                   | 5%                         | Menos que 5%                 | 1 a 2%                          |

\* La distorsión armónica debe ser lo menos posible ya que describe errores en la forma de la onda.

(Fuente: Valentín, 2012)

## 3.3 LAS BATERIAS Ó ACUMULADORES

### 3.3.1 DESCRIPCION

La batería ó acumulador según almacena energía eléctrica por medio de procedimientos electroquímicos. La batería es un método de almacenamiento, que permite suministrar energía al sistema, en condiciones desfavorables garantizando su funcionamiento (Roldan, 2011).

La energía eléctrica para este sistema, se espera sea generada por los módulos fotovoltaicos y por un aerogenerador por tanto menciona Bogaardt [104]: « estas fuentes de energía son intermitentes y sus operadores a veces no tienen control sobre la programación de la producción de electricidad. Para ahorrar energía, tener gastos de producción más bajos y reducir los gases de efecto invernadero, es

importante tratar de mantener la demanda de electricidad sin tanta fluctuación. Entonces para el consumo después de un patrón de picos mañana-tarde, altas cargas entre semana, el almacenamiento temporal de la electricidad puede ayudar a facilitar el equilibrio de carga». Normalmente, las baterías para un sistema híbrido solar eólico se utilizan durante las noches, periodos sin viento o periodos nublados.

Indica Roldán (2013), [105]: « que el intervalo que incluye un periodo de carga y uno de descarga en una batería, recibe el nombre de ciclo. Idealmente las baterías se recargan al 100 % de su capacidad, durante el periodo de carga de cada ciclo. Con el regulador de carga, las baterías no se descargarán totalmente durante el ciclo, de igual manera no corren el peligro de sobrecargarse durante periodos de poco uso». Existe la posibilidad de no utilizar baterías, en el caso específico de ser posible acoplar la carga directamente al arreglo fotovoltaico y cuando no se necesite almacenamiento.

### 3.3.2 CAPACIDAD DE UNA BATERÍA

Este parámetro determina cuánto tiempo el sistema puede operar una carga determinada sin que haya necesidad de recarga. Es decir, el número de [A] que la batería se puede descargar, multiplicado por el número de horas en que se entrega dicha corriente.

### 3.3.3 CAPACIDAD DE RÉGIMEN

Indica la razón de la capacidad de carga y descarga de la batería, puede ser proporcional o la batería puede ser cargada y descargada a una razón diferente a la especificada en el régimen, variando la capacidad en [A-h]. Es decir, como explica Aguilera (2011), [106]: « si la batería se descarga a una razón menor, entonces la capacidad será ligeramente mayor. Por ejemplo una batería que está diseñada con una capacidad de 100 A-h a un régimen de 8 horas puede descargar 12,5 A durante 8 horas ( $C = 12.5 \times 8 = 100$  A-h), mientras que si la misma batería se descarga a un régimen de 20 horas podría proporcionar 5.8 A durante 20 horas ( $C' = 5.8 \times 20 = 116$  A-h) ».

### 3.3.4 PROFUNDIDAD DE DESCARGA

Este parámetro describe la fracción de la capacidad total de la batería que puede ser usada sin necesidad de recarga y sin dañar a la batería. Como norma, mientras menor sea la cantidad de energía que se extrae de la batería durante cada ciclo, mayor será la vida útil de la misma (Roldán, 2013). Hay una clasificación de las baterías según la profundidad de descarga en dos grandes grupos: ciclo ligero ó automotriz y ciclo profundo.

#### 3.3.4.1 Baterías de Ciclo Ligero o Automotriz

Se diseñan para altas descargas iniciales (ej. arranque de un motor), pero continuamente se están cargando y descargando de manera alternativa. Estas baterías, también llamadas de arranque, se diseñan para profundidades de descarga no mayores del 20 %.

#### 3.3.4.2 Baterías de Ciclo Profundo

Se diseñan en función de largos periodos de utilización sin necesidad de recibir recarga, por lo tanto éstas son más robustas y generalmente tienen mayor densidad energética. Su profundidad de descarga puede ser hasta del 80%.

### 3.3.5. DIMENSIONAMIENTO DE LA BATERÍA

Los parámetros para dimensionar una batería son:

a) Energía que debe abastecer diariamente; b) Autonomía que debe proporcionar durante periodos nublados y sin viento (periodo de tiempo en que no serán cargadas); c) Profundidad de descarga.

Ejemplo: Una batería capaz de abastecer 80 A-h por día con una autonomía de tres días debe tener una capacidad de:

- Si la batería es de ciclo ligero:  $C = (80 \times 3) / 0.2 = 1200 \text{ A-h}$
- Sí la batería es de ciclo profundo:  $C = (80 \times 3) / 0.8 = 300 \text{ A-h}$
- En este caso, se divide por 0,8; considerando un 80% de descarga de la batería, a diferencia del 20% considerado para la de ciclo ligero.

### 3.3.6 TIPOS DE BATERÍAS MÁS USADAS

En el mercado se encuentra varios tipos de baterías, indica Valentín (2012), [107]: « Las más utilizadas en aplicaciones Fotovoltaicas son las Pb-ácido y Ni-Cd».

#### 3.3.6.1 Baterías de Plomo-Acido

Son las baterías más empleadas en aplicaciones fotovoltaicas, éstas tienen la ventaja de ser más económicas que las formadas por otros compuestos. Su potencial comercial es muy elevado. Estas baterías se fabrican mediante diversas aleaciones de plomo con otro material, ya que el plomo puro es débil físicamente. Dependiendo del material con que se mezcle el plomo, resultará la profundidad de descarga de la batería. Dentro de la categoría plomo-ácido, las más comunes son las de plomo-antimonio, plomo-selenio y plomo-calcio. Otro factor que influye en la capacidad de la batería es la temperatura, si es menor se reduce la capacidad, si es mayor se incrementa la capacidad, pero

también a mayor temperatura se incrementan las pérdidas por evaporación de la batería reduciéndose así el número de ciclos y la vida útil. La temperatura del electrolito se debe mantener cercana a los 25°C, ya que ahí se alcanza el balance óptimo entre la eficiencia y la vida útil de este componente. (Aguilera, 2011)

#### 3.3.6.1.1 Baterías de Gel

Otro tipo de batería plomo-ácido es la denominada Gel en la que el ácido se encuentra en la ventaja de que son completamente selladas y pueden operar en cualquier posición sin regar ácido o gas. Debido a que el electrolito se mueve más lentamente, estas baterías no pueden tolerar altas tasas de carga y descarga. Su construcción sellada hace imposible verificar sus condiciones con un hidrómetro y su uso queda reducido a lugares donde se requieren pequeñas cantidades de energía y no cuenten con ventilación

#### 3.3.6.2 Baterías de Níquel-Cadmio (Ni Cd)

Estas celdas utilizan una base hidróxido de potasio como electrolito en lugar de ácido. Las baterías Ni Cd pueden sobrevivir a un congelamiento y descongelamiento sin sufrir daño, no son tan afectadas por las altas temperaturas como las plomo-ácido. Como ventaja pueden soportar, sin daño, cargas y descargas excesivas, así como una mayor profundidad de descarga (cerca del 100%). La auto-descarga es inicialmente elevada, pero disminuye con el tiempo, permitiendo largos períodos de almacenamiento con una retención considerable de la carga inicial. Tienen una mayor eficiencia con baja temperatura ambiente y soportan, sin problemas una alta combinación de temperatura y humedad ambiente (ideal para climas tropicales). El costo es alto en comparación a los otros tipos de baterías (cercano 6 a 8 veces el de una batería de Plomo-Acido). Tiene larga vida útil (20 años) y bajo mantenimiento. (Valentín 2012)

TABLA 31. Características de Tipos de Batería usadas en instalaciones Fotovoltaicas.

|   | Plomo-Acido no sellada<br>(Ciclo Profundo) | Plomo-Acido no sellada<br>(Ciclo Ligero) | Gel-Cell           | NiCd               |
|---|--|--|--------------------|--------------------|
| Profundidad de descarga                   | 40-80%                                     | 15-25%                                   | 15-25%             | 100%               |
| Autodescarga<br>por mes                   | 5%   | 1-4%                                     | 2-3%               | 3-6%               |
| Capacidad típica<br>AH/m <sup>3</sup>     | 35314                                      | 24720                                    | 8828               | 17660              |
| Rango de capacidades<br>AH/m <sup>3</sup> | 7062<br>a<br>50323                         | 5791<br>a<br>49000                       | 3672<br>a<br>16400 | 3630<br>a<br>34961 |
| Capacidad típica<br>AH/Kg                 | 12,11                                      | 10,13                                    | 4,85               | 11,10              |
| Rango de capacidades<br>AH/Kg             | 4,18<br>a<br>26,65                         | 2,42<br>a<br>20,26                       | 2,20<br>a<br>13,87 | 2,64<br>a<br>20,90 |
| Temperatura mínima<br>de operación °C     | -6,6                                       | -6,6                                     | -18,0              | -45,0              |

Fuente: (McGraw-Hill, 2012)

#### 4. PROPUESTA DE SISTEMA HÍBRIDO PARA LA VEREDA SELECCIONADA

Aquí se busca establecer de acuerdo a las necesidades individuales que se detectaron en la vereda Mata Negra (vereda sin cubrimiento energético de Yopal Casanare), un Sistema de Energía Híbrido Renovable con la integración de Tecnologías Eólico -Solar, bajo las condiciones macro para el desarrollo del plan (estructuras de suministro, perfil de la carga específica del usuario, cantidad de nivel de radiación solar y recurso eólico con el que cuenta).

##### 4.1 SUMINISTRO

###### 4.1.1 TIPO DE ESTRUCTURA DE SUMINISTRO PARA LA VEREDA MATA NEGRA

Aquí se considera la información recopilada para analizar la viabilidad de las tecnologías del sistema Híbrido Renovable propuesto, y se mira el área sin energización elegida en el municipio de Yopal – Casanare, el cual fue la Vereda ‘Mata Negra’ del corregimiento Quebrada Seca.

Se vio que este corregimiento cuenta con las veredas de San José de Caño Seco, Quebrada Seca y Mata Negra, se recuerda que la última es elegida, porque es en especial reportada por la empresa de energía de Yopal como un sitio sin energía, además de poseer comparativamente mejores características meteorológicas para la instalación de las tecnologías renovables propuestas.

Se detallará más adelante la proyección de energía aproximada dada por vivienda, basado en el consumo residencial de los equipos que especularon algunos habitantes que tendrían con el suministro de energía en la Vereda Mata Negra de acuerdo a la visita realizada, especialmente nombraron electrodomésticos como: TV, Licuadora, Cargador de celular, Bombillos, Computador, Equipo de Sonido, Refrigerador pequeño, Radio.

Por otra parte, se informó que la población actual de Mata Negra es aprox. de 60 habitantes, con aproximadamente 20 familias, se detallaron entre 20 latifundios, fincas y viviendas, cada uno con 300-700 Hectáreas aproximadamente.

Como criterio de diseño propio de acuerdo a estos datos obtenidos se opta como mejor opción, elegir para el tipo de estructura que llevara el sistema híbrido un sistema distribuido para cada latifundio, finca o vivienda, considerando que una micro-red renovable tendría un costo bastante elevado y teniendo en cuenta la cantidad de distancia entre cada vivienda existente que no haría rentable una red entre las viviendas de la vereda.

Como punto principal se considera que la tecnología vital de abastecimiento de las viviendas se hará con Instalaciones Solares Fotovoltaicas y estas por tanto serán autónomas para cada vivienda, produciendo así electricidad sin ningún tipo de conexión a la red eléctrica pero dotaran de energía al lugar donde se encuentren ubicadas.

#### 4.1.2 CONSUMO DE ELECTRODOMESTICOS HABITUALES EN UN HOGAR

A continuación se muestra la tabla 32 con el consumo de potencia y energía mensual general de electrodomésticos promedio de acuerdo a la cantidad de horas promedio de su uso en hogares comunes:

| TABLA 32. Potencia y Consumo de Electrodomésticos en un Hogar |                          |                    |                          |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------------|
| <b>Electrodomésticos Generales en un Hogar</b>                | <b>Potencia [Watts]*</b> | <b>Uso [horas]</b> | <b>Consumo [KWh/mes]</b> |
| Bombilla ahorradora   | 20                       | 5                  | 3                        |
| Bombilla incandescente  | 100                      | 5                  | 15                       |
| Televisor 22"   | 60                       | 10                 | 18                       |



|                        |      |    |     |
|------------------------|------|----|-----|
| Televisor convencional | 125  | 10 | 30  |
| Equipo de sonido       | 150  | 2  | 6   |
| Radio                  | 11   | 4  | 6   |
| Computador             | 50   | 4  | 68  |
| Lavadora doméstica     | 450  | 5  | 9   |
| Horno microondas       | 770  | 1  | 23  |
| Plancha                | 1000 | 5  | 22  |
| Nevera 10-12 pies      | 130  | 12 | 47  |
| Licuadaora             | 300  | 2  | 2.4 |

(\*Fuente: <http://ecodesarrollo.cl/portal1/>)

#### 4.1.3 POTENCIA, ENERGÍA Y CONSUMO DE ELECTRODOMÉSTICOS ESTIMADO EN LA VEREDA MATA NEGRA

En la siguiente tabla 33 se detalla el consumo de potencia, energía y consumo mensual de los electrodomésticos que desean instalar los habitantes de la vereda de acuerdo a una cantidad de horas promedio estimada de su uso:

| TABLA 33. Potencia, Energía y Consumo Estimado por Vivienda (Mata Negra) |                        |          |  |                              |  |                             |
|--|------------------------|----------|--|------------------------------|--|-----------------------------|
| Equipo #   | Descripción del equipo | Cantidad | Potencia nominal especificada por la placa (W) | Tiempo de Operación (hr/día) | Energía Consumida (Wh/día)               | Consumo [Wh/mes]            |
| 1  | Licuadaora             | 1        | 300  | 0,20                         | 75                                       | 2250                        |
| 2  | Televisor convencional | 1        | 125  | 8                            | 1000                                     | 30000                       |
| 3  | Bombilla ahorradora    | 10       | 20   | 5,7                          | 1140                                     | 36000                       |
| 4  | Computador             | 1        | 50   | 4                            | 200                                      | 6000                        |
| 5  | Equipo de sonido       | 1        | 150  | 2                            | 300                                      | 9000                        |
| 6  | Cargador Celular       | 2        | 13   | 4                            | 104                                      | 3120                        |
| 7  | Radio                  | 2        | 11   | 7                            | 154                                      | 4620                        |
| 8  | Nevera 10-12 Pies      | 1        | 130  | 6                            | 780                                      | 23400                       |
| <b>TOTAL</b>   |                        |          | <b>P<sub>necAC</sub> [W] =<br/>799 [W]</b>     |                              | <b>E<sub>T</sub>=<br/>3,738[kWh/día]</b> | <b>114,39<br/>[kWh/mes]</b> |

#### 4.1.4 PERFIL DE CARGA ESTIMADO POR USUARIO EN LA VEREDA MATA NEGRA

Se proyectó una tabla sobre el horario y uso de la energía proyectada por vivienda en la vereda:

Tabla 34. Consumo de Energía de Electrodomésticos esperados en Mata Negra

| Hora          | Licadora | TV  | Bombillo | Computador | Sonido | Carga Cel. | Radio | Refrigera | Curva de Carga [Wh] |
|---------------|----------|-----|----------|------------|--------|------------|-------|-----------|---------------------|
| 12:00:00 a.m. |          |     |          |            |        |            |       |           | 0                   |
| 01:00:00 a.m. |          |     |          |            |        |            |       |           | 0                   |
| 02:00:00 a.m. |          |     |          |            |        |            |       |           | 0                   |
| 03:00:00 a.m. |          |     |          |            |        |            |       |           | 0                   |
| 04:00:00 a.m. |          |     | 120      |            |        |            | 22    |           | 142                 |
| 05:00:00 a.m. |          |     | 120      |            |        |            | 22    |           | 272                 |
| 06:00:00 a.m. |          |     | 80       |            |        |            | 22    | 170       | 232                 |
| 07:00:00 a.m. |          |     |          |            |        |            | 22    |           | 22                  |
| 08:00:00 a.m. |          |     |          |            |        |            | 22    |           | 22                  |
| 09:00:00 a.m. |          |     |          |            |        | 26         |       |           | 26                  |
| 10:00:00 a.m. |          |     |          | 50         |        | 26         |       |           | 76                  |
| 11:00:00 a.m. |          | 125 |          | 50         |        |            |       |           | 175                 |
| 12:00:00 p.m. | 60       | 125 |          |            |        |            |       | 170       | 315                 |
| 01:00:00 p.m. |          | 125 |          |            |        |            |       | 170       | 255                 |
| 02:00:00 p.m. |          | 125 |          |            |        |            |       |           | 125                 |
| 03:00:00 p.m. |          |     |          | 50         |        |            | 22    |           | 72                  |
| 04:00:00 p.m. |          |     |          | 50         |        |            | 22    |           | 72                  |
| 05:00:00 p.m. |          |     |          |            | 150    |            |       |           | 150                 |
| 06:00:00 p.m. |          |     | 120      |            | 150    |            |       |           | 270                 |
| 07:00:00 p.m. |          | 125 | 200      |            |        |            |       |           | 455                 |
| 08:00:00 p.m. |          | 125 | 200      |            |        | 26         |       | 170       | 481                 |
| 09:00:00 p.m. |          | 125 | 200      |            |        | 26         |       |           | 351                 |
| 10:00:00 p.m. |          | 125 | 100      |            |        |            |       |           | 225                 |
| 11:00:00 p.m. |          |     |          |            |        |            |       |           | 0                   |

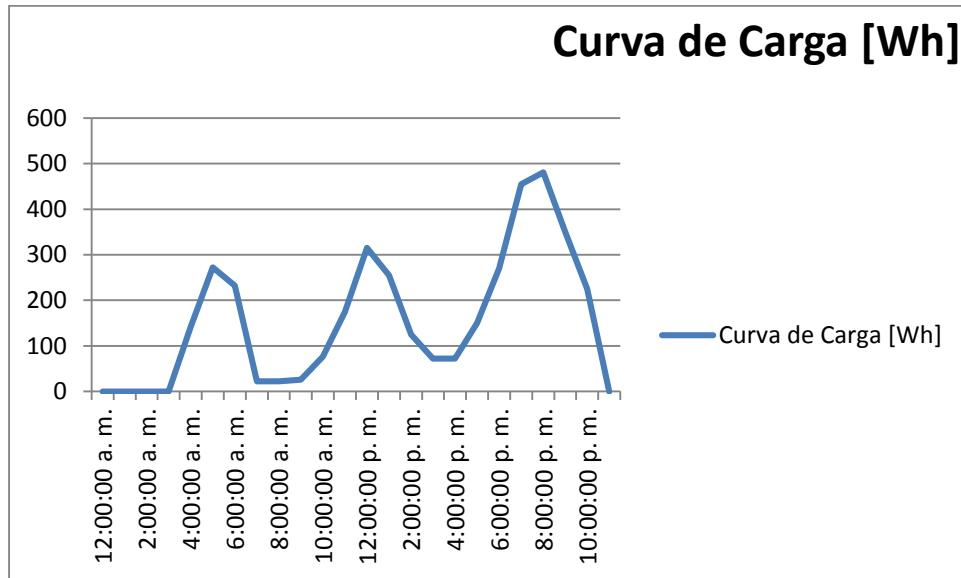


Figura 83. Perfil de Carga Proyectada por Vivienda - Vereda Mata Negra

## 4.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS YOPAL

### 4.2.1 RECURSO ENERGÉTICO PROMEDIO ANUAL EN EL MUNICIPIO

En la zona de la Orinoquia según el mapa de la radiación y el mapa de brillo solar, la radiación solar promedio anual es de  $4,5 \frac{kWh}{día}$  y las horas de brillo solar promedio anual son 5 h , por tanto el potencial energético promedio anual en el día en Yopal es de :

$$(4,5 \frac{kWh}{día}) * (5h) = 22,5 \frac{kWh}{día}$$

### 4.2.2 ENERGÍA TOTAL REQUERIDA EN LA VEREDA MATA NEGRA

Anteriormente se vio según la tabla 35 que se requiere una energía de  $3,738 \frac{kWh}{día}$  por cada vivienda en la vereda Mata Negra y para obtener la Energía total requerida (  $E_T$  ) se debe corregir la demanda de energía, teniendo en cuenta las pérdidas del inversor y el regulador, como se muestra a continuación con la siguiente fórmula:

$$E_T = \left( \frac{E_{dc}}{N_{reg}} + \frac{E_{ac}}{N_{reg} * N_{inv}} \right)$$

Dónde,

$E_T$ : Energía Total Requerida kWh

$E_{DC}$ : Consumo de Energía en corriente directa kWh

$E_{AC}$ : Consumo de energía en corriente alterna kWh

$N_{REG}$ : Eficiencia del regulador 80%

$N_{INV}$ : Eficiencia del inversor 90%

Por tanto la eficiencia del inversor  $N_{INV}=0,9$  y la eficiencia del regulador  $N_{REG}= 0,8$ . Al desarrollar la fórmula no se tomaran en cuenta cargas que funcionen directamente con corriente directa (DC), debido a la dificultad para conseguir equipos (luminarias, electrodomésticos) que funcionen con dicha característica.

Resolviendo:

$$E_T = \left( \frac{E_{dc}}{N_{reg}} + \frac{E_{ac}}{N_{reg} * N_{inv}} \right) = \frac{3,738 \frac{kWh}{día}}{0,8 * 0,9}$$

$$E_T = 5,191 \frac{kWh}{día}$$

Por tanto la Energía total requerida en la vereda Mata Negra es  $5,191 [kWh/día]$

#### 4.2.3 POTENCIA DEL GENERADOR

Esta se refiere a la potencia real requerida ó pico necesaria para abastecer el consumo en la zona elegida para la aplicación del proyecto. Para el cálculo de la potencia del generador se aplica un factor de seguridad para sobredimensionar el sistema, incrementando la potencia con un 20%, como se muestra a continuación:

$$P_{GEN} = \frac{E_t}{h_{BS}} + 0,2 \frac{E_t}{h_{BS}}$$

$$P_{GEN} = 1,2 \left( \frac{E_t}{h_{BS}} \right)$$

Donde,

$P_{GEN}$  = Potencia del Generador

$E_T$  = Energía Total Requerida Área de Interés

$h_{BS}$  = horas de Brillo Solar

Resolviendo la fórmula anterior, se tomó el promedio de horas menor de brillos solar anual en el área de interés, según el atlas de brillo solar de Colombia Yopal esta entre 5h-6h de brillo solar, por tanto:

$$P_{GEN} = 1,2 \left( \frac{E_t}{h_{BS}} \right) = 1,2 \left( \frac{5,19 \frac{kWh}{día}}{5 h} \right)$$

$$P_{GEN} = 1,245k [W]$$

Por tanto la Potencia necesaria para suministrar el consumo en la vereda Mata Negra es de

1,245kW

156

#### 4.2.4 TENSIÓN NOMINAL DE LAS CELDAS FOTOVOLTAICAS

Como criterio para saber la tensión que debe usar cada una de las celdas se compara de acuerdo al dato de potencia demanda en la vereda, como se ve a continuación:

- Potencias Inferiores a 1500W,  $V_n = 12[V]$
- Potencias comprendidas entre 1500W y 5000W,  $V_n = 24[V]$  ó  $48[V]$

Entonces según este criterio al ser la Potencia demanda en la Vereda Mata Negra de 1245 [W], se deduce que la Tensión Nominal del sistema deberá ser de  $V_n = 12V$ .

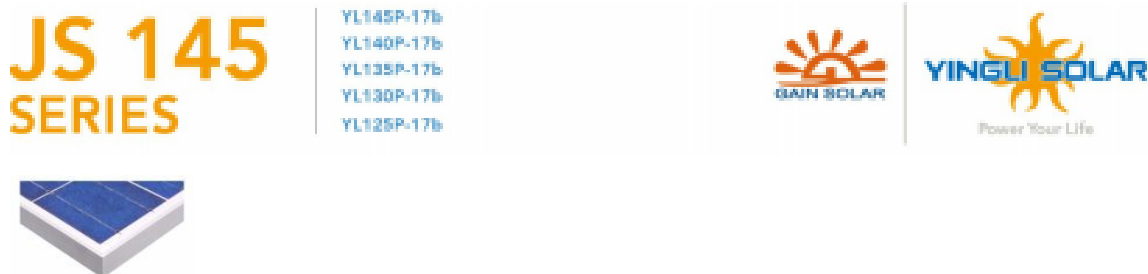
#### 4.2.5 ARREGLO DE PANELES SOLARES NECESARIOS

Para la elección de las celdas fotovoltaicas se observaron varios catálogos en empresas colombianas como: DMC solar, Hybritec, Alta Ingeniería XXI, Aprotect, Cercas y Corrales del Campo, y en San Francisco EEUU: Civic Solar, donde aclaran que no incluye cargo de envío, el cual se haría desde Miami.

Luego se calculó el precio para cada celda según inventarios de acuerdo a: Tensión nominal del sistema (en este caso  $V_n = 12V$ ), y Potencia suministrada por cada celda de acuerdo con la tensión nominal requerida.

Para cada una de las celdas que cumplían con las características anteriores, se establece el número de ellas para cubrir la potencia necesaria en la vereda mata negra (1,245kW), así se determinan los paneles, y luego se calcula el costo real que tendrían en el área de interés la cantidad de paneles requeridos. Prosiguiendo a buscar según los paneles, datos de costo real y marca que ofrecen los proveedores, las fichas técnicas o el datasheet, donde se compara también la eficiencia de las celdas consideradas como la mejor opción:

Se es cogió la celda \*145W Yingli, al ser una marca confiable, y tener comparativamente con las demás, un numero no muy alto de celdas, precio con costo adsequible de los paneles y buena eficiencia según su ficha técnica que aparece en la Fig.84



## ELECTRICAL PERFORMANCE

| Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC) |                  |   |                      |        |        |        |        |
|---|------------------|---|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Module name   |                  |   | JS 145               | JS 140 | JS 135 | JS 130 | JS 125 |
| Module type   |                  |   | YLxxxP-17b(XXX=Pmax) |        |        |        |        |
| Power output  | $P_{max}$        | W | 145                  | 140    | 135    | 130    | 125    |
| Power output tolerances                                 | $\Delta P_{max}$ | % | +/- 5                |        |        |        |        |
| Module efficiency                                       | $\eta_m$         | % | 14.50                | 14.0   | 13.50  | 13.00  | 12.50  |
| Voltage at $P_{max}$                                    | $V_{mp}$         | V | 18.20                | 18.00  | 17.80  | 17.50  | 17.30  |
| Current at $P_{max}$                                    | $I_{mp}$         | A | 7.99                 | 7.77   | 7.60   | 7.42   | 7.21   |
| Open-circuit voltage                                    | $V_{oc}$         | V | 22.50                | 22.30  | 22.00  | 21.70  | 21.50  |
| Short-circuit current                                   | $I_{sc}$         | A | 8.47                 | 8.3    | 8.12   | 8.00   | 7.74   |

STC: 1000W/m<sup>2</sup> irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.  
Average relative efficiency reduction of 5% at 200W/m<sup>2</sup> according to EN 60904-1.

| Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) |           |   |        |        |        |        |        |
|--|-----------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Power output   | $P_{max}$ | W | 117.50 | 113.40 | 109.40 | 105.30 | 101.30 |
| Voltage at $P_{max}$   | $V_{mp}$  | V | 16.70  | 16.60  | 16.40  | 16.10  | 16.00  |
| Current at $P_{max}$   | $I_{mp}$  | A | 6.4    | 6.26   | 6.12   | 5.96   | 5.78   |
| Open-circuit voltage   | $V_{oc}$  | V | 20.40  | 20.30  | 20.00  | 19.70  | 19.50  |
| Short-circuit current  | $I_{sc}$  | A | 6.78   | 6.64   | 6.5    | 6.4    | 6.19   |

NOCT: open-circuit module operation temperature at 800W/m<sup>2</sup> irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

Figura 84 . Características Eléctricas del Panel Yingli 145 [W], 12[V]

(Fuente: Hybritec)

Para el proyecto se requerirá en el esquema de conexión un arreglo fotovoltaico que quede con un total de 9 celdas solares configuradas en paralelo. Así se garantiza que finalmente el sistema quede con una tensión de 12 [V], entregando una corriente aproximadamente de 105 [A].

### 4.2.6 DIMENSIONAMIENTO DE LAS BATERÍAS

Para hallar la capacidad total  $C_T$  de la batería, se usa la siguiente fórmula:

$$C_T = \frac{1,1 * E_t * A}{P_{Dmax} * V_n}$$

Donde,

$C_T$ : Capacidad total de las baterías [Ah]

$E_T$ : Energía total requerida del mes más desfavorable [kWh]

$P_{Dmax}$ : Profundidad de descarga máxima de la batería %

$V_n$ : Tensión nominal de la instalación [V]

$A$ : Autonomía de la instalación [días]

A consideración del diseñador se elige el porcentaje que llevara la Profundidad de Descarga Máxima  $P_{D_{MAX}}$ , en este caso se consideró 60%, es decir de 0.6 puesto que la vida útil de la batería disminuye si es mayor al 70%, de igual forma se escoge la Autonomía de la Instalación (tiempo en que la batería

suple por si sola la generación), así se consideró apropiado un A: de 2 días y un factor de seguridad de 10%.

Resolviendo:

$$C_T = \frac{1,1 * E_t * A}{P_{Dmax} * V_n} = \frac{1,1 * 5191 * 2}{0,6 * 12} = 1464,12 \text{ [Ah]}$$

Se hizo revisión de la información enviada por los proveedores con el objetivo de decidir cuál es la batería más conveniente en términos técnicos y económicos, se escogió la batería MTEK con tensión nominal de 12 V y Capacidad (C10) de 205 [Ah].

|   |              |                            |
|---|--------------|----------------------------|
| Nominal Voltage                           |              | 12 V                       |
| Capacity(10HR, 25°C)                      |              | 205 Ah                     |
| Dimension                                 | Length       | 522mm (20.55inch)          |
|   | Width        | 238mm (9.37inch)           |
|   | Height       | 218mm (8.58inch)           |
|   | Total Height | 221mm (8.70inch)           |
| Approx. Weight                            |              | 65kg (143lbs)              |
| Internal resistance (Fully charged, 25°C) |              | Approx. 3.5m Ω             |
| Capacity affected by temperature (10HR)   | 40°C         | 102%                       |
|   | 25°C         | 100%                       |
|   | 0°C          | 85%                        |
|   | -15°C        | 65%                        |
| Self-discharge (25°C)                     | 3 month      | Remaining Capacity: 91%    |
|   | 6 month      | Remaining Capacity: 82%    |
|   | 12 month     | Remaining Capacity: 65%    |
| Nominal operating temperature             |              | 25°C ± 3°C (77°F ± 5°F)    |
| Operating temperature range               |              | -15°C ~ 50°C (5°F ~ 122°F) |
| Float charging voltage(25°C)              |              | 13.50 to 13.80V            |
| Cyclic charging voltage(25°C)             |              | 14.50 to 14.90V            |
| Maximum charging current                  |              | 60A                        |
| Terminal material                         |              | Copper                     |
| Maximum discharge current                 |              | 1500A(5 sec.)              |

Figura 85. Especificaciones Técnicas Batería MTEK 205 [Ah]

#### 4.2.6.1 Número de Baterías Serie

El número de baterías conectadas en serie se calcula como el cociente entre el voltaje nominal de la instalación y el voltaje nominal de las baterías. La batería escogida tiene una tensión nominal de 12 [V], por lo tanto:

$$N_{BS} = \frac{V_n}{V_{nbat}}$$

Donde,

$N_{BS}$ = Numero de baterías conectadas en Serie

$V_n$ = Tensión Nominal del sistema

V<sub>bat</sub>= Tensión de la batería

Resolviendo:

$$N_{BS} = \frac{12 [V]}{12 [V]}$$

$$N_{BS} = 1$$

Por lo tanto se tiene 1 batería en serie.

#### 4.2.6.2 Número de Baterías Paralelo

Se toma como capacidad total  $C_T=1464,12$  [Ah], entonces el número total de baterías en paralelo  $N_{BP}$  está dado por:

$$N_{BP} = \frac{C_t}{C_{100}} = \frac{C_t}{1,34 * C_{10}}$$

Donde,

$N_{BP}$ =Número de baterías en paralelo

$C_{10}$ = Capacidad de corriente de la batería elegida [Ah]

Resolviendo:

$$N_{BP} = \frac{C_t}{1,34 * C_{10}} = \frac{1464,12 [Ah]}{1,34 * 205 [Ah]}$$

$$N_{BP} = 5,32 = 6$$

Por lo tanto se tiene 6 baterías en paralelo.

Para poder comprobar que la batería se ha dimensionado bien la relación se debe cumplir:

$$25 * I_{cc} > 1,17 * C_{10}$$

Dónde:

$I_{cc}$ : Corriente de cortocircuito de los paneles solares [A].

$C_{10}$ : Capacidad de la batería [Ah]

Resolviendo:

$$25 * 8,47 [A] < 1,17 * 205 [A]$$

$$211,75 [A] < 239,85 [A]$$

Así se comprueba que la batería de 205 [Ah] cumple con todos los criterios de dimensionamiento y mirando los precios de las cotizaciones es un poco más barata que las demás.

#### 4.2.6.3 Número Total de Baterías



Para calcular el número total de baterías requeridas por el sistema solar fotovoltaico, basta con multiplicar el número de baterías requeridas en serie por el número de baterías requeridas en paralelo como se muestra:

$$N_{TB} = N_{BS} * N_{BP} = 1 * 6 = 6$$

Por lo tanto, el conjunto será de un módulo de 12 Volts nominales, arreglado en series 6 paralelas de 1 módulo ó dicho de otra forma un banco de baterías con 6 baterías conectadas en paralelo.

#### 4.2.7 DIMENSIONAMIENTO REGULADOR O CONTROLADOR DE CARGA

Para calcular la corriente del Regulador  $I_{REG}$ , primero se calcula la corriente total entregada por el arreglo de paneles fotovoltaicos, con la siguiente fórmula:

$$I_{GEN} = N_{PP} * I_{MP}$$

$$I_{GEN} = 9 * 7,99 \text{ [A]}$$

$$I_{GEN} = 71,91 \text{ [A]}$$

Donde,

$I_{GEN}$ : Corriente total entregada por el arreglo de paneles fotovoltaicos [A].

$N_{PP}$ : Número de paneles en paralelo

$I_{MP}$ : Corriente en el punto de max potencia  $I_{sc}$  [A].

La corriente nominal del regulador ( $I_{REG}$ ) se halla sobredimensionando la corriente total del arreglo de paneles fotovoltaicos con un margen del 25 % por seguridad, por lo tanto la corriente nominal del regulador es:

$$I_{REG} = 1,25 * I_{GEN}$$

$$I_{REG} = 1,25 * 71,91 \text{ [A]}$$

$$I_{REG} = 89,89 \text{ [A]}$$

El regulador se escoge de acuerdo a la  $I_{REG} = 89,89 \text{ [A]}$

Y se dijo que la potencia es de 1,245 k[W] y que se necesitan 9 paneles 145 [W] de 12 Volts nominales para suministrar el consumo en la vereda Mata Negra, al revisar los catálogos según la corriente hallada del regulador, no hay un regulador mayor a 80A, por tanto se necesitan dos reguladores, así se separan los circuitos en dos:

En el circuito 1: se dispondrá de cinco paneles y en el circuito 2: se ubicaran cuatro paneles.

Procediendo a dimensionar la corriente nominal del regulador ( $I_{REG}$ ) en cada circuito, es decir con el margen del 25 % respectivamente, como se muestra:

#### Circuito 1

$$I_{GEN1} = N_{PP} * I_{MP} = 5 * 7,99 \text{ [A]} = 39,95 \text{ [A]}$$

$$I_{REG1} = 1,25 * I_{GEN} = 1,25 * 39,95 \text{ [A]} = 49,93 \text{ [A]}$$

#### Circuito 2

$$I_{GEN2} = N_{PP} * I_{MP} = 4 * 7,99 \text{ [A]} = 31,96 \text{ [A]}$$

$$I_{REG2} = 1,25 * I_{GEN} = 1,25 * 31,96 \text{ [A]} = 39,95 \text{ [A]}$$

Finalmente, se escoge el regulador aproximado para cada circuito, en el circuito 1 de corriente Nominal de  $I_{REG1} = 50 \text{ [A]}$  y el regulador del circuito 2 de corriente  $I_{REG2} = 40 \text{ [A]}$ , ambos con la tensión nominal del sistema de  $V_n = 12 \text{ [V]}$ , a continuación se muestra en las Figs.89 y 90 los controladores elegidos en el mercado de acuerdo a los parámetros de corriente calculados y comparación de precios de equipos candidatos:



- REFERENCIA: MPPT 75/ 50
- MARCA: VICTRON
- Tensión del Sistema: 12 V
- Máxima Corriente de la Batería: 50 A
- Autoconsumo: 10 mA
- Eficiencia típica: 98%

Figura 86. Especificaciones Eléctricas Controlador VICTRON 50 [A]


|   |                                 |                               |
|---|---------------------------------|-------------------------------|
|  | <b>Technical Specifications</b> |                               |
|   | Technology:                     | PWM                           |
|   | System Voltage:                 | 12Volts<br>24Volts<br>48Volts |
|   | Max Input Voltage:              | 125Volts                      |
|   | Max. PV Input Current:          | 85Amps                        |
|   | Max. Output Current:            | 40Amps                        |
| <b>Mechanical Data &amp; Components</b>   |                                 |                               |
| Dimensions:   | 3 x 10 x 5                      |                               |
| Weight:   | 2.5                             |                               |

Figura 87. Especificaciones Eléctricas Controlador XANTRES 40 [A]

#### 4.2.8 DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR

El uso de los equipos o electrodomésticos que se desean instalar para los usuarios de acuerdo a sus necesidades energéticas AC, varían en el momento de su uso con un factor de coincidencia 0,5 y 0,75. Así el criterio para el rango en el que debe estar la potencia del generador se determina con la siguiente fórmula:

$$0,75 \sum P_{necAC} \geq P_{INV} \geq 0,5 \sum P_{necAC}$$

Donde,

$P_{INV}$ : Potencia del Inversor

$P_{necAC}$ : necesidades en corriente alterna ó potencia total instalada [W]


Resolviendo:

$$0,75 * 799 [W] \geq P_{INV} \geq 0,5 * 799 [W]$$

$$599,25 [W] \geq P_{INV} \geq 399,5 [W]$$

La anterior solución equivale al rango en el que debe estar la  $P_{NOM}$  del inversor.

Finalmente se seleccionó el inversor Xantrex 400-600 [W], el cual cumple con la condición del rango de potencia y tensión de salida del sistema. A continuación se presenta en la Fig. 88 algunas características del inversor:



Xantrex Technology USA Inc.

| Electrical Specifications                    |                    |
|--|--------------------|
|  | <b>400 W</b>       |
| Continuous AC output power                   | 320 W              |
| 5 minutes AC output power                    | 400 W              |
| Maximum AC output surge power                | 700 W              |
| AC output voltage (nominal)                  | 115 VAC            |
| AC output frequency                          | 60 +/- 1 Hz        |
| AC output waveform                           | Modified sine wave |
| Battery drain with no AC load (at 12V input) | 0.25 A             |
| Efficiency (maximum)                         | 90%                |
| DC input voltage range                       | 10.5-15.5 VDC      |
| Low battery alarm trigger point (nominal)    | 11.0 V             |
| Low battery shut down point (nominal)        | 10.5 V             |
| High battery shut down point (nominal)       | 15.5 V             |

Figura 88. Especificaciones Eléctricas Inversor Xantrex 400[W]

#### 4.2.9 DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

Los conductores de los sistemas fotovoltaicos son de cobre pues tienen un 30% menos resistencia que los conductores de aluminio. El dimensionado de los conductores en los sistemas solares fotovoltaicos es importante para que el sistema funcione de forma eficiente y tenga una larga vida útil. Según la Norma 2050 [108]: « Hay que considerar las caídas de tensión máximas permisibles en los diferentes circuitos acuerdo al Ítem 430-72 para la protección y correcta utilización de los calibres de los conductores. Bajo estos parámetros se diseñan los conductores del sistema fotovoltaico como se muestra en la siguiente tabla 35:

TABLA 35. Guía general para caídas máximas de tensión

| Circuito                    | Caída Max de Tensión % [ $\delta$ ] |
|-----------------------------|-------------------------------------|
| Modulo → Regulador 1 y 2    | < 3%                                |
| Regulador 1 y 2 → Batería   | < 1%                                |
| Regulador 1 y 2 → Cargas DC | < 5%                                |
| Batería → Inversor          | < 1%                                |
| Inversor → Cargas AC        | < 5%                                |

Fuente: (Style, 2012)

La longitud de los tramos para los diferentes circuitos del sistema solar fotovoltaico para el proyecto en la Vereda Mata Negra se tomó como se muestra a continuación:

| TABLA 36. Longitud de Tramos de los circuitos Conductores |              |
|---|--------------|
| Tramo   | Longitud [m] |
| Modulo → Regulador 1-2                                    | 6            |
| Regulador1 → Baterías                                     | 1,5          |
| Regulador2 → Baterías                                     | 1,5          |
| Baterías → Inversor                                       | 2            |
| Inversor → Cargas AC                                      | 12           |

#### 4.2.9.1 Longitud del Tramo Modulo – Regulador

Para calcular el calibre del conductor que va desde los paneles fotovoltaicos hasta los reguladores de carga en el circuito 1 y 2, se usa la fórmula:

$$S_{1,2} = \frac{2 * \rho * I_{REG} * L}{\delta * V_{mp}}$$

Dónde:

$\rho$ : Resistividad del cobre 0,021 [ $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ] a 70°C

L: Longitud del conductor [m]

$\delta$ : Máxima caída de tensión permitida en el módulo - regulador [%]

$V_{mp}$ : Tensión en punto de máxima potencia [V]

$I_{REG}$ : Corriente del regulador [A]

✓ Resolviendo , para hallar la longitud el circuito del Tramo Modulo - Regulador 1:

$$S_1 = \frac{2 * 0,021 \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right] * 39,95 \text{ [A]} * 6 \text{ [m]}}{0,03 * 18,20 \text{ [V]}} = 18,438 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Según la tabla 310-16 (norma NTC-2050), el conductor de cobre que se requiere es THW-AW 4 AWG, con capacidad de corriente de la acometida o alimentador 100[A]

✓ Resolviendo , para hallar la longitud del circuito del tramo Modulo -Regulador 2:

$$S_2 = \frac{2 * 0,021 \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right] * 49,93 \text{ [A]} * 6 \text{ [m]}}{0,03 * 18,20 \text{ [V]}} = 23,0446 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Según la tabla 310-16 (norma NTC-2050), el conductor de cobre que se requiere es THW-AW 3 AWG, con capacidad de corriente de la acometida o alimentador 110[A]

#### 4.2.9.2 Longitud del Tramo Regulador-Batería

Para calcular el calibre del conductor del tramo que va del regulador a las baterías se usa la fórmula:

$$S = \frac{2 * \rho * I_{reg} * L}{\delta * V_{mp}}$$

Donde,

$\rho$ : Resistividad del cobre 0,021 [ $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ] a 70°C

L: Longitud del conductor [m]

$\delta$ : Máxima caída de tensión permitida en el regulador - batería [%]

$V_{mp}$  : Tensión en punto de máxima potencia [V]

$I_{REG}$  : Corriente del regulador [A]

✓ Resolviendo, para el circuito del Regulador 1 a las Baterías

$$S1 = \frac{2 * 0,021 \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right] * 39,95 \text{ [A]} * 8 \text{ [m]}}{0,01 * 18,20 \text{ [V]}} = 73,753 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Según la tabla 310-16 (norma NTC-2050), el conductor de cobre que se requiere es THW-AW 3/0 AWG, con capacidad de corriente de la acometida o alimentador 225 [A]

✓ Resolviendo , para el circuito del Regulador 2 a las Baterías

$$S2 = \frac{2 * 0,021 \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right] * 49,93 \text{ [A]} * 8 \text{ [m]}}{0,01 * 18,20 \text{ [V]}} = 92,178 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Según la tabla 310-16 (norma NTC-2050), el conductor de cobre que se requiere es THW-AW 4/0 AWG, con capacidad de corriente de la acometida o alimentador 200 [A].

#### 4.2.9.3 Longitud del Tramo Batería-Inversor

Para el cálculo de la intensidad de corriente máxima que circula por la entrada al inversor dependerá de la potencia en alterna ( $P_{AC}$ ) máxima que puede entregar el inversor a las cargas que alimenta y de su rendimiento ( $\eta_{inv} = 0,93$ ):

$$I_{AC} = \frac{P_{ninv}}{V * \cos \alpha}$$

Donde,

$I_{AC}$ : Corriente alterna del inversor [A]

$P_{Ninv}$ : Potencia nominal del inversor [W]

V: Tensión en corriente salida alterna del inversor [V]

Cos  $\alpha$ : Factor de potencia

Para los sistemas fotovoltaicos se asume un factor de potencia Cos  $\alpha = 1$ , por lo tanto la corriente

$I_{AC}$ , resolviendo:

$$I_{AC} = \frac{400 [VA]}{115[V]*1} = 3,478 [A]$$

Finalmente se calcula la corriente directa (DC) con:

$$I_{DC} = \frac{I_{ac}}{\eta_{inv}}$$

Donde,

$I_{AC}$ : Corriente alterna del inversor [A]

$\eta_{Inv}$ : Eficiencia del inversor [%]

$I_{DC}$ : Corriente a la entrada del inversor [A]

Resolviendo,

$$I_{DC} = \frac{I_{ac}}{\eta_{inv}} = \frac{3,478 [A]}{0,93} = 3,74 [A]$$

Finalmente, para calcular el calibre del conductor que va de las baterías al regulador se usa la fórmula:

$$S_{BATREG} = \frac{2 * \rho * I_{dc} * L}{\delta * V_{mp}}$$

Donde,

$\rho$ : Resistividad del cobre 0,021 [ $\Omega mm^2 / m$ ] a 70°C

L: Longitud del conductor [m]

$\delta$ : Máxima caída de tensión permitida en la batería – inversor [%]

$V_{mp}$ : Tensión en punto de máxima potencia [V]

$I_{DC}$ : Corriente directa del inversor [A]

Resolviendo:

$$S_{BATREG} = \frac{2 * 0,021 \left[ \frac{\Omega \text{mm}^2}{m} \right] * 3,74 \text{ [A]} * 2 \text{ [m]}}{0,01 * 18,20 \text{ [V]}} = 6,904 \text{ mm}^2$$

Según la tabla 310-16 (norma NTC-2050), el conductor de cobre que se requiere es THW-AWG 8, con capacidad de corriente de la acometida o alimentador 20 [A].

#### 4.2.9.4 Longitud del Tramo Inversor – Cargas DC

Para calcular el calibre del conductor que va del inversor al tablero de distribución se usa la siguiente fórmula, en el cual se tiene en cuenta la tensión de las cargas que se van a alimentar y el factor de potencia, que en el caso general es de 0.9 para instalaciones residenciales.

$$I_{AC} = \frac{P_{ac}}{V_{ac} * \text{Cos}\alpha}$$

Donde,

$I_{AC}$ : Corriente alterna del inversor [A]

$P_{ac}$ : Potencia alterna en la salida del inversor [W]

$V_{ac}$ : Tensión alterna en la salida del inversor [V]

$\text{Cos } \alpha$ : Factor de potencia

Resolviendo:

$$I_{AC} = \frac{P_{ac}}{V_{ac} * \text{Cos}\alpha} = \frac{400 \text{ [V A]}}{115 \text{ [V]} * 0,9} = 3,864 \text{ [A]}$$

Según la tabla 310-16 (norma NTC-2050) el conductor de cobre requerido es THW-AWG 14, el cual soporta una corriente de 15 A.

### 4.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA CON AEROGENERADOR-YOPAL

#### 4.3.1 CONSIDERACIONES DEL DISEÑO PRELIMINAR EN LA VEREDA MATA NEGRA

En el diseño hecho para el Sistema Híbrido, los cálculos de cubrimiento del perfil de carga del usuario de la vereda Mata Negra están contemplados totalmente e individualmente por la tecnología



fotovoltaica y la tecnología Eólica, pues cada solución se planteó para que de forma individual pudiera suplir la demanda total de energía, asegurando la confiabilidad del sistema cuando haya variaciones de brillo solar ó viento significativas, de igual forma las baterías se tomaron en este proyecto como una tecnología complementaria, en periodos donde hayan variaciones de las dos tecnologías ya muy bajas o nulas.

Para implementar una tecnología eólica se consideró como punto a favor que este sistema tiene la ventaja de que con menores potencias produce mayor energía, también el amplio espacio con el que cuenta actualmente cada vivienda, además de estar distanciadas bastantes kilómetros entre sí y de no haber grandes obstáculos que puedan interferir con el aerogenerador en el en el área de la Vereda Mata Negra.

Ya considerada la tecnología eólica, para la elección del aerogenerador se planteó como como criterio de diseño hacer una estimación preliminar según las distribuciones del viento en la zona de interés, también se procedió a buscar un valor de producción en las curvas de potencia de las especificaciones técnicas de los aerogeneradores, para este caso cercano a los 200W, con lo cual se abastece la energía demandada en el lugar según el perfil de carga calculado en el Ítem 4,1 de la Vereda Mata Negra.

Es decir, se proyectó encontrar un generador eólico capaz de entregar un valor cercano de potencia de 200W con la velocidad media del viento del área de interés (parámetro que influye en la elección del aerogenerador), en detalle se buscó una máquina que sea capaz de generar 200 [W] a una velocidad de viento promedio de Mata Negra, se aclara que eso es diferente a buscar un aerogenerador de 200 [W], es decir esto último no es.

#### 4.3.2 RECURSO EÓLICO EN EL SITIO

Se procedió a solicitar datos meteorológicos de lluvias y vientos de las estaciones meteorológicas del IDEAM cercanas a la vereda Mata Negra, de los cuales solo fueron suministrados los de las lluvias (con lo cual se concluyó que no son tan influyentes las precipitaciones de la zona y que hay suficiente brillo solar anual para la instalación solar, razón que también afianzo la elección de la tecnología fotovoltaica como fuente complementaria en el sistema híbrido planteado).

Luego se obtuvo información para evaluar el recurso eólico basada en los datos de vientos encontrados en el mapa Vientos de Colombia del Atlas suministrado por la UPME, donde se ve una velocidad promedio anual de vientos en Yopal entre 4 (m/s) a nivel de superficie es decir medida sobre 10m sobre el suelo.

Con los datos anuales de los vientos (UPME) se decide seguir mirando de forma preliminar la confiabilidad que podría tener una instalación eólica en el área de interés con 4(m/s), analizando más adelante la proporción de generación de energía que habría idealmente no es lo mejor ya que 4 (m/s), y según la tabla de vientos de Beaufort indica que hay una brisa moderada para este tipo de generación, pero puede mejorar con ayuda del soporte que se le dé a la tecnología.

Para obtener una estimación más real del posible funcionamiento de una turbina eólica en el área de interés, se conoció la velocidad del viento a través de un historial del programa de Meteorología Aeronáutica del IDEAM, [109]: « La Rosa de los vientos, que es una representación gráfica de las direcciones y velocidades del viento medidas en distintos periodos de tiempo en una ubicación geográfica determinada». Por tanto en la Fig. 89 se muestra la rosa de los vientos la Rosa de los vientos en el Municipio de Yopal medida a nivel superficial es decir a 10 metros de altura.

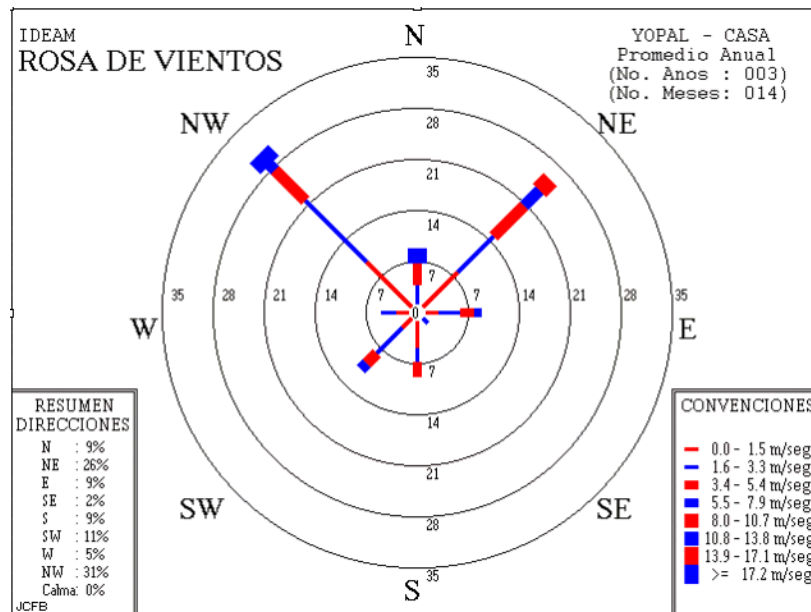


Figura 89. Rosa de los Vientos, Yopal Casanare  
(Fuente: Programa de Meteorología Aeronáutica del IDEAM)

Según la Rosa de los Vientos de Yopal se puede apreciar que durante el periodo de tiempo de 3 años en el que se han medido los vientos en este lugar, las direcciones más comunes son hacia el Noroeste y hacia el Noreste, presentándose velocidades de viento predominantes en el Noreste entre los 1,6 y 3,3 (m/s), en proporción media entre 3,4 y 5,4 (m/s) y en pequeña proporción entre 5,5 y 7,9 (m/s); y en el Noreste velocidades de viento en proporción media y comparativamente iguales entre ellas entre los 1,6 – 3,3 (m/s) y 3,4 5,4 (m/s) y en pequeña proporción de 5,5 y 7,9 (m/s) y mínimas de 8 - 10,7(m/s).

#### 4.3.3 PARAMETRO DE DISEÑO DEL AEROGENERADOR PARA LA VEREDA MATA NEGRA

Como planteamiento inicial se escogió un aerogenerador para uso en zonas aisladas a la red eléctrica, puesto que se encontró en Cuba Solar (2007), que las turbinas que se conectan a la red tienden a ser mayores y alcanzan potencias que se encuentran actualmente entre 600 y 1500 [W] (con diámetros de rotor en el rango de 40 a 60 m), y los aerogeneradores para redes locales o para uso en zonas aisladas de la red eléctrica, comúnmente son menores a 200 W.

Ahora, con los datos del recurso eólico suministrados en el Ítem 4.3.2, se concluyó que se va a diseñar un Aerogenerador Eólico Pequeño que sea capaz de generar alrededor de 200 [W] a una velocidad media de viento de 4 (m/s), es importante aclarar de nuevo que esto no es lo mismo que buscar en la ficha técnica de los equipos un aerogenerador de 200 W.

#### 4.3.4 DIMENSIONAMIENTO REQUERIDO DEL GENERADOR MINIEÓLICO

Para hacer una aproximación de la capacidad del generador como factor de seguridad se tomará un margen del 20% para que la tecnología Eólica soporte la carga que se le esta asignando del perfil de carga demandado.

$$P_{GE} = 1,2 * P_Q$$

Donde

$P_{GE}$ : Potencia de generación deseada de la tecnología Eólica [W]

$P_Q$ : Potencia de las cargas que tiene que soportar [W]

Resolviendo,

$$P_{GE} = 1,2 * 200[W]$$

$$P_{GE} = 240 [W]$$

#### 4.3.5 ELECCIÓN DEL AEROGENERADOR PARA LA VEREDA MATANEGRA

Para hacer una estimación de la viabilidad de implantar en la vereda una solución eólica, se buscó la ficha técnica de equipos pequeños en promedio de aerogeneradores, con el fin de conocer la curva de potencia según los vientos alcanzados en el área de interés y la velocidad de arranque del equipo. Se encontró turbinas Eólicas que generan en corriente continua una tensión de salida de 12,24 o 48 [V] de salida y equipos pequeños de 200[W], 500[W], 600[W], 900[W], 1k [W], 1,5 k [W] 2,4 k [W], hasta 3k [W].

Después de revisar los catálogos se opta como mejor opción un mini-aerogenerador de 3k [W], porque al revisar la curva de Potencia del equipo se ve que alcanza aproximadamente la potencia requerida con la velocidad media anual de la vereda, y que tiene la ventaja de no dejar de producir energía, puesto que comienza a generar desde velocidades de arranque muy pequeñas 2 (m/s), su reorientación es suave y no es necesario un freno para detenerlo, pues no se frena. En la Fig. 90 se muestra la Curva Técnica del equipo.

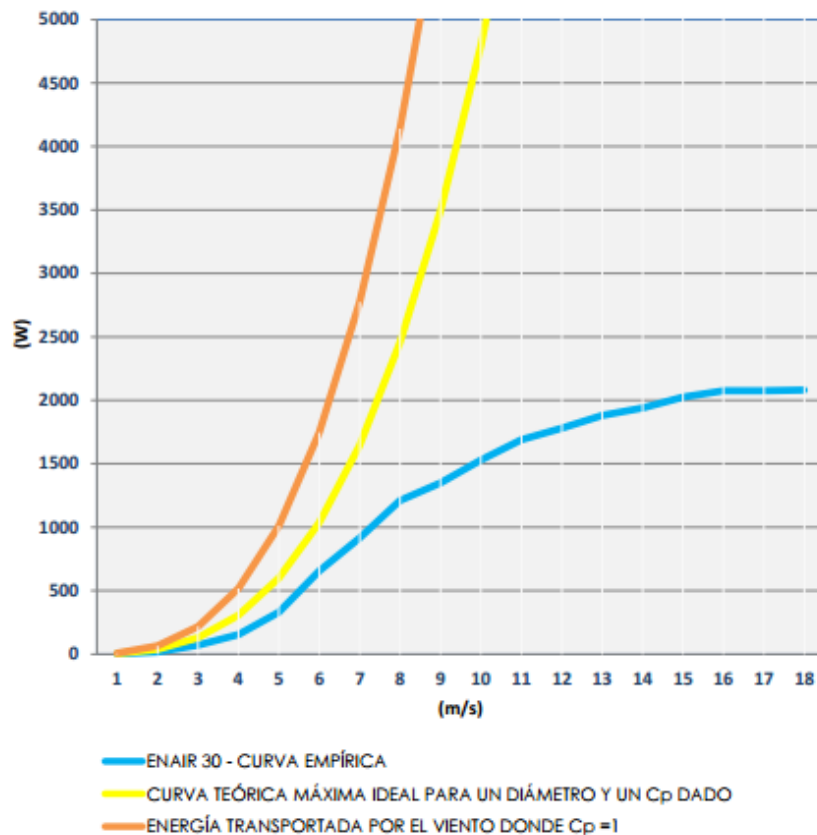


Figura 90. Curva de Potencia vs Velocidad del Viento

(Fuente: ENAIR30)

En la Fig. 91 se puede examinar comparativamente el tamaño de la turbina.

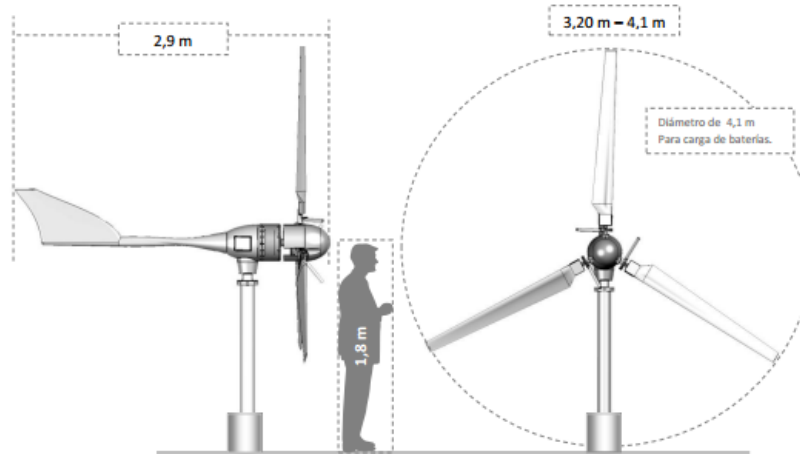
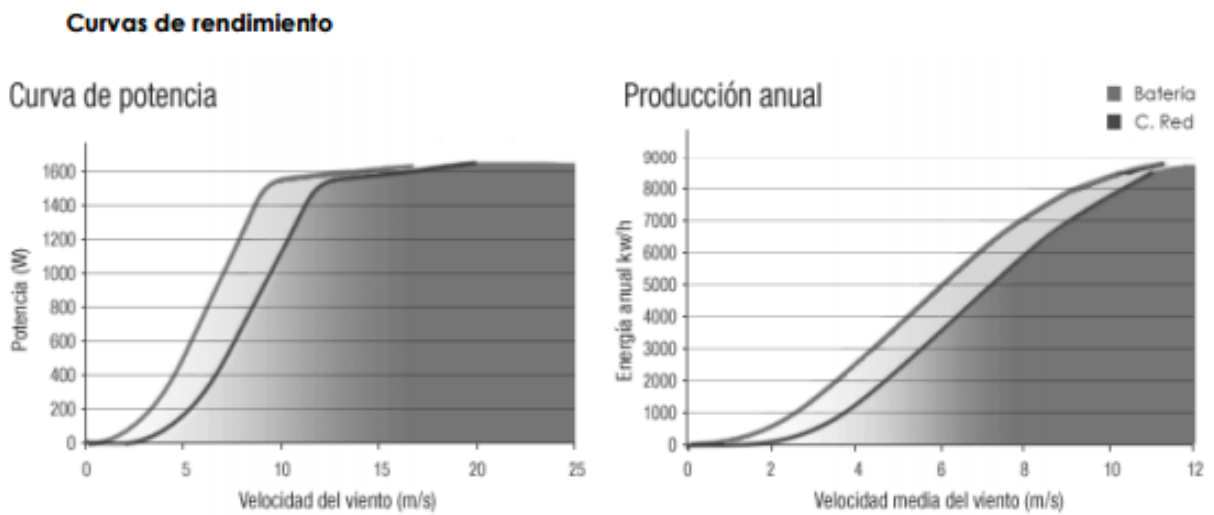


Figura 91. Tamaño estimado Mini-Aerogenerador 3kW  
(Fuente: ENAIR30)

En la Fig. 92 se ve la curva de potencia, que indica el rendimiento para cada velocidad del viento:



## DATOS TÉCNICOS ENAIR 30:

| Características técnicas, eléctricas y de funcionamiento ENAIR30 |  |
|--|--|
| Número de hélices  | 3  |
| Material hélices   | Fibra de vidrio con resina epoxi   |
| Generador  | 250 rpm   24 polos   imanes de neodimio  |
| Potencia   | 3000W  |
| Potencia nominal curva   | 1500W  |
| Voltaje  | 24 /48 /220  |
| Clase de viento  | IEC / NVN I –A (proceso certificación)   |
| Diámetro   | 3,2 (conex. Red) 4,1m (carga baterías)   |
| Sentido de giro  | Horario  |
| Área barrida   | 12,56m <sup>2</sup>  |
| Peso   | 130Kg  |
| Aplicaciones   | Conexiones aisladas a baterías. Conexión a Red eléctrica   |
| Velocidad viento para arrancar                                   | 2 m/s  |
| Velocidad nominal  | 12 m/s   |
| Vel. regulación paso variable                                    | 14 m/s   |
| Rango de generación eficientes                                   | De 2 a más de 60 m/s   |
| Velocidad soportada  | Más de 60 m/s  |
| Tipo   | Rotor horizontal a barlovento  |
| Orientación  | Sistema pasivo Timón de Orientación  |
| Control de potencia  | Sistema de paso variable pasivo, centrífugo  |
| Transmisión  | Directa  |
| Freno  | Eléctrico  |
| Controlador  | Opción de conexión a Red y carga de baterías   |
| Inversor   | Eficiencia 95%, algoritmo MPPT   |
| Ruido  | Reducido al mínimo: debido al diseño de las paletas y las bajas revoluciones de trabajo. 1% más en DB que el ruido ambiente del viento. Diseño totalmente sellado, con cataforesis en elementos del metal, más pintura |
| Protección anti-corrosión  | Resistente a UV  |
| Torre  | 12, 15 y 18 m, alfrantada o de celosía   |

Figura 92. Ficha Técnica y Curvas de Potencia Mini-Aerogenerador 3kW

(Fuente: Air30)

### 4.3.6 PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL EQUIPO

Para hacer una estimación y predecir el comportamiento del recurso eólico, se calcula y se usa la predicción de la distribución de Vientos promedio de Rayleigh, de acuerdo al mejor de los casos anuales de Vientos en la vereda Mata Negra del municipio de Yopal, donde la velocidad media anual es de (4 m/s) y reemplazando los valores de la curva de potencia característica (según sus

especificaciones técnicas) que más se acomoda al cubrimiento de la necesidad energética demandada, es decir para este proyecto se encontró que es la curva de potencia de un aerogenerador 3000 [W], se parte de estos dos datos y se elabora la tabla 37, donde se muestra la Energía Anual Estimada contemplando que la distribución de frecuencia de vientos en el área de interés obedezca a la distribución Rayleigh, como se muestra a continuación:

| Tabla 37. Distribución de Rayleigh para un Mini-aerogenerador 3kW, Viento 4(m/s) |        |           |              |                 |
|--|--------|-----------|--------------|-----------------|
| V (m/s)  | P( v)  | Horas/año | Potencia [W] | Energía[Wh/mes] |
| 1  |        |           | 2            | 0               |
| 2  |        |           | 18           | 0               |
| 3  | 0,189  | 1655,6    | 70           | 115892          |
| 4  | 0,179  | 1568      | 155          | 243040          |
| 5  | 0,1439 | 1260,6    | 330          | 415998          |
| 6  | 0,1006 | 881,3     | 655          | 577251,5        |
| 7  | 0,062  | 543,1     | 915          | 496936,5        |
| 8  | 0,0339 | 297       | 121          | 35937           |
| 9  | 0,0166 | 145,4     | 1350         | 196290          |
| 10   | 0,0072 | 63,1      | 1530         | 96543           |
| 11   | 0,0028 | 24,5      | 1690         | 41405           |
| 12   | 0,001  | 8,8       | 1780         | 15664           |
| 13   | 0,0003 | 2,6       | 1880         | 4888            |
| 14   | 0,0001 | 0,9       | 1940         | 1746            |
| 15   | 0      | 0         | 2025         | 0               |
| 16   | 0      | 0         | 2075         | 0               |
| 17   | 0      | 0         | 2075         | 0               |
| 18   | 0      | 0         | 2080         | 0               |

Así en la Tabla 37, se indica en la columna uno la velocidad del viento en (m/s), en la columna dos la probabilidad de aparición de cada velocidad del viento determinado por la distribución Rayleigh, en la columna tres se indica el número de horas al año para cada velocidad del viento (Teniendo en cuenta 8760 horas en un año), en la columna cuatro la potencia que entrega el aerogenerador en nuestro caso de 3000 [W] para cada velocidad de viento (de la columna uno).

#### 4.3.7 EVALUACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EÓLICA

Con la tabla 37 del Ítem 4.3.6 anterior, se concluye que el equipo elegido funciona y aunque la velocidad de arranque del equipo tenga una velocidad de viento baja (ej. Con 3m/s, la tecnología sigue generando en la mayoría de los casos).

En el análisis de la Curva de Potencia vs. Velocidad del Viento, el generador eólico de 3000 [W] genera 155 [W] aproximadamente, tomando el caso donde la velocidad de viento promedio anual que es de 4[m/s], y esto expresa que se genera una energía 5196 [Wh/día] lo cual soporta perfectamente el perfil de cargas proyectado por vivienda en la vereda que es de 5191 [Wh/día] y que ya viene con un factor de sobredimensionado para su confiabilidad y adecuado funcionamiento.

Por otro lado, al elegir un aerogenerador en este proyecto se buscó para una zona aislada, lo cual quiere decir que está en el rango de las pequeñas turbinas eólicas ó Mini aerogeneradores, se puede especular que este sistema tiene una desventaja porque la tecnología con energía eólica tiene una mejor relación costo - beneficio entre más grande sea el tamaño del rotor, y como para la elección de este equipo se buscara una turbina pequeña, querrá decir que podría tener un costo inicial menor que las grandes turbinas, pero es proporcionalmente más costoso.

Sin embargo, se procedió con el análisis de datos reales porque en la predicción realizada cubre la demanda energética solicitada, y en este caso a simple vista la implementación de esta tecnología para un sistema distribuido resulta más rentable que una micro-red, además sigue siendo más económico que la extensión de la red eléctrica, lo cual hace también que se torne competitivo con fuentes convencionales de energía, cuando se toma en cuenta factores como el tiempo de vida útil y la reducción en los costos evitados con la compañía eléctrica.

## **4.2 COSTOS DEL SISTEMA RENOVABLE**

### **4.4.1 VALOR PRESENTE DE LA TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAÍCA EN LA VEREDA**

Para la elección de los equipos fotovoltaicos se observaron varios catálogos de diferentes empresas colombianas como: DMC solar (Bogotá), Hybritec (Medellín), Alta Ingeniería XXI (Bogotá), Aprotect (Cali), Cercas y Corrales del Campo (Yopal), Colpilas solar (Bogotá) y en San Francisco EEUU: Civic Solar (no incluye cargo de envío, el cual se cobra desde Miami).

Luego se procedió a hacer el balance del precio para cada equipo del conjunto fotovoltaico según inventarios enviados por dichas empresas y marcas de los equipos que cumplieran con los cálculos técnicos hechos respectivamente en el Ítem 4.2, para tener un acercamiento del costo real de hacer una implementación de un sistema con tecnología fotovoltaica como generación principal, se tomó en cuenta los costos alternos más relevantes como son: AOM, Mano de Obra, Equipo y Herramienta y



Transporte. La tabla muestra el valor de los costos iniciales del proyecto planteado en la vereda Mata Negra.

| <b>Tabla 38. Valor Presente Estimado con la Solución Solar Fotovoltaica - Vereda Mata Negra, Yopal</b> |  |                 |                       |                    |
|--|--|-----------------|-----------------------|--------------------|
| <b>ÍTEM</b>  | <b>Marca/REF</b>   | <b>Cantidad</b> | <b>Costo Unitario</b> | <b>Costo Total</b> |
| Panel Solar  | Yingly Solar /145 [W]  | 9               | \$ 638.000            | \$ 5.742.000       |
| Baterías   | MTEC/ 205 [A]  | 6               | \$ 835.200            | \$ 5.011.200       |
| Inversor   | Xantrex/400 [W]  | 1               | \$ 290.000            | \$ 290.000         |
| Regulador1   | Victron / 50 [A]   | 1               | \$ 1.275.000          | \$ 1.275.000       |
| Regulador2   | Xantrex/40 [A]   | 1               | \$ 480.000            | \$ 480.000         |
| Conductores  | THW-AW 4<br>THW-AW 3 AWG<br>THW-AW 3/0 AWG<br>THW-AW 4/0 AWG<br>THW-AWG 8<br>THW-AWG 14 (Global) | 1               | \$ 1.000.000          | \$ 1.000.000       |
| <b>Subtotal material</b>   |  |                 | <b>\$ 13.798.200</b>  |                    |
| Mano de Obra   | Global   | 1               | \$ 1.300.000          | \$ 1.300.000       |
| Equipo y Herramienta   | Global   | 1               | \$ 700.000            | \$ 700.000         |
| Transporte   | Global   | 1               | \$ 800.000            | \$ 800.000         |
| <b>Total Inversión</b>   |  |                 | <b>\$16.598.200</b>   |                    |
| Administración   |  |                 |                       | \$ 840.000         |
| Operación  |  |                 |                       | \$ 2.000.000       |
| Mantenimiento  |  |                 |                       | \$ 1.000.000       |
| <b>TOTAL CON AOM</b>   |  |                 | <b>\$ 20.438.200</b>  |                    |

#### 4.4.2 VALOR PRESENTE DE LA TECNOLOGÍA EÓLICA EN LA VEREDA

Para tener una idea general de la estimación en costo de un sistema eólico, la Asociación Americana de Energía Eólica (American Wind Energy Association) indica que por regla general, está constando entre unos 1,000 a 3,000 dólares por kilowatt. Por tanto la tecnología eólica elegida de 3000 [W], estaría costando entre 3000000 y 9000000 de dólares, es decir entre 7800000 y 23400000 pesos, según la marca del equipo que se acuerde. A continuación de todos modos se especifica el precio en detalle para el generador Eólico elegido:

| Tabla 39. Valor Presente Estimado con la Solución Eólica |            |                      |
|--|------------|----------------------|
| ÍTEM   | referencia | Precio Unidad        |
| Aerogenerador(enair)                                     | 3k[W]      | \$ 8.829.600         |
| Controlador  | 12[V]      | \$ 847.600           |
| Inversor   | Grid off   | \$ 806.000           |
| Torre  | 6[m]       | \$ 1.508.000         |
| <b>Subtotal material</b>                                 |            | <b>\$ 11.991.200</b> |
| Mano de Obra   | Global     | \$ 5.200.000         |
| Equipo y Herramienta                                     | Global     | \$ 2.000.000         |
| Transporte   | Global     | \$ 4.000.000         |
| <b>Total Inversión</b>                                   |            | <b>\$ 23.191.200</b> |
| Administración   | Global     | \$ 600.000           |
| Operación  | Global     | \$ 2.000.000         |
| Mantenimiento  | Global     | \$ 1.000.000         |
| <b>TOTAL CON AOM</b>                                     |            | <b>\$ 26.791.200</b> |

#### 4.4.3 VALOR PRESENTE DEL SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO RENOVABLE (SEHR) EN VEREDA

*El valor presente total del Sistema Híbrido en las 20 viviendas de la Vereda Mata Negra se muestran a continuación en la tabla 40.*

| Tabla 40. Valor Presente estimado con la Solución SEHR en la Vereda |                       |
|---|-----------------------|
| Tecnología  | Costos Unitarios      |
| Solar -Fotovoltaica   | \$ 20.438.200         |
| Eólica  | \$ 26.791.200         |
| <b>Costo Total por Vivienda con SEHR</b>                            | <b>\$ 47.229.400</b>  |
| <b>Total Proyecto por 20 Vivienda con SEHR</b>                      | <b>\$ 944.588.000</b> |

#### 4.4.4 VALOR FUTURO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA DEL SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO RENOVABLE (SEHR) EN VEREDA

| Tabla 41. Proyección del Consumo Residencial Fotovoltaico a 25 años |          |         |        |           |
|---|----------|---------|--------|-----------|
| Consumo Residencial Fotovoltaico en kwh/Mes                         |          |         |        | 114       |
| %   | 14,00%   |         |        |           |
| Residencial   |          |         |        |           |
| AÑO   | USUARIOS | KWH/AÑO | FACTOR | VP-KM/AÑO |
| 0   | 20       | 27.360  | 1,0000 | 27.360    |

| Tabla 41. Proyección del Consumo Residencial Fotovoltaico a 25 años |          |         |                |           |
|---|----------|---------|----------------|-----------|
| Consumo Residencial Fotovoltaico en kwh/Mes                         |          |         |                | 114       |
| %   | 14,00%   |         |                |           |
| Residencial   |          |         |                |           |
| AÑO   | USUARIOS | KWH/AÑO | FACTOR         | VP-KM/AÑO |
| 1   | 20       | 27.907  | 0,8600         | 24.000    |
| 2   | 21       | 28.465  | 0,7396         | 21.053    |
| 3   | 21       | 29.035  | 0,6361         | 18.468    |
| 4   | 22       | 29.615  | 0,5470         | 16.200    |
| 5   | 22       | 30.208  | 0,4704         | 14.210    |
| 6   | 23       | 30.812  | 0,4046         | 12.465    |
| 7   | 23       | 31.428  | 0,3479         | 10.935    |
| 8   | 23       | 32.057  | 0,2992         | 9.592     |
| 9   | 24       | 32.698  | 0,2573         | 8.414     |
| 10  | 24       | 33.352  | 0,2213         | 7.381     |
| 11  | 25       | 34.019  | 0,1903         | 6.474     |
| 12  | 25       | 34.699  | 0,1637         | 5.679     |
| 13  | 26       | 35.393  | 0,1408         | 4.982     |
| 14  | 26       | 36.101  | 0,1211         | 4.370     |
| 15  | 27       | 36.823  | 0,1041         | 3.833     |
| 16  | 27       | 37.559  | 0,0895         | 3.363     |
| 17  | 28       | 38.311  | 0,0770         | 2.950     |
| 18  | 29       | 39.077  | 0,0662         | 2.588     |
| 19  | 29       | 39.858  | 0,0569         | 2.270     |
| 20  | 30       | 40.656  | 0,0490         | 1.991     |
| 21  | 30       | 41.469  | 0,0421         | 1.747     |
| 22  | 31       | 42.298  | 0,0362         | 1.532     |
| 23  | 32       | 43.144  | 0,0312         | 1.344     |
| 24  | 32       | 44.007  | 0,0268         | 1.179     |
| <b>DEMANDA RESIDENCIAL</b>  |          |         | <b>214.380</b> |           |

Teniendo en cuenta un factor de crecimiento impuesto por el DANE del 2% y una recuperación de la inversión inicial a 25 años, el valor del kWh de energía Fotovoltaica saldría a \$ 1570,13 como se puede apreciar en la siguiente tabla:

| Tabla 42. Precio de la Energía con la Tecnología Fotovoltaica para recuperar la Inversión a 25 años |                       |
|---|-----------------------|
| Factor de Crecimiento   | 2%                    |
| Maquinaria proyecto   | \$ 332.764.000        |
| AOM   | \$ 3.840.000          |
| <b>Total inversión Fotovoltaica</b>   | <b>\$ 336.604.000</b> |
| <b>Valor kwh Fotovoltaico</b>   | <b>\$ 1.570,13</b>    |

#### 4.4.5 VALOR FUTURO DE LA TECNOLOGÍA EÓLICA DEL SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO RENOVABLE (SEHR) EN VEREDA

| Tabla 43. Proyección del Consumo Residencial Eólico a 25 años |          |         |        |           |
|---|----------|---------|--------|-----------|
| Consumo Residencial Eólico en kwh/Mes                         |          |         |        | 114       |
| %   | 14,00%   |         |        |           |
| Residencial   |          |         |        |           |
| AÑO   | USUARIOS | KWH/AÑO | FACTOR | VP-KM/AÑO |
| 0   | 20       | 27.360  | 1,0000 | 27.360    |
| 1   | 20       | 27.907  | 0,8600 | 24.000    |
| 2   | 21       | 28.465  | 0,7396 | 21.053    |
| 3   | 21       | 29.035  | 0,6361 | 18.468    |
| 4   | 22       | 29.615  | 0,5470 | 16.200    |
| 5   | 22       | 30.208  | 0,4704 | 14.210    |
| 6   | 23       | 30.812  | 0,4046 | 12.465    |
| 7   | 23       | 31.428  | 0,3479 | 10.935    |
| 8   | 23       | 32.057  | 0,2992 | 9.592     |
| 9   | 24       | 32.698  | 0,2573 | 8.414     |
| 10  | 24       | 33.352  | 0,2213 | 7.381     |
| 11  | 25       | 34.019  | 0,1903 | 6.474     |
| 12  | 25       | 34.699  | 0,1637 | 5.679     |
| 13  | 26       | 35.393  | 0,1408 | 4.982     |
| 14  | 26       | 36.101  | 0,1211 | 4.370     |
| 15  | 27       | 36.823  | 0,1041 | 3.833     |
| 16  | 27       | 37.559  | 0,0895 | 3.363     |
| 17  | 28       | 38.311  | 0,0770 | 2.950     |
| 18  | 29       | 39.077  | 0,0662 | 2.588     |
| 19  | 29       | 39.858  | 0,0569 | 2.270     |

|                            |    |        |                |       |
|----------------------------|----|--------|----------------|-------|
| 20                         | 30 | 40.656 | 0,0490         | 1.991 |
| 21                         | 30 | 41.469 | 0,0421         | 1.747 |
| 22                         | 31 | 42.298 | 0,0362         | 1.532 |
| 23                         | 32 | 43.144 | 0,0312         | 1.344 |
| 24                         | 32 | 44.007 | 0,0268         | 1.179 |
| <b>DEMANDA RESIDENCIAL</b> |    |        | <b>214.380</b> |       |

Teniendo la recuperación de la inversión inicial a 25 años, con factor de crecimiento impuesto por el DANE del 2% para la vereda, el valor del kWh de energía Eólica para la vereda saldría a \$2180,35 como se puede apreciar en la siguiente tabla:

| <b>Tabla 44. Precio de la Energía con la Tecnología Eólica para recuperar la Inversión a 25 años</b> |                       |
|--|-----------------------|
| <b>Factor de Crecimiento</b>   | 2%                    |
| Maquinaria proyecto  | \$ 463.824.000        |
| AOM  | \$ 3.600.000          |
| <b>Total inversión Eólica</b>  | <b>\$ 467.424.000</b> |
| <b>Valor kwh Eólica</b>  | <b>\$ 2.180,35</b>    |

#### 4.4.6 VALOR FUTURO DEL SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO RENOVABLE (SEHR) EN VEREDA

| <b>Tabla 45. Precio de la Energía con el Sistema de Energía Híbrido Renovable(SEHR) para recuperar la Inversión a 25 años</b> |                    |
|---|--------------------|
| Valor kwh Fotovoltaico  | \$ 1.570,13        |
| Valor kwh Eólica  | \$ 2.180,35        |
| <b>Total kwh SEHR</b>   | <b>\$ 1.875,24</b> |

### **4.5 ALTERNATIVAS DE CONFIGURACIONES PARA EL SISTEMA DE ENERGÍA HÍBRIDO RENOVABLE (SEHR)**

#### 4.5.1 MODELOS DE CONFIGURACIONES DEL SEHR

En caso de considerarse como un Sistema Híbrido Renovable Solar – Eólico para lugares aislados de la red eléctrica, puede tener varias topologías de acuerdo al tipo de conexión que se haga en: los módulos fotovoltaicos, aerogenerador, banco de baterías (Ah a V), controlador de carga, y el inversor. Se pueden formar varias topologías posibles a implementar de acuerdo a los intereses de conexión de las cargas, como se muestra a continuación algunos ejemplos:

El esquema del sistema en la Fig. 93 es una configuración adecuada cuando no se requiera montar una micro-red y se desee alimentar una carga definida (en este caso se mejorara el dimensionamiento de los paneles, baterías y aerogenerador).

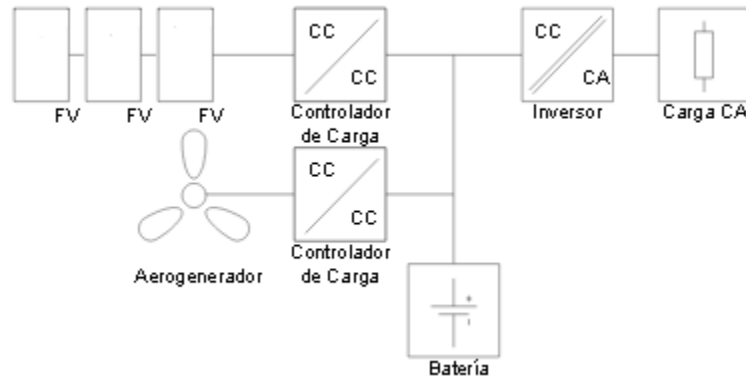


Figura 93. Diagrama de bloques de una instalación híbrida CC

La configuración de la siguiente Fig. 94 permite que su rendimiento tenga posibilidad de interconexión, es decir, cuenta con capacidad de flexibilidad la cual resultara adecuada cuando se requiera una interconexión con otros sistemas de generación eléctrica o donde se necesite formar una micro-red con múltiples sistemas.

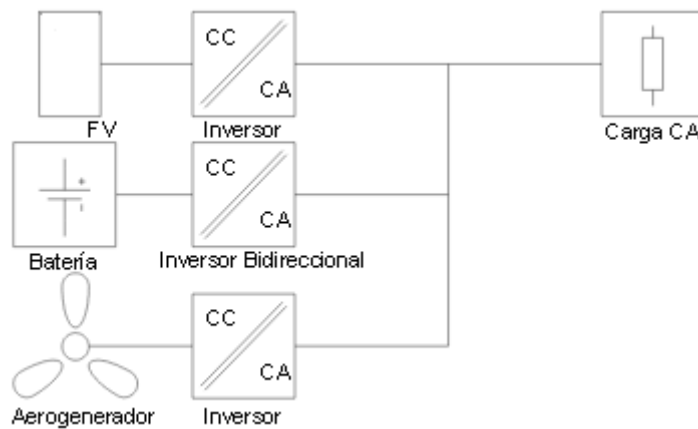


Figura 94. Diagrama de bloques de una instalación híbrida CA

La configuración de la Fig. 95 tiene un sistema que reduce la potencia por el inversor. Pero permite que CC/CA se utilice cuando se disponga de fuentes de CA capaces de alimentar directamente a la carga de alterna. Usualmente se emplea esta topología en el caso de utilizar como fuente auxiliar de CA un generador diésel.

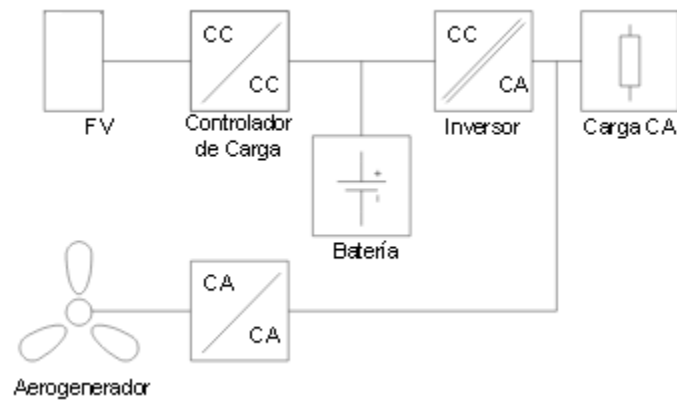


Figura 95. Diagrama de bloques de una instalación híbrida CC/CA

#### 4.5.2 ESQUEMA DE CONEXIÓN ELEGIDA DEL SEHR SELECCIONADO

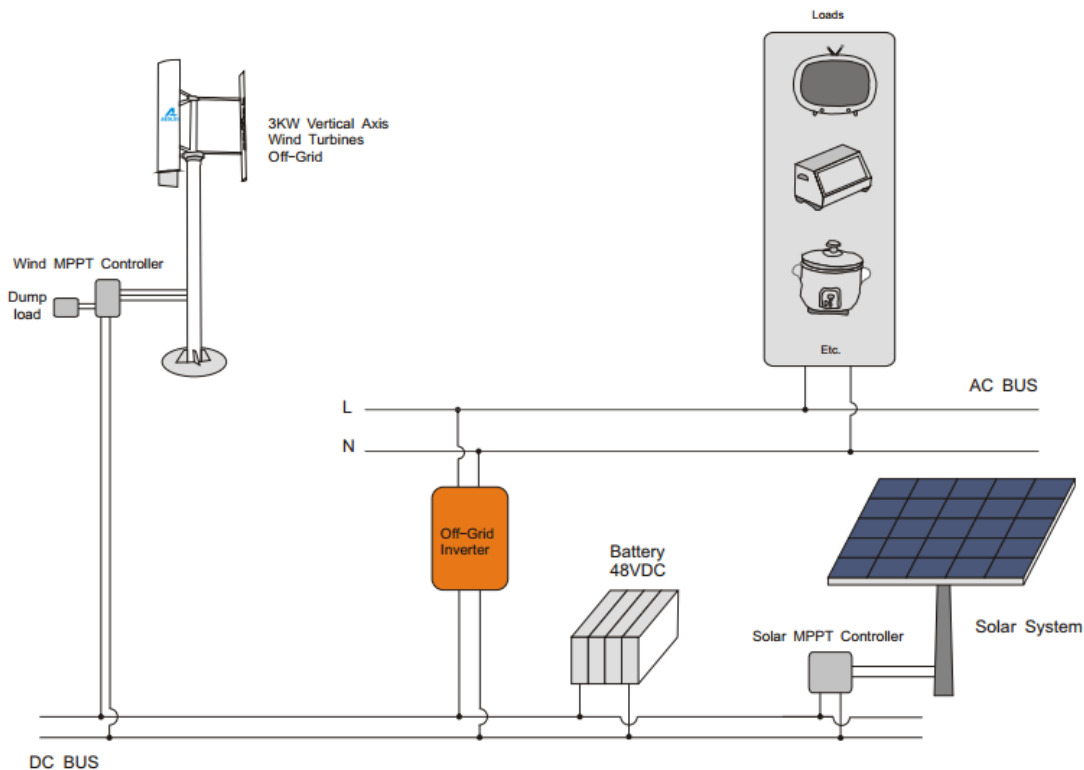


Figura 96. Diagrama Unifilar de la Instalación de un Sistema Híbrido Solar Fotovoltaico y Eólico

#### 4.5.3 BENEFICIOS AMBIENTALES Y SOCIALES DEL SEHR

Los beneficios de usar combinación de sistemas renovables ha estimulado el diseño, implementación y utilización de varios sistemas de energía alternativa, puesto que Sureshkuman, Manoharan, Ramalakshmi [110]: « Energías Renovables son ilimitadas, limpias, y ellas pueden ser usadas de forma descentralizada. Y ellas tienen la ventaja adicional de ser complementarias, la integración entre ellas hace que sea más favorable».

La generación de energía con fuentes renovables, contribuye con el desarrollo sostenible de la zona y del medio ambiente Yenen & Fahrioglu exponen que [111]: « En los últimos años, hay una tendencia a extraer la energía de los recursos energéticos renovables. Dichas fuentes están siendo consideradas más, debido a que los recursos estándares existentes se están agotando y están dañando el medio ambiente con las emisiones de CO<sub>2</sub>».



Dentro de las ventajas según Sierra, Caro y Mejía, (2008) que pueden brindar las instalaciones fotovoltaicas están:

- ✓ La ausencia de emisiones tanto a la atmosfera como al agua, la tierra y acústica no genera contaminación al medio ambiente, esto gracias a que no forma desechos
- ✓ No tiene gastos posteriores luego de la inversión inicial, dentro del rango de tiempo de vida útil del banco de baterías y del panel fotovoltaico.
- ✓ La instalación es modular en el caso de los paneles fotovoltaicos, lo cual implica que al aumentar la necesidad de potencia, se debe aumentar el número de paneles sin desinstalar los módulos previamente instalados.
- ✓ El sistema es descentralizado, este tipo de generación permite la producción de energía en el lugar donde se necesita.
- ✓ No utiliza combustibles, distintos a la energía obtenida del sol, combustible gratuito.
- ✓ La electricidad obtenida es de baja tensión y continua, lo que permite que sea más segura.
- ✓ La energía obtenida no necesita grandes transformadores ni costosas instalaciones de transporte, como extensos cables de alta tensión.
- ✓ El mantenimiento de los paneles es sumamente económico ya que no requiere de mano de obra calificada.

Además de los usos que puede dársele a los paneles solares como los siguientes

- ✓ Centrales conectadas a red para suministro eléctrico.
- ✓ Sistemas de autoconsumo fotovoltaico.
- ✓ Electrificación de pueblos y electrificación rural.
- ✓ Suministro eléctrico de instalaciones médicas en áreas rurales.
- ✓ Corriente eléctrica para viviendas aisladas de la red eléctrica.
- ✓ Sistemas de comunicaciones de emergencia.
- ✓ Estaciones repetidoras de microondas y de radio.
- ✓ Sistemas de vigilancia de datos ambientales y de calidad del agua.
- ✓ Bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado.
- ✓ Teléfonos de emergencia en carretera).

Las turbinas eólicas contribuyen significativamente a las necesidades de energía, también pueden proporcionar una parte importante de la energía requerida en hogares, en áreas rurales, pequeñas fábricas y fincas.

- ✓ La turbina se puede integrar en una instalación mixta, con paneles solares fotovoltaicos o grupos diesel, para mayor efectividad y seguridad de suministro.
- ✓ La capacidad de generación y de acumulación, son fácilmente ampliables, si la demanda energética se incrementa sobre las previsiones iniciales.
- ✓ Las instalaciones de este tipo pueden ser atendidas directamente por sus propietarios, ya que el poco mantenimiento que precisan es bastante sencillo de realizar.
- ✓ Es un tipo de energía renovable y no produce gases de efecto invernadero.
- ✓ El tiempo de instalación es relativamente corto.
- ✓ No requiere de un frecuente mantenimiento.
- ✓ Produce energía para autoconsumo.
- ✓ Tienen un consumo responsable: 100% renovable ayudando al medio ambiente.
- ✓ La inversión que tiene una vida útil de al menos 25 años, en los cuales el precio de la energía no sube, y hay autocontrol del precio.
- ✓ La energía que sobra se puede vender y se puede comprar más energía a la red.
- ✓ Independencia, en casos de corte energético o desastres naturales.
- ✓ Es versátil
- ✓ No hay coste de transporte, ya que la energía se produce en el propio sitio de consumo evitando las pérdidas durante la fase de transporte desde las centrales hasta el punto de consumo.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó un estudio de implementación de un Sistema Híbrido Renovable, para una zona sin energización del municipio de Yopal- Casanare, se obtuvo un balance favorable para implementar el sistema con la combinación de la tecnología solar fotovoltaica y eólica en la Vereda de Mata Negra, teniendo en cuenta factores técnicos, ambientales, económicos y sociales.

Se hizo un estudio técnico realizado en Yopal de las zonas sin energización y donde se proyectaba las condiciones para que funcionara un Sistema Híbrido con las tecnologías renovables solar-fotovoltaico y eólica; para esto fue necesario buscar, solicitar, tabular y evaluar la información recolectada de todas las estaciones meteorológicas más cercanas a las veredas encontradas sin energización de Yopal.

A través de datos suministrados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se mostró en detalle que en las Estaciones Meteorológicas del Morro, Molinos de Casanare, Toquilla, Corinto, han tenido mayores valores totales y mayor número de días de precipitaciones, junto con más nubosidad, en comparación con las Estaciones Meteorológicas Macucuana, Romerena, San Luis de Palenque, Z\_ema\_final3, que son estaciones cercanas a las veredas sin cubrimiento energético, por tanto se descartaron las veredas que se encontraban en condiciones ambientales menos favorables, por tanto se sugirió por esta caracterización ambiental que la vereda Mata Negra postulaba como mejor opción para el desarrollo del proyecto.

Finalmente se seleccionó la Vereda Mata Negra para el estudio del Sistema Híbrido Renovable porque era la más indicada para implementar estos mecanismos sostenibles de desarrollo limpio, debido a su caracterización meteorológica, y también por no contar con redes de distribución, además ser catalogada como una comunidad rural dispersa y con necesidades básicas insatisfechas en el municipio; Situación que la empresa de Energía de Casanare enfatizó que no se tiene contemplada en proyectos a corto plazo de energización debido a los costos de interconexión de aquella a la red.

En la visita técnica correspondiente realizada a la vereda Mata Negra se vio que las viviendas existentes se encuentran bastante dispersas entre sí, que abarcan individualmente gran cantidad de

hectáreas. Se consideró que el impacto social de llevar generación Híbrida Renovable a la Vereda es alto, puesto que cambiará drásticamente las condiciones de vida de los habitantes de la zona, al modificar factores sociales influyentes en la comunidad, como el abandono que hay con la falta de cobertura de energía que trae como consecuencia el uso de mecheras, falta de construcción de lugares públicos, proyectos de escuelas deterioradas, falta de proyectos pecuarios y de piscicultura, falta de infraestructura y mal manejo de la fauna para que no se vean afectadas especies en peligro de extinción, que aún se conservan al aire libre y sin control como chigüiros, venados, tigres, canagueros, variedad de patos, corocoras, tortugas, matos, garzones etc.

En la Vereda se detallaron 20 latifundios de 300-700 Hectáreas aproximadamente, con 60 habitantes y 20 familias. Se optó como mejor opción proponer en este proyecto un Sistema Distribuido de Generación para cada latifundio en la vereda Mata Negra, por lo cual no se planteó una micro-red renovable puesto que el costo de interconexión es más elevado teniendo en cuenta la distancia entre cada vivienda existente.

Se afirmó al hacer la visita a la vereda que resultaba conveniente usar la tecnología eólica, al ver que se contaba con espacio suficiente y que no había obstáculos relevantes para instalar un aerogenerador de este tipo en cada vivienda, además de encontrarse que entre ellas están bastante aisladas.

En el trabajo se estimó el Perfil de Carga que se tendría en la Vereda Mata Negra para los usuarios, según las prácticas habituales indagadas con los habitantes, de acuerdo con los electrodomésticos que se desean instalar y sus respectivos horarios de uso; los datos puntuales obtenidos fueron: Potencia AC necesaria 799 W, Energía Total Requerida es de 3,738 kWh/día, con lo cual se tendría un consumo mensual de 114,39 kWh/mes.

Se consideró apropiada la tecnología solar fotovoltaica, puesto que se recibe en ese sitio mayor intensidad de radiación solar global, esto es entre 4.5 y 6.0 kWh/m<sup>2</sup> por día, además se concluyó que el potencial energético promedio anual en el día de la Vereda Mata Negra, según datos obtenidos fue de 22,5 kWh/día, hallados a partir de la radiación solar promedio anual es de 4,5 kWh/m<sup>2</sup> y el brillo solar promedio anual de 5h y 6h en Yopal, lo cual resulta propicio para un buen funcionamiento de la tecnología solar fotovoltaica.

En el estudio técnico para instalar la tecnología Solar Fotovoltaica se corrigió la demanda de energía teniendo en cuenta las pérdidas del inversor y el regulador por tanto la Energía Total Requerida para la Elección de las placas fotovoltaicas fue de 5,191 kWh /día y para hallar la potencia del generador se aplicó un factor de seguridad siendo 1,245 kW la potencia necesaria para suministrar el consumo en la vereda Mata Negra. Por tanto, con estos datos se procedió a elegir la tensión que debe ser usada en las celdas resultando de 12 V.

Para la correcta elección de las Celdas Fotovoltaicas, se tuvo en cuenta la tensión nominal del sistema y la potencia que necesitaría suministrar cada celda, para esto también se observaron fichas técnicas e inventarios de empresas como DMC solar, Hybritec, Alta Ingeniería XXI, Aprotect, Cercas y corrales del Campo, Civic Solar; con lo cual se procedió a calcular el precio para cada celda que cumplía con las características anteriores, también estableciendo el número de ellas para cubrir la potencia necesaria en la Vereda Mata Negra, con lo cual se determinan los paneles requeridos. Donde finalmente se comparó el mejor costo real y marca que ofrecían los proveedores, catálogos, sin olvidar considerar la eficiencia de las celdas consideradas como la mejor opción.

Se escogió la celda Yingli de 145 W al ser una marca confiable y tener comparativamente con las demás un número no muy alto de celdas, precio con costo asequible de los paneles y buena eficiencia según su ficha técnica. Para el arreglo fotovoltaico propuesto se requirió 9 celdas solares configuradas en paralelo. Garantizando que el sistema finalmente quede con una tensión de 12V y entregando una corriente aproximada de 105 A.

Para el dimensionamiento de los Acumuladores, se halló la Capacidad Total que la batería solicitaría con base en la Energía Total Requerida del mes más desfavorable y la Profundidad de Descarga Máxima de la misma, siendo esta de 1464,12 Ah con lo cual haciendo el respectivo barrido de la información enviada por los proveedores, se eligió en términos técnicos y económicos la batería MTEK con tensión nominal de 12 V y Capacidad (C10) de 205 Ah, que cumple con todos los criterios de dimensionamiento y los mejores precios de las cotizaciones. Con lo que se concluyó que la tecnología Solar Fotovoltaica requerirá un banco de acumuladores de 6 baterías conectadas en paralelo.

El Regulador ó Controlador de Carga fue escogido de acuerdo a su Corriente Nominal que depende de la Corriente Nominal del arreglo de Paneles Fotovoltaicos. Finalmente se escoge el regulador 1: VICTRON con corriente Nominal de 50 A y el Regulador 2: XANTRES con corriente Nominal de 40 A. de acuerdo con el mercado, parámetros de corriente calculados y precios actualizados.

Para el dimensionamiento del Inversor se tuvo en cuenta el Factor de Coincidencia que se refiere al momento del uso de los electrodomésticos que se deseen instalar, así la Potencia Nominal del inversor que requirió está en el rango de 399 a 599 [W]. Finalmente se seleccionó el Inversor XANTREX 400-600 [W], el cual cumple con la condición del rango de potencia y la tensión de salida del sistema.

El dimensionamiento de los conductores en los sistemas solares fotovoltaicos es importante para que el sistema funcione de forma eficiente y tenga una larga vida útil. Estos fueron hallados en base a la Norma 2050-Icontec, considerando las caídas de tensión máximas permisibles en los diferentes circuitos para la protección y correcta utilización de los calibres de los conductores.

Se investigó la velocidad de viento promedio anual en Yopal, para estimar el potencial que podría tener la energía eólica; encontrándose vientos promedios anuales de 3 a 4 m/s para su funcionamiento, con lo cual se advirtió según la escala de Viento de Beaufort que existe un promedio entre una brisa débil y/o moderada, pero se concluye que con una buena altura de la base que sostiene la turbina eólica (mástil), es posible que se alcancen mejores velocidades de viento.

Otro factor que se revisó para la tecnología eólica fue la variación de la densidad del Aire la cual se halló de 0,966 m/s con respecto a la temperatura en la vereda Mata Negra de 25°C, y de 0,970 m/s de variación de la densidad del Aire con respecto a la altura sobre el nivel del mar en el lugar que es de 305 msnm.

Se procedió a hacer una predicción de comportamiento Eólico para la Vereda Mata Negra usando la Distribución de Probabilidades del Viento de Rayleigh, se concluyó que para cubrir el perfil de carga de la Vereda se necesita un aerogenerador con potencia entre 70 y 155 W. Luego por factor de Seguridad se buscó un aerogenerador sobreestimado que en su curva de potencia generara alrededor de 200 W a velocidades de viento entre 3 y 4 m/s.

Siguiendo el criterio para uso de un aerogenerador en zonas aisladas a la red eléctrica, se buscó en los catálogos un aerogenerador eólico pequeño, el elegido fue de 3kW porque cumplía con el criterio y al revisar su curva de potencia alcanza aproximadamente la potencia requerida con la velocidad media anual del viento de la Vereda, además este tiene la ventaja de no dejar de producir energía cuando los vientos están flojos pues comienza a generar desde velocidades de arranque muy pequeñas 2m/s.

Después de estimar en la Vereda Mata Negra el tipo estructuras de suministro, perfil de la carga específica del usuario, la evaluación de los recursos energéticos con los que contaban (como radiación solar, horas de brillo solar), al considerar también su factor físico (es decir la ubicación de las viviendas) y plantearse como mejor opción el sistema renovable en solución individual y no por micro-red; se concluyó que como las casas presentan diferente orientación, no tienen un diseño igual de construcción y no se cuenta con los mapas arquitectónicos de cada vivienda ( puesto que tampoco hay aún en Google Maps una ubicación de ellas) con el objeto de determinar detalladamente la orientación, no se puede definir el ángulo de inclinación del techo de cada una, por tanto la solución para la instalación fotovoltaica se diseñó para una implementación en suelo y no en techo.

Al calcular el valor presente neto de implementar la Tecnología Eólica individual en cada vivienda salió por \$26'791.200 ; Y de igual forma, al calcular el valor presente neto de implementar la Tecnología Solar fotovoltaica individual en cada vivienda salió por \$20'438.200 , incluyendo para ambas tecnologías gastos de AOM, Mano de Obra, Transporte , Equipo y Herramienta; Por tanto se expone que el costo por vivienda con el Sistema Híbrido Renovable fue de \$47'229.400; y que el valor presente total de implementar el Sistema Híbrido en la Vereda Mata Negra es de \$ 944'588.000.

El período de retorno de la inversión es decir, el tiempo en que los ahorros se vuelven iguales al costo del sistema que se consideró fue de 25 años, este depende de la tecnología elegida para la aplicación ó de su sistema en conjunto.

El valor futuro estimado que tendría la energía en cada tecnología seria de \$2180 kWh para energía eólica, para la energía solar fotovoltaica \$1570 kWh y su Sistema en conjunto ó Híbrido tendría un

costo futuro de \$1875 kWh para recuperar la inversión; Por tanto, se puede apreciar con base en estos valores hallados que sale más caro implementar una sola tecnología que el sistema híbrido en conjunto

Los valores futuros ó costos en el tiempo están sujetos a cambios dependiendo de los recursos ambientales con los que se cuente el sitio, los costos de la electricidad en el área y como se utilice el sistema de energía renovable.

Se percibe que en la Vereda Mata Negra se pueden hallar posibles medios de inversión de querer llevar a cabo la instalación del Sistema Híbrido puesto que los verdaderos dueños de las fincas aparentemente parecen ser latifundistas ó terratenientes, por la extensión de la tierra en cada vivienda, además de tener la opción de apelar por subsidios.

Hay que considerar que los sistemas híbridos ofrecen varias ventajas competitivas que si se instalaran en forma separada; puesto que al combinar las tecnologías por ejemplo de un sistema eólico y un sistema fotovoltaico, ya evaluado el recurso de brillo solar y viento como favorable en el área de interés, a su favor se esperara que haya una mayor probabilidad de complementarse y cubrir todos los requerimientos de energía, cubriendo los picos de operación de los sistemas eólicos y fotovoltaicos que ocurren en diferentes etapas del año y del día.

En ocasiones cuando no se cuente con ninguna de las dos fuentes, la energía pueda ser suministrada por baterías ó mediante un motor de combustión interna, tal como un motor Diesel. Ya que si las baterías están bajas de carga, el motor puede suministrar la energía faltante y cargar las baterías.

Actualmente se resalta que la energía mini-eólica y la solar fotovoltaica son dos fuentes de energía totalmente limpias, que permiten a cualquier usuario independientemente de ser particular, pequeña o mediana empresa, generar energía eléctrica para el autoconsumo o para la venta a la red eléctrica.

Se pueden buscar incentivos de inversión para proyectos de generación de energías no convencionales, con la Ley 1715 de 2014, que es la norma más reciente que regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional; ya que con esta se fomenta la inversión, la investigación y el desarrollo de tecnologías limpias para la producción de energía, la eficiencia energética y la respuesta de la demanda en el marco de la política.



Por último el desarrollo que hasta el momento presentan las perspectivas de progreso tecnológico de las redes inteligentes, los sistemas híbridos y según varios casos en el mundo ( como los expuestos: Suecia, Dubái, Malta, Ohio, Málaga, Alemania, Dinamarca, Puerto Rico, Singapur, Jamaica, Nuevo México, Países Bajos, Austin, Colorado, Brasil, Argentina) y en Colombia (Choco, Guajira, San Andrés, Necolí, Bolívar y San José de Guaviare); muestran a manera de pruebas que hay una transformación del sector eléctrico hacia las energías renovables y que el uso de más de una tecnología alternativa a la vez continuara aumentando en los próximos años.

Finalmente los Sistemas Híbridos Renovables se plantean como la mejor solución de generación, al incrementar la combinación de fuentes renovables a la red existente, favorecen al medio ambiente y mejorar la eficiencia energética.

## 6. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- [1] Ministerio Minero Energético UPME, “Energías Alternativas”, 2012.
- [2] A. Ahmadi y M. Pedrasa “Optimal Design of Hybrid Renewable Energy System for Electrification of Isolated Grids”University of the Philippines.
- [3] A. Helal, R. El-Mohr y H. Eldosouki, “Optimal Design of Hybrid Renewable Energy System for Electrification of a Remote Village in Egypt,”Arab Academy for Sciences & Technology and Maritime Transport Alexandria.
- [4] S. Ashok, “Optimized model for community-based hybrid energy system,” Renewable energy, 2007.
- [5] Sven Teske, Arthouros Zervos, Oliver Schäfer, “Revolución Energética Global” Energía Sostenible para el Mundo, Escenario de Energía Global, Enero 2007 . <Disponible en: [http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio\\_climatico/r-evoluci-n-energetica-persp.pdf/](http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio_climatico/r-evoluci-n-energetica-persp.pdf/)>
- [6] Benavides J. “Observatorio de Energías Renovables para Latinoamérica y el Caribe”, 2006. <Disponible en: [http://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/presentation\\_jairo\\_benavides\\_02.pdf/](http://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/presentation_jairo_benavides_02.pdf/)>
- [7] Ecopetrol, “Cobertura Nacional de Gasoductos y Poliductos” 2012.
- [8] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME), “Atlas de Radiación Solar de Colombia” 2005
- [9] Unidad de Planeación Minero Energética (UPME 2005) / Instituto De Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) “Atlas de Radiación Solar de Colombia” 2005 .En línea]. Bogotá: <Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/>>
- [10] Organización de los Estados Americanos (OAS), “Fuentes de Energía Renovable y No Convencional”, Programa de las Naciones Unidas del Medio Ambiente, 1987.
- [11] UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME), “Atlas de Radiación Solar de Colombia” 2005.
- [12] Unidad De Planeación Minero Energética (UPME), “Atlas de Biomosas”,2010  
CORPOEMA-UPME “Plan Nacional de Desarrollo de Fuentes no convencionales de Energía” 2011
- [13] Universidad Nacional de Colombia (UN), “Periódico impreso N° 144”, 2011  
Unidad De Planeación Minero Energética (UPME), “Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia”, 2006

- [14] Consorcio Energético (CORPOEMA) - UPME, "Plan Nacional de Desarrollo de Fuentes no convencionales de Energía", 2011
- [15] Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE), "Guía para la realización de Inventarios de Pequeñas Cuencas", 1985
- [16] Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas "Generalidades acerca de las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas PCH's", 1997.
- [17] Boletín de la Energía Eléctrica en Colombia, "Fuentes de Energía Alternativa", 2010. <Disponible en: <http://energiaelectrica12.blogspot.com/2010/07/energia-electrica-en-colombia>>
- [18] Shell Vision of Energy Through 2050, "CO<sub>2</sub> Emitters", 2008.
- [19] CDIAC data, Le Quéré, "Global Carbón Burge". Top Fossil Fuel Emitters, 2013.
- [20] IEEE, Conference on "Estimating the Benefits of the GridWise Initiative", 2010.
- [21] Comisión Europea Comisión, Socios de la Países Bajos, Francia, Grecia, España y Suecia, "Integral Brochure" finales de 2007 y marzo de 2011.
- [22] The International Energy Agency (IEA), "Tecnología y Regulación del Mercado Energético II/ Evolución y Desafíos en el Sector Eléctrico", XXIV Seminario Internacional - 2014.
- [23] European Committee for Standardization (CEN), "Joint CEN, CENELEC and ETSI Activity on Standards for Smart Grid", 2012. <Disponible en: [http://ec.europa.eu/energy/gas\\_electricity/smartgrids/doc/xpert\\_group1\\_reference\\_architecture.pdf](http://ec.europa.eu/energy/gas_electricity/smartgrids/doc/xpert_group1_reference_architecture.pdf)>
- [24] U.S. Department of Energy "Smart Grid" <Disponible en: <http://www.energy.gov>>
- [25] Baer S., Fulton B., Mahnovski S., "Estimating the Benefits of the GridWise Initiative", Pacific Northwest National Laboratory, RAND Science and Technology, 2004.
- [26] Tengku Juhana Tengku Hashim, Mohamed A., Shareef H., "A review on voltage control methods for active distribution Networks", 2012.
- [27] D'Adamo C., Samuel J., and Chad A., "Global survey on planning and operation of active distribution networks" – Update of CIGRE C6.11 working group activities, 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2009.
- [28] Hidalgo R., Abbey C., Joo, x, and s G., "A review of active distribution networks enabling technologies", IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2010.
- [29] Doris E., Peterson K. , "Government Program Briefing: Smart Metering", NREL national laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Technical Report, 2011

- [30] CitiPower y Powercor, " All about smart meters" , 2012.
- [31] Kempener R., Komor P., Hoke A., "Smart Grids And Renewables". A Guide for Effective Deployment, 2013.
- [32] Senado de Colorado SB 10-180, "Deploying Smart Grid in Colorado - Recommendations and Options", Colorado Smart Grid Task Force, 2010
- [33] Asociación Danesa de Energía, "Pronostico Wind Power , N.D .; Breslin, 2009"; 2012
- [34] Energinet.dk, "Smart Grid in Denmark", 2010. <Disponible en: [www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/Forskning/Smart%20Grid%20in%20Denmark.pdf](http://www.energinet.dk/SiteCollectionDocuments/Engelske%20dokumenter/Forskning/Smart%20Grid%20in%20Denmark.pdf)>
- [35] Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico, "Plan Táctico para Optimizar las Operaciones y Servicios", 2011, <Disponible en: [www.aeepr.com/DOCS/PREPA%20Smart%20Grid%20Roadmap%20Espa%C3%B1ol.pdf](http://www.aeepr.com/DOCS/PREPA%20Smart%20Grid%20Roadmap%20Espa%C3%B1ol.pdf)>
- [36] Burger, A. "Puerto Rico Solar Power Plant Built to Withstand Hurricanes, Deliver Power Reliably in All Types of Weather", CleanTechnica, (2012), <Disponible en: <http://cleantechnica.com/2012/10/03/puerto-rico-solar-power-plant-built-to-withstand-hurricanes-deliver-powerreliably-in-all-types-of-weather/>>.
- [37] Cordero, M., "Puerto Rico Electric Power Authority - Company Overview and Project Development", Puerto Rico Credit Conference 2010.
- [38] Romero Barceló, C., "Can Puerto Rico Find a Solution to Its Unacceptably High Energy Costs?", Caribbean Business, 2012.
- [39] Gross, D., Cleantech, "Spotlight on Singapore: Smart Grid City", 2010 <Disponible en: [www.cleantechinvestor.com/portal/smart-grid/5860-spotlight-on-singapore-smart-gridcity.html](http://www.cleantechinvestor.com/portal/smart-grid/5860-spotlight-on-singapore-smart-gridcity.html)>
- [40] Menon, A, "Smart Grid Technologies for Sustainable Cities: Implementation potential in ASEAN", Institute for Infocomm Research Singapore, <Disponible en: <http://smartgrid.i2r.a-star.edu.sg/2012/slides/siemens.pdf> >
- [41] Singapore Energy Market Authority ,(2012), <Disponible en: [www.ema.gov.sg/](http://www.ema.gov.sg/)>
- [42] Stennet, D., "Smart Grid Initiatives - Jamaica's Experience", Presentation at the IN-ECLAC Smart Grid Conference, Santiago Chile, 2010, <Disponible en: [www.cepal.org/dnri/noticias/noticias/8/41128/DStennet.pdf](http://www.cepal.org/dnri/noticias/noticias/8/41128/DStennet.pdf)>.

[43] New Mexico Green Grid (n.d.), "Mesa Del Sol Smart Grid Project: High Penetration PV Feeder Grid Demonstration", <Disponible en: [http://newmexicosmartgrid.com/file /mesadelsol-onepage-projectfile.pdf](http://newmexicosmartgrid.com/file/mesadelsol-onepage-projectfile.pdf)>

[44] Shimizu Corporation, "Nine Japanese Companies Launch Japan-U.S. Collaborative Smart Grid Demonstration Project in Business District of Albuquerque, New Mexico", Press Release: 2012, <Disponible en: [www.shimz.co.jp/english/news\\_release/2012/2012005.html#note1](http://www.shimz.co.jp/english/news_release/2012/2012005.html#note1)>

[45] Blik, F., A. van den Noort, B. Roossien, R. Kamphuis, J. de Wit, J. van der Velde and M. Eijelaar, "PowerMatching City, a Living Lab Smart Grid Demonstration", presentation at Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe), 2010. <Disponible en: [www.kema.com/Images/IEEEPMC.pdf](http://www.kema.com/Images/IEEEPMC.pdf).>

[46] Hoff E., Perez R., Braun G., Kuhn M., Norris B., "The Value of Distributed Photovoltaics to Austin Energy and the City of Austin", Clean Power Research, L.L.C., 2006.

[47] Ministerio de Minas y Energía (UPME), "Plan de Expansión de Referencia: Generación, Transmisión," 2006-2020.

[48] CREG, Ministerio de Minas y Energía, "Adopción Plan Expansión de Referencia Generación - Transmisión 2010 - 2024", Resolución N 182215, 2010. <Disponible en: [www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?opcionCalendar=4&cargaHome=2&id\\_noticia=854](http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?opcionCalendar=4&cargaHome=2&id_noticia=854)>

[49] Naciones Unidas, "Protocolo de Kyoto", Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998 <Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> >

[50] Ministerio Minas y Energía UPME, " Fondos Especiales", 2015. <Disponible en: [http://http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=3&id\\_categoria=71&id\\_subcategoria=269](http://http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=3&id_categoria=71&id_subcategoria=269)>

[51] Ministerio Minas y Energía UPME, Resolución "Por medio de la cual se adopta el factor de emisión de gases de efecto invernadero para los proyectos de generación de energía eléctrica conectados al Sistema Interconectado Nacional", 2010

[52] Congreso de Colombia. "Ley 142 de 1994", Bogotá, 1994.

[53] Congreso de Colombia. "Ley 143 de 1994", Bogotá, 1994.

[54] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC), " NTC - ISO 50001 - Sistemas De Gestión de La Energía", Bogotá, 2011. I.C.S.: 29.020.

[55] Minminas - Ministerio de Minas y Energía, "Resolución 070 de 1998", Bogotá, 1998.

[56] Minminas - Ministerio de Minas y Energía "Resolución 005 de 2010", Bogotá, 2010.

- [57] Minminas - Ministerio de Minas y Energía, “Resolución 047 de 2011”, Bogotá , 2011
- [58] Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas, IPSE, 2011 <Disponible en: <http://www.ipse.gov.co>>
- [59] Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas – FAER – “Artículo 105” de la Ley 788 de 2002 , “Decreto 1122” de 2008.
- [60] Minminas - Ministerio de Minas y Energía, “Fondos especiales/ PRONE“, Bogotá, Ley 1117 de 2006.
- [61] Prias, O. , Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales – PROURE.” Informe Final. Plan de Acción 2010-2015. MME” “Hacia un nuevo concepto de la Eficiencia Energética”. Abril 2010. Bogotá, Pág. 159
- [62] Ministerio de Minas y Energía MME. Historico de Comunicados “Gobierno nacional sanciona ley que incentiva el uso de energías renovables”, Cartagena, 13 de mayo de 2014. <Disponible en : [http://www.minminas.gov.co/minminas/index.jsp?cargaHome=2&opcionCalendar=10&id\\_comunicado=988](http://www.minminas.gov.co/minminas/index.jsp?cargaHome=2&opcionCalendar=10&id_comunicado=988)>
- [63] IPSE - Instituto de Planeación y Promoción de Soluciones Energéticas para las zonas no interconectadas. “Ley 1715 De 2014” - por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. Bogotá : Grupo Asesor de Comunicaciones & Prensa del IPSE, 2014. <Disponible en : [http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY\\_1715\\_2014.pdf](http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf)>
- [64] Censo y Evaluación, “Sistemas Solares Fotovoltaicos Instalados en Colombia”, 2006.
- [65] CORPOEMA-UPME, “Plan Nacional de Desarrollo de Fuentes no convencionales de Energía”, 2011.
- [66] Periódico el Tiempo - Portafolio – “Con sistemas híbridos se iluminan zonas aisladas”, Octubre 15 de 2013 <Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/sistemas-hibridos-se-iluminan-zonas-aisladas>>
- [67] Sarduy Gómez R. J. y Felipe Viego R. P., Doctores en Ciencias Técnicas. Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente, Universidad de Cienfuegos, “Redes eléctricas inteligentes”, Cuba. <Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/sistemas-hibridos-se-iluminan-zonas-aisladas>>
- [68] Céspedes R., IEEE, “Smart Grid”, Memorias del Sector Eléctrico <Disponible en: [http://www.energiamayorista.com.co/memorias\\_SG/taller/taller\\_1\\_R\\_Cespedes.pdf](http://www.energiamayorista.com.co/memorias_SG/taller/taller_1_R_Cespedes.pdf)>

- [69] BCG; mundial, Lobar Wind Energy Council (GWEC) y MAKE consult, España, "US and China in race to the top of global wind industry", 2010
- [70] Asociación Mundial de Energía Eólica (WWEA), Gsänger S. , "Primer Balance Semestral 2014", 2014
- [71] Consejo Mundial de Energía Eólica , "Informe Global de viento: Actualización anual del mercado", 2014. <Disponible en: [http://www.gwec.net/index.php?id=30&no\\_cache=1&tx\\_ttnews\[tt\\_news\]=177&tx\\_ttnews\[backPid\]=4&cHash=3a1c08c3ac](http://www.gwec.net/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=177&tx_ttnews[backPid]=4&cHash=3a1c08c3ac)>
- [72] European Photovoltaic Industry Association (EPIA), "European solar energy conference", 2010. <Disponible en: [www.epia.org/](http://www.epia.org/)>
- [73] Energías Renovables, "Mitsubishi Corporation compra a Acciona el 34% de la mayor planta fotovoltaica del mundo". En: Energías Renovables el periodismo de las energías limpias. 2009 [En línea]. s.l.: El Autor, 2009. <Disponible en: <http://www.energiasrenovables.com/paginas/ContenidoSecciones.asp?ID=15&Cod=16366&Tipo=&Nombre=Solar%20fotovoltaica>>
- [74] Juana, J. "Energías Renovables para el Desarrollo". Madrid, España: Paraninfo S.A. 2003.
- [75] Orellana R., Experto en Energías Renovables y Eficiencia Energética. "Sistemas Híbridos con Renovables para una Mayor Eficiencia Energética", 2011. <Disponible en: <http://eerrbolivia.blogspot.com/2011/08/sistemas-hibridos-con-renovables-para.html>>
- [76] Ministerio de Minas y Energía de Brasil "Sistemas Híbridos, Soluções Energéticas para a Amazônia", publicado en el 2008.
- [77] Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA), "Las Energías Renovables, Apuesta por un Desarrollo Sostenible", 2009. <Disponible en: [http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que\\_es.php](http://www.appa.es/09fotovoltaica/09que_es.php)>
- [78] The Energy Innovations Company, AMT Solar, "Always One Step Ahead Power Solution" 2012. <Disponible en: <http://www.amt-solar.com/index.php/es/fotovoltaica/energia-fotovoltaica>>
- [79] Cochran J., Bird L., Heeter J., and Arent J., "Integrating Variable Renewable Energy in Electric Power Markets: Best Practices from International Experience" NREL national laboratory of the U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, report 2012.

- [80] Plan Básico De Ordenamiento Territorial Municipio De Yopal-Casanare (POT), Diagnostico Territorial, Alcaldía de Yopal, Departamento de Casanare, 2013. <Disponible en: [http://www.yopal-casanare.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.yopal-casanare.gov.co/informacion_general.shtml)>
- [81] Portal Virtual de la Alcaldía de Yopal “Mapas Políticos, División Política” ,2010. <Disponible en: [http://www.yopal-casanare.gov.co/mapas\\_municipio.shtml?apc=bcMapas%20Pol%EDticos-1-&x=2596442](http://www.yopal-casanare.gov.co/mapas_municipio.shtml?apc=bcMapas%20Pol%EDticos-1-&x=2596442)>
- [82] Gerencia de Salud Municipio de Yopal, Convenio Alcaldía de Yopal –Gobernación De Casanare, Secretaria De Planeación Municipal, “Documento de Evaluación , Revisión y Ajuste”, 2003.
- [83] Sistema Integrado de Gestión, Proceso Gestión, Documental Comunicación Oficial, “Proyecto Estudio de Necesidades de Contratación de Servicios Administrativos, de Servicios Generales y de Vigilancia para las Instituciones Educativas del Municipio De Yopal 2014”, 2013. <Disponible en: <http://secretariadeeducacion-yopal.gov.co/apc-aa-files/37326365336631663061623632646336/estudio-proyec-neces-serv.-adtivos-serv-grales-y-vigil-yopal-vigencia-2014.pdf>>
- [84] Alcaldía de Yopal, secretaria de Planeación Municipal “Agenda Ambiental”,2007 <Disponible en: [http://www.yopal-casanare.gov.co/apc-aa-files/64646666323135333533653463353437/AGENDA\\_AMBIENTAL.pdf](http://www.yopal-casanare.gov.co/apc-aa-files/64646666323135333533653463353437/AGENDA_AMBIENTAL.pdf)>
- [85] DANE Colombia, “Resultados Población Conciliada”, Unidad De Planeación Minero Energética (UPME), Grupo de cobertura y Fondos, 2013.
- [86] Wegley et al. A Siting , “Handbook for Small Wind Energy Conversion Systems”, NTIS 1978.
- [87] Paul Gipe, “Conceptos de Energía Eólica”
- [88] Comisión Electrotécnico Internacional IEC, Norma 1400-2 “normas de certificación de aerogeneradores”
- [89] Grupo de Trabajo para el Impulso de la Energía Eólica, “Diez preguntas y respuestas sobre energía eólica”, publicado por la Editorial Cuba Solar, (2007), <Disponible en: [www.cubasolar.cu](http://www.cubasolar.cu)>
- [90] Glauert H., “Fundamento de la Teoría del Ala y de la Hélice”, Publicaciones Técnicas del INTA, Ministerio del Aire ,1946.
- [91] Eggleston D. M., Stoddard F. S., “Wind Turbine Engineering Design”, Van Nostrand Reinhold, 1987.
- [92] Neumann L. A., “La Energía Eólica: Principios básicos y tecnología”, Leganés, 2002



- [93] Moreno F. C., "Electrificación rural con sistema eólico aislado", Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER), 2007.
- [94] López S. S, "Energía Eólica en EPO 126", Blogs, 2011 <Disponible en: <http://saralopezsolis.blogspot.com/2011/10/cuanto-cuesta-un-sistema-de-energia.html>>
- [95] Soluciones Energéticas, S.A., SOLENER, "Celdas Fotovoltaicas" <Disponible en: <http://www.solener.com>>
- [96] R.W. Miles et al, "Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials", 2005
- [97] D.B. Mitzi, et al., "Sol. Energy Mater", Sol. Cells 2011
- [98] Secretaría de Energía de Argentina, "Energías Renovables 2008 - Energía Solar", 2008. <Disponible en:[http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro\\_energia\\_solar.pdf](http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_solar.pdf)>
- [99] Roldán, "Estudios de Viabilidad de Instalaciones Solares". Determinación del Potencial Solar, 2011.
- [100] Pereda, Isidro, "Celdas Fotovoltaicas en Generación Distribuida", Pontificia Universidad Católica, 2005.
- [101] Jutglar, L., "Energía Solar", Barcelona: ceac, 2004.
- [102] Pareja M., "Energía Solar Fotovoltaica: Cálculo de una Instalación Aislada ",Segunda ed., Barcelona, España: Marcombo, 2010.
- [103] Style, O., "Energía Solar Autónoma: Planificación, Dimensionado e Instalación de un Sistema Fotovoltaico Autónomo" (Primera ed., Vol. I). Oliver Style, 2012.
- [104] Bogaardt L., "Energy Storage Packing Some", LERU Bright Conference, 2013
- [105] Roldán, "Montaje Mecánico en Instalaciones Solares Fotovoltaicas", 2013.
- [106] Aguilera A., "Montaje Mecánico de las Instalaciones Solares Fotovoltaicas", España: Vértice,2011
- [107] Valentín, J., "Instalaciones Solares Fotovoltaicas", San Sebastián, España: Donostiarra, 2012.
- [108] Icontec, "Norma Técnica Colombiana", NTC-2050.
- [109] Programa de Meteorología Aeronáutica, IDEAM, "Rosa de los Vientos" <Disponible en: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>>
- [110] U. Sureshkumar , P.S. Manoharan , A.P.S. Ramalakshmi "Economic Cost Analysis of Hybrid Renewable Energy System using HOMER" IEEE- International Conference On Advances In Engineering, Science And Management, 2012

[111] Yenen M., "Wind and Solar Energy Assessment of Northern Cyprus," IEEE SYSTEMS JOURNAL.

- Otras Páginas Web consultadas:

www.altaingenieriaxxi.com, www.dmcsolar.co, www.hybrytec.org, www.colpilas.com, www.civicsolar.com, Sunpower Colombia S.A., Latinoamericana de energía renovable, Aerogeneradores Aeolos <http://www.windturbinestar.com/contacto.html>, Aerogeneradores warttnier [www.wattnier.com](http://www.wattnier.com), Aerogeneradores Bornay [www.bornay.com](http://www.bornay.com), Aerogeneradores Enair [www.enair.es](http://www.enair.es), Aerogeneradores <http://www.sunforceproducts.com/>