

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS .. | 1 |
| 1.1 Objetivos | 3 |
| 1.2 Motivación y Generalidades | 4 |
| 1.1 Estructura de la Tesis..... | 7 |
| 2. ESTADO DEL ARTE DE LAS SOLUCIONES DE SUMINISTRO ENERGETICO EN ZONAS AISLADAS | 13 |
| 2.1 Necesidades energéticas en zonas aisladas, panorama mundial | 14 |
| 2.2 Soluciones de suministro energético consideradas convencionalmente..... | 17 |
| 2.2.1 Análisis de viabilidad de extensión de la red a zonas aisladas. | 18 |
| 2.2.2 Soluciones energéticas basadas en generación local. | 25 |
| 2.3 Gestión de la demanda | 42 |
| 2.3.1 Concepto General. | 42 |
| 2.3.2 Interrumpibilidad. | 43 |
| 2.4 Panorama general de las zonas aisladas de Colombia..... | 44 |
| 2.4.1 Estado del suministro energético en ZNI | 46 |
| 2.4.2 Caracterización de la demanda y el potencial energético de las ZNI en Colombia. | 48 |
| 2.5 Características de la red requerida para el suministro energético en las zonas aisladas. | 52 |
| 2.6 Conclusiones. | 54 |
| 2.7 Aportaciones del Capítulo | 56 |
| 3. SISTEMAS DE SUMINISTRO ENERGETICO DISTRIBUIDO Y MICROREDES | 59 |
| 3.1 El concepto de Generación Distribuida..... | 59 |
| 3.1.1 Definición de Generación Distribuida. | 60 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.1.2 | El paradigma de la GD, antecedentes y evolución. | 63 |
| 3.1.3 | Aplicaciones de la Generación Distribuida. | 64 |
| 3.1.4 | Beneficios de la Generación Distribuida. | 66 |
| 3.1.5 | Nuevos avances y futuro de la GD. | 71 |
| 3.2 | Microredes. (Microgris o Smart grids) | 76 |
| 3.2.1 | Ventajas de la Microrred. | 79 |
| 3.2.2 | Arquitectura de la microrred: | 80 |
| 3.2.3 | Problemas asociados a las microredes. | 81 |
| 3.3 | Planificación de Microredes | 86 |
| 3.4 | Paquetes de software para planificación de sistemas de suministro energético aislado. | 90 |
| 3.5 | Gestión de la demanda Aplicada a Microredes. | 93 |
| 3.5.1 | Demanda Crítica. | 93 |
| 3.5.2 | Demanda reducible. | 94 |
| 3.5.3 | Demanda reprogramable. | 95 |
| 3.5.4 | Impacto de la gestión de la demanda sobre el precio de la energía en las microredes aisladas. | 96 |
| 3.6 | Conclusiones. | 98 |
| 3.7 | Aportaciones del capítulo. | 101 |
| 4. | PROPUESTA DE METODOLOGIA DE PLANIFICACION ENERGETICA. | 105 |
| 4.1 | Caracterización de la población e identificación de necesidades energéticas. | 108 |
| 4.2 | Cálculo de las necesidades energéticas. | 113 |
| 4.2.1 | Estimación del consumo. | 113 |
| 4.2.2 | Clasificación de los consumos totales según prioridad. | 114 |
| 4.2.3 | Proyección de la curva de carga. | 115 |
| 4.3 | Determinación y caracterización del potencial energético renovable | 116 |
| 4.3.1 | Determinación del recurso Eólico. | 117 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.3.2 | Determinación del recurso Fotovoltaico. | 130 |
| 4.3.3 | Determinación del recurso de la biomasa. | 137 |
| 4.4 | Análisis de la posible utilización de fuentes convencionales. | 149 |
| 4.5 | Preselección de fuentes energéticas con posible viabilidad. | 150 |
| 4.6 | Determinación de costes asociados a las fuentes preseleccionadas y al almacenamiento. | 150 |
| 4.7 | Selección del sistema con el mix energético de generación óptimo | 151 |
| 4.7.1 | Simulado de posibles configuraciones para el sistema. | 152 |
| 4.7.2 | Optimización. | 153 |
| 4.7.3 | Análisis de sensibilidad. | 157 |
| 4.8 | Conclusiones. | 159 |
| 4.9 | Aportaciones capítulo. | 161 |
| 5. | PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE IMPLANTACION DE LA SOLUCION ENERGETICA | 163 |
| 5.1 | Determinación de la estrategia de despacho. | 164 |
| 5.1.1 | Generadores despachables y no despachables. | 165 |
| 5.1.2 | Fiabilidad de suministro en la microred. | 167 |
| 5.1.3 | El concepto de Reserva Operativa. | 171 |
| 5.1.4 | Estrategias de despacho de microredes. | 172 |
| 5.2 | Estrategias de control de microredes. | 174 |
| 5.2.1 | Configuraciones para el control en microredes. | 175 |
| 5.2.2 | Control de micro-generadores. | 177 |
| 5.2.3 | Concepto de Redes autónomas de electricidad (Autonomous Electricity Network AEN). | 180 |
| 5.2.4 | Operación de Generadores diesel en microredes. | 183 |
| 5.2.5 | Control en Operación Aislada. | 184 |
| 5.3 | Evaluación de la Agregación de cargas de la Microred | 190 |
| 5.4 | Evaluación del Control de Frecuencia mediante aplicación de Control Dinámico de la Demanda (DDC). | 201 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 5.4.1 | Verificación de la capacidad de control de frecuencia por parte de los equipos y sistemas de generación. | 203 |
| 5.4.2 | Identificación de las cargas gestionables para responder a la demanda. | 204 |
| 5.4.3 | Caracterización y modelado de las cargas seleccionadas. | 206 |
| 5.4.4 | Determinación de la estrategia para el control dinámico de la demanda. | 209 |
| 5.4.5 | Obtención de la respuesta de la aplicación a la estrategia de control. | 210 |
| 5.4.6 | Obtención de la respuesta de la frecuencia de la microred a la estrategia de control. | 212 |
| 5.4.7 | Determinación del sistema para realizar el control dinámico de la demanda. | 215 |
| 5.5 | Planificación de Seguridad. | 217 |
| 5.6 | Plan de tarificación. | 218 |
| 5.7 | Gestión del Mantenimiento. | 218 |
| 5.7.1 | Personal para mantenimiento de la microred, oportunidades laborales y características. | 219 |
| 5.7.2 | Tareas a realizar por el personal de mantenimiento. | 220 |
| 5.8 | Conclusiones. | 221 |
| 5.9 | Aportaciones del capítulo. | 222 |
| 6. | APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DE PLANIFICACION ENERGETICA..... | 225 |
| 6.1 | Caracterización e identificación de necesidades energéticas. | 227 |
| 6.2 | Cálculo de las necesidades energéticas. | 230 |
| 6.2.1 | Estimación del consumo. | 230 |
| 6.2.2 | Clasificación de los consumos totales según prioridad. | 231 |
| 6.2.3 | Proyección de la curva de carga. | 232 |
| 6.3 | Determinación y caracterización del potencial energético renovable. | 234 |
| 6.3.1 | Determinación del recurso eólico. | 235 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 6.3.2 | Determinación del recurso solar. | 236 |
| 6.3.3 | Determinación del recurso de la biomasa. | 238 |
| 6.4 | Análisis de la posible utilización de fuentes convencionales..... | 244 |
| 6.5 | Preselección de fuentes energéticas con posible viabilidad. | 244 |
| 6.6 | Determinación de costes asociados a las fuentes preseleccionadas y al almacenamiento. | 245 |
| 6.7 | Selección del sistema con el mix energético de generación óptimo..... | 248 |
| 6.7.1 | Simulado de posibles configuraciones para el sistema. | 248 |
| 6.7.2 | Optimización. | 252 |
| 6.7.3 | Análisis de sensibilidad. | 254 |
| 6.8 | Conclusiones. | 256 |
| 6.9 | Aportaciones del capítulo. | 258 |
| 7. | APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE IMPLANTACION DE LA SOLUCION ENERGETICA | 259 |
| 7.1 | Estrategia de Operación. | 260 |
| 7.2 | Estrategia de control de la microrred. | 265 |
| 7.3 | Control de frecuencia del gasificador de biomasa. | 267 |
| 7.3.1 | Descripción física del Sistema..... | 268 |
| 7.3.2 | Metodología de modelado y diseño del control..... | 271 |
| 7.3.3 | Modelamiento Físico del gasificador downdraft..... | 272 |
| 7.3.4 | Modelamiento del Blower..... | 276 |
| 7.3.5 | Modelo del Motor de combustión Interna Alternativo-Generador..... | 277 |
| 7.3.6 | Estrategia de control Propuesta. | 281 |
| 7.3.7 | Resultados..... | 282 |
| 7.4 | Estudio de la Agregación y caracterización de la demanda en una zona con electrificación aislada en Colombia. | 284 |
| 7.5 | Principales actividades en la zona y focos de consumo claves para la explotación eficiente. | 291 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 7.6 | Gestión de la demanda: Control de Frecuencia mediante aplicación de Control Dinámico de la Demanda (DDC)..... | 294 |
| 7.6.1 | Identificación de las cargas gestionables para responder a la demanda. | 294 |
| 7.6.2 | Caracterización y modelado de las cargas seleccionadas..... | 295 |
| 7.6.3 | Determinación de la estrategia de control. | 299 |
| 7.6.4 | Obtención de la respuesta de la aplicación a la estrategia de control. | 300 |
| 7.6.5 | Obtención de la respuesta de la frecuencia de la microred a la estrategia de control. | 306 |
| 7.6.6 | Operación de la microred tras aplicar Gestión de la Demanda | 307 |
| 7.6.7 | Determinación del sistema para realizar el control. | 309 |
| 7.7 | Conclusiones. | 311 |
| 7.8 | Aportaciones de capítulo..... | 312 |
| 8. | CONCLUSIONES..... | 315 |
| 8.1 | Conclusiones | 315 |
| 8.2 | Aportaciones..... | 323 |
| 8.3 | Futuras líneas de investigación | 324 |