



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Micro Redes y Redes Inteligentes

Autor:

Pascual de Vega, Sergio

Tutor: Martínez Rodrigo, Fernando

Departamento: TECNOLOGÍA
ELECTRÓNICA

Valladolid, Julio de 2018.



Resumen: El objetivo de este proyecto es comprender tanto a nivel teórico como práctico el concepto de las micro redes y las redes inteligentes. En primer lugar, se realizará una introducción teórica que contendrá todos los conceptos importantes de este nuevo tipo de redes eléctricas. A continuación, se realizarán varias simulaciones de plantas reales ubicadas en los alrededores de Valladolid en diferentes software del ámbito.

Summary: The goal of this project is to understand both theoretically and practically the concept of Microgrids and Smartgrids. First of all, a theoretical introduction will be made that will contain all the important concepts of this new type of electrical networks. Next, there will be several simulations of real plants located in the surroundings of Valladolid in different software of the field.

Palabras clave: Micro redes, redes inteligentes, almacenamiento, generación renovable, software de simulación.

Key words: Microgrids, Smart grids, storage, renewable generation, simulation software´s.





Contenido

1. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE MICRO REDES Y REDES INTELIGENTES....	13
1.1-MICRO REDES.....	14
1.1.1. Elementos que forman una micro red.....	14
1.1.2. Previsión: demanda, precio de la electricidad, producción eólica y solar	19
1.1.4. Protección de la Micro Red frente a fallos	23
1.1.6. Control primario, secundario y terciario	25
1.1.7. Micro Red conectada o en isla.....	26
1.1.8. Programas de simulación.....	28
1.2-REDES INTELIGENTES (Smartgrids).....	31
1.2.1. Fiabilidad, seguridad y eficiencia de la red eléctrica	31
1.2.2. Integración de recursos distribuidos y generación.....	33
1.2.3. Respuesta a la demanda y recursos de la demanda.....	34
1.2.4. Implementación de tecnologías "inteligentes": automatización de medición y distribución.....	35
1.2.5. Tecnologías avanzadas de almacenamiento de electricidad y eliminación de picos.	36
1.2.6. Previsiones avanzadas: demanda, precio de la electricidad, producción de viento y FV	38
1.2.7. Control de unidades de generación.....	39
1.2.8. Control de unidades de almacenamiento	40
1.2.9. Transmisión y monitoreo de datos	41
1.2.10. Sistemas de comunicación: tecnología cableada, tecnología inalámbrica, tecnologías basadas en internet	42
1.2.11. Sistema de gestión de energía: control centralizado vs control descentralizado.....	43
1.2.12. Políticas: incentivar las renovables, reducir producción mediante combustibles fósiles, instalación a gran escala de los contadores inteligentes	44
1.2.13. Simuladores.....	46



2. ANÁLISIS DE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN DE MICRO REDES	47
2.1- INTRODUCCION A HOMER:	47
2.1.1. Localización y datos del autor.....	48
2.1.2. Elección de las cargas	49
2.1.3. Componentes	51
2.1.4. Fuentes.....	54
2.1.5. Proyecto.....	58
2.1.6. Ejemplos de micro redes en HOMER.....	59
2.2- SIMULACION EN HOMER.....	61
2.2.1. Especificaciones iniciales.....	61
2.2.2. Diseño del proyecto	63
2.2.2.1- Cargas:	63
2.2.2.2- Componentes.....	65
2.2.2.3- Fuentes de energía.....	70
2.2.2.4- El proyecto.....	73
2.2.3. Resultados.....	75
2.3- INTRODUCCION A TRNSYS.....	76
2.2.1. Localización y datos del autor.....	76
2.2.2. Elección de zonas	78
2.2.2.1- Airnode regime data	80
2.2.2.2- Thermal zone	83
2.2.3. Resultados finales	84
2.4- SIMULACION EN TRNSYS	86
2.4.1. Especificaciones iniciales.....	86
2.4.2. Diseño del proyecto	87
2.4.2.1- Iniciación del proyecto.....	87
2.4.2.2. Contenido del proyecto	90
2.4.2.3. Resultados del proyecto.....	94



2.5. INTRODUCCION A DigSILENT	96
2.5.1. Inicialización.....	99
2.5.2. Elementos utilizados.....	101
2.5.3. Datos.....	104
2.5.4. Cálculos	108
2.5.5. Salidas	110
3. SIMULACIÓN DE UNA MICRO RED CON EL SOFTWARE DE SIMULINK	111
3.1- Simulación de aerogenerador + red general	114
3.2- Simulación de los paneles solares + red general	120
3.3- Simulación del generador diésel + red general	126
3.4- Simulación de la batería + red general	133
3.5- Simulación del vehículo V2G + red general	139
3.6- Simulación de la micro red completa	149
CONCLUSIONES:	163
BIBLIOGRAFÍA:.....	165

TABLA DE ILUSTRACIONES:

ILUSTRACIÓN 1. ESQUEMA GLOBAL DE UNA MICRO RED	14
ILUSTRACIÓN 2.CARGAS DE UNA MICRO RED.	16
ILUSTRACIÓN 3. PROTECCIONES DE UNA MICRO RED.	17
ILUSTRACIÓN 4. DROOP CONTROL	18
ILUSTRACIÓN 5. ESQUEMA GLOBAL DE UNA MICRO RED.	18
ILUSTRACIÓN 6. PRECIO DE LA ELECTRICIDAD POR HORAS	19
ILUSTRACIÓN 7. IRRADIANCIA MENSUAL ESPAÑA	20
ILUSTRACIÓN 8. MAPA DE IRRADIANCIA EN ESPAÑA	20
ILUSTRACIÓN 9. NODO SENSOR/ACTUADOR	21
ILUSTRACIÓN 10. NODO CONCENTRADOR/CONTROLADOR	21
ILUSTRACIÓN 11.CONTROL CENTRALIZADO	24
ILUSTRACIÓN 12. CONTROL DESCENTRALIZADO	24
ILUSTRACIÓN 13.MICRO RED CONECTADA A RED	26
ILUSTRACIÓN 14. MICRO RED EN MODO ISLA	27
ILUSTRACIÓN 15.MICRO RED EN SIMULINK	28



ILUSTRACIÓN 16.PROGRAMA HOMER	29
ILUSTRACIÓN 17.PROGRAMA TRNSYS	29
ILUSTRACIÓN 18.PROGRAMA DIGSILENT	30
ILUSTRACIÓN 19.EFICIENCIA DE SMARTGRIDS	32
ILUSTRACIÓN 20.CONTADOR INTELIGENTE	32
ILUSTRACIÓN 21.EVOLUCIÓN DEMANDA ENERGÉTICA	34
ILUSTRACIÓN 22.PILAS DE COMBUSTIBLE	37
ILUSTRACIÓN 23. CONTROLADORES INTELIGENTES	39
ILUSTRACIÓN 24.BATERÍAS EN REDES INTELIGENTES SEGÚN TIPO DE GENERACIÓN	40
ILUSTRACIÓN 25.ESQUEMA DE COMUNICACIONES EN REDES INTELIGENTES	41
ILUSTRACIÓN 26. PRIMER EJEMPLO DE LA LEGISLACIÓN EN ESPAÑA	44
ILUSTRACIÓN 27. SEGUNDO EJEMPLO DE LA LEGISLACIÓN EN ESPAÑA	45
ILUSTRACIÓN 28.COMPONENTES DEL SOFTWARE SIEMENS PTI	46
ILUSTRACIÓN 29.PANTALLA DE INICIO DE HOMER	47
ILUSTRACIÓN 30. DATOS INICIALES EN HOMER	48
ILUSTRACIÓN 31. CARGAS EN HOMER	49
ILUSTRACIÓN 32.CARGA ELÉCTRICA EN HOMER	49
ILUSTRACIÓN 33.CARGA DIFERIDA EN HOMER	50
ILUSTRACIÓN 34. PARÁMETROS DE CARGA EN HOMER	50
ILUSTRACIÓN 35.CARGA TÉRMICA EN HOMER	50
ILUSTRACIÓN 36. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN HOMER	51
ILUSTRACIÓN 37. COMPONENTES DE HOMER	51
ILUSTRACIÓN 38.TURBINA EN HOMER	52
ILUSTRACIÓN 39.COMPONENTES HOMER	53
ILUSTRACIÓN 40.FUENTES DE ENERGÍA EN HOMER	54
ILUSTRACIÓN 41.IRRADIANCIA HORIZONTAL HOMER	54
ILUSTRACIÓN 42.VELOCIDAD DEL VIENTO EN HOMER	55
ILUSTRACIÓN 43.TEMPERATURAS EN HOMER	55
ILUSTRACIÓN 44. COMBUSTIBLES EN HOMER	56
ILUSTRACIÓN 45.DATOS DE CAUDAL EN HOMER	56
ILUSTRACIÓN 46.BIOMASA EN HOMER	57
ILUSTRACIÓN 47. TIPOS DE BIOMASA	57
ILUSTRACIÓN 48.PROYECTO EN HOMER	58
ILUSTRACIÓN 49.OPTIMIZACIÓN CON HOMER	59
ILUSTRACIÓN 50.PERFIL DE DEMANDA EN HOMER	59
ILUSTRACIÓN 51. FACTORES ECONÓMICOS DEL PROYECTO EN HOMER	62
ILUSTRACIÓN 52. PENALIZACIÓN POR EMISIONES DEL PROYECTO EN HOMER	62
ILUSTRACIÓN 53. CARGA FIJA DEL PROYECTO EN HOMER	63
ILUSTRACIÓN 54. CARGA VARIABLE DEL PROYECTO EN HOMER	64
ILUSTRACIÓN 55. CARGA DE HIDRÓGENO DEL PROYECTO EN HOMER	64
ILUSTRACIÓN 56. CONTROLADOR DEL PROYECTO EN HOMER	65
ILUSTRACIÓN 57. GENERADOR DEL PROYECTO EN HOMER	65
ILUSTRACIÓN 58. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS DEL PROYECTO EN HOMER	66
ILUSTRACIÓN 59. AEROGENERADORES DEL PROYECTO EN HOMER	66
ILUSTRACIÓN 60. BATERÍA DEL PROYECTO EN HOMER	67
ILUSTRACIÓN 61. CONVERTIDOR DEL PROYECTO EN HOMER	67
ILUSTRACIÓN 62. REFORMADOR DEL PROYECTO EN HOMER	68
ILUSTRACIÓN 63. ELECTROLIZADOR DEL PROYECTO EN HOMER	68
ILUSTRACIÓN 64.TANQUE DE HIDRÓGENO DEL PROYECTO EN HOMER	69
ILUSTRACIÓN 65.ESQUEMA COMPLETO PROYECTO EN HOMER	69
ILUSTRACIÓN 66. GHI DEL PROYECTO EN HOMER	70
ILUSTRACIÓN 67. DNI DE LA NASA PARA EL PROYECTO EN HOMER	71
ILUSTRACIÓN 68. DNI DEL PROYECTO EN HOMER	71



ILUSTRACIÓN 69. VELOCIDAD DEL VIENTO DEL PROYECTO EN HOMER	71
ILUSTRACIÓN 70. FUEL DEL PROYECTO EN HOMER	72
ILUSTRACIÓN 71. AEROGENERADOR CON PANELES SOLARES EN LAS PALAS	72
ILUSTRACIÓN 72. DATOS ECONÓMICOS PROYECTO EN HOMER	73
ILUSTRACIÓN 73. RESTRICCIONES DEL PROYECTO EN HOMER	73
ILUSTRACIÓN 74. EMISIONES DEL PROYECTO EN HOMER	74
ILUSTRACIÓN 75. OPTIMIZACIÓN DEL PROYECTO EN HOMER	74
ILUSTRACIÓN 76. VARIABILIDAD ENTRE AÑOS DEL PROYECTO EN HOMER	74
ILUSTRACIÓN 77. CALCULO FINAL DEL PROYECTO EN HOMER	75
ILUSTRACIÓN 78. RESULTADOS DEL PROYECTO EN HOMER	75
ILUSTRACIÓN 79. INICIO EN TRNSYS	76
ILUSTRACIÓN 80. VENTANAS INICIALES EN TRNSYS	76
ILUSTRACIÓN 81. LOCALIZACIÓN EN TRNSYS	77
ILUSTRACIÓN 82. SALIDAS EN TRNSYS	77
ILUSTRACIÓN 83. ZONAS EN TRNSYS	78
ILUSTRACIÓN 84. VENTANA PRINCIPAL DE CONFIGURACIÓN EN TRNSYS	78
ILUSTRACIÓN 85. PAREDES EN TRNSYS	78
ILUSTRACIÓN 86. VENTANAS EN TRNSYS	79
ILUSTRACIÓN 87. PARÁMETROS DE VENTANAS EN TRNSYS	79
ILUSTRACIÓN 88. PRINCIPALES ASPECTOS A RELLENAR EN TRNSYS	79
ILUSTRACIÓN 89. FILTRACIÓN DE AIRE EN TRNSYS	80
ILUSTRACIÓN 90. VENTILACIÓN EN TRNSYS	80
ILUSTRACIÓN 91. CALOR EN TRNSYS	80
ILUSTRACIÓN 92. FRÍO EN TRNSYS	81
ILUSTRACIÓN 93. GANANCIAS DE TRNSYS	81
ILUSTRACIÓN 94. CALOR APORTADO POR PERSONAS	81
ILUSTRACIÓN 95. CONFORT EN TRNSYS	82
ILUSTRACIÓN 96. VALORES INICIALES EN TRNSYS	82
ILUSTRACIÓN 97. MODELOS DE HUMEDAD EN TRNSYS	82
ILUSTRACIÓN 98. MODOS DE RADIACIÓN EN TRNSYS	83
ILUSTRACIÓN 99. MODOS DE GEOMETRÍA EN TRNSYS	83
ILUSTRACIÓN 100. PROPIEDADES EN TRNSYS	84
ILUSTRACIÓN 101. GENERACIÓN DE INFORMES EN TRNSYS	85
ILUSTRACIÓN 102. DATOS DEL PROYECTO EN TRNSYS	87
ILUSTRACIÓN 103. UBICACIÓN EL PROYECTO EN TRNSYS	87
ILUSTRACIÓN 104. ZONAS DEL PROYECTO EN TRNSYS	88
ILUSTRACIÓN 105. PAREDES DEL PROYECTO EN TRNSYS	88
ILUSTRACIÓN 106. VENTANAS DEL PROYECTO EN TRNSYS	89
ILUSTRACIÓN 107. MODELOS DE LA ZONA TÉRMICA DEL PROYECTO EN TRNSYS	89
ILUSTRACIÓN 108. INFILTRACIÓN DEL PROYECTO EN TRNSYS	90
ILUSTRACIÓN 109. VENTILACIÓN DEL PROYECTO EN TRNSYS	90
ILUSTRACIÓN 110. CALENTAMIENTO DEL PROYECTO EN TRNSYS	91
ILUSTRACIÓN 111. GANANCIAS DEL PROYECTO EN TRNSYS	91
ILUSTRACIÓN 112. CONFORT DEL PROYECTO EN TRNSYS	92
ILUSTRACIÓN 113. VALORES INICIALES DEL PROYECTO EN TRNSYS	92
ILUSTRACIÓN 114. MODELOS DE HUMEDAD DEL PROYECTO EN TRNSYS	93
ILUSTRACIÓN 115. INTERACCIÓN ENTRE SALAS DEL PROYECTO EN TRNSYS	93
ILUSTRACIÓN 116. SALIDAS DEL PROYECTO EN TRNSYS	94
ILUSTRACIÓN 117. INFORMES DEL PROYECTO EN TRNSYS	94
ILUSTRACIÓN 118. EJEMPLOS DE DIGSILENT	96
ILUSTRACIÓN 119. EJEMPLO 1 DE DIGSILENT	97
ILUSTRACIÓN 120. EJEMPLO 2 DE DIGSILENT	97
ILUSTRACIÓN 121. EJEMPLO 3 DE DIGSILENT	98



ILUSTRACIÓN 122. EJEMPLO 4 DE DIGSILENT	98
ILUSTRACIÓN 123. EJEMPLO DE GRANJA DE VIENTO EN DIGSILENT	100
ILUSTRACIÓN 124. GENERADOR DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	101
ILUSTRACIÓN 125. TRANSFORMADOR DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	101
ILUSTRACIÓN 126. RED EXTERNA DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	102
ILUSTRACIÓN 127. BANCO DE CONDENSADORES DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	102
ILUSTRACIÓN 128. CABLES DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	103
ILUSTRACIÓN 129. TERMINALES DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	104
ILUSTRACIÓN 130. DATOS DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	104
ILUSTRACIÓN 131. CASOS DE ESTUDIO DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	105
ILUSTRACIÓN 132. DIAGRAMAS DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	105
ILUSTRACIÓN 133. ESCENARIOS DE OPERACIÓN DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	106
ILUSTRACIÓN 134. LIBRERÍAS DEL EQUIPAMIENTO DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	106
ILUSTRACIÓN 135. LIBRERÍAS DE OPERACIÓN DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	107
ILUSTRACIÓN 136. EJEMPLO DE UN FILTRO DE RED	107
ILUSTRACIÓN 137. CÁLCULOS DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	108
ILUSTRACIÓN 138. FLUJO DE CARGA DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	108
ILUSTRACIÓN 139. PROTECCIONES DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	109
ILUSTRACIÓN 140. ANÁLISIS DE ARCO ELÉCTRICO DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	109
ILUSTRACIÓN 141. SALIDAS DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	110
ILUSTRACIÓN 142. DOCUMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO DEL EJEMPLO EN DIGSILENT	110
ILUSTRACIÓN 143. PESTAÑA INICIAL DE SIMULINK	111
ILUSTRACIÓN 144. MODELO EN BLANCO EN SIMULINK	112
ILUSTRACIÓN 145. LIBRERÍA DE SIMULINK	112
ILUSTRACIÓN 146. EJEMPLOS DE SIMULINK	112
ILUSTRACIÓN 147. EJEMPLOS DE RENOVABLES EN SIMULINK	113
ILUSTRACIÓN 148. AEROGENERADOR EN SIMULINK	114
ILUSTRACIÓN 149. SUBSISTEMA DEL AEROGENERADOR	114
ILUSTRACIÓN 150. VELOCIDADES DE VIENTO	114
ILUSTRACIÓN 151. SUBSISTEMA DE LA GRANJA DE VIENTO	115
ILUSTRACIÓN 152. CONEXIÓN DEL AEROGENERADOR A LA RED.	116
ILUSTRACIÓN 153. RED GENERAL DE DISTRIBUCIÓN	116
ILUSTRACIÓN 154. ELEMENTO DE SIMULACIÓN FASORIAL	117
ILUSTRACIÓN 155. MEDIDAS AEROGENERADOR + RED	117
ILUSTRACIÓN 156. MEDIDAS DE LA RED	118
ILUSTRACIÓN 157. MEDIDAS DEL AEROGENERADOR	119
ILUSTRACIÓN 158. PANELES SOLARES + RED GENERAL	120
ILUSTRACIÓN 159. DATOS DE IRRADIANCIA	121
ILUSTRACIÓN 160. BLOQUES DE IRRADIANCIA	121
ILUSTRACIÓN 161. CONJUNTO DE PANELES SOLARES	122
ILUSTRACIÓN 162. PANELES SOLARES	122
ILUSTRACIÓN 163. MEDIDAS PV + RED GENERAL	123
ILUSTRACIÓN 164. SUBSISTEMA PARA MEDIDAS DE LOS PV	123
ILUSTRACIÓN 165. SCOPE DE LOS PV	124
ILUSTRACIÓN 166. SCOPE DE LA RED GENERAL	125
ILUSTRACIÓN 167. GENERADOR DIÉSEL + RED GENERAL	126
ILUSTRACIÓN 168. BLOQUE DEL GENERADOR DIÉSEL	127
ILUSTRACIÓN 169. CONTROLADOR DEL GENERADOR DIÉSEL	127
ILUSTRACIÓN 170. SISTEMA DE EXCITACIÓN	128
ILUSTRACIÓN 171. GENERADOR DIÉSEL	128
ILUSTRACIÓN 172. MODELO ELÉCTRICO DEL GENERADOR DIÉSEL	129
ILUSTRACIÓN 173. MODELO MECÁNICO DEL GENERADOR DIÉSEL	130
ILUSTRACIÓN 174. MEDIDAS GENERADOR DIÉSEL	130



ILUSTRACIÓN 175. MEDIDAS DEL GENERADOR DIÉSEL	131
ILUSTRACIÓN 176. MEDIDAS DE LA RED GENERAL	132
ILUSTRACIÓN 177. BATERÍA + RED GENERAL	133
ILUSTRACIÓN 178. SUBSISTEMA DE LA BATERÍA	134
ILUSTRACIÓN 179. VALORES DE POTENCIA EN LA BATERÍA	134
ILUSTRACIÓN 180. CONTENIDO DE LA BATERÍA	135
ILUSTRACIÓN 181. MEDIDAS BATERÍA + RED GENERAL	136
ILUSTRACIÓN 182. SIMULACIÓN DE LA BATERÍA	136
ILUSTRACIÓN 183. SIMULACIÓN DE LA RED GENERAL	137
ILUSTRACIÓN 184. TENSIONES Y CORRIENTES DE UNA BATERÍA	138
ILUSTRACIÓN 185. V2G + RED GENERAL	139
ILUSTRACIÓN 186. COCHES V2G	140
ILUSTRACIÓN 187. SALIDA DE LOS COCHES V2G	140
ILUSTRACIÓN 188. SUBSISTEMA DE LOS COCHES	141
ILUSTRACIÓN 189. PERFIL DE CADA COCHE	142
ILUSTRACIÓN 190. ESTADO DE CARGA V2G	142
ILUSTRACIÓN 191. SELECCIÓN DEL MODO DE LOS COCHES V2G	143
ILUSTRACIÓN 192. GRID REGULATION CONTROL	143
ILUSTRACIÓN 193. GRID REGULATION POWER GENERATION	144
ILUSTRACIÓN 194. GENERACIÓN DE LA POTENCIA DE CARGA	144
ILUSTRACIÓN 195. SCOPES V2G + RED GENERAL	145
ILUSTRACIÓN 196. DATOS DE CARGA	145
ILUSTRACIÓN 197. DATOS DE REGULACIÓN	145
ILUSTRACIÓN 198. SCOPE DE LOS DATOS DE CARGA	146
ILUSTRACIÓN 199. SCOPE DE LOS DATOS DE REGULACIÓN	147
ILUSTRACIÓN 200. SCOPE DEL ESTADO DE CARGA DE LOS V2G	148
ILUSTRACIÓN 201. SCOPE DE LA RED GENERAL	148
ILUSTRACIÓN 202. MICRO RED COMPLETA EN SIMULINK	150
ILUSTRACIÓN 203. SCOPES DE CADA ELEMENTO DE LA MICRO RED	151
ILUSTRACIÓN 204. SCOPES POTENCIA TOTAL DE LA MICRO RED	152
ILUSTRACIÓN 205. SCOPES DE LA RED GENERAL	152
ILUSTRACIÓN 206. SCOPES DE GENERACIÓN RENOVABLE	153
ILUSTRACIÓN 207. SCOPES DE LA CARGA	153
ILUSTRACIÓN 208. SCOPES DE LA BATERÍA	154
ILUSTRACIÓN 209. SCOPES DE LOS V2G	154
ILUSTRACIÓN 210. GRÁFICA PANELES SOLARES EN MICRO RED COMPLETA	155
ILUSTRACIÓN 211. GRÁFICA AEROGENERADORES EN MICRO RED COMPLETA	156
ILUSTRACIÓN 212. POTENCIA DE LA BATERÍA	156
ILUSTRACIÓN 213. GRÁFICA BATERÍA EN MICRO RED COMPLETA	157
ILUSTRACIÓN 214. GRÁFICA V2G CARGADOS EN MICRO RED COMPLETA	158
ILUSTRACIÓN 215. GRÁFICA V2G DESCARGADOS EN MICRO RED COMPLETA	158
ILUSTRACIÓN 216. GRÁFICA ESTADO DE CARGA DE LOS V2G EN MICRO RED COMPLETA	159
ILUSTRACIÓN 217. GRÁFICA RED GENERAL DE DISTRIBUCIÓN EN MICRO RED COMPLETA	159
ILUSTRACIÓN 218. GRÁFICA DE LA CARGA EN MICRO RED COMPLETA	160
ILUSTRACIÓN 219. GRÁFICA DEL MOTOR ASÍNCRONO EN MICRO RED COMPLETA	161
ILUSTRACIÓN 220. POTENCIA ACTIVA TOTAL EN MICRO RED COMPLETA	161
ILUSTRACIÓN 221. POTENCIA REACTIVA TOTAL EN MICRO RED COMPLETA	162
ILUSTRACIÓN 222. POTENCIA APARENTE TOTAL EN MICRO RED COMPLETA	162





Introducción y objetivos:

El tema de las micro redes y las redes inteligentes se encuentra en estos momentos en un periodo de investigación y desarrollo. Por este motivo son muchas las personas que trabajan en este sector tan amplio y necesario según el modelo actual de sociedad que tenemos.

Las micro redes tienen como principal objetivo generar la electricidad de la manera más eficiente y autónoma posible. Para ello cuentan con elementos de comunicaciones y medición inteligente de manera que la comunicación generador-usuario sea lo más cercana posible. De esta manera se puede hacer una previsión de la demanda para así adaptar la generación y evitar las pérdidas de transporte y almacenamiento.

En lo que se refiere a las redes inteligentes podríamos decir que se engloban dentro de las micro redes, ya que sin estas las micro redes no tendrían cabida en el mercado energético.

Una de las partes fundamentales para poder implantar de forma real este nuevo tipo de redes es la posibilidad de simulación del estudio teórico realizado a partir de programas de simulación. Por este motivo a lo largo del TFG se utilizarán 4 programas distintos del sector para simular distintos tipos de micro redes y poder ver cuáles son las limitaciones y principales objetivos que estas persiguen.

Uno de los objetivos principales del proyecto es hacernos una idea teórica de los principales conceptos que engloban a este tipo de generación eléctrica, tanto de componentes como de elementos de supervisión y control de datos.

Por otro lado también se pretende familiarizar al usuario con varios ejemplos de micro redes desarrolladas en distintos entornos computacionales, de manera que se entienda a nivel más práctico las variables que debemos tener en cuenta para realizar un proyecto con micro redes.

En lo que a los objetivos e introducción no hay mucho más que decir por lo que pasamos directamente al desarrollo del proyecto en sí.





1. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE MICRO REDES Y REDES INTELIGENTES.

Para comenzar con el tema de las micro redes y Smartgrids se comentarán los principales aspectos que engloban a estos dos conceptos.

Antes de comenzar es importante destacar que el tema que vamos a tratar es de gran importancia para el progreso de la sociedad actual. Esto se debe a que el sistema de generación eléctrica actual es muy costoso y difícil de ampliar, por lo que es necesario un cambio en la manera de producir y aprovechar la electricidad.

Estos dos términos que hemos expuesto basan su manera de generación eléctrica en la implantación de nuevas metodologías que permitan cambiar el concepto actual de una red eléctrica global e inmensa.

Un ejemplo claro de la necesidad de cambio es el sistema eléctrico estadounidense. Actualmente en EEUU existen 482.800 km de líneas de transmisión de alto voltaje y más de 8 millones de kilómetros de líneas de distribución. Esto además de producir un elevado porcentaje de pérdidas cuenta con el problema de que la mayoría de los componentes tienen un uso de más de 50 años, muy por encima de su vida útil. Esto implicará que empiece a ser necesario en los próximos años un elevado número de sustituciones y reparaciones que implicarán un importante desembolso económico.

Definición micro red: Sistema de generación eléctrica bidireccional que permite la distribución de electricidad desde los proveedores hasta los consumidores, utilizando tecnología digital y favoreciendo la integración de las fuentes de generación de origen renovable, con el objetivo de ahorrar energía, reducir costes e incrementar la fiabilidad. Los tamaños de una micro red van desde los 3KW a los 10MW, muy inferiores a los de las grandes centrales generadoras actuales.

Definición red inteligente: Una red inteligente es aquella que puede integrar de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, de tal forma que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente, con bajas pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad de suministro.

Las redes inteligentes tienen capacidad de responder a la demanda y equilibrar el consumo eléctrico con la generación, así como también tienen el potencial de integrar nuevas tecnologías de almacenamiento de electricidad, y permiten la utilización a gran escala de vehículos eléctricos.

Los sistemas eléctricos sufrirán una importante evolución, mejorando su fiabilidad y reduciendo las pérdidas, las inversiones necesarias, y los costes de mantenimiento. La red, al ser más inteligente, mejorará el control sobre los costes energéticos y será una fuente de energía más fiable para los consumidores. Los beneficios ambientales de las redes inteligentes incluirán la disminución de los picos de demanda, la integración de más fuentes renovables, y la reducción de emisiones de CO2 y otros contaminantes.



1.1-MICRO REDES.

El primer concepto en el que vamos a sumergirnos es el de las micro redes. Puesto que ya se ha dado una definición e introducción a dicho "sistema energético" pasamos directamente a explicar más a fondo todo lo que rodea a esta innovadora y potencial idea.

1.1.1. Elementos que forman una micro red.

Los elementos de los que consta una micro red son: sistemas de generación distribuida, sistemas de almacenamiento de energía, técnicas para la gestión de cargas, sistemas de monitorización y control del flujo de potencia y técnicas y procedimientos de mantenimiento preventivo.

Sistemas de generación distribuida. En este componente de la micro red no existe una clasificación estricta, ya que los elementos de generación pueden diferir mucho entre una micro red y otra en función de los recursos del lugar de instalación. Además existen numerosas clasificaciones según:

- Origen de la electricidad: Renovables o no renovables.
- Controlables o Intermitentes: Según el modo de operación.
- Recurso Energético Primario.
- Interfaz basado en electrónica de potencia.

Por lo general los componentes de generación que integran una micro red suelen ser: aerogeneradores, paneles solares, mini/micro turbinas, sistemas electrógenos (generadores diésel) y pilas de combustible como se puede observar en la ilustración 1. Además de todos estos elementos las micro redes están conectadas al tendido eléctrico, garantizando así el aporte energético en todo momento además de la posibilidad de interacción con la red.

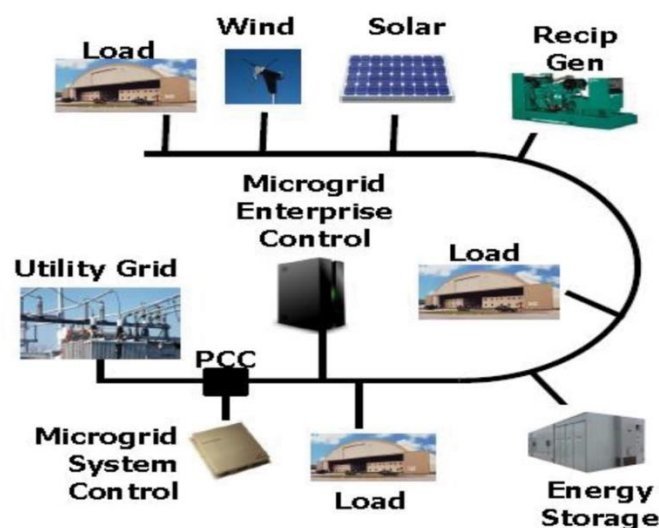


Ilustración 1. Esquema global de una micro red



Sistemas de almacenamiento de energía. Uno de los componentes fundamentales de una micro red debido a sus principales usos y aplicaciones son los sistemas de almacenamiento de energía. Esto se debe a que además de ser una forma de garantizar la continuidad eléctrica y cubrir los picos de demanda nos permite “jugar” con el aprovechamiento de la red. De esta forma solo consumimos de ella en los momentos de menor demanda y por tanto de menor precio de la electricidad. De la misma forma nos permite inyectar electricidad en la red en los momentos de mayores tarifas para sistemas de generación externos.

Está claro que todo sistema de almacenamiento implica un aumento de pérdidas y de costes, y que si fuese posible lo mejor sería prescindir de él, pero en nuestra forma de generación inteligente y eficiente este es un elemento determinante y necesario.

En lo que se refiere a las posibilidades de almacenamiento existen multitud de baterías y sistemas que permiten almacenar la energía eléctrica para su posterior utilización. Los principales son:

- *Baterías convencionales:* Entre ellas existen múltiples subclasificaciones en función del electrolito utilizado. Las principales son: Plomo-Ácido, Ion-Litio, Níquel/Cadmio, Níquel/Hidruro Metálico, etc.

- *Ultracondensadores:* Condensadores electrolíticos de doble capa: El electrolito es polvo de carbono finísimo (nanopartículas) que proporcionan la mejor relación superficie/volumen. Su tensión depende directamente de su carga.

- *Almacenamiento térmico:* Es un método de acumulación de energía que aprovecha el calor, subiendo o bajando la temperatura de una sustancia, cambiando la fase de la sustancia o una combinación de ambos mecanismos.

- *Volantes de inercia:* Este tipo de almacenamiento permite almacenar la energía eléctrica en forma de energía cinética/mecánica. El volante de inercia se trata de un disco metálico, que comienza a girar cuando se le aplica un par motor. Una vez está girando, se frena cuando se somete a un par resistente.

- *Nuevos sistemas de almacenamiento:* En la actualidad se está trabajando mucho en el estudio de nuevos sistemas de almacenamiento que permitan mayores eficiencias y notables mejoras respecto a los sistemas actuales.

Uno de los grandes avances se está produciendo en el aprovechamiento del hidrógeno como vector energético. Esto consiste en aprovechar la energía eléctrica para realizar la electrolisis del agua. Así se puede obtener hidrógeno puro, el cual permite almacenar y posteriormente devolver grandes cantidades de energía.

Esta forma de almacenamiento tiene un gran potencial, pero por el momento solo existen alrededor de 80.000 pilas de hidrógeno en el mundo debido a la necesidad de mejora en sus elementos. Otro de los grandes inconvenientes es el almacenamiento y distribución del hidrógeno.



Cargas de una micro red. Todos los elementos anteriormente explicados tienen como único fin la alimentación de las cargas contenidas en la micro red. Estas cargas pueden clasificarse en torno a muchos aspectos:

- Cargas controlables o no controlables.
- Cargas críticas o prioritarias y cargas no críticas. Por ejemplo una carga crítica sería un proceso industrial que no puede parar hasta finalizarse o un hospital.
- Cargas inteligentes o cargas convencionales.
- Cargas de CC o CA.

Indistintamente del tipo que sea la carga dentro de una micro red podemos operar como si fuese una única carga, de manera que solo tengamos que garantizar en todo momento el equilibrio entre la generación y el consumo.

Algunos ejemplos de cargas de nuestra red podrían ser: vehículos eléctricos (V2G), viviendas aisladas o conjuntos de viviendas, pequeñas o medianas industrias, edificios dedicados a fines sociales, motores de distintos tipos, etc. Un ejemplo de esto es la ilustración 2 que tenemos a continuación.

La carga como es de suponer juega un papel decisivo en la estabilidad de una micro red. Esto se debe a que en función de los picos de demanda o el tipo de potencia requerida la tensión y frecuencia de la red pueden variar ligeramente. Este detalle tiene mayor importancia en el momento que trabajemos de forma aislada, ya que no tendremos la red general para poder estabilizar dichos parámetros. Aquí jugarán un papel decisivo nuestros controladores y técnicas de estabilización.

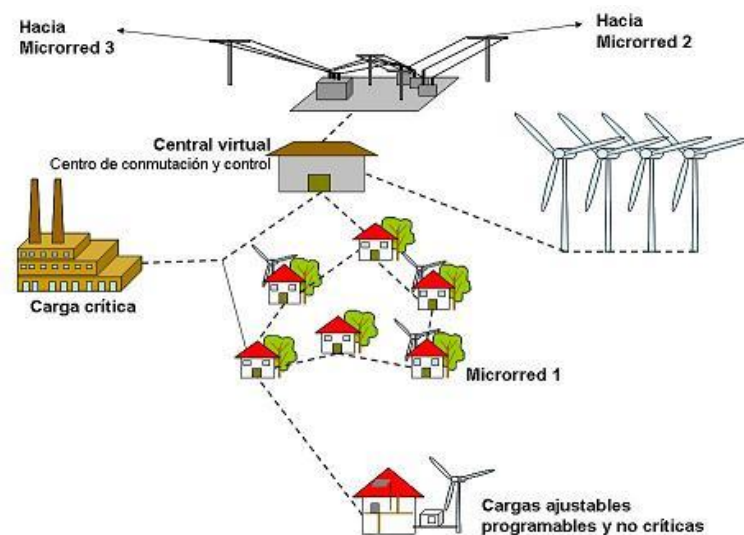


Ilustración 2. Cargas de una Micro red.

Interruptor. En todas las micro redes al menos existirá un interruptor general que nos permita la conexión/desconexión de la red eléctrica. Esto puede tener un papel crucial en el caso de que ocurran fallas a tierra o entre fases, momento en que tendremos que trabajar en modo isla por la seguridad de la red.



Protecciones. Será necesaria la instalación de diversos mecanismos de protección para la micro red que nos garanticen el correcto funcionamiento del conjunto generadores-cargas. Las protecciones fundamentales son:

- Protecciones contra cortocircuitos o sobretensiones, que nos puedan ayudar a detectar fallas en el sistema.
- Protección del modo isla: Serán necesarias protecciones para las transiciones entre el modo conectado a la red y el modo isla, ya que la manera de gestión difiere bastante entre ambos casos.

En la ilustración 3 se puede apreciar mejor los diferentes niveles de protección según a que parte de la micro red estén referidas:

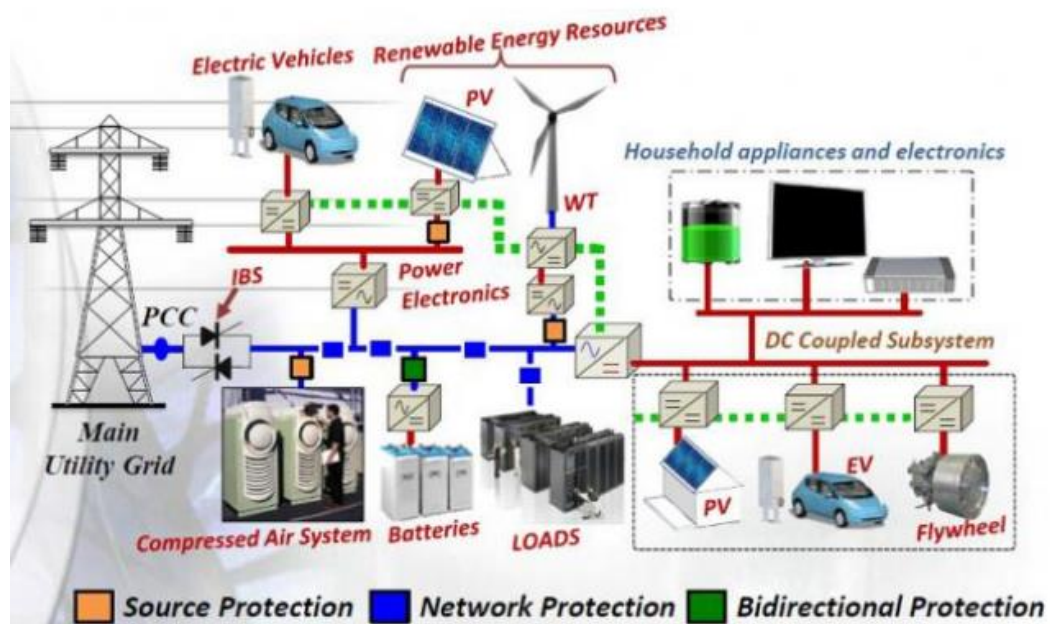


Ilustración 3. Protecciones de una Micro red.

Sistemas de control. En una micro red es fundamental y necesario un sistema de control robusto que nos permita tanto la monitorización del estado de la red como la realización de cambios rápidos y eficaces en los elementos que la componen.

La clasificación según los elementos controlados puede ser:

- Control de la potencia activa (P) y la potencia reactiva (Q).
- Control de la frecuencia y tensión de la red.

Estos dos controles se realizan mediante el denominado Droop Control el cual utiliza la relación lineal existente entre la tensión de red y la potencia reactiva con la frecuencia de red y la potencia activa. Una de las grandes ventajas que presenta este sistema es que no necesitamos comunicación electrónica entre las alimentaciones distribuidas. A continuación en la ilustración 4 podemos ver la relación lineal entre estas magnitudes.

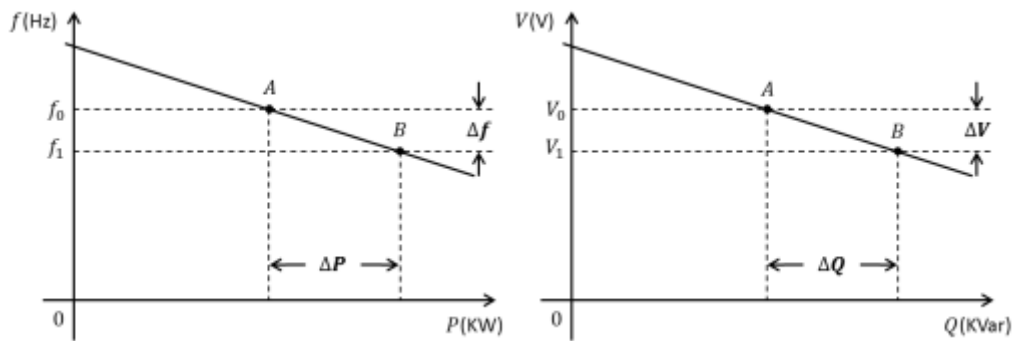


Ilustración 4. Droop Control

La segunda clasificación del control de una micro red puede hacerse en torno a la jerarquía de dicho control:

- Sistema de Control Central de la micro red.
- Controladores locales (generadores controlados, cargas).
- Comunicaciones (Operador de Distribución, locales).
- Distribución de la lógica de control (control primario, regulación secundaria, servicios auxiliares).

Finalmente para terminar de ver los elementos que componen una micro red veremos la ilustración 5:

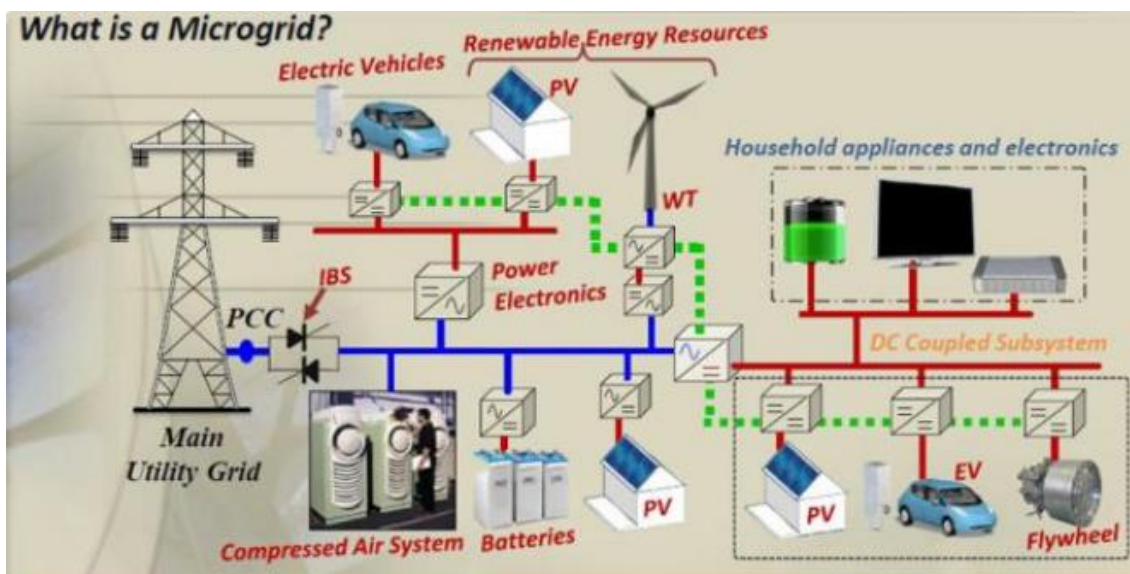


Ilustración 5. Esquema global de una micro red.



1.1.2. Previsión: demanda, precio de la electricidad, producción eólica y solar

Uno de los principales aspectos a tener en cuenta respecto a la generación/consumo de la micro red es la previsión. Este concepto por tanto engloba también a las redes inteligentes, cuyo principal objetivo es la intercomunicación entre los diferentes elementos de la red para hacer a esta lo más eficiente posible.

La arquitectura de comunicaciones diseñada específicamente para la micro red permite gestionar de manera eficiente los diferentes recursos de energía, adaptándose a las necesidades instantáneas de la planta y teniendo en cuenta factores como las previsiones de consumo horarias y estacionales, tarifas eléctricas, previsiones de recurso renovable, baterías, cargas, etc. El sistema de coordinación y control de la micro red se estructurará en varios niveles de acuerdo a una estrategia jerárquica que garantice un control descentralizado de la misma.

Los principales aspectos que engloban al concepto de previsión son los siguientes:

Demanda. Este aspecto es crucial a la hora de planificar una micro red. Tenemos que tener claro cuáles son las cargas de nuestro sistema y prever en lo posible los momentos en que estas necesitarán de un mayor aporte de energía. De esta forma podemos gestionar de manera más eficiente tanto la generación distribuida (GD) como los sistemas de almacenamiento.

Es importante destacar que dichas previsiones de demanda han de hacerse para el peor caso posible, de manera que al menos las cargas críticas puedan garantizarse en todo momento. Esto nos llevará a un sobredimensionamiento de nuestras baterías, lo cual aumentará el precio, pero es un mal necesario.

Precio de la electricidad. Puesto que prácticamente todas las micro redes funcionarán la mayor parte del tiempo en modo de conexión a red es importante tener claro las tarifas de nuestro proveedor/comprador. De esta forma y con una previsión del precio de la energía podremos elegir los momentos en que sale más rentable absorber electricidad de la red, o por el contrario los momentos en que mejor se pagará la energía que inyectemos a ella.

Un ejemplo claro de la concienciación social para la mejora energética es la compañía Endesa, la cual cuenta con una página web (<https://www.endesaclientes.com/precio-luz-pvpc.html?d=Any>) que nos permite saber el precio de la electricidad en cada instante del día como vemos en la ilustración 6.

Evolución del precio a lo largo del día

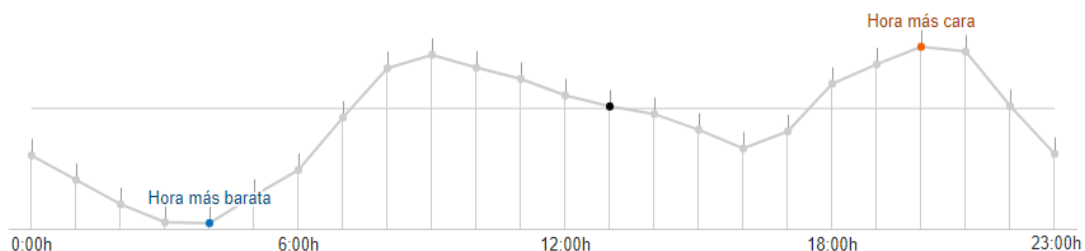


Ilustración 6. Precio de la electricidad por horas



Producción eólica y solar. Al igual que es necesario realizar ciertas predicciones sobre los momentos de mayor demanda energética también lo es saber los momentos de mayor generación.

Suponiendo que la micro red cuenta con sistemas de generación renovable y diésel, nuestro objetivo es el control de la producción tanto eólica como solar, ya que está claro que los generadores diésel podrán ser puestos en marcha en el momento que nosotros decidamos.

De esta forma es importante la implantación de diversos dispositivos y técnicas actualizadas a tiempo real que nos permitan saber las tasas de producción energética de nuestros sistemas renovables. Hoy en día este problema está bastante superado, ya que existen infinitud de páginas que nos pueden hacer previsiones bastante acertadas a tiempo real de las velocidades del viento o la irradiancia incidente en función de la localización de nuestra micro red. Además existen mapas genéricos como el de la ilustración 8 tanto de irradiancia como de velocidades de viento.

Algunas de las páginas más fiables para la obtención de estos datos pueden ser:

- *Nacionales:* CENER, aeolica, REE, energiadoblezero, aemet, etc.
- *Internacionales:* Aleasoft, ICC, MIT Technology Review, EuroWind, etc.

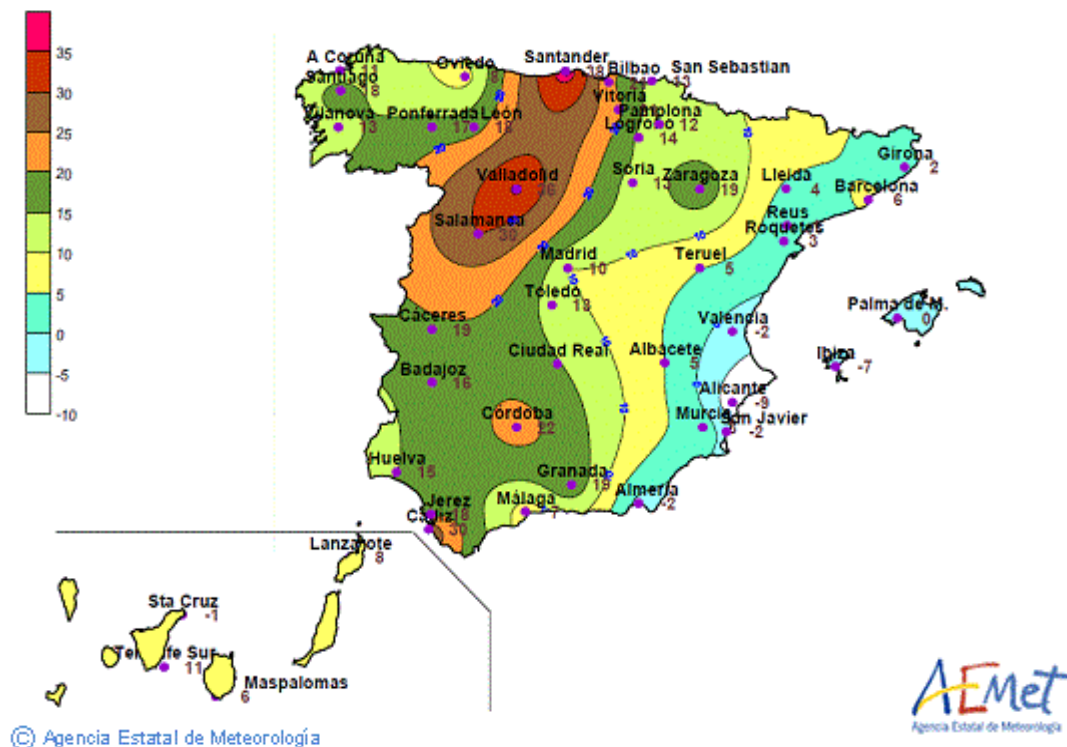


Ilustración 8. Mapa de irradiancia en España



1.1.3. Transmisión de datos y supervisión

Para el registro del consumo y generación de energía en tiempo real, la infraestructura de la micro red se compone de hardware y software con su sistema de comunicaciones asociado. El software de gestión crea redes bidireccionales entre medidores avanzados y sistemas de utilidad de negocio, permitiendo la recopilación y distribución de información a clientes y otras partes. Estas redes avanzadas de medición pueden usarse para implementar la respuesta a la demanda incluyendo precios dinámicos.

Para la realización de esta transmisión de datos contamos con dos tipos de nodos:

- Nodo sensor/actuador.** Los nodos sensores/actuadores recolectan datos de tensión, corriente, fase y frecuencia de las DER (Distributed Energy Resources), cargas y baterías de la micro red. Cuentan con un sistema de procesamiento por medio de un microcontrolador que les permite analizar/procesar los datos, almacenarlos temporalmente en memoria y transmitirlos hacia la CCM o hacia otro nodo. Por otro lado los actuadores permiten la activación/desactivación de las fuentes, conexión/desconexión de las cargas al bus AC de la micro red y la carga/descarga de baterías.

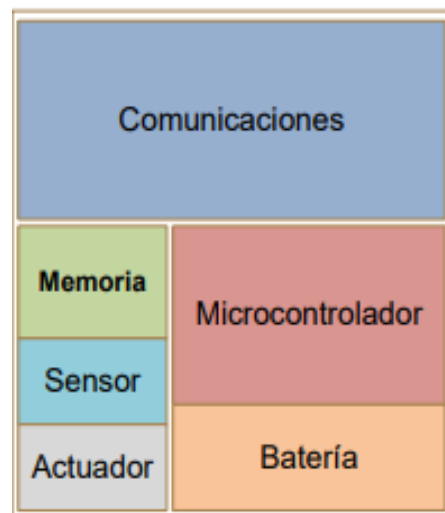


Ilustración 9. Nodo sensor/actuador

- Nodo concentrador/controlador.** El nodo concentrador/controlador recibe los datos de los nodos sensores/actuadores con el propósito de alimentar el software de gestión de los recursos energéticos de la micro red. El resultado de los datos analizados por el software de gestión se envía hacia los nodos sensores/actuadores en forma de instrucciones. Este nodo tiene la capacidad de conectarse con la red eléctrica y otras micro redes a través de un medio de transmisión alámbrico o inalámbrico.

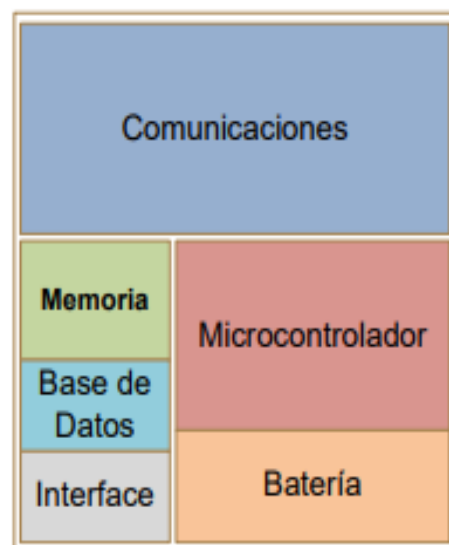


Ilustración 10. Nodo concentrador/controlador



Dentro de los modos de comunicaciones encontramos dos grandes grupos:

1) Comunicación inalámbrica. Este tipo de transmisión de datos tiene gran importancia en zonas cuya geografía complica el uso de cables. Además de esto conseguimos un claro ahorro económico gracias a la ausencia de cableado, cuyo coste suele ser alto. Distinguimos dos grandes subclasificaciones:

- Redes LR-WPAN
- Redes Wi-fi

2) Comunicación cableada. Muchos protocolos de transmisión de datos han sido diseñados para el uso de cables (como pueden ser el RS-232, RS-485 e Ethernet), por lo que en estos casos la transmisión de información deberá hacerse por medio de cables, con las consiguientes desventajas.

En lo que se refiere a la supervisión de la red y por tanto de los datos anteriormente obtenidos no existe un mecanismo global para esta tarea. Debido a los avances tecnológicos actuales una de las mayores apuestas de este campo está en la adquisición de datos por parte de los nodos y la posterior puesta en manos de los usuarios de dicha información. De esta manera son los propios clientes los que determinan si el uso de la red está siendo el correcto. Esta información incluye alarmas y alertas en caso de mantenimiento preventivo necesario, o cuando las unidades de generación requieren acciones correctivas.

Además de lo comentado anteriormente dichos datos se monitorizan para que una persona cualificada pueda tomar las medidas oportunas en el caso de que algún parámetro no esté siendo el correcto y deba ser corregido con urgencia.

En la actualidad existen herramientas computacionales para la supervisión del sistema, mantenimiento y supervisión de las unidades de generación. Esto permite a los usuarios tener en cuenta el estado actual del sistema energético, y proporcionar información útil para la toma de decisiones visualizando variables por medio de una pantalla táctil. Algunas funcionalidades son:

- Sistema de vigilancia para unidades de generación, incluyendo la energía suministrada por cada unidad.
- Indicadores de sustentabilidad
- Gestión del mantenimiento.
- Consumo de energía por hogar.
- Respuesta de la demanda.

Existe una herramienta denominada *Social SCADA* que reconoce a la comunidad como un factor crítico en el logro de la supervisión y mantenimiento a bajo costo, lo que ayuda a incrementar la sustentabilidad a largo plazo.



1.1.4. Protección de la Micro Red frente a fallos

A la hora de diseñar y poner en marcha una micro red, uno de los principales aspectos a tener en cuenta es la forma de actuar frente a un fallo, ya sea de la propia micro red o de la red general a la que se está conectado.

Actualmente existen numerosas técnicas y protocolos que se tienen que llevar a cabo en el caso de que la red general tenga un fallo. En primer lugar la micro red tendrá que desconectarse de ella evitando así posibles sobretensiones que puedan dañar los componentes de nuestro sistema. Una vez nos hayamos desconectado, la micro red funcionará en modo aislado o modo isla, siendo en este momento crucial el mantenimiento de la tensión y frecuencia de la red.

Es importante comentar que en el caso de que se esté trabajando en modo isla todos los elementos de la micro red son fundamentales, ya que un solo fallo en un generador diésel ya implicaría que la carga se perdiese. Esto es aún más notable en los generadores renovables ya que las turbinas eólicas que usan un convertidor estático de energía tienen poca reserva rodante (o cinética) para la micro red, lo que es vital para mantener la frecuencia y limitar las fluctuaciones. Esto es aún peor con la energía solar fotovoltaica y sus inversores.

Una de las técnicas más innovadoras y prometedoras ha sido desarrollada por la empresa ABB. La solución de baja tensión All-in-one integra un conjunto de innovadoras funciones de protección, control, conectividad y gestión inteligente que aseguran la continuidad de servicio, fiabilidad y productividad de las instalaciones eléctricas de la micro red con el menor tiempo de puesta en marcha. Se caracteriza por el hecho de que con una única solución se combinan funciones innovadoras de protección, control, conectividad y gestión que simplifican y aceleran la interacción del usuario. Su función de protección interfaz, además, permite proteger adecuadamente las instalaciones de usuarios activos que viertan energía a la red de distribución. Se trata de un complejo algoritmo de protección de tensión, corriente y frecuencia que detecta fallos de red y desconecta los elementos activos de la micro red para evitar que sus fuentes de energía contribuyan a la falla de la red de distribución.

Esta solución, asimismo, ofrece la posibilidad de incluir la función de transferencia de redes ATS (Automatic Transfer Switching) integrado en el propio interruptor automático. En cuanto a la conectividad, la supervisión energética permite monitorizar y controlar el estado de las instalaciones eléctricas, y en relación a la gestión, aumenta la productividad y reduce los costes energéticos de la instalación.

La función de deslastre de cargas automático permite garantizar la continuidad de servicio de la instalación de la micro red, desconectando únicamente las cargas no prioritarias frente a un fallo de la red de distribución. Las cargas que el usuario identifica como no críticas son desconectadas antes de la transferencia automática (ATS) desde la red de distribución a las fuentes auxiliares.



1.1.5. Control centralizado/descentralizado

Respecto al control de la micro red existen principalmente dos modos:

1) Control centralizado. A través de un control centralizado el MGCC (Micro red Central Controller) optimiza el intercambio de potencia con el sistema, maximizando la producción local la cual es función de los precios de mercado y las restricciones de seguridad. Esto se logra enviando referencias a las unidades de generación y a las cargas controlables de la micro red.

El MGCC toma decisiones cada ciertos intervalos de tiempo preestablecidos, los cuales pueden ser desde algunos minutos hasta días.

El MGCC debe considerar lo siguiente:

- Restricciones de seguridad de la red.
- Predicciones de demanda y recursos renovables
- Usando un proceso de optimización determina las referencias de las unidades de generación distribuida y de las cargas.

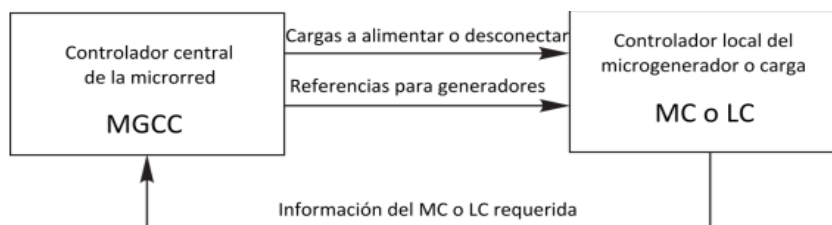


Ilustración 11. Control centralizado

2) Control descentralizado. Otro método de control es el control descentralizado, en el cual la responsabilidad de obtener una buena operación la tendrán los controladores de las unidades de generación distribuida, los cuales competirán para maximizar su producción de forma tal que se satisfaga la demanda y probablemente exportar la máxima cantidad posible de energía a la red. Además, los LC (Local Controller) deberán considerar decisiones apropiadas de forma que aseguren una operación segura y adecuada para las unidades de generación distribuida.

El control descentralizado intenta dar la máxima autonomía a cada unidad LC dentro de la micro red. La autonomía de los LC implica que son inteligentes y pueden comunicarse entre ellos para formar una entidad de mayor inteligencia. Por esto, la arquitectura debe ser capaz de incluir funciones económicas, factores ambientales y requisitos técnicos.

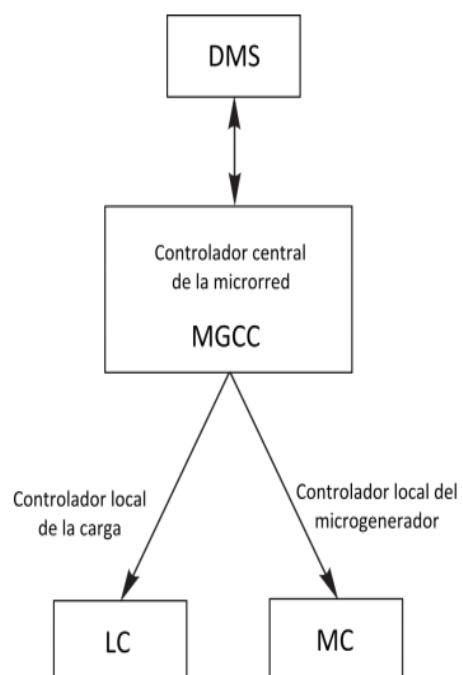


Ilustración 12. Control descentralizado



1.1.6. Control primario, secundario y terciario

Dentro de nuestro sistema eléctrico es fundamental un control exhaustivo de la potencia activa generada, o lo que es lo mismo de la frecuencia de la red. De manera breve puede decirse que la frecuencia del sistema y los flujos de potencia por determinadas líneas son las variables que se quieren controlar, y las potencias entrantes a los generadores son las variables empleadas para controlarlas.

La potencia generada en cada planta debe atender también a otros requerimientos además de la frecuencia, fundamentalmente compromisos adoptados durante el funcionamiento del mercado eléctrico. Estos compromisos se refieren tanto a la producción en cada planta como al intercambio de potencia entre áreas de control vecinas. Las transacciones de energía en un instante determinado entre áreas quedan programadas con antelación y cada área debe disponer de las suficientes reservas de energía para hacer frente a sus posibles desequilibrios entre generación y demanda. Por tanto el control de frecuencia/potencia activa debe conseguir que:

- Se mantenga el equilibrio entre generación y demanda.
- Se mantenga la frecuencia de referencia en el sistema
- Se cumplan los compromisos de intercambio de energía con las áreas vecinas.
- Se mantenga la suficiente energía de reserva.
- Cumplir el marco regulatorio vigente que corresponde a un mercado de energía competitivo.

Para cumplir estos objetivos, el control frecuencia/potencia se organiza en tres niveles: primario, secundario y terciario. Cada uno de los niveles opera en un margen de tiempo e involucra un conjunto de variables provenientes de una parte más o menos amplia del sistema eléctrico:

1) Control primario. Es el más rápido, operando en un margen de tiempo de entre 2 y 20 segundos. Actúa de forma local en cada generador síncrono, atendiendo a la velocidad de giro del eje. La rapidez de este control está limitada por la propia inercia de los generadores.

2) Control secundario. Opera en un margen de tiempo de entre 20 segundos y 2 minutos. Actúa en el ámbito del área de control, atendiendo a la frecuencia y al intercambio de potencia con las áreas vecinas.

3) Control terciario. Opera en un margen de tiempo superior a 10 minutos. Actúa en el ámbito de un sistema eléctrico extenso, buscando un reparto de cargas optimizado que asegure suficientes reservas de energía.

Dentro de cada control existen multitud de ecuaciones y modelos que permiten controlar los diferentes parámetros que involucran a cada nivel, pero puesto que no es el objetivo de este proyecto la profundización en dichos algoritmos, con esta breve introducción ya nos hacemos una idea de lo que se encarga cada nivel jerárquico.



1.1.7. Micro Red conectada o en isla

Todas las micro redes tienen dos modos de operación, el primero es conectada a la red y el segundo es en modo aislado o modo isla. Cada uno de los modos de operación tiene características diferentes y de distinta relevancia, ya que no es lo mismo que contemos con la red eléctrica para mantener la tensión y frecuencia de red que si tenemos que mantenerla solamente con nuestros GD (Generadores Distribuidos). Por tanto siempre que nos sea posible se intentará funcionar en modo de conexión a red, lo cual además de facilitarnos el mantenimiento y estabilidad nos da la posibilidad de inyectar o consumir de ella según nos convenga.

A continuación explicaremos más en detalle las particularidades y funcionalidades de cada uno de los dos modos:

Conectada a la red de distribución eléctrica (ilustración 13). En esta situación no es necesario que toda la energía demandada por las cargas sea producida por los generadores de la micro red ya que el desfase entre generación y consumo será cubierto por la energía que fluye a través del punto de conexión. La micro red podrá ser vista como un pequeño generador o como una carga en función de si la generación es mayor o menor que la energía demandada por las cargas. Cuando la micro red trabaja conectada a la red de distribución, el sistema de control tiene como objetivo la disminución de coste de la energía para los consumidores que están asociados a ella. Usa la generación local cuando es económicamente rentable, disminuyendo la cantidad de energía que toma de la red.

Desde el punto de vista de la red de distribución, el comportamiento es el adecuado ya que tiende a aplanar la curva de demanda. Esto es debido a que en momentos de elevado consumo, cuando el precio de la energía es mayor, la micro red tiende a autoabastecerse disminuyendo la energía que toma de la red de distribución.

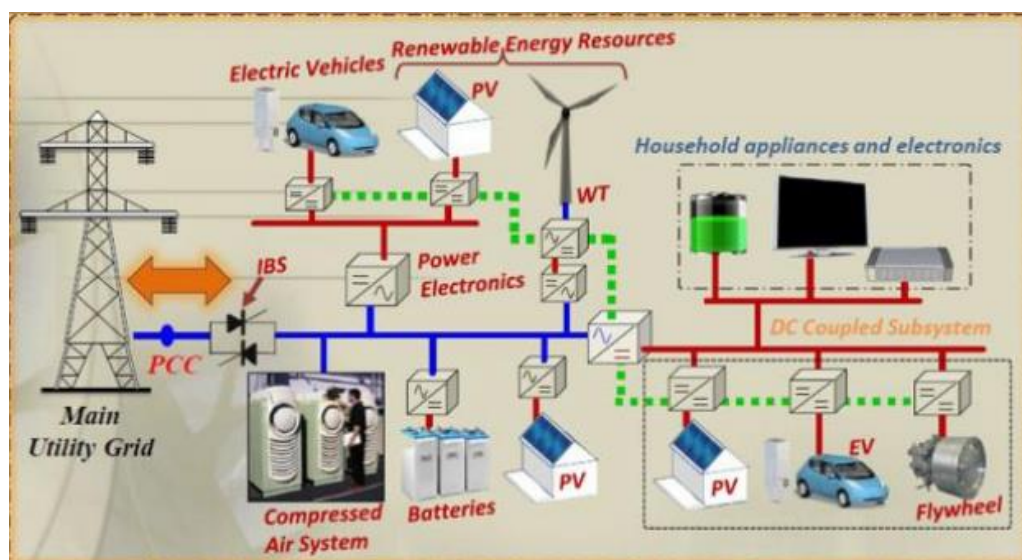


Ilustración 13. Micro red conectada a red



Modo aislado/modo isla (ilustración 14). Una de las ventajas más importantes de la implantación de la generación distribuida y la agrupación de pequeños generadores y cargas es la posibilidad de limitar la afectación a los clientes ante un fallo en la red de transporte o distribución. Como se ha comentado, una micro red estará habitualmente (modo normal de operación) conectada a la red de distribución. Sin embargo, ante un fallo en esta red, es posible pasar al modo de emergencia en que la micro red se desconecta, pasando a trabajar de forma autónoma.

Una vez detectado un problema en la red de distribución, se tratará siempre de que la desconexión se realice de la forma más transparente posible para las cargas conectadas.

Si no es posible aislar la micro red con éxito y el suministro queda afectado, se pone en marcha un procedimiento automático con el objetivo de restaurar el servicio de forma independiente de la red de distribución. Una vez la red de distribución vuelva a estar operativa el sistema que conforma la micro red procederá a sincronizarse con ella para a continuación volver al modo normal de operación.

Es importante destacar que una de las posibles utilidades de este nuevo concepto de red es su aplicación en lugares que por circunstancias geográficas o sociales no tiene posibilidad de acceso a una red de distribución. En estos casos la micro red trabajará en todo momento en forma aislada, por lo que será de vital importancia garantizar el suministro a las cargas críticas, ya sea mediante generadores diésel o sistemas de almacenamiento sobredimensionados. Habitualmente en este tipo de micro redes se cuenta con un elevado porcentaje de generación renovable (así disminuimos el consumo de combustibles fósiles) por lo que será de especial importancia realizar buenas predicciones de las tasas de generación.

Como ya hemos comentado anteriormente otro de los grandes problemas de este modo de operación será el mantenimiento de los parámetros de la red, por lo que los sistemas de control y monitorización tendrán que ser más sofisticados y complejos.

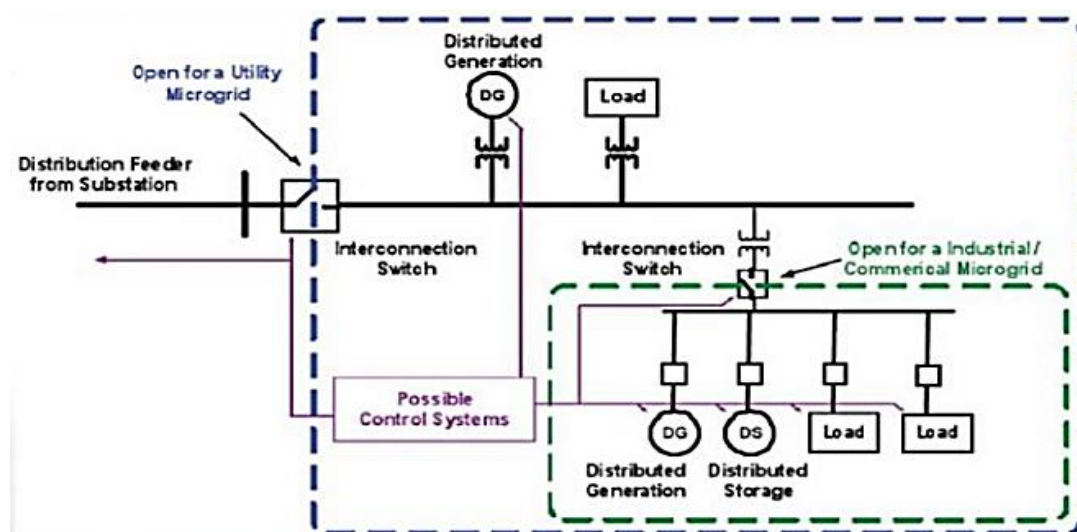


Ilustración 14. Micro red en modo isla



1.1.8. Programas de simulación

En la actualidad y debido al auge que están experimentando las micro redes muchas personas trabajan en el desarrollo de programas informáticos que faciliten la forma de estudiar, diseñar e implantar este nuevo concepto. Este gran esfuerzo por parte de personas y empresas nos da una pista del alto potencial que puede tener esta nueva forma de generación energética.

En lo que se refiere a los programas que mayor importancia tienen en este campo vamos a comentar algunos de ellos:

Matlab/Simulink. Este programa es uno de los más completos a la par que complejos que podemos encontrar en el mercado (se podría decir que cualquier ingeniero ha tenido que trabajar en numerosas ocasiones con él).

El software tiene multitud de toolbox y aplicaciones, las cuales lo hacen uno de los más flexibles del mercado. Algunas de sus aplicaciones pueden ser:

- Simulación de redes eléctricas.
- Programas de cálculo matemático y diseño.
- Simulación de controladores de todo tipo y procesamiento de señales.
- Simulación de elementos de potencia.
- Modelos físicos y simulaciones en tiempo real.

En lo que a nosotros nos respecta gracias a la herramienta de Simulink y la gran cantidad de bloques que esta contiene (micro turbinas, paneles solares, controladores PID, inversores, simuladores de red, convertidores, etc.) podemos simular una micro red con gran detalle y eficacia. Por todo esto uno de los puntos más importantes de nuestro proyecto consistirá en el diseño y simulación de una pequeña micro red en dicho programa.

En la ilustración 15 podemos ver un ejemplo de una red diseñada con él:

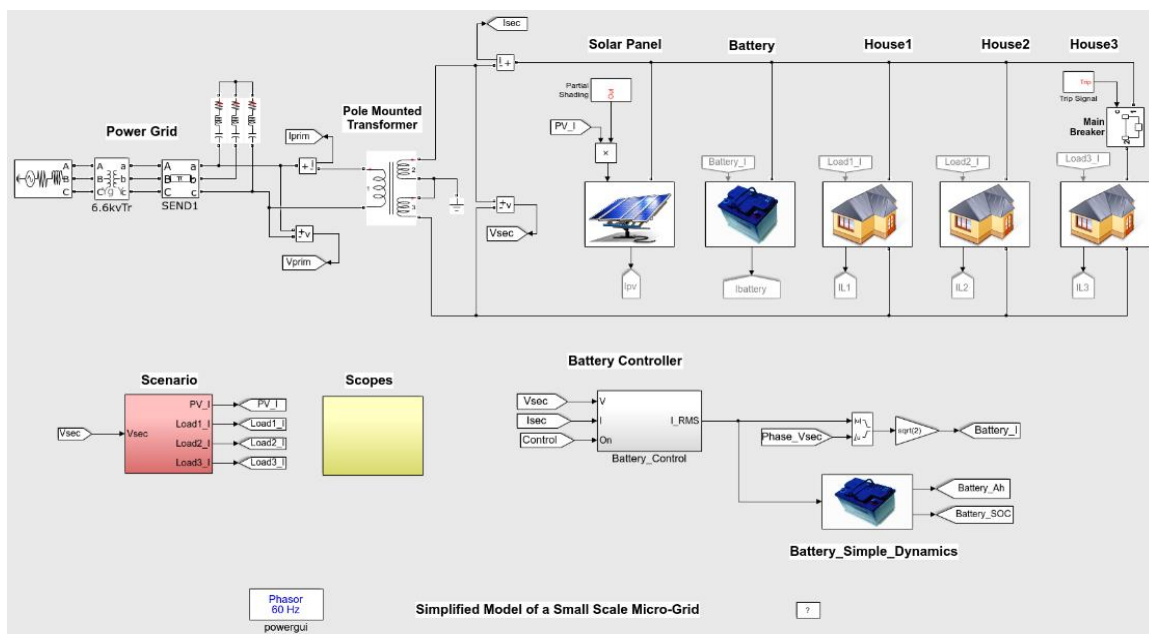


Ilustración 15. Micro red en Simulink



Programa HOMER. Este es uno de los programas más utilizados en el diseño de micro redes. Esto se debe a que gracias a sus amplias bases de datos y capacidades de procesamiento nos permite responder a muchas de las preguntas que se nos plantean a la hora de diseñar un micro red: ¿Qué tecnologías son las más rentables?, ¿De qué tamaño deben ser los componentes?, ¿Qué sucede con los aspectos económicos del proyecto si cambian los costos o las cargas?, ¿Es el recurso renovable adecuado?...

Principalmente HOMER encuentra la combinación de componentes de menor costo que satisfacen las cargas eléctricas y térmicas. HOMER simula miles de configuraciones de sistemas, optimiza para los costos de ciclos de vida y genera resultados de análisis sensible para la mayoría de los datos de entrada.



Ilustración 16. Programa HOMER

Programa TRNSYS. Es un software basado en un entorno gráfico muy flexible, usado para simular el comportamiento de sistemas transitorios. Fue desarrollado en la Universidad de Wisconsin.

TRNSYS es un software muy adecuado para diseñar, optimizar, y hacer un análisis detallado de cualquier sistema cuyo comportamiento sea dependiente del paso del tiempo. Es usado por ingenieros e investigadores de todo el mundo para validar nuevos desarrollos energéticos, desde sistemas de agua caliente sanitaria hasta el diseño y simulación de edificios y sus equipos, incluyendo estrategias de control y sistemas alternativos de energía (eólica, fotovoltaica, sistemas de hidrógeno, etc.).

La forma de generar un proyecto en TRNSYS resulta muy intuitiva: se conectan gráficamente los componentes del sistema (types) por medio del interfaz visual Simulation Studio.



Ilustración 17. Programa TRNSYS

Programa DigSILENT (Digital Simulator for Electrical Network). Este nombre lo recibió el programa inicial creado en 1976 por varios ingenieros eléctricos de potencia y desarrolladores de software. Este software no es tan especializado para el tema de micro redes como lo es HOMER, teniendo este múltiples aplicaciones en cualquier campo de las redes eléctricas.



El programa utilizado en la actualidad es el DigSILENT PowerFactory el cual es una herramienta integrada utilizada para el análisis de sistemas eléctricos de potencia caracterizado por técnicas fiables y flexibles de modelado y algoritmos.

Algunas de sus funcionalidades son:

- Control del flujo de potencia
- Análisis de fallos eléctricos
- Análisis armónico
- Reducción de redes
- Simulación dinámica y de transitorios
- Chequeo de respuesta ante unidades de protección



Ilustración 18. Programa DigSILENT

Otros programas. Debido a la complejidad que supone el diseño de una red se han desarrollado muchos programas orientados a distintas funciones: diseño de algoritmos, simulación de funcionamiento, modelado de sistema eléctricos, análisis de fallos, etc.

Algunos programas diferentes a los comentados anteriormente son:

- *Toolbox de Matlab MATPOWER*: Permite calcular flujos de potencia y flujos de potencia óptimos.

- *CeMOS (CENER Managenement Optimization Software)*: Es una aplicación para la gestión de micro redes. Este software permite simular de forma acelerada el comportamiento de una micro red, tanto en modo conectado o aislado. Así, se pueden validar las estrategias de gestión introducidas en la simulación y en su caso optimizar tanto el diseño de la instalación como el sistema de control implementado.

- *PLEXOS*: Este software diseñado por la empresa Energy Exemplar ha logrado liderar el mercado de la tecnología de modelación basada en la optimización de mercados de energía, siendo uno de los más utilizados en el mundo.

PLEXOS es un simulador de mercados de energía que integra múltiples algoritmos en un único producto, lo que lo convierte en una poderosa herramienta para optimizar los sistemas de electricidad, gas y agua además de determinar la inversión óptima en varias escalas temporales.

La tecnología basada en la optimización del software PLEXOS ofrece un grado de flexibilidad que facilita el análisis de la generación intermitente de las renovables. La clave es que PLEXOS puede cambiar de una forma sencilla las etapas de simulación de una hora a intervalos menores con datos mínimos de entrada.



1.2-REDES INTELIGENTES (Smartgrids)

Como en el caso de las micro redes al principio del proyecto ya hemos dado unas definiciones sobre que es una Smartgrid, así que en este punto pasaremos a ver más en detalle todo lo que compone a este concepto innovador.

1.2.1. Fiabilidad, seguridad y eficiencia de la red eléctrica

Trataremos cada uno de los aspectos expuestos en el punto 1.2.1 de manera independiente explicando sus principales ventajas e inconvenientes:

• **Eficiencia.** Esta característica de las redes inteligentes es sin duda una gran ventaja frente a los sistemas eléctricos actuales. El principal objetivo que buscan los nuevos sistemas inteligentes es la mejora de la eficiencia energética, que hoy en día no es ni mucho menos óptima. Por este motivo en la actualidad se están instalando millones de contadores anualmente a lo largo del mundo y se espera que para 2020 existan más de 800 millones de contadores inteligentes instalados.

Entre los objetivos propuestos en la UE se intenta que para 2020 haya una mejora del 20 % en eficiencia energética, que el 20% de la energía producida provenga de energía renovable y por consiguiente que se reduzca un 20% las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Para conseguir todo esto es evidente que necesitamos realizar cambios considerables en el sistema energético, siendo dos de las soluciones más evidentes las micro redes y las redes inteligentes.

Para que todos estos objetivos se puedan cumplir es necesaria la implantación de nuevas tecnologías como pueden ser los sensores, comunicadores y computadores que permitan una mayor interacción entre la compañía energética y el usuario final. De esta manera y gracias al uso de la tecnología será posible aumentar considerablemente la eficiencia energética y por tanto reducir o adaptar las tasas de consumo a los momentos de mayor generación.

En la actualidad podría decirse que está apareciendo una conciencia social que puede favorecer al avance de esta nueva forma de producción energética. Esto se debe a que las consecuencias del cambio climático están siendo evidentes, con unas tasas de sequía y lluvia en el año 2017 que nadie se podía esperar y que están provocando grandes problemas socio-económicos.

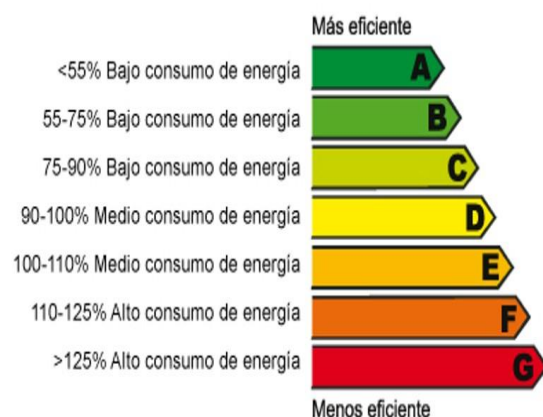


Ilustración 19. Eficiencia de Smartgrids

· **Fiabilidad.** La fiabilidad de la energía y su distribución es otro matiz a tener en cuenta. A pesar de que hoy en día la fiabilidad es muy alta, aún existe una gran pérdida económica y social debida a la falta de electricidad en determinadas ocasiones. Además, muchas veces las propias compañías no detectan dichos apagones hasta que los usuarios finales les informan y es habitual que sea necesario el desplazamiento físico de los empleados para determinar qué partes de la red están dañadas.

La implementación de sistemas automáticos inteligentes puede hacer que las compañías eléctricas tengan un conocimiento en tiempo real de toda la red permitiendo una rápida reacción, la detección previa de problemas y la minimización del impacto de un fallo. Además, si se dispone de una conexión directa con todos los clientes finales se puede comprobar el estado de sus líneas, consumos y suministros, pudiendo actuar antes de que se produzca el aviso del fallo.

· **Seguridad.** Este es uno de los principales problemas a los que se enfrentan los contadores inteligentes y las Smartgrids. Esto se debe a que con el avance tecnológico que supone la implantación de nuevos sistemas de comunicación eléctrica también aparecen nuevas formas de hackeo y de perjudicar a las compañías eléctricas.

Ya son muchas las compañías que han detectado estos riesgos y que están trabajando conjuntamente para poder buscar soluciones a la facilidad de intrusión de estos nuevos sistemas. Un ejemplo es la compañía CCI (Centro de Ciberseguridad Industrial) que lleva ya un tiempo estudiando y trabajando en cómo pueden ser vulnerados estos sistemas energéticos y cómo podrían evitarse dichos fraudes.

Los principales motivos que podrían llevar a realizar un ataque cibernético a este tipo de redes serían: provocar digitalmente el corte eléctrico de un usuario, de un grupo o de una industria; dejar fuera de servicio un contador mediante un ataque DoS (Denial Of Service) con el objetivo que la distribuidora no pueda recoger los datos; capturar los datos de los contadores para vender o sacar beneficio económico de su uso, etc.

Si lo miramos desde el punto de los potenciales atacantes podemos también encontrar ataques por parte de: empleados, consumidores o proveedores descontentos, agencias de inteligencia extranjeras, la competencia, organizaciones de crimen organizado, terroristas e incluso extorsionadores.

Como podemos ver en la ilustración 20 los contadores inteligentes no son muy diferentes a los actuales, sin embargo la electrónica que contienen es mucho más completa y sofisticada.

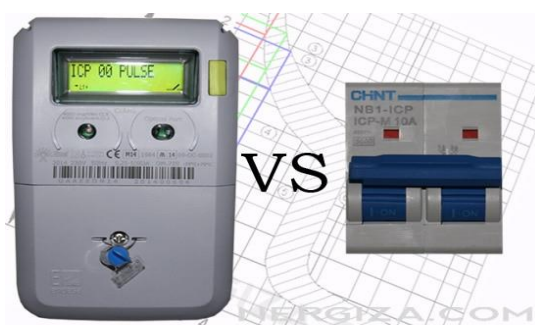


Ilustración 20. Contador inteligente



1.2.2. Integración de recursos distribuidos y generación

Puesto que el punto anterior (1.1-Micro redes) está directamente relacionado con las redes inteligentes, muchos de los puntos comentados en este segundo apartado ya están brevemente explicados. De todas formas se comentará más concretamente cómo funciona la integración de recursos en las redes inteligentes.

Uno de los principales aspectos que pretenden superar las nuevas redes es la dependencia de una red extensa y centralizada. Por este motivo es obvio decir que las Smartgrid cuentan con un conjunto de generadores distribuidos en distintos puntos todos ellos cercanos a las cargas que consumirán su producción. De esta manera se evitan muchos problemas que podían derivar de la red de comunicaciones centralizada:

- Un solo fallo podía afectar a un gran número de usuarios.
- Dificultad de detección de errores y por consiguiente de su arreglo y mantenimiento.
- Grandes pérdidas derivadas de la gran cantidad de kilómetros que tiene que viajar la electricidad hasta el usuario final.
- Monopolio energético por parte de algunas compañías, lo cual les permitía fluctuar los precios energéticos a su gusto.
- Dificultad de algunas poblaciones en países subdesarrollados de conectarse a la red.

Por todos estos motivos se cree que el futuro de la energía se basa en la producción descentralizada. Para ello se dividirá la producción energética en pequeñas redes las cuales contarán con equipos de generación distribuidos, convertidores, redes de comunicación, elementos de potencia, baterías, etc. Para optimizar aún más este tipo de sistemas se utilizarán elementos tecnológicos inteligentes (componentes de las Smartgrids) que nos permitirán decidir a cada usuario los momentos que más nos interesen de consumo.

Estas nuevas fuentes de energía ofrecen una oportunidad potencial para restaurar el suministro eléctrico frente a interrupciones, al disponer de un mayor número de fuentes de generación disponibles para restaurar el servicio en diferentes zonas de la red. La presente comunicación presenta una metodología capaz de estimar la capacidad que los recursos energéticos distribuidos tienen para restaurar el suministro eléctrico interrumpido en redes de distribución.

Dicha metodología ha sido utilizada para analizar una red real de distribución en Media Tensión (MT). Los resultados demuestran que la GD de origen gestionable y la GD eólica pueden mejorar significativamente la continuidad del suministro, mientras que la energía fotovoltaica presenta mayores limitaciones. Adicionalmente, los sistemas de almacenamiento pueden proporcionar soporte a la GD para extender la restauración del suministro eléctrico en el tiempo.



1.2.3. Respuesta a la demanda y recursos de la demanda

La energía es un recurso estratégico para cualquier economía y en particular, la electricidad es una forma de energía necesaria y de vital importancia para cualquier aspecto de la sociedad actual.

La demanda de la energía es creciente (ilustración 21) y las inversiones en infraestructuras están principalmente encaminadas a satisfacer la demanda. Como muchos estudios corroboran los sistemas actuales de producción energética (principalmente combustibles fósiles) tienen una esperanza de vida corta, ya que la tasa de consumo energético aumenta exponencialmente y estas fuentes son agotables. Por este motivo es necesario encontrar nuevas fuentes energéticas renovables, además de optimizar la energía generada de manera que la demanda pueda ser satisfecha con la mayor eficiencia posible.

La Respuesta a la Demanda consiste en reducir la demanda de aquellos consumidores que forman parte de los programas de DR (Demand Response). A cambio de reducir la demanda reciben una compensación. De esta forma se puede aliviar a la red en los momentos de mayor requerimiento energético y los usuarios que forman parte de la DR favorecen de consumir energía en los momentos de menor precio.

Este tipo de reducción de consumo se puede hacer de diferentes maneras:

- Desconectando cargas. Por ejemplo: iluminación a un 40%.
- Uso de precios dinámicos. Uso de elementos de control inteligente.
- Diferir la conexión de algunas cargas.

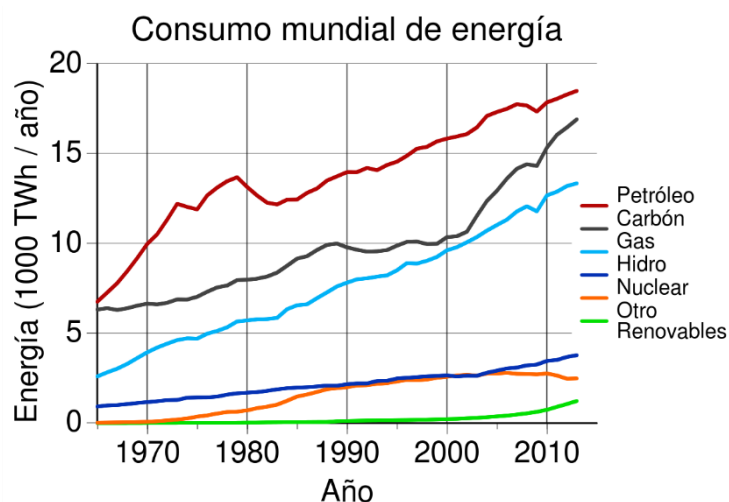


Ilustración 21. Evolución demanda energética



1.2.4. Implementación de tecnologías "inteligentes": automatización de medición y distribución

Como su propio nombre indica en este tipo de redes es fundamental el uso de nuevas tecnologías que permitan optimizar el aprovechamiento eléctrico. Podemos dividir este tipo de tecnologías en dos grandes grupos:

1) Medición avanzada. El primer paso hacia la mejora de la eficiencia reside en concienciar a los consumidores de la ecoeficiencia y la sostenibilidad. Gracias a esto, se consigue homogeneizar la curva de consumo diaria, de manera que el consumo de energía se distribuye más uniformemente y se evita la creación de fuertes picos de demanda, maximizando el aprovechamiento de las infraestructuras actuales y la utilización de las energías renovables.

El sistema AMI (Advanced Metering Infrastructure) permite la telemedida o medida remota y la caracterización de los hábitos de consumo. Asimismo, posibilita una comunicación online con el usuario que le permite adoptar hábitos más eficientes y, en un grado de desarrollo más avanzado, una gestión activa de la demanda que implique la intervención directa de la distribuidora en cargas no prioritarias.

2) Distribución avanzada. La creciente complejidad y criticidad de la red eléctrica requiere de métodos avanzados de control de las infraestructuras con el fin de optimizar su operación y eficiencia. Es necesario automatizar, además del telecontrol de la red, el mantenimiento y la capacidad de predicción. Ampliar los esquemas de protección e implementar mecanismos adaptativos de autoajuste de los dispositivos de la red en tiempo real son otras acciones que la automatización de la red hace posible.

Todo esto será posible en la medida en que se disponga de medios TIC (Tecnologías de la Información y Comunicaciones) que faciliten, con seguridad y eficiencia, esta necesaria integración entre los muchos elementos que forman parte de la red inteligente.

En la actualidad son muchas las empresas que se dedican al diseño de redes inteligentes y que nos ofrecen soluciones personalizadas y eficientes para el diseño de nuestra red.

Un ejemplo de este tipo de ofertas puede ser la de la compañía 3M: Esta compañía abarca desde la planificación y el diseño hasta el suministro, la instalación y la puesta en servicio, 3M ofrece un amplio abanico de servicios e instalaciones técnicas.

Los clientes como las empresas energéticas regionales y nacionales y los proveedores locales aprecian el concepto de servicio individualizado que sustenta la expansión de los sistemas de transmisión con nuevas tecnologías.

Una instalación rápida y unos conceptos innovadores para la expansión de las redes son los componentes clave necesarios para su construcción. 3M Telecommunications ofrece una completa cartera de productos para todos los segmentos de la red de comunicación.



1.2.5. Tecnologías avanzadas de almacenamiento de electricidad y eliminación de picos.

Puesto que el almacenamiento de la energía juega un papel de vital importancia en el caso de la integración de las energías renovables en las redes inteligentes, se están llevando a cabo numerosos avances en I+D+I en lo que a esto se refiere. Esto está siendo posible gracias a la concienciación tanto de empresas privadas como de gobiernos que prevén un cambio urgente y están realizando grandes inversiones en lo que a estos temas respecta.

A continuación se exponen algunos de los sistemas de almacenamiento energético más novedosos y en mayor auge:

Vehículos eléctricos híbridos enchufables (PHEV). Este nuevo tipo de vehículos comparten con los actuales la existencia de un motor de combustión que funciona con combustibles fósiles. Además de esto incorporan baterías recargables lo cual les permiten funcionar a partir de electricidad. La manera de rellenar estas baterías es simplemente mediante su conexión a alguna toma eléctrica.

Una de las posibles aplicaciones de las redes inteligentes es el uso de la electricidad para la recarga de dichas baterías.

La red existente de suministro eléctrico, en particular los transformadores de las redes residenciales, no cuentan con capacidad para resistir la carga adicional que se generaría durante la noche si en un mismo barrio se conectan varios vehículos híbridos enchufables al mismo tiempo. Este es uno de los motivos por los que será necesario cambiar la manera de generar y distribuir electricidad.

Vehículos a la red (V2G). Este concepto es aún más novedoso que el de los vehículos eléctricos híbridos. De hecho este concepto engloba tanto a los vehículos híbridos como a los completamente eléctricos.

De esta manera la energía puede ser vendida a la red eléctrica por el conductor de un vehículo V2G, cuando este es conectado a la red en los momentos que no se use para el transporte. Alternativamente, cuando las baterías del coche necesiten ser recargadas, el flujo se invertirá y la electricidad fluirá de la red al vehículo.

Este tipo de vehículos presenta grandes ventajas en lo que se refiere a la integración con las redes inteligentes y las micro redes. Gracias a esta posibilidad sería mucho más fácil mantener las cargas conectadas, ya que dichos vehículos pueden funcionar como baterías de flujo bidireccional. De esta manera podemos compensar los momentos de mayor consumo de electricidad (suelen ser durante la noche, es decir, cuando los coches permanecen aparcados) y podemos hacer un control más robusto de la tensión y frecuencia de red en el caso de que trabajemos en modo aislado.

En la actualidad existen miles de proyectos que cuentan con este tipo de vehículos para sus redes inteligentes y es una realidad que su uso da una mayor flexibilidad y competencia al conjunto energético.



Pilas de combustible. Esta forma de almacenamiento energético ya se comentó en el caso de las micro redes, pero lo repetiremos debido a la opinión personal de que presenta grandes ventajas como sistema de almacenamiento.

El hidrógeno es el elemento más abundante en la Tierra, por lo que si se lograra aprovecharlo como vector energético sería un recurso prácticamente inagotable. Además de esto muchos estudios han confirmado el abanico de posibilidades que ofrece este tipo de baterías/pilas, ya que tiene una de las mayores densidades energéticas que se conocen hasta el momento.

El fundamento del hidrógeno es el aprovechamiento de la energía eléctrica generada mediante recursos renovables para realizar la electrolisis del agua, y de esta manera obtener las moléculas de hidrógeno puro. Este puede almacenarse en estado gaseoso (presurizado), líquido (criogenizado) o sólido (mezclado con algunos compuestos metálicos). Una vez lo tenemos almacenado lo único que debe hacerse para obtener la energía que este contiene es calentarlo, lo cual es una gran ventaja frente a otros procesos químicos.

Su uso final puede tener numerosas aplicaciones en función de cómo se almacene, desde aporte de electricidad a cargas estáticas o domésticas hasta su aplicación en vehículos. Entre las técnicas más novedosas para almacenamiento podemos encontrar las siguientes: microesferas de vidrio, clatratos, nanotubos de nitruro de boro, medios de almacenamiento químico, sistemas híbridos, etc.



Ilustración 22. Pilas de combustible

Sistemas de superconducción. El almacenamiento de energía magnética por superconducción permite almacenarla bajo la forma de un campo magnético creado por la circulación de una corriente continua en una bobina superconductora que está refrigerada a una temperatura por debajo de la temperatura crítica de superconductividad.

Nuevas baterías electroquímicas. Este tipo de baterías aún tienen grandes posibilidades de mejora, por lo que se plantean como una de las opciones más factibles. Algunas de las más innovadoras son: baterías Metal-aire, baterías Ion-sodio y baterías Litio-azufre y magnesio-azufre.

Condensadores electroquímicos. Presentan altas densidades másicas de energía y de potencia. Además poseen una casi ilimitada capacidad de ciclado. Su interés para el almacenamiento está en su gran capacidad de suministrar una gran cantidad de energía en un breve período de tiempo, lo que es fundamental para complementar la respuesta de suministro de energía en una red que no solo precisa de un sistema a medio o largo tiempo sino que requiere la combinación de sistemas de muy rápida respuesta con sistemas capaces de mantenerse en un período más largo.



1.2.6. Previsiones avanzadas: demanda, precio de la electricidad, producción de viento y FV

En lo que respecta a la necesidad de sistemas de última generación para la predicción tanto de la generación como de la demanda lo que se puede explicar para el caso de redes inteligentes es similar a lo explicado en el punto 1.1.2 para el caso de las micro redes.

Puesto que el principal objetivo que pretenden cubrir los sistemas inteligentes es la mejora de la eficiencia energética son necesarios nuevos sistemas de control y medida que nos permitan utilizar los recursos de nuestra red de la manera más eficiente posible. Para poder llevar esto a cabo es necesario conocer los momentos de mayor demanda eléctrica y así poder generar la electricidad en los momentos más cercanos a su consumo, de manera que a ser posible evitemos las pérdidas de almacenamiento. Esto solamente será posible en el caso de que la energía proceda o bien de generadores diésel o de la propia red de distribución, ya que con las energías renovables no podemos elegir los momentos de mayor generación.

Por todo esto y puesto que el objetivo de nuestra red inteligente es la integración de los recursos renovables, será necesario realizar previsiones fiables sobre las tasas de generación de nuestros aerogeneradores y paneles solares, de manera que podamos satisfacer las cargas con el mínimo gasto no renovable posible. Como ya se comentó en el caso de micro redes, en la actualidad y gracias a los satélites son muchas las páginas web y empresas que nos dan pronósticos muy fiables sobre las velocidades del viento o la irradiancia en los siguientes días.

Una vez hayamos podido hacer unas predicciones fiables de la generación la otra parte que nos queda es la realización de las predicciones de la demanda, de manera que nuestra red pueda elegir los mejores momentos para la compra de energía a la compañía distribuidora. De manera análoga si sabemos los momentos en que tendremos excedentes de energía renovable podremos elegir cuando vender dicha electricidad sobrante a la red, de manera que el beneficio sea el óptimo.

Para que todo esto sea posible los sistemas inteligentes cuentan con muchos microprocesadores y unidades de memoria, las cuales nos permiten tanto procesar como almacenar la información acerca de la demanda y la generación. Mediante el uso de diversos algoritmos computacionales se pueden crear curvas de demanda con una gran fiabilidad. Además debemos contar con un conjunto de sistemas de comunicaciones que mantengan constantemente a nuestra red interconectada, de manera que la toma de decisiones pueda ser mucho más rápida que en una red normal.

La predicción exacta y fiable es la clave, y eso es, en esencia, un problema de análisis avanzado. Tecnologías como el almacenamiento de “big data”, el cálculo y las técnicas de aprendizaje de la máquina nos permite utilizar datos históricos de consumo, además de otras fuentes de datos (como informes meteorológicos) para poder desarrollar pronósticos de demanda de energía mucho más precisos.



1.2.7. Control de unidades de generación

Como las redes inteligentes tienen un alto contenido de generación renovable y flujo bidireccional de energía los nuevos sistemas de medida y control jugarán un papel crucial a la hora del correcto funcionamiento de nuestra planta. Si conseguimos realizar un control fiable reduciremos las pérdidas del sistema y dotaremos al sistema de una mayor flexibilidad, manteniendo su seguridad y fiabilidad de operación.

Siguiendo estas líneas de evolución, en los últimos años se han desarrollado diversos modos de gestión energética, sobre todo para altas penetraciones de fuentes renovables, se han incorporado dispositivos de almacenamiento en las redes eléctricas de distribución y se están investigando intensamente distintas alternativas de gestión de la demanda eléctrica para respaldar al sistema.

El principal problema al que se enfrentan todos los algoritmos de control consiste en cómo minimizar la incertidumbre asociada tanto al consumo energético como a las condiciones ambientales, de forma que se puedan integrar adecuadamente más fuentes renovables en las redes y se eviten tanto la congestión de las líneas como los picos de demanda. Gracias al desarrollo de nuevas tecnologías: instalaciones de almacenamiento de energía avanzadas, convertidores de electrónica de potencia como interfaces para fuentes de energía fotovoltaica o eólica, sensores de flujo de potencia y detección de fallos bidireccionales o cogeneración distribuida, se podrán superar todos los nuevos problemas que plantean estos sistemas de generación inteligente.

Para que todo lo comentado anteriormente sea posible han de incorporarse al sistema nuevos dispositivos de control interconectados, que permitan prever y garantizar la generación eléctrica en los momentos de necesidad. Uno de los grandes problemas que encontramos es como detectar los fallos del sistema y poder garantizar el suministro, al menos a las cargas críticas en el caso de que parte de la GD no funcione. Este es uno de los principales motivos por los que en la actualidad la mayor parte de las redes inteligentes son plantas de prueba y no se han instalado a nivel mundial.

En la ilustración 23 podemos ver un conjunto de controladores que permiten supervisar un sistema de generadores y cargas:

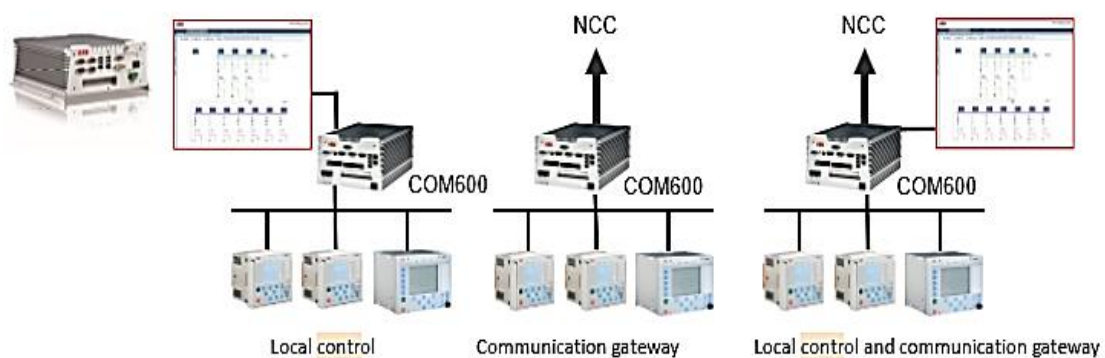


Ilustración 23. Controladores inteligentes



1.2.8. Control de unidades de almacenamiento

Al igual que es necesario un control exhaustivo de las redes de generación distribuida también es fundamental el control preciso y fiable de las unidades de almacenamiento, ya que estas serán las que nos permitan realizar un seguimiento correcto de la carga. Además en el caso de introducir en nuestra red las energías renovables las unidades de almacenamiento tendrán un papel crucial, ya que será la forma en que podamos satisfacer la demanda energética independientemente de las condiciones climatológicas de cada momento.

El control de las baterías o de otros sistemas de almacenamiento eléctrico estará organizado jerárquicamente de manera que no sea necesario el trabajo de todos los controladores para un grupo de baterías.

El controlador local constituye el último eslabón en el control de la micro red. Puede considerarse que ese control permanece implementado en los interfaces de electrónica de potencia de los sistemas de generación y acumulación distribuidos, así como también en las cargas locales que dispongan de contadores inteligentes. Este controlador debe ser capaz de operar sin la intervención del controlador central además de garantizar que nuevos dispositivos de generación se puedan añadir al sistema sin realizar ninguna modificación en la configuración de la microrred.

Los sistemas de control deben garantizar la seguridad del sistema, una operación óptima y una transferencia suave y sin cortes desde un modo de operación a otro sin violar los límites del sistema y los requisitos normativos.

Si lo que usamos para el almacenamiento son baterías convencionales tendrán un papel muy importante los controladores ya que en ningún caso debemos sobrecargar o descargar más de lo debido dichas baterías con el objetivo de intentar alargar su vida útil. En la ilustración 24 podemos ver como son las gráficas de carga y descarga en las baterías según las distintas procedencias de la energía.

En la siguiente imagen podemos apreciar las baterías son las encargadas de suministrar la diferencia energética entre la generación y la demanda:

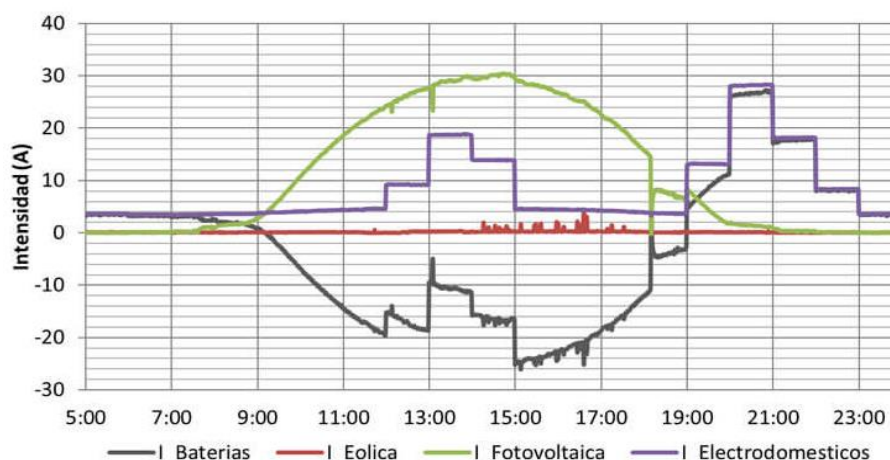


Ilustración 24. Baterías en redes inteligentes según tipo de generación



1.2.9. Transmisión y monitoreo de datos

La medición inteligente interconecta a los consumidores con la red a través de una comunicación bidireccional, lo cual es la base en la nueva relación entre el consumidor y el productor. Los beneficios son mutuos, los consumidores pueden monitorear y optimizar su consumo basándose en su uso en tiempo real y sus necesidades individuales. Por otro lado las empresas tienen a su alcance la información necesaria para hacer un balance preciso entre la generación de energía y la demanda actual reduciendo así las pérdidas ocasionadas por almacenamientos innecesarios.

Como ya se ha explicado todo el sistema está dividido en pequeñas redes o micro redes, de manera que la comunicación es más sencilla a partir de controladores locales y así evitamos que haya cúmulos de información. De esta manera podríamos decir que existe una red de área extensa a la cual se conectan varias redes secundarias o redes de área local, de tal forma que al final de cada una de las redes secundarias existen medidores y controladores inteligentes que permiten obtener los datos de consumo de los clientes y tramitar la gestión energética de la manera más óptima posible.

Para la gestión de los datos de generación y consumo existen centros de control que permiten visualizar y controlar los parámetros del sistema para mantenerlos dentro de los límites que se desea. Esta monitorización también puede hacerla el usuario sobre su parte de la red permitiéndole así decidir cómo y cuánto consumir en función de los precios de la energía.

La ilustración 25 nos permite hacernos una idea aproximada de cómo se organiza la transmisión y supervisión de datos dentro de una red inteligente.

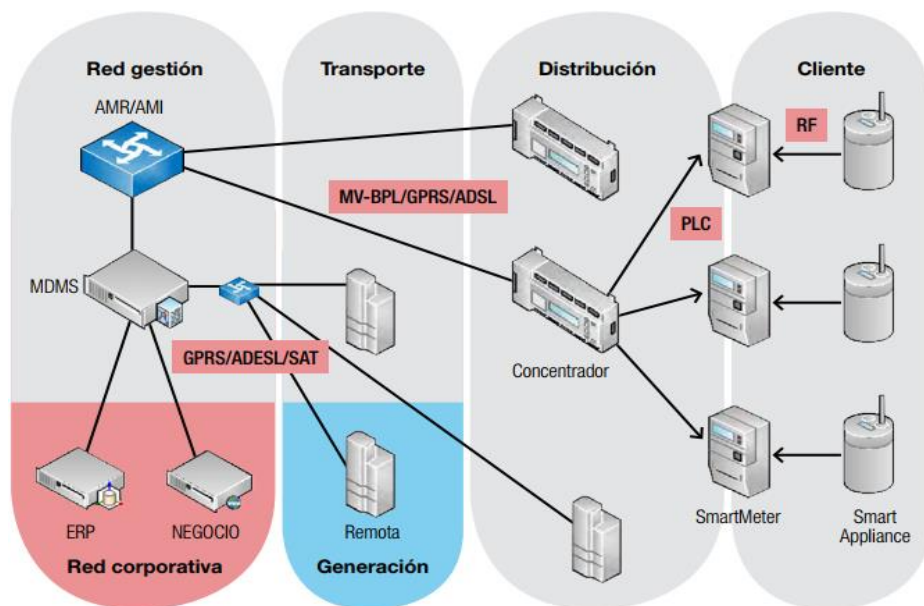


Ilustración 25. Esquema de comunicaciones en redes inteligentes



1.2.10. Sistemas de comunicación: tecnología cableada, tecnología inalámbrica, tecnologías basadas en internet

En la actualidad el concepto por el que entendemos una red inteligente está claramente asociado a una forma de generación energética en la cual la comunicación entre las distintas partes juega un papel decisivo para el correcto funcionamiento. Es por esto que se están haciendo miles de estudios e investigaciones en todo el mundo con el objetivo de mejorar y optimizar esta comunicación bidireccional.

La implantación de una red de distribución activa, permitirá la creación de micro redes, redes de baja tensión con fuentes de generación distribuida, dispositivos locales de almacenamiento y cargas controlables. Las necesidades para gestionar servicios adicionales a los consumidores se basan en la asociación de las redes de comunicación con la etapa AMI (Infraestructura de medición avanzada), así estos clientes podrán tener una gama de beneficios como el monitoreo del uso de energía o economizar en función del precio de la energía. Por otro lado la empresa distribuidora tendrá acceso directo a la carga y así podrán gestionar de forma más eficiente la demanda.

Entre los principales avances que se han dado en el sector de las comunicaciones en redes inteligentes destacan las tecnologías inalámbricas, ya que la comunicación cableada presenta numerosas desventajas como ya comentamos en el apartado 1.1.3. Entre las más novedosas podemos encontrar:

WiMax: Es una tecnología dentro de las conocidas como tecnologías de última milla que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. Además de esto permite la interconexión entre medidores inteligentes.

3G: Usado para censado remoto, es decir, utilizado para control y monitoreo.

MPLS: Desarrollado para interconexión de redes de diferentes tecnologías.

ZigBee: Conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN).

Home Plug: Esta tecnología incluye interconexión con bombas de agua, audio, televisión, nevera, iluminación, vehículos eléctricos, etc.

WiFi y 4G LTE: También son tecnologías aplicadas para comunicaciones inalámbricas pero pueden ser usadas para mejorar cobertura, ancho de banda o velocidad y conseguir así los datos desde cualquier dispositivo electrónico, es decir, es usado para medición inteligente. También 4G LTE puede ser usado para control y monitoreo en alto y medio voltaje, conectividad con hogares de sectores urbanos y para sectores rurales se puede implementar WiMax ya que debido al empleo de altas frecuencias en 4G no es recomendable.



1.2.11. Sistema de gestión de energía: control centralizado vs control descentralizado

La red eléctrica actual viene de un tiempo en que la generación eléctrica debía hacerse en enormes complejos alejados de las ciudades: centrales térmicas, centrales nucleares, centrales hidráulicas, etc. Por tanto eran necesarios largos tendidos eléctricos que conectasen el punto de generación con el de consumo, a menudo a cientos o miles de kilómetros de distancia. Este es el ejemplo más claro de un sistema de generación centralizado, en el cual la producción está alejada de los puntos de consumo con las consiguientes desventajas que esto presenta.

Por todo esto y analizando la gran mejora en eficiencia que podríamos lograr generando la energía de una manera descentralizada y cercana al consumidor, en los últimos años son muchas las investigaciones que se dirigen a este objetivo. Las dos principales tecnologías que se basan en esta máxima son las micro redes y las redes inteligentes.

Para conseguir la mejora anteriormente comentada será fundamental conseguir una forma tanto de generación como de control lo más descentralizadas posible, en la cual cada una de las partes de la red tenga cierta independencia y pueda tomar algunas decisiones propias.

Con esta forma de gestión de los recursos se consiguen muchas mejoras, las cuales no son posibles en el caso del control centralizado. Para que esto sea viable son necesarios controladores divididos de manera jerárquica como se han comentado en los anteriores apartados.

Las principales mejoras conseguidas con este sistema son las siguientes:

- Menor necesidad de cableado con las consiguientes ventajas: Reducción de pérdidas de transporte, menor daño ecológico, menor cantidad de materia prima, reducción de costes de cableado, etc.
- Menor dependencia: Puesto que no dependemos de una gran central o una línea de distribución extensa, un fallo en el sistema tan solo afectará a una pequeña parte de los clientes muy inferior al caso de control centralizado.
- Mayor facilidad para la detección y arreglo de fallos. Puesto que tendremos el sistema de control dividido en partes será más fácil detectar los puntos en los que ocurren los fallos y su posterior arreglo.
- Mayor interacción productor-clientes: Con este nuevo sistema en desarrollo se conseguirá que cada cliente pueda tomar decisiones propias, lo que mejorará la eficiencia energética respecto del sistema actual.
- Instrumentos de control más sencillos y baratos. Uno de los inconvenientes del control descentralizado será la necesidad de un mayor número de instrumentos inteligentes, pero como ventaja tenemos que dichos aparatos serán más sencillos y económicos que los que se necesitan para el control de una gran red.



1.2.12. Políticas: incentivar las renovables, reducir producción mediante combustibles fósiles, instalación a gran escala de los contadores inteligentes

Una de las mayores mentes del ser humano, Albert Einstein, dijo en una ocasión esta gran frase: *“Una locura es hacer la misma cosa una y otra vez esperando obtener resultados diferentes. Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo”*. Esta frase es aplicable a muchas cosas de la vida y por supuesto también lo es a la búsqueda de un cambio significativo en la forma de generación eléctrica.

En los últimos tiempos son muchas las personas que intentan cambiar y mejorar el mundo mediante la búsqueda de nuevos métodos de generación energética, más eficientes y menos dañinos con el planeta. Gracias a todas estas investigaciones en la actualidad se ha comprobado que es posible la implantación de un sistema energético basado en la generación renovable, pero para que esto ocurra muchas cosas tienen que cambiar en lo que respecta a la sociedad.

Ya a principios del siglo XXI eran muchos los avances que se habían conseguido en lo que se refiere a la integración de las renovables tanto a nivel mundial como a nivel nacional en la generación eléctrica. Inexplicablemente en España debido a los cambios en las legislaciones se aumentaron los impuestos considerablemente a estas formas de producción, lo cual supuso una nueva caída y retraso de estos sistemas energéticos. A principios de siglo nuestro país era una de las mayores potencias tanto en generación eólica como fotovoltaica pero debido a dichas tasas (el más conocido es el impuesto al sol) los grandes inversores decidieron no instalar más potencia en España, mientras que los pequeños inversores quedaron prácticamente arruinados.

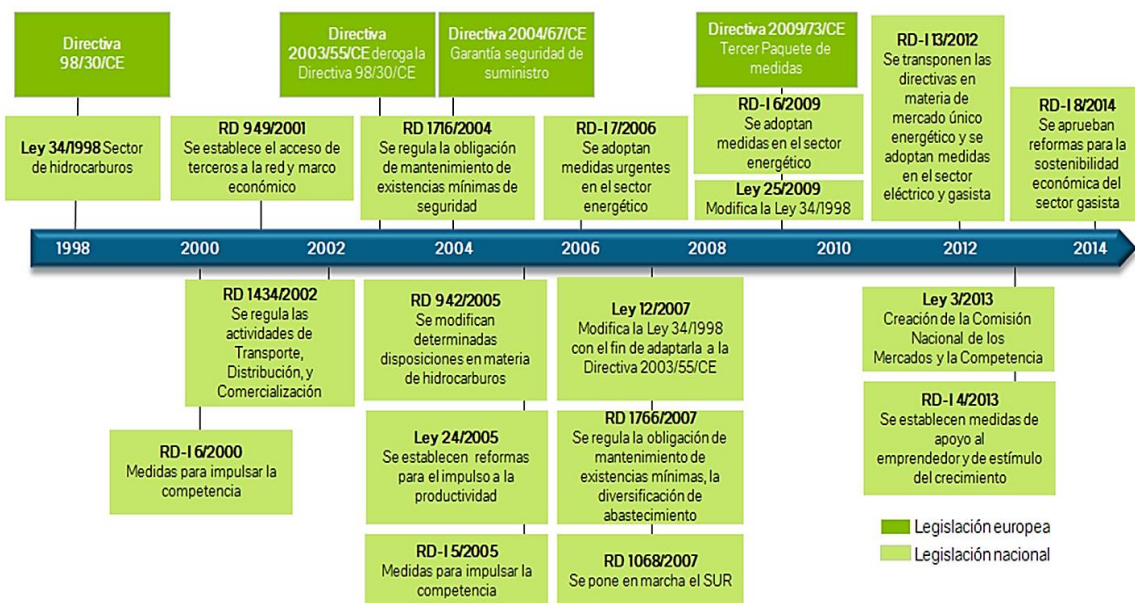


Ilustración 26. Primer ejemplo de la legislación en España

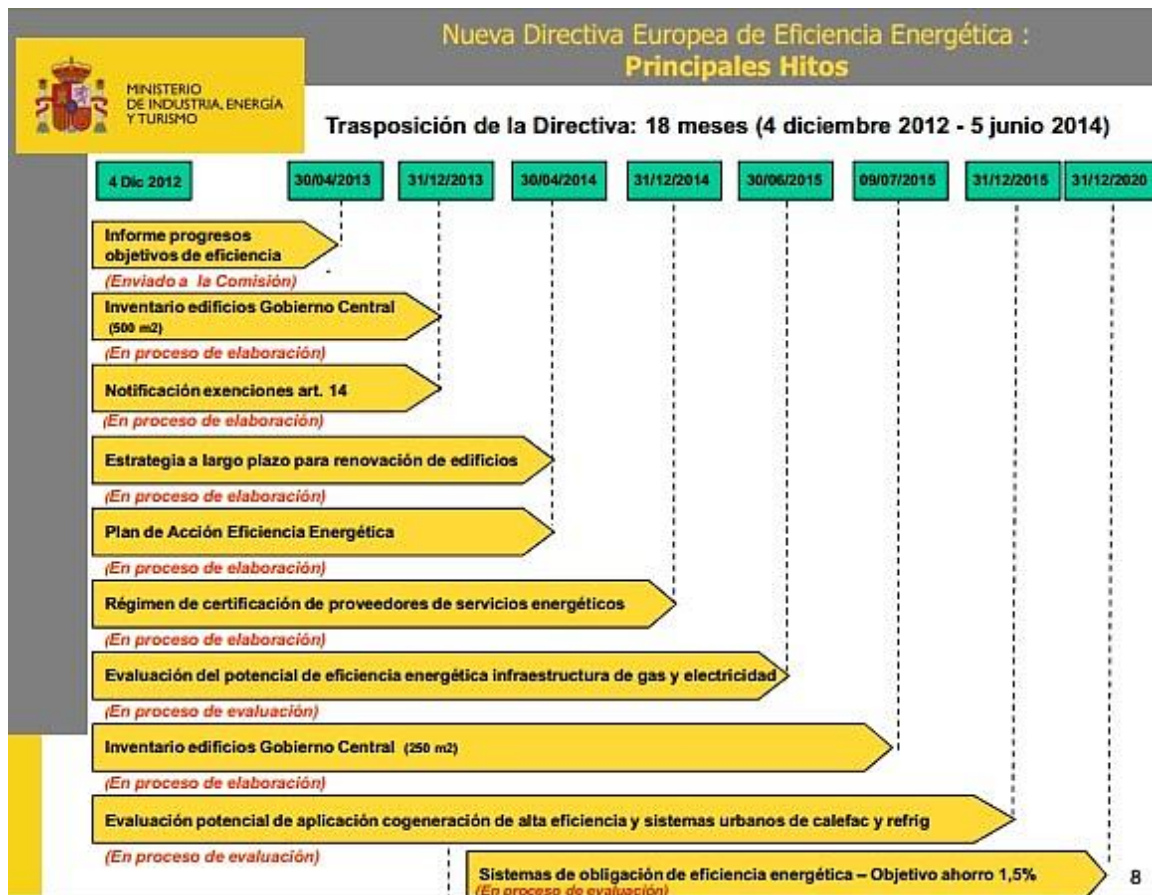


Ilustración 27. Segundo ejemplo de la legislación en España

Por tanto si queremos cambiar lo que actualmente conocemos como la generación eléctrica actual basada en los combustibles fósiles serán necesarios muchos cambios a nivel socio-económico que incentiven la generación ecológica. Además será necesario un cambio en las legislaciones, las ayudas y las subvenciones para el estudio y desarrollo de nuevas tecnologías que permitan aumentar el rendimiento de estos sistemas renovables.

El objeto de estudio de nuestro proyecto se basa en las micro redes y redes inteligentes, de las cuales un pilar fundamental es la generación renovable. Por tanto unas mejoras en la legislación conllevarán a un aumento de inversores en el sector renovable, lo cual aumentará las tasas de producción ecológica y por tanto incentivará a la instalación de estos tipos de redes más eficientes.



1.2.13. Simuladores

Como el concepto de red inteligente está claramente asociado al de micro red, muchos de los software de simulación de Smartgrids son los mismos que en el caso de las Microgrids, por lo que los programas comentados en el apartado 1.1.8 también son útiles para la simulación de elementos inteligentes dentro de una micro red.

Un ejemplo claro de esto es el programa DigSILENT PowerFactory el cual nos ayuda tanto a dimensionar como a calcular una micro red, además de elegir los componentes inteligentes que introduciremos en ella. Puesto que ya se explicó cómo funciona dicho programa y en los siguientes apartados se utilizará para el diseño de una micro red con elementos inteligentes no profundizaremos más en este momento en lo que a este programa respecta.

En lo que se refiere a la integración de componentes inteligentes no solo se están desarrollando programas que permitan hacer las mejores elecciones. Por ejemplo se está desarrollando una plataforma virtual denominada Citisim en la cual se incluirán todos los elementos que componen una SmartCity. Citisim puede incluir tanto la integración de cualquier tipo de sensor y servicio, como el control de los elementos que intervienen en la circulación de la ciudad, control de temperatura en algunas zonas, monitorización del paso por lugares determinados u otros aspectos que sean de interés.

Por otro lado los análisis de sistemas rigurosos son elementos clave para planificar y desarrollar sistemas con éxito que garanticen la fiabilidad y eficiencia del suministro energético. Para adaptarse a los cambios estructurales, estas herramientas de software deben mejorar los algoritmos de cálculo subyacentes e integrar modelos para tecnologías incipientes, como FACTS (sistemas de transmisión flexible), almacenamiento, redes híbridas o un nuevo equipamiento para la energía eólica teniendo también en cuenta las nuevas exigencias legales y las actuales.

Una de las empresas punteras en esta tecnología ha desarrollado el software Siemens PTI el cual proporciona un apoyo de gran valor para planificadores y operadores en las áreas de generación, transmisión, distribución e industria en el mundo de la energía incipiente.

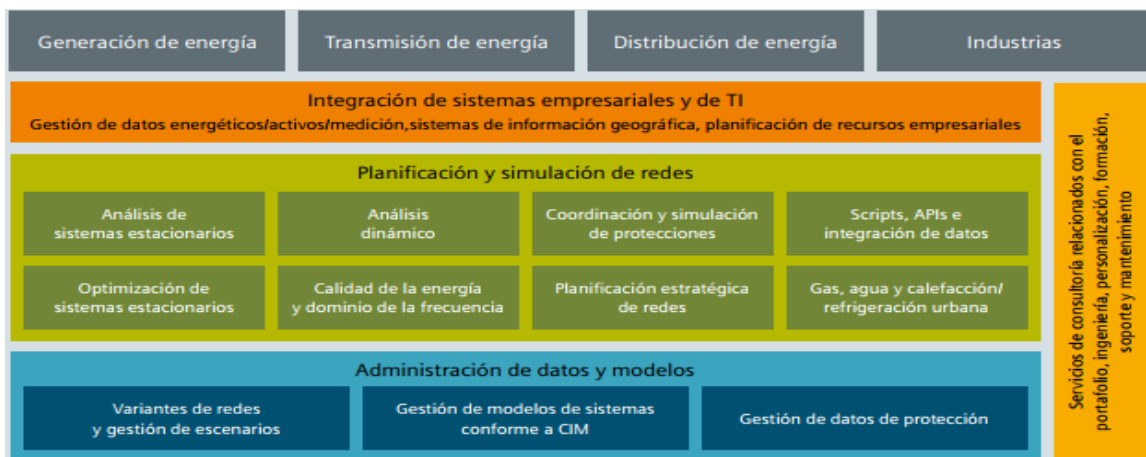


Ilustración 28. Componentes del software Siemens PTI



2. ANÁLISIS DE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN DE MICRO REDES

Como ya se comentó en el punto 1.1.8 son muchos los programas que existen en la actualidad que nos permiten simular y estudiar el comportamiento de una micro red. En este apartado en concreto se utilizarán los programas de HOMER, TRNSYS y DigSILENT. Puesto que casi todos estos programas nos dan un periodo de prueba de 15-21 días en primer lugar realizaremos una toma de contacto con cada programa entendiendo como funciona y viendo algunos ejemplos para posteriormente diseñar una micro red con cada uno de ellos.

2.1- INTRODUCCION A HOMER:

Tras documentarnos un poco y ver los programas que más se utilizan para el diseño de micro redes hemos decidido que el programa HOMER PRO tiene bastante importancia, por lo que dedicaremos varias páginas a su estudio.

La instalación de este programa es relativamente sencilla ya que solamente hemos tenido que visitar la página web: <https://www.homerenergy.com/> y dentro de ella registrarnos como alumno de la UVA y rellenar algunos datos para poder instalar una versión de prueba gratuita de 21 días. Una vez realizado dicho registro iniciamos el programa y se nos plantea la pantalla de la ilustración 29:

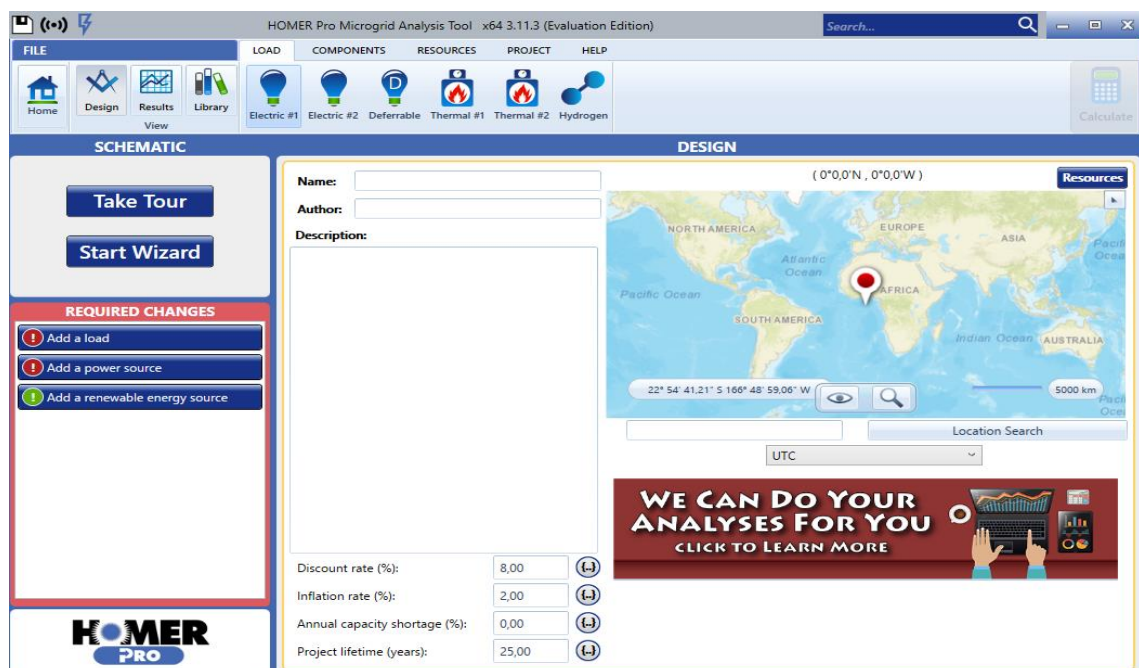


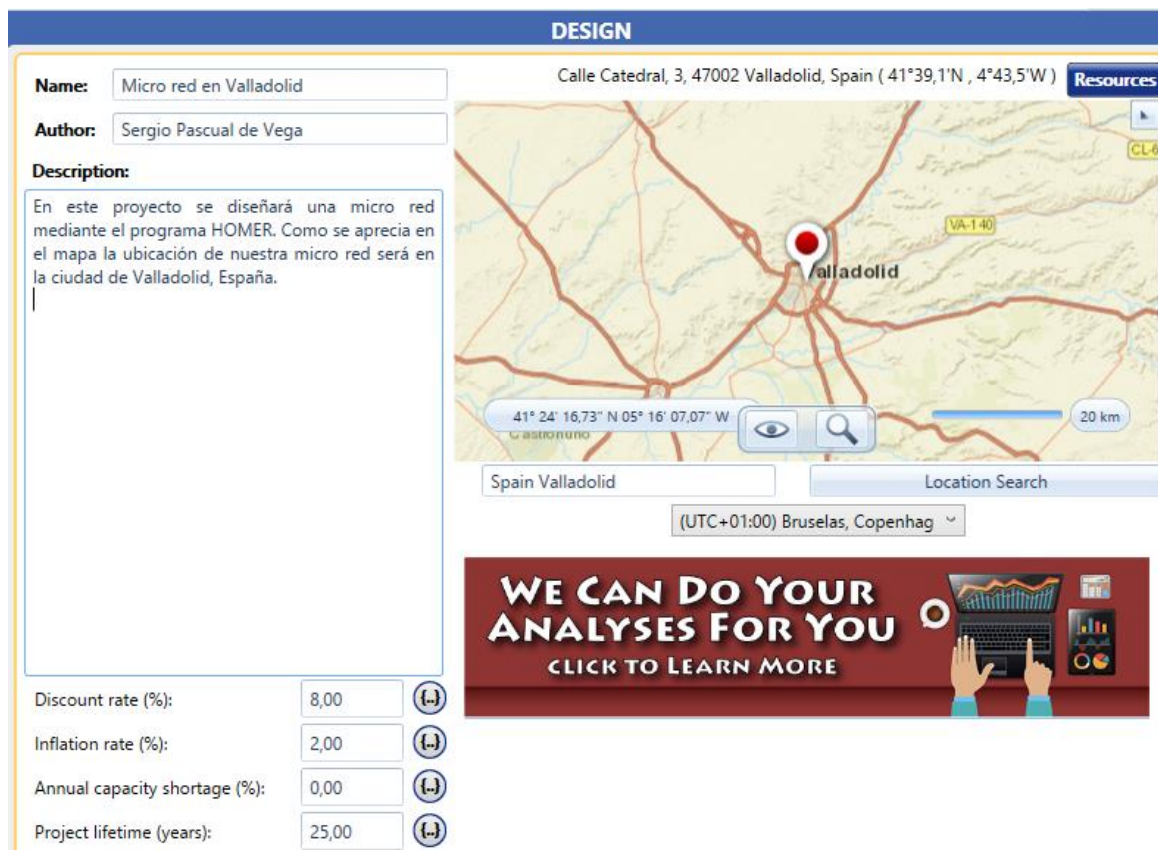
Ilustración 29. Pantalla de inicio de HOMER

A continuación se comentarán los pasos que debemos seguir para realizar un proyecto en dicho programa.

2.1.1. Localización y datos del autor

El primer paso que debemos realizar en el programa es identificarnos como el autor del proyecto y una breve descripción. Además de esto contamos con un mapa el cual nos permite elegir el lugar en el que queremos diseñar la micro red.

Nuestros datos son los siguientes:



DESIGN

Calle Catedral, 3, 47002 Valladolid, Spain (41°39,1'N , 4°43,5'W) Resources

Name: Micro red en Valladolid

Author: Sergio Pascual de Vega

Description:
En este proyecto se diseñará una micro red mediante el programa HOMER. Como se aprecia en el mapa la ubicación de nuestra micro red será en la ciudad de Valladolid, España.

41° 24' 16,73" N 05° 16' 07,07" W
Gastronómico

Spain Valladolid Location Search
(UTC+01:00) Bruselas, Copenhag

WE CAN DO YOUR ANALYSES FOR YOU
CLICK TO LEARN MORE

Discount rate (%): 8,00 (-)

Inflation rate (%): 2,00 (-)

Annual capacity shortage (%): 0,00 (-)

Project lifetime (years): 25,00 (-)

Ilustración 30. Datos iniciales en HOMER

Además de esto el programa nos proporciona algunos datos de interés en función de la localización elegida como pueden ser:

- Latitud y longitud de nuestra ubicación.
- Tiempo de vida del proyecto (en nuestro caso 25 años).
- Índice de inflación.
- Índice de descuento.

Una vez hayamos terminado de identificar nuestro proyecto y su ubicación pasaremos directamente al diseño completo de la micro red.



2.1.2. Elección de las cargas

Para continuar diseñando la micro red el siguiente paso es la localización y dimensionado de nuestras cargas. El menú que nos proporciona el programa se ve en la ilustración 31:

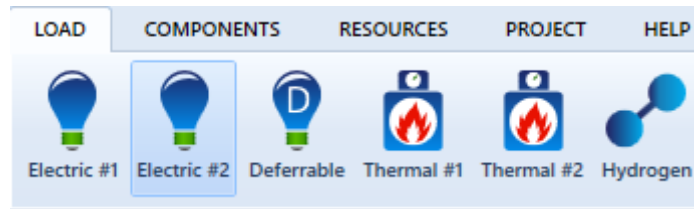


Ilustración 31. Cargas en HOMER

Como vemos el programa nos permite introducir varios tipos de cargas, y más en concreto: dos cargas eléctricas fijas, una carga diferible, dos cargas térmicas y una carga de hidrógeno.

Dentro de cada tipo de carga encontramos los siguientes datos:

Para el caso de una **carga fija** podemos elegir la carga en cada hora y para cada mes simplemente dándole al botón de mostrar todos los meses. De esta forma el programa creará el perfil de consumo diario y mensual. Además podemos elegir el tipo de carga (AC/DC) y otros parámetros más específicos como la eficiencia o la variabilidad aleatoria.

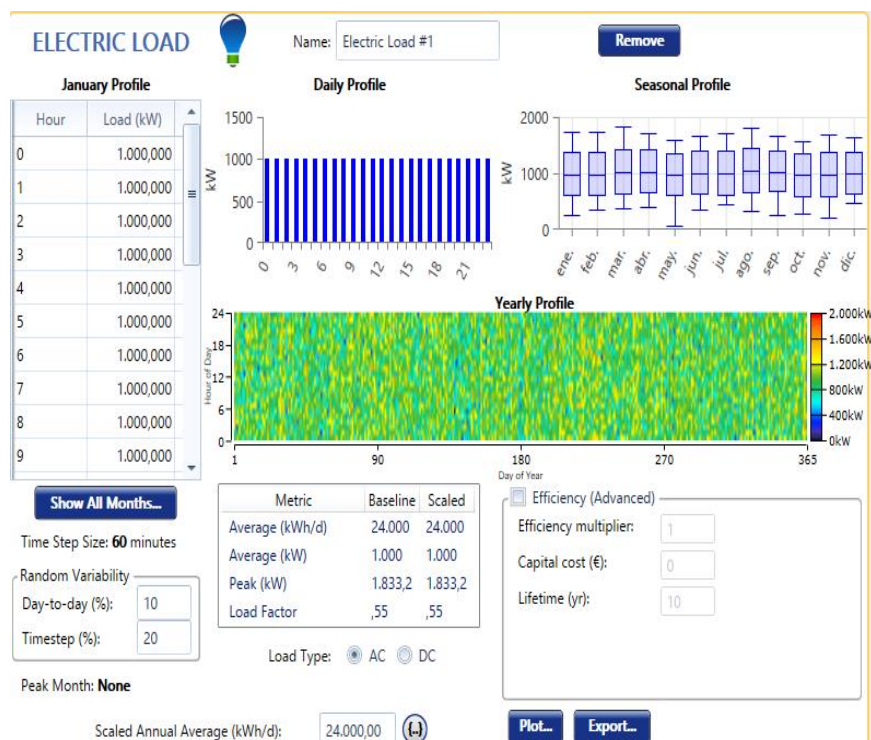


Ilustración 32. Carga eléctrica en HOMER



Para el caso que sea una **carga diferida** el procedimiento es parecido, pero los parámetros a rellenar son diferentes como: capacidad de almacenado, carga de pico, índice mínimo de carga y media anual escalada. Además de esto debemos introducir la carga media diaria en cada mes. El programa además nos proporciona un gráfico de consumo mensual.



Ilustración 33. Carga diferida en HOMER

Antes de seguir con el resto de cargas comentaremos que posteriormente a configurar cualquier tipo de cargas el programa nos da la opción de elegir el mes de mayor consumo y el tipo de carga, pero en nuestro caso no pondremos ninguno.

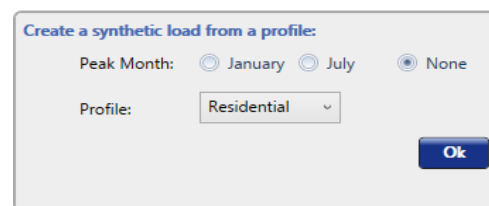


Ilustración 34. Parámetros de carga en HOMER

Para el caso de que sea una **carga térmica** el programa nos pide prácticamente los mismos datos que para la carga eléctrica. En este caso la diferencia será que en los meses de verano prácticamente no se consumirá electricidad para la calefacción. Además de esto la diferencia respecto a la carga eléctrica es que en este caso no nos permite meter parámetros de eficiencia.

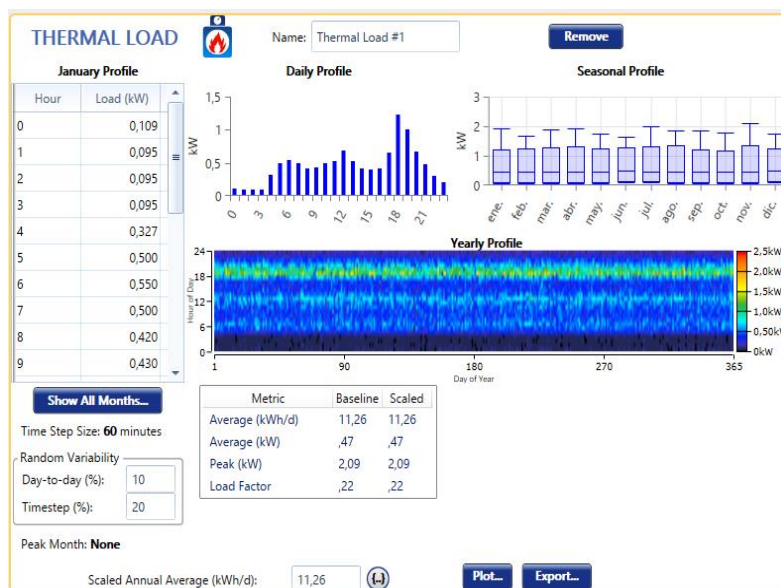


Ilustración 35. Carga térmica en HOMER



Finalmente el último tipo de carga que podemos configurar en el programa HOMER será la tasa de **producción de hidrógeno** que pretendemos conseguir. En este caso los datos que tenemos que introducir como podemos ver en la ilustración 36 son los Kg de hidrógeno a producir por hora y por meses, con los cuales el programa calculará la producción eléctrica necesaria. Además de esto para realizar un análisis de costes el programa nos pide otros datos como: porcentaje máximo de hidrógeno insatisfecho, penalización económica por el hidrógeno no entregado o valor de la electricidad producida.

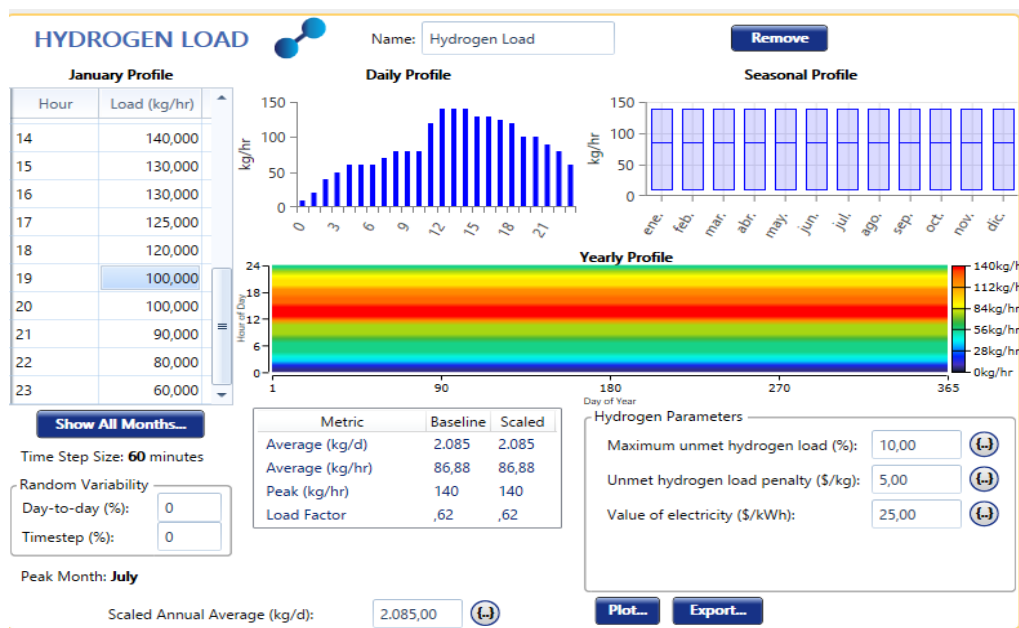


Ilustración 36. Producción de hidrógeno en HOMER

Una vez hayamos configurado todas las cargas que pretendemos mantener y los tipos de cargas que son, el programa calculará el número de elementos generadores necesarios en función de su potencia y otros parámetros.

2.1.3. Componentes

El siguiente punto para la creación de la micro red será realizar la elección de componentes que vamos a utilizar. El cuadro que nos muestra los componentes a utilizar es el de la ilustración 37:

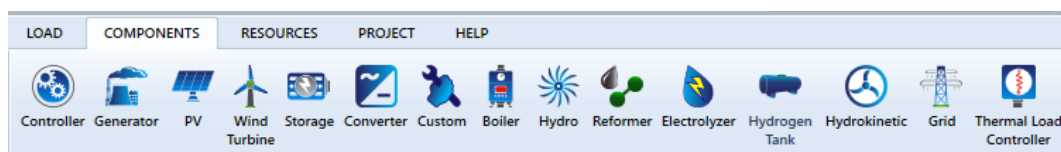


Ilustración 37. Componentes de HOMER



Como podemos observar en este cuadro están todos los elementos que podemos necesitar para la creación de una micro red. Por tanto en este punto el objetivo es elegir con que componentes contaremos y elegir las características mecánicas y económicas que más nos convengan.

El programa nos proporciona un catálogo de componentes de cada tipo bastante extenso según la potencia que queramos instalar en el caso de paneles o turbinas, la precisión que necesitemos en el caso de elementos de potencia o el precio que tengamos pensado pagar por cada uno de los componentes.

Prácticamente en todos los elementos los cuadros que debemos rellenar son los mismos:

- Capital inicial
- Coste de replazamiento
- Costes de operación y mantenimiento (O&M)
- Tipo de bus eléctrico

Por ejemplo si elegimos la turbina que nos da el programa por defecto de 3kW sus parámetros son los de la ilustración 38:

The screenshot shows the configuration window for a 'Generic 3 kW' wind turbine in HOMER. The 'Properties' section includes Name, Abbreviation (G3), Rated Capacity (3 kW), and Manufacturer (Generic). The 'Costs' table is as follows:

Quantity	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	18.000,00 €	18.000,00 €	180,00 €

Site Specific Input: Lifetime (years) is 20,00; Hub Height (m) is 17,00. The 'Consider ambient temperature effects?' checkbox is unchecked. The 'Electrical Bus' is set to AC. The 'Power Curve' tab is active, showing a table and a graph of Power Output (kW) vs. Wind Speed (m/s).

Wind Speed (m/s)	Power Output (kW)
0	0
3	0
4	0,06
5	0,11
6	0,28

The graph shows a power curve that starts at 0 kW for 0-3 m/s, rises to a peak of approximately 3,2 kW at 15 m/s, and then gradually decreases to about 2,0 kW at 25 m/s.

Ilustración 38. Turbina en HOMER

Una vez se han elegido los componentes que vamos a tener en la micro red generaremos el esquema correspondiente. En nuestro caso para ver cómo quedaría hemos introducido los elementos que podemos ver en el esquema de la ilustración 39:



- Una carga de hidrógeno y su tanque
- Un reformador para el hidrógeno junto a un electrolizador
- Un generador que se encargará de dar energía a la carga fija
- Dos paneles solares de 1kW
- Una turbina eólica de 3kW
- La red general
- Un generador hidráulico de 100kW
- Un generador hidrocínético de 40kW (energía mareomotriz)
- Un convertidor de 1500kW de capacidad
- Dos baterías de ion-litio de 100kWh
- Una caldera y un controlador de carga térmica
- Un componente diseñado como fuente de energía no renovable

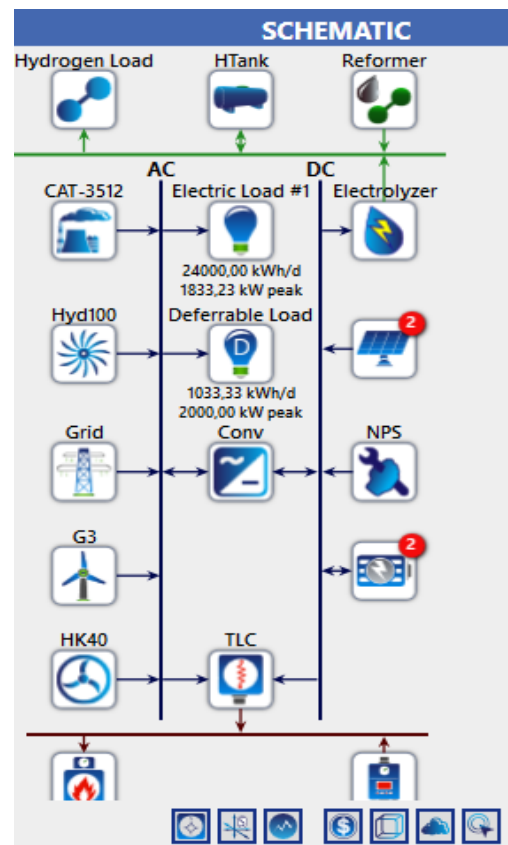


Ilustración 39. Componentes HOMER

En este primer apartado se ha realizado un esquema global y sin prestar demasiada atención a los componentes que hemos elegido. A la hora de diseñar una micro red real debemos de tener en cuenta numerosos parámetros:

- Espacio que tenemos para la ubicación de los componentes, principalmente para la instalación de los paneles solares.
- Potencia máxima que queremos poder almacenar, picos de demanda de las cargas, potencia máxima generada, etc.
- Presupuesto del que disponemos para la realización de la micro red, lo que influirá tanto en el tamaño como la calidad de los componentes.
- Porcentaje de energía que vamos a destinar a la producción de hidrógeno con el consiguiente dimensionado de los tanques de H₂, elección del electrolizador y el reformador.
- Tipos de recursos renovables con los que contaremos, ya que en pocas ocasiones podremos utilizar turbinas eólicas, turbinas hidráulicas y paneles solares dentro de la misma micro red. En el caso de que sea una red diseñada para una ciudad este detalle tendrá un mayor interés.



2.1.4. Fuentes

El siguiente elemento que debemos diseñar serán las fuentes de energía con las que vamos a contar. El programa HOMER nos da las siguientes opciones:

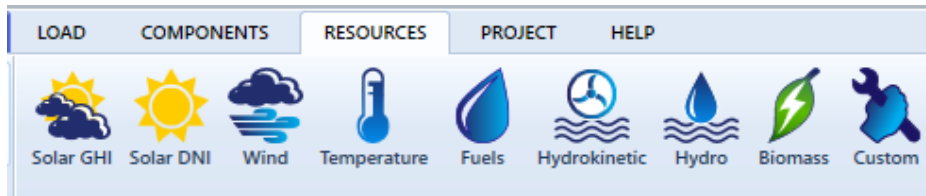


Ilustración 40. Fuentes de energía en HOMER

Para nuestro grupo fotovoltaico en primer lugar debemos rellenar los datos de irradiancia incidente en función de la localización de los paneles. Esta se divide en dos tipos:

1) **Media de irradiancia global horizontal (ilustración 41).** Radiación que llega a un determinado lugar procedente del disco solar medida sobre una superficie horizontal. Para este dato el programa nos posibilita la opción de buscar los datos de nuestra localización en internet dándonos los siguientes datos:

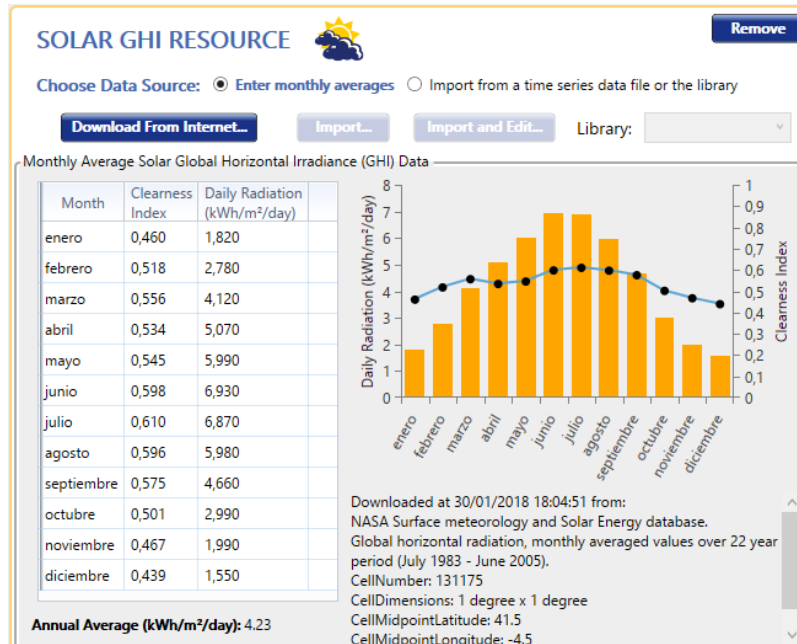


Ilustración 41. Irradiancia horizontal HOMER

2) **Media de irradiancia directa normal.** Radiación que llega a un determinado lugar procedente del disco solar medida en la dirección del rayo incidente.

En este caso el programa no nos da la opción de importar una tabla de datos por lo que debemos introducir un fichero para que el programa pueda realizar los cálculos correspondientes.



En lo que se refiere a las turbinas eólicas necesitamos conocer las bases de datos sobre las velocidades del viento. El programa nos posibilita tomar estos datos de internet y generarnos la **velocidad media del viento** anual. Los resultados obtenidos son los siguientes:

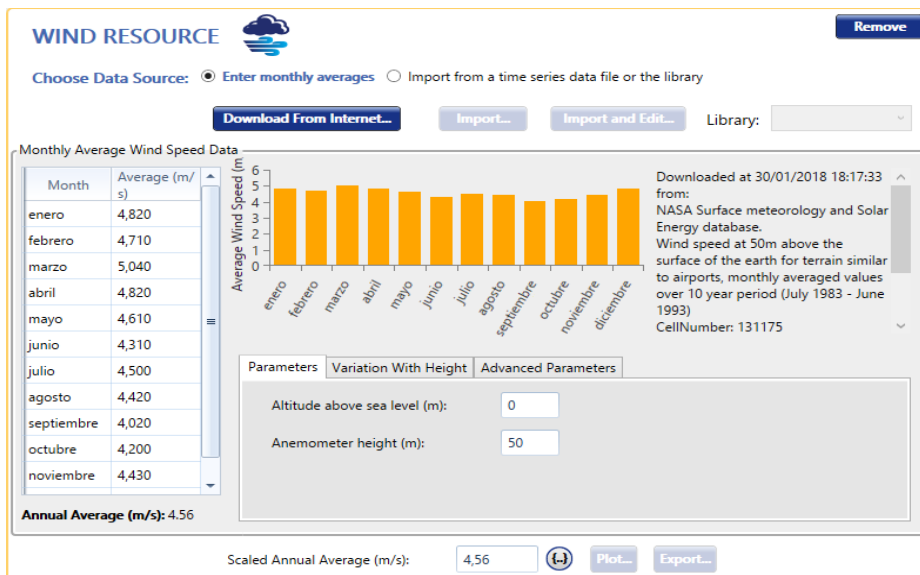


Ilustración 42.Velocidad del viento en HOMER

Puesto que la temperatura influirá notablemente en el rendimiento de muchos de los componentes de la micro red también debemos tener unos datos precisos sobre la **temperatura** máxima y la media mensual. Mediante la consulta en internet obtenemos los siguientes parámetros:

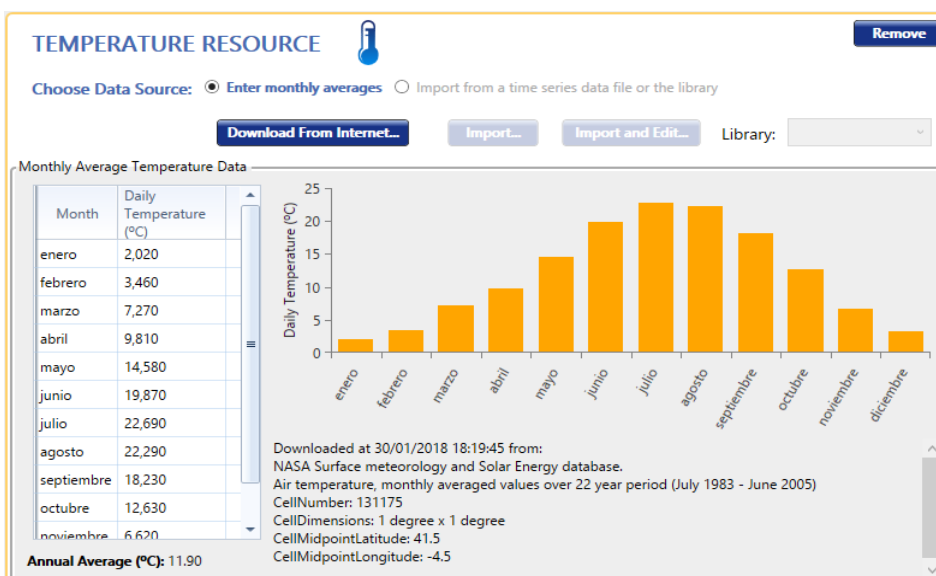


Ilustración 43.Temperaturas en HOMER



En la ilustración 43 solo se incluye la temperatura media mensual, pero en el caso de que nuestra instalación se hiciese en un clima extremo sería importante también incluir los datos de temperatura máxima y mínima anual, de manera que asegurásemos que ningún componente pudiese deteriorarse.

Puesto que la micro red debe de contar con generadores diésel también es de vital importancia determinar el tipo de **combustible** que vamos a usar. Dependiendo del tipo tendremos unos parámetros diferentes, debiendo poner general interés en las tasas de emisión de contaminantes. Un ejemplo podría ser el de la ilustración 44:

Name	LHV	Density	Carbon	Sulfur	Special
Diesel	43,2	820	88	0,4	<input checked="" type="checkbox"/>
Natural Gas	45	0,790	67	0	<input checked="" type="checkbox"/>
Propane	46,4	510	82	0,33	<input checked="" type="checkbox"/>
Ethanol	26,9	785	37	0,33	<input checked="" type="checkbox"/>

Ilustración 44. Combustibles en HOMER

Puesto que nuestro ejemplo pretende instalar la micro red en la ciudad de Valladolid no tiene sentido contar con la **energía mareomotriz** ya que no estamos cerca del mar para su utilización. Si dispusiésemos de este recurso bastaría con buscar una tabla de velocidades del agua (m/s) y rellenar la tabla que nos proporciona HOMER.

Para los datos de producción de las turbinas hidráulicas debemos introducir manualmente al programa los datos de **caudal** que pasarán por ellas. En el caso de que pudiésemos realizar nuestra instalación cerca de algún salto de agua unos datos aproximados son los de la siguiente ilustración:

Month	Stream Flow (L/s)
enero	320,000
febrero	340,000
marzo	300,000
abril	250,000
mayo	200,000
junio	220,000
julio	250,000
agosto	260,000
septiembre	290,000
octubre	271,67
noviembre	
diciembre	

Annual Average (L/s): 271.67

Ilustración 45. Datos de caudal en HOMER



Finalmente para acabar con los recursos que utilizaremos tenemos que rellenar el flujo másico de **biomasa** en toneladas/día en el caso de que la utilizemos. De esta manera y dándole al programa un precio aproximado por tonelada podemos calcular la potencia que se generará a partir de ella y el precio que esto supondrá. Si por ejemplo el combustible a utilizar fuese gas propano unos datos aproximados serían los de la ilustración 46:

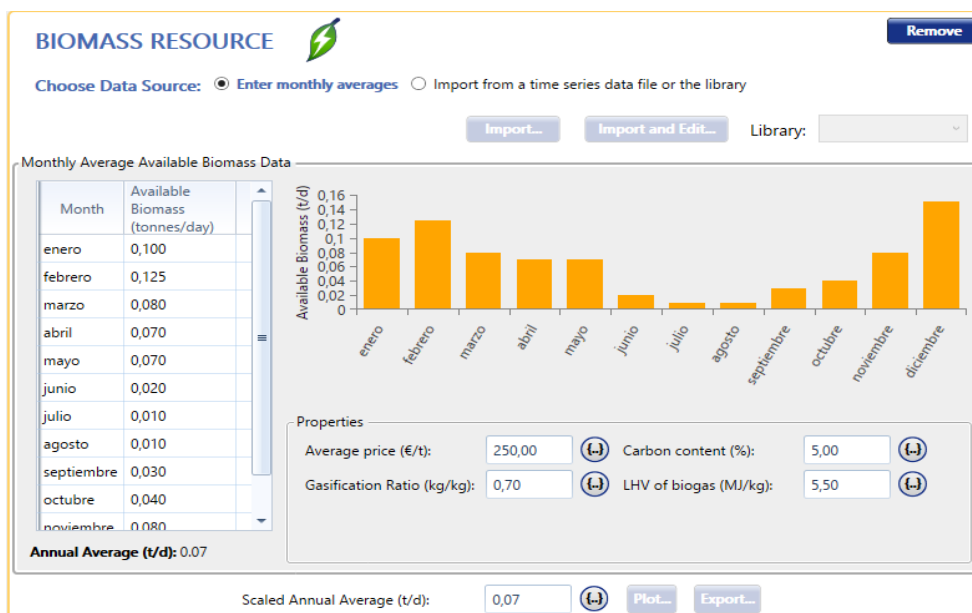


Ilustración 46. Biomasa en HOMER

En lo que se refiere a este recurso existen multitud de tipos diferentes según el nivel de procesamiento. En la ilustración 47 podemos ver el ciclo de la biomasa, pudiéndose utilizar esta en cualquiera de las formas:



Ilustración 47. Tipos de biomasa

2.1.5. Proyecto

Ya en último lugar y antes de que el programa HOMER pueda realizar todos los cálculos de nuestra instalación debemos añadirle algunos parámetros referentes al proyecto. Las opciones que nos da el programa son las siguientes:

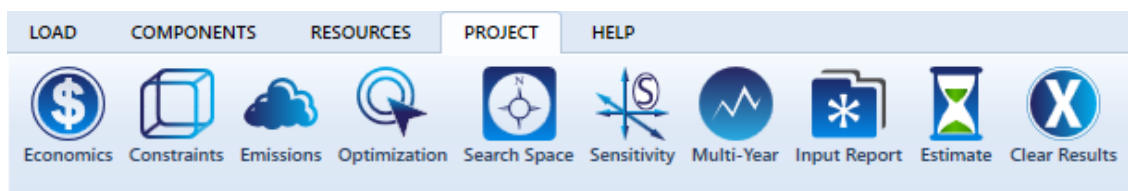


Ilustración 48. Proyecto en HOMER

En lo que se refiere a esta parte final de cómo generar un proyecto no incluiremos imágenes de las posibilidades que nos ofrece cada una de las variables del cuadro superior puesto que son simplemente cifras a tener en cuenta antes de realizar los cálculos. En el punto 2.2 que será cuando diseñemos una micro red real se podrá ver más en detalle las cifras que debemos introducir y los informes que nos da el sistema.

Sin embargo y para finalizar con esta introducción a HOMER comentaremos a que se refiere cada uno de los puntos:

- *Económico*: En esta parte introduciremos algunos de los cálculos realizados sobre los costes del proyecto de la micro red. Entre ellos se incluyen el precio de la inflación, la vida esperada de la micro red, capital fijo y capital de mantenimiento y operación.
- *Limitaciones*: Aquí deberán comentarse las principales limitaciones de la micro red como pueden ser: máxima capacidad de escasez, mínima potencia renovable generada, generación de potencia solar y eólica, etc.
- *Emisiones*: Límites y coste de las emisiones de contaminantes.
- *Optimización*: En este apartado podremos elegir algunos parámetros de resoluciones, paso de simulación y similares que nos permitan optimizar los resultados y obtener unos datos lo más fiables posibles.
- *Espacio de búsqueda*: Muestra los valores de la optimización.
- *Sensibilidad*: Sensibilidad de las variables con múltiples valores.
- *Multi-año*: Se introducirán algunos parámetros de mantenimiento, precios de combustibles fósiles, medias de cada tipo de carga, etc.
- *Informe de entradas*: El programa nos generará un informe bastante completo sobre todo lo que deberá tenerse en cuenta para la puesta en marcha de esta micro red.
- *Estimación*: Tiempo de simulación.
- *Limpiar resultados*: Se borran todos los resultados generados para realizar una nueva simulación.



2.1.6. Ejemplos de micro redes en HOMER

En lo que se refiere a este programa no existen muchas páginas web en las que se realicen simulaciones reales de micro redes con él, y más en concreto existen muy pocos esquemas realizados mediante este software.

Como podemos ver en la ilustración 49 la mayoría de trabajos o páginas que utilizan este programa para completar algún aspecto de sus simulaciones lo utilizan para verificar si la optimización es la correcta.

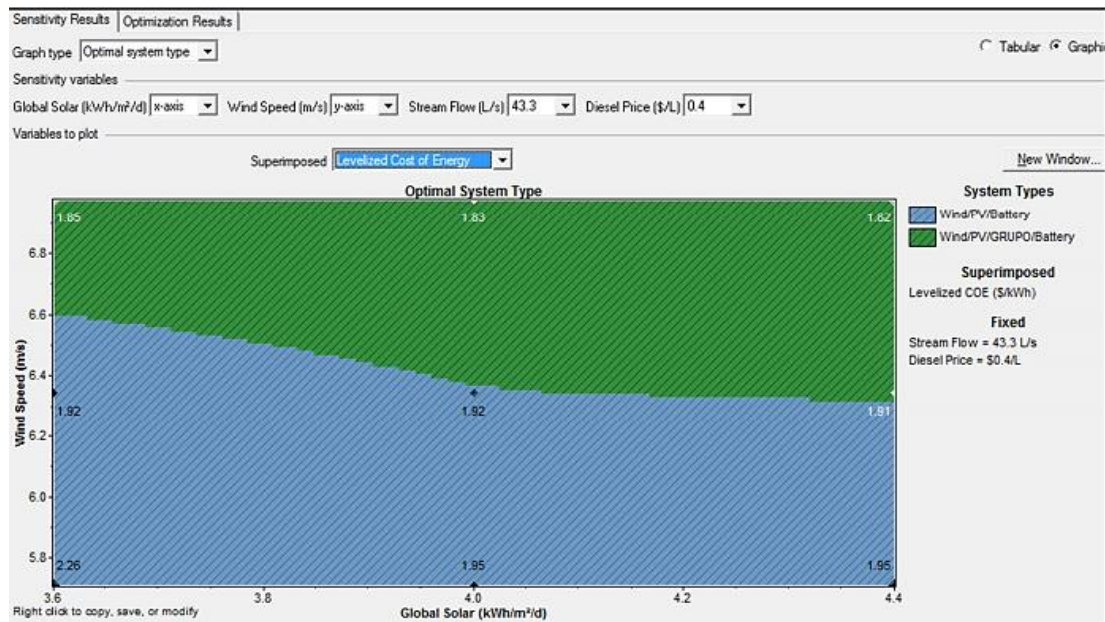


Ilustración 49. Optimización con HOMER

Otra de las grandes utilidades que presenta este programa es la facilidad para realizar gráficos de consumo y demanda en función de los parámetros que introduzcamos de carga y generadores. La ilustración 50 muestra un proyecto de micro redes en el que se quiere conocer la curva de demanda en función de la hora del día con el objetivo optimizar la generación y el almacenamiento siendo la siguiente:

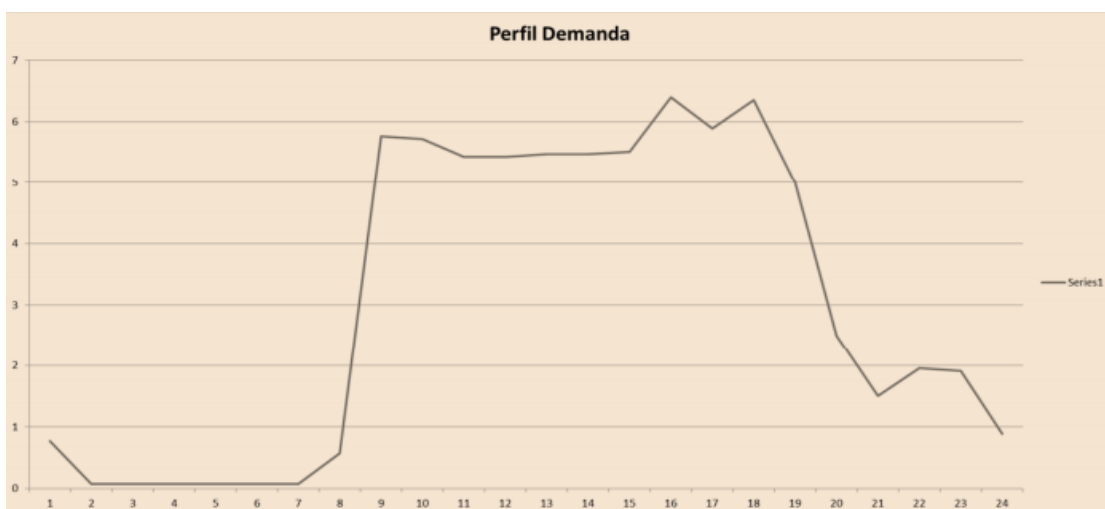
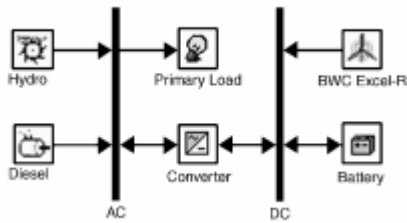


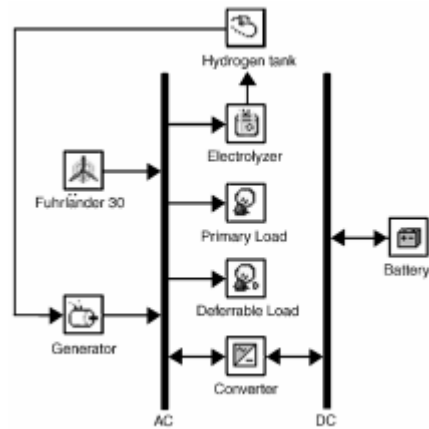
Ilustración 50. Perfil de demanda en HOMER



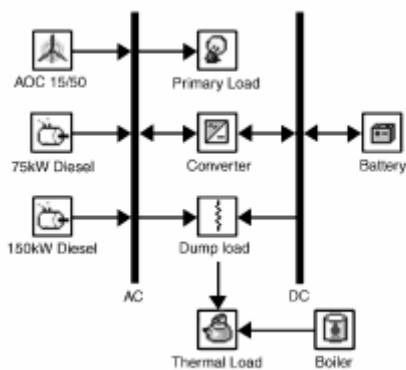
Si lo que buscamos es ver algunos ejemplos esquemáticos de HOMER podemos diferenciar varios tipos de sistemas:



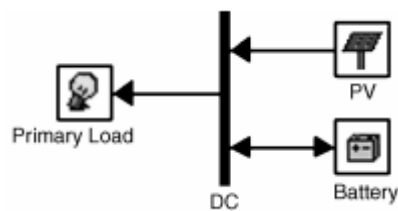
En este primer esquema podemos ver un conjunto formado por un generador diésel, una turbina eólica, una batería y un convertidor. Todos ellos alimentan una carga primaria



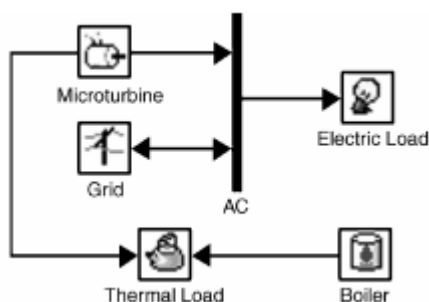
En este ejemplo además incluimos una carga variable, un generador y un conjunto de producción de hidrógeno



En este esquema además de lo ya comentado se añade una carga térmica junto a una caldera



Este esquema es el más sencillo que podemos encontrar ya que simplemente tenemos una carga primaria de continua alimentada por una batería y una placa solar.



Por último encontramos un esquema que sería el más parecido a una micro red, ya que además de contar con recursos renovables está conectado a una red. A diferencia de los anteriores esquemas que trabajan en modo isla



2.2- SIMULACION EN HOMER

Una vez hemos realizado la introducción al software de HOMER pasaremos a la simulación de una micro red real. En el caso de que fuese un proyecto presentado por alguna empresa o particular este sería el que nos diese las especificaciones, pero como no es el caso seremos nosotros los que vamos a decidir qué tipo de micro red queremos.

2.2.1. Especificaciones iniciales

Como en todo proyecto el primer paso que tenemos que tener en cuenta son las especificaciones iniciales, ya que serán las que determinen como configurar la micro red.

Por tanto pasamos a hacer una lista con los elementos que contaremos, la ubicación y el presupuesto que tenemos:

- **Ubicación.** En nuestro caso vamos a realizar una micro red para una nueva industria situada en las afueras de Valladolid. Esto determinará la potencia instalada que necesitaremos y las fuentes de energía renovable con las que podemos contar.

En nuestro caso para simplificar las cosas no introduciremos cargas térmicas, lo cual si ocurriría en el caso de utilizar la energía generada para la calefacción de un edificio residencial. Por el contrario si contaremos con unas unidades de almacenamiento de hidrógeno, lo cual nos permitirá almacenar la energía renovable sobrante mediante un proceso de electrólisis del agua.

- **Potencia necesaria.** Tras indagar en numerosas páginas web hemos encontrado una relación bastante aceptable entre m^2 y wátios para una industria. Puesto que nuestro proyecto contará con una industria de una sola planta de un tamaño de aproximadamente $400m^2$, con el factor de conversión anteriormente comentado ($125W$ por m^2) la potencia total necesaria será de $50kW$. Con esta cifra debemos dimensionar nuestros generadores, tanto renovables como grupos electrógenos.

- **Grupos de generación.** En nuestro caso puesto que la micro red se encontrará a las afueras de una ciudad no podremos contar con la energía hidráulica ni la mareomotriz. Por tanto para la generación eléctrica solamente utilizaremos paneles solares, aerogeneradores eólicos y un grupo electrógeno. Además de todo esto contaremos con la conexión a la red general de distribución para los momentos en que salga rentable consumir o vender electricidad.

- **Tipos de carga.** En nuestro caso solamente contaremos con carga eléctrica ya que no necesitamos calentar nada. La carga eléctrica será tanto fija como variable, ya que algunas herramientas y motores de la industria solo se conectarán en ciertos instantes de tiempo.



· **Recursos utilizados.** Puesto que nuestro objetivo es la integración renovable en la micro red utilizaremos la energía procedente del sol y del viento junto a la aportada por algunos combustibles fósiles para generar energía a partir del grupo electrógeno.

· **Datos económicos (ilustración 51).** El programa nos posibilita introducir algunas variables tanto económicas como de vida útil de la instalación.

- Vida útil esperada: 30 años

- Capital fijo: 500.000€

- Índice de descuento nominal: 8%

- Índice de inflación esperado: 3,5%

- Costes fijos de mantenimiento y operación: 3000€/año

Parameter	Value	Unit
Nominal discount rate (%)	8,00	%
Expected inflation rate (%)	3,50	%
Project lifetime (years)	30,00	years
System fixed capital cost (€)	500.000,00	€
System fixed O&M cost (€/yr)	3.000,00	€/yr
Capacity shortage penalty (€/kWh)	0,50	€/kWh
Currency	Euro (€)	
Real discount rate (%)	4.35	%

Ilustración 51. Factores económicos del proyecto en HOMER

· **Emisiones (ilustración 52).** Como casi todas las industrias en la actualidad las emisiones de agentes contaminantes son penalizadas por el gobierno. En nuestro caso supondremos las siguientes penalizaciones:

Pollutant	Penalty (€/t)
Carbon dioxide (€/t)	6,08
Carbon monoxide (€/t)	3,00
Unburned hydrocarbons (€/t)	10,00
Particulate matter (€/t)	0,00
Sulfur dioxide (€/t)	100,00
Nitrogen oxides (€/t)	8,00

Ilustración 52. Penalización por emisiones del proyecto en HOMER



2.2.2. Diseño del proyecto

Una vez tengamos claras las especificaciones iniciales y la ubicación de la micro red pasaremos al diseño mediante el software de HOMER de todos sus elementos.

2.2.2.1- Cargas:

Lo primero que vamos a configurar con el programa son las **cargas eléctricas fijas**. Para esto supondremos que nuestra industria va a funcionar de manera ininterrumpida desde las 7 de la mañana hasta las 9 de la noche, por lo que el resto del tiempo la potencia demandada será de 0W.

Además de esto no pondremos ningún mes de mayor consumo ya que suponemos que la demanda será igual en todos ellos. La variabilidad entre días la dejamos en un 10%.

Los resultados proporcionados por el programa son los de la ilustración 53:

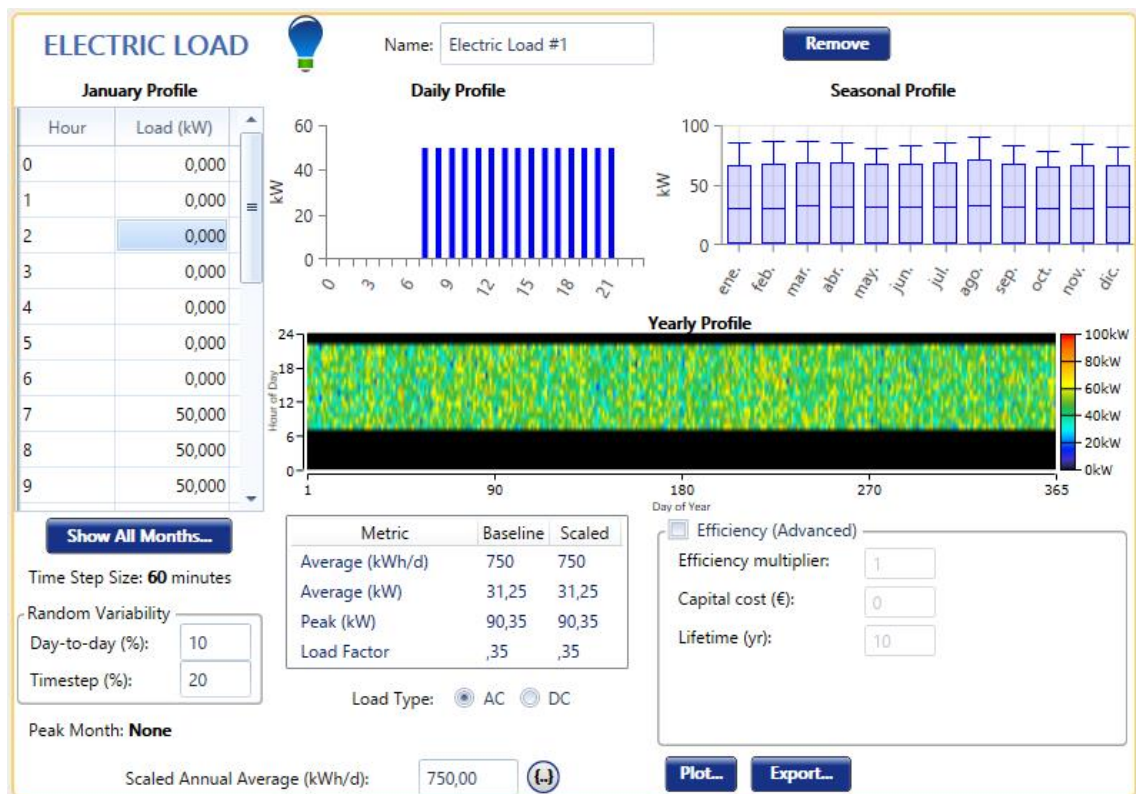


Ilustración 53. Carga fija del proyecto en HOMER

Un dato importante a tener en cuenta es el pico de potencia de 90.35kW el cual tenemos que garantizar en todo caso, ya sea mediante los generadores diésel o mediante la compra de energía a la red. Si contamos con sistemas de medida inteligentes podremos comprar dicha energía en los momentos de menor precio y utilizarla directamente en las cargas o almacenarla en forma de hidrógeno.



En lo que se refiere a la **carga variable** (ilustración 54) vamos a suponer que el consumo en cada mes será igual y con un máximo de 10kWh/d. El resto de los parámetros configurados son los siguientes:

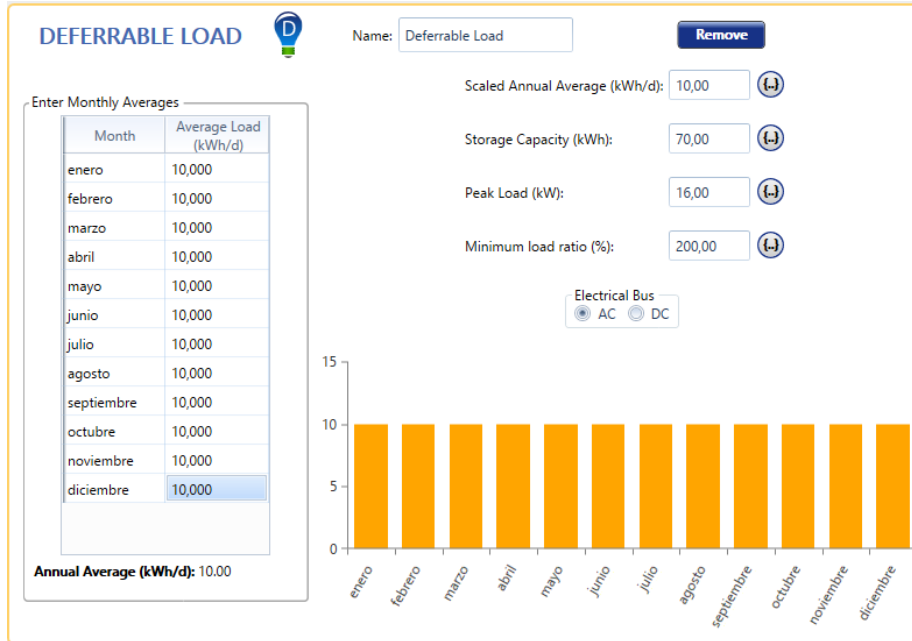


Ilustración 54. Carga variable del proyecto en HOMER

Para terminar con las cargas que tendrá la micro red tendremos en cuenta la producción de hidrógeno. Los parámetros y cantidades que nos da el programa son los siguientes:

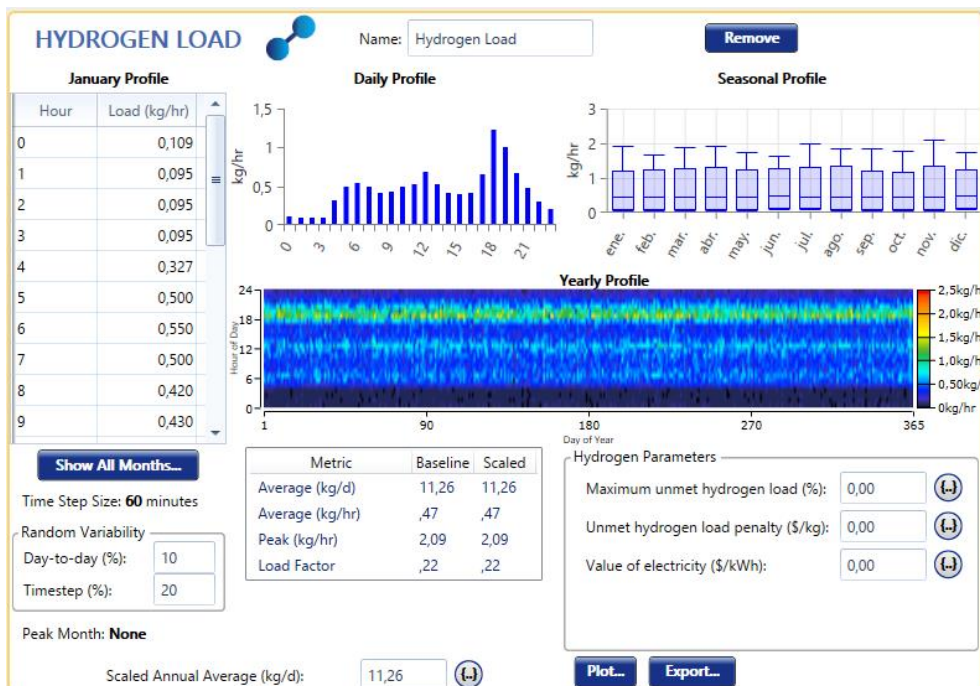


Ilustración 55. Carga de hidrógeno del proyecto en HOMER



2.2.2.2- Componentes

Una vez hemos definido el tipo de cargas de la red y la potencia consumida por ellas en cada instante del día y en cada mes pasamos al dimensionamiento de nuestros componentes.

El primer elemento que vamos a elegir será el controlador de la micro red. En nuestro caso usamos un **controlador** predefinido en HOMER (ilustración 56) el cual funciona mediante ciclo de carga. De esta manera el generador funciona a plena potencia para suministrar la energía necesaria a la carga primaria, mientras que la energía restante sirve para funciones secundarias como puede ser la alimentación de la carga variable. Sus especificaciones son las siguientes:

Ilustración 56. Controlador del proyecto en HOMER

El siguiente elemento que vamos a escoger dentro del catálogo que nos proporciona el programa será el **generador**. Puesto que nuestro sistema requiere una potencia de 50kW y que el resto de formas de generación son variables vamos a elegir un generador de 50kW de manera que esté sobredimensionado pero aseguremos el suministro eléctrico a la carga en todo momento. Los datos del generador elegido son los de la ilustración 57:

Ilustración 57. Generador del proyecto en HOMER



Una vez hayamos elegido el tamaño de nuestro generador pasaremos a la elección de los grupos generadores renovables, intentado reducir en todo lo posible el consumo de combustibles fósiles.

En primer lugar y atendiendo a las especificaciones del controlador vamos a instalar 5 **módulos fotovoltaicos** de 2,475kW cada uno. Esto nos ocupará una extensión de aproximadamente 85m² para lo cual no tenemos inconveniente ya que hemos instalado nuestra industria a las afueras de la ciudad y tenemos la opción de o bien instalar los arrays en el techo del edificio o a las afueras de la fábrica. Por tanto la potencia total generada por todos ellos será de aproximadamente 12,375kW.

Los costes y datos de cada uno de los módulos fotovoltaicos son los de la ilustración 58:

Properties

Name: Fronius Galvo 3.1-1 with G Abbreviation: Fron3.1

Name: **Fronius Galvo 3.1-1 with Generic PV**
 Abbreviation: **Fron3.1**
 Panel Type: **Flat plate**
 Rated Capacity (kW): **2.475**
 Temperature Coefficient: **-0.4100**
 Operating Temperature (°C): **45.00**
 Efficiency (%): **17.30**
 Manufacturer: **Fronius**
[Technical Specifications for Galvo 3.1-1](#)
 Notes: **This is a generic PV system with Fronius' Galvo, a residential**

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	3,000,00	3,000,00	10,00

Lifetime time (years): 25,00

Derating Factor (%): 96,00

Capacity Optimization: HOMER Optimizer™ Search Space

Electrical Bus: AC DC

Ilustración 58. Módulos fotovoltaicos del proyecto en HOMER

El siguiente elemento que vamos a elegir son los **aerogeneradores**. Puesto que nuestro controlador solo soportará dos generadores eólicos la elección que hemos hecho ha sido la de instalar dos aerogeneradores de 11kW cada uno, lo cual nos da una potencia eólica total de 22kW. Sus especificaciones son las siguientes:

WIND TURBINE

Name: Gaia-Wind 11kW 133 3-Ph Abbreviation: Gaia11-

Name: **Gaia-Wind 11kW 133 3-Phase**
 Abbreviation: **Gaia11-3**
 Rated Capacity (kW): **11**
 Manufacturer: **Gaia-Wind**
www.mis-wind.com

Quantity	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	55,000,00 €	25,000,00 €	850,00 €

Site Specific Input

Lifetime (years): 25,00 Hub Height (m): 18,00 Consider ambient temperature effects?

Quantity Optimization: HOMER Optimizer™ Search Space

Electrical Bus: AC DC

Power Curve

Wind Speed (m/s)	Power Output (kW)
0,5	0
1	0
1,5	0
2	0
2,5	0

Wind Turbine Power Curve

Graph showing Power Output (kW) vs Wind Speed (m/s). The curve starts at 0 kW for wind speeds up to approximately 4 m/s, then rises to a peak of about 11 kW between 10 and 15 m/s, before dropping to 0 kW again at approximately 20 m/s.

Ilustración 59. Aerogeneradores del proyecto en HOMER



Ya hemos terminado con la elección de todos los grupos de generación, por lo que el siguiente paso será elegir los elementos de almacenamiento de energía.

En lo que se refiere a la **batería** nos hemos decantado por una redox de vanadio, una tecnología poco conocida que instala sus baterías en llamados CELLCUBE. Su capacidad máxima será de 100kW lo cual satisface de manera sobrada nuestras necesidades. En la ilustración 60 podemos ver sus características:

STORAGE Name: Gildemeister 10kW-100kWh Abbreviation: FB10-1C

Properties
Idealized Battery Model
 Nominal Voltage (V): 48
 Nominal Capacity (kWh): 100
 Nominal Capacity (Ah): 2.08E+03
 Roundtrip efficiency (%): 64
 Maximum Charge Current (A): 200
 Maximum Discharge Current (A): 313

CELLCUBE Brochure
 The CELLCUBE® FB 10-100 is a 10kW-100kWh vanadium redox flow battery. As an AC-Bus system, its Round Trip Efficiency represents an AC-DC-AC conversion. In HOMER, please configure the System Converter as follows. Size at twice the rated power (e.g. 20kW for a FB 10-100). Set all cost parameters to zero and Lifetime to 20 years. Set the Efficiency of the Inverter Input and Rectifier Input to 100%. Relative Capacity is 100%. Connect all loads to the AC-Bus.

Batteries

Quantity	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	10,000,00	10,000,00	150,00

Lifetime
 time (years): 30,00
 throughput (kWh): 876,000,00

Quantity Optimization
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 Advanced

Site Specific Input
 String Size: 1 Voltage: 48 V
 Initial State of Charge (%): 100,00
 Minimum State of Charge (%): 0,00
 Minimum storage life (yrs): 4,00

Ilustración 60. Batería del proyecto en HOMER

A continuación pasaremos a elegir el **convertidor** de esta micro red. Tras hacer un examen minucioso del catálogo de productos que nos proporciona HOMER nos hemos decantado por un convertidor de 100kW de tecnología bastante moderna lo cual nos proporciona una eficiencia correcta. Sus características son las siguientes:

CONVERTER Name: Princeton DRI100 Abbreviation: PrinDRI

Properties
 Notes:
 Grid-forming and grid-following: applications for high PV penetration, energy storage, microgrids, and grid support.
 4 terminal demand response inverter: 2 AC ports & 2 DC ports.
 DC port for battery input: 280-600 V_DC
 DC port for PV input: 280-580 V_DC PV MPPT
 Grid-tied AC port & Load AC port: 480 V_AC Line Voltage at 60Hz
 Assumed lifetime of 10 years ; no specified lifetime on official spec sheet.

Costs

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	11,000,00 €	11,000,00 €	100,00 €

Multiplier: (1) (1) (1)

Capacity Optimization
 HOMER Optimizer™
 Search Space
 Size (kW): 100, 0

Inverter Input
 Lifetime (years): 10,00
 Efficiency (%): 96,50
 Parallel with AC generator?

Rectifier Input
 Relative Capacity (%): 100,00
 Efficiency (%): 96,50

Ilustración 61. Convertidor del proyecto en HOMER



Para finalizar en la elección de los componentes instalaremos todo lo necesario para la producción de pilas de combustible (hidrógeno). Los elementos con los que contaremos serán el reformador, el electrolizador y el tanque de hidrógeno.

En primer lugar elegiremos el **reformador diésel** (ilustración 62) el cual viene predefinido en el programa HOMER ya que no existe catálogo. Tras consultar en internet rellenamos los parámetros que faltan siendo el resultado final el siguiente:

The screenshot shows the configuration page for a 'REFORMER' component in HOMER. The component is named 'Generic Reformer' with an abbreviation of 'Reform'. The 'Costs' table is as follows:

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	8,000.00 €	8,000.00 €	150.00 €

Other parameters include: Diesel Fuel Price (€/L): 0.90, Efficiency (%): 68.60, Lifetime (years): 30.00, and Delivery Cost (\$/kg/km): 0.00. The 'Capacity Optimization' table shows a size of 100 kg/hr. The 'SELECT FUEL' dropdown is set to 'Diesel'. On the right, 'PROPERTIES' are listed: Lower Heating Value (MJ/kg): 43.2, Density (kg/m3): 820, Carbon Content (%): 88, and Sulfur Content (%): 0.4.

Ilustración 62. Reformador del proyecto en HOMER

El siguiente elemento que vamos a elegir será el **electrolizador** del agua el cual nos permitirá utilizar el excedente de energía eléctrica producida de manera renovable para la obtención de hidrógeno puro. Sus características son las siguientes:

The screenshot shows the configuration page for an 'ELECTROLYZER' component in HOMER. The component is named 'Generic Electrolyzer' with an abbreviation of 'Electrol'. The 'Costs' table is as follows:

Capacity (kW)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	50,000.00 €	50,000.00 €	300.00 €

Other parameters include: Lifetime (years): 15.00, Efficiency (%): 85.00, Minimum load ratio (%): 10.00, and Electrical Bus: DC. The 'Capacity Optimization' table shows a size of 100 kW. The 'Electrolyzer Schedule' section shows 'Step 1: Select a mode' with 'Optimizer' selected, and 'Step 2: Select a time period' with 'All Week' selected. The schedule chart shows a green bar from 00:00 to 13:00 across all months from Jan to Dec.

Ilustración 63. Electrolizador del proyecto en HOMER

*Nota: El precio elegido es el de un electrolizador industrial. Puesto que el programa no nos proporciona ningún dato, las consultas de precios de los elementos para la producción de hidrógeno se han realizado a través de internet.



Para terminar con la elección de los componentes para la producción y almacenamiento de hidrógeno elegiremos el tanque de hidrógeno (ilustración 64). En nuestro caso hemos elegido un tanque de capacidad 4000l por lo que el precio rondará los 10.000€. Sus características son las siguientes:

HYDROGEN TANK

Name:

Abbreviation:

Remove

Copy To Library

Size (kg)	Capital (€)	Replacement (€)	O&M (€/year)
1	10.000,00 €	10.000,00 €	100,00 €
Click here to add new item			

Multiplier:

Initial Tank Level

Relative to tank size (%):
 Absolute amount (kg):

Require year-end tank level to equal or exceed initial tank level.

Ilustración 64. Tanque de hidrógeno del proyecto en HOMER

Además de todo lo comentado anteriormente introduciremos el componente de la red, ya que la idea es que nuestra micro red funcione la mayor parte del tiempo conectada a ella, lo cual nos facilitará el mantenimiento de las cargas además de hacerla más eficiente.

Con esto habríamos terminado en la elección de nuestros componentes ya que por la situación geográfica no es posible utilizar otras formas de generación renovable como serían la mareomotriz o la mini-hidráulica.

El esquema final que tendría la micro red con todos los elementos unidos es el de la ilustración 65:

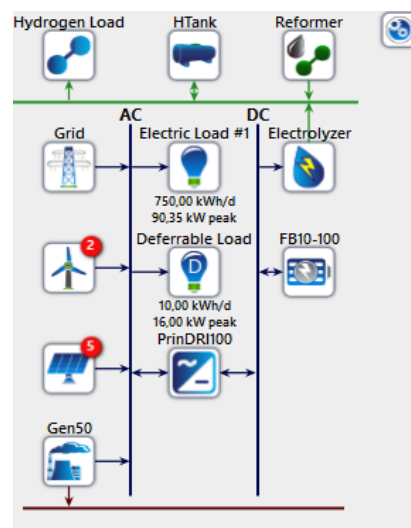


Ilustración 65. Esquema completo proyecto en HOMER



2.2.2.3- Fuentes de energía

Para terminar de configurar esta micro red el siguiente paso que debemos realizar es la toma de datos sobre los recursos con los que vamos a contar para la producción eléctrica.

En dicha micro red vamos a tener paneles solares, aerogeneradores eólicos y generadores diésel por lo que los recursos que debemos proporcionar al programa son los siguientes:

En primer lugar tenemos que encontrar los datos de irradiancia según nuestra localización. El programa divide esto en dos subcategorías que son:

- **Media mensual de irradiancia horizontal solar (GHI):** Para la toma de estos datos simplemente le daremos a que el programa obtenga la información de la base de datos de la NASA para nuestras coordenadas de localización. Los datos obtenidos para la micro red son los siguientes:

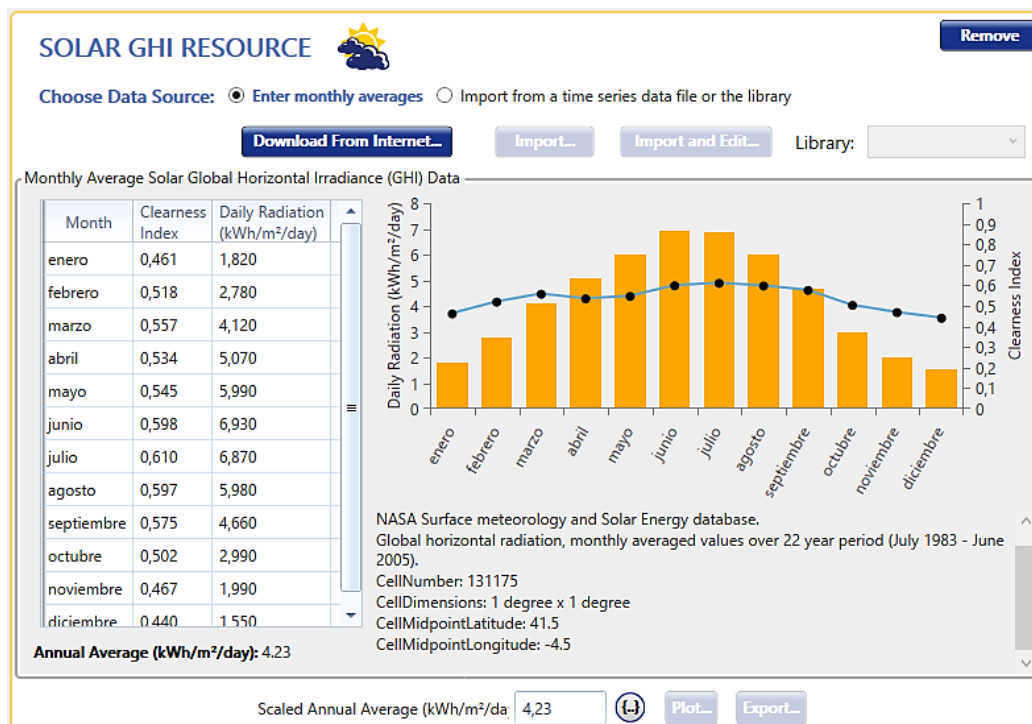


Ilustración 66. GHI del proyecto en HOMER

- **Media mensual de irradiancia normal directa:** En este caso no tenemos la opción de importar los datos de internet, por lo que debemos buscar algún archivo con formato txt e importarlo al programa para rellenar estos datos. No hemos encontrado ningún archivo que nos de este tipo de datos para cada hora del día, por tanto hemos tenido que hacer una media aproximada de irradiancia e introducirla en el programa. La mayor parte de páginas y archivos nos dan datos del estilo a los de la ilustración 67:



Monthly Averaged Direct Normal Radiation (kWh/m²/day)

Lat 41 Lon -4	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
22-year Average	3.17	4.00	5.18	5.09	5.70	7.22	7.47	6.71	5.82	3.95	3.15	2.78	5.03

Ilustración 67. DNI de la NASA para el proyecto en HOMER

A partir de algunos cálculos sobre las horas de sol diarias en cada mes y la radiación directa total diaria hemos podido realizar algunos gráficos como el siguiente:

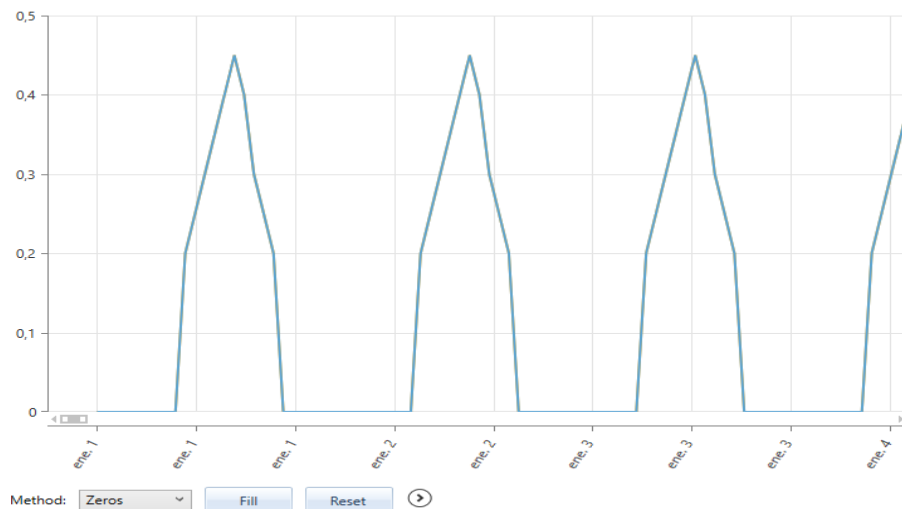


Ilustración 68. DNI del proyecto en HOMER

En lo que se refiere a los recursos eólicos lo que debemos rellenar es la media mensual de la **velocidad del viento (ilustración 69)**. Como en el caso de la irradiancia horizontal tenemos la opción de descargar dichos datos a partir de nuestra localización, siendo los resultados obtenidos:

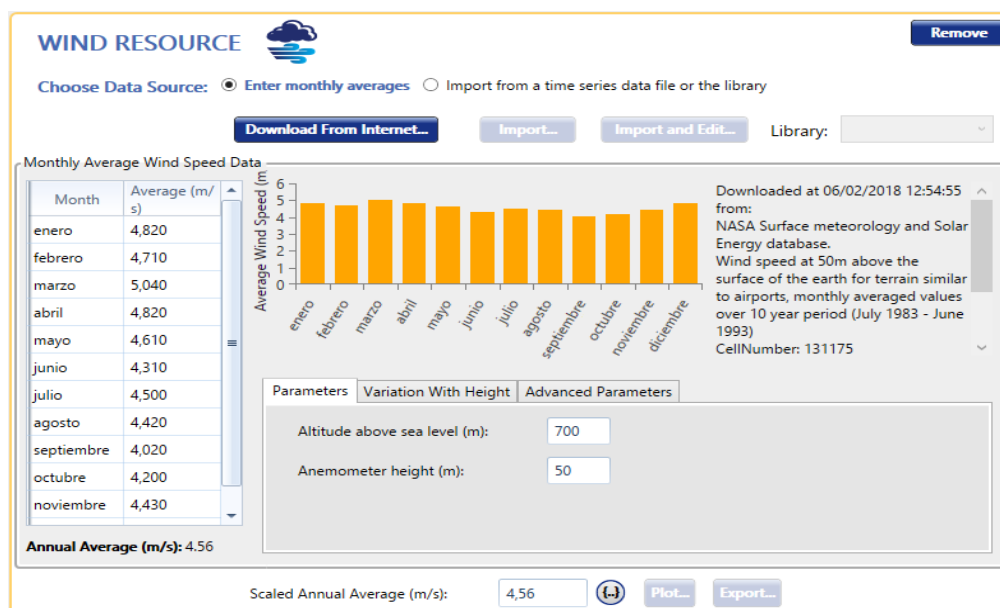
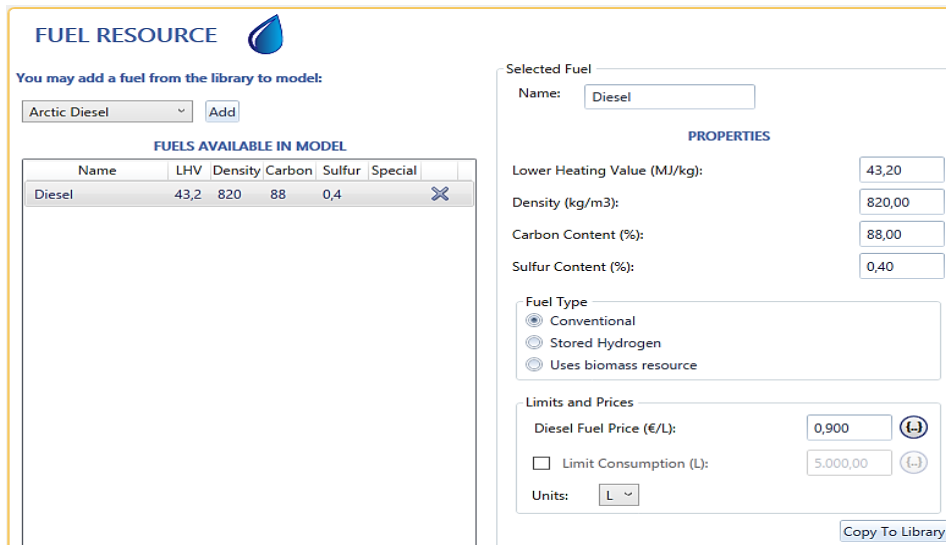


Ilustración 69. Velocidad del viento del proyecto en HOMER

Estos datos tendrán un especial interés a la hora de diseñar nuestros aerogeneradores, ya que existe una velocidad del viento mínima para que se empiece a producir electricidad.

Por tanto y viendo los gráficos obtenidos sería lógico elegir una turbina de velocidad inicial 4m/s.

Una vez tenemos todos los recursos renovables determinados pasaremos a configurar las fuentes no renovables. Para el funcionamiento de nuestros grupos electrógenos utilizaremos solamente **diésel** como combustible, por lo que los datos correspondientes serán los siguientes:



FUEL RESOURCE

You may add a fuel from the library to model:

Arctic Diesel Add

FUELS AVAILABLE IN MODEL

Name	LHV	Density	Carbon	Sulfur	Special
Diesel	43,2	820	88	0,4	

Selected Fuel

Name: Diesel

PROPERTIES

Lower Heating Value (MJ/kg): 43,20

Density (kg/m3): 820,00

Carbon Content (%): 88,00

Sulfur Content (%): 0,40

Fuel Type

Conventional

Stored Hydrogen

Uses biomass resource

Limits and Prices

Diesel Fuel Price (€/L): 0,900

Limit Consumption (L): 5.000,00

Units: L

Copy To Library

Ilustración 70. Fuel del proyecto en HOMER

Con estos recursos habríamos acabado la toma de datos ya que por las especificaciones de la micro red no contaremos con otros recursos renovables ni de biomasa para calderas.

Un ejemplo curioso del futuro de las renovables puede ser el aerogenerador de la ilustración 71:



Ilustración 71. Aerogenerador con paneles solares en las palas



2.2.2.4- El proyecto

Una vez tenemos determinados todos los elementos, recursos y cargas con los que contará dicha micro red solo nos faltaría proporcionar algunos datos económicos y sociales al programa antes de poder realizar el cálculo final.

Los **datos económicos** ya los introducimos en las especificaciones iniciales, pero para tenerlos claros los volveremos a mostrar:

Parameter	Value	Unit
Nominal discount rate (%)	8,00	%
Expected inflation rate (%)	3,50	%
Project lifetime (years)	30,00	years
System fixed capital cost (€)	500.000,00	€
System fixed O&M cost (€/yr)	3.000,00	€/yr
Capacity shortage penalty (€/kWh)	0,50	€/kWh
Currency	Euro (€)	
Real discount rate (%)	4.35	

Ilustración 72. Datos económicos proyecto en HOMER

Lo siguiente que configuraremos serán algunas **restricciones (ilustración 73)** para la micro red como pueden ser el porcentaje mínimo de producción renovable (solar y eólica) o la máxima escasez anual. Los datos finales son:

Parameter	Value	Unit
Maximum annual capacity shortage (%)	10,00	%
Minimum renewable fraction (%)	30,00	%
Operating Reserve		
As a percentage of load		
Load in current time step (%)	10,00	%
Annual peak load (%)	5,00	%
As a percentage renewable output		
Solar power output (%)	50,00	%
Wind power output (%)	80,00	%

Ilustración 73. Restricciones del proyecto en HOMER



Otro de los datos que pueden tener especial importancia a la hora del uso de recursos contaminantes son las **emisiones (ilustración 74)**. Consultado en internet los precios de España se han obtenido las siguientes penalizaciones por emisión:

EMISSIONS	
Carbon dioxide (€/t):	6,08
Carbon monoxide (€/t):	3,00
Unburned hydrocarbons (€/t):	10,00
Particulate matter (€/t):	2,00
Sulfur dioxide (€/t):	100,00
Nitrogen oxides (€/t):	8,00

Ilustración 74. Emisiones del proyecto en HOMER

Con estos datos habríamos terminado de configurar todo lo que involucra a la micro red, por lo que solo nos faltarían de rellenar algunos datos de la simulación. El primero de ellos es la **optimización (ilustración 75)**, que nos permite configurar diversos parámetros según el nivel de precisión que requiramos en los cálculos. Los datos que se utilizarán para simular son los siguientes:

OPTIMIZATION

Optimization Settings

Minutes per time step: 60 Time steps per year: 8,760

- Allow systems with multiple generators.
- Allow systems with two types of wind turbines.
- Limit excess thermal output (% of load): 10
- Issue a warning if an off-grid system has:
 - maximum renewable penetration greater than 55 %
 - battery autonomy of less than 2 hrs

Optimizer Settings

Maximum simulations per optimization: 10,000

System design precision: 0,0100

NPC precision: 0,0100

Focus factor: 50,00

Slower (thorough) Faster

- Optimize category winners?
 - Run base case
 - Enter component sizes for the base case system in each component menu that is using the optimizer.

Ilustración 75. Optimización del proyecto en HOMER

Lo último que vamos a introducir en el programa son algunos de los aspectos que pueden cambiar de un año a otro, es decir, lo que en el programa se denomina **multi-year**. Los datos introducidos son los siguientes:

Multi-Year Inputs

Enable

Project lifetime (years): 30

Grid: GridPrice (%/year): 5 Years	System Fixed O&M Cost (%/year): 10 Years	Fron3.1: Degradation (%/year): 2 Years
Fron3.1 (1): Degradation (%/year): 2 Years	Fron3.1 (2): Degradation (%/year): 2 Years	Fron3.1 (3): Degradation (%/year): 2 Years
Fron3.1 (4): Degradation (%/year): 2 Years	Diesel: Fuel Price (%/year): 10 Years	Electric Load #1: Scaled Ave (%/year): 15 Years
Deferrable Load: Scaled Ave (%/year): 15 Years	Hydrogen Load: Scaled Ave (%/year): 10 Years	Thermal Load #1: Scaled Av (%/year): 0 Years

Ilustración 76. Variabilidad entre años del proyecto en HOMER



2.3- INTRODUCCION A TRNSYS

En lo que se refiere a este programa no es un software tan especializado como HOMER para el diseño de micro redes, sino que este nos permite hacer simulaciones dinámicas de la energía necesaria por ejemplo para mantener una casa. De esta forma obtendremos unos datos para el diseño de la red que aportará la electricidad necesaria al proyecto en estudio.

En primer lugar para su descarga solamente hemos tenido que buscar un poco por internet y rápidamente hemos encontrado una página que nos permite descargar una demo gratuita del programa: <https://es.freownloadmanager.org/Windows-PC/TRNSYS.html>. Tras seguir un conjunto de pasos para la instalación directamente nos aparece el icono del programa en el lugar que hayamos especificado.

El siguiente paso a seguir será abrir el programa y realizar un proyecto nuevo.

2.2.1. Localización y datos del autor

Una vez abrimos un nuevo proyecto la primera ventana que se genera en el programa es la siguiente:

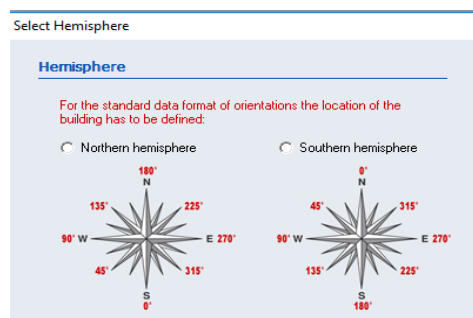


Ilustración 79. Inicio en TRNSYS

Lo único que debemos hacer es consultar en el caso de que no sepamos en que hemisferio se encuentra el lugar sobre el que vamos a hacer la simulación e introducirlo en el programa.

Cuando hayamos rellenado ese dato el programa nos abre dos ventanas emergentes como las de la ilustración 80:

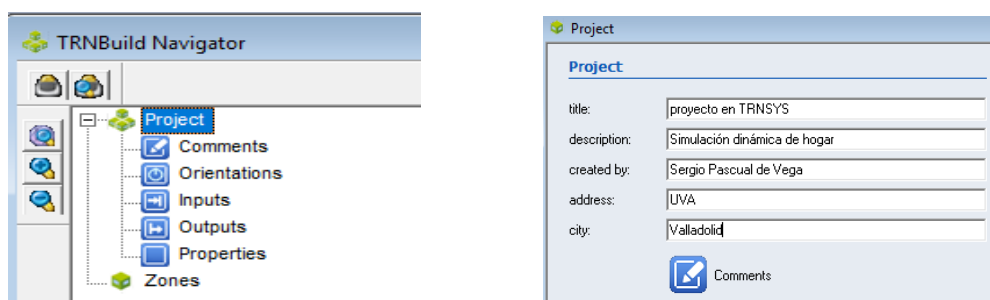


Ilustración 80. Ventanas iniciales en TRNSYS



Tras rellenar unos datos iniciales sobre quién y donde se hará el proyecto el siguiente paso es localizar más en detalle la ubicación. La ventana presentada por el programa al darle al botón de + será la siguiente:

Orientations

No	Orientation	Calculation	Used by Surface
1	S_44_4	-	-

New Orientation

Standard format

Definition of Orientation

azimuth: deg slope: deg

Note:
For rotating the building it is recommended to use the variable TURN in the TRNSYS Input file. Thereby the azimuth angles and the building Input 6 AAZM are adjusted.

Calculation of radiation data

Internal
 External by another component

Free format

Definition of Orientation

orientation name:

Calculation of radiation data

Internal
 External by another component

Ilustración 81. Localización en TRNSYS

Con este paso habríamos terminado los datos necesarios para comenzar el proyecto, pudiendo incluir algunos otros aspectos como pueden ser:

- **Comentarios** adicionales que quisiéramos guardar en el programa para que las personas que lo lean tengan unos datos más especializados.
- **Entradas.** Será necesario introducir algunas entradas al programa, las cuales personalizaremos nosotros.
- **Salidas.** Este parámetro se rellenará al final del proyecto ya que básicamente indicamos al programa que parámetros de salida queremos que nos muestre. La ventana de las salidas es la siguiente:

Outputs

userdefined default

Airnodes

thermal airnodes

Selected "Thermal Airnodes"

No	Thermal Airnodes

Possible "Thermal Airnodes"

No	Thermal Airnodes

NTypes

airnode outputs group of airnode outputs surface outputs comfort outputs balances

Selected "Outputs" (NTYPES)

No	NType	Key	Additional Data

Possible "Outputs" (NTYPES)

NType	Key	Description
1	TAIR	air temperature of airnode
2	QSENS	sensible energy demand of airnode, heating(-)
3	QCSURF	total convection to air from all surfaces within
4	QINF	sensible infiltration energy gain of airnode
5	QVENT	sensible ventilation energy gain of airnode
6	QCOUP	sensible coupling energy gain of airnode
7	QGCONV	internal convective gains of airnode
8	DQAIR	change in internal sensible energy of airnode
9	RELHUM	relativ humidity of airnode air
10	QLATD	latent energy demand of airnode, humidificatio
11	QLATG	latent energy gains including ventilation, infiltra
12	QSOLTR	total shortwave solar radiation transmitted thro

Ilustración 82. Salidas en TRNSYS



2.2.2. Elección de zonas

Una vez hemos terminado de configurar los parámetros iniciales de nuestro proyecto el siguiente paso que debemos realizar es la elección de zonas y subzonas. Esto quiere decir que podemos incluir varias viviendas incluyendo varias zonas y dentro de cada una de ellas varias habitaciones o espacios. El espacio para rellenar esto es el de la ilustración 83:

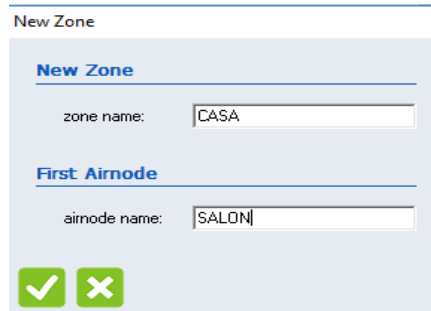


Ilustración 83. Zonas en TRNSYS

Una vez hayamos determinado el lugar que vamos a configurar, en lo que a consumo energético se refiere aparece la una ventana como la de la ilustración 84:

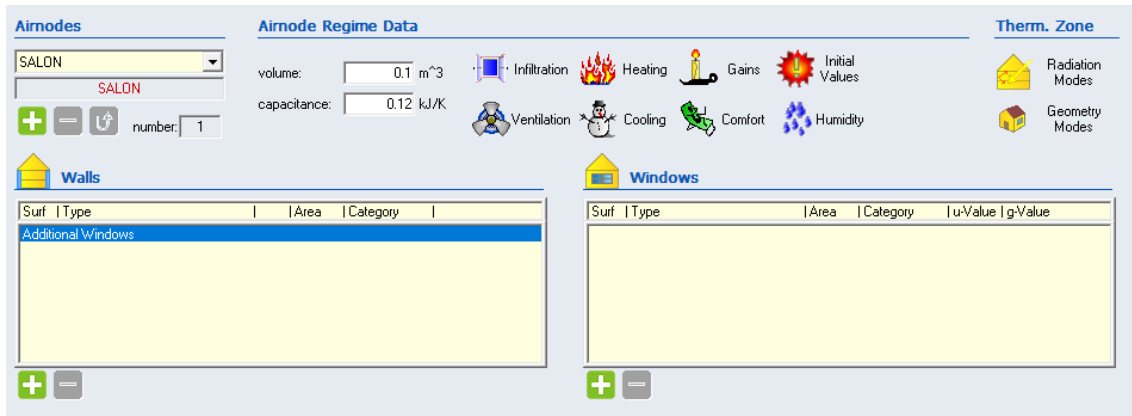


Ilustración 84. Ventana principal de configuración en TRNSYS

Debido a la complejidad de esta parte del proyecto vamos a ir explicando cada uno de los elementos a configurar. En primer lugar configuraremos las **paredes (ilustración 85)**, teniendo que elegir la superficie de cada una de ellas y el tipo que son dentro de la librería del programa. En nuestro caso la configuración es la siguiente:

Surf	Type	Area	Category
Additional Windows			
1	CB_AISS_06	6.00	EXTERNAL
2	CB_AISS_06	4.00	EXTERNAL
3	CB_AISS_06	6.00	EXTERNAL
4	CB_AISS_06	4.00	EXTERNAL

Ilustración 85. Paredes en TRNSYS



El siguiente elemento a configurar serían las **ventanas (ilustración 86)**. En nuestro caso solo contaremos con una ventana de la dimensión que indicamos a continuación:

Surf	Type	Area	Category	u-Value	g-Value
5	LOW2	2.50	EXTERNAL	2.28	0.724

Ilustración 86. Ventanas en TRNSYS

Para el caso anterior de las paredes no lo hemos comentado pero dentro de este apartado el programa nos da numerosos parámetros a configurar. En el caso de las ventanas algunos de ellos son:

Ilustración 87. Parámetros de ventanas en TRNSYS

Puesto que en este momento solo estamos realizando una introducción al programa no se prestará especial atención a cada uno de los factores que existen en el cuadro anterior.

Con esto habríamos acabado de configurar por decirlo de alguna forma el dimensionado de nuestra habitación. El siguiente paso será rellenar cada uno de los parámetros de la ilustración 88:

Ilustración 88. Principales aspectos a rellenar en TRNSYS

Lo primero que vamos a determinar será el **volumen** de la sala, que en este caso en concreto será de 40m^3 . El programa con este dato calcula directamente la **necesidad energética** (KJ/K) por cada grado kelvin que queramos variar, que en nuestro caso será de 48KJ/K .

También tenemos la posibilidad de elegir el número de salas iguales con las que contaremos, lo cual nos ahorra tener que rellenar en varias ocasiones los mismos datos en el caso de que sea por ejemplo una casa con 3 habitaciones iguales.

A continuación pasaremos a rellenar cada uno de los parámetros que vemos en la imagen superior.

2.2.2.1- Airnode regime data

Filtración (ilustración 89). Este apartado se refiere a la cantidad de aire intercambiado en una hora. El programa por defecto nos da la cantidad de 0,6l/h como podemos ver en la siguiente imagen:

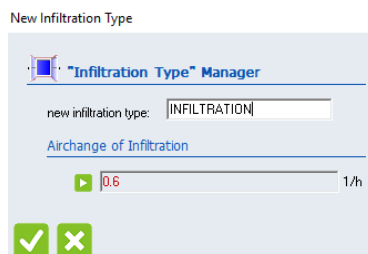


Ilustración 89. Filtración de aire en TRNSYS

Ventilación (ilustración 90). El siguiente parámetro a configurar será la ventilación de la que dispone la sala. Los parámetros a rellenar son: flujo másico de aire, temperatura de la corriente de aire, humedad del flujo, etc. A continuación podemos ver la ventana del programa para este apartado:

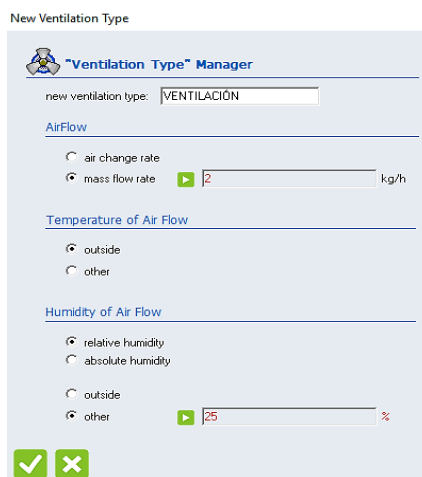


Ilustración 90. Ventilación en TRNSYS

Calor (ilustración 91). El siguiente punto a configurar será la temperatura que queremos en la sala así como otros parámetros. Los datos a rellenar son los siguientes:

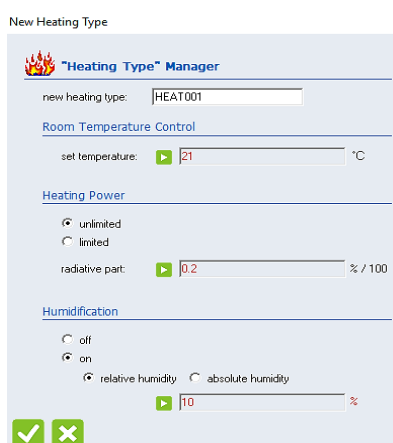


Ilustración 91. Calor en TRNSYS



Frío (ilustración 92). Esta sería la siguiente opción que nos permite configurar el programa, siendo los parámetros a rellenar algo parecido al caso del calor:

New Cooling Type

"Cooling Type" Manager

new cooling type: FRI0

Room Temperature Control

set temperature: 24 °C

Cooling Power

unlimited

limited 12 kJ / h

Dehumidification

off

on

✓ ✕

Ilustración 92. Frío en TRNSYS

Ganancias (ilustraciones 93 y 94). Este apartado se refiere a los aportes de energía y más en concreto de calor tanto por personas como por instrumentos electrónicos. Como el resto de parámetros es opcional configurarlo y las posibilidades que nos da el programa son las siguientes:

Gains [AirNode: SALON]

Persons

off ISO 7730 Table Seated, very light writing degree of activity

on VDI 2078 Table

scale: 1 geo position: 0

Computer

off 50 W Printer computer type

scale: 1 geo position: 0

Artificial Lighting

off related floor area: 1 m²

on total heat gain: 5 W/m² control strategy

convective part: 40 % fluorescent tube scale: 1 geo position: 0

Other Gains

Ilustración 93. Ganancias de TRNSYS

Rates of Heat Gain from Occupants of Conditioned Spaces - ISO 7730

Rates of Heat Gain from Occupants of Cond

No.	Degree of Activity	Typical Application	Total Heat Adjusted		Sensible Heat		Latent Heat	
			Watts	Btu/h	Watts	Btu/h	Watts	Btu/h
<input type="radio"/> 01	Seated at rest	Theatre, Movie	100	350	60	210	40	140
<input checked="" type="radio"/> 02	Seated, very light writing	Office, Hotels, Apts	120	420	65	230	55	190
<input type="radio"/> 03	Seated, eating	Restaurant	170	580	75	255	95	325
<input type="radio"/> 04	Seated, light work, typing	Office, Hotels, Apts	150	510	75	255	75	255
<input type="radio"/> 05	Standing, light work or working slowly	Retail Store, Bank	185	640	90	315	95	325
<input type="radio"/> 06	light bench work	Factory	230	780	100	345	130	435
<input type="radio"/> 07	walking 1,3 m/s (3 mph) light machine work	Factory	305	1040	100	345	205	695
<input type="radio"/> 08	Bowling	Bowling Alley	280	960	100	345	180	615
<input type="radio"/> 09	moderate dancing	Dance Hall	375	1280	120	405	255	875
<input type="radio"/> 10	Heavy work, lifting Heavy machine work	Factory	470	1600	165	565	300	1035
<input type="radio"/> 11	Heavy work, athletics	Gymnasium	525	1800	185	635	340	1165

✓ ✕

Ilustración 94. Calor aportado por personas



Confort (ilustración 95). Este elemento se refiere a la posibilidad de integrar en la sala algunos elementos de confort en función de la temperatura que queramos y algunos parámetros como el índice de metabolismo o el trabajo externo. Para los índices de estas variables el programa nos ofrece la consulta de algunas normas DIN que nos dan valores habituales. El cuadro del programa es el siguiente:

The image shows two screenshots from the TRNSYS software. The left window is titled 'New Comfort Type' and contains a 'Comfort Type Manager' with the following fields:

- new comfort type: COMF002
- Clothing factor: 1 clo
- Metabolic rate: 1 met
- External work: 0 met
- Relative air velocity: 0.1 m/s

The right window is titled 'Comfort [AirNode: SALON]' and shows a table with the following data:

No.	Comfort ID	Comfort Type	Mean Radiant Temperature	Geo Position
1	1	COMF002	na	0

Below the table, there are options for 'Mean Radiant Temperature' (userdefined or internal calculation) and 'geo. position of reference point' (0).

Ilustración 95. Confort en TRNSYS

Valores iniciales (ilustración 96). Este cuadro simplemente nos pide rellenar los dos datos iniciales de temperatura de la zona y la humedad relativa inicial:

The image shows a screenshot of the 'Initial Values [AirNode: SALON]' window. It contains the following fields:

- initial zone temp.: 18 °C
- initial rel. humidity: 40 %

Ilustración 96. Valores iniciales en TRNSYS

Modelos de humedad (ilustración 97). Tenemos la posibilidad de elegir entre dos modelos de humedad: modelo simple o modelo de la capacitancia de humedad.

The image shows two screenshots of the 'Humidity Models [AirNode: SALON]' window. The left window shows the 'Simple Humidity Model (Capacitance Humidity Model)' selected, with a 'Humidity capacitance ratio' of 1. The right window shows the 'Moisture Capacitance Model (Buffer Storage Model)' selected, with the following parameters:

	Surface buffer storage	Deep buffer storage
Gradient of sorptive isothermal line:	100	1 kg(H ₂ O) / kg(mat) / rel. humidity
Mass:	270	15 kg(mat)
Exchange coefficient:	15	15 kg(air) / h

Ilustración 97. Modelos de humedad en TRNSYS



2.2.2.2- Thermal zone

Para terminar con el diseño de la zona tenemos que introducir algunos datos térmicos de ella. Los principales parámetros a introducir son los siguientes:

Modos de radiación (ilustración 98). En primer lugar vamos a dar algunos datos sobre: distribución de los rayos solares incidentes, distribución de la radiación difusa, intercambio de ondas de radiación y factor solar traspasado al aire. En este caso por ser una versión de prueba del software solamente podemos utilizar los modelos estándar como se ve a continuación:

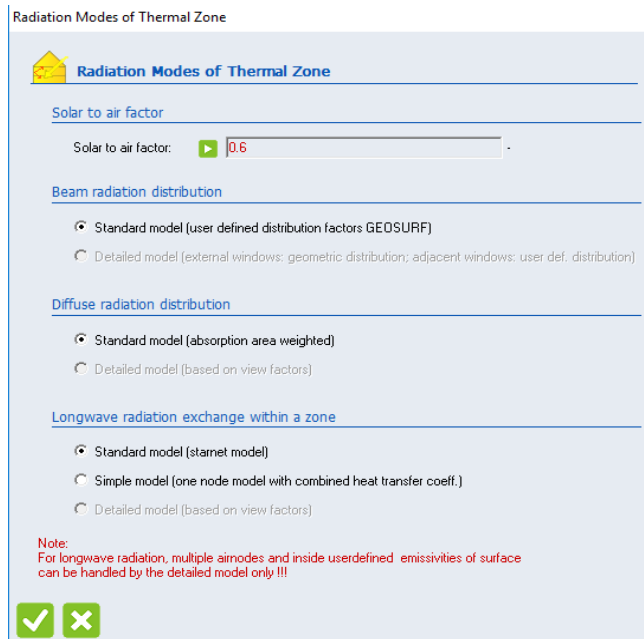


Ilustración 98. Modos de radiación en TRNSYS

Modos de geometría (ilustración 99): En este caso el programa nos da la posibilidad de introducir modelos geométricos en 3D desarrollados por ejemplo con programas como CATIA o Solid-edge. En nuestro caso por ser una versión gratuita de prueba solamente podemos elegir el modelo manual. Este modelo tomará los datos de las paredes y ventanas de la zona, siendo ahora de gran importancia el tamaño y tipo de elementos elegidos.

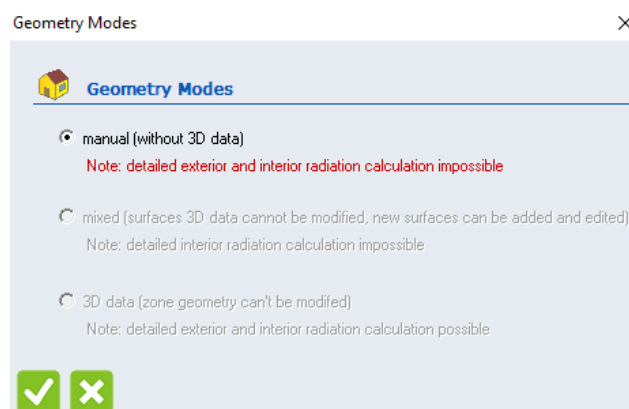


Ilustración 99. Modos de geometría en TRNSYS



2.2.3. Resultados finales

Antes de finalizar con el proyecto y sacar los resultados tenemos que prestar atención a algunas opciones que nos proporciona el programa como pueden ser:

Propiedades (ilustración 100). Es posible que si estamos realizando un proyecto real con ciertas especificaciones nos interese cambiar alguno de los siguientes parámetros:

Properties

General

density of air: kg / m³

specific heat of air: kJ / kg K

pressure of air: Pa

heat of vaporization of water: kJ / kg

Stefan Boltzmann Constant: kJ / h m² K⁴

approx. average surface temp.: K

Parameters for internal calculation of heat transfer coef

constant heated floor, if (Tsurf_{floor}-Tair_{floor}) > 0 kJ / m² K

exponent heated floor, if (Tsurf_{floor}-Tair_{floor}) > 0 -

constant chilled floor, if (Tsurf_{floor}-Tair_{floor}) < 0 kJ / m² K

exponent chilled floor, if (Tsurf_{floor}-Tair_{floor}) < 0 -

constant heated ceiling, if (Tsurf_{ceiling}-Tair_{ceiling}) > 0 kJ / m² K

exponent heated ceiling, if (Tsurf_{ceiling}-Tair_{ceiling}) > 0 -

constant chilled ceiling, if (Tsurf_{ceiling}-Tair_{ceiling}) < 0 kJ / m² K

exponent chilled ceiling, if (Tsurf_{ceiling}-Tair_{ceiling}) < 0 -

constant vertical surface: kJ / m² K

exponent vertical surface -

Ilustración 100. Propiedades en TRNSYS

Planificación (ilustración 101). En algunas ocasiones las tareas que realizamos o los resultados que deseamos obtener pueden seguir una planificación concreta ya sea diaria, semanal o mensualmente. El software en lo que a esto respecta nos da un infinito abanico de posibilidades de planificación. En la siguiente imagen podemos ver el cuadro de diálogo:

Schedule Type Manager

"Schedule Type" Manage

schedule type:

daily weekly

Daily

From	Until	Value
00:00	24:00	0.00

from until value

h:

min:



Una vez hemos terminado de configurar todos los parámetros de nuestro proyecto, teniendo en cuenta que en un caso real no solo habría un nodo/sala sino una gran cantidad de ellos solo faltaría la corrección de errores para poder generar el informe de salida.

En esta primera parte solamente pretendemos realizar una introducción al software por lo que hay algunos puntos que no se han definido correctamente y por tanto es imposible generar un informe de salida. En el siguiente punto en el que intentaremos simular una micro red real con el programa de TRNSYS/TRNBuild ya se prestará especial atención a los informes de salida que nos proporciona el programa en función de las salidas elegidas.

El desplegable que nos proporciona el programa para generar los informes incluye algunos resultados como: abrir un informe ya generado, calculo de máxima carga calorífica, generación de matriz de insolación/sombreado o generar la matriz del factor de vista. Esto podemos verlo en la siguiente imagen:

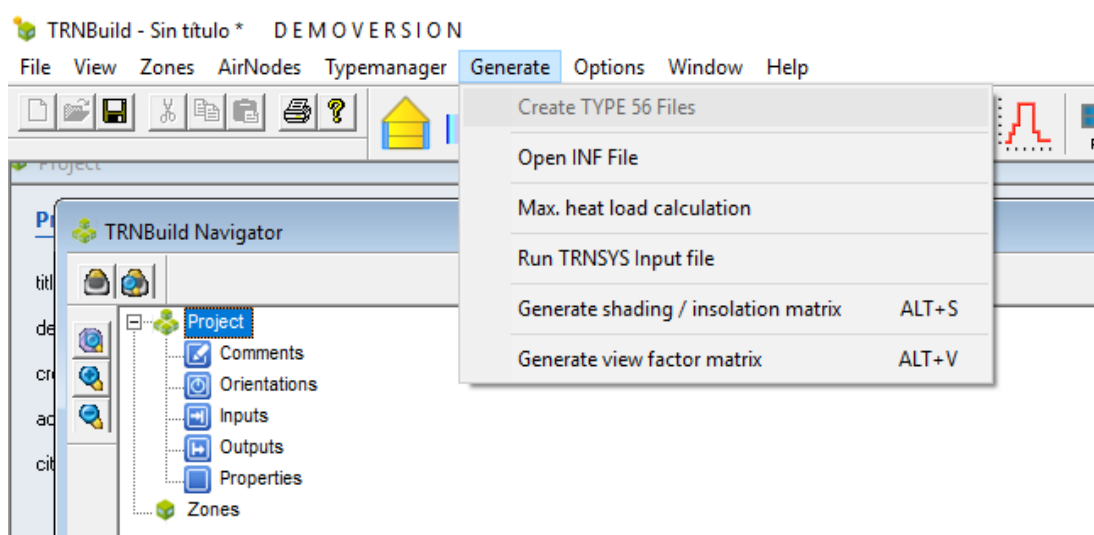


Ilustración 101. Generación de informes en TRNSYS

Con esto habríamos terminado la introducción al software, lo cual nos puede valer como toma de contacto al programa antes de intentar crear un proyecto real. En el siguiente punto: *simulación en TRNSYS* ya podremos ver más en detalle todos los aspectos que debemos tener en cuenta para unos cálculos reales.



2.4- SIMULACION EN TRNSYS

Una vez conocemos el entorno del programa TRNSYS y más en concreto del software TRNBuild pasaremos a la realización de un proyecto más completo con esta herramienta.

Al igual que ocurrió con la simulación en HOMER en nuestro caso vamos a realizar un proyecto ficticio ya que no es el caso de que una empresa o particular nos encargue algo en concreto. Por este motivo el primero de los pasos que debemos realizar al igual que en apartado 2.2 serán las especificaciones del proyecto.

2.4.1. Especificaciones iniciales

El software que estamos utilizando en nuestro proyecto es bastante complejo y abierto, por lo que intentaremos realizar una simulación fácil de entender y sin una excesiva complejidad ya que este software no está tan relacionado con la simulación de micro redes como podía ser el caso de HOMER. Por ello nuestras especificaciones iniciales son las siguientes:

Ubicación. En nuestro caso vamos a realizar una simulación dinámica del gasto energético para una casa familiar situada en Valladolid. Esto determinará la potencia instalada que necesitaremos y los generadores con los que podemos contar.

Todos estos datos serán fundamentales a la hora de rellenar los datos de la orientación y ubicación del proyecto, lo cual determinará los niveles de irradiancia y por tanto la energía calorífica que entra en la casa.

Supondremos que los cálculos se realizarán para un mes primavera para facilitar las cosas, pero si fuese necesario se podría realizar una planificación para poder introducir los datos de varios meses.

Potencia necesaria. El objetivo del software de TRNSYS es realizar una simulación que nos permita determinar todos los flujos de energía que existen en el hogar para así determinar la potencia necesaria en función de los requisitos que busquemos.

Áreas de la vivienda. En nuestro proyecto supondremos que es un hogar familiar el cual contará con un salón, un baño, un pasillo principal, dos habitaciones y una cocina. El área total de la vivienda será de aproximadamente 60m². Suponemos para todas ellas una altura del techo de 3m lo cual necesitaremos para calcular el volumen de cada sala.

Requisitos de la casa. Para simplificar el diseño supondremos que dichos requisitos serán iguales para todas las salas de la vivienda y serán los siguientes: calentamiento para épocas de frío, enfriamiento para épocas calurosas, confort normal de una vivienda familiar y niveles bajos de humedad para una mayor comodidad.



2.4.2. Diseño del proyecto

Una vez tenemos los requisitos necesarios que queremos para el diseño energético de la vivienda el siguiente paso será el diseño del proyecto en sí. Para esto debido a la complejidad del software lo dividiremos en varios subapartados.

2.4.2.1- Iniciación del proyecto

En este primer apartado rellenaremos los datos generales del proyecto que queremos realizar. Estos ya se explicaron en la introducción, pero para nuestra vivienda en concreto dichos datos serán:

Datos del proyecto (ilustraciones 102 y 103). En primer lugar rellenaremos unos datos sobre el proyecto como pueden ser: ubicación y orientación, datos del proyectista, descripción y comentarios adicionales, etc.

The screenshot shows a 'Project' dialog box with the following fields:

- title: Vivienda familiar
- description: Simulación dinámica de un hogar
- created by: Sergio Pascual de Vega
- address: UVA
- city: Valladolid

There is also a 'Comments' button with a pencil icon.

Ilustración 102. Datos del proyecto en TRNSYS

The left screenshot shows the 'Standard format' section for 'Definition of Orientation'. It includes input fields for 'azimuth: 44 deg' and 'slope: 4 deg'. Below these is a compass rose with cardinal directions (N, S, E, W) and intermediate directions (NE, SE, SW, NW) marked with angles. A red line indicates a 60-degree slope. A note states: 'Note: For rotating the building it is recommended to use the variable TURN in the TRNSYS Input file. Thereby the azimuth angles and the building Input 6 AAZM are adjusted.' Below this is the 'Calculation of radiation data' section with radio buttons for 'Internal' (selected) and 'External by another component'.

The right screenshot shows the 'Hemisphere' section. It contains the text: 'For the standard data format of orientations the location of the building has to be defined.' Below this are two radio buttons: 'Northern hemisphere' (selected) and 'Southern hemisphere'. Two compass roses are shown, one for the Northern Hemisphere and one for the Southern Hemisphere, both with cardinal and intermediate directions marked with angles.

Ilustración 103. Ubicación el proyecto en TRNSYS



Zonas y subzonas de la vivienda (ilustración 104). Como se indicó en las especificaciones iniciales las zonas con las que constará nuestra casa tendrán cada una un volumen concreto y serán las siguientes:

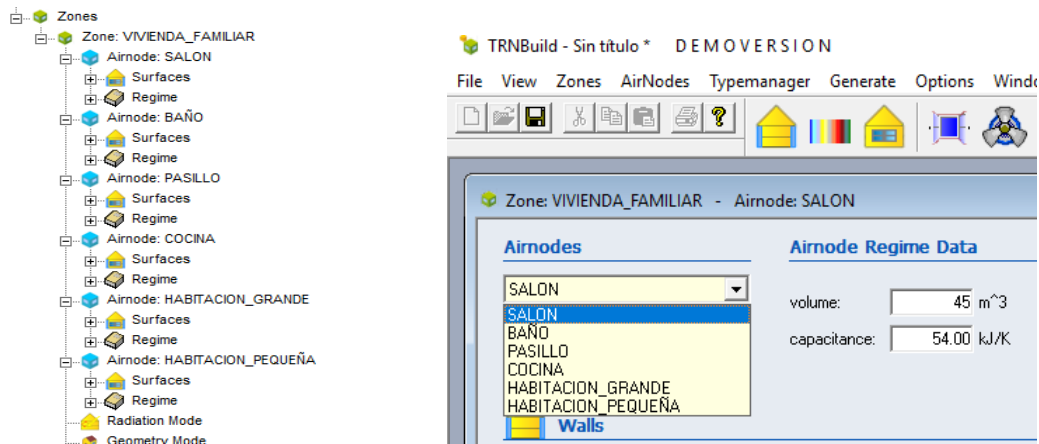


Ilustración 104. Zonas del proyecto en TRNSYS

En la imagen anterior se muestra por ejemplo el volumen que tendrá el salón, el cual se obtiene mediante el cálculo de que tendrá un tamaño de 15m² multiplicado por los 3m de altura que tiene la casa. No se mostrará el tamaño del resto de habitaciones ya que es un cálculo similar, siendo el tamaño de la suma de todas las salas de 60m² y con un volumen de 60x3= 180m³.

El programa directamente a partir del volumen de cada habitación nos calcula la capacidad en KJ/K que indica la energía necesaria para aumentar en un grado kelvin la temperatura de la sala.

Paredes (ilustración 105). En todas las salas será necesario definir algunos parámetros sobre las paredes como: dimensiones, tipo de pared, orientación, etc. En todos los subpartados trabajaremos con el salón para no repetir en todas las salas los mismos datos. Estas son las especificaciones:

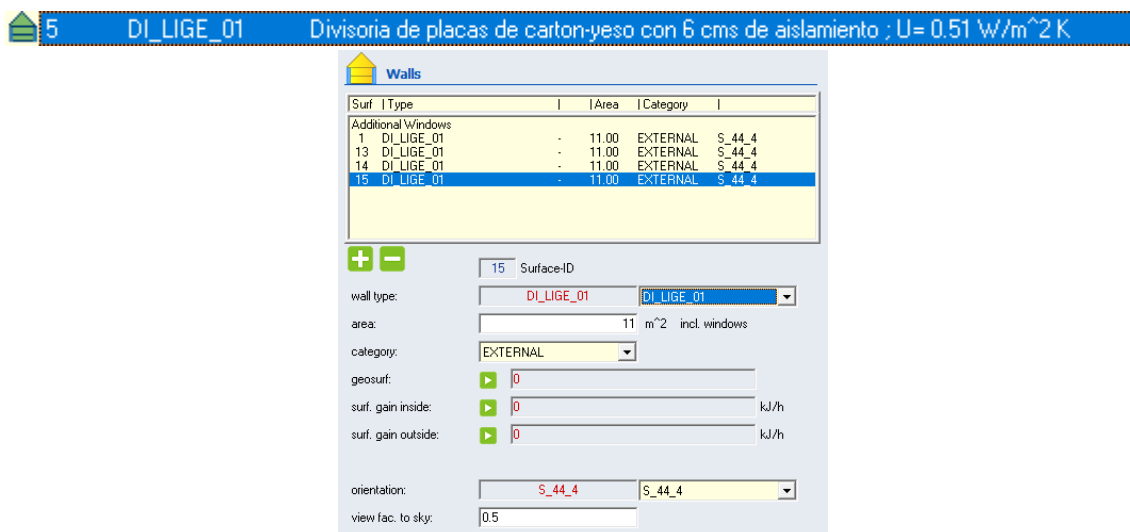


Ilustración 105. Paredes del proyecto en TRNSYS



Ventanas (ilustración 106). En el caso de que la sala cuente con ventanas debemos poner su volumen y el tipo, al igual que otros datos como en el caso de las paredes. Para el apartado del salón en el que solamente habrá una ventana de 1m² los datos son los siguientes:

Surf	Type	Area	Category	U-Value	g-Value
16	ABS2_G	1.00	EXTERNAL	2.54	0.491

Windows

Surface-ID: 16

Window type: ABS2_G

Area: 1 m²

Category: EXTERNAL

geosurf: 0

surf. gain inside: 0 kJ/h

surf. gain outside: 0 kJ/h

orientation: S_44_4

view fac. to sky: 0.5

internal shad. factor: 0

Shading control: integrated radiation control acc. to window type
 external control (included in shading factor)

Ilustración 106. Ventanas del proyecto en TRNSYS

Modos de radiación y geometría (ilustración 107). Para terminar con los datos iniciales de nuestro proyecto debemos especificar algunos parámetros de la zona térmica que vamos a desarrollar. Para esto pondremos los modos de geometría y de radiación con los que contaremos. Los datos son los siguientes:

Radiation Modes of Thermal Zone

Solar to air factor: 0.1

Beam radiation distribution

Standard model (user defined distribution factors GEOSURF)
 Detailed model (external windows: geometric distribution; adjacent windows: user def. distribution)

Diffuse radiation distribution

Standard model (absorption area weighted)
 Detailed model (based on view factors)

Longwave radiation exchange within a zone

Standard model (starnet model)
 Simple model (one node model with combined heat transfer coeff.)
 Detailed model (based on view factors)

Note:
For longwave radiation, multiple aimodes and inside userdefined emissivities of surface can be handled by the detailed model only !!!

Geometry Modes

manual (without 3D data)
Note: detailed exterior and interior radiation calculation impossible

mixed (surfaces 3D data cannot be modified, new surfaces can be added and edited)
Note: detailed interior radiation calculation impossible

3D data (zone geometry can't be modified)
Note: detailed exterior and interior radiation calculation possible

Ilustración 107. Modelos de la zona térmica del proyecto en TRNSYS



2.4.2.2. Contenido del proyecto

Una vez hemos terminado con todos los datos iniciales necesarios para el comienzo del proyecto solo nos faltarían de rellenar los datos de cada zona en lo que a datos energéticos se refiere. En la introducción ya se comentó las posibilidades que ofrece el programa como pueden ser: niveles de ventilación e infiltración, calentamiento de la sala, confort, humedad, etc.

Puesto que nuestro proyecto no pretende realizar un estudio excesivamente complejo de las características energéticas de un hogar rellenaremos las mismas variables para todas las zonas. En este apartado se mostrará para el ejemplo del salón los datos introducidos.

El primer parámetro a rellenar será el de **infiltración** del aire. Para configurarlo solamente tenemos que dar a “new” y poner la cantidad en l/h de aire como podemos ver en la ilustración 108:

Ilustración 108. Infiltración del proyecto en TRNSYS

El segundo parámetro que debemos rellenar es el de **ventilación** de la sala (ilustración 109). Para esto debemos rellenar algunos datos como la humedad absoluta o relativa del aire y el flujo másico de aire intercambiado con el exterior (además de su temperatura). En la siguiente imagen podemos observar dichos valores para un mes primaveral en Valladolid:

Ilustración 109. Ventilación del proyecto en TRNSYS



Puesto que en nuestro proyecto estamos suponiendo que queremos realizar el estudio energético para un mes de primavera podemos suponer que no se necesitará **enfriar** la casa. Por este motivo esa opción del programa la dejamos desactivada y activaremos la de **calentamiento**.

Para configurar esto simplemente necesitamos decidir la temperatura a la que queremos mantener dicha sala, la humedad relativa y si el gasto energético para ello es limitado o ilimitado. Los datos que hemos introducido son los siguientes:

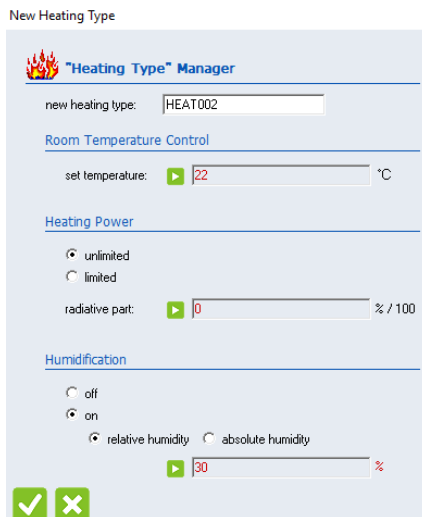


Ilustración 110. Calentamiento del proyecto en TRNSYS

A continuación configuramos el parámetro de **ganancias** energéticas del salón. Para ello supondremos que la luz de la sala será de tubos fluorescentes y que contaremos con un ordenador con impresora. Todo esto influirá en el calor desprendido tanto por las personas como por los aparatos eléctricos con los que contamos en la sala. En nuestro caso los datos son los de la ilustración 111:

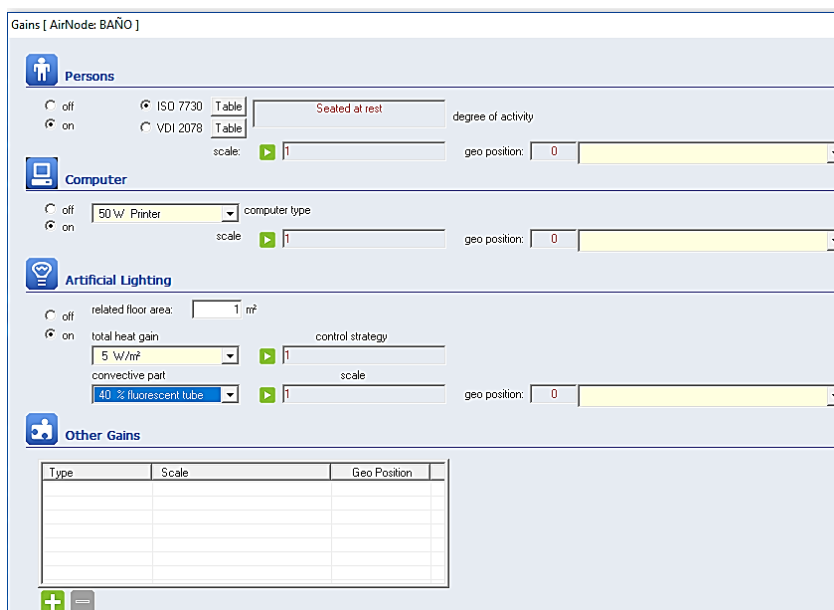


Ilustración 111. Ganancias del proyecto en TRNSYS



En lo que se refiere al **confort** que queremos en la sala la mayor parte de parámetros el programa nos lleva a la norma DIN ISO 7730 para encontrar unos valores adecuados, pero como podemos ver en el siguiente enlace: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0037517#.Wow-76jibIU> es necesario pagar 75€ para poder consultarlo, por lo que en nuestro caso dejaremos los valores por defecto.

Las distintas opciones a configurar son: factor de ropa, índice de metabolismo, trabajo externo y velocidad relativa del aire como podemos ver en la ilustración 112. Una vez configuremos esto el programa nos da la opción de cómo realizar los cálculos, que en nuestro caso pondremos de manera interna y con el modelo simple.

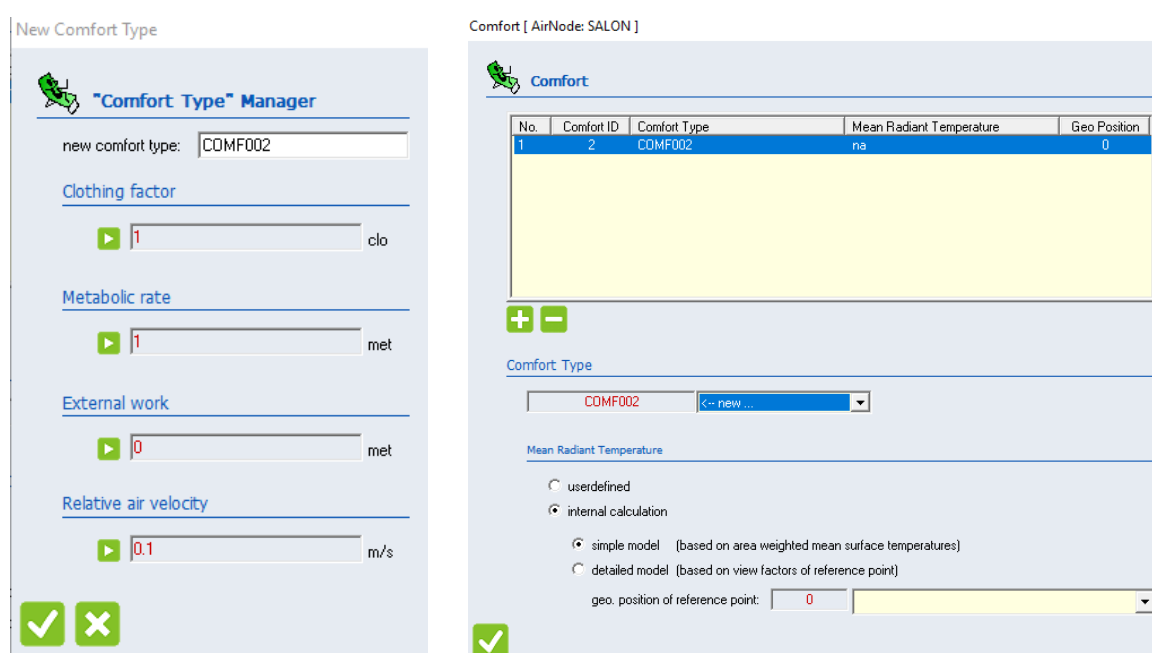


Ilustración 112. Confort del proyecto en TRNSYS

Uno de los últimos pasos para terminar de configurar el salón es introducir los **datos iniciales** de la sala, los cuales son los de la ilustración 113:

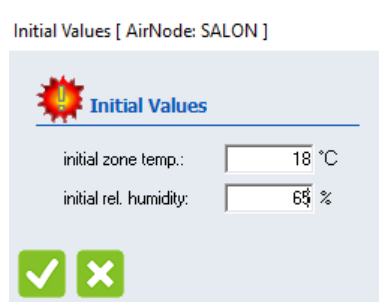


Ilustración 113. Valores iniciales del proyecto en TRNSYS



En este proyecto para simplificar las cosas se utilizará **el modelo de humedad simple** (ilustración 114), ya que no tenemos datos suficientes para rellenar el modelo complejo.

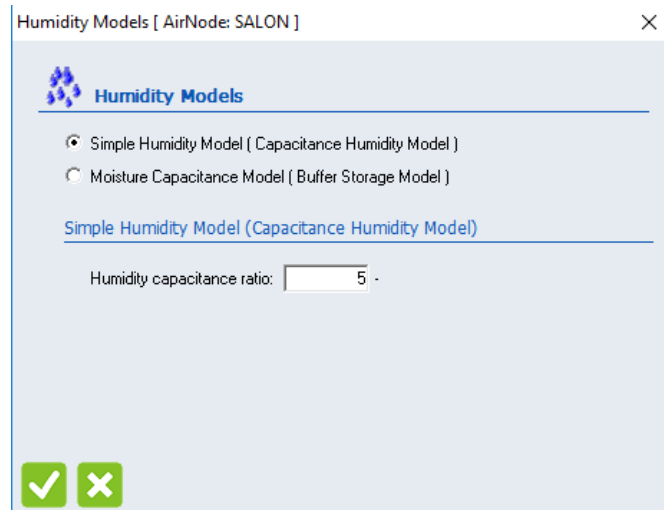


Ilustración 114. Modelos de humedad del proyecto en TRNSYS

El último dato que nos pide el programa es la **interacción** entre salas contiguas. En nuestra simulación supondremos que el salón está comunicado tanto con el pasillo como con la cocina, teniendo los flujos de aire indicados en la ilustración 115:

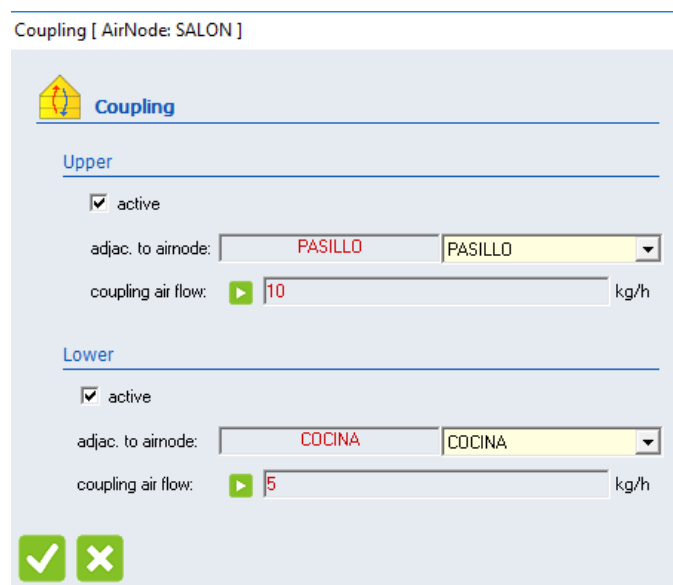


Ilustración 115. Interacción entre salas del proyecto en TRNSYS

Con estos datos habríamos terminado de configurar el salón y sería necesario hacer lo mismo para el resto de salas. Como ya comentamos anteriormente el proceso para todas es similar al realizado para el salón por lo que no lo mostraremos en el proyecto.



2.4.2.3. Resultados del proyecto

Una vez introducidos los datos de flujos de aire y temperatura de todas las salas de la vivienda el programa realiza sus cálculos y nos da varias posibilidades de resultados.

Antes de generar ningún informe debemos indicarle al programa las “*outputs*” que deseamos visualizar. Para esto se nos abre una pestaña en la que podemos elegir el nodo y las características a presentar. En nuestro caso hemos elegido la configuración de la ilustración 116:

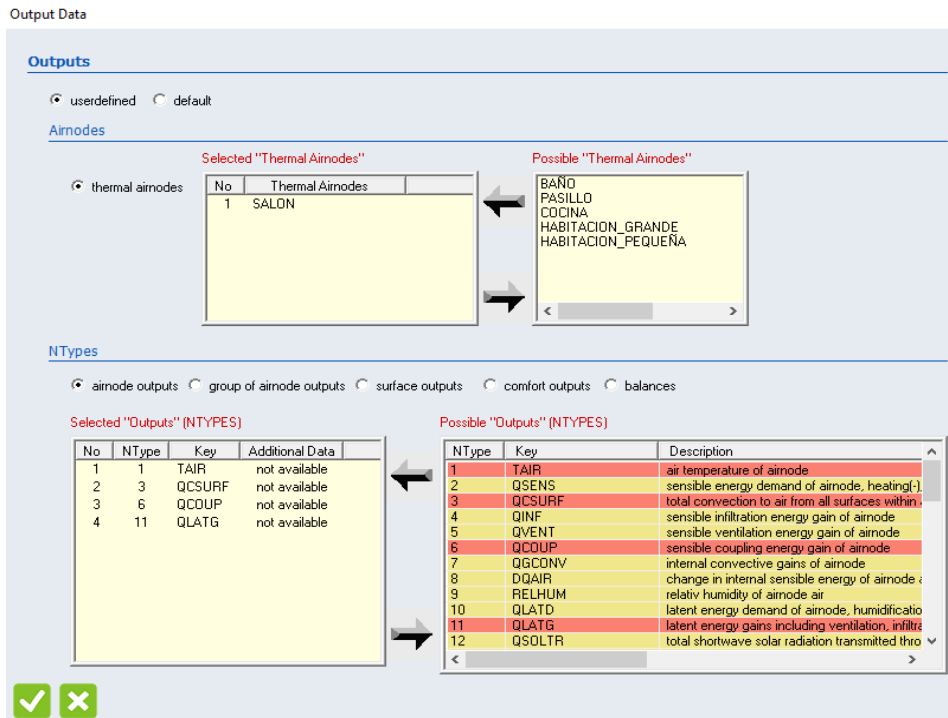


Ilustración 116. Salidas del proyecto en TRNSYS

Como podemos ver en la imagen tenemos la posibilidad de ver los resultados energéticos de una sola sala o del conjunto de la vivienda. En lo que se refiere a los datos representados son muchas las opciones que podemos elegir.

Una vez terminado esto basta con ir a la pestaña de “*generate*” y se nos da las siguientes posibilidades de archivos que generar:

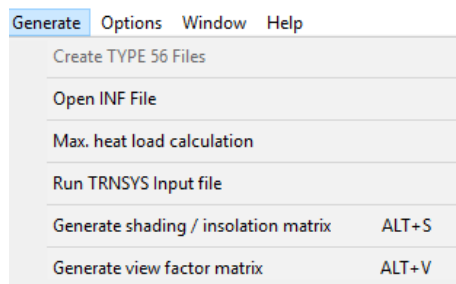


Ilustración 117. Informes del proyecto en TRNSYS



El primer archivo que podemos generar es un **documento de texto** con el formato .txt el cual para nuestro proyecto es el siguiente:



INF file.txt

La siguiente opción que tenemos es el cálculo de la **máxima carga calorífica**, mediante la cual el programa nos crea un fichero del mismo formato que el proyecto (.p). Con la versión de prueba gratuita del software nos permite generar el documento pero no visualizarlo.

El siguiente informe que podemos generar es la **matriz de insolación/sombra** la cual tiene un formato .log. En nuestra vivienda el informe es el siguiente:



p_shd.log

Por último el programa nos da la opción de crear la **matriz del factor de vista** la cual también tiene formato .log. En nuestro caso es la siguiente:



p_vfm.log

Estos serían los documentos que podríamos visualizar en formato texto con cualquier programa que abra versiones .txt, sin embargo para generarlos el software crea otros archivos con distintos formatos que por la versión que tenemos no podemos abrir. En la siguiente imagen podemos ver los archivos generados para un proyecto tan simple como el de una vivienda familiar:

INF file	21/02/2018 17:10	Documento de tex...	36 KB
p.bld	21/02/2018 17:16	Archivo BLD	11 KB
p	21/02/2018 17:16	Información sobre...	43 KB
p.trn	21/02/2018 17:16	Archivo TRN	1 KB
p.vfm	21/02/2018 17:22	Archivo VFM	1 KB
p_maxheatload	21/02/2018 17:11	TRNBuild Building...	33 KB
p_maxheatload.bld	21/02/2018 17:11	Archivo BLD	13 KB
p_maxheatload.d17	21/02/2018 17:11	Archivo D17	3 KB
p_maxheatload	21/02/2018 17:11	Información sobre...	41 KB
p_maxheatload.trn	21/02/2018 17:11	Archivo TRN	1 KB
p_shd	21/02/2018 17:20	Documento de tex...	2 KB
p_vfm	21/02/2018 17:22	Documento de tex...	1 KB
proyecto	21/02/2018 17:11	TRNBuild Building...	33 KB

Con esto habríamos completado el proyecto de simulación en TRNSYS pudiendo sacar la conclusión de que no es un programa especializado para el cálculo de micro redes, pero que sin embargo puede ser de gran ayuda para el cálculo dinámico del gasto energético desde una vivienda hasta un bloque de casas.



2.5. INTRODUCCION A DigSILENT

El tercer programa con el que vamos a trabajar en nuestro proyecto se trata del DigSILENT Power Factory. Este programa al igual que ocurría con el TRNSYS no es un programa especializado para el diseño de micro redes, sino que es un software mucho más abierto que permite el cálculo de cualquier sistema eléctrico de potencia. El motivo de elegir este programa reside en que es uno de los más utilizados en el sector del diseño de redes, ya que el estudio de la potencia demandada juega un papel crucial en cualquier proyecto de este ámbito.

Para su instalación hacemos una búsqueda general por la web y encontramos numerosas páginas que nos proporcionan enlaces para su instalación. En nuestro caso a partir del siguiente enlace: <https://es.freownloadmanager.org/Windows-PC/DigSILENT-PowerFactory.html> hemos instalado la versión del programa 15.1 ya que con ella nos valdrá para aprender a utilizar dicho programa correctamente. Una vez instalado todo pasamos a ejecutar el programa como administrador y se nos presenta la pantalla de inicio de la ilustración 118:

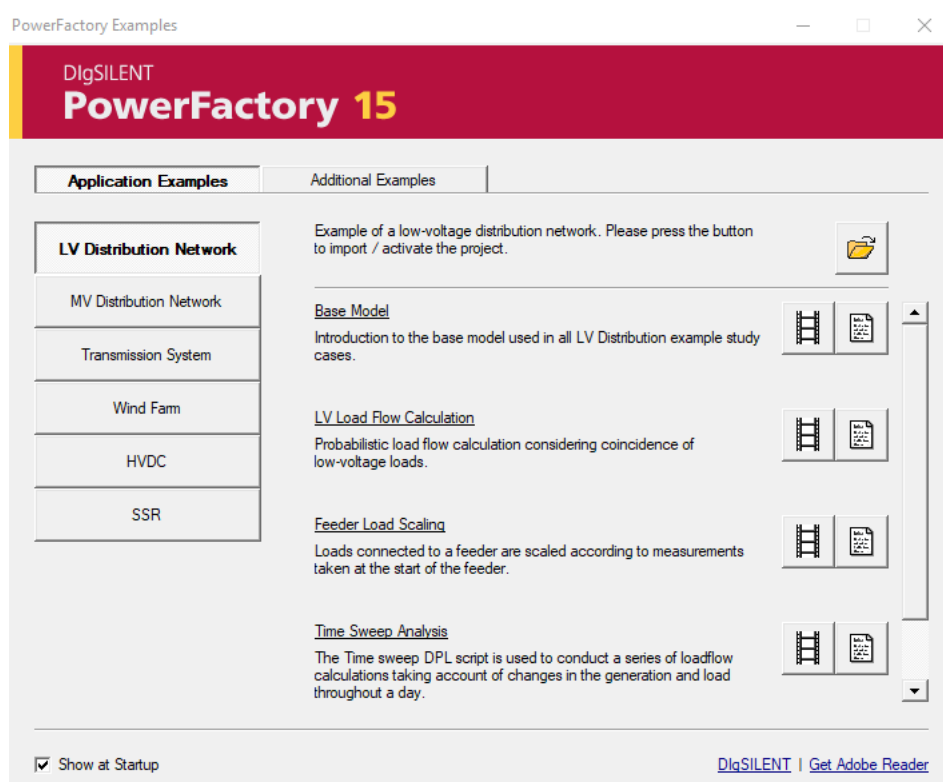


Ilustración 118. Ejemplos de DigSILENT

En este primer menú tenemos la posibilidad de ver numerosos ejemplos de líneas de potencia tanto en video como una explicación escrita (todo ello en inglés). Esto nos será de gran ayuda a la hora de poder hacernos una idea del abanico de posibilidades que proporciona el programa y el entorno con el que nos encontraremos.



A continuación veremos los esquemas de algunos de los ejemplos que nos proporciona el programa (ilustraciones 119, 120, 121, 122). En este primer ejemplo se trata de una red de baja tensión y el proyecto en concreto trata de calcular la distribución de cargas que habrá en ella.

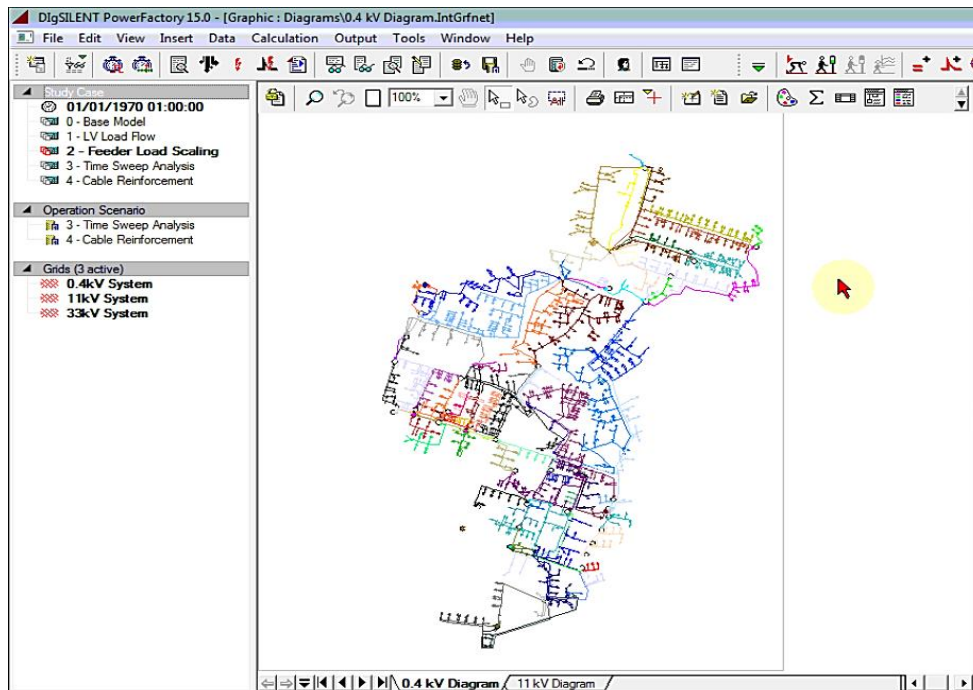


Ilustración 119. Ejemplo 1 de digSILENT

El segundo ejemplo que mostraremos será el que nos proporciona el programa para una planta de 6 aerogeneradores de 15MW conectados a una red de 20KV:

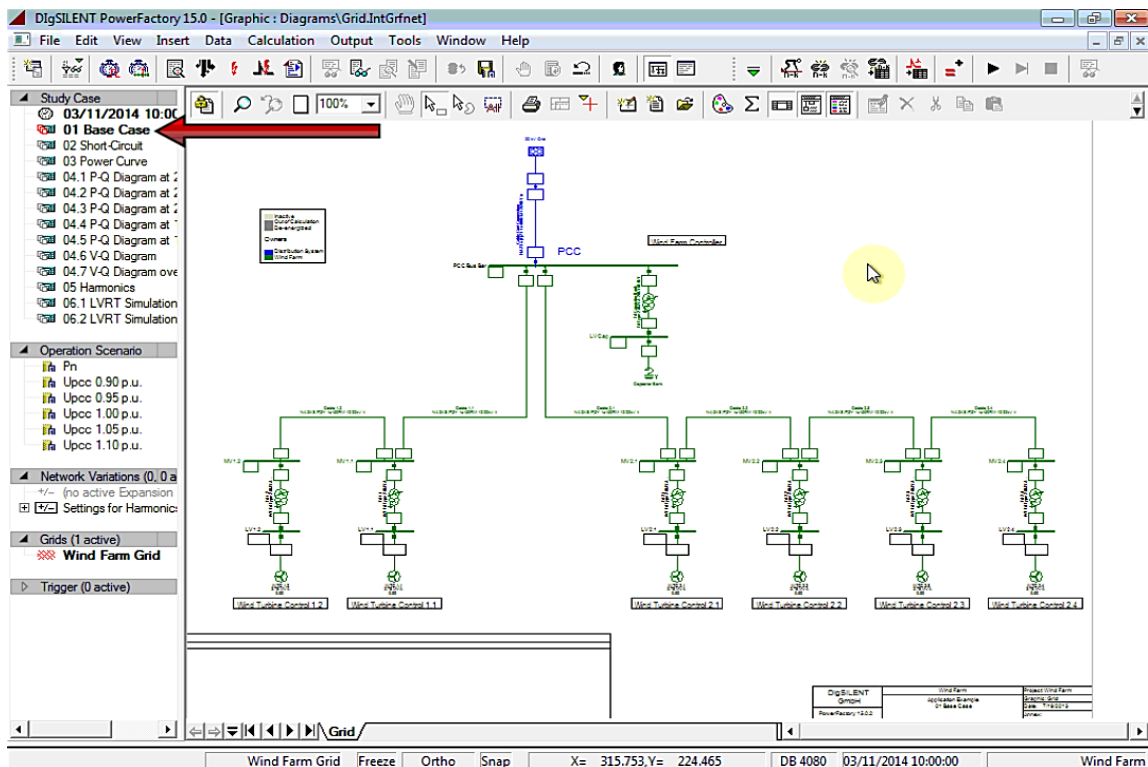


Ilustración 120. Ejemplo 2 de digSILENT



El tercer ejemplo que comentaremos será para una red de medio voltaje en la que queremos optimizar la distribución de las posiciones de los transformadores en torno al perfil del voltaje. En la siguiente imagen se muestra la red utilizada, pero si lo que queremos es realizar una optimización lo principal será utilizar las herramientas que nos proporciona el programa para ver y graficar los resultados, de manera que hagamos el montaje óptimo.

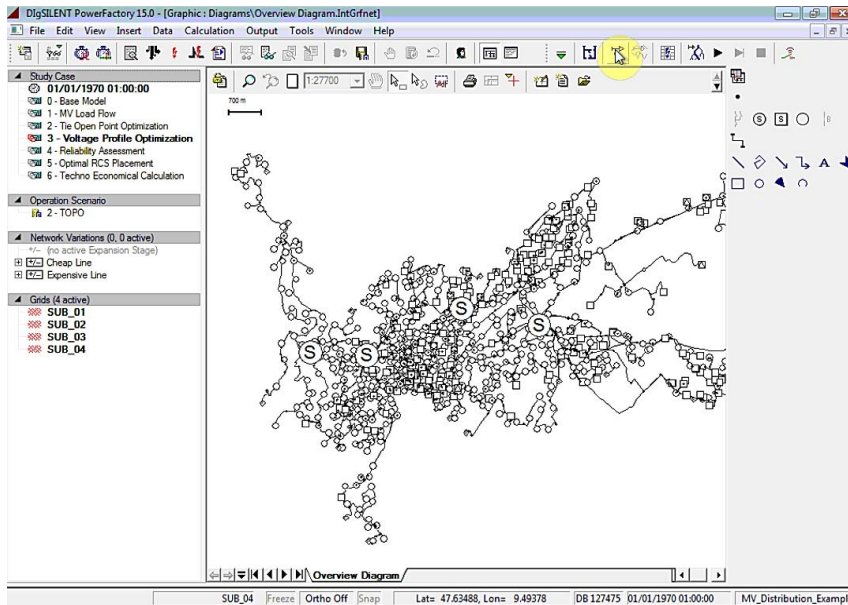


Ilustración 121. Ejemplo 3 de digSILENT

El último ejemplo que comentaremos será el de un sistema de transmisión trifásico de 225/90 kV. Como en el resto de ejemplos son muchas las cosas que nos permite estudiar respecto a la red de ejemplo, como pueden ser: análisis de la estabilidad de los transitorios, análisis de las cargas, análisis de modo, etc. El esquema utilizado en este ejemplo es el siguiente:

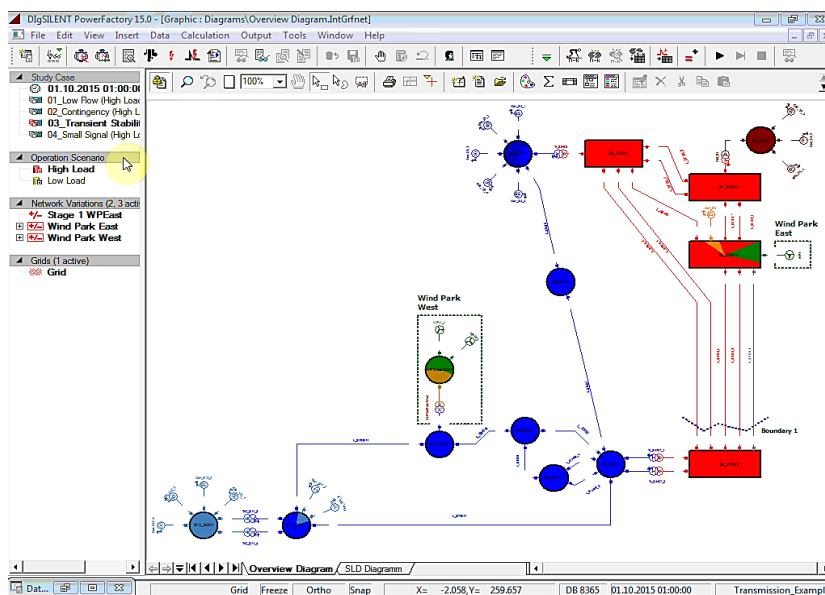


Ilustración 122. Ejemplo 4 de digSILENT



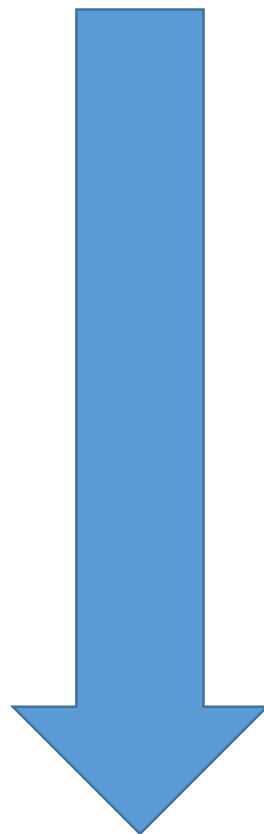
2.5.1. Inicialización

Al empezar a trabajar con este programa podemos ver rápidamente la complejidad y sinfín de posibilidades que tiene. Por este motivo y puesto que en nuestro proyecto no pretendemos especializarnos en dicho software vamos a utilizar un modelo de ejemplo para la introducción en digSILENT. Se utilizará el modelo de la granja de viento con 6 aerogeneradores, ya que es el que más nos puede dar una idea de una instalación encaminada al estudio de micro redes que integren fuentes de generación renovable.

En el caso de que quisiésemos hacer un proyecto propio como en el resto de software, los primeros pasos a realizar serían:

1. File, new file. Creamos nuestro proyecto.
2. Datos personales. Damos título al proyecto y podemos introducir algunos datos sobre el autor.
3. Cambios en los ajustes. Este programa en concreto nos da la posibilidad de cambiar algunos ajustes antes de comenzar con el proyecto. Para ello podemos coger los ajustes de otro proyecto o crear unos nuevos.
4. Empezar a diseñar nuestra red.

En nuestro caso puesto que vamos a trabajar con un proyecto ya existente el programa nos da la red directamente creada. La siguiente ilustración (número 123) la pondremos en posición horizontal para facilitar que se puedan ver todos los elementos de la red que hemos elegido.



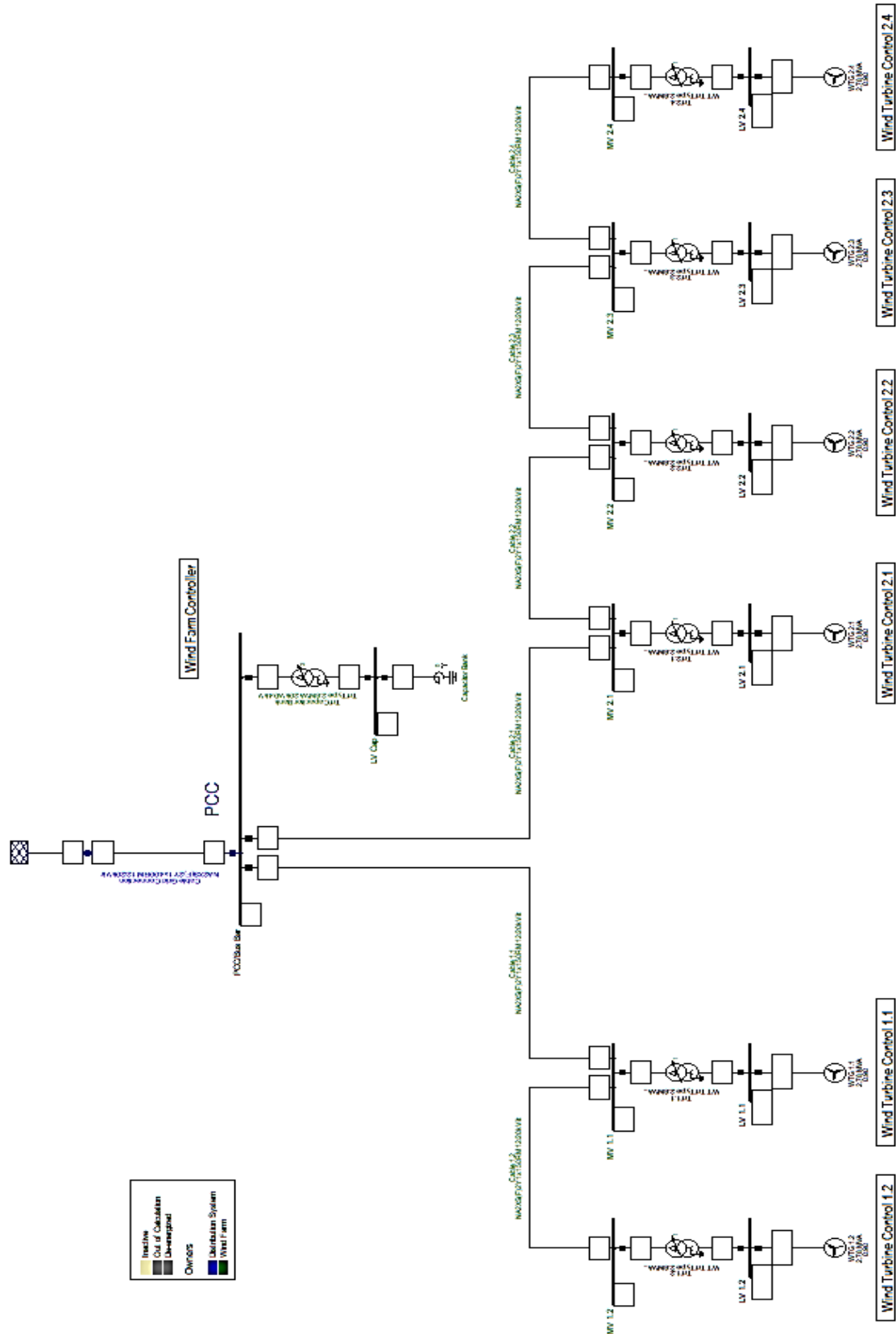


Ilustración 123. Ejemplo de granja de viento en digSILENT



2.5.2. Elementos utilizados

Como se puede observar en la imagen superior el programa es prácticamente un entorno gráfico que nos permite la realización de esquemas mediante la conexión de los distintos componentes de nuestra red. En el caso del esquema anterior los elementos introducidos son los siguientes:

Bloque generador (ilustración 124). En nuestro proyecto introducimos 6 aerogeneradores iguales con las siguientes características:

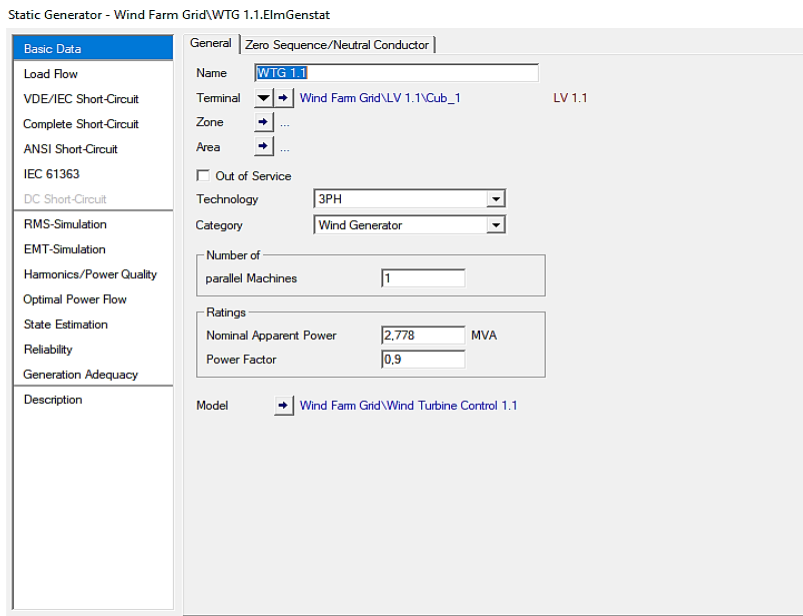


Ilustración 124. Generador del ejemplo en digSILENT

Transformador (ilustración 125). En este ejemplo se utilizará un transformador de devanado para cada aerogenerador, además de un transformador del mismo tipo para el banco de condensadores que controlarán la potencia reactiva del conjunto. Sus características son las siguientes:

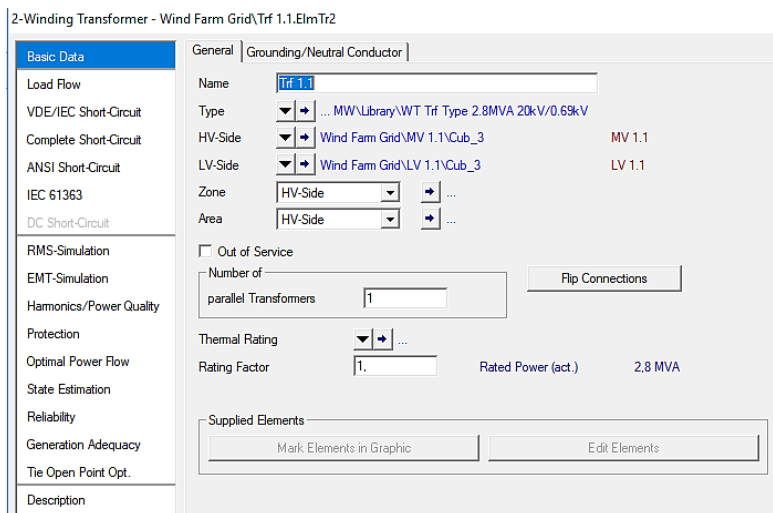


Ilustración 125. Transformador del ejemplo en digSILENT



Red externa (ilustración 126). Como en casi todos los proyectos de micro redes el sistema de aerogeneradores cuenta con una red externa para el mantenimiento de la frecuencia y la tensión de la red. En este caso la red tiene las siguientes características:

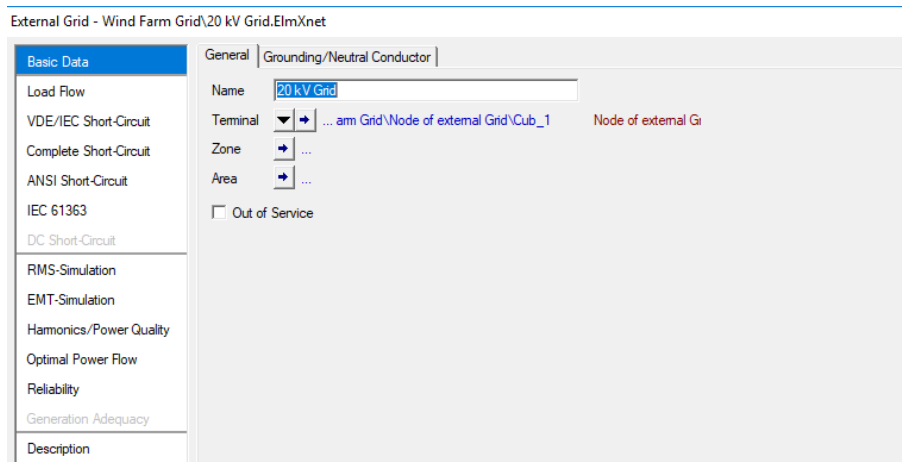


Ilustración 126. Red externa del ejemplo en digSILENT

Banco de condensadores (ilustración 127). En nuestro ejemplo contaremos con un banco de condensadores que controle la potencia reactiva intercambiada con la red para evitar penalizaciones monetarias. Además funcionará como un filtro R-L-C para la red.

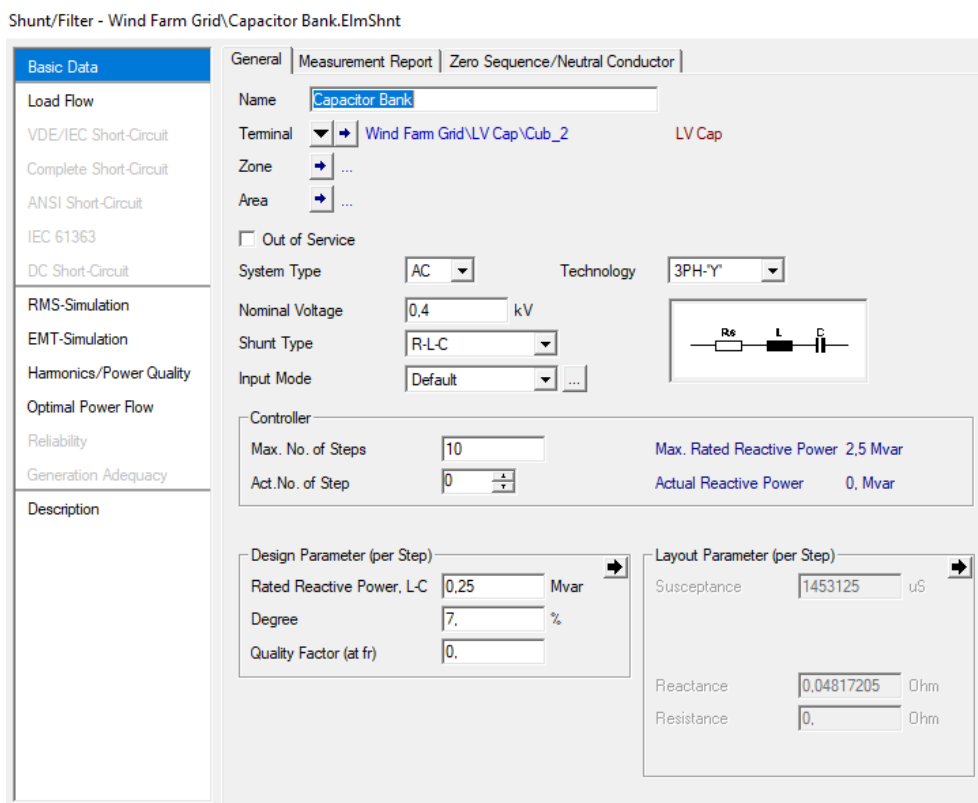


Ilustración 127. Banco de condensadores del ejemplo en digSILENT



Líneas de la red (ilustraciones 128). Para el conjunto de generadores contaremos con dos tipos de línea de diferentes características dependiendo si estamos en la parte de la red general o en la parte de nuestra red. Sus características son las siguientes:

The image shows two screenshots of the digSILENT software interface for configuring cables. The top window, titled 'Line - Wind Farm Grid\Cable Grid Connection.ElmLine', shows the configuration for 'Cable Grid Connection'. The bottom window, titled 'Line - Wind Farm Grid\Cable 2.1.ElmLine', shows the configuration for 'Cable 2.1'. Blue callouts highlight specific parts of the interface: 'Parte de red general' points to the 'Resulting Values' table in the top window, and 'Parte de red interna' points to the 'Length of Line' field in the bottom window.

Parameter	Value
Rated Current (act.)	0.565 kA
Pos. Seq. Impedance, Z1	0.03915985 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	58.60456 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	0.0204 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	0.03342654 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	0.112 Ohm
Zero Seq. Reactance, X0	0.0372 Ohm
Earth-Fault Current, Ice	0.7979266 A
Earth Factor, Magnitude	0.7803715
Earth Factor, Angle	-56.24559 deg

Parameter	Value
Rated Current (act.)	0.32 kA
Pos. Seq. Impedance, Z1	0.7315068 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	30.07877 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	0.633 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	0.366624 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	2.541 Ohm
Zero Seq. Reactance, X0	0.891 Ohm
Earth-Fault Current, Ice	8.279631 A
Earth Factor, Magnitude	0.9016757
Earth Factor, Angle	-14.71157 deg

Ilustración 128. Cables del ejemplo en digSILENT

Terminales (ilustraciones 129). Estos elementos nos sirven de separadores entre las distintas partes del esquema en función del voltaje al que trabaja cada parte.

The image shows two screenshots of the digSILENT software interface for configuring terminals. The left window, titled 'Terminal - Wind Farm Grid\LV 2.1.ElmTerm', shows the configuration for 'LV 2.1'. The right window, titled 'Terminal - Wind Farm Grid\MV 2.1.ElmTerm', shows the configuration for 'MV 2.1'. Both windows show the 'Nominal Voltage' section with 'Line-Line' and 'Line-Ground' values.

Line-Line	Line-Ground
0.69 kV	0.3983717 kV

Line-Line	Line-Ground
20 kV	11.54701 kV

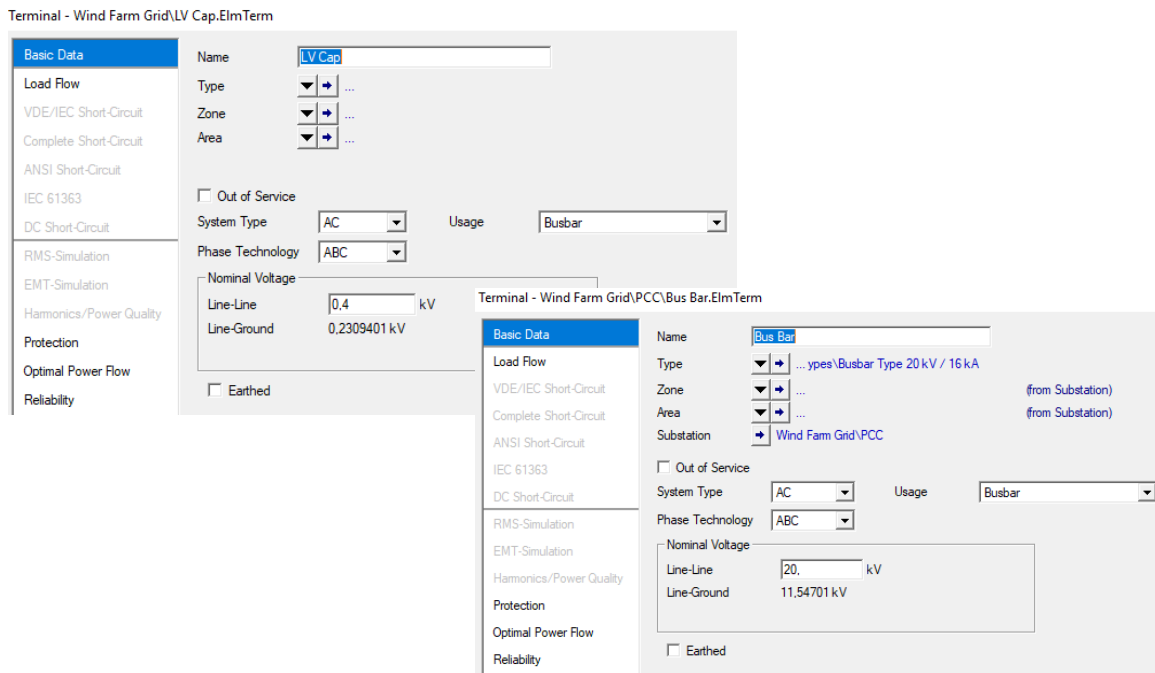


Ilustración 129. Terminales del ejemplo en digSILENT

2.5.3. Datos

Una vez hemos comentado todo lo correspondiente al esquema de nuestra granja de viento el siguiente punto que vamos a estudiar será el de los datos correspondientes a nuestra red de producción renovable.

En el programa de digSILENT son muchas las opciones que podemos configurar en lo que a los datos se refiere, estando todas enmarcadas en el desplegable “data” de la barra de herramientas. A continuación podemos ver dichas opciones:

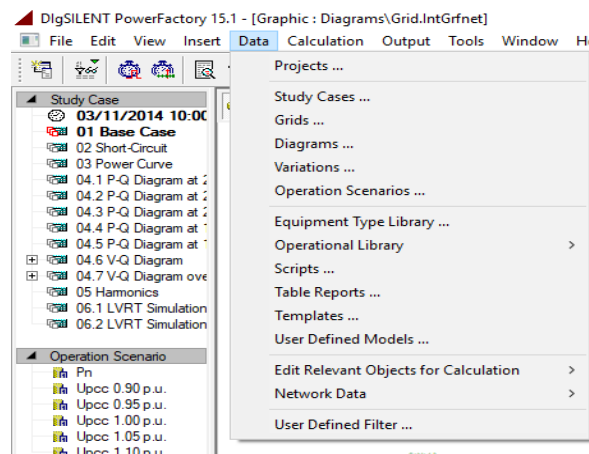


Ilustración 130. Datos del ejemplo en digSILENT

Las opciones que nos permite configurar el software son muy complejas, lo cual sería necesario rellenar en el caso de que estuviésemos realizando un proyecto real, el cual tendría dedicadas miles de horas de estudio previo. En nuestro caso puesto que



solamente queremos hacer una breve introducción al programa comentaremos los principales parámetros de los mostrados anteriormente:

Casos de estudio (ilustración 131). En primer lugar podemos configurar los casos que vamos a estudiar de la red, y dentro de cada uno de ellos podemos realizar diversos cálculos en función de los resultados de salida que queramos obtener, lo cual veremos en el siguiente punto (2.5.4. Resultados). En nuestro ejemplo los casos de estudio son los siguientes:

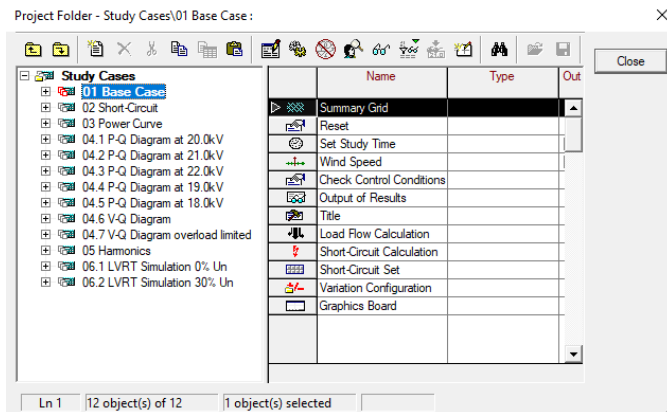


Ilustración 131. Casos de estudio del ejemplo en digSILENT

Red. Este punto para el ejemplo comentado no tiene especial interés puesto que solo contamos con la red de la granja de viento la cual funcionará en todo momento a 50Hz.

Diagramas (ilustración 132). Esta opción nos permitirá configurar los diagramas que queremos que el programa calcule para nuestro caso de estudio. En el ejemplo se quieren generar 5 diagramas P-Q para distintos factores de potencia utilizados.

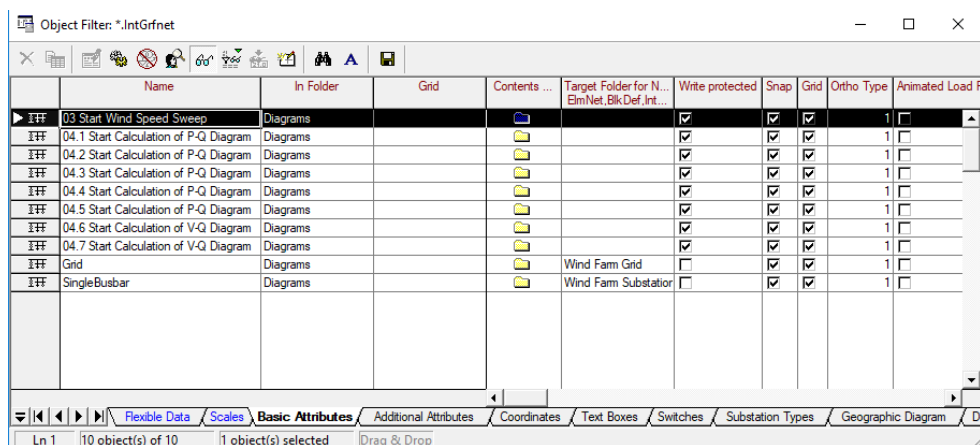


Ilustración 132. Diagramas del ejemplo en digSILENT

Variaciones. Esta opción nos permite configurar diversos ajustes para el estudio de los armónicos.



Escenarios de operación (ilustración 133). Con esta herramienta podemos realizar cálculos con diversos factores de potencia (dependiendo si queremos que sea más inductivo o capacitivo). Para nuestro ejemplo estos son los escenarios de operación elegidos:

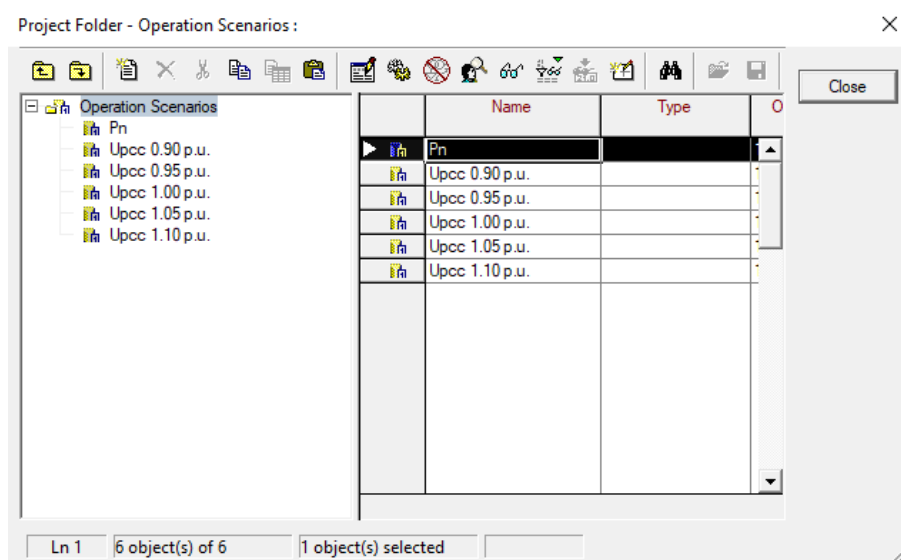


Ilustración 133. Escenarios de operación del ejemplo en digSILENT

Librerías (ilustración 134). El software con el que estamos trabajando como ya hemos comentado anteriormente tiene gran complejidad y multitud de opciones a configurar. Esto podemos comprobarlo por ejemplo con el sinfín de librerías que nos permite cargar para nuestra red. Lo primero que podemos elegir son las librerías de los tipos de equipamiento, teniendo las siguientes opciones:

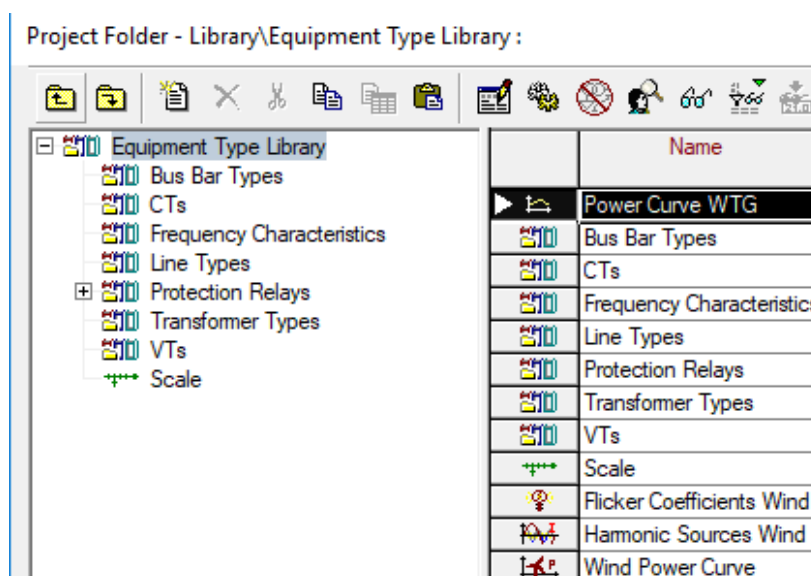


Ilustración 134. Librerías del equipamiento del ejemplo en digSILENT



El resto de librerías que podemos configurar son las de operación teniendo el siguiente menú desplegable:

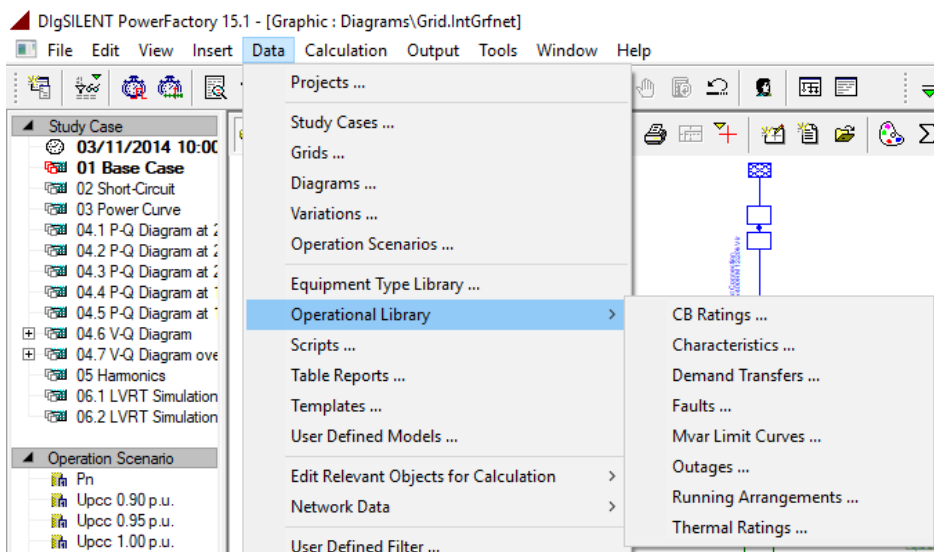


Ilustración 135. Librerías de operación del ejemplo en digSILENT

Como podemos ver en la imagen anterior dentro de estas librerías son muchos los parámetros que podemos configurar, siendo algunos de ellos: características, fallos, transferencia de la demanda, curvas límite de potencia reactiva, salidas, parámetros térmicos, ejecución de arreglos, etc.

Salidas. El resto de parámetros a configurar dentro de los datos se refieren a diversos parámetros para las salidas que deseemos obtener, algunos son: tabla de resultados, capturas, plantillas, modelos definidos, datos de la red, objetos relevantes para el cálculo, filtros, etc.

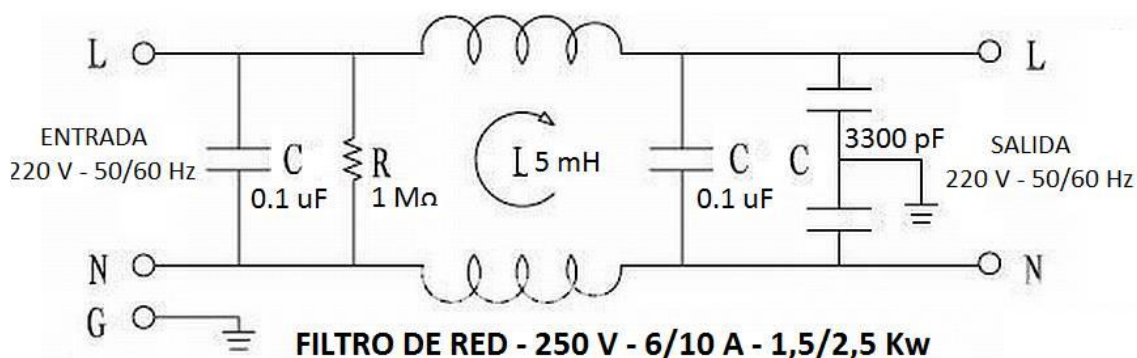


Ilustración 136. Ejemplo de un filtro de red



2.5.4. Cálculos

En lo que se refiere a los cálculos que podemos generar tenemos un amplio abanico de opciones que nos da el software como se muestra en el menú de la ilustración 137:

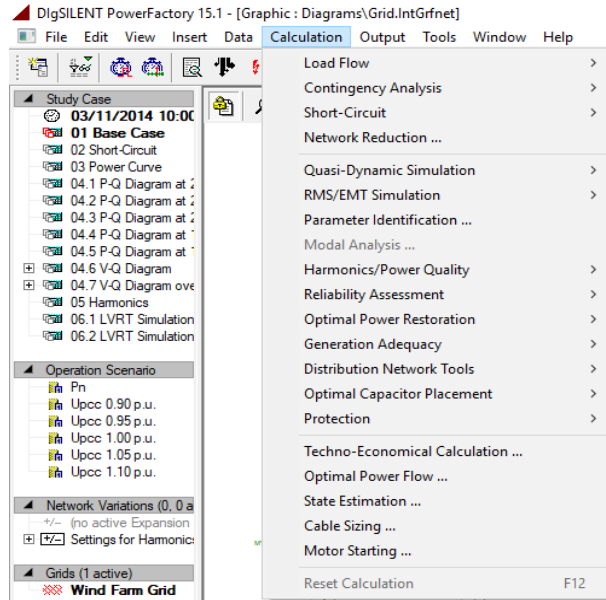


Ilustración 137. Cálculos del ejemplo en digSILENT

Podemos ver que para nuestro proyecto se pueden calcular los siguientes factores: flujo de carga (dentro de este podemos configurar diversas sensibilidades), análisis de contingencia, análisis de cortocircuito, reducción de red, simulación dinámica, calidad de armónicos y de potencia, configuración óptima de potencia, adecuación de la generación, mejor ubicación del banco de condensadores, estimación de estados, protecciones, arranque de motores, etc.

Por ejemplo para el cálculo del flujo de carga se nos presenta el siguiente menú:

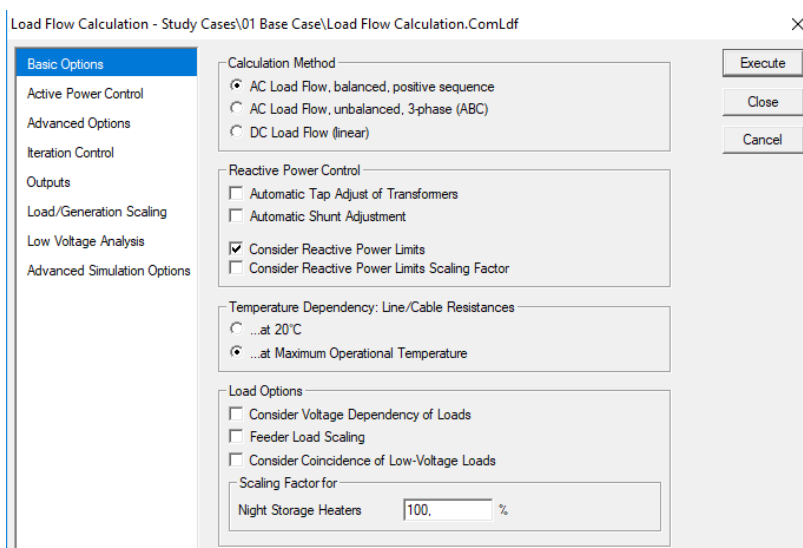


Ilustración 138. Flujo de carga del ejemplo en digSILENT



Como se observa en la imagen anterior ese simplemente es el menú de parámetros básicos a configurar, pero para poder hacer un proyecto completo deberíamos rellenarlos todos, siendo los siguientes: control de potencia activa, opciones avanzadas, control de iteración (esto se refiere al método que utiliza el software para los cálculos), opciones avanzadas de simulación, análisis de caídas de voltajes, salidas y escalada de consumo/generación.

El cálculo de la carga es solo un ejemplo de uno de los cálculos posibles, pero no quiere decir que el resto de opciones tengan los mismos datos a rellenar. Por ejemplo para el cálculo de las protecciones las opciones del programa son las de la ilustración 139:

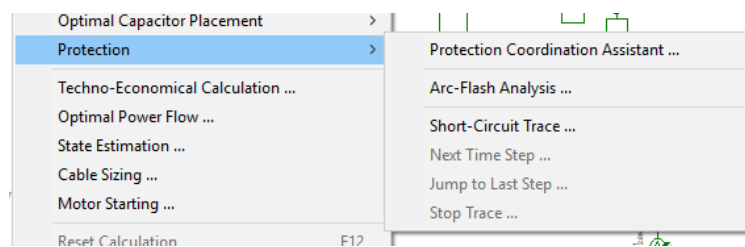


Ilustración 139. Protecciones del ejemplo en digSILENT

Si por ejemplo clicamos en el menú del análisis de arcos eléctricos las opciones en base a la norma utilizada son las siguientes:

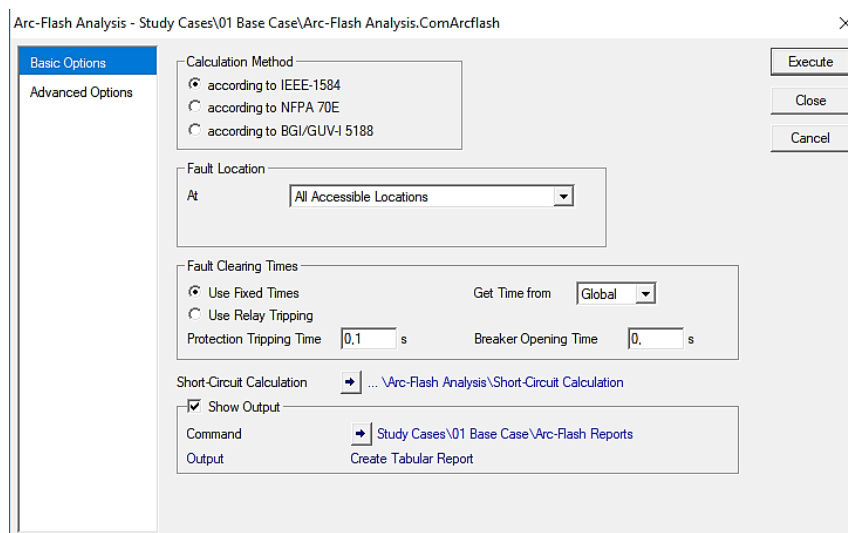


Ilustración 140. Análisis de arco eléctrico del ejemplo en digSILENT

Una vez hayamos configurado cada uno de los parámetros del cálculo que deseamos realizar simplemente debemos darle al botón de “execute” para que el programa empiece a calcular. La sorpresa que nos llevamos al hacerlo es que debido a que es una versión de prueba para estudiantes nuestro software no nos permite ejecutar los cálculos y nos muestra el siguiente error:

DIGSI/wrng - function 'Protection Calculation' not included in user licence!

2.5.5. Salidas

La última de las opciones a comentar (además de algunas visuales del espacio de trabajo como pueden ser: herramientas, vista o ventana, las cuales no comentaremos) serán las salidas que queremos generar sobre nuestra red. Por tanto este será el resultado final del proyecto en el cual podremos ver la viabilidad de los cálculos realizados, gráficos de los parámetros de funcionamiento, viabilidad de la potencia, armónicos de trabajo, etc.

Como ya comentamos anteriormente los cálculos realizados solamente tenían el objetivo de permitirnos realizar los informes de salida de los parámetros deseados, por lo que el menú desplegable es el de la ilustración 141:

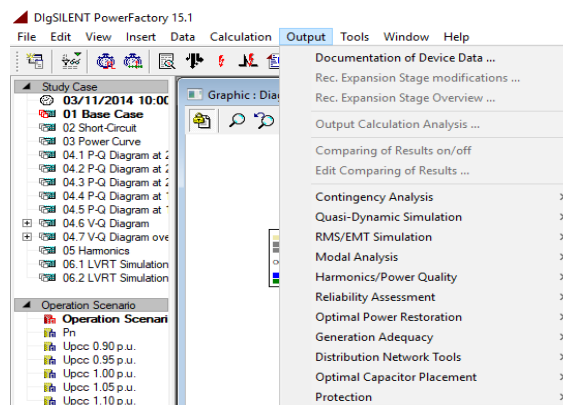


Ilustración 141. Salidas del ejemplo en digSILENT

Al entrar en este menú nos encontramos que debido a que la versión que tenemos, no nos permite ejecutar los cálculos del punto anterior. Prácticamente todas las opciones aparecen en gris, lo cual significa que no hay datos a los que acceder. Por este motivo en el caso de este software no realizaremos el apartado de simulación, ya que no podríamos calcular ningún parámetro de la micro red.

La única herramienta a la que podemos acceder es la documentación de los datos del dispositivo (ilustración 142). Este tiene la siguiente ventana emergente que nos permite elegir las variables que queremos obtener en el informe de salida, pero que nos vuelve a dar el mismo error ya comentado:

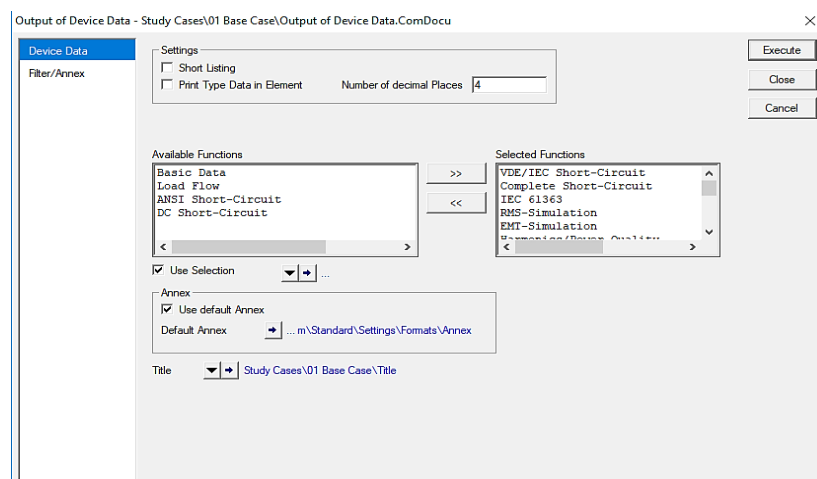


Ilustración 142.
Documentación del dispositivo
del ejemplo en digSILENT



3. SIMULACIÓN DE UNA MICRO RED CON EL SOFTWARE DE SIMULINK

Para finalizar el proyecto sobre micro redes vamos a realizar la simulación real de una micro red a partir del software de Simulink, incluido dentro del programa de Matlab. En este software tenemos miles de posibilidades para la creación de una micro red inteligente a partir de los bloques del programa y de los ejemplos incluidos en dicho software.

En esta ocasión no seguiremos el mismo procedimiento que en el resto de software utilizados, ya que se supone que casi todos los ingenieros conocen el programa que vamos a usar. Además no tiene mucho sentido dedicar tiempo a explicar el funcionamiento del programa ya que básicamente es un entorno gráfico que nos permite la conexión de elementos de la librería del programa para la posterior simulación del conjunto.

En lo que se refiere a la instalación del programa solamente será necesario acceder a la página oficial de Mathworks y en ella a la parte de instalación de Matlab. Este es un software de pago por lo que será necesario contactar con nuestro centro de estudios para que nos proporcione las claves necesarias para la instalación. Una vez descargado el programa y completados todos los datos sobre la licencia ya directamente podremos arrancar Matlab.

En nuestro caso hemos decidido instalar la versión de Matlab R2016a. El programa de Simulink es una de las toolbox que ofrece el programa, por lo que solamente tenemos que darle a la siguiente pestaña y ya podremos crear un proyecto:



Una vez arrancado el programa de Simulink se nos abre la siguiente pestaña de inicio:

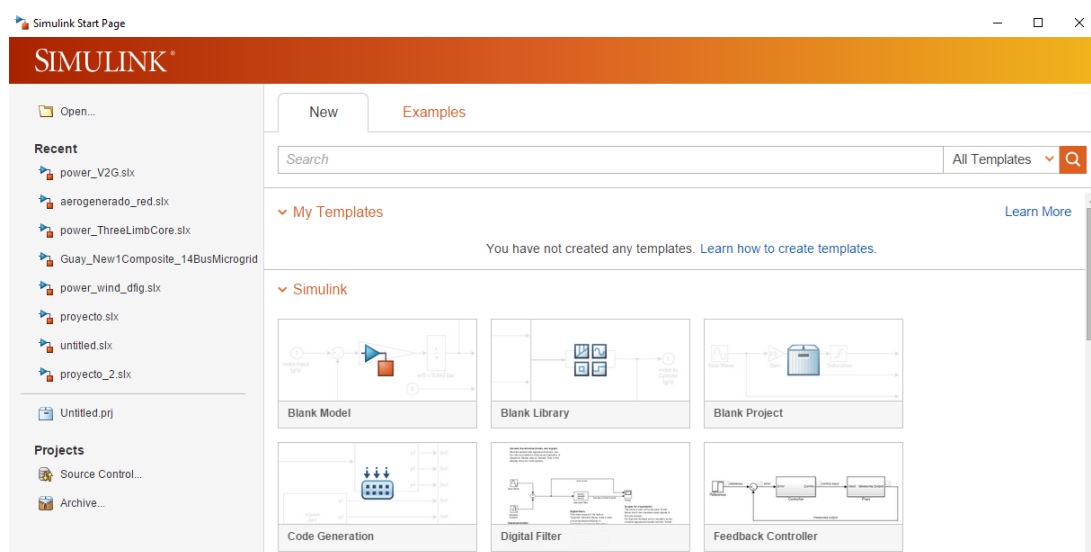


Ilustración 143. Pestaña inicial de Simulink



Para la realización de nuestro proyecto seleccionaremos un modelo en blanco presentándose el entorno de trabajo de la ilustración 144:

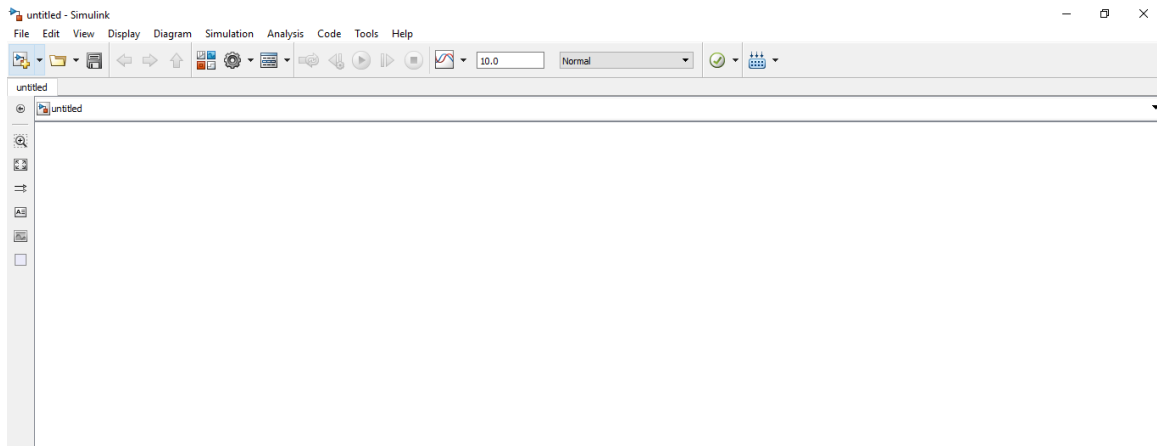


Ilustración 144. Modelo en blanco en Simulink

Como se puede ver, simplemente aparece un espacio de trabajo en el cual podemos añadir componentes para su posterior conexión en forma de esquema. Esta es una de las grandes ventajas del programa ya que su utilización es bastante intuitiva y gráfica.

Son varias las opciones que nos da el programa para la realización y simulación de nuestra red, pero ya iremos explicándolas poco a poco a medida que realicemos las distintas simulaciones. Antes de comenzar a realizar el proyecto de la micro red en sí consultaremos los distintos ejemplos que nos proporciona el software sobre energías renovables. Para ello nos iremos a la librería de Simulink a partir de la opción de la ilustración 145:

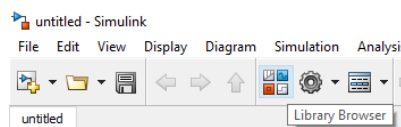


Ilustración 145. Librería de Simulink

Dentro del menú que se nos presenta nos iremos a Simscape y dentro de el a specialized Technology, renewables y energy renewables examples.

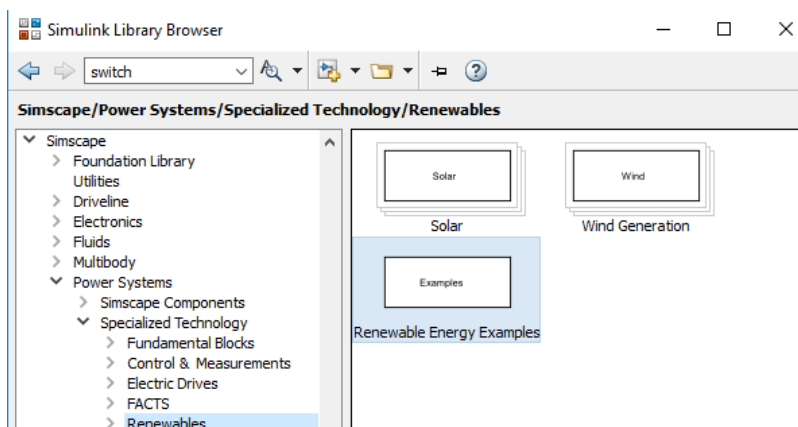


Ilustración 146. Ejemplos de Simulink



Una vez hagamos clic en el menú de ejemplos Simulink directamente nos redirige a su ayuda (*help*) en la que podemos encontrar miles de ejemplos del programa. En nuestro caso nos vamos a la parte de renovables en la que encontramos 15 ejemplos de redes con integración de generación renovable. El entorno es el de la ilustración 147:

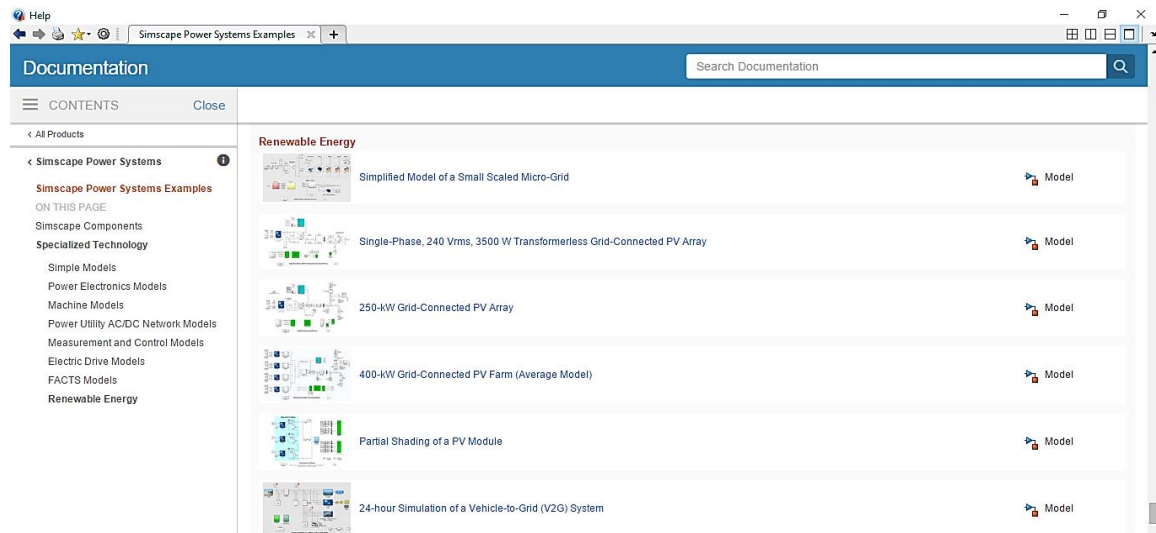


Ilustración 147. Ejemplos de renovables en Simulink

Antes de comenzar el proyecto estudiaremos y simularemos todos estos ejemplos. Para ello le damos al botón de “*model*” y se nos abre dicho ejemplo en el programa de Simulink. Esto nos será de gran ayuda ya que la construcción de un modelo completo puede llevarnos varios meses debido a la gran complejidad que supone la creación de cada bloque, por lo que a partir de estos ejemplos podremos abreviar un poco la simulación de la micro red.

Un detalle importante que debemos tener en cuenta es la forma en que vamos a realizar la simulación, ya que para la red queremos estudiar su funcionamiento durante las 24h del día, por lo que la forma de simulación debe ser fasorial. Esto nos limita bastante los ejemplos que podemos utilizar para nuestro proyecto teniendo solo 3 ejemplos de Simulink que utilicen dicho modelo.

Debido a la complejidad que tiene la simulación completa de una micro red vamos a dividir el proyecto en varios sub-esquemas comprobando el funcionamiento de cada una de las partes que lo integrarán para finalmente montar el conjunto.

Las partes que simularemos serán las siguientes:

- Aerogenerador + red general.
- Paneles solares + red general.
- Batería + red general.
- V2G + red general.
- Generador diésel + red general.
- Aerogeneradores + paneles solares + batería + V2G + red general + cargas.



3.1- Simulación de aerogenerador + red general

En primer lugar para la realización de nuestro proyecto vamos a simular solamente el elemento de generación renovable correspondiente a la energía eólica unido a la red general de distribución que será la encargada de mantener la tensión y frecuencia de la micro red.

Para ello abrimos un modelo en blanco de Simulink y comenzamos con la realización del esquema de esta parte. En primer lugar configuraremos la parte del aerogenerador que es la de la ilustración 148:

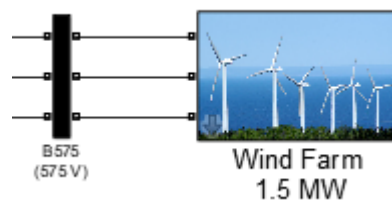


Ilustración 148. Aerogenerador en Simulink

En nuestro caso hemos elegido un aerogenerador de una potencia total de 1.5MW el cual tendrá una salida a 575V que debemos transformar posteriormente para su conexión a la red general.

Dentro del bloque de la granja de viento tenemos el subsistema de la ilustración 149:

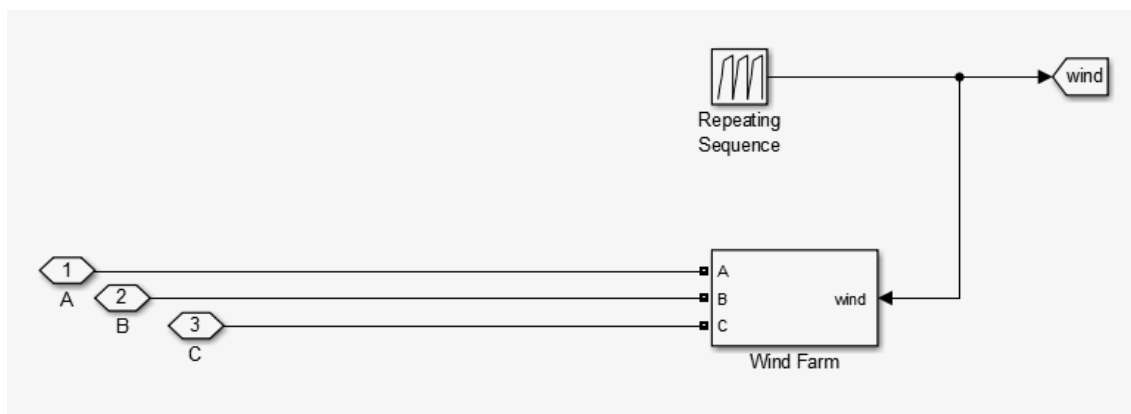


Ilustración 149. Subsistema del aerogenerador

Dentro de esta parte tenemos el bloque que simula la granja de viento, la parte que simula la velocidad del viento y la parte de la fuente de generación. La parte de la generación del viento la realizamos con una secuencia de valores como podemos observar en la ilustración 150:

Time values:	<input type="text" value="[0 10000 20000 30000 80000]"/>
Output values:	<input type="text" value="[0 5 8 14 16]"/>

Ilustración 150. Velocidades de viento



La parte de la granja de viento es un subsistema bastante más complejo el cual cuenta con los componentes de la ilustración 151:

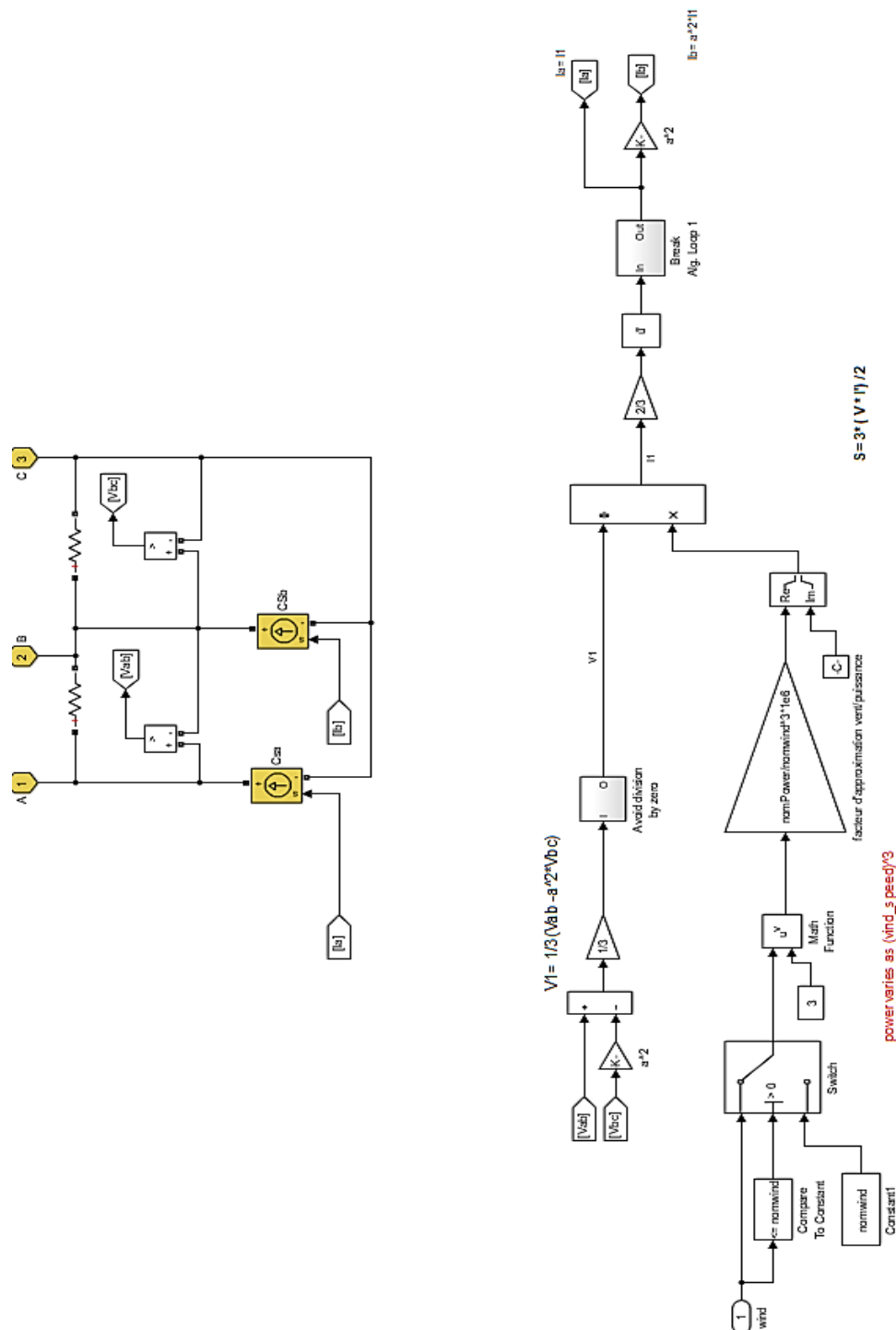


Ilustración 151. Subsistema de la granja de viento

A pesar de lo engorroso que parece este subsistema no tiene excesiva complejidad ya que simplemente son cálculos que realizamos sobre la potencia generada (proporcional a la velocidad del viento) y la tensión fase-fase para la obtención de las corrientes de línea, las cuales nos permiten simular el conjunto como una fuente de corriente que entrega la potencia deseada dentro de los límites de las velocidades del viento y los rangos de conexión/desconexión.



Una vez determinada la parte de la generación eólica nos volvemos al modelo principal y seguimos con la conexión de esta parte a la red general de distribución. Para ello ponemos una carga fija en la línea de 0.5MW y unos bloques que simulan las pérdidas correspondientes a cierta distancia de cableado. El esquema es el siguiente:

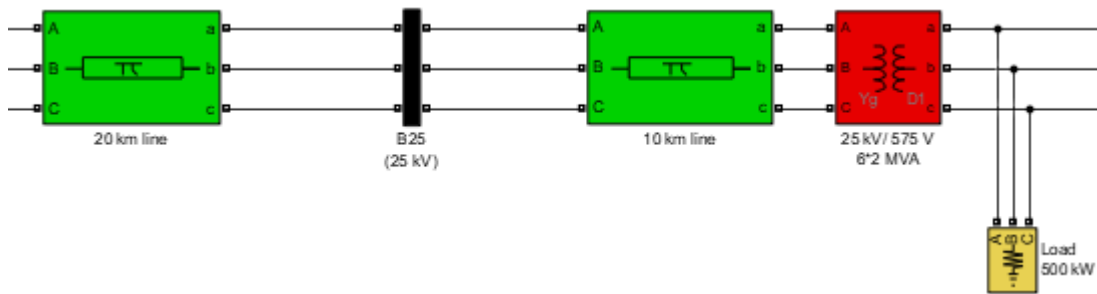


Ilustración 152. Conexión del aerogenerador a la red.

Como vemos es necesario introducir un transformador trifásico que convierta los 575V de salida de los aerogeneradores a los 25KV con los que trabaja la red general de distribución.

Para terminar con este sub-esquema simularemos la parte correspondiente a la red, siendo el esquema el de la ilustración 153:

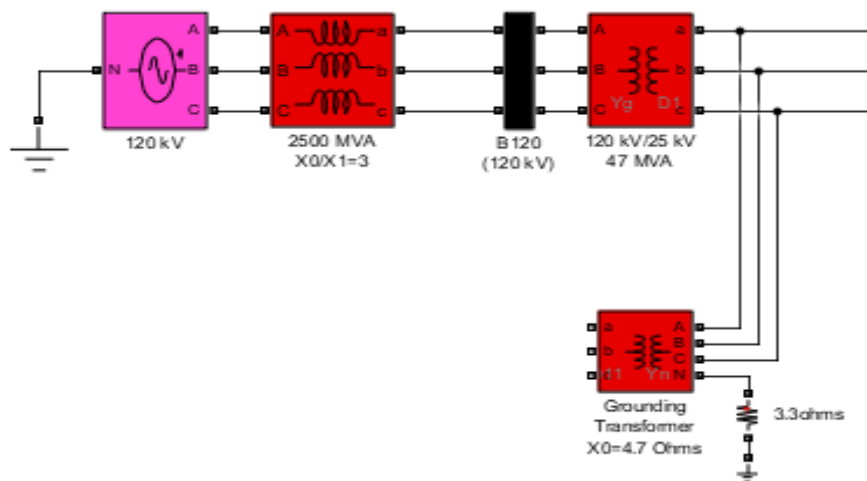


Ilustración 153. Red general de distribución

Los elementos que encontramos en esta parte son los siguientes:

- Transformador de 120KV/25KV que nos convierte los 25KV en los que estábamos trabajando en media tensión hasta los 120KV de la red de alta tensión
- Transformador de tierra, el cual nos permite tener una toma a tierra, es decir, proporciona un neutro a la línea trifásica.
- Bus que nos permite tomar distintas medidas



- Inductancia mutua de 3 fases, es un elemento que nos permite simular el comportamiento de inductancias y resistencias para la creación de una fuente inductiva de 3 fases.
- Fuente de tensión de 120KV que unido al elemento anteriormente explicado simula el comportamiento de la red general de distribución.

Con esto habríamos terminado de explicar todos los elementos utilizados para la realización de este esquema, simplemente nos faltaría el bloque de simulación que es el de la ilustración 154:

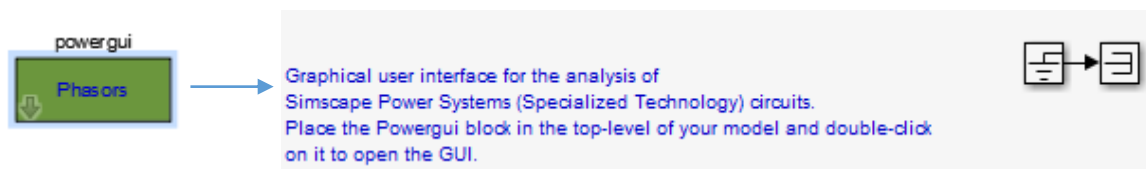


Ilustración 154. Elemento de simulación

Finalmente para completar nuestra simulación debemos decidir los parámetros que vamos a visualizar para verificar el funcionamiento correcto de nuestro sistema. Para ello creamos el bloque de medidas (“measurements”) y en el incluimos las medidas que deseamos, como se puede ver en la ilustración 155:

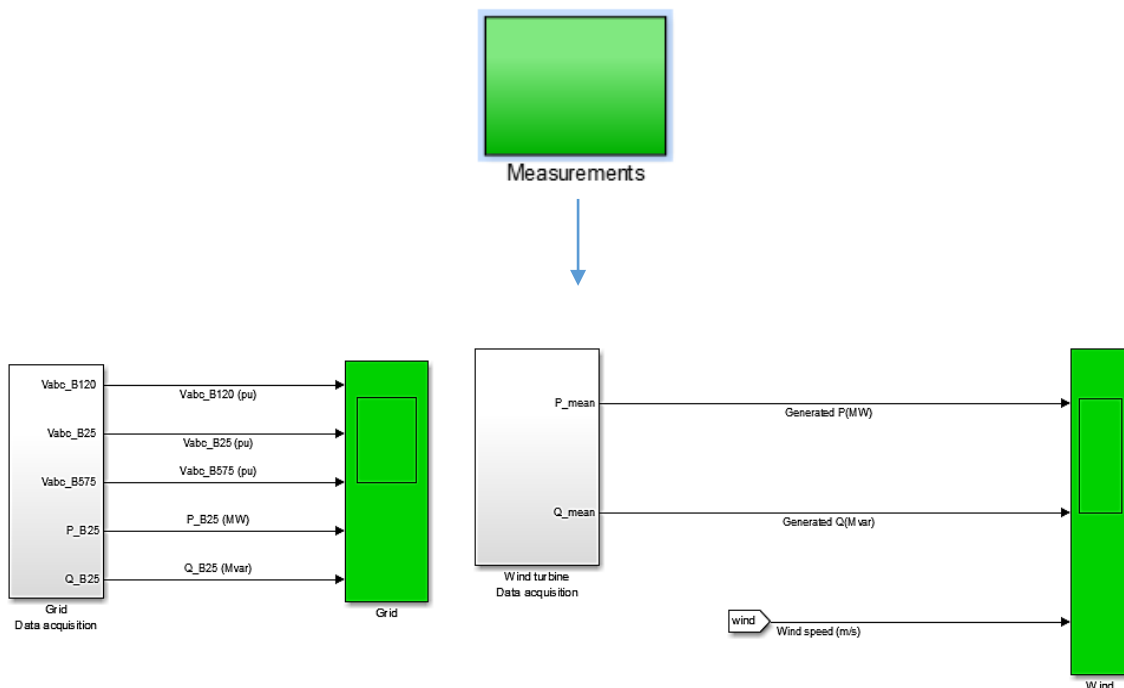


Ilustración 155. Medidas aerogenerador + red



Los elementos que vemos en verde son los “scopes” que nos permiten ver las variables que introducimos en ellos. Para la parte de la red observaremos la tensión de línea en cada uno de los buses (en pu, es decir, por unidad) y la potencia tanto activa como reactiva. Las medidas para una simulación de $(60 * 24 * 24)$ segundos son las de la ilustración 156:

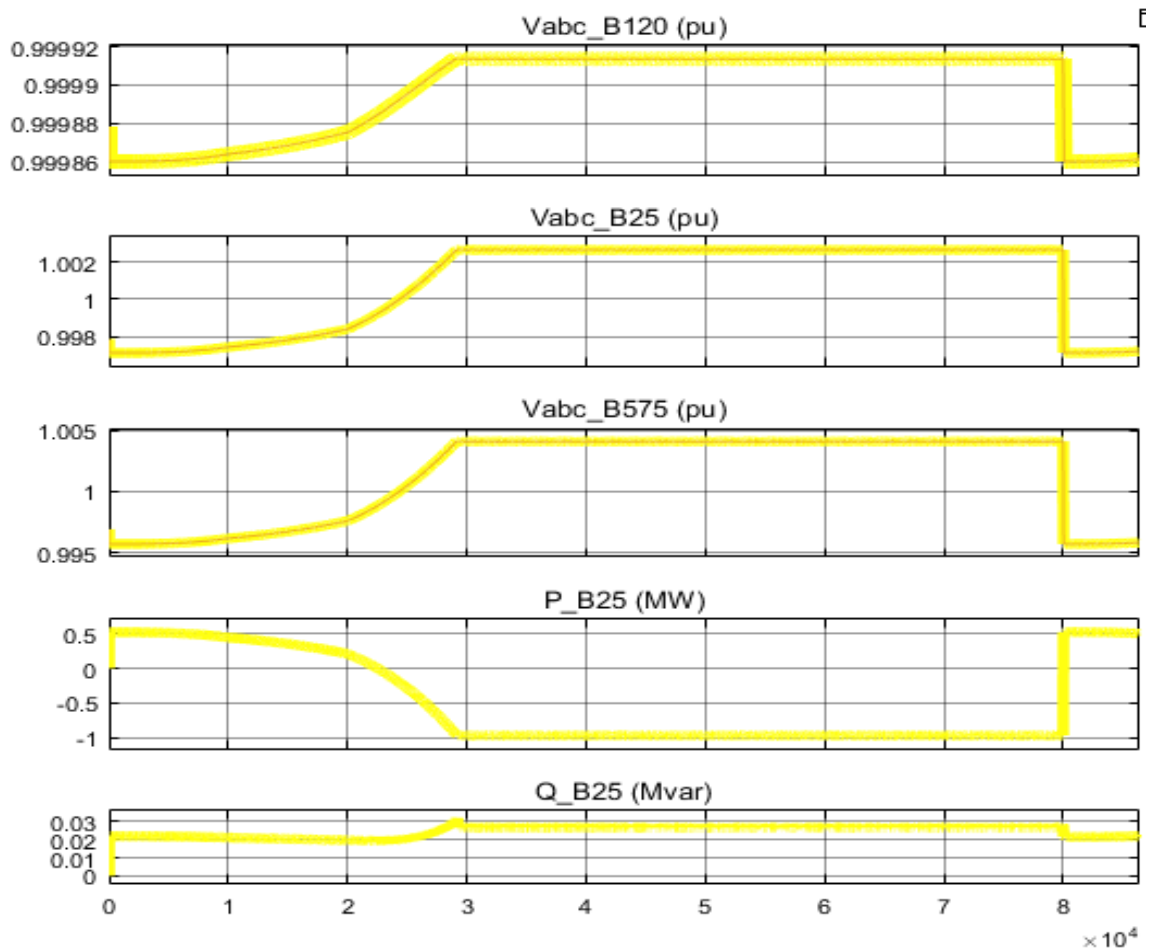


Ilustración 156. Medidas de la red

En las gráficas anteriores vemos que los resultados son correctos ya que las tensiones de cada uno de los buses son bastante próximas a la unidad cuando trabajamos a la velocidad del viento nominal lo cual era de esperar si el esquema es correcto.

En lo que se refiere a las potencias:

- La potencia reactiva Q es próxima a 0 lo cual es lo deseable, ya que de esta forma no será necesario consumir dicha potencia de la red, lo cual tendría un aumento de costes que intentamos minimizar al máximo.



· La potencia activa P en el instante inicial es de 0.5MW lo cual es correcto ya que si tenemos una carga de dicho valor y debido a la velocidad del viento, el aerogenerador no genera energía, debe ser la red quien la satisfaga. Una vez llegamos a la potencia nominal de la turbina eólica la red pasa a generar -1MW lo cual significa que estaríamos vendiendo energía a la red y por tanto esta es la que consume la energía restante.

En lo que se refiere a la parte de los aerogeneradores solamente nos interesa ver los parámetros de las potencias y velocidad del viento siendo las medidas representadas las de la ilustración 157:

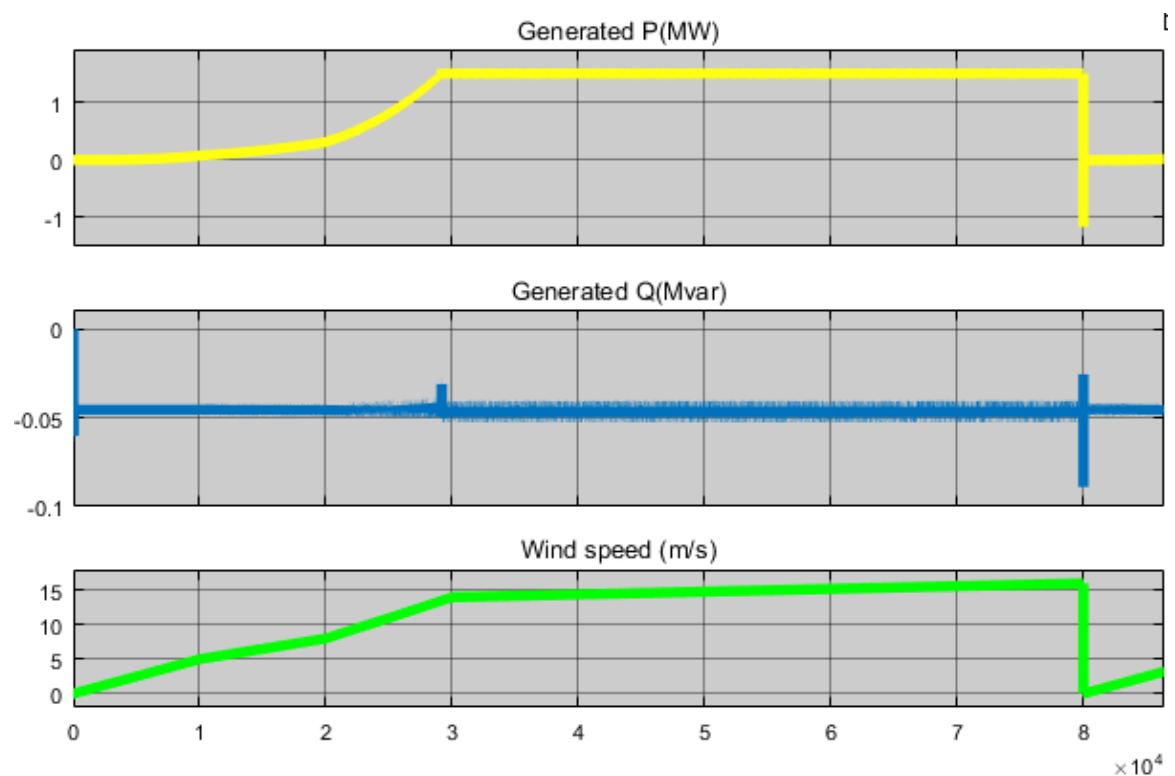


Ilustración 157. Medidas del aerogenerador

Como era de esperar viendo la parte de la red estos resultados también son los esperados, pero en este caso puesto que las medidas las tomamos antes de la carga de 0.5MW la medida de la potencia activa varía desde 0 a 1.5MW cuando llegamos a la potencia nominal. Respecto a la potencia reactiva tenemos un consumo de aproximadamente 0.1Mvar los cuales tendrán que ser proporcionados por la red.

La velocidad del viento es la esperada, ya que toma los valores designados en la secuencia. Estos van desde 0 a 16m/s momento en el cual se aumenta el ángulo de paso de las palas para mantenernos en la potencia nominal.



3.2- Simulación de los paneles solares + red general

El siguiente conjunto que vamos a estudiar su funcionamiento será el de los paneles solares unidos a la red general de distribución. Al igual que la eólica, la producción solar tendrá un papel de gran importancia en lo que a generación renovable se refiere para toda micro red.

En el caso del esquema utilizado en Simulink para esta parte es similar al del aerogenerador, ya que la parte de la red general será igual para todos los casos. La diferencia reside en la parte de la generación renovable, que en este caso serán un conjunto de paneles solares de 1MW como vemos en la ilustración 158:

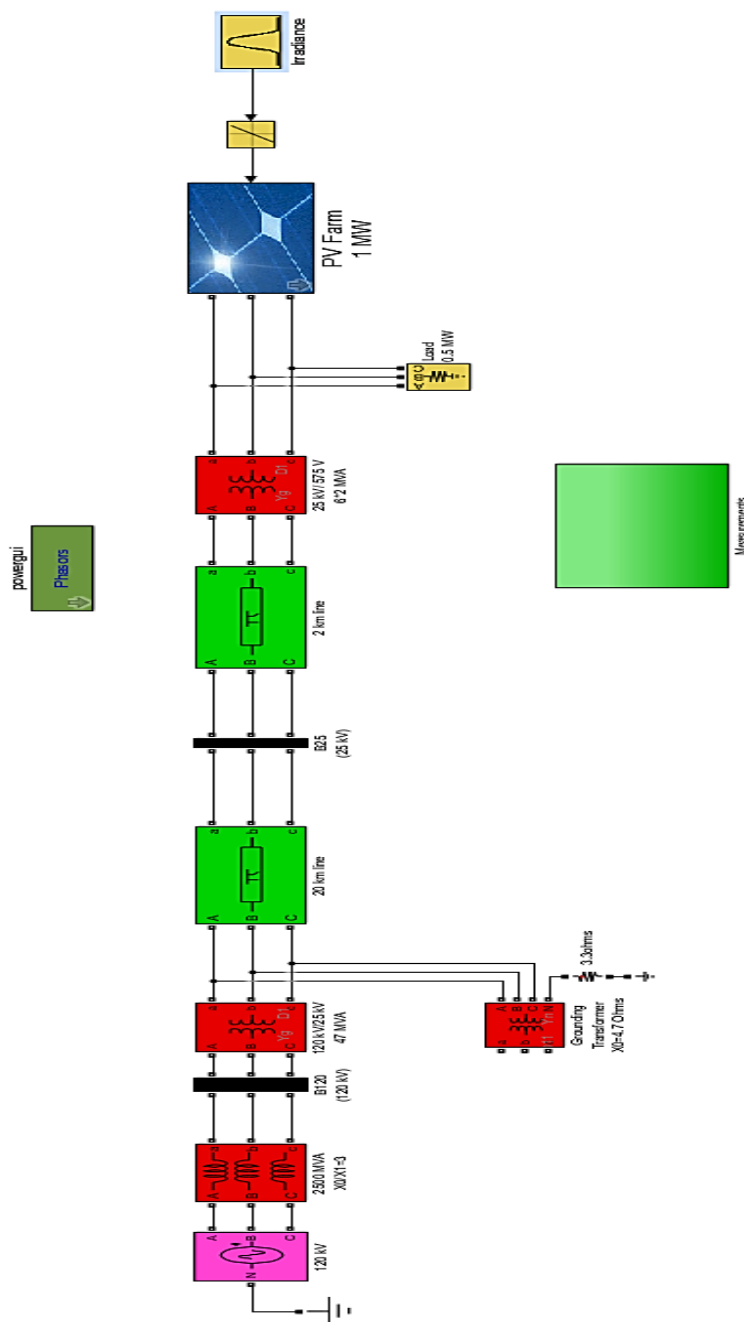


Ilustración 158. Paneles solares + red general



Como comentamos anteriormente y podemos ver en el esquema utilizado solamente cambia la parte de la derecha respecto al conjunto del aerogenerador + red general, por lo que no volveremos a explicar la parte de la red de distribución.

En el caso de los aerogeneradores puesto que el recurso utilizado es el viento y su perfil es bastante lineal, simulamos su comportamiento con un bloque de “step” que nos permite hacer cambios simples en dicho valor. Para los paneles solares hemos querido utilizar un procedimiento un poco más complejo y preciso, por lo que hemos utilizado unas tablas de irradiancia que serán las que determinen la producción en cada momento. La forma de simular esto es mediante la tabla de la ilustración 159:

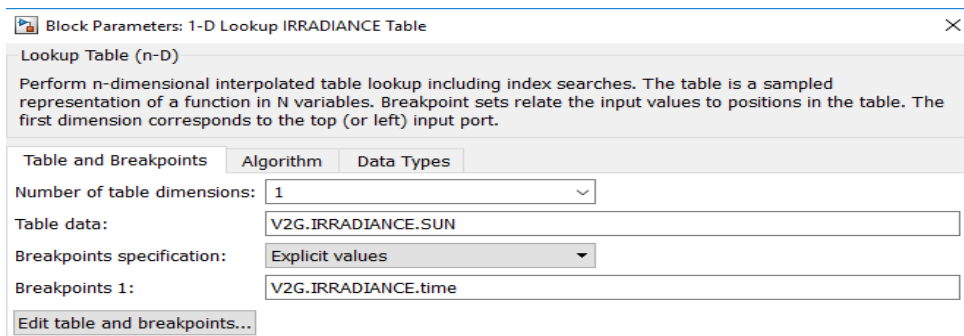


Ilustración 159. Datos de irradiancia

Además de dichos datos hemos necesitado generar un reloj como podemos ver a continuación:

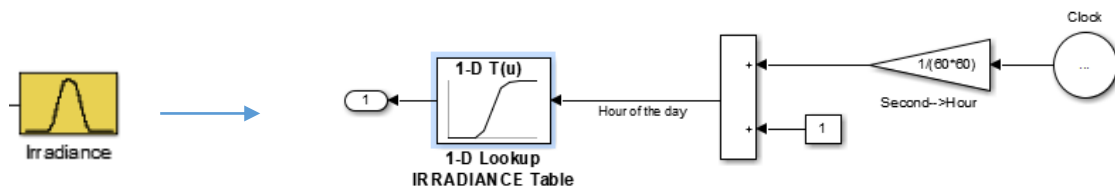
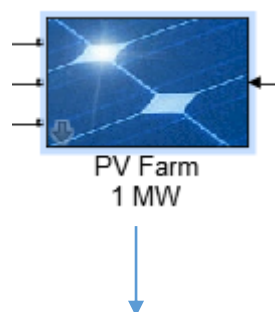


Ilustración 160. Bloques de irradiancia

Con este conjunto ya tendríamos simulada la parte de los recursos utilizados por los paneles solares, por lo que el siguiente paso es diseño de estos. Para simplificar y que quede más estético el esquema hemos creado varios subconjuntos que engloban al campo solar. Los elementos que lo componen son los de la ilustración 161:



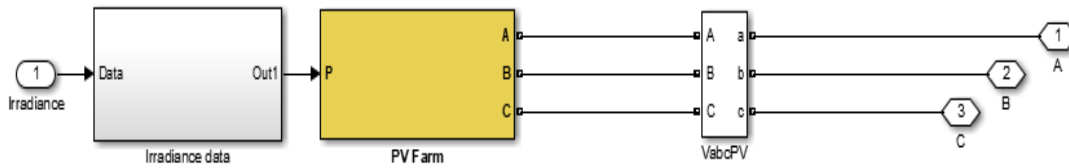


Ilustración 161. Conjunto de paneles solares

Los elementos incluidos en los paneles solares son los siguientes:

- *Datos de irradiancia.* Este elemento tiene como entrada los datos de la irradiancia incidente en cada momento del día, y a partir del área de placas y la eficiencia de estas nos da la salida de la potencia del conjunto.
- *Fuente de voltaje.* Nos permite simular de manera correcta el funcionamiento que tendría el conjunto de paneles.
- *Medidor de tensión.* El bloque VabcPV es simplemente un medidor de tensión en la salida de los paneles que se utilizará posteriormente para la visualización de datos en los scopes.
- *Granja fotovoltaica.* Este es el elemento más complejo del conjunto anterior, ya que será el encargado de simular los paneles solares en sí. El subsistema englobado en él es el de la ilustración 162:

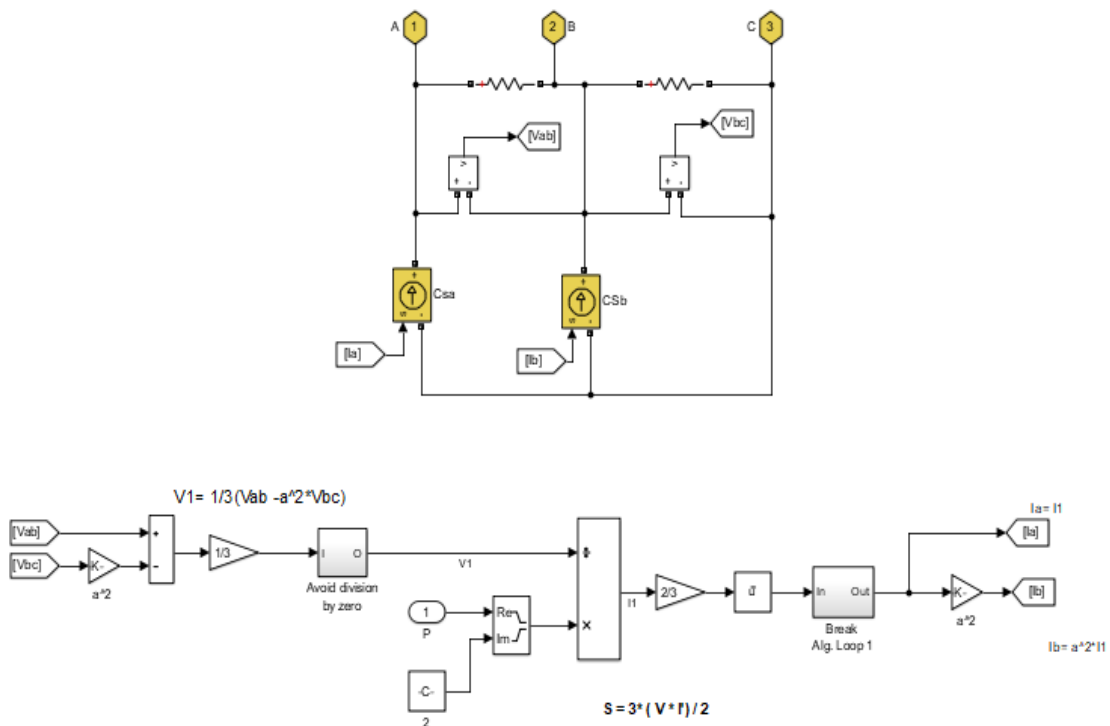


Ilustración 162. Paneles solares



El funcionamiento del conjunto anterior es similar al de los aerogeneradores. A partir de la potencia de salida, de los datos de irradiancia y con la tensión fase-fase se calcula la corriente de cada una de las fases y a partir de esta se genera una tensión trifásica de salida. Al igual que para el bloque de aerogeneradores el valor de esta tensión es de 575V que posteriormente deben ser transformados a los 25KV de la línea de media tensión.

Una vez explicados todos los bloques utilizados en el esquema y puesto que el bloque del paso de simulación es igual que en el conjunto del aerogenerador pasamos a explicar las medidas que se realizarán.

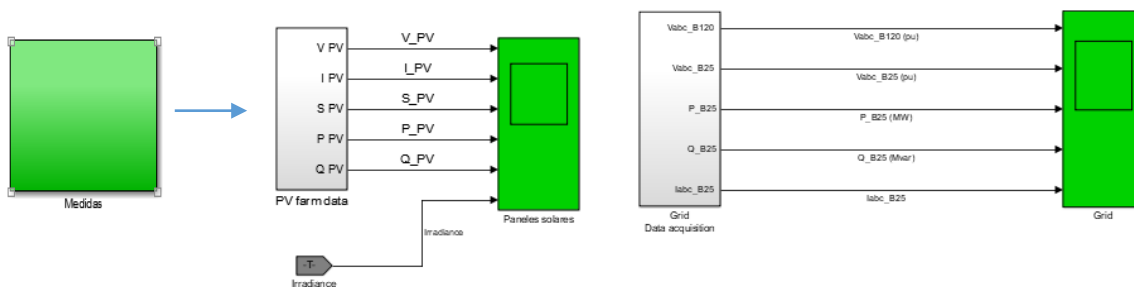


Ilustración 163. Medidas PV + red general

Para el cálculo de todas las potencias y magnitudes que introducimos a los scopes es necesario utilizar otro subsistema que nos permita calcular los productos y valores eficaces de dichas variables. La ilustración 164 corresponde a las medidas de la parte de los paneles fotovoltaicos:

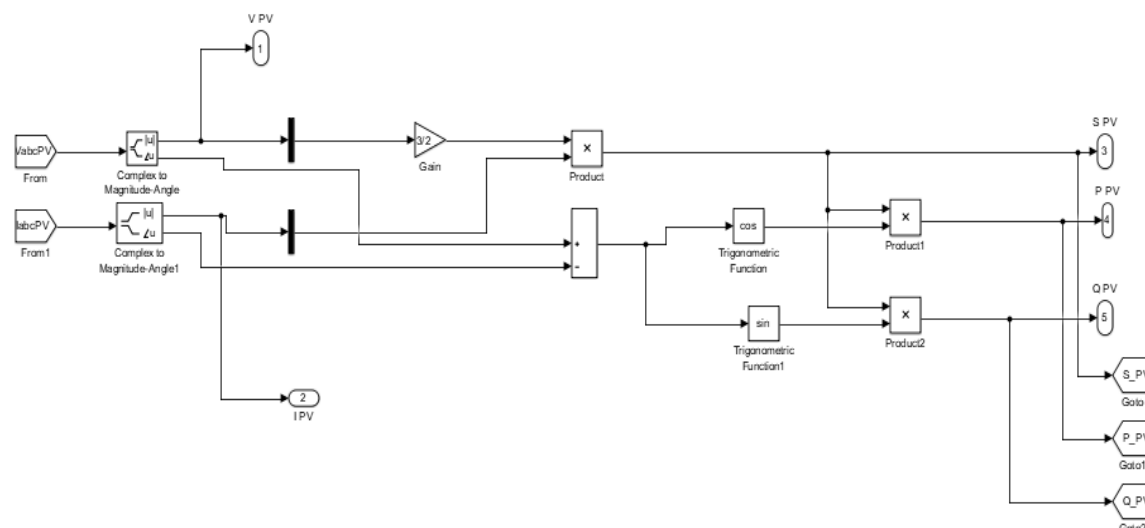


Ilustración 164. Subsistema para medidas de los PV



Para finalizar con este conjunto simulamos el esquema utilizado y observamos los valores obtenidos en los scopes. El primero que vamos a estudiar será el de la parte de generación correspondiente a los paneles solares, cuyas gráficas corresponden a las de la ilustración 165:

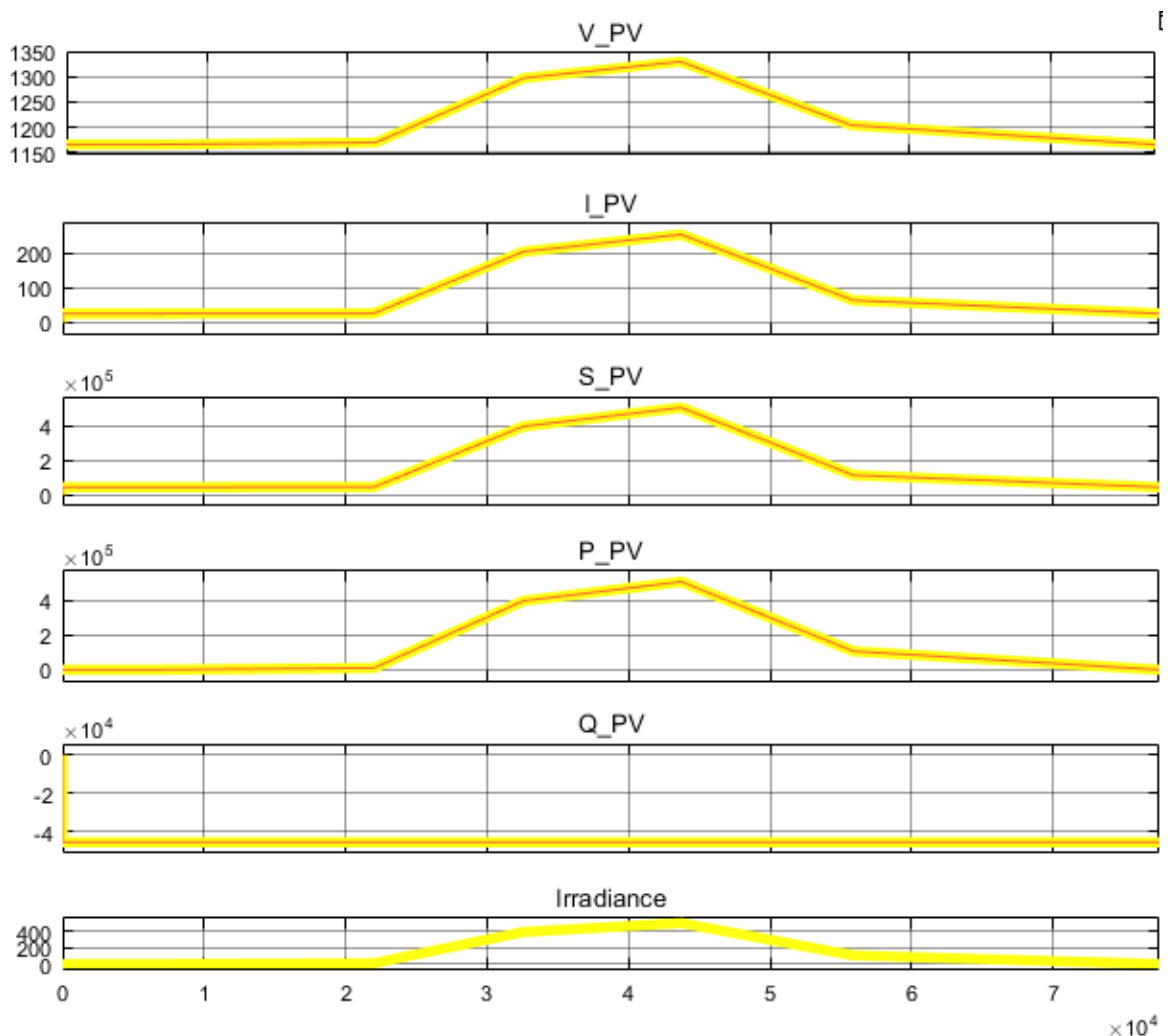


Ilustración 165. Scope de los PV

Como se aprecia en la imagen anterior tanto la tensión como la intensidad tienen la misma forma de onda, la cual corresponde a la forma que tiene la irradiancia incidente diaria. Como es de suponer el momento de mayor producción corresponde aproximadamente a las 12 de la mañana ($12 \times 60 \times 60 = 43.200 \text{seg}$) que es el momento en el que el sol se encuentra perpendicular con la tierra y por tanto tiene la mayor irradiancia incidente.

Viendo la gráfica de la potencia activa (P) nos damos cuenta que solo generaremos 0.5MW debido a que la irradiancia incidente es de tan solo 500W/m^2 en dicho momento, teniendo el resto de tiempo una forma de onda similar a la de la tensión y la corriente. Por tanto es de gran utilidad el cálculo en KW/h que nos da una idea de la producción ponderada que tendremos en las 24h del día, ya que la mitad del tiempo no tendremos sol y por tanto la producción será nula.



En lo que se refiere a la potencia reactiva (Q) tenemos una producción de -0.05Mvar, lo cual significa que no solo no produce sino que consume potencia y que por tanto será necesario que esta potencia sea entregada por la red o por otro elemento de la micro red.

Con esto habríamos terminado de observar el comportamiento del conjunto generador, por lo que observaremos lo que ocurre de la parte de la red. Sus gráficas son las de la ilustración 166:

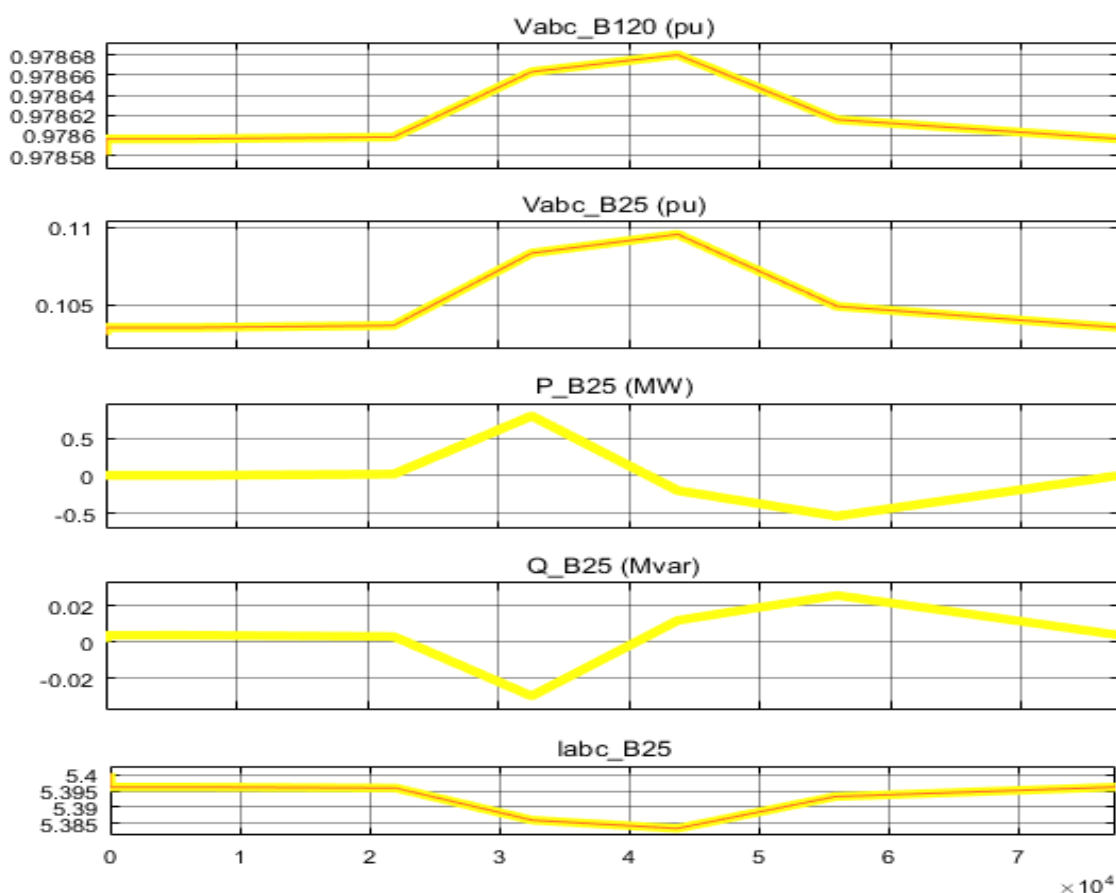


Ilustración 166. Scope de la red general

Como en los casos anteriores puesto que solo contamos con el elemento generador, una carga de 0,5MW y la red, la diferencia entre la generación y el consumo es el aporte que da la red al sistema.

En lo que a la potencia activa se refiere vemos que en el segundo 32.000 tenemos un consumo de aproximadamente 0.6MW de la red, lo cual significa que esta es la que está alimentando la carga y algunas de las pérdidas ocasionadas por el cableado. Posteriormente la potencia disminuye hasta valores de -0.5MW, momento en el cual estaríamos vendiendo energía a la distribuidora.

La potencia reactiva Q podemos ver que tiene valores muy pequeños (centésimas de Mvar) lo cual corresponde a los momentos de mayor y menor consumo de nuestros paneles solares junto a las pérdidas.



3.3- Simulación del generador diésel + red general

Una vez hemos simulado todos los elementos de la generación renovable pasamos a la simulación del generador diésel, cuyo papel es fundamental en toda micro red ya que será el encargado de complementar a las anteriores para satisfacer la carga. Esta parte de la micro red se suele llamar también grupo electrógeno y será la parte de generación no renovable con la que contaremos.

Antes de seguir es importante comentar que no tiene mucho sentido realizar esta simulación puesto que en el caso de que estemos trabajando en modo de conexión a la red el generador diésel no producirá energía ya que su precio sería superior. Para la simulación que realizaremos a continuación vamos a ver la potencia generada por el grupo electrógeno y supondremos que la parte que no se consume por la carga se venderá a la red general, lo cual no tiene mucho sentido ya que sería producir para vender a un precio inferior.

Como en los anteriores casos vamos a realizar su simulación junto a la red general de distribución, para el posterior conexionado de todos los elementos con dicha red. El esquema creado en Simulink es el de la ilustración 167 y cómo podemos ver se parece al de los anteriores elementos:

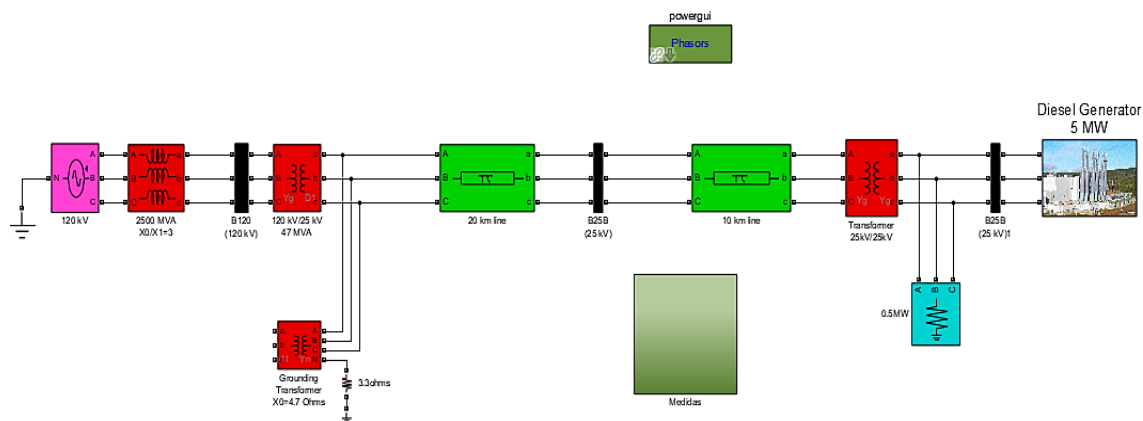


Ilustración 167. Generador diésel + red general

Al igual que en los ejemplos anteriormente vistos, la parte de la red general de distribución es igual y puesto que ya la explicamos junto al aerogenerador pasaremos a explicar la parte del grupo electrógeno. Como se puede imaginar, en el esquema anterior el bloque del generador diésel es solo una máscara en cuyo interior encontramos numerosos bloques con otros sub-bloques en su interior. Estos se pueden ver en la ilustración 168:

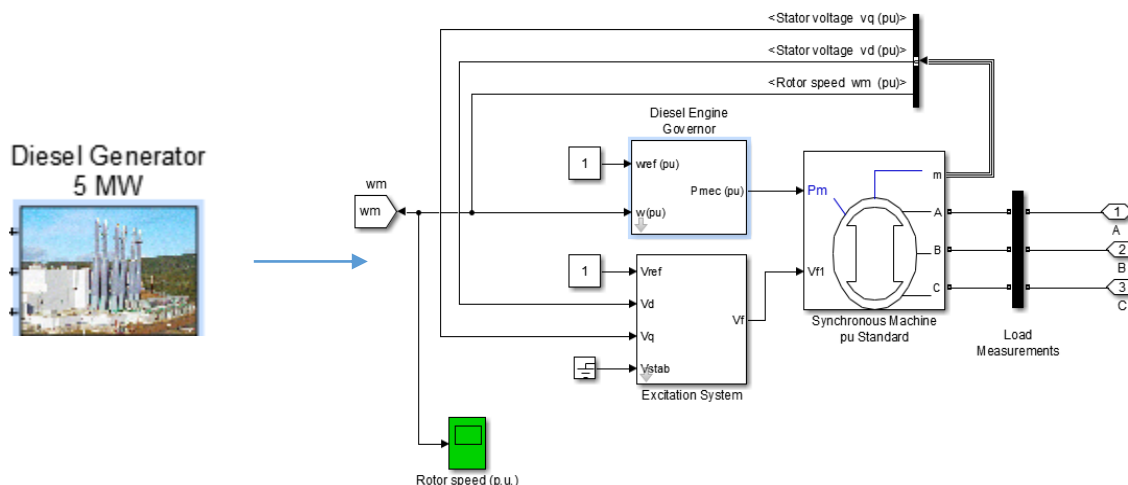


Ilustración 168. Bloque del generador diésel

En el caso de este grupo de generación no ocurre como en los casos anteriores que trabajaban a tan solo 575V sino que este ya nos da un voltaje de salida de 25KV como podemos observar en el esquema. A continuación explicaremos cada una de las partes que componen el bloque anteriormente comentado.

En primer lugar vamos a ver el gobernador de la máquina diésel, el cual es básicamente un controlador de segundo grado que se encargará de manejar la potencia mecánica de entrada que introduciremos a la máquina síncrona. Como entradas al bloque tenemos la velocidad de giro (por unidad) y la velocidad de referencia, de forma que se haga un seguimiento de esta última. La ilustración 169 representa la parte encargada de esta actuación:

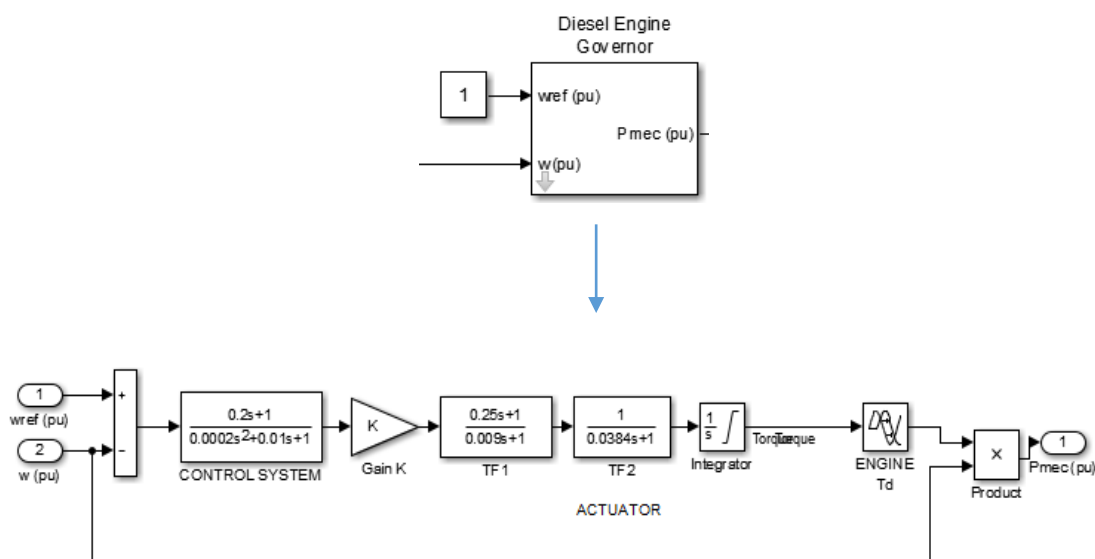


Ilustración 169. Controlador del generador diésel



El siguiente bloque que comentaremos será el sistema de excitación, el cual tiene como entradas una tensión de referencia y la tensión del estator y como salida la tensión de entrada a la parte eléctrica de la máquina síncrona. Sus componentes son los de la ilustración 170:

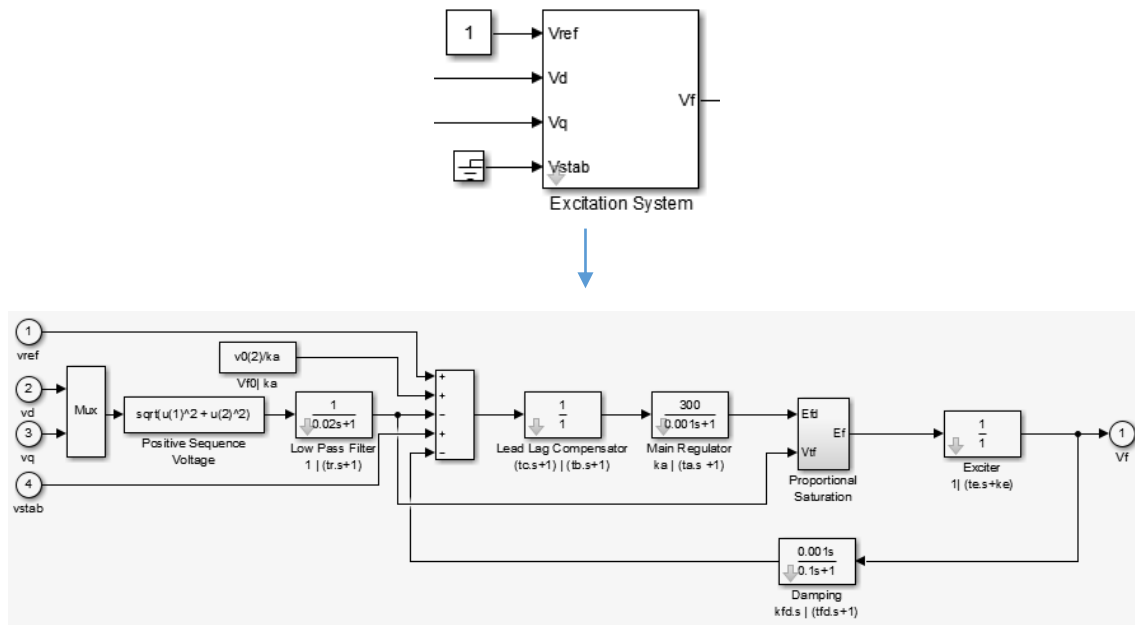


Ilustración 170. Sistema de excitación

Por último comentaremos los bloques que integran la máquina síncrona que será la que determine la potencia eléctrica generada. El primer subsistema que encontramos es el de la ilustración 171, en el cual vemos que tenemos un modelo eléctrico y uno mecánico que componen el motor:

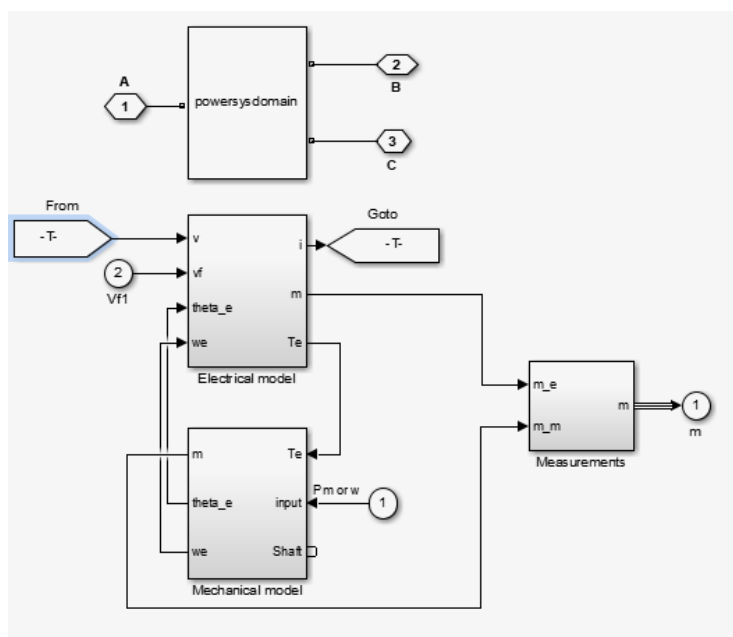


Ilustración 171. Generador diésel



El modelo eléctrico del esquema anterior es el de la ilustración 172, el cual no explicaremos debido a la complejidad de todos sus elementos:

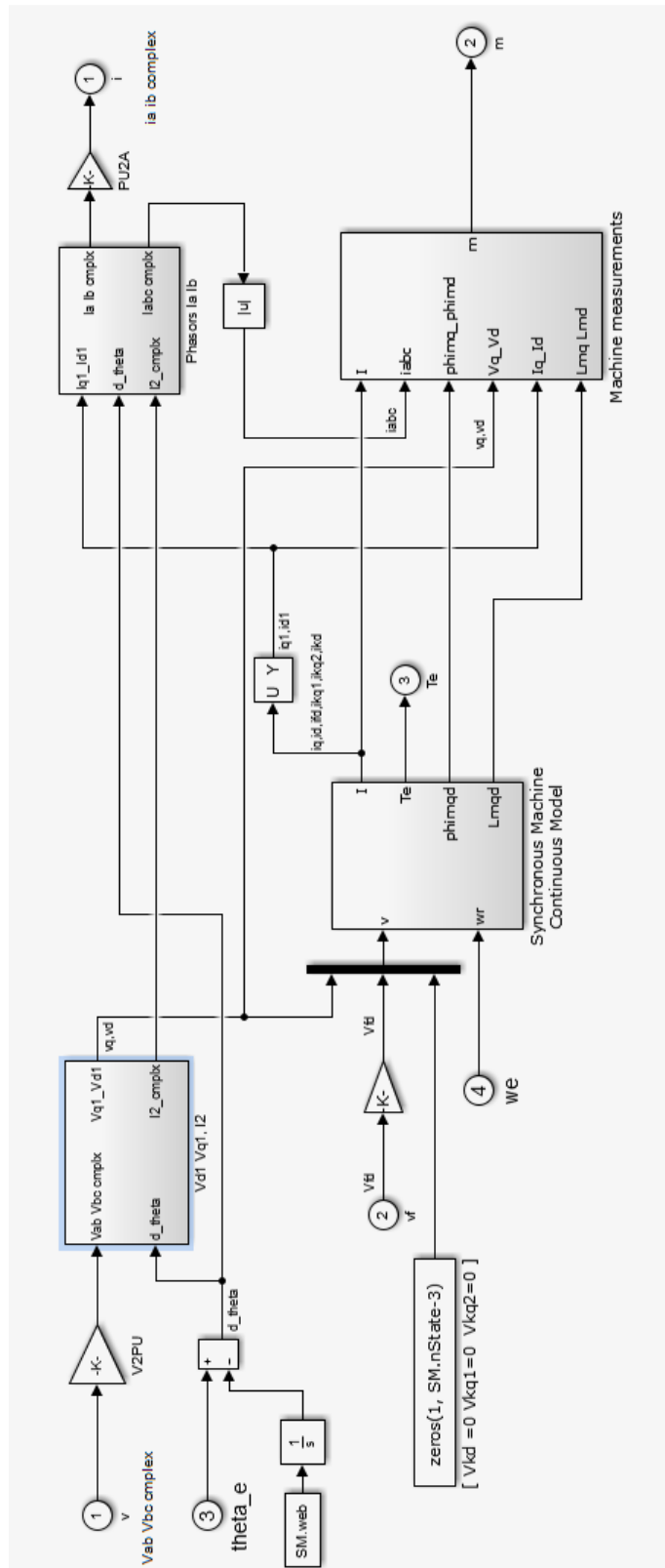


Ilustración 172. Modelo eléctrico del generador diésel



Al igual que ocurre con el modelo eléctrico el modelo mecánico también es complejo y no es objeto de estudio, por lo que solamente veremos su subsistema (ilustración 173):

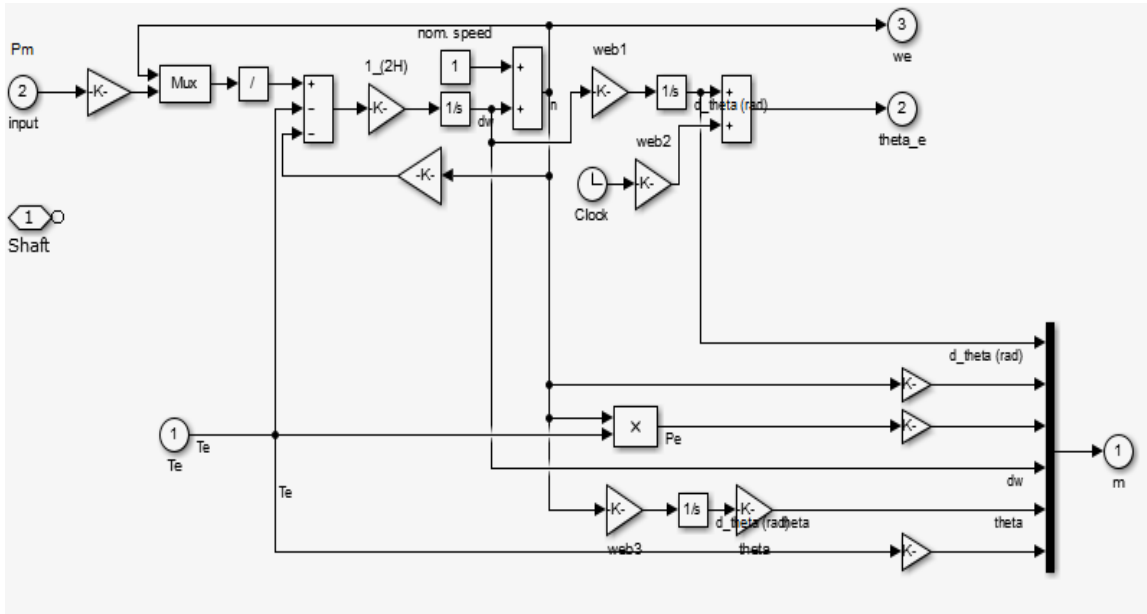


Ilustración 173. Modelo mecánico del generador diésel

Una vez terminados de explicar brevemente todos los elementos que componen nuestro generador diésel pasamos a ver las medidas que se toman para ver su correcto funcionamiento. Las medidas de la parte de la red son similares a los casos anteriores por lo que solo explicaremos la parte del generador.

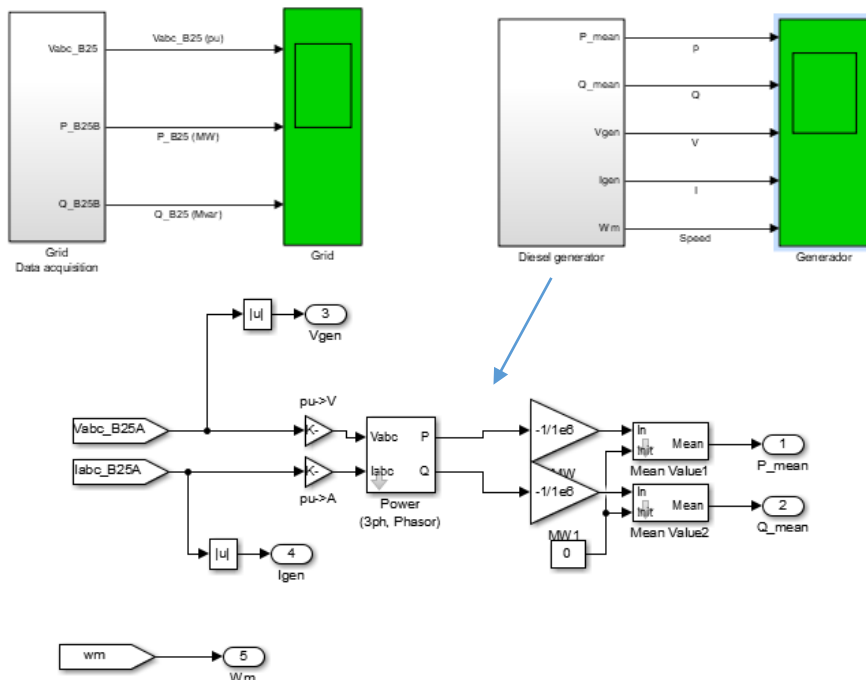


Ilustración 174. Medidas generador diésel



Las medidas tomadas para el cálculo de la potencia generada corresponden a las del bus B25A, es decir, el de la salida del motor diésel. En esta parte además incluimos el parámetro W_m que será la frecuencia de trabajo y por tanto estará directamente relacionada con la potencia generada.

En la ilustración 175 vemos las medidas de la parte del generador:

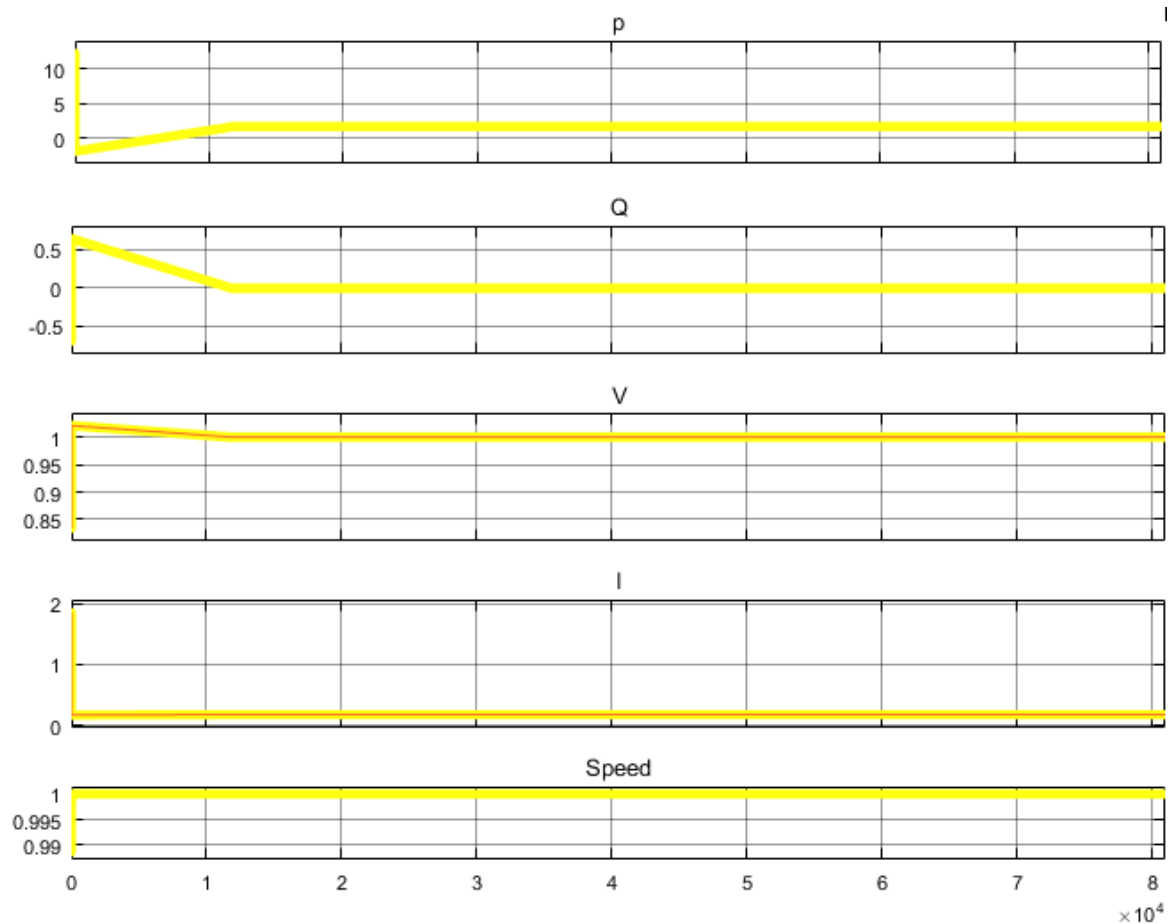


Ilustración 175. Medidas del generador diésel

Como se observa en las gráficas anteriores el dato de 5MW del motor diésel solo nos da información acerca de la potencia nominal, es decir, la máxima que podríamos conseguir en el caso de que por diversas circunstancias no hubiese otro modo de satisfacer la carga. En nuestro caso la potencia activa generada P es de aproximadamente 2MW lo cual indica que estamos trabajando muy por debajo de la potencia nominal. En lo que se refiere a la potencia reactiva tenemos un valor de 0Mvar lo cual es ideal ya que de esta forma no tendremos que compensar dicho consumo.

Otro de los parámetros que podemos observar es la velocidad de giro del motor W_m el cual está puesto en pu (por unidad) y vemos que toma el valor de 1 en todo momento, lo cual es correcto.



Para finalizar con esta parte de la micro red vamos a ver las gráficas de la parte de la red general, que como comentamos antes no tiene mucho sentido práctico pero nos vale para verificar su comportamiento. Las gráficas son las de la ilustración 176:

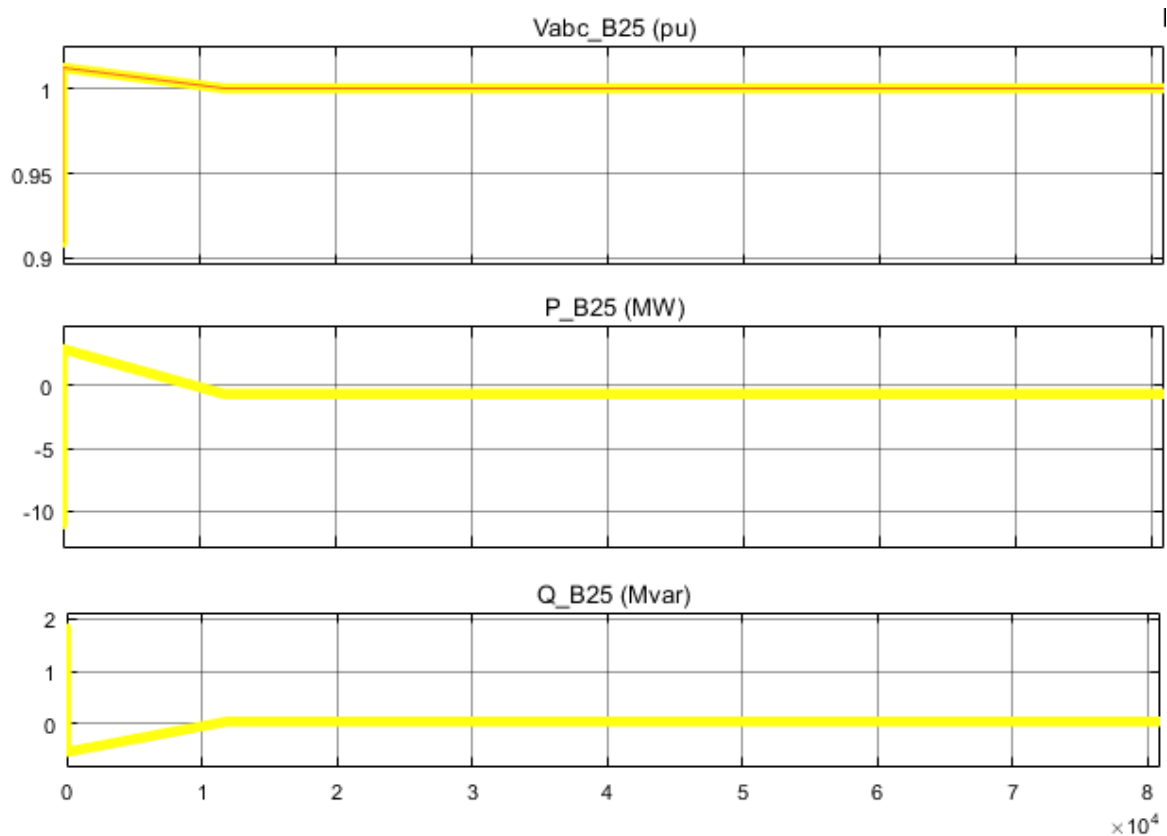


Ilustración 176. Medidas de la red general

Como era de esperar para el caso de la red la potencia activa toma un valor de aproximadamente 1.5MW lo cual quiere decir que funcionará como una carga tomando la energía excedente generada. Puesto que estamos generando 2MW y la carga que tenemos es de tan solo 0.5MW el resto de energía será transferida a la red.

La potencia reactiva si todo funciona bien debe tener el valor de 0Mvar ya que no hay ningún elemento que necesite dicha Q. Como observamos en la gráfica este valor es correcto.

Para terminar podemos ver la tensión en pu, la cual que toma el valor de 1 y puesto que este se ha tomado desde la referencia de 25KV la tensión es correcta. Con esto habríamos terminado el estudio de este subsistema y pasamos con el estudio de la batería.



3.4- Simulación de la batería + red general

Las baterías tienen un papel muy importante en el caso de que la energía generada proceda de las energías renovables, debido a su alta variabilidad de producción. Por este motivo el siguiente elemento que vamos a introducir y simular en la micro red será una batería la cual tendrá el papel de entregar o almacenar energía según la demanda en las cargas.

Para comprobar el correcto funcionamiento de nuestra batería vamos a simularla junto a una carga estática de 0.5MW junto a la red. Esta simulación al igual que ocurría con el generador no tiene mucho sentido a nivel práctico, ya que las baterías generan una parte considerable de las pérdidas y por tanto no tiene mucho sentido consumir de la red para su posterior almacenamiento.

En la ilustración 177 vemos el esquema generado en Simulink:

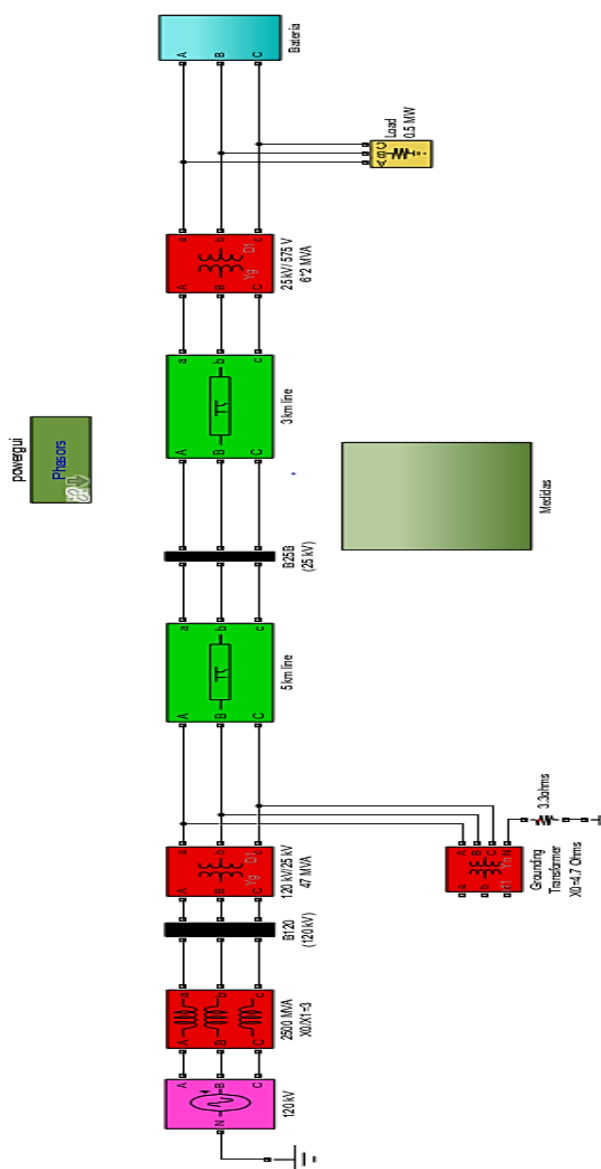


Ilustración 177. Batería + red general



Prácticamente todos los parámetros de la parte de la red general son iguales salvo algunas excepciones como la distancia de línea que tenemos entre las baterías y la red que intentaremos minimizarla lo máximo posible. Al igual que en algunos de los casos anteriores, en las baterías tendremos una salida a 575V la cual podemos regular nosotros en función del número de pilas en paralelo que pongamos. Para utilizar los mismos transformadores que en los casos anteriores se ha elegido dicha tensión de salida de las baterías.

Una vez explicada la parte de la red pasaremos a comentar el bloque de la batería, el cual está compuesto por los subsistemas de la ilustración 178:

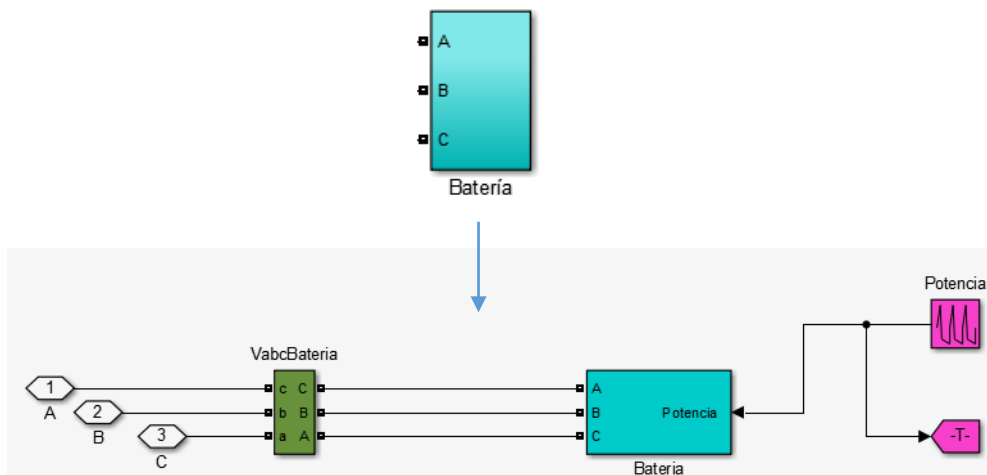


Ilustración 178. Subsistema de la batería

De la imagen anterior podemos ver los siguientes elementos:

- *Bloque VabcBatería.* Este bloque solamente tiene la función de medir la tensión en las líneas de salida de la batería para su posterior visualización.
- *Bloque de Potencia.* En este caso puesto que la batería es un elemento pasivo que solamente se encargará de demandar o entregar energía en función de las cargas y los generadores vamos a simular su comportamiento mediante una secuencia de valores en los distintos instantes de tiempo. Además supondremos que la batería inicialmente está cargada por lo que tendrá que entregar energía antes de poder volverla a cargarla, es decir, antes de que funcione como “consumidor”. La secuencia de valores utilizados son los siguientes:

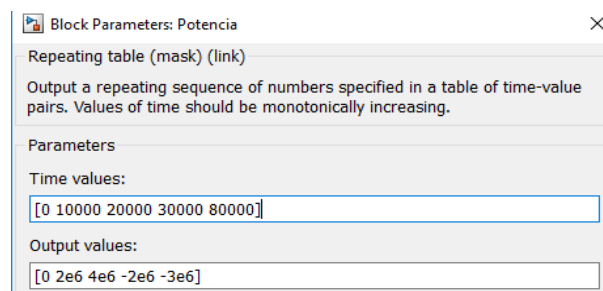


Ilustración 179. Valores de potencia en la batería



- *Bloque de la batería:* Este es el bloque más importante del subsistema ya que será el encargado de controlar la corriente de línea en función de la potencia requerida. El mecanismo utilizado para su generación es similar al de los paneles solares o el aerogenerador, y su subsistema es el de la ilustración 180:

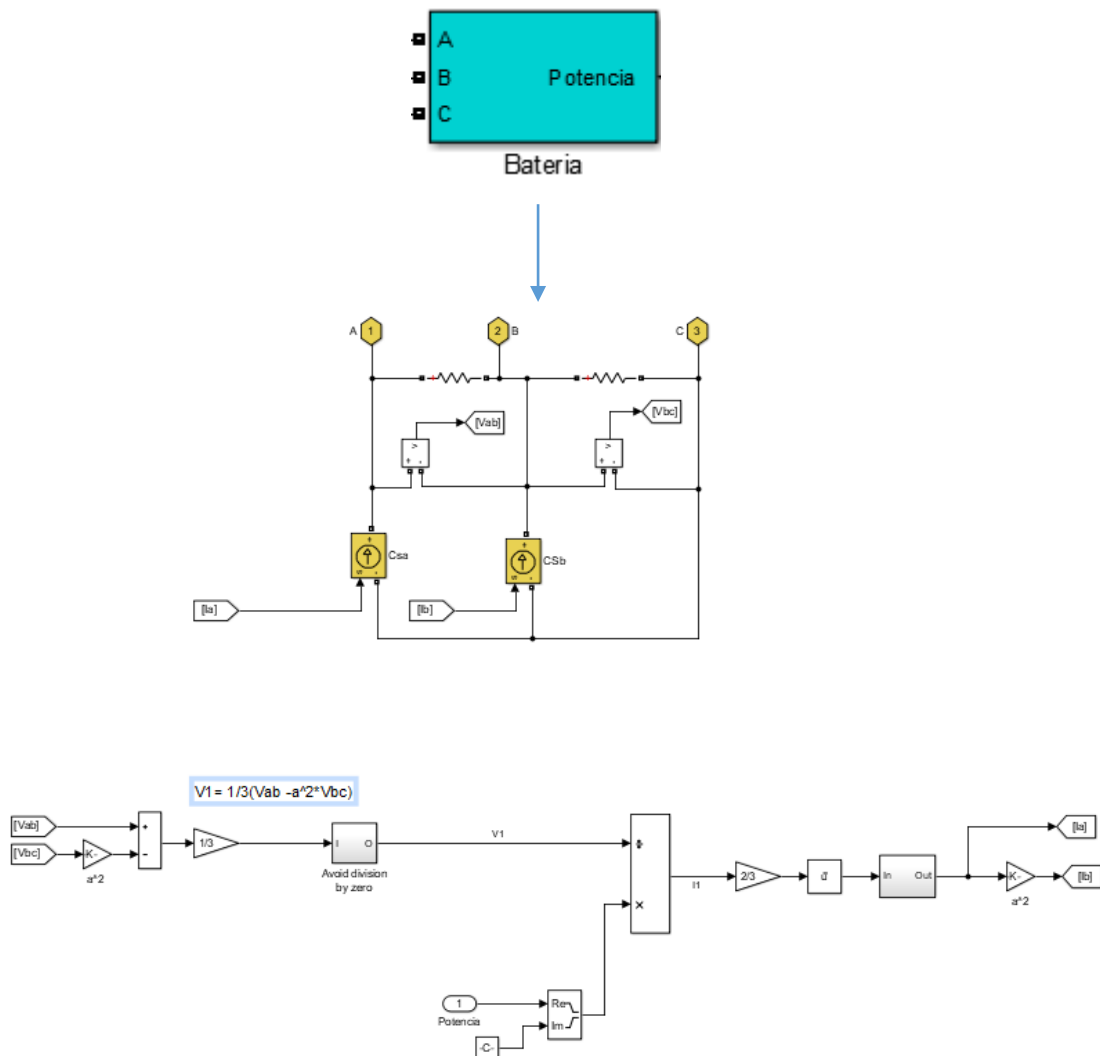


Ilustración 180. Contenido de la batería

Con esto habríamos terminado de explicar la parte de conexiones eléctricas de este conjunto por lo que al igual que en los otros ejemplos solo faltaría la parte de simulación y medidas.

El bloque de simulación “*powergui*” también es fasorial puesto que queremos hacer una simulación de al menos 24h, por lo que no volveremos a explicarlo ya que lo tenemos en el primer conjunto (3.1- Simulación del aerogenerador + red general).



Para terminar explicaremos las medidas que hemos tomado y las gráficas que nos ofrece Simulink.

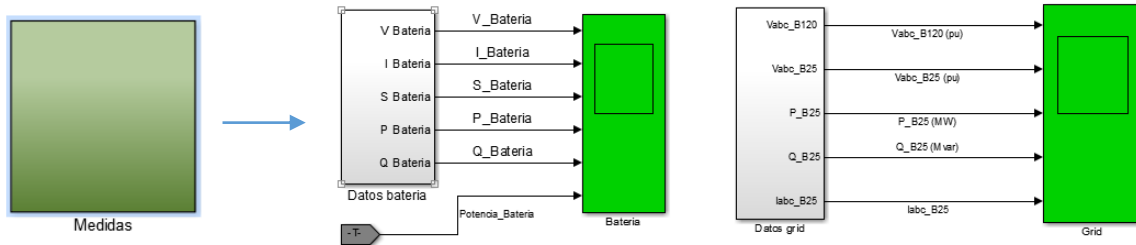


Ilustración 181. Medidas batería + red general

Como podemos observar los datos que vamos a visualizar son similares que en los casos anteriores. Para cambiar esto solamente tenemos que entrar en los bloques de datos batería y datos grid y variar las tensiones de línea y los buses de medidas.

Finalmente veremos los resultados de simulación que hemos obtenido para nuestra batería en la ilustración 182:

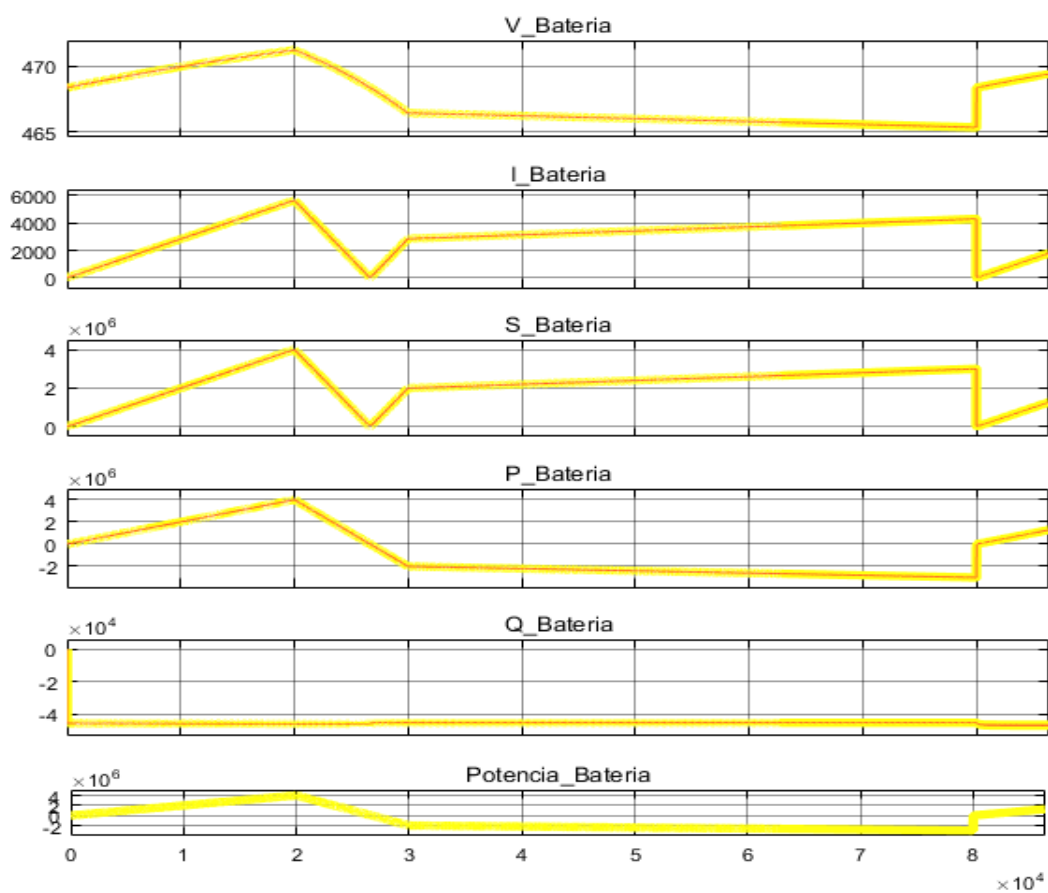


Ilustración 182. Simulación de la batería



En la gráfica superior podemos observar los valores que hemos introducido como entrada al bloque de la batería, los cuales serán los que establezcan la potencia que consumiremos o entregaremos a la carga y la red. Si los valores son positivos quiere decir que la demanda de energía es superior a la generación, por lo que la batería tendrá que devolver la potencia anteriormente almacenada para satisfacer la carga. Por el contrario cuando la potencia es negativa significa que tenemos un excedente de producción y será en este momento cuando recarguemos la batería.

En lo que se refiere a la potencia reactiva Q tenemos que nuestra batería para los niveles de producción anteriores tiene un consumo de 0.04Mvar (por eso es negativa) el cual tendrá que ser satisfecho por la red u otros elementos.

En lo que se refiere a las gráficas de intensidad y voltaje podemos observar que la tensión no llega al valor de 575V por lo que para mantener la potencia demanda, la intensidad sube a unos valores de aproximadamente 6000A. Este valor de corriente podría reducirse poniendo un mayor número de pilas en serie y aumentando así el voltaje de salida.

Para terminar comentaremos las salidas obtenidas en la parte de la red que vemos en la ilustración 183:

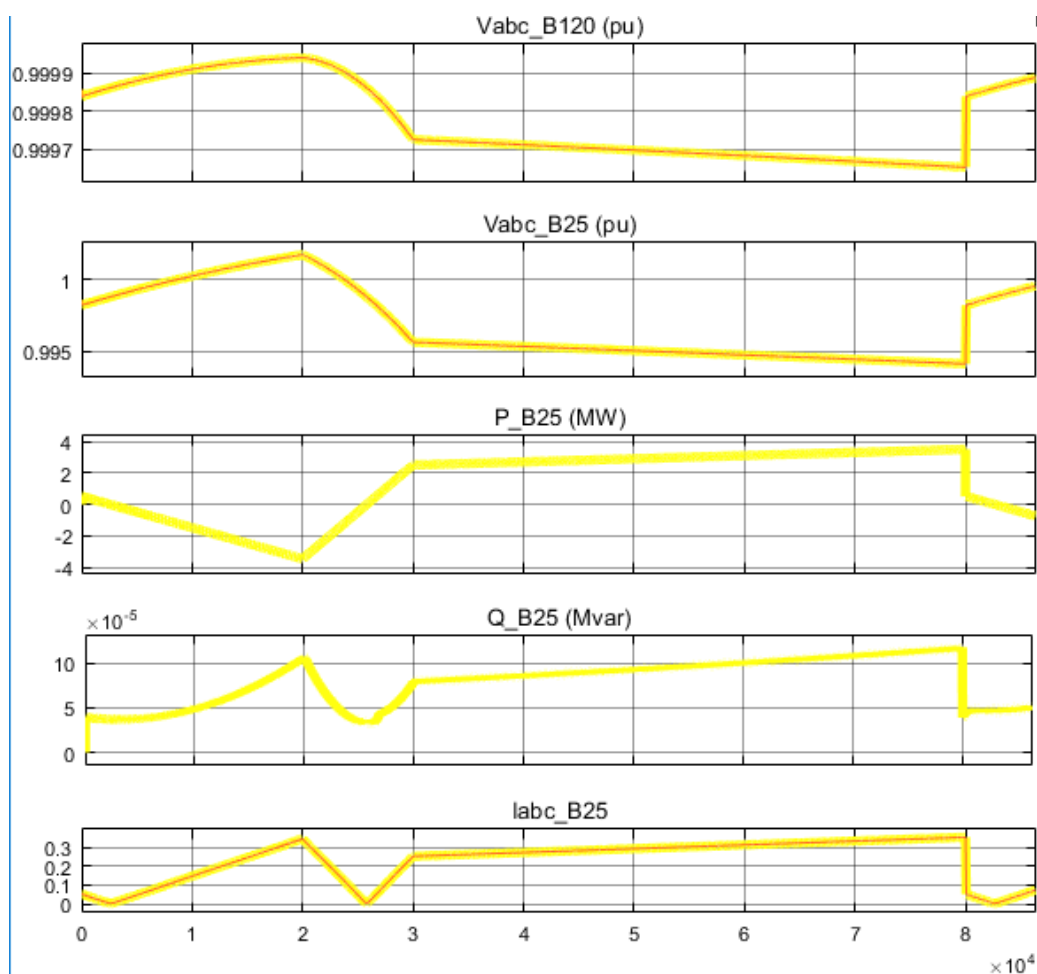


Ilustración 183. Simulación de la red general



Como observamos en la imagen anterior los valores de potencia activa P son inversos a los que teníamos en el caso de la batería, a excepción de los 0.5MW menos que hemos consumido en la carga a la salida de la generación.

En lo que se refiere a la potencia reactiva de la red tenemos valores de centésimas de Kvar por lo que sería muy poca la demanda de reactiva que le realizaríamos a la red. Estos valores podrían variar en función de los km de línea que tengamos en nuestra micro red, ya que esto variaría la inductancia en ellas.

Para terminar comentaremos que los valores de tensiones son próximos a la unidad ya que están expresados en pu, por lo que tienen que ser las intensidades las que varíen en función de la potencia. Para tomar la referencia en la intensidad hemos tomado una potencia de 10MW y una tensión de 25KV por lo que la referencia sobre la que hacemos el pu (por unidad) sería 400A.

Para entender un poco mejor cómo funcionan los ciclos de carga y descarga de una batería vamos a incluir el gráfico de la ilustración 184. Como podemos observar en la siguiente imagen las tensiones e intensidades pasan por distintas zonas según la fase de carga o descarga en la que se encuentren, estando en ocasiones a tensión constante, a corriente constante o a valores que aumentan hasta llegar a cierto punto:

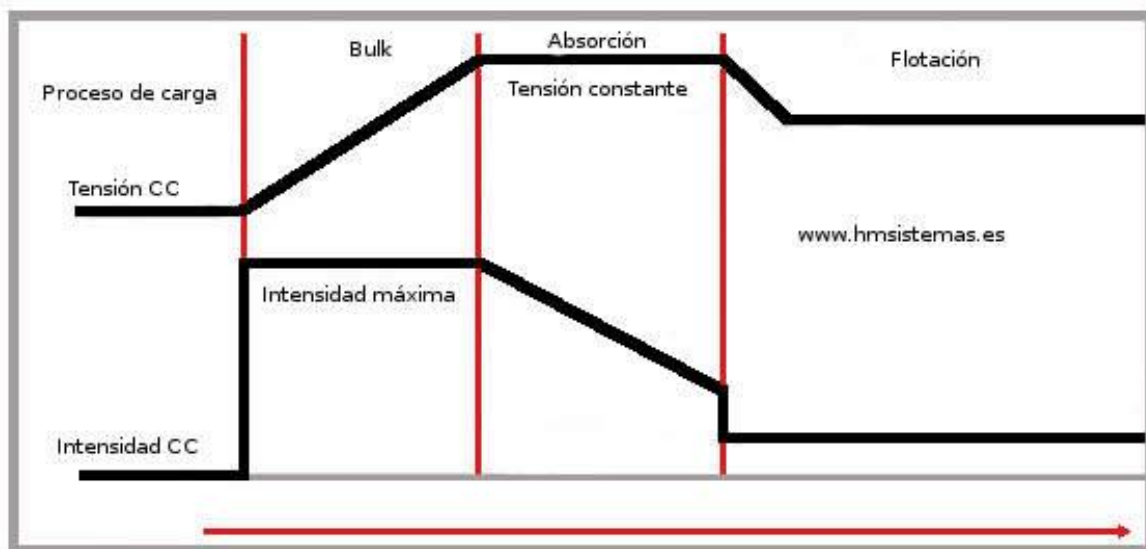


Ilustración 184. Tensiones y corrientes de una batería

3.5- Simulación del vehículo V2G + red general

El último elemento que vamos a introducir en nuestra micro red de Simulink será un coche V2G, el cual puede funcionar como batería en los momentos en los que no se esté usando y se encuentre conectado a la red. Por este motivo estos coches tienen un papel de gran importancia en las micro redes ya que pueden ayudar a estabilizar la tensión y frecuencia de la red durante las horas en las que los propietarios de los vehículos no los utilizan.

La simulación de este elemento es bastante más compleja que el resto de elementos debido a que son muchos los parámetros que debemos controlar para que la micro red funcione de la forma más eficiente posible. Como en el resto de casos vamos a simular este elemento junto a la red general de distribución, pero debemos tener en cuenta que este montaje no es el ideal, ya que no tiene mucho sentido almacenar la energía comprada de la distribuidora para posteriormente devolverla a esta. El esquema del conjunto montado es el de la ilustración 184:

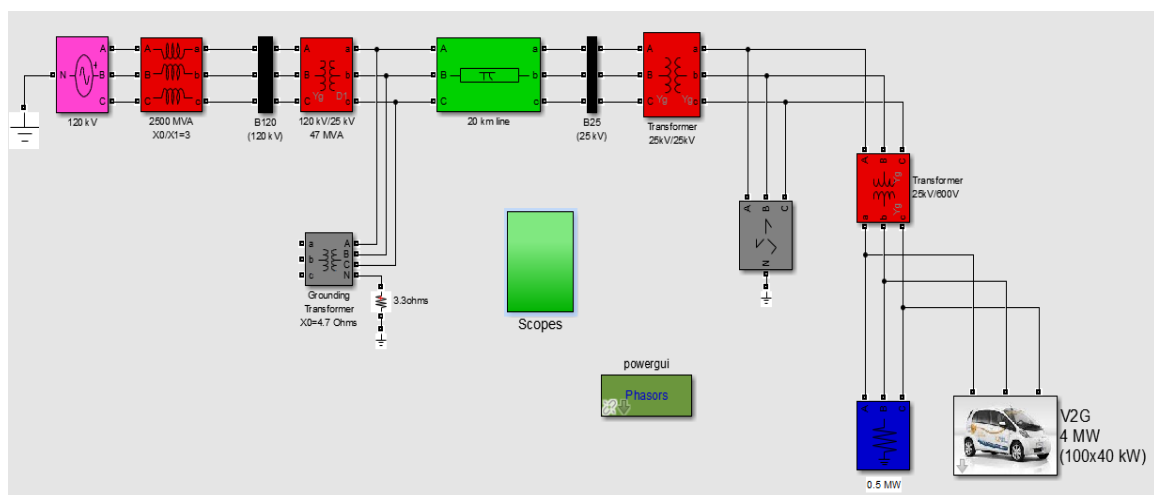


Ilustración 185. V2G + red general

Al igual que en los casos anteriores la parte de la red general es la misma y ya la hemos explicado detalladamente por lo que no volveremos a repetirlo.

También en este caso vamos a realizar una simulación durante 24h (60*60*24 segundos) por lo que también incluiremos el bloque de *powergui* con simulación fasorial.

En lo que se refiere a la parte de los coches conectados a la red (pueden ser completamente eléctricos o híbridos) tenemos una potencia nominal de 4MW y una salida a 600V que debemos transformar a los 25KV de la red de media tensión que posteriormente se conectará a la red general de distribución.



Una vez comentado todo lo anterior pasamos a explicar el bloque del coche V2G de la ilustración 186:

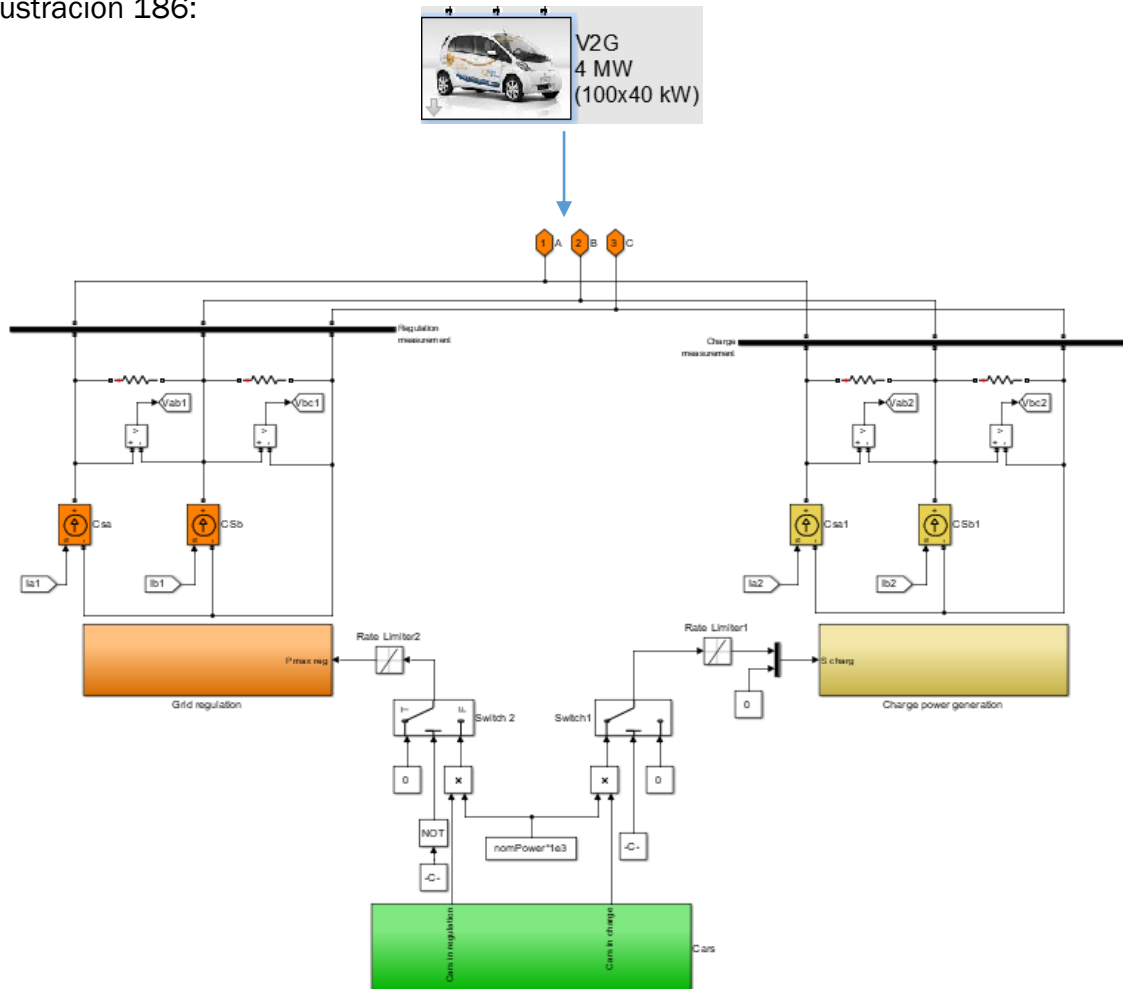


Ilustración 186. Coches V2G

Como podemos ver la complejidad de esta parte es bastante elevada por lo que iremos explicando los bloques por partes. En primer lugar comentaremos como están generados los coches y su funcionamiento, es decir la parte del esquema correspondiente a la ilustración 187:

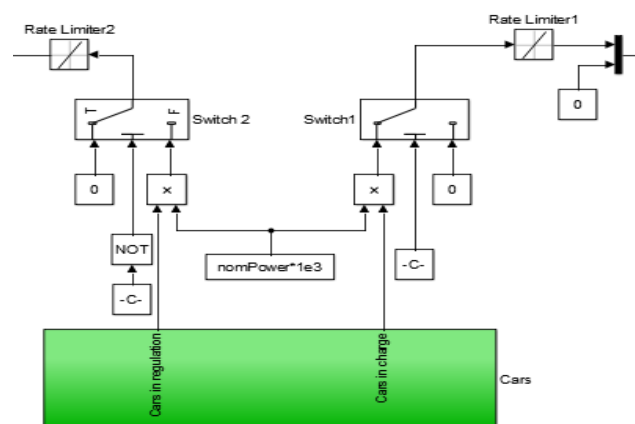


Ilustración 187. Salida de los coches V2G



En la ilustración anterior podemos ver que las salidas de los coches se dividen en dos tipos:

- Por una parte tenemos los coches que se encuentran en proceso de carga, esto significa que han sido utilizados y debemos introducir electricidad en ellos antes de poder utilizarlos como reguladores de la red.
- Por otro parte tenemos los coches que ya tienen sus baterías en pleno estado de carga y que podemos extraer energía de ellos, estos son los denominados coches en regulación.

En el interior del bloque de los coches tenemos el subsistema de la ilustración 188:

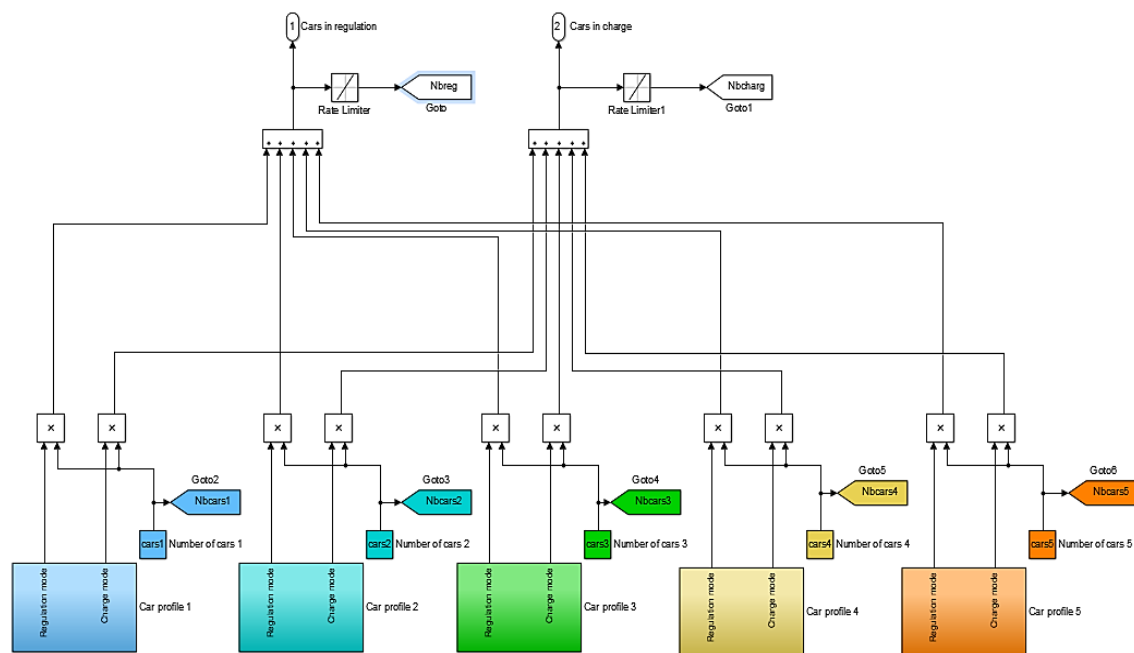


Ilustración 188. Subsistema de los coches

Dentro de este subsistema podemos ver que tenemos 5 perfiles de coches distintos, ya que en una micro red real no todos los coches van a ser iguales. En los perfiles de cada coche tenemos dos modos de funcionamiento, en primer lugar que se encuentren en estado de carga o por el contrario que ya se encuentren cargados y puedan suministrar energía a la red. Posteriormente multiplicamos esta salida por el número de coches de cada tipo que hemos definido y obtenemos la potencia de salida de cada uno de los tipos.

El subsistema contenido en los perfiles de cada bloque es bastante parecido con algunas particularidades que determinarán la potencia que pueden entregar. Su subsistema es el siguiente:

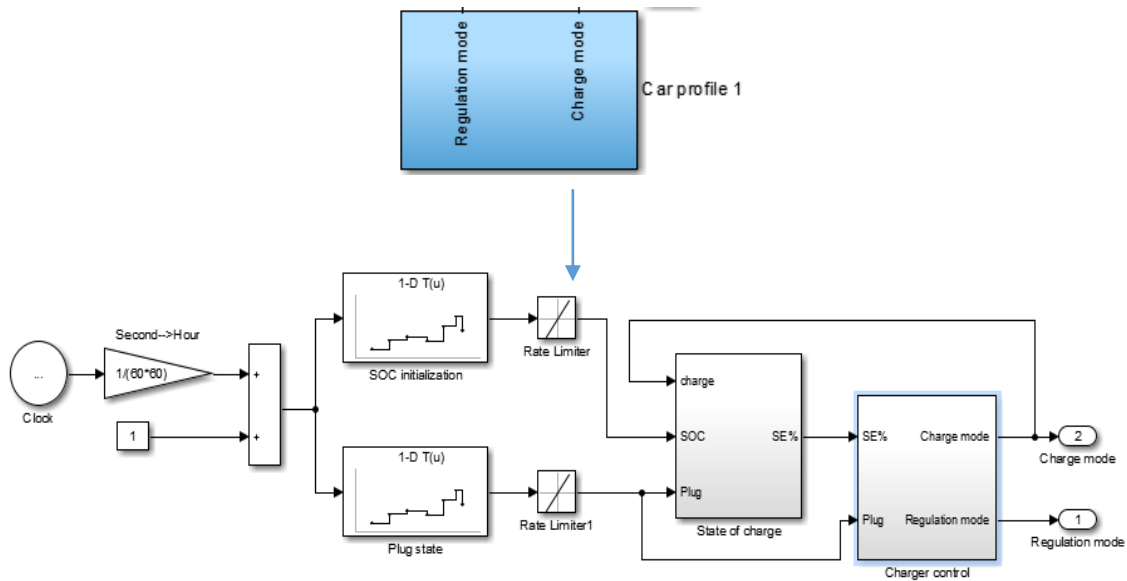


Ilustración 189. Perfil de cada coche

Los elementos que tenemos en este subsistema son los siguientes:

- Reloj con bloque que convierta las horas en segundos.
- Bloques que establecen el estado de la carga y el control del cargador.
- Limitadores a la salida de dichos bloques.
- Subsistemas del estado de carga y el control de la carga. Estos los veremos más en detalle en la ilustración 190:

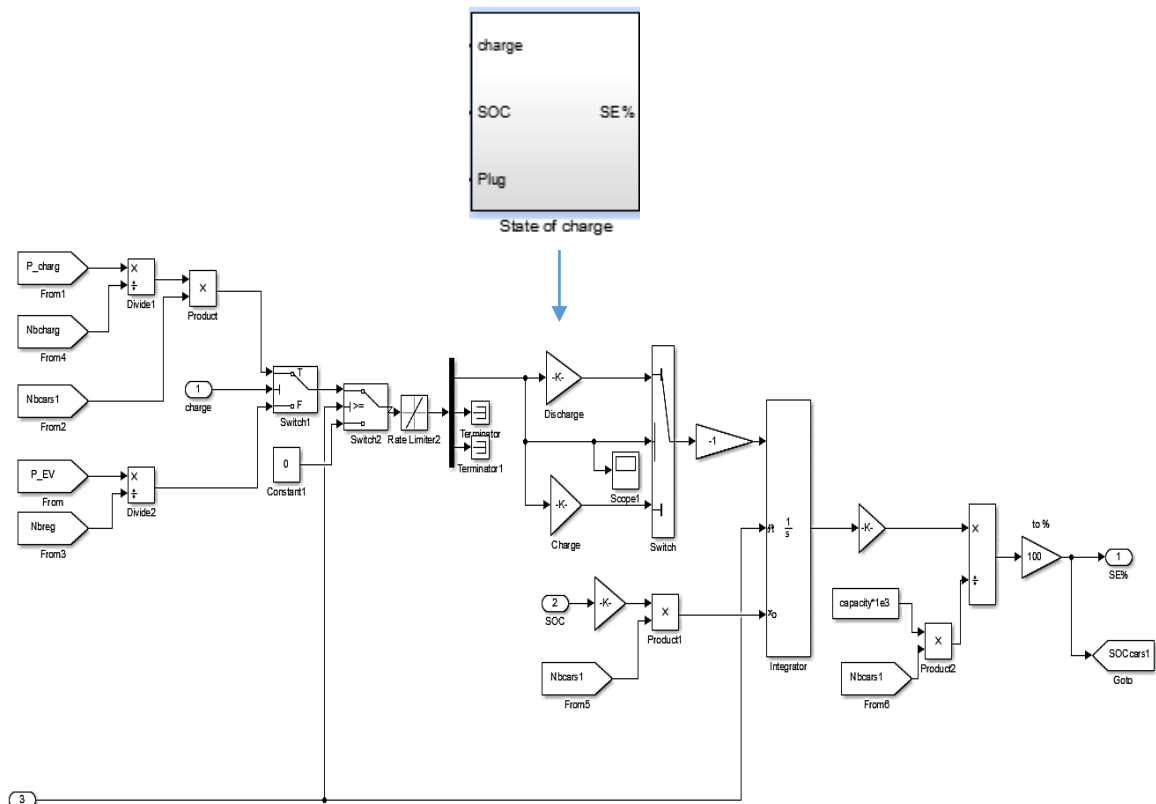


Ilustración 190. Estado de carga V2G



Este subsistema es el encargado de controlar el estado de carga en que se encuentran cada uno de los coches de la micro red. No entraremos más en detalle en las conexiones que se realizan ya que para nuestro proyecto no tienen un interés especial.

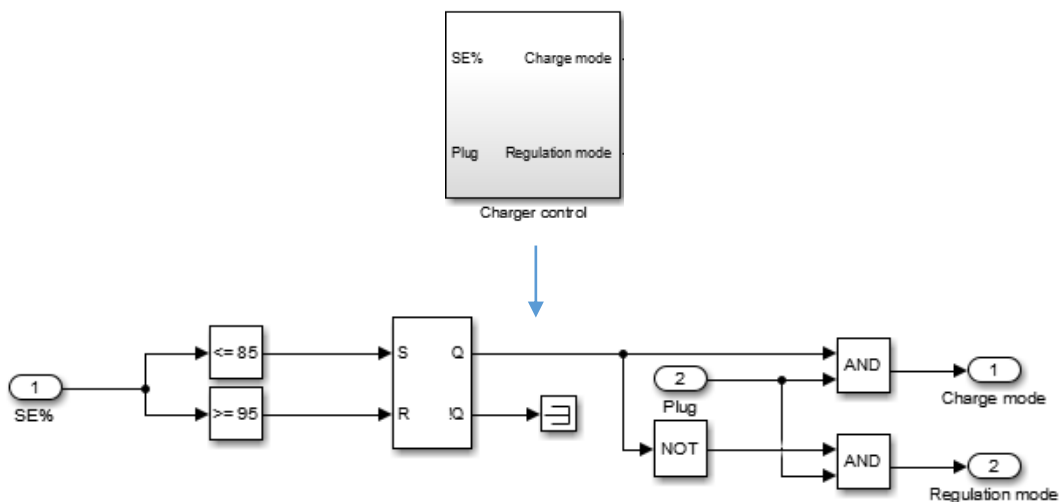


Ilustración 191. Selección del modo de los coches V2G

El subsistema de la ilustración 191 se encargará de revisar el estado de carga de los coches y en el caso de que sea inferior a 85% envía la señal de que los coches aún deben ser cargados. Por el contrario si el estado de carga es superior al 95% los coches ya podrán ser utilizados en el modo de regulación.

Con esto habríamos terminado de comentar lo que a los coches se refiere, por lo que seguiremos explicando los elementos que nos faltan de la ilustración 186 (esquema general de los coches V2G).

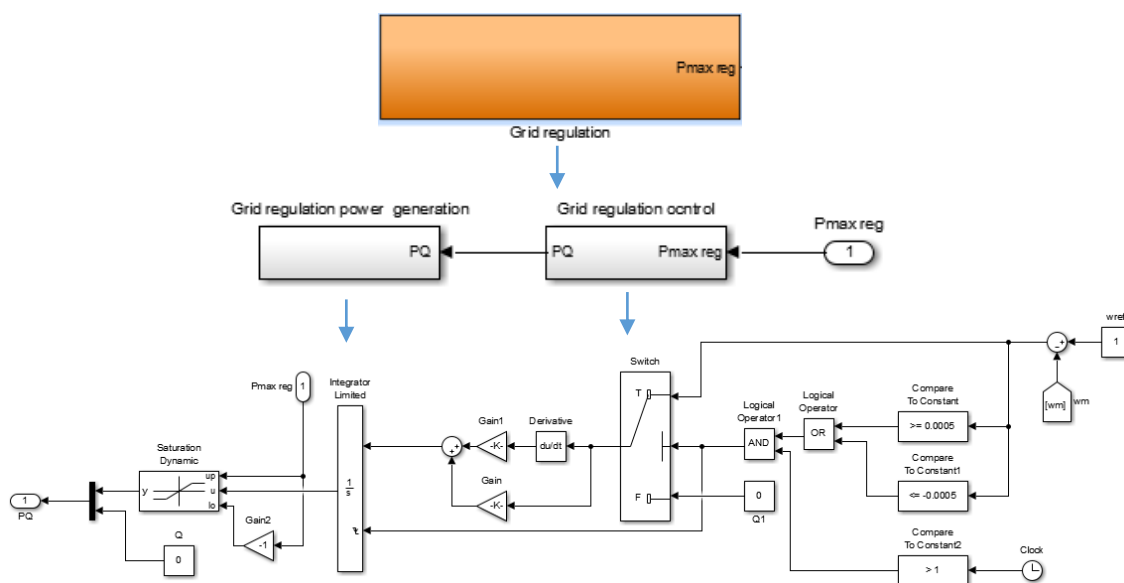


Ilustración 192. Grid regulation control

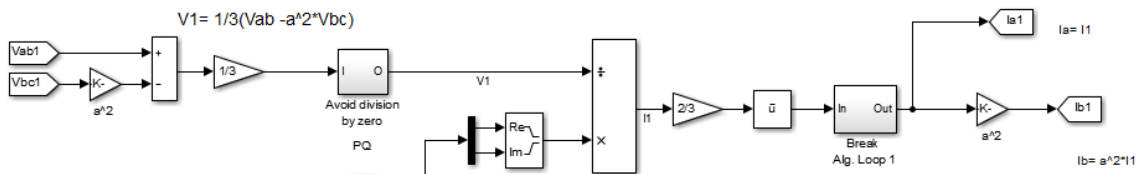


Ilustración 193. Grid regulation power generation

En la parte de las ilustraciones 192 y 193 tenemos como entrada al bloque la potencia máxima de regulación, la cual obtenemos de la suma de todos los coches. Mediante distintas operaciones calculamos las intensidades de línea a partir de la potencia y la tensión y obtenemos las medidas en el modo de regulación.

La última parte que nos queda de explicar del esquema general de los coches V2G es la generación de potencia en la carga cuya entrada es la potencia compleja S de carga:

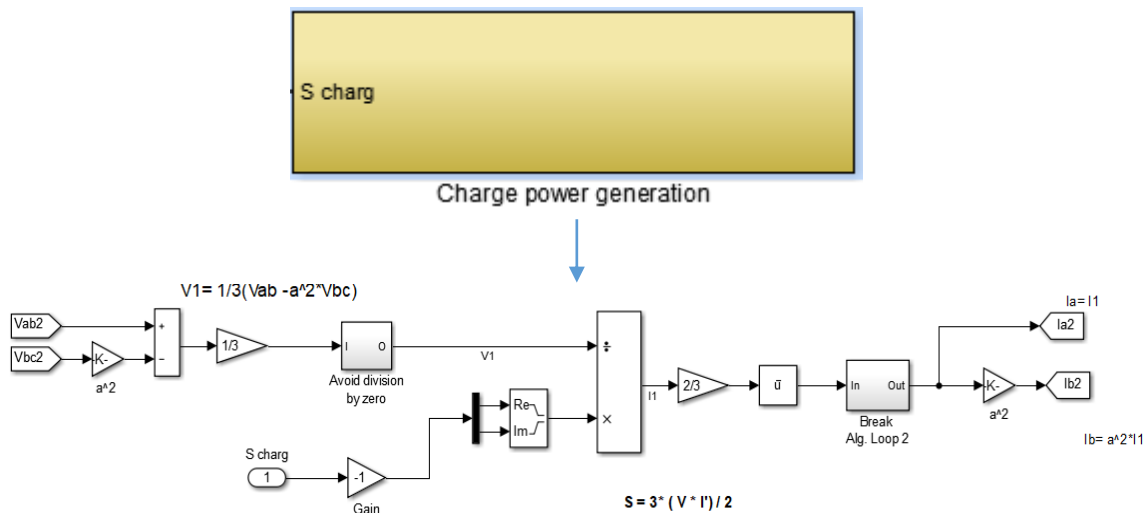
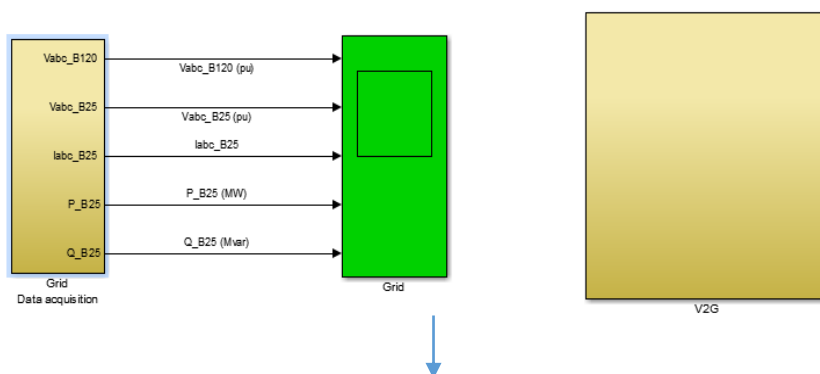


Ilustración 194. Generación de la potencia de carga

Al igual que en el caso anterior a partir de la potencia compleja S y las tensiones de red obtenemos las corrientes de salida, las cuales utilizaremos para controlar la potencia consumida en el caso de que los vehículos se encuentren en estado de carga.

Una vez terminado de explicar el esquema montado pasamos a ver las mediciones que vamos a realizar y los resultados que se obtienen. Los scopes que hemos puesto son los de la ilustración 195:



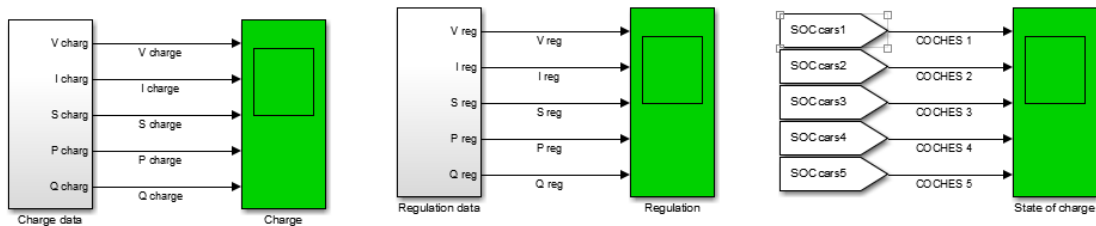


Ilustración 195. Scopes V2G + red general

Las mediciones de la parte de la red son las mismas que hemos realizado en los anteriores ejemplos por lo que no volveremos a explicarlas. Por tanto pasamos directamente a ver las mediciones de los coches conectados a la red en las ilustraciones 196 y 197:

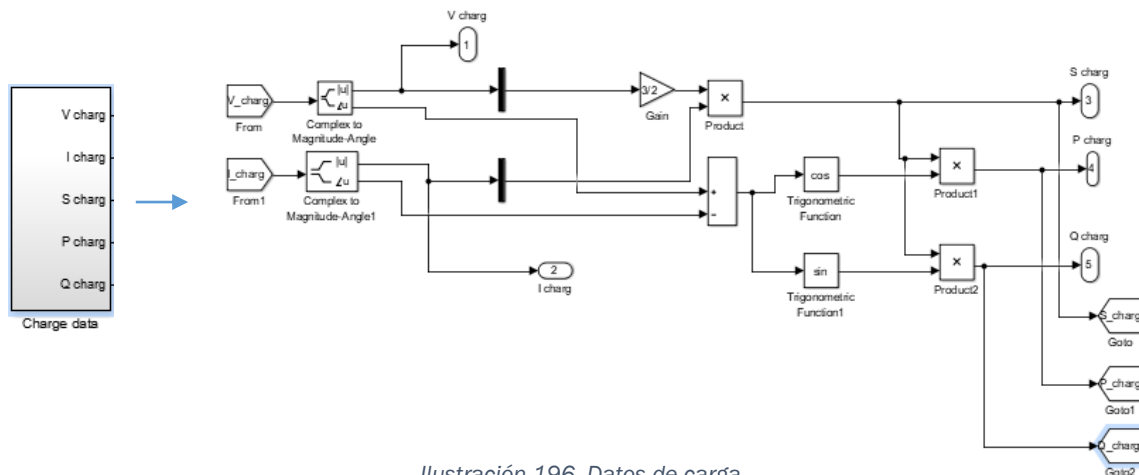


Ilustración 196. Datos de carga

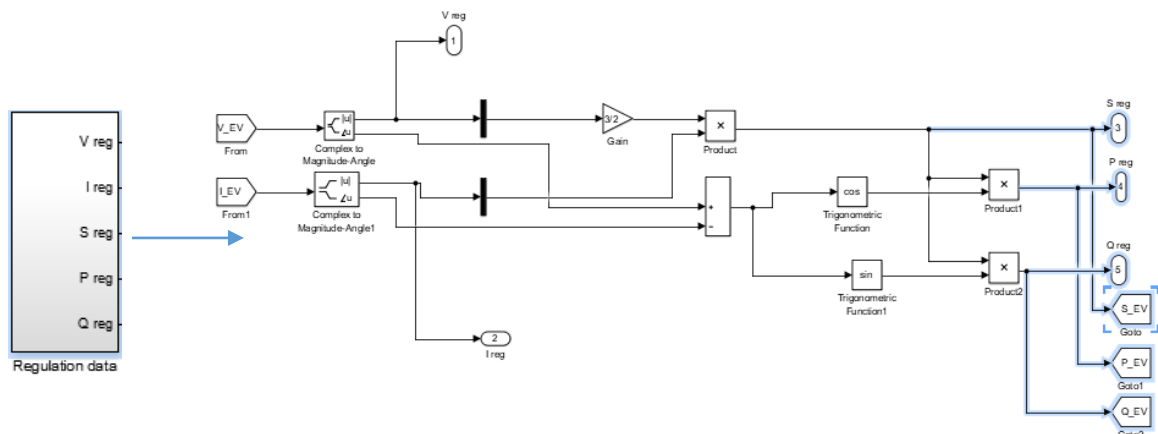


Ilustración 197. Datos de regulación

Las últimas gráficas que son las que indican el estado de carga de los coches no tienen subsistemas, por lo que no las incluiremos junto a las anteriores.



En los datos de regulación y de carga simplemente obtenemos las medidas de tensión y corriente de salida de los vehículos y a partir de ellos mediante algunos procedimientos calculamos la potencia activa, reactiva y aparente. De estas sacamos un *tag* para utilizarlas de nuevo en el esquema de montaje y así crear un sistema realimentado que funcione de la mejor forma posible.

Para finalizar con esta parte vamos a ver las gráficas obtenidas de cada uno de los elementos del sistema que hemos simulado. En primer lugar veremos los *scopes* de la carga de los V2G (vehicle-to-grid):

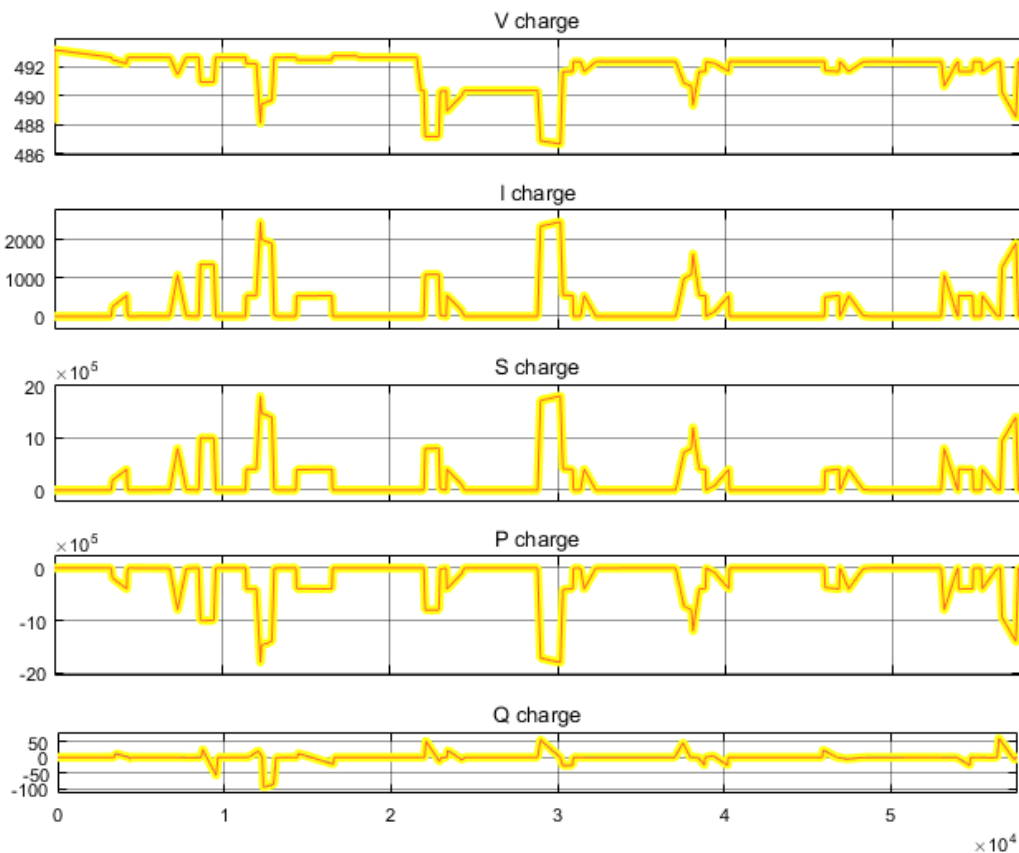


Ilustración 198. Scope de los datos de carga

En la ilustración 198 estamos viendo las gráficas de salida del conjunto de todos los coches cuando se encuentran en régimen de carga. Como podemos ver estos valores son muy irregulares ya que en función del estado de la micro red y de la carga que tengan dichos vehículos, la potencia activa consumida será diferente. En lo que se refiere a los valores de la potencia reactiva tenemos muy poca oscilación, lo cual es óptimo ya que significa que los vehículos demandan poca Q de la red.



En la ilustración 199 tenemos los datos de los vehículos que se encuentran cargados y participan en la regulación de la micro red.

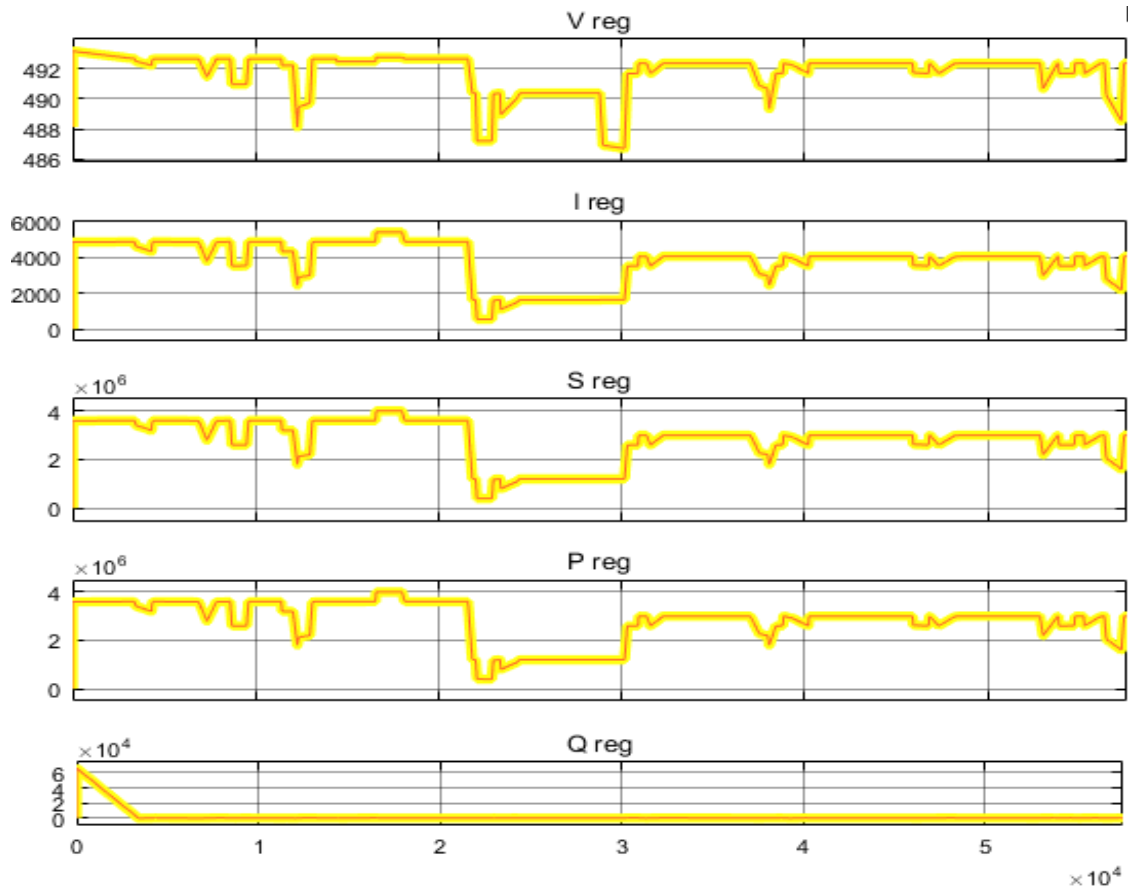


Ilustración 199. Scope de los datos de regulación

En esta ocasión todos los valores de potencia activa son positivos, lo cual significa que están aportando energía a la red. Dichos valores oscilan entre los 0 y los 4 MW lo cual era de esperar por el número de vehículos que tenemos y la potencia que pueden almacenar estos.

En la ilustración 200 podemos ver las gráficas de cómo evoluciona el estado de carga de cada vehículo en función del perfil que tenga. Esto representaría la existencia de vehículos de varios tipos y con distintos perfiles de carga/descarga, lo cual es lo más aproximado a un caso real.

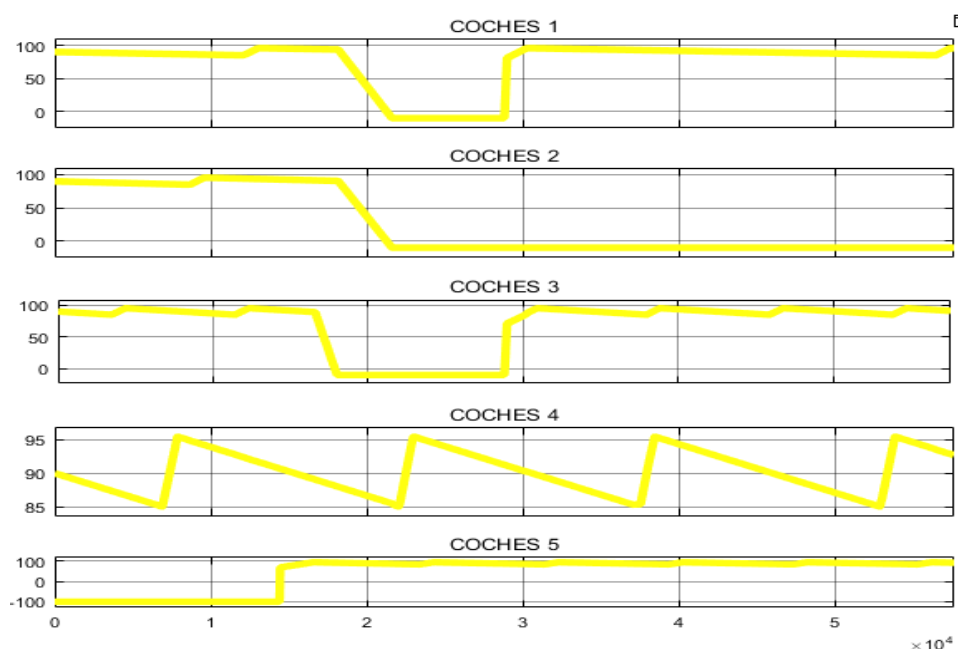


Ilustración 200. Scope del estado de carga de los V2G

Las gráficas indican el porcentaje de carga de cada uno de ellos, por lo que el valor de -100% de los coches de tipo 5 es solamente para ver el comportamiento de la micro red, pero en un caso real no podría darse.

Para finalizar con el esquema del vehículo V2G conectado a la red veremos los consumos y generaciones de potencia en la parte de la red general, los cuales son los esperados viendo las gráficas de los V2G. En la ilustración 201 vemos dichos valores correspondientes a la salida de potencia a la red:

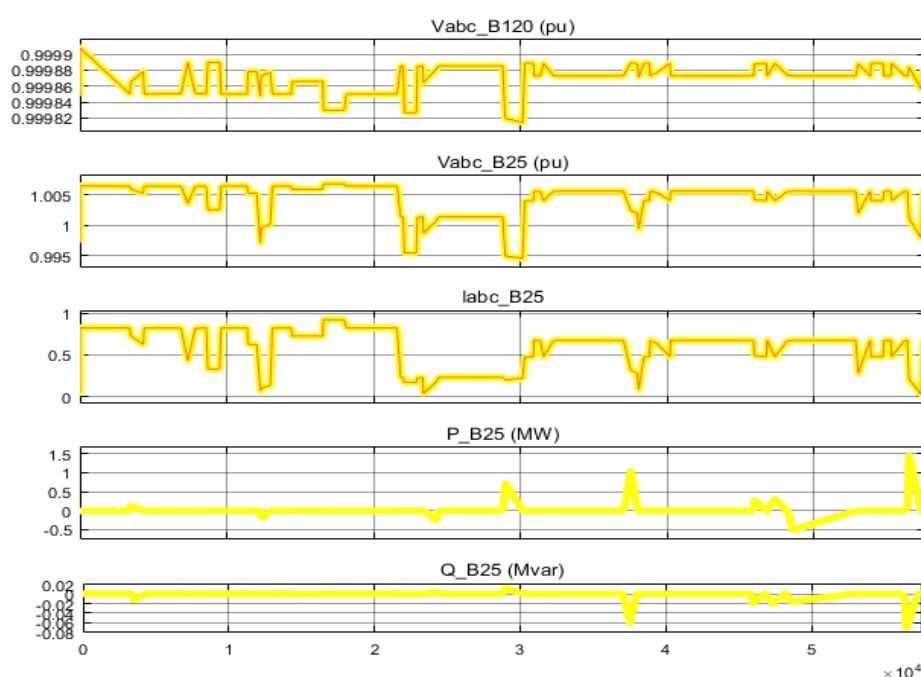


Ilustración 201. Scope de la red general



3.6- Simulación de la micro red completa

Para finalizar con el proyecto sobre micro redes y redes inteligentes vamos a realizar una simulación real de una micro red completa en Simulink durante 24h. A partir de los elementos que hemos simulado en los puntos anteriores vamos a crear una micro red que cuente con la mayoría de los elementos que encontraremos en un caso real de micro redes.

Un paso fundamental para la simulación de la micro red completa es ir analizando cada una de las partes que componen la micro red de manera independiente, entendiendo y simulando su comportamiento en distintos escenarios. Si cada una de las partes funciona de manera correcta es de esperar que el conjunto también lo haga.

Antes de ver el esquema de la ilustración 202 que hemos creado en Simulink explicaremos los elementos con los que cuenta nuestra micro red:

- *Granja de viento*. Este elemento simulará a un conjunto de aerogeneradores que generarán una potencia activa máxima de 1.5MW cuando la velocidad del viento sea la nominal y por tanto estemos trabajando en el punto de potencia máxima (MPP).
- *Paneles solares*. Este módulo simula un conjunto de paneles solares que serán la otra parte de generación renovable de la micro red. Si la irradiancia es de 1000W/m² estos paneles generarán 1MW.
- *Batería*. Este elemento es fundamental en cualquier red que contenga generación renovable. En esta micro red se complementará con los coches V2G para almacenar energía en los momentos en que la generación sea mayor al consumo y entregar energía en el caso contrario.
- *V2G*. Esta parte del esquema simulará el comportamiento de un conjunto de coches eléctricos de distintos perfiles conectados a la micro red. Es un elemento crucial ya que da gran flexibilidad a la generación renovable. La potencia nominal de este elemento es de 4MW.
- *Carga*. El objetivo de toda micro red es generar energía de manera que se satisfaga la carga con los menores costes posibles. En nuestro caso tendremos una carga variable que consumirá una potencia máxima de 10MW.
- *Red general de distribución*. Como en todas las micro redes debemos contar o bien con un generador diésel o con una red general de distribución para los momentos en que el consumo sea superior a la generación renovable. En nuestro esquema nos hemos decantado por utilizar la red general, ya que no es compatible tener ambos elementos. De esta forma habrá un intercambio bidireccional de energía según los intereses económicos de cada momento respecto al consumo/venta de electricidad. La simulación de este elemento será como una fuente de voltaje que entregará a la micro red la energía necesaria, o por el contrario la consumirá de ella.

El esquema desarrollado en Simulink de la micro red completa es el de la ilustración 202:



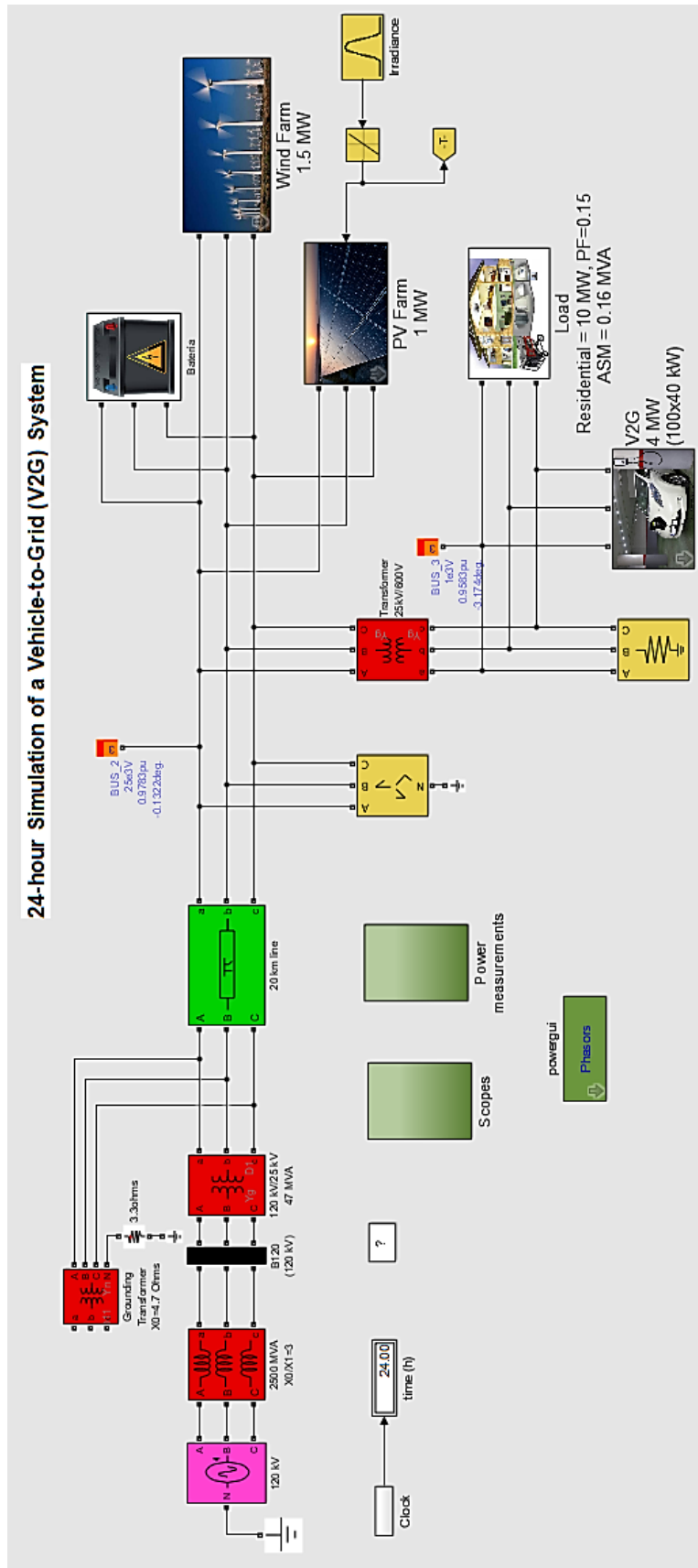


Ilustración 202. Micro red completa en Simulink



En la ilustración anterior podemos ver todos los elementos con los que cuenta la micro red que vamos a simular. Puesto que en los puntos anteriores ya hemos comentado todos los subsistemas que la componen no volveremos a explicarlos ya que su funcionamiento es igual tanto si funcionan dentro de una micro red como si están solamente conectados a la red general de distribución.

El bloque de “*powergui*” es el mismo que hemos utilizado en los casos anteriores para poder realizar una simulación fasorial durante 24h (86.400 segundos). La única diferencia en lo que a simulación se refiere es que en este caso hemos utilizado el modo “*accelerator*” ya que si utilizamos el modo normal debido a la gran cantidad de sistemas y subsistemas con los que contamos dicha simulación tardaba horas en poder realizarse.

Una vez comentado esto vamos a pasar con la parte de mediciones que vamos a realizar sobre todas las variables del conjunto. Los scopes que vamos a visualizar son los de las ilustraciones 203 y 204:

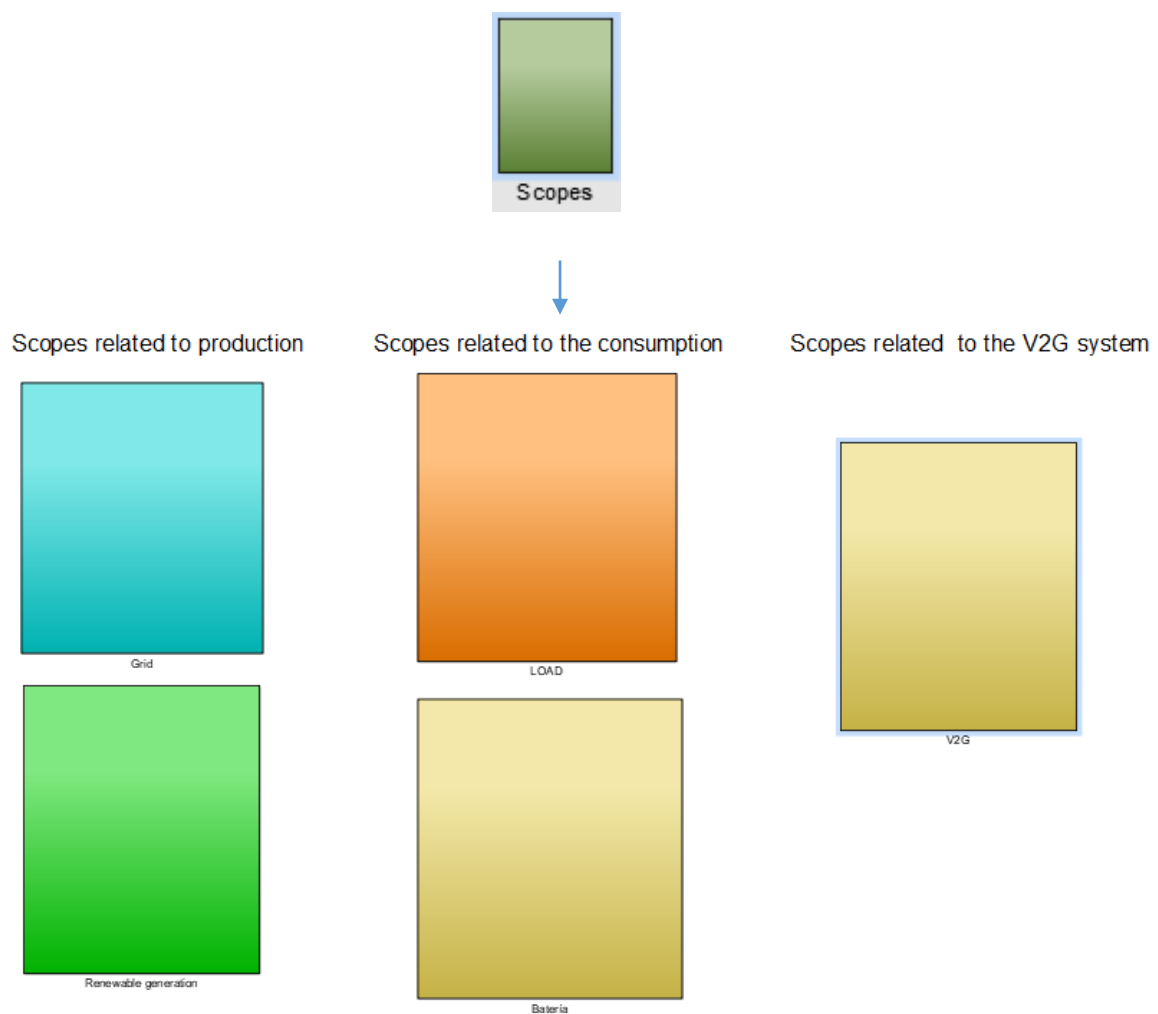


Ilustración 203. Scopes de cada elemento de la micro red

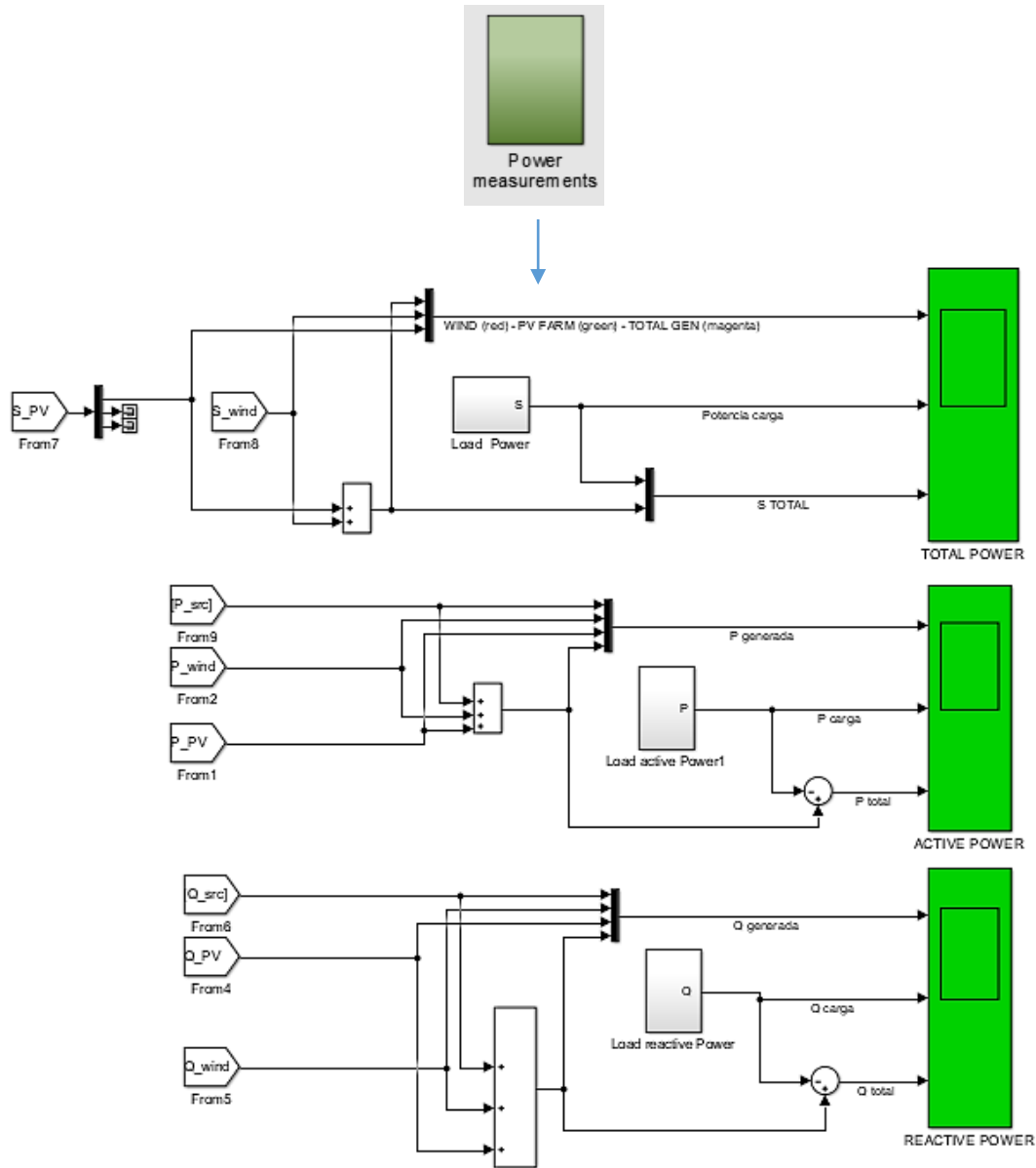


Ilustración 204. Scopes potencia total de la micro red

En la ilustración 203 podemos ver todos los elementos que componen la micro red, teniendo que crear subsistemas para cada uno de ellos. Estos subsistemas los veremos a continuación:

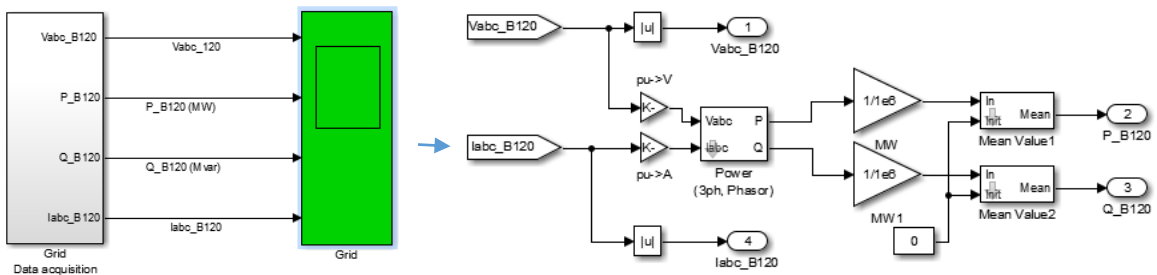


Ilustración 205. Scopes de la red general

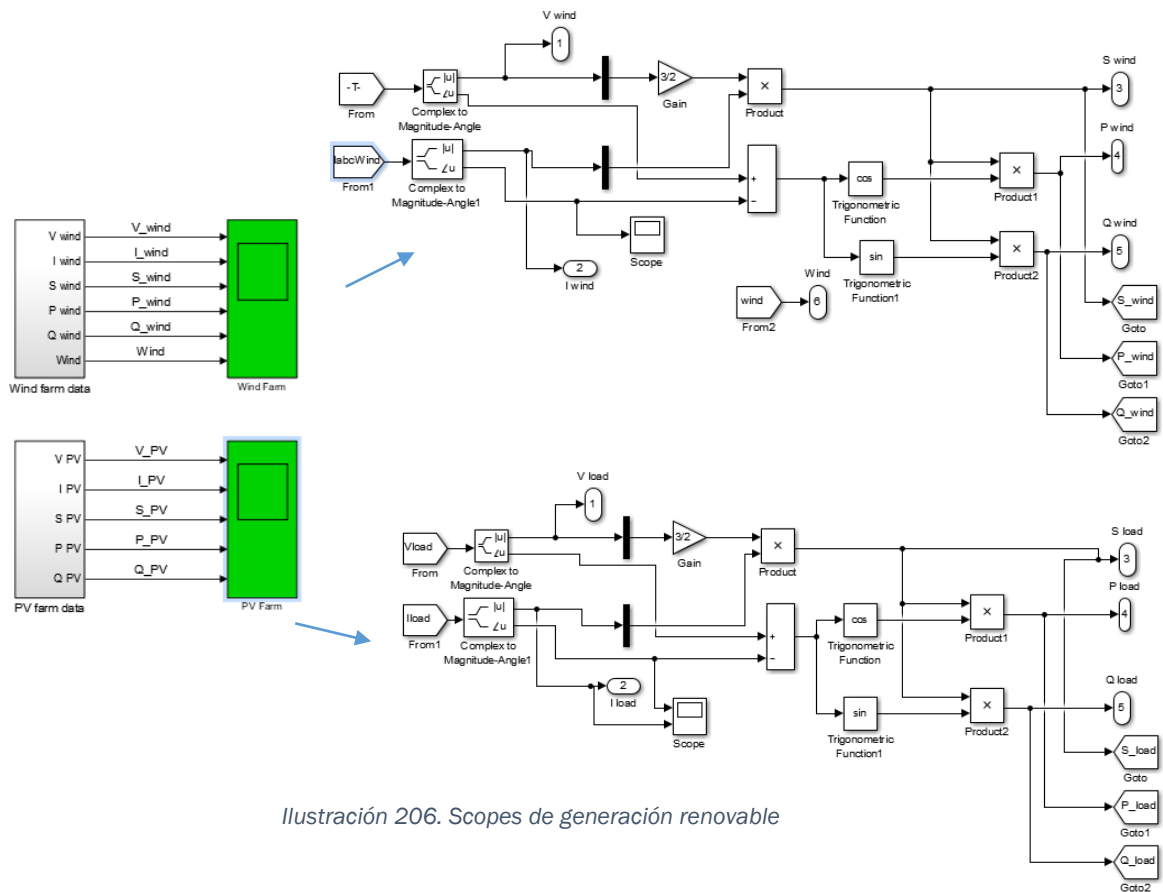


Ilustración 206. Sscopes de generación renovable

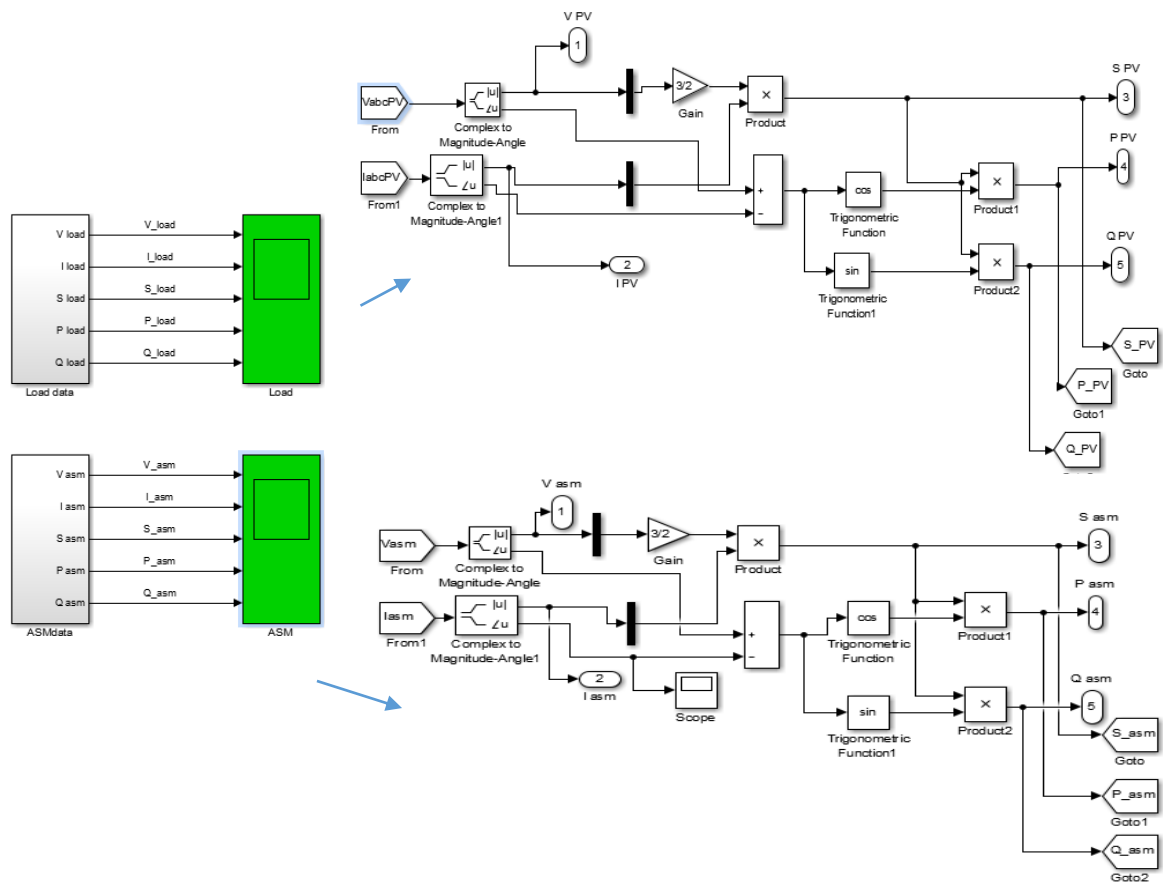


Ilustración 207. Sscopes de la carga

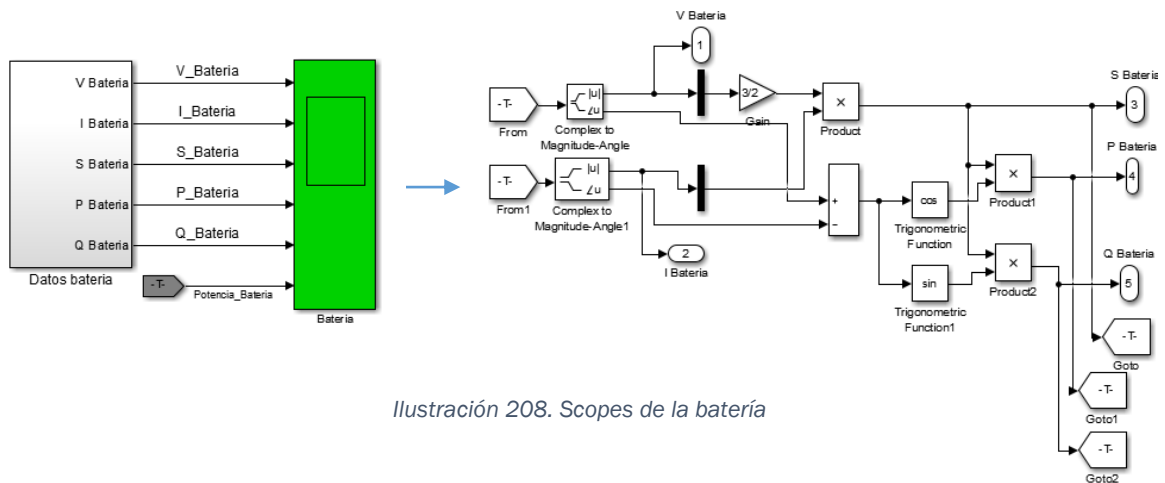


Ilustración 208. Scopes de la batería

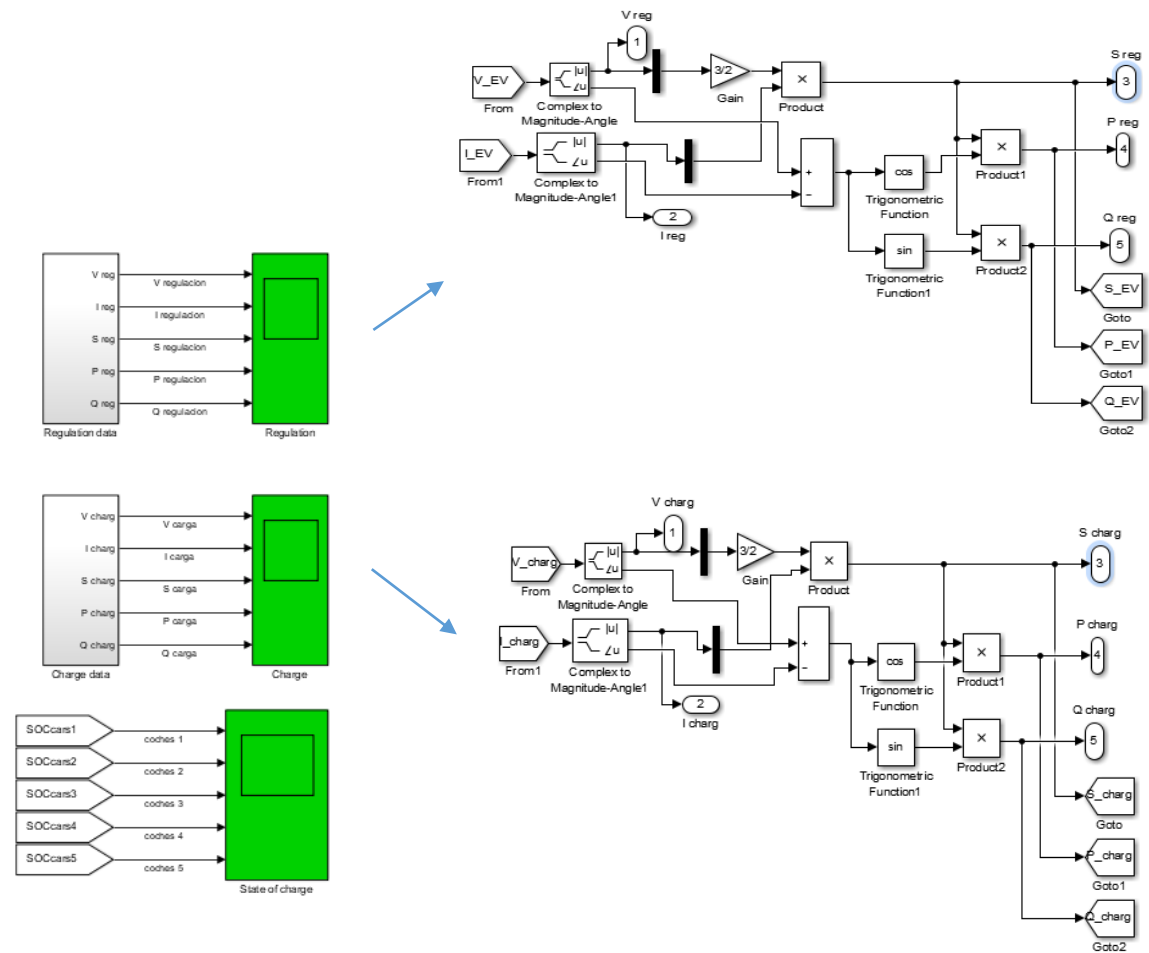


Ilustración 209. Scopes de los V2G



En las ilustraciones 205, 206, 207, 208 y 209 tenemos las ventanas gráficas de todos los elementos que componen la micro red, por lo que el siguiente y último paso que vamos a ver serán las gráficas de tensiones, corrientes y potencias de cada elemento.

En primer lugar veremos las gráficas de los paneles solares que corresponden con la ilustración 210:

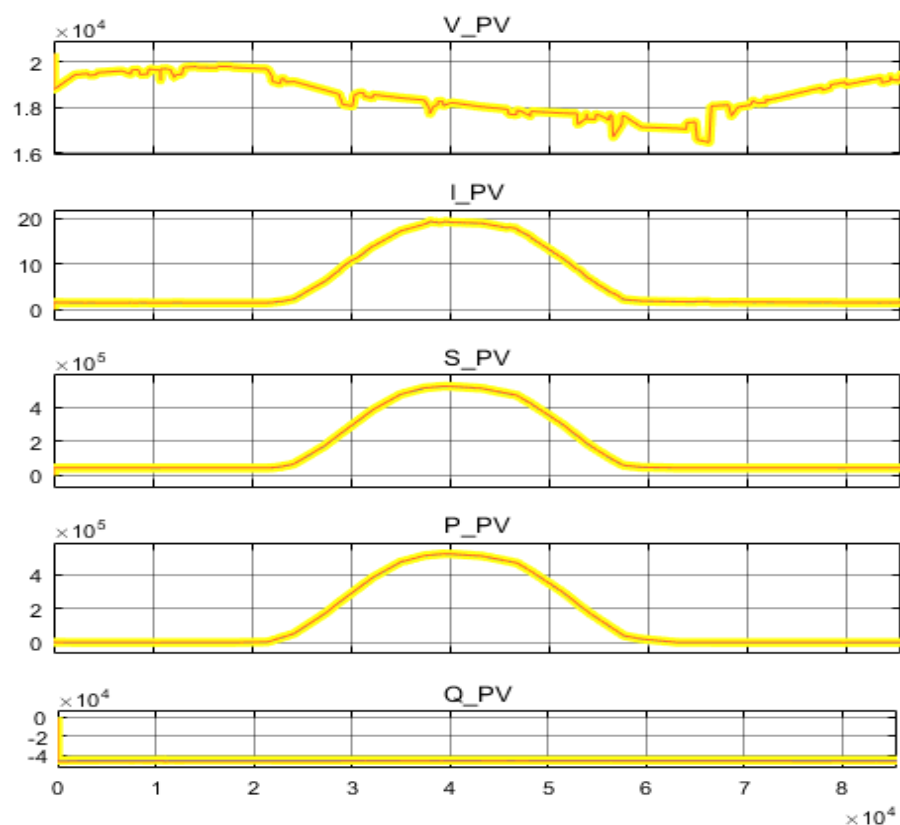


Ilustración 210. Gráfica paneles solares en micro red completa

En la ilustración anterior podemos ver que las formas de onda de todas las magnitudes medidas son iguales que en el caso de simular solamente los paneles solares junto a la red general. La forma de onda de la tensión varía entre distintos valores en función de la irradiancia incidente teniendo un valor máximo de aproximadamente 20KV. En lo que respecta a la potencia activa P su valor máximo corresponde al momento de mayor sol incidente con un valor de aproximadamente 0.5MW. La potencia reactiva Q es constante y tiene el valor de -0.04Mvar lo cual significa que es consumida y que será necesario que otro elemento la aporte.

El siguiente elemento de cual vamos a observar sus gráficas será la granja del viento, como podemos ver en la ilustración 211:

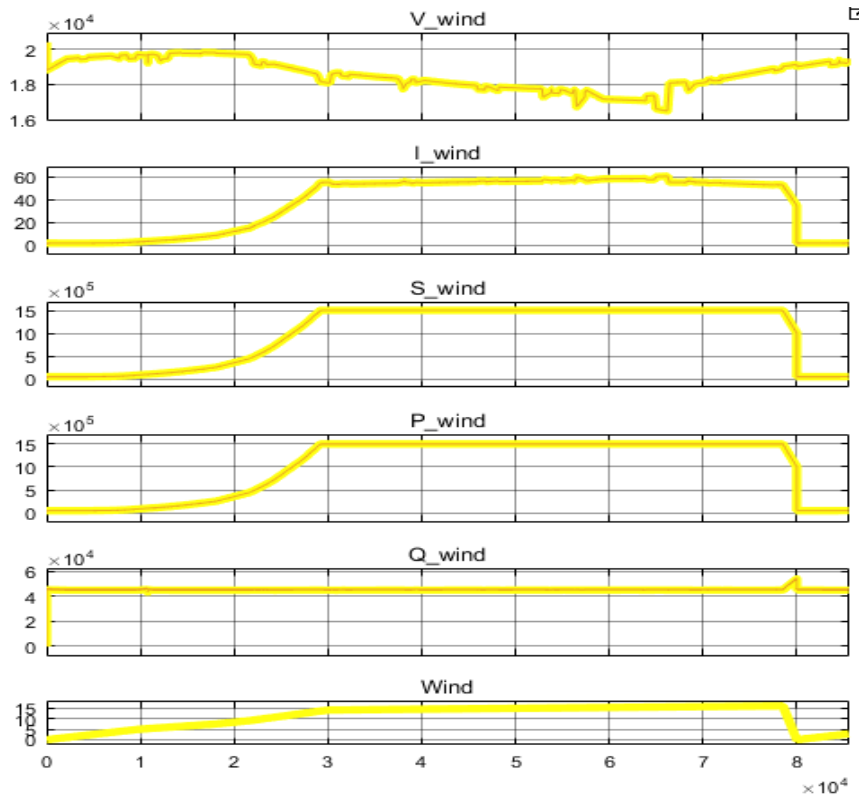


Ilustración 211. Gráfica aerogeneradores en micro red completa

Con el conjunto de aerogeneradores ocurre lo mismo que en el apartado 3.1, los valores de tensiones y corrientes son variables hasta que llegamos a la velocidad nominal del viento, aproximadamente a los 30000 segundos. En este momento la potencia activa generada es la nominal de la planta y tiene el valor de 1,5MW. La potencia reactiva generada es de 0.045Mvar aproximadamente.

El siguiente elemento que analizaremos serán las gráficas de la batería. Debido a la forma en que hemos simulado este elemento simplemente será la encargada de suministrar o almacenar energía en función de las entradas con que cuente. La serie de valores de entrada que le hemos puesto son los siguientes:

Parameters	
Time values:	[0 10000 20000 30000 50000 70000 80000]
Output values:	[0 2e6 4e6 -2e6 -4e6 -3e6 0]

Ilustración 212. Potencia de la batería



Finalmente las gráficas obtenidas son las de la ilustración 213:

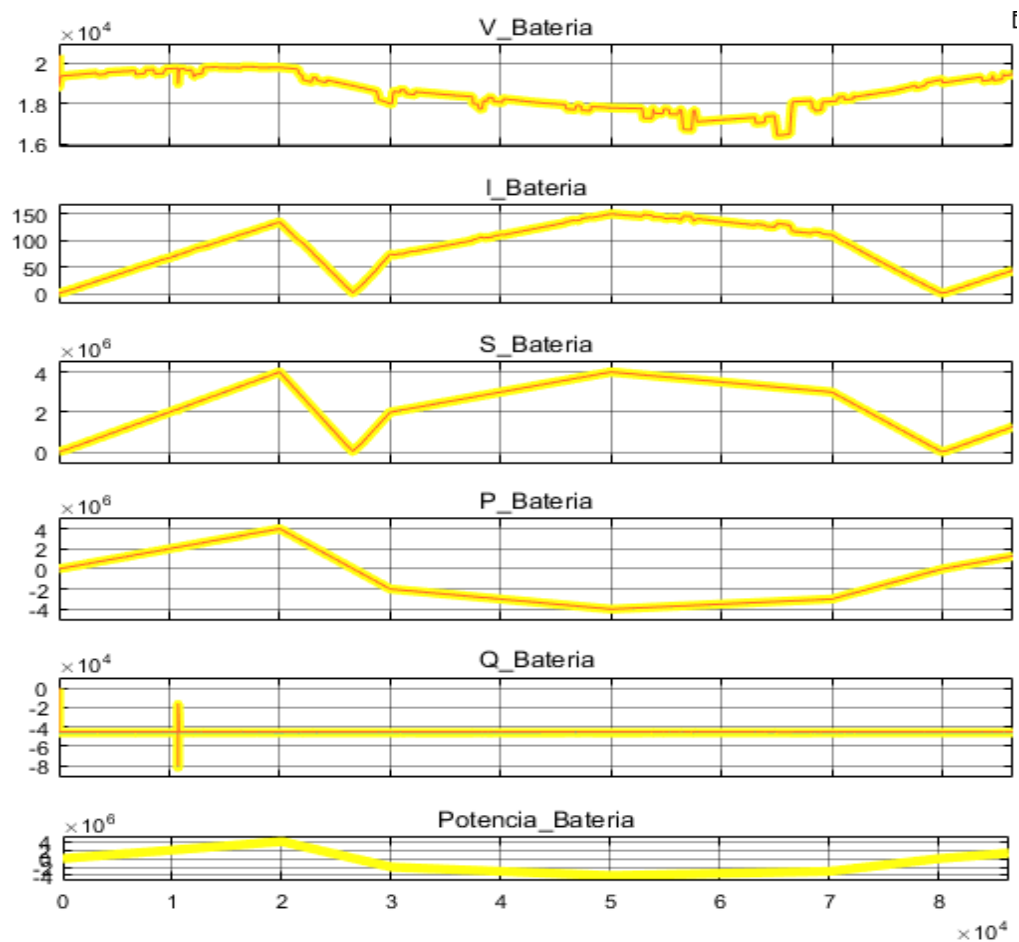


Ilustración 213. Gráfica batería en micro red completa

Como se observa en la ilustración anterior si la potencia activa tiene valores positivos esto significará que está cargada y por tanto será la encargada junto a las fuentes de generación renovable de satisfacer la carga. Por el contrario si la potencia activa es negativa significa que estamos cargando las baterías a partir de la energía renovable.

Junto a las baterías el otro elemento de la micro red que permite el aprovechamiento de la energía renovable van a ser los coches V2G los cuales en los momentos en que no sean utilizados funcionan como unas baterías más, las cuales pueden o bien absorber energía o entregarla a la carga.

En las ilustraciones 214, 215 y 216 vemos las gráficas de estos vehículos:

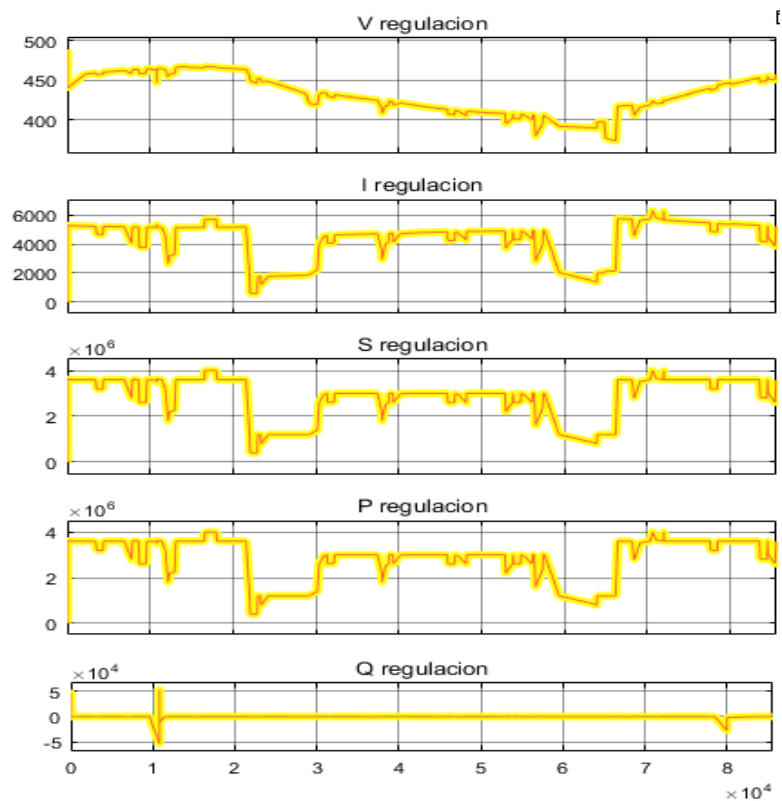


Ilustración 214. Gráfica V2G cargados en micro red completa

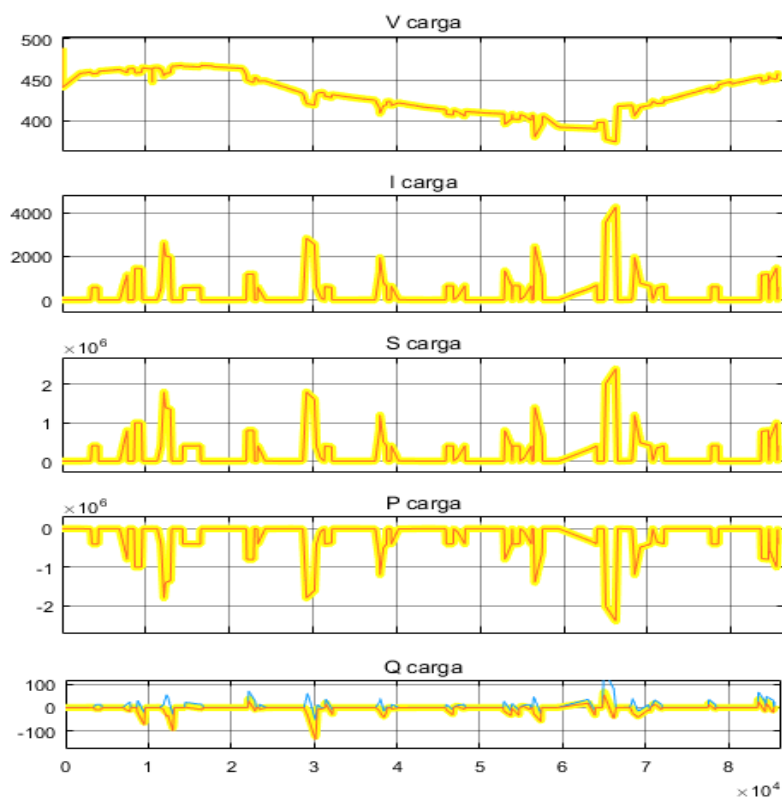


Ilustración 215. Gráfica V2G descargados en micro red completa

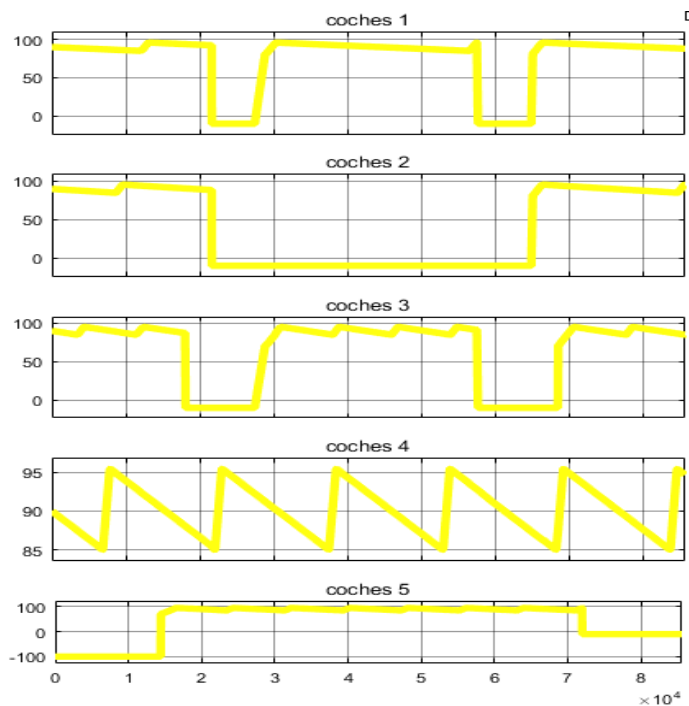


Ilustración 216. Gráfica estado de carga de los V2G en micro red completa

En función del perfil de cada coche y las horas en que se usan el estado de carga va variando. En el momento en que los coches están completamente cargados se usan como baterías que entregan energía en caso de que se necesite. Por el contrario si estos no están cargados al 95% funcionan como baterías que absorben energía generada.

El siguiente elemento que explicaremos será la red general de distribución. Sus gráficas correspondientes son las de la ilustración 217:

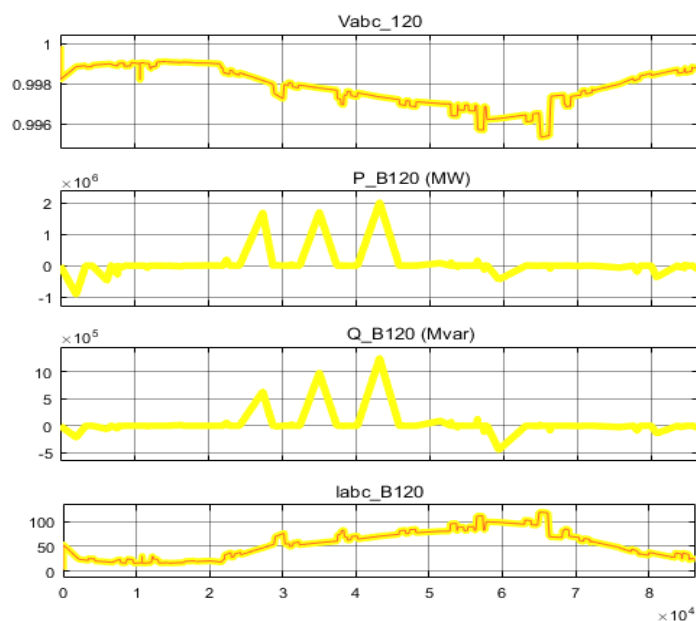


Ilustración 217. Gráfica red general de distribución en micro red completa



De la ilustración anterior vemos que la potencia activa tiene distintos valores en función de las necesidades de la micro red. En los momentos en que la generación renovable junto a las baterías no es capaz de satisfacer la carga esta es encargada de proporcionar la energía que falta, teniendo unos valores máximos de consumo de 2MW. Por el contrario en los momentos en que tenemos un excedente de energía (a los 2000 segundos por ejemplo) la red absorberá dicha energía, siendo el momento de mayor venta de aproximadamente 1MW.

El único elemento que faltaría de ver sus formas de onda de corrientes, tensiones y potencias sería la carga. Esta lo hemos dividido en 2 gráficas diferentes, por un lado la de la carga y por otro lado la de la máquina asíncrona. En las ilustraciones 218 y 219 podemos ver los resultados:

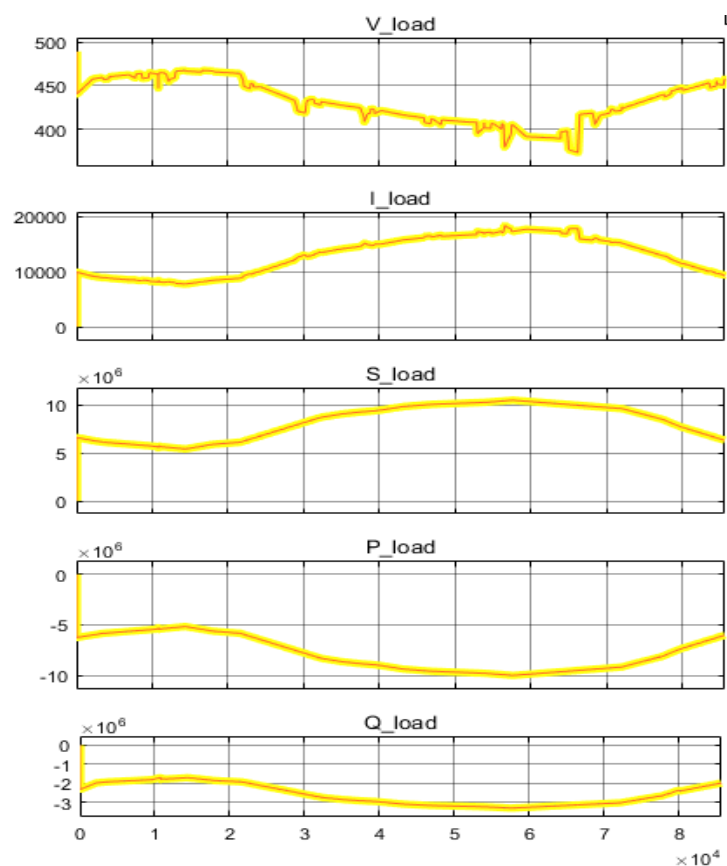


Ilustración 218. Gráfica de la carga en micro red completa

En esta primera gráfica de la carga podemos ver que los valores de la potencia activa tienen forma senoidal y varían entre un consumo de 5 a 10MW. La potencia reactiva tiene la misma forma de onda pero sus valores de consumo se encuentran entre los 2 y los 3Mvar.

La tensión oscila entre valores de 350 a 500V por lo que para tener la potencia demandada son necesarias corrientes de más de 10000A.



En último lugar vamos a ver las gráficas del motor asíncrono de la carga:

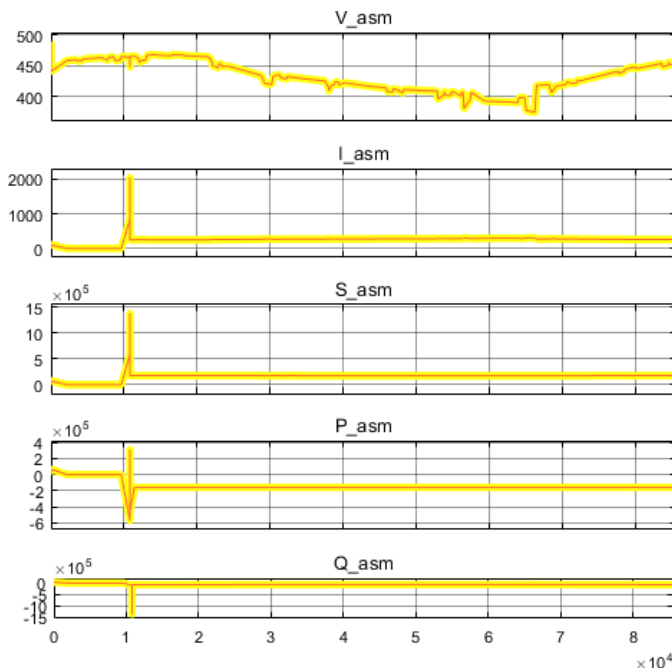


Ilustración 219. Gráfica del motor asíncrono en micro red completa

Al contrario que en el caso de la carga los consumos de potencia activa y reactiva en el motor son siempre constantes a excepción de los 11000 segundos que tenemos un pico de demanda. La potencia activa tiene un valor constante de -0.2MW y la reactiva de prácticamente 0Mvar.

Una vez analizados todos los elementos que componen la micro red solo nos falta ver las gráficas de los balances completos de energía.

En primer lugar vamos a ver la potencia activa total en la ilustración 20:

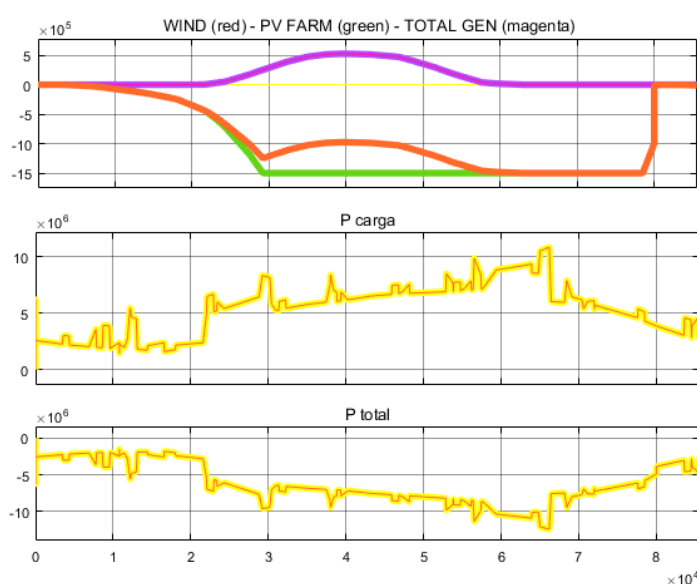


Ilustración 220. Potencia activa total en micro red completa



En la ilustración anterior podemos ver la parte de la energía total que hemos generado a partir de los paneles solares y de los aerogeneradores, además de la total generada. También vemos el balance completo de potencia activa y el de la carga.

En la ilustración 221 podemos ver el mismo balance pero para la potencia reactiva Q:

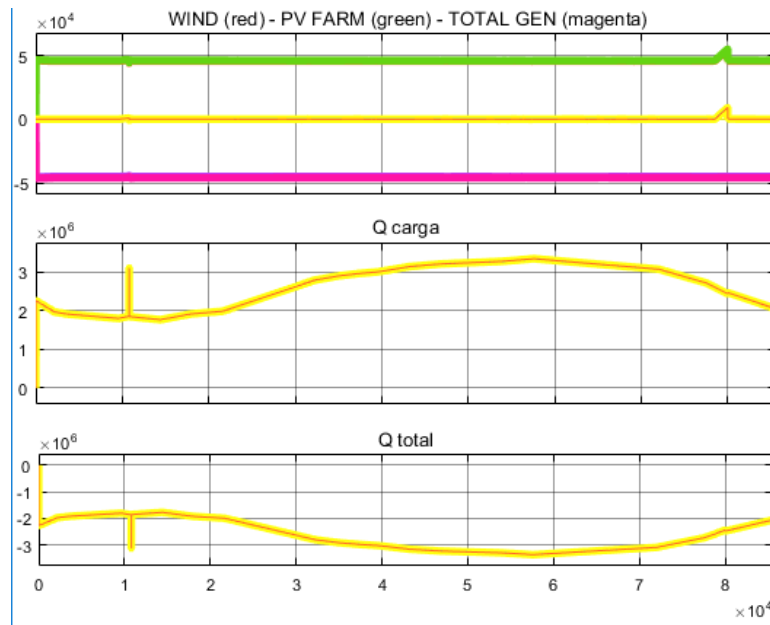


Ilustración 221. Potencia reactiva total en micro red completa

La última ilustración (222) podemos ver el balance global de potencia aparente S:

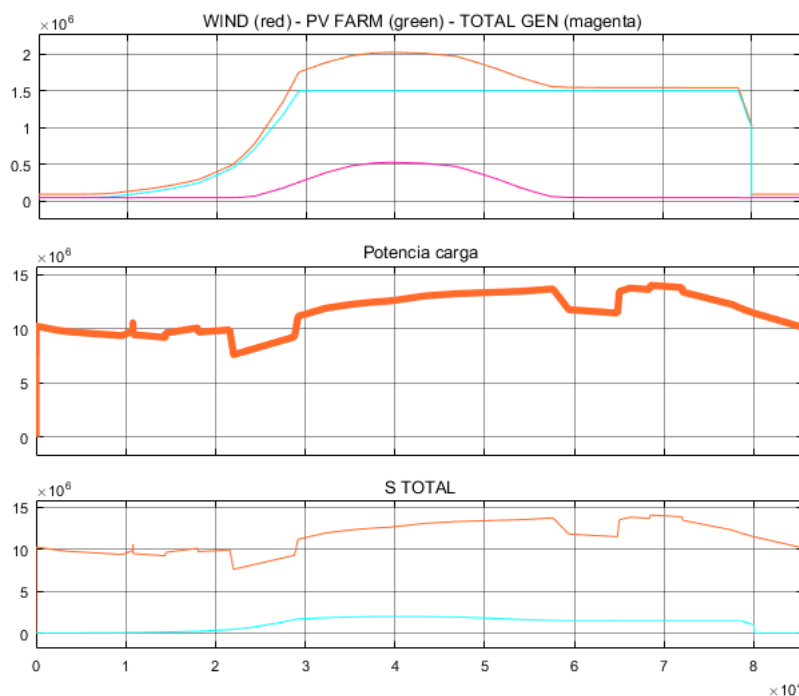


Ilustración 222. Potencia aparente total en micro red completa



CONCLUSIONES:

Como resultado del estudio realizado sobre el tema de micro redes y redes inteligentes no podemos terminar sin analizar algunas de las principales conclusiones que envuelven a este tema. A continuación se expondrán las principales conclusiones que el autor ha sacado de la realización de este TFG:

- Es necesario un cambio en la forma de generación actual. Además de que la mayor parte de las líneas de alta tensión están obsoletas tenemos que buscar una mejora que permita generar la energía lo más cerca posible del usuario para así reducir las pérdidas de transporte.
- El tema de las micro redes y las redes inteligentes se encuentra en un momento de experimentación y estudio, por lo que actualmente solo se pueden encontrar plantas piloto que introduzcan este tipo de redes. En mi opinión es cuestión de tiempo que prácticamente toda la electricidad empiece a generarse de manera descentralizada.
- No solo es necesario seguir avanzando en el tema de las micro redes, sino que ciertos avances en lo que a la generación y el almacenamiento se refiere pueden dar un gran impulso a que se extienda este nuevo concepto de generación energética.
- En la actualidad no son muchos los software que permiten la simulación de micro redes, sino que la mayoría son muy genéricos para cualquier tipo de red. Si queremos seguir progresando en este concepto será necesaria una aparición de más programas específicos del sector como lo es HOMER.
- La complejidad que rodea a una micro red puede extenderse prácticamente hasta el infinito, por lo que la simulación en tiempo real de una micro red a gran escala implica el trabajo de un gran número de ingenieros y por tanto unas inversiones cuantiosas.
- La sociedad actualmente se está convenciendo de que necesitamos un cambio y que no podemos seguir con la generación tan destructiva de la actualidad. Por este motivo creo que los gobiernos (en concreto el español) deben abrir los ojos y apoyar a la generación renovable.
- Los conceptos que embarcan a una micro red se extienden desde un monitoreo exhaustivo hasta una instrumentación de potencia lo más eficiente posible. Por este motivo son muchos los sectores sociales que deben actuar unidos si queremos poder llevar este concepto a lo más alto.
- Las redes inteligentes van de la mano junto a las micro redes, por lo que si una se ve en auge la otra también lo hará. Las formas de generación y consumo inteligentes cada día están más desarrolladas y permiten controlar mejor la cantidad de energía necesaria para cada carga.





BIBLIOGRAFÍA:

La mayor parte de la información utilizada para la realización de este TFG ha sido obtenida de numerosas páginas web, siendo algunas de ella:

- <https://www.energias-renovables.com/panorama/plexos-la-herramienta-para-desvelar-los-secretos-20170301>
- <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/ii-congreso-sg-monitorizacion-de-microrredes-cemos>
- <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112557>
- <https://es.slideshare.net/pesfieeunac3/gua-bsica-de-digsilent-power-factory>
- <https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36286.pdf>
- <https://es.mathworks.com/help/phymod/sps/examples/simplified-model-of-a-small-scale-micro-grid.html?requestedDomain=true>
- http://www.cucei.udg.mx/maestrias/electrica/sites/default/files/operacion_de_una_micro-red.pdf
- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70549/fichero/Capitulo+5.pdf>
- <https://es.wikipedia.org/wiki/TRNSyS>
- <http://www.futureenergyweb.es/digital-versions/REP2015/09-M/files/assets/basic-html/page19.html>
- <https://jmirez.wordpress.com/2012/09/22/j512desarrollando-simulacion-de-dos-microredes-interconectadas/>
- <https://building-microgrid.lbl.gov/about-microgrids>
- <http://www.factorymicrogrid.com/es/el-proyecto/descripcion-del-proyecto.aspx>
- <http://www.il3.ub.edu/blog/cambio-climatico-eficiencia-energetica-y-la-cop21-de-paris/>
- <https://www.smartgridsinfo.es/2015/04/16/isabel-carrilero-y-monica-aguado-proyecto-factory-microgrid>
- <http://smartgridspain.org/web/blog/2016/10/25/e-on-ofrece-mantenimiento-remoto-sistemas-fotovoltaicos/>
- <http://todoproduktividad.blogspot.com.es/2010/07/microgrids-las-claves-de-la-generacion.html>
- <http://www.greenenergy-latinamerica.com/microgrids-microrred/>
- <https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/cuatro-experiencias-microgrids>
- https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36755/1/tesis_valdivieso_sarabia.pdf
- https://compinformatidf.files.wordpress.com/2009/10/conimera_2009_peru_t_rabajo-completo_jmirez.pdf
- <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/15022/Articulo%20Fabio.pdf>
- <http://www.solarnews.es/2017/11/02/engie-y-schneider-electric-marcan-el-primer-hito-de-la-microgrid-renovable-multi-fluidos-de-singapur-la-mas-grande-del-sudeste-asiatico/>
- <http://www.noticiasmaquinaria.com/el-rol-del-grupo-electrogeno-en-el-nuevo-escenario-de-las-microgrid/>



- https://www.aeeolica.org/uploads/documents/jir2010/V_Gonzalo-Piernavieja_ITC.pdf?phpMyAdmin=nkH26XnGN7Ws3Rn1f-QjR33eVc7
- <https://www.voltimum.es/articulos-tecnicos/microgrids-definicion-y>
- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70686/fichero/Nuveva+Versi%C3%B3n+del+TFM+de+Shi%2CZekun.pdf>
- <file:///C:/Users/PC/Downloads/5722-61-29974-4-10-20170222.pdf>
- <file:///C:/Users/PC/Downloads/15214-27849-1-SM.pdf>
- http://catedras-etsi.us.es/endesared/documentos/proyecto_fin_carrera_carlos_dominguez.pdf
- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70022/fichero/Tesis+M%C3%A1ster+Microredes+ASR+27112007.pdf>
- https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/14698/PFC_Angel_J_Gonzalez_Lopez.pdf?sequence=1
- http://www.farodevigo.es/especiales/eficiencia-energetica-2017/2017/02/eficiencia-renovables-retos-ciudades-inteligentes-n1225_2_35178.html
- <http://smartgridspain.org/web/blog/2016/09/18/garantizar-la-seguridad-fiabilidad-los-contadores-inteligentes/>
- <https://www.cci-es.org/documents/10694/0/Smart+Grid+Oportunidad+para+Smart+OT.pdf/99fbc236-89d1-4687-9784-2e9e7047c200>
- http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federaci%C3%B3n%20de%20Entidades%20de%20Innovaci%C3%B3n%20y%20Tecnolog%C3%ADa/SMART_GRIDS_Y_EVOLUCION_DE_LA_RED_ELECTRICA.pdf
- https://es.wikipedia.org/wiki/Ataque_de_denegaci%C3%B3n_de_servicio
- <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/impacto-integracion-recursos-energeticos-distribuidos-mejora-continuidad-suministro-electrico-smart-grids>
- https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36695/1/tesis_manuel_gasco.pdf
- <https://es.slideshare.net/jrpalomino/sg-demand-response>
- <https://www.ecointeligencia.com/2014/03/smart-grid-tecnologias/>
- http://solutions.productos3m.es/wps/portal/3M/es_ES/SmartGrid/EU-Smart-Grid/Areas/ICT/
- https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_h%C3%ADbrido_el%C3%A9ctrico_enchufable
- http://www.empresaeficiente.com/wp-content/uploads/2016/01/guia_26_el-almacenamiento-de-la-electricidad.pdf
- <https://es.wikipedia.org/wiki/V2G>
- <file:///C:/Users/PC/Desktop/estudios/curso%20hidrogeno%20y%20pilas%20combustible/temas/tema%203%20-%20almacenamientos,%20transporte%20y%20distribucion.pdf>
- http://www.empresaeficiente.com/wp-content/uploads/2016/01/guia_26_el-almacenamiento-de-la-electricidad.pdf
- <https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/ii-congreso-sg-almacenamiento-de-energia>



- [Gesti%C3%B3n%20de%20la%20energ%C3%ADa%20en%20redes%20el%C3%A9ctricas%20inteligentes.html](#)
- [Modelizaci%C3%B3n%20y%20Analytics%20%20indra.html](#)
- [Modelo%20de%20predicci%C3%B3n%20de%20la%20demanda%20el%C3%A9ctrica%20basado%20en%20redes%20inteligentes.html](#)
- [SOLUCIONES%20DE%20PREDICCI%C3%93N.%20PLANTILLA%20PARA%20EL%20OPRON%C3%93STICO%20DE%20LA%20DEMANDA%20DE%20ENERG%C3%8DA.html](#)
- [file:///C:/Users/PC/Downloads/Dialnet-RedesDeComunicacionEnSmartGrid-5972706.pdf](#)
- [http://www.minetad.gob.es/industria/observatorios/SectorElectronica/Actividades/2010/Federaci%C3%B3n%20de%20Entidades%20de%20Innovaci%C3%B3n%20y%20Tecnolog%C3%ADa/SMART%20GRIDS%20Y%20EVOLUCION%20DE%20LA%20RED%20ELECTRICA.pdf](#)
- [file:///C:/Users/PC/Downloads/Dialnet-RedesDeComunicacionEnSmartGrid-5972706%20\(1\).pdf](#)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/WiMAX](#)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/ZigBee](#)
- [https://corrienteelectrica.renault.es/gestion-energia-ciudades-futuro/](#)
- [https://www.smartgridsinfo.es/2017/06/15/futuro-gestion-inteligente-microgrids-digitalizacion-energia](#)
- [file:///C:/Users/PC/Downloads/PTI BR ES SW Overview 1509%20\(1\).pdf](#)
- [https://www.esmartcity.es/comunicaciones/simulador-ciudades-inteligentes](#)
- [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/36755/1/tesis_valdivieso_sarabia.pdf](#)
- [https://www.tecnalia.com/es/energia-medioambiente/noticias/hacia-redes-y-sistemas-electricos-inteligentes.htm](#)
- [https://www.nrel.gov/docs/fy04osti/36286.pdf](#)
- [http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v20n39/v20n39a03.pdf](#)
- [https://energiasinfronteras.org/attachments/enlaces/Estudio%20sobre%20las%20Microrredes%20y%20su%20aplicacion%20a%20proyectos%20de%20electrificacion%20de%20zonas%20rurales%20aisladas.pdf](#)
- [file:///C:/Users/PC/Downloads/0720027_00000_0000%20\(2\).pdf](#)
- [https://es.climate-data.org/location/581/](#)
- [http://www.clickrenovables.com/blog/como-calcular-la-potencia-las-necesidades-de-combustible-y-el-ahorro-que-obtienes-con-una-instalacion-de-biomasa-caso-practico-y-comparativa/](#)
- [https://energiasinfronteras.org/attachments/enlaces/Estudio%20sobre%20las%20Microrredes%20y%20su%20aplicacion%20a%20proyectos%20de%20electrificacion%20de%20zonas%20rurales%20aisladas.pdf](#)
- [https://www.homerenergy.com/documents/MicropowerSystemModelingWithHOMER.pdf](#)
- [https://tarifasgasluz.com/faq/diferencia-kw-kwh](#)
- [https://www.schneider-electric.com.pe/documents/local/list_de_precio_2015.pdf](#)
- [http://www.dieselgasolina.com/precio-del-gasoleo-b-o-agricola.html](#)
- [https://www.tesla.com/es_ES/powerwall](#)



- <http://pdf.archiexpo.es/pdf-en/gildemeister/suncarrier-70-120-160-220-260-300/108571-188079-8.html>
- <https://autosolar.es/inversores-de-red-trifasicos/inversor-conexion-red-trifasico-20kw-schneider-conext-tl2000>
- <https://spanish.alibaba.com/f/precio-electrolizador.html>
- https://spanish.alibaba.com/promotion/promotion_hydrogen-tanks-promotion-list.html

También se han utilizado algunos documentos proporcionados por el profesor:

- file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/ancillary_services_in_der.pdf
- file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/An-overview-of-control-approaches-of-inverter-bas_2017_Renewable-and-Sustain.pdf
- file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/A-review-of-droop-control-techniques-fo_2017_Renewable-and-Sustainable-Energ.pdf
- file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/A-review-of-reactive-power-compensation-tech_2018_Renewable-and-Sustainable-.pdf
- file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/A-review-on-control-of-ac-microgr_2017_Renewable-and-Sustainable-Energy-Revi.pdf
- file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/A-review-on-microgrid-central-contr_2016_Renewable-and-Sustainable-Energy-Re.pdf
- file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/Enhancing-smart-grid-with-microgrids-Challe_2017_Renewable-and-Sustainable-.pdf
- <file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/lbni-2001058.pdf>
- <file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/lbni-2001060.pdf>
- <file:///C:/Users/PC/Desktop/tfg/Informacion%20inicial%20T1/Microgrids/lbni-2001061.pdf>

Algunos de los desarrollos teóricos y conceptos sobre las energías renovables se han obtenido de los apuntes de la asignatura: *electrónica de potencia para sistemas de energía alternativa* cursada por el alumno en el curso 2018 en la Universidad de Valladolid.