



Máster en Energías Renovables

“Monitorización de una central
fotovoltaica mediante sensores
inalámbricos con tecnología Zigbee”

Alumno: David Abajo González

Dr. Francisco Javier Falcone Lanas

Leyre Azpilicueta

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. OBJETIVO.....	9
3. ESTADO DEL ARTE	10
3.1. <i>Estado del arte de la Energía fotovoltaica</i>	10
- <i>La energía fotovoltaica en el mundo</i>	10
- <i>Evolución de la potencia acumulada en el mundo hasta 2010</i>	13
- <i>La energía fotovoltaica en Europa</i>	14
- <i>La energía fotovoltaica en España</i>	16
3.2. <i>Estado del arte de las comunicaciones inalámbricas</i>	19
- <i>Redes de sensores inalámbricos WSN</i>	21
- <i>WSN 802.15</i>	22
- <i>Zigbee 802.15.4</i>	23
3.3. <i>Estado del arte de las comunicaciones en la Energía fotovoltaica</i>	28
4. DESARROLLO	32
- <i>CÓDIGO</i>	32
- <i>COMIENZOS</i>	33
- <i>PANELES SOLARES</i>	38
- <i>DIBUJO DEL PARQUE DE ARGUEDAS</i>	44
- <i>SIMULACIONES EN PARQUE DE ARGUEDAS</i>	47
- <i>RADIALES DE POTENCIA</i>	49
- <i>RESULTADOS:</i>	50
- <i>DELAY SPREAD</i>	60
- <i>PROBABILIDAD DE ERROR</i>	63
5. CONCLUSIONES	66
6. LÍNEAS FUTURAS	68
7. ANEXO I	69
8. BIBLIOGRAFÍA.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: mapamundi de irradiancia.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2: Planta de Beneixama.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 3: Planta de Mohave (EEUU)</i>	<i>12</i>
<i>Figura 4: evolución potencia acumulada.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 5: Irradiancia en Europa.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 6: Potencias acumuladas durante 2010.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 7: Irradiancia en España.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 8: Potencia acumulada e instalada.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9: ejemplo de red WSN en cultivos.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10: capas de Zigbee</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11: esquema de una red Zigbee.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 12: ejemplo de un sistema de comunicaciones en un parque fotovoltaico.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 13: Escenario de prueba.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 14: Potencia 1 metro por encima.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 15: Potencia 2 metros por encima.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 16: Potencia 3 metros por encima.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 17: Escenario de prueba grande.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 18: Escenario de prueba grande con Blender 1.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 19: Escenario de prueba grande con Blender 2.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 20: Potencia a la altura de antena.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 21: Esquema del dibujo del panel.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 22: panel de frente MATLAB.....</i>	<i>39</i>

<i>Figura 23: panel de perfil MATLAB.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 24: panel en 3D MATLAB.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 25: panel en 3D Blender 1.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 26: panel en 3D Blender 2.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 27: panel en 3D Blender 3.....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 28: plano de Arguedas.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 29: plano de Arguedas y selección de zona.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 30: Escenario parte de Arguedas MATLAB.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 31: Escenario parte de Arguedas Blender 1.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 32: Escenario parte de Arguedas Blender 2.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 33: Diagrama de potencia 10 dBm altura de antena</i>	<i>47</i>
<i>Figura 34: Diagrama de potencia 10 dBm a distintas alturas.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 35: colocación de los radiales de potencia.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 36: radiales de potencia para -10dBm.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 37: radios de cobertura para -10 dBm.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 38: radiales de potencia para 0dBm.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 39: radios de cobertura para 0dBm.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 40: radiales de potencia para 10dBm.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 41: radios de cobertura para 10dBm.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 42: distribución de cobertura para radio de 15m.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 43: distribución de cobertura para radio de 35m.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 44: Escenario parte de Arguedas con antena en esquina.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 45: Diagrama de potencia con antena en esquina.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 46: colocación de los radiales de potencia con antena en esquina.....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 47: radiales de potencia para 10dBm, antena en esquina.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 48: radios de cobertura para 10dBm, antena en esquina.....</i>	<i>58</i>

Figura 49: radiales de potencia para 0dBm, antena en esquina.....58

Figura 50: radios de cobertura para 0dBm, antena en esquina.....59

Figura 51: radios de cobertura para antenas grandes.....59

Figura 52: Delay spread.....60

Figura 53: Delay spread y perfil de retardo de potencia61

Figura 54: Delay spread y escenario.....62

Figura 55: probabilidad de error para 250000 bps y -70 dBm/Hz de ruido.....64

Figura 56: probabilidad de error para 57600 bps y -70 dBm/Hz de ruido.....64

Figura 57: probabilidad de error para 57600 bps y -100 dBm/Hz de ruido.....65

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente nos encontramos en un periodo de crecimiento de las energías renovables, cada vez se realizan centrales fotovoltaicas más grandes, con mayor número de paneles, al igual que cada vez hay más parques eólicos que obtienen gran cantidad de energía.

La clave para el correcto funcionamiento de cualquier central fotovoltaica o cualquier parque de molinos eólicos es la comunicación entre sus componentes para enviar o recibir datos y, sobre todo, para realizar un control adecuado.

Por otro lado también nos encontramos en un momento de rápida evolución en los sistemas de comunicación inalámbrica.

Aunque el Modelo de negocio más conocido se corresponde con la telefonía móvil, existen una infinidad de servicios basados en comunicación sin hilos como puede ser la radiodifusión o la comunicación por satélite.

Todos estos sistemas tienen en común que utilizan el mismo canal para comunicarse, el espacio libre. Este canal, tiene sus limitaciones como pueden ser las interferencias, las condiciones climatológicas, pero además tiene un alcance dependiente de la distancia al cuadrado. Por tanto, la limitación más importante que existe en estos sistemas es el propio canal, puesto que no tiene todo el alcance que se desearía. En entornos geográficos más fuertes o más abruptos, la limitación es aún mayor y el alcance dependerá fuertemente del entorno.

Otro de los aspectos clave en los sistemas de comunicación inalámbricos es el de definir cuál es la frecuencia de operación correcta. Si se opta por utilizar bajas frecuencias, los efectos relacionados con las pérdidas de propagación son menores y mayor es la penetración sobre el terreno, pero sin embargo, el ancho de banda disponible es mucho menor. Por otro lado, si la elección de la frecuencia de operación corresponde con frecuencias altas, se dispondrá de un ancho de banda mayor; no obstante, cualquier obstáculo o cambio brusco de dirección atenuará gravemente la señal.

Por todas estas razones, el desarrollo y aplicación de las tecnologías inalámbricas no resulta sencillo en algunos entornos. Por ello, es necesario realizar un detallado estudio previo antes de realizar cualquier sistema de comunicación inalámbrico.

Esto nos lleva la idea de éste proyecto: monitorizar una central fotovoltaica mediante sensores inalámbricos con tecnología zigbee.

La principal ventaja de utilizar este tipo de comunicación en un entorno de energías renovables es su fácil instalación y su escalabilidad, siempre puedes ampliar el sistema, únicamente tienes que añadir más sensores y configurarlos para su correcto funcionamiento, ventaja que no te ofrece el uso de tecnologías de cable.

Cualquier central que necesite mejorar o cambiar su sistema de comunicaciones puede recurrir a éste sistema inalámbrico, por su rápida instalación entre otras ventajas. La principal razón por la que se escoge esta tecnología es por la eliminación del cableado, lo cual aporta sencillez a la instalación.

Para realizar el proyecto se utilizará la herramienta de simulación MATLAB con un código de lanzamiento de rayos en 3D, el proceso consiste en dibujar un escenario, en este caso el parque fotovoltaico real situado en Arguedas (Navarra), para posteriormente proceder al lanzamiento de rayos desde diferentes puntos del parque y así poder realizar un estudio de cobertura.

2. OBJETIVO

El objetivo principal del proyecto es realizar el estudio de cobertura para posteriormente definir todos los elementos a utilizar y de qué manera irían colocados en el parque fotovoltaico.

Para ello los objetivos secundarios son dibujar el parque fotovoltaico completo mediante MATLAB y después realizar pruebas de simulación con diferentes potencias, frecuencias y demás parámetros.

Finalmente se realizarán los radios de cobertura correspondientes y se hará el modelado de la instalación.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. *Estado del arte de la Energía fotovoltaica*

A medida que avanza el tiempo la energía solar fotovoltaica está adquiriendo un papel cada vez más importante. Esto ayuda a que sea una energía en constante avance tecnológico.

Es una energía que se aplica cada vez en más países ya que es una energía muy limpia y fácil de establecer una red de suministro autónomo.

Países como Italia, Grecia y Francia se suman al uso de esta energía de la cual España y Alemania fueron pioneros.

En cuanto a nivel mundial, dos de las potencias mundiales como son EEUU y Japón (3º y 4º puesto en el mercado mundial respectivamente) están realizando importantes inversiones para convertirse en grandes potencias también en este sector.

Además de los países citados anteriormente, también cabe mencionar a los más de 100 dónde la energía solar fotovoltaica ha sido la más desarrollada en cuanto a producción, incrementándose la capacidad fotovoltaica conectada a red en un 60% anual.

Por todas estas razones y muchas más, se puede afirmar que las energías renovables están en continuo crecimiento y en pocos años tendrán una influencia mayor a la actual en cuanto a producción de energía se refiere.[1]

- La energía fotovoltaica en el mundo

En el mapa que se mostrará a continuación se puede observar la radiación solar en el mapamundi. Como ya se ha dicho el mercado fotovoltaica avanza a pasos agigantados, países principalmente Europeos realizan potentes inversiones en este campo.

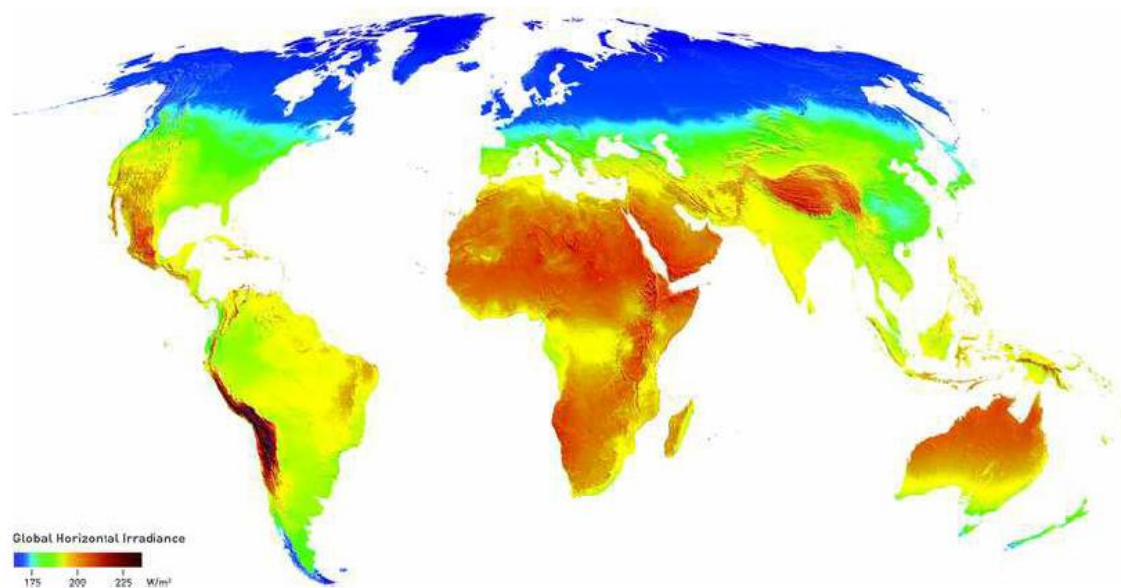


Figura 2: mapamundi de irradiancia
fuente :[6]

En comparación con otros recursos renovables, como el eólico, la radiación solar es el recurso energético renovable más equitativamente repartido a nivel mundial.

En el año 2007, la energía fotovoltaica conectada a la red fue la fuente energética con mayor crecimiento, un 83% hasta alcanzar una capacidad instalada total de 8,7 GW. Aproximadamente la mitad de esta producción se le debe a Alemania, considerada la potencia fotovoltaica mundial, a pesar de no caracterizarse por la radiación solar que recibe, seguida de Japón.[1]

La mayor planta solar fotovoltaica se encuentra en Beneixama (Alicante-España) con una potencia de 20MW. A continuación se muestra una imagen aérea de ésta.[4]



*Figura 2: Planta de Beneixama
fuente: [4]*

Al sur de Portugal en Moura se ha construido una instalación de 11 MW, aprovechando una de las zonas más soleadas de Europa.[8]

Sin embargo, desde 2012, la mayor planta solar es la de Topaz, una planta fotovoltaica de 550 MW en la localidad de San Luis Obispo, en California [11]:



*Figura 3: Planta de Topaz(EEUU)
fuente:[11]*

La planta situada en el desierto de Mohave, en California, posee 324 MW de potencia instalada y utiliza colectores cilindro-parabólicos[3]:



Figura 3: Planta de Mohave (EEUU)
fuente:[3]

- Evolución de la potencia acumulada en el mundo hasta 2010

Las tres áreas de mayor interés, en lo relativo a potencia instalada son Europa, con especial atención a Alemania y España (con más del 52% de la potencia instalada mundial), Japón y EE.UU. Japón con 3.622 MW y EE.UU con 2.727 MW, aproximadamente, representan el 9% y 6,80% respectivamente de la potencia mundial.[1]

En la figura siguiente se observa la evolución histórica de la potencia acumulada, haciéndose evidente un crecimiento exponencial.



Figura 4: evolución potencia acumulada
 fuente :idae[1]

A corto plazo se prevé que esta distribución se mantenga, a pesar de que haya países que empiezan a despuntar, lo que supondría que el peso de los países con más potencia no será tan relevante como en la actualidad.

- La energía fotovoltaica en Europa

El potencial de la energía fotovoltaica ha sido reconocido por la UE, lo cuál ha establecido medidas de fomento, cuyo objetivo es incentivar el desarrollo de aplicaciones con este tipo de energía y eliminar la barrera competitiva que existe entre las tecnologías renovables y las basadas en combustibles fósiles.

En Europa se ha fijado un objetivo de consumo de energía final del 20% para el año 2020, ya que se conoce la importancia de este hecho. Por ello, la energía solar fotovoltaica tiene un papel muy importante para conseguir el objetivo ya que, según un estudio publicado

por la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (EPIA), podría cubrir hasta un 12% de las necesidades eléctricas para dicho año.

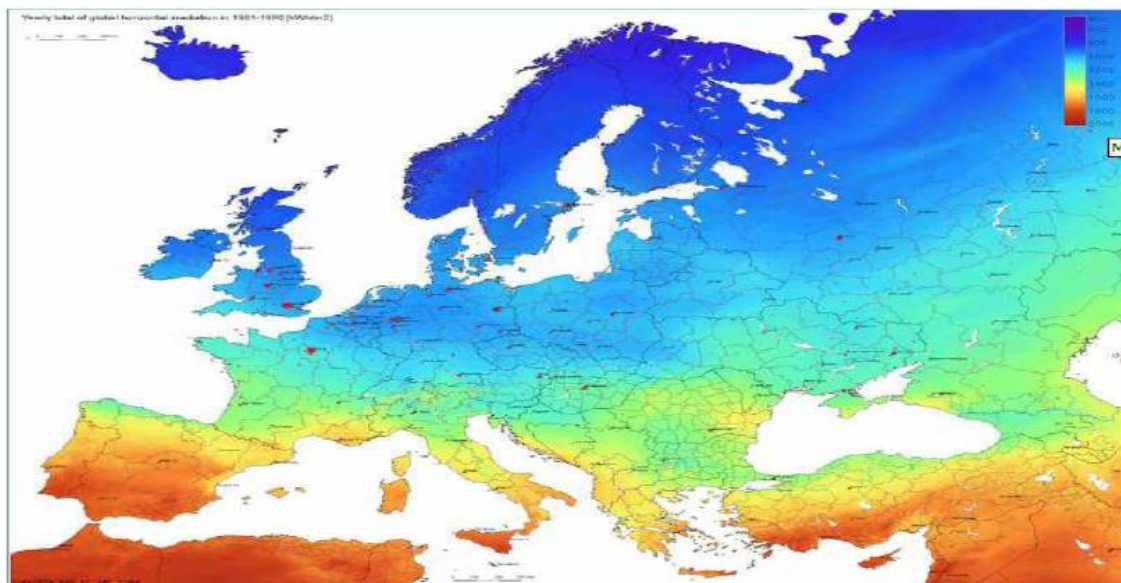


Figura 5: Irradiación en Europa
 fuente :[5]

Cabe destacar que en 2009 la Unión Europea aumentó su capacidad energética total en 27,5 GW, de los cuales el 21% procedía del sector fotovoltaico (5,8 GW), potencia que representa un 70% de la energía fotovoltaica mundial instalada.

La potencia instalada a finales de 2010 ascendía a 29.327MWp, repartidos entre 29.173 MWp de instalaciones conectadas a red y 154 MWp de instalaciones aisladas.

Alemania es el país de la UE con mayor potencia acumulada (17.370 MW instalados en 2010), dominando el mercado europeo con una representación del 59%. España con 3.787 MW es el segundo país con mayor potencia instalada[1].

Entre el resto de países destacan Italia, República Checa, Bélgica y Francia, que estudian políticas de desarrollo semejantes a los países líderes. Cabe destacar que el gobierno italiano establece una prima fija adicional al precio de mercado de la energía. Ésta varía según el nivel de integración de la instalación y es válida durante los primeros 20 años de explotación. Por tanto, el crecimiento del sector fotovoltaico en Italia se asienta bajo las premisas de incentivos y la simplificación de trámites administrativos.

Estas políticas consiguieron que Italia instalara 711 MW en 2009 y tuviera un total acumulados, en 2010, de 3.478 MW.

La siguiente figura muestra las potencias acumuladas por los países europeos durante el 2010:

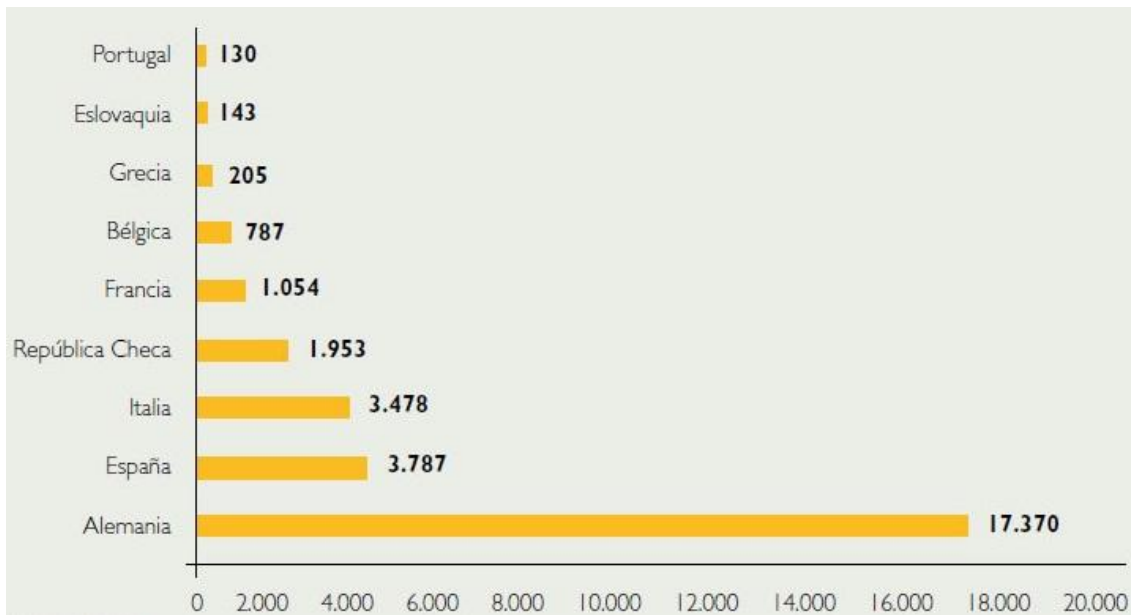


Figura 6: Potencias acumuladas durante 2010 en Europa
 fuente :[7]

- **La energía fotovoltaica en España**

La energía solar fotovoltaica ha vivido una gran expansión en España. Debido a la política de incentivos económicos y a la seguridad de inversión, en 2008 España se convirtió en la primera potencia fotovoltaica, con la mayor potencia instalada.

La alta rentabilidad que ofrecía originó un crecimiento descontrolado que el gobierno español intentó frenar cambiando la legislación vigente, disminuyendo las primas y poniendo trabas administrativas, principalmente a lo que se refiere al sector de huertas solares.

España es uno de los países europeos donde la irradiación es más abundante gracias a su localización y su climatología. La principal ventaja es su reparto prácticamente homogéneo, tal y como se muestra en la siguiente imagen, lo que permite distribuir la potencia instalada en torno a las grandes zonas de consumo. Esto facilita el ahorro en los costes de infraestructuras de transporte y distribución[9].

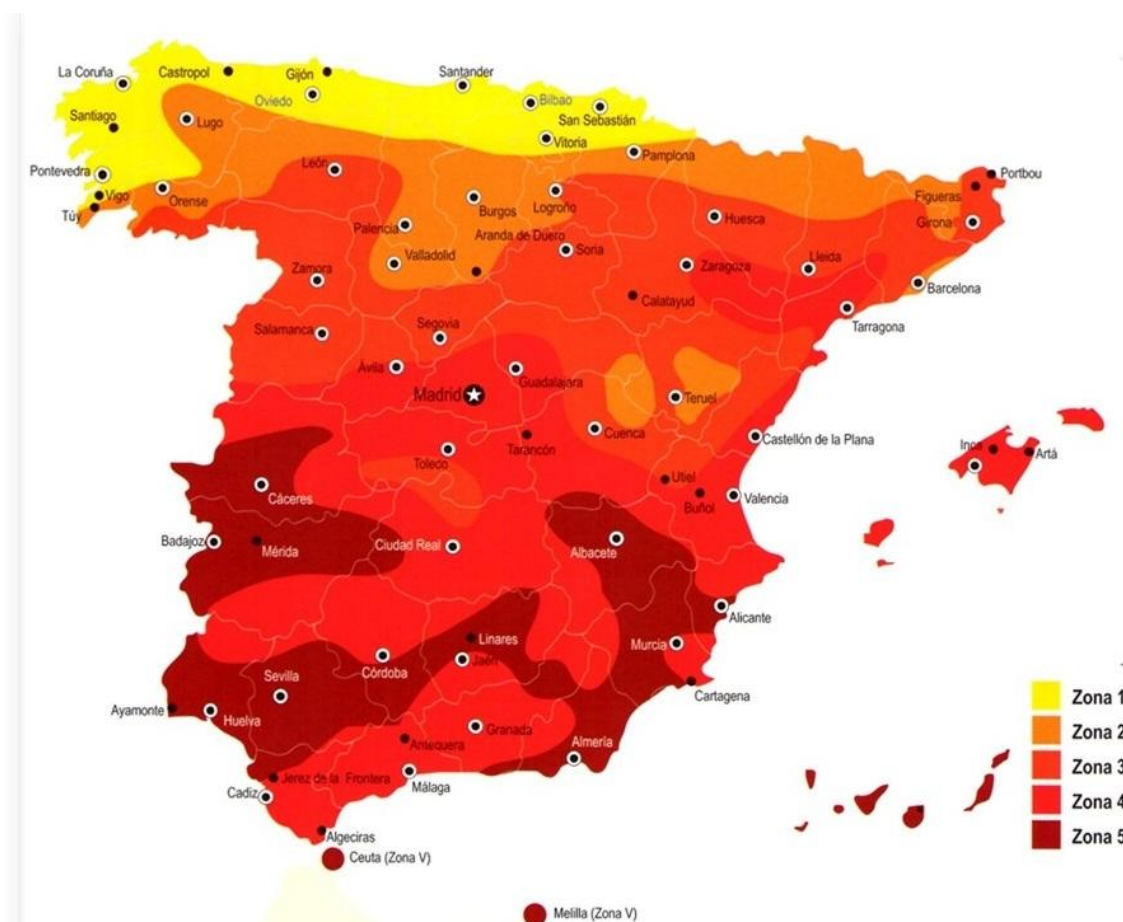


Figura 7: Irradiancia en España
 fuente : [9]

Referente a la potencia instalada, ya en Marzo de 2004, el primer Real Decreto 436/2004 pretendía fomentar la generación de energía mediante recursos renovables e inversión privada.[12]

En 2007, el gobierno anula el RD 436/2004 con el que desvincula el precio que se paga por kWh generado de energía fotovoltaica y marca un precio fijo que se irá revisando anualmente.

En el año 2008, España instala más de 2500 MW de potencia fotovoltaica, lo que produce un crecimiento del 300% de la potencia instalada en el año anterior. Ese mismo año, el RD 1578/2008 publica las condiciones técnicas y económicas que regularán las nuevas instalaciones fotovoltaicas, imponiendo unos cupos máximos de instalación de 100 MW por trimestre y rebajando la prima a la producción entre el 30 % y el 40%, presentando una tendencia decreciente con el tiempo.[18]

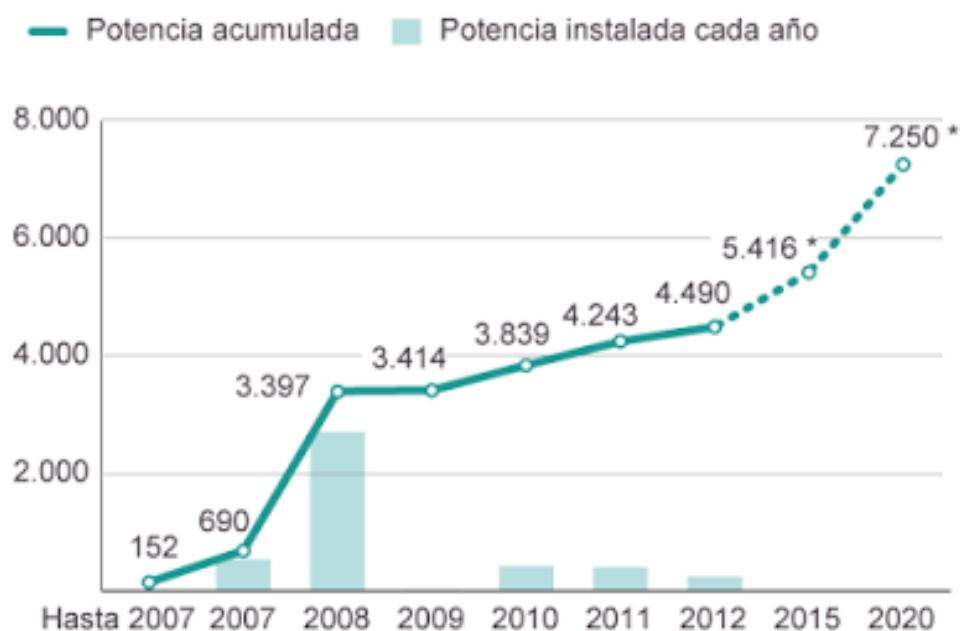


Figura 8: Potencia acumulada e instalada
 fuente :[10]

Para el 2009 se establece un cupo de potencia de 400 MW y un extra de 100 MW. Así mismo, para el 2010, el cupo base es de 413 MW y el cupo extra de 60 MW. A partir del 2011 no existe cupo extra, y el cupo base se incrementa en el mismo porcentaje que se reduzca la tarifa para cada tipología de instalación definida.[1]

3.2. Estado del arte de las comunicaciones inalámbricas

Cómo se ha explicado anteriormente este proyecto consiste en utilizar tecnología inalámbrica para monitorizar un parque fotovoltaico. Por tanto es necesario realizar una breve explicación sobre esta tecnología.

Para la transmisión de información de forma inalámbrica se suelen usar las bandas de infrarrojo, con las que se pueden alcanzar tasas de transferencia de hasta 4 Mbps a pequeñas distancias, con el transmisor y receptor en línea de visión directa; y RF, que poseen altas tasas de transferencia, permitiendo una comunicación entre dos puntos muy alejados y sin línea directa de visión.

La banda ISM, dentro del espectro de RF, es de propósito general por lo que puede ser usada sin necesidad de licencias respetando ciertos límites de potencia emitida. Los sistemas diseñados para trabajar en la banda ISM se caracterizan por un bajo consumo y, en principio, tasas de transmisión no muy altas, aunque se está trabajando para alcanzar mayores velocidades.

Dentro de esta banda ISM, destacan las tecnologías que funcionan a una frecuencia de 2,4 GHz, como por ejemplo, Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth y ZigBee, las cuales se describen brevemente a continuación.

Tecnología	Estándar	Descripción
WiFi	IEEE 802.11n	Sistema de envío de datos de forma inalámbrica sobre redes computacionales
WiMAX	IEEE 802.16	Norma de transmisión de datos usando ondas de radio
Bluetooth	IEEE 802.15.1	Especificación industrial para <i>Wireless Personal Area Networks</i> (en adelante WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre (2,4 GHz)
GSM		Sistema estándar para la comunicación mediante teléfonos móviles que incorporan tecnología digital
GPRS		Extensión GSM para la transmisión de datos no conmutada (o por paquetes)
	IEEE 802.15.4	Estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de WPANs con tasas bajas de transmisión de datos
ZigBee	IEEE 802.15.4	Especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de WPANs

Tabla 1: Tecnologías inalámbricas

La elección de una u otra tecnología dependerá de los requisitos de la WSN que se pretenda realizar, principalmente de la cantidad de información que se debe enviar así como de si requiere el envío de imágenes en tiempo real.

Teniendo en cuenta las especificaciones de una WSN, ZigBee es la mejor alternativa ya que ofrece una baja tasa de transferencia de información y permite su utilización con radios digitales de bajo consumo.

En cuanto al alcance obtenido con ZigBee, depende fuertemente de las características del hardware utilizado y de las características del entorno de transmisión. Por tanto, en este Trabajo Fin de Máster se estudia la viabilidad de ZigBee en un parque fotovoltaico.

- **Redes de sensores inalámbricos WSN**

Las redes inalámbricas de sensores (Wireless Sensor Networks) se encuadran dentro de la llamada Inteligencia Ambiental. La inteligencia ambiental consiste en la creación de una serie de objetos de uso cotidiano con cualidades interactivas de carácter ‘suave’; es decir, poco invasivo en el medio. El objetivo básico de estas redes es dotar a los objetos de capacidades de adquisición de información, tanto del entorno físico, como del estado actual del objeto en cuestión. Además deberán tener capacidades de procesamiento de datos y comunicación, de tal forma que pueden comunicarse entre ellos y ofrecer nuevos servicios a sus usuarios.

Las redes de sensores inalámbricas (WSN-Wireless Sensor Networks) se basan en dispositivos de bajo coste y consumo, llamados nodos, que son capaces de obtener información de su entorno, procesarla localmente y comunicarla a través de enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación. Los nodos reenvían los mensajes transmitidos por nodos más lejanos hacia el centro de coordinación.



Figura 9: ejemplo de red WSN en cultivos
 fuente: [13]

La red de sensores inalámbricos está formada por numerosos dispositivos distribuidos espacialmente, que utilizan los sensores para diferentes objetivos en diferentes entornos: como pueden ser temperatura, sonido, vibraciones, presión, movimiento, contaminantes o en este caso que nos ocupa parámetros relacionados con el cultivo. Los sensores pueden ser fijos o móviles.

Los dispositivos son unidades autónomas que están formadas normalmente por un microcontrolador, una fuente de energía (batería), un radio-transceptor (RF) y un elemento sensor.

Los transceptores son sensores equipados con microcontroladores que les proveen de capacidad de comunicación. Para la comunicación entre los nodos sensores es posible, o bien desarrollar protocolos de comunicaciones sobre la capa de enlace de datos a partir de diferentes mecanismos de acceso al medio (tales como TDMA, FDMA y CSMA), o bien soportados sobre diferentes estándares y tecnologías de comunicación inalámbrica.

- **WSN 802.15**

Tal y como se ha desarrollado el trabajo, uno de los aspectos que debe mencionarse en este apartado es la definición de los aspectos básicos de las redes inalámbricas de área tanto personal como corporal. Es importante definir bien el concepto de cada una y la función que tienen.

Estas redes pertenecen al estándar definido por el IEEE como 802.15 con los distintos grupos de trabajo, los cuales definen distintos tipos de WPAN's en función de la aplicación que vayan a tener. Estas especificaciones definen parámetros como la tasa binaria, la calidad del servicio o el consumo energético, pero todas ellas son de conectividad inalámbrica de corto alcance entre dispositivos en el entorno personal (»10m) y todas tienen unos objetivos en común: eliminar cables, conexiones con mínima infraestructura e interoperabilidad entre dispositivos. A continuación se muestran los distintos grupos de trabajo dentro del 802.15.[14]

- **802.15.1:** Ha realizado un estándar basado en las especificaciones de la fundación Bluetooth. Este grupo de trabajo publicó el estándar en 2002

- 802.15.2: está desarrollando un modelo de coexistencia entre las WLAN y WPAN, así como de los aparatos que las envuelven.
- 802.15.3: *Está trabajando para consumir poca energía y ofrecer soluciones a bajos costos*
- 802.15.4: soluciones que requieren una baja transmisión de datos y una larga duración de baterías.

- **Zigbee 802.15.4**

ZigBee es un protocolo de comunicaciones inalámbricas basado en el estándar 802.15.4, está pensado para comunicaciones a baja velocidad entre dos o varios dispositivos, se pueden formar redes con miles de dispositivos comunicándose entre sí, por lo que es ideal para muchas aplicaciones.

ZigBee es desarrollado por la ZigBee Alliance, formada por cientos de compañías que quieren solventar la necesidad de un estándar para comunicaciones a baja velocidad, con un bajo coste de implementación y donde los dispositivos que forman parte de una red pueden requerir un bajo consumo, llegando a estar funcionando durante años con un par de pilas.

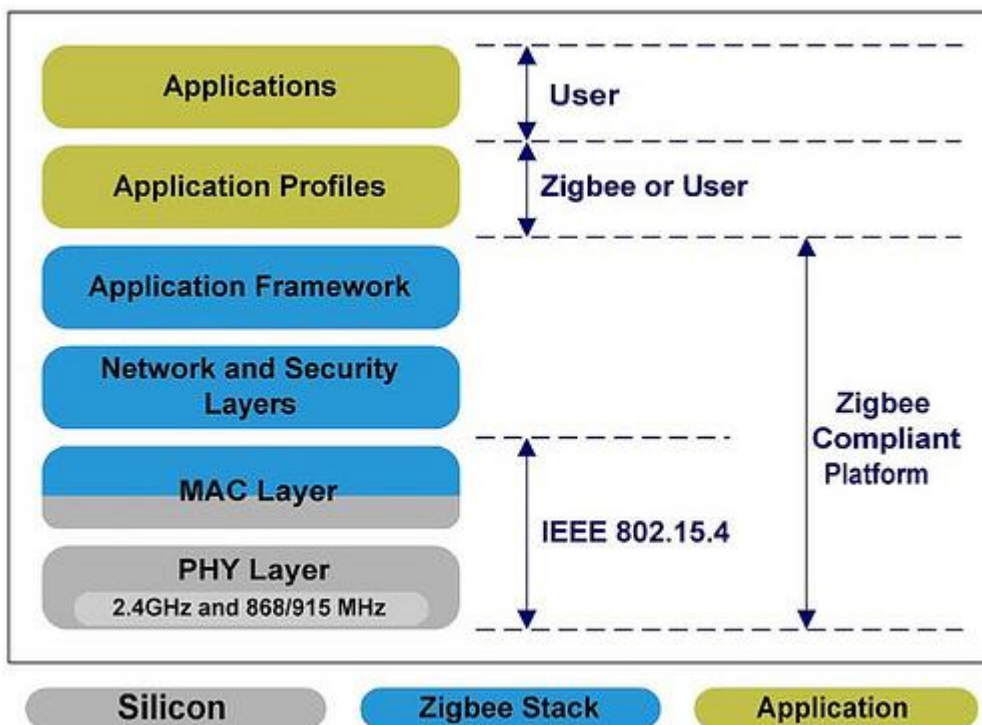


Figura 10: capas de Zigbee
 fuente: [15]

Se basa en el estándar de comunicaciones 802.15.4 que define el hardware y software de las capas physical (Phy) y media access control (MAC). Cada capa es responsable de una serie de funciones necesarias para la comunicación, ZigBee añade capas sobre las dos capas anteriores del 802.15.4, una capa no sabe nada sobre la capa que está por encima de ella y cada capa que se añade suma una serie de funciones a la base de las inferiores.

Cualquier dispositivo de un fabricante que soporte este estándar de comunicaciones y pase la certificación correspondiente, podrá comunicarse con otro dispositivo de otro fabricante distinto. Un dispositivo ZigBee estaría formado por una radio según el estándar 802.15.4 conectada a un microcontrolador con la pila (stack) de ZigBee, donde se implementan las capas por encima de las del 802.15.4. Esta pila está diseñada para poder ser implementada en microcontroladores de 8 bits.[15]

Características de las redes/dispositivos ZigBee serían las siguientes:

- Velocidad de transmisión entre 25-250 kbps.
- Protocolo asíncrono, half duplex y estandarizado, permitiendo a productos de distintos fabricantes trabajar juntos.

- Se pueden formar redes que contengan desde dos dispositivos hasta cientos de ellos.
- Los dispositivos de estas redes pueden funcionar en un modo de bajo consumo, lo que supone años de duración de sus baterías.
- Opera en la frecuencia de 2.4 GHz (16 canales) y también en las frecuencias de 868 MHz y 915 MHz.
- Es un protocolo fiable, la red se organiza y se repara de forma automática y se envían los paquetes de manera dinámica.
- Es un protocolo seguro ya que se puede implementar encriptación y autenticación.
- Utiliza CSMA-CA ("Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance") para dar acceso al medio a los distintos nodos sensores y evitar colisiones de paquetes entre ellos. Se le asigna a cada nodo un valor de contador aleatorio y el mecanismo es el siguiente, se realiza un sensado del canal y en caso de que este se encuentre libre el contador empieza a decrementarse hasta llegar a 0, es en este momento cuando se realizaría la transmisión. El contador se detiene en caso de que el medio vuelva a ocuparse antes de que dicho contador alcance el valor de 0.

Se puede decir que ZigBee ocupa el vacío que hay por debajo de Bluetooth, para comunicaciones de datos que no requieren altas velocidades.

Los campos de aplicación de ZigBee son muchos, todos en los que se requiera transmitir comandos o recoger lectura de sensores y no interese o no sea práctico usar cables.

Campos de aplicación pueden ser:

- Agricultura: redes de sensores de bajo consumo en el campo para medir y recoger distintos parámetros.
- Domótica, automatización de edificios y hogares, control industrial.
- Atención sanitaria: recoger información de sensores en los pacientes, un ejemplo puede ser la ropa inteligente.

- Control remoto de electrónica de consumo, como el mando de la televisión o luces.

La Alianza ZigBee también define unos llamados perfiles de aplicación, que especifican como los dispositivos ZigBee deben funcionar/comunicarse dentro de un determinado campo/mercado. Por ejemplo el perfil de domótica describiría como un sensor de temperatura debe mandar sus lecturas a un termostato, y como éste controlaría por ejemplo un radiador. De esta forma se pueden integrar dispositivos de distintos fabricantes para unas tareas determinadas.

En las redes ZigBee encontramos tres tipos de dispositivos:

- Coordinator: en toda red sea de doscientos o de dos dispositivos, debe haber un coordinador, sólo puede haber uno por red y entre sus tareas están las de formar y gestionar la red.
- Router: son dispositivos de la red que tienen la capacidad de enviar, recibir y enrutar información. Pueden actuar como mensajeros entre dispositivos que están muy alejados para establecer una comunicación directamente, los dispositivos ZigBee no están pensados para comunicaciones de largas distancias, sino para trabajar en redes de sensores y cubrir esas largas distancias pasando la información entre los distintos nodos.
- End device: estos serían los dispositivos de bajo consumo. El coordinador y los routers deben estar siempre encendidos ya que pueden actuar como mensajeros entre otros dispositivos, por lo que lo normal puede ser conectarlos a la red eléctrica. Los end devices pueden enviar y recibir información pero no pueden actuar como mensajeros entre otros dos dispositivos de la red, lo normal es que el end device esté en un modo de bajo consumo y se despierte cuando quiere enviar o recibir información, alargando la duración de sus baterías durante mucho tiempo. Como los end device pueden estar dormidos en un modo de bajo consumo, necesitan estar asociados a un coordinador o a un router, que guarden los mensajes que han sido enviados para ellos mientras estaban dormidos y se los hagan llegar cuando despierten.

En una red ZigBee debe haber un coordinador (sólo uno) y todos los routers y end devices que queramos, la red más sencilla sería un coordinador más un router o end device.

Muchos son los fabricantes de dispositivos electrónicos que nos ofrecen radios y módulos ZigBee. La combinación de una radio 802.15.4 y un microcontrolador que implemente el stack ZigBee es lo que se llama un módulo ZigBee. En ese mismo microcontrolador suele

quedar memoria suficiente para implementar una pequeña aplicación/programa, pero para ello se necesitan herramientas software y hardware del fabricante que permitan hacer y descargar los programas en ese microcontrolador del módulo.

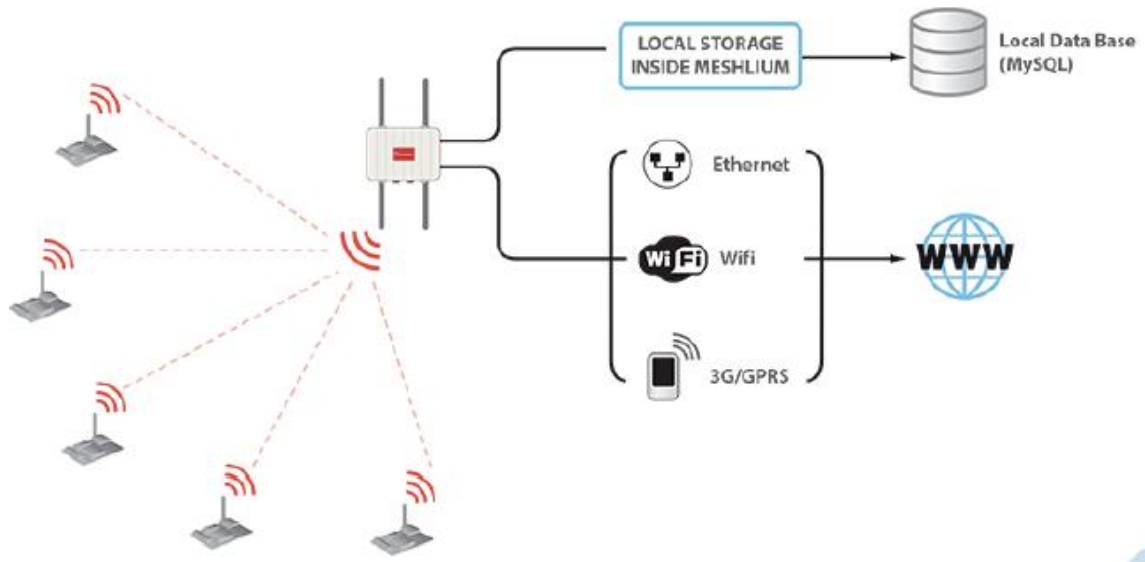


Figura 11: esquema de una red Zigbee

3.3. Estado del arte de las comunicaciones en la Energía fotovoltaica

Como resultado de la creciente integración de las energías renovables en el sistema de potencia nace la necesidad de mejorar la calidad de la energía producida mediante energías renovables, ya que tiene que ser una energía muy adecuada para introducirla en la red eléctrica.

El desarrollo de las energías renovables va de la mano con un rápido crecimiento en la demanda de telecomunicaciones en éste campo, como pueden ser la gestión de datos de medidores o la automatización. Estos son requisitos para los cuales es necesaria una comunicación entre sistemas.

Algo fundamental para el correcto funcionamiento de cualquier sistema de energía es su control, que consiste en protocolos de hardware y software para comunicar los parámetros del sistema con la señal de control.

En sistemas de energía eléctrica convencionales, esto se consigue mediante sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) de adquisición de datos y control de supervisión. Hay muchas compañías que ofrecen soluciones SCADA tales como Siemens, Schneider, ABB, etc. Sin embargo, en el gran abanico de sistemas de energías renovables hay muchos dispositivos conectados a la red como pueden ser inversores, sensores, dispositivos de protección, etc. La solución económica es la integración de la comunicación a los dispositivos de hardware en lugar del uso de dispositivos de adición de las empresas mencionadas.

Hay muchas tecnologías de comunicación y están divididas en dos grandes grupos: por cable e inalámbrica.

La comunicación inalámbrica posee ventajas sobre la cableada como por ejemplo el bajo coste de su infraestructura o la facilidad de conexión con zonas difíciles. Sin embargo, la tasa de datos manejable en la tecnología inalámbrica es más baja que la que se da en la tecnología por cable, de modo que, tecnologías inalámbricas con ancho de banda restringido pueden ser una buena opción para implementaciones de corta distancia. En cambio las tecnologías cableadas poseen una mayor capacidad, fiabilidad y seguridad y por ello pueden ser usadas para transmisiones de larga distancia.

Utilizando una tecnología híbrida combinando estas dos formas de comunicación se consigue la mejor solución, obteniendo fiabilidad y robustez con la parte cableada y sencillez y costes más bajos con la parte inalámbrica.

En la infraestructura de comunicaciones, una comunicación fiable y a tiempo real es el factor clave para conseguir que un sistema funcione correctamente, en este caso, un sistema de energía renovable con inyección a red.

Mediante una buena comunicación en estos sistemas se pueden evitar errores de hardware que causan perturbaciones eléctricas en la red y apagones entre otras cosas.

Por esa razón, el seguimiento en tiempo real y el control llevado a cabo por tecnologías de comunicación de alta velocidad se han convertido en elementos esenciales para las energías renovables.

En algunos casos, un módulo fotovoltaico específico en una planta fotovoltaica de gran escala puede producir niveles de energía más bajos de lo esperado. En este caso un sistema de monitorizado será capaz de detectar la lectura de corriente o voltaje, pero no tiene capacidad de localizar la fuente concreta del error puesto que el sensor de corriente suele estar colocado en un agrupamiento de paneles y es necesaria la actuación de un operario para identificar que panel es el que está fallando. Este problema se podría solucionar colocando sensores de bajo coste situados en cada panel y tener controlado en todo momento los parámetros de cada panel mediante una red de sensores inalámbricos.

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son una tecnología muy prometedora en el campo de la monitorización en centrales fotovoltaicas. Una red de sensores inalámbrica es un sistema que comprende transceptores de radiofrecuencia, sensores, microcontroladores y fuentes de energía. Un sensor mide parámetros físicos como la temperatura, la luz, la presión, la tensión o la corriente.

Las redes de sensores inalámbricos con auto-organización, auto-configuración, auto-diagnóstico y auto-sanación se han desarrollado para resolver problemas o para activar aplicaciones que las tecnologías tradicionales no podían hacer.

A su bajo coste de instalación se unen dos ventajas más como son su pequeño tamaño y su bajo consumo de energía.

En el campo de las WSN la tecnología ZigBee ha recibido una amplia aceptación debido a su capacidad para operar en un gran número de aplicaciones.

Los estudios sobre los fenómenos fotovoltaicos han llamado la atención sobre el problema de la energía fotovoltaica actuando bajo diversas condiciones ambientales. El principal problema es la fuerte dependencia de una respuesta del sistema PV con los muchos factores extrínsecos, como la temperatura, irradiancia, nubosidad o la contaminación.

Otro problema a ser resuelto es conseguir la eficacia de un sistema de monitorizado de una gran planta fotovoltaica para sistemas más pequeños como puede ser un sistema aislado colocado en el tejado de un edificio.

El monitorizado de los sistemas fotovoltaicos grandes se realiza mediante hardware especialmente diseñado para la causa y software que podría ser costoso y es operado principalmente por operarios cualificados. Una de las acciones realizadas en los grandes parques son los controles periódicos para asegurar la mejor calidad posible en la energía introducida en la red, para los sistemas fotovoltaicos pequeños, de hasta 10 kW, estos controles no se realizaron debido a los costes de este sistema de vigilancia. Por lo tanto este tipo de sistemas pequeños a menudo no se comprueban regularmente. Esta situación puede dar lugar a pérdidas de energía parciales que se originan normalmente a partir de fallos del sistema parciales y una pérdida de rendimiento que puede pasar desapercibida durante mucho tiempo.[19,20]

Por lo tanto, a fin de lograr el máximo de energía de una instalación fotovoltaica, un bajo costo, y un fácil manejo del sistema es necesaria una red de sensores inalámbricos con tecnología Zigbee para el monitorizado. La tecnología ZigBee tiene una baja tasa de datos y bajo consumo de energía, así como un bajo coste.

A continuación se muestra lo que podría ser un ejemplo de red de comunicación en un parque fotovoltaico:

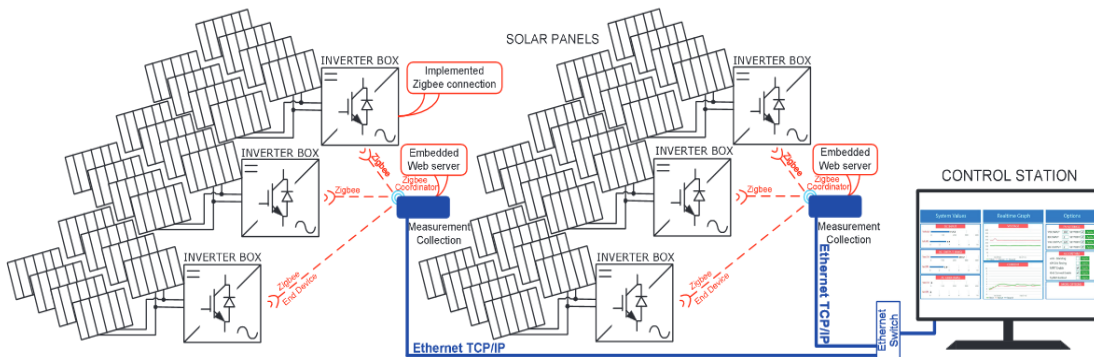


Figura 12: ejemplo de un sistema de comunicaciones en un parque fotovoltaico
 fuente:[19]

- La caja del inversor: Cada caja inversor tiene un convertidor de potencia en su interior, el cual es controlado por un complejo algoritmo. Aquí es donde se coloca el nodo Zigbee para cada grupo de paneles que están conectados a ese inversor. Como se ha indicado anteriormente este es un posible ejemplo que se propone pero en el caso de este TFM el objetivo final es conseguir mediante sensores que todos y cada uno de los paneles estén controlados en todo momento.

- Sensor: En este ejemplo la mayoría de los sensores son integrados dentro de la caja del inversor. Estos sensores servirán como base para las comunicaciones, la informática y el control. Toda medida obtenida será transmitida periódicamente mediante Zigbee.
- Comunicaciones: Esta información se transmite mediante Zigbee al nodo de servidor web, es aquí donde comienza la comunicación mediante tecnología Ethernet. Esta información es enviada a la estación y es ahí donde son utilizadas todas estas medidas. Existen dos flujos de información puesto que desde la estación de control también se puede enviar señales de control hacia los paneles para realizar los cambios que sean necesarios.

4. DESARROLLO

- CÓDIGO

El código utilizado para este trabajo es un código de trazado de rayos en 3D realizado en MATLAB mediante el cual se dibuja un escenario a partir de cubos, a dichos cubos se les da los valores de conductividad y de constante dieléctrica del objeto al cuál queremos representar mediante ellos, para posteriormente simular un lanzamiento de rayos desde una antena colocada en algún punto del escenario. Estos rayos rebotarán por nuestro escenario de manera muy similar a como lo hacen en la realidad. Los materiales utilizados para este caso han sido:

- Paneles de aluminio en su totalidad:
 - Conductividad= 37.8
 - Cte. dieléctrica= 4.5

- Paredes y techo de aire:
 - Conductividad= 0
 - Cte. dieléctrica= 1

- Suelo:
 - Conductividad= 0.01
 - Cte. dieléctrica= 30

- **COMIENZOS**

Primeramente se comenzó a dibujar unos paneles simples y un escenario sencillo para la familiarización con el programa como se muestra en la siguiente imagen:

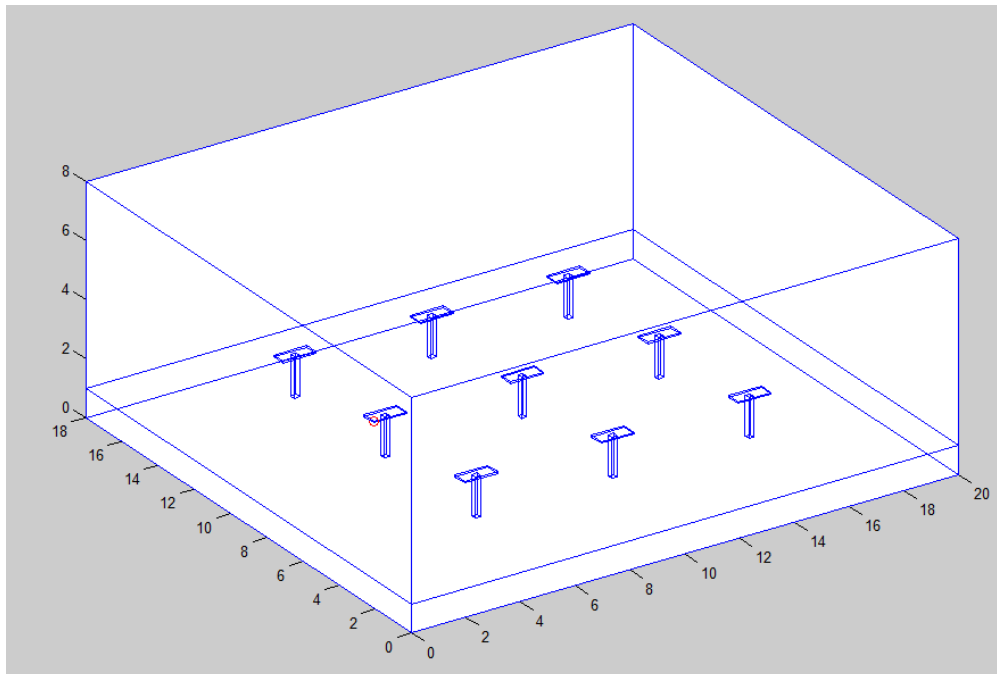


Figura 13: Escenario de prueba

Como se puede apreciar la antena, que es el pequeño círculo rojo, está colocada sobre uno de los paneles. Los valores obtenidos en la simulación posteriormente se plasmarán en unas gráficas obtenidas mediante el programa Sigmaplot, este programa nos permite realizar gráficas de potencia y radiales de potencia entre otras cosas, en este caso se han realizado algunas gráficas de potencia cómo muestran las siguientes imágenes:

- **Altura: 1 metro por encima de la antena:**

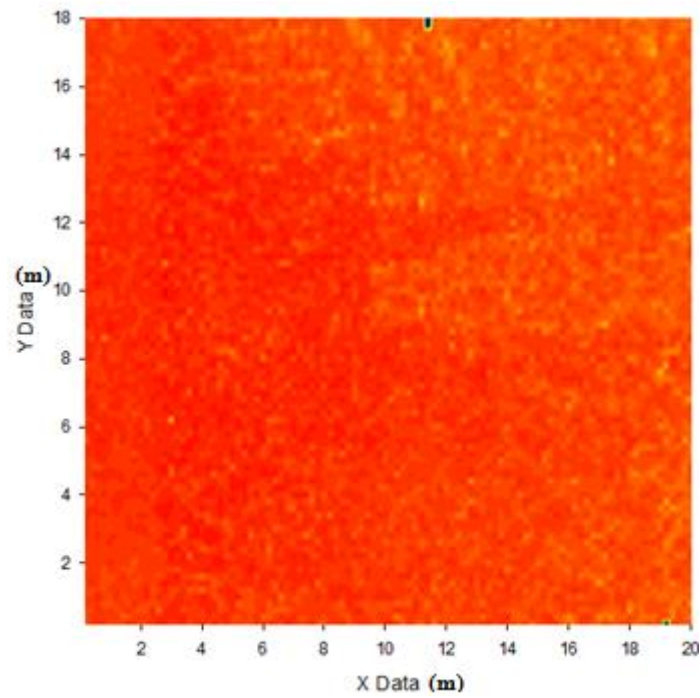


Figura 14: Potencia 1 metro por encima

- **Altura 2 metros por encima de la antena:**

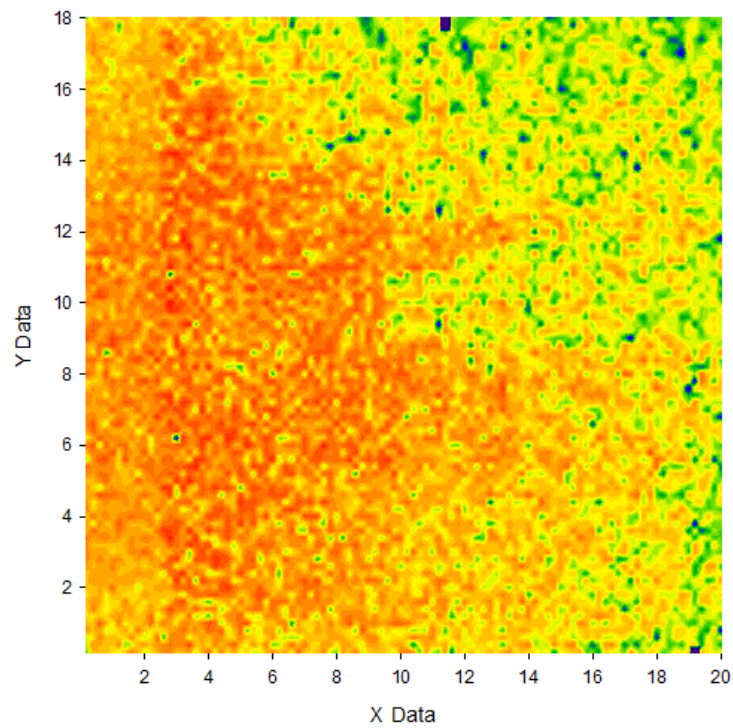


Figura 15: Potencia 2 metros por encima

- **Altura 3 metros por encima de la antena:**

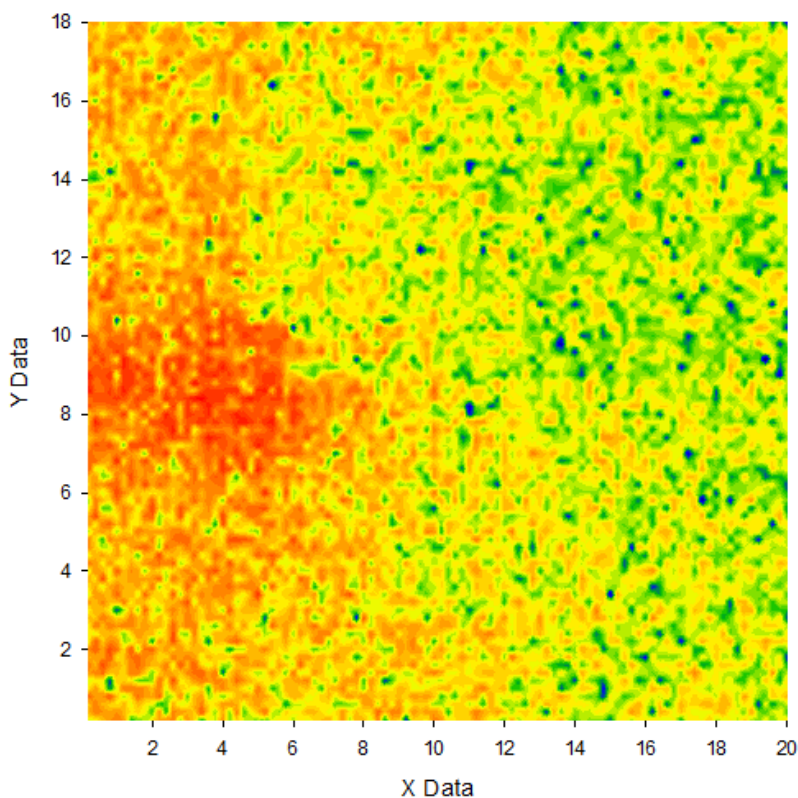


Figura 16: Potencia 3 metros por encima

**los ejes de las 3 figuras anteriores son metros (las dimensiones del escenario)*

Estas gráficas nos indican la potencia en cada punto del escenario en el plano horizontal y se corresponden a medidas a diferentes alturas, por ello los ejes son las dimensiones del escenario. Los colores oscuros indican una mayor intensidad y los claros una menor. Se puede apreciar cómo a medida que se asciende la potencia se reduce.

También se puede apreciar cómo en las cercanías de la antena la potencia es mayor.

Con el objetivo de seguir practicando con el programa se aumentó el tamaño del escenario con los paneles sencillos para complicar el proceso de dibujado y obtener unos datos algo más complejos, se colocó la antena en el punto rojo que aparece en el dibujo. El escenario es el siguiente:

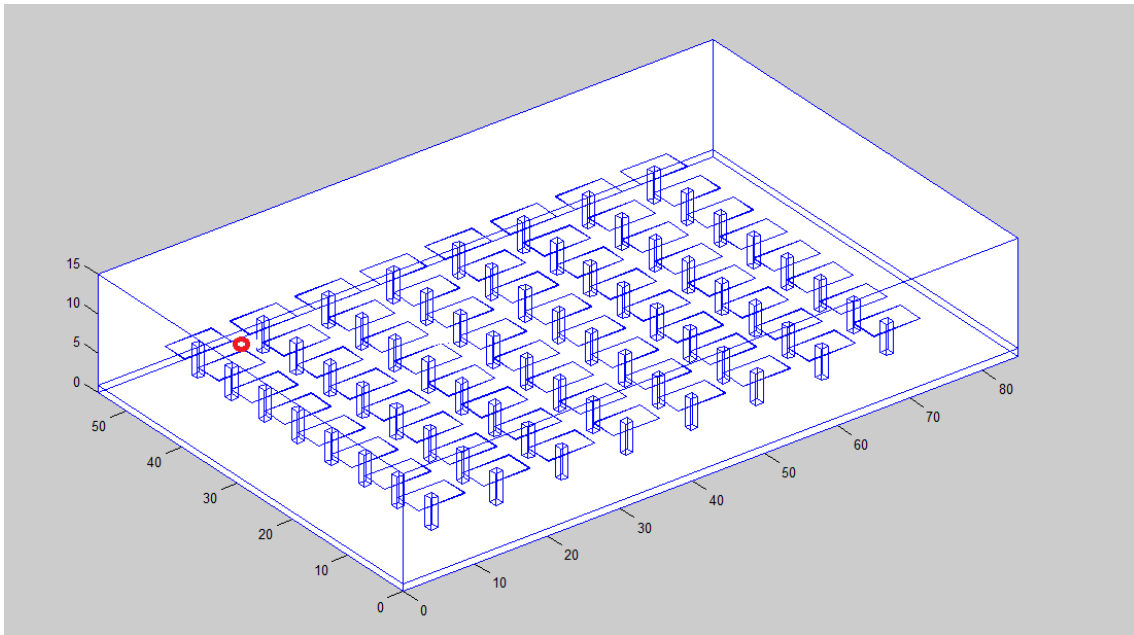


Figura 17: Escenario de prueba grande

Para una mejor visualización de los escenarios se ha utilizado el programa Blender, el cual realiza los escenarios de manera mucho más visual y atractiva, a continuación se muestran imágenes del escenario anterior dibujado mediante Blender:

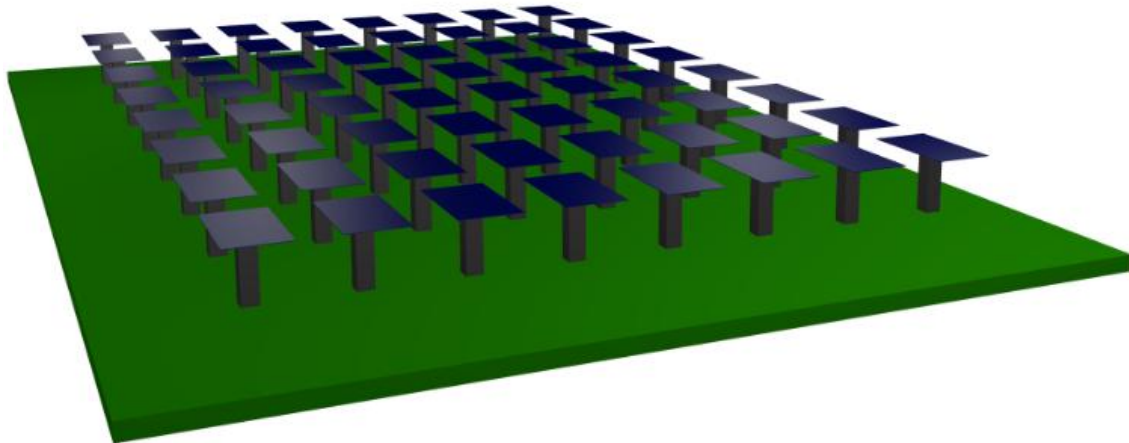


Figura 18: Escenario de prueba grande con Blender 1

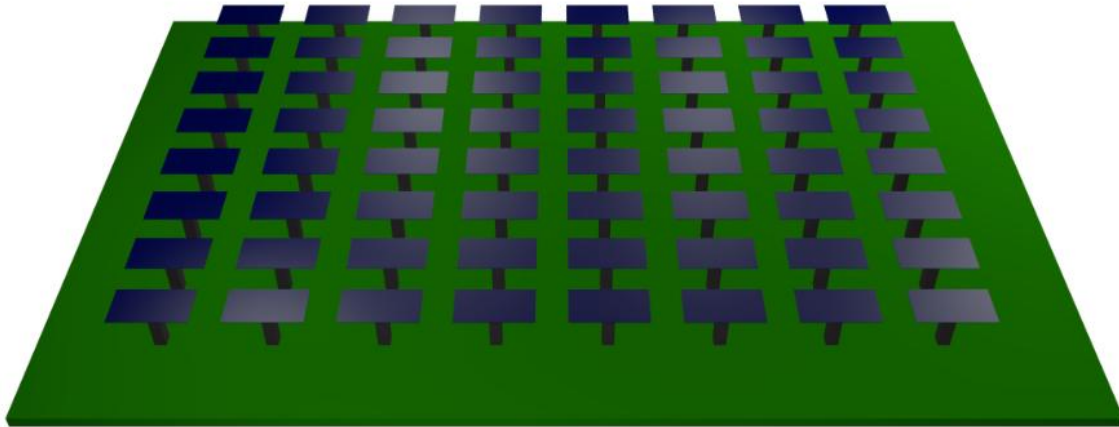


Figura 19: Escenario de prueba grande con Blender 2

La gráfica obtenida, midiendo a la altura de la antena es la siguiente:

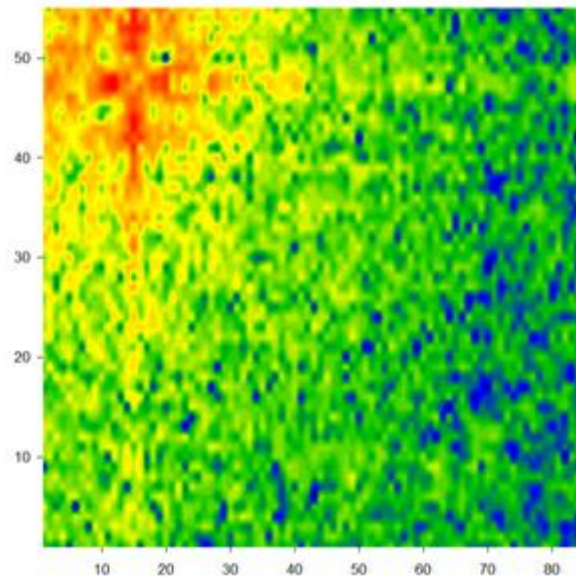


Figura 20: Potencia a la altura de antena

En este caso cabe destacar la especie de “cruz” hecha por los rayos de mayor potencia con su centro en la antena, es debido a los rebotes que ocurren entre los paneles.

- PANELES SOLARES

Una vez dominado el código se comenzó a dibujar los paneles de dimensiones reales, lo cual fue bastante complicado, ya que, mediante este código, los cubos no se pueden inclinar y para realizar un panel inclinado hubo que apilar cubos unos encima de otros, teniendo cada panel casi 400 cubos dibujados con el programa. Realmente son parrillas formadas por 36 paneles pero por simplificar se tratarán como un único panel con unas dimensiones de 7.15 metros de largo y 6.4 metros de ancho, con un grosor de 5 cm y compuestos de metal (aluminio).

La técnica para dibujar el panel vista de un modo esquemático fue solapar todos los cubos como muestra el siguiente dibujo:

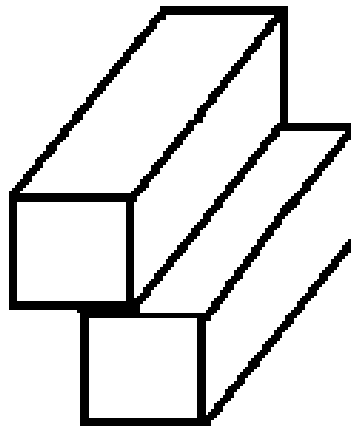


Figura 21: Esquema del dibujo del panel

Y mediante esta técnica y siendo preciso en la colocación exacta de los cubos se obtuvo el siguiente resultado:

- **Paneles en MATLAB:**

- Panel de frente:

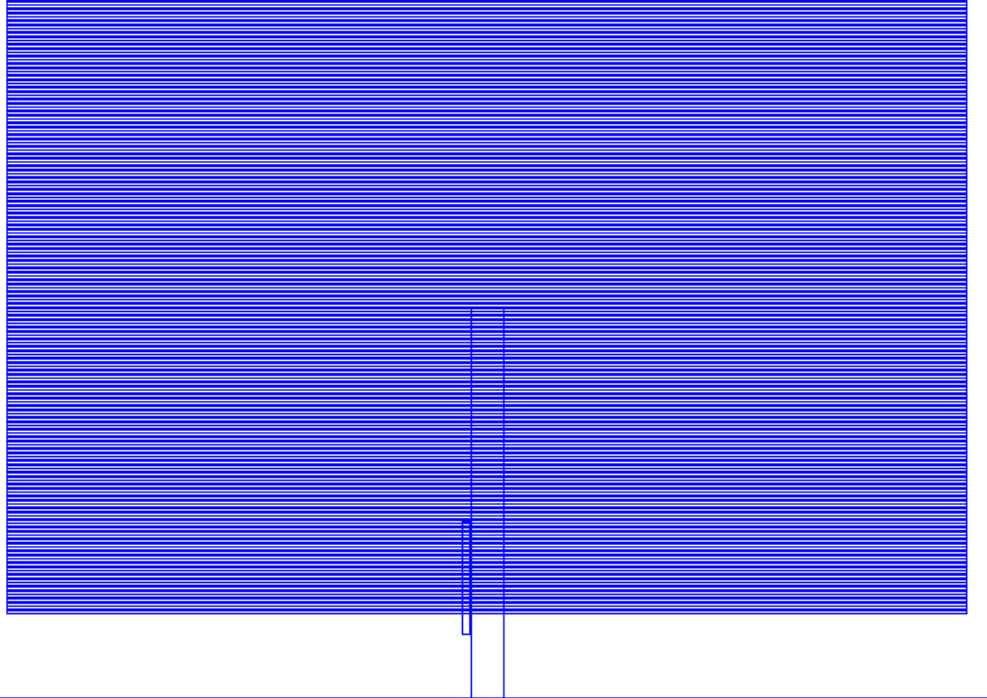


Figura 22: panel de frente MATLAB

- Panel de perfil:

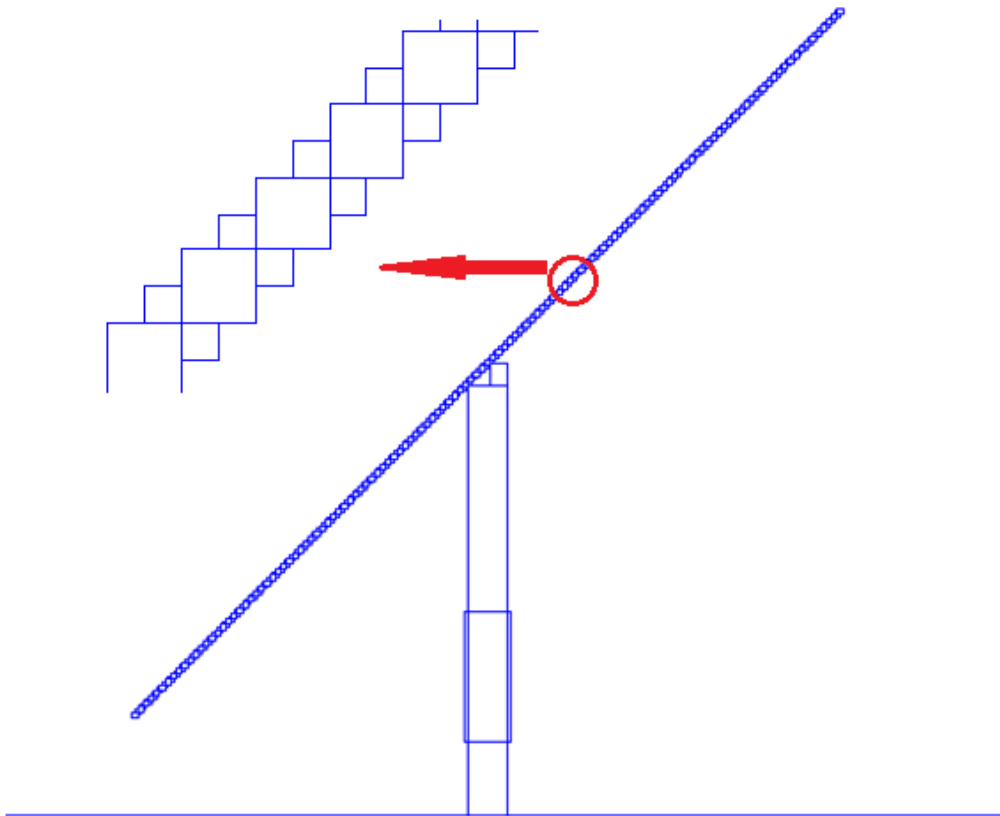


Figura 23: panel de perfil MATLAB

Panel en 3D:

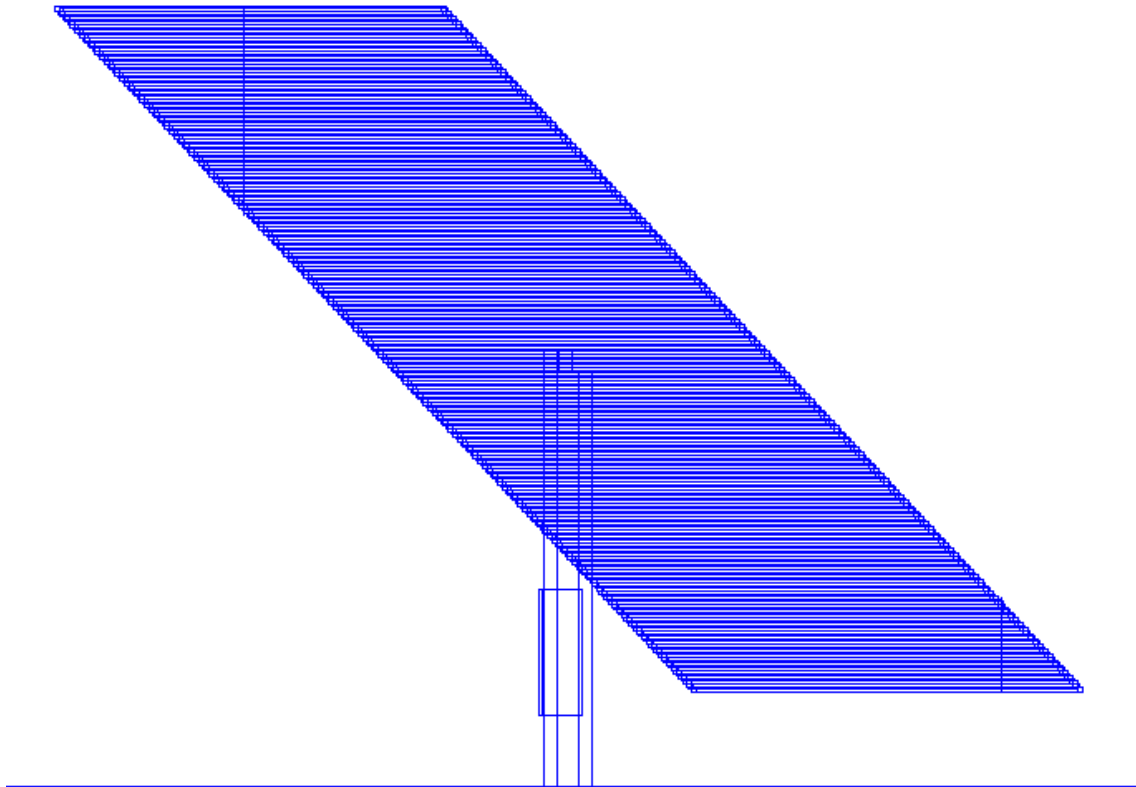


Figura 24: panel en 3D MATLAB

- **Paneles en Blender:**

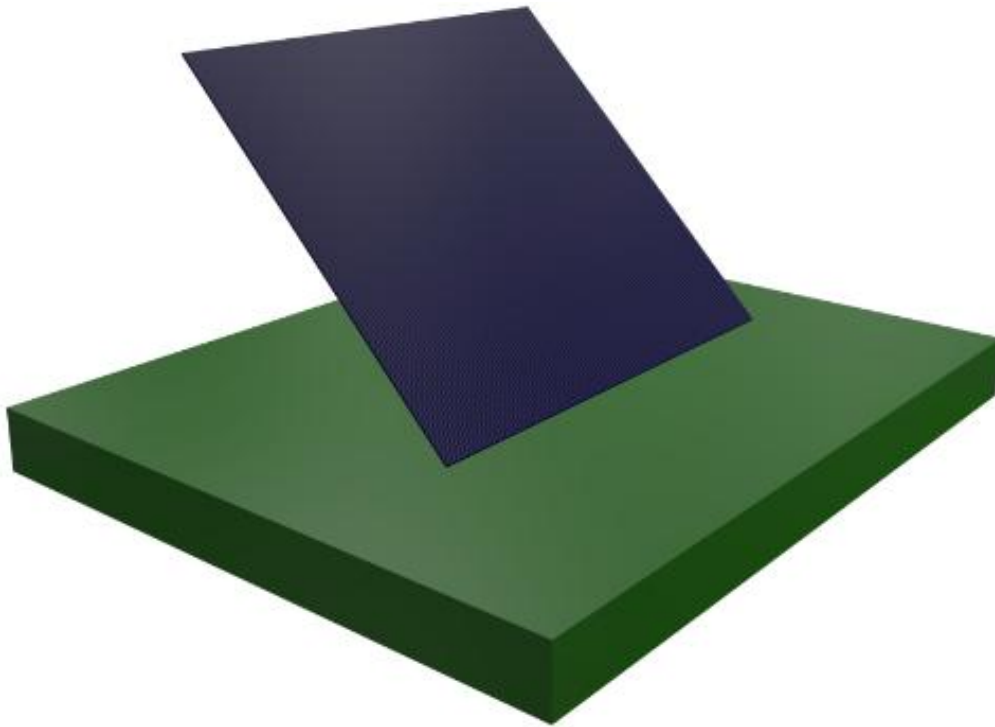


Figura 25: panel en 3D Blender 1

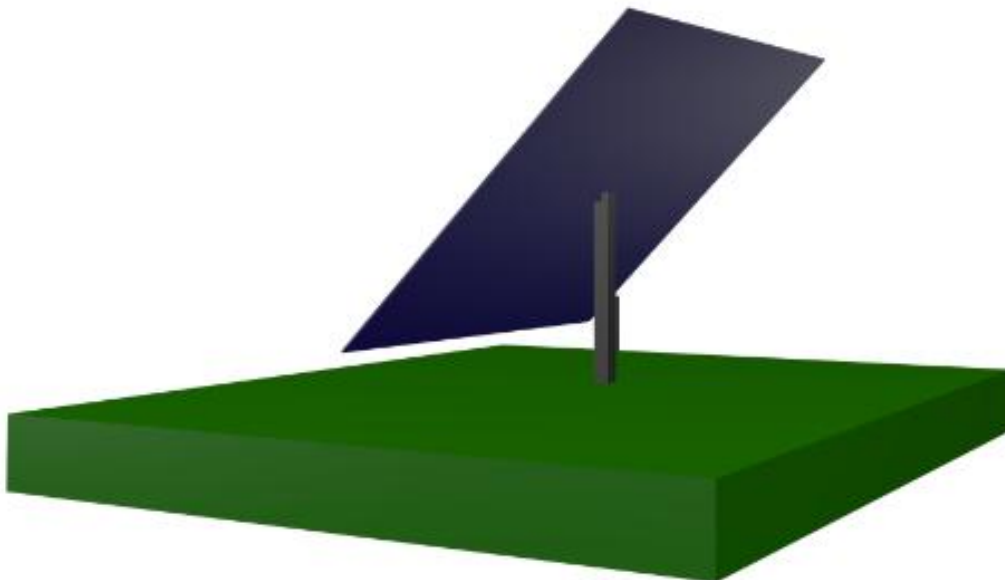


Figura 26: panel en 3D Blender 2

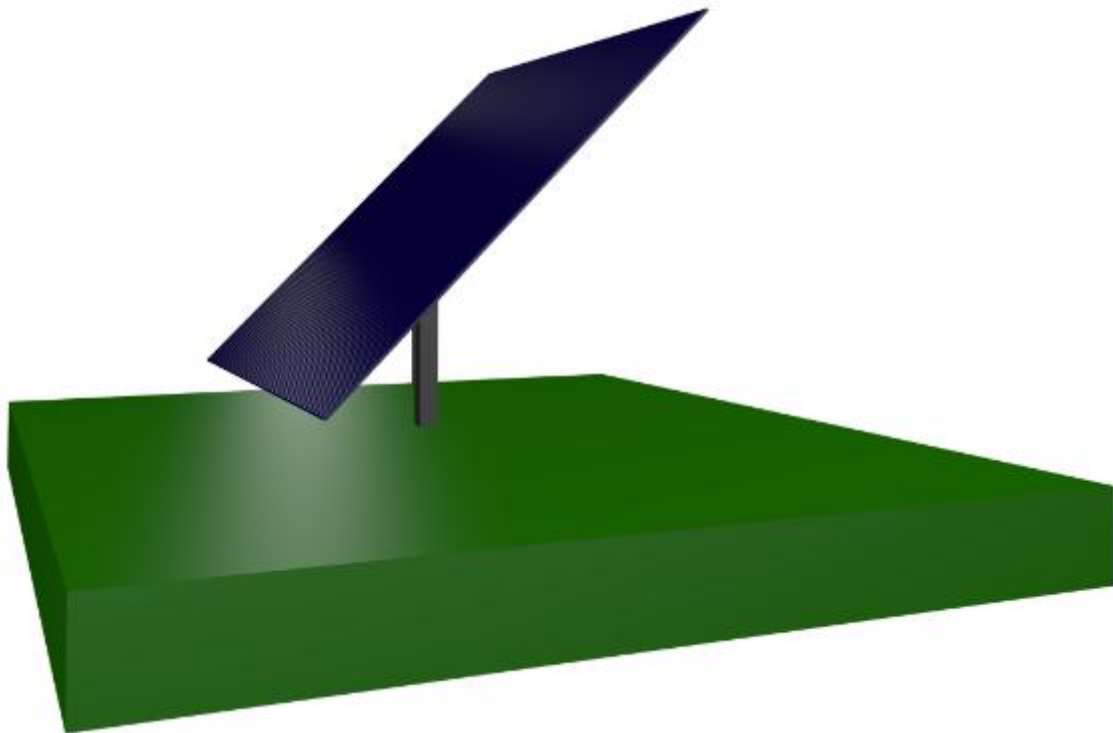


Figura 27: panel en 3D Blender 3

- DIBUJO DEL PARQUE DE ARGUEDAS

Y una vez obtenido este panel se comienza a dibujar el escenario completo del parque de Arguedas, el parque tiene un total de 75150 m² distribuidos de la siguiente manera:

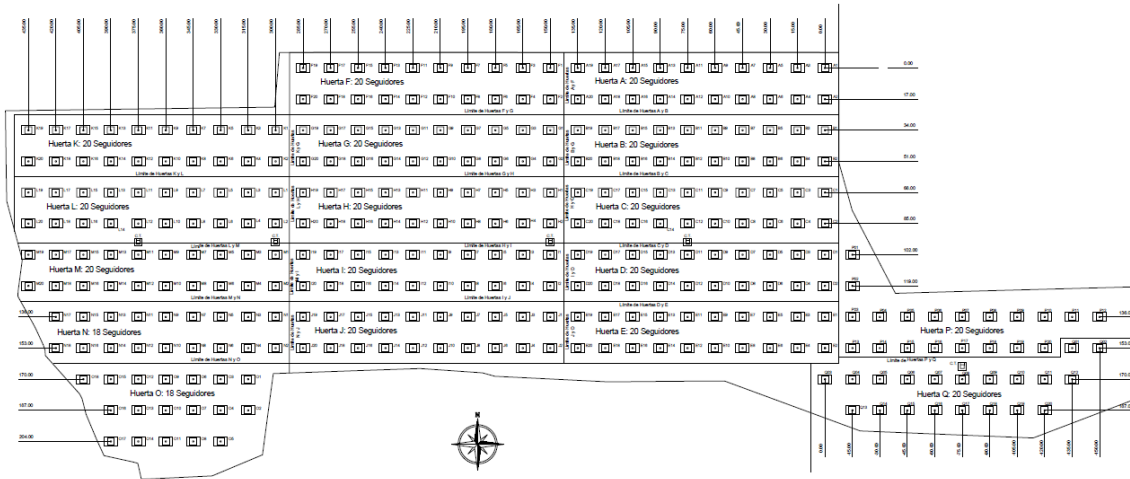


Figura 28: plano de Arguedas

Las dimensiones son 600 metros de largo y 200 metros de ancho, un tamaño costoso de realizar y más aún de simular, puesto que al ser de tales dimensiones el código necesita mucho tiempo para procesarlo. Por ello primeramente para realizar el estudio de cobertura se trabajó únicamente con una parte de la huerta solar (pese a dibujar el escenario entero), en concreto las huertas K L y M que cuentan con 20 seguidores cada una, situadas donde marca la siguiente figura:

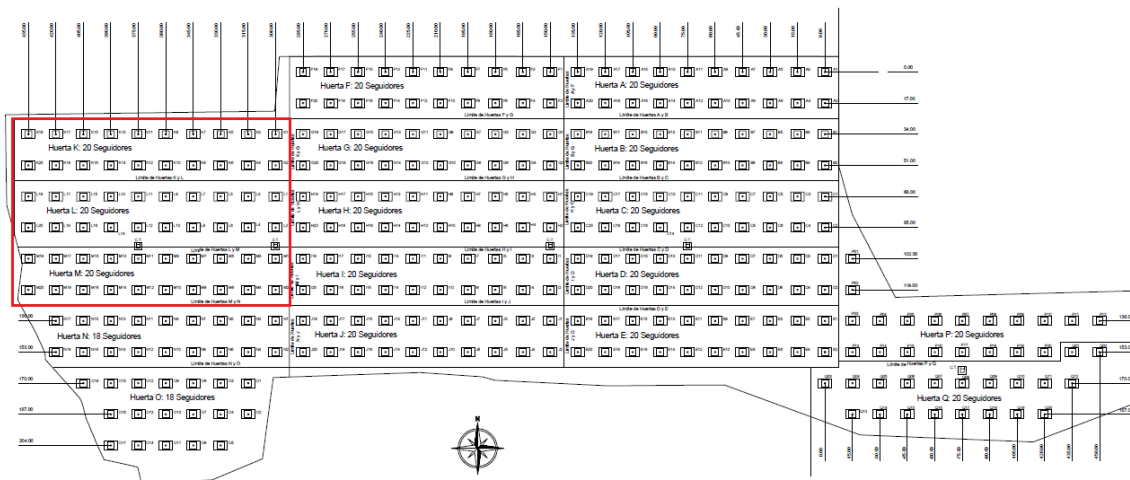


Figura 29: plano de Arguedas y selección de zona

Se escogió esta parte cómo se podía haber escogido cualquier otra del total con el objetivo de reducir el tiempo de simulación y poder realizar un mayor número de pruebas. Por tanto se comenzó a dibujar dichas huertas y se colocó una antena donde muestra el dibujo:

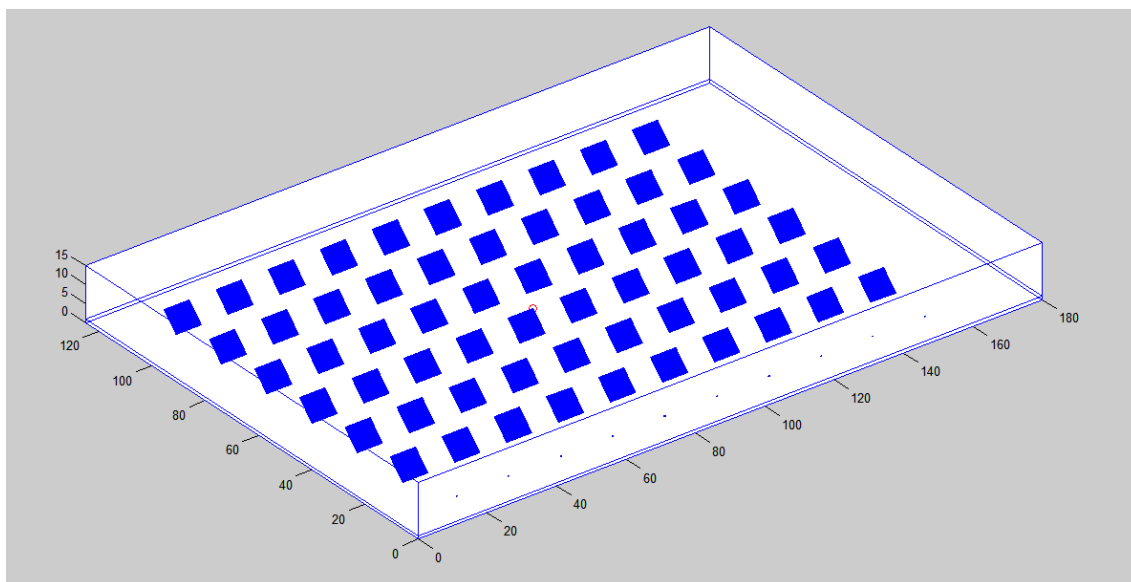


Figura 30: Escenario parte de Arguedas MATLAB

Cada uno de los cuadrados azules corresponde a un panel fotovoltaico como el explicado anteriormente.

Como anteriormente también se muestran los dibujos realizados en Blender.

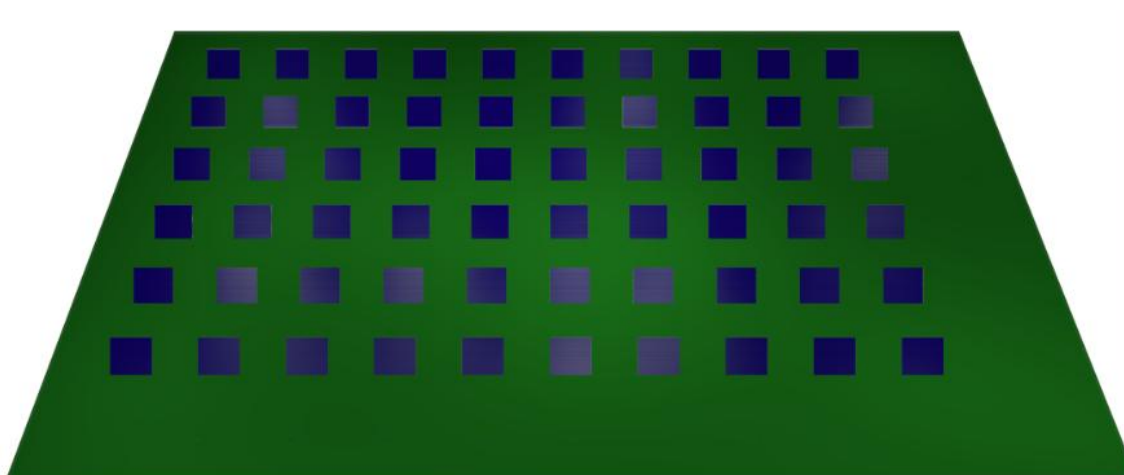


Figura 31: Escenario parte de Arguedas Blender 1

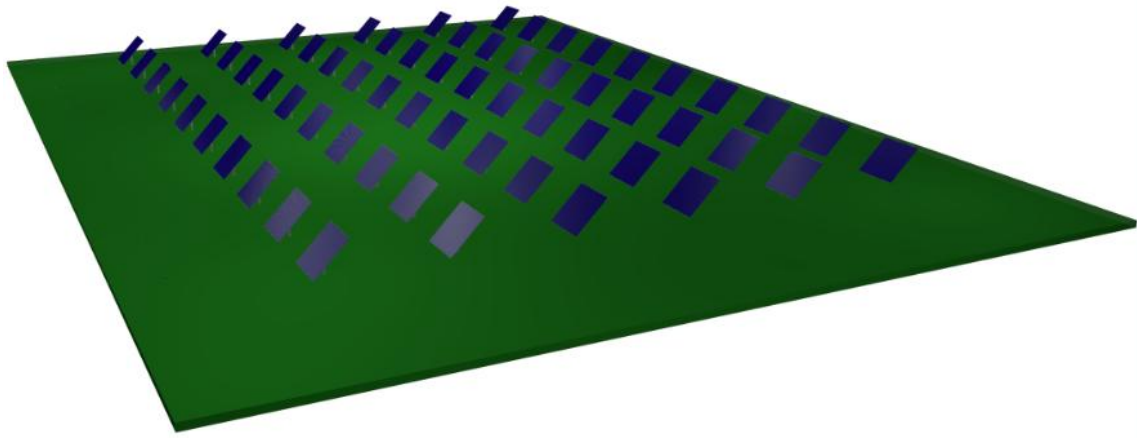


Figura 32: Escenario parte de Arguedas Blender 2

- **SIMULACIONES EN PARQUE DE ARGUEDAS**

Para todas las simulaciones se han mantenido invariantes los siguientes parámetros de la antena:

- Frecuencia: 2.4 Ghz (Zigbee)
- Número de rebotes del rayo: 6
- Resolución angular: 1 rayo lanzado por cada grado (antena omnidireccional)
- Tamaño de los cubos para simulación: 1 metro

**el tamaño de los cubos se refiere a cómo se divide el escenario para tomar las medidas, cuanto más pequeños sean los cubos más precisión se obtendrá*

El único parámetro que cambia durante las simulaciones es la potencia, probando así con potencias de -10, 0 y 10 dBm.

El diagrama de cobertura obtenido para una potencia de 10 dBm es el siguiente:

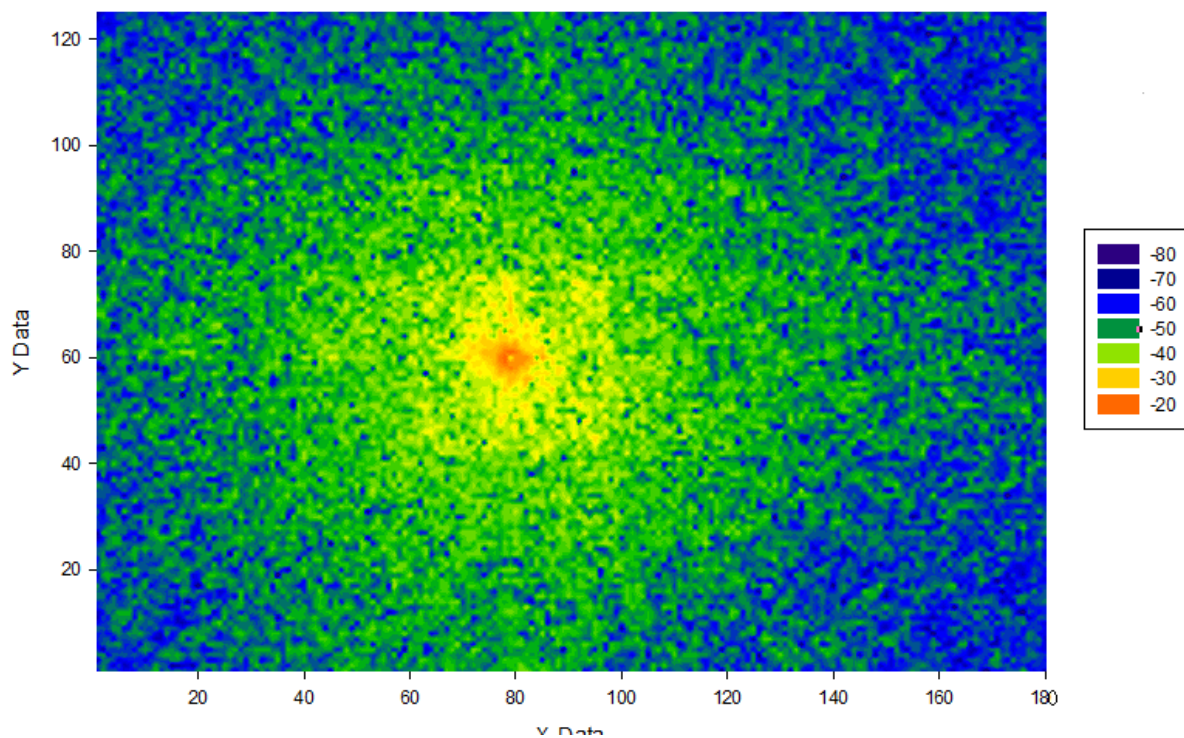


Figura 33: Diagrama de potencia a 10 dBm de transmisión altura de antena (entre 6 y 7m)

Los diagramas de potencia cambian un poco en función de la altura como en los escenarios de prueba, a continuación se muestra una imagen con los diagramas de potencias para 10 dBm de potencia tomados a las alturas de 6, 7 y 8 metros. Estas alturas

se corresponden con la franja inferior de la antena, la franja en la cual está colocada la antena que comprende la parte superior del panel y un poco de aire y la franja superior a la antena que solo comprende aire.

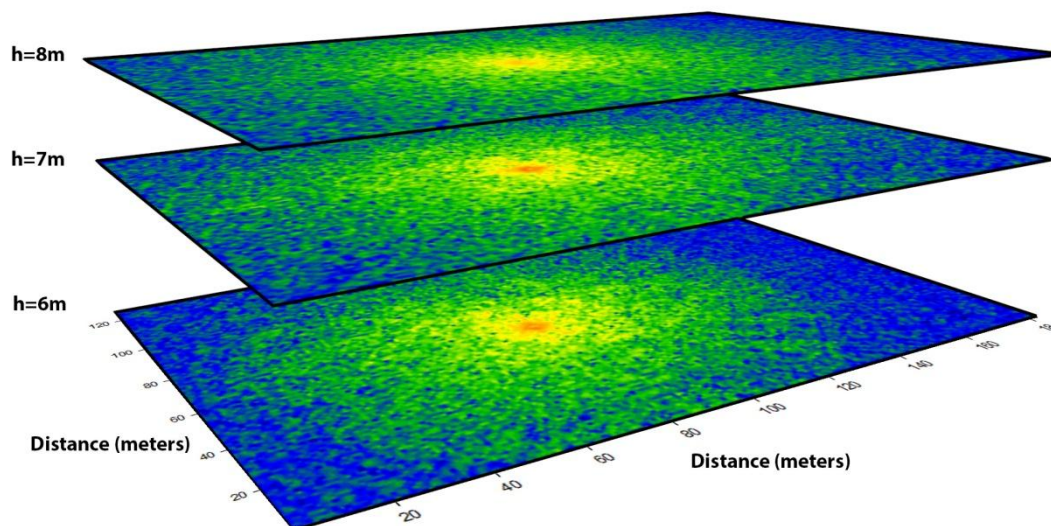


Figura 34: Diagrama de potencia 10 dBm a distintas alturas

Las gráficas de potencia para las potencias de 0 o -10 dBm tienen la misma distribución, lo único que cambia es la potencia.

En cuanto a la distribución se puede observar que no es del todo simétrica, pese a tener la antena colocada en el centro del escenario. Esto se debe a que al ser el escenario complejo y tener muchos rebotes es prácticamente imposible obtener una gráfica totalmente simétrica, de hecho la antena no está colocada exactamente en el centro puesto que es necesario que esté en un panel.

También se ve esa especie de “cruz” que se veía anteriormente, ahora no tan clara como antes pero se observa que en vertical y horizontal los rayos llegan al final del escenario con mayor potencia que si nos movemos en diagonal, esto es debido a que en diagonal tienen que atravesar una mayor distancia a la vez que un mayor número de paneles.

- RADIALES DE POTENCIA

El objetivo de estas simulaciones es obtener el radio de cobertura que alcanzamos en función de la antena utilizada, para posteriormente saber cuántas antenas se necesitaran y de qué tipo.

Para esto no es suficiente valerse únicamente de las gráficas de potencia, por ello para su mejor comprensión se han realizado radiales de potencia en los ejes que está colocada la antena. Así se conseguirá una mayor precisión y unos mejores resultados. Estos radiales se han realizado para diferentes potencias y diferentes sensibilidades de recepción.

Han sido tomados donde está la antena como muestra el siguiente dibujo:

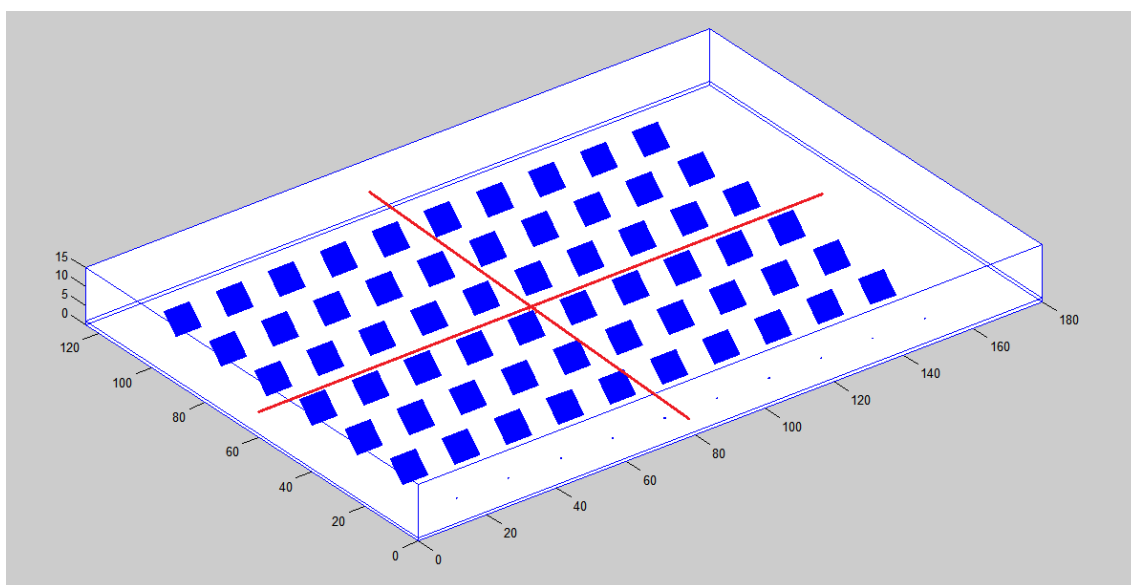


Figura 35: colocación de los radiales de potencia

Para obtener el radio de cobertura mediante los radiales se observa en qué punto de los dos radiales (eje y o eje x) la potencia recibida alcanza el mínimo valor necesario para garantizar una comunicación, esta potencia se corresponde con el umbral de sensibilidad. Posteriormente se calcula la distancia desde ese punto hasta donde está colocada la antena y este será el radio de cobertura.

- **RESULTADOS:**

Por tanto se ha concluido que los radios de cobertura con los siguientes:

- **Potencia= -10dBm (0.1mW)**

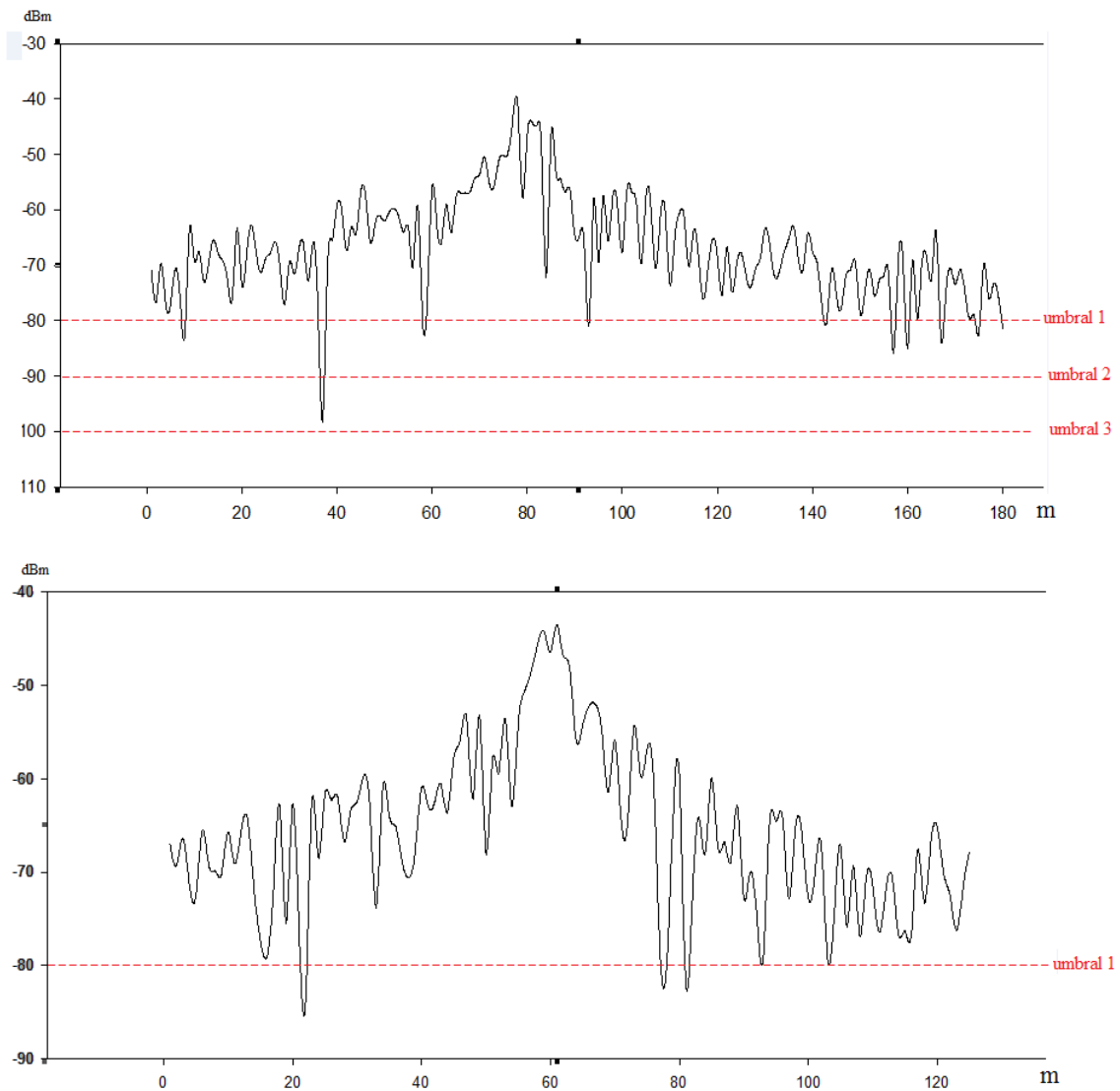


Figura 36: radiales de potencia para -10dBm

*Las líneas discontinuas se corresponden con los umbrales de sensibilidad (eje y)

**el eje x se corresponde con la distancia del escenario en X (180) o en Y (120), depende de cuál sea el eje que se deja fijo y cual varía.

sensibilidad	Radio de cobertura
-80 dBm	15 metros
-90 dBm	35 metros
-100	35 metros

Figura 37: radios de cobertura para -10 dBm

- **Potencia= 0dBm (1mW)**

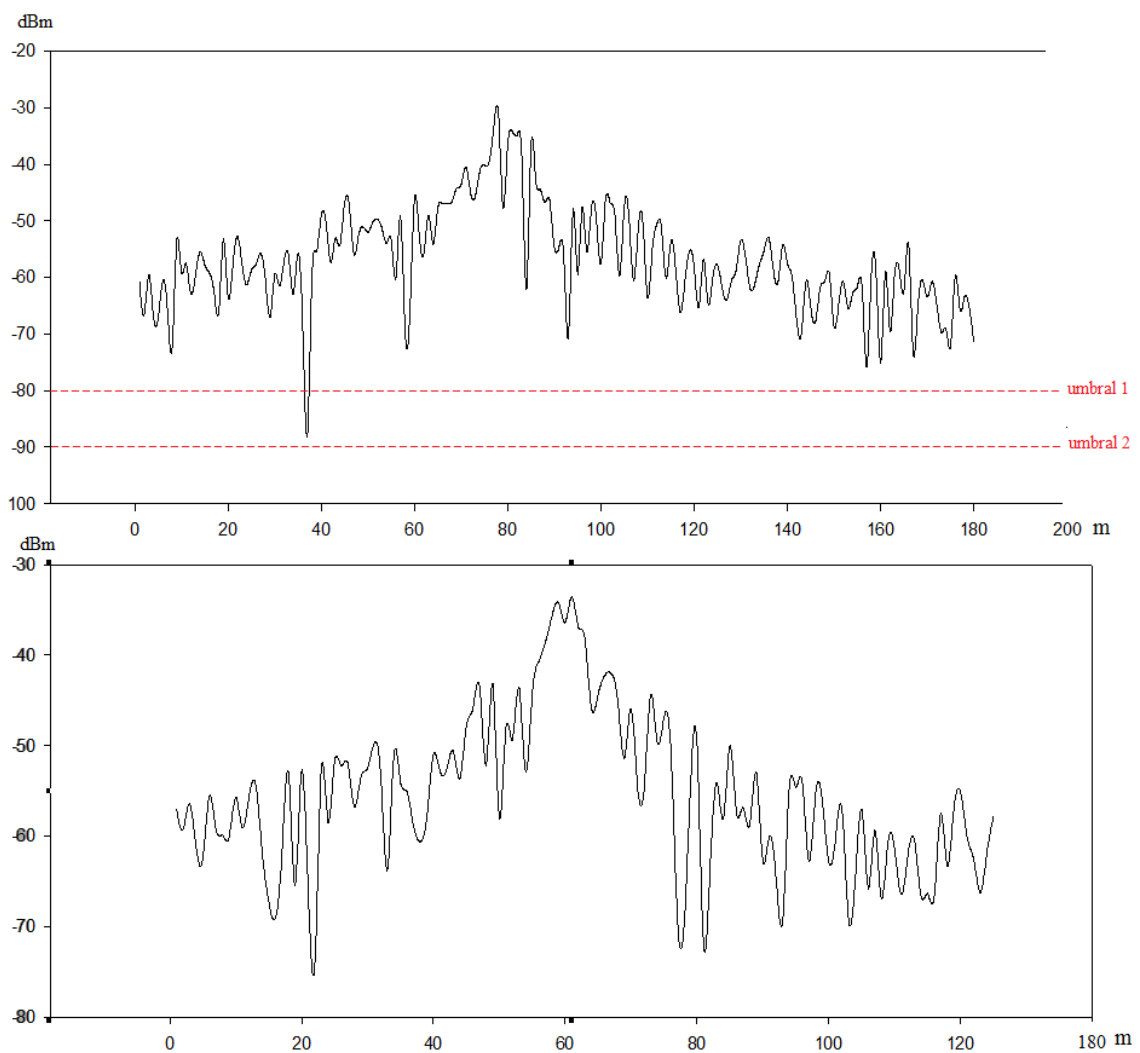


Figura 38: radiales de potencia para 0dBm

sensibilidad	Radio de cobertura
-80 dBm	35 metros
-90 dBm	35 metros
-100	+100 metros

Figura 39: radios de cobertura para 0dBm

- **Potencia= 10dBm (0.01W)**

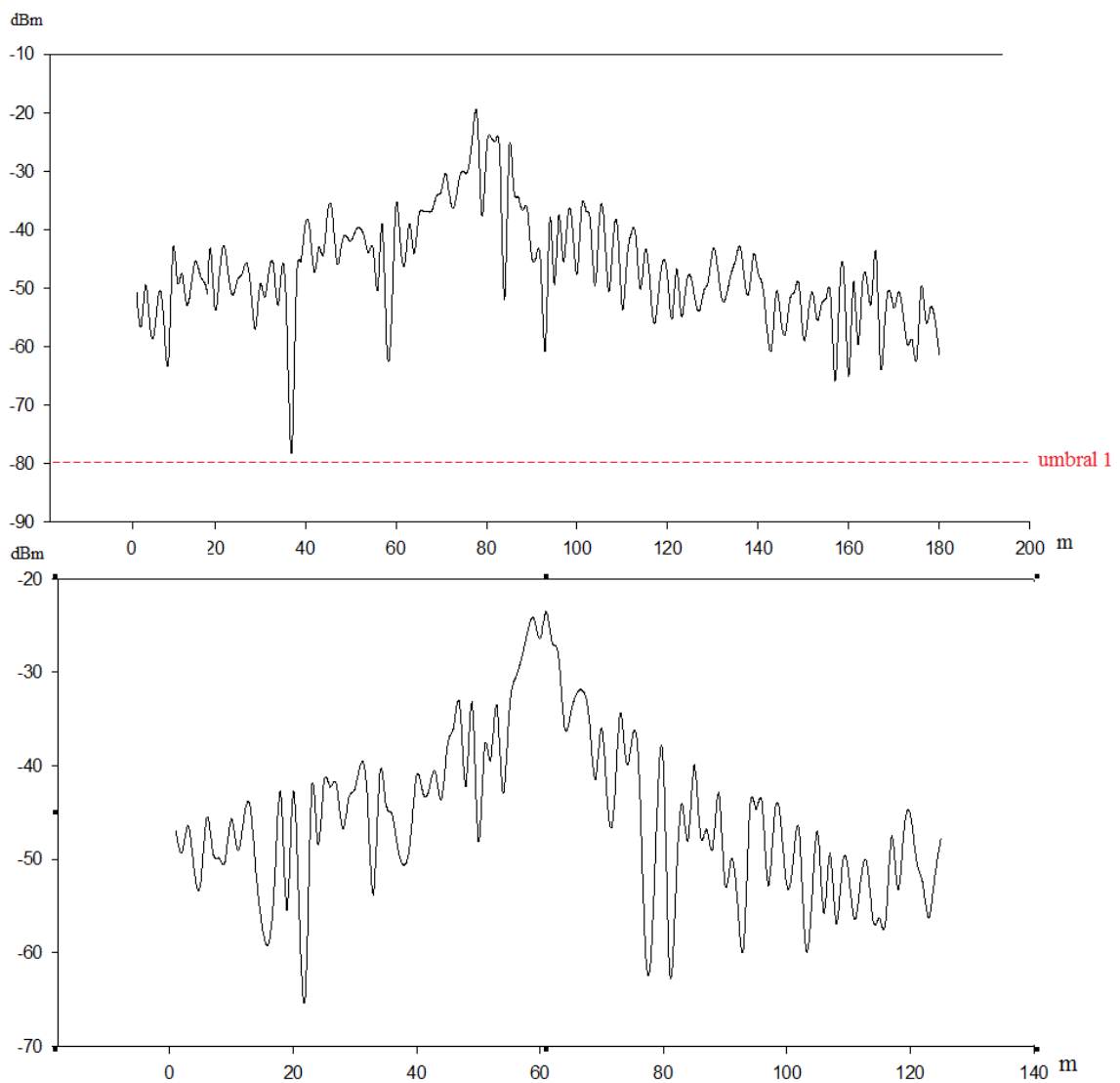


Figura 40: radiales de potencia para 10dBm

sensibilidad	Radio de cobertura
-80 dBm	35 metros
-90 dBm	+100 metros
-100	+100 metros

Figura 41: radios de cobertura para 10dBm

Se escogen dos radios de cobertura a tener en cuenta, los cuales son 15 y 35 metros quedando una distribución de la siguiente manera:

- **Radio= 15 metros**

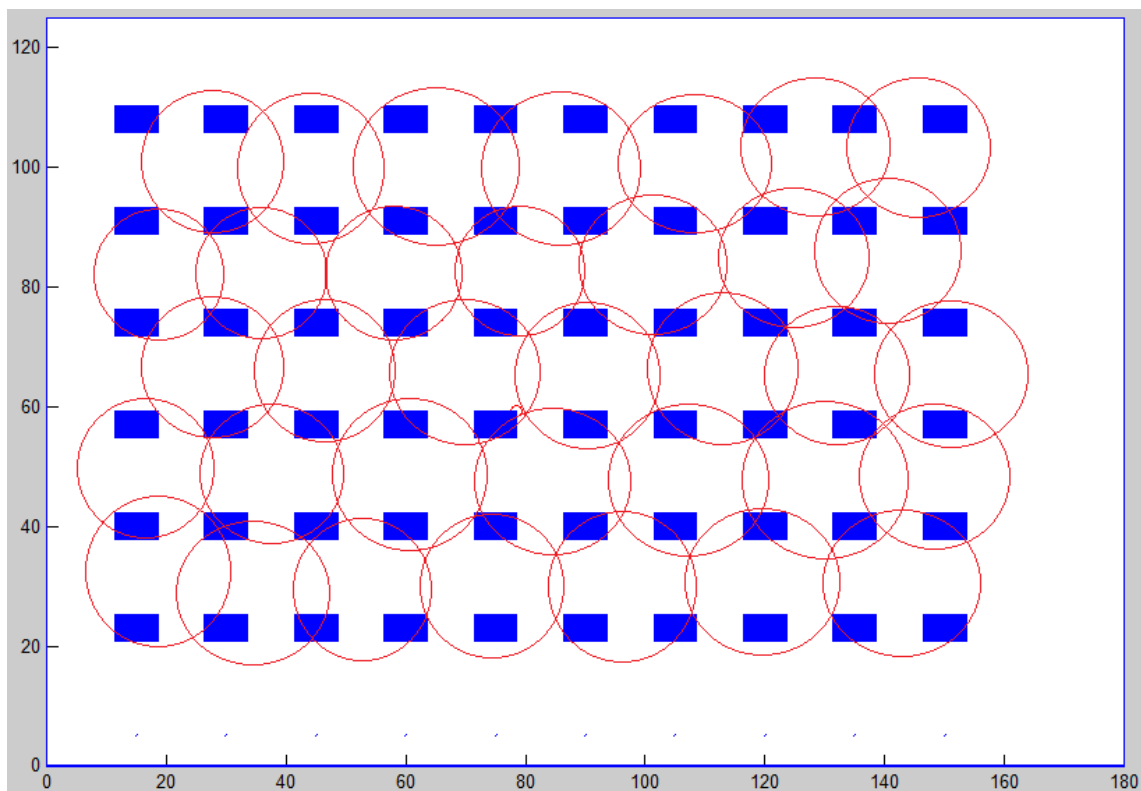


Figura 42: distribución de cobertura para radio de 15m

- **Radio= 35 metros**

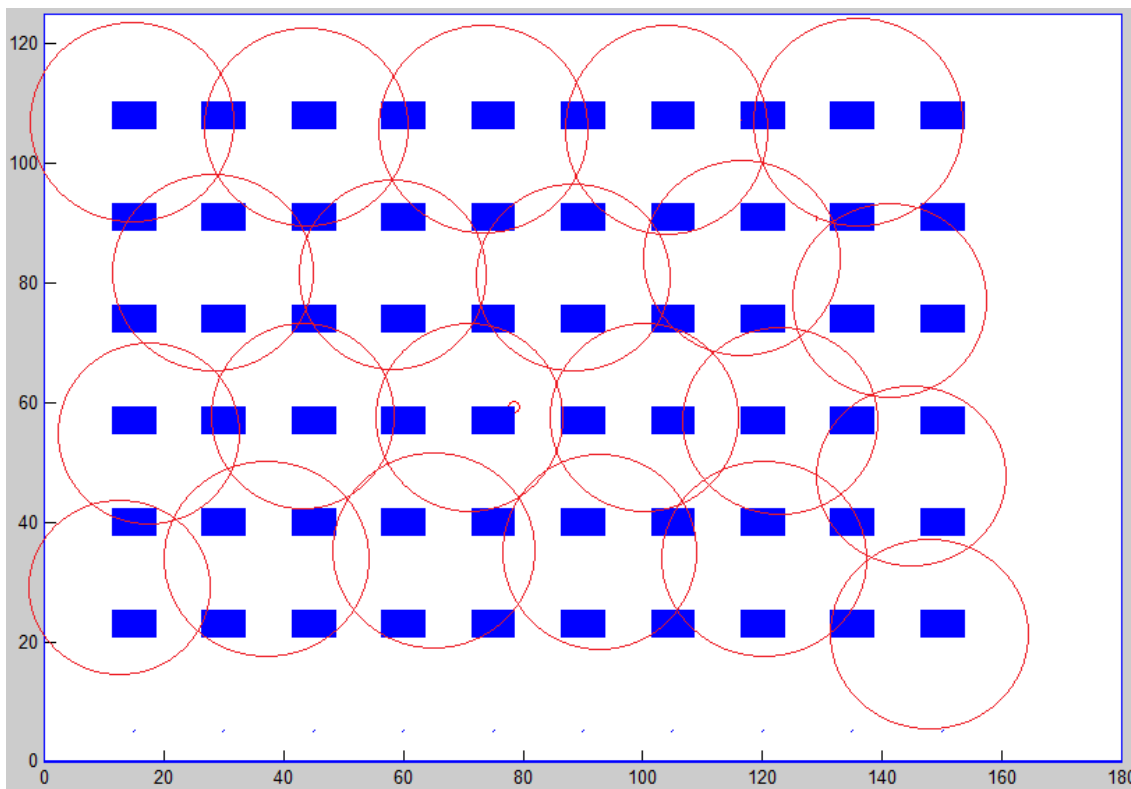


Figura 43: distribución de cobertura para radio de 35m

Cada panel poseerá uno o varios sensores los cuales se comunicarán entre ellos, para lo cual se utilizará el radio de 35 metros puesto que se obtiene (al igual que el de 15 metros) con la antena de menor potencia (-10 dBm) y reduciendo la sensibilidad a -90 dBm.

Se creará una red mallada de comunicación entre sensores a través de los cuáles viajará la información y será recogida por 3 antenas más potentes que también podrán emitir información a cualquier punto del parque fotovoltaico para, por ejemplo, su posterior lectura por operarios de la central.

La potencia escogida para estas últimas antenas puede ser de 10dBm (0.01W) ya que son las antenas con las que alcanzamos mayor radio de cobertura, aún así se realizará el estudio.

Con el objetivo de comprobar el alcance máximo de éstas antenas se vuelve a simular el mismo escenario esta vez con la antena en una esquina como se muestra en la figura.

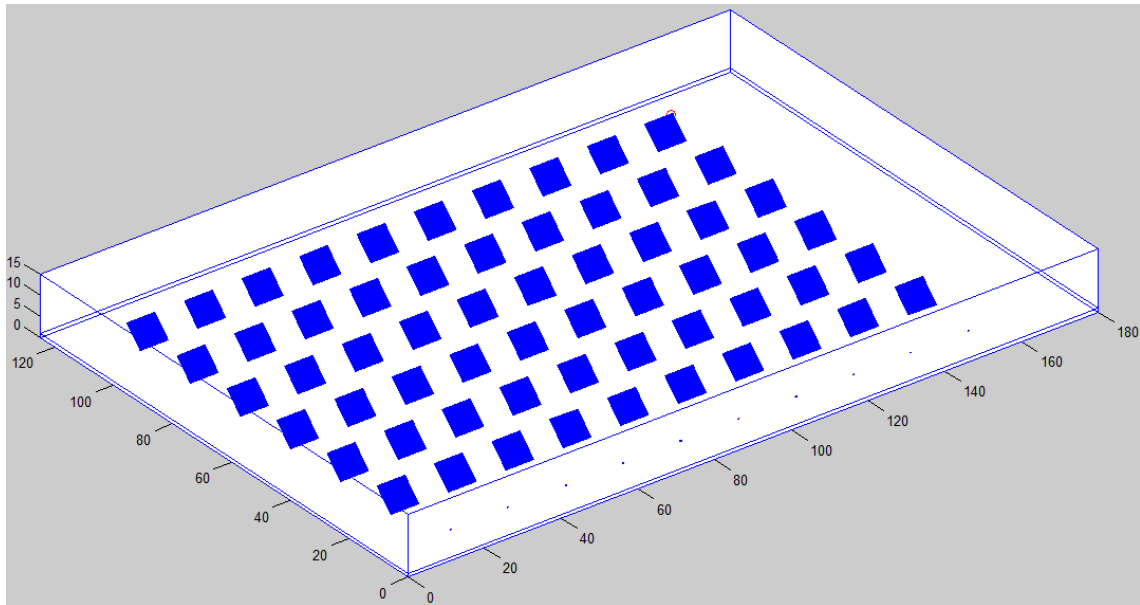


Figura 44: Escenario parte de Arguedas con antena en esquina

Obteniendo un diagrama de cobertura tal que así para una potencia de 10dBm:

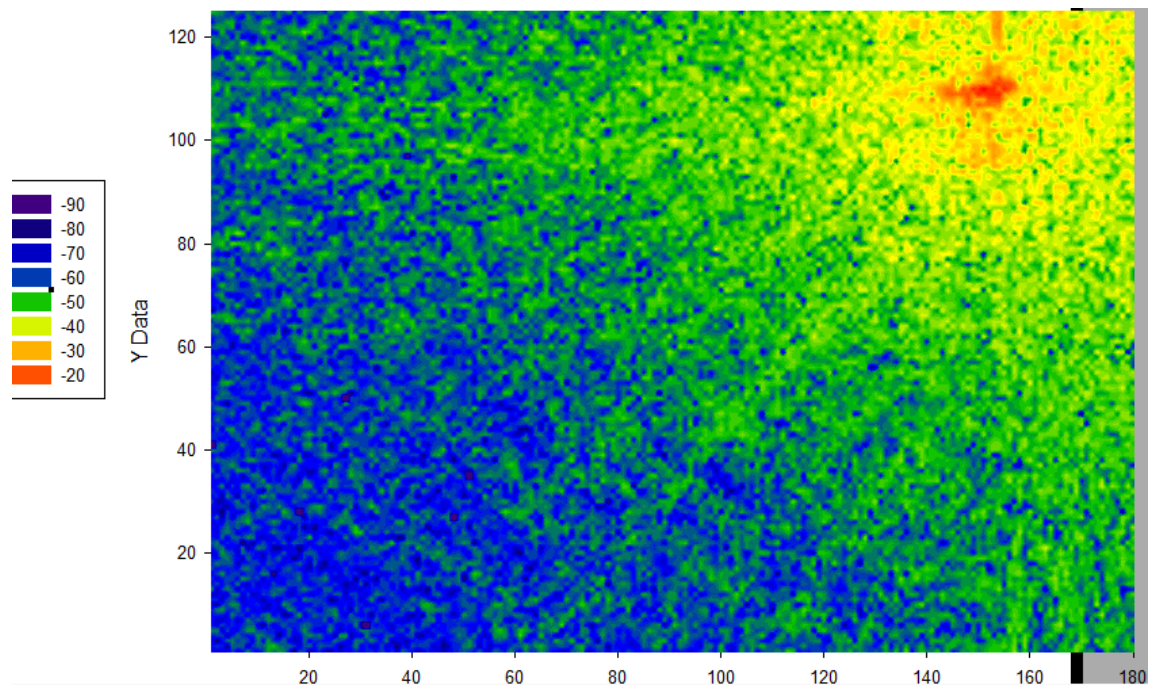


Figura 45: Diagrama de potencia con antena en esquina

De nuevo, para su mayor comprensión se realizaron radiales de potencia para los ejes en los cuales está colocada la antena (158,105) para diferentes potencias nuevamente:

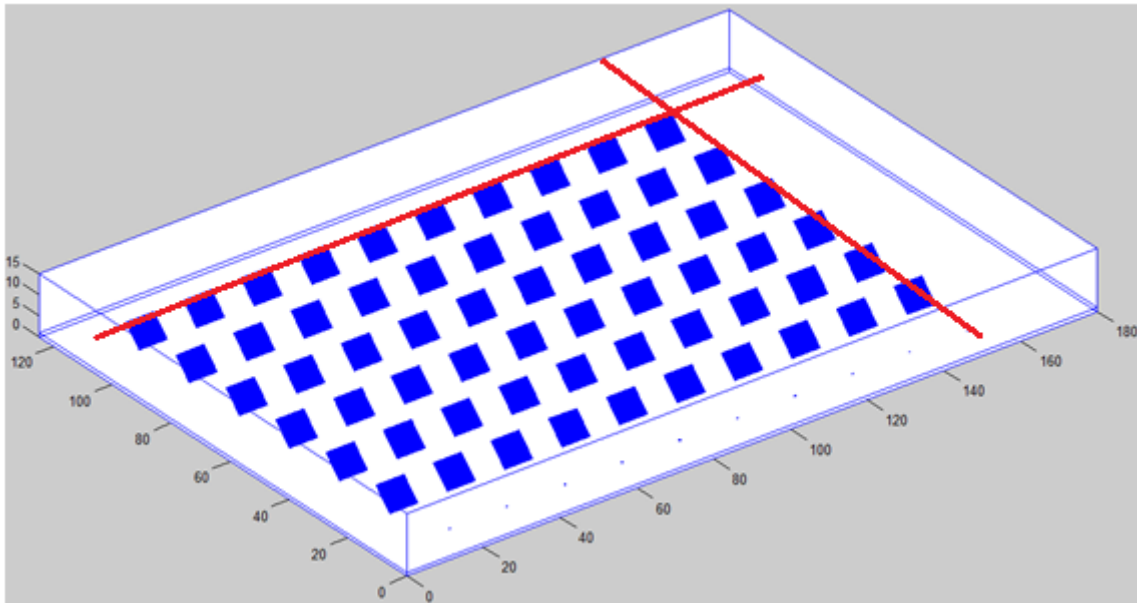


Figura 46: colocación de los radiales de potencia con antena en esquina

Y se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Potencia= 10dBm (0.01W)**

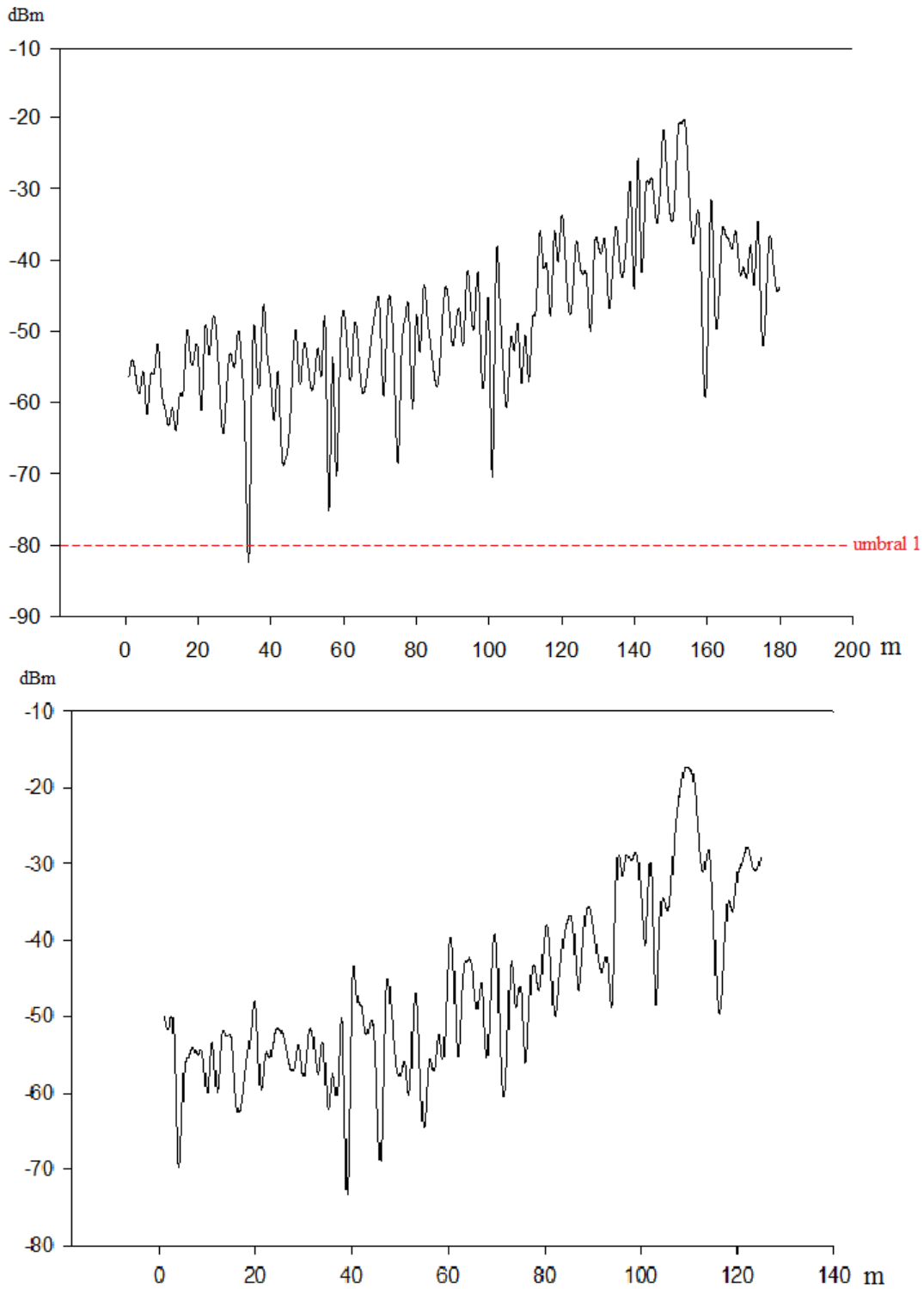


Figura 47: radiales de potencia para 10dBm, antena en esquina

sensibilidad	Radio de cobertura
-80 dBm	120 metros
-90 dBm	+150 metros
-100	+150 metros

Figura 48: radios de cobertura para 10dBm, antena en esquina

- **Potencia= 0dBm (1mW)**

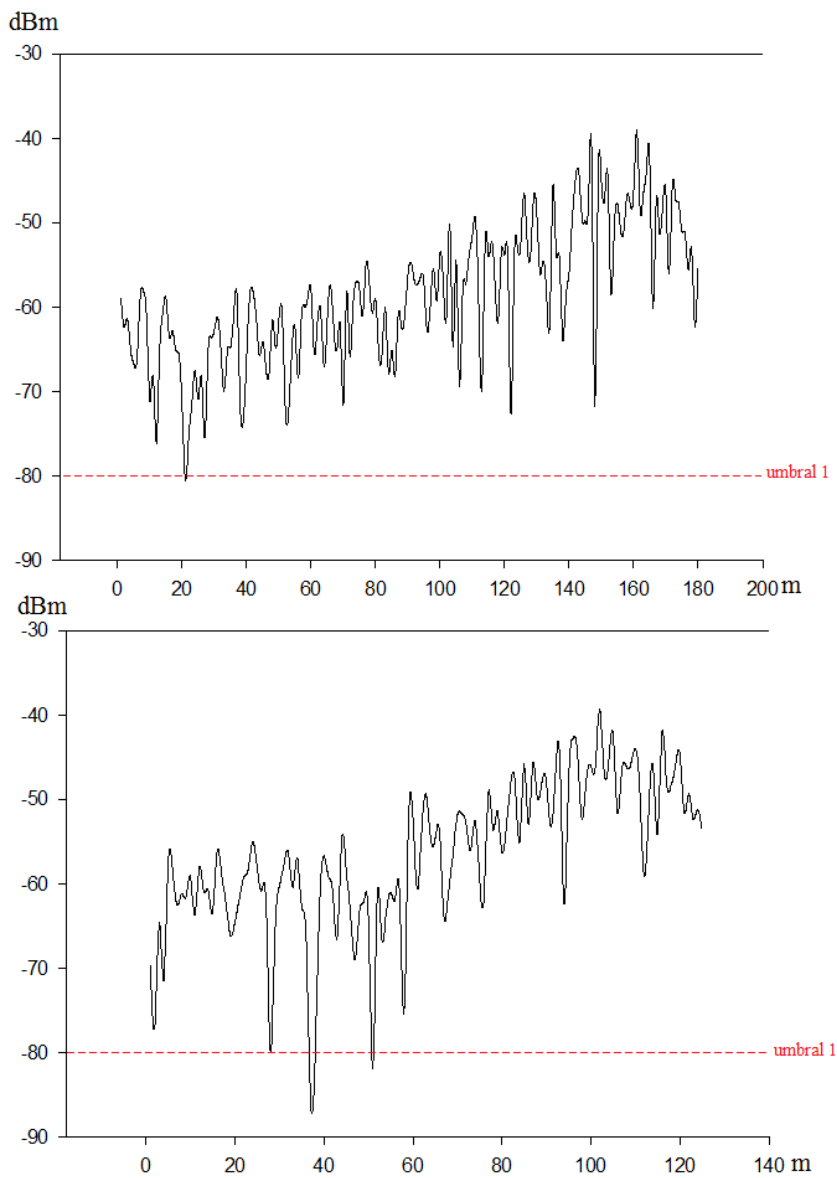


Figura 49: radiales de potencia para 0dBm, antena en esquina

sensibilidad	Radio de cobertura
-80 dBm	45 metros
-90 dBm	+150 metros
-100	+150 metros

Figura 50: radios de cobertura para 0dBm, antena en esquina

Con potencia 0 dBm y sensibilidad -90 dBm vemos como la antena es capaz de superar los 150 metros de radio de cobertura, por tanto, esta será nuestra antena la cual nos permitirá realizar una planificación como la que se muestra a continuación:

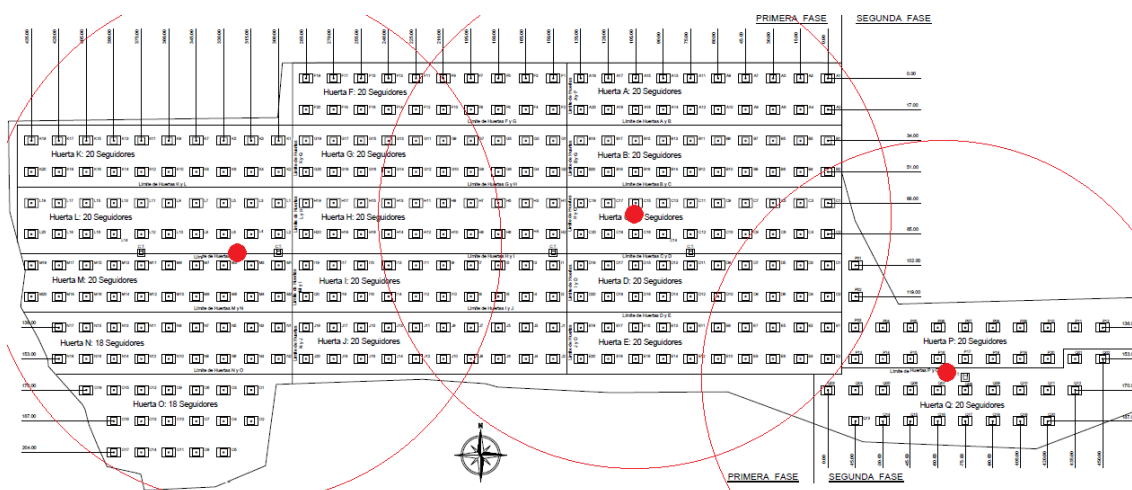


Figura 51: radios de cobertura para antenas grandes

Por tanto se puede comprobar como con estas tres antenas se cubre el parque por completo.

- **DELAY SPREAD**

Para completar el estudio de cobertura también se han realizado graficas de retardo, delay spread y de probabilidad de error. El delay spread nos muestra el tiempo transcurrido desde que el primer rayo llega a un punto hasta que lo hace el último. Los ejes de la grafica son, por tanto, las dimensiones del escenario y los colores se corresponden con el tiempo transcurrido. En cuanto a las gráficas de retardo indican cuándo llega un rayo a un punto y con qué potencia lo hace, por ello los ejes de esta grafica son potencia (eje y) y tiempo (eje x).

En cuanto al delay spread la gráfica obtenida es la siguiente:

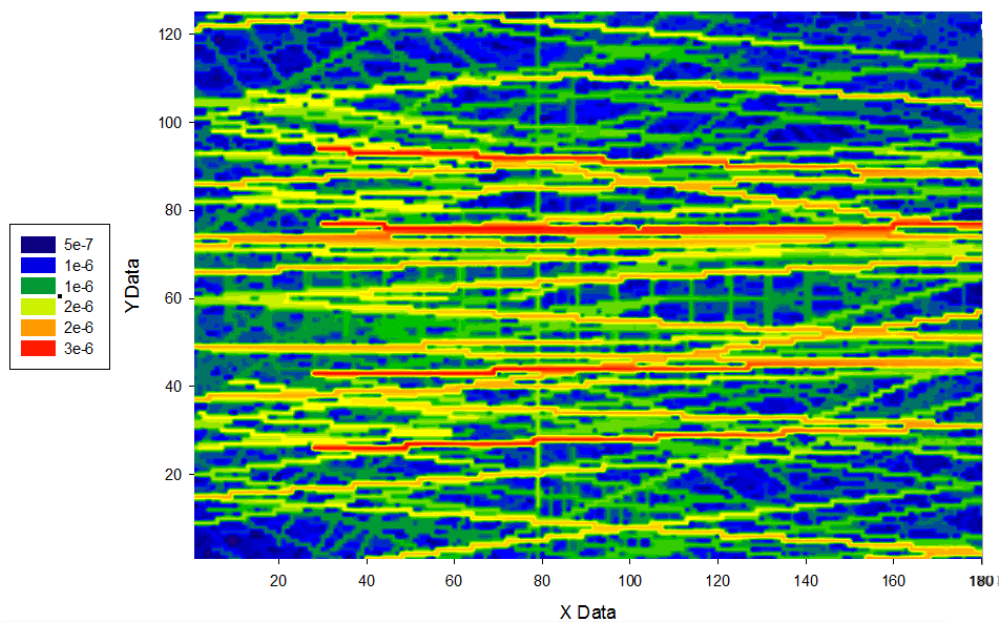


Figura 52: Delay spread

Para una mejor comprensión se han analizado dos puntos concretos, uno para un tiempo mínimo transcurrido entre el primer y el ultimo rayo (color azul) y otro para un tiempo máximo(color rojo):

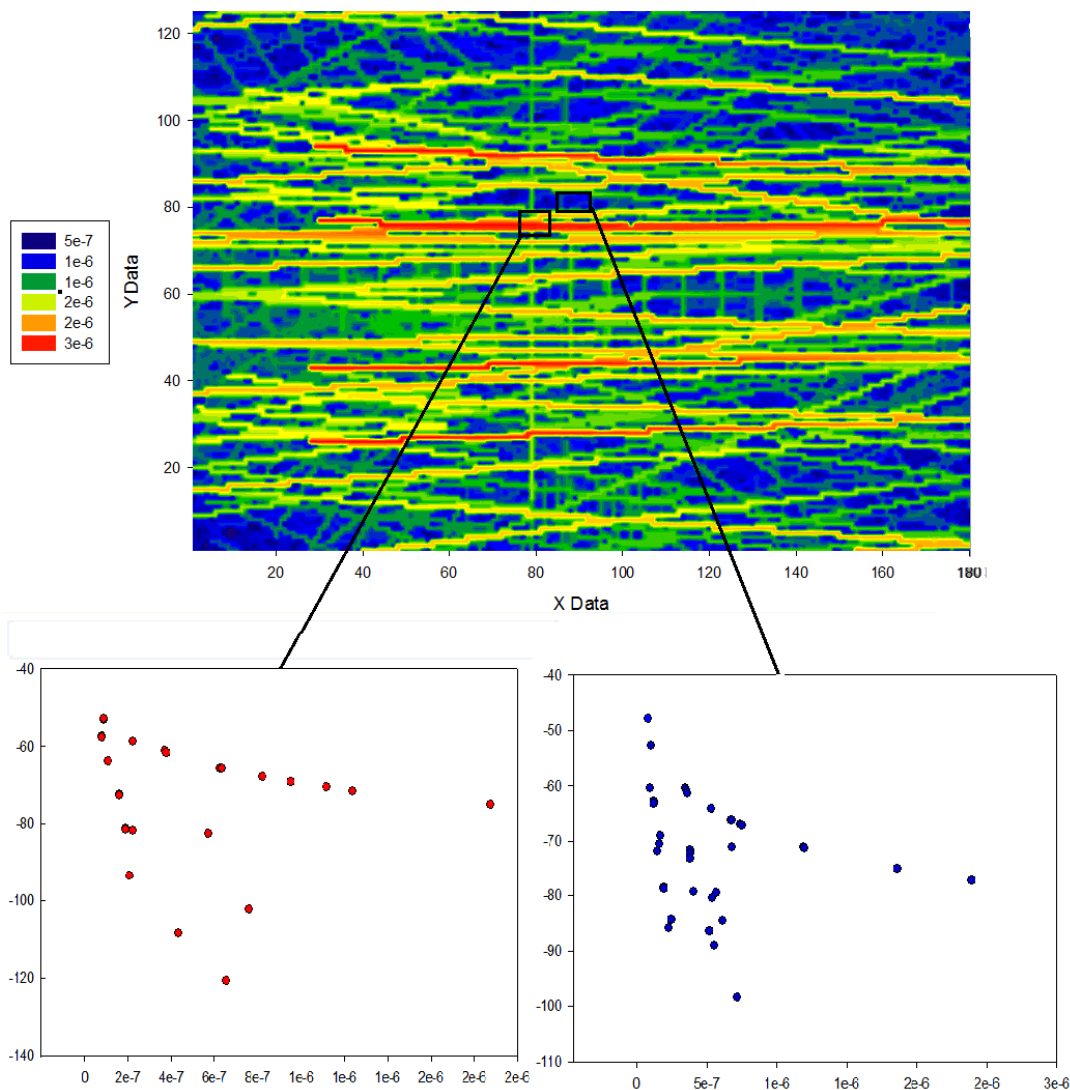


Figura 53: Delay spread y perfil de retardo de potencia

Como se ha dicho anteriormente, en la gráfica delay spread se tienen colores rojos para un tiempo mayor y colores azules para un tiempo menor, es decir en los puntos rojos el tiempo transcurrido desde que llega el primer rayo hasta que llega el ultimo es mayor que en los puntos azules y por ello los rayos están más dispersos en las zonas rojas que en las azules, lo cual se puede apreciar en las gráficas de retardo anteriores.

También se ha juntado la gráfica delay spread con el escenario del parque fotovoltaico para ver las zonas de influencia:

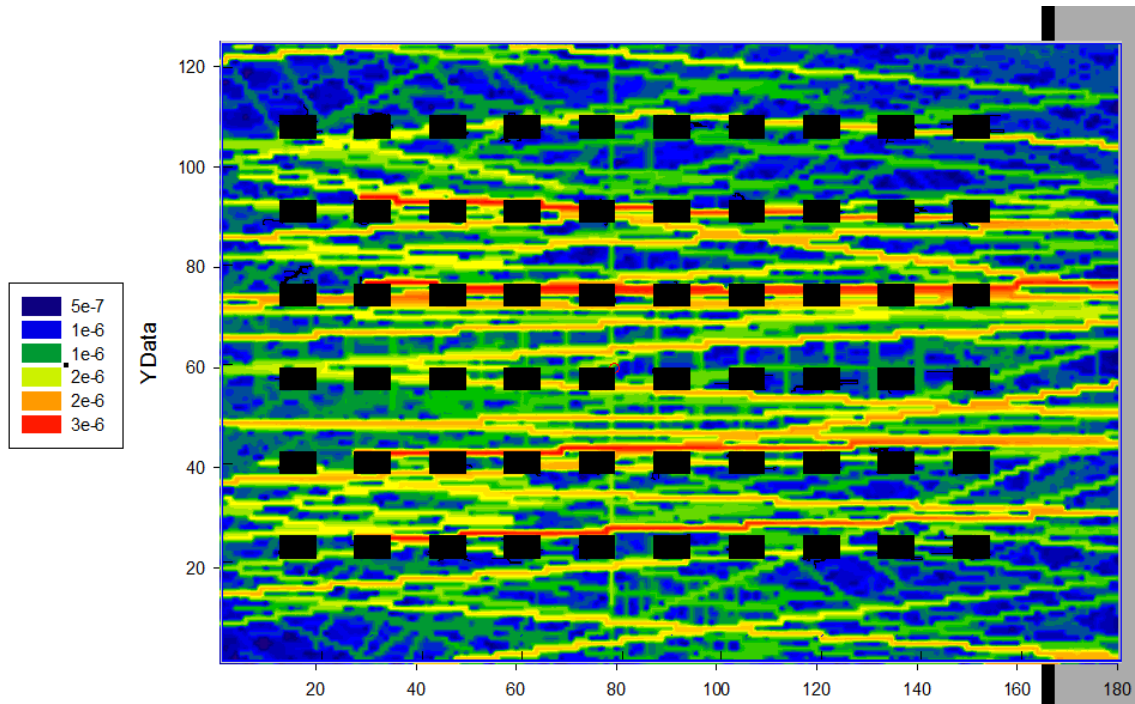


Figura 54: Delay spread y escenario

Como se puede apreciar en la figura se trata de un escenario bastante complejo con puntos en los que los rayos llegan muy seguidos y otros en los que llegan más separados, el programa realizará una media de todos estos, teniendo menor potencia los que lleguen más separados puesto que habrán realizado mas rebotes.

- PROBABILIDAD DE ERROR

Cuando se transmiten señales digitales por un canal, en este caso el aire, el efecto del ruido se pone de manifiesto en el número de errores que comete el receptor. Se deduce inmediatamente que dicho número es tanto mayor cuanto más grande sea la probabilidad de error.

La probabilidad de error P_e es una expectativa teórica (matemática) de la tasa de error de bit (BER) para un sistema determinado. Por ejemplo, para una $P_e = 10^{-6}$ se puede esperar que ocurra un error de bit cada millón de bits transmitidos.

La probabilidad de error depende del valor de la relación señal/ruido $\left(\frac{S}{N}\right)$ o de la relación de la densidad de potencia de energía por bit $\left(\frac{E_b}{N_0}\right)$.

$$P_e = Q \left(\sqrt{\frac{2 \cdot E_b}{N_0}} \right)$$

$P_e =$ Probabilidad de error.

$E_b =$ Energía media de bit.

$N_0 =$ densidad espectral de potencia de ruido.

Cuanto mayor sea esta relación, más destaca la señal sobre el ruido y, por tanto, menor es la probabilidad de error. Cuando el ruido se añade a una señal con distorsión, la probabilidad de error crece rápidamente.

La energía media por bit es un parámetro que depende de la potencia recibida y de la tasa de transmisión de datos.

$$P_{Rx} = E_b \cdot R_b \rightarrow E_b = \frac{P_{Rx}}{R_b}$$

La distorsión que produce el ruido en una determinada comunicación depende de su potencia, de su distribución espectral respecto al ancho de banda de la señal, y de la propia naturaleza de la señal y de la información que transporta.

Se han realizado gráficas para diferentes E_b y para diferentes valores de N_0 :

- **250000bps; -70 dBm ruido**

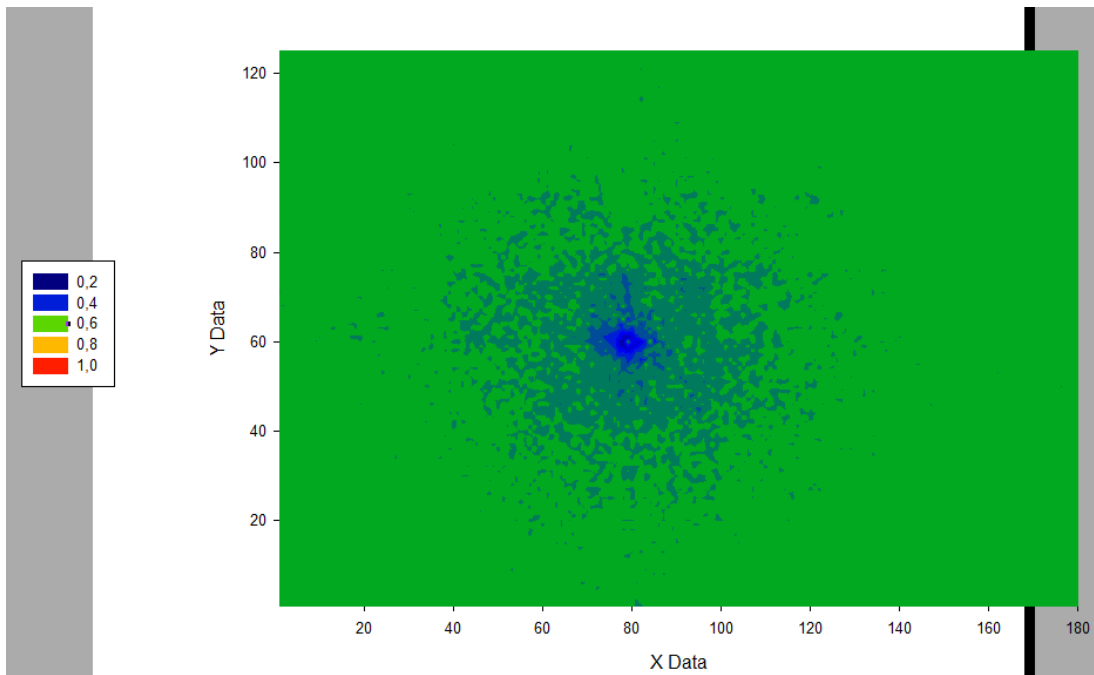


Figura 55: probabilidad de error para 250000 bps y -70 dBm/Hz de ruido

- **57600bps; -70 dBm ruido**

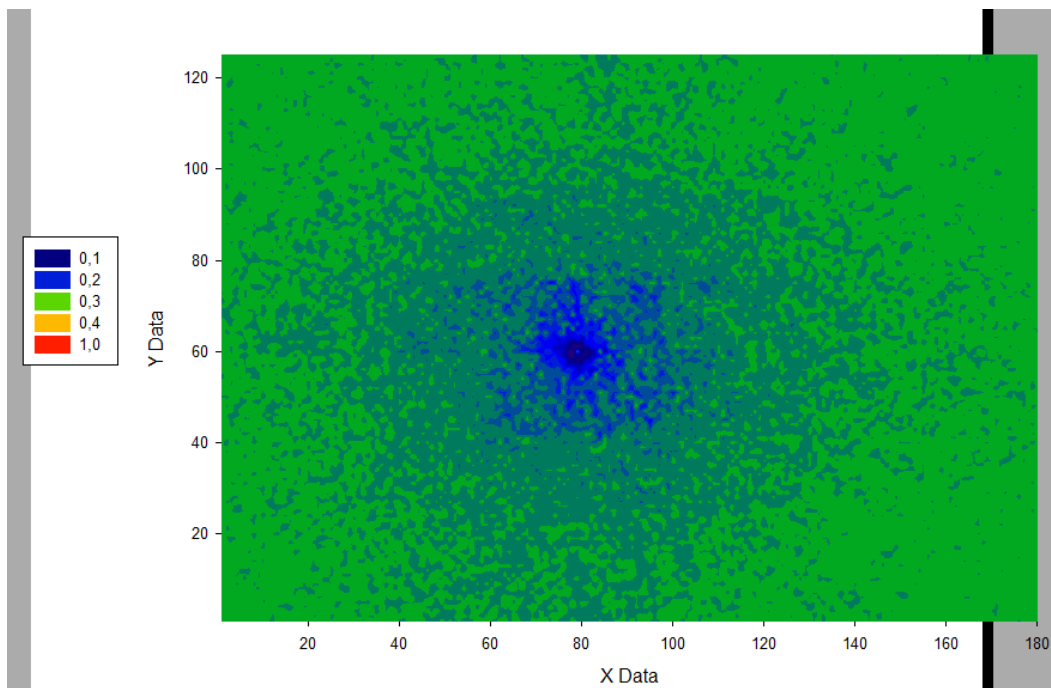


Figura 56: probabilidad de error para 57600 bps y -70 dBm/Hz de ruido

- **57600 bps; -100dBm ruido**

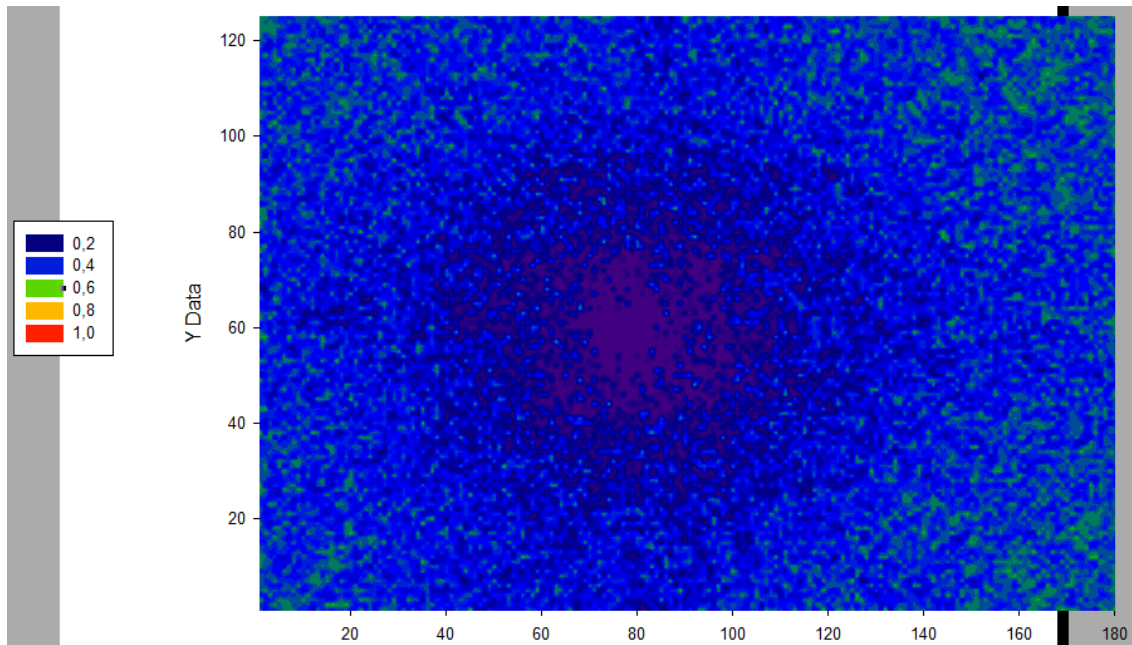


Figura 57: probabilidad de error para 57600 bps y -100 dBm/Hz de ruido

5. CONCLUSIONES

Decir que la parte más complicada de este proyecto ha sido trabajar con unas dimensiones tan grandes de escenario en el cual existen un grandísimo número de cubos para realizar el dibujo, por ello únicamente se han podido realizar pruebas en una parte del parque fotovoltaico.

Después de realizar las pruebas iniciales con un escenario más simple y unos paneles ficticios de tan sólo dos cubos (uno para el poste y otro para el panel) se comenzó a dibujar el panel real y es aquí donde se empezó a complicar el trabajo.

Lo complicado de los paneles reales es conseguir la inclinación puesto que en MATLAB únicamente se pueden dibujar cuboides y no se pueden inclinar, por eso hubo que realizar los paneles apilando cubos como se ha indicado anteriormente. Esto aumenta el número de cubos que forman los paneles, mientras antes eran dos ahora pasan a ser 382.

Esto complica muchísimo el escenario puesto que hay que multiplicar este aumento de cuadros por cada panel. De hecho esto también acarrió problemas a la hora de dibujar el escenario en Blender y nos vimos obligados a reducir el número de cubos únicamente para poder dibujarlo.

Decir también que a la hora de trabajar con los gráficos de potencia en Sigmaplot también se ralentizaba severamente el proceso, puesto que el programa necesitaba mucho tiempo para procesar el gran número de datos que se le introducían.

Todos estos factores han llevado a utilizar una dimensión de cubos para las simulaciones de 1 metro, se pierde algo de precisión pero si no sería prácticamente imposible trabajar ya que serían unas simulaciones muy complejas y tardarían mucho más, de hecho con una dimensión de cubos de 1 metro ya tardaban aproximadamente 5 días.

Sería necesario comparar estos resultados obtenidos mediante simulaciones con resultados obtenidos con mediciones reales para ver en qué medida sería necesario mejorar el dibujo del escenario en MATLAB, como puede ser, añadir algún obstáculo más (árboles, arbustos...), o darle rugosidad al terreno, diferenciar y ser más concretos en la elección de los parámetros de los materiales, pero no ha sido posible realizar medidas en el parque de Arguedas, por tanto esto puede ser una línea futura.

Una vez obtenidos todos los resultados se comenzó a realizar un posible modelado de la red de sensores en el trozo del parque elegido para este proyecto, el cuál es perfectamente extrapolable al resto del parque.

Por tanto se puede concluir que se ha realizado una posible planificación para el parque la cual se ha basado únicamente en datos obtenidos mediante simulación, sería una buena idea poder comparar estos datos en un futuro con datos de mediciones reales.

6. LÍNEAS FUTURAS

Con relación a los resultados del proyecto se muestran a continuación algunas ideas para posibles líneas futuras de este trabajo:

- La primera y la más necesaria es la realización de medidas en el escenario real para posteriormente poder comparar estos resultados con los resultados obtenidos mediante simulaciones.
- Basándose en ésta toma de medidas se podría mejorar el escenario dibujado añadiendo mas detalles para obtener un resultado lo más parecido posible a la realidad.
- Realizar posibles aplicaciones para la red de sensores como puede ser acceso para terminales de operarios o posibles medidas de autocontrol.
- Realizar de nuevo simulaciones con otras frecuencias u otras posibles tecnologías.
- Conseguir de alguna manera realizar el escenario al completo para realizar de nuevo una planificación.

7. ANEXO I

Este proyecto ha sido escogido para la presentación de un póster en el “4th International Symposium on Sensor Science (I3S 2015)”



<http://sciforum.net/conference/I3S2015/posters>

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] IDAE.

[2] upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/19463/1/Memòria.pdf

[3] <http://graphics.latimes.com/towergraphic-la-me-solar-desert-tg/>

[4] http://renovablesinlimites.blogspot.com.es/2008/06/renovables-sin-limites_12.html

[5] http://gabinete.org.ar/Mayo_2007/eusolar.htm

[6] <http://www.solarforum-sh.org/warum-engagieren-wir-uns/>

[7] http://www.revista-anales.es/web/n_26/seccion_6.html

[8] <http://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2011/12/04/eclipse-parcial-energia-fotovoltaica/862108.html>

[9] <http://www.cleanegysolar.com/2011/11/10/mapa-y-tabla-de-las-zonas-climaticas-de-espana/>

[10] <http://geografia-cienciassociales.blogspot.com.es/>

[11] <http://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-fotovoltaicas-del-mundo/>

[12] http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2004-5562

[13] <http://alboragro.com/tecnologias-inalambricas-para-el-control-y-la-gestion-de-cultivos/>

[14] http://www.oas.org/en/citel/infocitel/2006/enero/bluetooth_e.asp

[15] <http://webdelcire.com/wordpress/archives/1714>

[16] www.libellium.com

[17] http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-19170-1_32#page-1

[18] <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-15595>

[19] Paper “Real-time Communication Network Solution based on Zigbee and Ethernet for Photovoltaic Systems “

[20] Paper “Communication Systems for GridIntegration of Renewable Energy Resources “