



Trabajo Fin de Máster Autonomía en Sistemas de Alimentación Dic 2014

V 0.2



RESUMEN EJECUTIVO

Descripción

Este documento contiene la redacción de los trabajos llevados a cabo para la consecución del Trabajo Fin de Máster relativo a la titulación de máster de Tratamiento de señal, Electrónica y Comunicaciones de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla.

Dicho trabajo engloba parte de una línea de investigación interna al Grupo de Ingeniería Electrónica "GIE", mediante la cual se trata de dotar a las redes inalámbricas de datos y plataformas de adquisición de medida de sensores, de autonomía de alimentación, la cual se suma a la autonomía de comunicaciones que aporta la transmisión por aire.

Control de Versiones

V0.0 05 de octubre de 2014. Juan Manuel González Romo. Redacción del documento

V0.1 10 de noviembre de 2014. Juan Manuel González Romo. Inclusión nuevos apartados.

V0.2 25 de noviembre de 2014. Juan Manuel González Romo. Modificación Formato.

ÍNDICE

Descripción	1
Control de Versiones	1
1. INTRODUCCIÓN. CONTENIDO DEL PROYECTO	12
1.1. Descripción del Proyecto	13
1.1.1. Estado del Arte	13
1.1.2. Soluciones Sistemas Autónomos	13
1.1.3. Líneas de desarrollo	14
1.2. Características del Sistema	14
2. Estado del Arte en Métodos de Generación de Energía	16
2.1. Introducción	16
2.2. Energy Harvesting.....	17
2.3. Fuentes de Energía Ambiental	18
2.4. Captación de la Energía Mecánica.....	19
2.4.1. Materiales Piezoeléctricos	19
2.4.2. Energía Capacitiva Electrostática	21
2.4.3. Dispositivos y Soluciones usando Energía Mecánica	22
2.4.4. Investigación	24
2.5. Captación de Energía usando RF	25
2.5.1. Principio de funcionamiento:.....	25
2.5.2. Modos de funcionamiento:.....	26
2.5.3. Soluciones comerciales:	26
2.5.4. Investigación:	27
2.6. Captación de Energía Termoeléctrica	31
2.6.1. Principios de Conversión de Energía por Efecto Termoeléctrico.....	32
2.6.2. Dispositivos y Soluciones usando Generadores Termoeléctricos.....	32
2.6.3. Investigación	34
2.7. Captación de Energía Solar	36
2.7.1. Estructura Básica de una Célula Solar	36
2.7.2. Elaboración de las Células Solares	37
2.7.3. Funcionamiento de una Célula Solar	38
2.7.4. Paneles Fotovoltaicos.....	40
2.7.5. Cómo se utiliza la Energía de los Paneles Fotovoltaicos.....	40
2.7.6. Dónde y Cómo van instalados los Paneles Fotovoltaicos	41

2.7.7.	Dispositivos y Soluciones usando Energía Solar.....	41
2.7.8.	Investigación	42
2.8.	Captación de Energía Eólica	43
2.8.1.	Principio de funcionamiento:.....	43
2.8.2.	Soluciones comerciales:	44
2.9.	Captación de Energía hidráulica	47
2.9.1.	Introducción. Flujo del agua.....	47
2.9.2.	Sistemas hidráulicos con micro-turbinas	47
2.9.3.	Tuberías termoeléctricas.....	53
2.10.	Captación de Energía usando Métodos Híbridos	55
2.10.1.	Esquema o Arquitectura básica	55
2.10.2.	Soluciones comerciales.	56
3.	Estado del Arte en Métodos de Acumulación de Energía	59
3.1.	Introducción	59
3.2.	Baterías de Plomo-Ácido	60
3.2.1.	Introducción. Principio de Funcionamiento.....	60
3.2.2.	Aplicaciones.....	61
3.2.3.	Ventajas e Inconvenientes	61
3.2.4.	Carga de la Batería de Plomo	62
3.3.	Baterías de Níquel Metal Hidruro NiMH	63
3.3.1.	Ventajas e Inconvenientes	63
3.3.2.	Carga de baterías de NiMH	64
3.4.	Baterías de Ion-Litio.....	64
3.4.1.	Ventajas e Inconvenientes	65
3.4.2.	Precauciones a tener en cuenta.....	66
3.5.	Super-condensadores:.....	67
3.5.1.	Comparativa con Baterías	69
4.	Introducción. Estado Actual.....	71
4.1.	Introducción.	71
4.2.	Desarrollos Internos	73
5.	Sistemas Autónomos. Desarrollo N°1	74
5.1.	Antecedentes y Objetivo	74
5.1.1.	Objetivo	75
5.2.	Componentes del sistema	76
5.2.1.	Sistema de almacenamiento.....	76

5.2.2.	Panel solar Fotovoltaico	77
5.2.3.	Sistema Cargador	79
5.2.4.	Envolvente.....	87
5.2.5.	Elementos conectores.....	88
5.2.6.	Elementos Pasantes	89
5.2.7.	Elementos de Fijación Internos.....	89
5.2.8.	Elementos de Fijación de Envolvente.	89
5.2.9.	Elementos de Fijación de Panel Fotovoltaico.	90
6.	Sistemas Autónomos. Desarrollo N°2	91
6.1.	Antecedentes y Objetivo	91
6.2.	Consumo de los nodos	92
6.3.	Dimensionamiento fotovoltaico.....	94
6.3.1.	Datos del lugar donde se realizará la instalación.....	94
6.3.2.	Dimensionado del generador fotovoltaico	95
6.3.3.	Dimensionado del sistema de acumulación	96
6.3.4.	Sistema de generación de energía.....	96
6.3.5.	Sistema Autónomo Instalado	97
6.3.6.	Dimensionado fotovoltaico.....	98
7.	Sistemas Autónomos. Desarrollo N°3	99
7.1.	Antecedentes y Objetivo	99
7.2.	Esquema general del sistema de alimentación.....	99
7.3.	Cálculos de dimensionamiento energético	100
7.4.	Sistema de generación de energía	103
7.5.	Sistema de almacenamiento	104
7.6.	Sistema de regulación	105
7.7.	Carga.....	108
7.8.	Soporte del sistema de protección.....	109
8.	Sistemas Autónomos. Desarrollo N°4	110
8.1.	Antecedentes y Objetivo	110
8.2.	Consumos Dispositivos.....	110
8.3.	Dimensionamiento fotovoltaico.....	112
8.4.	Sistema de generación de energía	115
8.5.	Sistema de almacenamiento de energía	118
8.6.	Regulación	120
8.6.1.	Diseño HW.....	121

8.7.	Carga (load).....	123
9.	Sistemas Autónomos. Desarrollo N° 5	124
9.1.	Antecedentes y Objetivos.....	124
9.2.	Diseño HW	124
9.3.	Prueba de Concepto	125
10.	Sistemas Autónomos. Desarrollo N°6.....	126
10.1.	Antecedentes y Objetivos.....	126
10.2.	Convertidor DC-DC LTC3105.....	126
10.3.	Convertidor DC-DC LTC3108.....	127
10.4.	Convertidor DC-DC LTC3588.....	127
10.5.	Cargador de baterías LTC4071	128
10.1.	Implementación Seleccionada	128
10.1.1.	Prueba Panel Solar + Batería de Litio	129
10.1.2.	Prueba Celda de Peltier + Polímero de Litio	130
11.	Referencias.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen Ilustrativa zona aislada	12
Figura 2. Valores típicos de la densidad de energía captada con diferentes tecnologías.	18
Figura 3. Circuito completo de <i>Harvesting</i> usando piezoeléctricos.....	20
Figura 4. Esquemático de condensador variable	21
Figura 5. Operación del convertidor de energía electrostática	22
Figura 6. Tensión de salida V_L en el ciclo de carga-descarga del estado estable	22
Figura 7. Diagrama detallado de la conversión de la energía electrostática	23
Figura 8. PGM17.....	24
Figura 9. Volture v20w	24
Figura 10. Arquitectura de un sistema captador de energía por RF	25
Figura 11. Antena de ultrabanda ancha.....	28
Figura 12. AirEnergy Charger de RCA.....	28
Figura 13. Demostración de Witricity (MIT).....	29
Figura 14. Sala de estar sin cables (Sony).....	30
Figura 15. Efecto Seebeck.	31
Figura 16. eTEG HV56.....	33
Figura 17. Módulo TE-CORE de Micropelt.....	33
Figura 18. Estructura de una célula solar	36
Figura 19. Funcionamiento de una célula solar	39
Figura 20. Miniaerogenerador Airbreeze 200W	44
Figura 21. Turbina eólica 300W de Wellsee.....	45
Figura 22. Miniaerogenerador Rutland 180W	46
Figura 23. Esquema general de un sistema de micro-hidráulica.	48
Figura 24. Microturbina dentro de una tubería.....	49

Figura 25. Microturbina Pelton.	50
Figura 26. Transductor Rotacional.	51
Figura 27. Tubería termoeléctrica de Panasonic.....	53
Figura 28. Diagrama de un sistema híbrido mediante energía solar y eólica	55
Figura 29 Sistema híbrido solar-eólica-hidráulica	56
Figura 30. Kit Solar-eólico de TEKNOSOLAR	56
Figura 31. Módulo Híbrido	58
Figura 32. Característica V-I de un cargador solar	62
Figura 33. Esquema general de un super-condensador.....	67
Figura 34. Necesidades de potencia de pequeños dispositivos electrónicos.	72
Figura 35. Imagen Nodo-Router en modo prueba.	74
Figura 36. Batería de Plomo-Ácido.....	76
Figura 37. Sistema Regulador Electrónico.....	79
Figura 38. Estructura general de bloques	80
Figura 39. Esquemático del diseño Altium.....	81
Figura 40. PCB del diseño en Altium	81
Figura 41. Entorno LPCXpresso	83
Figura 42. Diagrama de estados SW.....	84
Figura 43. MPPT de un módulo fotovoltaico.	85
Figura 44. Característica I-V de un sistema de carga de Plomo.	86
Figura 45. Caja SPELSBERG.....	88
Figura 46. Conector MODU II.	88
Figura 47. Conector JST para UART y Alimentación del nodo-router.	89
Figura 48. Ángulo de inclinación de un módulo fotovoltaico.	90
Figura 49. Imagen Ilustrativa Montaje	91
Figura 50. Consumo de los nodos 1 y 3.....	93
Figura 51. Consumo de los nodos 2 y 4.....	93

Figura 52. Panel fotovoltaico de 5W de Atersa.....	96
Figura 53. Diodo 1N4007.....	97
Figura 54. Batería Plomo 6v 4Ah.....	97
Figura 55. Celda de NiMH 1.2v 4Ah.....	98
Figura 56. Esquema del sistema de regulación de tensiones de alimentación.....	99
Figura 57. Panel solar de 5W de Atersa.....	103
Figura 58. Batería de litio 4S2P.....	104
Figura 59. Batería de litio NTA2717.....	105
Figura 60. Circuito +12V - +24V Boost Regulator.....	105
Figura 61. Circuito de tensión de salida ajustable para el LM2596S.....	106
Figura 62. Circuito de tensión de salida para el LM7805.....	107
Figura 63. PCB del Prototipo MONICA.....	108
Figura 64. Diagrama general del montaje del sistema.....	109
Figura 65. Prototipo en Laboratorio.....	109
Figura 66. Arquitectura general del sistema de alimentación.....	110
Figura 67. Panel Solar Pairan 185w.....	115
Figura 68. Turbina eólica FM910-4.....	117
Figura 69. Batería RS 12v 20Ah.....	118
Figura 70. Batería Ritar AGM 260Ah.....	119
Figura 71. Batería Ritar AGM 130Ah.....	120
Figura 72. PCB Regulador Embebido.....	121
Figura 73. Regulador Embebido GIE.....	121
Figura 74. Filtro Baja Frecuencia.....	122
Figura 75. Diseño PCB. Imagen 3D.....	124
Figura 76. Prueba de Concepto generación RF.....	125
Figura 77. Esquemático Sistema.....	128
Figura 78. Diseño PCB.....	129

Figura 79. Prueba de Concepto Panel Solar y batería 129

Figura 80. Prueba de Concepto con Celda Peltier..... 130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos Sistema Autónomo.....	15
Tabla 2. Potencia Piezoeléctrico	23
Tabla 3. Características del aerogenerador Airbreeze 200w.	44
Tabla 4. Datos Técnicos Turbina eólica de Wellsee.	45
Tabla 5. Especificaciones técnicas del aerogenerador Rutland 180w.	46
Tabla 6. Características Volture 20W y Volture 25	58
Tabla 7. Electrolitos líquidos para super-condensadores.	68
Tabla 8. Principales ventajas de las baterías y los super-condensadores.....	70
Tabla 9. Características de la familia de microcontroladores MSP430.....	72
Tabla 10. Lista de Componentes. BOM.....	82
Tabla 11. Tabla de consumos.....	100
Tabla 12. Valores mensuales de irradiación solar en Sevilla.....	101
Tabla 13. Dimensionamiento de los paneles solares.....	101
Tabla 14. Dimensionamiento de las baterías.....	102
Tabla 15. Dimensionamiento del regulador.....	102
Tabla 16. Especificaciones del panel solar.....	103
Tabla 17. Especificaciones de la batería 4S2P.....	104
Tabla 18. Especificaciones de la batería NTA2717.....	105
Tabla 19. Dimensionamiento de energía para los dispositivos del proyecto NTSICA.....	112
Tabla 20. Tabla de consumos PS1	112
Tabla 21. Tabla de radiación media diaria.....	113
Tabla 21. Dimensionamiento del generador fotovoltaico.....	114
Tabla 22. Dimensionamiento de las baterías.....	114
Tabla 23. Dimensionamiento del regulador.....	114

Tabla 25. Especificaciones de la turbina eólica FM910-4..... 117

1. INTRODUCCIÓN. CONTENIDO DEL PROYECTO

Dentro de los desarrollos llevados a cabo en el Grupo de Ingeniería Electrónica, centrados estos en las conocidas “WSN” o redes de sensores inalámbricos, surge en muchos de estos casos la necesidad de incorporar un sistema de alimentación sin posibilidad de conexión a la red eléctrica convencional.

Es por ello que en la mayoría de proyectos de I+D+i en los que participa el grupo se incluye el estudio y desarrollo de un sistema de alimentación autónomo, mediante el cual independizar tanto el desarrollo posterior como el demostrador final de la necesidad de conexión a un punto de alimentación de la red eléctrica distribuida.



Figura 1. Imagen Ilustrativa zona aislada

El estudio y desarrollo normal por tanto de cada uno de estos proyectos consistía en la definición y diseño de un sistema hardware/software que pueda ser utilizado como elemento captador y almacenador de energía ambiente para su uso en un sistema de comunicaciones inalámbricas, mediante el cual se proporcione el resto de la autonomía demandada en estos sistemas, en este caso de comunicaciones.

Dentro del proyecto se hace hincapié en los métodos de captación de energía que mejor se adapten a cada una de las necesidades planteadas y que además son compatibles con el sistema a implementar, los requerimientos y la instalación del mismo. Otro factor a tener en cuenta es determinar los principales tipos de baterías de almacenamiento, considerando las ventajas e inconvenientes de cada una de ellas, así como diferentes usos de todos los tipos existentes en el mercado. Además sería interesante conocer a fondo los tipos de cargadores que hay disponibles y decidir que montaje es el más adecuado en cada situación, teniendo en cuenta el coste del mismo, la facilidad de implementación y posterior uso y las prestaciones que puede ofrecer en cada caso.

1.1. Descripción del Proyecto

Al tratarse de una línea de estudio y desarrollo enmarcada dentro de las necesidades de un grupo de trabajo, la descripción del proyecto pasa a formarse a partir un conjunto de necesidades detectadas en el transcurso u operativa habitual de dicho grupo.

Este proyecto tratará de englobar y resumir en su justa medida los sistemas autónomos de alimentación que se han desarrollado hasta el momento, los que se encuentran en fase de desarrollo y el conjunto de tecnologías analizadas para la consecución de los mismos.

Estructurando dicho trabajo en bloques se organizará en los siguientes puntos:

1. Estado del Arte de las Tecnologías
2. Soluciones implementadas
3. Líneas de desarrollo

1.1.1. Estado del Arte

En este primer bloque se describirá la el estado actual de cada una de las tecnologías relativas a los bloques que forman un sistema de alimentación autónomo. De este modo se desarrollarán los siguientes sub-aptados:

- Generación de Energía del medio.
- Acumulación de Energía en elementos de carga.
- Regulación de Energía para su correcto almacenamiento.

1.1.2. Soluciones Sistemas Autónomos

El segundo bloque desgranará algunas de las soluciones ya implementadas para la alimentación de sistemas con requerimientos de autonomía específicos.

Además se incluirán desarrollos llevados a cabo como validación de tecnologías de generación o sistemas de carga novedosos, que aunque no representen una acumulación importante, quedan como verificación de una demanda determinada, ya que las características finales del sistema, ya sean técnicas, de instalación u operación no permitían dicha implementación.

1.1.3. Líneas de desarrollo

En este último punto se mostrarán estudios que enlazarán con los desarrollos de validación comentados anteriormente, relacionados con tecnologías de generación y/o acumulación novedosas, con gran capacidad de evolución aún, y a través de las cuales se abrirá el mercado en los próximos años a nivel comercial, estando en una fase experimental en muchos casos o de validación-certificación de la tecnología.

1.2. Características del Sistema

A continuación se muestran una serie de características o requisitos genéricos inherentes al desarrollo e implementación de estos proyectos.

Un sistema capaz de dotar de autonomía de alimentación en condiciones óptimas debe estar supeditado cuanto menos al cumplimiento de los siguientes requisitos.

Descripción	Observaciones
Generación	Debe asegurarse que la capacidad generada en la peor de las condiciones medioambientales sea mayor o igual a la demandada.
Generación	La ubicación del sistema deberá estar acondicionada al elemento de generación seleccionado.
Autonomía	El sistema deberá estar capacitado para alertar de posible mal funcionamiento o riesgo de falta de alimentación, debido a capacidad disponible inferior al 30% aproximado.
Autonomía	Se definirá una autonomía suficiente en el sistema como para el correcto reemplazo o reparación del mismo tras la alerta sin un mal funcionamiento
Red Eléctrica	En caso de disponer de acceso a la red eléctrica, se estudiará la posibilidad de incluir un sistema de respaldo a través de la misma, de forma inversa a un SAI común.
Consumos de pico	El elemento de acumulación deberá proporcionar los picos de corriente necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, es decir sin alterar su nivel de tensión o provocar el corte del equipo.
Comunicación	El equipo de alimentación deberá incluir una etapa de comunicación con el resto de elementos que compongan el sistema.

Comunicación- Depuración	Igualmente deberá poseer un elemento de comunicación para indicaciones en campo del estado del mismo, facilitando la depuración del sistema y la revisión.
Configuración	El equipo debe ser configurable en campo a través de pines de selección o una interfaz específica, de forma que el funcionamiento no sea exclusivo a una casuística.
Magnitud y precisión	La medición y estimación de la carga de los mecanismos de acumulación, corrientes o voltajes debe tener la precisión necesaria para no dañar los dispositivos.
Latencia	La latencia del sistema debe permitir un funcionamiento en tiempo real para el resto de aplicaciones disponibles, aportando la información en el momento de la petición.
Memoria Interna	El sistema deberá estar capacitado para almacenar las medidas susceptibles de ser enviadas a otros equipos.
Luminosa	Se dispondrá de elementos de indicación luminosa para estado básico del sistema, estado de carga o alertas en depuración y campo.

Tabla 1. Requisitos Sistema Autónomo

2. Estado del Arte en Métodos de Generación de Energía

2.1. Introducción

En este apartado se realizará un estudio del estado del arte de los sistemas que son capaces de captar energía ambiental para su uso en sistemas electrónicos de control conectados de forma inalámbrica. El siguiente paso es almacenar dicha energía en el correspondiente sistema de acumulación basado en baterías o súper-condensadores, regulando la generación a los niveles de carga necesarios tanto en corriente como en tensión y optimizando el porcentaje de carga y la salud o tiempo de vida de los elementos acumuladores. En el próximo apartado se hará un estudio detallado de los sistemas y dispositivos para el almacenamiento de energía. La energía eléctrica necesaria para que el sistema funcione de forma autónoma puede ser obtenida mediante el aprovechamiento de la energía térmica, la luz solar o artificial, la energía electromagnética o la energía mecánica disponibles en el ambiente. Este proceso permite proporcionar energía suficiente para asegurar un correcto funcionamiento de los dispositivos electrónicos. El hecho de poder aumentar su autonomía o, incluso llegar a hacerla ilimitada, es lo que pretende el campo de la investigación que ha venido a llamarse “Energy Harvesting”. Este ámbito pretende aprovechar las distintas y variadas formas en que se halla la energía en el ambiente y convertirla en energía eléctrica. Se estudiarán con detenimiento los métodos y aplicaciones, así como el estado actual de las investigaciones y las líneas futuras que se prevén. La finalización del estudio será el conocimiento de dichas tecnologías de generación, su optimización en función del campo de aplicación y las características fundamentales que la definen.

A continuación se realiza una pequeña introducción a los principales mecanismos de absorción de energía disponible en el ambiente. Se enumeran las principales técnicas y se acompañan de algunas aplicaciones prácticas. Se trata de situar la problemática de la captación de energía y su conversión en energía eléctrica, así como de ver la multitud de ventajas que aporta esta forma de alimentación a los sistemas autónomos.

2.2. Energy Harvesting

El campo conocido como *Energy Harvesting* o recolección de energía, trata sobre un proceso mediante el cual la energía es capturada y almacenada para su posterior uso. Existen una variedad de diferentes fuentes para la recogida de la energía, tales como la energía solar, energía térmica, energía mecánica, radiofrecuencia, etc.

Tradicionalmente, la energía eléctrica se ha generado a partir de combustibles fósiles en grandes centrales eléctricas. A gran escala, la energía ambiente, presente en forma de luz solar, vibraciones mecánicas, diferencias térmicas o energía electromagnética, está ampliamente disponible, pero es complicado hacer la cosecha de la misma.

Hay dispositivos de recolección de energía ambiente que convierten esta energía en energía eléctrica y son un foco de interés del sector empresarial. Las aplicaciones futuras pueden incluir el proporcionar alta potencia a los dispositivos de salida (o conjuntos de estos dispositivos) desplegados en lugares remotos para servir como estaciones de energía fiable para grandes sistemas. Todos estos dispositivos deben ser suficientemente robustos para soportar a largo plazo la exposición a ambientes hostiles y tienen una amplia gama de sensibilidad a la dinámica de explotar todo el espectro de onda de las propuestas.

La energía puede ser también cosechada para proporcionar autonomía a pequeños sensores como los que se desarrollan utilizando tecnología MEMS o basados en reacciones de muy bajo consumo. Estos sistemas suelen ser muy pequeños y requieren poca energía, pero sus aplicaciones están limitadas por la dependencia de la capacidad energética de la batería. Esta energía, obtenida a partir de la energía residual en el ambiente, vibraciones, calor o luz podría permitir que cualquier dispositivo inalámbrico funcionase indefinidamente, sujeto a la capacidad de recarga disponible desde el sistema.

Los avances en el ámbito del *Energy Harvesting* hacen pensar que se ha encontrado una respuesta a cómo alimentar estos sistemas directamente desde la energía hallada en el medio. La combinación de métodos de absorción de energía, junto con un posterior almacenamiento y gestión inteligente de la misma hacen de este método una mejora en el funcionamiento autónomo de la mayoría de sistemas. Para poder llevar a cabo esta visión mediante la extracción de energía del entorno y convertirla en energía eléctrica, se deben implementar sistemas eficientes de absorción y transformación de la energía. La luz solar, las diferencias de temperatura, la energía electromagnética, la energía RF y la energía mecánica son las manifestaciones más claras y abundantes de energía aprovechable.

El primer paso para llevar a cabo un estudio de las posibilidades de estos sistemas es describir los principios y capacidades de recolección de energía. A partir de esta información, así como del cálculo del consumo máximo de energía de todos los sistemas a alimentar y de la capacidad de almacenamiento de dicha energía, se podrá evaluar si la energía captada es suficiente para que el sistema funcione de forma autónoma.

Por último, hay que evaluar la energía captada y decidir si dicha energía es suficiente para que el sistema funcione de forma autónoma o es necesario almacenarla en baterías recargables para su posterior uso.

2.3. Fuentes de Energía Ambiental

En el entorno se encuentra numerosas fuentes de energía no utilizada y en cierta forma desaprovechada, hacia el aprovechamiento de dicha energía gira el desarrollo tecnológico actual así como la correcta conservación del medio ambiente y la consecución de fuentes energéticas que sustituyan a las ya existentes pero finitas de la actualidad.

La clasificación de la captación de energía se puede hacer mediante las diferentes formas de recolección. La energía solar puede ser cosechada a través de células fotovoltaicas; la energía mecánica con convertidores piezoeléctricos, electromagnéticos o electrostáticos; la energía eólica a través de turbinas o hélices; y la energía electromagnética mediante resonadores RF. Las diversas fuentes de energía que van a estar disponibles para la captación de la misma son las células fotovoltaicas, los generadores termoeléctricos, las piezoeléctricos mecánicos, los molinos de viento y la radiofrecuencia ambiental. En la siguiente figura se muestran algunos de los métodos de recolección con su correspondiente densidad de potencia.

Método de Cosecha	Densidad de Potencia
Luz ambiental (solar directa)	100mW/cm ²
Luz ambiental (luz reflejada)	100μW/ cm ²
Energía por Vibración	800μW/ cm ²
Energía Termoeléctrica	60μW/ cm ²
Radiofrecuencia Ambiental	<1 μW/ cm ²
Energía Eólica	40mW/ cm ²

Figura 2. Valores típicos de la densidad de energía captada con diferentes tecnologías.

2.4. Captación de la Energía Mecánica

La energía mecánica se encuentra presente en el ambiente en multitud de efectos y momentos, desde los sutiles temblores del suelo y paredes que pueden provocar las vibraciones de máquinas industriales en una fábrica, hasta los movimientos que puede causar un motor de explosión y puede ser aprovechada para producir energía eléctrica. Para convertir energía mecánica en energía eléctrica hay que conseguir realizar un movimiento entre dos partes mecánicas de un generador. Las vibraciones consisten en una onda dentro o sobre un material sólido, por lo que no es a menudo fácil encontrar un movimiento relativo dentro del alcance de un pequeño generador. Por consiguiente, habrá que acoplar el movimiento de vibración por medio de la inercia o una masa oscilante. El sistema tradicional de modelado de este fenómeno consiste en una masa suspendida por un muelle con una constante elástica k mientras su movimiento es amortiguado por un amortiguamiento parásito d debido a la fricción con el aire, en combinación con un amortiguamiento inducido por el generador.

Este sistema es gobernado por la ecuación:

$$mz + (d + d_g) \dot{z} + kz = my$$

Varios investigadores han construido con éxito generadores basados en vibración usando tres tipos de transductores electromecánicos: electromagnéticos, electrostáticos y piezoeléctricos. Se detalla a continuación los aspectos más relevantes de cada uno de ellos.

2.4.1. *Materiales Piezoeléctricos*

El efecto piezoeléctrico indica la producción de electricidad en un material al aplicar una presión sobre él. Este efecto sólo se presenta en materiales eléctricamente aislantes, y conduce a la aparición de cargas eléctricas sobre la superficie de esos materiales cuando son deformados mecánicamente.

También se da el efecto inverso: cuando se aplica un campo eléctrico a un material piezoeléctrico, éste se deforma mecánicamente. Por ello, todos los materiales piezoeléctricos pueden emplearse para cualquiera de los dos propósitos, aunque en este proyecto interesa la propiedad por la que son capaces de generar energía eléctrica a partir de energía mecánica.

El efecto piezoeléctrico sólo se presenta en materiales cuyos enlaces atómicos sean iónicos, es decir, en los que las moléculas estén dispuestas en pares positivo-negativo llamados dipolos. Cuando se aplica una presión al material, estos dipolos (moléculas) se deforman y se produce una separación de los pares positivo-negativo, creándose así un campo eléctrico. Por tanto, se hace necesario que en reposo, el material tenga los dipolos orientados. Hay materiales que,

debido a su naturaleza, los tienen orientados de por sí (cuarzo) y otros, a los que es necesario someterlos a un proceso de orientación permanente (cerámicos).

Los materiales piezoeléctricos que existen en la naturaleza poseen un efecto piezoeléctrico muy pequeño por lo que se han desarrollado materiales con propiedades mejoradas tales como los materiales cerámicos ferroeléctricos policristalinos y el Zirconato Titanato de Plomo (PZT).

Los PZT son los más usados en la actualidad para aplicaciones como actuadores o sensores. Un actuador piezoeléctrico puede producir cambios de posición extremadamente finos por debajo del rango subnanométrico. Los pequeños cambios en el voltaje de operación son convertidos en suaves movimientos. Este tipo de material no produce campos magnéticos ni son afectados por éstos, por lo que son especialmente apropiados para aplicaciones donde los campos magnéticos pueden tolerarse. Además, el efecto piezoeléctrico convierte directamente energía eléctrica en movimiento, absorbiendo energía sólo durante éste. La operación estática no consume potencia.

Partiendo de un material piezoeléctrico usado como generador de energía eléctrica por conversión de energía de vibración, se pueden encontrar varias técnicas que pretenden optimizar el proceso que sigue esta energía hasta ser almacenada y así poder sustituir a las baterías o limitar su uso. Generalizando, cuando un circuito es excitado por una vibración mecánica, el curvado origina tensión en la capa superior y compresión en la inferior que produce un voltaje. Dado que el movimiento vibratorio origina cambios en los valores de tensión y compresión en las dos placas, esto hace que esta estructura genere un voltaje de corriente alterna que será el que se aplique a la carga.

Las aplicaciones de este tipo de material son muy diversas, desde óptica, fotónica y tecnología de medición, hasta medicina, biología e ingeniería mecánica, pasando por microelectrónica.

La idea del montaje final sería la siguiente:

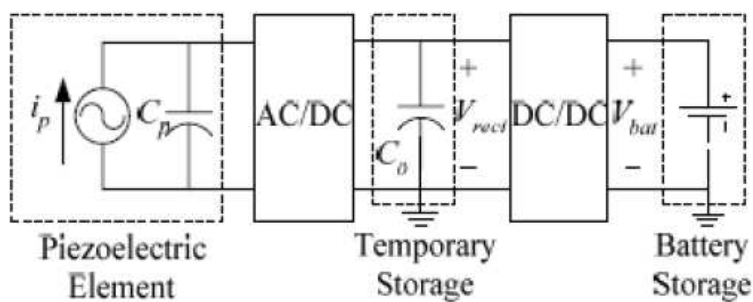


Figura 3. Circuito completo de *Harvesting* usando piezoeléctricos

2.4.2. Energía Capacitiva Electroestática

Este tipo de captación se basa en un condensador variable en el que los cambios se produzcan cuando sea objeto de una vibración mecánica. Las vibraciones separan las placas de un condensador inicialmente cargado (condensador variable), y la energía mecánica se convierte en energía eléctrica. El principio básico de funcionamiento se basa en la energía que se cosecha con el trabajo realizado contra la fuerza electrostática entre las placas del condensador utilizado. La ventaja de utilizar convertidores electrostáticos es su capacidad para integrarse con la microelectrónica pero su principal desventaja es que necesitan una fuente de tensión adicional para poder cargar inicialmente el condensador.

Un condensador variable C_v basado en estructura de peine es el principal componente en un convertidor de energía vibratoria de este tipo. La estructura de este condensador se puede observar en la siguiente figura:

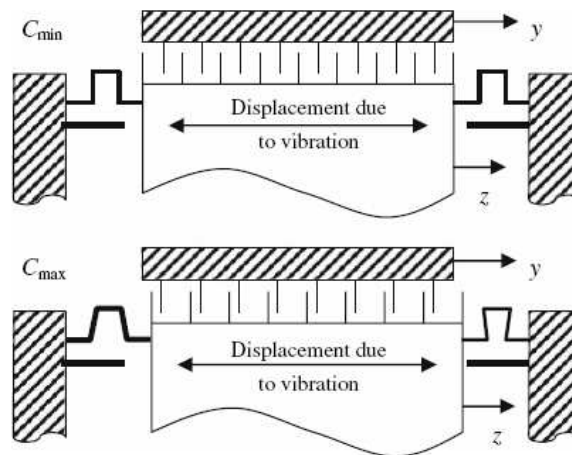


Figura 4. Esquemático de condensador variable

La siguiente figura muestra un circuito esquemático que puede ser usado para extraer la energía que se convierte. El condensador variable C_v se carga mediante una fuente de tensión externa V_{in} , a través de un interruptor SW1 cuando C_v se encuentra en el valor máximo C_{max} . Cuando C_v se carga con V_{in} , el interruptor SW1 se abre y la capacidad cambia de C_{max} a C_{min} debido al desplazamiento del electrodo causado por las vibraciones. En este proceso, la carga del condensador permanece constante (SW1 y SW2 ambos abiertos). Por lo tanto, la tensión en el terminal del condensador aumenta y la energía vibratoria se convierte en energía eléctrica almacenada en el condensador. Cuando la capacidad del condensador alcanza C_{min} (V_{max}), SW está cerrado y la carga en C_v se transfiere al condensador C_{stor} . SW1 está por tanto abierto y C_v regresa a C_{max} , completando así un ciclo de conversión. Durante el periodo en el que SW2 está abierto, la carga en C_{stor} es descargada mediante la resistencia de carga R_L con un tiempo constante igual a $\tau = R_L \cdot C_{stor}$, donde R_L es cargada de nuevo mediante C_v . En el estado estable, la tensión final V_L del proceso de descarga comienza siendo constante, como se puede observar en la figura posterior.

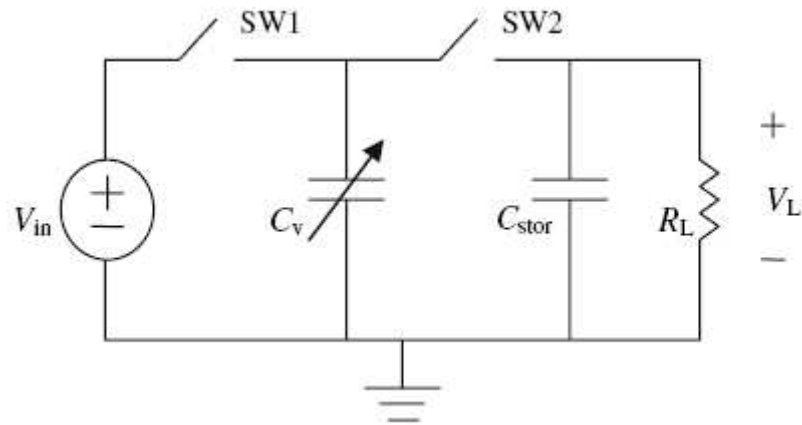


Figura 5. Operación del convertidor de energía electrostática

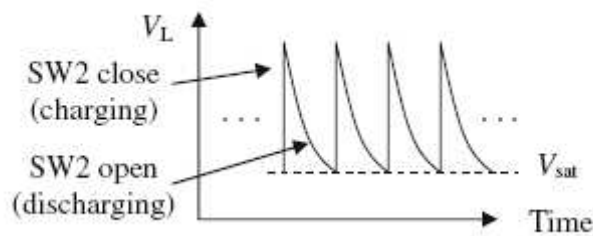


Figura 6. Tensión de salida V_L en el ciclo de carga-descarga del estado estable

2.4.3. Dispositivos y Soluciones usando Energía Mecánica

Como se ha comentado anteriormente, la energía mecánica está presente en el entorno que nos rodea por lo que es una buena idea emplearla para generar potencia. Se han encontrado algunas soluciones en el mercado que se van a comentar a continuación.

Se ha encontrado un ejemplo de conversión de vibración mecánica a energía eléctrica usando un condensador electrostático basado en tecnología MEMS. En este caso, se hace posible la implementación de un sistema en el que un diseño MEMS actúa como un transductor electromecánico en forma de condensador variable con una conversión que es gobernada por técnicas de control digital de baja potencia.

El sistema mecánico se modela como una fuente de vibración mecánica la cual se convierte en un sistema eléctrico a través de un transductor MEMS. Se utiliza un controlador de baja potencia que dirige la conversión de energía y proporciona potencia a la carga. El controlador consiste en un subsistema de potencia electrónico el cual es responsable de excitar el transductor a través del ciclo de conversión de energía y se optimiza para minimizar las

pérdidas. Como se puede observar en la figura adjunta, hay dos posibles ciclos de conversión de energía en el plano de carga para el transductor MEMS utilizado.

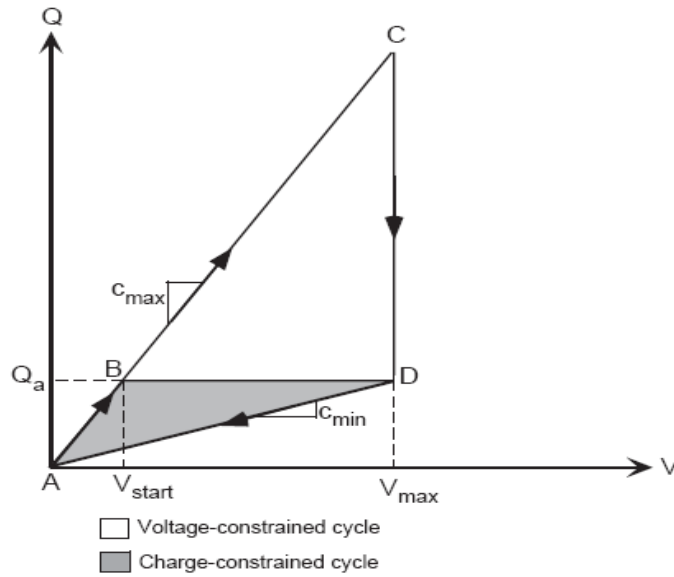


Figura 7. Diagrama detallado de la conversión de la energía electrostática

En la tabla siguiente se puede comprobar la potencia generada por este sistema.

Área	2163 μm x 2554 μm
Proceso	0.6 μm CMOS
Predicción de energía	8.66 μW
Núcleo de Potencia	500 nW ($f_{vib} = 2.5$ kHz, $V_{dd} = 1.5$ V)

Tabla 2. Potencia Piezoeléctrico

Los cosechadores comerciales piezoeléctricos e inductivos que utilizan las vibraciones mecánicas para generar energía son los que se comentan a continuación.

El PGM17 es una fusión de una bobina y un imán que transforma la energía cinética de una vibración mecánica en una señal eléctrica de baja potencia. La potencia que proporciona está comprendida en un rango de 0.1 mW a 0.4 m, que aunque no es suficiente en muchas aplicaciones empieza a ser significativa teniendo en cuenta la reducción de consumo que están teniendo los dispositivos actuales. El precio de estos equipos suele ser elevado, debido a la innovación y especialización que su desarrollo supone, y aún no es competitivo.



Figura 8. PGM17

Otro fabricante que desarrolla este tipo de tecnología es Mide. En esta página hay multitud de productos que se pueden adquirir pero el inconveniente es el elevado precio de cada uno de ellos. En la página web consultada se pueden analizar todos los tipos de piezoeléctricos que existen y su precio. También se pueden encontrar métodos híbridos, en los que se combinan materiales piezoeléctricos con una célula solar.



Figura 9. Volture v20w

2.4.4. Investigación

En el ámbito de la investigación, se ha demostrado cómo un circuito que se utiliza para cargar dos pilas de NiMH mediante un actuador piezoeléctrico que se encuentra a una frecuencia de 1.4Hz. En el artículo, se cargan dos baterías de NiMH de 40mAh empleando un tiempo de 3.09 horas y dos pilas de 80mAh en 5.64 horas. Una posibilidad de ampliar la capacidad de carga es incluir módulos en paralelo, teniendo en cuenta el aumento considerable de coste que repercutiría. Puede verse en la referencia [13].

2.5. Captación de Energía usando RF

La radiofrecuencia es cualquier tipo de onda electromagnética dentro del rango entre los 3KHz y los 300 GHz. Con el avance de las telecomunicaciones, el entorno se encuentra cada vez más rodeado de radiofrecuencia generada por las estaciones emisoras de señales de televisión, radio, satélite, redes móviles, Wi-Fi, etc. La energía en forma de radiofrecuencia que existe en el ambiente es tan pequeña que hasta ahora sólo ha servido para transmitir información, pero se está investigando la forma de alimentar dispositivos a través de ella, aprovechando la potencia radiada de forma isotrópica en muchos casos y que se extiende por el aire.

Quizás uno de los planteamientos más correctos a la hora de aprovechar dicha energía del ambiente es el de usar sistemas multi-frecuenciales o sumatorios de energía en diferentes banda frecuenciales, ya que la potencia incidente en la mayoría de los casos es bastante baja, como se ha visto anteriormente menor que $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

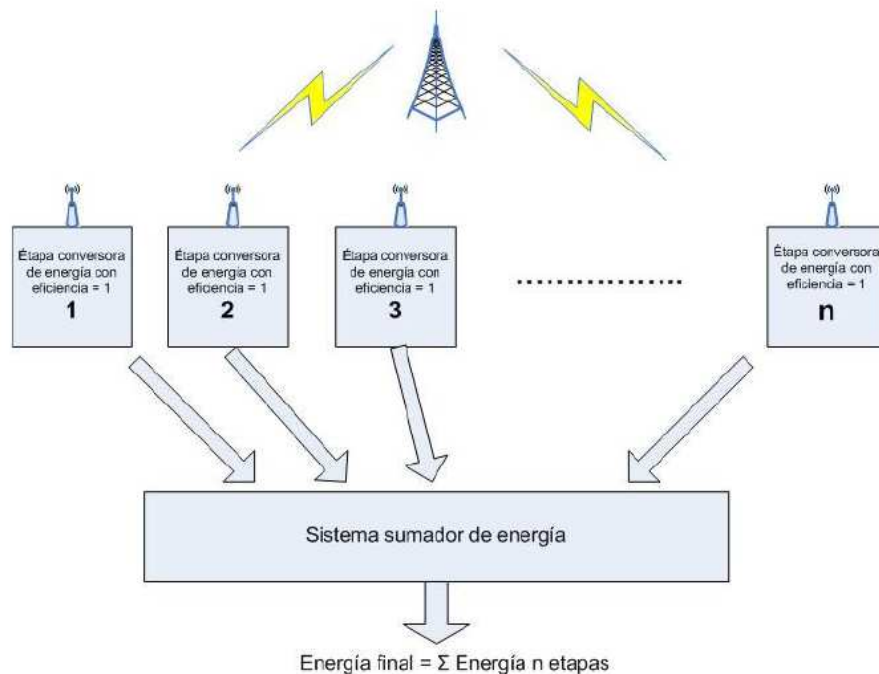


Figura 10. Arquitectura de un sistema captador de energía por RF

2.5.1. Principio de funcionamiento:

Se llama onda electromagnética a la forma de propagación de la radiación electromagnética. Esta radiación se produce al aplicarle una tensión variable a una antena. El cambio de voltaje y la circulación de corriente producen un campo electromagnético que se propaga por el aire transportando la energía. Esta energía se capta con otra antena, generando corriente aparentemente de la nada. La radiofrecuencia se propaga a la velocidad de la luz, de la misma manera que cualquier radiación electromagnética, pero su intensidad se reduce con el

cuadrado de la distancia que recorre. Es por esto que la eficiencia de estos sistemas suele ser bastante baja.

2.5.2. Modos de funcionamiento:

El modo de extraer energía eléctrica a partir de la radiofrecuencia del ambiente se puede enfocar de 3 maneras diferentes:

- A través de una antena de banda ancha para todo tipo de radiofrecuencia, intentando captar toda la energía posible en todo el espectro de frecuencias.
- Con una antena diseñada para aprovechar una frecuencia específica que se sabe que se encuentra en el entorno.
- Mediante un sistema que genere potencia en una frecuencia conocida y con una antena sintonizada.

2.5.3. Soluciones comerciales:

El P2110 – 915 MHz Powercast Powerharvester es un dispositivo de captación de energía que convierte de RF a DC. El P2110 convierte la energía de RF para DC y la almacena en un condensador. Cuando se alcanza el umbral de carga en el condensador, el P2110 habilita su tensión de salida al nivel ajustado, permitiendo alimentar otros dispositivos.



Ilustración 1. P2110 Powercast.

Sus características más notables son:

- Alto rendimiento de conversión.
- Convierte las señales de RF de bajo nivel para aplicaciones de largo alcance.
- Salida regulada por voltaje hasta 5.25V.
- Corriente de salida 50 mA.
- Indicador de intensidad de la señal recibida.
- No requiere componentes de RF externos.
- Amplio rango de funcionamiento RF.

- Operación hasta -11.5 dBm de potencia de entrada.
- Rango de temperatura industrial.
- Conformes a RoHS

Las aplicaciones posibles para el dispositivo Powercast son de alimentación de otros dispositivos, como redes de sensores inalámbricos sin baterías y electrónica de bajo consumo.

Experimentalmente, el grupo de ingeniería electrónica (GIE) de la Universidad de Sevilla ha demostrado un correcto funcionamiento de este módulo de RF para frecuencias inferiores a las indicadas. Su rango de frecuencia es 902 – 928 MHz (GSM-900), sin embargo, a 446 MHz (Walkie-Talkie) ha presentado un mejor comportamiento, probablemente debido a las potencias de emisión de los dispositivos. Su punto débil radica en su pequeño radio de cobertura de captación de RF, ya que estas señales sufren una caída muy pronunciada en los primeros metros.

2.5.4. Investigación:

- Antena de banda ancha:

Una investigación de la Georgia Tech School ha logrado diseñar una antena de ultra banda ancha que incrementa la capacidad de recolectar potencia en diferentes rangos de frecuencia. Utilizando impresoras de tinta son capaces de combinar antenas y sensores en papel o polímeros flexibles dando como resultado sensores inalámbricos autoalimentados que pueden ser usados en propósitos industriales, sanitarios, militares, etc. Utilizando el rango de frecuencias que emiten las ondas de televisión han logrado recolectar cientos de microvatios y con un sistema multibanda esperan pasar de un milivatio de potencia recolectado. Los investigadores han conseguido hacer funcionar un sensor de temperatura utilizando la energía electromagnética emitida por una estación de televisión a medio kilómetro de distancia.

Esta forma de recolectar energía podría servir de apoyo a otras tecnologías de energy harvesting como por ejemplo la energía solar, continuando la recolección de energía por la noche o al menos evitando que se descarguen las baterías.

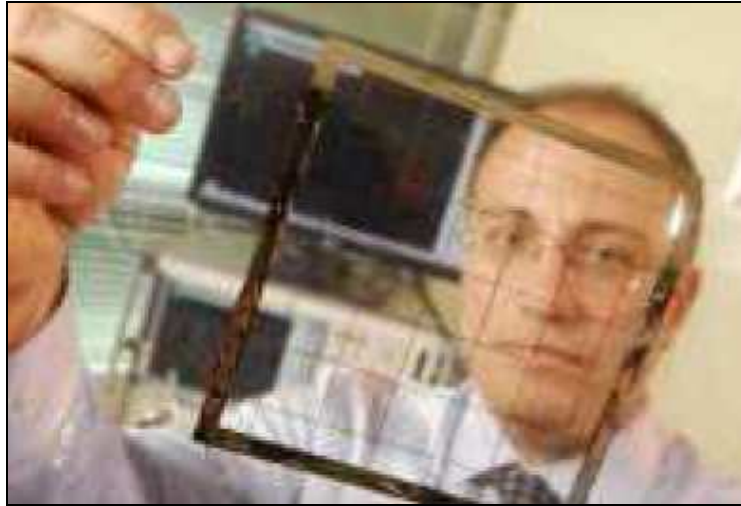


Figura 11. Antena de ultrabanda ancha.

- Antena de frecuencia específica:

Si es conocido que en el ambiente existe una señal de radiofrecuencia de considerable potencia en un estrecho rango de frecuencia, el sistema de recolección será mucho más eficiente que si se intenta recolectar un rango de frecuencias mayor. Los rangos de frecuencia más utilizados actualmente son los utilizados para telefonía móvil (900 MHz y 1800 MHz) y el utilizado por Wi-Fi (2,4 GHz).

En el International Consumer Electronics Show (CES) de 2010, la empresa RCA presentó el AirEnergy Charger, un dispositivo que convierte la energía de la señal generada por los router Wi-Fi en electricidad para recargar pequeños dispositivos. En la demostración, este aparato fue capaz de recargar el 70% de la batería de un teléfono móvil en 90 minutos utilizando únicamente las señales Wi-Fi del ambiente del congreso. El dispositivo perdía gran parte de su eficiencia al alejarlo de la fuente de radiofrecuencia, pero cuenta con una batería interna para dejarlo cargando y recargar el teléfono en otro momento en cualquier otro lugar.



Figura 12. AirEnergy Charger de RCA.

- Antena de frecuencia específica con generador de potencia:

Aunque este sistema no se podría categorizar como una energía renovable, ya que la energía captada se está generando a propósito, sí que tiene sentido mencionarlo como una manera de alimentar sensores inalámbricos.

De la misma manera que en el apartado anterior se explicaba como un dispositivo aprovechaba la radiofrecuencia generada por un router Wi-Fi, se puede generar una onda de radiofrecuencia de la potencia deseada y así alimentar dispositivos de manera inalámbrica.

En 2007 los investigadores físicos del MIT demostraron la transferencia inalámbrica de potencia encendiendo una bombilla de 60W a 2 metros de distancia de la fuente, utilizando dos bobinas de 60cm de diámetro. La eficiencia del sistema era de un 40% y denominaron esta tecnología como Witricity.



Figura 13. Demostración de Witricity (MIT).

Por otra parte Sony Corporation también está desarrollando su sistema de transferencia inalámbrica de electricidad. Han demostrado transferir una potencia de 60W a una distancia de 50cm con una eficiencia aproximadamente del 80% y del 60% cuando se incluye un rectificador. Mediante la resonancia magnética, la energía electromagnética solo es transferida a dispositivos receptores que comparten las mismas frecuencias resonantes de la fuente de energía incluso cuando hay objetos metálicos situados entre transmisor y receptor sin que les afecte la inducción térmica. Además, Sony ha desarrollado también unidades expansoras pasivas que permiten extender la distancia de transferencia de 50 a 80 cm sin degradación de la eficiencia. El objetivo de esta investigación es lograr alimentar cualquier tipo de dispositivos electrónicos de una habitación (televisor, portátil, iluminación, cargar móviles, etc.) de manera inalámbrica.

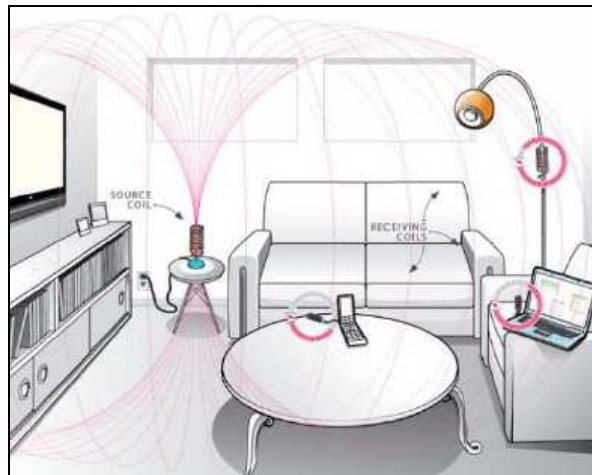


Figura 14. Sala de estar sin cables (Sony).

Los principales beneficios de la energía transmitida por radiofrecuencia desde una fuente controlada, respecto de otras tecnologías de energy harvesting, aplicado a alimentar sensores inalámbricos son:

- Transmitir potencia en la distancia.
- Transmitir potencia desde un emisor a múltiples receptores.
- La potencia transmitida es regulable.

Pese a ello la comercialización de estos productos innovadores aún no ha llegado a producirse.

2.6. Captación de Energía Termoeléctrica

La diferencia de temperatura entre ciertos objetos y su entorno ofrece la oportunidad de extraer energía gracias a la transferencia de calor. Donde quiera que exista una diferencia de temperatura, habrá una fuente de energía que puede ser convertida en trabajo o electricidad. Para conseguir energía eléctrica a partir de calor existe la posibilidad de utilizar diversos procesos directos de conversión. Uno de estos procesos utiliza el efecto termoeléctrico asociado al calentamiento de la unión de dos materiales conductores diferentes, que pueden ser metales o semiconductores.

El efecto termoeléctrico en un material relaciona el flujo de calor que lo recorre con la corriente eléctrica que lo atraviesa. En este efecto se basa la generación de electricidad, es decir, un material termoeléctrico permite transformar directamente el calor en electricidad, o bien generar frío cuando se le aplica una corriente eléctrica.

El cuerpo humano radia continuamente calor por lo que puede servir como fuente de energía. Los dispositivos que están en contacto directo con el cuerpo humano pueden recolectar esta energía desperdiciada mediante termogeneradores (TEG Termo-electric generator). Esta tecnología consiste en un módulo termoacoplador que emplea el gradiente de temperatura entre un lado caliente y uno frío del termopar para generar energía eléctrica. Una limitación importante de esta solución es el gradiente de temperatura relativamente bajo, en el rango de 5°C a -10°C , o incluso menor, entre el cuerpo humano y el ambiente. Por tanto, las diferencias de baja tensión se proporcionan en la salida del TEG. Se debe utilizar un convertidor DC/DC específico para gestionar la energía que se suministra a la carga eléctrica.

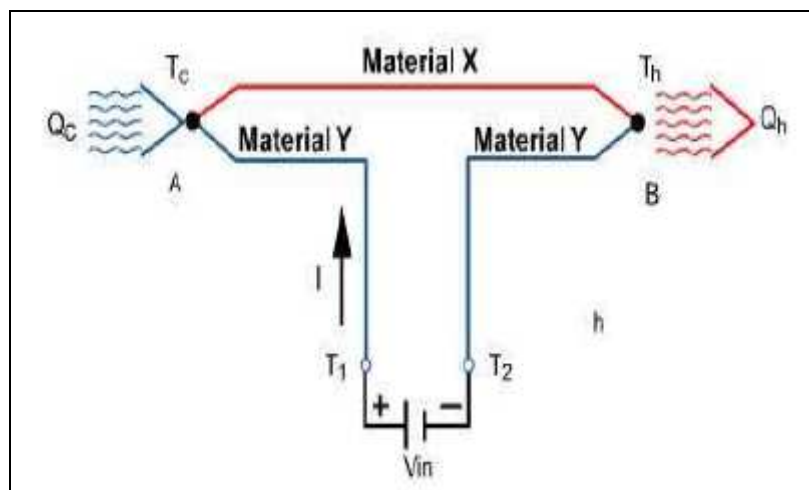


Figura 15. Efecto Seebeck.

Las diferencias de temperatura no son constantes en el tiempo, por lo que se necesitan dos montajes. Por un lado, la carga eléctrica está alimentada sólo por la energía disponible del TEG, por otro lado, los acumuladores en forma de condensadores o baterías se emplean para almacenar energía continua y utilizarla después.

2.6.1. Principios de Conversión de Energía por Efecto Termoeléctrico

Para la generación de electricidad por efecto termoeléctrico, un "módulo" está constituido por "pares" conectados eléctricamente. Cada uno de estos pares está formado por un material semiconductor de tipo P y de un material tipo N. Ambos materiales están unidos por un material conductor cuyo poder termoeléctrico se supone que es nulo. Las dos ramas (P y N) del par y todas las de los otros pares que componen el módulo se conectan eléctricamente en serie, y en paralelo desde el punto de vista térmico. Esta disposición permite optimizar el flujo térmico que atraviesa el módulo y su resistencia eléctrica.

La corriente eléctrica es impuesta de tal manera que los portadores de carga eléctrica (electrones y huecos) se desplazan de la fuente fría a la caliente (en el sentido termodinámico) en las ramas del par. Al hacer esto, contribuyen a una transferencia de entropía de la fuente fría a la caliente, y por tanto a un flujo térmico que se opone al de la conducción térmica. Si los materiales utilizados tienen buenas propiedades termoeléctricas, este flujo de calor implica un desplazamiento de los portadores de carga y por lo tanto, la aparición de una corriente eléctrica.

2.6.2. Dispositivos y Soluciones usando Generadores Termoeléctricos

Una solución interesante es la que propone el fabricante "EnOcean". Consiste en un recolector de energía que se basa en un revolucionario convertidor DC/DC, que automáticamente empieza a funcionar a 20mV. La potencia de salida se encuentra en el rango de μW a mW a 3.5V y depende de la temperatura actual y del elemento Peltier que se utilice. El kit ECT100 consta de un elemento sensor, un pequeño elemento Peltier, el nuevo convertidor DC/DC y un módulo de radio de STM110. Alimentado con diferencia térmica, el STM110 se despierta de forma periódica, por ejemplo, cada 10s, adquiere y transmite los valores de los sensores a través de una señal de radio a una distancia de hasta 300m.

Otra solución que se ha localizado es un kit completo de evaluación que emplea la diferencia de temperatura para generar energía. El termogenerador capta la diferencia de temperatura, la conserva y posteriormente la emplea para alimentar nodos de sensores inalámbricos.

Nexterme Thermal Solution ha anunciado el nuevo generador termoeléctrico eTEG™ HV56 que es capaz de producir 1.5 mW de potencia y un voltaje de circuito abierto de 250 mV a una diferencia de temperatura de 10°K en un espacio de 11mm², a 50°K de diferencia produce 36.5mW y un voltaje de circuito abierto de 1.25V. Este módulo es extremadamente fino (0.6mm) y puede configurarse en serie para conseguir mayores voltajes y potencias de salida.

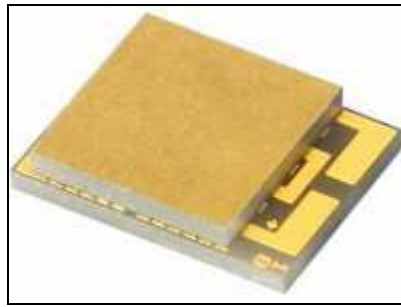


Figura 16. eTEG HV56.

También hay disponibles actualmente una gran cantidad de módulos basados en esta tecnología, como es el Micropelt TE-CORE.



Figura 17. Módulo TE-CORE de Micropelt.

Algunas de sus características son:

- Funciona a partir de las diferencias de temperatura inferiores a 10 °C entre una superficie y el ambiente.
- Funciona con fuentes de calor de hasta 105 ° C y con fuentes de frío.
- De alta eficiencia DC- DC y bajo costo.
- Microtermogeneradores con alta tensión de salida y alta resistencia eléctrica. Tensión de salida estándar 2.4V, y configurable entre 1.8 V y 4.5 V.
- Compatible con TI eZ430 - RF2500T y similares placas de evaluación inalámbricas.
- Extensible hacia equipos de almacenamiento de energía.

- Disipador intercambiable.

El uso de este tipo de módulos presenta una serie de ventajas, ya que no necesita baterías ni mantenimiento, es compatible con el Thermogenerator Micropelt TGP-651 y supone una fuente de alimentación de por toda la vida para un dispositivo de baja potencia.

Sus aplicaciones principales se encuentran en redes de sensores inalámbricos (WSN), control y supervisión de procesos industriales, registro de eventos térmicos y alertas, edificios inteligentes y HVAC, lectura automática de medidores (AMR), monitoreo y control de energía, teledetección y seguimiento, etc.

2.6.3. Investigación

- Efecto Seebeck cuerpo humano

Siguiendo las líneas de investigación, se ha localizado un artículo en el que se comenta la posibilidad de crear energía aprovechando la diferencia de temperatura. Se propone una fuente de energía viable para tecnologías de baja potencia, se proporciona una diferencia de temperatura entre dos superficies de un generador microeléctrico. Esta diferencia de temperatura puede ser convertida en energía eléctrica usando el principio de Seebeck. Esta energía finalmente se almacena en la batería de litio recargable. En el artículo se propone la construcción de una gorra en la que la diferencia de temperatura entre el cuerpo humano y el ambiente generan una potencia de $2\text{mW}/\text{cm}^2$. En el diseño se propone incluir el cargador de baterías y la propia batería recargable en un espacio reducido e integrado todo en el propio generador termoeléctrico.

- Sector automovilístico

El sector automovilístico está invirtiendo en desarrollar esta tecnología para aprovechar el calor disipado por el motor y mejorar el rendimiento del combustible. Los gases que expulsa el motor salen a una temperatura de unos $700\text{ }^\circ\text{C}$ lo cual es un reto para el diseño del generador termoeléctrico ya que los actuales no están preparados para soportar tales temperaturas. Los primeros tests que han realizado en General Motors demuestran que pueden mejorar la eficiencia del combustible en un 3% y esperan llegar hasta el 10% cuando consigan aprovechar al máximo las altas temperaturas de los gases. En 2012 se comenzaron a comercializar los conocidos como ATEGs (Automobile Thermo Electric Generators).

En los laboratorios de Fujitsu están desarrollando un generador híbrido capaz de captar energía tanto de la luz como de la diferencia de temperatura. Su origen es orgánico, por lo que su fabricación no será muy costosa y tendrá un gran potencial para aplicaciones biomédicas y de predicción meteorológica.

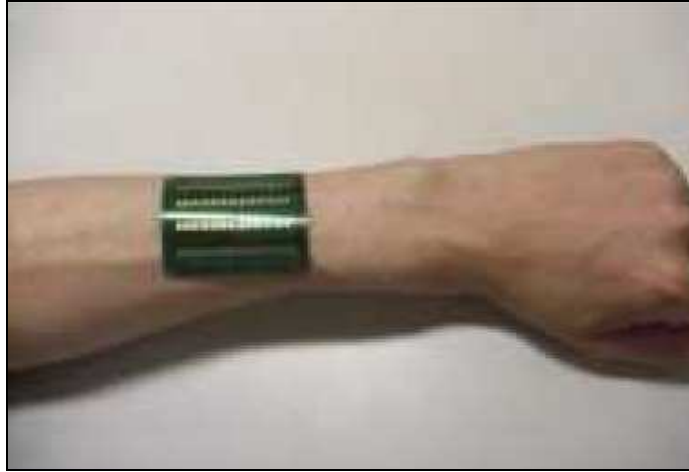


Ilustración 2. Célula termosolar.

El dispositivo consiste en varias láminas de semiconductores P y N que según el circuito de conexión actuaran como célula fotovoltaica o como generador termoeléctrico. Esperan comenzar a comercializar esta tecnología a partir de 2015.

2.7. Captación de Energía Solar

Una célula solar es un sistema semiconductor que absorbe luz (energía solar) y la convierte en energía eléctrica. Para convertir la energía del Sol en energía eléctrica y poder utilizarla de la forma más eficiente y racional posible se diseñan los sistemas fotovoltaicos. La célula solar es el elemento que convierte los fotones que proceden del Sol en una corriente eléctrica que circula por un elemento que se denomina carga. Hoy en día la célula solar más común es un dispositivo de estado sólido fabricado con materiales semiconductores.

Las celdas solares de silicio disponibles comercialmente en la actualidad tienen una eficiencia de conversión en electricidad de la luz solar que incide sobre ellas de aproximadamente el 20%, con un precio que se ha ido reduciendo durante los últimos años. En la actualidad existen una gran variedad de métodos para la producción práctica de celdas solares de silicio (amorphas, monocristalinas o policristalinas), del mismo modo que para las celdas solares hechas de otros materiales (seleniuro de cobre e indio, telurio de cadmio, arseniuro de galio, etc). Igualmente se están implementando ya celdas solares flexibles o adaptables al soporte con eficiencias similares y relativamente equiparables en precio a las comunes.

La motivación para el estudio y desarrollo de las células solares durante los primeros años de investigación fue su aplicación como fuente suministradora de energía a los satélites espaciales. Hoy se espera que las células solares y la energía solar fotovoltaica contribuyan de forma importante al suministro de energía limpia a la sociedad.

2.7.1. Estructura Básica de una Célula Solar

Las celdas solares se basan en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre unos materiales con propiedades electrónicas específicas, denominados semiconductores, produce una diferencia del fotovoltaje o del potencial entre las capas de los mismos. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo para producir trabajo útil.

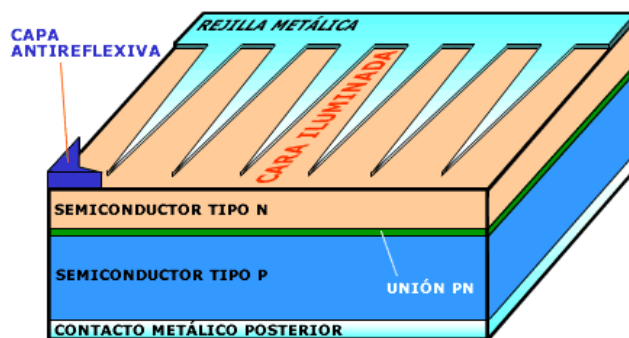


Figura 18. Estructura de una célula solar

Para conseguir la extracción de corriente es necesario fabricar una unión pn que consiste en fabricar un semiconductor en el que una zona sea de semiconductor *tipo N* y la otra zona de *tipo P*. Esta fabricación debe hacerse de manera que la red cristalina del semiconductor no se interrumpa al pasar de una región a otra. Es necesario pues, el empleo de tecnologías especiales.

Un semiconductor sin estructura PN aunque se ilumine no provoca la circulación de corriente eléctrica. La unión PN hace posible la circulación de la corriente eléctrica gracias a la presencia de un campo eléctrico en la célula (con la dirección del lado *N* al lado *P*) que separa los pares *eh*: los huecos, cargas positivas, los dirige hacia el contacto del lado *P* lo que provoca la extracción de un electrón desde el metal que constituye el contacto; los electrones, cargas negativas, los dirige hacia el contacto del lado *N* inyectándolos en el metal. Esto hace posible el mantenimiento de una corriente eléctrica por el circuito exterior y en definitiva el funcionamiento de la célula como generador fotovoltaico.

Otro concepto importante en la estructura de una célula solar es el concepto que hace referencia a lo que se llama *malla de metalización* frontal. Los contactos metálicos superficiales son necesarios para extraer la corriente eléctrica de la célula. El metal es un material opaco a la luz, en consecuencia, al menos el contacto frontal (el del lado de la célula expuesta directamente al Sol o a la luz artificial) no puede recubrir completamente la superficie de la célula. Puede pensarse entonces que el contacto frontal debe ser lo más pequeño (en superficie) posible, pero si se hace excesivamente pequeño uno de los parámetros de los que se hablará posteriormente, la resistencia serie, aumenta y esto significa una pérdida de eficiencia de la célula. Así pues hay que llegar a una solución de compromiso para que la superficie del contacto frontal sea lo suficientemente baja para permitir el paso de la luz del Sol y lo suficientemente alta para que la resistencia serie de la célula sea tolerable.

2.7.2. Elaboración de las Células Solares

Las celdas solares de silicio se elaboran utilizando obleas (wafers) monocristalinas, planchas policristalinas o láminas delgadas.

Las planchas monocristalinas (de aproximadamente 1/3 a 1/2 de milímetro de espesor) se cortan de un gran lingote monocristalino que se ha desarrollado a 1400°C aproximadamente. El silicio empleado debe ser de una pureza muy elevada y poseer una estructura cristalina casi perfecta, por lo que se trata de un proceso muy costoso.

Las planchas policristalinas son realizadas por un proceso de moldeo en el cual el silicio fundido es vertido en un molde y se deja asentar. Posteriormente éste se corta en planchas siguiendo un molde, por lo que este proceso es un poco menos costoso que el anterior, pero sin embargo, no son tan eficientes como las celdas monocristalinas. Debido a las imperfecciones en la estructura cristalina su rendimiento es más bajo.

En los dos procesos anteriormente mencionados, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el proceso de cortado.

El silicio amorfo, una de las tecnologías de lámina delgada, es creado depositando silicio sobre un substrato de vidrio de un gas reactivo tal como silano (SiH_4). El silicio amorfo es uno de los grupos de tecnologías de lámina delgada. Este tipo de célula solar se puede aplicar como película a substratos del bajo costo tales como cristal o plástico. Otras tecnologías de lámina delgada incluyen lámina delgada de silicio multicristalino, las celdas de seleniuro de cobre e indio/sulfuro de cadmio, las celdas de telurio de cadmio/sulfuro del cadmio y las celdas del arseniuro de galio. Las celdas de lámina delgada tienen muchas ventajas incluyendo una deposición y un ensamblado más fácil, la capacidad de ser depositadas en substratos o materiales de construcción baratos, la facilidad de la producción en masa, y la gran conveniencia para aplicaciones grandes.

En la producción de celdas solares al silicio se le introducen impurezas de átomos (dopado) para crear una región tipo P y una región tipo N para producir una unión p-n. El dopado se puede hacer por difusión a alta temperatura, donde las planchas se colocan en un horno con el dopante introducido en forma de vapor. Hay muchos otros métodos para dopar el silicio. En la fabricación de algunos dispositivos de lámina delgada la introducción de dopantes puede ocurrir durante la deposición de las láminas o de las capas.

2.7.3. Funcionamiento de una Célula Solar

Para entender la operación de una célula fotovoltaica, es necesario considerar la naturaleza del material y la naturaleza de la luz del sol. Las celdas solares están formadas por dos tipos de material, generalmente silicio tipo P y silicio tipo N, como se ha explicado con detalle en el apartado anterior. La luz de ciertas longitudes de onda puede ionizar los átomos en el silicio y el campo interno producido por la unión que separa algunas de las cargas positivas (huecos) de las cargas negativas (electrones) dentro del dispositivo fotovoltaico. Los huecos se mueven hacia la capa positiva o capa de tipo P y los electrones hacia la negativa o capa tipo N. Aunque estas cargas opuestas se atraen mutuamente, la mayoría de ellas solamente se pueden recombinar pasando a través de un circuito externo fuera del material debido a la barrera de energía potencial interna. Por lo tanto si se hace un circuito se puede producir una corriente a partir de las celdas iluminadas, puesto que los electrones libres tienen que pasar a través del circuito para recombinarse con los huecos positivos.

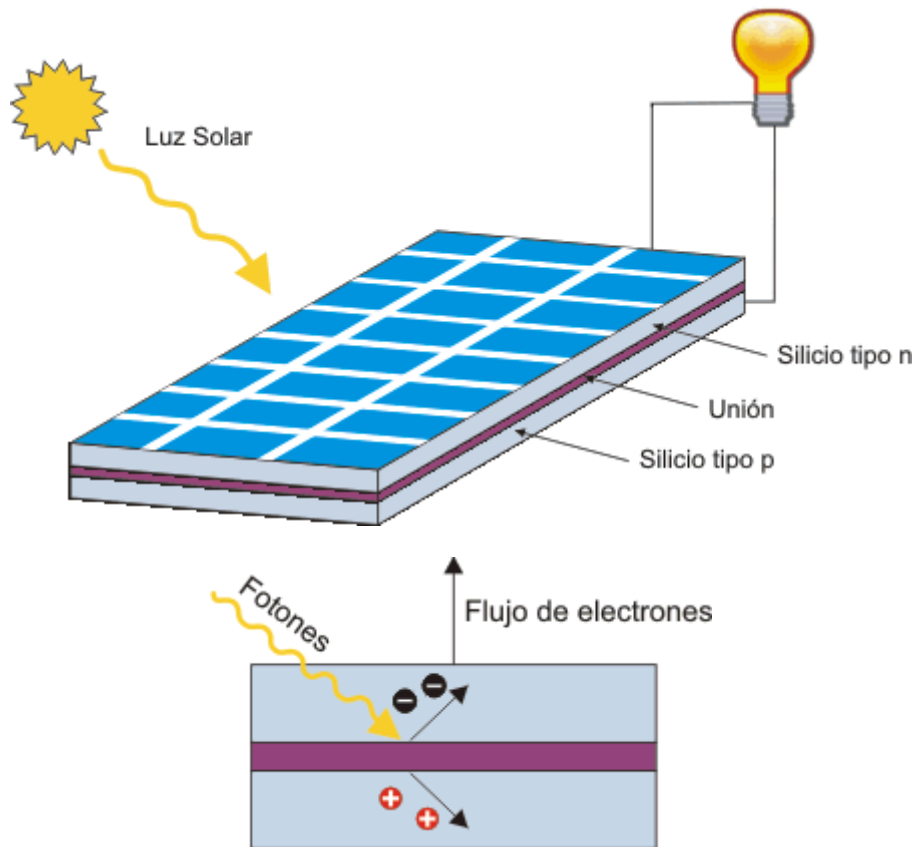


Figura 19. Funcionamiento de una célula solar

La cantidad de energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinado por:

- El tipo y el área del material
- La intensidad de la luz del sol
- La longitud de onda de la luz del sol

Por ejemplo, las celdas solares de silicio monocristalino actualmente no pueden convertir más del 25% de la energía solar en electricidad, porque la radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético no tiene suficiente energía como para separar las cargas positivas y negativas en el material.

Las celdas solares de silicio policristalino en la actualidad tienen una eficiencia de menos del 20% y las celdas amorfas de silicio tienen actualmente una eficiencia cerca del 10%, debido a las pérdidas de energía internas más altas que las del silicio monocristalino.

Una célula fotovoltaica típica de silicio monocristalino de 100 cm^2 producirá cerca de 1.5 vatios de energía a 0.5 voltios de Corriente Continua y 3 amperios bajo la luz del sol en pleno verano (el 1000 Wm^{-2}). La energía de salida de la célula es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz del sol. (Por ejemplo, si la intensidad de la luz del sol se divide por la mitad la energía de salida también será disminuida a la mitad).

Una característica importante de las celdas fotovoltaicas es que el voltaje de la célula no depende de su tamaño, y sigue siendo bastante constante con el cambio de la intensidad de

luz. La corriente en un dispositivo, sin embargo, es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz y al tamaño. Para comparar diversas celdas se las clasifica por densidad de corriente, o amperios por centímetro cuadrado del área de la célula.

2.7.4. Paneles Fotovoltaicos

Puesto que una sola célula solar proporciona muy poca energía y tienen una tensión de trabajo cercana a 0.5 V, éstas generalmente se conectan juntas en serie (positivo con negativo) para proporcionar tensiones más elevadas. Los paneles se fabrican en una amplia gama de tamaños para diversos propósitos. Generalmente, se clasifican dentro de una de estas tres categorías básicas:

1. Paneles de baja tensión / baja potencia. Estos son confeccionados conectando entre 3 y 12 segmentos pequeños de silicio amorfo fotovoltaico con un área total de algunos centímetros cuadrados para obtener tensiones entre 1.5 y 6 V y potencias del orden de algunos milivatios. Aunque cada uno de estos paneles es muy pequeño, la producción total es grande. Se utilizan principalmente en relojes, calculadoras, cámaras fotográficas y dispositivos para detectar la intensidad de luz, tales como luces que se encienden automáticamente al caer la noche.
2. Paneles pequeños de 1 - 10 vatios y 3 - 12 V. Estos se hacen cortando en pedazos celdas mono o policristalinas de 100cm² y ensamblándolas en serie, o usando paneles amorfos de silicio. Se usan principalmente en juguetes, radios, bombeadores pequeños, cercas eléctricas y cargadores de baterías.
3. Paneles grandes, de 10 a 60 vatios, y habitualmente 6 o 12 voltios. Ocupan áreas de 1000cm² a 5000cm² y son generalmente construidos conectando de 10 a 36 celdas del mismo tamaño en serie. Se utilizan individualmente para bombeadores pequeños y energía de casas rodantes (luces y refrigeración) o en conjuntos para proporcionar energía a casas, comunicaciones, bombeadores grandes y fuentes de energía en áreas remotas.

2.7.5. Cómo se utiliza la Energía de los Paneles Fotovoltaicos

La electricidad generada por el sistema fotovoltaico depende, principalmente, del tipo y cantidad de módulos instalados, de su orientación e inclinación y de la radiación solar o artificial que les llegue. La generación de electricidad solar o artificial se produce durante el día, coincidiendo con las horas punta de consumo en muchos edificios, y se obtiene en el

propio lugar de consumo, disminuyendo las pérdidas en concepto de transporte y distribución de energía.

En este punto cabe diferenciar entre dos tipos básicos de sistemas, los que están totalmente aislados de la red y los que necesitan de la red eléctrica para su funcionamiento. En el primer caso es necesario para implementar un funcionamiento continuo en el tiempo acumular la energía excedente generada durante las horas de sol además de alimentar el sistema. En el segundo se toma la energía solar generada para alimentar un determinado equipo, y en caso de no disponer de suficiente o ser nula (noche) se activa la contribución de la red eléctrica convencional.

El primero de los casos es el que se conoce como Sistemas Autónomos, mientras que el segundo es el modo común de operación de centrales de generación de energía fotovoltaica inyectadas a red.

2.7.6. Dónde y Cómo van instalados los Paneles Fotovoltaicos

Las condiciones de luz comunes en el interior de cualquier edificio tienen una densidad de energía inferior a la que se puede obtener en el exterior. La luz común de las oficinas proporciona alrededor de $100\mu\text{W}/\text{cm}^2$ sobre la superficie de un escritorio. Por tanto, la potencia disponible de las células fotovoltaicas, con un 10% de eficiencia, es de $15\text{mW}/\text{cm}^2$ a media mañana en el exterior mientras que en el interior es de $10\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Las células individuales son fáciles de colocar en serie, especialmente en el caso de las células finas, para obtener más tensión. Las células solares proporcionan una tensión DC por lo que no se necesita ningún circuito intermedio para cargar directamente las baterías recargables. Si se emplea un controlador de carga, éstas pueden conseguir un tiempo de vida más largo, manteniéndose en unas condiciones óptimas de carga.

2.7.7. Dispositivos y Soluciones usando Energía Solar

Al ser una de las fuentes de energía renovable con más capacidad de generación por espacio, es una de las más instauradas en el entorno, tanto en su variante de inyección a red como en la inclusión de sistemas autónomos. Es por ello que se encuentran multitud de ejemplos de uso de dicha tecnología, y en esta memoria en concreto se enumerarán varios de ellos realizados dentro del grupo de investigación.

2.7.8. Investigación

Una de las investigaciones más prometedoras sobre células fotovoltaicas consiste en la fabricación de células transparentes que permitan aprovechar la luz solar además de dejarla pasar. El Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) está desarrollando unas células fotovoltaicas basadas en moléculas orgánicas que aprovechan la luz infrarroja para generar electricidad mientras dejan pasar la luz visible a través de ellas. Por ahora, la eficiencia de estas células es muy baja comparada con las no translucidas aunque esperan llegar a un 12% de eficiencia.

En cuestión de eficiencia, los mayores logros se han obtenido con un tipo de células fotovoltaicas llamadas “de varias uniones” que consiste en superponer varias uniones P-N cada una ajustada para aprovechar una longitud de onda diferente de manera que se cubra el mayor espectro de energía posible de la luz solar. Con este tipo de células solares, en el Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE) han conseguido un 41.1% de eficiencia en una pequeña célula de 5mm². Sin embargo, esta eficiencia se obtiene a costa de una mayor complejidad y precio de fabricación. Las tres uniones utilizadas son: GaInP, GaInAs y Ge. Hasta la fecha, por la relación prestaciones/precio se ha limitado su uso a funciones especiales, en particular en el sector aeroespacial, donde es deseable su alta relación potencia-peso. En aplicaciones terrestres estas células solares se utilizan en la energía fotovoltaica concentrada con plantas que operan en todo el mundo.

Otra opción novedosa son los sistemas fotovoltaicos híbridos solar-térmico. Dichos paneles utilizan la tecnología CTA (cubierta transparente aislante), la eficiencia de los paneles fotovoltaicos disminuye con la temperatura, por lo tanto, para aumentar el rendimiento se aprovecha conjuntamente con la energía térmica.

2.8. Captación de Energía Eólica

La energía eólica es el aprovechamiento de los recursos del viento mediante la utilización de aerogeneradores de potencia. Esta energía, al igual que solar térmica o fotovoltaica, es de las más instauradas actualmente, prueba de ello es que en 2013 se ha situado por delante de la energía nuclear en cobertura de la demanda nacional en España, con un porcentaje del 20.9% frente al 20.8%.

Aunque se supera de forma testimonial y teniendo en cuenta que para dicho cálculo se considera la electricidad que se consume para hacer funcionar las instalaciones, es un dato sustancial a la hora de cuantificar el reemplazo de fuentes de energía que ya se está produciendo. La energía eólica como puede comprobarse, juega un papel fundamental a través del conjunto de centrales que se han instalado en los últimos años en España. La evolución de las mismas llegará a través de las centrales “off-shore” en el mar, las cuales tienen menor efecto medioambiental y mantienen condiciones de generación más constantes en el tiempo, pudiendo llegar a producir más del doble que una central “on-shore” en tierra.

En España se tienen en torno a 8.000 km de costa, pero en contra de otros países como Dinamarca o Alemania, líderes en dicha tecnología, es difícil encontrar ubicaciones a 30-50km de la costa con menos de 50m de lecho marino, lo que limita las posibilidades de instalación. Pese a ello ya son varios los proyectos y los prototipos instalados en busca de la optimización de estos sistemas.

2.8.1. Principio de funcionamiento:

El funcionamiento de la energía eólica se produce cuando el viento incide en las palas del miniaerogenerador, el movimiento de las palas acciona un generador eléctrico que convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

Esta tecnología cuenta con una serie de ventajas:

- Permite el suministro de electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica.
- Genera energía de manera distribuida (microgeneración distribuida) reduciendo de este modo las pérdidas de transporte y distribución.
- Puede producir electricidad en los puntos de consumo, adaptándose a los recursos renovables y a las necesidades energéticas de cada lugar.
- Es factible su combinación con fotovoltaica en instalaciones híbridas.

En la actualidad, se está trabajando en nuevos convertidores electrónicos de alta eficiencia, diseñados específicamente para minieólica, en los que el sector aplica los últimos avances y mejoras tecnológicas de cara a una efectiva conexión a la red.

El sector también está desarrollando importantes avances en los aerogeneradores. Los aerogeneradores horizontales modernos, necesitan estar orientados en la dirección del viento, bien sea de forma manual o mediante el uso de un mecanismo de control. Las turbinas de eje

vertical, no necesitan tal sistema de control, siendo indiferente de qué lado sople el viento, la posición del rotor siempre es la correcta.

En la actualidad se trabaja en nuevos aerogeneradores de eje horizontal, especialmente en escalas de potencia donde no hay oferta a nivel nacional (de entre 15 y 100 kW), que son más apropiados para explotaciones agrícolas, ganaderas o polígonos industriales, y en otros de eje vertical para aplicaciones integradas, destinados principalmente a edificios.

2.8.2. Soluciones comerciales:

A continuación se muestran algunas de las soluciones comerciales encontradas para sistemas autónomos menos común en este caso, ya que como se ha visto dicha tecnología es ampliamente explotada en grandes centrales de inyección a red.

- Aerogenerador Airbreeze 200w 12/24v



Figura 20. Miniaerogenerador Airbreeze 200W

Potencia nominal	200W
Voltaje nominal	DC 12/24 V
Corriente nominal	25A/12.5A
Velocidad nominal	12.50 m/s
Número de aspas	3
Velocidad de viento de inicio	2.68 m/s
Velocidad de viento seguridad	49.2 m/s
Motor (generador)	Generador Trifásico permanente magnel
Diámetro del rotor	1.17m
Aspas material	Moldeo por inyección
Protección contra el viento de la velocidad excesiva	Protección de manera electrónica
Vida útil	15 años
Protección de la superficie Equipo	Armazón de aluminio
Peso	5.9kg
Precio	665.50 €

Tabla 3. Características del aerogenerador Airbreeze 200w.

- Aerogenerador de 300W de Wellsee



Figura 21. Turbina eólica 300W de Wellsee

Tensión	12/24 V
Potencia nominal/máxima	300/400 W
Velocidad nominal	12 m/s
Velocidad inicial	1.5 m/s
Velocidad máxima de seguridad	40 m/s
Revoluciones 9 m/s	400 rpm
Palas	3
Generador	Imán permanente
Altura de instalación	3-12 m
Peso	15 kg
Precio	598 US\$ por Aliexpress

Tabla 4. Datos Técnicos Turbina eólica de Wellsee.

- Rutland 913 Windcharger de Marlec



Figura 22. Miniaerogenerador Rutland 180W

Hélice	6 hojas
Material	Carbon-Nylon
Diámetro del Rotor	0.91 m
Voltaje	12/24 V DC
Velocidad mínima para cargar	2.55 m/s
Peso del Generador	10.5 kg
Garantía	2 años
Precio	968 €

Tabla 5. Especificaciones técnicas del aerogenerador Rutland 180w.

2.9. Captación de Energía hidráulica

Este apartado se define como energía hidráulica debido a que la fuente de energía es el agua, aunque realmente esta puede englobarse dentro del aprovechamiento de las energías cinética o potencial que se provocan debido al recorrido o transcurso del agua por su red de distribución natural o mediante el uso humano.

Hasta ahora, al igual que ha podido pasar con la energía eólica, su uso se ha visto reducido mayormente a grandes centrales hidráulicas, surgidas de los desniveles provocados en presas que desembalsan agua de un nivel más alto a otro más bajo.

Desde hace algunos años, debido al auge de los sistemas electrónicos, la automatización de sistemas y las redes de sensores, surgen nuevas necesidades de generación en puntos donde las tradicionales energías solar o eólica por ejemplo, no son de fácil instalación. Es donde aparece la necesidad de estudiar la energía hidráulica como mecanismo de autonomía energética en dichos sistemas.

A continuación se mostrarán algunas de las variables estudiadas y sus principales características.

2.9.1. Introducción. Flujo del agua

El flujo del agua como recurso natural o provocado por la necesidad del ser humano de su consumo es una de las fuentes de energía más constantes en el medio, por lo que no es de extrañar que existan multitud de técnicas de recolección de energía a través del mismo.

Los principales métodos utilizados para la recolección de energía de este tipo son:

- Mediante turbinas y microturbinas.
- Mediante generación de campos electromagnéticos.
- Mediante el uso de nuevos materiales como el grafeno y los nanotubos de carbono (técnicas más novedosas aún en desarrollo).

2.9.2. Sistemas hidráulicos con micro-turbinas

Las instalaciones de pequeño tamaño (micro-hidráulicas), de potencia inferior a 100 KW, son más versátiles y no tienen efectos negativos sobre el medioambiente. Son numerosos los lugares aptos para el desarrollo de la energía hidráulica, teniendo también en cuenta que la tipología de los posibles usuarios es muy variada: entes locales, parques naturales, usuarios aislados, núcleos familiares, aldeas, empresas agrícolas y establecimientos de turismo rural, artesanos, empresas industriales, etc.

Aunque sea difícil cuantificar el potencial micro-hidráulico disponible (harían falta estudios muy detallados del territorio), es presumible que el residuo potencial pueda ser utilizado por las centrales hidroeléctricas de pequeño tamaño.

De todos modos la ventaja de las micro centrales hidroeléctricas distribuidas sobre el territorio no es tanto la aportación energética que puede darse a la necesidad eléctrica nacional, cuanto el valor de la utilización del recurso hídrico a nivel local.

El hidroeléctrico en pequeña escala bien proporcionado y ubicado, resulta económicamente competitivo respecto a las otras fuentes energéticas renovables y, considerando los costes globales reales, también respecto a las fuentes energéticas tradicionales.

Las instalaciones micro-hidráulicas representan por lo tanto una forma de energía valiosa, porque con un impacto medioambiental muy bajo utilizan una fuente energética renovable, que de otra manera se perdería.

Las ventajas de las micro-instalaciones hidroeléctricas son:

- Aprovechan al máximo todos los recursos hídricos disponibles, ya que los lugares de instalación son muy variados y su central es muy sencilla.
- Necesitan un limitado recurso hídrico para producir energía eléctrica.
- Producen energía eléctrica cerca del usuario.
- Ocupan poco sitio y, gracias a su estructura compacta, son relativamente fáciles de transportar incluso en lugares inaccesibles.

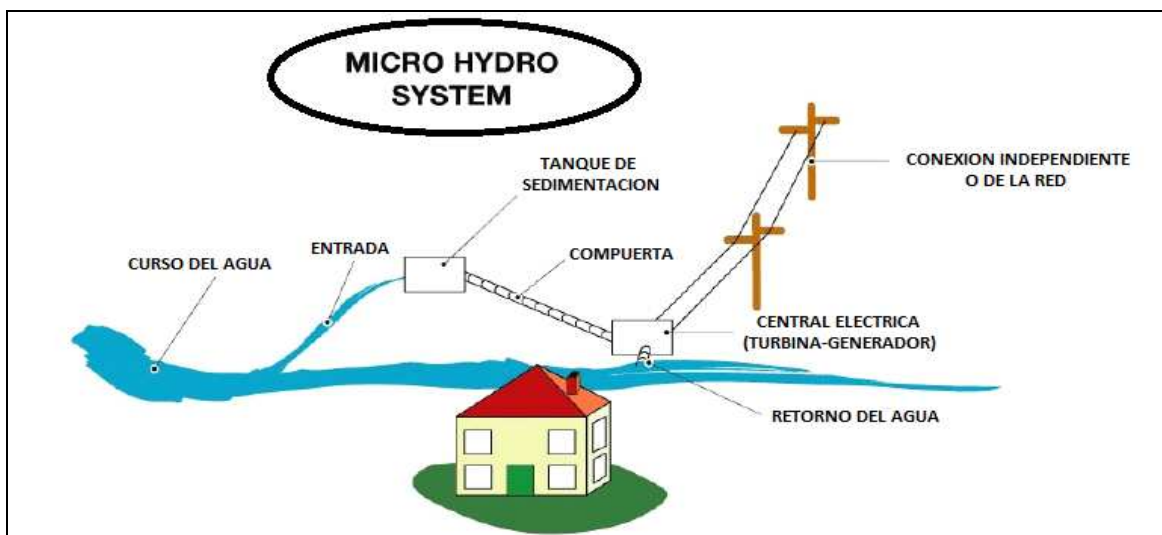


Figura 23. Esquema general de un sistema de micro-hidráulica.

Principio de funcionamiento

Convencionalmente, poniendo pequeñas turbinas en las tuberías de agua, se puede producir electricidad a partir del agua potable. Una micro-turbina se sumerge en el agua que fluye y recupera la presión residual. Cuando el agua pasa a través de la micro-turbina acciona un eje rotativo central y un micro-generador para producir electricidad.

Para cumplir el principio de conservación de la energía, las características del agua que circula con una determinada presión y velocidad no deben alterarse en el proceso de generación basado en su aprovechamiento de energía cinética y potencial.

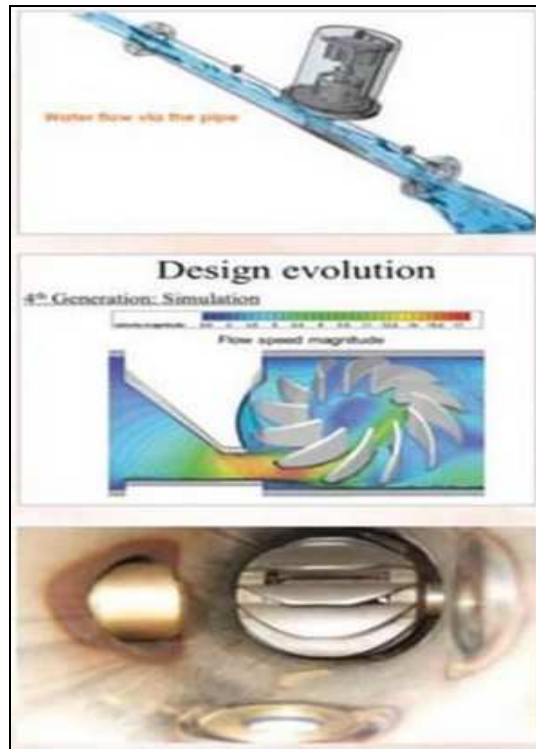


Figura 24. Microturbina dentro de una tubería.

Soluciones comerciales:

- Microturbina Pelton o de flujo cruzado.

Muy parecida a las turbinas utilizadas en centrales más grandes, la Pelton puede ser de eje horizontal o vertical y, por el número de giros relativamente bajo, es adecuada para instalaciones con saltos de agua de unos centenares de metros.

De fácil y sólida construcción, ocupa poco espacio y tiene un rendimiento óptimo, funciona a la presión atmosférica y no genera problemas de estanqueidad. Tiene palas de doble cuchara, con un número de chorros hasta 6.

Generalmente todas las principales partes mecánicas están hechas de acero inoxidable. Las turbinas Pelton son las más utilizadas en las microcentrales, porque son las más adecuadas para aprovechar el potencial de caudales reducidos.

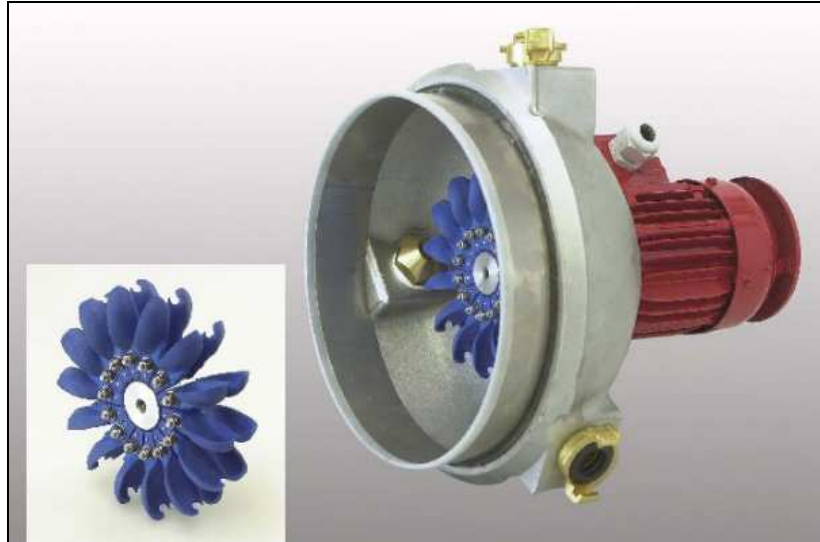


Figura 25. Microturbina Pelton.

- Microturbina Turgo.

Es una turbina con una acción parecida a la Pelton y es apta para saltos de 30 a 300 m.

Los constructores la aconsejan para enclaves con importantes variaciones de flujo de agua y aguas turbias.

- Microturbina de flujo radial o cruzado.

Es una máquina utilizada exclusivamente para centrales de potencia pequeña, es apta para saltos de unos pocos metros hasta 100, y para caudales de 20 a 1000 litros/segundo.

Se trata de una máquina de entrada radial del agua, caracterizada por una doble acción del fluido sobre las palas. La transmisión del movimiento al generador se debe a una correa dentada. Generalmente los componentes metálicos están hechos de acero inoxidable.

El rendimiento de las turbinas de flujo cruzado es menor que el de las turbinas Pelton, pero tienen una mayor facilidad constructiva y una mejor adaptabilidad a los pequeños saltos.

- Miniturbina Francis.

La miniturbina Francis es una turbina de reacción válida para centrales de tamaño medio, con potencia aproximada de 100 Kw. El concepto constructivo es muy parecido al de las turbinas para centrales más grandes.

La ventaja de esta máquina consiste en el aprovechamiento de todo el salto disponible, hasta el canal de desagüe.

La construcción compleja, la alta velocidad de rotación que provoca fricción y desgaste, y algunos problemas de estanqueidad, hacen problemática la instalación de estas turbinas en las centrales pequeñas.

- Transductor rotacional

El transductor de energía rotacional presentado a continuación incorpora un imán de dos polos y tres bobinas de inducción conectados en un circuito en estrella. El núcleo de hierro se utiliza para concentrar el flujo magnético en las bobinas. El imán de dos polos se monta directamente en la rueda del impulsor. La estructura de tres fases fue elegida en particular por las siguientes razones: diseño de bajo costo, el aumento del volumen activo con respecto al espacio de diseño dado reduciendo el par de reluctancia, y facilidad de integración en alojamientos de medidores de agua convencionales, incluyendo el impulsor.

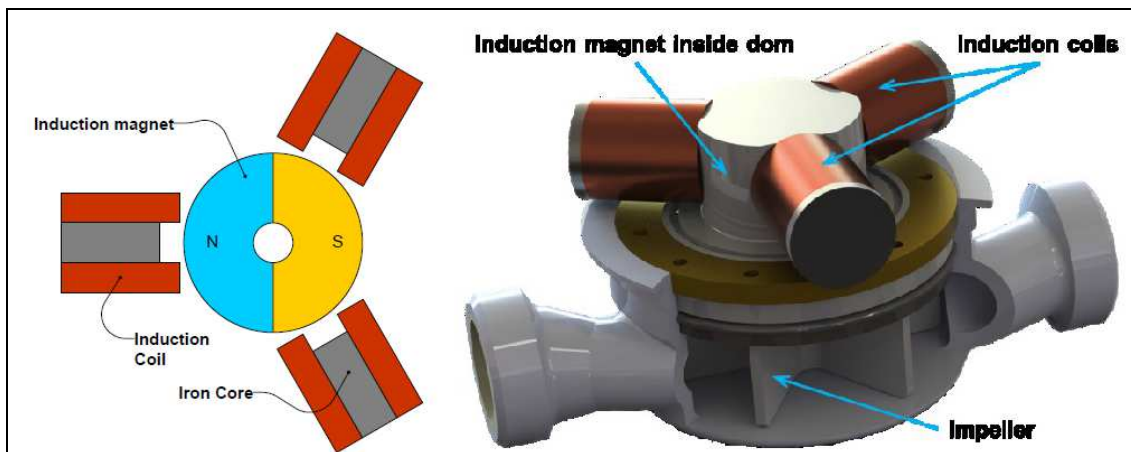


Figura 26. Transductor Rotacional.

El transductor electromagnético se monta directamente en la parte superior de una carcasa de contador de agua. Cuando el imán de inducción empieza su rotación, se genera una inversión de flujo magnético en los núcleos de hierro. Esto conduce a la inducción de una corriente trifásica y corriente en las bobinas. La tensión inducida es entonces proporcional a la velocidad de cambio de la densidad de flujo magnético. El poder de producción aumenta con la velocidad de rotación del imán de inducción con respecto a una resistencia de carga fija conectada a la bobina. Cuando el eje magnético del imán y el eje de una de las bobinas quedan alineados, la densidad de flujo magnético se vuelve máxima. La densidad de flujo magnético medio mínimo ocurre cuando el eje magnético es ortogonal a una de las bobinas.

La administración de energía y el almacenamiento de energía se alojan en la tapa, que se monta en la parte superior.

Investigación

La clave se encuentra en el diseño inteligente para extraer más energía del agua que fluye. Una micro-turbina debe eliminar una fracción de la energía cinética y lograr un equilibrio preciso entre el volumen de agua, la presión del agua y el consumo de la energía hidro-cinética, lo que aumenta la eficiencia sin reducir el impulso del chorro de agua para garantizar un suministro

de agua confiable. Las láminas de la micro-turbina deben ser cuidadosamente dimensionadas para interceptar la mayor área posible del flujo de agua y minimizar la derivación de agua.

Para lograr la máxima potencia de salida, un diseño revolucionario hizo el hueco del eje central giratorio en el interior para reducir al mínimo las pérdidas de energía y utilizar la energía obtenida en su totalidad.

Los rangos de potencia de salida son de 15 mW a 5 l/min, a 720 mW a 20 l/min. A velocidades de flujo más pequeñas que 5 l/min, la potencia de salida es muy baja, por ello, el diseño de la cosechadora de la energía se convierte en un paso importante en una línea futura para una mayor optimización del dispositivo.

El objetivo es lograr una potencia de salida más constante, que se supone que es menos dependiente de la velocidad de flujo, esto se podría lograr mediante un bypass de fluido. Para lograr mayor potencia de salida a velocidades de flujo más bajas de la frecuencia del sistema se podría emplear un imán de múltiples polos.

Los investigadores del Instituto Politécnico Rensselaer han desarrollado un método para producir energía a partir del flujo de agua usando recubrimientos de grafeno. Esto se pretende emplear sobre todo para la creación de micro-sensores autoalimentados.

Los investigadores recubrieron superficies con grafeno e hicieron fluir agua sobre ellas. Se encontró que se generaba una pequeña cantidad de energía. De esta forma se consiguen 85 nanovatios con una hoja de grafeno de tamaño de 0.03 por 0.015 mm.

Es imposible alimentar micro-sensores con las baterías convencionales, ya que los sensores son demasiado pequeños. Por lo tanto, se creó una capa de grafeno que permite la captura de la energía de la circulación de agua a través de los sensores, es decir, al cubrir los micro-sensores con un recubrimiento de grafeno, estos pueden captar energía conforme el agua fluye sobre el revestimiento. La capa de grafeno actúa como una "piel inteligente", que sirve como un generador de energía nanofluídico.

Un efecto similar se ha observado en los nanotubos de carbono, pero la capacidad de generación de energía del grafeno es al menos un orden de magnitud superior a la de los nanotubos. Por otra parte, la ventaja de las láminas de grafeno flexibles es que pueden envolver casi cualquier forma geométrica.

2.9.3. Tuberías termoeléctricas

Por último, aunque se hable de conversión termo-eléctrica, se ha incluido en el apartado de hidráulica al tratarse de la generación de energía provocada por el cambio de temperatura existente en una tubería por donde circula agua a una temperatura determinada. La tecnología termoeléctrica, como ya se ha visto, se basa en la conversión directa de energía del calor en electricidad, y tiene su principal atractivo como una solución de energía renovable.

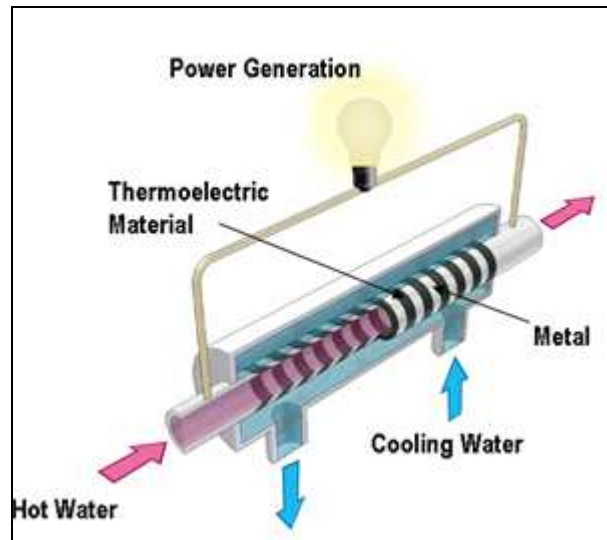


Figura 27. Tubería termoeléctrica de Panasonic.

Principio de funcionamiento

Los generadores termoeléctricos convencionales presentan una estructura compleja, y normalmente restringidos en forma plana, por lo que son difíciles de escalar e implementar. Panasonic creó unas innovadoras tuberías termoeléctricas o tubos, especialmente adecuados para la captura de calor no utilizado o perdido, para fuentes de calor como el agua caliente y el vapor, proporcionando una alta densidad de energía. La forma tubular permite la transferencia de calor directa y eficiente, sin intercambiadores de calor adicionales. Panasonic fomenta el uso de un fenómeno poco convencional llamado *efecto termoeléctrico transversal*, que tiene lugar en una multicapa inclinada hecha de materiales termoeléctricos térmicamente resistentes y metales térmicamente conductivos. Este efecto hace que sea posible el control del flujo de calor y la corriente eléctrica de forma independiente en los materiales, mediante una estructura muy simple y sin complicadas uniones eléctricas y sustratos planos.

El rendimiento de la generación de energía es fuertemente dependiente de muchos parámetros tales como el tamaño del tubo y la cantidad o fuerza de la fuente de calor.

Fabricación

El tubo termoeléctrico se construye por el apilamiento de anillos cónicos de telururo de bismuto como material termoeléctrico y níquel como metal. Panasonic ha desarrollado tecnologías de procesamiento en la fabricación de anillos cónicos de materiales termoeléctricos frágiles y los anillos de unión con un mínimo de pérdidas eléctricas y térmicas parasitarias.

El tubo termoeléctrico de 10 cm de largo fabricado utilizando la tecnología introducida anteriormente puede generar 1.3 W de energía eléctrica con agua caliente a 90 °C en el interior, y agua fría a 10 °C en el exterior del tubo. La densidad de potencia conseguida es de 10 kW con sólo 1 m³ de volumen. El desarrollo del diseño del sistema, la optimización en la fabricación y el estudio de viabilidad están en curso, con miras a la realización de generadores compactos, eficientes y económicos impulsados por la energía geotérmica y el calor residual de las fábricas.

2.10. Captación de Energía usando Métodos Híbridos

2.10.1. Esquema o Arquitectura básica

Otra posibilidad es usar varios métodos de captación de energía para conseguir aumentar ésta. La combinación de dos o más métodos de captación de energía puede ser la solución ideal en el caso en el que se necesite más potencia que la entregada por un único método, o la regularidad con la que se genere la energía propicie menor necesidad de capacidad de almacenamiento de energía al acortarse los tiempos con ausencia de generación. Véase el esquema de la figura siguiente, considerando un ejemplo de captación híbrida solar-eólica.

En este caso la ausencia de sol en las horas nocturnas se compensa con la generación, aleatoria como inconveniente, a través del viento, con el condicionante lógico de varias desventajas como pueden ser:

- Mayor complejidad en el sistema de control y gestión de la generación de energía y posterior acumulación.
- Adaptación de los niveles de generación en al menos uno de los tipos.
- Necesidad de ubicaciones dispares para mayor aprovechamiento de la luz solar en un caso, y de los flujos de aire en el otro.

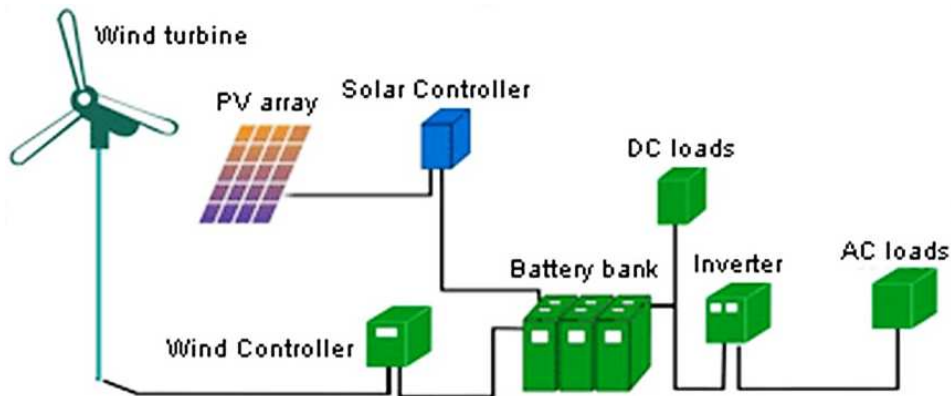


Figura 28. Diagrama de un sistema híbrido mediante energía solar y eólica

Incluso podrían integrarse si la casuística lo permitiera hasta 3 generaciones distintas de energía, como se muestra en la siguiente ilustración. El esquema sería similar al anterior añadiendo una tercera fuente de energía, y los problemas derivados de dicha integración los ya citados.

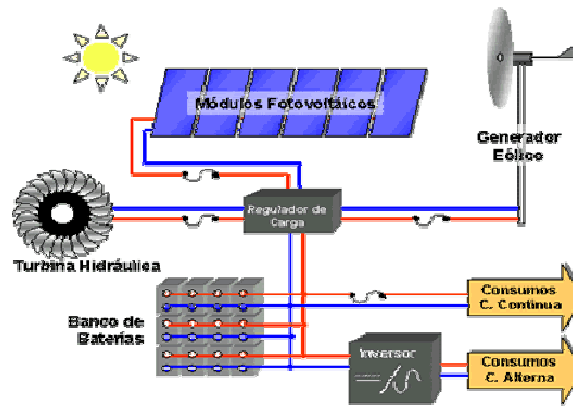


Figura 29 Sistema híbrido solar-eólica-hidráulica

2.10.2. Soluciones comerciales.

Existen ya bastantes soluciones de generadores híbridos. Aquí se mostrarán algunos ejemplos.

Se presenta el kit híbrido solar eólico de la empresa TEKNOSOLAR a modo de ejemplo.



Figura 30. Kit Solar-eólico de TEKNOSOLAR

Características del fabricante:

- Peso ligero
- Mejora en la salida del alternador (a la misma velocidad de viento se consigue un 15% más de potencia de salida)
- Velocidad de trabajo de 3m/s a 49,2m/s

- Diámetro del rotor: 1,2m (47")
- Peso: 5,5Kg (12,3 lbs)
- Montaje: tubo de 1,5" Schedule 40 (1,9" OD, 48mm)
- Material; NdFeB (neodimio-hierro-boro)
- Rodamiento sellado estándar
- Eje de acero inoxidable
- Elementos de fijación (tornillos y tuercas) de acero inoxidable
- Velocidad de arranque: 3,13 m/s (7mph)
- Tensión de trabajo: 12 a 24VDC
- Potencia nominal: 400W a 12,5m/s (28mph)
- Controlador: microprocesador basado en un regulador externo inteligente con MPPT
- Palas: compuestos de fibra de carbono
- Cuerpo: fundición de aluminio (en la versión Marine el cuerpo tiene recubrimiento en polvo para la protección contra la corrosión)
- Producción de energía: 38kWh/mes a 5,4m/s (12mph)
- Garantía: 3 años
- Velocidad máxima del viento: 49,2m/s (110mph)
- Protección contra velocidad excesiva mediante el control del par electrónico
- Banco de batería mínimo: 100Ah a 12V, 50Ah a 24V
- Regulador externo inteligente con el controlador MPPT
- Circuito de protección automático
- Alta protección contra el exceso de viento
- Pantalla LED
- Protección contra sobrecarga
- Precio: 2900€

Otra posibilidad se muestra a continuación, consistente en un sistema que combina la energía mecánica (vibración) con la energía solar. Éste método de captación de energía se hace posible mediante la incorporación de un panel solar en un encapsulado robusto dentro de la estructura del propio sistema de vibración. Puede proporcionar una producción de potencia diaria durante el día y la noche, y un almacenamiento en baterías de larga duración. En la tabla que se adjunta a continuación se puede ver que existen dos variedades de este producto según la potencia que ofrece a la salida.

Producto	Rango de Frecuencia (Hz)	Ancho de Banda (Hz)	Tamaño (pulgadas)	Precio (\$)
Volture 20W	800-175	3	3.625x1.725x0.56	399-499
Volture 25 W	60-140	3	3.625x1.725x0.56	399-499

Tabla 6. Características Volture 20W y Volture 25



Figura 31. Módulo Híbrido

3. Estado del Arte en Métodos de Acumulación de Energía

3.1. Introducción

En la actualidad existen varias modalidades de almacenamiento energético, desde las tradicionales baterías de plomo hasta las ya optimizadas en precio y densidad de carga pilas de litio o níquel metal hidruro.

Además se incluyen los cada vez más explorados supercondensadores o incluso métodos basados en la propiedad de determinadas sales de almacenar calor, y usado en grandes centrales de generación de energía para proporcionar más constancia a lo largo del día, estabilizando los picos y valles de la central.

En este caso se desarrollarán las más útiles desde el punto de vista que trata el proyecto, centrándose en sistemas autónomos de media-baja potencia, aunque la evolución de cada una de estas tecnologías hace que sean más versátiles y proporcionen determinadas ventajas respecto a otras en una misma aplicación de demanda energética.

Antes del desarrollo de las tecnologías de baterías cabe hacer una clasificación de las mismas en recargables o no recargables, ya que es requisito indispensable en este estudio que lo sea.

- **Batería primaria.** Batería que sólo se descarga y no se puede recargar mediante la aplicación de una corriente. Normalmente se conocen como pilas, de usar y tirar.

No son objeto de estudio en este proyecto en concreto, aunque en el campo de las redes de sensores inalámbricas, en muchos casos se está optimizando el modo de operación, la actividad de los sensores y los consumos en estado de reposo, llegando incluso a conseguir capacidades anuales de baterías que son asumibles sin necesidad de recarga de las mismas.

Como principal ventaja de estas pilas, la eficiencia que muestran es mucho mayor, es decir, son capaces de entregar casi el 90% de la capacidad de carga que se les presupone, con independencia de las condiciones de descarga del sistema, ya sea a través de grandes demandas de consumo o un modo de operación de muy baja solicitud de corriente pero permanente en el tiempo.

- **Batería secundaria.** Acumulador que, después de una cierta descarga, puede recibir una recarga hasta su capacidad total. Se conocen como baterías recargables. Aunque sufren una determinada degradación, se está optimizando el tiempo de vida de la mayoría de ellas y diseñando mecanismos de mantenimiento y reactivación de las celdas en caso de deterioro no definitivo.

La principal desventaja de esta tipología de baterías respecto a las primarias, es que su eficiencia es menor. Esto conlleva una serie factores a tener en cuenta, como un sobredimensionamiento del sistema en el diseño, la necesidad de incluir control o gestión

tanto de la capacidad como del estado de la batería, pudiendo esta no entregar la misma capacidad ya sea por estar descargada o deteriorada, y por consiguiente un mantenimiento preventivo debido a la mayor casuística de problemas.

A continuación se hará un desglose de las principales características de las tecnologías de almacenamiento siguientes: Plo-ácido, NiMH, Litio y Supercondensadores.

3.2. Baterías de Plomo-Ácido

3.2.1. Introducción. Principio de Funcionamiento

El acumulador de plomo elemental consiste en un recipiente lleno de una solución de ácido sulfúrico (SO_4H_2) como electrólito, donde se sumergen dos placas hechas de una malla muy fina de plomo, rellenas una con óxido de plomo (PbO_2) y otra de plomo (Pb) finamente dividido en forma esponjosa. La placa de óxido de plomo funciona como polo positivo del acumulador y la placa de plomo esponjoso como polo negativo y entre ellas hay una tensión nominal de 2 voltios.

Durante el proceso de descarga las dos placas van convirtiéndose en sulfato de plomo ($\text{SO}_4 \text{Pb}$) a cuenta del ácido sulfúrico del electrólito por lo que la concentración de este va disminuyendo, de esta forma una medición de la concentración de ácido en el electrólito da una indicación adecuada del estado de carga del acumulador. Como la densidad de las disoluciones de ácido sulfúrico en agua guarda una estrecha relación con el contenido de ácido, midiendo esta densidad se puede saber en qué estado de carga está el acumulador, los aparatos que realizan esta medición se llaman densímetros y es común encontrar en el mercado estos densímetros ya calibrados especialmente para ese fin.

En el caso contrario, es decir la carga, se produce el proceso inverso. Se va formando óxido de plomo en la placa positiva y plomo esponjoso en la negativa. Químicamente estos procesos de carga y descarga podrían ser eternos si no se produjeran algunos efectos colaterales que van reduciendo la capacidad de réplica de la carga y por tal motivo un acumulador de plomo tiene una vida limitada aunque larga (unos 1600 ciclos de carga en buenas condiciones de explotación).

Entre esos efectos colaterales está el desprendimiento y sedimentación de los materiales activos de las placas, que van a parar al fondo del recipiente y dejan de participar en la reacción química, otro efecto es el llamado sulfatación de las placas, lo que consiste en la formación de sulfato de plomo compacto (no esponjoso) sobre estas, este tipo de sulfato se convierte en material estable y no participa en el proceso químico del acumulador. También la fina malla de plomo soporte del material activo, con el uso prolongado va participando lentamente en los procesos químicos del acumulador y termina finalmente sin la resistencia mecánica suficiente para soportarse a sí misma, por lo que se va cayendo por partes o se desprende de golpe arruinando de este modo al acumulador.

3.2.2. Aplicaciones

La batería de plomo es la batería recargable más antigua que existe en el mercado.

Las **baterías de plomo ácido** tienen multitud de aplicaciones y afianzadas en la sociedad debido a su largo recorrido en la misma, ya que arrancan millones de automóviles todos los días, brindan energía de emergencia a los sistemas de maniobras de las centrales eléctricas que proporcionan energía a la red para casas y fábricas o industrias, mejoran la calidad y confiabilidad de las telecomunicaciones, funcionan como backup de energía de las computadoras, brindan iluminación de emergencia, son el corazón de los sistemas de alarmas, intervienen en la energía necesaria para el funcionamiento de ferrocarriles, subterráneos y aviones, empujan a miles de auto elevadores eléctricos en plantas industriales, arrancan grupos electrógenos Diesel, proveen para señalamiento y balizamiento marítimo, almacenan energía solar y eólica para su posterior uso, entre otras aplicaciones que sería muy largo de enumerar.

3.2.3. Ventajas e Inconvenientes

Las ventajas de este tipo de baterías se describen a continuación:

- Son muy baratas y simples de manejar.
- No están sujetas al llamado efecto memoria, es decir, si se deja la batería en carga flotante durante un tiempo prolongado no causa daño a la misma, de hecho es recomendable para la salud de la misma. La retención de carga en la batería se realiza mejor en las baterías recargables.
- Su precio es bastante bajo en comparación con baterías de NiMH o Litio.
- Se requiere muy poco mantenimiento, aunque se han llevado a cabo muchas mejoras en las recomendaciones eléctricas de conservación de las baterías, los niveles adecuados de tensión de mantenimiento, las corrientes máximas de carga y descarga o el porcentaje de capacidad de descarga máximo para su larga vida.

Por su parte, los inconvenientes son:

- Baja densidad energética, en torno a 30Wh/kg.
- Las baterías de plomo no se prestan a una carga rápida, al menos para porcentajes de carga cercanos al 100%, la carga rápida entre 3-4 horas no supera el 80% de capacidad.
- Deben estar siempre almacenadas en estado de carga ya que cuando se deja descargada una batería, esto causa sulfatación, condición que hace difícil y hasta imposible la recarga de la misma.

- No es recomendable realizar el reciclado profundo. Una descarga completa causa un esfuerzo extra y cada ciclo de descarga/carga causa una pérdida de capacidad pequeña. Para impedir que la batería sufra durante las descargas profundas repetitivas, se recomienda usar una batería con mayor capacidad.
- Su ciclo de vida es relativamente corto, ya que se produce una corrosión de placa en el electrodo positivo, el desgaste de material activo y la expansión de placas positivas. Estos cambios son más notables a mayores temperaturas de operación. Ya existen métodos de ecualización de las baterías que aumentan el número de ciclos.
- Su densidad de energía es muy pequeña lo que las hace inadecuadas para dispositivos de mano que exigen un tamaño compacto. Tienen un peso y tamaño mucho mayor que el NiMH o el Litio.
- El rendimiento a bajas temperaturas es bastante bajo.

3.2.4. Carga de la Batería de Plomo

La carga de baterías de plomo-ácido se divide en al menos tres etapas, para asegurar por un lado su alta capacidad recargada y por otro la ampliación al máximo del tiempo de vida. Se realizará el análisis de los estados de carga para baterías de 12v, siendo directamente proporcional el estudio para diferentes tensiones nominales, aunque según fabricante dichos niveles pueden verse ligeramente modificados.

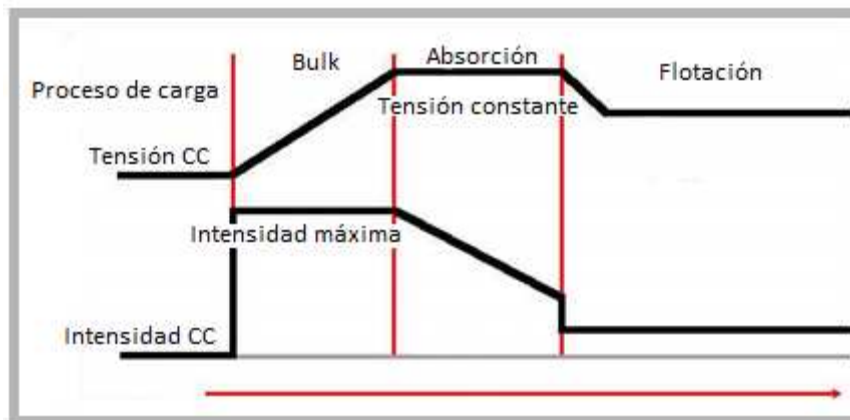


Figura 32. Característica V-I de un cargador solar

1) **Bulk** (carga en bruto) en esta etapa el regulador prácticamente no hace nada, a los acumuladores llega la corriente a intensidad máxima en cada momento, siempre que no se supere esta corriente máxima para no dañar las baterías. Al llegar en torno al 80% de carga de la batería pasa a la siguiente etapa. Normalmente entre 14.4v y 14.6v, en baterías de 12v. De no disponer un regulador entre la generación y el acumulador la fase bulk sería permanente y la

tensión-intensidad proveniente de los módulos solares podría destruir la batería por sobrecarga.

2) **Absorción**, la tensión permanece constante al nivel en que finalizó la fase anterior, hasta que lentamente se completa la carga. La intensidad baja progresivamente. Se determina el final de esta etapa al alcanzar la corriente de carga aproximadamente 0.05C de la capacidad total de las baterías.

3) **Flotación**, la tensión baja hasta unos 13,7v y a intensidad muy baja para compensar la autodescarga. Es un nivel infinito de mantenimiento siempre y cuando la generación lo permita.

3.3. Baterías de Níquel Metal Hidruro NiMH

La investigación con este tipo de baterías comenzó en el decenio de 1970 y se utilizó como un medio para descubrir cómo se podía almacenar hidrógeno en la pila de hidrógeno de níquel.

En este caso, estas baterías utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de metal-hidruro. Cada célula de NiMH puede proporcionar una tensión de 1,2 V y una capacidad entre 0,8 y 2,8 Ah. Su densidad de energía llega a los 100 Wh/kg.

Su uso más común es en electrónica de consumo, mandos a distancia, aparatos eléctricos o juguetes, aunque en los últimos años se ha venido usando en el sector de las telecomunicaciones en menor medida.

3.3.1. Ventajas e Inconvenientes

Las ventajas más relevantes son:

- Poseen una densidad de carga mayor que las baterías de plomo-ácido.
- Son más respetuosas con el medio ambiente y aparentemente no tienen efectos de capacidad por mal uso, o de formación.
- Son una tecnología muy desarrollada y en auge, ya que es más económica que el litio y casi la equipara en densidad de carga, muy superior como se ha visto a las de plomo.
- Poseen un método de carga muy sencillo.
- Tienen una capacidad elevada.
- Su resistencia interna es muy baja, lo que se traduce en una intensidad elevada.

Por su parte, se explica a continuación las desventajas que poseen:

- Deben ser descargadas completamente cada cierto tiempo, por ejemplo una vez al mes, parámetro que va en contra de un sistema totalmente autónomo y con energía renovable no constante, ya que habría que asegurar la inyección de energía para el mantenimiento del sistema durante el proceso de descarga total de la batería.
- No admiten una carga excesivamente rápida, ya que el control debe ser preciso el deterioro puede ser apreciable.
- Son sensibles al calor, un sobrecalentamiento puede producir gases internos y sobrepresiones que dan lugar a escapes de electrolito y pérdidas de estanqueidad, reduciendo la vida útil de las mismas.
- Es difícil detectar el estado de carga total, por lo que se recomienda el uso de cargadores específicos para cargar baterías de NiMH, evitando así sobrecalentamientos indeseados.

3.3.2. Carga de baterías de NiMH

La tensión de carga está en el rango de 1.4 a 1.6 V/célula. En general, un método de carga de tensión constante no se puede utilizar para la carga automática. Cuando la carga rápida, se recomienda cargar las baterías NiMH con un cargador de batería inteligente para evitar la sobrecarga, lo que puede dañar las células e incluso ser peligroso.

La forma más sencilla para cargar de forma segura una célula de NiMH es con una baja corriente constante, con o sin temporizador. La mayoría de los fabricantes afirman que la sobrecarga es segura con corrientes muy bajas, por debajo de 0,1 C. El método de carga manual recomendado por algunos fabricantes de NiMH advierte que la sobrecarga durante un tiempo determinado puede dañar una batería y sugiere limitar el tiempo total de carga de 10 de mínimo a 20 horas de máximo.

3.4. Baterías de Ion-Litio

Las Baterías Litio-Ion (Li-ion) son dispositivos diseñados para la generación de energía eléctrica que emplean como electrolito una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible que tiene lugar entre el cátodo y el ánodo. El Litio es el metal más ligero, posee el mayor potencial electroquímico y representa el mayor contenedor de energía. Usando litio metálico como electrodo negativo las baterías recargables son capaces de proveer alto voltaje y excelente capacidad, obteniendo así una alta densidad de energía. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a densidades del orden de 115 Wh/kg.

Sin embargo, su rápida degradación y sensibilidad a las elevadas temperaturas, que pueden resultar en su destrucción por inflamación o incluso explosión, requieren en su configuración

como producto de consumo, la inclusión de dispositivos adicionales de seguridad, resultando en un coste superior que ha limitado la extensión de su uso a otras aplicaciones.

En los últimos años estos parámetros se han mejorado bastante y debido a la densidad de energía de las mismas y la fiabilidad solo resta una caída de los costes para que el crecimiento de ventas y aplicaciones sea definitivo.

3.4.1. Ventajas e Inconvenientes

Las ventajas que presentan son las siguientes:

- Poseen una capacidad muy elevada.
- No necesitan mantenimiento.
- No sufren el efecto memoria, por lo que no se requieren ciclos de mantenimiento para prolongar la vida de la batería.
- Gozan de una elevada densidad de energía, es decir, acumulan una mayor carga por unidad de peso y volumen.
- Poseen un peso reducido: a igualdad de carga almacenada, son menos pesadas y ocupan menos volumen que las de tipo Ni-MH y mucho menos que las de Ni-Cd y Plomo.
- Gran capacidad de descarga. Algunas baterías de Li-Ión -las llamadas "Lipo" Litio-ión Polímero- que hay en el mercado, se pueden descargar totalmente en menos de dos minutos, proporcionando importantes picos de corriente.
- Presentan un espesor reducido. Se presentan en placas rectangulares, con menos de 5 mm de espesor. Esto las hace especialmente interesantes para integrarlas en dispositivos portátiles que deben tener poco espesor, como lo son ya en portátiles o móviles.
- Poseen una elevada tensión por célula. Cada batería proporciona 3,6 voltios de tensión nominal, lo mismo que tres baterías de NiMH o NiCd, que suministran 1,2 V cada una.
- Poseen una descarga lineal, es decir, durante toda la descarga la tensión de la batería varía poco, lo que evita la necesidad de circuitos reguladores en muchos casos. En función del método de estimación de capacidad puede ser una ventaja o un inconveniente, ya que por un lado caída de tensión es lineal, pero a su vez muy precisa y en un rango pequeño.
- Su tasa de autodescarga es muy baja. Cuando se guarda una batería, ésta se descarga progresivamente aunque no la usemos. En el caso de las baterías de NiMH, esta "autodescarga" puede suponer más de un 20% en unos 90 días. En el caso de Li-Ion es

de menos un 6% en el mismo periodo. Muchas de ellas, tras seis meses en reposo, pueden retener más de 90% de su carga.

A continuación se describen las desventajas que presentan este tipo de baterías:

- Son aún una tecnología en evolución, y en cuanto a coste de materia prima es hasta ahora superior al resto.
- Poseen una duración media. Ésta depende de la cantidad de carga que almacenen, independientemente de su uso. Tienen una vida útil de unos 3 años o más si se almacenan con un 40% de su carga máxima.
- Pueden sobrecalentarse hasta el punto de explotar ya que están fabricadas con materiales inflamables que las hace propensas a detonaciones o incendios, por lo que es necesario dotarlas de circuitos electrónicos que controlen en todo momento la batería.
- Requiere circuito de protección para mantenerse operando de forma segura.
- Corriente de descarga moderada, mejorada en los últimos modelos de fabricantes.
- Peor capacidad de trabajo en frío. Ofrecen un rendimiento inferior a las baterías de Ni-Cd o NiMH a bajas temperaturas, reduciendo su duración hasta en un 25%.
- Precio sensiblemente superior a las anteriormente mencionadas.

3.4.2. Precauciones a tener en cuenta

Estas baterías no tienen efecto memoria, y por ello no hace falta descargarlas por completo. De hecho no es recomendable, dado que puede acortar mucho su vida útil. Sin embargo, y a pesar de no requerir de un mantenimiento especial, al igual que las otras baterías, necesitan ciertos cuidados:

- Es recomendable que permanezcan en un lugar cuya temperatura media no supere los 15°C y evitar el calor.
- Cuando se vayan a almacenar mucho tiempo, se recomienda dejarlas con carga intermedia.
- La primera carga no es decisiva en cuanto a su duración. Es un mito probablemente heredado de las baterías de níquel.
- Es preciso cargarlas con un cargador específico para esta tecnología. Usar un cargador inadecuado dañaría la batería y puede hacer que se incendie.
- Hay que tener en cuenta que existen en el mercado muchas combinaciones de Litio, lo que esto puede llevar a muchas características diferentes, en menor o mayor medida.

3.5. Super-condensadores:

Los condensadores siempre han sido capaces de almacenar carga pero para el uso en la electrónica convencional no se le ha dado importancia a la densidad ni a la capacidad de carga sino que el objetivo ha sido reducir el coste de fabricación y aumentar su durabilidad. Pero la tecnología ha avanzado y se ha conseguido fabricar condensadores con mayor densidad de energía que los convencionales, llegando hasta los 30 Wh/Kg. Generalmente, estos super-condensadores están fabricados mediante doble capa electroquímica. Esto consiste en sustituir el material cerámico entre placas por un material poroso de carbono en una disolución electrolítica, produciendo un aumento en el área de las placas y por tanto en la capacidad.

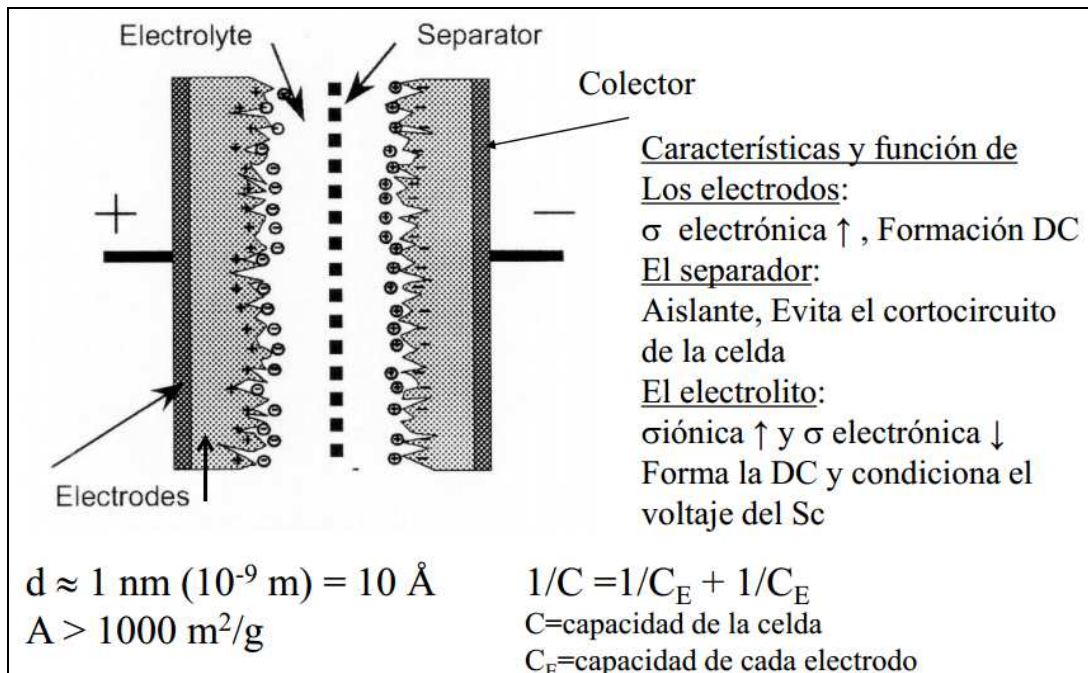


Figura 33. Esquema general de un super-condensador.

La investigación actual en materiales para electrodos prepara materiales con alta capacidad específica, alta conductividad eléctrica y estables frente a la ciclabilidad. Ejemplos de estos materiales son:

- Electrodos de carbono (grafeno, nanofibras o nanotubos).
- Óxidos (RuO_2 , NiO , MnO_2).
- Polímeros (polianilina, polipirrol, politiofeno).
- Materiales compuestos.

En cuanto a los electrolitos líquidos para super-condensadores se busca alta conductividad iónica y baja conductividad electrónica. Algunos ejemplos son:

Acuosos	Orgánicos	Líquidos iónicos
H ₂ SO ₄ 2M, HOH 6M	Et ₄ NBF ₄ /AN, LiBF ₄ /EC	Sales que funden a temperatura baja (40-60°C)
V _{máx} = 1.2V	V _{máx} = 2.5V	V _{máx} = 3-3.5V
Conductividad = 1/(ohm*cm)	Conductividad = 0.1/(ohm*cm)	Muy viscosas y conductividad iónica baja
Barato	Caros	
Manejables a la atmósfera	Manejables en caja seca	

Tabla 7. Electrolitos líquidos para super-condensadores.

Propiedades de los super-condensadores:

- Capacidad (Faradios) alta.
- Resistencia asociada (ESR) baja.
- Voltaje (depende del electrolito y debe ser alto).
- Ciclabilidad alta.
- La capacidad, ESR y ciclabilidad deben cambiar poco con la Temp (°C).
- Tiempo de respuesta del orden de 1-10 s. ($\tau(s) = ESR(\Omega) * C(F)$)
- Energía = $(1/2)CV^2$ julios.
- Potencia (W) = Energía/td (td $\geq \tau$ para que el súper-condensador funcione correctamente).

Las principales aplicaciones a día de hoy donde se emplean los super-condensadores son en juguetes, teléfonos móviles y frenada regenerativa en automoción.

Uno de los principales fabricantes en este mercado es NessCap, con sus condensadores eléctricos bicapa (EDLC) dispositivos de la gama UltraCap. Estas células EDLC de pequeño tamaño van desde 3 F a 50 F de capacidad, con tensiones de funcionamiento que van desde 2.3 V a 2.7 V. Las células están diseñadas para su uso en diversos tipos de aplicaciones, que requieren principalmente cantidades más pequeñas de capacidad pero un poder de impulsos inmediato, tales como la lectura automática de contadores y la electrónica de consumo portátil.

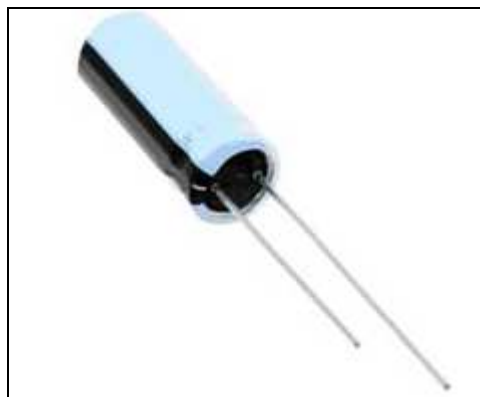


Ilustración 3. Super-condensador EDLC de NessCap.

3.5.1. Comparativa con Baterías

La principal ventaja de los súper-condensadores es su alta capacidad de entregar o asumir corriente al sistema en cuestión. Si una aplicación requiere una carga rápida y la descarga con una ráfaga significativa de energía a continuación, un súper-condensador tiene la ventaja sobre una batería. Los súper-condensadores se pueden utilizar en los vehículos híbridos, por ejemplo, ya que pueden capturar y almacenar grandes cantidades de energía eléctrica generada durante el frenado, y liberarla rápidamente para la re-aceleración. Los dispositivos más pequeños son igualmente útiles en aplicaciones de redes de sensores de potencia ultra-baja.

Los súper-condensadores se caracterizan generalmente por un ciclo de vida mucho más alto que las baterías (500.000 ciclos de carga/descarga en comparación con alrededor de 2.000 para las baterías). Por otra parte, operan en un rango de temperatura más amplio, que serían más adecuados para su uso en sistemas de energía solar, el seguimiento de la ubicación y de la maquinaria.

La desventaja de los súper-condensadores es la corriente de fuga, que es proporcional a la capacidad, es decir, las fugas de corriente aumentan a medida que aumenta la capacidad. El rango de operación adecuado de los súper-condensadores para aplicaciones de bajo consumo de captación de energía se extiende desde 2.1 a 5.5 V.

Es por ello que se plantea el uso de súper-condensadores como parte de un sistema de carga, de etapa previa al almacenamiento en baterías, pero no como el principal mecanismo de sustento de alimentación del sistema. Las baterías no están preparadas para asimilar carga tan fácilmente, un súper-condensador sí, luego el estudio de estos sistemas híbridos está despertando cierto interés en la actualidad.

Para aplicaciones de captación de energía para una red inalámbrica de sensores que requieren una fuente de energía más moderada y constante, las baterías pueden proporcionar una solución eficaz. Sin embargo, la desventaja de las baterías es su limitado tiempo de vida. Todas las baterías, además, requieren de protección y acondicionamiento para un rendimiento óptimo.

La nueva tecnología de baterías de película delgada está abordando el ciclo de restricción de carga/descarga, y ofrece flexibilidad de formato, ya que se puede fabricar en casi cualquier forma. Dependiendo de la capacidad, las baterías de película delgada pueden ser más pequeñas que una moneda, y se pueden integrar más fácilmente en circuitos y módulos electrónicos.

Seguidamente se muestran las ventajas principales de cada sistema de almacenamiento:

Baterías	Super-condensadores
Mayor densidad de energía por volumen	Tiempo de vida ilimitado, infinitos ciclos de carga y descarga sin degradación
Menor auto-descarga	No tienen problema de sobrecarga
Tensión cuasi-constante	El tiempo de carga y descarga es mucho más rápido debido a que no suceden reacciones químicas

Tabla 8. Principales ventajas de las baterías y los super-condensadores.

4. Introducción. Estado Actual

4.1. **Introducción.**

Los principales avances e innovaciones técnicas aparentes en el uso de sistemas de captación de energía se han visto lanzados en los últimos años, al igual que la mejora en cuanto a consumo y modos de operación de los equipos que proporcionan la funcionalidad buscada en una red inalámbrica de sensores, mejorando notablemente la viabilidad comercial de esta tecnología en aplicaciones de monitoreo inalámbrico prolongados.

Conforme va avanzado la tecnología se están desarrollando microprocesadores, sensores, transmisores y demás dispositivos electrónicos que pueden funcionar consumiendo cada vez menos energía en el tiempo. Poco a poco, han surgido ejemplos de aparatos sencillos que se alimentan exclusivamente de energía del medio, como las calculadoras solares, o los relojes de pulsera alimentados por vibraciones. Pero ahora, con el desarrollo de los micro-controladores de ultra-baja potencia las posibilidades se multiplican en muchos de estos campos, entre ellos las WSN o redes de sensores inalámbricas. Para este tipo de dispositivos, generalmente se requiere una medición y un mínimo de procesamiento de datos antes del envío por radiofrecuencia de la información. Todo esto suele suceder cada cierto tiempo, debido a que la batería es escasa, y la potencia con la que se recarga también, por lo que el microcontrolador encargado de realizar estas funciones debe ser lo más eficiente posible, tanto en los periodos de reposo como en los momentos de actividad: medición y transmisión de la medición.

Los principales fabricantes de chips micro-controladores actuales ya proveen de:

- Microprocesadores de baja potencia con corrientes de nanoamperios en modo *ultra-sleep*.
- Transceptores radio de baja potencia:
 - o Normas IEEE 802.15.4: 169MHz, 433MHz, 868MHz ó 2.4Gigahertz.
 - o Decenas de miliamperios para las corrientes de los transmisores y receptores.
 - o Puesta en marcha rápida y baja potencia en modo sleep.
- Protocolos radio de eficiencia energética:
 - o Protocolos de potencia ultra-baja.
 - o ZigBee y ZigBee Verde.
 - o Bluetooth LE.
 - o ANT +, EnOcean Alliance.
 - o Dust Networks IP 6LoWPAN.
- Microsensores:
 - o IR, temperatura, humedad, aceleración, presión, etc.

- Circuitos periféricos actuales de menor consumo:
 - o Relojes, chips de administración de energía, etc.

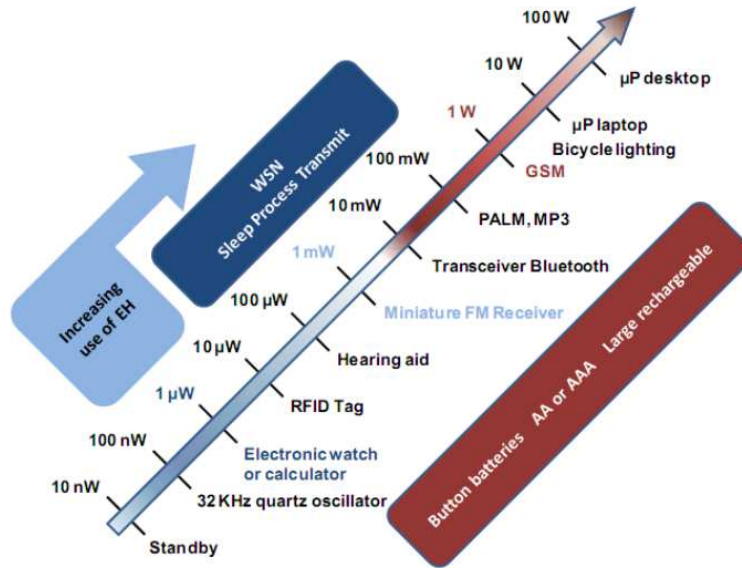


Figura 34. Necesidades de potencia de pequeños dispositivos electrónicos.

Actualmente, todos los fabricantes de circuitos integrados compiten por la fabricación del microcontrolador más adecuado para esta labor, un ejemplo de los más optimizados en consumo es el siguiente de Texas Instruments MSP430TCH5E. Este microcontrolador de ultrabaja potencia cuenta con una gran variedad de configuraciones en cuanto a periféricos como diferentes cantidades de memoria Flash y RAM, comunicaciones (UART, SPI, I2C...), conversores ADC, timers, velocidades de reloj, bits de instrucciones, etc. Todo esto con un bajísimo consumo de potencia. Por ejemplo, la serie MSP430F2xx cuenta con las siguientes características:

Características	Baja potencia	Parámetros configurables
Instrucciones de 16 bits	0.1 µA en retención de RAM	Memoria Flash: 1 KB – 120 KB
Velocidad de proceso: 16 MIPS	0.3 µA en modo Standby	Memoria RAM: 128 B - 8KB
Voltaje de alimentación: 1.8V –3.6V	0.7 µA reloj de tiempo real	GPIOs: 10, 16, 24, 32, 48, 64 pines
Oscilador de baja potencia integrado (VLO)	220 µA / MIPS en modo activo	ADCs: rampa, 10 o 12 bit SAR, 16 bit sigma delta
<1 µs de Standby a modo activo		Comunicaciones: UART, SPI, I2C

Tabla 9. Características de la familia de microcontroladores MSP430.

4.2. Desarrollos Internos

Dentro del grupo de investigación se han ido aportando soluciones a determinados proyectos con requerimientos de autonomía. Además se han implementado cargadores o reguladores genéricos con vistas a una futura implementación como producto o ser usado en proyectos con requisitos similares.

De forma paralela se han investigado nuevos métodos de auto-alimentación, nuevos dispositivos de generación, mecanismos de regulación de carga o elementos de acumulación que han permitido mantener esta línea de investigación y desarrollo en el tiempo.

A continuación se mostrarán algunos de los más significativos, el grado de avance de los mismos, los resultados esperados y alcanzados, y en definitiva las características globales de cada sistema implementado.

5. Sistemas Autónomos. Desarrollo N°1

5.1. Antecedentes y Objetivo

La realización de este proyecto surge de la necesidad de dotar de una “autonomía total” a los dispositivos que actuarían de router o encaminadores de la información dentro de la red inalámbrica de contadores ideada en el grueso del proyecto global de red inalámbrica. Estos dispositivos, por necesidades de la red debían estar dispuestos siempre a encaminar la información de los distintos equipos medidores, por lo que su estado de reposo se veía ampliamente reducido.

Haciendo estos equipos autónomos mediante alimentación solar, en lo que refiere tanto a la instalación como al mantenimiento, dependerían exclusivamente del propio sistema a implementar, sin necesidad de alterar el dimensionamiento o la previa instalación eléctrica de la zona.



Figura 35. Imagen Nodo-Router en modo prueba.

Además esto posibilita el reemplazo tras producirse un desperfecto, deterioro o simple modificación de mejora, realizándose de forma rápida y sencilla, pudiendo seleccionarse el cambio del conjunto del sistema o de sólo alguno de los componentes sin necesidad alguna de modificar sistemas externos o auxiliares.

Otro de los motivos a tener en cuenta es la regulación burocrática y legislativa, donde se requieren permisos mucho más tediosos en caso de solicitar alimentación a través del sistema de alumbrado público. En este caso se limita a un permiso administrativo de instalación del demostrador, sin alterar ningún sistema público, y atendiendo a unos marcados valores mínimos de radiación incidente, cumplidos por norma en los transmisores inalámbricos diseñados.

5.1.1. Objetivo

El principal objetivo de este sub-proyecto es el diseño del sistema de alimentación de los router que sean necesarios en la red a instalar como demostrador. Finalmente se especificó una cantidad de 12 router, los cuales se complementarían con los siguientes elementos dentro del conjunto:

- Batería.
- Panel Fotovoltaico.
- Sistema Cargador.
- Envolvente.
- Elementos Conectores.
- Elementos Pasantes
- Elementos de Fijación Internos.
- Elementos de Fijación de Envolvente.
- Elementos de Fijación de Panel Fotovoltaico.

Dentro del objetivo principal se desgranar las especificaciones técnicas más importantes del sistema, al cual se ha de proporcionar alimentación. Son las siguientes:

- Tensión de alimentación: 3.3v.
- Consumo en estado de reposo: < 28mA.
- Consumo en modo transmisión: < 35mA.
- Transmisiones cada 30 segundos.
- Capacidad estimada diaria: $35\text{mA} \cdot 24\text{horas} = 840\text{mAh/día}$.
- Autonomía del sistema sin carga solar: 4 días.
- Estimación capacidad de batería.
- Aviso baja capacidad de batería.
- Ecuilibración de la batería para mayor vida útil.
- Fuente de energía renovable: solar fotovoltaica (tras estudio de condiciones).

Dichas características se consideran necesarias pero como prestaciones adicionales a cualquier sistema independiente, destinado a formar parte de una considerable red inalámbrica, se le añaden características intrínsecas a cualquier equipo finalmente comercial:

- Robustez ante las inclemencias del tiempo y el resto de agentes externos.
- Reducidas dimensiones, adaptadas a la conexión con el router como equipo.
- Dimensionamiento de componentes adecuado.
- Mínimo coste por equipo.
- Elementos de protección eléctrica.
- Comunicación UART con nodo-router (Protocolo Interno - Reporte Estado Baterías).

5.2. Componentes del sistema

5.2.1. *Sistema de almacenamiento*

Batería de Plomo Ácido

Como tecnología de batería se eligió el Plomo-Ácido debido a sus principales características, que las hacen mucho más robustas que el resto de tecnologías, las cuales son más novedosas pero a la vez menos seguras y fiables.

El grado de conocimiento acerca de dichas baterías es muy alto, desarrollando con mayor facilidad métodos de carga, mantenimiento preventivo, control de capacidad y cualquier requerimiento necesario a lo largo de la implementación del sistema controlador.

Por otro lado pese a no requerirse picos de consumo excesivamente altos dentro de las especificaciones, se asegura mediante esta tecnología que la capacidad para ceder energía en un corto espacio de tiempo es la más alta, no teniendo problemas de ningún tipo en los períodos de acción inalámbrica.



Figura 36. Batería de Plomo-Ácido

Además en consumos continuos, estas baterías son capaces de exprimir su capacidad al máximo, aunque no es recomendable para la vida útil de las mismas. Desde el sistema se podrá avisar en caso de encontrarse en un estado de deterioro apreciable de la batería, incluyendo porcentajes de capacidad, niveles de tensión y estimaciones de consumo medio si se estimara oportuno. De esta forma se puede garantizar que el sistema una vez avisado del deterioro percibido en las baterías no va a caer en un corto período de tiempo incluso en ausencia de generación de energía solar.

Características Batería

- Tensión nominal: 6v (3 celdas).
- Capacidad: 4Ah.
- Ciclo de carga:
 - Bulk: corriente máxima de carga 1.2A.
 - Absorción: tensión entre 7.2v - 7.4v.
 - Float: tensión entre 6.8v - 6.9v.
- Ecuilibración: tensión entre 7.2v – 7.5v.
- Peso: 0.69 Kg.
- Resistencia interna: Aprox 45m Ω .
- Terminales de conexión Faston.
- Medidas: 100mm x 70mm x 47mm.

5.2.2. Panel solar Fotovoltaico

Especificaciones Panel Fotovoltaico

En la elección del panel además de especificaciones eléctricas, han sido determinantes características funcionales y físicas que han acotado el rango de búsqueda del mismo. A continuación se resumen algunas de las mismas:

- Intensidad nominal: > 300mA.
 - En un día con buena radiación debe poder recargar al menos el 75% de la capacidad de la batería, unos 3Ah. Siempre la carga en el peor de los casos debe ser superior al máximo consumido por el sistema.
- Voltaje nominal: > 7.8v.

- Necesario para implementar todos los estados de carga en la batería, incluido la ecualización a 7.5v, teniendo en cuenta una caída en la circuitería de control de al menos 0.2v.
- Marco de aluminio
 - Se planteó inicialmente la posibilidad de colocar varios paneles en paralelo para conseguir especificaciones de corriente mayores a una misma tensión. Finalmente se optó por un único panel enmarcado, aportando robustez, simplicidad en las fijaciones y presencia, características con elevada prioridad en un demostrador fiable.

Especificaciones Panel seleccionado

Finalmente el panel elegido ha sido un módulo fotovoltaico de ATERSA A-5J 5w con las siguientes características eléctricas y físicas:

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

- Nº de células policristalinas 36.
- Potencia en prueba +/-8% 5 W.
- Corriente en punto de máxima potencia 0,35 A.
- Tensión en punto de máxima potencia 16,5 V.
- Corriente de cortocircuito 0,4 A.
- Tensión de circuito abierto 20,05 V.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

- Longitud 365 mm.
- Anchura 194 mm.
- Espesor 25 mm.
- Peso 1,1 kg.

El fabricante proporciona una mayor descripción del módulo referido, mostrada a continuación.

“Cada módulo está formado por un cristal con alto nivel de transmisividad. Cuenta con uno de los mejores encapsulantes utilizados en la fabricación de los módulos, el etil-viniloacetato modificado (EVA). La lámina posterior consta de varias capas, cada una con una función específica, ya sea adhesión, aislamiento eléctrico, o aislamiento frente a las inclemencias

meteorológicas. Además, el marco está fabricado con aluminio y cuenta con una capa externa de pintura que provee al perfil de una resistencia mucho mayor que el anodizado típico.

Gracias al sistema utilizado en los marcos de ATERSA, se ha conseguido aunar tanto el propósito de dar rigidez mecánica al laminado, cumpliendo todas las normas requeridas, así como un sistema fácil y rápido de montaje, que consigue reducir hasta 3 veces el tiempo necesario para la instalación de los módulos.

La caja de conexiones QUAD dispone de certificación TÜV Clase II 1000V y grado de estanqueidad IP 54, que provee al sistema de un buen aislamiento frente a la humedad e inclemencias meteorológicas, siempre y cuando se utilicen cables que estén certificados. La caja es capaz de albergar cables de conexión con un diámetro exterior desde 4,5mm hasta 10mm.”

5.2.3. Sistema Cargador

El elemento principal a diseñar e implementar en el marco del proyecto es el sistema cargador, encargado tanto de alimentar el nodo-router como de realizar los estados de carga y conservación de la batería, necesarios para obtener una ampliación de la vida útil de la misma así como el mayor estado posible de capacidad disponible.

En la imagen siguiente puede observarse el resultado final del diseño eléctrico del sistema.

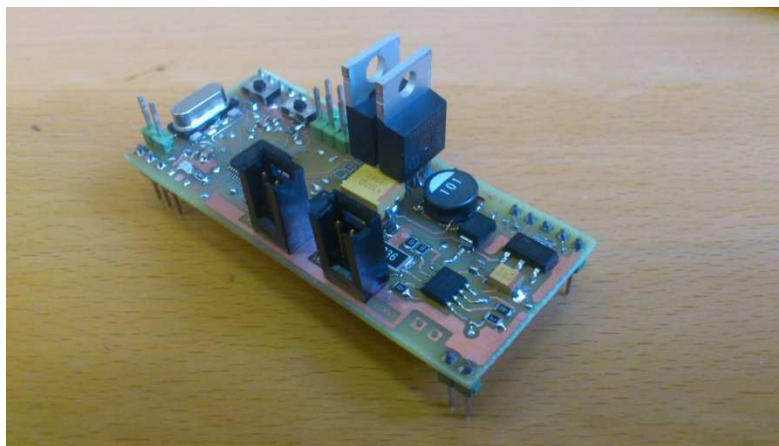


Figura 37. Sistema Regulador Electrónico

A continuación se muestra un esquema general del sistema implementado, remarcando entre líneas discontinuas los elementos que forman el regulador electrónico.

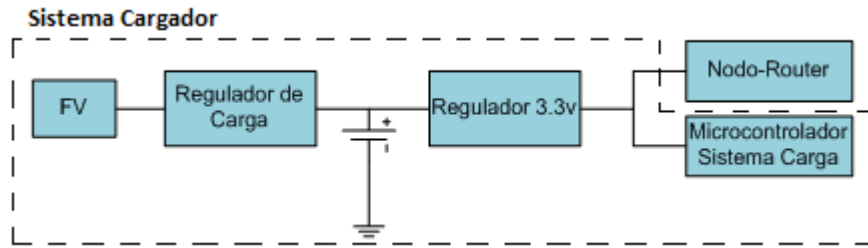


Figura 38. Estructura general de bloques

- **FV:** Representa la conexión de entrada del módulo fotovoltaico al sistema.
- **Regulador de Carga:** Es el bloque encargado de regular la potencia de entrada del módulo solar y adaptarla a cada uno de los estados del sistema, es decir, el mejor de los niveles de carga para la batería en función de su capacidad en cada instante.
- **Regulador 3.3v:** A partir de este regulador se alimenta tanto el nodo-router como los diferentes elementos del sistema electrónico encargados de realizar el control, entre los que se encuentran el microcontrolador o el OPAMP para la medición de las corrientes de carga y de consumo del sistema.
- **Nodo-Router:** Sistema al cual se dota de alimentación.
- **Microcontrolador Sistema de Carga:** Este bloque engloba la parte inteligente del sistema que se encarga de realizar el control, es decir, el microcontrolador junto con su etapa de reloj, reset, wake up, indicador led de carga completa, comunicación UART, J-tag y Driver PWM.

Diseño Hardware

En las siguientes figuras se muestran el diseño tanto del esquemático como del rutado pcb realizado en Altium Designer Summer 09, tras sucesivas versiones previas de prototipos.

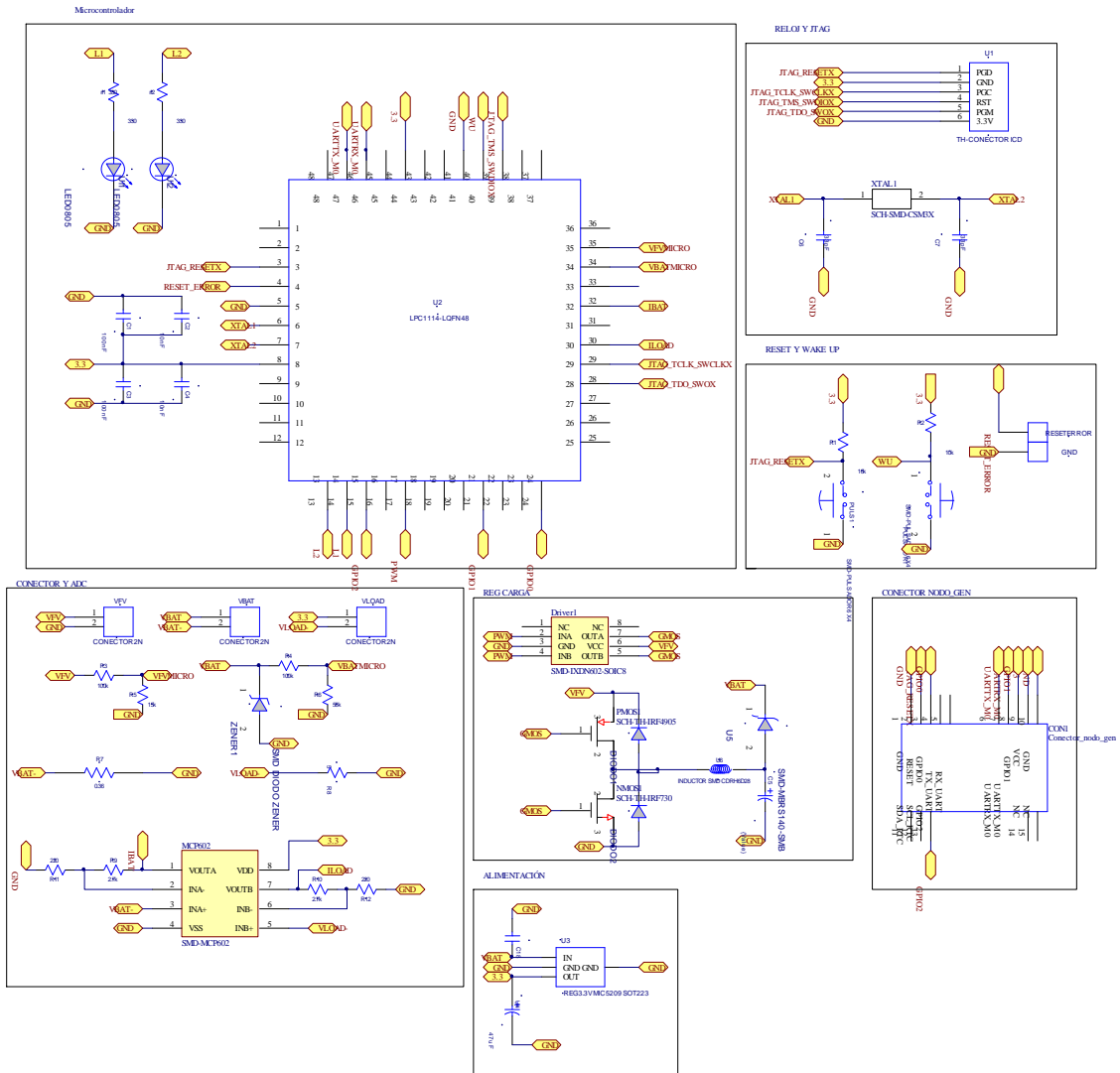


Figura 39. Esquemático del diseño Altium

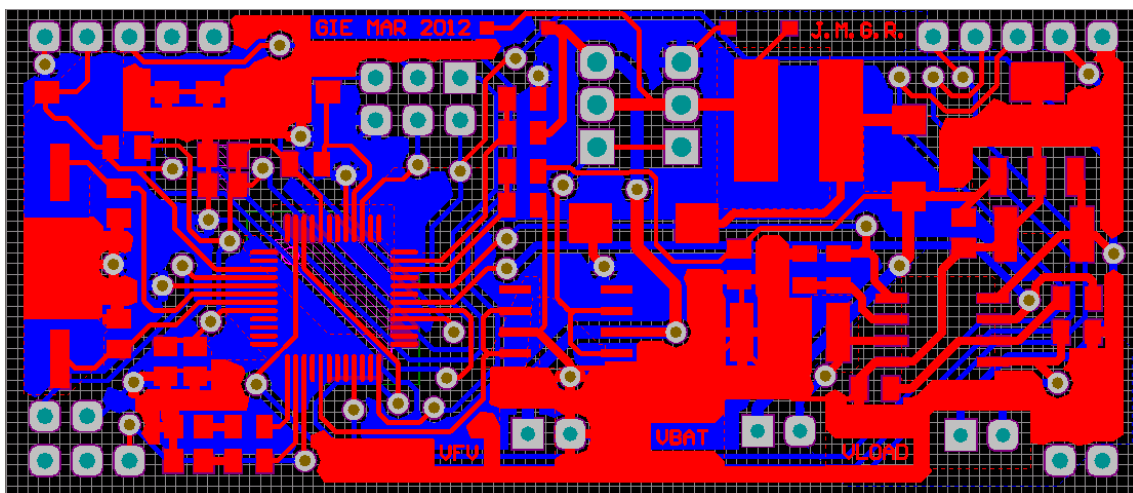


Figura 40. PCB del diseño en Altium

Seguidamente se muestra el listado de componentes usados en el diseño, lista obtenida de la BOM a partir de Altium, añadiendo el precio, tanto por unidad como extendido al número de componentes usados en el sistema.

Comment	Description	Designator	Footprint	LibRef	Quantity	Precio (€) x unidad	Precio (€) extend.
IRF730APBF	MOSN	MOSN	PCB TO220	TH-IRF730	1	1,54	1,54
IRF4905PBF	MOSP	MOSP	PCB TO220	TH-IRF4905	1	2,5	2,5
SMD-CAPACIDAD-CERAMICA	CAP0805	C1, C2, C3, C4, C6, C7, C18	SMD-CAPACIDAD-0805	SMD-CAPACIDAD-CERAMICA	7	0,02	0,14
SMD CAP TANT TC 7343	SMD CAP TANT TC 7343	C5	PCB SMD CAP TANT TC7343	SMD CAP TANT TC 7343	1	1,11	1,11
Conector_nodo_gen	PIN	CON1	PCB-Conector_nodo_gen	Conector_nodo_gen	1	0,32	0,32
SMD-IXDN602-SOIC8	DRIVER	Driver1	PCB SOIC-8	SMD-IXDN602-SOIC8	1	1,25	1,25
PIN	PIN	GND, RESETERORR	PCB-PIN	PIN	2	0,04	0,08
SMD-MCP602	OPAMP	MCP602	PCB SOIC-8	SMD-MCP602	1	0,51	0,51
SMD-PULSADOR 6X4	SMD-PULSADOR 6X4	PULS1, PULSADOR1	PCB-SMD-PULSADOR 6X4	SMD-PULSADOR 6X4	2	0,36	0,72
RES 0805 (2013) H0.65	RES 0805 (2013) H0.65	R1, R2, R3, R4, R5, R6, R8, R9, R10, R11, R12, r1, r2	RES 0805 (2013)	RES 0805 (2013) H0.65	13	0,01	0,13
RESISTENCIA	RESISTENCIA	R7	SMD-2512	RESISTENCIA	1	0,21	0,21
TH-CONECTOR ICD	TH-CONECTOR ICD	U1	PCB-CONECTOR ICD	TH-CONECTOR ICD	1	0,12	0,12
LPC1114-LQFN48	LPC1114-LQFN48	U2	PCB-LQFP48	LPC1114-LQFN48	1	2,54	2,54
REG3.3V MIC5209 SOT223	REG3.3V MIC5209 SOT223	U3	PCB-SOT223	REG3.3V MIC5209 SOT223	1	1,3	1,3
SMD-CAP	SMD-CAP	U4	PCB-CAP47UF	SMD-CAP	1	0,339	0,339
SMD-MBRS140-SMB	SMD-MBRS140-SMB	U5	PCB-SMD-MBRS140-SMB	SMD-MBRS140-SMB	1	0,4	0,4
INDUCTOR SMD CDRH6D28	INDUCTOR SMD CDRH6D28	U6	PCB SMD INDUCTOR CDRH6D2	INDUCTOR SMD CDRH6D28	1	0,43	0,43
LED0805	LED0805	UI1, UI2	CAP0805 (2012) H1.27	LED0805	2	0,08	0,15
CONECTOR2N	CONECTOR 2N	VBAT, VFV, VLOAD	PCB-CONECTOR2N	CONECTOR2N	3	0,17	0,51
SCH-SMD-CSM3X	CLOCK	XTAL1	PCB-SMD-CSM3X	SCH-SMD-CSM3X	1	0,34	0,34

Tabla 10. Lista de Componentes. BOM.

Se proporciona dicho dato en vistas de una futura posible comercialización del equipo, orientándolo a aplicaciones genéricas como regulador de carga fotovoltaico, aunque no es objeto de este proyecto.

Diseño Software

La implementación software se ha llevado a cabo mediante el uso del programa LPCXpresso de la empresa de microchips NXP, ya que el controlador usado ha sido el LPC1114F/302 perteneciente a la familia de microcontroladores Cortex M0.

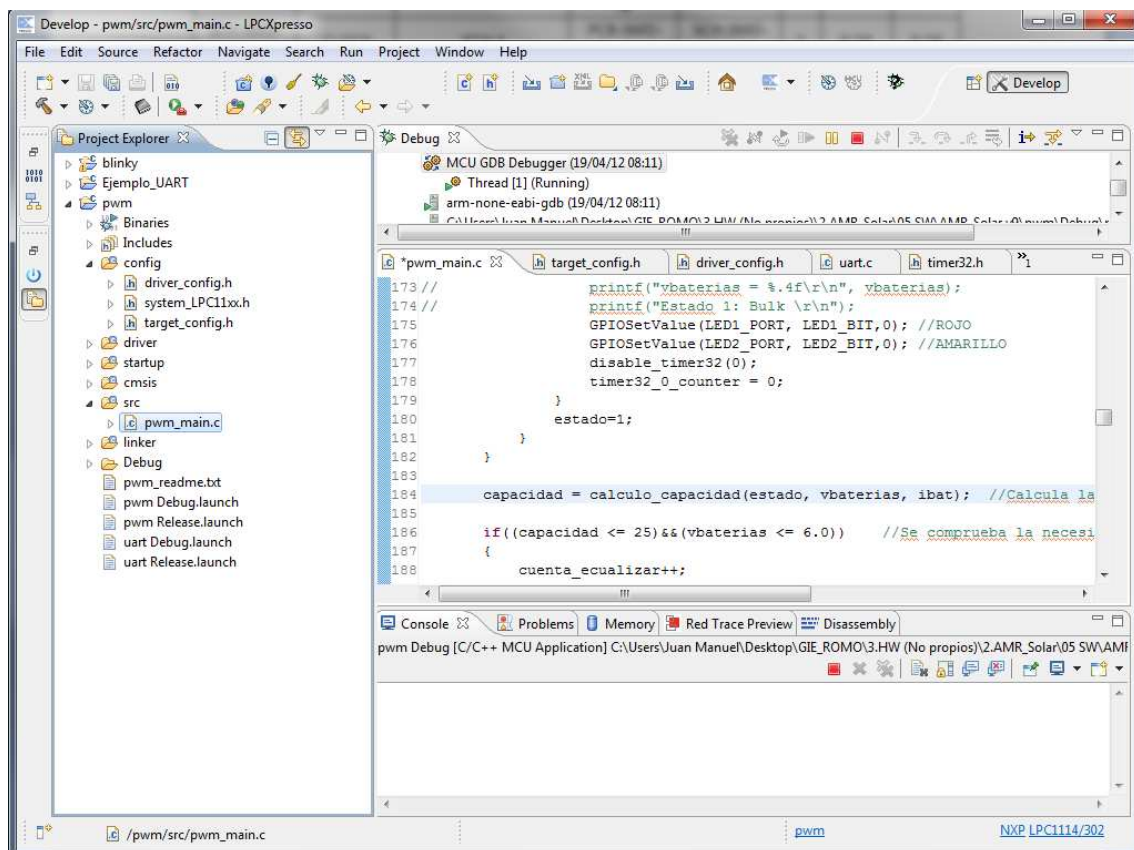


Figura 41. Entorno LPCXpresso

En la figura anterior puede verse el entorno de programación y depuración del código cargado en el microcontrolador.

- En la parte izquierda puede comprobarse la estructura de directorios que siguen los archivos necesarios para la formación del código.
- En la parte central-derecha superior se aprecia la pestaña “Debug” donde se arranca el depurador del código, pudiendo parar la ejecución mediante el botón de pause, resetear, incluir breakpoints, observar variables,...
- En el centro de la imagen está el código propiamente dicho, separados los archivos del mismo por pestañas.

- Y por último en la zona inferior se muestra la consola donde se ven los resultados de las compilaciones, impresiones por pantalla,...

Estructura del Código

Para la explicación de la estructura del código se comenzará incluyendo un sencillo diagrama de estados en el que se distinguen claramente los estados de carga de la batería y la equalización para la conservación de la misma.

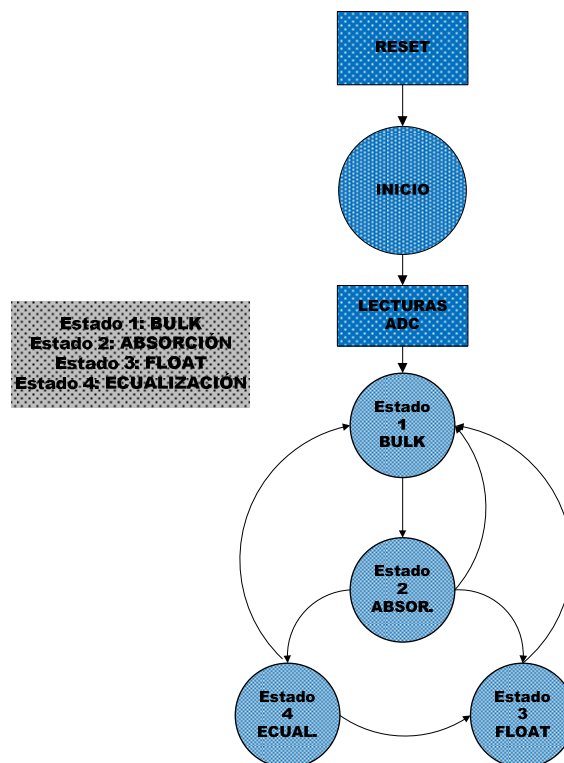


Figura 42. Diagrama de estados SW.

A continuación se explica con detalle lo realizado en cada uno de los estados en los que se puede encontrar el sistema.

- **Reset:** Representa la acción de inicio del programa, donde se comienza desde la primera línea de ejecución.
- **Inicio:** En este bloque se llevan a cabo las principales tareas asociadas a la preparación del código posteriormente desarrollado. Estas tareas se enumeran a continuación:
 - Inclusión de los archivos “.h” necesarios en el código.
 - Declaración de variables y etiquetas globales.
 - Iniciación de periféricos: UART, TIMER32, TIMER16, ADC y GPIO

- Por último se establece un valor inicial en el regulador de carga para un inicio seguro y se realiza una primera lectura del nivel de la batería.
- Lecturas ADC: Se realizan las conversiones analógico-digitales necesarias para mediante su correcta conversión obtener los siguientes valores:
 - VBAT: Tensión de batería.
 - IBAT: Corriente de carga de la batería.
 - VFV: Tensión del módulo fotovoltaico.
 - ILOAD: Corriente del Nodo-Router.

Tras realizar la primera parte del código se pasa a la implementación de los estados propiamente dichos, en los cuales se mantiene el sistema en las mejores condiciones posibles en ausencia o presencia de energía solar.

- **Estado 1. BULK:** Inyecta la mayor potencia posible de carga a la batería, limitando en corriente para proteger a la batería (en este caso no sería necesaria, ya que el panel nunca alcanzará 1.2A de corriente máxima).
 - Cambia al siguiente estado en caso de que la batería alcance 7.4v.
 - En este estado se añade un algoritmo de obtención del punto de máxima potencia del panel fotovoltaico (MPPT , Maximum Power Point Tracking), mediante el cual se intenta situar las condiciones eléctricas de cesión energética del panel en un punto óptimo de eficiencia, aportando la mayor cantidad de energía disponible en cada instante.

El algoritmo MPPT realiza una medición continua de la potencia cedida por el panel, moviendo el punto de potencia hacia arriba o abajo en función de si la potencia actual es mayor o menor que la anterior.

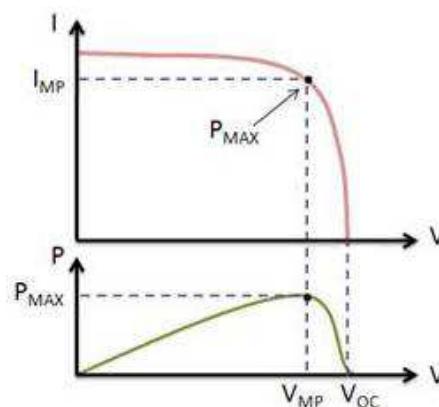


Figura 43. MPPT de un módulo fotovoltaico.

- **Estado 2. ABSORCIÓN:** En este estado se trata de mantener la batería a la tensión que heredó del estado BULK, limitando igualmente en corriente y completando la carga sin dañar (en tensión en este caso) la salud de la batería.
 - Se conmuta de estado cuando la corriente de carga baje hasta el nivel de FLOAT o mantenimiento, especificado en menos de un 5% de la capacidad de la batería, 170mA en este caso.
 - La otra posibilidad de conmutación de estado es que esté activada la señal de equalización y se pase a dicho estado una vez bajado la corriente de 200mA.
- **Estado 3. FLOAT:** Se pasa a cargar la batería a 6.8v continuos, completándose el último 5% de la capacidad de la batería y manteniéndola en un estado de salud que alarga la vida útil de la misma. Se considera al estado infinito siempre que exista energía solar.

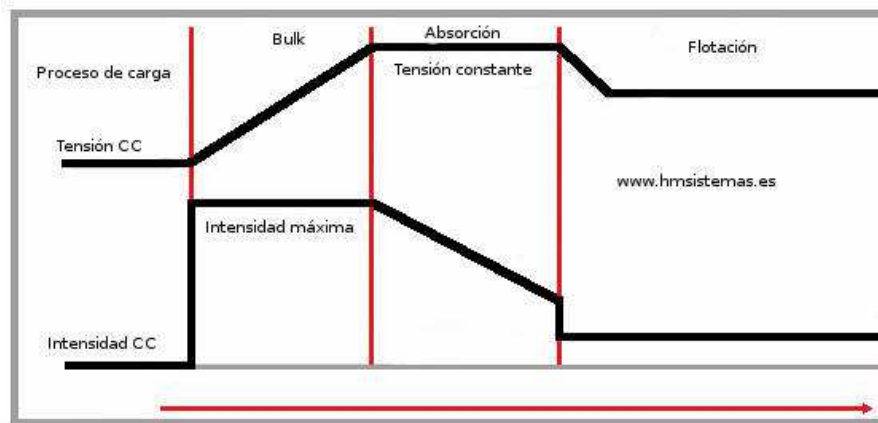


Figura 44. Característica I-V de un sistema de carga de Plomo.

- **Estado 4. ECUALIZACIÓN:** El último estado posible es el de equalización, estado en el que se entra en condiciones especiales de baja capacidad detectada. En este estado se pretende, en caso de que la energía solar lo permita, mantener durante 2 horas la batería en un estado de sobretensión, a unos 7.5v, reactivándose las células pasivadas de la misma, y teniendo un control exhaustivo de la corriente de carga de la misma, la cual no debe exceder los 200mA.
 - En caso de completarse las 2 horas correctamente conmutaría al estado 3 FLOAT, de mantenimiento.

Por último destacar 3 tareas que se realizan independientemente del estado en que se encuentre la batería, en cada iteración del bucle infinito:

- **Cálculo de Capacidad:** En cada iteración del bucle se hace hincapié en una función en la cual se estima, de forma aproximada, la capacidad restante de la batería, en función de 3 parámetros.
 - Estado de carga.
 - VBAT: tensión de batería.
 - IBAT: corriente de carga.
- **Comunicación UART Nodo-Router:** Se asocia el timer32(0) a dicha comunicación, configurado para que cada 15 minutos envíe una trama con el estado de capacidad de la batería calculado previamente. La trama es la siguiente:
 - 7E 00 01 XX FF.
 - 7E: Cabecera.
 - 00 01: Campos de longitud.
 - XX: Byte de capacidad.
 - FF: CRC inicialmente fijo para esta versión.

En posteriores versiones la comunicación podría englobar mayor tráfico, añadiéndose diferentes mejoras funcionales y posibilidades de gestión.

- **Ecuación:** Al no ser recomendable en la tecnología de baterías de plomo una gran descarga de la capacidad de la misma, se activa una variable en caso de que se sobrepase el nivel de 25% de la capacidad disponible. En ese caso en el siguiente ciclo de carga se conmutará del estado 2 de carga (ABSORCIÓN) al estado 4 (ECUALIZACIÓN) explicado anteriormente.

En cualquier caso cada 15 días como máximo (asociados al timer32(1)) , se llevará a cabo una ecuación de la batería, favoreciéndose la conservación de la misma, y de esta forma la vida útil, pudiendo alargarse esta hasta los 5-6 años a partir de su instalación.

5.2.4. Envoltente.

La envoltente seleccionada debe tener capacidad para albergar tanto el nodo-router como el sistema cargador de equipos electrónicos, y por otro lado los elementos de conexión y cableado y la batería. Además debe incluir protección suficiente como para resistir ambientes hostiles según su emplazamiento y los elementos pasantes necesarios para panel y antena.

Las características de la caja usada son las siguientes:

- CAJA, TAPA GRIS.
- Material: Polietileno.
- Color: Gris.
- Altura externa: 4.37" (111mm) .
- Anchura externa: 4.33" (110mm).
- Espesor externo: 7.09" (180mm).
- Rango de IP: 66.
- Temperatura máxima de operación: 70°C.



Figura 45. Caja SPELSBERG.

5.2.5. Elementos conectores

Como elementos conectores se necesitan al menos 3 de ellos más sus correspondientes latiguillos.

- Conector Panel fotovoltaico: conector Modus de 2 entradas.
- Conector Batería: conector Modus de 2 entradas.
- Conector Router: conector Modus de 2 entradas.

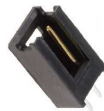


Figura 46. Conector MODU II.

Se ha ideado un sistema de conexión directa entre el sistema cargador y el nodo-router, mediante el conector habilitado para la comunicación UART, a través del cual se le puede proporcionar la alimentación a dicho nodo, sin necesidad de incluir el tercero de los conectores MODU citado anteriormente.



Figura 47. Conector JST para UART y Alimentación del nodo-router.

5.2.6. Elementos Pasantes

Se han de proveer a la caja de los elementos pasantes necesarios para hacer llegar la conexión del módulo fotovoltaico al sistema cargador y por otro lado sacar la antena, mediante su latiguillo, al exterior.

Esos pasantes deben ser lo suficientemente estancos como para asegurar el grado de protección IP 66 de la propia caja, y de esta forma proteger los componentes internos a la misma. Esta acción se realiza mediante pasa-muros.

5.2.7. Elementos de Fijación Internos.

Igualmente se han de proveer elementos de fijación interiores a la caja, los cuales doten de la robustez necesaria al conjunto interno de placa nodo-router, sistema cargador y batería.

Dicha sujeción se logrará mediante:

- Sistema de tornillos y tuercas.
- Velcro adhesivo.
- Cinta adhesiva de doble cara.
- Placa o Placa de ABS donde fijar el resto de elementos.

5.2.8. Elementos de Fijación de Envoltente.

Para la envoltente o caja se usará un sistema de fijación mediante un soporte atornillado a la misma y unas bridas metálicas que harán de sujeción a la farola.

En principio estos elementos de sujeción serán independientes a los seleccionados para la fijación del panel a la farola, quedando sólo sujetos a la conexión del módulo fotovoltaico a través del elemento pasante correspondiente de la caja.

5.2.9. Elementos de Fijación de Panel Fotovoltaico.

De la misma manera se deberá conectar el panel fotovoltaico a la farola, mediante bridas cilíndricas metálicas, añadiéndose en este caso un sistema de escuadras metálicas que den la inclinación deseada al módulo fotovoltaico, haciendo incidir sobre el mismo la mayor radiación luminosa posible a lo largo de un día soleado.

La inclinación tomada en emplazamientos estáticos suele estar en torno a la latitud del mismo, en el caso de Sevilla 37.23° , aunque al ser una instalación aislada (no de conexión a red) se puede proveer de una inclinación más adecuada a los meses de mayor actuación del sistema de menor radiación (invierno).

Para este proyecto concreto se ha llegado a una solución de compromiso. Por un lado la actividad de la red debe ser similar durante todo el año, independiente del consumo de agua que exista, la comunicación entre nodos debe mantenerse constante.

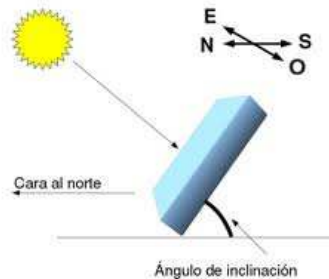


Figura 48. Ángulo de inclinación de un módulo fotovoltaico.

Por otro lado, teniendo en cuenta el gran cambio de la inclinación óptima en función de la estación meteorológica, hace que la elección de dicha inclinación sea complicada, primando la situación más desfavorable, invierno, donde las horas de sol son ampliamente reducidas, haciéndose crítico el ángulo dado al módulo fotovoltaico. Es por ello que se opta por añadir entre unos 5° y unos 10° más a la latitud dada, recomendación de la mayoría de los fabricantes para una mejor captación en invierno, resultando finalmente un ángulo de inclinación en torno a 45° .

6. Sistemas Autónomos. Desarrollo N°2

6.1. Antecedentes y Objetivo

Este desarrollo se enmarca dentro de un proyecto de detección de fugas de gases en una central termo-solar, la cual usa un aceite especial “HTF” formado fundamentalmente por difenilo y óxido de bifenilo en su estado gaseoso, sustancias ambas derivadas del benceno.

Para la detección de dichas fugas de gases se desarrolló un multi-sensor basado en la detección de temperatura, humedad relativa y un sensor específico sensible a gases fundamentalmente derivados del benceno. De esta forma se dotaba al sistema de un monitoreo de información interesante desde varios puntos de vista para el normal funcionamiento de la central.

El modo de operación en este caso no contemplaba el bajo consumo en los dispositivos, ya que aunque se estipulara un tiempo de envío entre medidas, era necesario estar despierto continuamente por si se producía una alarma de gas o temperatura en el entorno del campo de medición.

Como además se antojaba imposible el uso de alimentación cableada, se procedió a la implementación del sistema de alimentación solar de cada uno de los nodos, exceptuando el concentrador formado por el coordinador de la red y la pasarela de datos, los cuales iban emplazados en la isla de potencia de la central, donde se dispone de alimentación.



Figura 49. Imagen Ilustrativa Montaje

6.2. Consumo de los nodos

A continuación se detalla el consumo del prototipo desarrollado, tanto el teórico, como real medido en el laboratorio.

- Teórico

Se estima un consumo teórico en funcionamiento en un nodo sensor en función de la electrónica seleccionada de:

- Sensores	60	mA
- Electrónica	46.8	mA
<hr/>		
TOTAL TEÓRICO NODO SENSOR	106.823	mA

- Real

Tras mediciones experimentales en el laboratorio, se ha podido determinar el consumo por separado de algunos componentes en adaptaciones individuales previamente realizadas, observando que estos valores son equiparables a los datos teóricos proporcionados por los distintos fabricantes, se procede a la medición del consumo del nodo sensor completo.

- Consumo de los nodos 1 y 3 (3 zonas de multisensores)

En esta zona se producen conmutaciones entre sensores cada 80 seg.

Tienen un consumo medio de 94.3 mA medido con un amperímetro en serie con la carga.

Muestreando la caída mediante una “resistencia de shunt” de 0.1 ohmios a la entrada del nodo, y representándolos en el tiempo, se observan en la gráfica los altibajos correspondientes a los tiempos tras un reset y tras unos cambios de zona multisensórica (cada 80 seg), situaciones donde el consumo difiere del medio proporcionado por el amperímetro.

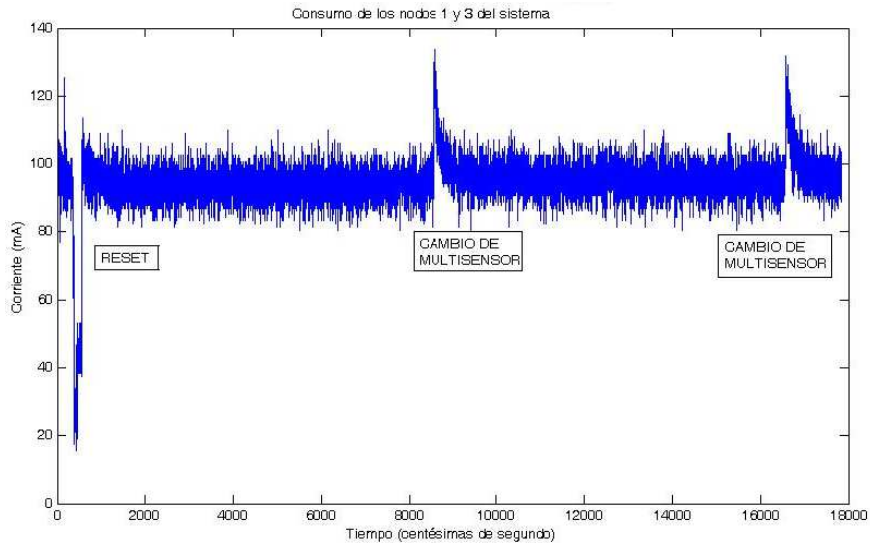


Figura 50. Consumo de los nodos 1 y 3.

- Consumo de los nodos 2 y 4 (4 zonas de multisensores)

Tienen un consumo medio de 93.7 mA, prácticamente igual que el anterior.

Se observan en la gráfica los altibajos correspondientes a los tiempos tras un reset y tras unos cambios de zona multi-sensórica (en este caso cada 60 seg).

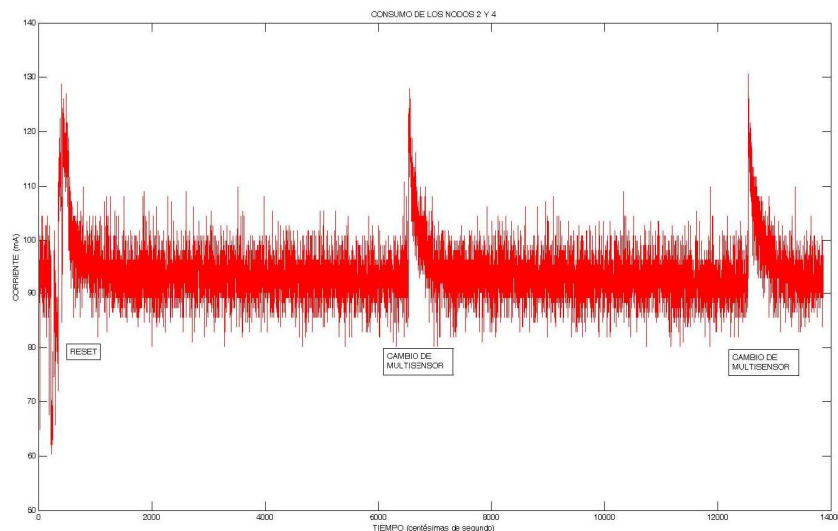


Figura 51. Consumo de los nodos 2 y 4.

Una vez conocidos los consumos reales se podrá realizar un dimensionamiento fotovoltaico adecuado para la aplicación.

Se va a considerar un consumo de **95 mA** por nodo para los cálculos posteriores.

6.3. Dimensionamiento fotovoltaico

Para el correcto dimensionamiento es necesario realizar el cálculo del consumo/día que se va a tener. El consumo de la placa nodo sensor es:

Aparato	Potencia unitaria	Horas de funcionamiento al día	Total de energía necesaria	Energía total tras aplicar MS=20% y $\eta=95\%$
1 x Placa nodo sensor	95 mA x 6 v = 0.57 W	24 h/día	13.68 Wh/día	17.28 Wh/día

Tabla 1. Tabla de consumos.

Con los datos de esta “Tabla de consumos” se obtiene el consumo medio diario de la instalación al que se le ha aplicado un 20% como margen de seguridad recomendado. Se debe también tener en cuenta que en la instalación habrá pérdidas por rendimiento de la batería y esto influye en la energía necesaria final. Por ello, para el buen dimensionamiento, se aplicó también un rendimiento de la batería de un 95%.

6.3.1. Datos del lugar donde se realizará la instalación

Una vez calculado el consumo, se buscan los datos de radiación solar global en el emplazamiento del sistema, utilizando PVGIS, que es una aplicación online gratuita:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Aportando la información necesaria se consiguen los siguientes resultados:

Situación geográfica: 37°48'25" Norte, 5°6'6" Oeste, elevación 93 m.

Ángulo óptimo de inclinación: 34°.

Tabla de radiación media diaria por mes e inclinación:

Mes	H(30) Wh/m ² day	H(40) Wh/m ² day	H(50) Wh/m ² day	H(60) Wh/m ² day	H(34) Wh/m ² day
Enero	3880	4190	4390	4470	4010
Febrero	4280	4490	4590	4570	4380
Marzo	5620	5710	5650	5450	5670
Abril	5490	5360	5090	4720	5450
Mayo	6450	6110	5620	5020	6330
Junio	6700	6240	5650	4940	6540
Julio	6600	6190	5650	4980	6450
Agosto	6350	6120	5750	5230	6280
Septiembre	5740	5750	5600	5320	5760
Octubre	4980	5170	5230	5160	5070
Noviembre	3660	3900	4040	4080	3760
Diciembre	3510	3610	3790	3880	3450
Media anual	5260	5240	5090	4820	5270

Tabla 2. Energía diaria disponible procedente de la radiación solar.

Observando los datos de la tabla, se elige el mes con la energía más baja y con el peor ángulo, es decir, Diciembre y 60° (aunque no sea el peor de los casos como sería Diciembre a 34°, esto sirve para evitar un excesivo sobredimensionamiento), obteniéndose 3880 Wh/m²día.

6.3.2. Dimensionado del generador fotovoltaico

Horas pico de sol del mes crítico (HPS)	$3880/1000 = 3.88$
Potencia de pico del panel (P_{MPP})	5 W
Factor global de funcionamiento (PR)	90%
N_T	$17.28/(3.88*0.90*5) = 0.9897 \Rightarrow 1$
Tensión máxima del panel	12 V
N_{serie}	$6/12 = 0.5 \Rightarrow 1$
$N_{paralelo}$	$N_T/N_{serie} = 1$
Número total de paneles	$N_{serie} * N_{paralelo} = 1$ panel por nodo

Tabla 3. Dimensionamiento de los paneles solares.

Con un panel solar de 5W, con una tensión nominal de 12V sería suficiente por cada nodo.

6.3.3. Dimensionado del sistema de acumulación

Tensión nominal de la instalación	6 V
Tensión nominal de las baterías	6 V
Profundidad de descarga máxima estacional	70%
Días de autonomía	2 días
Capacidad de las baterías según el fabricante	? (a determinar)
Capacidad necesaria de almacenamiento	$(17.28*2)/(0.7*6) = 8.23 \text{ Ah}$

Tabla 4. Dimensionamiento de las baterías.

Se necesitaría un sistema de baterías de en torno a 6V (tensión nominal de las pruebas) que posean capacidad de 8.23 Ah para asegurar una autonomía de 2 días sin radiación solar alguna.

6.3.4. Sistema de generación de energía

Se selecciona finalmente el siguiente panel solar de la empresa Atersa de 5w:

<http://www.tutiendasolar.es/dwn/atersa10p-20p.pdf>

En el enlace que se adjunta pueden verse las principales características técnicas del panel solar seleccionado, tanto especificaciones eléctricas como físicas.

Se decide finalmente por emplear dos paneles solares en paralelo de 5W (obteniéndose 10W) para la generación de energía necesaria de cada nodo sensor inalámbrico, ya que tras las pruebas en laboratorio y la incertidumbre con la ubicación final aconsejaban dicha precaución.

Además, se ha colocado un diodo antes de la entrada positiva de energía de cada nodo como protección frente a corrientes inversas y sobretensiones.



Figura 52. Panel fotovoltaico de 5W de Atersa

- Diodo rectificador 1N4007

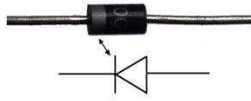


Figura 53. Diodo 1N4007

Características básicas:

- | | |
|---|--------------------|
| - Corriente Continua Máxima Directa | 1A. |
| - Corriente Inversa de Pico | 0.005mA. |
| - Dimensiones | 2.7 x 5.2 x 2.7mm. |
| - Temperatura de Funcionamiento | -50 °C - +150 °C. |
| - Transitorios de corriente directa no repetitiva de pico | 0.045kA. |

6.3.5. Sistema Autónomo Instalado

Para cumplir con la necesidad de almacenamiento de energía y con las capacidades requeridas, se han utilizado dos tipos diferentes de tecnologías de baterías, de forma que se testeaban en el demostrador la respuesta de ambas. Se han instalado dos nodos sensores con baterías de plomo-ácido y otros dos nodos con celdas de níquel-metalhidruro.

De esta forma se puede llegar a determinar si tras un periodo de pruebas y funcionamiento continuado es conveniente reemplazar un tipo de baterías por otro, más idóneo para esta aplicación.

Concretamente son:

- Batería Plomo ácido RS 6V 4Ah



Figura 54. Batería Plomo 6v 4Ah

- 6 Celdas en serie de NiMH VHT 7/5 Cs de SAFT batteries



Figura 55. Celda de NiMH 1.2v 4Ah

Finalmente los problemas resultantes del sistema de alimentación fueron independientes del tipo de batería, luego se aprueban ambas tecnologías de almacenamiento como válidas, resultando como parámetros a tener en cuenta el tamaño, precio y la duración o tiempo de vida.

6.3.6. Dimensionado fotovoltaico

Con los sistemas de generación y almacenamiento de energía instalados se han cubierto las necesidades de autonomía del nodo sensor. Sin embargo, dando un paso más allá, se pretende ajustar aquí el tiempo de funcionamiento específico de esta parte del demostrador.

- Consumo sobredimensionado del nodo sensor: 17.28 Wh/día
- Generación de energía:
 - Se proporcionan 10W con los dos paneles empleados.
 - Conociendo la eficiencia de los paneles (90%), las horas pico sol (3.88) en el peor mes (Diciembre) y en el ángulo colocado (35°), se consigue **34.92 Wh/día**.
 - Por lo tanto, se podrían alimentar hasta **dos nodos sensores** con el sistema de generación utilizado, siempre que las condiciones de instalación lo permitieran claro.
- Almacenamiento de energía:
 - Se proporcionan 4Ah con las baterías seleccionadas, tanto las de plomo como las de NiMH.
 - Conociendo la profundidad de descarga de las baterías (70%), el consumo de un nodo sensor (17.28 Wh/día) y la tensión nominal de las baterías (6V), se consigue una autonomía de **0.97 días**. Normalmente, las baterías ofrecen tensiones algo superiores a la nominal, por lo que se logra perfectamente una autonomía de los nodos sensores de **1 día completo** sin carga desde los paneles. Además se verifica dicho resultado con pruebas en laboratorio.

7. Sistemas Autónomos. Desarrollo N°3

7.1. Antecedentes y Objetivo

Este desarrollo energético se engloba en un proyecto de medición de las condiciones de calidad del agua en determinados ríos, destinado principalmente a cauces fluviales situados en América del Sur, donde existen civilizaciones que aprovechan el agua que transcurre por el propio río para sus quehaceres domésticos.

Respecto al sistema de alimentación del sistema completo, se pretende dotar de la máxima autonomía energética utilizando las energías renovables disponibles, considerando las condiciones extremas tanto de humedad, como de posibilidad de impactos, golpes y vaivén del agua.

Se optó por la utilización de un sistema de alimentación fotovoltaico para dotar de autonomía al conjunto debido a las características de la zona donde se instalará el demostrador.

7.2. Esquema general del sistema de alimentación

En la figura de abajo se indica la arquitectura del sistema de alimentación desarrollado para el proyecto de Monitorización en tiempo real y on-line de la calidad de las aguas en cuencas hidrográficas.

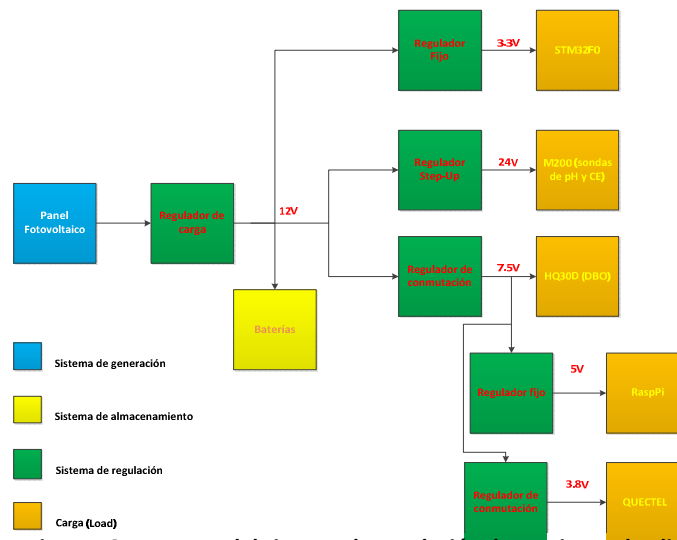


Figura 56. Esquema del sistema de regulación de tensiones de alimentación.

En la imagen anterior puede observarse la necesidad de adaptar diferentes niveles de tensión desde una misma fuente de generación fotovoltaica, debido a la distinta naturaleza de sensores, electrónica y equipos que conforman el sistema de monitoreo.

7.3. Cálculos de dimensionamiento energético

A continuación se detalla el cálculo de dimensionamiento del sistema, desgranando cada uno de los dispositivos o equipos que requieren de alimentación.

- Estimación del consumo.

Dispositivo	Potencia unitaria	Horas de funcionamiento al día	Total de energía necesaria	Energía total tras aplicar MS y η
M200 + Cond(4) + pHsense	120mA x 24V = 2.88W	1.6 h/día	4.61 Wh/día	5.82 Wh/día
HQ30D + Sonda de DBO	110mA x 7.5V = 0.825W	1.6 h/día	1.32 Wh/día	1.67 Wh/día
Quectel M72	216mA x 3.8V = 0.82W	1.6 h/día	1.31 Wh/día	1.65 Wh/día
Raspberry Pi Model-B Plus	275mA x 5V = 1.38W	1.6 h/día	2.21 Wh/día	2.79 Wh/día
Microcontrolador STM32F05 + Regulador LM2596	50mA x 3.3V = 0.165W	24 h/día	3.96 Wh/día	5 Wh/día
Reguladores (LM2596 + LM2586 + 7805) + Relé	40mA x 12v = 0.48W	1.6 h/día	0.77 Wh/día	0.97 Wh/día
Totales	6.55 W		14.18 Wh/día	17.9 Wh/día

Tabla 11. Tabla de consumos.

Al igual que en el anterior desarrollo, a partir de esta tabla de consumos se obtiene el consumo medio diario de la instalación aplicándose un 20% como margen de seguridad recomendado. De la misma forma se tiene en cuenta que en la instalación habrá pérdidas por rendimiento de la batería y esto influye en la energía necesaria final. Por ello, para un buen dimensionamiento, se aplica un rendimiento de la batería de un 95%.

- Datos del lugar donde se realizará la instalación.

Una vez calculado el consumo, se buscan los datos de radiación solar global en Sevilla, localización donde se procederá a la demostración.

Localización: Sevilla 37°24'14" Norte, 5°59'48" Oeste, elevación 7 m.

Ángulo de inclinación: 50°.

Tabla de radiación media diaria por mes e inclinación en Sevilla:

Mes	H(50) Wh/m2day	Mes	H(50) Wh/m2day
Enero	4680	Julio	6410
Febrero	5430	Agosto	6660
Marzo	5950	Septiembre	6350
Abril	5940	Octubre	5780
Mayo	5890	Noviembre	5150
Junio	6090	Diciembre	4550
Media anual		5740	

Tabla 12. Valores mensuales de irradiación solar en Sevilla.

Observando la tabla, se elige el mes con la energía más baja, Diciembre, con 4550 Wh/m2día.

- Dimensionado del generador fotovoltaico.

Horas pico de sol del mes crítico (HPS)	$4550/1000 = 4.55$
Potencia de pico del panel (P_{MPP})	5 W
Factor global de funcionamiento (PR)	90%
N_T	$17.9/(4.55*0.9*5) = 0.87 \Rightarrow 1$
Tensión máxima del panel	16.5 V
N_{serie}	$12/16.5=0.73 \Rightarrow 1$
$N_{paralelo}$	$N_T/N_{serie} = 1 \Rightarrow 1$
Número total de paneles	$N_{serie} * N_{paralelo} = 1 \text{ panel de } 5W$

Tabla 13. Dimensionamiento de los paneles solares.

- Dimensionado del sistema de acumulación.

Tensión nominal de la instalación	12 V
Tensión nominal de las baterías	12 V
Profundidad de descarga máxima estacional	70%
Días de autonomía	2 días
Capacidad necesaria de almacenamiento	$(17.9*2)/(0.7*12) = 4.26 \text{ Ah}$
Número de baterías	1 batería de 12V y capacidad superior a 4.26 Ah

Tabla 14. Dimensionamiento de las baterías.

- Dimensionado del regulador.

Se debe calcular cuál es la corriente máxima que puede soportar el regulador tanto a su entrada como a su salida.

Corriente de cortocircuito ($I_{MOD,SC}$)	0.4 A
Consumo de energía	1.44 Ah/día
Horas pico de sol del mes crítico (HPS)	$4550/1000 = 4.55$
Corriente que se debe generar ($I_{GFV,MOD}$)	$1.49/4.55 = 0.328 \text{ A}$
Corriente máxima del panel ($I_{MOD,MPP}$)	0.35 A
N_{paralelo}	$0.328/0.35 = 0.94 \Rightarrow 1 \text{ rama}$
Corriente de entrada al regulador	$1.25*N_{\text{paralelo}}*0.4 = \mathbf{0.5 \text{ A}}$
Consumo en DC	6.55 Watt
Corriente de salida del regulador	$1.25*6.55/12 = \mathbf{0.68 \text{ A}}$

Tabla 15. Dimensionamiento del regulador.

Conclusiones

Según los cálculos realizados anteriormente serían necesarios:

- 1 panel fotovoltaico de 5W.
- 1 batería de 12V y de capacidad superior a 4.26 Ah para una autonomía de dos días.
- 1 regulador de al menos 680 mA.

7.4. Sistema de generación de energía

Debido a las necesidades de alimentación que existen en el proyecto de monitorización de calidad de las aguas, el método más adecuado para la generación de energía es mediante placas solares fotovoltaicas.

Esta tecnología está bastante desarrollada y ofrece multitud de soluciones que abarcan un amplio rango de energía, más que suficientes para el proyecto, una vez conocidas las necesidades reales de energía del mismo.

De nuevo la solución de generación se cubrió con un panel solar de 5w de Atersa, con las siguientes características técnicas:

- Panel solar Atersa



Figura 57. Panel solar de 5W de Atersa.

Características eléctricas	
Potencia nominal	5 W
Corriente máxima	0.35 A
MPPT	16.5 V
Corriente de cortocircuito	0.4 A
Tensión a circuito abierto	20.05 V
Características físicas	
Dimensiones	365 x 194 x 25mm
Peso	1.1 kg
Número de células	36
Caja de conexiones	Quad IP54
Rango de funcionamiento	
Temperatura de funcionamiento	-40°C – 85 °C
Máxima tensión del sistema/protección	1000 V
Precio	39 €

Tabla 16. Especificaciones del panel solar.

7.5. Sistema de almacenamiento

Debido a las necesidades de acumulación de energía del proyecto (en torno a 4.26 Ah), el abanico de posibles tecnologías de almacenamiento es alto, ya que al no ser una gran capacidad existe la posibilidad de incluir baterías de NiMH o Litio, que representan un aumento en el coste, pero mayor densidad de carga, menor tamaño y más capacidad de integración.

Se ha seleccionado finalmente una pila de ión-litio. Las baterías de **litio** tienen mejores prestaciones que otras tecnologías de baterías, sin embargo, su elevado precio es una desventaja importante.

Las baterías de **NiMH** también son válidas, aunque su precio también es superior a las de plomo-ácido, pero están diseñadas y son empleadas fundamentalmente en aplicaciones de baja potencia con menores ciclos de descarga.

A continuación se indican algunos ejemplos comerciales con diferentes características:

- Batería de Ión Litio 4S2P

El paquete de baterías de ión litio estándar de Ansmann se basa en las baterías 18650. Placa de seguridad integrada. Adecuadas para la mayoría de las aplicaciones industriales.

Capacidad	4500 mAh
Dimensiones	73 x 71 x 38 mm
Rango de temperatura	-20 – 60 °C
Tensión nominal	14.8 V
Tipo de conexión	Hilo de conexión
Precio	116.62 €

Tabla 17. Especificaciones de la batería 4S2P.



Figura 58. Batería de litio 4S2P.

- Batería de Ión Litio NTA2717

Capacidad	4400 mAh
Dimensiones	70 x 78 x 43 mm
Rango de temperatura	-10 – 60 °C
Tensión nominal	14.8 V
Precio	98.70 €

Tabla 18. Especificaciones de la batería NTA2717.



Figura 59. Batería de litio NTA2717.

7.6. Sistema de regulación

En el proyecto MONICA se encuentran múltiples dispositivos y cada uno de ellos tiene unas necesidades de alimentación diferentes. Por lo tanto, se ha diseñado una etapa de regulación acorde a dichas necesidades.

Se parte de una tensión de entrada para todo el sistema de 12V (proporcionada por los paneles fotovoltaicos y las baterías). Estos 12V deben ser adaptados a los siguientes niveles de tensión:

- **24V**

Para elevar la tensión de entrada de 12 a 24V se utilizó un regulador step-up **LM2586** ajustable.

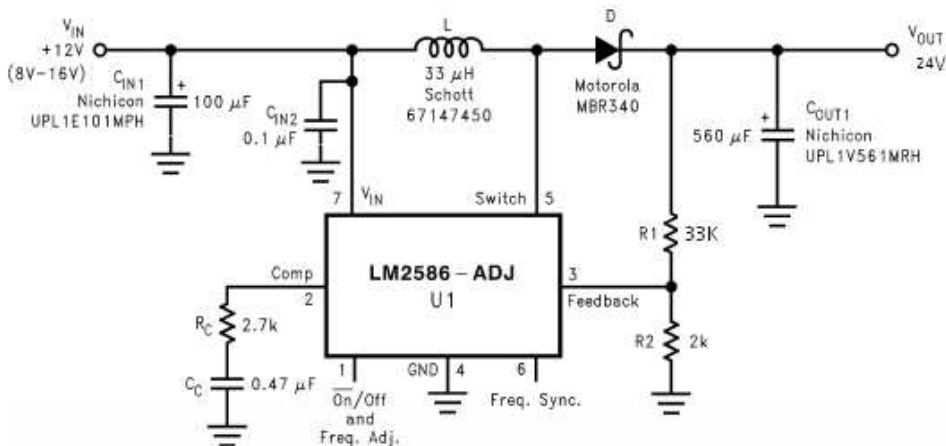


Figura 60. Circuito +12V - +24V Boost Regulator.

Características del LM2586S:

Voltaje de entrada máximo:	40V.
Frecuencia de conmutación:	100KHz.
Voltaje de salida:	Ajustable.
Corriente de salida:	3A.
Estilo de montaje:	SMD.
Empaquetado:	TO-263-7.
Marca:	Texas Instruments.
Rango de temperatura de operación:	-40°C - +85°C.

- **7.5V**

Para bajar la tensión de entrada de 12V a 7.5V se utilizó un regulador **LM2596S** ajustable.

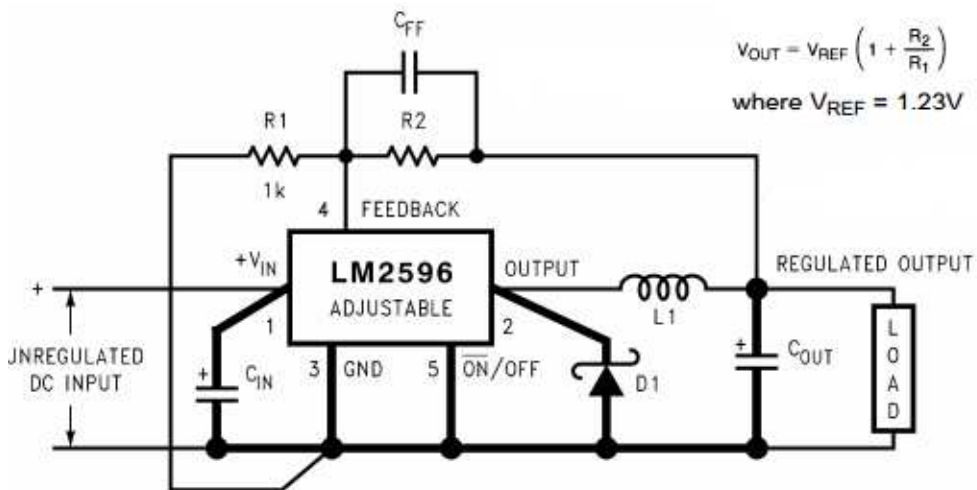


Figura 61. Circuito de tensión de salida ajustable para el LM2596S.

Características del LM2596S:

Voltaje de entrada máximo:	40V.
Frecuencia de conmutación:	173KHz.
Voltaje de salida máxima:	37V.
Corriente de salida máxima:	3A.
Estilo de montaje:	SMD.
Empaquetado:	TO-263.
Marca:	Texas Instruments.
Rango de temperatura de operación:	-40°C - +125°C.

- **5V**

Para conseguir la tensión de alimentación de 5V se utilizó el regulador **LM7805**. De esta manera, se adaptó desde los 7.5V obtenidos anteriormente hasta los 5V.

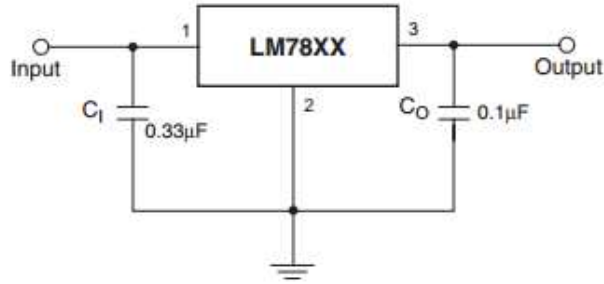


Figura 62. Circuito de tensión de salida para el LM7805.

Características del LM7805:

Voltaje de entrada máximo:	35V.
Voltaje de salida:	5V.
Corriente de salida máxima:	2.2A.
Estilo de montaje:	Through hole.
Empaquetado:	TO-220.
Marca:	Fairchild Semiconductor.
Rango de temperatura de operación:	-40°C - +125°C.

- **3.8V**

De igual forma, mediante el mismo circuito para 7.5V pero con otros valores de resistencias, se adaptó con otro **LM2596S** la tensión de entrada de 7.5V a 3.8V, tensión de suministro necesaria para el módulo GPRS.

Tras llevar a cabo el desarrollo por separado de cada uno de los circuitos expuestos y comprobar su correcto funcionamiento, se pasó a la implementación de las etapas de regulación completas en la misma PCB del prototipo.

En la parte superior derecha se muestra el bloque de las etapas de regulación citadas, desarrolladas en la electrónica final implementada como solución del proyecto.

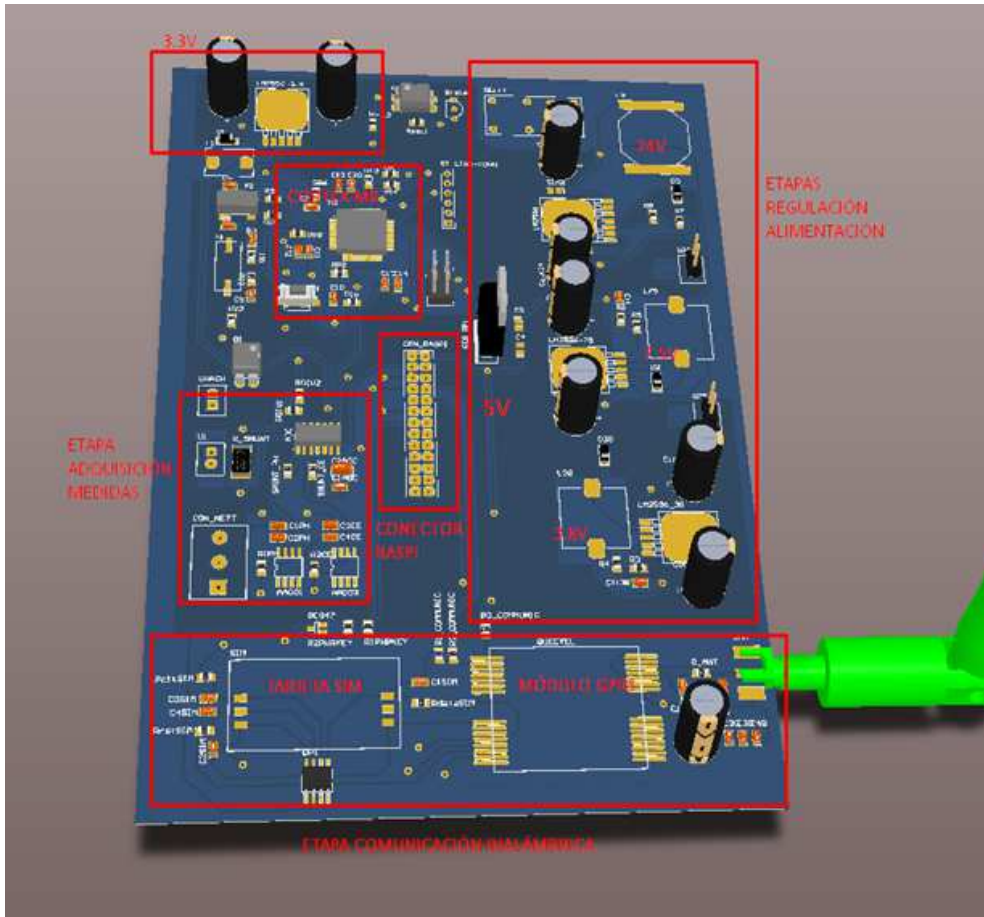


Figura 63. PCB del Prototipo MONICA.

7.7. Carga

La carga se corresponde a los equipos y dispositivos del sistema MONICA que son los consumidores de energía. Aunque ya se ha hecho referencia a ellos cabe enumerarlos a modo de resumen. Dichos equipos son:

- Raspberry Pi (5V).
- Módulo GPRS Quectel M72 (3.8V).
- Medidor M200Easy + Sondeas de conductividad y pH (24V).
- Medidor HQ30D + Sonda de DBO (7.5V).
- Conjunto de reguladores.

7.8. Soporte del sistema de protección

Se dispone de un sistema mecánico que va a permitir la fijación de la estación remota en el cauce del río y además, la va a proteger del agua y de las condiciones ambientales desfavorables.

Se ha dividido el sistema mecánico en tres partes:

- Plataforma.
- Anclaje o fijación.
- Envoltorio de la estación remota.

La idea de montaje se muestra a continuación:

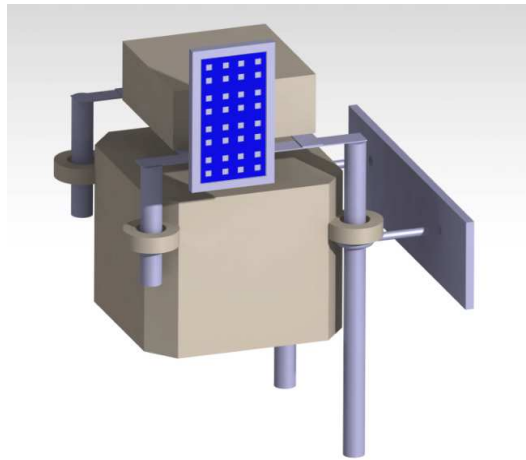


Figura 64. Diagrama general del montaje del sistema.

Una vez implementado todo el sistema se deberá comprobar el correcto funcionamiento de la estación, tanto en medición, autonomía y comunicación. A continuación se muestra el dispositivo montado en laboratorio, preparado para su instalación en campo, en este caso se instalará en las inmediaciones de la esclusa de la Autoridad Portuaria de Sevilla, reduciendo el riesgo de robos o daños provocados por factores externos.



Figura 65. Prototipo en Laboratorio

8. Sistemas Autónomos. Desarrollo N°4

8.1. Antecedentes y Objetivo

Las circunstancias de este proyecto se consideran algo más agresivas, en el sentido en que se requiere mucha más potencia para la alimentación de los equipos a implantar en el sistema.

Se trata de elementos de señalización luminosa en carreteras, cámaras digitales de procesamiento de imagen, sensores de diversa índole, pasarelas de información y nodos de comunicaciones inalámbricas.

El sistema de alimentación tiene la estructura general típica, basada en hasta 4 bloques: generación, regulación, almacenamiento y carga (load).

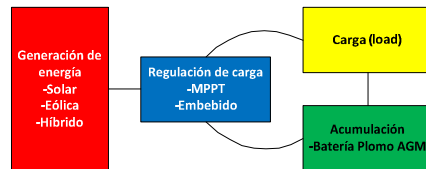


Figura 66. Arquitectura general del sistema de alimentación

Además por la variedad de puntos del sistema, ya sean de medición o de actuación, el dimensionamiento podrá diferir mucho, de pasar de uno como los anteriores vistos de en torno a 5w de potencia de generación, a otro con potencias de 180w-200w. En el primero sólo iría un sensor o un actuador con la electrónica asociada y en el segundo podrían ir conjuntamente cámaras de procesamiento, router, salida GPRS o 3G.

8.2. Consumos Dispositivos

En el sistema de señalización indicado se diferenciará entre varios tipos de nodos, a definir a posteriori, atendiendo a:

- Los componentes que se utilicen en cada clase de nodo.
- La ubicación de un nodo.
- La funcionalidad del nodo.
- El consumo energético del nodo.

Es fundamental que este último punto esté definido antes desarrollar la tecnología requerida para dotar de autonomía al sistema completo. De esta manera se podrá dimensionar la generación de energía, almacenamiento y regulación necesaria.

En la siguiente tabla se puede observar la multitud de dispositivos que pueden formar un punto de alimentación, la complejidad del diseño global del sistema, y lo difícil de una correcta elección de la ubicación de los mismos.

- Dimensionamiento energético previo

Dispositivo	Consumos de corriente (máximos)	Consumos de energía (funcionando 20 horas/día)	Capacidad de almacenamiento (1 día autonomía)
Baja-Media Potencia			
CC2538	34 mA	2.83 Wh/día	337 mAh
CC1125	37 mA	3.08 Wh/día	367 mAh
MSP430	9.6 mA	0.8 Wh/día	95 mAh
Quectel M72	216 mA	20.74 Wh/día	2469 mAh
BeagleBone Black	460 mA	58.1 Wh/día	6917 mAh
Sensor de IR	6 μ A (despreciable)	0 Wh/día	0 mAh
Sensor de luminosidad	5 mA	0.42 Wh/día	50 mAh
Radar	80 mA	24.25 Wh/día	2887 mAh
Cámara	80 mA	10.11 Wh/día	1204 mAh
Sensor de estado de la vía	16 mA	2.02 Wh/día	240 mAh
Giróscopo	6.1 mA	0.5 Wh/día	60 mAh

Alta Potencia			
Señalización Luminosa	1 A	76.2 Wh/día	9240 mAh

Tabla 19. Dimensionamiento de energía para los dispositivos del proyecto NTSICA.

Por tanto, como se puede apreciar en la tabla, la mayoría de los nodos emplearán dispositivos que presentan un consumo pequeño. Sin embargo, en los puntos de nodos actuadores y señales luminosas, se precisa de una mayor generación y almacenamiento de energía.

8.3. Dimensionamiento fotovoltaico

Las señales luminosas se complementan con un panel solar y batería inherente a la compra de la misma, luego el dimensionamiento necesario se reduce a los dos tipos de puntos de sensorización comentado. A continuación se resumen los elementos que habrá en dichos puntos de sensorización y el consumo estimado total.

- Consumo del sistema.

Detección y procesado			
Sensores	3 x Cámara Logitech C920	Detección de movimiento y seguimiento facial	
Control de Sensores	3 x BeagleBone Black		
Comunicación inalámbrica			
Nodo coordinador	Transceiver CC1125	802.15.4 (868 MHz)	
	Microcontrolador MSP430		
Pasarela	BeagleBone Black	GPRS	
	Quectel M72		
Interfaces de comunicación entre componentes			
Cámara – BeagleBone		Ethernet	
CC1125 – MSP430		UART	
MSP430 – BeagleBone		UART	
BeagleBone – Quectel		UART	
Beaglebones control - Hub		Ethernet	
Hub - BeagleBone Pasarela		Ethernet	
Energía			
Dispositivos	Consumos	Tensiones de alimentación	Consumo Total Sobredimensionado
3 x C920	3 x 50 mA	5 V	204 Wh/día
4 x BeagleBone	4 x 250 mA	5 V	
CC1125	37 mA	3.3 V	
MSP430	9.6 mA	3.3 V	
M72	216 mA	3.8 V	
Panel Solar	1 panel de 180W		
Batería	Plomo 12v y superior a 80 Ah		
Regulador	Mosfet		

Tabla 20. Tabla de consumos PS1

- Datos del lugar donde se realizará la instalación.

Una vez calculado el consumo, de nuevo se buscan los datos de radiación solar global en Sevilla, localización donde se procederá a la demostración, utilizando el PVGIS, que es una aplicación online gratuita:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Aportando la información necesaria se consiguen los siguientes resultados:

Localización: Sevilla 37°24'14" Norte, 5°59'48" Oeste, elevación 7 m.

Ángulo de inclinación elegido: 40°.

Tabla de radiación media diaria por mes e inclinación en Sevilla:

Mes	H(40) Wh/m2day	Mes	H(40) Wh/m2day
Enero	4450	Julio	7110
Febrero	5280	Agosto	7130
Marzo	6010	Septiembre	6510
Abril	6260	Octubre	5700
Mayo	6420	Noviembre	4890
Junio	6800	Diciembre	4280
Media anual		5900	

Tabla 21. Tabla de radiación media diaria.

Observando los datos de la tabla, se elige el mes con la energía más baja, Diciembre. Y con 40°, se obtiene una radiación de 4280 Wh/m2día.

- Generador de energía.

Horas pico de sol del mes crítico (HPS)	$4280/1000 = 4.28$
Potencia de pico del panel (P_{MPP})	180

Factor global de funcionamiento (PR)	90%
N_T	$204/(4.28*0.9*180) = 0.29 \Rightarrow 1$
Tensión máxima del panel	35.16 V
N_{serie}	$12/35.16 = 0.34 \Rightarrow 1$
$N_{paralelo}$	$N_T/N_{serie} = 1 \Rightarrow 1$
Número total de paneles	$N_{serie} * N_{paralelo} = 1$ panel de 180W

Tabla 22. Dimensionamiento del generador fotovoltaico.

Se escoge un panel de 180w del cual ya se dispone para pruebas y desarrollo, previendo además un posterior aumento del consumo estimado, al ser el punto de sensorización donde se ubiquen el resto de sensores ambientales del sistema.

- Sistema de acumulación.

Tensión nominal de la instalación	12 V
Tensión nominal de las baterías	12 V
Profundidad de descarga máxima estacional	70%
Días de autonomía	1 días
Capacidad necesaria de almacenamiento	$(204*1)/(0.7*12) = 25$ Ah

Tabla 23. Dimensionamiento de las baterías.

- Regulador de carga.

Corriente de cortocircuito del panel ($I_{MOD,SC}$)	8.69 A
Consumo de energía	25Ah/día
Corriente que se debe generar ($I_{GFV,MOD}$)	$25/4.28 = 5.84$ A
Corriente máxima del panel ($I_{MOD,MPP}$)	8.41 A
$N_{paralelo}$	$42/8.41 = 5$ ramas
Corriente de entrada al regulador	$1.25*8.69 = 10.86$ A
Consumo en DC	180 Watt
Corriente de salida del regulador	$1.25*180/24 = 9.35$ A

Tabla 24. Dimensionamiento del regulador.

8.4. Sistema de generación de energía

Debido a las necesidades de alimentación que existen en el proyecto de señalización inteligente, el método apropiado de generación de energía es mediante placas solares fotovoltaicas.

Otras fuentes de energía que tienen su origen en tecnologías de energy harvesting (RF, vibraciones, gradientes de temperatura, ...) se descartan al no estar suficientemente desarrolladas a día de hoy para llegar a obtener dichos niveles de potencia.

El sistema base de placas fotovoltaicas podría contar con el apoyo de mini-aerogeneradores. Esta forma alternativa o complementaria de generar energía podría llegar a ser la fuente primaria de generación en caso de que los paneles solares resultasen insuficientes para la aplicación concreta de este proyecto.

Sin embargo, un sistema híbrido de placas solares y mini-aerogeneradores es el sistema óptimo de generación, pues, los generadores eólicos paliarían las carencias de suministro energético de las placas solares frente a las malas condiciones ambientales y durante la noche.

A continuación se exponen algunos ejemplos comerciales, de forma que se elegirá en función del precio llegado el momento en que estén determinadas las necesidades en cuanto a generación del proyecto:

- Paneles solares

Esta tecnología está bastante desarrollada y ofrece multitud de soluciones que abarcan un amplio rango de energía, más que suficientes para el proyecto de señalización inteligente una vez conocidas en gran medida las necesidades reales de energía del mismo.

Seguidamente se muestra un ejemplo de panel solar de Pairan de 185W **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, disponible en laboratorio para realizar pruebas y desarrollos, aunque resta calcular el dimensionamiento necesario definitivo y comprobar si con dicho panel se satisface.



Figura 67. Panel Solar Pairan 185w

Características eléctricas:

- Potencia nominal:	185W.
- Corriente máxima (Imp):	5.27A.
- MPPT:	35.16V.
- Corriente de cortocircuito:	5.7A.
- Tensión de circuito abierto:	44.38V.

Características físicas:

- Dimensiones:	1580 x 808 x 45mm.
- Peso:	15.5kg.
- Área:	2.05m ² .
- Caja de conexiones:	MC-4 o compatible.

Rango de funcionamiento:

- Temperatura de funcionamiento:	-40 – 85 °C.
- Máxima tensión del sistema/protección:	1000V.
- Carga máxima de viento/nieve:	130 Km/h y 551 Kg/m ² .

Precio: 399 €.

- Aerogeneradores

Las turbinas eólicas, como ya se ha comentado, están diseñadas principalmente para la generación de miles de vatios, aunque también existen mini-aerogeneradores más acordes a las necesidades del proyecto, sin llegar a ser de la potencia nominal justa.

Para la realización del proyecto y el desarrollo del mismo se ha adquirido igualmente un aerogenerador y se ha instalado en laboratorio. La turbina eólica Fulmatic 910-4.



Figura 68. Turbina eólica FM910-4.

Tensión nominal	12V
Potencia	150W
Peso	13.1Kg
Viento de inicio	2.6m/s
Protección al viento	16m/s
Diámetro de las aspas	910mm

Tabla 25. Especificaciones de la turbina eólica FM910-4.

- Sistema híbrido solar-eólico

Otra posibilidad es usar varios métodos de captación de energía para conseguir aumentar ésta. La combinación de dos o más métodos de captación de energía puede ser la solución ideal en el caso en el que se necesite más potencia que la entregada por un único método, además la iluminación de los paneles de señalización debe ser mayor en los periodos de noche, en los que no se genera radiación solar, y la capacidad estimada de batería se vería reducida.

8.5. Sistema de almacenamiento de energía

Debido a las necesidades de acumulación de energía del proyecto NTSICA (en torno a 25 Ah a falta de confirmación de equipos), lo más conveniente es utilizar baterías recargables de plomo.

Se descartan las baterías de ión-litio por su elevado precio. Las baterías de NiMH también son descartadas, más que por su precio (superior igualmente a las de plomo-ácido), porque están diseñadas y son empleadas fundamentalmente en aplicaciones de menor potencia.

Por lo tanto, dentro de la elección de baterías de plomo, la mejor opción entre las de gel y las AGM, es esta última. Destacando una serie de cualidades de las baterías AGM frente a las de gel como son: su menor precio, mayor rango de temperaturas soportado, mayor resistencia a golpes y mejor para aplicaciones de potencia elevada.

La tecnología de las baterías de plomo AGM está muy desarrollada, esto permite encontrar en el mercado una gran variedad de marcas comerciales con un sinfín de capacidades y tensiones nominales a elegir según los requerimientos de cada sistema, permitiendo utilizar una sola batería o un número mayor de ellas conjuntamente.

A continuación se indican algunos ejemplos comerciales con diferentes características:

- Batería AGM RS 20 Ah y 12v

Aplicaciones típicas de este tipo de baterías son: señales aéreas, sistemas de alarma y seguridad, automoción, equipos de comunicación, fuentes de alimentación dc, aparatos electrónicos, fuente de alimentación de respaldo de emergencia, iluminación de emergencia, EPS, señales de ferrocarril, UPS.



Figura 69. Batería RS 12v 20Ah

- Batería Ritar AGM de 260Ah y 12V

Se vieron en principio necesidades de consumo bastante más elevadas, en caso de que fuera necesario se dan un par de ejemplos estudiados para tales capacidades.

Convenientes para usos que conllevan una alta intensidad de descarga, tales como inversores, propulsores y motores de arranque. Muy útil en aplicaciones tales como: energías renovables, energía solar, sistemas de energía solar fotovoltaica aislada.

Buena "disposición" para suministrar elevadas corrientes, soportan descargas profundas, admiten elevadas corrientes de carga con la consiguiente reducción del tiempo espera, no "derraman".

Cómoda y segura: sistema especial de ventilación segura y controlada, clasificación como batería no peligrosa para tráfico terrestre, marítimo y aéreo.

- Tensión nominal: 12V.
- Capacidad nominal: 260Ah.
- Dimensiones: 350 x 167 x 183 mm.
- Precio: 354 €.



Figura 70. Batería Ritar AGM 260Ah

- Batería Ritar AGM de 130Ah y 12V (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

Aplicaciones típicas como: automoción, cajas registradoras, equipos de comunicación, equipos informáticos, equipos de control, equipos cinematográficos, equipos geofísicos, equipos marítimos, equipos médicos, herramientas eléctricas, equipos de seguridad, sistemas de energía solar, equipos de pruebas

Tensión nominal: 12V.

Capacidad nominal: 130Ah.

Peso: 35.5 Kg.

Dimensiones: 225 x 407 x 177 mm.

Precio: 234.95 €.



Figura 71. Batería Ritar AGM 130Ah

8.6. Regulación

La tecnología de reguladores de carga se encuentra también muy desarrollada, ofreciendo distintas posibilidades a la hora de realizar una correcta elección entre PWM, MPPT, que ofrecen un determinado control optimizado para cada una de las acciones de control, o de sistemas embebidos que te permiten programar la gestión de forma concreta al tipo de batería o de sistema que se requiera alimentar.

En principio, los reguladores MPPT son más adecuados que los PWM para este proyecto, ya que presentan una serie de ventajas sobre ellos como son: mejor rendimiento y eficiencia, mayores amperajes y mejor sensibilidad a crecimientos de los sistemas. Sin embargo, esto se traduce en un tamaño mayor y un precio más caro por lo general.

Por otro lado, se encuentran los reguladores embebidos diseñados a medida para cada aplicación. A continuación se desarrolla el regulador implementado para esta aplicación:

- Regulador embebido GIE

Desde el grupo de investigación se tiene experiencia en el desarrollo de cargadores embebidos de sistemas doblemente autónomos, tanto a nivel de alimentación como de comunicaciones (inalámbricas), todos ellos destinados normalmente a niveles más bajos de potencia, pero con capacidad de ser adaptados, alcanzándose niveles de regulación de en torno a 150w en estos momentos.

8.6.1. Diseño HW

La implementación HW del Regulador se muestra a continuación, en concreto el diseño PCB del mismo. Seguidamente se muestra una imagen ilustrativa de dicho regulador funcionando en pruebas de laboratorio.

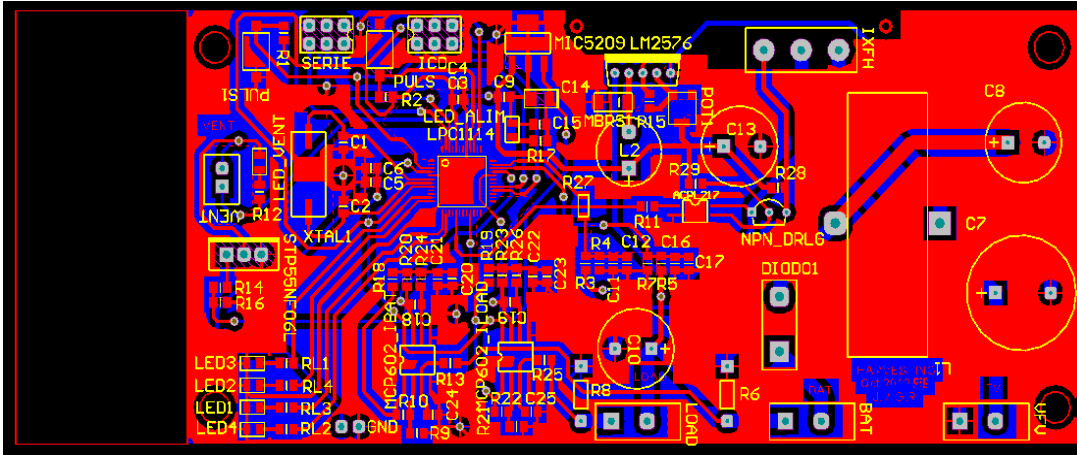


Figura 72. PCB Regulador Embebido

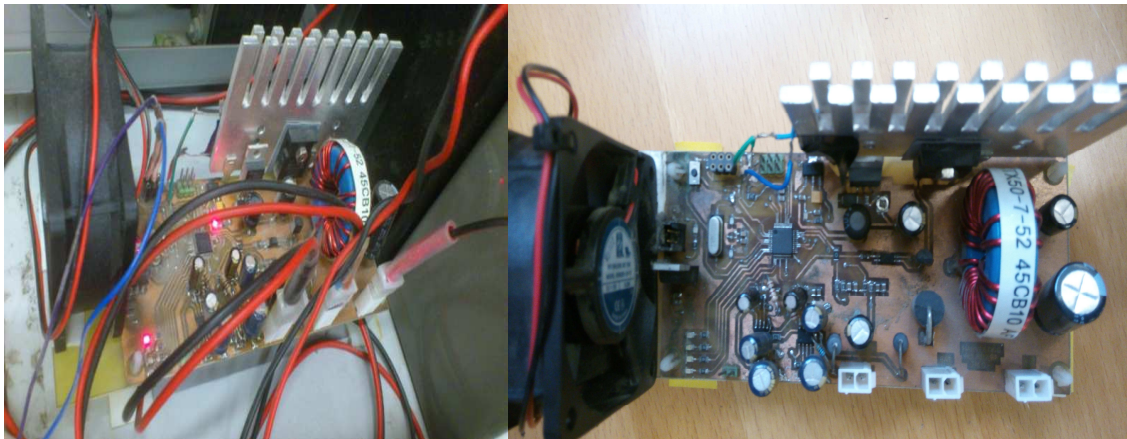


Figura 73. Regulador Embebido GIE

El regulador fotovoltaico está formado por los siguientes bloques:

- **Microcontrolador:** Es el bloque más importante del sistema. Realiza la gestión del conjunto, se encarga de recabar la información que llega de los canales analógicos de entrada y gestionar en función de dicha información, la inyección de carga que se inyecta desde el sistema de generación de energía a las baterías.

Además realiza acciones como el control del ventilador en función de la NTC que lleva incorporado el disipador, envía por una comunicación serie los datos de estado del sistema, o enciende los leds de estado en función de los mismos.

- **Adquisición:** Es el bloque formado por la electrónica necesaria para medir tanto tensiones de baterías, panel o carga, como corrientes de carga de baterías, o de alimentación de carga.

Para la medición de la corriente se realiza un filtrado h de la medida mediante el siguiente circuito implementado con el programa Filter Pro.

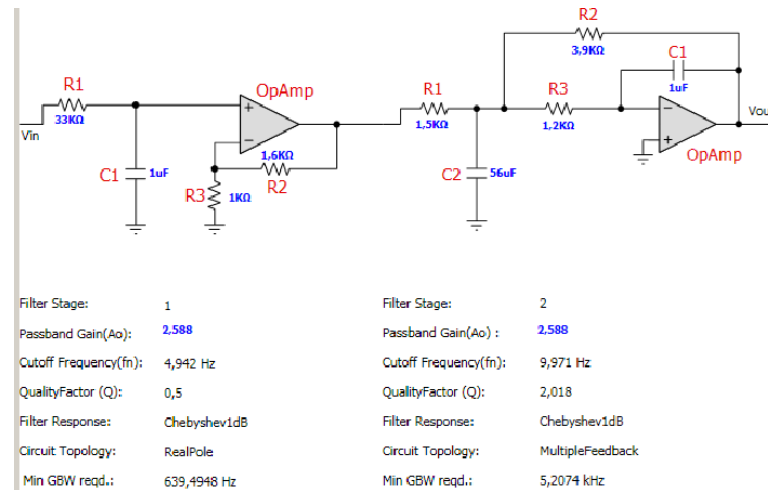


Figura 74. Filtro Baja Frecuencia

Para el caso de las mediciones de tensión se usa un divisor resistivo con estabilización del valor de entrada mediante un filtrado capacitivo.

Además se implementa un filtrado SW basado en la media de las últimas N=100 medidas muestreadas, estabilizándose aún más el valor mostrado por la interfaz serie, y facilitando la operación del microcontrolador para las conmutaciones de estados de carga de las baterías.

Estos filtrados fueron necesarios sobre todo tras el método de testeo que se seleccionó. Para aprovechar de alguna forma los consumos derivados de la generación de energía renovable se ha usado como carga un SAI en modo inversor, al cual se le ha colocado una regleta con un puesto de trabajo conectado: portátil, pantalla y alimentador de Hub-USB.

Debido a la conversión del filtrado a 50Hz las medidas variaban mucho, y la estabilización de las mismas se consiguió tras ambos filtrados HW y SW.

- **IGBT-Potencia:** El elemento que realiza las conmutaciones de inyección de carga comandadas por el microcontrolador es un IGBT de alta potencia, al cual se le adhiere un disipador de calor, que junto con una NTC que indica la temperatura a la que se encuentra, accionan un ventilador. Además del IGBT cabe destacar dentro de este bloque la bobina y condensador de filtrado de la inyección de carga hacia las baterías, así como el diodo schottky de protección y el diodo rectificador para evitar el camino de vuelta de la corriente.
- **Ventilador:** Encargado de refrigerar el sistema en función de los valores dados por una NTC integrada en la placa. Se acciona mediante un transistor que proporciona la

corriente necesaria para su funcionamiento, algo superior a 100mA, aunque necesaria para el correcto funcionamiento del resto de dispositivos. La propulsión del ventilador es hacia el sistema, en caso de integrarse dicho sistema en una envolvente la propulsión sería a la inversa, facilitando la circulación de aire e intercambiando continuamente el aire interior a la envolvente.

- **Bloque de estado:** Es el formado por los leds de estado del sistema y la interfaz serie de comunicación que muestra por pantalla los valores más representativos medidos por el sistema, así como el estado concreto de carga y la capacidad de la batería.

8.7. Carga (load)

La carga del sistema se corresponde con las necesidades de consumo conjuntas de todos los componentes del sistema de señalización inteligente (paneles de señalización, microcontroladores, sensores, etc). Cada uno de estos sistemas, ya sean de forma independiente o conjunta requerirá de un sistema de alimentación propio, formado por generación, regulación de carga y batería.

Como ya se ha comentado, el regulador se ha probado con los dos sistemas de generación adquiridos.

Por un lado ha estado proporcionando alimentación a un puesto de trabajo durante varios meses mediante el conjunto panel solar 24v, regulador, baterías y SAI a modo inversor. En esta prueba se forzó el regulador a 24v, se probó la colocación de dos baterías de 12v en serie, siendo incluso de diferentes fabricantes, sin daño aparente. Además se mejoraron los sistemas de adquisición de medida, estabilizándolos, el control de la temperatura del IGBT, el accionamiento del ventilador,...

Como segunda prueba, más enmarcada en el ámbito de disponer de otra fuente de generación alternativa a la solar, por si los requerimientos lo exigían, se ha desarrollado pruebas a través de la turbina eólica de 12v-150w, testeando el regulador a otro nivel de tensión, probando la carga correcta mediante energía eólica y posibilitando en un futuro la integración de ambos sistemas en un sistema híbrido propio desarrollado en el grupo.

9. Sistemas Autónomos. Desarrollo N° 5

9.1. Antecedentes y Objetivos

Cambiando drásticamente en cuanto a necesidades de consumo, potencias de recolección o tecnologías, el siguiente desarrollo que se muestra se denota un marcado carácter investigador.

En él se presenta la recolección de energía a través de las ondas RF que se encuentran en el ambiente.

Ya se ha visto en el estado del arte que la cantidad de energía generada mediante esta tecnología es bastante baja y todavía poco práctica o más bien útil para los consumos que se tienen actualmente, pese a que estos cada vez son más óptimos y los modos de operación más eficientes.

A continuación se desglosa el trabajo llevado a cabo para el testeo de un módulo de Powercast de generación a través de ondas de RF centradas en una determinada banda.

9.2. Diseño HW

Componentes fundamentales:

- Módulo de recolección P2110.
- Supercondensador BZ013B503ZSB.

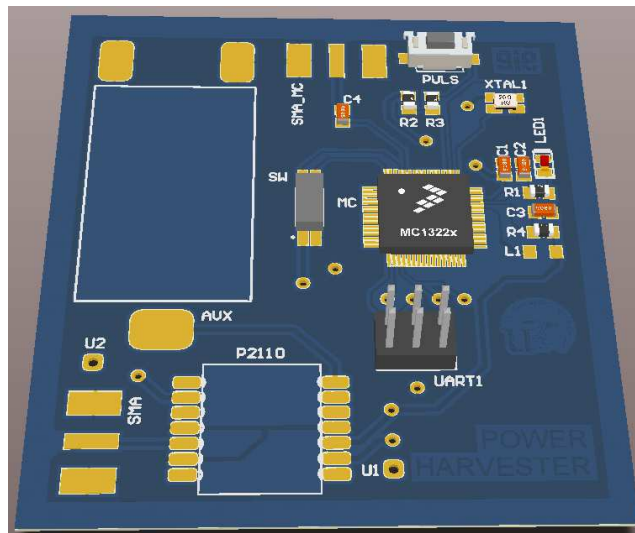


Figura 75. Diseño PCB. Imagen 3D

En la anterior imagen se observa el diseño HW llevado a cabo para testear el módulo de generación RF, con el acumulador súper-condensador recomendado por el fabricante.

9.3. Prueba de Concepto

Como puede verse en las siguientes imágenes no se ha llegado a soldar la parte de microcontrolador aún, ya que las pruebas hasta ahora han sido mediante la posibilidad de encender un led, como prueba de concepto básica.



Figura 76. Prueba de Concepto generación RF

Se hicieron pruebas con varios dispositivos de comunicaciones inalámbricas disponibles en laboratorio, sin resultados satisfactorios que hicieran al menos que se encendiera el led de testeo.

Por especificaciones debería ser más susceptible a cargar el súper-condensador en la banda de GSM-900, concretamente entre 902 MHz y 928 MHz, sin embargo usando dispositivos cercanos a dicha banda, en torno a 868MHz no se conseguía excitar el led.

Sin embargo, a 446 MHz, mediante la acción de un Walkie-Talkie, se consiguió activar el led durante varios segundos, en torno a 4-5 segundos, demostrando una capacidad generada bastante alta para las expectativas creadas.

Pese a ser a una frecuencia diferente a la banda sensible dada por el fabricante, se presupone una mejor respuesta por la mayor potencia de emisión del dispositivo walkie-talkie usado, respecto a los Transceiver de 868MHz probados.

10. Sistemas Autónomos. Desarrollo N°6

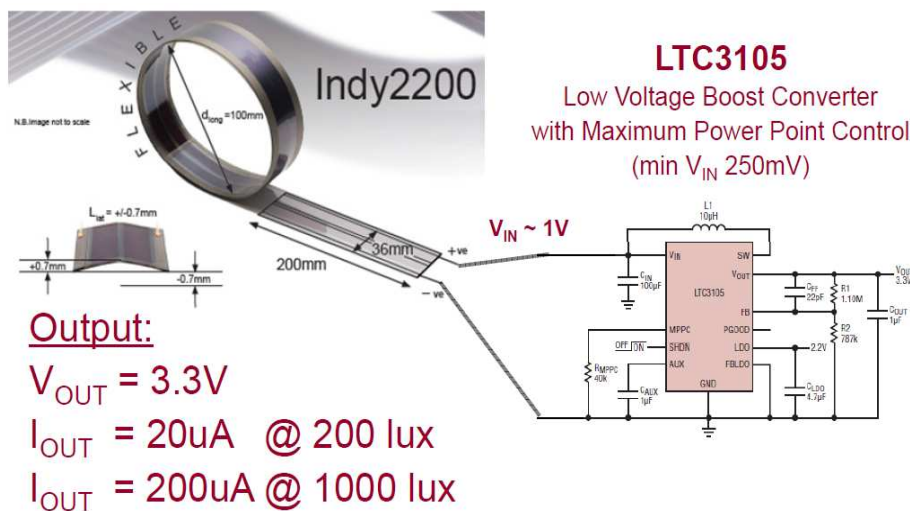
10.1. Antecedentes y Objetivos

Al igual que en el anterior desarrollo, se ha visto la necesidad de usar súper-condensadores para la obtención de energía, debido a su facilidad para adquirir carga mediante cualquier corriente incidente, por baja que sea.

En este desarrollo se tratarán módulos elevadores de tensión para adaptar la generación proporcionada por pequeñas celdas solares, celdas peltier térmicas u otro mecanismo de generación de baja potencia. Tras esta conversión, normalmente se estima necesario un sistema previo de carga basado en súper-condensadores para asimilar la carga generada, aunque en función del tipo de generador podría ser directamente una batería de litio o NiMH, más susceptible a la carga que baterías de plomo-ácido.

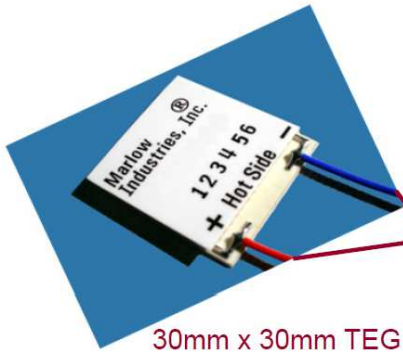
A continuación se muestran algunos esquemáticos de ejemplos usados en energy harvesting para elevar tensión y cargar baterías. Los ejemplos vienen específicamente citados para una tecnología de generación concreta, celda solar, celda peltier o piezoeléctrico, pero son compatibles con otra tecnología de generación de similares características eléctricas de generación: baja tensión y poca potencia.

10.2. Convertidor DC-DC LTC3105



Adaptación del nivel de tensión ofrecido por una célula solar.

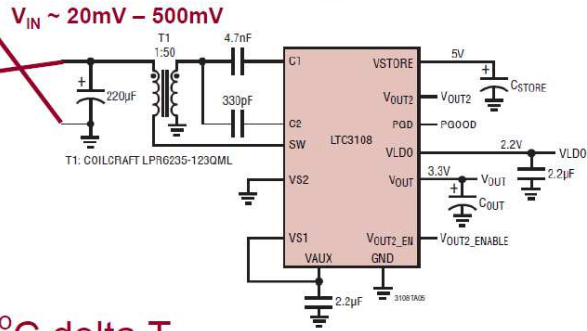
10.3. Convertidor DC-DC LTC3108



30mm x 30mm TEG

LTC3108

Ultralow Voltage Step-Up Converter and Power Manager
(min $V_{IN} = 20mV$)



Output:

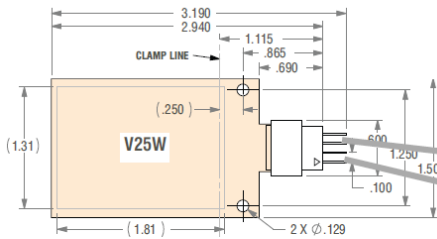
$V_{OUT} = 3.3V$

$I_{OUT} = 60\mu A @ 10^{\circ}C \text{ delta } T$

$I_{OUT} = 400\mu A @ 30^{\circ}C \text{ delta } T$

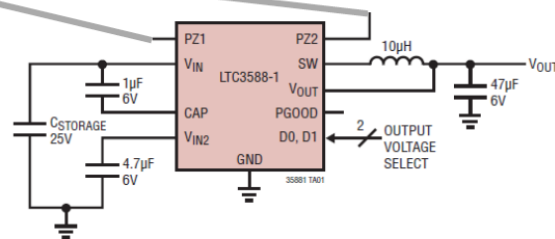
Adaptación del nivel de tensión ofrecido por una celda de Peltier.

10.4. Convertidor DC-DC LTC3588



LTC3588

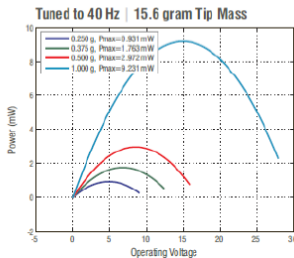
Piezoelectric Energy Harvesting Power Supply
($I_{CC} = 900nA$)



Output:

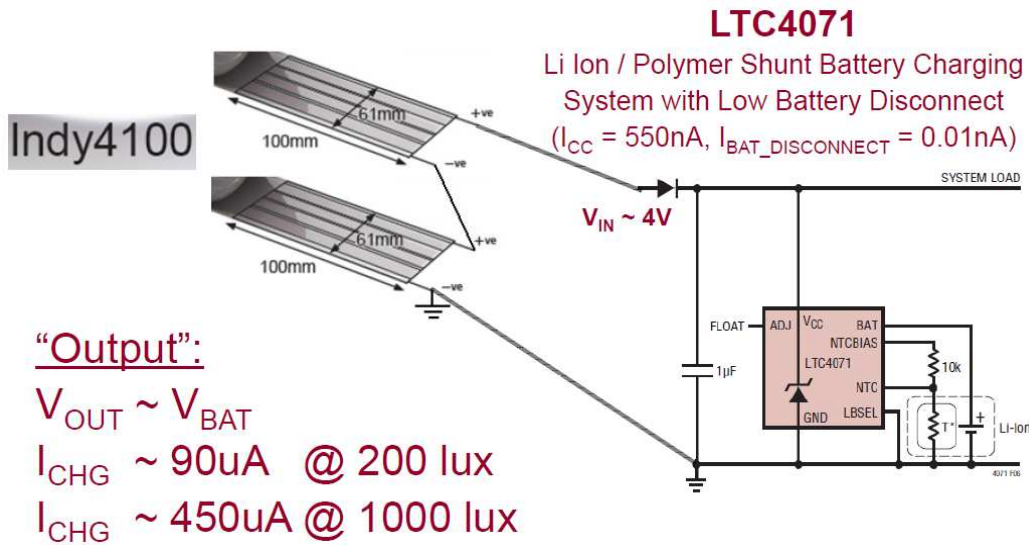
$V_{OUT} = 3.3V$

$I_{OUT} = 200\mu A @ 0.25g / 40Hz$



Adaptación del nivel de tensión ofrecido por un módulo piezoeléctrico V25W.

10.5. Cargador de baterías LTC4071



Este esquemático muestra las conexiones del dispositivo cargador de baterías LTC4071. Se observa que necesita a la entrada un nivel de tensión adecuado que, típicamente no se consigue con un único módulo recolector.

10.1. Implementación Seleccionada

Se seleccionó una de las posibles implementaciones para llevar a cabo igualmente una prueba de concepto de estos sistemas de generación. Se ha diseñado una PCB que integrará los componentes necesarios.

Esquemático recomendado del circuito:

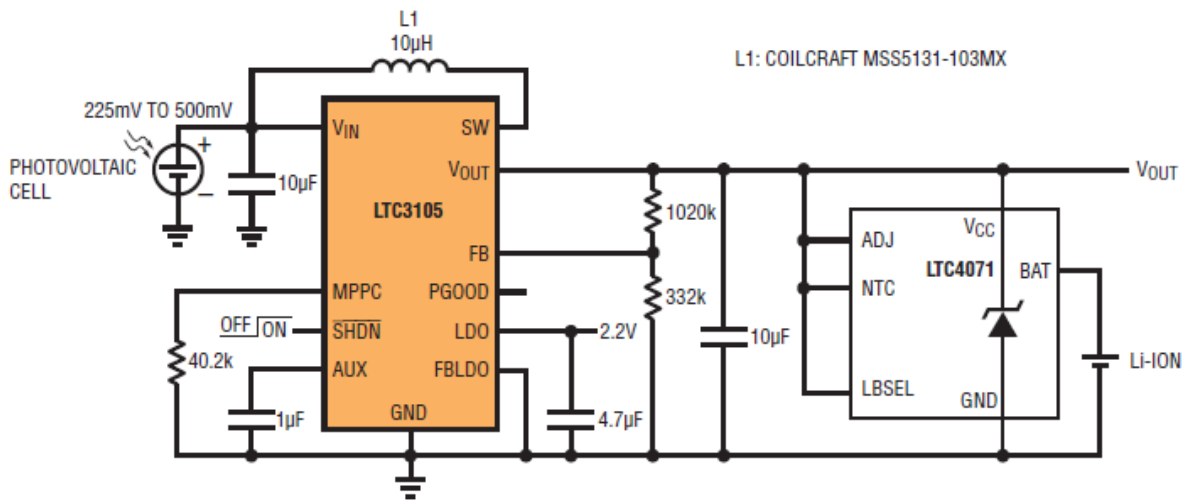


Figura 77. Esquemático Sistema

Diseño PCB:

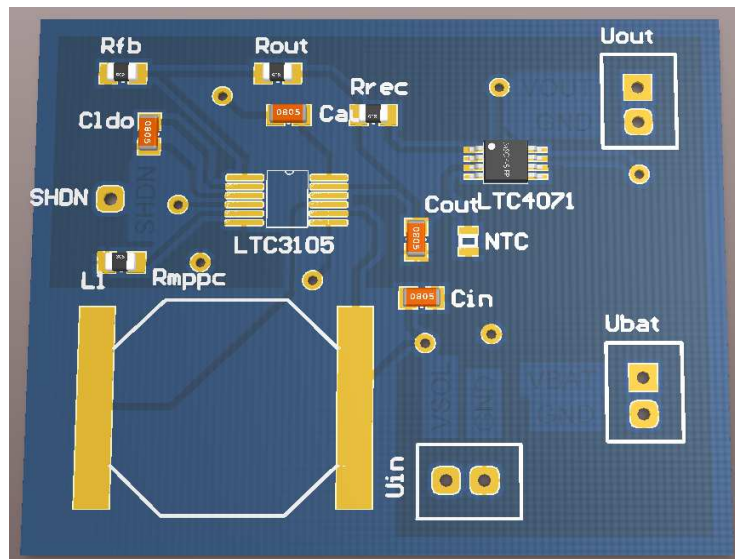


Figura 78. Diseño PCB

Este diseño permitirá elevar la tensión, pudiendo incluso alimentar un equipo externo a la vez que realiza la carga de las baterías, en caso de solar que es la que mayor energía genera.

Este diseño independiza la salida de batería de la de carga, alimentándose ambas de la entrada del sistema de recolección o generación, para de esta forma probar sin condicionamiento la carga y/o alimentación de un dispositivo determinado sin ayuda de baterías

10.1.1. Prueba Panel Solar + Batería de Litio



Figura 79. Prueba de Concepto Panel Solar y batería

Se empleó un panel solar Multicomp de 0.8w y una pila de litio de 3.7v nominal. Se aprecia el led de alimentación de la placa de carga (load) encendido. Por lo que se puede corroborar que con este pequeño panel solar es posible alimentar otros aparatos y cargar la batería simultáneamente.

10.1.2. Prueba Celda de Peltier + Polímero de Litio

Se hizo además una prueba con una celda de peltier con un calentamiento forzado para provocar la diferencia de temperatura necesaria para la excitación del circuito.



Figura 80. Prueba de Concepto con Celda Peltier

Se empleó una celda de peltier y un polímero de litio. En este caso, la celda de Peltier no ofrece la energía suficiente, necesitando seguramente de unas grandes variaciones de temperatura, y de forma continuada, para alimentar otros dispositivos. Sin embargo, el cargador LTC4071 aprovecharía una variación aislada de temperatura para ir cargando la batería por goteo.

11. Referencias


- [1] Sitio web consultado: <http://www.energyharvesting.net/>
- [2] Paradiso JA, Starner T. "Energy scavenging for mobile and wireless electronics" IEEE Pervasive Computing.2005; 4(1):18-27.
- [3] Chalasani, S; Conrad, J.M. "A survey of energy harvesting sources for embedded systems" Southeastcon, 2008. IEEE : 442 – 447.
- [4] M. T. Penella, M. Gasulla. "A Review of Commercial Energy Harvesters for Autonomous Sensors", 2007.
- [5] Sitio web consultado:
http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/es/tour/wres/powdensi.htm
- [6] Valle, J.; Casas, O. "Estudio de un sistema de transmisión por RF". 2006 [<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3795/1/53871-1.pdf>]
- [7] López, O.; Carnicero, A.; Ruiz, R. "Materiales inteligentes I/II. Introducción a los materiales del siglo XXI", 2003
- [8] Gutiérrez, L.M. "Scavengers piezoeléctricos, una alternativa a las pilas convencionales", 2008.
- [9] Cúpich, M.; Elizondo, F.J. "Actuadores piezoeléctricos", Ingenierías, Vol III, N°6, 2000. [http://ingenierias.uanl.mx/6/pdf/6_Miguel_Cupich_et_al_actuadores_Piezo.pdf]
- [10] Mateu, L.; Moll, F. "Review of Energy Harvesting Techniques and Applications for Microelectronics". [<https://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/613/1/RevEnerHarvMicro.pdf>]
- [11] Meninger, S.; Mur-Miranda, J.O.; Amirtharajah, R.; Chardrakasan, A.P.; Lang, J.H. "Vibration-to-Electric Energy Conversion" Fellow, IEEE. 2001 [<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/92/19907/00920820.pdf>]
- [12] Sitio web consultado: http://www.mide.com/products/vulture/vulture_catalog.php
- [13] Garnett, E.; Simmers, Jr.; Henry, A. Sodano "Increasing Electrical Power Generation for a Piezoelectric Power Harvester". Center for Intelligent Materials Systems and Structures, Mechanical Engineering Department, Virginia Tech. https://workspace.imperial.ac.uk/opticalandsemidev/public/Publications/dicken_increased.pdf
- [14] Logvinov, G.M.; Valdés, J.L. "Teoría lineal del enfriamiento termoeléctrico de Peltier", 2005 [http://www.fis.cinvestav.mx/~smcsyv/supyvac/18_2/SV1822605.pdf]

- [15] Sitio web consultado: <http://www.tdc.co.uk/index.php?key=webshop>
- [16] Sitio web consultado: http://www.docrenewableenergy.info/es_f-28~n-energias+renovabsolar+fotovoltaica~
- [17] Sitio web consultado: <http://www.textoscientificos.com/energia/paneles-fotovoltaicos>
- [18] Roundy, S.; Steingart, D.; Frechette, L.; Wright, P.; Rabaey, J. "Power Sources for Wireless Sensor Networks". H. Karl, A. Willig, A. Wolisz (Eds.): EWSN 2004, LNCS 2920: 1–17, 2004. [<http://www.springerlink.com/content/b0utgm8ahnphl3l/fulltext.pdf>]
- [19] Sitio web consultado: <http://www.aeeolica.org/es/new/espana-es-el-primer-pais-del-mundo-en-el-que-la-eolica-se-situa-como-la-primera-fuente-de-electricidad-en-un-ano-completo/>
- [20] Pasado, presente y futuro de la energía eólica en España: Off-Shore: <http://www.emberizamedioambiente.es/blog/noticia/13#.VGzmd8meEgE>
- [21] Sitio web consultado: <http://ayudaelectronica.com/baterias-de-plomo-acido/>
- [22] Sitio web consultado: <http://www.sabelotodo.org/electrotecnia/acumuladorplomo.html>
- [23] Sitio web consultado: <http://www.mpoweruk.com/chargers.htm>



DATOS DE CONTACTO

Juan Manuel González Romo

 -645 188 391

 - jmromo86@gmail.com



**Grupo de Ingeniería Electrónica – Departamento de Ingeniería Electrónica
Escuela Técnica Superior de Ingenierías – Universidad de Sevilla
41092 Camino de los Descubrimientos s/n - Isla de la Cartuja – Sevilla**