

Índice

1. Objeto del proyecto	4
2. Motivación y justificación	5
3. Especificaciones básicas	6
3.1. Descripción del problema	6
3.2. Especificaciones técnicas	6
3.3. Localización de la vivienda aislada	6
4. Posibles sistemas de producción de energía eléctrica	8
4.1. Energía solar fotovoltaica.....	8
4.2. Energía eólica.....	9
4.3. Energía hidráulica	11
4.4. Pilas de combustible.....	12
4.5. Sistemas híbridos de producción de energía eléctrica	13
4.6. Comparativa de los sistemas.....	15
5. Posibles sistemas auxiliares (A.C.S.)	17
5.1. Energía geotérmica	17
5.2. Energía solar térmica	19
5.3. Comparativa de los sistemas.....	20
6. Diseño de los sistemas escogidos	21
6.1. Sistema híbrido (eólica + solar fotovoltaica).....	21
6.2. Sistema solar térmico para ACS.....	34
7. Inversores monofásicos	47
7.1. Inversor monofásico en semipunto	47
7.2. Inversor monofásico puente completo	49
7.3. Inversor monofásico con convertidor DC-DC	52
7.4. Inversor monofásico con convertidor DC-DC de varios interruptores y transformador	61
8. Control del inversor monofásico	63
8.1. Control por modulación de anchura de pulsos PWM	63
8.2. SPWM con estrategia de conmutación bipolar	65
8.3. SPWM con estrategia de conmutación unipolar	68
9. Posibles sistemas de control	71
9.1. Control analógico.....	71

9.2.	Control digital	71
9.3.	Comparativa control analógico con control digital	73
10.	Diseño del sistema inversor monofásico	74
10.1.	Circuito de potencia	74
10.2.	Circuito de control	76
10.3.	Elección del transformador	76
10.4.	Eliminación de armónicos	77
11.	Normativa	78
12.	Estudio económico	80
12.1.	Coste del proyecto	80
12.2.	Presupuesto de la instalación híbrida y solar térmica para la vivienda aislada.....	81
13.	Planificación y diagrama de Gantt.....	84
14.	Bibliografía	87
14.1.	Libros y artículos	87
14.2.	Enlaces de interés.....	87
15.	Anexos.....	88

1. Objeto del proyecto

El objeto del presente informe es la realización, por parte de RENOVABLES S.L., de un estudio técnico-económico de aprovisionamiento de recursos básicos para una vivienda aislada situada a las afueras de la población "Les Piles", provincia de Tarragona (España).

Para la realización de este estudio de aprovisionamiento de energía para una vivienda aislada, se estudiarán los posibles sistemas existentes en el mercado teniendo en cuenta el aislamiento de la vivienda. Estos sistemas se centrarán en la utilización de energías renovables.

Se diseñarán los sistemas escogidos para la vivienda ofreciendo los productos óptimos, así como la integración de los mismos en la vivienda aislada.

Se diseñará un inversor monofásico para el sistema principal de aprovisionamiento de energía eléctrica.

Por último, se valorará un presupuesto detallado al proyecto incluyendo los productos escogidos para su instalación.

2. Motivación y justificación

El presente proyecto está motivado ante la ausencia de recursos como energía eléctrica o agua caliente sanitaria en las afueras de pueblos o ciudades, en éste caso la masía aislada.

Aprovechando las nuevas energías renovables que han surgido ante la creciente búsqueda de minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), queremos hacer uso de éstas para el aprovisionamiento de la vivienda aislada, poder proveer a la vivienda de energía eléctrica y A.C.S., minimizando los posibles gastos de sistemas no renovables y contribuyendo a la reducción de emisiones de CO₂ y demás gases que están provocando el cambio climático de nuestro planeta.

Al realizar este proyecto, queremos concienciar con el problema de la contaminación y dar a conocer varios de las muchas soluciones no contaminantes basadas en energías renovables que no tienen por qué ser de coste muy elevado.

Por nuestra parte, el interés en éste proyecto es fruto del impacto que tienen las energías renovables en nuestro país y su potenciamiento por parte del gobierno. En ésta amplia gama vemos un futuro prometedor lleno de avances tecnológicos, de tal manera que profundizar y seguir estudiando éste tipo de obtención de energías será muy beneficioso.

A modo de conclusión, decir que con éste proyecto no solo repasaremos y ampliaremos conocimientos sobre energías renovables, si no que podremos realizar un proyecto con base en todas las asignaturas estudiadas en la ingeniería.

3. Especificaciones básicas

3.1. Descripción del problema

El proyecto realizado, es la solución estudiada para solventar los diferentes problemas comunes en una vivienda aislada. El estudio realizado se centrará en la comparativa de las diferentes soluciones para solventar la falta de recursos de la vivienda aislada, así como el diseño del inversor monofásico escogido para dicha instalación energética.

En conceptos generales los problemas a solventar son:

- La vivienda aislada no tiene acceso a la red eléctrica general.
- La vivienda aislada no tiene acceso a la red de distribución de gas natural, gas ciudad o semejantes.
- Diseño de un inversor monofásico para los sistemas escogidos.

3.2. Especificaciones técnicas

La vivienda aislada es una masía compuesta por tres habitaciones, cocina, dos baños y salón-comedor.

Especificaciones técnicas:

- Sistema de producción eléctrica adecuada a este tipo de vivienda.
- Sistema de producción de A.C.S adecuada a este tipo de vivienda.
- Diseño de sistemas mediante energías renovables.
- Autonomía energética de dos días.
- Diseño de inversor monofásico adecuado a la potencia establecida.

3.3. Localización de la vivienda aislada

Masía Can Huguet

Propietario: Juan José Ruiz Pérez

Localización: A las afueras de la población "Les Piles", en la provincia de Tarragona (España).

Coordenadas: latitud N= 41° 30' 21" Norte / longitud W=1° 8' 31" Este

Elevación: 693m



Figura 3.1. Foto satélite de localización de la masía (Fuente: Google maps).

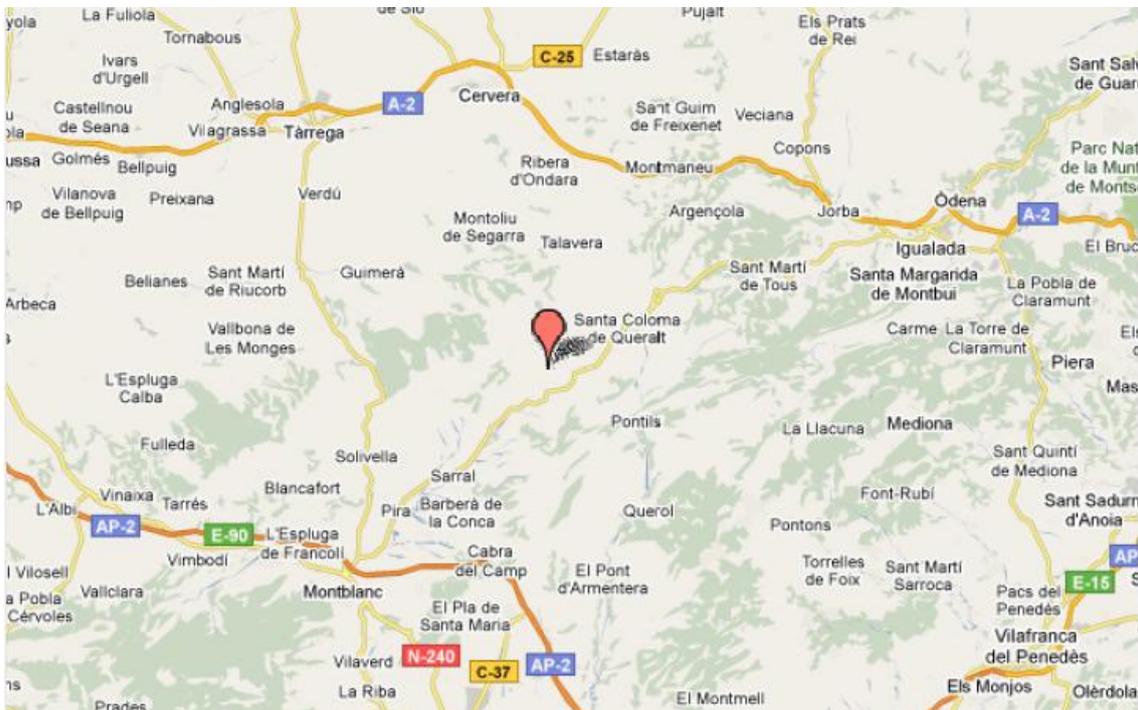


Figura 3.2. Mapa de localización de la masía (Fuente: Google maps).

4. Posibles sistemas de producción de energía eléctrica

Al ser una vivienda aislada, la necesidad de obtener energía eléctrica para el consumo domestico se hace fundamental. Como consecuencia de ser una vivienda aislada, el conexionado a la red de subministramiento eléctrico general resulta no factible y poco rentable.

Al no tener facilidad para conectarse a la red eléctrica general se estudian diferentes modos de obtención y producción de energía eléctrica de carácter domestico o a pequeña escala. Los sistemas de obtención que actualmente ofrecen una instalación apropiada para este tipo de viviendas son:

- Energía solar fotovoltaica.
- Energía eólica.
- Energía hidráulica
- Pilas de combustible.
- Sistemas híbridos de producción de energía eléctrica.

A continuación se nombran sus características y se comparan para establecer el sistema más adecuado para la vivienda.

4.1. Energía solar fotovoltaica

Se denomina energía solar fotovoltaica a una forma de obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos.

Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos. Al tratarse de un semiconductor, tenemos distintas placas, formadas por distintos materiales semiconductores.

A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica o guardar esta energía en baterías acumuladores para su posterior consumo.

El proceso, simplificado de inyección a la red, sería el siguiente: Se genera la energía a bajas tensiones (380-800 V) y en corriente continua. Se transforma con un inversor en corriente alterna. Mediante un centro de transformación se eleva a Media tensión (15 ó 25 kV) y se inyecta en las redes de transporte de la compañía.

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa económicamente viable. Para comprender la importancia de esta posibilidad, conviene tener en cuenta que aproximadamente una cuarta

parte de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica. Por lo tanto es una solución fiable y económica, todo y que está limitada a una producción de baja potencia para un precio productivo.

En las siguientes figuras podemos observar un ejemplo de los posibles ejemplos.



Figura 4.1. *Instalación orientable al sol.*



Figura 4.2. *Instalación en una vivienda aislada, instalación en una farola.*

4.2. Energía eólica

La energía eólica es la energía obtenida del viento, es el aprovechamiento de la energía cinética que se genera por efecto de las corrientes de aire.

La energía cinética obtenida, se transforma comúnmente en energía eléctrica aunque en sus principios su transformación inmediata era en energía mecánica.

En España, actualmente la energía eólica está muy desarrollada y evoluciona muy rápidamente a causa de las grandes inversiones del gobierno en este tipo de energías renovables. Al ser una energía renovable y limpia, se considera una energía de presente y futuro con el fin de paliar el exceso de contaminación y deterioro del planeta.

La producción de energía eléctrica aprovechando las corrientes del viento, se realiza mediante aerogeneradores que convierten esta energía mecánica rotacional, de las palas del aerogenerador, en energía eléctrica. Estos aerogeneradores pueden ser de diferentes tipos y tamaños, siendo los más conocidos los de eje horizontal que pueden ir desde potencias de 300kW a potencias del orden de los MW, con un aumento proporcional de tamaño según la potencia proporcionada.



Figura 4.3. Ejemplo de aerogenerador en una vivienda.

El aprovechamiento de este tipo de energía en una vivienda aislada sería beneficioso, ya que actualmente en el mercado hay gran variedad de aerogeneradores de pequeña potencia y con precios muy competitivos.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas en espacios de tiempo breves, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años. Es también importante conocer la velocidad máxima del viento. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que este alcance una velocidad mínima de 12 km/h, y que no supere los 65 km/h.

4.3. Energía hidráulica

La energía hidráulica se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente de ríos y saltos de agua.

Su origen procede del ciclo hidrológico de las lluvias; la evaporación solar y la climatología, que remontan grandes cantidades de agua a zonas elevadas de los continentes, alimentando así los ríos.

El aprovechamiento de la energía cinética del agua se realiza en las centrales hidráulicas, donde el agua en movimiento acciona las turbinas hidráulicas encargadas de generar electricidad.

Esta energía renovable, es una de las más equilibradas, ya que la corriente de un río siempre acostumbra a ser regulable, por lo tanto no tenemos paradas en la producción de energía eléctrica.

En el aprovechamiento de la energía hidráulica influyen dos factores: el caudal y la altura del salto. Para aprovechar mejor el agua llevada por los ríos, se construyen presas para regular el caudal y para aumentar la altura del salto. De aquí salen distintos tipos de centrales de aprovechamiento de la energía hidráulica.

En primer lugar hay que distinguir las que utilizan el agua según discurre normalmente por el cauce de un río, y aquellas otras a las que ésta llega, convenientemente regulada, desde un lago o pantano. Se denominan:

- Centrales de Agua Fluente
- Centrales de agua embalsada:
- Centrales de Regulación
- Centrales de Bombeo.

Según la **altura del salto** de agua o desnivel existente, existen:

- Centrales de Alta Presión
- Centrales de Media Presión.
- Centrales de Baja Presión

Normalmente todas estas centrales, están destinadas a una producción elevada de energía eléctrica. Aunque hay excepciones donde la energía generada se utiliza para la alimentación de una casa doméstica aislada, estos casos, son casos aislados, debido a la gran inversión que requiere una de estas pequeñas centrales hidroeléctricas. Y como mínimo se tiene que utilizar para la alimentación de un pueblo o semejante.



Figura 4.4. Pequeña Central hidroeléctrica.

4.4. Pilas de combustible

Las pilas de combustible son unos dispositivos electroquímicos de conversión de energía, produce electricidad a través de una fuente externa de combustible y de oxígeno.

Los reactivos típicos utilizados en una celda de combustible son hidrógeno en el lado del ánodo y oxígeno en el lado del cátodo.

En la célula o pila de combustible de membrana intercambiadora de protones, una membrana polimérica conductora de protones separa el lado del ánodo del cátodo.

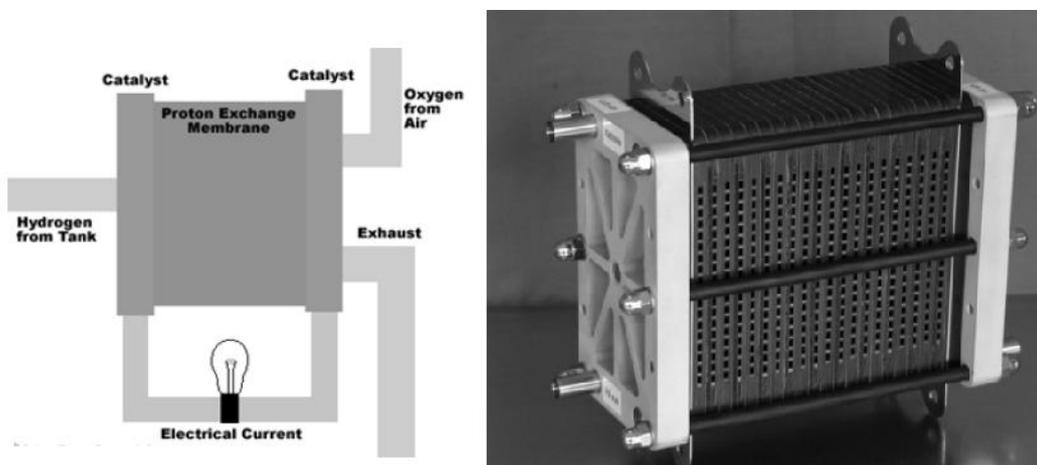


Figura 4.5. Esquema de funcionamiento y pila de combustible.

En el lado del ánodo, el hidrógeno que llega al ánodo catalizador se disocia en protones y electrones. Los protones son conducidos a través de la membrana al cátodo, pero los electrones están forzados a viajar por un circuito externo (produciendo energía) ya que la membrana está aislada eléctricamente. En el catalizador del cátodo, las moléculas del oxígeno reaccionan con los electrones (conducidos a través del circuito externo) y protones para formar el agua. Por lo tanto el único residuo existente es agua.

4.5. Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos de producción de energía eléctrica, son aquellos que disponen de distintas fuentes de energía eléctrica para la alimentación de una carga. De este modo nos aseguramos de que la carga siempre dispondrá de la energía necesaria para su correcto funcionamiento.

Cualquier sistema basado en dos fuentes de electricidad ya se puede llamar híbrido, pero se va a explicar dos de los sistemas más importantes y utilizados de hibridación.

4.5.1. Sistemas fotovoltaicos con generador auxiliar convencional de apoyo

En aquellos casos en los que sea necesario una disponibilidad constante y permanente de energía eléctrica, o bien cuando son necesarias elevadas cantidades de energía eléctrica, un generador eléctrico convencional puede funcionar eficientemente acoplado a un sistema fotovoltaico, para suministrar la correspondiente demanda. Durante las horas de luz los paneles solares fotovoltaicos suministran de una manera silenciosa la demanda de energía, y cargan las baterías. Si las baterías alcanzan un valor mínimo, predefinido, de su capacidad útil, el generador eléctrico convencional funcionará a toda su potencia, su modo de funcionamiento más eficiente, hasta que las baterías vuelvan a estar cargadas, momento en el que cesará el funcionamiento del generador eléctrico auxiliar convencional. Además, el sistema se diseña de manera que, cuando la demanda de energía eléctrica, excede la energía que puede suministrar el sistema paneles solares y batería, el generador eléctrico convencional entre en funcionamiento para cubrir dicha diferencia de energía. Los sistemas que utilizan distintos tipos de generadores eléctricos combinan las ventajas de cada tipo. Los generadores eléctricos convencionales pueden producir energía eléctrica en cualquier momento. Por ello, son un sistema de apoyo excelente para una central solar fotovoltaica cuando es necesaria energía durante la noche o en días extremadamente nublados y oscuros.

Por otro lado, la central solar fotovoltaica funcionará silenciosamente, gratuitamente y sin contaminar en absoluto, durante las horas de luz. Utilizar una central solar fotovoltaica y un generador auxiliar en combinación reduce el coste inicial del sistema. Si no utilizásemos el generador auxiliar, la central solar fotovoltaica y la batería deberían ser lo suficientemente grandes como para abastecer toda la demanda de energía nocturna. Sin embargo, el acoplar un generador auxiliar como apoyo al

sistema solar, hará que necesitemos menos paneles solares fotovoltaicos y una batería más pequeña para lograr suministrar toda la energía que sea requerida en cualquier instante. Además de un generador convencional, la energía eléctrica procedente de un generador eólico, pequeñas centrales mini hidráulicas, y cualquier otra fuente de energía eléctrica, puede ser acoplado al sistema solar fotovoltaico para obtener así un sistema de generación eléctrica híbrido tan grande como se desee.

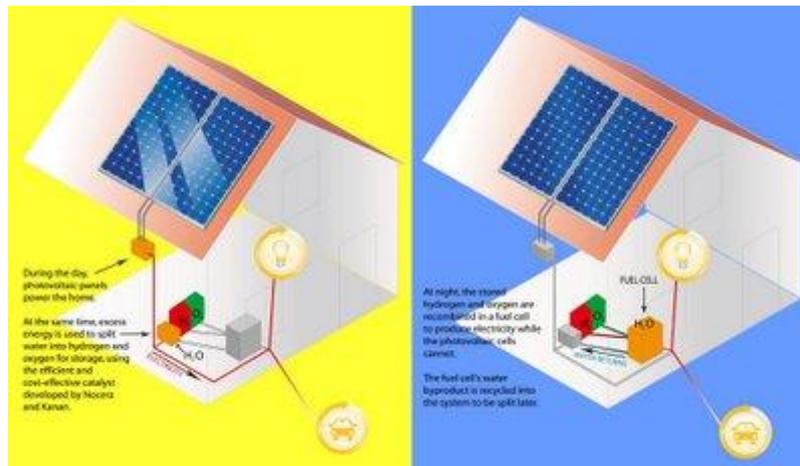


Figura 4.6. Ejemplo de sistema híbrido, placa fotovoltaica con motor diesel.

4.5.2. *Sistemas fotovoltaicos con hibridación a otra fuente renovable*

Los sistemas híbridos combinan distintos sistemas de producción de electricidad y almacenamiento para suministrar la demanda de energía. Al sistema solar fotovoltaico se le pueden añadir motores generadores convencionales, generadores eólicos, pequeñas centrales mini hidráulicas, y cualquier otra fuente de energía, para satisfacer la demanda de energía aprovechando en conjunto todos los recursos renovables de una zona. Ciertos recursos de energía renovable presentan la peculiaridad de complementarse. Así ocurre con la luz solar y con el viento. Es muy alta la probabilidad de que, en aquellos instantes en los que dispongamos de poca o ninguna luz solar, dispongamos de un mayor recurso eólico, y viceversa. Este sistema es ideal para aplicaciones destinadas a zonas rurales. Un caso muy extendido a lo largo de todo el mundo en sistemas de hibridación es el sistema que consta de una central solar fotovoltaica, una central eólica y motor diesel convencional. Como opciones alternativas, antes de adoptar tal sistema de hibridación, se presentaban la ampliación del tendido eléctrico, por consiguiente una conexión a la red eléctrica, o la adopción de un generador diesel como única fuente de generación eléctrica. Esta segunda opción es descartada por dos razones fundamentales: el enorme coste de mantenimiento, en reparaciones y en recarga de combustible, y la elevada frecuencia con la que el generador debe ser repuesto o sustituido por rotura. Añadidas a estas razones, se encuentran el elevado nivel de ruido que genera, como la contaminación que provoca tanto por vertido como por emisión. En cuanto a la otra opción, no son muchos los metros de tendido que deben realizarse para que tal opción conlleve una mayor inversión inicial que la correspondiente al sistema de hibridación. El sistema de

hibridación central solar, generador eólico y motor diesel y baterías ofrece muchas ventajas. Los costes de construcción suelen ser una pequeña parte de aquellos que se requieren para realizar una extensión de la red eléctrica, y los gastos de mantenimiento y el combustible son bastante inferiores que los que tendría un generador diesel funcionando solo. El sistema de hibridación suele tener, por si mismo bastante mayor capacidad de generación eléctrica, aportando así energía a más casas y negocios. Además tiene mucha mayor fiabilidad que un generador diesel funcionando solo, debido a que incluye diversos sistemas de generación eléctrica de apoyo y un banco de baterías más grande. En un sistema de este tipo, el central solar genera energía eléctrica durante el día, y las turbinas eólicas cargan las baterías siempre que sople el viento (el viento, usualmente es más fuerte de noche). Si se produjese una serie de días consecutivos de muy alta nubosidad y con muy poco viento, o si la demanda de energía eléctrica aumentase por encima de lo usual, el generador diesel entraría a funcionar para apoyar al sistema y así poder suministrar la demanda.



Figura 4.7. Ejemplo de sistema híbrido, placas fotovoltaicas con generadores eólicos.

4.6. Comparativa de los sistemas

En este apartado se comparan las diferentes fuentes de energía renovables, a partir de la tabla 4.1 se enumeran las ventajas e inconvenientes de cada una.

Tabla 4.1. *Ventajas e inconvenientes de las fuentes de energía renovables.*

Características	Ventajas	Inconvenientes
E. solar	-Gratuita (sólo cuesta instalación). -Inagotable. -Limpia. -Tiene una elevada calidad energética.	-Llega a la Tierra de manera dispersa e intermitente. -No puede ser almacenada o utilizada directamente, siendo necesario realizar una transformación energética.
E. eólica	-Gratuita. -Inagotable. -Limpia.	-Dispersión (no está concentrada en una zona). -Intermitente (cuando las condiciones climatológicas lo permiten). -Difícil de almacenar. -Necesita máquinas grandes (caras). -Ruido del giro del rotor. -Impacto visual, poco estético. -Produce interferencias en las transmisiones de TV y radio.
E. hidráulica	-Suministra energía cuando hace falta (horas punta u olas de frío). -Inagotable. -Limpia.	-Es aleatoria (sólo se puede usar si el año hidrológico es bueno). -Es cara.
Pilas de combustible	-No contaminante. -Silenciosa -Eficiencia energética elevada. -Mantenimiento sencillo y barato. -No es peligrosa.	-Necesidad de H ₂ . -Son caras.

Al observar la tabla comparativa anterior, para el diseño de la instalación energética, se puede escoger el sistema o sistemas más apropiados.

A simple vista, la energía hidráulica, aparte de ser de coste elevado se descarta por ausencia de ríos o afluentes cerca de la vivienda. Las pilas de combustible, al ser unos mecanismos en desarrollo la instalación saldría costosa, además de la necesidad de una distribución y compra de hidrogeno para el equipo, de esta manera es descartada.

Como sistema híbrido, se opta por una instalación mixta de energía solar fotovoltaica con aerogenerador eólico. De tal manera que se complementan ofreciendo una eficiencia aceptable, además de sus ventajas en cuanto a transformación de energía, coste y ser energías limpias frente a su mayor inconveniente de intermitencia.

5. Posibles sistemas auxiliares

Al ser una vivienda aislada, la necesidad de obtener agua caliente sanitaria para el consumo domestico se hace fundamental. El estudio de medios para acondicionar el agua es fundamental, ya que es de vital importancia poder evitar el acondicionamiento del agua a través de energía eléctrica o combustibles fósiles vía tubería.

Estos tipos de acondicionamiento no son óptimos para una vivienda aislada, en primer lugar el acondicionamiento mediante un sistema eléctrico repercutiría en gran tamaño en la potencia de consumo total y en segundo lugar, al ser un solar aislado la distribución de combustibles fósiles no envasados se hace dificultosa.

Para solventar los problemas comentados, se realiza un estudio de los diferentes medios de obtención de agua caliente sanitaria dando importancia a los clasificados como energías renovables.

Los sistemas de obtención de agua caliente sanitaria que actualmente ofrecen una instalación apropiada para viviendas aisladas son:

- Energía geotérmica.
- Energía solar térmica.

A continuación se nombran sus características y se comparan para establecer el sistema más adecuado para la vivienda.

5.1. Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la tierra. El calor del interior de la tierra se debe a varios factores, entre los que cabe destacar el gradiente geotérmico, el calor radio génico, etc.

Esta energía se obtiene mediante la extracción del calor interno de la tierra. En áreas de aguas termales muy calientes a poca profundidad, se perfora por fracturas naturales de las rocas basales o dentro de rocas sedimentarias. El agua caliente o el vapor pueden fluir naturalmente, por bombeo o por impulsos de flujos de agua o de vapor (flashing).

El método a elegir depende del que en cada caso sea económicamente rentable.

Los recursos de magma (rocas fundidas) ofrecen energía geotérmica de altísima temperatura, pero con la tecnología existente no se pueden aprovechar económicamente esas fuentes.

En la mayoría de los casos la explotación debe hacerse con dos pozos (o un número par de pozos), de modo que por uno se obtiene el agua caliente y por otro se vuelve a reinyectar en el acuífero, tras haber enfriado el caudal obtenido. Las ventajas de este sistema son múltiples:

- Hay menos probabilidades de agotar el yacimiento térmico, puesto que el agua reinyectada contiene todavía una importante cantidad de energía térmica.
- Tampoco se agota el agua del yacimiento, puesto que la cantidad total se mantiene.
- Las posibles sales o emisiones de gases disueltos en el agua no se manifiestan al circular en circuito cerrado por las conducciones, lo que evita contaminaciones.

Este tipo de aprovechamiento de la energía, está en desarrollo continuo, igual que muchas energías renovables. A su favor tiene que la temperatura del subsuelo terrestre normalmente se encuentra unos 15°C, por lo tanto es una energía renovable continua. En su contra, normalmente son instalaciones con un alto coste de instalación, aunque rentables a largo plazo, debido a que una vez instalado ya no es necesario ningún carburante para funcionar.

Existen distintos métodos de captación de solar, en la figura 5.1 se pueden observar unos de los más importantes sistemas de captación solar.



Figura 5.1. Distintos sistemas de intercambio de calor (Colectores).

Esta es la energía que la geotermia aprovecha para la climatización de los edificios, captándola a través de diferentes sistemas de intercambio de calor (o colectores).

Desde estos colectores, el calor es transferido, a su vez, a las bombas geotérmicas, que actúan como intermediarias entre el sistema de intercambio con el subsuelo y el sistema de distribución, responsable de climatizar el conjunto del edificio.

La geotermia permite tanto suministrar calefacción y agua caliente sanitaria como refrigeración, a través del proceso inverso, es decir, la transferencia del calor ambiental hacia el subsuelo.

El rendimiento energético de un sistema de climatización, utilizando como fuente de calor el subsuelo a 14 - 15 ° C, es de como mínimo del 450 % calentando y del 600 % enfriando. Esto es posible puesto que no se genera todo el calor, sino que la mayor parte se transfiere de una fuente a otra.

Además, el sistema es altamente ecológico, ya que la energía geotérmica no requiere de ningún proceso de combustión para climatizar y, por lo tanto, no genera dióxido de carbono.

5.2. Energía solar térmica

La energía solar térmica consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor, este calor puede aprovecharse en diferentes usos, en este caso sería para agua caliente sanitaria.

Para que este tipo de aprovechamiento de energía sea lo máximo eficiente posible se ha de diseñar teniendo en cuenta la radiación solar y ángulos de incidencia del lugar a situar los paneles solares.

De manera muy esquemática, el sistema de energía solar térmica funciona de la siguiente manera: el colector o panel solar capta los rayos del sol, absorbiendo de esta manera su energía en forma de calor, a través del panel solar hacemos pasar un fluido (normalmente agua) de manera que parte del calor absorbido por el panel es transferido a dicho fluido, el fluido eleva su temperatura y es almacenado o directamente llevado al punto de consumo.

En cuanto a la generación de agua caliente para usos sanitarios, hay dos tipos de instalaciones: las de circuito abierto y las de circuito cerrado. En las primeras, el agua de consumo pasa directamente por los colectores solares. Este sistema reduce costos y es más eficiente (energéticamente hablando), pero presenta problemas en zonas con temperaturas por debajo del punto de congelación del agua, así como en zonas con alta concentración de sales que acaban obstruyendo los paneles.

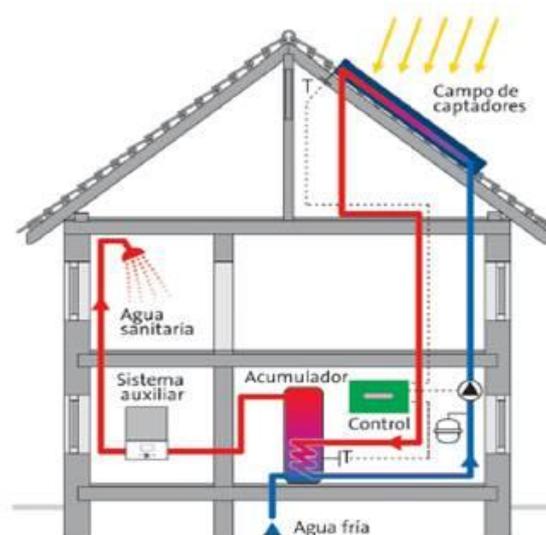


Figura 5.2. Instalación solar térmica en una vivienda.

En cuanto a las instalaciones, podemos encontrar desde equipos compactos para dotar de agua caliente sanitaria a una casa unifamiliar, hasta instalaciones más complejas con fluidos caloportadores distintos al agua, intercambiadores de calor, grandes depósitos de acumulación, etc.

5.3. Comparativa de los sistemas

En este apartado se comparan las diferentes fuentes de energía renovables, a partir de la tabla 5.1 se enumeran las ventajas e inconvenientes de cada una.

Tabla 5.1. *Ventajas e inconvenientes de las fuentes de energía renovables.*

Características	Ventajas	Inconvenientes
E. geotérmica	<ul style="list-style-type: none"> -Supone un ahorro de las energías fósiles, allí donde se pueda usar. -Inagotable. -Su impacto ambiental es mucho menor que el de las energías fósiles. 	<ul style="list-style-type: none"> -Es de aplicación local (sólo donde es posible). -No puede transmitirse a grandes distancias (el agua caliente se enfría y el vapor condensa). -La elevada humedad origina una fuerte corrosión en las instalaciones.
E. solar térmica	<ul style="list-style-type: none"> -Gratuita (sólo cuesta instalación). -Inagotable. -Limpia. -Tiene una elevada calidad energética. 	<ul style="list-style-type: none"> -Llega a la Tierra de manera dispersa e intermitente. -No puede ser almacenada o utilizada directamente, siendo necesario realizar una transformación energética.

Al comparar los dos tipos de obtención de A.C.S., se opta por la energía solar térmica por su coste apropiado y sus ventajas principales nombradas en la tabla comparativa.

Una instalación de energía geotérmica saldría por un coste elevado sin contar los inconvenientes de corrosión que a la larga podrían ser problemáticos.

6. Diseño de los sistemas escogidos

Para el proyecto se ha escogido la alimentación de la vivienda aislada a partir de energías renovables. Sistemas económicamente rentables en viviendas sin alimentación a la red eléctrica.

Para la alimentación eléctrica, se utiliza un sistema híbrido de energía eólica y solar. De este modo se asegura que el sistema sea más eficiente eléctricamente.

Para la alimentación de agua sanitaria, se utiliza un sistema solar térmico, ya que tiene buenas prestaciones, y un sistema geotérmico necesita una inversión muy grande.

6.1. Sistema híbrido (eólica + solar fotovoltaica)

Para el estudio del sistema necesario para la vivienda aislada, primero se ha de calcular el consumo aproximado de electricidad, para luego dimensionar el equipamiento necesario para producir esta energía necesaria.

6.1.1. Dimensionado de la instalación fotovoltaica

Para poder dimensionar el consumo de la vivienda aislada se utiliza la tabla 6.1, donde a partir de los consumos de los aparatos o habitaciones, junto a sus horas de uso, se saca un valor aproximado de la energía consumida.

Tabla 6.1. Cálculo del consumo aproximado de la vivienda aislada.

Elemento	Unidades	Potencia (W)	Horas día (h)	Energía (W·h)
Luz cuarto estar	4	11	6	264
Luz dormitorios	3	11	2	66
Luz cocina	2	18	3	208
Frigorífico	1	-	24	300
Lavadora	1	350	1	350
Televisión	1	85	3	255
Horno eléctrico	1	1000	¼	250
Vitro Cerámica	1	1000	½	500
			TOTAL	2093

(El consumo del frigorífico está proporcionado por el fabricante con temperatura exterior de 20°C – interior de 5°C)

Una vez se tiene el consumo energético teórico (E_t) en watios·hora, se debe calcular el consumo energético real (E_r) necesario para hacer frente a múltiples factores de pérdida que van a existir en la instalación fotovoltaica.

Por lo tanto, el consumo real será, el consumo teórico dividido por el rendimiento del sistema.

$$E_r = \frac{E_t}{R}$$

Siendo R:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot \left(1 - \frac{K_a \cdot N}{P_d}\right)$$

Los factores de la ecuación anterior, son los siguientes:

K_b : Coeficiente de pérdidas por rendimiento del acumulador. Va desde 0,05 para sistemas que no demanden descargas intensivas del acumulador, hasta 0,1 para sistemas con descargas profundas.

K_c : Coeficiente de pérdidas en el convertidor. Va desde 0,05 para convertidores sinusoidales puros (trabajando en régimen óptimo), hasta 0,1 para condiciones de trabajo alejadas del punto óptimo.

K_v : Coeficiente de pérdidas varias. Agrupa pérdidas pequeñas, como el efecto joule, pérdidas de red.... De 0,05 hasta 0,15 como valores de referencia.

K_a : Coeficiente de autodescarga diario.

- 0,002 para baterías de baja autodescarga Ni-Cd
- 0,005 para baterías estacionarias de Pb-ácido (más comunes en el mercado)
- 0,012 para baterías de alta autodescarga (arranque de automóviles)

N : Número de días de autonomía de la instalación.

Son los días en que la instalación opera con una carga mínima, como por ejemplo en días nublados y sin viento. En estos días normalmente se consume más energía de la que se puede producir.

P_d : Profundidad de descarga diaria de la batería.

Esta profundidad de descarga no excederá el 80%.

En la realización de este proyecto se han considerado los valores siguientes, con sus consecuentes coeficientes de pérdidas:

K_b :0,05

K_c :0,05

K_v :0,1

K_a :0,005

N :2

P_d :0,8

Según la ecuación anterior, el rendimiento de la instalación fotovoltaica R , es el siguiente:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot \left(1 - \frac{K_a \cdot N}{P_d}\right) = (1 - 0,05 - 0,05 - 0,1) \cdot \left(1 - \frac{0,005 \cdot 2}{0,8}\right) = 0,79$$

Y por lo tanto el consumo energético real E ($W \cdot h$) es:

$$E_r = \frac{E_r}{R} = \frac{2093}{0,79} = 2.649,37(W \cdot h)$$

6.1.2. Instalación híbrida a 24V

Una vez definida la utilidad energética real E ($W \cdot h$) y la tensión nominal V del acumulador que es de 24V, se puede obtener con facilidad la capacidad del banco de baterías C ($A \cdot h$) necesario, con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{E_R \cdot N}{V \cdot p_d} = \frac{2.649,37 \cdot 2}{24 \cdot 0,8} = 275,98(A \cdot h)$$

A partir de la capacidad calculada, se ha de seleccionar el equipo comercial que dé las mejores prestaciones para nuestra instalación, se opta por poner un grupo comercial que sobrepase el valor calculado, ya que por error siempre se puede consumir más de lo calculado.

En este caso se utiliza la siguiente batería:

Batería de 24 voltios, utilizando 4 módulos de 6 voltios conectados en serie, de la marca **TAB**, modelo **OPzS 300**, que proporciona 300 (Ah).

Una vez definida la batería que se va a utilizar, se pasa a calcular los paneles solares y el aerogenerador que se tiene que utilizar en la instalación.

Primero se hace un estudio histórico de la zona donde se quiere poner los paneles fotovoltaicos, se busca en la base de datos de irradiación mundial online y se utilizan las coordenadas geográficas del lugar (latitud N= 41° 30' 21" Norte / longitud W=1° 8' 31" Este Elevación: 693m) para contrastar los valores. De aquí se deduce el valor de irradiación solar diaria media en superficie inclinada H ($kWh/m^2 \cdot dia$) del lugar.

Los resultados mensuales medios se recogen en una tabla.

Tabla 6.2. Irradiación solar diaria media (Fuente: Censosolar).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
HPS	1,986	2,770	4,135	5,048	5,895	6,577
Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
6,706	5,837	4,677	3,244	2,142	1,767	4,240

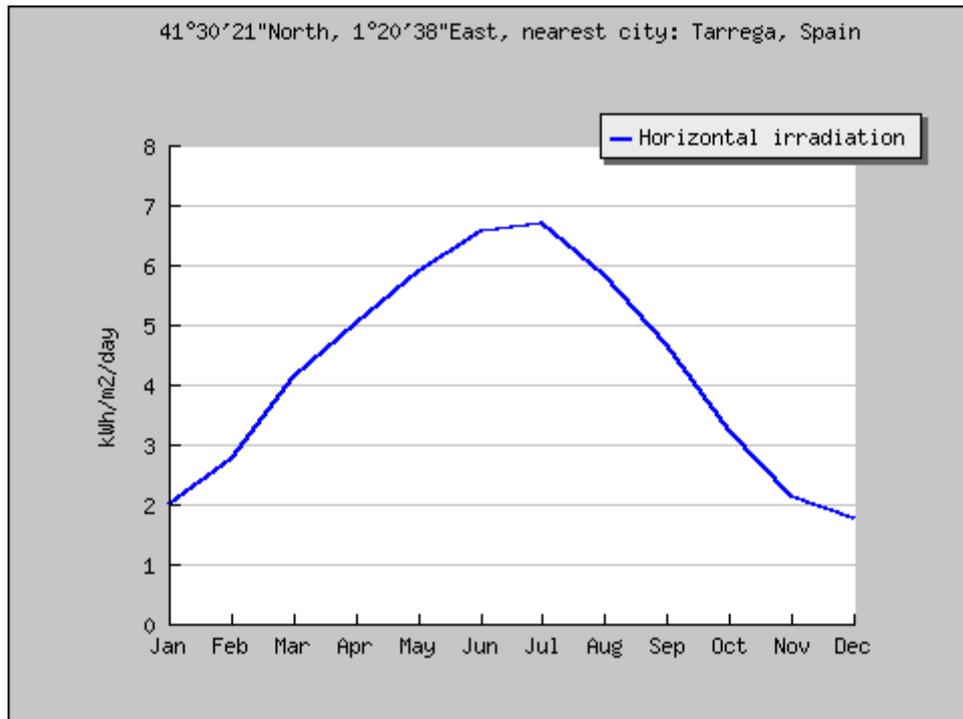


Figura 6.1. Irradiación solar durante un periodo de un año

A partir de aquí, se introduce un concepto muy importante, las horas de pico solar HPS (h), definidas como las horas de luz solar por día equivalentes, pero definidas en base a una irradiancia I (kW/m^2) constante de $1 \text{ kW}/\text{m}^2$, a la que está siempre medida la potencia de los paneles solares. De este modo se puede hacer una valoración de la luz diaria de irradiancia solar con una curva diaria.

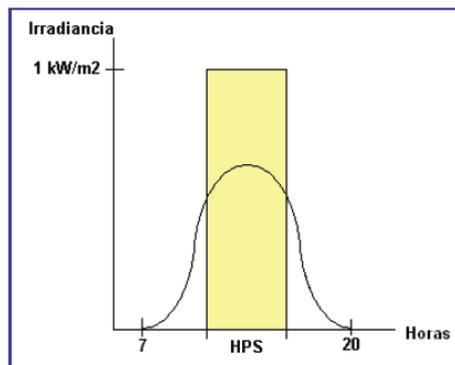


Figura 6.2. Irradiancia con horas de pico solar

Como puede verse en la figura, el área definida por el rectángulo (irradiancia en base a las horas de pico solar) es igual al área definida por la curva horaria de irradiancia real.

La irradiancia H (kWh/m^2) es igual al producto de la irradiancia de referencia I ($1 \text{ kW}/\text{m}^2$) por las horas de pico solar HPS (h). Entonces los valores numéricos de la irradiancia y horas de pico solar son iguales.

$$H\left(\frac{kW}{m^2}\right) = I\left(\frac{kW}{m^2}\right) \cdot HPS(h)$$

Por lo tanto según esta ecuación, los valores numéricos de la tabla, son igualmente válidos para las horas de pico solar. Y consecuentemente los paneles solares producen una energía eléctrica durante todo el día equivalente a sólo las horas de pico solar operando a su máxima potencia. Esa máxima potencia es el principal parámetro que define un panel solar y es uno de principales parámetros de diseño que el proyectista debe definir.

A partir de la fórmula siguiente, se calcula el número de paneles fotovoltaicos:

(W_p , es la potencia de pico de la placa fotovoltaica.)

$$NP = \frac{E_r}{0,9 \cdot W_p \cdot HPS}$$

Se Utiliza esta fórmula para el mes más desfavorable del año, de este modo se calcula el número de paneles fotovoltaicos óptimo. También se quitan los 500W que proporcionará el aerogenerador.

Se ha escogido un panel **Sanyo**, modelo **HIP-230HDE 230W**

$$NP = \frac{2149}{0,9 \cdot 230 \cdot 1,767} = 5,875 \approx 6$$

A partir de la fórmula, se puede observar cómo se necesitan 6 paneles fotovoltaicos para la instalación.

Para la regulación, se ha llegado a la conclusión de utilizar dos reguladores para la tensión. Uno regulará la tensión de tres paneles y el otro de los tres restantes. De este modo:

$$I_{\max}(3) = 6,67 \cdot 3 = 20A$$

A partir de aquí ya se puede escoger el regulador para su intensidad máxima correspondiente. Los reguladores escogidos son:

Regulador de Carga Steca Solarix PRS 2020 20A 12/24v

Ahora se procede al estudio del aerogenerador. Se necesita un aerogenerador capaz de generar una energía de 500(W·h). Se ha escogido un aerogenerador que proporciona 500W, modelo **windworker - 500H/WM500**.

En la tabla siguiente hay las medidas medias mensuales en m/s tomadas el 2007 y 2008 por la estación meteorológica de Santa Coloma de Queralt, población ubicada a 8 Km del lugar al cual se quiere poner la instalación eólica doméstica. Son las medidas numéricas tomadas más fiables de la zona.

Tabla 6.3. Medidas medias mensuales en m/s

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	año
2007	3,4	3,9	4,1	2,5	3,6	2,5	2,6	2,7	2,5	2,4	3,2	3,8	3,1
2008	3,3	2,2	4,8	3,3	2,5	2,3	2,3	2,4	2,3	2,5	4,2	3,8	3,0

En la tabla 6.3 se puede observar como hay velocidad suficiente como para poder accionar el molino en cuestión, pero no para hacerlo funcionar en régimen permanente, para su producción nominal. Puesto que la estación meteorológica está a 8 Km y a una altitud inferior a la de vivienda, estos valores sólo son orientativos.

En la figura 6.4 se puede observar la velocidad media del viento en la zona donde hay la vivienda aislada.

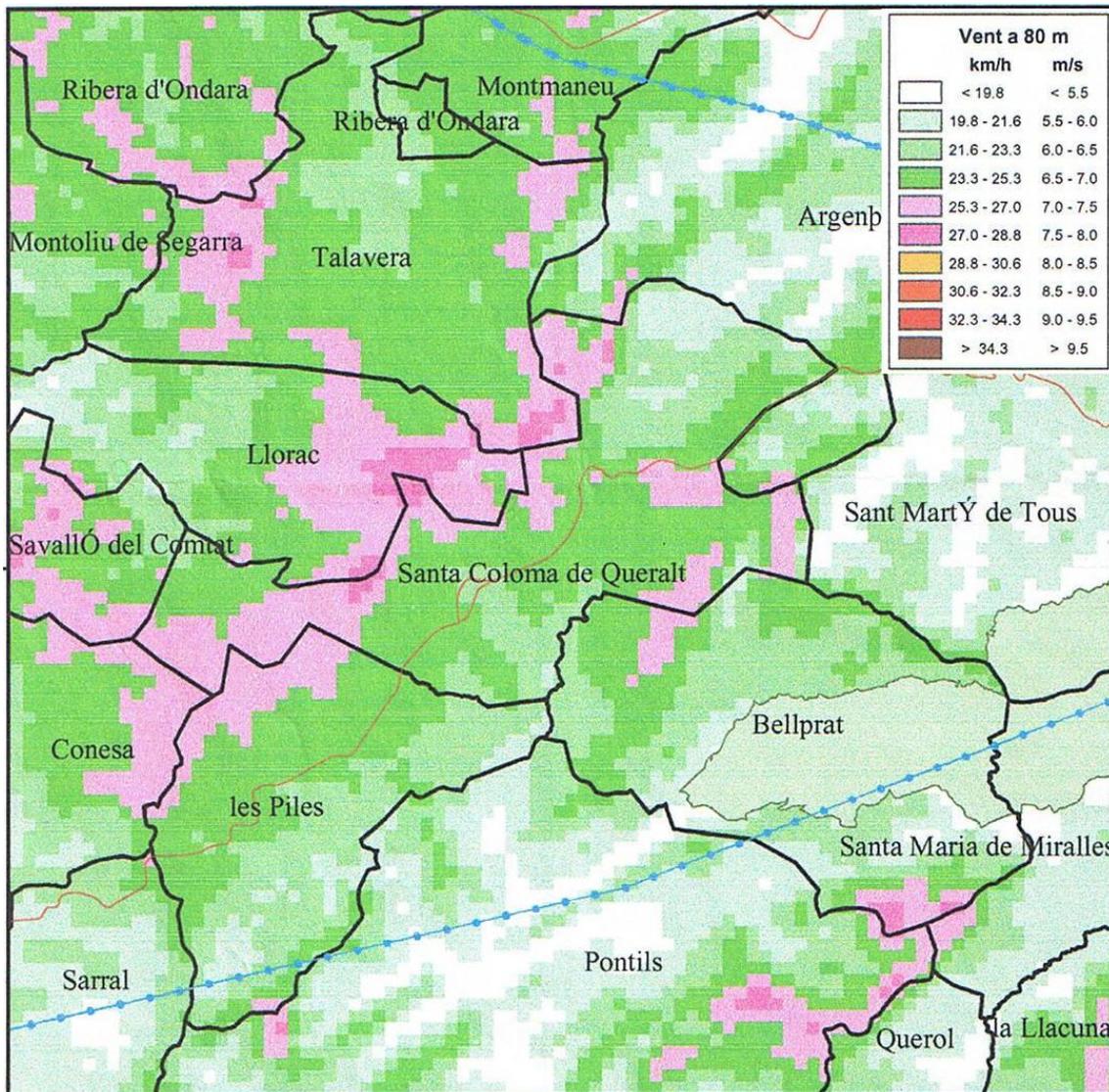


Figura 6.4. Velocidad media del viento de la zona estudiada.

Esta gráfica demuestra como la velocidad del viento en la vivienda es superior a la de la zona donde está colocada la estación meteorológica de Santa Coloma de Queralt. A partir de la gráfica se observa como la velocidad del viento es suficiente, para la producción que se requiere.

A partir de las medidas recibidas, al ver que el proyecto es viable, se tendría que hacer un estudio de la velocidad del viento como mínimo durante un período de dos años, justo en el sitio donde se quiere colocar el molino, ya que siempre pueden haber perturbaciones, debidas a árboles, casas, montañas, etc. Puesto que el proyecto es teórico y se puede observar que el viento en la zona es suficiente para una instalación eólica doméstica. El molino eólico escogido, se considerará apto para poder producir los 500W·h requeridos.

También se escoge un regulador para el aerogenerador, este tiene que trabajar a 24 V, con una corriente máxima de 20,83 A.

Se ha escogido el regulador Steca Solarix PRS 3030 30A 12/24v, puesto que es de la misma casa que el de las placas fotovoltaicas.

6.1.3. Instalación híbrida a 12V

Una vez definida la utilidad energética real E (W·h) y la tensión nominal V del acumulador que es de 12V, se puede obtener con facilidad la capacidad del banco de baterías C (A·h) necesario, con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{E_R \cdot N}{V \cdot p_d} = \frac{2.649,37 \cdot 2}{12 \cdot 0,7} = 630(A \cdot h)$$

A partir de la capacidad calculada, se selecciona el equipo comercial que da las mejores prestaciones para la instalación.

En este caso se utiliza las siguientes baterías:

Una batería de 12 voltios y de 6 vasos de la marca TAB, modelo OPzS 420, que proporcionará 630 (Ah).

Una vez definida la batería que se va a utilizar se pasa a calcular los paneles solares que hay que utilizar en la instalación.

Primero se tiene que hacer un estudio histórico de la zona donde se quieren poner, se busca en la base de datos de irradiación mundial online y se utilizan las coordenadas geográficas del lugar (latitud N= 41° 30' 21" Norte / longitud W=1° 8' 31" Este Elevación: 693m) para contrastar los valores. De aquí se deduce el valor de irradiación solar diaria media en superficie inclinada H (kWh/m²·dia) del lugar.

Los resultados mensuales medios se recogen en la tabla 6.4.

Tabla 6.4. Irradiación solar diaria media

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	
HPS	1,986	2,770	4,135	5,048	5,895	6,577	
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
	6,706	5,837	4,677	3,244	2,142	1,767	4,240

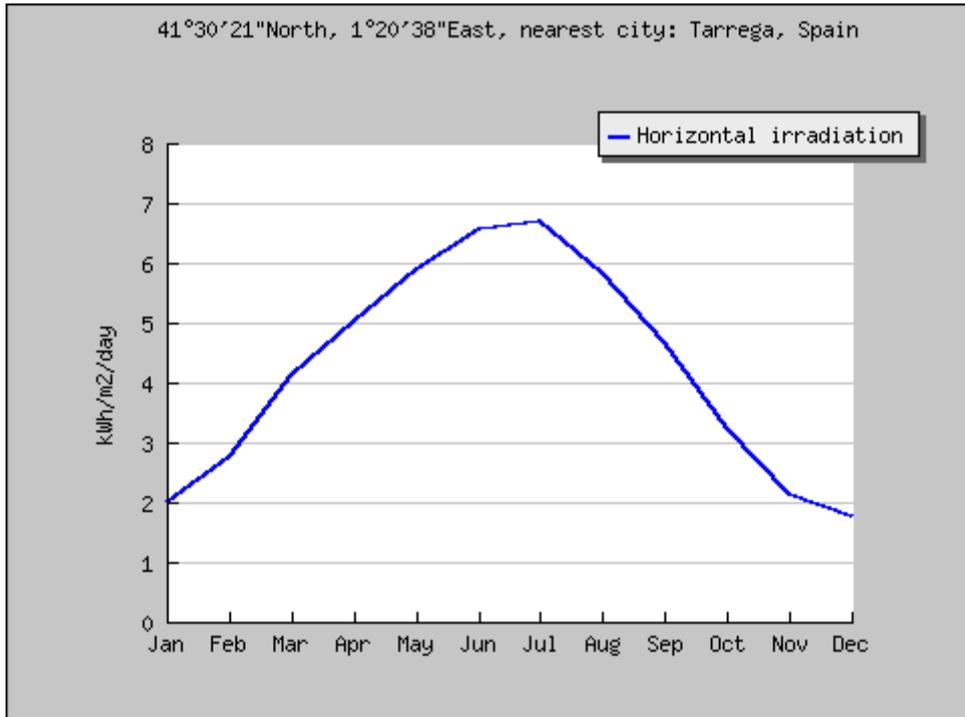


Figura 6.5. Irradiación solar durante un periodo de un año

A partir de aquí, se introduce un concepto muy importante, las horas de pico solar HPS (h), definido como las horas de luz solar por día equivalentes, pero definidas en base a una irradiancia I (kW/m²) constante de 1 kW/m², a la que está siempre medida la potencia de los paneles solares. De este modo se puede hacer una valoración de la luz diaria de irradiancia solar con una curva diaria.

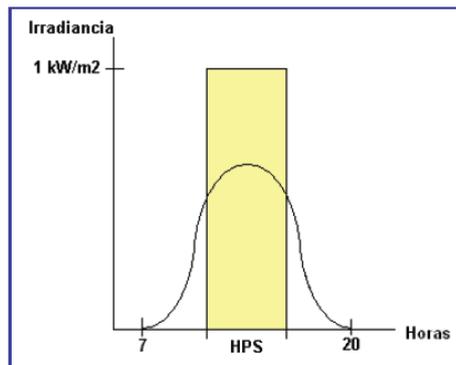


Figura 6.6. Irradiancia con horas de pico solar

Como puede verse en la figura, el área definida por el rectángulo (irradiancia en base a las horas de pico solar) es igual al área definida por la curva horaria de irradiancia real.

La irradiancia H (kWh/m²) es igual al producto de la irradiancia de referencia I (1 kW/m²) por las horas de pico solar HPS (h). Entonces los valores numéricos de la irradiancia y horas de pico solar son iguales.

$$H\left(\frac{kW}{m^2}\right) = I\left(\frac{kW}{m^2}\right) \cdot HPS(h)$$

Por lo tanto según esta ecuación, los valores numéricos de la tabla, son igualmente válidos para las horas de pico solar. Y consecuentemente los paneles solares producen una energía eléctrica durante todo el día equivalente a sólo las horas de pico solar operando a su máxima potencia. Esa máxima potencia es el principal parámetro que define un panel solar y es uno de principales parámetros de diseño que el proyectista debe definir.

A partir de la fórmula siguiente, se calcula el número de paneles fotovoltaicos:

(W_p , es la potencia de pico de la placa fotovoltaica.)

$$NP = \frac{E_r}{0,9 \cdot W_p \cdot HPS}$$

Se Utiliza esta fórmula para el mes más desfavorable del año, de este modo se calcula el número de paneles fotovoltaicos óptimo.

Se ha escogido un panel **Sanyo**, modelo **HIP-230HDE 230W**

$$NP = \frac{2149}{0,9 \cdot 230 \cdot 1,767} = 5,87 \approx 6$$

A partir de la fórmula, se puede observar como necesitamos 6 paneles fotovoltaicos para la instalación.

Para la regulación, se ha llegado a la conclusión de utilizar dos reguladores para la tensión. Uno regulará la tensión de tres paneles y el otro de los tres restantes. De este modo:

$$I_{\max}(3) = 6,67 \cdot 3 = 20A$$

A partir de aquí ya se pueden escoger los dos reguladores para sus intensidades máximas correspondientes. Los reguladores escogidos son:

Steca Solarix PRS 2020 20A 12/24v.

Ahora se procede al estudio del **aerogenerador**. Se ha escogido un aerogenerador que proporcionará 500W, modelo **FRACTAL F40**

En la tabla siguiente se tienen las medidas medias mensuales en m/s tomadas el 2007 y 2008 por la estación meteorológica de Santa Coloma de Queralt, población ubicada a 8 Km del lugar al cual se requiere la instalación eólica doméstica. Son las medidas numéricas tomadas más fiables de la zona.

Tabla 6.5. *Medidas medias mensuales en m/s*

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	año
2007	3,4	3,9	4,1	2,5	3,6	2,5	2,6	2,7	2,5	2,4	3,2	3,8	3,1
2008	3,3	2,2	4,8	3,3	2,5	2,3	2,3	2,4	2,3	2,5	4,2	3,8	3,0

En la tabla 6.5 se observa cómo hay velocidad suficiente como para poder accionar el molino en cuestión, pero no para hacerlo funcionar en régimen permanente, para su producción nominal. Puesto que la estación meteorológica está a 8 Km y a una altitud inferior a la de vivienda, estos valores sólo son orientativos.

En la figura 6.7 se puede observar la velocidad media del viento en la zona donde tenemos la vivienda aislada.

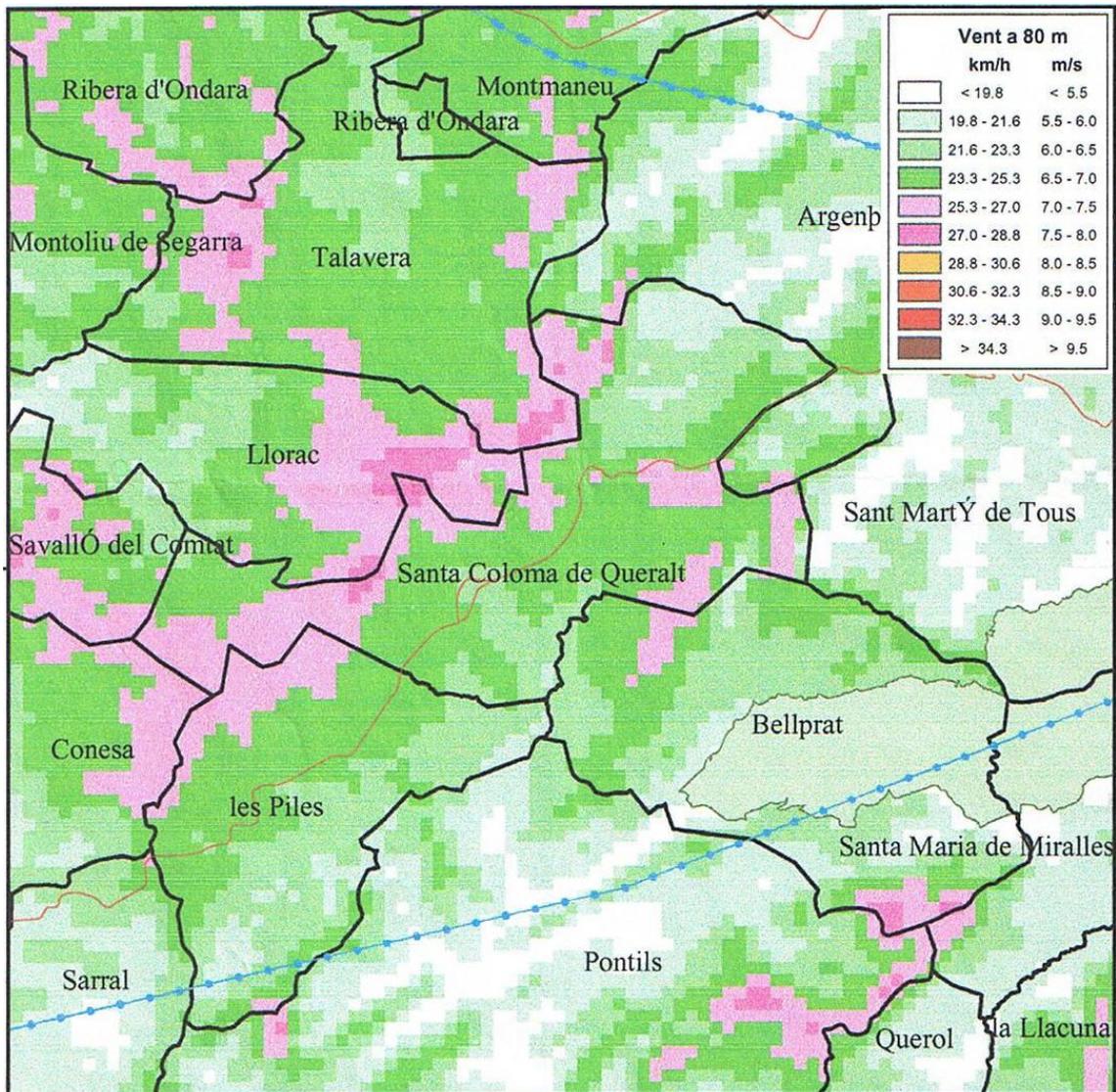


Figura 6.7. Velocidad media del viento de la zona estudiada.

Esta gráfica demuestra como la velocidad del viento en la vivienda es superior a la de la zona donde está colocada la estación meteorológica de Santa Coloma de Queralt. A partir de la gráfica se observa como la velocidad del viento es suficiente, para la producción que se requiere.

A partir de las medidas recibidas, al ver que el proyecto es viable, se tiene que hacer un estudio de la velocidad del viento como mínimo durante un período de dos años, justo en el sitio donde se quiere colocar el molino, ya que siempre pueden haber perturbaciones, debidas a árboles, casas, montañas, etc. Puesto que este trabajo sólo es teórico y se ha podido observar que el viento en la zona es suficiente para una instalación eólica doméstica. El molino eólico, se considerará apto para poder producir los 500W·h necesarios.

También se escoge un regulador para el aerogenerador, este tiene que trabajar a 12 V, con una corriente máxima de 41,67 A.

Se ha escogido el **regulador Maximizador Outback FLEXmax 60 MPPT**, puesto que puede llegar a regular hasta 60A.

6.1.4. Comparativa diseño a 12V con diseño a 24V

Se ha hecho el estudio con los dos diseños para poder observar cual de los dos es más provechoso. Al hacer el estudio se observa como el tratamiento a 24V sale económicamente más viable, puesto que todos los aparatos los haces trabajar a la mitad de la intensidad, para la misma potencia de salida. Se observa un gran incremento del precio, en los aparatos de tratamiento de la electricidad, a partir de un incremento de la intensidad. Como se requiere una intensidad de 24V, para reducir el incremento hasta los 230V. Se escoge el sistema de 24V, que es el que da mejores prestaciones.

6.2. Sistema solar térmico para A.C.S.

Para el diseño de agua caliente sanitaria se ha obtado por utilizar un sistema de acondicionamiento por el método de energía solar térmica, en el cual se aprovechara la energía solar para aumenatar la temperatura del agua, se instalará un equipo prefabricado de termosifón formado por los componentes mostrados en la figura 6.8, así como el uso de un sistema auxiliar para complementar la instalación.



Figura 6.8. Instalación solar térmica para agua caliente sanitaria.

6.2.1. Cálculo de la demanda energética del edificio

La siguiente tabla 6.6 extraída del pliego de condiciones técnicas de baja temperatura 2009 (IDAE) define los consumos unitarios en L / día en función del uso al que esté destinada la instalación, para una temperatura de preparación de 60°C.

Tabla 6.6. Consumos unitarios en función del uso (Fuente:IDEA).

Criterio de consumo	Litros/día	
Viviendas unifamiliares	30	Por persona
Viviendas multifamiliares	22	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por cama
Hoteles (4 estrellas)	70	Por cama
Hoteles (3 estrellas)	55	Por cama

En el caso que estamos tratando estaríamos dentro del apartado para viviendas unifamiliares.

Tabla 6.7. Consumo de la vivienda al día.

	Personas	Litros	Consumo ACS
Vivienda unifamiliar	4	30	120
		Total L/día	120

$$Q_{\text{Día}} = 120 \text{ L}$$

A efectos del cálculo de la carga de consumo, los valores orientativos de temperatura de agua fría (°C) se indican en la tabla.

Tabla 6.8. Temperatura de agua fría en Tarragona.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	
Tarragona	6	7	9	11	12	13	
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
	14	13	12	11	9	6	10.3

Tabla 6.9. Cálculo de la demanda energética anual.

MES	N Dia/mes	T_{AF} °C	DE_{mes} kWh
Ene	31	10,3	214,47
Feb	28	10,3	193,71
Mar	31	10,3	214,47
Abr	30	10,3	207,55
May	31	10,3	214,47
Jun	30	10,3	207,55
Jul	31	10,3	214,47
Ago	31	10,3	214,47
Sep	30	10,3	207,55
Oct	31	10,3	214,47
Nov	30	10,3	207,55
Dic	31	10,3	214,47
Total			2525,2

$$DE_{mes} (kWh) = Q_{dia} \cdot N \cdot (T_{ACS} - T_{AF}) \cdot 1.16 \cdot 10^{-3}$$

N Número de días del mes considerado

T_{AF} Temperatura agua red, en °C

T_{ACS} temperatura referencia agua caliente, en °C

Q_{Día} consumo diario de ACS del edificio a la temperatura TACS, en litros/día

DE_{mes} demanda energética mensual

6.2.2. Elección de la fracción solar anual

Para edificios con un consumo de agua caliente sanitaria inferior a 1000 litros/día, la fracción solar mínima anual ha de ser del 60%. El equipo solar prefabricado se elegirá de modo que respete esta condición.

6.2.3. Elección del modelo del sistema de calentamiento prefabricado.

6.2.3.1. Cálculo de la radiación solar mensual incidente EI_{mes} sobre la superficie inclinada del captador.

Los valores, procedentes del atlas de radiación solar, para una inclinación de 45° son los que se recogen en la tabla siguiente.

Tabla 6.10. Cálculo de la energía solar mensual incidente.

MES	EI MJ/día	EI kWh/día	EI _{mes} kWh/mes
Ene	12,83	3,56	110
Feb	15,15	4,21	118
Mar	17,94	4,98	154
Abr	19,89	5,53	166
May	20,67	5,74	178
Jun	20,84	5,79	174
Jul	20,90	5,81	180
Ago	20,63	5,73	178
Sep	19,26	5,35	161
Oct	16,63	4,62	143
Nov	13,85	3,85	115
Dic	12,19	3,39	105
Total			1782

6.2.3.2. Cálculo del parámetro D_1

El parámetro D_1 se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$D_1 = \frac{EA_{mes}}{DE_{mes}}$$

Siendo

DE_{mes} la demanda energética mensual (kWh/mes)

EA_{mes} la energía solar mensual absorbida por los captadores (kWh/mes)

$$EA_{mes} = S_c \cdot F'_R(\tau\alpha) \cdot EI_{mes}$$

Donde

S_C es la superficie de captación solar (Según las hipótesis realizadas)

EI_{mes} es la energía solar mensual incidente sobre la superficie de los captadores (kWh/m²mes)

$F'_R(\tau\alpha)$ es un factor adimensional, su expresión es:

$$F'_R(\tau\alpha) = F_R(\tau\alpha) \cdot \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \frac{F'_R}{F_R}$$

Donde

$F'_R(\tau\alpha)_n$ es el factor de eficiencia óptica del captador

$[(\tau\alpha)(\tau\alpha)_n]$ es el denominador modificador de ángulo de incidencia (0,96 para captadores con una cubierta de vidrio)

F'_R / F_R es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor 0.95

En la tabla se indican los valores del parámetro D_1 para los doce meses del año.

$$S_C = 4m^2$$

$$F_R(\tau\alpha)_n = 0,78$$

$$F'_R(\tau\alpha) = 0,71136$$

Tabla 6.11. Cálculo del parámetro D_1 .

MES	DE_{mes} kWh	EI_{mes} kWh/m²	EA_{mes} kWh	D₁
Ene	214,47	110	313,00	1,46
Feb	193,71	118	335,76	1,73
Mar	214,47	154	438,20	2,04
Abr	207.55	166	472,34	2,28
May	214,47	178	506,49	2,36
Jun	207.55	174	495,11	2,39
Jul	214,47	180	512,18	2,39
Ago	214,47	178	506,49	2,36
Sep	207.55	161	458,12	2,21
Oct	214,47	143	406,90	1,90
Nov	207.55	115	327,23	1,58
Dic	214,47	105	298,77	1,39
Total	2525,2	1782	5070,59	

- DE_{mes} la demanda energética mensual (kWh/mes)
- EI_{mes} es la energía solar mensual incidente sobre la superficie de los captadores (kWh/m²mes)
- S_C es la superficie de captación solar (Según las hipótesis realizadas)
- F_R(τ_α) factor adimensional
- EA_{mes} la energía solar mensual absorbida por los captadores (kWh/mes)
- D₁ parámetro del método *f*-chart

6.2.3.3. Cálculo del parámetro D₂

El parámetro D₂ se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$D_2 = \frac{EP_{mes}}{DE_{mes}}$$

Siendo

- DE_{mes} la demanda energética mensual (kWh/mes)
 EP_{mes} la energía solar mensual no aprovechada por los captadores (kWh/mes)

$$EP_{mes} = S_C \cdot F'_R \cdot U_L \cdot (100 - T_{AMB}) \cdot \Delta t \cdot K_1 \cdot K_2$$

Donde

S_C es la superficie de captación solar (Según las hipótesis realizadas)

F'_RU_L factor calculado según la expresión (kW/(m²·K)):

$$F'_R U_L = F_R U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot 10^{-3}$$

F_RU_L es el coeficiente global de pérdidas de captador

F'_R/F_R es el factor de corrección del conjunto captador-intercambiador

T_{AMB} es la temperatura media mensual del ambiente en °C.

Δt es el periodo del tiempo considerado en horas (para cálculos mensuales es el número de horas de cada mes)

Tabla 6.12. Temperatura media mensual del ambiente (Fuente: Censosolar).

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	AÑO
T _{AMB}	9	10	12	15	18	22	24	24	22	17	13	10	16,4

K₁ se denomina factor de corrección por almacenamiento y su expresión es:

$$K_1 = \left[\frac{V}{(75 \cdot S_C)} \right]^{-0,25}$$

K_2 se denomina factor de corrección para agua caliente sanitaria y relaciona las distintas temperaturas según la siguiente expresión:

$$K_2 = \frac{(11,6 + 1,18T_{AC} + 3,86T_{AF} - 2,32T_{AMB})}{(100 - T_{AMB})}$$

Resumen de datos para cálculo de D_2 :

$$\begin{aligned} S_C &= 4\text{m}^2 \\ V &= 300\text{l} \\ T_{AC} &= 60^\circ\text{C} \\ F_R U_L &= 7,8 \\ F'_R U_L &= 7,41 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Tabla 6.13. Cálculo del parámetro D_2 .

MES	DE _{mes} kWh	T _{AMB} °C	T _{AF} °C	Δt Horas	K ₁	K ₂	EP _{mes} kWh	D ₂
Ene	214,47	9	10,3	744	1	1,11	2227,49	10,39
Feb	193,71	10	10,3	672	1	1,10	1971,89	10,18
Mar	214,47	12	10,3	744	1	1,07	2076,43	9,68
Abr	207,55	15	10,3	720	1	1,03	1868,39	9,00
May	214,47	18	10,3	744	1	0,98	1772,11	8,26
Jun	207,55	22	10,3	720	1	0,91	1514,77	7,30
Jul	214,47	24	10,3	744	1	0,87	1458,09	6,80
Ago	214,47	24	10,3	744	1	0,87	1458,09	6,80
Sep	207,55	22	10,3	720	1	0,91	1514,77	7,30
Oct	214,47	17	10,3	744	1	1,00	1830,33	8,53
Nov	207,55	13	10,3	720	1	1,06	1968,05	9,48
Dic	214,47	10	10,3	744	1	1,10	2183,16	10,18
Total	2525,2							

6.2.3.4. Determinación de la fracción solar mensual f aportada por el sistema de captación solar

A partir de los parámetros D_1 y D_2 se calcula la fracción solar mensual a partir de la siguiente expresión:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

Tabla 6.14. Cálculo de la fracción solar mensual.

MES	D ₁	D ₂	f
Ene	1,46	10,39	0,5660
Feb	1,73	10,18	0,6831
Mar	2,04	9,68	0,8016
Abr	2,28	9,00	0,8881
May	2,36	8,26	0,9324
Jun	2,39	7,30	0,9748
Jul	2,39	6,80	0,9946
Ago	2,36	6,80	0,9877
Sep	2,21	7,30	0,9310
Oct	1,90	8,53	0,7946
Nov	1,58	9,48	0,6446
Dic	1,39	10,18	0,5395

F fracción solar mensual

6.2.3.5. Determinación de la fracción solar anual *F*

Una vez conocidos los valores mensuales de *f*, puede calcularse la producción energética útil mensual de la instalación solar EU_{mes} multiplicando la demanda energética mensual DE_{mes} por *f*.

$$EU_{mes} = f \cdot DE_{mes}$$

La suma de los valores EU_{mes} será la producción energética anual del sistema de captación solar.

El cociente entre la producción energética anual de la instalación solar y la demanda energética anual será la fracción solar anual **F**.

Tabla 6.15. Cálculo de la producción energética mensual útil.

MES	DE_{mes} kWh	f	EU_{mes} kWh
Ene	214,47	0,5660	121,38
Feb	193,71	0,6831	132,32
Mar	214,47	0,8016	171,91
Abr	207.55	0,8881	184,33
May	214,47	0,9324	199,97
Jun	207.55	0,9748	202,32
Jul	214,47	0,9946	213,31
Ago	214,47	0,9877	211,84
Sep	207.55	0,9310	193,22
Oct	214,47	0,7946	170,43
Nov	207.55	0,6446	133,78
Dic	214,47	0,5395	115,71
Total	2525,2		2050,52

DE_{mes} demanda energética, en kWh

F fracción solar mensual aportada por el sistema

EU_{mes} producción energética mensual útil

La fracción solar anual resultante F sería:

$$F = \frac{2050,52}{2525,2} = 0,81$$

6.2.4. Características del equipo prefabricado

El equipo prefabricado se instalará superpuesto en la vertiente de la cubierta inclinada orientada aal Sur, con una inclinación de 45° respecto a la horizontal.

Al acumulador del equipo se deberá conectar la alimentación de agua fría y la salida del agua caliente hacia el calentador o caldera de apoyo.

El sistema queda definido por:

Superficie de captación solar	$S_c = 4\text{m}^2$
Capacidad del depósito de acumulación	$V = 300\text{l}$
Demanda energética anual	2525,2 kWh
Producción energética solar anual	2050,52 kWh
Fracción solar anual obtenida	$F = 81\%$

La fracción solar anual obtenida es elevada para cubrir al máximo las necesidades de la vivienda, así como previsión de ampliación de la instalación.

El kit solar térmico escogido para la instalación es:

El **kit K2-300**, el cual está calculado para suministrar agua caliente sanitaria a 4-6 personas. Los elementos fundamentales que componen este kit son los siguientes:

- 2 captadores **Termicol T105 ó T105-S**.
- 1 acumulador **Lapesa de 300 litros modelo CV 300 HDP**.
- Estructura soporte para los captadores.
- Centralita de control, con protección antihielo.
- Caja de accesorios, que contiene purgador, vaso de expansión y valvulería necesaria para realizar la instalación.

7. Inversores monofásicos

7.1. Inversor monofásico en semipunte

El circuito inversor en semipunte está formado por dos pulsadores. Cuando el transistor Q_1 se encuentra activo durante el tiempo $T_0/2$, el voltaje instantáneo a través de la carga V_o es $V_S/2$. Si el transistor Q_2 está activo durante un tiempo $T_0/2$, aparece el voltaje $-V_S/2$ a través de la carga. El circuito lógico se tiene que diseñar de tal forma que Q_1 i Q_2 nunca estén activos al mismo tiempo. La figura 7.1 muestra las formas de onda por voltajes altos en la salida y las corrientes de los transistores por el caso de una carga resistiva. Este inversor requiere una fuente de DC de tres conductores, cuando un transistor está inactivo su voltaje inverso es V_S , en lugar de $V_S/2$. Este inversor se conoce con el nombre de inversor en semipunte.

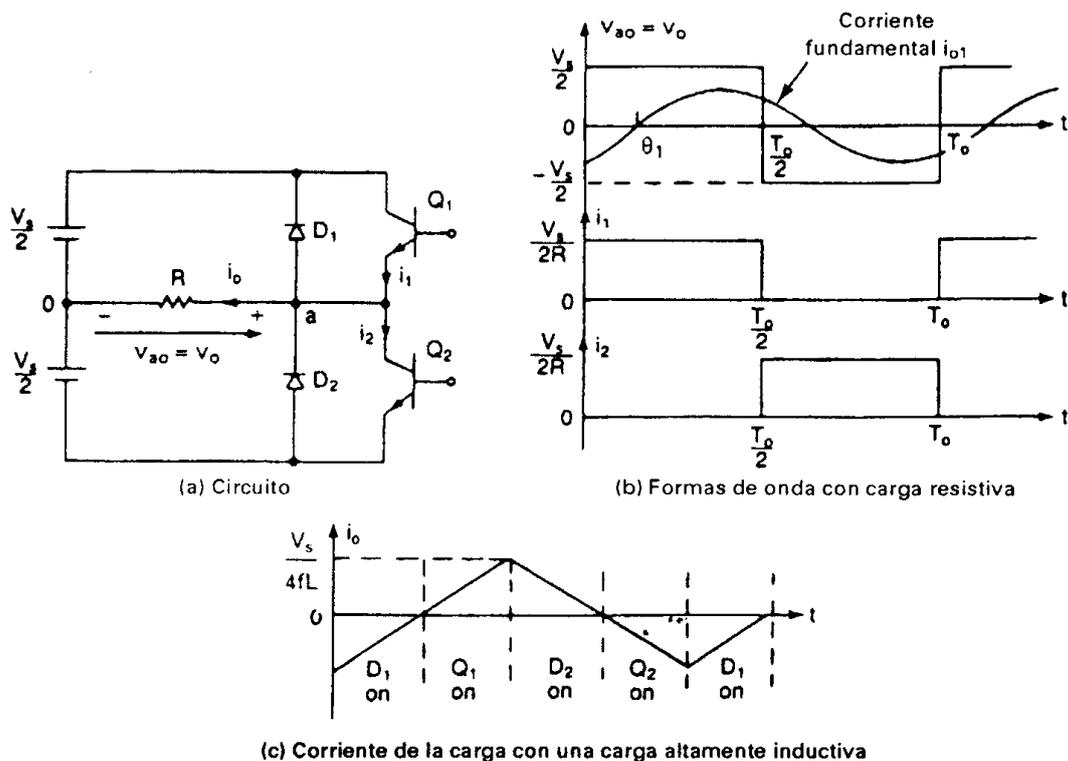


Figura 7.1. Inversor monofásico en semipunte.

El voltaje *rms* se puede encontrar a partir de la formula siguiente:

$$V_o = \left(\frac{2}{T_0} \int_0^{T_0/2} \frac{V_S^2}{4} dt \right)^{1/2} = \frac{V_S}{2}$$

El voltaje instantáneo de salida se puede expresar en una serie de Fourier como

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \sin(n\omega t)$$

donde $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f_o$ es la frecuencia de salida en radianes/s. Por $n=1$, la ecuación proporciona el valor *rms* de la componente fundamental como

$$V_1 = \frac{2 \cdot V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi} = 0.45 \cdot V_s$$

Por una carga inductiva, la corriente no puede variar inmediatamente con el voltaje de salida. Si Q_1 se desactiva en $t=T_0/2$, la corriente de la carga continua circulante a través de D_2 , de la carga y de la mitad inferior de la fuente de CD, hasta que llegue a cero. De forma similar, cuando Q_2 se desactiva en $t =T_0$, la corriente de la carga circula a través de D_1 , de la carga y de la mitad superior de la fuente de CD. Cuando uno de los diodos D_1 o D_2 conduce, la energía se retroalimenta hacia la fuente de CD, por eso se les llaman diodos de retroalimentación. La figura (7.1 (c)) muestra la corriente y los intervalos de conducción de los dispositivos por una carga puramente inductiva. Se puede afirmar que por una carga puramente inductiva, un transistor conduce únicamente durante $T_0/2$ (por lo tanto 90°). Dependiendo del factor de potencia de la carga, el período de conducción de un transistor varía de 90° a 180° .

Los transistores pueden substituirse por GTO o por tiristores de conmutación forzada. Si t_q es el tiempo de desactivación de un tiristor, tiene que existir un tiempo mínimo de retardo $T_{q\text{mínimo}}$ entre el tiristor que se desactiva y la orden para disparar el siguiente tiristor. Si no se hiciera así, entre ambos tiristores obtendríamos una condición de corto circuito. Esto provoca que el tiempo máximo de conducción de un tiristor sea $T_0/2 - T_q$. A la práctica, hasta los transistores requieren de un cierto tiempo de activación y desactivación.

Para lograr una operación exitosa de los inversores, el circuito lógico tiene que tener todos estos aspectos en consideración.

Para una carga RL , la corriente instantánea i_o se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$i_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n)$$

7.2. Inversor monofásico puente completo

Un inversor monofásico en puente completo está formado por cuatro pulsadores. Cuando los transistores Q_1 y Q_2 se activan simultáneamente, el voltaje de entrada V_s aparece a través de la carga. Si los transistores Q_3 y Q_4 se activan al mismo tiempo, el voltaje a través de la carga se invierte y adquiere el valor $-V_s$. La forma de onda del voltaje de salida se muestra a la figura 7.2.

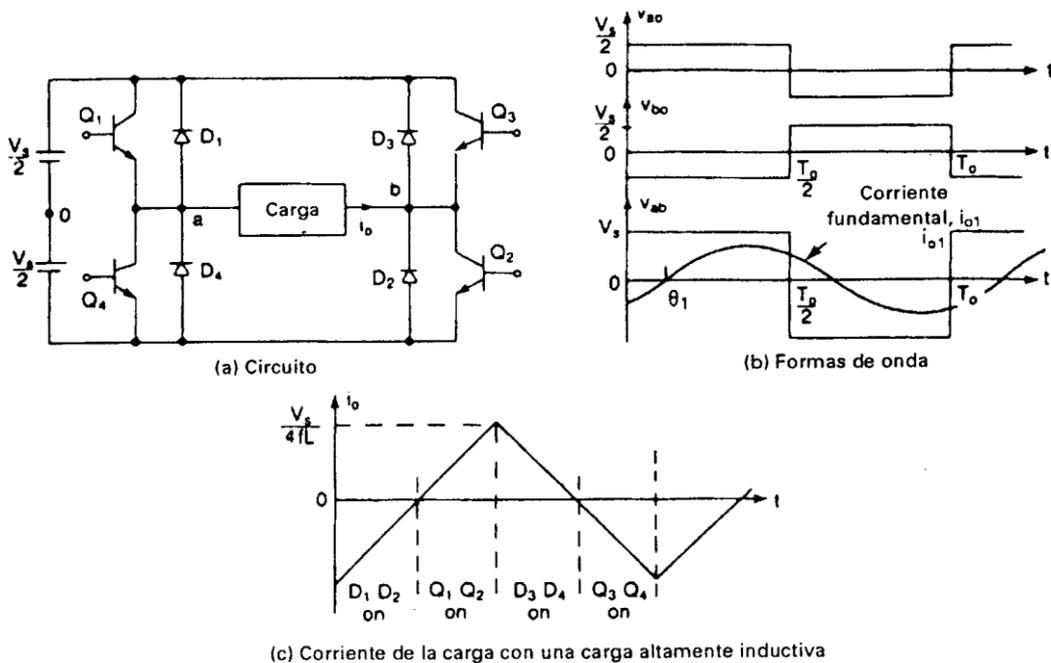


Figura 7.2. Ondulador puente completo.

El voltaje *rms* de salida se puede determinar a partir de

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} = V_s$$

La ecuación

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \sin(n\omega t)$$

se puede extender para que exprese el voltaje instantáneo de salida en una serie de Fourier como

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \sin(n\omega t)$$

Por $n=1$, la ecuación proporciona el valor *rms* de la componente fundamental como

$$V_1 = \frac{4 \cdot V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi} = 0.90 \cdot V_s$$

Utilizando la ecuación

$$i_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin(\omega t - \theta_n)$$

la corriente instantánea de la carga i_0 por una carga RL se convierte en

$$i_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4 \cdot V_s}{n \cdot \pi \cdot \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \sin(\omega t - \theta_n)$$

Cuando los diodos D_1 y D_2 conducen, se retroalimenta la energía hacia la fuente de CD, por eso se dice que D_1 y D_2 son diodos de retroalimentación. La figura 7.2c muestra la forma de onda de la corriente por una carga inductiva.

Parámetros de rendimiento

La salida de un inversor se evalúa mediante los siguientes parámetros de rendimiento:

- **Factor armónico de la n -ésima componente HF_n**

El factor armónico (correspondiente al n -ésimo armónico), es una medida de la contribución armónica individual y se define como

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1}$$

donde V_1 es el valor *rms* de la componente fundamental y V_n es el valor *rms* de la n -ésima componente armónica.

- **Distorsión armónica THD**

La distorsión armónica total, es una medida de la similitud entre la forma de onda y su componente fundamental, y se define como

$$THD = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{n=2,3..}^{\infty} V_n^2 \right)^{1/2}$$

- **Factor de distorsión DF**

El valor THD proporciona el contenido armónico total, pero no indica el nivel de cada uno de sus componentes. Si a la salida de los inversores se utiliza un filtro, los armónicos de orden más elevado se atenuarán con mayor eficacia. Resulta indispensable conocer la frecuencia y la magnitud de cada componente. El factor de distorsión indica la cantidad de distorsiones armónicas que resta en una forma de onda particular, después de que sus armónicos hayan estado sometidas a una atenuación de segundo orden. Por tanto, el valor DF es una medida de la eficacia en la reducción de los componentes armónicos no deseados, sin necesidad de especificar valores de un filtro de carga de segundo orden y se define como

$$DF = \frac{1}{V_1} \left[\sum_{N=2,3..}^{\infty} \left(\frac{V_n}{n^2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

El factor de distorsión de una componente armónica individual (o de orden n) se define como

$$DF_n = \frac{V_n}{V_1 \cdot n^2}$$

- **Harmónico de menor orden LOH**

La componente con frecuencia más cercana a la fundamental y con mayor amplitud o igual al 3% de la componente fundamental es el harmónico de menor orden.

7.3. Inversor monofásico con convertidor DC-DC

Estos tipos de inversores monofásicos, integrados primeramente por un convertidor DC-DC (elevador) capaz de elevar tensiones continuas y posteriormente ser onduladas por un ondulator de puente completo (explicado en el punto anterior).

De esta manera el inversor convierte la tensión continua de entrada a otra tensión continua de mayor amplitud, y al pasar por el ondulator es convertida a una tensión alterna sinusoidal.

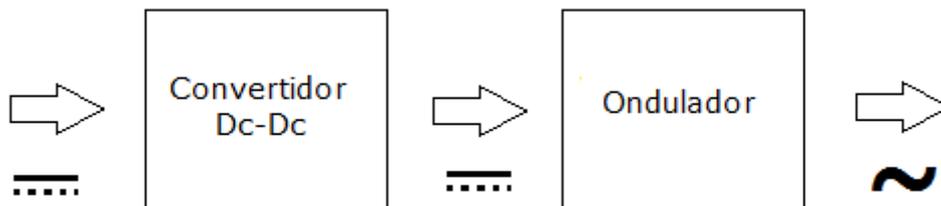


Figura 7.3. Diagrama de bloques (inversor monofásico con convertidor DC-DC).

7.3.1. Convertidor DC-DC

El convertidor DC-DC como su nombre indica, convierte señales de corriente continua a corriente continua pulsatoria. Existen distintos tipos de convertidores según su modo de trabajo y su conversión.

- Convertidor reductor (Buck)
- Convertidor elevador (Boost)
- Convertidor reductor-elevador (Buck-Boost)

- Convertidor reductor-elevador (Cúk)

En el diseño a realizar, nos interesa un convertidor elevador, que su tensión de salida sea mayor a su tensión de entrada.

7.3.2. Convertidor elevador (Boost)

Su principal aplicación es suministrar tensión DC regulada y el frenado regenerativo de los motores de corriente continua. Como su nombre indica, la tensión de salida es siempre mayor que la tensión de entrada.

Cuando el interruptor está encendido, el diodo se invierte, aislando así la etapa de salida. La corriente de entrada a la bobina. Cuando el interruptor está apagado, la etapa de salida recibe la energía de la bobina, así como de la entrada. Usando un condensador de filtro de salida se garantiza una tensión constante de salida $v_o(t) \approx V_o$.

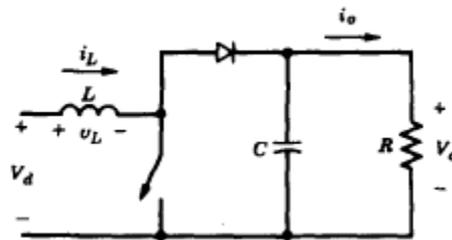


Figura 7.4. Convertidor elevador DC-DC.

El convertidor boost, tiene dos modos de trabajo, modo continuo de conducción y modo discontinuo de conducción.

Modo continuo de conducción

En la figura se puede ver la forma de onda del estado estacionario en este modo de conducción donde la corriente del inductor fluye de manera continua ($i_L(t) > 0$).

Dado que en estado estacionario, el tiempo integral de la tensión de inductor sobre un período de tiempo debe ser cero,

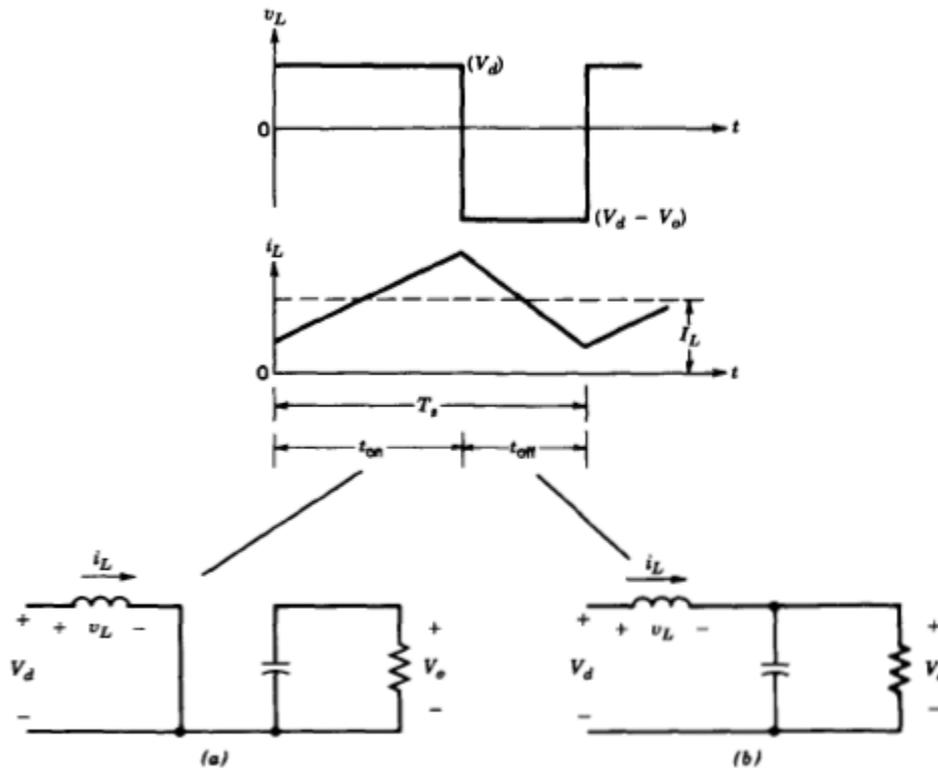


Figura 7.5. Modo de conducción continuo: (a) ON (b) OFF.

Dividiendo ambos lados por TS y reordenando los términos de rendimiento

— — — — —

Con un circuito sin pérdidas, $P_d = P_o$,

—

Modo discontinuo de conducción

Para entender la corriente del modo discontinuo de conducción, que podría suponerse, como la producción disminuye la carga de potencia, V_d y D se mantienen constantes (aunque, en la práctica, D podría variar con el fin de mantener constante V_o).

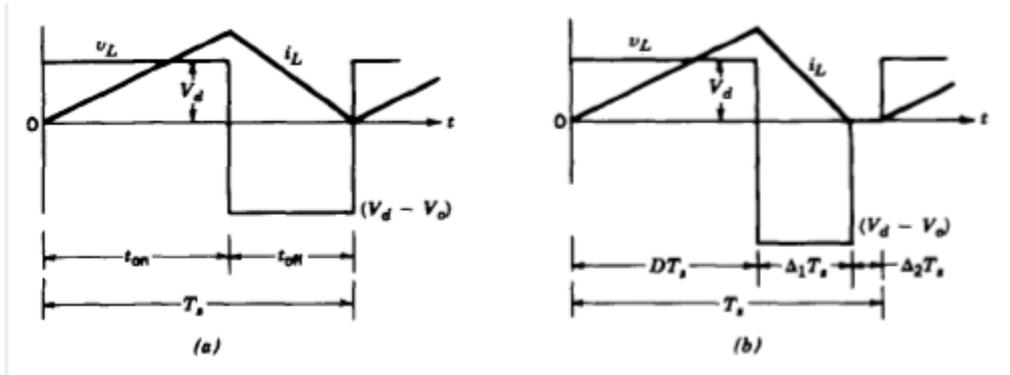


Figura 7.6. Formas de onda del convertidor elevador (a) en el límite de conducción continua-discontinua; (b) en conducción discontinua.

La figura 7.6 compara las formas de onda en el límite de conducción continua y conducción, en el supuesto de que V_d y D son constantes. En la figura 7.6b, la corriente de conducción discontinua ocurre debido a la disminución del $P_o (= P_D)$ y, por tanto, una menor $I_L (= I_d)$, ya que V_d es constante. Como $I_{L,pico}$ es la misma en ambos modos en la figura 7.6, un valor más bajo de la I_L (y, por tanto, una discontinua I_L) sólo es posible si V_o aumenta figura 7.6b.

Si igualamos la integral de la tensión de bobina sobre un período de tiempo a cero,

— ———

Si

— ———

De la figura 7.6b, la proporción de corriente de entrada, la cual es idéntica a la corriente del inductor es

—

Usando la ecuación $I_o/I_d = \Delta_1/(\Delta_1+D_1)$ tenemos

—

En la práctica, ya que el V_o se mantiene constante y D varía en función de la variación en V_d , es más útil para obtener el "duty ratio" D en función de la corriente de carga para varios valores de V_o / V_d . Mediante el uso de las ecuaciones anteriores, se determina que

En la figura 7.7, D es representado en función de $I_o/I_{oB,max}$ por varios valores de V_d/V_o . El límite entre conducción continua y discontinua se representa por la curva intermitente.

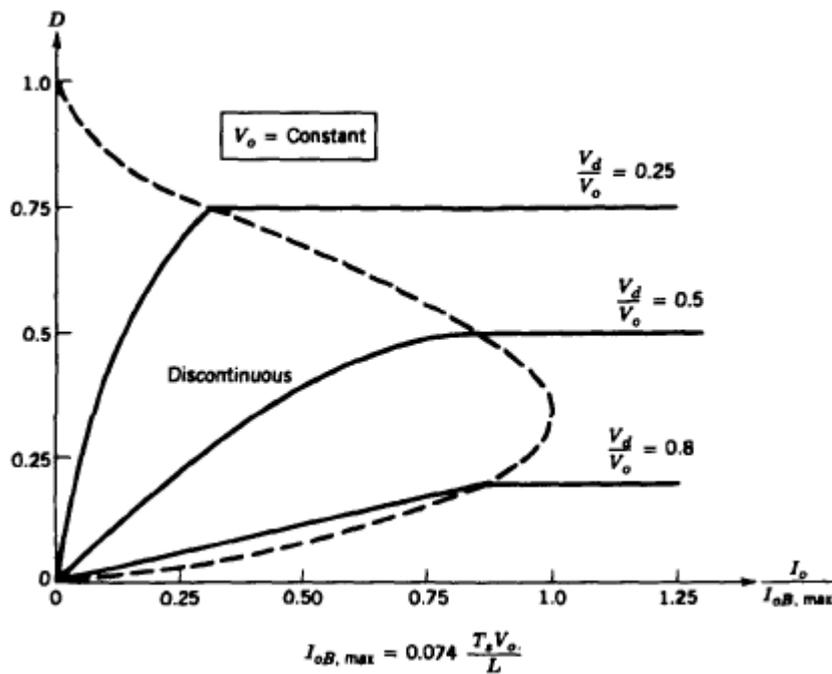


Figura 7.7. Características del convertidor elevador tomando V_o como constante.

En el modo discontinuo, si V_o no está controlado durante el cambio de periodo, al menos

se transfieren desde la entrada al condensador de salida y de la carga. Si la carga no es capaz de absorber esta energía, la tensión del condensador V_o se incrementaría hasta un balance de energía establecido. Si la carga se vuelve muy ligera, el incremento en el V_o puede causar una avería en el condensador o puede darse una alta tensión muy peligrosa.

7.3.3. Convertidores DC-DC con transformador

El aislamiento eléctrico en convertidores DC-DC es realizado por un transformador aislante de alta frecuencia. La figura 7.8a muestra el típico transformador con sus características esenciales B-H (histéresis). B_m es la máxima densidad de flujo más allá del cual la saturación sucede y B_r es la densidad de flujo remanente.

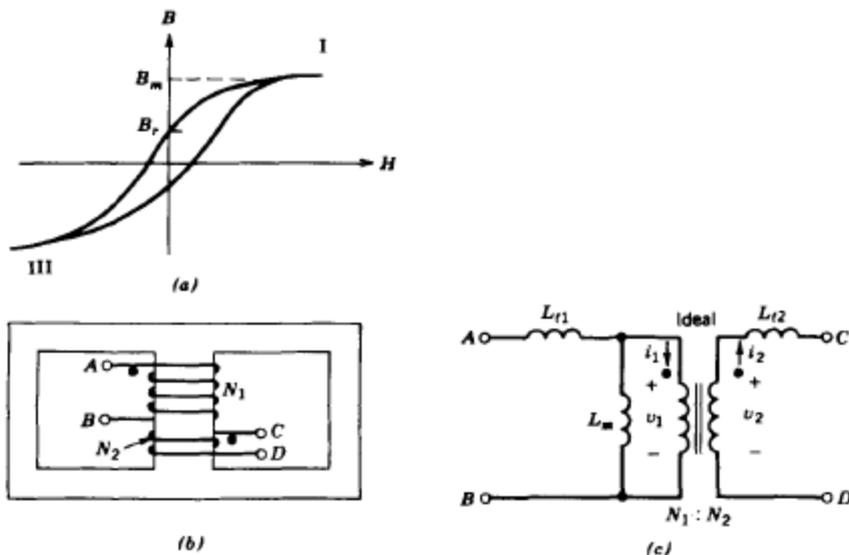


Figura 7.8. Transformador: (a) Curvas B-H del transformador; (b) transformador de dos devanados; (c) circuito equivalente.

Varios tipos de convertidores DC-DC (con transformador) pueden ser divididos en dos categorías básicas, basadas en la utilización del transformador:

- Excitación del núcleo unidireccional donde solo la parte positiva (cuadrante 1) del ciclo B-H es utilizado.
- Excitación del núcleo bidireccional donde la parte positiva (cuadrante 1) y la parte negativa (cuadrante 2) del ciclo B-H son utilizadas alternativamente.

Para el diseño del elevador de continua que se necesita, la excitación de núcleo necesitada es unidireccional, con estas características se obtienen las siguientes configuraciones:

- Convertidor Flyback (derivado del convertidor buck-boost).
- Convertidor Forward (derivado del convertidor buck).

7.3.4. Convertidor flyback (Derivado de convertidores Buck-Boost)

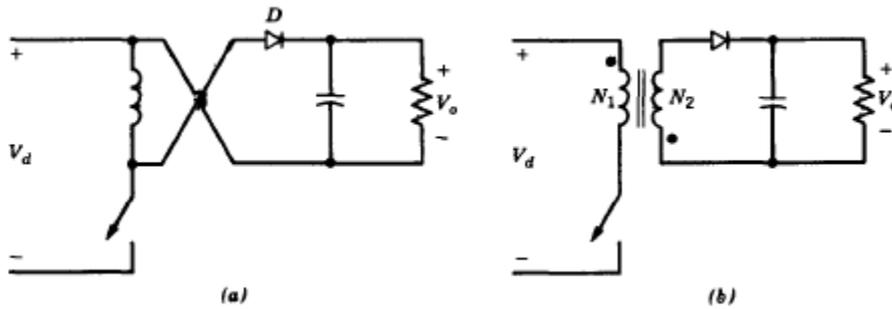


Figura 7.9. Convertidor Flyback.

Los convertidores Flyback son derivados de los convertidores buck-boost figura 7.9a. Al colocar un segundo devanado de la bobina es posible conseguir el aislamiento eléctrico, figura 7.9b.

En la figura 7.10a se muestra el circuito del convertidor donde los dos devanados del transformador son representados con su circuito equivalente. Cuando el interruptor está en ON, debido a las polaridades de los devanados, el diodo D en la figura 7.10a se invierte su polaridad. El modo de conducción continua de la corriente en el convertidor buck-boost corresponde a una desmagnetización incompleta del núcleo inductor en el convertidor flyback. Por lo tanto, como lo demuestran las formas de onda en la Figura 7.11, el flujo en el núcleo inductor aumenta linealmente desde su valor inicial $\Phi(0)$, que es finito y positivo:

$$\Phi(t) = \Phi(0) + \frac{V_d N_1}{L} t$$

y el flujo pico al final del intervalo viene dado por

$$\Phi_{peak} = \Phi(0) + \frac{V_d N_1}{L} t_{on}$$

Después t_{on} , el interruptor se apaga y la energía almacenada en el núcleo hace que el flujo de corriente en el bobinado secundario fluya a través del diodo D, como se muestra en Figura 7.10b.

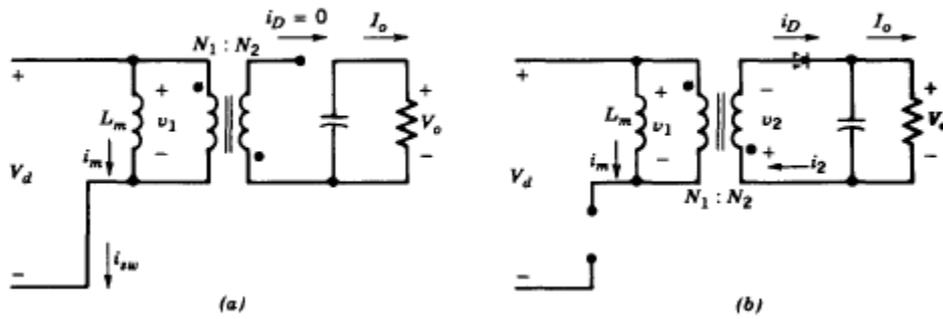


Figura 7.10. Estados del circuito convertidor Flyback: (a) interruptor on; (b) interruptor off.

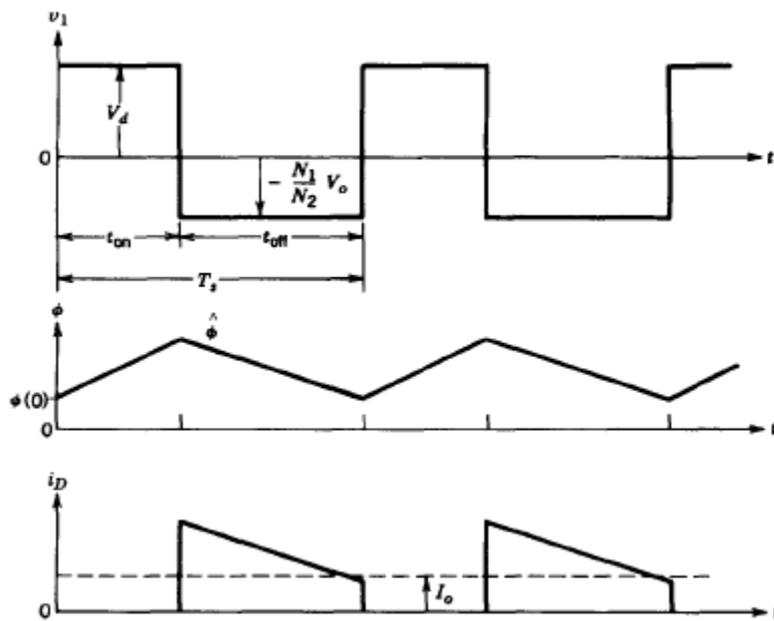
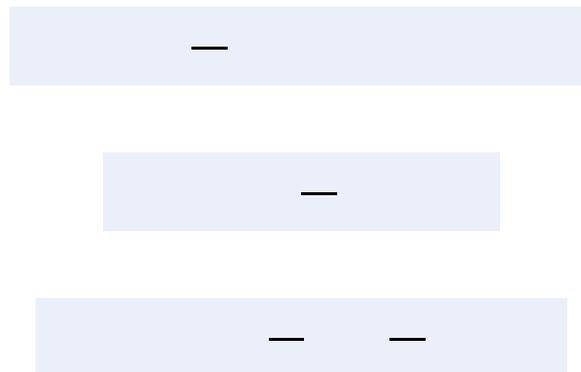


Figura 7.11. Formas de onda del convertidor Flyback.

La tensión en la bobina secundaria $v_2 = -V_o$, y por lo tanto, el flujo disminuye linealmente durante T_{off} :



Dado que el cambio neto del flujo a través del núcleo durante un período de tiempo debe ser cero en estado estacionario,

$$\int_{t_0}^{t_0+T_s} \frac{d\Phi}{dt} dt = 0$$

Por tanto,

$$\int_{t_0}^{t_0+t_{on}} \frac{d\Phi}{dt} dt + \int_{t_0+t_{on}}^{t_0+T_s} \frac{d\Phi}{dt} dt = 0$$

donde $D=t_{on}/T_s$. La última ecuación en que la relación de transferencia de tensión en un convertidor flyback depende de D de la misma manera que en el convertidor buck-boost .

Las formas de onda de voltaje y corriente pueden observarse en la figura 7.11, pueden ser obtenidas a partir de las ecuaciones siguientes. Durante el intervalo On, el voltaje del transformador primario $v_1=v_d$.

Por tanto, la corriente del inductor incrementa linealmente desde su valor inicial $I_m(0)$:

$$i_m = I_m(0) + \frac{v_d}{L} t$$

$$v_1 = v_d$$

Durante el intervalo de OFF, la corriente del interruptor va a cero y $v_1 = -(N_1/N_2)V_o$. Por tanto, i_m y la corriente de diodo i_D pueden ser expresadas en $t_{on} < t < T_s$ como

$$i_m = I_m(t_{on}) - \frac{v_1}{L} (t - t_{on})$$

$$i_D = \frac{N_1}{N_2} I_m(t_{on}) - \frac{v_1}{L} (t - t_{on})$$

$$i_m = 0 \quad i_D = \frac{N_1}{N_2} I_m(t_{on}) - \frac{v_1}{L} (t - t_{on})$$

Ya que la media del corriente del diodo es igual a I_o ,

$$I_o = \frac{1}{T_s} \int_{t_{on}}^{T_s} i_D dt$$

El voltaje en el interruptor durante el periodo OFF equivale:

— ———

7.4. Inversor monofásico con convertidor DC-DC de varios interruptores y transformador

Este tipo de inversor monofásico, está formado por un puente completo de interruptores, un transformador aislante y en el secundario de este un convertidor boost (elevador). La tensión de salida del boost, se convierte mediante un ondulator en la forma de onda deseada. El ondulator se explicó anteriormente.

El diseño del inversor es tal y como se muestra en la figura 7.12, en el que se tiene una tensión de entrada V_g (tensión continua) y a partir del puente completo formado por interruptores se obtiene las formas de onda V_{S3} y V_{S4} , la diferencial de las cuales, es transformada según relación de transformación.

En el boost, explicado en el punto anterior, se eleva la tensión con una d_{max} igual a 0.5.

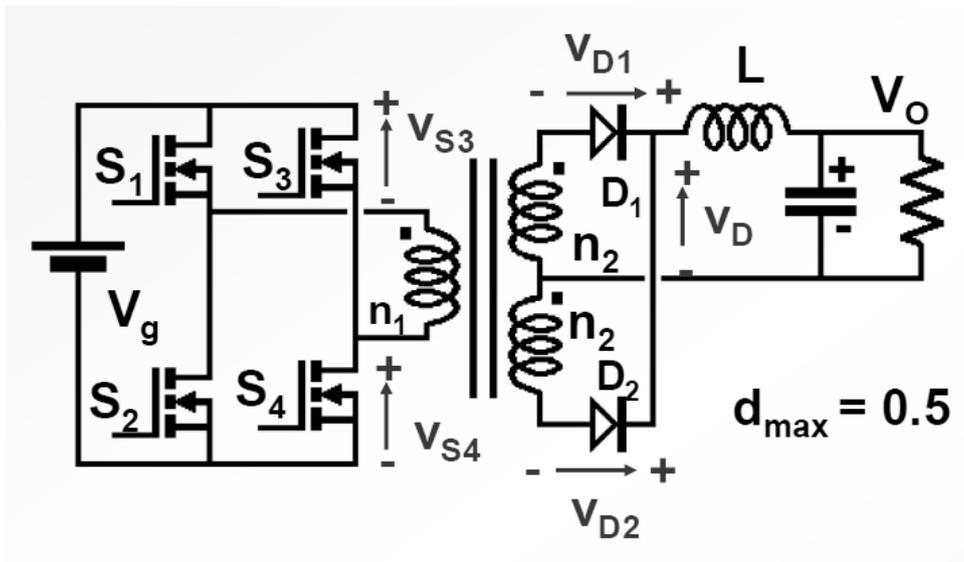


Figura 7.12. Inversor monofásico con convertidor de varios interruptores y transformador.

De tal manera, que la relación de conversión queda caracterizada por la ecuación siguiente:

— (Modo continuo)

Donde $V_{S_{max}}=V_g$ $V_{D1_{max}}=V_{D2_{max}}=2 \cdot V_g \cdot n_2/n_1$

Las formas de la señal se representan en la figura 7.13 para los puntos dados en la figura anterior.

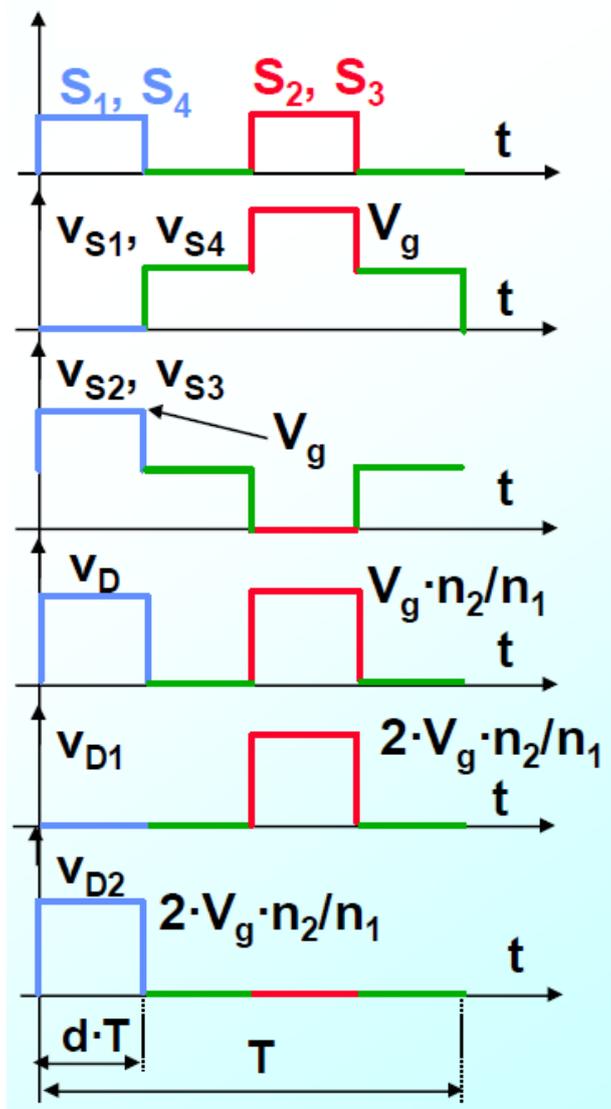


Figura 7.13. Formas de onda para el convertidor.

8. Control del inversor monofásico

Los inversores monofásicos se pueden controlar de distintas maneras. Puesto que, hoy en día, el control más seguro y fiable es el PWM se estudiará las distintas maneras de aplicación.

De tal manera, a continuación se explican los siguientes tipos de control:

- Control por modulación de anchura de pulsos PWM.
- SPWM con estrategia de conmutación bipolar.
- SPWM con estrategia de conmutación unipolar.

8.1. Control por modulación de anchura de pulsos PWM

Si se quiere mejorar aún más el contenido de armónicos en la salida de un inversor, es necesario utilizar lo que se conoce como modulación de anchura de pulsos PWM ("Pulse Width Modulation"). La idea básica es comparar una tensión de referencia sinusoidal de baja frecuencia (que sea imagen de la tensión de salida buscada) con una señal triangular simétrica de alta frecuencia cuya frecuencia determine la frecuencia de conmutación. La frecuencia de la onda triangular (llamada portadora) debe ser, como mínimo 20 veces superior a la máxima frecuencia de la onda de referencia, para que se obtenga una reproducción aceptable de la forma de onda sobre una carga, después de efectuar el filtraje. La señal resultante de dicha comparación nos generará la lógica para abrir y cerrar los semiconductores de potencia. La figura 8.1 muestra la modulación de una onda sinusoidal, produciendo en la salida una tensión con 2 niveles, cuya frecuencia es la de la onda triangular. Para una observación más detallada, la figura 8.1 muestra la señal PWM en un cuarto de la senoide completa.

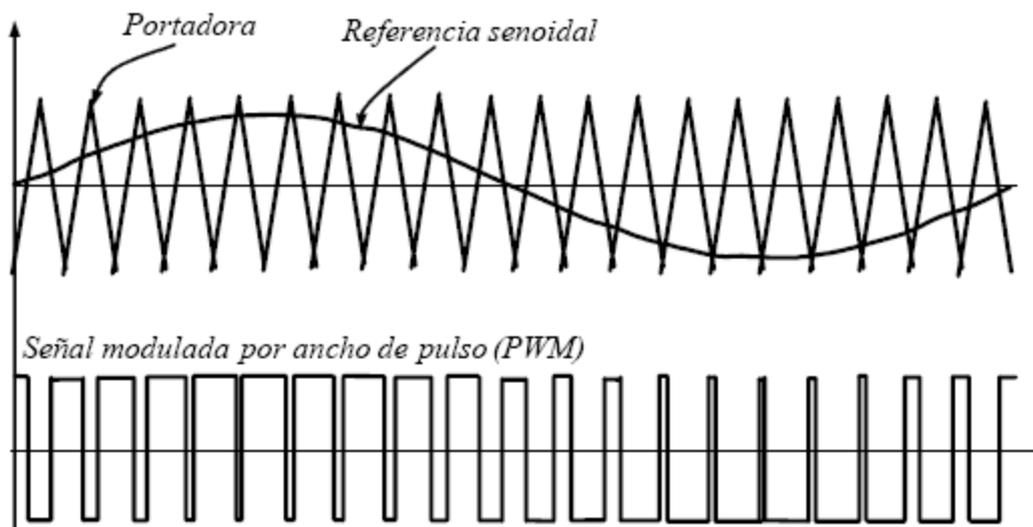


Figura 8.1. Ejemplo de modulación de una onda sinusoidal.

A partir de la señal PWM se generan los pulsos de apertura y cierre de los interruptores. Por ejemplo, si la señal PWM tiene un valor alto, se cierran los interruptores S1 y S2. En caso contrario se cierran los interruptores S3 y S4. Por tanto, la tensión de salida, que es aplicada a la carga, está formada por una sucesión de ondas rectangulares de amplitud igual a la tensión de alimentación en continua y duración variable. El contenido de armónicos de la tensión de salida se desplaza hacia las frecuencias elevadas y es más fácil de filtrar.

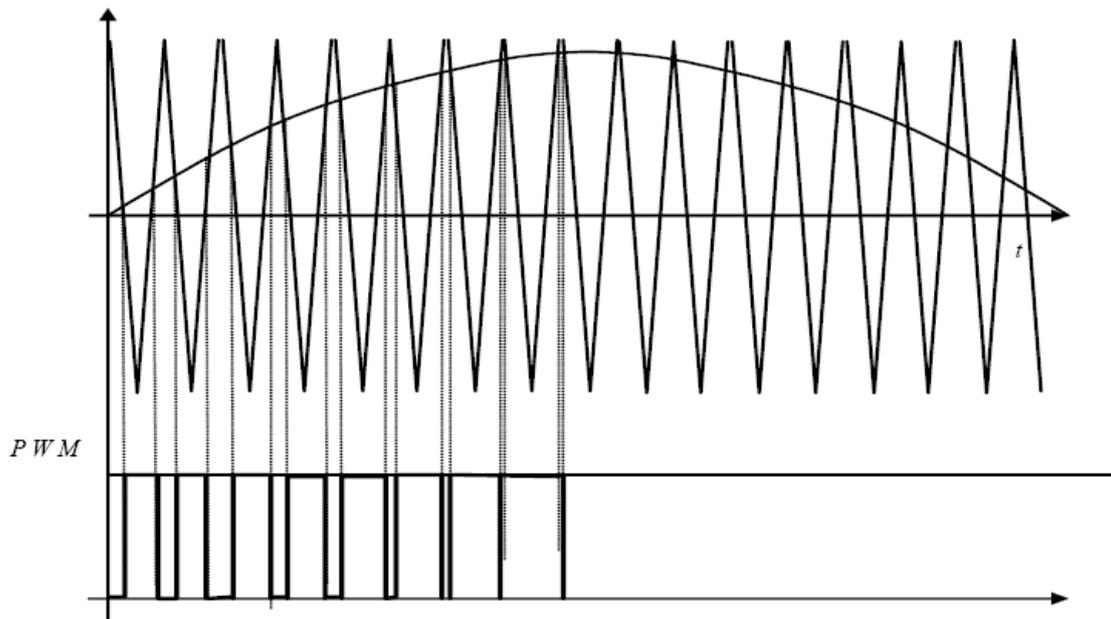


Figura 8.2. Ejemplo de la elaboración de la señal de control.

Matemáticamente se puede demostrar que el contenido de armónicos de la señal PWM generada es muy bajo en comparación con la onda cuadrada y casi-cuadrada. La figura 8.3 muestra el espectro de Fourier de la tensión de salida del inversor monofásico PWM a 10kHz.

Por tanto, un filtro pasa bajos con frecuencia de corte por encima de la frecuencia de referencia es perfectamente capaz de producir una atenuación bastante efectiva en componentes en la banda de los kHz.

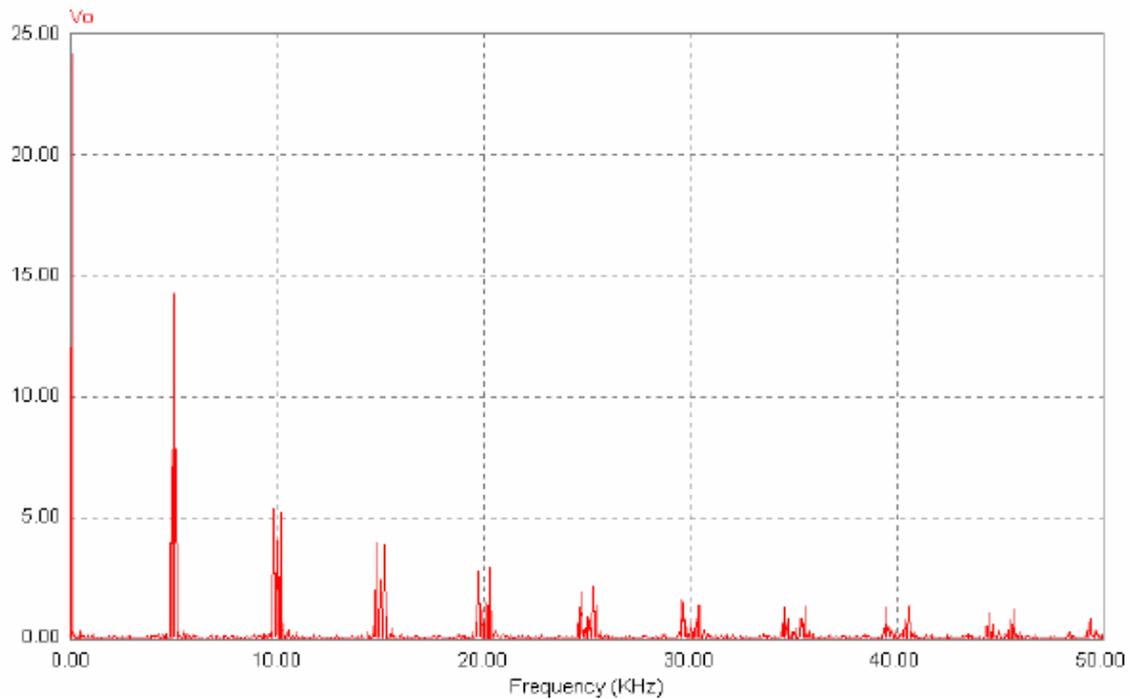


Figura 8.3. Estudio de Fourier para la frecuencia.

Como ya se ha comentado, en el caso de que la carga tenga una cierta componente inductiva, es necesario añadir diodos en anti paralelo con los transistores de potencia, para permitir la circulación de corriente de la carga cuando se abren todos los transistores. Si no se añaden diodos, se crean grandes sobretensiones debido al corte instantáneo de la corriente por la inductancia de la carga, con lo que acaba destruyéndose el convertidor de potencia.

8.2. SPWM con estrategia de conmutación bipolar

Esta estrategia de conmutación es posible tanto para un inversor con estructura en puente completo, como semipuente. Su característica principal es que su tensión de salida del inversor tiene dos niveles (+V y -V), que corresponden a las tensiones de alimentación de los inversores.

A continuación se muestra un control SPWM con estrategia de conmutación bipolar para un inversor con estructura en puente.

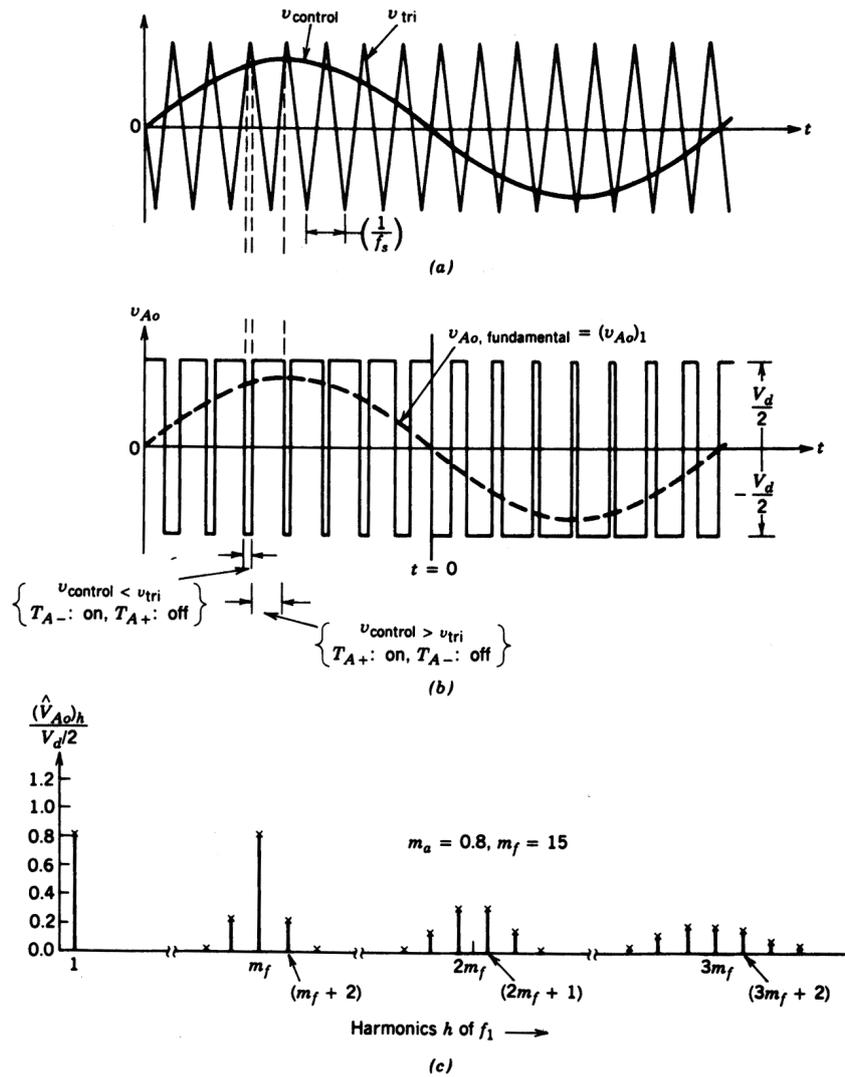


Figura 8.4. Representaciones de señal de control.

La lógica de control gobierna los dos transistores opuestos diagonalmente (T_{a+}, T_{b-}) y (T_{a-}, T_{b+}). Los transistores que se encuentran en la misma rama tienen que recibir señales de control complementarias para evitar un corto circuito de la fuente de tensión continua de entrada. De esta forma tenemos:

$$\text{Si } T_{a+} \text{ ON y } T_{b-} \text{ ON, } V_0 = V_d$$

$$\text{Si } T_{a-} \text{ ON y } T_{b+} \text{ ON, } V_0 = -V_d$$

Para obtener las señales de control de cada diagonal analógicamente se acostumbra a comparar una señal triangular con el señal sinusoidal de referencia tal y como se muestra en la figura anterior. La lógica de los señales TTL es la siguiente:

Si $V_{control} > V_{tri}$ entonces (T_{a+} , T_{b-}) ON.

Si $V_{control} < V_{tri}$ entonces (T_{a-} , T_{b+}) ON.

Entonces se cumple que

$$V_{ao}(t) = -V_{bo}(t)$$

$$V_o(t) = V_{ao}(t) - V_{bo}(t) = 2V_{ao}(t)$$

El valor de pico de la componente fundamental de la tensión de salida estará en función del índice de modulación de amplitud siempre y cuando $m_a < 1$.

$$V_{o1max} = m_a \cdot V_d$$

Los valores de pico de los componentes espectrales de la tensión de salida se dan en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Distintos valores de pico para diferentes modulaciones.

*Generalized Harmonics of v_{Ao} for a Large m_f . $(\hat{V}_{Ao})_h / (V_d / 2) [= (\hat{V}_{AN})_h / (V_d / 2)]$
Is Tabulated as a Function of m_a .*

h	m_a				
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1 fundamental	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
m_f	1.242	1.15	1.006	0.818	0.601
$m_f \pm 2$	0.016	0.061	0.131	0.220	0.318
$m_f \pm 4$					0.018
$2m_f \pm 1$	0.190	0.326	0.370	0.314	0.181
$2m_f \pm 3$		0.024	0.071	0.139	0.212
$2m_f \pm 5$				0.013	0.033
$3m_f$	0.335	0.123	0.083	0.171	0.113
$3m_f \pm 2$	0.044	0.139	0.203	0.176	0.062
$3m_f \pm 4$		0.012	0.047	0.104	0.157
$3m_f \pm 6$				0.016	0.044
$4m_f \pm 1$	0.163	0.157	0.008	0.105	0.068
$4m_f \pm 3$	0.012	0.070	0.132	0.115	0.009
$4m_f \pm 5$			0.034	0.084	0.119
$4m_f \pm 7$				0.017	0.050

La frecuencia de la señal de salida del inversor tiene una frecuencia que se corresponde con la frecuencia de la señal triangular. Esta frecuencia es llamada frecuencia del PWM.

La componente fundamental coincide con la frecuencia del señal de referencia, mientras que el primer armónico indeseable aparece a $(m_f \cdot f_{control})$, por lo tanto, a la frecuencia de la portadora. Interesa que el índice

de modulación de la frecuencia sea muy grande para que la señal fundamental sea fácil de filtrar.

8.3. SPWM con estrategia de conmutación unipolar

Esta estrategia de conmutación sólo es posible en un inversor con estructura en puente ya que este a diferencia del semipunto, permite anular la tensión en la carga sin cortocircuitar la fuente de alimentación. Se caracteriza porque la tensión de salida del inversor es de tres niveles (+V, 0 i -V) donde V corresponde a la tensión de alimentación del inversor.

En el gráfico se pueden observar las señales generadas por una estrategia de conmutación unipolar además del espectro frecuencial de la señal de salida.

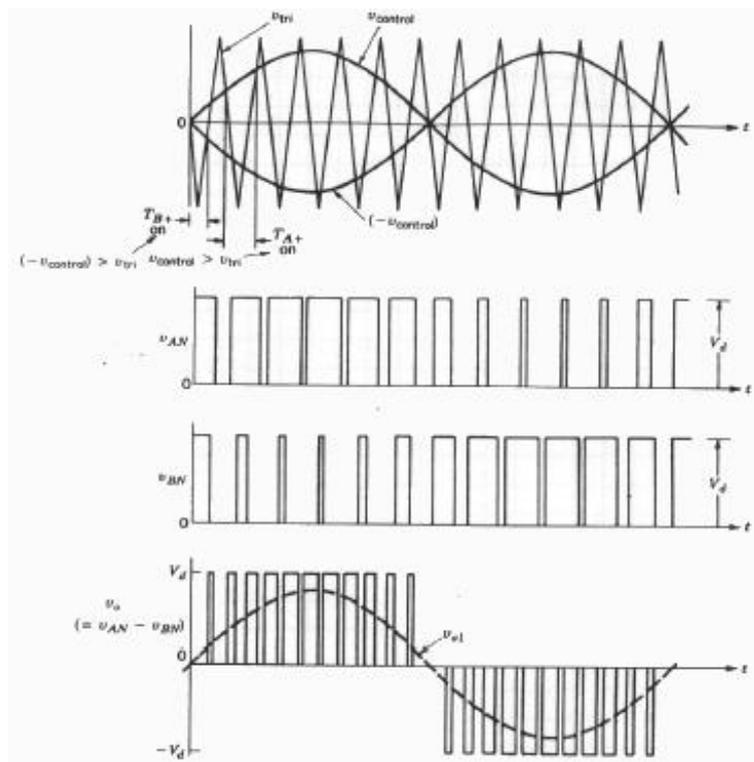


Figura 8.5. Ejemplo de la elaboración de la señal de control.

Se observa que en una estrategia de control unipolar se utilizan dos ondas moduladoras, desfasadas 180° para alcanzar un control independiente sobre cada rama, A y B. De esta forma se crean unas señales de control que permiten anular la tensión en la carga, haciendo conducir (T_{a+} , T_{b+}) o bien (T_{a-} , T_{b-}). Esto permite que no se produzca solapamiento de conducción en los transistores de una misma rama a más de otras ventajas de estrategia

unipolar en comparación a la bipolar. Por ejemplo, las interferencias electromagnéticas que afecten al circuito se ven reducidas.

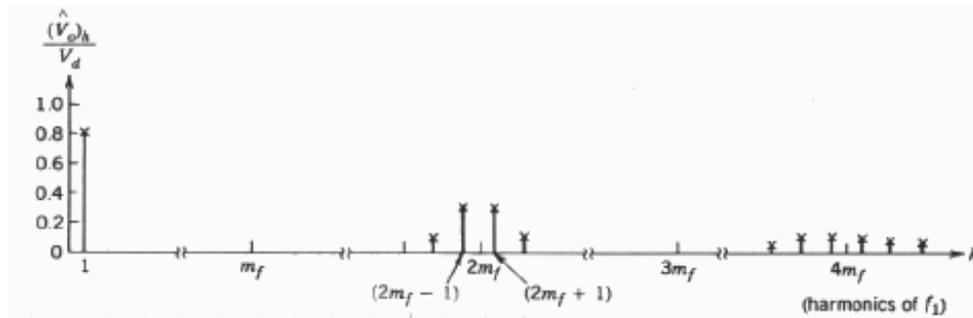


Figura 8.6. Descomposición por Fourier.

Para obtener las señales de control de la rama *A*, teniendo presente que las señales de T_{a+} y T_{a-} son complementarias, sólo se tendrá que comparar la señal de referencia con la triangular, de manera que:

Si $V_{control} > V_{tri}$ entonces T_{a+} ON y $V_{an} = V_d$.

Si $V_{control} < V_{tri}$ entonces T_{a-} ON y $V_{an} = 0$.

Para el control de la rama *B* se utiliza la misma lógica pero comparando la señal triangular con la señal modulador desfasado 180° .

Si $V_{control} > V_{tri}$ entonces T_{b+} ON y $V_{bn} = V_d$.

Si $V_{control} < V_{tri}$ entonces T_{b-} ON y $V_{bn} = 0$.

De esta forma, sabiendo que $V_o = V_{an} - V_{bn}$ se obtienen las cuatro posibles situaciones de conmutación, y el valor de la tensión de salida del inversor son:

T_{a+} , T_{b-} ON $V_{an} = V_d, V_{bn} = 0$ $V_o = V_d$

T_{a+} , T_{b+} ON $V_{an} = V_d, V_{bn} = V_d$ $V_o = 0$

T_{a-} , T_{b+} ON $V_{an} = 0, V_{bn} = V_d$ $V_o = -V_d$

T_{a-} , T_{b-} ON $V_{an} = 0, V_{bn} = 0$ $V_o = 0$

Cuando conducen los transistores de la parte superior, la tensión de salida es nula y la corriente circula por el lazo formado por T_{a+} y D_{b+} o D_{a+} y T_{b+} dependiendo de la dirección de i_o . Durante este intervalo la corriente de entrada i_d es nula. La situación es similar cuando conducen los transistores de la parte inferior.

La gran ventaja de este método respecto al bipolar es que la frecuencia de la tensión de salida corresponde al doble de la frecuencia de la señal triangular utilizada. En el gráfico espectral se observa que el primer armónico indeseable aparece a $(2 \cdot m_f \cdot f_{control})$ para el caso general. Esto es fácilmente inteligible si se escoge un radio de modulación m_f uniforme. Las formas de onda de la tensión V_{an} y V_{bn} están desplazadas 180° una respecto de la otra a su frecuencia fundamental, por lo tanto, los componentes armónicos de la frecuencia de conmutación V_{an} y V_{bn} están en fase. El resultado es la reducción de los armónicos en la salida del inversor.

En estas condiciones también se cumple que:

$$V_{o1max} = m_a \cdot V_d \quad \text{siendo} \quad m_a < 1$$

Comparando los corrientes de entrada del inversor con el caso bipolar, se observa que el rizado de la corriente es menor que en el caso de conmutación unipolar.

9. Posibles sistemas de control

Para el control del puente inversor, explícitamente, para la creación de la señal SPWM unipolar, tenemos dos posibles formatos básicos a estudiar; para sistemas analógicos y para sistemas digitales. Donde se puede crear un sistema de control en lazo abierto o lazo cerrado.

Procederemos al estudio teórico de estas dos formas de control.

9.1. Control analógico

Dentro de la opción del control analógico la forma más fácil de crear el control deseado, es, mediante un componente diseñado previamente para este control, podemos encontrar distintos encapsulados comerciales que sirven para esta función. El otro modo de control analógico es mediante distintos encapsulados, donde con la conjunción de estos se puede crear la señal de control deseada.

La primera opción se puede lograr, gracias a los encapsulados, por ejemplo el TL 494, los cuales proporcionan pulsos múltiples idénticos, trabajan a frecuencia constante, pero con tensión de salida variable a elección, que una vez fijada, se mantiene constante ante variaciones de la carga, debido a que cuenta con realimentación de tensión y de la corriente de la carga, y conforme a estas, hace variar el ancho de los pulsos, por lo tanto regula el "duty cycle" o ciclo de trabajo, sin variar la frecuencia. Este tipo de control es seguro y eficiente, puesto que se tiene la seguridad de que ha estado testado con anterioridad. El único problema es que tiene, es una serie de parámetros y limitaciones, las cuales nosotros no podemos variar.

La segunda opción se podría lograr mediante un NE566, con el que se puede generar una señal triangular y un NE555 con el que se puede crear la señal sinusoidal, luego mediante un comparador obtener una señal SPWM y con un inversor, invertir la señal que se desee para cada interruptor.

9.2. Control Digital

Para el control digital, se ha escogido un sistema en lazo cerrado, donde a partir del cálculo de la señal en la entrada y en la salida, se puede dar el control necesario al puente, para estabilizar la señal de salida.

En la figura 9.1 se puede observar el diagrama de bloques, donde se ve por encima la función de control que se utilizaría para el inversor.

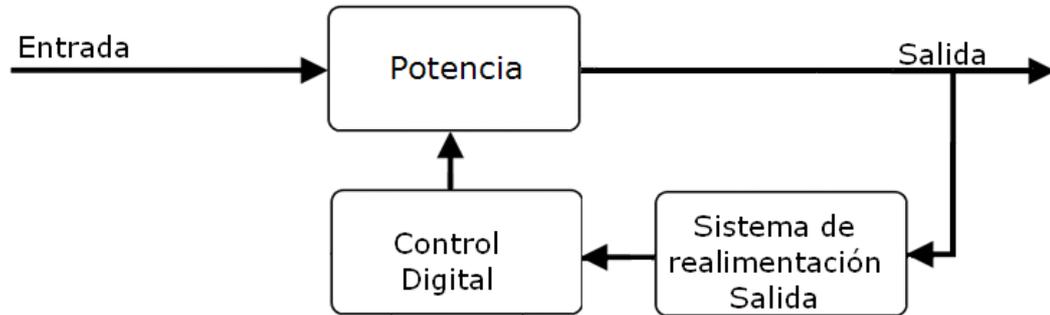


Figura 9.1. Diagrama de bloques del control digital

Este diagrama describe un sistema digital de control, dentro del bloque de control digital, se tiene el programa para dar señal al bloque del inversor monofásico. Los dos bloques de realimentación, proporcionarán un valor de la señal de salida y de entrada, para posteriormente poder regular el control.

Gracias a este diagrama se puede observar con más detalle la realimentación que se puede lograr mediante un sistema digital.

El primer control que se hace es en la entrada, gracias a la realimentación en la entrada se puede observar si la tensión en la entrada varía, pudiendo variar el control aplicado al inversor para regular su salida.

El segundo control, se hace en la salida, con la ayuda de la realimentación de salida, se puede observar una variación en esta, pudiendo variar el control aplicado al inversor para regular su salida.

El control digital consiste en la programación de un sistema capaz de controlar los interruptores. Dentro del mundo digital se tienen muchos mecanismos que puedan hacer este tipo de control. Puesto que se quiere que el inversor no sea voluminoso pero a la vez potente, se escoge para este control, un microcontrolador. De este modo se obtiene un sistema pequeño, potente y eficaz.

Más concretamente, se escoge un *pic*, que es un microcontrolador de la casa microchip el cual ya dispone de conversor entre otras cosas.

Para hacer llegar la señal del microcontrolador al inversor se tiene que diseñar un hardware que aplique el software introducido en el. Hay encapsulados fabricados para esta operación. Un ejemplo es el IR2110 con el que se acostumbran a disparar los transistores o IGBT de los semipuentes, por lo tanto con la colocación de dos IR2110, se puede disparar el puente completo.

9.3. Comparativa control analógico con control digital

Ventajas del desenvolvimiento de sistemas microcontrolados delante de sistemas analógicos:

- Disminución del hardware del sistema de control y, consecuentemente, la reducción de tamaño y peso.
- Mayor flexibilidad: la solución digital permite definir diferentes estrategias de control y modificar fácilmente las características del sistema de control mediante software.
- Menor coste: realizar el control de cualquier sistema eléctrico o electrónico con un simple microcontrolador, reduce considerablemente el consumo energético y el presupuesto del material.
- Mayor facilidad y flexibilidad para crear realimentación dentro del mismo hardware.
- Mayor precisión: trabajar con velocidades de procesamiento elevadas permite obtener una tensión generada de alta calidad.
- Mayor inmunidad al ruido por interferencias.
- Inexistencia de valores de deriva a causa del envejecimiento.
- Facilidad de monitorización e interactividad

10. Diseño del sistema inversor monofásico

Después de hacer el estudio de las posibles opciones, se procede a la creación del diseño para la aplicación. Se ha llegado a la conclusión de utilizar el diseño del inversor con puente completo junto con un transformador en su salida, para poder alcanzar la tensión necesaria. Para poder hacer el estudio de las características que se tienen que alcanzar en el proyecto, se tienen que analizar las funciones básicas que este debe proporcionar.

Características básicas inversor + transformador:

- Tensión de entrada: 24 V DC
- Tensión de salida: 230 V AC Sinusoidal
- Frecuencia de salida: 50 Hz
- Potencia de salida: 2650 W
- Rango de temperatura: de -5°C hasta 30°C

A partir de las características anteriores, se observa que para el inversor en puente completo se necesita un control SPWM, ya que la tensión en la salida tiene que ser una senoide. Más concretamente, se utiliza el SPWM unipolar, escogido gracias a las ventajas expuestas en el apartado teórico.

A partir de aquí se separa el circuito en dos apartados distintos, uno será el circuito de potencia y el otro, el circuito de control.

10.1. Circuito de potencia

En este apartado se procede al cálculo de los parámetros del puente, para posteriormente seleccionar los componentes necesarios.

Se tiene que el voltaje rms de salida, surge de la fórmula siguiente

$$V_0 = \left(\frac{2}{50} \int_0^{50/2} 24^2 dt \right)^{1/2} = V_s = 24V$$

Por lo tanto el mismo que aparece en la entrada. Ahora se puede deducir la corriente de cada rama en el inversor, a partir de la potencia que este tiene que entregar.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2650W}{24V} = 110,42A$$

Por lo tanto se tiene una corriente de pico en cada rama de 110,42A y cada transistor tendrá que poder aguantar esta corriente para un trabajo seguro.

Como cada transistor conduce con un ciclo de trabajo del 50%, se tiene una corriente media en cada transistor de,

$$I_Q = 0,5 \cdot 110,42A = 55,21A$$

La ecuación

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \sin(n\omega t)$$

se puede extender para que exprese el voltaje instantáneo de salida en una serie de Fourier como

$$v_0 = \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{4 \cdot V_s}{n \cdot \pi} \sin(n\omega t)$$

Y por $n=1$, la ecuación proporciona el valor *rms* de la componente fundamental como

$$V_1 = \frac{4 \cdot V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi} = 0,90 \cdot 24 = 21,6$$

De aquí se saca el valor de la tensión de la primera fundamental.

Ahora que ya se tienen los cálculos necesarios, se escogen los mejores interruptores para esta aplicación. Se necesitan 4 interruptores, capaces de aguantar 12V y 110A. Se ha escogido 4 interruptores IGBT **FAIRCHILD SEMICONDUCTOR - FGA120N30DTU**, capaces de aguantar 120 Amperios de continua y hasta 300 Voltios.

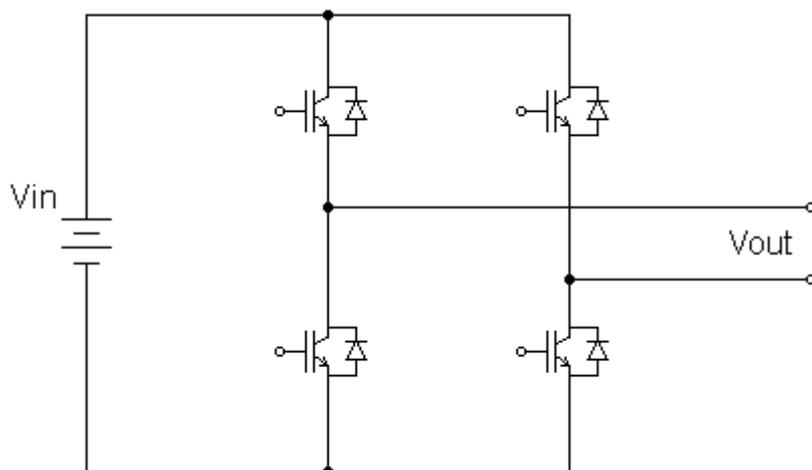


Figura 10.1. Esquema circuito de control.

10.2. Circuito de control

El circuito de control se puede diseñar de dos formas principalmente, de forma analógica o de forma digital. Para este proyecto se ha escogido la forma digital, ya que es la forma más versátil delante del control y por lo tanto la que da mejores prestaciones, tal y como se ha analizado con anterioridad.

Para poder lograr este control, se utiliza un dispositivo pic, encargado de dar la señal de control a partir de un programa instalado en el. El sistema diseñado digitalmente, tiene la ventaja de poder trabajar con realimentación gracias a su convertidor analógico digital. De este modo se puede lograr que la tensión de salida este siempre regulada alrededor del valor de 230V que se requieren. Existen dos modos básicos para la regulación de la tensión. Un modo, trata en controlar la tensión de salida de las baterías, cuando se ve que esta tensión disminuye o aumenta, se cambia la modulación por programa. El otro modo consiste en la lectura de la señal de salida final, cuando esta aumenta o disminuye, también se cambia la modulación de la señal de control, mediante programa. Estos dos modos son los más utilizados para el control de la tensión. Si más no, se acostumbra a utilizar el modo de lectura de la tensión de salida final, de este modo se asegura por completo, que la señal será la deseada, evitando estropear dispositivos conectados al inversor.

Para el control, se tiene que escoger un dispositivo pic, se ha escogido el **PIC16F876**, el cual tendrá que proporcionar la señal de control requerida.

10.3. Elección del transformador

Como se ha observado en los cálculos anteriores, la tensión de salida del inversor, será de 24V RMS, como se requiere una tensión de 230V, se necesita un transformador que eleve de 24V a 230V. Por lo tanto que tenga una relación de transformación de 9,583.

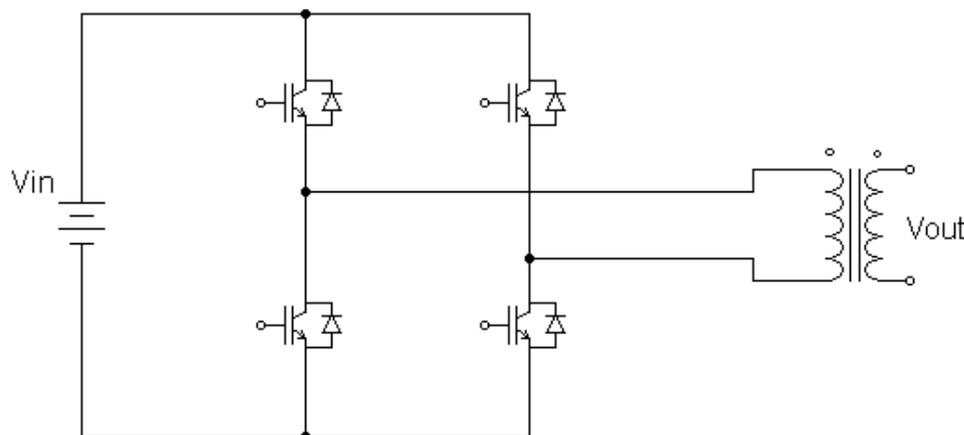


Figura 10.2. Esquema circuito de potencia con transformador.

10.4. Eliminación de armónicos

La generación de tensiones AC a partir de tensiones DC, provoca la generación de armónicos indeseables para nuestra señal de salida. Por este modo se tiene que filtrar la señal final de salida para eliminarlos.

Puesto que la frecuencia que se necesita en la salida es de 50Hz, para nuestro circuito se utiliza un circuito pasa bajos, para eliminar las frecuencias superiores de distorsión.

Se tiene que la frecuencia de control es de 20kHz, por lo tanto hay que diseñar un circuito pasa bajos que corte entre 50Hz y 20kHz. Con un filtro de primer orden LC pasa bajos, se puede alcanzar este resultado.

11. Normativa

Para poder hacer un proyecto dentro del marco legal, se ha seguido la normativa existente.

La normativa aplicable a las instalaciones solares fotovoltaicas es la siguiente:

- Ley 54/1997 de 27 de noviembre del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, así como sus instrucciones complementarias. Puesto que nuestro sistema proporciona una tensión de 230V monofásica y no es superior a una intensidad de 25A por fase.
- Orden del 6 de Julio de 1984 (BOE del 1 de Agosto de 1984), por el que se aprueban las instrucciones técnicas complementarias del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- Orden de 18 de Octubre de 1984 (BOE de 25 de Octubre de 1984), complementaria a la anterior.
- Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre por el cual se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 2366/1994 de 9 de Diciembre sobre producción de energía eléctrica para las instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables. (BOE de 31 de Diciembre de 1994).
- Real Decreto 436/2004 de 27 de marzo, sobre producción de energía eléctrica para instalaciones alimentadas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos o cogeneración.
- Real Decreto 1663/2000 de 29 de Septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- Real Decreto en el que se establece la tarifa eléctrica para ese año.

- Condiciones Técnicas que han de cumplir las instalaciones fotovoltaicas para su conexión a la red de Iberdrola.
- Pliego de condiciones técnicas para instalaciones conectadas a la red, exigido en el marco de las Líneas de ayuda para la promoción de instalaciones de energía solar fotovoltaica en el ámbito del Plan de Fomento de Energías Renovables, publicado por el IDAE para la convocatoria correspondiente al ejercicio.

La Normativa aplicable a las instalaciones eólicas es la siguiente:

- La Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, sirve para la evaluación de impacto ambiental de una instalación eólica doméstica.

A parte de esta también se ha utilizado la del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, y algunas otras especificadas en el apartado anterior, puesto que casi todas tratan la electricidad

Normativa solar térmica:

- Se ha utilizado el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Complementarias (ITE)
- También se ha utilizado la Ordenanza General de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Tarragona, puesto que es en la provincia donde está ubicada la vivienda.
- Se ha utilizado la normativa establecida por el ACA, para el tratamiento del agua sanitaria.

12. Estudio económico

En este capítulo hacemos una valoración del coste que tendríamos para la elaboración de nuestro proyecto. Se divide en distintas etapas, puesto que así se puede hacer una valoración más específica del proyecto.

Partiendo de esta diferenciación inicial las etapas del proyecto se dividen en: concepción, investigación y recerca de información; desarrollo, montaje y verificación del prototipo; reprografía y encuadernamiento.

Se va a dividir las horas según su categoría y se las va a catalogar como horas de ingeniería o horas de reprografía. Partiendo de aquí se les da unos honorarios distintos, puesto que se refieren a distintas disciplinas. En la tabla 12.1 se ven reflejados estos honorarios.

Tabla 12.1. Honorarios conforme con el trabajo

Tipo de Trabajo	Precio (€/hora)
Ingeniería	18 €/hora
Reprografía	9 €/hora

Una vez se tiene los costes por hora de trabajo, se pasa al cálculo del coste del proyecto.

12.1. Coste del proyecto

Los costes más representativos del proyecto constan de la elaboración del mismo, puesto que no se ha elaborado ningún dispositivo ni se ha comprado ningún aparato nombrado en el mismo.

Investigación, recerca de información y concepción del proyecto.

En esta etapa se han dedicado todos los recursos a la investigación en librerías, internet, consultas personales..., para poder entender el concepto y encontrar posibles soluciones para el desarrollo del mismo. Por lo tanto se tienen los gastos de investigación y desarrollo.

Tabla 12.2. Precio total investigación y desarrollo

Trabajo	Horas	Precio/Hora	Coste
Investigación	50	18 (€/h)	900€
Desarrollo	80	18 (€/h)	1440€
Reprografía	20	9 (€/h)	180€
Total			2520€

12.2. Presupuesto de la instalación eólica, solar fotovoltaica y solar térmica para la vivienda aislada

En este apartado se puede observar una aproximación del coste de una instalación de estas características.

En la siguiente tabla se puede ver el presupuesto del material escogido para la instalación eólica, solar fotovoltaica y solar térmica. Para la instalación solar térmica se utiliza un conjunto solar térmico que incluye todo el material necesario.

Tabla 12.3. Presupuesto del material utilizado en la instalación

Referencia	Descripción	Unidades	Precio	Total
OPzS 300	Batería	6	167,87€	1.007,22€
HIP-30HDE	Panel Solar	6	1.199€	7.194€
PRS 2020	Regulador Solar	2	90€	180€
FOTE500W24V	aerogenerador	1	2030€	2.030€
PRS 3030	Regulador aerogenerador	1	1010€	1.010€
Studer AJ 2400-24	Inversor	1	1.130€	1.130€
kit K2-300	Kit solar térmico	1	2.489,82€	2.489.82€
Otros	Cableado...	1	750€	750€
Total				15.791,04€

Una vez se tiene el coste del material, se calcula el coste para la instalación. Se tiene que contratar a un montador el cual tiene que recibir sus honorarios. A partir de los honorarios y las horas dedicadas, se saca el precio del montaje e ingeniería.

Honorarios montador e ingeniero:

Tabla 12.4. Precios ingeniería y montaje.

Tipo de Trabajo	Precio (€/hora)
Ingeniería	18 €/hora
Montaje	14 €/hora

Tabla 12.5. Presupuesto total ingeniería y montaje.

Trabajo	Horas	Precio/Hora	Coste
Ingeniería	20	18 (€/h)	360€
Montaje	50	14 (€/h)	700€
Total			1060€

Ahora se procede al cálculo total del presupuesto para la instalación.

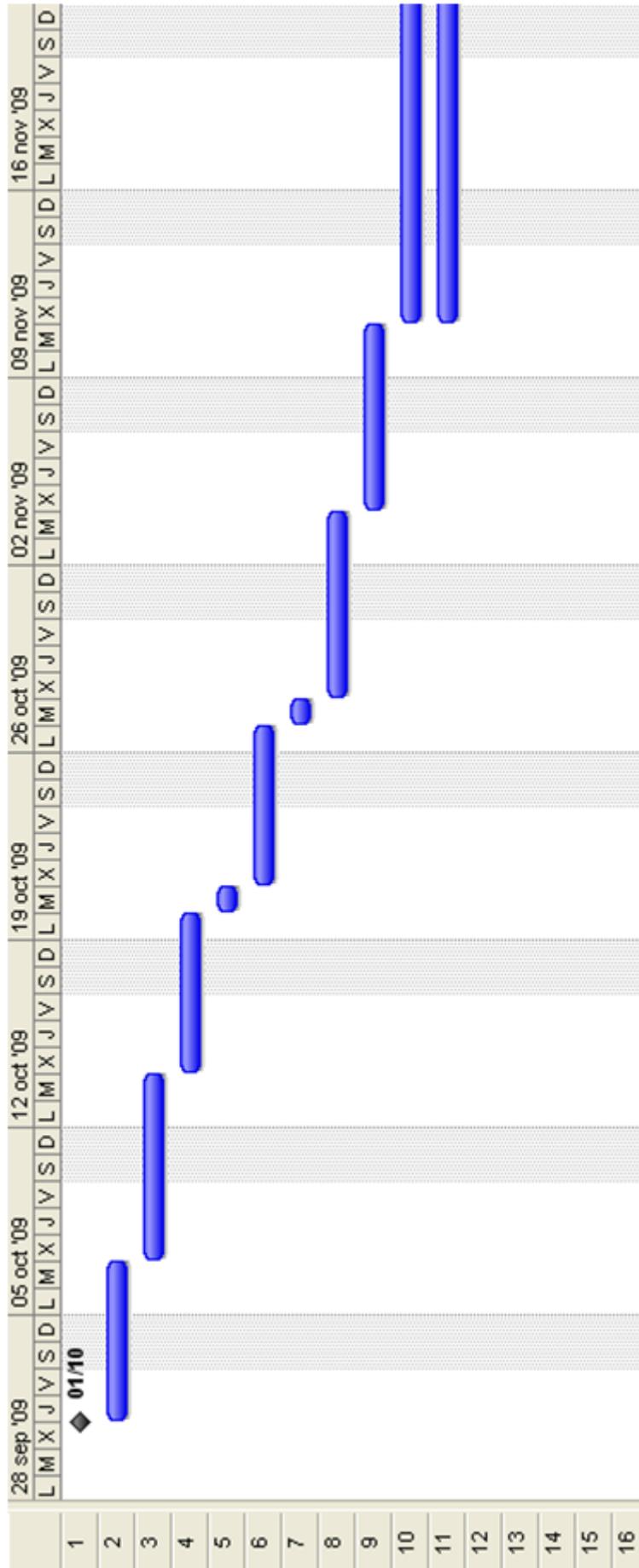
Tabla 12.6. Presupuesto total.

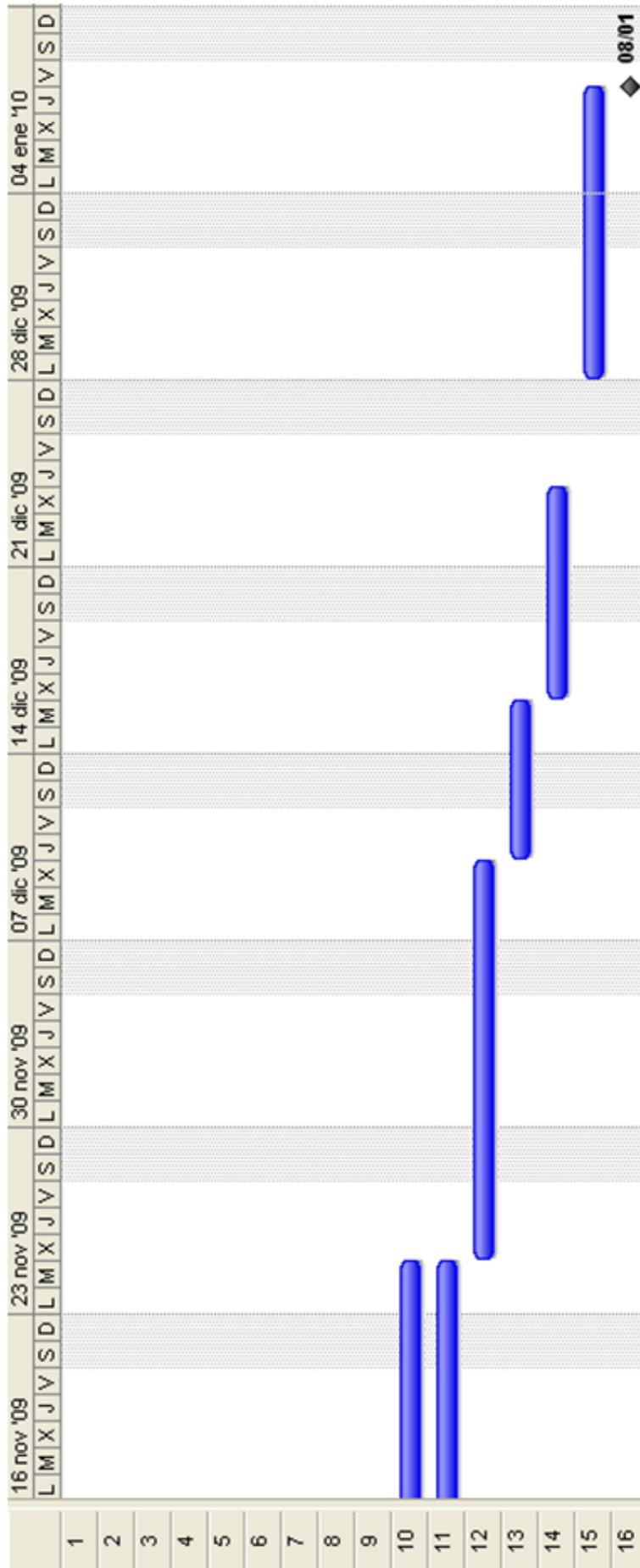
Tipo	Coste
Investigación	900€
Desarrollo	1440€
Reprografía	180€
Material	15.791,04€
Ingeniería	360€
Montaje	700€
5% imprevistos	968,55€
Total	20.339,58€
Más 16% de IVA	3.254,33€
Total + Impuestos	23.593,91€

En el presupuesto final se ha incluido, el coste del proyecto para la instalación, el coste del material ha utilizar, el coste del montaje e ingeniería para el montaje, un 5% más para los imprevistos que puedan ocurrir y el 16% del IVA que se tiene que estipular por ley. Por lo tanto al final queda un presupuesto final que sube a una cifra de 23.593,91 Euros.

13. Planificación y diagrama de Gantt

	Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Duración
1	Escoger proyecto	jue 01/10/09	jue 01/10/09	0 días
2	Objeto del proyecto, motivación y justificación	jue 01/10/09	mar 06/10/09	4 días?
3	Situar vivienda y especificaciones a cumplir	mié 07/10/09	mar 13/10/09	5 días?
4	Posibles sistemas de producción energética	mié 14/10/09	lun 19/10/09	4 días?
5	Escoger sistema de producción eléctrico	mar 20/10/09	mar 20/10/09	1 día?
6	Diseñar el sistema escogido de producción eléctrico	mié 21/10/09	lun 26/10/09	4 días?
7	Escoger sistemas de producción de ACS	mar 27/10/09	mar 27/10/09	1 día?
8	Diseñar sistema escogido de producción de ACS	mié 28/10/09	mar 03/11/09	5 días?
9	Buscar información sobre inversores monofásicos y control	mié 04/11/09	mar 10/11/09	5 días?
10	Explicar funcionamiento de los tipos de inversor	mié 11/11/09	mar 24/11/09	10 días?
11	Explicar los diferentes tipos de control	mié 11/11/09	mar 24/11/09	10 días?
12	Diseño del inversor monofásico	mié 25/11/09	mié 09/12/09	11 días?
13	Simulaciones del inversor monofásico	jue 10/12/09	mar 15/12/09	4 días?
14	Crear el estudio económico	mié 16/12/09	mié 23/12/09	6 días?
15	Redactar, revisar y poner a punto el informe	lun 28/12/09	jue 07/01/10	9 días?
16	Entrega de PFC1	vie 08/01/10	vie 08/01/10	0 días





14. Bibliografía

14.1. Libros y artículos

MOHAN, Ned. *Power Electronics: converters, applications, and design*. New York: John Wiley & Sons, 1995².

RASHID, Muhammad H. *Electrónica de potencia : circuitos, dispositivos y aplicaciones*. Traducción de l'obra anglesa *Power Electronics: converters, applications, and design*. México: Prentice Hall Hispanoamericana, 1995².

KASSAKIAN, J.G., SCHLECHT, M.F. & VERGHESE, G.C. *Principes of power electronics*. Reading, Mass. : Addison-Wesley, 1992 .

14.2. Enlaces de interés

http://www.soliclimate.com/instalaciones_aisladas.html

<http://www.casasecologicas.net/vivirencasasana/index.php?index=23>

<http://www.tiendasolartermica.com/>

<http://www.suelosolar.es/guiasolares/electrificacion.asp>

http://www.repoweringsolutions.com/productos/aerogeneradores_domesticos/index.htm

<http://www.terra.org/articulos/art01822.html>

http://www.soliclimate.com/agua_caliente.html

<http://www.stecasolar.com>

<http://www.microchip.com>

15. Anexos