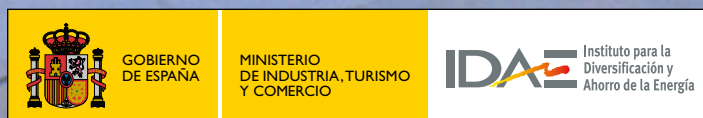


**Las energías
renovables
a ambos lados
de la raya**

**As energias
renováveis em
ambos os lados
da fronteira**





DIPUTACIÓN DE BADAJOZ



Agência de Desenvolvimento Regional do Alentejo, S.A.

DRAL



AGENCIA EXTREMEÑA de la ENERGÍA

Portugal-Espanha
Cooperação Transfronteiriça
INTERREG III A
Cooperación Transfronteriza
España-Portugal



JUNTA DE EXTREMADURA
Consejería de Fomento



Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Iniciativa Comunitaria Interreg III

TÍTULO

Las energías renovables a ambos lados de la raya / As energías renováveis em ambos os lados da fronteira

AUTOR

La presente publicación ha sido redactada por los siguientes autores: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Junta de Extremadura (Consejería de Fomento), Agencia Extremeña de la Energía (AGENEX), Universidad de Extremadura, Diputación de Badajoz, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Universidade de Évora, INETI y Agência de Desenvolvimento Regional do Alentejo (ADRAL).

El contenido de cada uno de los capítulos de esta publicación es responsabilidad de los autores de los mismos.

.....

Esta publicación ha sido producida por el IDAE y está incluida en su fondo editorial.

Cualquier reproducción, parcial o total, de la presente publicación debe contar con la aprobación por escrito del IDAE.

.....

IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8

E - 28004 - Madrid

comunicacion@idae.es

www.idae.es

Las energías renovables en el suroeste ibérico. Nota de los editores	5
As energias renováveis no sudoeste ibérico. Nota dos editores	7
Introducción. Edificios energéticamente sostenibles	9
Introducción	11
1 Proyecto de Viviendas Experimentales en Cáceres. Dirección General de Arquitectura y Programas Especiales de Vivienda. Consejería de Fomento. Junta de Extremadura	17
1.2 Objetivos	18
1.3 Socios participantes	21
1.4 Consideraciones del proyecto	22
1.5 Metodología.....	25
1.6 Cronograma.....	32
1.7 Conclusiones	33
2 Ahorro y eficiencia energética en la edificación	37
2.1 Introducción	37
2.2 Auditorías energéticas	39
2.3 Metodología.....	41
2.4 Medidas de ahorro energético.....	43
2.5 Equipamiento.....	45
2.6 Referencias	45
3 Edificio PETER. Ejemplo de construcción bioclimática	49
3.1 Resumen.....	49
3.2 Introducción.....	49
3.3 Descripción y tecnología	51
3.4 Desarrollos tecnológicos utilizados	52
3.5 Conclusión	61
4 Análisis del comportamiento energético en edificios.....	65
4.1 Introducción.....	65
4.2 Análisis energético de edificios.....	66
4.3 Evaluación energética teórica: Simulación	67
4.4 Evaluación energética de edificios en condiciones reales de uso. Monitorización.....	72
4.5 Referencias	80
5 Fontes de Energias Renováveis no Alentejo	85
5.1 Energia Solar	85
5.2 Energia Eólica	88
5.3 Energia da Biomassa	92

5.4	Produção de Energia Eléctrica integrada a partir de várias Fontes Renováveis, Sistemas de Armazenamento e Sistemas de Monitorização/ Controlo Automático	98
6	Acções para o desenvolvimento das Energias Renováveis	111
6.1	Resumo.....	111
6.2	Palavras Chave	111
6.3	Introdução	111
6.4	Gasificação de biomassa	113
6.5	Digestão anaeróbia de biomassa húmida para produção de biogás ...	122
6.6	A Conversão Fotovoltaica da Energia Solar	130
6.7	Bibliografia	137
7	Eficiência e Gestão Energética nas Empresas	143
7.1	Sumário executivo.....	143
7.2	Introdução	143
7.3	Contextualização A Adral – Competências e know how	143
7.4	O Estudo.....	144
7.5	Metodologia	144
7.6	Análise da informação recolhida no inquérito	145
7.7	Conclusões	148
7.8	Anexos	149

Las “Energías Renovables” son flujos o reservas de energía accionados o alimentados permanentemente bien por la radiación solar (que después se desdobra en diversas formas), bien por la energía mecánica planetaria (caso de la energía de las mareas), o bien son reservas de energía térmica fósil generadas durante el proceso de formación de la Tierra (energía geotérmica).

El sistema climático planetario es accionado por la radiación solar incidente en las capas altas de la atmósfera y, después de sucesivas transformaciones y degradaciones, retorna al espacio exterior en forma de calor radiante. Es en esa compleja y caótica cascada de transformaciones en las que, además de la radiación solar, aparecen las energías mecánicas eólica, hidráulica, de las corrientes y ondas oceánicas, se originan diferencias de temperatura entre diferentes partes del planeta y se genera biomasa a través de la fotosíntesis (en la que se unen los ciclos del agua y del carbono).

Aparte de la energía de las mareas y geotérmica, las restantes energías renovables exhiben acentuadas variaciones geográficas, así como una gran variabilidad temporal, de modo que la disponibilidad de las energías renovables se encuentra geográficamente dispersa, en cantidades y en regímenes muy variables.

Las energías renovables se prestan más generalmente para su captación y utilización directa de forma descentralizada, pero también pueden usarse de forma masiva y centralizada, para lo cual se requiere inicialmente de su captación y conversión en diferentes vectores energéticos (electricidad, gas combustible, carbón vegetal, etc.), para una posterior producción y exportación a través de las redes de transporte de energía.

El Suroeste Ibérico está particularmente bien dotado en cuanto a radiación solar se refiere, y en escalas más modestas en energía hidráulica, biomasa y eólica. Y además, en su extensa frontera marítima, en energía oceánica (corrientes y olas). Hay que notar que, en lo que respecta a la biomasa, la productividad fotosintética de la región podría ser bastante mayor si se seleccionasen especies de crecimiento rápido y desapareciesen otros factores limitantes, como por ejemplo la escasez de agua. En cuanto a las demás tipologías de energías renovables, será una selección de las tecnologías disponibles, en cada caso, la que determinará el potencial de captación alcanzable.

Desde el año 2002, las Universidades de Extremadura y de Évora vienen manteniendo un diálogo con vistas a la realización de un proyecto en el dominio de las Energías Renovables, que fuera apoyado por algún programa Europeo, sacando partido de algunas ventajas comparativas de la región en la que se llevaría a cabo. Después de diligencias y vicisitudes, este proyecto se concibió, se dimensionó y finalmente fué aprobada una financiación dentro del programa INTERREG bajo el nombre de “Parque Experimental Transfronterizo sobre Energías Renovables” PETER (Referencia PETER/SP6.E53/03). Este parque temático se ubicaría en dos o más campus, debiendo servir para acciones de demostración y divulgación de las tecnologías renovables, así como a la investigación aplicada y a la formación especializada en este campo, para públicos muy diversos. Tendría como socios a instituciones de enseñanza superior, de investigación y desarrollo y también a empresas. Así se asociaron al proyecto, desde primera hora, las dos instituciones públicas que en España y Portugal tienen las mayores responsabilidades en el dominio de las tecnologías energéticas – el CIEMAT (Madrid) y el INETI (Lisboa). También se adhirieron entidades que en uno y otro país representan competencias e intereses del sector empresarial, en particular, IDAE y ADRAL y otras que se incorporaron posteriormente. Las Instituciones de la administración pública confirieron el apoyo institucional y político en el arranque del proyecto, y fueron la Junta de Extremadura, la Diputación de Badajoz y la Comisión de Coordinación para el Desarrollo Regional del Alentejo.

Los socios del proyecto han trabajado en el sentido de concretar las infraestructuras físicas del parque temático. Se desarrollaron bastantes trabajos de consulta, concepción y elaboración del proyecto de ejecución de obra de un edificio bioclimático en el campus de la Universidad de Extremadura, en Badajoz. Dicho proyecto de ejecución sacó partido

de las valiosas experiencias ya adquiridas en este dominio por el CIEMAT y el INETI. El futuro edificio procurará alcanzar el objetivo de un consumo cero de energía convencional, en lo que respecta al acondicionamiento ambiental interior, así como intentar el más elevado grado de autonomía en el aprovisionamiento energético para la operación de los equipos en él instalados (iluminación, motores, máquinas, etc).

Otro objetivo fué la producción de energía eléctrica a partir de diversas fuentes renovables de energía, en concreto, la integración de la radiación solar, energía eólica y biomasa (de residuos sólidos o de efluentes líquidos) en un sistema polivalente y conectado a la red eléctrica.

Se emprendieron también acciones de información destinadas al público cualificado. En particular, se realizaron dos jornadas, a uno y otro lado de la frontera, y se creó un sitio en Internet destinado a la divulgación del proyecto para un público más amplio.

El presente libro reúne materiales muy diferentes que reflejan buena parte del trabajo desarrollado a lo largo de más de dos años por los socios del proyecto PETER, dando una visión sobre la valorización y la promoción de las Energías Renovables en el Suroeste Ibérico. Concebido más como un resumen que como una memoria, esperamos que sea un instrumento para futuros trabajos y desarrollos de éstos y/o de otros protagonistas, que contribuyan al autoabastecimiento y a la autonomía energética futura de esta región.

Rui Namorado Rosa

Francisco Cuadros Blázquez

As “Energias Renováveis” são fluxos ou reservatórios de energia accionados ou alimentados em permanência ou pela radiação solar (que depois se desdobra em diversificadas formas) ou pela energia mecânica planetária (caso da energia das marés), ou o próprio reservatório de energia térmica fóssil gerado no processo de formação da Terra (energia geotérmica).

O sistema climático planetário é accionado pela radiação solar incidente no topo da atmosfera e, após sucessivas transformações e degradação, retorna para o espaço exterior como calor radiante. É nessa complexa e caótica cascata de transformações que, para além da radiação solar, aparecem as energias mecânicas eólica, hidráulica, das correntes e ondas oceânicas, diferenciais térmicos, e a biomassa gerada a partir da fotossíntese (em que se unem os ciclos da água e do carbono).

À parte a energia das marés e geotérmica, as restantes energias renováveis exibem acentuadas variação geográfica e variabilidade temporal.

Assim, a disponibilidade de energias renováveis encontra-se geograficamente dispersa, por regiões e em grandezas e em regimes muito variáveis.

As energias renováveis prestam-se mais geralmente à captação para utilização directa, de forma descentralizada, mas também para a captação e conversão em diferentes vectores energéticos (electricidade, gás combustível, carvão vegetal, etc.), se necessário de forma maciça e centralizada, para produção e exportação através de redes de transporte de energia.

O Sudoeste Ibérico é particularmente bem dotado em radiação solar, e em escalas mais modestas em energia hídrica, biomassa e eólica. E ainda, na sua extensa fronteira marítima, energia oceânica (correntes e ondas). De notar que quanto à biomassa, a produtividade fotossintética nativa pode ser bastante sobre-elevada se forem seleccionadas espécies de crescimento rápido e ultrapassados factores limitantes, particularmente a água. Quanto às demais tipologias de energia renovável, será a selecção de tecnologias disponíveis que determinará o potencial de captação alcançável.

Desde 2002 que as Universidades da Extremadura e de Évora mantiveram diálogo com vista à realização de um projecto no domínio das Energias Renováveis, a ser apoiado por programa Europeu, tirando partido de algumas vantagens comparativas da região em que se inserem. Após diligências e vicissitudes, esse projecto veio a ser concebido, redimensionado e finalmente aprovado para financiamento pelo INTERREG sob a designação de Parque Experimental Transfronteiriço de Energias Renováveis - PETER (Referencia PETER/SP6.E53/03). Esse parque temático poderia ter dois ou mais campus, devendo servir propósitos de demonstração e divulgação, assim como de investigação aplicada e formação especializada, para públicos muito diversos. Teria como parceiros instituições de ensino superior e de investigação e desenvolvimento, e empresas, a que fossem adquiridos equipamentos ou que pretendessem aí expor ou ver testados os seus produtos ou processos. Assim se associaram ao projecto, desde a primeira hora, as duas instituições públicas que em Espanha e Portugal detêm maiores responsabilidades no domínio das tecnologias energéticas - o CIEMAT (Madrid) e o INETI (Lisboa). Assim também aderiram desde logo entidades que num e noutro país representam competências e interesses do sector empresarial, nomeadamente IDAE e ADRAL, e outras vieram a intervir posteriormente. Instituições da administração pública conferiram apoio institucional e político, no arranque do projecto, designadamente a Junta de Extremadura, a Diputación de Badajoz e a Comissão de Coordenação para o Desenvolvimento Regional do Alentejo.

O projecto tem trabalhado no sentido de concretizar as infra-estruturas físicas do Parque Temático. Nesse sentido foram desenvolvidos demorados trabalhos de consulta, concepção e elaboração do projecto de um edifício bioclimático no campus de Badajoz, desígnio que tirou partido das valiosas experiências já adquiridas neste domínio pelo CIEMAT e o INETI. O futuro edifício procurará atingir o objectivo de energia zero no que

respeita ao condicionamento ambiental interior, e atingir o mais elevado grau de autonomia no aprovisionamento energético para a operação dos equipamentos nele instalados (iluminação, motores e máquinas, etc.).

Outro objectivo foi a demonstração da produção de energia eléctrica a partir de diversas fontes renováveis de energia, designadamente radiação solar, energia eólica, e biomassa (quer resíduos sólidos quer efluentes líquidos), num sistema polivalente integrado, ligado à rede eléctrica.

Foram também empreendidas acções de informação destinadas a público qualificado, designadamente duas jornadas em um e outro lado da fronteira, e um sítio Internet foi criado para o público mais vasto.

O presente livro reúne materiais muito diferenciados que reflectem boa parte do trabalho desenvolvido ao longo de dois anos pelos parceiros do projecto PETER visando a valorização e a promoção das Energia Renováveis neste Sudoeste Ibérico. Como repositório, mais do que memória, esperamos seja um instrumento para trabalhos e investimentos futuros destes e de outros protagonistas, que contribuam para o auto-aprovisionamento e a autonomia energética futura desta região.

Rui Namorado Rosa

Francisco Cuadros Blázquez

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

Esta publicación se encuadra en un proyecto, como es el proyecto PETER¹ (Parque Experimental Transfronterizo de Energías Renovables), **que une a dos países hermanos como son España y Portugal en un tema tan importante como es la promoción de la sostenibilidad energética en los edificios.**

Es ya un éxito que **a través de la iniciativa de las Universidades de Évora y de Extremadura**, hayamos creado un gran equipo de trabajo conjunto, en el que se encuentran socios como la Junta de Extremadura, la Diputación Provincial de Badajoz, CIEMAT e IDAE de España, e INETI y ADRAL de Portugal.

Entrando en la temática de la publicación, desde el IDAE le damos una gran importancia al poder promocionar medidas que actúen sobre el consumo de energía en los edificios, que aporten a la consecución de su sostenibilidad energética.

El edificio es un consumidor de energía de forma continuada, desde su construcción, durante su uso y hasta su destrucción, en cantidades muy importantes, generando al mismo tiempo emisiones contaminantes.

Como dato, apuntar que **el sector de la edificación en España, por su uso o explotación, es responsable del orden del 20% del consumo de energía final nacional.**

Este consumo energético y el impacto ambiental a él asociado pueden y **deben ser reducidos** de forma drástica, mediante una serie de medidas, relacionadas, por un lado, con el planeamiento urbanístico y por otro, a través de la articulación de una serie de estrategias que permitan que la energía pueda entrar a formar parte de los criterios de partida de los proyectos.

1 ESTRATEGIAS

Entre otras Estrategias es importante mencionar:

- La **Certificación energética de edificios**, basada en proporcionar, a los compradores de edificios, una información clara y concreta sobre la eficacia energética del mismo, de forma que permita incorporar este criterio en su decisión de compra.
- **Ordenanzas municipales y normativas urbanísticas comprometidas**, en la medida que el ahorro energético y la protección del medio ambiente responden a objetivos asumidos por la sociedad.
- **Beneficios fiscales para edificios de alta calidad energética y para los planes de ordenación con buenas soluciones energéticas.**
- **Disponibilidad de infraestructuras energéticamente eficientes.** La oferta de alternativas energéticas basadas en esquemas eficientes o de bajo impacto ambiental, facilita la utilización de soluciones eficientes.
- **Internalización de costes ambientales.** La inviabilidad económica de algunas medidas de ahorro energético se debe a que los costes ambientales del consumo de energía no estén reflejados en su precio.

2 AGENTES

Para poder llevar a cabo todas estas estrategias o herramientas de las que disponemos, la solución pasa porque todos los Agentes implicados en el proceso edificatorio contribuyan al objetivo de conseguir edificios sostenibles.

¹ Edificio Inteligente de Energía Convencional Cero (Bioclimático), de unos 1.700 m² en el Campus de la Universidad de Extremadura en Badajoz.

2.1 Administración

El papel de la Administración es el de guiar a la sociedad hacia una respuesta más coherente con la problemática ambiental. La Administración dispone de mecanismos propios para favorecer e inducir, desde el inicio, una actuación comprometida con la sostenibilidad, mediante:

- La aprobación de Planes Urbanísticos redactados con criterios de sostenibilidad.
- Las Normativas de Edificación con parámetros que conduzcan a un mejor comportamiento energético y ambiental de la construcción.
- Promover las actuaciones singulares ejemplarizantes en promoción pública y la ejecución real en todas las actuaciones con criterios de sostenibilidad.
- Aplicar los recursos económicos, administrativos, normativos y fiscales que poseen las Administraciones para el apoyo al planeamiento y a la edificación sostenible.

De esta manera la energía podrá entrar a formar parte de los criterios de partida de los proyectos y de las consideraciones que los condicionan, orientando la dinámica del proceso del suelo en la línea de la sostenibilidad y la mejor utilización de los recursos.

2.2 Promotores

Por otro lado los Promotores:

- Son los que tienen en su mano edificar con criterios sostenibles, en materiales, construcciones e instalaciones altamente eficientes en energía y agua, con uso de las energías renovables.
- Deben utilizar este valor añadido en la calidad de su edificio como argumento de venta y mayor competitividad y no verlo como un incremento de costes y, por tanto, menos competitivo.

2.3 Profesionales

Además, están los **Profesionales**:

- Que deben formarse en las soluciones técnicas que permitan obtener los objetivos.
- Convenciendo al Promotor de la viabilidad técnica y económica de estas soluciones.
- Aportando ideas innovadoras y económicamente viables.

3 PLANES DE ACCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ESPAÑA (E4)

En este contexto, el **IDAE está promoviendo acciones para la eficiencia energética en edificación**, en el marco de los Planes de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4) y se pueden citar los siguientes:

3.1 Edificios existentes

Para edificios existentes, se consideran apoyos económicos, en el marco de la E4, a las siguientes medidas:

- Rehabilitación de la envolvente:
 - Incremento del nivel de aislamiento en fachadas, cubiertas y soleras.
 - Mejora del nivel de aislamiento y reducción de infiltraciones en ventanas.
- Renovación de las instalaciones térmicas:
 - Renovación del Parque de Calderas de Calefacción y ACS.

- Renovación del Parque de Grupos de Frío.
- Renovación del Parque de unidades de tratamiento de aire.
- Renovación de las instalaciones de iluminación interior:
 - Sustitución de lámparas incandescentes por otras de bajo consumo en residencial.
 - Renovación de la iluminación en edificios del terciario.

3.2 Edificios de nueva construcción

Para Edificios de Nueva Construcción, el IDAE, junto al Ministerio de la Vivienda, ha promovido una serie de medidas normativas a nivel estatal, fruto de la transposición de la Directiva de Eficiencia energética en Edificios. Estas son:

- EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. La aprobación del CTE supone un gran avance en la reducción de los consumos directos de energía en el uso de los nuevos edificios en España, ya que incluyen exigencias que van a permitir una reducción entre el 30-40% del consumo de energía de los edificios.
- EL REGLAMENTO PARA LAS INSTALACIONES TÉRMICAS DE LOS EDIFICIOS (RITE), supone la revisión y modificación de la reglamentación vigente sobre instalaciones térmicas de los edificios y recoge todo lo que es de obligado cumplimiento sobre la seguridad, bienestar, higiene y eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios.
- Por último, LA CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS consiste en la implantación de un procedimiento de etiquetado energético del edificio que servirá como herramienta de información al consumidor en el momento de cualquier transacción comercial del mismo.

Se puede decir que la nueva normativa energética propone un cambio radical en la forma de diseñar los edificios y sus instalaciones consumidoras de energía. El proyecto, el edificio terminado y el edificio en uso serán calificados energéticamente a lo largo de su vida útil. Nos encontramos en las primeras etapas de este proceso, que en los próximos años se deberá ir consolidando.

Además, el Plan de Acción de la E4 incorpora ayudas para la construcción de nuevos edificios con alta calificación energética, clases A y B. Esto se complementa con cursos de formación sobre el RITE, manejo de los programas de certificación energética CALENER, LIDER, guías técnicas de eficiencia energética de IDAE, ...

4 REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS Y BARRIOS

Por otro lado, se han de promover en los próximos años grandes actuaciones de rehabilitación energética de edificios y de barrios; rehabilitación energética acompañada con rehabilitación por motivos de mejora de la habitabilidad y seguridad. El éxito estará en combinar estas tres políticas, así como las ayudas económicas destinadas a las mismas. Con actuaciones dirigidas a las instalaciones que tienen un mayor peso, como son las de calefacción, de climatización y la envolvente térmica, así como a las de producción de agua caliente sanitaria y las instalaciones de iluminación interior.

5 CONCLUSIONES

La sostenibilidad y, más en concreto el desarrollo sostenible, se ha convertido en el referente común de cualquier sensibilidad o preocupación relacionada con la protección del medio ambiente, con el ahorro de energía o con el ahorro de los recursos naturales.

Si todo lo que se proyecta se sigue haciendo bajo el prisma convencional, la ciudad del mañana todavía tendrá pendiente el reto de la calidad de vida y el compromiso con el futuro. Sin embargo, en la actualidad ya sí que es posible planificar y diseñar introduciendo, en los procesos y en los proyectos, conceptos y criterios que apunten a un uso más racional de la energía y a un entorno urbano más acorde con el desarrollo sostenible.

También es posible, y a día de hoy se antoja necesario, pensar que la energía puede entrar a formar parte de los criterios de partida de los proyectos y de las consideraciones que los condicionan, orientando la dinámica del proceso del suelo en la línea de la sostenibilidad y la mejor utilización de los recursos.

IDAE quiere reiterar la felicitación al equipo de este proyecto hispanoportugués por el buen trabajo realizado, que finalmente se materializará en un edificio bioclimático que sin duda será un referente en edificios energéticamente sostenibles.

PROYECTO DE VIVIENDAS EXPERIMENTALES EN CÁCERES. DIRECCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA Y PROGRAMAS ESPECIALES DE VIVIENDA. CONSEJERÍA DE FOMENTO. JUNTA DE EXTREMADURA

1

Esther Gamero Ceballos-Zuñiga¹

Luis Vicente Méndez Vega²

Ana María Vizcaíno Galán³

1 Jefa de Servicio de Arquitectura y Control de Calidad. Consejería de Fomento

2 Ingeniero de Materiales. Consejería de Fomento

3 Ingeniera Industrial. Consejería de Fomento



1.1 ANTECEDENTES

En 1997, en un encuentro llevado a cabo por los principales países en Kioto, se debatió el panorama medioambiental del planeta actual y venidero. De este encuentro se desprende la necesidad de un cambio radical por parte de los Estados, para frenar el cambio climático global. Así se firmó el Protocolo de Kioto, el primer y único gran tratado medioambiental vinculante para la comunidad internacional en la que los estados firmantes se comprometían a poner coto a sus vertidos atmosféricos. Entre 2008 y 2010 deberán reducir, en conjunto, un 5,2% por debajo de los índices de 1990, año de referencia, las emisiones de 6 gases de efecto invernadero.

El 16 de febrero de 2005 entró en vigor el Protocolo de Kioto en el que se comprometen 141 países, entre ellos España. España arrancó con una situación complicada, pues cuenta con un 30% de emisiones más de las permitidas.

Por otro lado, el sector de la vivienda y el de servicios absorbe más del 40% del consumo final de energía en la Comunidad Europea, y la tendencia es a seguir aumentando. Esto implica una parte importante de las emisiones de dióxido de carbono.

España es el país de la Unión Europea (UE) con mayor consumo energético en el sector terciario, además de ser el de mayor potencial de aprovechamiento de las fuentes de energía renovables.

Ante este panorama, nació la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Dicha Directiva obliga a los Estados miembros a fijar unos requisitos mínimos de Eficiencia Energética para los edificios nuevos y para los grandes edificios existentes que sean objeto de reformas importantes, así como su certificación.

Por su parte, España, como estado miembro, ha llevado a cabo la transposición de esta Directiva aprobando el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, de Certificación Energética de los Edificios de Nueva Construcción. Además, en el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, se aprobó el Código Técnico de la Edificación (CTE), en el que se establecen reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía.

En lo que nos toca de cerca, Extremadura, en la Ley 3/2001 de la Calidad, Promoción y Acceso a la Vivienda de Extremadura, recoge en la exposición de motivos el impulso de una política en materia de vivienda donde la calidad sea uno de los ejes centrales y con el objetivo de conseguir edificios de bajo consumo de energía. Ya en su artículo 12 cita que la Junta de Extremadura promoverá las condiciones necesarias para la adopción, en las obras de edificación de vivienda, de soluciones técnicas que comporten medidas de ahorro y eficiencia de energía y agua; fomentará la utilización de aquellos materiales autóctonos y no contaminantes que se adecuen mejor a las condiciones climáticas y de construcción; se impulsará la utilización de fuentes de energía renovables; y establecerá, reglamentariamente, el otorgamiento de Certificados o etiquetas energéticas y/o medioambientales. Además, han sido aprobadas las revisiones del Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE) en el Consejo de Ministros del 20 de julio de 2007, para adaptarlo a todas estas normativas (Figura 1).

En Extremadura torna necesaria la adaptación de las viviendas a las condiciones locales, ya que tiene un clima específico. De modo general, su clima es mediterráneo, con veranos secos y calurosos, en los que el grado de insolación es elevado debido a su latitud y temperaturas medias de unos 26^o (las temperaturas diurnas superan los 40^o). Los inviernos son fríos, suaves y secos, situándose en esta estación la mayoría de las escasas precipitaciones (600 mm anuales y hasta cuatro meses de aridez en la región) con temperaturas medias de unos 15 °C.

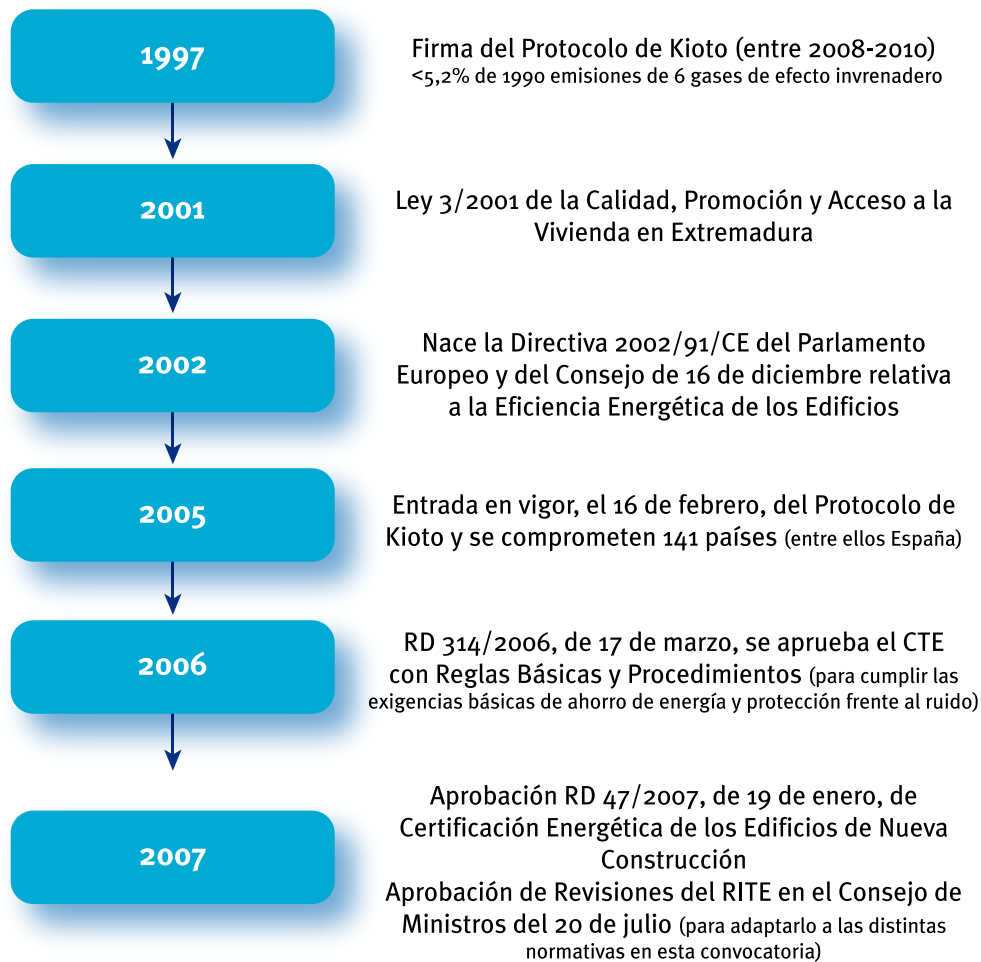


Figura 1
Esquema temporal de reglamentación en relación al proyecto

En los últimos años ha aumentado la concienciación social con los problemas de ruido y existe una mayor demanda en la sociedad de incrementar el confort acústico en las viviendas, ya que el ruido en el ámbito edificatorio es causante de frecuentes problemas a los usuarios, como trastornos de sueño, pérdida de rendimiento o incluso riesgos para la salud y problemas de estrés.

Por todo esto, era necesaria la aplicación de una nueva normativa de mayores exigencias acústicas y de hecho, con dicho CTE, además, se establece el Documento Básico de Protección frente al Ruido (DBHR), con el objetivo de regular además del ruido aéreo y de impactos, el ruido reverberante excesivo que produce igualmente molestias, así como se desarrolla con mayor profundidad el capítulo de protección frente al ruido de las instalaciones, mediante la indicación de buenas prácticas constructivas y métodos para minimizar la transmisión de ruido y vibraciones provocadas por éstas.

Por otro lado, la Junta de Extremadura está llevando a cabo una desmesurada política de viviendas, ante la demanda existente en nuestra región. Para ello, ha lanzado el Plan Especial de Viviendas que tiene por objetivo la construcción de viviendas en toda la región extremeña que posibiliten el acceso a la misma a grupos sociales de renta limitada.

Este Plan se desarrolla con la construcción de diferentes tipologías de viviendas. Actualmente promueve 57 actuaciones, principalmente con origen público (48 actuaciones públicas y 9 privadas), de las cuales 26 se encuentran en la provincia de Badajoz y 31 en la de Cáceres. En total son 21.442 viviendas, 10.438 en Badajoz y provincia y 11.004 en Cáceres y provincia.

**PROYECTO DE VIVIENDAS EXPERIMENTALES EN CÁCERES.
DIRECCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA Y PROGRAMAS ESPECIALES
DE VIVIENDA. CONSEJERÍA DE FOMENTO. JUNTA DE EXTREMADURA**

Esta distribución por tipología de viviendas puede observarse en las figuras 2.1, 2.2 y en la Tabla 1.

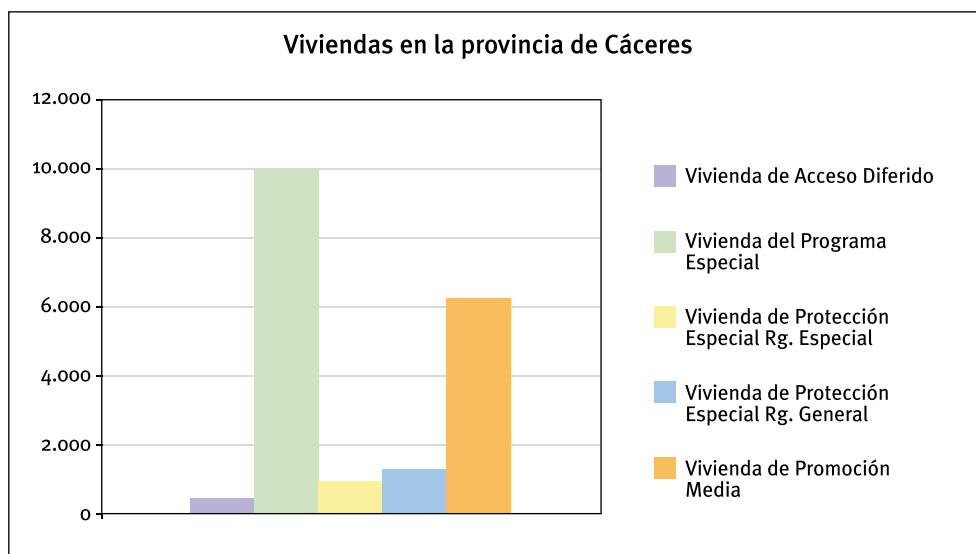


Figura 2.1

Distribución de viviendas construidas en Cáceres

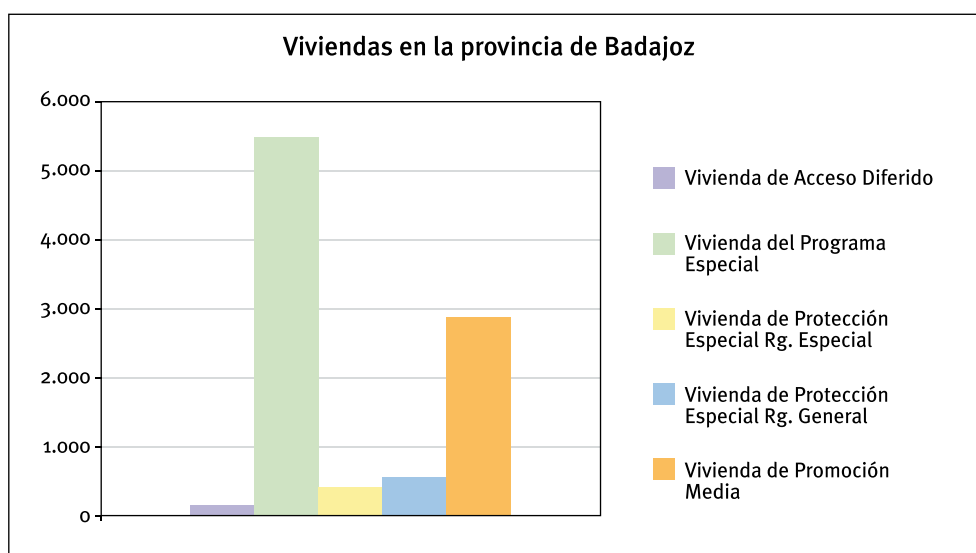


Figura 2.2

Distribución de viviendas construidas en Badajoz

Viviendas	Extremadura	Cáceres	Badajoz
Vivienda de Acceso Diferido	181	181	0
Vivienda del Programa Especial	10.404	4.491	5.913
Vivienda de Protección Especial Rg. Especial	787	398	389
Vivienda de Protección Especial Rg. General	1.347	671	676
Vivienda de Promoción Media	8.723	5.263	3.460
TOTAL Viviendas	21.442	11.004	10.438

Tabla 1. Distribución por tipología de viviendas en Extremadura y provincias

Cabe destacar, además, el aumento progresivo en España del precio de consumo de calefacción, alumbrado y suministro de agua que fue un 6% en 2005 y un 8,7% en 2006.

Datos de julio de 2008 nos revelan que estos precios, asociados al consumo en viviendas, han aumentado un 10,2% respecto a hace un año. En Extremadura, el aumento fue de un 5% en 2005 y un 9,8% en 2006, y como dato significativo se muestra el aumento en un 0,6% del IPC en el mes de junio de 2008.

Así, la Junta de Extremadura se ha planteado proyectar y ejecutar las viviendas partiendo de los siguientes criterios, de manera que sirvan de base para su posterior aplicación al plan regional de vivienda:

- **Criterios de sostenibilidad**, de forma que sean energéticamente eficientes y aseguren el confort térmico, acústico, higrotérmico y lumínico de los usuarios.
- **Capaces de captar energía** en la fase de explotación, de forma que garanticen la demanda de energía interna y actúen como centrales de producción, contribuyendo a minimizar la dependencia energética exterior.

La propuesta de este proyecto se enmarca dentro de lo que actualmente se denomina edificación sostenible, en la que se conjugan y articulan actuaciones dispuestas en tres ejes claros: el económico, el medioambiental y el social.

En relación al aspecto medioambiental, se centrará la atención en la integración, dentro del diseño, y en el uso sostenible de materiales, así como en la disposición de los mismos en sistemas y soluciones constructivas que incidan de un modo pasivo en una eficacia energética y buen comportamiento acústico. Así se consigue la optimización, en la fase de diseño, de alternativas para la consecución de las mejores opciones constructivas sin necesidad de gran aporte energético exterior para calefacción o refrigeración.

En el aspecto económico, se aboga por un desarrollo basado en el conocimiento de la capacidad de carga del entorno, para no superarla y permitir la recuperación y regeneración del sistema natural ante las presiones externas, así como en la optimización del uso de los recursos de manera que permita el desarrollo económico y se obtenga el mismo o incluso un mayor beneficio con menor consumo de recursos.

En el aspecto social, se busca la satisfacción plena de las necesidades de la generación presente, garantizando que las generaciones futuras puedan satisfacer las suyas. Para conseguir la sostenibilidad social es imprescindible la formación e información de todos los ciudadanos, de manera que exista una concienciación ciudadana.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es desarrollar una metodología de diseño y construcción de las viviendas sociales en Extremadura, de forma que se obtengan viviendas bajo criterios sostenibles, con un mejor comportamiento energético y acústico y empleo de nuevas energías renovables, además de asegurar un mejoramiento de la calidad en la edificación y el confort de los usuarios (Figura 3).

**PROYECTO DE VIVIENDAS EXPERIMENTALES EN CÁCERES.
DIRECCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA Y PROGRAMAS ESPECIALES
DE VIVIENDA. CONSEJERÍA DE FOMENTO. JUNTA DE EXTREMADURA**

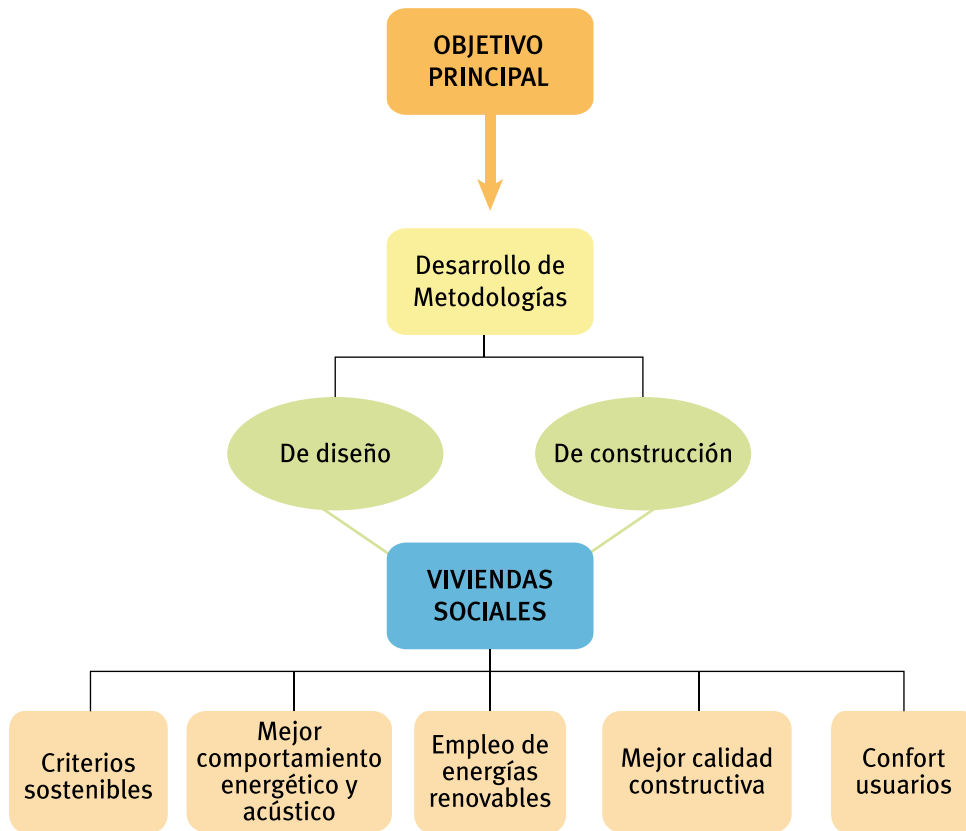


Figura 3
Objetivo principal del proyecto

La materialización de esta idea será a través de la construcción de dos viviendas unifamiliares aisladas, cumpliendo con la tipología de Vivienda del Plan Especial.

La edificación de las viviendas se acometerá en una parcela perteneciente a la Consejería de Fomento, situada en el polígono industrial “Las Capellanías” en Cáceres, junto a las instalaciones del Laboratorio de Control de Calidad de la Edificación de la Junta de Extremadura. La parcela tiene una superficie de 2.093 m² (Figura 4).



Figura 4
Ubicación de la parcela donde serán construidas las “viviendas patrón y experimental”

Estas dos viviendas unifamiliares aisladas contarán con la misma orientación y con el mismo sistema estructural, por lo que estarán sometidas a las mismas condiciones climatológicas. La primera de ellas estará construida de forma que su sección constructiva coincida con la que se está construyendo actualmente en Extremadura para viviendas del Plan Especial, de 80 m². Dicha vivienda será la “vivienda patrón”. En la segunda vivienda se probarán las distintas medidas de sostenibilidad y energías renovables, será la “vivienda experimental”. Ambas viviendas garantizarán el cumplimiento del CTE en toda su magnitud (Figura 5).

La relación de comportamiento entre vivienda experimental y vivienda patrón nos permitirá obtener datos comparativos de los sistemas pasivos/activos probados a tiempo real. Además, a través de una metodología rigurosa, se podrá conocer el comportamiento de cada una de las variables que se modifiquen y las consecuencias sobre la demanda energética de la vivienda experimental, así como las desviaciones respecto a las condiciones de confort basadas en parámetros sostenibles, energéticos, lumínicos y acústicos.

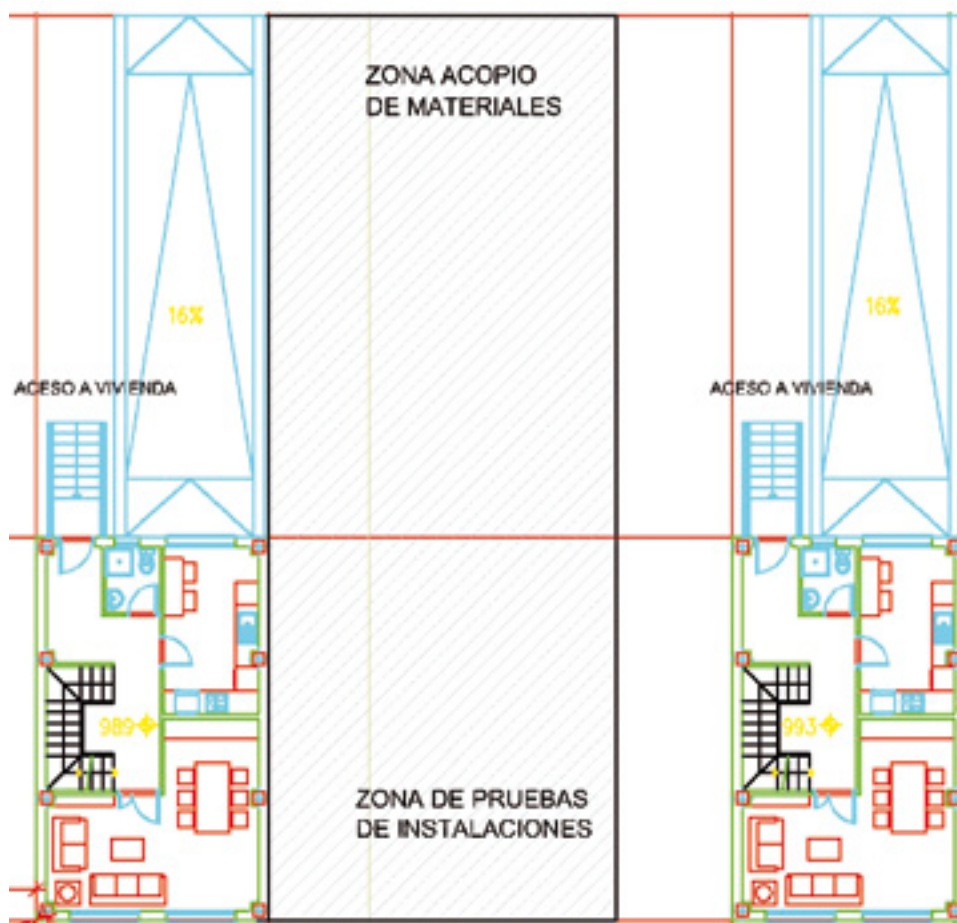


Figura 5

Plano en planta donde se representa la vivienda patrón a la izquierda, la vivienda experimental a la derecha y la zona de instalaciones entre éstas

Las características del proyecto que le dan singularidad y novedad son:

- En el sector de la construcción no es muy habitual buscar la eficiencia energética y la arquitectura bioclimática, ni tener en cuenta criterios sostenibles o de calidad acústica y lumínica, por lo que el proyecto pretende fomentar estos aspectos con el compromiso de la aplicación de los resultados satisfactorios a futuras promociones de viviendas.
- Se realiza para una climatología en concreto, la de la región extremeña.

- Está dedicado a un tipo de edificación y, por tanto, a una población específica. Concretamente se trata de viviendas sociales, por lo que se destina a una población con medios económicos limitados.
- Se obtendrán datos reales de la eficiencia energética de los métodos empleados en la “vivienda experimental” al compararse con una vivienda denominada “patrón”, cuyos sistemas constructivos son los típicos utilizados en la vivienda social extremeña.
- Las viviendas serán un laboratorio de bioclimatismo in situ, por lo que permitirá, con posterioridad al proyecto, la continuidad en la realización de diversos estudios y pruebas.

En trazas generales, el proyecto permitirá la consecución de los siguientes objetivos específicos:

- Creación de una edificación con mayor rentabilidad económica para el usuario final.
- Desarrollo de conocimiento e innovación en nuevos y mejores materiales, sistemas y procesos constructivos alineados con la eficiencia energética, lo que conlleva un incremento del valor añadido en la edificación.
- Generación de un parque de edificios sostenibles durante su vida útil. (Bajas emisiones de CO₂ y consumo mínimo de agua y recursos naturales).
- Disminución, a medio plazo, de la dependencia de recursos energéticos del exterior.
- Formación de técnicos especialistas en la materia.
- Reducción del coste medioambiental y económico derivado del uso de los edificios.
- Desarrollo y optimización de las tecnologías energéticas basadas en recursos renovables (energía solar pasiva, energía solar térmica, energía solar fotovoltaica, biomasa).
- Aumento de la competitividad, la productividad y la calidad del sector de la construcción, mediante el liderazgo en las tecnologías innovadoras que se llevarán a cabo en el proyecto, y del sector energético, mediante el desarrollo de nuevos productos innovadores.
- Integración de los diferentes sectores industriales relacionados con la edificación (constructoras, ingenierías, arquitectos, promotores, urbanistas, administración).
- El carácter innovador como banco de pruebas real de la construcción, posibilitará la colaboración de empresas privadas del sector constructivo e ingeniería que deseen experimentar sus productos, procesos o servicios y tener datos reales respecto a la construcción e ingeniería tradicional. Esto le concede continuidad al proyecto.

1.3 SOCIOS PARTICIPANTES

Responsable del proyecto:

- Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura.

Participantes del proyecto:

- Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (INTROMAC).
- Agencia Extremeña de la Energía (AGENEX).
- Universidad de Extremadura (UEX).
- GOP oficina de proyectos, S.A.

- Valladares Ingeniería, S.L.
- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. (CIEMAT).



Figura 6
Esquema de los socios del proyecto

1.4 CONSIDERACIONES DEL PROYECTO

1.4.1 Diseño

- Valoración del emplazamiento, incluidos la contaminación del suelo (metano, radón, gases de vertedero) y la hidrología.
- Diseños condicionados por criterios de sostenibilidad. Definición de requisitos específicos en la etapa de diseño, dado que éste es el factor básico e imprescindible para lograr la construcción sostenible.
- Desarrollo e implementación de sistemas pasivos de climatización que minimicen los consumos energéticos en las viviendas.
- Espacios soleados, zonas abalconadas y galerías acristaladas, como zonas de almacenamiento de calor.
- Jardinería que permita la incidencia del sol en invierno (altura de la vegetación, sombra, reflexión y penetración de la luz) y abrigo (dirección e intensidad de los vientos predominantes).
- Incorporación de chimeneas solares y sistemas de ventilación cruzada para permitir la ventilación natural y estudio del control de ésta (Figura 7).

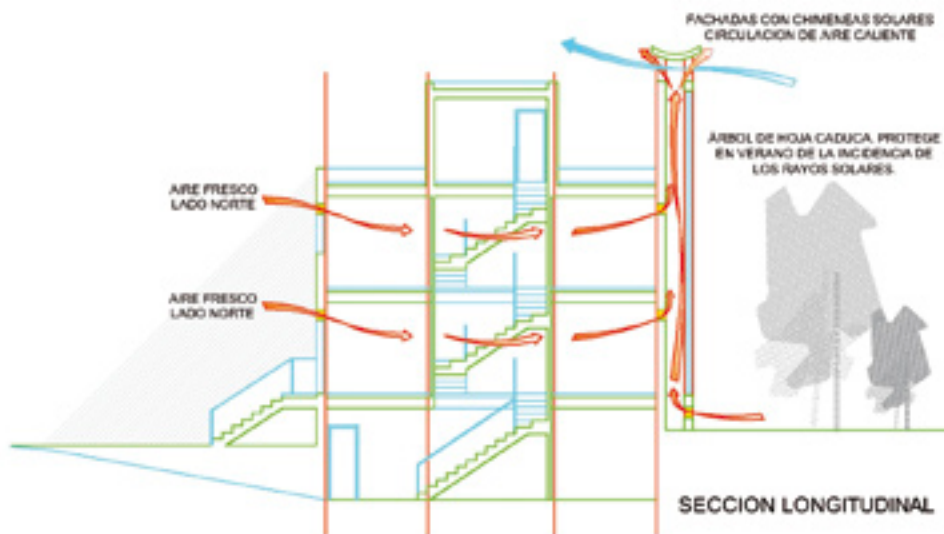


Figura 7
Chimenea solar

- Parasoles, contraventanas, celosías, lamas,...
- Aprovechamiento de la inercia térmica de los materiales.
- Diseño para aprovechamiento de la luz natural y maximizar el confort lumínico.
- Tratamiento de aguas grises (Figura 8).

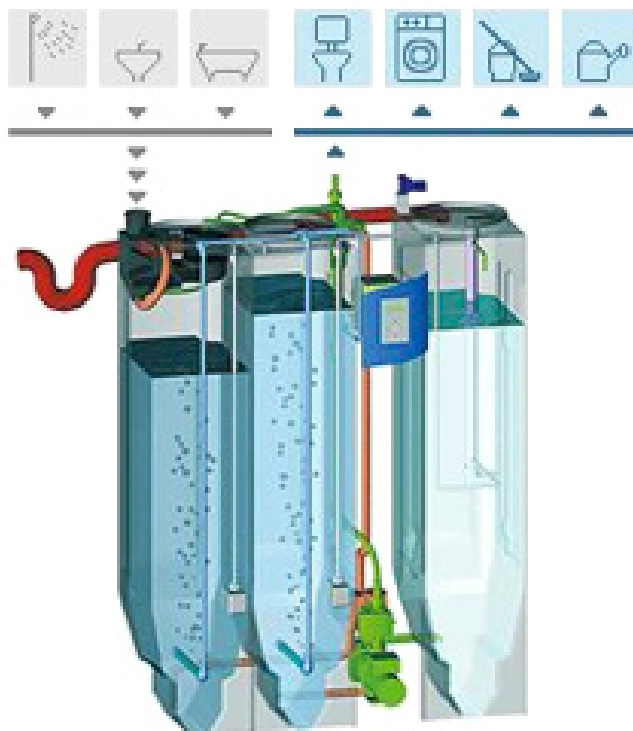


Figura 8
Tratamiento de
aguas grises

- Sistemas para la gestión sostenible del agua como captación del agua de lluvia. (Figura 9).

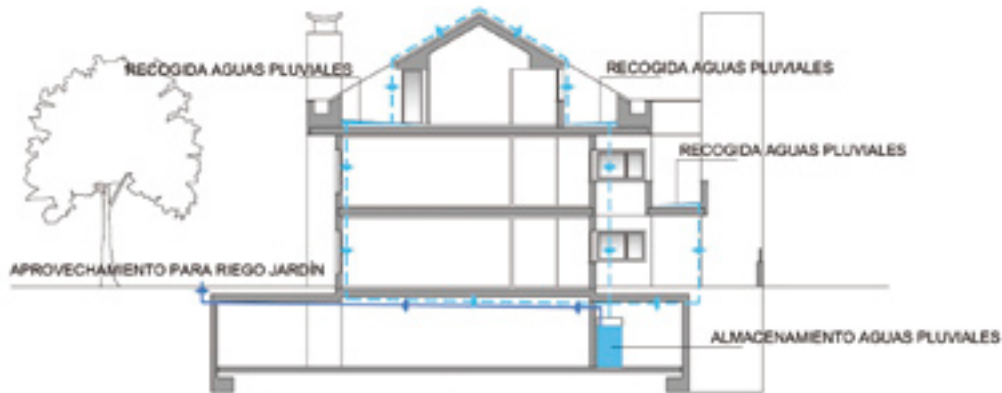


Figura 9

Captación de agua de lluvia

1.4.2 Materiales y sistemas constructivos

- Uso de materiales que contribuyan, con sus propiedades físicas, a la eficiencia energética en la edificación.
- Utilización de materiales innovadores que ofrezcan nuevas funcionalidades y comportamientos por encima de sus propiedades convencionales.
- Estudio del comportamiento de la inercia térmica de los materiales, con el fin de desarrollar configuraciones constructivas energéticamente eficaces.
- Uso de materiales de construcción para una óptima calidad del aire en el interior de los edificios. Materiales con emisiones reducidas.
- Análisis del ciclo de vida de los materiales. Mediante el análisis del ciclo de vida, se realizará un estudio ambiental y energético de los materiales, procesos y servicios, identificando puntos que deberán ser resueltos para obtener una mejora eficaz.
- Priorización del uso de materiales que sean reciclables al final de su vida.
- Valoración de nuevos materiales y sistemas de ejecución que permitan el montaje y desmontaje con rapidez ("industrialización" del proceso constructivo), que llegue a alcanzar un 100% de reutilización de los componentes del edificio.
- Recubrimientos selectivos de bajo coste y de aplicación in situ.

1.4.3 Ingeniería

- Uso de materiales de bajo impacto medioambiental.
- Diseño de ACS con máquinas bitérmicas, eliminando el calentamiento por efecto Joule, en los electrodomésticos.
- La instalación de calefacción/refrigeración será con sistemas de alto rendimiento.
- La instalación de ventilación tendrá recuperador entálpico/estático.
- Estudio con detalle de la distribución de la instalación del sistema de iluminación artificial. Uso de luminarias de bajo consumo.
- Inspección de la calidad de la construcción, en particular de la estanquidad del cerramiento y la eficacia de los sistemas activos, especialmente la calefacción.

1.4.4 Energías renovables

De los sistemas de energías renovables se valorará la incorporación al proyecto de los siguientes:

- **Energía solar.** Tanto en su uso como solar térmica, para ACS y calefacción, como fotovoltaica. Se considerará la posibilidad de incorporar una máquina de absorción y así utilizar el sol como refrigeración.
- **Bomba geotérmica.** Sistema desconocido en la región que utiliza la energía del terreno como sistema de climatización.
- **Microgeneración eólica.** Utilizar la fuerza del viento para suministrar energía eléctrica.
- **Calderas de biomasa.** Son calderas que utilizan como combustible biomasa.

1.4.5 Domótica y monitorización

- Uso de sistemas de control inteligentes que disminuyan los gastos energéticos controlando de forma automática parámetros como:
 - Ventilación
 - Sombreamiento
 - Orientación paneles fotovoltaicos
- Monitorización de las viviendas que simule la estancia de una familia típica:
 - Temperatura
 - Humedad
 - Iluminación

1.4.6 Acústica

- Análisis acústico de materiales, elementos, sistemas y soluciones constructivas.
- Desarrollo de nuevos materiales, elementos, sistemas y soluciones constructivas.
- I+D de sistemas de control acústico inteligente y de modelos analíticos para estimar características acústicas del material.
- Desarrollo e implantación de sistemas de monitorización permanente de niveles de ruido ambiental.
- Estudios para el correcto acondicionamiento, confort y bienestar acústicos.
- Investigación en métodos de cálculo más robustos que los actuales y empleo de modernas técnicas de medida acústica como intensimetría.

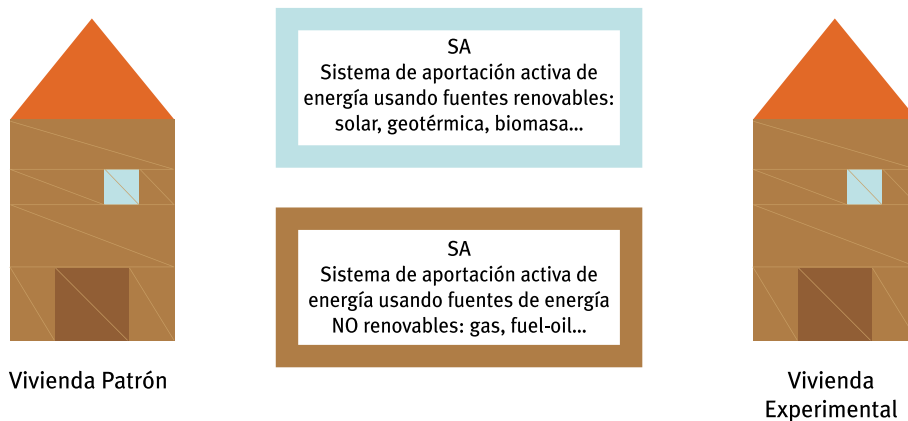
1.5 METODOLOGÍA

El proyecto ha dado comienzo en enero de 2008 y finalizará el primer trimestre de 2012.

El proyecto básicamente establece una comparación de dos viviendas sociales, en cuanto a su consumo o demanda energética y las posibles formas de abastecerse energéticamente, por lo que, en la vivienda experimental se introducirán de manera procedimental y secuencial una serie de alternativas de las contempladas en el proyecto y que se encuadran en lo que denominamos edificación sostenible.

Para ello, se hará uso de un sistema pormenorizado de sensores monitorizados que nos darán las variaciones de los parámetros más característicos de habitabilidad y confortabilidad en los diferentes puntos de las viviendas.

Figura 10
Esquema básico
de actuación



De esta manera, usando unas únicas instalaciones de elementos activos de aportación de energía comunes a ambas viviendas, nos permitiría una gran variedad de combinaciones en cuanto al funcionamiento de los edificios, ahorrando a su vez costes en lo relativo a los sistemas de instalación y equipos usados.

Es necesario, pues, establecer una serie de fases donde trabajarán cada uno de los implicados en este proyecto, y donde todo esto quede suficientemente establecido. Por ello, las fases de desarrollo activo del proyecto se han definido como:

- FASE I. Definición de proyectos.
- FASE II. Evaluación del proyecto.
- FASE III. Construcción de viviendas.
- FASE IV. Explotación y mantenimiento.
- FASE V. Difusión.

Fase I. Definición de proyectos

En esta fase se definirá la vivienda patrón y los diferentes tipos de vivienda experimental. Se propondrá un ciclo de experimentación, partiendo de una vivienda patrón y experimental definida y diseñada de acuerdo a unos requerimientos de partida. Así pues:

Vivienda 1, convencional. Vivienda patrón

Como ya se ha comentado, el proyecto de esta vivienda será, en todo, similar a una vivienda tradicional del parque de Viviendas de Protección Oficial que promueve la Administración Autónoma de Extremadura.

Esta vivienda se definirá como una vivienda de 80 m² en tipología de duplex con 3 habitaciones, salón, cocina y dos cuartos de baño. La distribución y demás requerimientos arquitectónicos se ceñirán a los pliegos de condiciones técnicas de una vivienda habitual de las promocionadas en la oferta pública de adquisición de viviendas del Plan Especial de Vivienda de la Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura.

En paralelo a los clásicos elementos activos de aportación de energía (calefacción, aire acondicionado, agua caliente sanitaria), se implantarán también en esta vivienda patrón la alternativa activa de aportación de energía de tipo renovable.

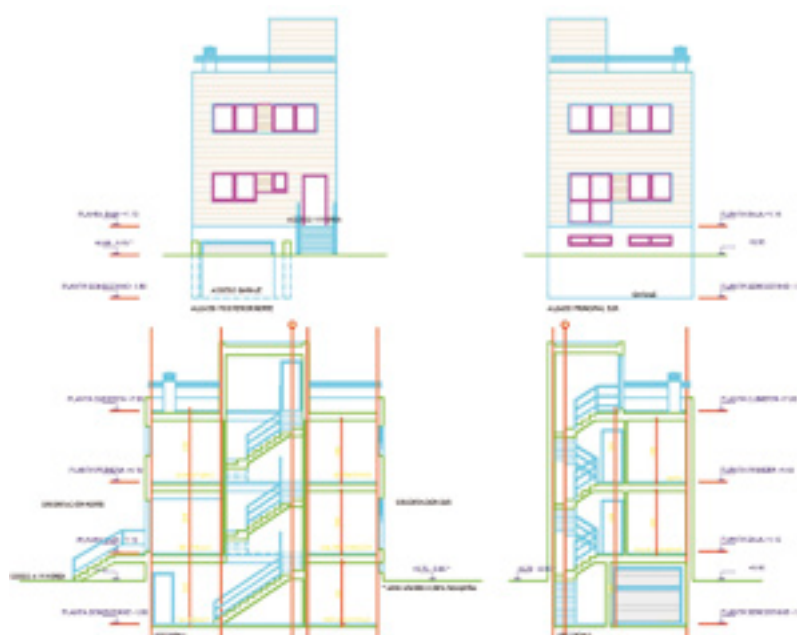


Figura 11

Alzados Norte-Sur
y secciones de las
viviendas

Vivienda 2. Vivienda experimental

En este caso, el diseño y redacción del proyecto inicial de partida se hace más complejo, puesto que son muchas las posibilidades de modificación que se esperan ejecutar dando, por tanto, lugar a muchas formas en las que esta vivienda experimental se podría definir.

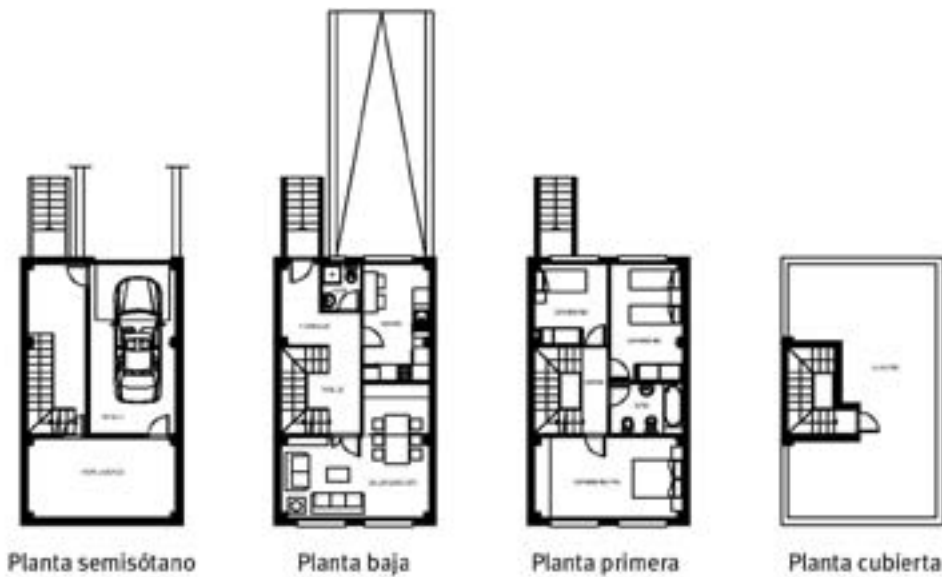
Por ello, y teniendo en cuenta la gran cantidad de materiales, instalaciones y sistemas constructivos existentes en la oferta tecnológica que actualmente se venden con el marchio de sostenible, se hace imprescindible realizar un estudio justificativo elaborado de cuáles podrían ser las premisas iniciales de partida para la definición de la vivienda experimental. Para ello, se establecerá en esta fase del proyecto la realización de un estudio pormenorizado que nos permita partir de un diseño inicial acertado.

En este sentido, se estudiará individualmente capítulo por capítulo la obra y, en función de unos criterios establecidos, se determinará cuál será finalmente la solución adoptada.

Así se definirán:

- Diseño. En el diseño se tendrá en cuenta criterios bioclimáticos.
- Materiales de construcción y sistemas constructivos. Para definir los materiales se realizarán análisis del ciclo de vida, de forma que, a parte de considerar su comportamiento en uso, se tenga en cuenta su origen (extracción, fabricación,...), transporte, etc.
- Elementos pasivos.
- Instalaciones.
- Energías renovables.
- Monitorización y domótica.
- Acústica.

Figura 12
 Plano de plantas
 generales de la
 vivienda tipo
 tradicional



Fase II. Evaluación de proyectos

Con la definición de las posibles viviendas y previamente a su construcción, es importante dedicar una fase a la modelización y simulación de estas viviendas para conocer su comportamiento, principalmente el energético, de forma global. En ella, se simulará tanto la vivienda patrón como las posibles viviendas experimentales utilizando programas informáticos de obligado cumplimiento y otros opcionales.

LIDER. La aplicación LIDER es la herramienta informática de la opción general de verificación de la exigencia de Limitación de demanda energética (HE1), establecida en el Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación, ofrecida por el Ministerio de la Vivienda y por el IDAE, y realizada por el Grupo de Termotecnia de la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía (AICIA), con la colaboración del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (IETCC). Es una herramienta para el cálculo de la demanda energética de los edificios, que permite la comparación de la demanda de energía para el edificio objeto de estudio y el denominado edificio de referencia.

Características relevantes del programa:

- Verifica si los cerramientos del edificio objeto cumplen con las transmitancias máximas.
- Verifica si las carpinterías de huecos cumplen las exigencias de permeabilidad al aire.
- Determina la demanda energética de calefacción y refrigeración del edificio objeto y del edificio de referencia, a partir de los parámetros de definición geométrica, constructiva, operacional y con los datos climáticos representativos de la localidad en cuestión.

CALENER. La aplicación CALENER es la implementación informática de la opción general de calificación de la Certificación Energética de Edificios de Nueva Construcción, ofrecida por el Ministerio de la Vivienda, por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, y realizada por el Grupo de Termotecnia de la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía (AICIA). Este programa considera la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios y sus instalaciones de climatización, agua caliente sanitaria (ACS) e iluminación. Hay dos tipos:

- **CALENER-VYP.** Calener para viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos. Es una versión extendida de LIDER en el que se consideran las instalaciones térmicas.
- **CALENER-GT.** Calener para grandes edificios terciarios. Debido a la limitación de CALENER-VYP se ha creado este otro programa para grandes edificios. El motor de cálculo es el DOE-2.2 y realiza las operaciones de simulación necesarias para la obtención de las emisiones de CO₂ asociadas a los distintos conceptos de consumo presentes en el edificio.

TRNSYS. Éste es un paquete informático de alta capacidad en la resolución de ecuaciones algebraicas y diferenciales que incorpora una librería con los sistemas más utilizados en instalaciones térmicas, tanto solares como convencionales, y diseñado especialmente para la realización de simulaciones transitorias. Estas simulaciones pueden durar, por lo tanto, desde varias horas a sólo unos segundos. Cada uno de los elementos de la instalación tiene que ser descrito por separado mediante una rutina informática nombrada TYPE; eso permite el análisis del conjunto del sistema o también de partes del mismo.

Este tipo de programa está indicado en el diseño y simulación de sistemas de media y gran envergadura.

ECOTECH. Es una aplicación informática utilizada para el diseño y análisis térmico y de ruido de edificios.

Fase III. Construcción de las viviendas

La construcción de las viviendas es la fase más importante. Previamente se ha hecho el estudio de la sostenibilidad de los materiales, sistemas constructivos, instalaciones, elementos pasivos de eficiencia energética y sistemas de generación de energía renovable; además, se ha simulado el comportamiento energético y acústico de las posibles combinaciones y comprobación de su funcionamiento global. Así se llega al punto crítico de aplicar en la práctica los resultados obtenidos sobre el papel.

Otro factor a tener en cuenta es la entrada en escena de agentes subcontratados, como son constructores, empresas de ingeniería, etc. La contratación de estas empresas será por concurso público. El problema de optar por empresas subcontratadas es que tienen una política de trabajo en la que prima el tiempo y los costes frente a la calidad de la ejecución. Debido a esto, la dirección y ejecución de obra, llevada a cabo por participantes del proyecto, ha de ser permanente y exhaustiva.

Por tanto, el éxito del proyecto depende de la correcta aplicación del mismo en su construcción.

Fase IV. Explotación y mantenimiento

En esta fase se tomarán datos del comportamiento energético y acústico de las viviendas. Al tener datos de una vivienda de construcción típica que se está realizando en las Viviendas de Protección Oficial extremeñas podremos averiguar en qué grado las técnicas adoptadas pueden mejorar energéticamente y acústicamente la vivienda experimental.

Según el RITE, aprobado por RD 1027/2007, de 20 de Julio, las condiciones de bienestar en el interior de una vivienda se encuentran en la Instrucción Técnica IT 1.1. y dependen de la calidad térmica del ambiente, del aire interior y de la calidad acústica. La calidad térmica supone el establecimiento de parámetros como la temperatura seca del aire, operativa y radiante media del recinto así como la humedad relativa, velocidad media del aire en la zona ocupada y la intensidad de turbulencia.

Estación	Tª operativa (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23 a 25	45 a 60
Invierno	21 a 23	40 a 50

Tabla 2. Tª operativa y humedad relativa para personas con actividad metabólica sedentaria de 1,2 met, con grado de vestimenta de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno y un PPD entre el 10 y el 15% según el RITE.

Los valores anteriores deben mantenerse en la zona ocupada, definida en el Apéndice 1, “Términos y Definiciones” del RITE actual.

Distancia desde la superficie interior del elemento (cm)

Pared exterior con ventana o puertas	100		
Pared exterior sin ventanas o puertas y pared interior	50		
Suelo	Límite inferior	5	
	Límite superior	Sentado	130
		De pie	200

Tabla 3. Distancia desde la superficie interior del elemento

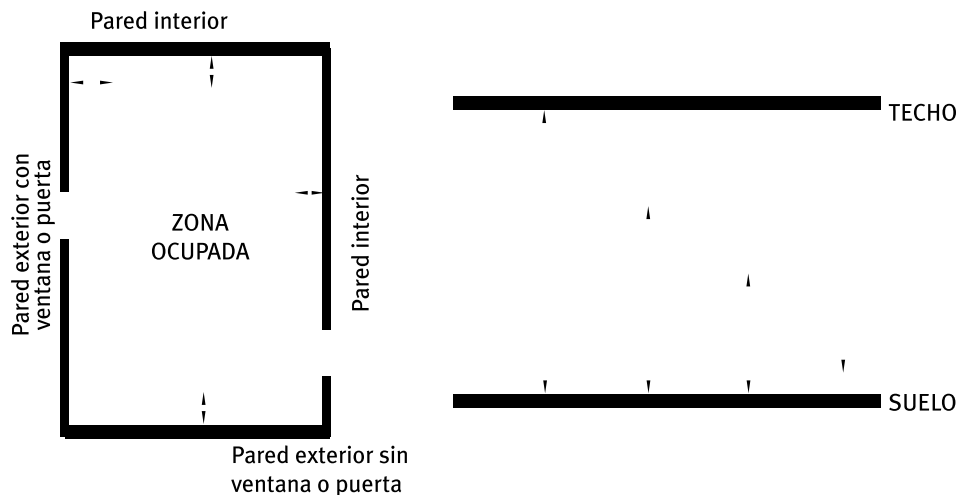


Figura 13

Zona ocupada según el RITE

Las condiciones ideales de la velocidad del aire, en la zona ocupada, se deben mantener dentro de los límites de bienestar considerando la actividad de las personas, su vestimenta, la temperatura del aire y la intensidad de la turbulencia.

La antigua normativa NBE CA 88 consideraba la transmisión acústica entre recintos únicamente unidireccional, mientras que, el actual CTE, base de cálculo acústico del RITE, tiene en cuenta además el ruido por flancos. La nueva normativa edificatoria es mucho más exigente en términos acústicos.

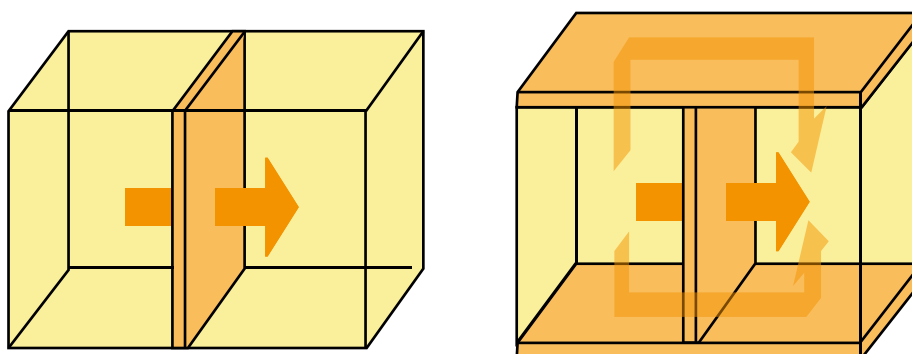


Figura 14
Direcciones acústicas consideradas en las normativas, a la izquierda NBE CA 88 y a la derecha el DB-HR del CTE

Tomando estas condiciones como las ideales a las que deberán estar las viviendas, se medirá el aporte energético necesario para mantenerse en estas condiciones.

Los parámetros que se medirán son:

- Temperatura exterior y humedad relativa en el exterior.
- Temperatura en el centro de cada dependencia.
- Humedad relativa en el centro de cada dependencia.
- Datos energéticos del contador de electricidad, de agua y de gas.
- Comportamiento acústico.

Como ya se ha comentado, la toma de datos será en tiempo real y una misma combinación de elementos, materiales, instalaciones, etc. se estudiará a lo largo de un año. De esta manera valoraremos el comportamiento de los sistemas adoptados bajo condiciones extremas de frío y de calor. Además, en determinados momentos se realizarán variantes como actuación, o no, de ciertos sistemas o incluso, si se considera oportuno, cambios en la distribución interior para conocer además la influencia de ésta en los consumos.

El edificio del laboratorio de calidad que está en las inmediaciones de la ubicación de este proyecto será utilizado como base de toma y registro de datos. Además, el mantenimiento será llevado a cabo por personal del laboratorio.

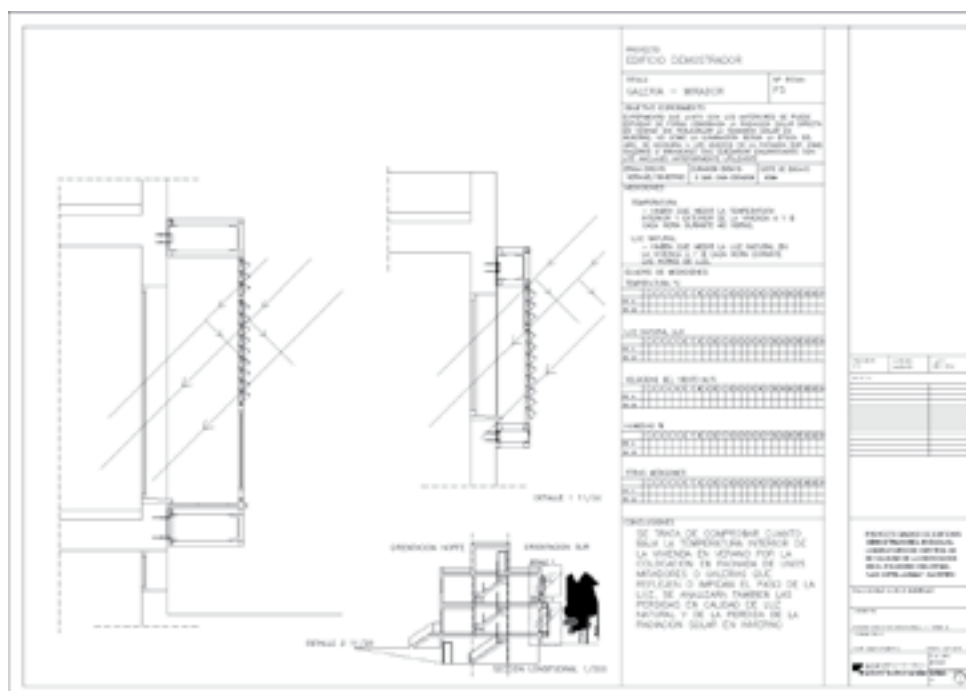


Figura 15
Ficha de ensayo a emplear. En este caso pertenece a una galería-mirador

Fase V. Difusión

Parece lógico que para que el proyecto pueda desarrollarse correctamente es necesario una buena campaña de difusión, con la consecuente ayuda de ésta a la concienciación ciudadana. Es por ello que se tomarán varias medidas para darlo a conocer en todo el territorio posible, en principio en Extremadura y zonas cercanas, pero se pretende difundir los resultados en diferentes países, pues pueden ser extrapolables muchas de las conclusiones obtenidas.

Algunas de las actividades de difusión realizadas y otras que pretenden llevarse a cabo son:

- La jornada de presentación pública del proyecto tuvo lugar en el último trimestre de 2007 y se invitó a los profesionales relacionados con la construcción e instalaciones de Extremadura.
- Se ha presentado y se presentará el proyecto en diferentes jornadas, ferias, congresos y eventos relacionados con la edificación sostenible, energías renovables y eficiencia energética.
- Se creará una página Web, en la que se explicará el proyecto, la fase en la que se encuentra, las distintas formas de ahorro de energía, consejos sobre eficiencia y ahorro en viviendas, así como se volcarán los resultados que se vayan obteniendo.
- Se realizarán jornadas de presentación de resultados.
- Se editarán guías de recomendaciones sostenibles de materiales de construcción y de sistemas de generación de energía en Extremadura. Esto se realizará al finalizar la primera fase.
- Se desarrollarán cursos de sostenibilidad en la edificación para los profesionales del sector.
- La vivienda permitirá la visita guiada a escolares y será un centro de interpretación de la sostenibilidad de la edificación.
- Se editarán guías de buenas prácticas a usuarios.

Esta fase estará presente a lo largo de todo el proyecto, ya que el mantenimiento de la página Web será diario, y las jornadas de presentación y difusión se realizarán cada cierto tiempo, cuando se estime oportuno.

1.6 CRONOGRAMA

A continuación, de forma aproximada, se muestra el proceso temporal que seguirá el proyecto que nos ocupa.

ACCIONES	2007	2008				2009				2010				2011				2012	
	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	
Presentación																			
Comienzo, convocatorias																			
Definición de proyectos																			
Evaluación del proyecto																			
Construcción de las viviendas																			
Explotación y mantenimiento																			
Difusión																			
Clausura y conclusiones																			

Figura 16
Cronograma del proyecto

1.7 CONCLUSIONES

Este proyecto, al ser promovido por la Consejería de Fomento, asegura la aplicación de las técnicas estudiadas, cuyos resultados sean satisfactorios a las VPE que se promuevan desde la Consejería. Esto permitirá que los usuarios de dichas viviendas, por lo general de renta baja, destinen una parte inferior de su economía familiar a los gastos derivados de su vivienda. Además, al ser viviendas sostenibles con menor dependencia de los recursos naturales no renovables, contribuirán en la reducción de las emisiones de CO₂ y ayudarán a combatir el cambio climático.

Programa LIFE

El proyecto de las Viviendas Experimentales en Cáceres liderado por la Consejería de Fomento de la Junta de Extremadura y contando como socios con INTROMAC, AGENEX, GOP Oficina de Proyectos S.A. y Valladares Ingeniería S.L. cuenta actualmente con la aprobación de la ayuda europea denominada LIFE+07 en cuya convocatoria cuenta con la denominación de “Proyecto EDEA” (Efficient Development of Eco-Architecture: Methods and Technologies for Public Social Housing Building in Extremadura). Dará comienzo en Enero de 2009.



AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

2

Fernando López Rodríguez

Martín Cobos

Vitoria Vázquez

Francisco Cuadros

Leilén Cuadros Salcedo

Agencia Extremeña de la Energía (AGENEX)



2.1 INTRODUCCIÓN

La evolución de nuestra sociedad está ligada al aprovechamiento de los recursos energéticos. El entorno urbano, en el que nos relacionamos, demanda gran cantidad de energía para adaptarse al amplio espectro de actividades humanas, que en él se desarrollan. En este sentido, los edificios, tanto residenciales como del sector servicios, juegan un destacado papel ya que es de gran importancia en ellos la demanda de calefacción, refrigeración, disponibilidad de agua caliente sanitaria, iluminación, ventilación, etc.

El conjunto de estos conceptos supone en España el 17% del consumo de energía final, en una tendencia positiva, ya que no en vano, el incremento de la superficie construida en edificios en España, en el periodo 1990-2005, ha sido del 143%; es decir, una tasa media anual del 9,5%. No obstante, si se considera la energía consumida en el transporte de los materiales para la construcción y otros conceptos asociados, ese consumo puede llegar a duplicarse [1].

En la Tabla 2.1 se detalla la evolución del número de viviendas construidas en Extremadura y en el territorio nacional en los últimos años.

Estimación del número total de viviendas clasificadas según su uso									
	Total			Viviendas principales			Viviendas no principales		
	2003	2004	2005	2003	2004	2005	2003	2004	2005
Extremadura	596.487	606.080	616.274	382.303	385.971	390.741	214.184	220.109	225.533
España	22.058.922	22.622.968	23.209.842	15.000.923	15.460.564	15.884.170	7.057.999	7.162.404	7.325.672

Tabla 2.1 Estimación del número total de viviendas clasificadas según su uso

El crecimiento en el número de viviendas construidas en Extremadura ha supuesto un 7,12% en el periodo 2001-2005. Si consideramos el alto grado de implantación tecnológica y los servicios de mayor calidad que incorporan las nuevas promociones, supone un incremento del consumo energético y de sus costes asociados de manera cada vez más significativa.

El consumo de energía final en el sector doméstico se distribuye por usos de acuerdo con lo indicado en la Figura 2.1.

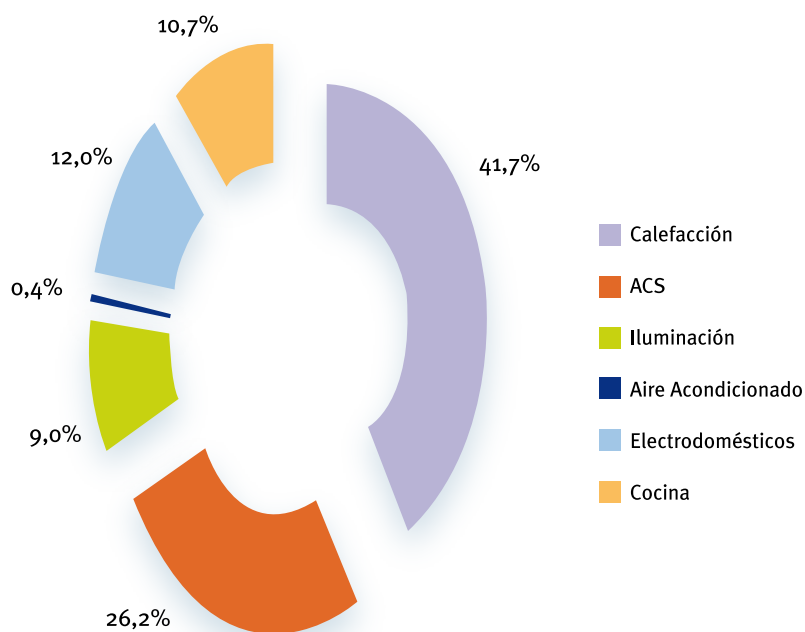


Figura 2.1

Distribución del consumo de energía final en el sector doméstico

La intensidad energética en el sector residencial supera a la de los países de la Unión Europea, en los que habitualmente se cubre la demanda de calefacción mediante sistemas individuales o centralizados que utilizan combustibles fósiles o biomasa. Además, es de destacar que en un clima cálido como el español, se emplean en mayor medida sistemas de calefacción eléctricos.

Como se ha indicado anteriormente, el consumo de energía final en el sector edificación puede cifrarse en 18.123 ktep para el año 2005, lo que supone el 17% del consumo de energía final (106.940 ktep) para ese mismo año.

En el caso del sector terciario, se incorporan otros consumos asociados a la propia utilización y características de los edificios como pueden ser los mostrados en la Figura 2.2.

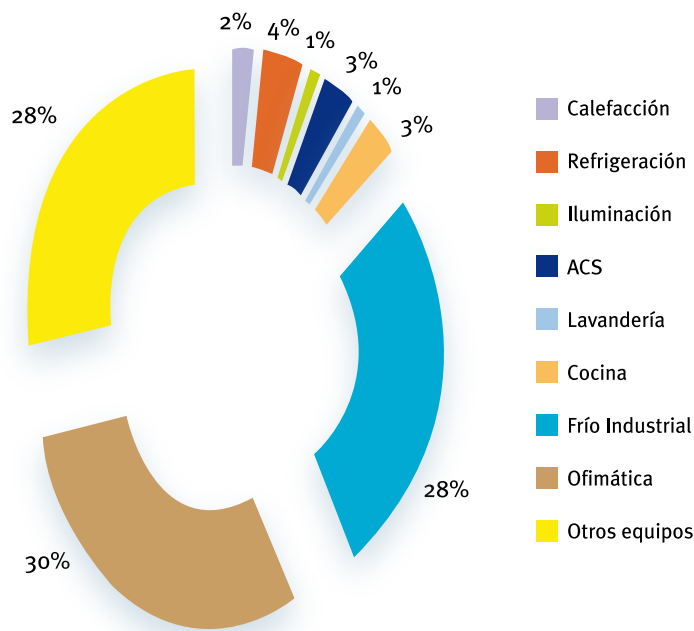


Figura 2.2
Distribución del consumo de energía final en el sector terciario

La intensidad energética en el sector terciario en España se mantiene en valores próximos a la media europea; sin embargo, el consumo eléctrico destaca por encima de los países de nuestro entorno, debido especialmente a la climatología, que hace que la demanda en refrigeración de los edificios del sector terciario sea importante.

El incremento de los consumos energéticos unido al compromiso por la sostenibilidad y la protección ambiental, crea la necesidad de una gestión racionalizada, basada en la eficiencia energética en la edificación.

En los últimos años, siguiendo los objetivos marcados en las directivas comunitarias, se ha producido un impulso y actualización de la normativa relativa a la construcción y el consumo de energía. Según establece el artículo 3 de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) [2], los edificios deberán proyectarse, construirse, mantenerse y conservarse de tal forma que se satisfaga, entre otros, el requisito básico de ahorro de energía y aislamiento térmico, de tal forma que se consiga un uso racional de la energía necesaria para la adecuada utilización del edificio.

En esta línea, tanto el Código Técnico de la Edificación (CTE) [3], como la certificación energética de edificios [4] y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) [5], han supuesto una verdadera revolución en el sector.

El CTE establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, establecidos a su vez en la LOE. Completado en

sus documentos básicos con el RITE, adopta un enfoque basado en prestaciones u objetivos que le confiere un carácter más moderno en materia de normativa de edificación.

El RITE establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía.

Finalmente, el ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 47/2007, de 19 de enero [4], aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción, estableciendo este requisito como imprescindible para los edificios.

2.2 AUDITORÍAS ENERGÉTICAS

No obstante, antes de hablar de eficacia es necesario conocer cuál es nuestra situación en este aspecto; es decir, es necesario medir para controlar y poder proponer medidas de mejora. Es en este momento cuando se precisan las auditorías energéticas.

2.2.1 Objeto de una auditoría

El objeto de una auditoría se centra en llevar a cabo un estudio que identifique los usos energéticos con mayor potencial de ahorro de energía. Así, podemos considerar una primera etapa de análisis técnico del edificio en estudio, sucedida por una segunda de optimización de los sistemas.

1 Análisis

Se trata de elaborar un análisis técnico y económico de la situación energética actual, de los diferentes sistemas y procesos, junto con la optimización del consumo energético y el establecimiento de propuestas de mejora.

El alcance del análisis, y de la auditoría en general, dependerá de los recursos disponibles, la entidad del edificio y la situación en la que se encuentre, distinguiéndose así la valoración (estimación según ratios), el diagnóstico (estudio más completo) y la auditoría propiamente dicha (análisis en detalle).

2 Optimización

Consiste en optimizar el consumo energético de los sistemas y equipos instalados manteniendo las condiciones de operatividad, confort, salubridad y seguridad de las personas que lo ocupan, así como del propio edificio. La mejora de la eficiencia energética lleva asociada de una manera directa los siguientes aspectos:

- Disminución del consumo energético.
- Reducción del gasto económico.
- Mejora del nivel de servicio/confort.
- Mayor control de los equipos e instalaciones, evitando sobredimensionamientos o sobrecargas.

Indirectamente, todas estas mejoras se traducen en un mayor respeto y conservación del medio ambiente, ya que, al no consumirse más energía de la necesaria, se disminuyen las emisiones de CO₂, tanto en el edificio como en la producción de la electricidad consumida.

2.2.2 Contenido de las auditorías

El contenido de una auditoría debe tratar sobre los siguientes aspectos:

1 Inventario de las instalaciones energéticas

El primer paso en la elaboración de una auditoría consiste en la toma de datos, así como en el inventariado de instalaciones y equipos de proceso para conocer como se distribuye el consumo energético en sus distintos usos, las características de cada uno de los equipos, sus parámetros principales de consumo energético y los modelos de funcionamiento.

2 Optimización de la factura eléctrica

Conocidos los datos de consumo eléctrico de las instalaciones es posible establecer una valoración y ajuste en los parámetros de contratación con la Compañía Suministradora.

Se llevarán a cabo medidas de la curva de carga en diferentes periodos de tiempo utilizando aparatos, tales como, analizadores de redes. También se tomarán lecturas de tensión e intensidad en los cuadros eléctricos.

3 Análisis de la contratación de otros suministros

Se identificarán los consumos energéticos y de otros suministros, aportando una valoración actualizada de la contabilidad energética del centro.

4 Diagnóstico en las instalaciones

Se realizarán diagnósticos tanto de las instalaciones de climatización, agua caliente sanitaria (ACS) o incluso procesos (según corresponda), en los que se identificarán puntos críticos, pérdidas de calor, rendimiento de equipos, temperaturas o malas prácticas, en función de las características del centro o edificio.

5 Diagnóstico en las instalaciones de alumbrado

Se trata de un estudio de la información recopilada para proponer, mediante informes técnico-económicos, actuaciones y mejoras como:

- Sustitución de luminarias.
- Instalación de balastos.
- Instalación, sustitución o ajuste de interruptores, temporizadores o detectores de presencia para alumbrado.
- Unificación de cuadros.
- Niveles de iluminación y regímenes de alumbrado.

Para conocer las condiciones reales de operación de los edificios se toman habitualmente medidas de los niveles de iluminación.

6 Diagnóstico en las dependencias

Los trabajos a desarrollar estarán dirigidos a:

- Actuaciones encaminadas a reducir la demanda energética de oficinas.
- Actuaciones encaminadas a mejorar el rendimiento energético de las instalaciones de climatización.
- Adecuación de las condiciones de confort en el interior de los locales.
- Ajuste de la tasa de ventilación.
- Aislamiento de edificios.

7 Análisis termográfico

Utilizando estas técnicas se trata de identificar:

- Pérdidas energéticas.
- Rendimiento y funcionamiento de equipos.
- Control de sobrecarga en cuadros eléctricos y reducción del riesgo de fallos.

2.3 METODOLOGÍA

Las auditorías son un proceso sistemático mediante el que se obtiene un conocimiento lo suficientemente fiable del consumo energético del edificio, para detectar los factores que afectan a dicho consumo e identificar y evaluar las distintas oportunidades de ahorro en función de su rentabilidad. Las etapas típicas en las que se desarrolla una actividad de este tipo son:

2.3.1 Recopilación de información

En primer lugar se solicitará la facturación de los diferentes suministros (electricidad, gas, gasóleo, etc.), la documentación técnica de las instalaciones y los equipos, planos y proyectos de ejecución de edificios.

Se establecerá previamente un plan de acción en cuanto a los períodos y puntos de tomas de datos, medidas “in situ”, y entrevistas con el personal.

Posteriormente se realizará el trabajo de campo, que consistirá en:

- Desarrollar el inventario de centros y equipos de consumo (alumbrado y dependencias).
- Diagnósticos de funcionamiento del nivel de uso y situación de los sistemas. Análisis de gases de combustión de calderas, medida de temperaturas, etc.
- Medidas del régimen de carga de las instalaciones eléctricas mediante analizador de redes.
- Entrevistas con el personal de mantenimiento y usuarios.

Los períodos de toma de datos varían ostensiblemente, dependiendo del tipo de empresa y oscilando desde días hasta meses en función del número de equipos a auditar, tipos de instalaciones, dimensiones, etc. En cualquier caso, debe ser el suficiente para que los datos sean representativos. Durante esta etapa, es importante contar con la colaboración del personal encargado de mantenimiento. Todo ello debe apoyarse en un inventario fotográfico de las instalaciones, en donde se pueden poner de manifiesto los defectos observados tras el análisis técnico (Figura 2.3).

2.3.2 Análisis técnico

En esta fase se procederá a optimizar la factura eléctrica y se realizará un estudio de los distintos sistemas y procesos, tales como climatización, ACS, tratamiento de aguas residuales, bombeos, etc.

La optimización de la factura eléctrica puede llevarse a cabo con el apoyo de software informático específico. En la Figura 2.4 se aprecian los resultados de la optimización de una facturación eléctrica.

Por otra parte, el análisis de los sistemas y procesos incluirá:

- Diagnósticos de funcionamiento: detección de defectos en regulación y control, defectos en elementos de medida, falta de aislamientos en válvulas, tuberías, conductos, pérdidas de rendimiento, etc.



Figura 2.3
Inventario
fotográfico

- Diagnósticos de mantenimiento: fallos o carencias del sistema de mantenimiento, suciedad de equipos, fugas, goteos, condensaciones, etc.
- Evaluación de propuestas de mejora.
- Análisis termográfico. Pérdidas de calor, infiltraciones, riesgo de fallo en cuadros eléctricos. Se pueden observar zonas en las que el diferencial de temperaturas puede ser el origen de sobrecalentamientos, pérdidas, fallos o fugas eléctricas.

	Sit. Actual	Sit. Optimizada
Tarifa	2.0.1	2.0.1
Potencia (kW)	2,2	2,3
D.H.	Sin D.H.	B.T. con DH
Batería (kVAr)		0,0
Inversión Batería (€)		0,00
Coste (€)	173,41	160,54
Ahorro (€)		12,87
Ahorro (%)		7,42
Período Amort. (Años)		0,00
Ahorro Tarifa (€)		12,87
Ahorro Batería (€)		0,00
Precio medio (€/kWh)	0,1732	0,1607

Figura 2.4. Optimización de la facturación eléctrica

2.3.3 Valoración de resultados

El estudio de los datos anteriores permitirá identificar en que lugares, equipos o actuaciones no se está consiguiendo un uso eficaz de la energía y establecer las medidas

correctoras oportunas, tales como, sustitución de equipos, nuevos protocolos de actuación, etc. Además de la viabilidad técnica, debe analizarse la económica, determinando inversiones, beneficios, costes y períodos de recuperación.

Tras el análisis técnico se estudiará la posibilidad de introducir sistemas basados en energías renovables (Figura 2.4), tales como:

- Solar térmica para ACS.
- Solar fotovoltaica.
- Calderas de biomasa.



Figura 2.4
Sistema basado en energía solar

Para el sistema o sistemas elegidos, se llevará a cabo un anteproyecto de la instalación y un estudio de viabilidad económica.

Finalmente se efectuará el desglose de las inversiones necesarias.

2.3.4 Plan de actuación y seguimiento

Una vez establecidas las mejoras, se confecciona un estudio energético global de la situación mejorada con las medidas propuestas, en base al cual se procede a priorizar la adopción de dichas medidas.

Deberá realizarse un seguimiento para comprobar que se están ejecutando correctamente y confirmar las mejoras y los ahorros conseguidos.

Finalmente se desarrollará una guía de buenas prácticas que pueda servir de referencia para futuras experiencias que guarden alguna similitud.

2.4 MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO

Se detallan las principales medidas de ahorro energético que se desarrollan y se ponen de manifiesto en una auditoría energética.

2.4.1 Medidas en sistemas de climatización

- Se conoce el rendimiento y grado de utilización de las bombas de calor.
- Se mejora el mantenimiento de los sistemas de climatización (evaporadores descongelados y limpios).
- Se puede llevar a cabo una zonificación óptima para la climatización de dependencias con similares exigencias.
- Se llega a conclusiones tales como que los termostatos regulables deben llevar tapa antimanipulación y ubicarse en lugares poco transitados.
- Se pone de manifiesto la necesidad de efectuar campañas de sensibilización para un correcto uso de los sistemas.

2.4.2 Medidas en ACS

Se pone de manifiesto la necesidad de:

- El control de sondas de temperatura en circuitos de recirculación.
- El control de riesgos por Legionella.
- El rendimiento y grado de utilización de bombas de calor en sistemas de recirculación.
- El mantenimiento de los tubos del sistema de distribución.
- El control y mantenimiento de temperatura de consigna en calderas.
- El disponer de griferías de bajo consumo y cisternas con doble pulsador.
- Los estudios de sustitución utilizando tecnologías más eficientes: gas natural, solar térmica, biomasa.

2.4.3 Medidas en iluminación interior

Se conoce y se pone de manifiesto:

- Los niveles de iluminación, en aquellos casos en los que dicho nivel sea superior al necesario con el consiguiente incremento de la potencia.
- El régimen de uso, cuando los horarios de encendido y apagado prolongan innecesariamente el ciclo de funcionamiento.
- El rendimiento lumínico, que puede referirse tanto a los sistemas de iluminación propiamente dicho o al estado de mantenimiento del conjunto.
- La eficacia de las lámparas, lo que puede suponer más efectividad en la mejora de la eficiencia energética de los sistemas de alumbrado.

Para solventarlas se proponen como ejemplo las siguientes medidas de ahorro:

- Instalación de balastos electrónicos en lámparas fluorescentes.
- Sustitución de lámparas fluorescentes de mayor diámetro por otras de menor diámetro.
- Sustitución de lámparas incandescentes estándar por lámparas compactas integradas (bajo consumo).
- Sectorización del control de la iluminación.
- Temporización del control de la iluminación.
- Parámetros de iluminación de las lámparas adecuados para cada dependencia.
- Mantenimiento del sistema de iluminación (sustitución, aseptia, ...).

La planificación es un paso fundamental para lograr el resultado final deseado, y dependerá del nivel de exigencia del edificio. La planificación abarcará los siguientes puntos:

- Selección de lámparas y luminarias.
- Disposición de las luminarias.
- Montaje.
- Mantenimiento.

2.4.4 Medidas en epidermis

El estado de la epidermis puede poner de manifiesto que deben mejorarse determinados aspectos del edificio tales como:

- Aislamiento de techos y cubiertas.
- Sellado de puertas y ventanas para evitar infiltraciones.
- Protecciones, del tipo persianas, cortinas, voladizos, ...
- Sustitución de acristalamiento simple por doble ventana.

- Aplicación de laca protectora de radiación solar en claraboyas y película solar en ventanas o vidrios con tratamiento solar.
- Instalación de cortavientos, resortes en puertas, etc.

Finalmente, se puede llevar a cabo un análisis energético del edificio siguiendo las prescripciones que marca el CTE (Programa LIDER) [6], que nos indicará la demanda energética del mismo en invierno o verano, y si en ese edificio globalmente deben realizarse acciones de mejora de la eficiencia energética.

2.5 EQUIPAMIENTO

Resulta fundamental contar con material especializado para poder determinar todos aquellos parámetros susceptibles de ser medidos y que pudieran ser necesarios para la valoración técnica de las instalaciones.

Entre el material y equipamiento mínimo con el que acometer una auditoría destaca:

- Equipo ofimática.
- Software informático para el tratamiento de los datos, la gestión energética y la optimización de la factura eléctrica.
- Analizador de gases de combustión.
- Analizador de redes.
- Termómetros de temperatura ambiente y superficial.
- Luxómetros.

Como es lógico pensar, el grado de especificación del equipo dependerá de la complejidad de la instalación y grado de detalle que se requiera para las mediciones a realizar.

2.6 REFERENCIAS

- [1] Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), Área de Eficiencia Energética en la Edificación. Comunicación. 2007.
- [2] Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE).
- [3] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Código Técnico de la Edificación (CTE).
- [4] Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.
- [5] Real Decreto 1027/2007, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE).
- [6] Programa informático de referencia para cumplimiento de la demanda de energía en un edificio. DB-HE1. Código Técnico de la Edificación. Ministerio de la Vivienda. España.



EDIFICIO PETER. EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA

3

Francisco Cuadros
Fernando López Rodríguez
Cosme Segador
Antonio Ruiz Celma
Almudena González González
Fernando Rubiales



3.1 RESUMEN

El objetivo principal del presente capítulo es mostrar y dar a conocer las aplicaciones de la edificación bioclimática, sus ventajas y características. Para ello, se muestra el proyecto de Construcción de un Edificio Inteligente de “Energía Convencional Cero” (“Bioclimático”) de unos 1.700 m² en el Campus de la Universidad de Extremadura, en Badajoz. Se pondrán en práctica los conceptos sobre ahorro y eficiencia energética en la edificación, así como la integración de las energías renovables en el edificio. En particular, se utilizarán técnicas de energía solar térmica activa y pasiva para suplir las necesidades de calefacción y aire acondicionado, y energía solar fotovoltaica para iluminación y biomasa (pellets) para alimentar una caldera que servirá de apoyo al sistema solar térmico.

El funcionamiento de este edificio será monitorizado en condiciones reales de uso, de modo que las variables de confort más importantes (temperatura, humedad del aire, etc.) se medirán, controlarán y analizarán a fin de obtener buenas condiciones de habitabilidad en el interior de un edificio construido en una región con unas condiciones climáticas extremas y severas.

Palabras clave: Bioclimático. Energía cero, PETER.

3.2 INTRODUCCIÓN

En la Unión Europea, la construcción de edificios consume el 40% de los materiales del mercado, genera el 40% de los residuos y consume el 40% de la energía primaria. Estos datos nos dicen que la edificación es un sector profundamente impactante sobre el medio ambiente, la economía y la sociedad. En todos los países europeos se han tomado medidas para disminuir este consumo energético. Por ejemplo, en España, recientemente se ha publicado el nuevo Código Técnico de la Edificación, para contener y limitar la demanda energética, de modo que, aplicar criterios de sostenibilidad a la construcción de edificios y conseguir que sean capaces de captar energía, es tarea prioritaria para cualquier administración.

España es el país de la UE con mayor consumo energético en el sector terciario, además de ser el de mayor potencial de aprovechamiento de las fuentes de energía renovables, sobre todo de la energía solar. En regiones como Extremadura, situada al suroeste de España y formando frontera con Portugal, la irradiación media anual es superior a los 1.600 kWh/m².

El uso de la arquitectura bioclimática no es nuevo: las viviendas cuevas y en gran parte las construcciones tradicionales se basan en principios bioclimáticos. El bioclimatismo básicamente consiste en conseguir que una vivienda o edificio sea adecuado al clima y a las condiciones del entorno con el fin de alcanzar una situación de confort térmico en su interior. Sin embargo, en la actualidad, este tipo de vivienda se construye poco. Según datos del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIE-MAT), perteneciente al Ministerio de Ciencia y Tecnología, se estima que en España hay entre 5.000 y 10.000 edificios de este tipo [1].

Por otra parte, están surgiendo muchos proyectos de viviendas y urbanizaciones que se venden como bioclimáticas, pero de las que se duda que funcionen como tal. Se está creando un negocio a costa del sello “categoría bioclimática” que no consiste más que en viviendas que tienen un alero como elemento de sombreado pasivo e integran algunas energías renovables. Evidentemente, estas viviendas no pueden considerarse bioclimáticas.

Es importante resaltar que el concepto de construcción bioclimática puede ser nuevo como concepto textual, pero no lo es como concepto constructivo. Ya los romanos inventaron las cubiertas ventiladas; los árabes su celebre teja, los patios con agua, las zonas interiores ajardinadas, etc. Se pueden ver en las construcciones centenarias de

Marrakech los muros de adobe ventilados, en el alto Nilo las eficientes chozas de estiércol de vaca de los pueblos Nubis, etc.

Algunos de los proyectos de edificación bioclimática que se están desarrollando tanto fuera como dentro de España son:

- Sustenergy. [2] Se trata de un proyecto financiado por el Programa INTERREG III C. Ha finalizado su plazo de ejecución en el año 2007. En este proyecto participan 6 socios, siendo coordinador del mismo el centro de Recursos Ambientales de Navarra (CRAN). Su objetivo principal ha sido el desarrollo de metodologías comunes para conseguir estrategias de ahorro y eficiencia energética, a través de la puesta en marcha de treinta experiencias piloto, entre la que se destaca el Programa de Eficiencia en la Construcción.
- PSE- ARFRISOL [3]. Arquitectura bioclimática y frío solar. Es un proyecto Singular y Estratégico dentro del Plan Nacional del Ministerio de Educación y Ciencia Español coordinado por la “Unidad de Eficiencia Energética en la Edificación” del CIEMAT. En este proyecto participan 12 socios, entre los que se encuentran empresas tecnológicas del sector de la construcción y de la energía solar, así como grupos de investigación procedentes de diferentes Universidades.
- Proyecto GREEN BUILDING CHALLENGE SPANISH TEAM [4], donde se han llevado a cabo estudios sobre el comportamiento medioambiental de edificios.
- Concurso de ideas para el desarrollo de la eficiencia energética en una vivienda social rural en Chile [5]. Se trata de edificar una vivienda (en el medio rural) siguiendo principios de sostenibilidad y ahorro energético.
- Ciudades para un futuro más sostenible [6]. Se trata del sitio web del Departamento de Urbanística y Ordenación del Territorio (Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid de la Universidad Politécnica de Madrid) junto con el Ministerio de la Vivienda.
- Agenda de la Construcción Sostenible [7]. Es el portal web realizado por el Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona, Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés, Asociación de Estudios Geobiológicos y el Instituto Cerdá.
- Proyecto LIFE-EcoValle [8], sobre el acondicionamiento Bioclimático de espacios como experiencia innovadora de diseño urbano sostenible, en la que participa el CIEMAT.
- Proyecto Regen-Link [9]. Se trata de una rehabilitación de viviendas y locales comerciales en San Cristóbal de los Ángeles (Madrid, España), también con la participación de CIEMAT.
- Ecociudad de Sarriguren [10]. Promovida por el Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra. La coordinación de los trabajos de redacción del planeamiento así como de la gestión de suelo ha recaído en la empresa pública Navarra de Suelo Residencial (NASURSA).
- Forum Barcelona [11]. En la ciudad de Barcelona se celebraron los actos del Forum-2004. Se recicló y se creó suelo urbano para la ubicación de los edificios de nueva construcción que sirvieron de sede de dicho evento.

En el presente capítulo se presenta el desarrollo del proyecto de construcción de un Edificio Inteligente de “Energía Convencional Cero” de unos 1.700 m² en el Campus de la Universidad de Extremadura, en Badajoz. Esta actividad se encuadra dentro del proyecto PETER (Parque Experimental Transfronterizo sobre Energías Renovables) [12], cuyos socios españoles son: la Universidad de Extremadura; la Diputación Provincial de Badajoz; la Dirección General de Universidad y Tecnología de la Consejería de Economía, Comercio e Innovación de la Junta de Extremadura; el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el CIEMAT. Los socios portugueses son: Universidad de Évora; el Ins-

EDIFICIO PETER. EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA

tituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI) y la Agência de Desenvolvimento Regional do Alentejo (ADRAL) y que ha sido cofinanciado a través del Programa INTERREG III de la Unión Europea.

Este proyecto arquitectónico se encuentra dentro de lo que actualmente se denomina edificación sostenible, en la que se conjugan y articulan actuaciones dispuestas en tres ejes claros: el económico, el medioambiental y el social. Los autores ya han realizado otros trabajos relacionados con este tópico. En particular, se ha implementado un procedimiento muy simple para dimensionar instalaciones solares térmicas de producción de agua caliente sanitaria en edificios [13], [14].

Entre los objetivos generales del proyecto de construcción del edificio PETER se encuentran:

- Construir teniendo en cuenta las características climáticas del lugar (en este caso, la ciudad de Badajoz).
- Poner en práctica los conceptos sobre ahorro y eficiencia energética en la edificación.
- Contribuir al desarrollo de la “industrialización de la construcción”, acortando tiempos, mano de obra y haciendo que los procesos constructivos sean menos intensivos en energía.
- Uso de materiales de construcción reciclables.
- Integración de las energías renovables en la edificación.
- Demostrar empíricamente la bondad del uso de las fuentes de energía renovables frente a las convencionales.

3.3 DESCRIPCIÓN Y TECNOLOGÍA

En este capítulo se muestran las características y tecnologías utilizadas para la construcción del edificio PETER, que consta de dos plantas de unos 650 m² cada una, y una planta sótano de unos 400 m². Dispone de una zona para laboratorios y oficinas, orientada hacia el Sur, y zonas generales tales como baños, salas de reuniones, orientadas hacia el Norte. El edificio es de forma rectangular presentando su fachada más amplia orientada hacia el Sur.

En la Figura 1 se aprecian distintas vistas del edificio tal como se construirá finalmente.



Figura 1
Vista del edificio

Las características del edificio se resumen a continuación:

- Se construirá teniendo en cuenta las características climáticas de la ciudad de Badajoz.

- Se aplicarán los conceptos de captación solar pasiva. Fachada sur ventilada con instalación de superficies fotovoltaicas que se situarán entre las ventanas (Figura 1 (f)). Estas instalaciones fotovoltaicas actuarán como chimeneas.
- Se dotará al edificio de buen aislamiento térmico, evitando puentes térmicos.
- Se hará un sombreado de ventanas y cubierta.
- Se hará uso de la iluminación natural el mayor tiempo posible y en la totalidad de las dependencias.

En cuanto a las tecnologías a emplear se destacan:

- Climatización mixta solar-biomasa.
- Instalación de suelo radiante para calefacción y de rejillas de aire para refrigeración.
- Instalación de una superficie de captación térmica y de una caldera de biomasa (pellets), que alimentarán a una máquina de absorción.
- Monitorización completa del edificio.
- Control completo del edificio.
- Volcado de datos sobre la temperatura interior del edificio en tiempo real a la red.

3.4 DESARROLLOS TECNOLÓGICOS UTILIZADOS

En la construcción del edificio se utilizarán los más modernos e innovadores desarrollos tecnológicos, permitiendo la utilización bioclimática del edificio, así como el empleo de aislamientos eficientes, el control de los flujos energéticos y el uso de energías renovables.

A continuación se exponen las diferentes estrategias que se seguirán en su construcción:

3.4.1 Utilización del sol

Se ha simulado la posición del Sol para todas las épocas del año con el fin de conocer su influencia y tomar las medidas necesarias para evitar calentamientos en los meses de verano y favorecer dicho calentamiento en invierno, sobre todo en las zonas orientadas al Sur, donde van a desarrollar su actividad diaria el mayor número de personas. En la Figura 2 se observan las trayectorias solares a lo largo de los meses del año, vistas desde el lugar donde se construirá el edificio.

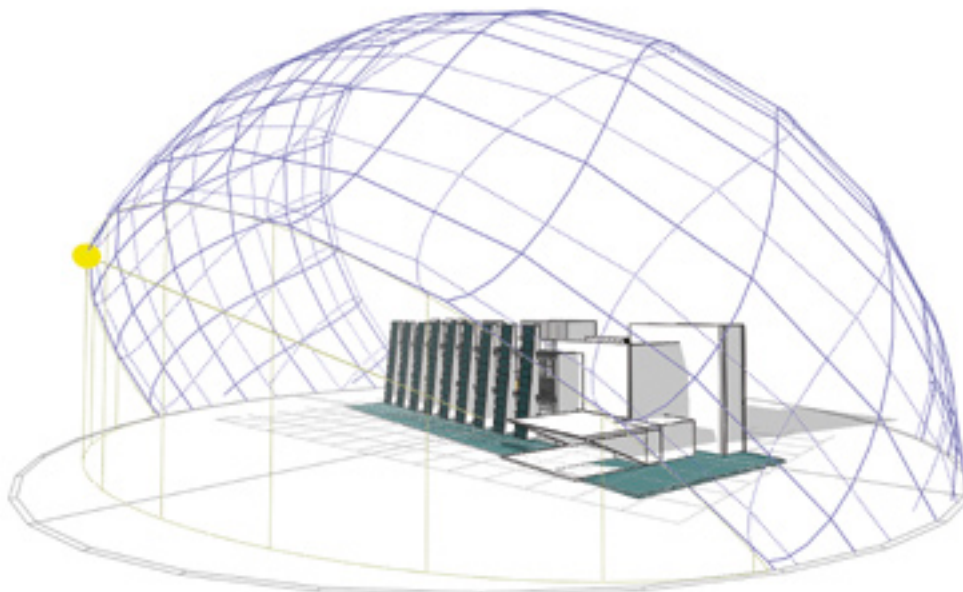


Figura 2

Posición del Sol
en las diferentes
épocas del año

Si se proyecta el horizonte que se observa desde este lugar sobre dichas trayectorias solares, se deduce que habrá sombras sobre el edificio PETER a primera hora del día y a última hora de la tarde, debido a los edificios y árboles circundantes. Estas sombras reducen la radiación solar sobre el edificio en un 7%, aproximadamente. Naturalmente, durante los meses de verano se rechazarán los rayos solares mediante el uso de persianas exteriores que se cerrarán automáticamente cuando la radiación solar incidente sobre la fachada sur y la diferencia de temperaturas dentro y fuera del edificio alcancen un valor umbral (generalmente en el verano, y algunas semanas de la primavera tardía y el otoño temprano). La situación opuesta se dará el resto del año (invierno, primavera temprana y otoño tardío), en el que se abrirán las persianas permitiendo la entrada del sol en las dependencias de mayor uso que estarán ubicadas al sur.

3.4.2 Aislamiento

El proceso de transmisión de calor en un edificio de estas características se lleva a cabo principalmente por medio de la radiación en un porcentaje del 75%, mientras que la conducción y convección solo ocupan el 25% restante. Por tanto, cualquier tipo de aislamiento de un edificio debe detener principalmente el flujo de calor radiante, sin olvidar la transferencia de calor por conducción.

Entre los diferentes tipos de aislamiento, creemos que los de tipo reflectivo pueden ser los más adecuados y eficientes ya que, a su alta capacidad de reflejar el calor, se une la estructura de burbujas de aire retenidas en su interior que proporcionan una gran resistencia térmica (factor-R) a través de su superficie.

La Figura 3 muestra el factor R (en $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C W}^{-1}$) para diferentes tipos de aislamientos térmicos y para espesores de la cámara de aire que varían entre 1 y 10 cm, en intervalos de 5 mm. Los materiales seleccionados han sido:

- Una cámara de aire con aislamiento reflectivo.
- Dos cámaras de aire con aislamiento reflectivo.
- Tres cámaras de aire con aislamiento reflectivo.
- Fibra de vidrio.
- Poliestireno extruido (XPS).
- Poliuretano expandido (PUR).

Como se observa en la Figura 3, los aislamientos reflectivos que delimitan 1, 2 ó 3 cámaras de aire presentan una curva plana a partir de un espesor determinado de dichas cámaras, que da un valor del factor-R constante aunque aumente el espesor de la cámara de aire. Sin embargo, una vez alcanzado ese valor constante, la resistencia térmica es sensiblemente superior a la de un aislante tradicional (fibra de vidrio, XPS o PUR) para ese espesor. Por ejemplo, el aislamiento (factor-R) que se consigue con el aislamiento reflectivo y tres cámaras de aire (línea roja de la Figura 3) con un espesor total de 0,060 m (6 cm) es cercano a los $3 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C W}^{-1}$, mientras que para alcanzar ese valor de la resistencia térmica, por ejemplo con fibra de vidrio, el espesor de la cámara de aire debería ser aproximadamente de 0,120 m (12 cm). La elección del primer aislante permite ahorrar unos 6 cm de espacio útil a lo largo de todo el perímetro del edificio. Mejor optimización del espacio útil del edificio se conseguiría si comparamos este aislante reflectivo con los otros aislantes convencionales tales como PUR o XPS (Figura 3).

Comparativo aislantes

Reflectivo	E cara 1	E cara 2	AISSANTE/ISOVER fibra ECO 60	Lambda
Aislante/reflectivo POLYNUM ULTRA (Espesor 0,018 m)	0,03	0,03	AISSANTES/XPS Expandido con CO2 (0,042 w/(mk))	0,038 w/m k
Resistencia intrínseca	0,377	m ² C/w	AISSANTES/PUR inyección expandido con CO2	0,04 w/m k
Montaje vertical, flujo de calor horizontal				

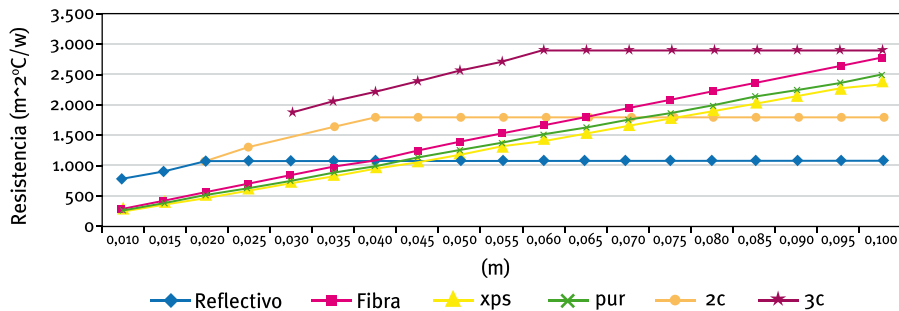


Figura 3
Comparativa
espesor
aislantes.
Paredes flujo
horizontal

En el edificio PETER, la secuencia de materiales que configuran las paredes, desde el exterior hacia el interior, es como sigue:

- Capa de mármol modelo Frontek de Venatto de espesor 2 cm.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 4 cm de espesor.
- Aislante reflectivo de 4 mm de espesor.
- Tablero de madera estructural de 12 mm de espesor.
- Aislante de fibra natural (kenaf) de 2,5 cm de espesor.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 2 cm de espesor.
- Aislante reflectivo de 4 mm de espesor.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 4 cm de espesor.
- Placa de yeso laminado de 15 mm de espesor.

El coeficiente de transmisión global de las paredes del edificio $U=0,31 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

La cubierta del edificio PETER estará constituida por:

- 4 cm de arlita.
- Mortero de cemento de 6 cm de espesor.
- Aislante de fibra natural kenaf 1,5 cm de espesor.
- Aislante reflectivo de 4 mm de espesor.
- Aislante Poliestireno extruido de 1 cm de espesor.
- Impermeabilizante oxiasfáltico 4 kg/m².
- Tablero estructural OSB de 12 mm de espesor.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 6 cm de espesor.
- Aislante reflectivo de 12 mm de espesor.
- Cámara de aire de baja emisividad ($\epsilon=0,03$) de 6 cm de espesor.
- Placa de yeso laminado de 12,5 mm de espesor.

El coeficiente de transmisión global de la cubierta, $U=0,13 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

El suelo del edificio estará constituido por:

- Solera de hormigón prefabricado alveolar de 20 cm y lámina de polietileno.
- Aislamiento de tipo porespán 20 cm.
- Tubería PVC para suelo radiante.
- Mortero de nivelación de 8 cm.

- Acabado superficial pulido.

El coeficiente de transmisión global del suelo, $U = 0,24 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Finalmente, los huecos (ventanas) del edificio PETER estarán constituidas por:

- Marcos de PVC color blanco.
- Doble vidrio de espesores 4-6-4 mm con cámara de argón.
- Lamas móviles color blanco.

El coeficiente de transmisión global de las ventanas $U = 2,55 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

La Tabla 1 muestra los valores de la transferencia de energía (en kWh) a través de la epidermis del edificio PETER construida según el diseño constructivo que ha sido descrito anteriormente y considerando al edificio en evolución libre (sin ocupantes, sin iluminación artificial, sin electrodomésticos en funcionamiento, etc.). La energía transferida a través de la epidermis del edificio (que coincidirá con la demanda de energía) se ha calculado teniendo en cuenta la metodología que en España se recoge en el Código Técnico de la Edificación (CTE) [15], pero introduciendo los valores de los coeficientes de transmisión global a través de paredes, cubierta, suelo y ventanas dados anteriormente. Estos valores se han comparado con los que se obtendrían si el edificio se construyera considerando los valores mínimos de los coeficientes de transmisión a través de paredes, cubierta, suelo y ventanas que se contemplan en el CTE; es decir, si se construyera el edificio con la máxima demanda de energía permitida por el CTE.

La Tabla 1 muestra los valores de la transferencia de energía (en kWh) a través de la epidermis del edificio PETER construida según el diseño constructivo que ha sido descrito anteriormente y considerando al edificio en evolución libre (sin ocupantes, sin iluminación artificial, sin electrodomésticos en funcionamiento, etc.). La energía transferida a través de la epidermis del edificio (que coincidirá con la demanda de energía) se ha calculado teniendo en cuenta la metodología que en España se recoge en el Código Técnico de la Edificación (CTE) [15], pero introduciendo los valores de los coeficientes de transmisión global a través de paredes, cubierta, suelo y ventanas dados anteriormente.

Estos valores se han comparado con los que se obtendrían si el edificio se construyera considerando los valores mínimos de los coeficientes de transmisión a través de paredes, cubierta, suelo y ventanas que se contemplan en el CTE; es decir, si se construyera el edificio con la máxima demanda de energía permitida por el CTE.

En la Tabla 1 (a) se listan los valores de la transferencia de energía a través de los muros del edificio PETER, obteniéndose una reducción de las pérdidas de energía en invierno del 69% y del 86% en verano, respecto al máximo permitido por el CTE. La Tabla 1 (b) lista los valores de la transferencia de energía a través del suelo del edificio PETER en invierno y en verano. En ambos casos, la reducción de la demanda de energía es del 43%, respecto al máximo permitido por el CTE. La Tabla 1 (c) da los mismos datos de transferencia energética a través de la cubierta del edificio. En este caso, también son idénticas las reducciones de la demanda de energía en invierno y en verano (75%), respecto al máximo permitido por el CTE. Finalmente, la Tabla 1 (d) muestra los porcentajes de reducción de la transferencia de energía en invierno (34%) y en verano (82%) a través de los huecos (ventanas) del edificio PETER, respecto a los máximos permitidos por el CTE.

Si consideramos la transferencia total de energía a través de la epidermis completa diseñada para el edificio PETER y lo que se obtendría aplicando el CTE, se alcanzarían porcentajes de reducción de dicha transferencia energética del 48% en invierno y del 80%.

PETER			Localidad	Badajoz	Badajoz	
ZONA CLIMÁTICA		C3	Zona de baja carga		Zona de alta carga	X
0,95	T med ext °C	T int °C		0,95	T med ext °C	T int. °C
Invierno	8,7	20		Verano	25	20

(a)

Valores invierno				Valores verano		
Muros	CTE	Proyecto	Reducción	CTE	Proyecto	Reducción
N	4.294,00	1.259,50	71%	4.294,00	557,30	87%
E	1.073,50	354,08	67%	1.073,50	156,67	85%
O	1073,50	354,08	67%	1.073,50	156,67	85%
S	2.147,00	708,17	67%	2.147,00	313,35	85%
SE	0,00	0,00		0,00	0,00	
SO	0,00	0,00		0,00	0,00	
Σ =	8.588,00	2.675,84	69%	8.588,00	1.184,00	86%

(b)

Suelos	CTE	Proyecto	Reducción	CTE	Proyecto	Reducción
	1.836,25	1.045,25	43%	1.836,25	1.045,25	43%

(c)

Cubiertas	CTE	Proyecto	Reducción	CTE	Proyecto	Reducción
C	1.497,25	373,61	75%	662,50	165,32	75%
L	0,00	0,00		0,00	0,00	
Σ =	1.497,25	373,61	75%	662,50	165,32	75%

(d)

Huecos	CTE	Proyecto	Reducción	CTE	Proyecto	Reducción
N	1.889,36	1.096,10	42%	836,00	485,00	42%
E	0,00	0,00		0,00	0,00	
O	0,00	0,00		0,00	0,00	
S	12.628,88	8.452,40	33%	5.588,00	687,57	88%
SE	0,00	0,00		0,00	0,00	
SO	0,00	0,00		0,00	0,00	
Σ =	14.518,24	9.548,50	34%	6.424,00	1.172,57	82%

Tabla 1. Cálculo eficiencia energética de la envolvente

3.4.3 Calefacción

El sistema de calefacción empleado para el edificio PETER será una combinación de los siguientes elementos:

- Sistema de suelo radiante.
- Utilización de colectores solares térmicos.
- Apoyo con caldera de biomasa.
- Uso del aire caliente de las chimeneas solares fotovoltaicas en los lugares comunes.

El aporte de calor al edificio se efectuará por medio de suelo radiante, que viene a ser el sistema que más se aproxima al perfil de calefacción ideal, consiguiendo el máximo confort térmico para las personas. Además, el suelo radiante es el sistema de intercambio de calor que mejores rendimientos proporciona cuando se trata de calefacción solar térmica.

Teniendo en cuenta las necesidades energéticas en invierno y en verano que se han presentado en la Tabla 1, se ha considerado suficiente una superficie de captación de 56,40 m², que aproximaremos a 47 m². O sea, 25 colectores de 2 m² cada uno. La ecuación de rendimiento del tipo de colector seleccionado es:

$$\eta = 0,804 - 3,5 (T_{in} - T_m) / I,$$

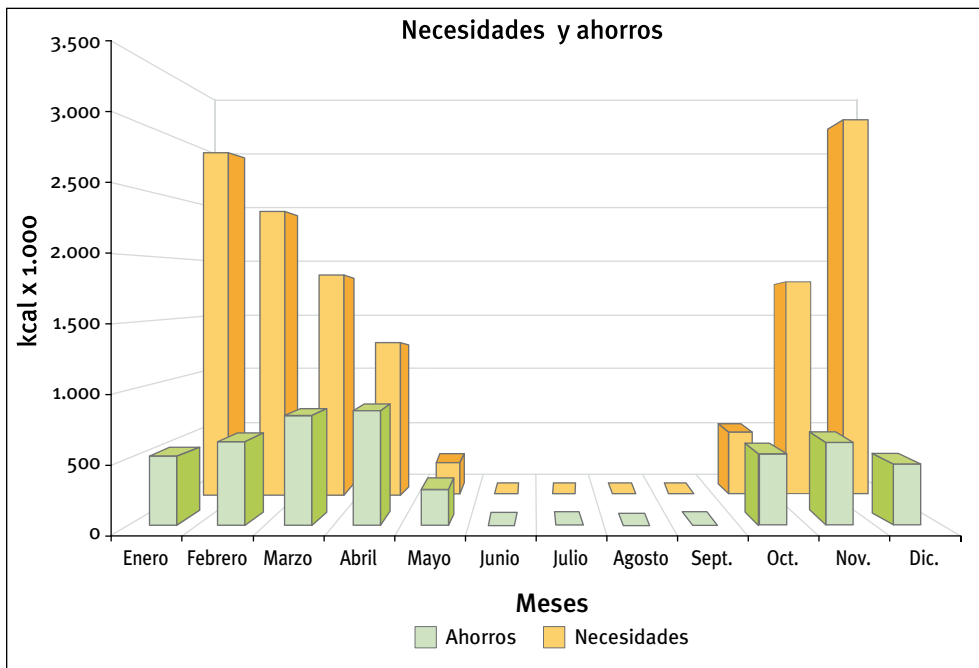
donde, T_{in} , es la temperatura del agua a la entrada del colector (en °C) y que se toma como la temperatura del agua de red en la ciudad de Badajoz, T_m , es la temperatura ambiente media diaria mensual (°C), e I, la irradiancia incidente sobre el colector media diaria mensual (W m⁻²).

Datos de Salida

Número de captadores	25
Área de captadores (m ²)	47,00
Inclinación (°)	45,00
Volumen de acumulación (L)	2.000

Meses	Ener. Nec. (Kcal 1000)	Ahorros (Kcal 1000)	Ahorros (%)
Enero	11.745	2.077	17,7
Febrero	9.644	2.474	25,6
Marzo	7.474	3.240	43,4
Abril	5.167	3.404	65,9
Mayo	1.068	1.068	100,0
Junio	0	0	100,0
Julio	0	0	100,0
Agosto	0	0	100,0
Septiembre	0	0	100,0
Octubre	2.136	2.136	100,0
Noviembre	7.233	2.501	34,6
Diciembre	12.813	1.845	14,4
Anual	57.280	18.744	32,7

Figura 4
Cálculo de la
aportación
energética para
calefacción del
sistema solar
térmico



La Figura 4 muestra las necesidades de calefacción de este edificio a lo largo de los meses del año. La cobertura solar alcanza un 32,7% del total de las necesidades caloríficas para calefacción. El resto es aportado por una caldera de biomasa alimentada por pellets de madera de 35 kW de potencia.

Una vez más, es necesario resaltar que estos cálculos se han realizado sin tener en cuenta el aporte calorífico que se puede extraer de las chimeneas fotovoltaicas en invierno (Figura 1). El efecto chimenea hace que el aire caliente que se acumula por detrás de los módulos fotovoltaicos situados en la fachada sur, ascienda hacia la parte superior del edificio. En invierno, este aire caliente se recogerá y se dirigirá hacia los lugares comunes (hall de entrada y pasillos) mediante un ventilador. En verano, este aire caliente se dirigirá hacia el exterior del edificio. De este modo, y durante todo el año, se refrigeran los módulos fotovoltaicos aumentando sus rendimientos de producción de electricidad.

3.4.4 Refrigeración

Para la refrigeración del edificio se utilizarán también parte de las instalaciones ya descritas anteriormente:

- Sistema de refrigeración mediante suelo radiante.
- Utilización de rejillas para el aprovechamiento del flujo de aire frío, durante la noche, que se obtiene por contacto con la lámina de agua situada en la fachada.
- Uso de una máquina de absorción de 20 kW de potencia máxima de refrigeración. Esta máquina estará alimentada por los 25 captadores térmicos, cuyas características han sido descritas en el apartado anterior, y con el apoyo de una caldera de biomasa.
- Uso de un sistema automático de ventilación cruzada.

Número de captadores	25
Área de captadores (m ²)	47,00
Inclinación (°)	45,00
Volumen de acumulación (L)	1.880

EDIFICIO PETER. EJEMPLO DE CONSTRUCCIÓN BIOCLIMÁTICA

Meses	Ener. Nec. (Kcal 1000)	Ahorros (Kcal 1000)	Ahorros (%)
Enero	0	0	0,0
Febrero	0	0	0,0
Marzo	0	0	0,0
Abril	0	0	0,0
Mayo	838	670	100,0
Junio	1.955	1.955	100,0
Julio	3.016	3.016	100,0
Agosto	2.932	2.932	100,0
Septiembre	2.122	2.122	100,0
Octubre	0	0	0,0
Noviembre	0	0	0,0
Diciembre	0	0	0,0
Anual	10.864	10.696	98,5

En la Figura 5, se observa el cálculo y la aportación energética de los captadores solares térmicos (cobertura solar) para cubrir las necesidades de refrigeración. En este caso, la cobertura solar se acerca al 98,5%, siendo el 1,5% restante aportado por la caldera de biomasa.

El sistema de refrigeración por absorción proporciona un alto rendimiento de los captadores solares, ya que las mayores necesidades de refrigeración coinciden con los mayores valores de la radiación solar. La refrigeración solar en países donde la temperatura ambiente en las primeras horas de la tarde de los días de verano puede superar los 40 °C (e incluso llegar hasta los 50 °C) es una excelente aplicación de la tecnología solar térmica. Hay en el mercado captadores planos de alto rendimiento que pueden proporcionar temperaturas del agua de salida de 90 °C, que es suficiente para alimentar a una máquina de absorción como la que aquí se propone. No obstante, falta todavía mucha innovación en este campo, ya que la alimentación combinada (mixta) de una máquina de absorción a partir de energía térmica procedente de una instalación solar y de una caldera de biomasa no es un problema resuelto satisfactoriamente.

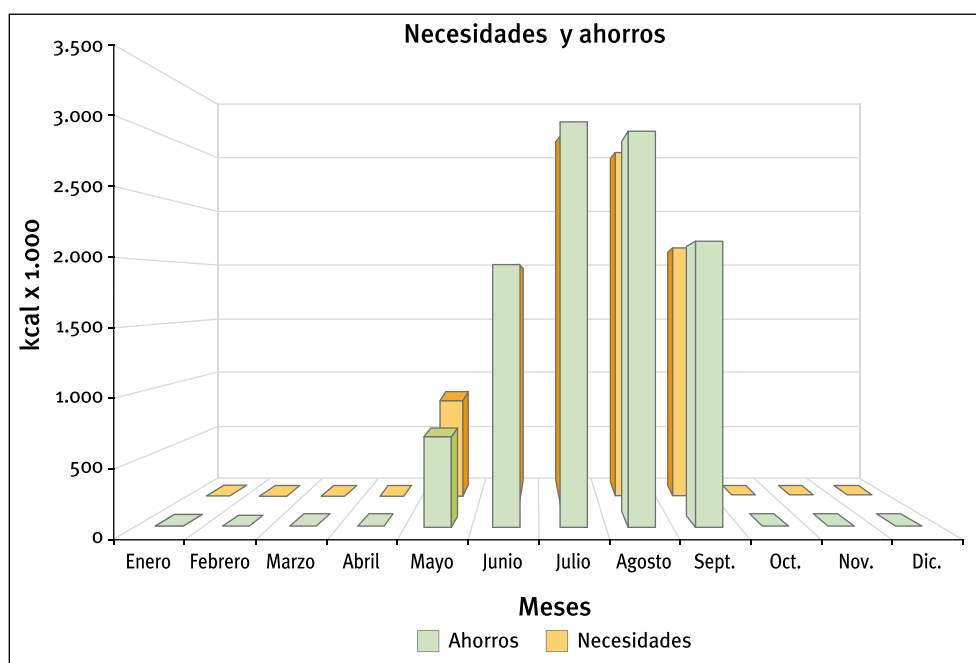


Figura. 5
Cálculo de la aportación energética para refrigeración del sistema solar térmico

En este trabajo se ha optado por usar un acumulador de calor, para que a partir de ahí el calor (independientemente de donde provenga) se distribuya a la máquina de absorción. También es necesario investigar en mejorar los rendimientos de los captadores térmicos, abaratar precios, aumentar el rendimiento de las máquinas de absorción y abaratar sus precios.

3.4.5 Electricidad

Como se puede comprobar en la Figura 1, parte de la fachada sur del edificio está dotada de paneles solares fotovoltaicos (inclinados unos 85° respecto de la horizontal) que producirán parte de la energía eléctrica que se necesita para la iluminación, monitorización y control del edificio. La instalación fotovoltaica tendrá una potencia de 13,6 kWp y la energía sobrante se venderá a la red de suministro eléctrico, acogiéndose a las ayudas que el Gobierno Español da a este tipo de energía. El edificio PETER dispondrá de las últimas tecnologías en iluminación, garantizándose una excelente calidad lumínica con el máximo rendimiento.

Resto de instalaciones

El edificio PETER contará también con una instalación de gestión y aprovechamiento del agua mediante:

- Recogida de aguas pluviales.
- Almacenamiento en un pequeño lago (Figura 1).
- Enfriamiento del aire de ventilación por contacto con esta lámina de agua.
- Aprovechamiento de este agua de lluvia y reutilización de las aguas de los lavabos para su uso en el WC.

A fin de llevar a cabo una cuantificación global de todos los recursos de energía y de agua utilizados, así como de los rendimientos de los dispositivos de transformación de energía, al edificio PETER se le dotará de un completo sistema de monitorización y control. Las principales actuaciones serán:

- Monitorización de una estación meteorológica.
- Regulación de la luz natural y artificial.
- Monitorización del rendimiento de la iluminación artificial.
- Control de la temperatura en los colectores solares térmicos, en la caldera de biomasa y en la máquina de absorción.
- Control de temperatura de la instalación solar fotovoltaica.
- Monitorización y visualización en pantalla display de la energía eléctrica producida por la instalación solar fotovoltaica. Visualización de los rendimientos instantáneos.
- Control de la ventilación nocturna forzada norte-sur.
- Control del sistema de entrada de la radiación solar al edificio (regulación por lamas).
- Control del sistema de calentamiento de las zonas comunes con el aire proveniente de las chimeneas fotovoltaicas de la cara sur.
- Monitorización de la temperatura a ambos lados de todas las paredes, techos, cubiertas y suelos.
- Colocación de un sistema de sensores térmicos a diferentes profundidades a través del suelo donde se ubica el edificio.
- Etc.

3.5 CONCLUSIÓN

Mediante la construcción de un edificio de estas características se pretenden utilizar las tecnologías más innovadoras existentes en la actualidad con el fin de minimizar la demanda energética durante la etapa de construcción, uso y desmantelamiento de dicho edificio al final de su vida útil.

Para un buen uso del edificio es necesario construir teniendo en cuenta las características del clima local, la orientación del edificio, el tipo de actividad a la que estará destinado, etc. Una vez tenido en cuenta esos aspectos, y particularmente en las regiones del sur de Europa, hay que considerar el aislamiento como elemento clave en el diseño arquitectónico. Ello permitirá una máxima reducción de las necesidades energéticas, sobre todo en verano, donde la demanda de energía para refrigeración es muy alta.

Con este planteamiento general, el aporte de energía con tecnologías renovables se muestra como la elección más efectiva desde el punto de vista energético, medioambiental y económico. En especial, el uso de la energía solar térmica (activa y pasiva) y la energía solar fotovoltaica en la edificación, en regiones con abundante radiación solar, debe ser una opción potenciada desde las administraciones locales, nacionales y europeas.

El edificio PETER pretende ser un ejemplo de integración de estas energías en la edificación. Por su ubicación en un campus universitario, pretende ser un edificio emblemático que sirva de referencia y demostración de dicha integración a los universitarios de la región de Extremadura, y al público en general.

En la construcción del edificio PETER se van a utilizar materiales naturales (kenaf, tableros de madera, etc.) y tecnologías renovables. Ello hace que este edificio sea reciclable 100%. También se utilizarán elementos prefabricados, de modo que la construcción del edificio sea poco intensiva, tanto en mano de obra como en energía, y se haga en un corto espacio de tiempo. Se trata, en fin, de “industrializar la edificación”, con consumos de energía y de tiempo mínimos.

De lo expuesto en este trabajo se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- 1 La reducción de la demanda de energía del edificio PETER proyectado, ubicado en una región con abundante radiación solar del sur de Europa, con el diseño arquitectónico y con los elementos constructivos que se han expuesto en los apartados anteriores y con las tecnologías renovables descritas en este trabajo, será de un 48% en invierno y de un 80% en verano, respecto a la máxima demanda de un edificio teórico situado en el mismo lugar y con la misma geometría que se contempla en el CTE. Si se tienen en cuenta las ganancias solares en invierno aportadas por las chimeneas fotovoltaicas, la anterior reducción del 48% pasará a ser de alrededor del 60%.
- 2 Sin tener en cuenta los aportes de calor de las chimeneas fotovoltaicas, con 25 colectores solares térmicos de alto rendimiento serían suficientes para cubrir el 32,7% de las necesidades de calefacción y el 98,5% de las necesidades de refrigeración.
- 3 El resto de las necesidades de calefacción y refrigeración (67,3 y 1,5%, respectivamente) serán suministradas por una caldera de biomasa de 35 kW de potencia.
- 4 La refrigeración del edificio se hará a través de una máquina de absorción de 20 kW de potencia máxima de refrigeración. El calor suministrado a la máquina de absorción se hará desde los 25 colectores térmicos, y si no fuera suficiente se apoyará con la caldera de biomasa.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Unión Europea la ayuda concedida para la realización del Proyecto PETER (SP6.E53/03) a través del Programa INTERREG III A.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] CIEMAT. <http://www.ciemat.es>
- [2] Sustenergy. Proyecto financiado a través del Programa INTERREG III C. 2007. <http://www.sustenergy.com>
- [3] PSE-ARFRISOL. Arquitectura bioclimática y frío solar. CIEMAT. <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/arfrisol/pse-arfrisol.htm>
- [4] M.A. Romero. Evaluación del comportamiento medioambiental de los edificios GBC España. VII Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA VII) Madrid (2004).
- [5] <http://www.plataformaarquitectura.cl/2006/09/23/concurso-de-ideas-desarrollo-de-eficiencia-energetica-para-vivienda-social-rural/>
- [6] <http://www.habitat.aq.upm.es>
- [7] <http://www.csostenible.net>
- [8] <http://www.emvs.es/EMVS/ProyectosInnovacionResidencial/WEB/proyectolife/solotexto.html>
- [9] http://www.eukn.org/espana/themes/Urban_Policy/Housing_quality/Energy_efficiency/viviendas_cristobal_angeles_1016.html
- [10] J. Redin. La Ecociudad de Sarriguren. <http://www.construible.es/noticiasDetalle.aspx?id=139&c=6>
- [11] <http://www.barcelona2004.org>
- [12] <http://www.parquepeter.org>
- [13] F. Cuadros, F. López-Rodríguez, C. Segador, A. Marcos. A simple procedure to size active solar heating schemes for low-energy building design. *Energy and Building*. 39 (2007), 96-104.
- [14] F. López-Rodríguez, C. Segador, A. Marcos, F. Cuadros. Cálculo y comparación de rendimientos para distintas aplicaciones. *Era Solar*. 131 (2006), 73-77.
- [15] Código Técnico de la Edificación. CTE. RD 137/2007 de 19 de octubre.

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS

4

María del Rosario Heras

José Antonio Ferrer

Silvia Soutullo

Ricardo Enriquez

Cristina San Juan

Emanuela Giancola

Rafaél Olmedo

Unidad de Investigación sobre Eficiencia Energética en Edificación
(UIE3) – CIEMAT



4.1 INTRODUCCIÓN

La Arquitectura Bioclimática puede definirse como aquella que optimiza sus relaciones energéticas con el entorno medioambiental mediante su propio diseño arquitectónico. Con esta definición se quiere ir más allá de lo que significan términos tales como “Arquitectura solar” o “Arquitectura pasiva” que corresponden a aspectos parciales del problema global.

Aunque se conoce con el nombre de Arquitectura Bioclimática, es realmente una Arquitectura llana y lisa, y sin ningún tipo de adjetivos, donde el clima proporciona una serie de condicionantes que hay que tener en cuenta en el diseño arquitectónico.

Por lo tanto, la Arquitectura Bioclimática pretende sentar las bases para la realización de unos edificios racionalmente construidos, de modo que, con un consumo mínimo de energía convencional, se mantengan constantemente las condiciones de confort requeridas. Para ello, deben considerarse unas estrategias de diseño que aprovechen de forma óptima las condiciones ambientales del entorno (energía solar disponible, temperatura exterior, dirección predominante del viento, etc.).

A la hora del diseño del edificio hay que considerar los recursos naturales que pueden utilizarse como fuentes o como sumideros de calor dependiendo de la aplicación que se desee utilizar: calefacción o refrigeración. Se consideran como fuentes: los factores climáticos exteriores (radiación solar, temperatura ambiente, humedad relativa y dirección y velocidad del viento) y como sumideros: la tierra (tubos enterrados), la atmósfera y el cielo (temperatura aparente).

Por lo tanto, la Arquitectura Bioclimática se basa en el diseño, ubicación, orientación, climatología y vegetación del medio, para así poder captar, almacenar y distribuir la energía solar que incide en los cerramientos.

Los ejemplos de la Arquitectura Bioclimática se pueden tomar de la arquitectura popular, que reúnen unas características básicas que deberían tenerse en cuenta a la hora del diseño y la construcción actual de viviendas, como son:

- Se adaptan al clima.
- Se adaptan a la naturaleza y al paisaje.
- Se adaptan a la función (o funciones) para las que están construidas, guardando una escala humana.
- Utilizan materiales locales, cuando es posible.
- La forma es el resultado de una experiencia secular.
- Son de mínimo consumo energético.
- Puede formar conjuntos urbanísticos homogéneos (núcleos rurales) adaptándose a la topografía del lugar.

La energía solar presenta ventajas: es renovable (infinita), no contamina y nos llega de forma difusa; es decir, está garantizada la distribución gratuitamente. La principal dificultad para su uso es la baja potencia que ofrece por unidad de área, por lo que no se presenta eficiente cuando los requerimientos energéticos estén muy concentrados.

Otro fenómeno que se ha dado en los últimos años es el desplazamiento del máximo consumo de energía eléctrica del invierno al verano, debido al uso, cada vez más generalizado, de aparatos de aire acondicionado, así como el empleo de formas de energía distintas a la eléctrica para la calefacción en invierno.

En climatologías como la de la península Ibérica, el diseño de edificios energéticamente eficientes es complejo, existen épocas de frío intenso y épocas de calor intenso y, en general, en cualquier parte de nuestra geografía hace falta refrigeración y calefacción. Por tanto, las soluciones que se adopten en el diseño del edificio deben de cumplir la doble funcionalidad, o eliminar un efecto manteniendo en la época del año el que sea necesari-

rio. A este tipo de arquitectura bioclimática se le conoce con el nombre de *Arquitectura de la Complejidad*.

En la *época de calefacción* el problema del aprovechamiento de los recursos naturales se puede dividir en captación, almacenamiento y distribución de la energía solar.

Para optimizar la captación de energía solar debe seleccionarse una orientación adecuada de los edificios y una distribución correcta de las ventanas. Hay que tener en cuenta que las ventanas abiertas al sur, donde se recibe radiación solar durante todos los días del año, tendrán una captación máxima en invierno y, en cambio, en verano, con un sistema elemental de protecciones solares (retranqueo, toldos, pérgolas, ...) es fácil evitar toda ganancia directa de radiación solar.

El almacenamiento puede conseguirse distribuyendo adecuadamente las masas de inercia térmica, utilizando materiales como ladrillo macizo, loseta cerámica, etc. La ventaja de usar este tipo de materiales es que se captura la energía a las horas en que mayor aporte existe, y debido al efecto del desfase temporal, esta energía es liberada a las horas en que hay menor aporte energético. Es decir, un material con un desfase de doce horas tendría su máxima captación en el mediodía solar y su máxima cesión al ambiente interior a las doce de la medianoche.

Para la distribución de energía es útil la distribución adecuada de las masas de inercia y el correcto diseño de la circulación del aire a través de las piezas del edificio.

En *condiciones de verano* estas ideas cambian drásticamente, si bien algunas de las consideraciones siguen siendo válidas. El aislamiento correcto sigue siendo un factor fundamental, así como en invierno evita la pérdida de energía desde el interior, en verano evita la ganancia de energía desde el exterior. Asimismo, las inercias térmicas juegan un papel importante evitando que las temperaturas interiores suban de forma alarmante, pero esta estrategia debe ir acompañada de una adecuada ventilación nocturna que evite que el almacenamiento de energía vaya incrementándose día a día, y que acabe produciendo una situación de discomfort continua en el tiempo.

En situación de verano las técnicas más elementales son el control solar y las estrategias de ventilación. Aparte de éstas, existen técnicas más sofisticadas que no solo evitan el calentamiento, sino que además producen una disminución efectiva de la temperatura del aire: técnicas evaporativas, conductos enterrados, etc.

Las estrategias de ventilación nocturna son efectivas en los lugares en donde existe un considerable salto térmico entre el día y la noche, consiguiendo con ellas enfriar la estructura del edificio con el fin de evitar acumulaciones de energía.

Si bien muchas de estas estrategias se han utilizado de forma intuitiva en la arquitectura tradicional, ahora disponemos de herramientas que permiten evaluar de forma cuantitativa la reducción de la demanda energética que producen, tanto en la fase de diseño del edificio como una vez construido. Mediante este análisis energético se puede estudiar cual es la estrategia más eficiente y con la que es más interesante dotar al edificio y también evaluar su efecto real en el edificio una vez que este ha sido construido. En los siguientes apartados veremos como se realizan estos análisis.

4.2 ANÁLISIS ENERGÉTICO DE EDIFICIOS

El análisis energético de un edificio permite conocer, no sólo su comportamiento durante un periodo de tiempo determinado, sino también evaluar su comportamiento futuro. Para ello, se identifica el edificio como un sistema complejo que se puede resolver de dos maneras: directa, mediante la *simulación*, e inversa, mediante la *monitorización*. Un modelo de simulación es una representación abstracta de un sistema real que permite valorar y predecir el comportamiento energético de un diseño. La monitorización es una

metodología empírica que analiza el comportamiento del sistema y se realiza a través de la medida de la respuesta energética del edificio a las condiciones exteriores, siendo de gran utilidad en auditorías energéticas, en la depuración de modelos teóricos, o en la rehabilitación de edificios a través de una diagnosis del mal comportamiento energético.

En España existe actualmente un *Código Técnico de la Edificación* que regula el comportamiento energético del edificio, limitando su demanda energética en función de los valores climáticos, los parámetros constructivos, las cargas y usos del edificio, así como sus sistemas de acondicionamiento. Asimismo, hay dos programas gratuitos (Lider y Calener), que calculan las exigencias básicas en cuanto al ahorro energético.

4.3 EVALUACIÓN ENERGÉTICA TEÓRICA: SIMULACIÓN

La simulación se presenta como un excelente apoyo, especialmente en los primeros estadios del diseño, al permitir valorar desde un punto de vista energético las diferentes posibilidades para un problema concreto.

La simulación se basa en representar un sistema real mediante otro más sencillo que permita analizar sus características y predecir su comportamiento. Para ello se crea un modelo que represente el sistema real fijando desde un principio los objetivos y las metas que se persiguen. En base a esto, se establecen las condiciones de contorno y las limitaciones del sistema de ecuaciones que caracterizan el modelo.

El análisis de un edificio mediante estos programas de simulación permite, desde las primeras etapas de diseño y previamente a la construcción del mismo, predecir su comportamiento energético. Esta metodología ofrece la posibilidad de valorar diferentes alternativas de construcción del edificio bajo unas condiciones climáticas concretas, optimizando el diseño más eficiente. También facilita los análisis de sensibilidad para evaluar los parámetros más influyentes en el edificio.

4.3.1 Procesos de intercambio térmico en edificios

Como se comentó anteriormente, la utilización de la energía solar puede ayudar a suplir las necesidades energéticas de calefacción, refrigeración e iluminación de los edificios, disminuyendo así el consumo de energía convencional. Con la simulación se puede evaluar el ahorro de energía que supone cada estrategia de aprovechamiento de energía solar. Para ello, se identifica el edificio con un sistema complejo cuyos componentes son muros, ventanas, sistemas de calefacción, refrigeración, iluminación, etc. El sistema se define por las propiedades térmicas y ópticas de sus componentes, y por las condiciones de contorno dadas por el entorno del edificio (condiciones climáticas, obstáculos circundantes, etc.). Las relaciones existentes entre las distintas partes del sistema y entre éste y el entorno, vienen regidas por las leyes de transferencia de calor (conducción, convección y radiación) y de masa (ventilación).

Todos estos intercambios de calor están acoplados en el edificio y no pueden calcularse de forma independiente. Adicionalmente, los procesos de intercambio térmico dependen del tiempo, debido a las fluctuaciones de las excitaciones tanto externas como internas, por lo que ecuaciones del modelo deben considerar la dependencia temporal. Para poder tener en consideración estos aspectos se utilizan programas de simulación dinámica de edificios.

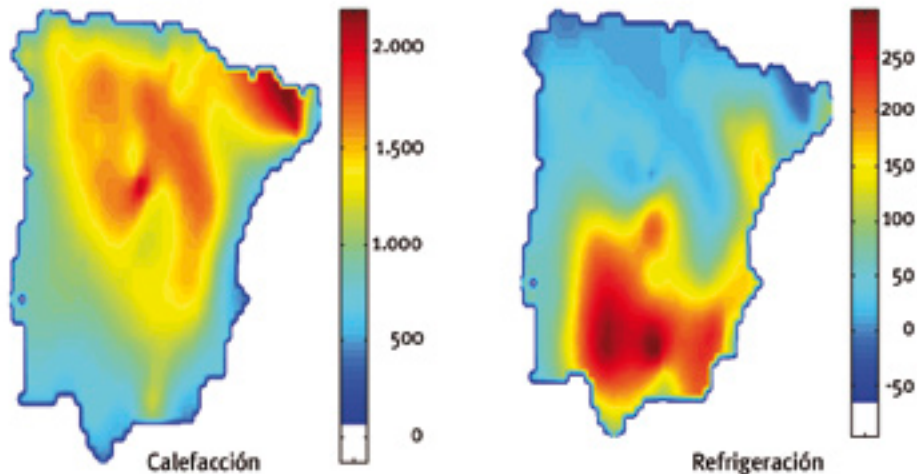
La función matemática que describe al modelo físico se construye en base a sistemas de ecuaciones acopladas, definiendo sus condiciones de contorno. Los modelos se diferencian entre sí, básicamente, en el modo de resolver estos sistemas de ecuaciones, empleando diferentes formas de definición del sistema y usando diferentes métodos numéricos de resolución de las ecuaciones.

4.3.2 Métodos de simulación energética

Dentro de las múltiples clasificaciones que pueden hacerse se ha optado por dividir los modelos de simulación en tres grupos: estáticos, de correlación y dinámicos.

Los **métodos estáticos** son los que adoptan las hipótesis más restrictivas en cuanto al campo de aplicación del modelo, así como a la cantidad y fiabilidad de los resultados obtenidos. Los más usados son el método de grados-día, el cual permite evaluar la carga térmica de los edificios y optimizar el diseño de la envolvente, y el método bin, que se emplea cuando alguno de los parámetros que definen el cálculo del consumo energético en un edificio no pueda garantizar un valor constante.

El método grados-día se basa en el cálculo de una temperatura de balance y su comparación con la temperatura exterior. Se tienen necesidades de calefacción cuando la temperatura exterior es inferior a la de balance de invierno (18°C). De la misma manera, se definen los grados día de verano cambiando la temperatura de balance a 24°C y considerando sólo los términos en que la temperatura exterior es mayor que ésta. En esta estación los resultados son menos exactos ya que el edificio puede ventilarse teniendo las ventanas abiertas. Este método obtiene los grados-día necesarios para el cálculo de las necesidades energéticas del edificio.



Grados día de calefacción

Grados día de refrigeración en España

Una de las mayores limitaciones de este modelo, agravado en verano, es que considera un acondicionamiento constante y continuo de los edificios. Este problema lo soluciona el método estático de intervalos (método bin), donde se realiza un cálculo similar, pero teniendo en cuenta tantos intervalos como situaciones diferentes se presenten. Se obtendrían n ecuaciones diferentes, una para cada intervalo. El consumo total vendría definido por la suma de todos los intervalos considerados.

Los **métodos de correlación** se basan en simplificaciones obtenidas a partir del estudio sistemático de diversos fenómenos, utilizando generalmente, como fuente de información, los métodos más detallados de simulación energética de edificios (métodos dinámicos). Asimismo hacen uso de leyes empíricas sencillas que tienen un carácter general. Este tipo de programas (PASSPORT, CEV...) funcionan aceptablemente en condiciones de calefacción pero para los periodos de refrigeración presentan serias deficiencias. Esto se debe a que es difícil extrapolar el tratamiento de la ventilación a leyes de correlación sencillas, asimismo el efecto de la inercia térmica es crítico en condiciones de verano.

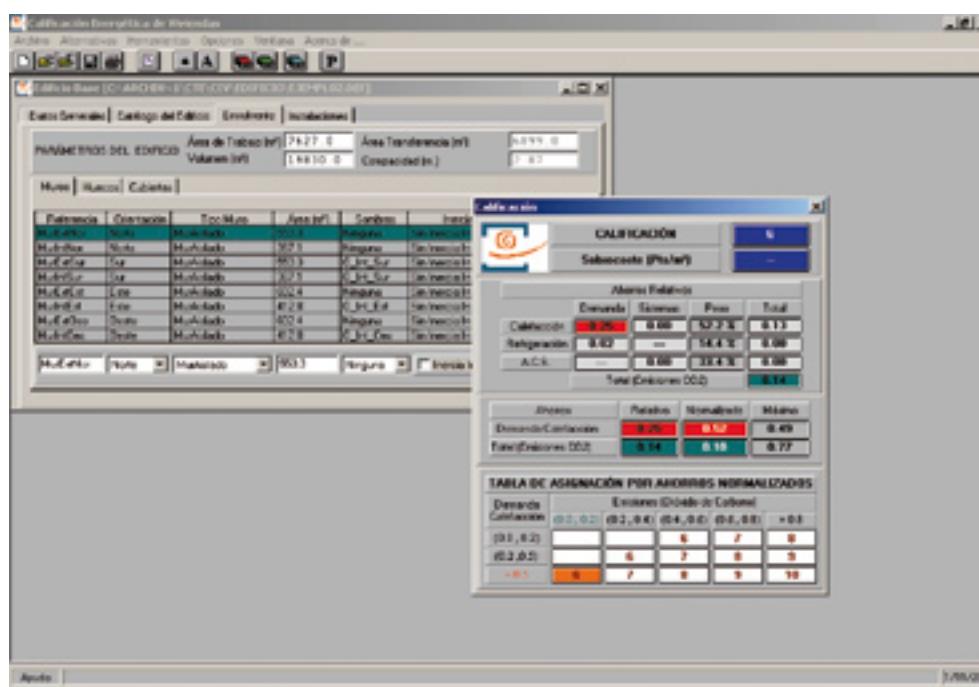
Uno de los programas desarrollados con este tipo de metodología es el CEV (1995), creado para la certificación energética de las viviendas de protección oficial (VPO) en España.

Este sistema valora las viviendas asignándoles un valor comprendido entre el 6 y el 10. Aunque el producto final es muy opaco al usuario (aunque también extremadamente sencillo), no es más que un método de correlación derivado a partir del uso masivo de simulaciones realizadas con un código detallado (PASSPORT+ en este caso).

El éxito de aplicación de este método ha sido posible gracias al hecho fundamental de que las viviendas VPO tienen una tipología constructiva muy definida dadas las restricciones normativas que se le imponen. Por ello la aplicación de los modelos detallados no ha sido muy complicada.

La forma final de esta certificación consiste en la publicación de un gran número de tablas que reflejan las diferentes climatologías españolas (en principio se han publicado las series de tablas correspondientes a las localidades en donde el INM tiene datos publicados). En estas tablas se dan unos coeficientes de ponderación de las diferentes soluciones constructivas adoptadas: muros, cubiertas, área de ventanas, tipo de vidrios, calidad de la carpintería, etc.

Una serie de tablas similar se plantea para los sistemas de calefacción. No se contemplan los sistemas de refrigeración, porque no está prevista su instalación en las VPO.



Interfaz gráfica del programa CEV

Los **métodos de simulación dinámicos** son los que mayor complejidad presentan ya que requieren una definición exhaustiva del edificio y una resolución a tiempos de paso cortos del sistema de ecuaciones planteado (normalmente de una hora). Todos ellos necesitan la entrada de una cantidad considerable de información y, por tanto, su manejo es complicado. No obstante, son los que más información proporcionan y con los que es posible hacer un análisis más exhaustivo del edificio.

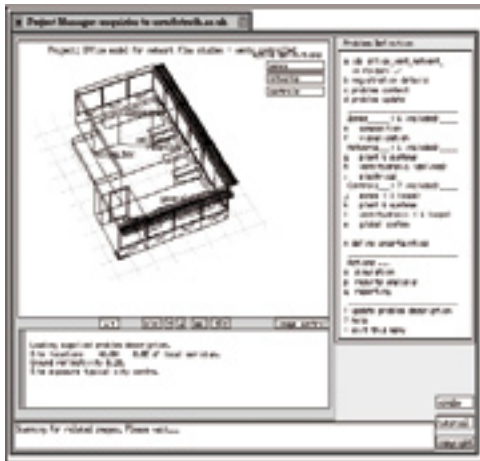
Existen múltiples programas validados para calcular, de manera dinámica, la respuesta energética del edificio. Como ejemplo pueden citarse el DOE, desarrollado por el Departamento de Energía de EEUU, el ESP-r desarrollado por varios grupos de trabajo de la Comisión de la Unión Europea, o TRNSYS, desarrollado por la universidad de Wisconsin; aunque existen muchos más, S3PAS, SUNCODE, ENERGY+, PASSPORT+, LIDER...

Existen dos modos básicos de resolución del problema: el *método de balance de energía* y el *método de los factores de ponderación*. El método de balance de energía discretiza

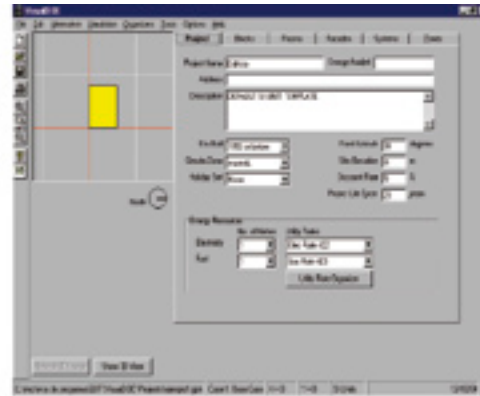
el volumen total del edificio en volúmenes pequeños. En cada una de las superficies de contorno de este volumen se plantea y resuelve la ecuación de conservación de energía, usando métodos de incrementos finitos o diferencias finitas para resolver el sistema de ecuaciones. Algunos modelos que usan el método de balance de energía son M2M, ESP-r, DOE, etc.

El método de los factores de ponderación se basa en la resolución de las ecuaciones diferenciales discretas planteadas en el apartado anterior, a través de la transformada Z. Estas funciones proporcionan, para cada ecuación planteada, una resolución en función de unos factores de peso. Existen dos tipos: en temperatura y en flujos de calor.

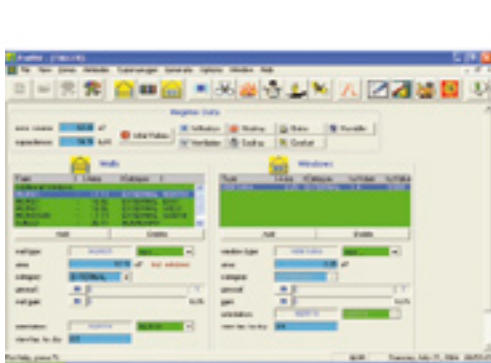
Códigos como el S3PAS, PASSPORT+, TRNSYS, usan una técnica mixta entre los dos métodos dinámicos explicados, plantean la ecuación de balance de energía y representan los elementos constitutivos del edificio (muros, techo, ventanas...) a través de funciones de transferencia que utilizan posteriormente para resolver instantáneamente los sistemas de ecuaciones. Este método presenta ventajas de tiempo de cálculo.



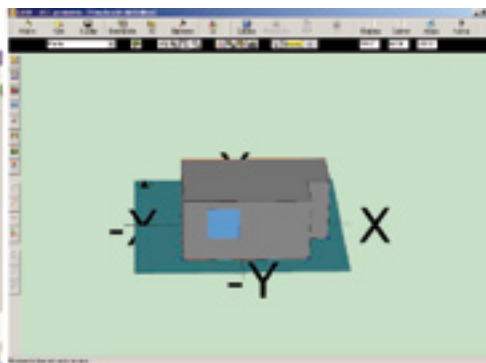
Interfaz gráfica del programa ESP-r. (Izquierda)



Interfaz gráfica del programa DOE-2. (Derecha)



Interfaz gráfica del programa TRNSYS. (Izquierda)



Interfaz gráfica del programa LIDER. (Derecha)

4.3.3 Metodología de un proceso de simulación energética

La simulación de un sistema completo consta de 3 fases o bloques:

La *definición geométrica*, constructiva y operacional del edificio y sus sistemas, para lo cual los modelos de simulación han desarrollado un software específico para edificios.

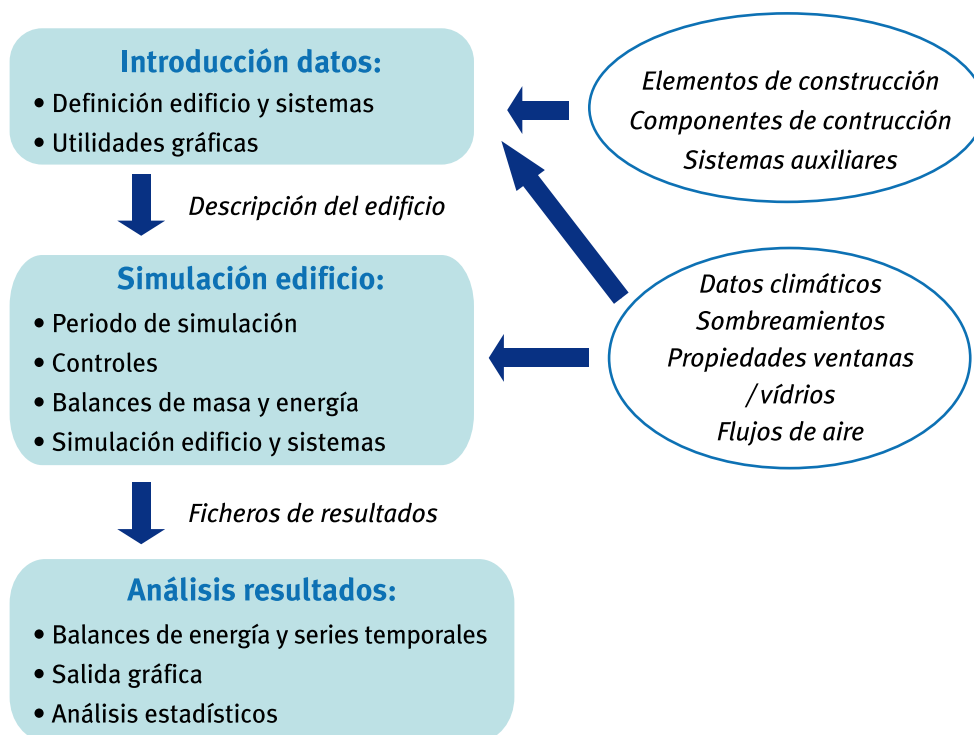
El *bloque de simulación*, en donde se plantea y resuelve el sistema de ecuaciones que representa al edificio. Esta parte está íntimamente relacionada con la definición previa.

Por ultimo, el bloque de *análisis de resultados*, en donde se pueden obtener diferentes niveles de información, dependiendo de los objetivos a cumplir.

El bloque de resolución de las ecuaciones (el modelo de simulación propiamente dicho) diferencia la calidad entre unos modelos y otros. El hecho de que unos se usen más que otros se debe a la sencillez en la introducción de los datos de entrada y a que el análisis de resultados proporcione las salidas requeridas.

Un esquema básico de un proceso de simulación sigue los siguientes pasos:

- Establecer las metas y delimitar los límites que se quieren obtener tras la simulación del sistema.
- Elegir el programa más adecuado a nuestras necesidades.
- Estudio de las características del software y modelo elegido.
- Introducción de las variables climatológicas representativas del lugar.
- Definición del periodo de simulación y el intervalo del tiempo de paso.
- Diseño del edificio: geometría, parámetros constructivos, etc.
- Zonificación de espacios con igual comportamiento térmico.
- Horarios de cargas y usos del edificio.
- Especificación de los sistemas del edificio.
- Elección de las variables de salida que se quieren obtener.
- Simulación del sistema.
- Validación e interpretación de los resultados.



Proceso de simulación

Los resultados obtenidos por los modelos de simulación deben ser comprobados y verificados para demostrar su fiabilidad y para estudiar las posibilidades de perfeccionar su implementación. El primer paso es comprobar la fiabilidad del modelo matemático, dando resultados coherentes. Posteriormente se debería validar empíricamente, verificando la bondad del modelo teórico implementado en los programas con el análisis experimental del mismo sistema. Para ello, se comparan los resultados obtenidos con ambas metodologías.

4.3.4 Simulación como ayuda al diseño

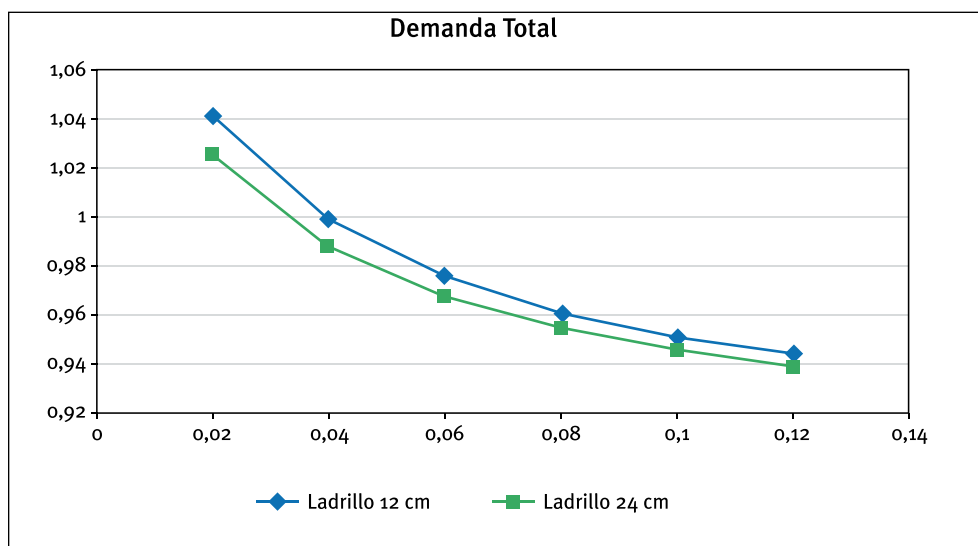
Uno de los aspectos más importantes de las simulaciones es la posibilidad de servir como ayuda al diseño del edificio, facilitando la realización de estudios paramétricos de variables más significativas. Aunque los estudios son muy extensos e incluyen todos los elementos constructivos y sistemas de climatización del edificio, a modo de ejemplo podemos ver el resultado obtenido del análisis de la composición del cerramiento exterior de un edificio situado en Madrid.

Ejemplo de tratamiento de fachadas

Dependiendo de la climatología exterior es necesario potenciar más o menos la inercia térmica o el aislamiento. Es por lo tanto necesario realizar un estudio diferenciado de fachadas por orientaciones.

La siguiente gráfica muestra que tanto el aumento del aislamiento, como del espesor del ladrillo, disminuye la demanda energética total. No obstante, tanto el uso para el que está destinado el edificio, como las elevadas cargas térmicas que tienen los laboratorios, hacen que sea más efectivo el aumento del espesor del aislamiento que el de la inercia térmica. De hecho, en la siguiente figura se observa como el aumento de aislamiento de 2 cm en 2 cm produce una mayor disminución de la demanda total que cuando duplicamos el espesor de ladrillo de 12 a 24 cm.

Análisis energético de la variación del aislamiento y de la inercia térmica en una fachada



4.4 EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS EN CONDICIONES REALES DE USO. MONITORIZACIÓN

La evaluación energética de los edificios en condiciones reales de utilización, también conocida con el nombre de *Monitorización*, consiste en la instalación de unos sensores en el interior y en el exterior de cada edificio. Se realiza el seguimiento y toma de datos, y mediante un balance energético se conoce el comportamiento energético de dichos edificios.

4.4.1 Metodología de la monitorización

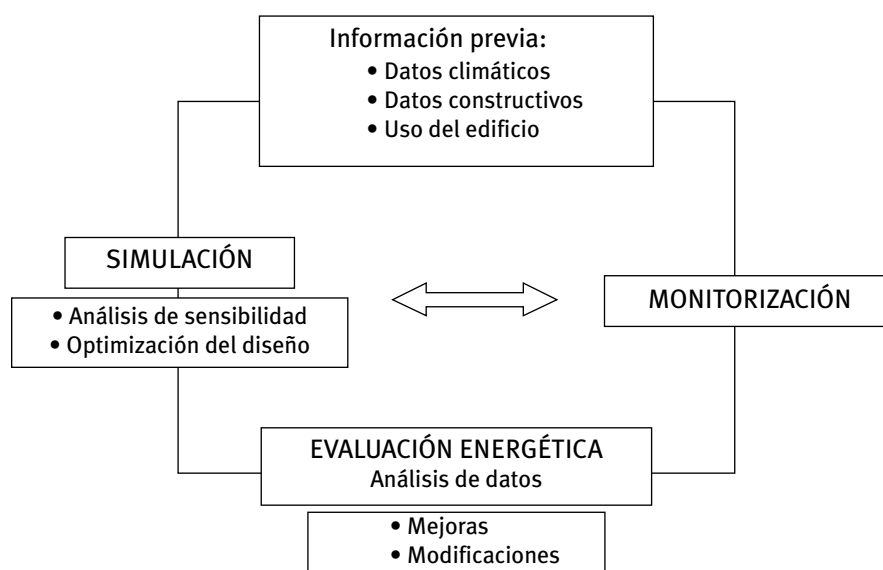
Para obtener resultados fiables de una campaña experimental es necesario cuidar ciertos detalles, con el fin de que las medidas no sean una mera constatación cualitativa de la evolución térmica de las condiciones interiores. Por ello, es necesario plantear una serie de pasos sistemáticos que permitan obtener datos útiles.

Conocimiento previo

Antes de plantear un experimento concreto en un edificio, es necesario conocer el comportamiento esperado del edificio en función del clima a que va a estar sometido, así como las características constructivas, geométricas y térmicas del mismo.

Para ello será necesario:

- Tener datos fiables del clima de la zona.
- Realizar un examen visual de la zona con el fin de conocer el emplazamiento real y evitar aquello que pueda modificar las condiciones climáticas generales de la zona.
- Disponer del proyecto de ejecución del arquitecto, para extraer las medidas y composición de muros, ventanas, techo, suelo, distribución interior, etc., para tener un conocimiento detallado del edificio en sí mismo.



Pasos sistemáticos para la evaluación energética experimental

Se realiza un análisis de sensibilidad para:

- Optimizar el diseño pasivo del edificio:
 - Buscar los parámetros constructivos que hacen más eficiente el comportamiento energético (tamaño de protectores solares, disposición de chimeneas solares, espesor de aislamiento, etc.).
- Obtener las variables más significativas, como:
 - Flujos más relevantes de energía (conductivos, infiltraciones, radiativos, ...) y así plantear los experimentos y medidas adecuados para conocer estos flujos.
 - Variables que son irrelevantes al comportamiento del edificio y puede obviarse su medida, ahorrando con ello esfuerzo humano.

4.4.2 Diseño y ejecución experimental

Una vez conocida mediante simulación la respuesta térmica del edificio bajo diferentes condiciones y determinados cuáles son los flujos energéticos críticos, se puede definir qué tipo de experimentos, así como cuantas variables y con qué precisión y frecuencia, deben medirse.

En condiciones normales el diseño del experimento debe resolver las siguientes cuestiones:

- Numero, calidad y posición de los sensores a instalar.
- Instalación de una garita meteorológica en el edificio para conocer la climatología específica.
- Frecuencia de lectura y de almacenamiento de los datos.
- Qué medidas se van a almacenar (medias solamente, o bien además máximas, mínimas, desviación típica, etc.).
- Estrategias de ventilación predeterminadas (o de sombreado).

Posteriormente, se instalan los sensores y se pone en marcha la campaña de medidas ejecutando los experimentos prediseñados. Almacenar de forma muy racional los datos es crítico para una correcta evaluación posterior.

Análisis de los datos experimentales

El comportamiento del sistema está determinado por una serie de variables de entrada; dichas entradas producen unas salidas que son función de las mismas.

4.4.3 Modelos para el estudio analítico

A la hora de analizar los valores de las variables registradas se realizan diferentes análisis: estudio de las condiciones de confort en el interior mediante balances térmicos y comparación con los consumos energéticos, evaluación de las condiciones térmicas en los días tipo, y caracterización energética del edificio mediante modelos estáticos y dinámicos. Cada uno de estos modelos produce información diferente pero complementaria, que será más o menos interesante según la información que se desee obtener.

La abstracción del problema nos lleva a un sistema físico dinámico con unas entradas y unas salidas; como entradas habrá que distinguir entre dinámicas y estáticas. Son dinámicas aquellas que varían con el tiempo (radiación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento...), y estáticas aquellas que permanecen inalterables con el tiempo (como las propiedades ópticas y térmicas de los materiales de construcción: conductividad, calor específico...). Se toma como salida alguna variable dinámica que dependa de las entradas, como por ejemplo, la temperatura interior del edificio o de una zona concreta del mismo. El sistema es dinámico porque tanto entradas como salidas dependen del tiempo. Además, debido a la inercia del sistema, un cambio que se produzca en una de las entradas, a veces, no repercutirá de inmediato en la salida, sino que puede llevar consigo un efecto de retraso (lo que podemos denominar “el delay”). Matemáticamente, un modelo que describe una respuesta dinámica de este tipo se denomina “Función de Transferencia”.

Mediante técnicas de identificación y funciones de transferencia de series temporales se puede representar, por ejemplo, la temperatura interior como una función de las variables de entrada (radiación, temperatura exterior...). Es decir, analizando las medidas experimentales se podrá conocer no sólo que es lo que ha sucedido en el tiempo de monitorización sino que sucederá en el futuro.

Debido a que este tipo de métodos está guiado para caracterizar el comportamiento dinámico del propio edificio, es necesario que esté sin ocupantes. Ya que aunque con un análisis estático se puede eliminar la influencia dinámica del propio usuario, las soluciones siguen estando sujetas a las costumbres del mismo.

Para el análisis de los resultados experimentales se utilizan los siguientes modelos:

Modelos estáticos

Estos modelos no proporcionan un conocimiento exhaustivo ni de las características del edificio ni de su funcionamiento, pero nos permiten extraer una información fiable del

comportamiento del sistema. Los modelos se basan en el comportamiento medio del sistema (edificio) eliminando de este modo la parte dinámica de los fenómenos térmicos.

Con este tipo de modelo, a partir de la medida de las temperaturas interior y exterior, el consumo en energía auxiliar y la radiación solar, podemos obtener el coeficiente global de pérdidas efectivo y la apertura solar efectiva, características del edificio que nos permiten dar una estimación de la calidad constructiva (UA) y de la calidad de diseño pasivo, en cuanto al aprovechamiento de energía solar (As).

Los resultados obtenidos mediante la utilización de estos modelos son:

- Condiciones interiores de confort.
- Valores de extrapolación de consumos a largo plazo.
- Ahorros de energía de unos casos frente a otros.
- Apertura Solar Efectiva, el término efectivo se refiere a la cantidad de energía solar que contribuye a la carga del espacio en calentar pero sin por ello causar recalentamiento en el sistema.
- Coeficiente global de pérdidas con el exterior y con el interior del propio edificio.

La principal deficiencia vendría dada por la falta de información acerca de la fracción de carga suministrada por energía solar, ya que no es posible conocer los principales flujos de energía.

Modelos dinámicos

Son más completos y más complejos y con ellos se puede analizar el edificio con más profundidad pero se necesitan muchos más datos y conocer mejor el comportamiento experimental del edificio.

El conocer la información dinámica del sistema es *crucial en condiciones de verano*, ya que en la totalidad de los casos, los edificios, en esta época del año, funcionan en evolución libre y se obtienen una serie de características del edificio de gran utilidad, que sirven para calificarlo desde el punto de vista de aprovechamiento solar.

Los resultados obtenidos son:

- Flujos principales de energía.
- Ahorro producido por el aprovechamiento de recursos naturales.
- Mejoras del diseño del edificio.
- Información exhaustiva del funcionamiento del edificio.
- Tiempos de retardo, sobre el confort térmico del edificio, del sistema de calefacción, y de la ganancia solar.

4.4.4 Utilidad de la monitorización

El empleo sistemático de la monitorización es útil desde diversos puntos de vista. Desde el punto de vista científico, el planteamiento de experimentos sirve para dos funciones básicas:

- El desarrollo y/o mejora de algoritmos de simulación de fenómenos térmicos en el edificio.
- La validación de códigos de simulación a través de la comparación de los resultados teóricos con los datos experimentales.

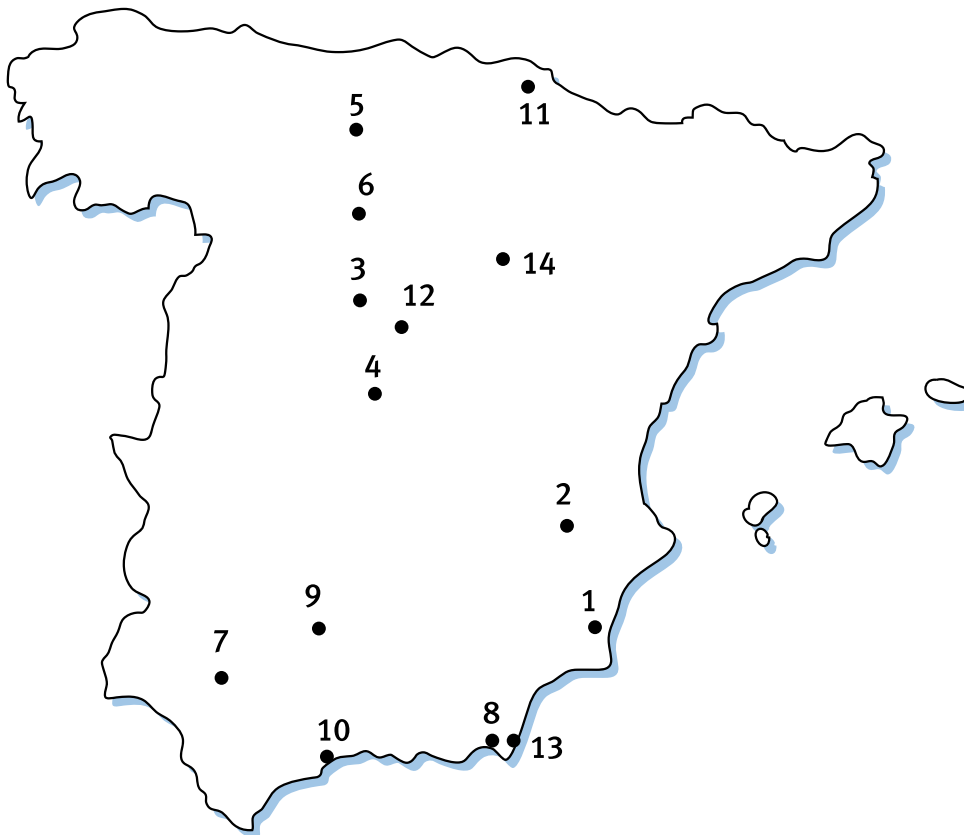
Desde el *punto de vista técnico* sirve para desarrollar metodologías de monitorización que permitan cubrir campos tales como:

- La caracterización de edificios desde el punto de vista energético. Es decir, realizar auditorías energéticas de un edificio mediante tal análisis, de modo que en función de los resultados se pueda exigir responsabilidades al constructor si no se cumplen las especificaciones energéticas esperadas.
- Desarrollo de sistemas de control automático para la optimización de la respuesta térmica de la integración de sistemas en el edificio.
- Diagnóstico de mal funcionamiento de los edificios, con el fin de realizar rehabilitaciones energéticamente eficaces.

Cada uno de estos objetivos requieren de esfuerzos encaminados en diferentes líneas, que hoy por hoy están todas ellas en fase de investigación, si bien ya existen herramientas útiles que se están aplicando.

4.4.5 Ejemplo de algunos edificios monitorizados por el CIEMAT

En el CIEMAT, dentro de la Unidad de Investigación de Eficiencia Energética en Edificación, se han estado monitorizando edificios con características energéticas especiales desde 1987. En la tabla y figura siguientes se presentan algunos de los lugares en que se ha monitorizado algún tipo de edificio. Asimismo, en la tabla adjunta se presenta el tipo de edificio sobre el que se ha realizado la experimentación.



Localidades con edificios monitorizados

	Nombre	Tipo de edificio	Características bioclimáticas
1	Los Molinos	Escuela	SS, DG, SD, V, TM
2	Alpera	Apartamentos en bloque	SS, TM
3	Pedrajas de San Esteban	Apartamentos en bloque	SS, TM, AC

(continuación)

	Nombre	Tipo de edificio	Características bioclimáticas
4	San Martín de Valdeiglesias	Arquitectura popular	TM
5	Aguilar de Campoó	Apartamentos en bloque	A
6	Torquemada	Viviendas adosadas	SS
7	Guillena	Escuela	SD, V, DG
8	Almería	Escuela	SD, V, DG
9	Pozoblanco	Viviendas adosadas	SS, TM
10	San Pedro de Alcántara	Apartamentos en bloque	SD, V, DG
11	Mendillorri	Apartamentos en bloque	DG
12	Cantimpalos	Viviendas adosadas	SS, DG, TM
13	Almería	Edificio Universidad	SS, DG, SD, V
14	Zaragoza	3 bloques de viviendas	SS, DG, CS

SS: Espacio invernadero, DG: Ganancia solar directa, SD: Dispositivos de sombra, V: Ventilación, TM: Masa de inercia térmica, AC: Colectores de aire, A: Atrio

Todas las monitorizaciones empleadas han tenido una duración igual o superior al año, con lo cual se tiene una muestra representativa del comportamiento térmico del edificio durante todas las épocas del año.

Lo más complicado de la obtención de resultados es tal vez el poder establecer criterios consistentes de comparación entre los diferentes edificios, dado su diferente ocupación, la diferente climatología en la que están inmersos, y en algunos casos la falta de medidas imprescindibles para una correcta interpretación de los resultados.

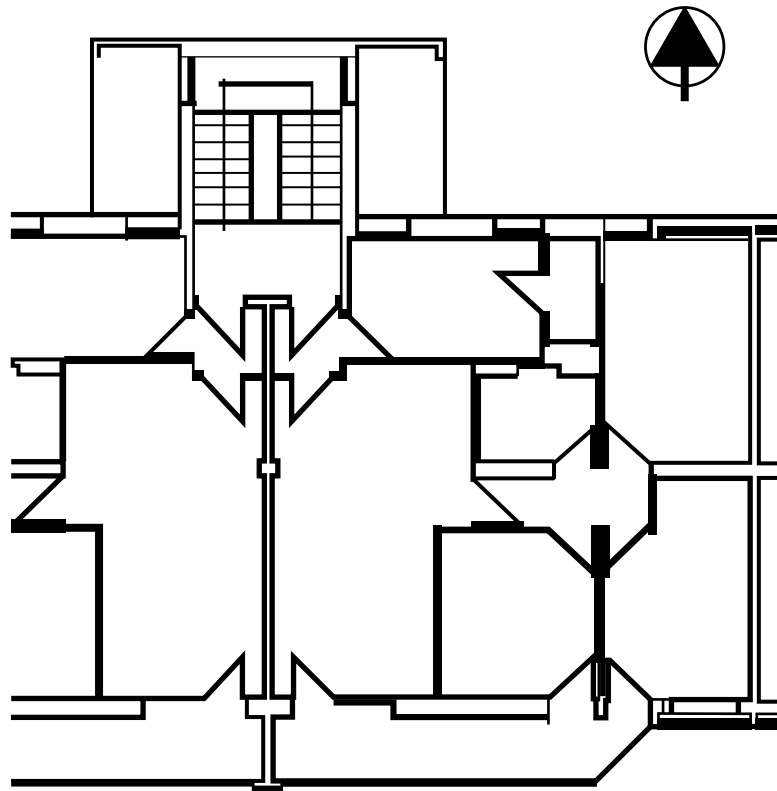
Por otra parte, en estos años han cambiado las metodologías de tratamiento de datos, por lo que la comparación de los resultados se hace difícil, pero lo que si está claro es que cada vez se puede conocer mejor el comportamiento energético de los edificios.

Pedrajas de San Esteban y Alpera

En estos edificios el diseño es idéntico, salvo que estaban en climatologías diferentes, Pedrajas de San Esteban está en Valladolid y Alpera en Albacete. Si bien ambos climas son continentales, el primero presenta abundantes nieblas durante el invierno, lo que hace que la ganancia solar sea inferior al caso de Alpera. Por su parte, este último, aún siendo un clima frío, no lo es tanto como el primero y a su vez la ganancia solar es elevada, presentándose días con un alto nivel de radiación solar.

Son bloques de tres alturas compuestos por apartamentos de tres dormitorios más cuarto de baño, cocina y sala de estar. Dos de los dormitorios y la sala de estar están en contacto con la fachada sur, y uno de los dormitorios y la cocina están en la fachada norte. En la orientación sur hay una galería acristalada, que separa la sala de estar y uno de los dormitorios. El muro de separación entre el interior de la vivienda y la galería es de 36 cm de ladrillo macizo para aumentar la inercia térmica. Asimismo, hay grandes ventanas que conectan ambas piezas con la galería, con lo cual además de la ganancia indirecta a través del muro hay una considerable aportación de ganancia solar directa.

Planta de las viviendas en bloque de Alpera y Pedrajas de San Esteban



Completando la fachada sur se ha construido un colector de aire. Tiene un ventilador que está controlado termostáticamente, de modo que al alcanzar la temperatura de consigna se pone en funcionamiento inyectando aire caliente en el dormitorio norte. Asimismo la distribución de los huecos hace que se tenga grandes potenciales para la ventilación cruzada, ya que hay ventanas en ambas fachadas. Estas ventanas son pequeñas en la orientación norte y amplias en la sur, para captar energía solar y minimizar pérdidas.

El edificio de Pedrajas de San Esteban fue presentado como un caso representativo en el Proyecto MONITOR de la Unión Europea (UE), cuyos resultados fueron publicados conjuntamente con otros 40 edificios diseminados en el resto de la UE.

En ambos bloques se midieron dos viviendas, ambas ocupadas, en los bloques orientados al sur, una de ellas en planta baja y la otra en la tercera que era la última, y por tanto estaba en contacto con el tejado. Lo más significativo de estos resultados fue el gran aporte solar que ambos presentaban, debido básicamente al tipo de componentes solares pasivos instalados en ambas viviendas: la galería acristalada con el efecto invernadero, y el colector de aire que procuraba de una manera activa aire caliente al interior de la vivienda. Usando un modelo estático se obtuvo para ambas viviendas los siguientes resultados en cuanto a distribución de la energía utilizada:

Edificio	Alpera	Pedrajas
Auxiliar	13.3	6.3
Interna	11.5	25.0
Solar	74.8	68.2

Resultado del balance global

Edificio de la Universidad de Almería (Proyecto MEDUCA)

El proyecto MEDUCA, financiado por el Programa Thermie de la UE, tenía como objetivos generales la construcción y evaluación de edificios o recintos ubicados en entornos docentes europeos, cuyos sistemas de acondicionamiento climático tenían como rasgo distintivo su carácter renovable o respetuoso con el medio ambiente y su contribución a tareas educativas y de difusión de las energías renovables y de las técnicas de ahorro energético.

Dentro del marco de este proyecto se ha instalado en la Universidad de Almería una solución constructiva innovadora, basada en la modificación de una cubierta tipo diente de sierra convencional. La solución constructiva presenta orientación predominantemente Sur, cerramiento translúcido en esta dirección, aleros para control de ganancias solares, aislamiento térmico y dispositivos favorecedores de ventilación natural integrados en su diseño general y ha servido para rehabilitar un patio interior, carente de uso hasta ese momento.

El objetivo inicial de este estudio ha sido demostrar como, tomando como base una solución constructiva simple, con un aceptable comportamiento en términos de iluminación natural se puede además optimizar su comportamiento energético reduciendo las cargas, tanto de calefacción como de refrigeración, mediante la inclusión de conceptos estructurales fácilmente abordables.



Vista general del espacio acondicionado (Derecha)

Vista general del edificio (Izquierda)

Fundamentalmente el edificio tenía los siguientes sistemas:

Zona A, Zona de control solar. Los aleros de la cubierta permiten la entrada de los rayos solares en invierno, mientras que los evitan en verano.

Zona B, Chimenea solar. El calentamiento de la misma en los meses de mayor radiación favorece los movimientos de aire interiores, incrementando la sensación de confort térmico.

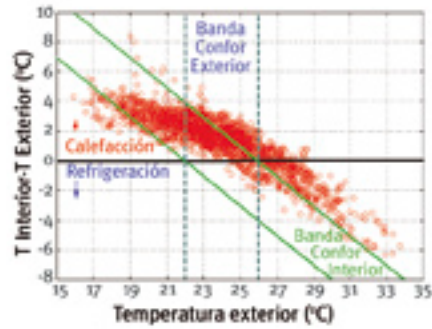
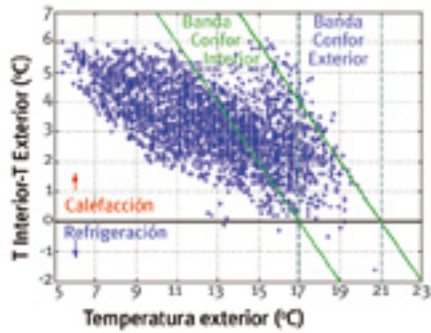
Zona C, Central fotovoltaica para producir energía eléctrica y reducir los costes generales de funcionamiento del edificio.

La monitorización consistió en el estudio de los índices de iluminación del comportamiento térmico del patio frente a pérdidas y ganancias, y el análisis de los fenómenos de refrigeración pasiva y fenómenos de ventilación producidos por la chimenea solar, así como el estudio comparativo de las mejoras energéticas que ofrece el diseño del tejado del patio frente a otras alternativas (como un tejado en forma de sierra convencional).

Este estudio se ha hecho comparando los datos medidos con las simulaciones en el caso real (comparación de la carga necesaria para mantener condiciones de confort de la cubierta MEDUCA y de una convencional para invierno y verano).

Como conclusión, se puede decir a la vista de los valores medidos, que los datos meteorológicos registrados son representativos y que es posible realizar la caracterización térmica, así como que la evolución térmica es buena, no apreciando estratificación térmica en el patio aunque los valores de confort pueden ser mejorables en el verano si se optimiza el sistema de ventilación natural.

Valores de temperatura medidos en el patio en invierno y en verano



Viviendas del Barrio Goya (Zaragoza)

El proyecto de las Viviendas del Barrio Goya (Zaragoza), que en total serán 4.500 aunque en la primera fase fueron 1.500, fue financiado por el Programa Thermie de la UE, y tenía como objetivos generales la construcción y evaluación de viviendas construidas considerando desde el diseño los aspectos bioclimáticos para reducir la demanda energética de las mismas.

De los bloques de viviendas se seleccionaron 3, los denominados P-4, P-11 y PU-9 que eran el primero de viviendas unifamiliares adosadas y los otros bloques de 4 y 5 plantas, respectivamente. En total se analizaron 27 (9 viviendas por bloque).



Vista de la fachada sur de la parcela P 9

La Monitorización: consistió en la evaluación energética de las viviendas a partir de los datos térmicos medios solo en invierno, debido al retraso en terminar la construcción de las obras, considerando el confort alcanzado.

4.5 REFERENCIAS

- ASRHAE. “Fundamentals handbook”, caps. 6 y 13 (1985). American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc., Atlanta GA.
- BARUCH GIVONI, Man Climate and Architecture – Applied Science Publishers, Ltd-Londres 1976.

- Building-Integrated Photovoltaics, Kiss Cathcart Anders Architects, P.C. NREL Technical Monitor: Robert Farrington. NREL/TP-472-7851UC Category: 1600 DE95004056. CADDET, Technical Brochure No. 78
- CLARKE J. et al. ESP-r A program for building energy simulation. Version 8 series. The PASSYS project. Contract JOUE-CT90-0022.CEC.
- DUFFIE, J.A. & BECKMAN, W.A. (1980). “Solar engineering of thermal processes”. John Wiley & sons., New York NY.
- Fanger, P.O.L. Thermal Comfort Analysis and applications in environmental engineering. MacGraw Hill N.Y. 1970.
- GUEYMARD, C. (1987). “An isotropic solar irradiance model for tilted surfaces and its comparison with selected engineering algorithms”. Solar Energy 38, pags. 367-386.
- HAY, J.E. & MCKAY, D.C. (1985). “Estimating solar irradiance on inclined surfaces: A review and assessment of methodologies”. Solar Energy 3, pags. 203-240.
- HERAS, M.R.; MARCO, J.: “Comportamiento Energético de Edificios Solares Pasivos. Plan de Monitorización del Instituto de Energías Renovables”. Ed .CIEMAT. Madrid 1990.
- HERAS, M.R.; MARCO, J.: “Informe final de las viviendas experimentales para el aprovechamiento pasivo de la Energía Solar en Alpera (Albacete)”. Informe Final Técnico: IER-R2A01-IT-ESP-02-0. Oct. 1990.
- HERAS, M.R.; SAN ISIDRO, M.J.; ZARZALEJO, L; JIMENEZ, M. J. “Meduca Project. Energetic Evaluation of UAL building”. (Final Report)”. Informe Técnico: DER-ESE-AECED-46114-IT-1-0, 18-4-01
- IEA CADDET Renewable Energy Technologies, Mini-Review of Active (Thermal) Solar Energy 1995’ CADDET Renewable Energy Centre, ETSU, Harwell, Didcot, Oxon OX11 0RA, United Kingdom, (1996)
- IEA. task IV – “Development of a inSolation handbook and instrumental package. An introduction to meteorological measurements and data handling for solar energy applications”. DOE/ER-0084, U.S. Department of Energy. Washington D.C. 1980.
- INGERSOL, L.R., ZOBAL, O.J (1954). “Heat conduction with engineering, geological and other applications”. Revised edition, Madison, WI, University of Wisconsin Press.
- IQBAL, M. (1983). “An introduction to solar radiation”. Academic Press, Toronto.
- JIMÉNEZ, M.J.; SAN JUAN C. FERRER J.A. OLMEDO R. HERAS M.R. “Diseño de la monitorización del cielo. Propuesta inicial de sensores y puntos de medida.” Informe ARFRISOL. 2006
- LEFEBVRE, D.G. (1994). “Fundamentos sobre clima y arquitectura: II Transferencia energética”. Curso energía solar en la edificación. IER-CIEMAT
- MARCO, J. Y M.R. HERAS. “Experiencia española en la evaluación energética de edificios solares pasivos”. Rev. Montajes e Instalaciones. Marzo 1992. pp 105-114.
- SAN ISIDRO, M.J.; ZARZALEJO, L.F.; HERAS, M.R: “Barrio Goya Project (Thermie Program) Energetic Evaluation of Barrio Goya Buildings (Final Report)” Informe Técnico: DER-ESE-AECED-46111-IT-1-1, 10-5-01
- Serra, R.: “Clima, Lugar y Arquitectura. Manual de Diseño Bioclimático” Ediciones CIEMAT – Madrid 1989
- Solar Energy R&D in the European Community. Series A. Volume 6. Solar Collectors. Test Methods and Design Guidelines.
- T. R. Sharpe, C.D. Porteous and W.J.K. MacGregor, Integrated solar thermal upgrading of multi-storey housing blocks in Glasgow, Environmentally friendly cities,

Proceedings of PLEA '98, Lisbon, Portugal, June 1998, pgs 287-290, James & James Science Publishers Ltd. (1998)

- T.Müller, W.Wagner, M.Köhl, B.Orel, K.Höfler: Colourface-Coloured Facades for Solar Heating System an Building Insulation.
- Varios autores: La Energía Solar en la Edificación – Editorial CIEMAT - 2005
- Victor Olgyay: Arquitectura y Clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1998.

Enlaces WEB

<[http:// www.codigotecnico.org/](http://www.codigotecnico.org/)>. Página web del Código Técnico para la Edificación.

<http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/>. Página web del US Department of Energy.

<<http://www.ibpsa.org/>>. Página web del Internacional Building Performance Simulation Association (IBPSA).

<<http://www.idae.es/>>. Página web del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

<[http:// www.ciemat.es/](http://www.ciemat.es/)>. Página web del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO ALENTEJO

5

**Paulo Canhoto
Isabel Malico
Fátima Baptista
João Figueiredo
João Martins**

Universidade de Évora, Portugal



5.1 ENERGIA SOLAR

Paulo Canhoto. Departamento de Física e Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Évora, Portugal. R. Romão Ramalho, 59; 7000-671 Évora, Portugal (canhoto@uevora.pt).

5.1.1 A radiação solar

A radiação solar atinge a camada superior da atmosfera terrestre com uma intensidade média de cerca de 1366 W/m^2 sobre um plano perpendicular aos raios solares. Este valor é conhecido como constante solar, e representa a energia total que chega à Terra por unidade de área e unidade de tempo. Parte desta radiação é de imediato reflectida, enquanto outra parte é absorvida e dispersada na atmosfera. Além disso, a latitude, o clima e a posição relativa da Terra em relação ao Sol (movimento de translação e de rotação) também influenciam a radiação recebida num determinado local e período de tempo. A Figura 1 mostra a carta da Península Ibérica relativa à irradiação solar total anual numa superfície horizontal (Súri *et al.*, 2007). Torna-se evidente que a região sul de Portugal tem um grande potencial para o aproveitamento de energia solar uma vez que nessa região se verificam elevados valores irradiação (acima de 1650 kWh/m^2), destacando-se em relação às restantes regiões.

5.1.2 Utilização da energia solar

De uma maneira geral, podem-se considerar duas formas distintas de utilização ou conversão da energia solar:

- *Activa* - Transformação directa da energia solar em energia térmica ou eléctrica.
- *Passiva* - Aproveitamento da energia solar para aquecimento passivo de edifícios através de elementos de arquitectura e de construção. De seguida serão abordados alguns aspectos relativos à utilização activa de energia solar.

Energia solar térmica activa de baixa e média temperatura

A energia solar tem um elevado potencial de utilização em aplicações de baixa ($< 90 \text{ }^\circ\text{C}$) e média temperatura (90 a $150 \text{ }^\circ\text{C}$), como sejam o aquecimento de água para uso residencial ou de lazer (aquecimento de piscinas), para condicionamento de ar (aquecimento de espaços interiores) e para processos industriais. Para esse fim são utilizados painéis solares térmicos que aquecem água, que por sua vez será armazenada em depósitos termicamente isolados. A partir destes depósitos a água quente é retirada directamente e é retirado calor por um circuito secundário. Os painéis solares são constituídos no essencial por um colector (placa metálica enegrecida) sobre o qual estão fixados tubos por onde circula a água. Este conjunto está encerrado dentro de uma caixa, com uma das faces em vidro, de forma a minimizar as perdas de calor para o exterior. Existem várias outras configurações deste tipo de painéis, por exemplo:

- CPC - permite efectuar a concentração dos raios solares sobre os tubos de forma a aumentar a eficiência, e
- Tubos de vácuo - os tubos onde circula a água estão no interior de tubos de vidro onde foi feito o vácuo, de forma a minimizar as perdas de energia.

Além disso, os painéis solares térmicos podem estar também integrados em sistemas com bombas de calor e utilizar outros fluidos que não a água para efectuar a transferência de calor. Uma outra utilização da energia solar em aplicações térmicas de baixa temperatura diz respeito à produção de ar quente e seco destinado a processos industriais de secagem. A área de painéis solares térmicos actualmente instalada em Portugal é pequena atendendo ao elevado potencial existente (ADENE/INETI, 2001), esperando-se um crescimento nos próximos anos, também em consequência de alterações legislativas que obrigam a instalação deste tipo de sistemas em habitações novas.

Energia solar térmica activa de alta temperatura

A conversão da energia solar em energia térmica a alta temperatura destina-se à produção de energia eléctrica. Numa configuração possível, a radiação solar é concentrada por um grande número de espelhos ou concentradores numa espécie de “caldeira solar” onde é produzido vapor de um fluido de trabalho (água por exemplo), que depois é turbinado para a produção de energia eléctrica (ciclo de Rankine). Outra configuração possível consiste no aquecimento dum fluido ao longo de tubos aquecidos através da radiação solar que neles é concentrada por espelhos parabólicos longitudinais, sendo a energia térmica depois utilizada para a produção de electricidade através de um ciclo térmico associado. A energia térmica de alta temperatura que resulta da concentração da radiação solar através de espelhos pode também ser directamente utilizada em motores de ciclo fechado, como é o caso dos motores de Stirling.

Energia solar fotovoltaica

A conversão directa da energia solar em energia eléctrica é efectuada através de células fotovoltaicas. Existem várias tecnologias ou tipos de células, entre as quais se podem referir:

- Silício (monocristalino, policristalino ou amorfo),
- CIS (Cobre-Índio-Selénio, CuInSe_2),
- Células fotovoltaicas orgânicas.

Actualmente as células com maior expansão são as de silício. Estas consistem na junção de dois semicondutores que resultam da adição de diferentes substâncias dopantes ao silício, de modo a que o efeito fotoeléctrico resulte na geração de uma corrente eléctrica. A célula fotoeléctrica é o elemento fundamental dos sistemas fotovoltaicos produzindo, em condições standardizadas, cerca de 1,5 Watts. As células são agrupadas em módulos formando um conjunto com potências até cerca de 180-200 Wp (Watt pico)¹. Estes módulos podem ser associados em série e/ou em paralelo até atingir a potência pretendida. A corrente contínua gerada é normalmente regulada e convertida em corrente eléctrica alternada para consumo final, com uma eficiência global em torno dos 12%. Os sistemas de regulação incluem mecanismos para que os módulos funcionem no ponto de máxima potência (MPPT - Maximum Power Point Tracker). Os módulos podem ainda ser associados a dispositivos para seguir o movimento do Sol ou para concentrar a radiação solar de forma a aumentar a produção de energia. As aplicações de sistemas fotovoltaicos podem variar desde sistemas isolados (sistemas autónomos com armazenamento em baterias) com poucos kWp até centrais com milhares de painéis e alguns MWp de potência instalada. A natureza modular dos painéis solares é, no entanto, mais apropriado para aplicações de pequena e média dimensão, ao nível das residências e edifícios industriais e de serviços, contribuindo para a produção descentralizada de energia, isto é, junto do consumidor. No ano de 2005 foram instalados em Portugal cerca de 215 kWp em sistemas isolados e 73 kWp em sistemas ligados à rede eléctrica, sendo a potência total acumulada no final desse ano cerca de 2989 kWp (IEA, 2006). Em 2007 entrou em funcionamento uma central com 11 MWp (Serpa, Portugal), estando outras centrais em fase de construção ou de projecto, prevendo-se que a potência total instalada atinja dentro de poucos anos cerca de 130 MWp. Dadas as condições de produção de energia por via fotovoltaica no sul de Portugal, estima-se uma produção entre 1000 e 1500 kWh por cada kWp instalado.

¹ Wp (Watt pico) refere-se à potência eléctrica máxima gerada nas condições de referência de 1000 W/m² de radiação incidente e temperatura das células igual a 25°C.

5.1.3 O caso da Mitra (Évora, Portugal)

A Herdade da Mitra integra-se num meio rural do sul de Portugal compreendendo instalações habitacionais, de ensino e de actividades agropecuárias. Situa-se numa zona com uma irradiação entre 1650 e 1750 kWh/m²/ano sobre uma superfície horizontal (ver Figura 1) permitindo, de forma vantajosa, o aproveitamento do recurso de energia solar para a produção de energia térmica de baixa e média temperatura e de energia eléctrica. Neste último caso, o sistema fotovoltaico pode ser associado a outros meios de produção com origem renovável (eólica e biomassa por exemplo) para atenuar a variabilidade inerente a cada uma das fontes e para reduzir o consumo de energia da rede eléctrica geral. Na Figura 2 apresenta-se uma estimativa da produção de energia de um sistema fotovoltaico com 3,5 kWp de potência, constituído por módulos de silício monocristalino totalizando uma área total de 29 m², virados a sul e fazendo um ângulo de 30° com a horizontal. O sistema apresenta uma eficiência global de cerca de 12,2%, e a produção estimada varia entre aproximadamente 2,4 kWh/kWp/dia durante o mês de Dezembro e 5,4 kWh/kWp/dia em Julho.

5.1.4 Bibliografia

ADENE/INETI, 2001, “Fórum Energias Renováveis em Portugal – Relatório síntese”, Lisboa, Portugal.

IEA - International Energy Agency, 2006, “IEA PVPS Annual Report”.

Súri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., 2007. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. *Solar Energy*, 81, 1295–1305, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

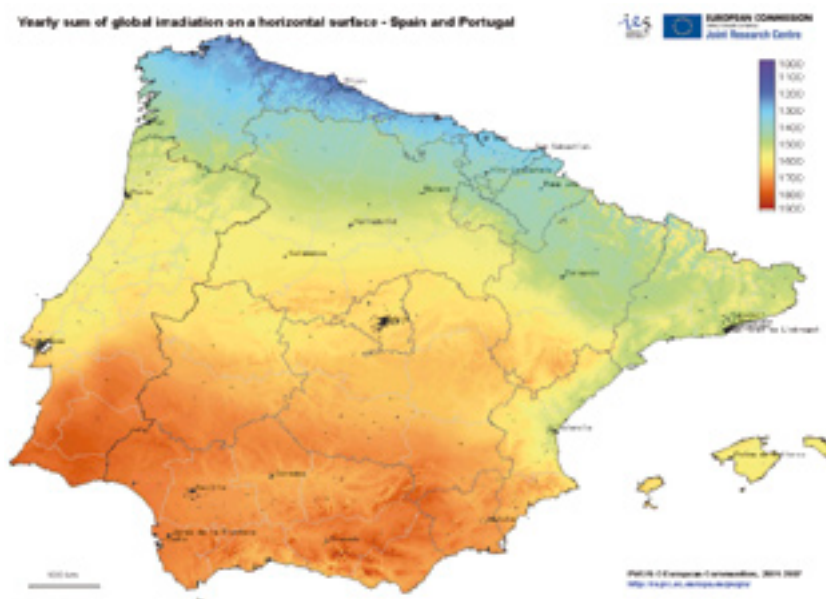
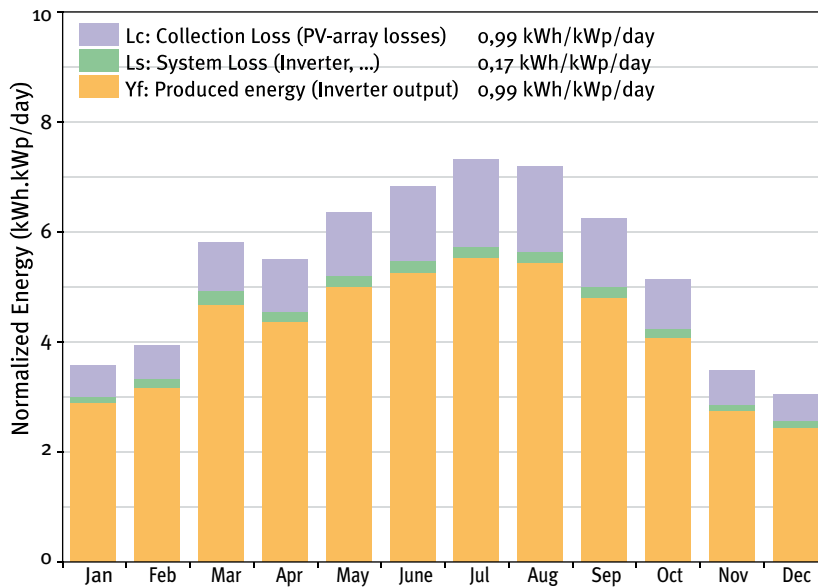


Figura 1

Carta de irradiação solar total anual numa superfície horizontal [kWh/m²] na Península Ibérica (PVGIS © European Communities, 2001-2008)

Figura 2
Estimativa de produção de energia eléctrica de um sistema fotovoltaico de 3,5 kWp (silício monocristalino) situado na Mitra (Évora, Portugal)



5.2 ENERGIA EÓLICA

Paulo Canhoto. Departamento de Física e Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Évora, Portugal. R. Romão Ramalho, 59; 7000-671 Évora, Portugal (canhoto@uevora.pt).

5.2.1 Circulação geral da atmosfera e a energia do vento

O vento consiste na deslocação de massas de ar na camada da atmosfera mais próxima da superfície da Terra. Esta camada concentra cerca de quatro quintos da massa total de ar e tem uma espessura que varia entre cerca de 17 km sobre o equador e 7 km sobre os pólos. A circulação geral de ar na atmosfera é induzida pelo aquecimento diferenciado (produzido pela radiação solar) entre a região do equador e os pólos e entre os continentes e os oceanos, sendo influenciada pela rotação da Terra. A energia eólica corresponde, por isso, a uma forma de energia que deriva da energia solar, estimando-se que, em termos globais, cerca de 1% da energia proveniente do Sol seja convertida em energia do vento. Junto da superfície da Terra a intensidade e direcção do vento são bastante influenciadas pelo clima de cada região em particular e pela orografia (relevo) e tipo de superfície (rugosidade aerodinâmica). Existem também fenómenos locais que influenciam a estrutura do vento, como por exemplo a brisa marítima e os ventos de montanha. Todos estes factores têm que ser tidos em consideração na selecção dos locais de instalação e do tipo de turbinas eólicas a utilizar.

5.2.2 Aproveitamento da energia eólica: perspectiva histórica e evolução actual

A utilização da energia do vento pelo Homem remonta a muitos séculos atrás com a utilização de barcos à vela e de moinhos de vento para a produção de energia mecânica, destinada por exemplo à moagem de cereais e bombagem de água. Na primeira metade do século XX começaram a ser desenvolvidos e instalados geradores eólicos para a produção de energia eléctrica. Após a crise petrolífera da década de 70 do século XX assistiu-se ao surgimento e expansão de parques eólicos com uma potência instalada crescente ao mesmo tempo que o desenvolvimento tecnológico permitia ter geradores mais eficientes. Existe actualmente um ressurgimento da aposta na produção de energia eólica, em parte como resposta aos compromissos assumidos por diversos países no Protocolo de Quioto para o aumento da utilização de fontes de energia renovável e para a redução da emissão de gases de efeito de estufa. A actual expansão divide-se

em duas vertentes: a primeira, e com um muito maior peso relativo, refere à instalação de parques eólicos com várias dezenas de grandes aerogeradores e com potências instaladas superiores a 10 MW; a segunda refere-se à utilização de mini e micro geradores eólicos, com potências que vão desde algumas centenas de watts até cerca de 10 kW. No primeiro caso, os parques eólicos são instalados em zonas de elevado potencial eólico, como sejam os cumes de montanhas, linhas de costa ou zonas offshore, destinando-se a energia eléctrica produzida a ser distribuída através da rede eléctrica geral até junto dos consumidores finais. Já no segundo caso, os aerogeradores são preferencialmente instalados junto aos locais de consumo, ao nível residencial ou de pequenas instalações de produção, contribuindo para a redução do consumo de energia eléctrica a partir da rede geral ou para a produção de energia em sistemas isolados ou de produção distribuída. No panorama de utilização de energia eólica a nível europeu no final de 2006, a Alemanha liderava com cerca de 20622 MW de potência instalada, seguindo-se a Espanha com 11615 MW (INEGI, 2007). No caso de Portugal continental, em Setembro de 2007 encontravam-se em funcionamento 1151 turbinas eólicas, num total de 2037,4 MW de potência, estando em fase de instalação outras 371 turbinas com mais 746,2 MW (INEGI, 2007). Estes valores referem-se a parques de média e grande dimensão ligados à rede eléctrica nacional localizados sobretudo nas zonas de montanha das regiões norte e centro e junto à costa atlântica ocidental. No caso das regiões insulares da Madeira e dos Açores, e devido às suas características geográficas particulares, a instalação de parques eólicos com ligação à rede eléctrica é anterior ao verificado no continente, estando actualmente em funcionamento no conjunto das duas regiões cerca de 71 aerogeradores com um total de 16,7 MW de potência instalada (INEGI, 2007). A instalação de micro - geradores eólicos em Portugal está a ser estimulada por via das recentes alterações legislativas relativas à ligação à rede de baixa tensão deste tipo de equipamento e por via de recentes desenvolvimentos tecnológicos que permitem obter melhores rendimentos em zonas de baixo potencial eólico, como sejam as zonas residenciais.

A variabilidade diária e sazonal da velocidade do vento tem implicações na estabilidade da rede eléctrica e no ajustamento da produção ao consumo de energia. A utilização de centrais térmicas para responder a esta variabilidade pode ter um custo acrescido por estas necessitarem de um período de tempo relativamente longo para ajustamento da sua produção e por apresentarem uma menor eficiência em situações de variação de carga. Para superar este problema, a geração de energia eólica pode ser associada ou complementada com sistemas de armazenamento através do bombeamento de água em centrais hidroeléctricas de albufeira integradas na rede. No entanto, esta solução poderá ter também implicações ambientais adversas devido a uma maior intervenção no regime de caudal dos rios, além das perdas de energia inerentes ao processo. A possibilidade de previsão da velocidade do vento a curto prazo (actualmente na ordem de 2 a 3 dias) afigura-se como uma ferramenta de gestão da rede eléctrica e de coordenação da produção com origem em diversas fontes. De referir que a produção de energia eólica tem uma variação inter-anual menor do que a energia hídrica. No caso de pequenos geradores integrados em sistemas de micro - geração, sistemas autónomos (redes isoladas) ou de produção distribuída, a variabilidade da geração de energia eólica poderá ser atenuada através da associação e da gestão conjunta com outros meios de produção (como por exemplo, módulos solares fotovoltaicos, biomassa e mini - hídrica) e com sistemas locais de armazenamento (bancos de baterias, energia potencial hídrica, ar comprimido ou outros).

5.2.3 Avaliação do recurso eólico

O primeiro passo para a selecção do local de instalação de sistemas de produção de energia eólica é o conhecimento do regime de ventos. Nas Figuras 1.a) e 1.b) são mostrados exemplos de rosa-dos-ventos e da distribuição da velocidade do vento, respectivamente. Este tipo de gráficos permite conhecer a velocidade média e as direcções dominantes do vento num determinado local. A distribuição da velocidade do vento

segue aproximadamente uma distribuição de Weibull da forma apresentada na Figura 1.b). Por outro lado, a velocidade do vento aumenta com a altura acima do solo, sendo esta variação bastante influenciada pela rugosidade aerodinâmica da superfície e pela proximidade de obstáculos. A Figura 2 mostra o perfil vertical de velocidade num local com um comprimento de rugosidade de $z_0 = 0,2$ m. Por exemplo, as superfícies de água e os terrenos descobertos apresentam dos mais baixos valores de rugosidade, ao passo que, os espaços urbanos e as florestas apresentam os mais elevados. Com o objectivo de maximizar o aproveitamento da energia do vento, os locais com menor rugosidade são os preferidos para a instalação de aerogeradores, uma vez que para uma determinada altura se tem uma velocidade média do vento superior. Outros locais que são também preferidos são os cumes de montanhas porque nesses locais ocorre uma aceleração do vento devido ao efeito da orografia. Por norma, locais com velocidades médias anuais do vento superiores a cerca de 6 m/s a uma altura de 50 m são considerados bons locais para a instalação de parques eólicos de média e grande dimensão. Actualmente são também utilizados modelos numéricos de simulação do escoamento do ar sobre a superfície da Terra que, conjuntamente com a informação de séries de dados de estações de medição e da orografia e rugosidade da superfície (ocupação do solo), permitem gerar mapas de distribuição de velocidade média do vento. Exemplos destes mapas podem ser encontrados no *European Wind Atlas* (Risø National Laboratory, 1989) para a Europa e, com uma maior resolução, em *Potencial Eólico em Portugal Continental* (INETI, 2004) para o caso do território de Portugal continental.

5.2.4 Tipos e funcionamento dos geradores eólicos

Nem toda a energia do vento pode ser convertida em energia de rotação da turbina e posteriormente em energia eléctrica (Lei de Betz). A potência máxima instantânea que pode ser obtida por unidade de área perpendicular à direcção do vento varia com o cubo da velocidade do vento (U) e é aproximadamente $P \sim 0,36 U^3$ [W/m²]. A potência que é efectivamente gerada depende por sua vez da área de varrimento das pás da turbina e do rendimento global do aerogerador, consoante o seu regime de funcionamento e de acordo com a respectiva curva de potência característica, da qual a Figura 3 é um exemplo. Existem actualmente aerogeradores com potências entre as poucas centenas de watts (para aplicações de micro – geração) e os vários milhares de kW (para sistemas ligados à rede eléctrica), e podem-se distinguir várias configurações de turbinas que variam consoante a orientação do eixo (horizontal ou vertical), o número de pás e o tipo de gerador associado (síncrono, assíncrono, imãs permanentes).

Os aerogeradores de eixo horizontal são constituídos por turbinas com pás de perfil aerodinâmico cujo número pode variar de acordo com a velocidade de rotação e a potência desejada. As turbinas de 3 pás são as mais comuns por constituírem um compromisso entre o factor de potência, a velocidade de rotação e o custo de construção associado. Estas turbinas são colocadas no topo de torres que podem atingir os 100 metros, de modo a captarem o vento a velocidades superiores, e são equipados com meios ou mecanismos de orientação em relação ao vento para maximizar a produção de energia. Por outro lado, as torres eólicas de eixo vertical são comparativamente mais baixas e permitem a colocação dos dispositivos de conversão de energia na base da torre, facilitando desta forma as operações de manutenção. Uma outra vantagem deste tipo de aerogeradores é o facto de não ser necessário um mecanismo de orientação da turbina em relação ao vento como é o caso dos aerogeradores de eixo horizontal. As desvantagens devem-se ao facto da velocidade do vento junto ao solo ser menor, o que tem como consequência menores valores de produção e de rendimento, e da torre ficar sujeita a elevados esforços mecânicos. Dentro desta categoria podem-se referir o rotor de Savonius e o rotor de Darrieus. Actualmente os geradores de eixo vertical são muito pouco utilizados em detrimento dos de eixo horizontal.

5.2.5 O caso da Mitra (Évora, Portugal)

A Herdade da Mitra integra-se num meio rural com povoamento esparsos de árvores e com instalações habitacionais, de ensino e de actividades agropecuárias. Constitui por isso um caso em que os recursos de energias renováveis locais podem ser aproveitados para diminuir o consumo de energia a partir da rede numa situação de micro – geração ou para constituição de uma unidade de produção integrada com diversas fontes de energia (solar fotovoltaica e biomassa, por exemplo). A disponibilidade de recurso eólico está condicionada, como foi já referido, pelas condições locais de regime de ventos, orografia e ocupação do solo. A Figura 1 mostra a rosa-dos-ventos e a distribuição da velocidade do vento (histograma de frequência e distribuição de Weibull), construídas a partir dos dados da estação meteorológica da Mitra do Centro de Geofísica de Évora (38,53° N, 8,01° W) no período de 1994 a 1999 e para uma altura de 6 m. A análise dos valores permite ainda concluir que o fluxo de potência incidente² médio anual disponível para este local é de cerca de 26,0 W/m², verificando-se, em termos médios mensais, um máximo no mês de Junho com 33,5 W/m² e um mínimo no mês de Novembro com 18.1 W/m².

A Figura 2 mostra o perfil vertical de velocidade para um comprimento de rugosidade de 0,2 m, estimando-se uma velocidade média de 3,6 m/s a 15 metros. O recurso disponível permite considerar a instalação de micro – aerogeradores com uma potência da ordem de 1 kW a uma altura entre os 15 e 20 m acima do solo. Será também vantajosa a instalação de turbinas com uma velocidade de arranque relativamente baixa que, atendendo aos mais recentes desenvolvimentos tecnológicos, se situa em torno dos 2,5 m/s.

5.2.6 Agradecimentos

Agradece-se ao Centro de Geofísica de Évora da Universidade de Évora a cedência dos valores de velocidade e direcção do vento da estação meteorológica da Mitra (Évora, Portugal).

5.2.7 Bibliografia

INEGI, 2007, “Parques Eólicos em Portugal: Setembro de 2007”, Portugal, 18 p.

INETI, 2004, “Potencial Eólico em Portugal Continental”, Lisboa, Portugal, 7 p.

Risø National Laboratory, 1989, “European Wind Atlas”, Roskilde, Denmark.

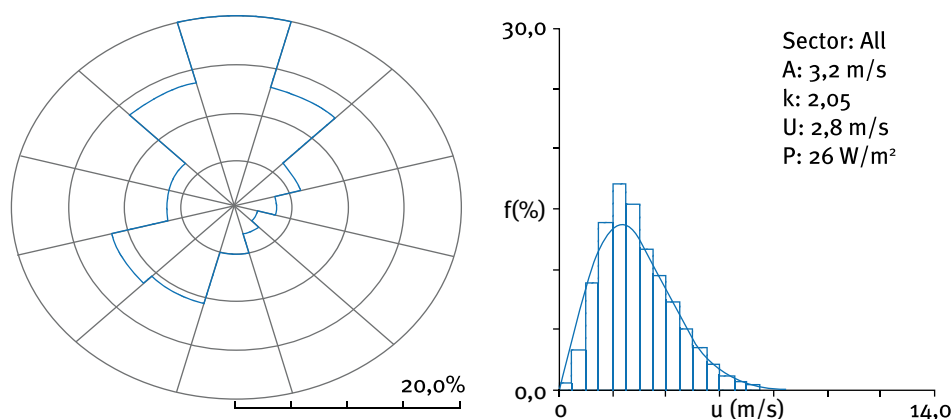


Figura 1

Regime de ventos a 6 metros de altura na estação meteorológica da Mitra (CGE) para o período 1994 a 1999: a) rosa-dos-ventos (12 sectores); b) distribuição da velocidade do vento (barras-histograma de frequências; linha – distribuição de Weibull)

² O fluxo de potência incidente, E [W/m²], tem em consideração a distribuição de velocidade do vento ao longo de um determinado período de tempo, e pode ser calculado através de $E = \rho A^3 \Gamma(1 + 3/k)/2$, em que: $\rho = 1,225$ kg/m³ é a densidade do ar em condições de pressão e temperatura normais; $\Gamma(x)$ é a Função Gama; e A e k são, respectivamente, o parâmetro de escala (m/s) e o parâmetro de forma (adimensional) da distribuição de Weibull para esse período.

Figura 2
Perfil vertical
de velocidade

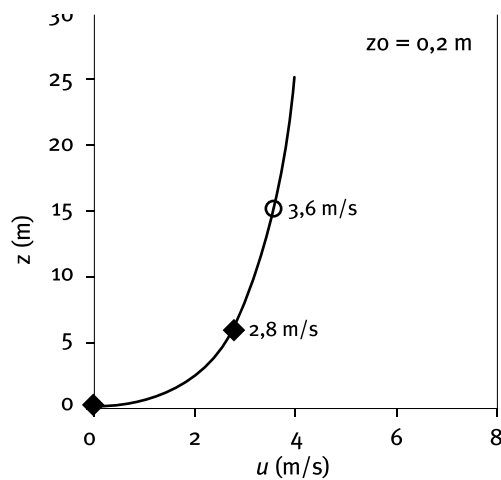
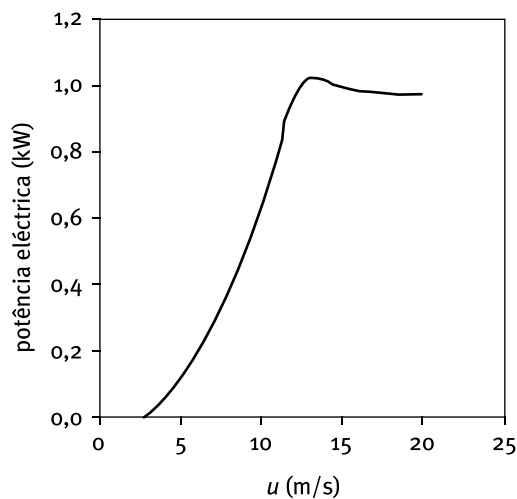


Figura 3
Curva de potência
de um do vento.
micro-aerogerador



5.3 ENERGIA DA BIOMASSA

Isabel Malico¹ e Fátima Baptista²

¹ CEM/IDMEC, Universidade Évora, R. Romão Ramalho 59; 7000-671 Évora, Portugal (imbm@uevora.pt).

² ICAM/DER, Universidade de Évora, Núcleo da Mitra, Apartado 94; 7002-554 Évora, Portugal (fb@uevora.pt).

5.3.1 Introdução

Do ponto de vista energético, biomassa refere-se a todo o material biológico proveniente de seres vivos que pode ser convertido em energia. Este material inclui produtos e resíduos da agricultura, da floresta e das indústrias relacionadas, bem como a fracção biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. São vários os exemplos de biomassa utilizados para a conversão de energia: milho, cana-de-açúcar, madeira, palha, casca de arroz, lamas de ETARs, estrume, algas e lixo biodegradável.

Actualmente cerca de 14% do abastecimento mundial de energia primária é garantido pela biomassa (IEA, 2004). Em 2002, a biomassa era a maior fonte de energia renovável para a produção de energia eléctrica, excluindo a hídrica, produzindo cerca de 7% da electricidade mundial obtida de fontes renováveis (IEA, 2004). Segundo projecções da IEA (2004), em 2030, a produção de energia eléctrica a partir de biomassa deverá triplicar. Em 2002 pouco mais de 1% da electricidade foi produzida a partir de biomassa enquanto que em 2030 este

valor será de 2%. O aumento mais significativo ocorrerá na Europa, onde a produção de electricidade a partir de biomassa deverá atingir os 4% (IEA, 2004).

No nosso país, a utilização mais comum da biomassa é a combustão da madeira ou dos seus resíduos para fins térmicos no sector industrial ou no doméstico (Collares-Pereira, 1998). No sector industrial são utilizados para fins energéticos sobretudo resíduos do próprio processo de fabrico (por exemplo, o caso da indústria da madeira) e/ou do processamento da matéria-prima (por exemplo, o caso da indústria de papel). No sector doméstico utiliza-se uma ampla mistura de resíduos florestais e madeira.

Em regiões como a Extremadura e o Alentejo, com um marcado carácter agro-pecuário e florestal, as quantidades de biomassa residual tomam valores apreciáveis. A valorização energética desta biomassa tem como vantagens não só a óbvia obtenção de energia, mas também a prevenção de incêndios florestais, no caso da biomassa florestal, e o tratamento e valorização de resíduos, no caso da biomassa proveniente das explorações agro-pecuárias e das indústrias agro-alimentares.

A concentração das explorações pecuárias intensivas em determinadas zonas significa um aumento da pressão sobre os recursos naturais e a prazo a ocorrência de problemas ambientais. Segundo MADRP (2002) a contribuição do sector agrícola para a emissão dos gases com efeito de estufa (GEE) era de cerca de 15%, mas o sector era responsável pela emissão de 45% e 71% das emissões totais de metano e de óxido nitroso, respectivamente, que como se sabe possuem um efeito de estufa muito superior ao do dióxido de carbono.

De facto, algumas actividades agro-pecuárias, em especial as explorações intensivas, o armazenamento de estrumes e chorumes, a queima de resíduos e a sua aplicação no solo conduzem a impactos negativos no meio ambiente, nomeadamente no ar, água e solos. Minimizar a libertação de amoníaco, odores e dos GEE para a atmosfera e a contaminação dos solos e das águas com azoto e fósforo, microorganismos e metais pesados são objectivos primordiais. A produção de energia a partir destes resíduos orgânicos será uma das formas de tratar/valorizar estes resíduos conseguindo ao mesmo tempo a redução dos impactos negativos no meio ambiente e também obter um sub-produto, o biogás, com potencial energético.

Quantificar o verdadeiro potencial de biomassa disponível, mesmo que para uma pequena região é um assunto complicado (as quantidades de biomassa são sazonais, variam de ano para ano e de composição, por exemplo, no seu conteúdo de água). De seguida indica-se uma estimativa do potencial energético da biomassa mais representativa da região Alentejo.

5.3.2 Resíduos florestais e agrícolas

Segundo o mais recente Inventário Florestal Nacional 2005/2006 (DGRF, 2007), a área total dos solos ocupados por floresta, na NUT II Alentejo, é de 1222,5 mil hectares (cerca de 43% da área total da região). Destes, 98% são povoamentos florestais, 0,9% áreas de corte raso, 0,7% áreas ardidas de povoamentos e o restante outras áreas arborizadas. As áreas dos povoamentos mais significativos estão divididas por: sobreiro (44%), azinheira (28%), povoações jovens (10%), eucalipto (9%), pinheiro-manso (4%) e pinheiro-bravo (3%). Para o cálculo da quantidade de resíduos florestais provenientes destes povoamentos (não considerando os povoamentos jovens), foram tidas em consideração as hipóteses formuladas em Vieira et al. (2005), o que resulta numa produção anual de resíduos florestais na NUT II Alentejo de cerca de 1×10^6 ton/ano.

De acordo com o Inventário Florestal Nacional 2005/2006 (DGRF, 2007), a área total dos solos ocupados por matos, na NUT II Alentejo, é de 255,6 mil hectares (cerca de 9% da área total da região). As zonas não florestadas mas contendo espécies arbustivas, também geram resíduos da ordem de grandeza de 0,7 ton/ha/ano (Collares-Pereira, 1998). No entanto, há que ter em conta que: i) existem limitações à mobilização total ou parcial

de matos, tanto nas áreas protegidas (RNAP) como na Rede Natura 2000 (RN2000) e ii) para a contabilização da quantidade de matos disponíveis na área de incultos, é necessário que se desconte os valores das áreas com riscos de desertificação, que necessitam de soluções para conservação dos solos e das águas, o que limita muito a utilização da produção lenhosa. Nos Planos de Ordenamento Florestal do Alentejo (DGRF, 2006a, 2006b, 2006c, 2006d) pode verificar-se que, principalmente na NUT III Baixo Alentejo, o risco de desertificação é muito elevado, não sendo aconselhável a remoção de biomassa que implique riscos acrescidos de erosão.

Não se considerou o potencial energético da área ardida, por esta representar uma pequena fracção da área total do território e ter uma grande variabilidade anual.

A valorização energética de resíduos agrícolas é também importante, ocupando a área agrícola 1243,3 mil hectares da NUT II Alentejo (DGRF, 2007). Na região tomam particular relevância os resíduos provenientes da actividade vinícola, da produção de cereais e de azeite.

Por exemplo, as vinhas ocupavam em 2007 uma área de 21218 ha no Alentejo (MADRP, 2007c). Segundo Luz et al. (2005) a produção de resíduos agrícolas provenientes das vinhas é de cerca de 2,5 ton/ha/ano, o que resulta numa produção anual de resíduos de cerca de 53×10^3 ton/ano.

No caso da produção de azeite, o olival ocupava em 2007 uma área de 153647 ha no Alentejo (MADRP, 2007a). Se considerarmos que cada hectare produz 3,5 ton de resíduos anualmente (Collares-Pereira, 1998), a produção dos resíduos desta cultura no Alentejo é de cerca de $0,5 \times 10^6$ ton/ano.

No que diz respeito aos resíduos provenientes dos cereais, como têm um elevado valor comercial, não são atractivos para a produção de energia (Luz et al., 2005).

No caso das árvores de fruto, e segundo o MADRP (2007b), as principais espécies existentes são os citrinos e pessegueiros. Não se irão considerar os resíduos das podas destas espécies por não ocuparem uma área representativa do Alentejo.

De salientar que o valor que se obteve para os resíduos agrícolas e florestais é meramente indicativo, já que o seu cálculo envolve uma série de pressupostos. Outro factor a ter em conta é o facto deste tipo de resíduos se poder encontrar disperso tornando pouco atractiva a sua utilização energética, devido aos custos associados à sua recolha e transporte.

5.3.3 Resíduos provenientes da actividade pecuária

A actividade pecuária intensiva no Alentejo, centra-se essencialmente na produção de suínos. De acordo com o Anuário pecuário 2006/07 (MADRP, 2007d) existiam no Alentejo 3000 varrascos, 66000 porcas reprodutoras, 148000 porcos de engorda, dos quais 137000 com peso <20 kg e 110000 com peso entre 20 e 50 kg. Este efectivo produz um volume diário de efluentes de cerca de 3400 m³ (Gonçalves, 2005) incluindo os dejectos animais e as águas de limpeza.

Também neste caso se deve lembrar que se trata de um valor indicativo já que depende não só de características inerentes aos animais, como sejam raça, idade, peso, sexo, etc. bem como da quantidade de águas de limpeza, bastante variável em função do manejo utilizado.

Segundo Mateus (2008) estes efluentes representam na região Alentejo um potencial de produção de biogás de aproximadamente 36000 m³ por dia.

5.3.4 Resíduos sólidos urbanos

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente existem no Alentejo 6 aterros, 18 estações de transferência e 5 de triagem (DOG/DRU, 2007). A gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é efectuada pelos municípios ou associações de municípios, podendo a gestão do

sistema ser concessionada a qualquer empresa, e a entidades multimunicipais, cujos sistemas são geridos por empresas concessionárias de capitais maioritariamente públicos.

É o caso da GESAMB, empresa responsável pela gestão e exploração do sistema intermunicipal de resíduos sólidos do distrito de Évora e que procede à recolha selectiva, tratamento e valorização dos RSU de vários municípios (www.gesamb.pt). Outros exemplos são a AMAGRA (www.ambilital.pt), AMCAL, VALNOR (www.valnor.pt) e RESIALENTEJO (www.resialentejo.pt) que operam noutros distritos do Alentejo. Estas recolheram um total de cerca de 277×10^3 ton de RSU em 2005 (DOGR/DRU, 2007).

Destes cerca de 50 % (Russo, 2003) são de origem orgânica e portanto possíveis de serem utilizados para a produção de energia (biogás)

5.3.5 Resíduos provenientes da actividade agro-industrial

Na Estratégia Nacional para os Efluentes Agro-Pecuários e Agro-Industriais encontram-se identificadas as zonas de maior pressão ambiental e os núcleos de acção prioritária (ENEAPAI, 2007). No que diz respeito às agro-indústrias no Alentejo assumem especial importância os lagares, queijarias, e adegas. Quanto aos lagares os núcleos definidos para o Alentejo (D e E), representando no seu conjunto cerca de 24% da produção de azeite, apresentam duas situações distintas sendo que na primeira a maioria dos efluentes são introduzidos nos colectores municipais enquanto que na segunda são libertados directamente para as linhas de água.

No que se refere às queijarias identificadas a maioria lança os efluentes nas linhas de água desconhecendo-se se existe algum tipo de tratamento prévio, o mesmo acontecendo com as adegas.

5.3.6 Processos de conversão de biomassa em energia

Os processos de conversão de biomassa em energia são muito diversos e, como já se referiu, o mais popular é a queima directa de biomassa sólida destinada à produção de energia térmica e eléctrica. Outra das formas de valorização da biomassa é a sua conversão em biocombustíveis. Estes são líquidos ou gasosos e os mais comuns são: etanol, metanol, biodiesel e biogás. Os processos pelos quais se faz essa conversão podem ser classificados em: pirólise, gasificação, processos bioquímicos ou processos químicos.

A pirólise é a decomposição térmica de matéria orgânica através do seu aquecimento em ambiente fechado e sem oxigénio ou outros reagentes, excepto, possivelmente vapor de água.

A gasificação é a conversão, em atmosfera pobre em oxigénio, da matéria orgânica num gás de síntese.

Os processos bioquímicos são a decomposição dos resíduos orgânicos numa atmosfera deficiente em oxigénio com a produção de metano (digestão anaeróbica) ou fermentação controlada para a produção de álcoois (metanol e etanol).

Por último, nos processos químicos encontra-se a transesterificação dos óleos vegetais ou gordura animal para a produção de biodiesel.

O biogás é composto por uma mistura de gases (na sua maioria metano) e pode ser armazenado e transportado facilmente como o gás natural. É um combustível líquido, sendo a sua queima menos poluente que a do carvão ou biomassa. É produzido por digestão anaeróbica ou fermentação de matéria orgânica que inclui estrume, lamas de ETAR, resíduos sólidos urbanos ou outra matéria biodegradável.

Os álcoois, dos quais os mais importantes são o metanol e o etanol, podem ser produzidos por fermentação de resíduos de plantas. O etanol é um líquido incolor, pode ser obtido a partir de muitos tipos de resíduos, mas os mais importantes são a cana-de-açúcar, o milho e a madeira. Este álcool pode ser directamente utilizado em motores

de combustão interna ou ser misturado com gasolina, formando o denominado gasool. Existe ainda a possibilidade da sua utilização para o fabrico de aditivos à gasolina. O metanol é também um líquido incolor e pode ser produzido a partir de qualquer substância que contenha carbono. Os processos de produção mais habituais são se síntese a partir do gás natural. Pode também ser sintetizado a partir do gás proveniente da gasificação de biomassa.

O biodiesel é obtido a partir de óleos como o de colza ou de girassol através de um processo químico de transesterificação. Surge como uma possibilidade muito interessante para a reciclagem de óleos alimentares usados, permitindo dar uma valorização energética a estes resíduos. O biodiesel é actualmente utilizado em motores Diesel sem estes necessitarem de qualquer modificação ou para aquecimento de edifícios.

Refira-se que um vasto leque de produtos químicos pode ser co-produzido a partir da biomassa. A aposta nas biorefinarias, cujo conceito é semelhante ao das actuais refinarias, mostra-se um caminho promissor. Numa biorefinaria pode produzir-se ao mesmo tempo produtos químicos, combustível líquido e gerar calor e electricidade.

5.3.7 O caso da Mitra (Évora, Portugal)

Na Herdade da Mitra, propriedade da Universidade de Évora, destacam-se a actividade silvo-pastoril no sobcoberto do montado de azinheira e sobreiro. Possui 280 ha e é gerida pelo Centro de Estudos e Experimentação da Mitra (CEEM).

A quase totalidade da área de solos é ocupada por floresta com um número de árvores por hectare baixo, sendo as espécies predominantes os sobreiros, azinheiras e oliveiras. Com base nos pressupostos de Luz et al. (2005), a estimativa de produção de resíduos florestais da Herdade da Mitra é de cerca de 110 ton/ano. Actualmente, o destino que é dado a esses resíduos de floresta é o de servirem de pagamento para a manutenção do montado.

Refira-se que, dadas as excelentes características de combustão dos maiores resíduos provenientes das podas das azinheiras e sobreiros, o seu preço de mercado é elevado, sendo o seu destino a venda para uso em lareiras domésticas e indústrias alimentares tradicionais. Em geral, os resíduos mais pequenos (ex., ramos finos e folhas) são empilhados e queimados, sendo as suas cinzas espalhadas no campo.

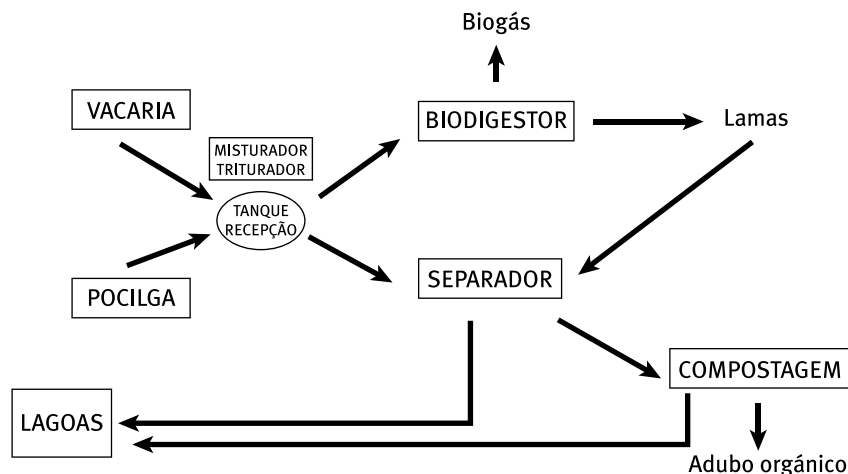
A ocupação agrícola da Herdade da Mitra é essencialmente composta por pastagens permanentes e forragens anuais em algumas das folhas com menor densidade florestal, não havendo disponibilidade de resíduos para aproveitamento energético.

Para além de resíduos florestais e agrícolas, o CEEM produz resíduos orgânicos provenientes das actividades pecuárias. Estes são de dois tipos: sólidos, resultantes da mistura dos dejectos animais com materiais das camas e líquidos, resultantes da mistura de dejectos com águas de limpeza.

Actualmente os dejectos sólidos e restos das camas são acumulados junto à zona onde se encontram os cavalos, para posterior espalhamento no solo. Quanto aos efluentes líquidos da vacaria e pocilga são directamente depositados nas lagoas sem qualquer tratamento prévio. Tal significa uma carga orgânica demasiado elevada e que acaba por contribuir para a poluição da Ribeira de Valverde. Segundo um estudo elaborado por GIBB (2005) a carga orgânica média é de aproximadamente: $CBO_5 - 104 \text{ kg dia}^{-1}$, $CQO - 207 \text{ kg dia}^{-1}$, $SST - 155 \text{ kg dia}^{-1}$, $N - 20 \text{ kg dia}^{-1}$ e $P - 6,5 \text{ kg dia}^{-1}$.

O biodigestor dimensionado para o Projecto PETER constitui uma solução para o tratamento e valorização dos efluentes líquidos da pocilga, da vacaria e adega. Em alternativa estes efluentes poderão ser canalizados até um separador de fases, sendo que a fase líquida irá depois para as lagoas, já com muito menor carga orgânica e a fase sólida irá para a zona de compostagem ou nitreira.

Maneio de Efluentes da vacaria e da pocilga da Mitra



Fonte:
Basch et al. (2007)

5.3.8 Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Prof. Vasco Fitas da Cruz a colaboração na fase inicial do projecto e ao Prof. Gottlieb Basch toda a informação prestada sobre a Herdade da Mitra.

5.3.9 Referências

- Basch, G.; Baptista, F.; Cruz, V.F.; Rosa, R.N.; Serrano, J.M.; Fonseca, P.D. e Ramos, N., 2007, “Relatório do Grupo de Trabalho para o Maneio de Efluentes da Herdade da Mitra”, Universidade de Évora, 9 p.
- Collares-Pereira, M, 1998, “Energias Renováveis, a Opção Inadiável”, SPES – Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Lisboa, Portugal, 256 p.
- DGRF, 2006a, “Plano Regional do Ordenamento Florestal do Alentejo Central”, DGRF – Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Portugal, 193 p.
- DGRF, 2006b, “Plano Regional do Ordenamento Florestal do Alentejo Litoral”, DGRF – Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Portugal, 166 p.
- DGRF, 2006c, “Plano Regional do Ordenamento Florestal do Alto Alentejo”, DGRF – Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Portugal, 187 p.
- DGRF, 2006d, “Plano Regional do Ordenamento Florestal do Baixo Alentejo”, DGRF – Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Portugal, 253 p.
- DGRF, 2007, “Inventário Florestal Nacional”, DGRF – Direcção-Geral dos Recursos Florestais, Portugal.
- DOGR/DRU, 2007, “Sistemas de Gestão de RSU. Dados gerais, valorização e Destino Final. Infraestruturas e Equipamentos”, Agência Portuguesa do Ambiente, Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional, 42 p.
- ENEAPAI, 2007, “Despacho nº 8277/2007”, Ministérios do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, 46 p.
- GIBB, 2005, “Despoluição da Ribeira de Valverde – Évora. Relatório Final”, CCDRA, 77 p.
- Gonçalves, M.S., 2005, “Gestão de Resíduos Orgânicos”, Sociedade Portuguesa de Inovação, 104 p.
- IEA, 2004, “World Energy Outlook 2004”, IEA – International Energy Outlook, Paris, França, 570 p.

- Luz, L., Dias, J., Alvarenga, B., Beja, N. e Canada, J., 2005, “Spatial Analysis of Energy Wood Distribution using GIS. Example from Portugal”, ESAB, Portugal, 45 p.
- MADRP, 2007a, “Áreas de Olival do Alentejo”, MADRP – Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- MADRP, 2007b, “Áreas de Fruteiras – Representatividade das Principais Espécies Frutícolas”, MADRP – Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- MADRP, 2007c, “Áreas Vitícolas do Alentejo”, MADRP – Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- MADRP, 2007d, “Anuário Pecuário 2006/07”, MADRP – Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- Mateus, T. “A Suinicultura e a Fermentação Anaeróbica: o potencial energético do biogás através de efluentes da agro-pecuária”, Biomassa e Biocombustíveis, Mestrado de Energias Renováveis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 10 p., retirado da Web, Agosto 2008.
- Russo, M., 2003, “Tratamento de Resíduos Sólidos”, Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 196 p.
- Vieira, A., Franco, C., Marques, F., Rosa, F. e Monsanto, M., 2005, “Avaliação do Potencial de Biomassa da Região do Algarve”, AREAL e INETI, Portugal, 112 p.

5.4 PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA INTEGRADA A PARTIR DE VÁRIAS FONTES RENOVÁVEIS, SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO E SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO/ CONTROLO AUTOMÁTICO

João Figueiredo¹, João Martins²

¹ CEM/IDMEC, Universidade Évora, R. Romão Ramalho, 59; 7000-671 Évora, Portugal, (jfig@uevora.pt)

² CEM/CTS – Universidade Nova Lisboa; 1049-001 Lisboa, Portugal, (jf.martins@fct.unl.pt)

5.4.1 Resumo

Embora as energias renováveis sejam encaradas actualmente com enorme optimismo e potencial apresentam ainda uma enorme desvantagem relativamente às tradicionais fontes de energia fóssil que é o seu difícil planeamento, em virtude da imprevisibilidade associada às condições climáticas.

O desenvolvimento recente dos sistemas de supervisão e controlo e a sua generalizada aplicabilidade a outros domínios tecnológicos permitem a utilização desta tecnologia para a monitorização, armazenamento e controlo da produção de energia eléctrica a partir de fontes renováveis. Com efeito, a capacidade de avaliar (medir) ambos o consumo e a geração instantânea de energia eléctrica, permite um controlo mais eficaz das instalações geradoras de energia e um aumento da sua eficiência de produção, bem como um balanceamento optimizado entre as necessidades de produção e de consumo.

A estratégia de supervisão e controlo apresentada é composta por uma rede industrial de autómatos programáveis (PLC) controlando localmente cada instalação energética. Estes controladores locais estão associados a uma rede industrial *Master-Slave* tornando deste modo acessível toda a informação operacional, relativamente a cada unidade de produção. Hierarquicamente acima desta rede industrial encontra-se um sistema de supervisão e aquisição de dados, normalmente designado de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que permite a monitorização e o controlo remoto de toda a instalação, através de uma interface gráfica de utilização fácil e amigável.

Esta estratégia de controlo e monitorização remota, aplicada à gestão energética, foi simulada com base nos requisitos do novo Parque Experimental Transfronteiriço de Energias Renováveis (PETER) que está a ser actualmente implementado na Universidade de Évora.

5.4.2 Introdução

A utilização das energias renováveis tem tido um incremento significativo desde a crise do petróleo nos anos 70 em que, de um modo geral, todas estas formas de energia passaram a ser consideradas como uma potencial alternativa aos recursos petrolíferos finitos da Terra (Elhadidy, 2000).

Todavia um problema comum, recorrente, das energias renováveis é a sua forte imprevisibilidade, dado a sua estreita dependência dos factores climáticos.

Usualmente, o que se procura estabelecer são sistemas complementares formados por várias fontes energéticas, tendo a máxima preponderância nas energias renováveis, mas mantendo, no entanto, sistemas de geração convencionais para suprir as necessidades energéticas, sempre que as outras fontes alternativas não gerem a potência suficiente.

Outra alternativa será sobredimensionar instalações de uma única fonte energética e usar sistemas sofisticados de armazenamento de energia (Denholm, 2004), de modo a esta energia armazenada poder compensar os períodos de insuficiente produção. Esta alternativa revela-se, no entanto, do ponto de vista económico bastante mais desfavorável.

Há no entanto soluções em que existe a necessidade insubstituível de assegurar o armazenamento de energia, por razões de segurança, existindo actualmente uma diversidade considerável de tecnologias de armazenamento, à disposição do projectista, dependendo da amplitude e autonomia de energia que se pretenda assegurar (Kaldellis, 2007), (Kaiser, 2007).

O sistema de produção proposto baseia-se na exploração maioritária de fontes energéticas renováveis, em associação com sistemas de armazenamento de energia, conforme é ilustrado na Figura 1.

Actualmente, os desenvolvimentos verificados nos sistemas de comunicação têm estimulado a dissiminação de sistemas localmente distribuídos. Estes sistemas distribuídos são depois centralmente controlados por um sistema de supervisão usualmente denominado de SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Esta estratégia de controlo automático está hoje implementada nos mais variados domínios, desde a agricultura, à indústria, à domótica, etc. (Figueiredo, 2005, 2007, 2008).

No caso dos sistemas automáticos de Gestão de Energia off-grid o que se procura é, conhecendo a procura de energia eléctrica instantânea, através da medição on-line do seu consumo, actuar nos sistemas de produção de modo a atribuir a mínima quota de produção aos sistemas termo-eléctricos, sem contudo, descuidar a capacidade de produção, a qualidade da energia fornecida e a eficiência da sua produção.

A estratégia de supervisão e controlo apresentada neste estudo é composta por uma rede industrial de autómatos programáveis (PLC) controlando localmente cada instalação energética. Estes controladores locais estão associados a uma rede industrial Master-Slave tornando deste modo acessível toda a informação operacional relativa a cada unidade de produção. Hierarquicamente acima desta rede industrial encontra-se o sistema de supervisão e aquisição de dados, SCADA que permite a monitorização e o controlo remoto de toda a instalação, através de uma interface gráfica de utilização fácil e amigável.

Esta estratégia de controlo e monitorização remota, aplicada à gestão energética, foi simulada com base nos requisitos do novo Parque Experimental Transfronteiriço de Energias Renováveis (PETER) que está a ser actualmente implementado na Universidade de Évora.

O Parque Experimental PETER, de energias renováveis, é resultado do financiamento obtido de um projecto de investigação europeu com infra-estruturas a serem construídas na Universidade de Évora (Portugal) e na Universidade da Estremadura (Espanha). A infra-estrutura portuguesa é, neste momento, composta por uma unidade solar fotovoltaica (10 KW), por um gerador eólico (1 KW) e por uma unidade de biomassa (75 KW).

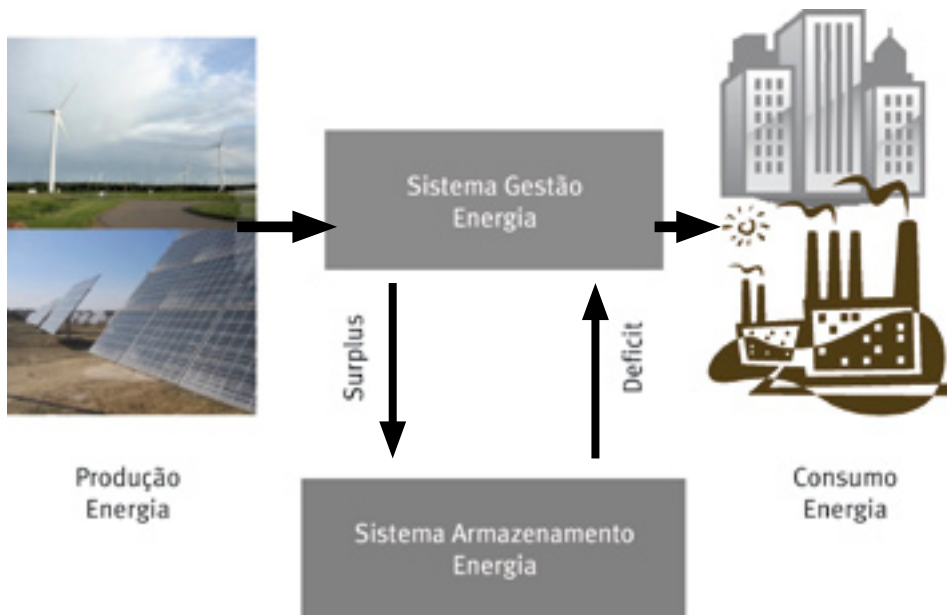


Figura. 1

Sistema integrado de produção de energia eléctrica

5.4.3 Modelização do Sistema

O sistema de geração de electricidade abordado nesta análise é composto por várias unidades de produção independentes, descentralizadas, com diferentes fontes de energia: energias renováveis (fotovoltaico, vento e biomassa). Este sistema contempla ainda uma unidade de armazenamento de energia. Na figura 2 é ilustrada a interligação eléctrica dos componentes deste sistema.

A necessidade de armazenar energia para depois utilizar sob a forma de energia eléctrica é um problema que remonta aos primórdios da utilização da própria energia eléctrica. Os sistemas mais clássicos datam da década de 60 e baseavam-se em baterias electroquímicas. Desde então tem-se assistido a forte desenvolvimento dos sistemas de armazenamento e conversão de energia, quer na evolução das próprias baterias quer no aparecimento de formas alternativas de armazenar e utilizar essa energia.

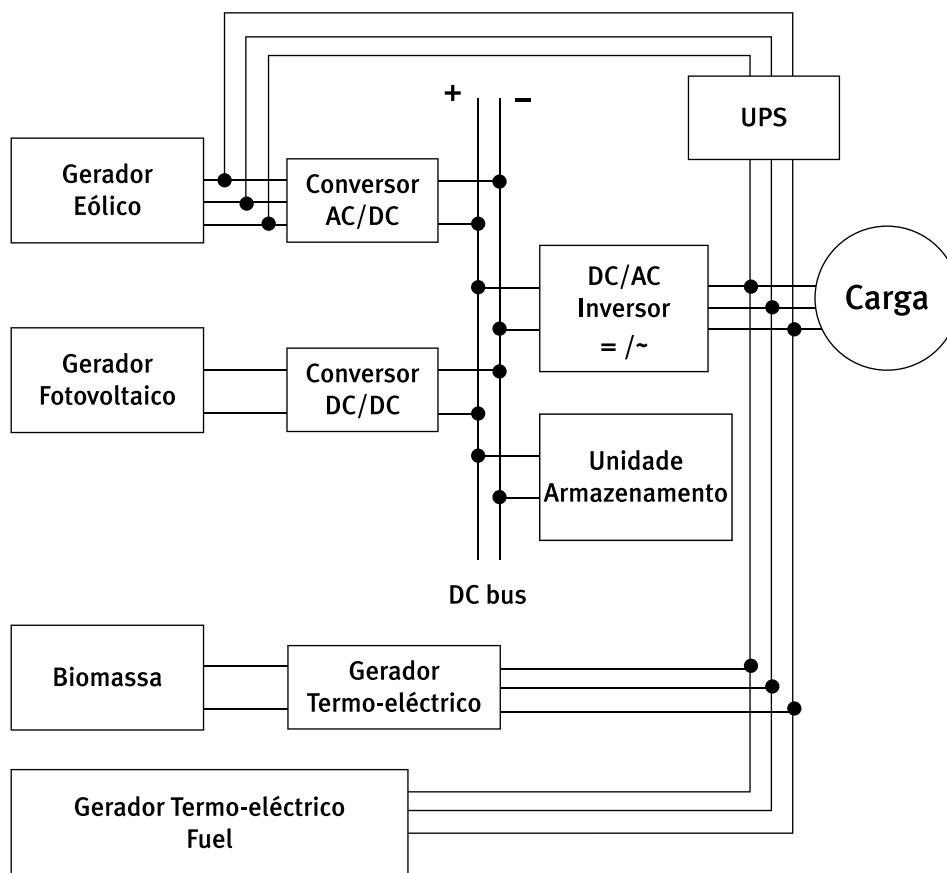


Figura 2
Esquema funcional de sistemas de geração com fontes múltiplas

Os dois aspectos mais importantes quando se fala em utilização de energia armazenada são a duração do fornecimento e a potência desse fornecimento de energia. Estas especificações estão, obviamente, associadas ao custo do sistema de armazenamento. A selecção do sistema de armazenamento apropriado para uma determinada aplicação depende fundamentalmente das necessidades dos consumidores que se pretendem assegurar. A tabela 1 ilustra os sistemas usuais de armazenamento de energia bem como a sua gama de aplicabilidade, dependente da carga eléctrica a alimentar.

A estratégia adoptada para a gestão do sistema de geração com múltiplas fontes energéticas foi assente na comunicação das várias fontes, geograficamente dispersas, através de uma rede industrial *Master-Slave* gerida por autómatos programáveis (PLC). Com efeito, cada unidade de geração de energia é controlada, localmente, por um autómato programável constituindo um nó na rede de comunicação.

Hierarquicamente acima da rede operacional *Master-Slave*, encontra-se um sistema de supervisão e controlo SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que expande enormemente as capacidades de comunicação do sistema, permitindo o controlo remoto da instalação, o registo de eventos, a gestão de alarmes, etc...

5.4.4 Estratégia de Armazenamento

A utilização de pilhas de combustível apresenta como vantagens rendimento elevado e fraco impacto ambiental. Uma pilha de combustível pode ser definida como um equipamento electroquímico que providencia uma transformação contínua de energia química em energia eléctrica (com libertação de calor) desde que lhe seja fornecido o combustível e o comburente. O combustível geralmente utilizado é o hidrogénio, ou um composto que o tenha na sua constituição, e o comburente é o oxigénio.

É importante notar que o hidrogénio não é uma fonte de energia mas sim um vector de energia. No entanto, as pilhas de combustível são uma promissora fonte de energia distribuída, apresentando já aplicações tão diversas como: equipamentos aeroespaciais, sistemas de alimentação ininterrupta, sistemas de telecomunicações, indústria automóvel, sistemas de co-geração, sistemas rurais autónomos.

Tipo SAE	Gama de Potência
Bateria <i>Li-ion</i>	100 KW to 1 MW
Bateria <i>Lead-acid</i>	100 KW to 10 MW
Bateria <i>Na-S</i>	100 KW to 10 MW
<i>Fuel cells</i>	100 KW to 10 MW
<i>Flow Batteries</i>	100 KW to 10 MW
Água sobre-elevada	1 MW to 100 MW

Tabela 1 Sistemas Armazenamento de Energia (SAE)

A tensão de saída de uma pilha de combustível é contínua e pode apresentar gamas de variação entre os 24 e os 150Vdc. Não existe, entre os vários fabricantes, uma uniformização das gamas das grandezas eléctricas. Uma pilha de combustível comporta-se como uma fonte de tensão contínua, pelo que (habitualmente) se torna necessário converter esta tensão contínua numa tensão alternada compatível com os equipamentos usuais.

No caso de sistemas rurais autónomos com armazenamento de hidrogénio, quando há excedente de energia, esta é encaminhada para o electrolisador que produz uma quantidade de hidrogénio proporcional à intensidade da corrente que lhe é entregue. O hidrogénio produzido será encaminhado para um depósito revestido com hidretos metálicos. Quando a produção for insuficiente para alimentar a carga, a energia em falta é fornecida por uma pilha de combustível que usa, como fonte energética, o hidrogénio previamente armazenado.

A ideia básica do controlo do armazenamento de hidrogénio considera que o electrolizador produz hidrogénio sempre que exista um excesso de energia eólica e/ou fotovoltaica. Sempre que estas energias se apresentam insuficientes para satisfazer a carga, o hidrogénio armazenado será utilizado para compensar o deficit de energia. Vários enclavamentos de segurança serão considerados na versão final do sistema de controlo. A título de exemplo refira-se que a pilha de combustível e o electrolizador não poderão, em caso algum, funcionar em simultâneo.

Figura 3

Esquema de princípio da integração de uma pilha de combustível num circuito eléctrico



A metodologia de controlo prevista, apresentada na figura seguinte, funcionará da seguinte forma. Em primeiro lugar, as energias produzida e consumida são calculadas. Se a energia produzida compensar a consumida os seguintes factores devem ser ponderados. Se o armazenamento de hidrogénio se encontra completo o electrolizador deve ser desligado. Caso contrário, e se a energia produzida o permitir, o electrolizador deve ser ligado. O electrolizador deve ser desligado caso a energia produzida não compense a consumida. Neste caso a pilha de combustível deve ser ligada e a sua regulação ajustada para compensar o consumo.

5.4.5 Sistema de Supervisão e Controlo Automático

A estratégia de controlo adoptada para o Sistema Automático de Gestão da Energia baseia-se na implementação de um controlador em cascata.

O anel de controlo interior é executado pela rede industrial de autómatos (PLC), em que cada nó controla localmente cada unidade de produção de electricidade. O anel de controlo exterior é executado pelo sistema de supervisão SCADA. Na figura 4 é apresentado o esquema funcional desta estratégia de controlo.

Cada Autómato (PLCi) detém vários parâmetros de controlo da instalação, cuja alteração poderá ser feita localmente através de Painéis de Operação HMI (Human Machine Interface) ou remotamente via Autómato Master.

O Autómato Master está conectado a um computador servidor através de uma interface RS232/ MPI (Multi-Point Interface). A aplicação informática SCADA corre no computador servidor, que sendo um nó da rede Internet, permite o acesso remoto, com níveis de autorização pré-estabelecidos, à plataforma de controlo e supervisão do sistema de Gestão de Energia desenvolvido.

Todas as variáveis de processo estão disponíveis no sistema SCADA, dado estas variáveis serem acessíveis ao nível inferior da rede *Master-Slave*, via comunicação Profibus/DP (SIEMENS, 2001a). Na figura 5 é ilustrada a arquitectura de comunicação implementada.

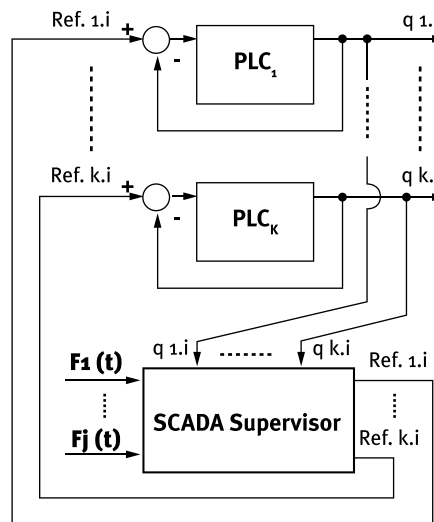


Figura 4
Estratégia de Controlo do Sistema de Gestão da Energia

Anel de Controlo Externo: SCADA

Um sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) é utilizado como uma ferramenta de desenvolvimento que permite a concepção de aplicações informáticas de controlo e supervisão complexas para uma grande variedade de domínios tecnológicos, fundamentalmente no campo dos processos industriais multivariáveis.

A principal característica de um sistema SCADA é a sua capacidade para comunicar com equipamento de controlo, sensores e actuadores no terreno, através de uma rede industrial pré-estabelecida. Na estratégia de controlo implementada, a aplicação SCADA executa o anel de controlo exterior. Neste anel exterior podem ser implementados algoritmos de controlo com elevada complexidade pois o tempo de processamento não é obstáculo, visto a gestão operacional da instalação ser da responsabilidade do anel interno de controlo, assegurando-se deste modo a elevada velocidade de processamento requerida (PLC-Controlo local).

Nesta aplicação o anel SCADA é responsável pelo planeamento óptimo das potências eléctricas atribuídas a cada unidade geradora, minimizando os custos operacionais de produção. Neste caso, estando em presença de um sistema híbrido com fontes renováveis e fontes convencionais, a minimização do funcional de custos conduz à minimização da potência atribuída às unidades convencionais.

As potências geradas por unidade de produção são monitorizadas on-line, bem como o consumo geral de energia, medido no quadro eléctrico principal, dado a instalação em estudo ser independente da rede de abastecimento de energia eléctrica (sistema off-grid).

De modo a garantir a estabilidade e a qualidade da potência eléctrica fornecida, unidades de armazenamento de energia e unidades de back-up a fuel foram consideradas na aplicação SCADA.

O anel de controlo SCADA tem a capacidade de actualizar o problema de optimização com os valores reais on-line, lidos do sistema de produção com fontes múltiplas de energia.

O funcional seleccionado para a minimização dos custos de produção de energia eléctrica, na instalação estudada, é apresentado seguidamente (eqs. 1 a 7):

$$\min J = \sum_i c_{PVi} y_{PVi} + \sum_j c_{windj} W_{windj} + \sum_l c_{oil} W_{oil} \quad (1)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_i y_{PVi} + \sum_j y_{windj} + \sum_l y_{oil} + \sum_n y_{ESSn} \geq y_{demand} \quad (2)$$

$$y_{ESSk} \leq y_{maxk} \quad (3)$$

$$E_{maxk} \geq y_{ESSk} \times \Delta t_k \quad (4)$$

$$0 \leq y_{PVk} \leq y_{PVkact} \quad (5)$$

$$0 \leq y_{windk} \leq y_{windkact} \quad (6)$$

$$0 \leq y_{oilk} \quad (7)$$

Em que:

c_{PVi} = custo de produção da unidade fotovoltaica;

c_{windi} = custo de produção da unidade eólica;

c_{oili} = custo de produção da unidade termo-eléctrica a fuel;

y_{PVi} = potência eléctrica atribuída à unidade fotoeléctrica;

y_{windi} = potência eléctrica atribuída à unidade eólica;

y_{oili} = potência eléctrica atribuída à unidade termo-eléctrica a fuel;

y_{ESSi} = potência eléctrica atribuída à unidade de armazenamento;

y_{demand} = potência eléctrica total a fornecer;

y_{maxk} = potência eléctrica máxima disponível na unidade de armazenamento k;

E_{maxk} = energia eléctrica máxima disponível na unidade de armazenamento k, assumindo um fornecimento médio de y_{ESS} , por um periodo de tempo Δt ;

y_{PVkact} = potência eléctrica instantânea disponível na unidade fotoeléctrica k;

$y_{windkact}$ = potência eléctrica instantânea disponível na unidade eólica k;

Analisando o critério de minimização é claro que a alteração instantânea da quantidade de energia fornecida pelas unidades de energia renovável (y_{PVkact} , $y_{windkact}$) implica

um novo balanço energético e a re-avaliação das condições óptimas de operacionalidade. Com efeito, no caso da oferta de energia suplantar o consumo, os sistemas de armazenamento entram em carga ($y_{ESSk} < 0$). No caso da procura exceder a oferta energética, então o deficit energético terá que ser suprido pelos sistemas de armazenamento ($y_{ESSk} > 0$) ou pelo fornecimento a partir das unidades termo-eléctricas de back-up ($y_{oilk} > 0$).

O algoritmo de optimização desenvolvido no Sistema de Gestão Automática de Energia foi implementado pelo controlador do anel externo SCADA, em associação com a aplicação MATLAB (Mathworks, 2005). A comunicação entre as aplicações SCADA e MATLAB foi implementada recorrendo ao protocolo DDE (Dynamic Data Exchange). Este protocolo de comunicação desenvolvido nos anos 90 é ainda muito comum e permite a troca de dados entre duas aplicações informáticas independentes em execução simultânea (Cliente e Servidor).

No sistema desenvolvido a aplicação MATLAB é o Cliente, dado esta aplicação iniciar a comunicação, e a aplicação SCADA é o servidor, dado esta aplicação responder às solicitações do Cliente.

Na figura 5 é ilustrado o fluxo de informação implementado no Sistema de Gestão Automática de Energia. Nesta figura é explícita a coexistência de quatro diferentes protocolos de comunicação implementado no sistema desenvolvido. (LAN, DDE, MPI, PROFIBUS).

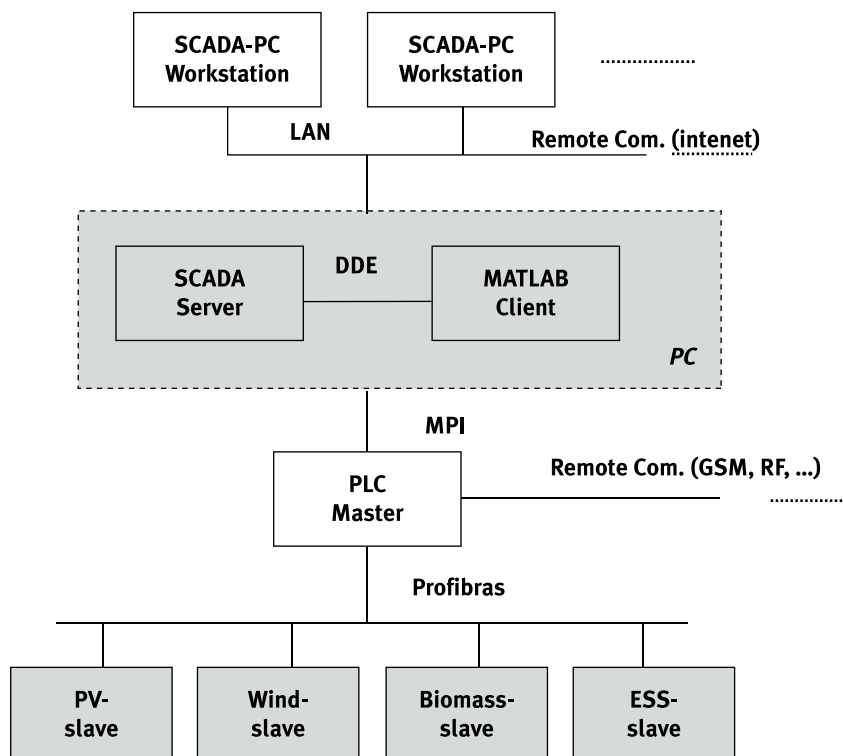


Figura 5

Arquitectura de comunicação implementada

Anel de Controlo Interno: Rede de Autómatos (PLC)

O anel de controlo interno foi implementado recorrendo a uma rede industrial de autómatos programáveis. Estes autómatos (PLC) são responsáveis pela gestão local e operacional das várias unidades de produção e armazenamento de energia que compõem o Sistema Automático de Gestão de Energia.

Os vários algoritmos de controlo local implementados foram programados recorrendo à linguagem de autómatos *Ladder Diagram* [9].

5.4.6 Protótipo Experimental e Resultados

Foi realizado um protótipo experimental com o objectivo de se testar a estratégia de controlo desenvolvida neste trabalho.

A rede industrial foi implementada com 5 autómatos programáveis (PLC): um autómato *Master* e 4 autómatos *Slave* para cada unidade de produção/ armazenamento de energia (Fotovoltaico-*slave*, Eólico-*slave*, Biomassa-*slave*, Armazenamento-*slave*). Na figura 5 é ilustrada esta configuração.

O protótipo implementado pretende testar, com alguma proximidade, o futuro parque experimental de energias renováveis, PETER, a ser instalado na Universidade de Évora.

O parque PETER é constituído por uma unidade solar fotovoltaica (10 KW), por um gerador eólico (1KW) e por uma unidade de biomassa (75KW). A unidade de biomassa será a unidade de produção de energia eléctrica controlável.

O principal objectivo dos testes realizados foi a avaliação da capacidade do sistema compatibilizar o fluxo de informação proveniente dos vários canais de comunicação (LAN, DDE, MPI, PROFIBUS).

Os resultados aqui apresentados ilustram fundamentalmente as várias *interfaces* gráficas desenvolvidas (*GUI Graphical User Interfaces*) para a interacção: Sistema – Operador.

O problema de optimização apresentado na secção 4.1, equações 1 a 7, foi resolvido recorrendo ao software Matlab, na sua ferramenta Optimization Toolbox, através da função específica *fmincon* (Mathworks, 2005).

O sistema SCADA utilizado para implementar este Sistema Automático de Gestão da Energia, foi desenvolvido permitindo o acesso condicionado dos utilizadores, através do seu grau de responsabilidade pré-definido. Nesta aplicação foram configurados três níveis de utilizador: Operador, Supervisor e Administrador.

Foram desenvolvidos vários Menus para a aplicação SCADA. As principais características que um Menu deve apresentar são: simplicidade, facilidade de interpretação e rapidez na visualização da informação importante (alarmes, accionamentos, níveis críticos, etc...).

A figura 6 apresenta uma das várias interfaces gráficas desenvolvidas para o controlo e monitorização automáticas de uma instalação de multi-fontes energéticas, conforme é o caso do Parque Experimental Peter.

Dado a aplicação SCADA desenvolvida ser acessível pela internet, todos os dados acessíveis nos Menus são também acessíveis remotamente, via rede internet.

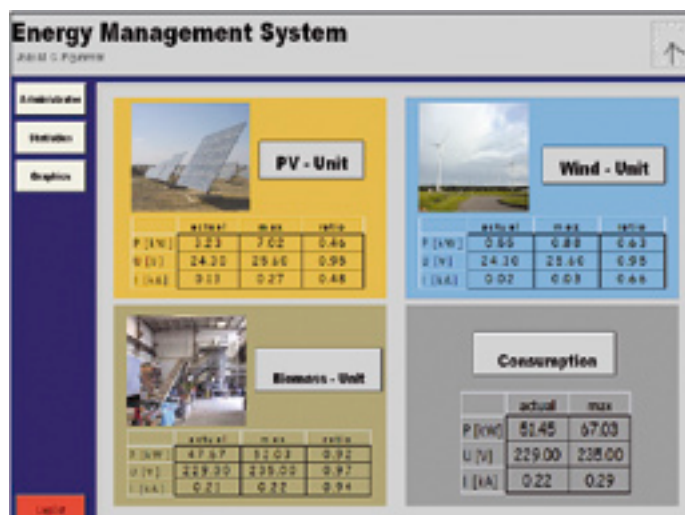


Figura 6

GUI: Vista geral do Sistema de Produção distribuído

Na figura 6 é apresentada uma vista geral do sistema completo de produção de energia, com a informação principal relativa ao consumo e à produção das várias unidades distribuídas (fotovoltaico, eólico e biomassa).

Neste menu (fig. 6) a informação disponível em tempo real (*on-line*), relativa a cada unidade de produção é: valores actual e máximo diários, de tensão, de corrente e de potência eléctrica fornecidas, bem como a eficiência energética da instalação (*ratio* = valor actual/valor max.).

5.4.7. Conclusões

A estratégia de supervisão e controlo apresentada é composta por uma rede industrial de autómatos programáveis (PLC) controlando localmente cada instalação energética. Estes controladores locais estão associados a uma rede industrial *Master-Slave* tornando deste modo acessível toda a informação operacional, relativamente a cada unidade de produção. Hierarquicamente acima desta rede industrial encontra-se um sistema de supervisão e aquisição de dados, normalmente designado de SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) que permite a monitorização e o controlo remoto de toda a instalação, através de uma interface gráfica de utilização fácil e amigável. A estratégia de controlo adoptada para o Sistema Automático de Gestão da Energia baseia-se na implementação de um controlador em cascata.

O anel de controlo interior é executado pela rede industrial de autómatos (PLC), em que cada nó controla localmente cada unidade de produção de electricidade. O anel de controlo exterior é executado pelo sistema de supervisão SCADA.

Nesta aplicação o anel SCADA é responsável pelo planeamento óptimo das potências eléctricas atribuídas a cada unidade geradora, minimizando os custos operacionais de produção.

Esta estratégia de controlo e monitorização remota, aplicada à gestão energética, foi simulada com base nos requisitos do novo Parque Experimental Transfronteiriço de Energias Renováveis (PETER) que está a ser actualmente implementado na Universidade de Évora.

5.4.8 Bibliografia

- AXEDA (2002). *Wizcom for Windows and Internet 8.2 User Guide*, AXEDA Systems, 2002.
- Denholm P., Kulcinski, G. (2004). *Life Cycle Energy Requirements and Greenhouse Gas Emissions from Large Scale Energy Storage Systems*. *Energy Conversion Manag.* 2004, 45(13-14), pp. 2153-2172.
- Elhadidy, M., Shaahid S. (2000), *Parametric Study of Hybrid (wind+solar+diesel) power generating Systems*. *Renew Energy* 2000; 21 (2), pp. 129-139.
- Figueiredo, J., M. Botto (2005). *Automatic Control Strategies Implemented on a Water Canal Prototype*. *Proc. 16th IFAC World Congress, Praha, Czeq Republic*.
- Figueiredo, J., Sá da Costa J. (2007). *A Concept for an Operational Management System for Industrial Purposes*. *Proc. IEEE Intl. Symposium on Intelligent Signal Processing, Madrid, Spain, ISBN 1-4244-0830-X/07, 2007 IEEE*.
- Figueiredo, J., Sá da Costa J. (2008). FIGUEIREDO, J., SÁ COSTA, J. [2008] “Operative Platform Applied to Building Automation”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 23 (2008), pp. 639-653.
- Kaldellis, J. (2007). *An Integrated Model for Performance Simulation of Hybrid Wind-Diesel Systems*. *Energy* 32 (2007), pp. 1544-1564.
- Kaiser, R. (2007). *Optimized Battery-Management System to Improve Storage Lifetime in Renewable Energy Systems*. *J. Power Systems* 2007, 168, pp. 58-65.

- Mathworks (2005). Matlab Simulink 7.1 (R14), Mathworks, 2005.
- SIEMENS (2000). Simatic S7-300 Programming with Step 7, SIEMENS, Ed. 08/2000.
- SIEMENS (2001a). Simatic Net NCM S7 for Profibus/ FMS SIEMENS, 12/2001.
- SIEMENS (2001b). Simatic S7-300 Ladder Logic (LAD) for S7-300, SIEMENS, 2001.
- SIEMENS (2001c). Simatic S7 Prodave S7 Toolbox for PGs and PCs, SIEMENS, 2001.

ACÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

6

Filomena Pinto^{1,2}

I. Gulyurtlu²

António Joyce²

Isabel Paula Marques²

Carlos Rodrigues²

Susana Viana²

¹ filomena.pinto@ineti.pt

Tel: 351 21 092 4786. Fax: 351 21 716 6569

² INETI, Estrada do Paço do Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa, PORTUGAL



6.1 RESUMO

O Parque Experimental de Energias Renováveis da Herdade da Mitra, em Évora integra um sistema de microgeração de abastecimento eléctrico em Portugal, através da integração de diferentes unidades utilizadoras de fontes renováveis: fotovoltaica, eólica, gasificação e digestão anaeróbia. Neste capítulo serão abordadas estas diversas tecnologias, referindo os principais conceitos teóricos que suportam cada uma delas, antes de descrever cada uma das instalações projectadas no âmbito do projecto PETER.

Na instalação de Gasificação a biomassa florestal existente na zona do Parque é utilizada para a produção de um gás. O gasificador de leito fluidizado tem uma capacidade térmica de 350 kW e um consumo de cerca de 80 kg/h de biomassa. Após as operações de limpeza do gás obtido, para melhorar as respectivas características, este é convertido em energia através de um grupo gerador, que é constituído por um motor de combustão interna “dual-fuel” acoplado a um gerador eléctrico de 70 kWe.

A instalação de Digestão Anaeróbia do Parque destina-se à conversão da matéria orgânica da biomassa húmida em biogás, tendo como fonte os efluentes agro-pecuários e industriais que são produzidos na Herdade e/ou na região Alentejana. A unidade de digestão anaeróbia é um protótipo de demonstração que corresponde a um digestor híbrido de fluxo ascendente, com 15 m³ de capacidade. As unidades de digestão anaeróbia e de gasificação partilham os sistemas de colecta e de tratamento do gás produzido e da sua conversão em energia eléctrica e térmica. A energia eléctrica é, por seu turno, injectada no circuito de microgeração e a energia térmica é valorizada através da manutenção da temperatura de digestão da unidade anaeróbia. Assim, a gestão integrada de diversas tecnologias, vocacionadas para a remoção da carga poluente contida nos efluentes agro-pecuários e para a reutilização dos fluxos obtidos, apresenta-se como um sistema de valorização energética e agrícola de recursos endógenos da região onde são produzidos.

O sistema Fotovoltaico tem uma potência de pico de 10 kW, permitindo a demonstração de diferentes tecnologias de conversão. O sistema Fotovoltaico encontra-se ligado à rede eléctrica da herdade da Mitra.

6.2 PALAVRAS CHAVE:

Gasificação, biomassa florestal, digestão anaeróbia, efluentes agro-pecuários e industriais, valorização energética e agrícola, biogás, fotovoltaico, sistemas ligados à rede.

6.3 INTRODUÇÃO

A crescente utilização de energia, necessária ao desenvolvimento económico-social das sociedades modernas, arrasta consigo problemas ambientais, quer a nível local, quer global, que são uma das questões chave do desenvolvimento sustentado. Neste contexto, a produção de energia por novos processos de conversão com recurso a fontes renováveis, como é o caso da biomassa, permite reduzir a emissão de gases de estufa, associada aos combustíveis fósseis, e simultaneamente possibilita a diminuição da dependência energética face aos combustíveis de origem fóssil.

O Parque Experimental de Energias Renováveis da Herdade da Mitra, em Évora enquadra-se na perspectiva de mudança do actual padrão de produção de energia, pela utilização de recursos energéticos endógenos da região do Alentejo, nomeadamente a valorização de biomassa com origem florestal e na agro-pecuária. Este Parque apresenta um sistema de microgeração de abastecimento eléctrico, integrando diferentes unidades utilizadoras de fontes renováveis: fotovoltaica, eólica, gasificação e digestão anaeróbia. Na Figura 1 apresenta-se um esquema geral das várias unidades projectadas para o Parque.

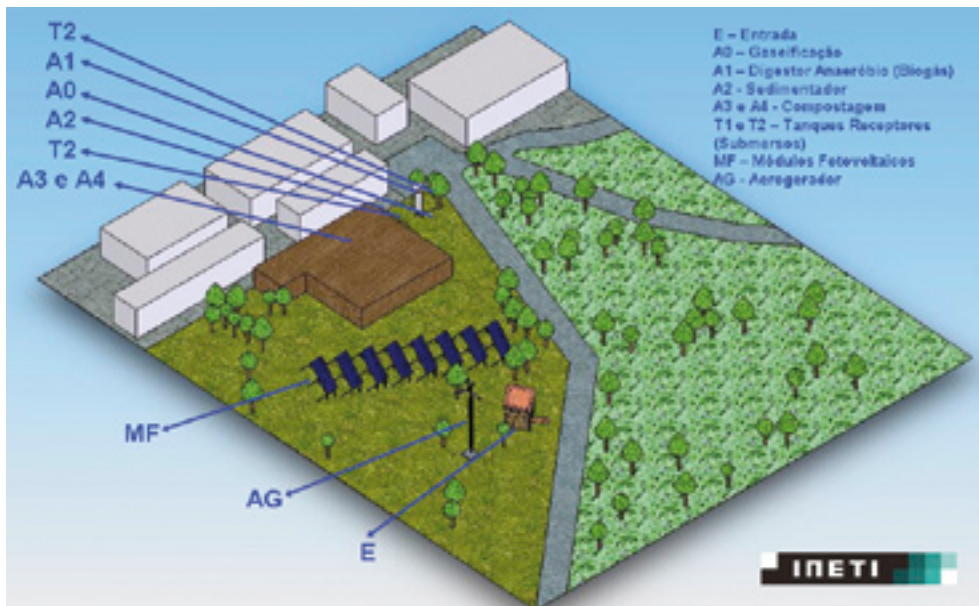


Figura 1
Unidades de
Produção de
Energia do Sistema
de Microgeração,
Herdade da
Mitra - Évora

O processo de digestão anaeróbia surge a montante com o objectivo de maximizar a conversão do material orgânico em energia. A jusante do digestor anaeróbio, um parque de compostagem e um sistema de lagoas permitem, respectivamente, efectuar a estabilização da fracção sólida e líquida do substrato digerido. O biogás obtido é tratado em conjunto com o fluxo gasoso resultante da unidade de gasificação e, por fim, convertido num grupo de co-geração para fornecimento de energia eléctrica e térmica à instalação. A energia eléctrica decorrente é integrada no sistema de microgeração enquanto que a energia térmica é, por seu turno, utilizada na manutenção da temperatura de funcionamento do digestor anaeróbio (Figura 1). A instalação de digestão anaeróbia caracteriza-se, assim, por ter um funcionamento integrado no desempenho de outras unidades funcionais, com os objectivos de promover a valorização de todos os fluxos decorrentes do tratamento dos efluentes e de tornar rendível o equipamento instalado no Parque.

O processo de gasificação tem como função valorizar energeticamente a biomassa florestal através da produção de um gás, rico em hidrogénio, monóxido e dióxido de carbono e metano. Este gás pode ser usado como combustível ou em síntese química. No Projecto PETER foi considerada a utilização do gás como combustível num motor de combustão interna acoplado a um gerador eléctrico de 70 kWe. O gasificador de leito fluidizado é auto-suficiente do ponto de vista energético e foi projectado para um consumo de cerca de 80 kg/h de biomassa, a qual é gasificada com ar.

Na instalação de digestão anaeróbia do Parque a matéria orgânica da biomassa húmida dos efluentes agro-pecuários e industriais que são produzidos na Herdade da Mitra e/ou na região é convertida em biogás, utilizando-se um digestor híbrido de fluxo ascendente, com 15 m³ de capacidade. Os gases produzidos pelas duas instalações, gasificação e digestão anaeróbia, são processados em unidades comuns de tratamento, para melhorar as suas características e assegurar um gás com a qualidade necessária para permitir a sua conversão em energia eléctrica, através dum motor de combustão interna. A fracção sólida do fluxo degradado por anaerobiose é sujeita a compostagem, originando um produto final (composto) de aplicação agrícola. A fracção líquida, após a respectiva estabilização em lagoas, comporta ainda importantes nutrientes de valor para a agricultura e, por isso, utilizável como água residual em rega.

Os sistemas solares fotovoltaicos convertem directamente a luz do Sol (fotões) em energia eléctrica. Para este fim são utilizados materiais semicondutores que face à radiação

solar incidente dão origem a uma corrente eléctrica. Várias tecnologias estão hoje disponíveis para este fim mas a tecnologia baseada na utilização de células de silício cristalino como material semiconductor domina hoje o mercado em cerca de 90% .

Estes sistemas tiveram as suas primeiras aplicações ao nível espacial e hoje são das principais tecnologias para a conversão de energia solar em energia eléctrica. As suas principais características são a sua grande fiabilidade, a ausência de produção de ruído ou de gases poluentes e de efeito de estufa, a sua modularidade, manutenção baixa e tempos de vida elevados da ordem dos 30 anos, fazendo com que estes sistemas sejam particularmente interessantes para a produção distribuída de energia eléctrica a partir de um recurso renovável.

As aplicações vão deste os pequenos equipamentos como as máquinas de calcular com potências de poucos W até às centrais Fotovoltaicas de vários MW, passando pelos sistemas de sinalização, monitorização, emergência e de bombagem e purificação de água.

Neste capítulo focam-se os principais aspectos da tecnologia de conversão fotovoltaica, referindo-se no final alguns exemplos de aplicação ao nível da Península Ibérica e como os sistemas a instalar no âmbito do Parque Experimental Transfronteiriço de Energias Renováveis (PETER) poderão ter um efeito dinamizador desta tecnologia e proporcionar desenvolvimento económico ao nível das regiões da raia hispano-portuguesa.

6.4 GASIFICAÇÃO DE BIOMASSA

6.4.1 Principiais objectivos

No projecto PETER pretende-se aplicar a tecnologia de gasificação a resíduos de biomassa para produção de energia eléctrica. Pretende-se desenvolver uma instalação que inclua um gasificador de leito fluidizado e um motor de combustão interna. O gasificador tem uma capacidade térmica de 350 kW e um consumo de cerca de 80 kg/h de biomassa. A biomassa de origem florestal é gasificada com ar e o gás produzido sofre uma limpeza exaustiva por forma a produzir um gás com a qualidade necessária para poder ser utilizado em motores de combustão interna. O grupo gerador será composto por um motor de combustão interna dual-fuel acoplado a um gerador eléctrico de 70 kWe.

6.4.2 Processos e reacções de gasificação

A gasificação é um processo termoquímico que permite converter resíduos de biomassa num gás combustível, rico em hidrogénio, monóxido e dióxido de carbono e metano. Este gás pode também ser usado em síntese química, tal como será abordado mais adiante, por este motivo o gás de gasificação é também designado por gás de síntese. Os produtos da gasificação são maioritariamente gasosos, embora também se produza uma pequena fracção de sólidos, que contêm a matéria mineral existente no resíduo processado e alguma matéria carbonosa não gasificada. Em termos ambientais, a gasificação é uma tecnologia alternativa e mais limpa de produção de energia, pois é um processo mais vantajoso do que a incineração, uma vez que ao operar em meio redutor, não origina óxidos de azoto ou de enxofre, nem dioxinas. A gasificação é realizada em presença do agente de gasificação que pode ser constituído por ar, oxigénio ou vapor de água e a uma temperatura que normalmente oscila entre 800 e 900°C. O ar (ou oxigénio) é introduzido em pequena quantidade, apenas para possibilitar a combustão de uma pequena fracção da biomassa utilizada, de modo a gerar a energia necessária para serem atingidas as temperaturas de gasificação, mas garantindo uma atmosfera redutora no meio reaccional.

A combustão difere da gasificação pela relação ar/combustível que é utilizada. Durante a combustão utiliza-se uma quantidade de oxigénio superior à estequiométrica e forma-se essencialmente dióxido de carbono (CO_2) e vapor de água (H_2O). Na gasificação é utilizada uma quantidade sub-estequiométrica de oxigénio e ocorre uma sequência complexa de reacções (André, 2007), as quais envolvem sucessivas etapas como: secagem, desvolatilização ou pirólise, redução e oxidação, tal como esquematizado na Figura 2. Na desvolatilização por acção térmica, libertam-se compostos voláteis e formando-se um resíduo carbonoso. Os compostos voláteis são constituídos por: H_2S , NH_3 , CO , H_2 , CH_4 , fenóis, alcatrões e alguns hidrocarbonetos leves. Numa etapa seguinte ocorre a gasificação do resíduo carbonoso em presença de oxigénio e vapor de água, formando-se gás de síntese.

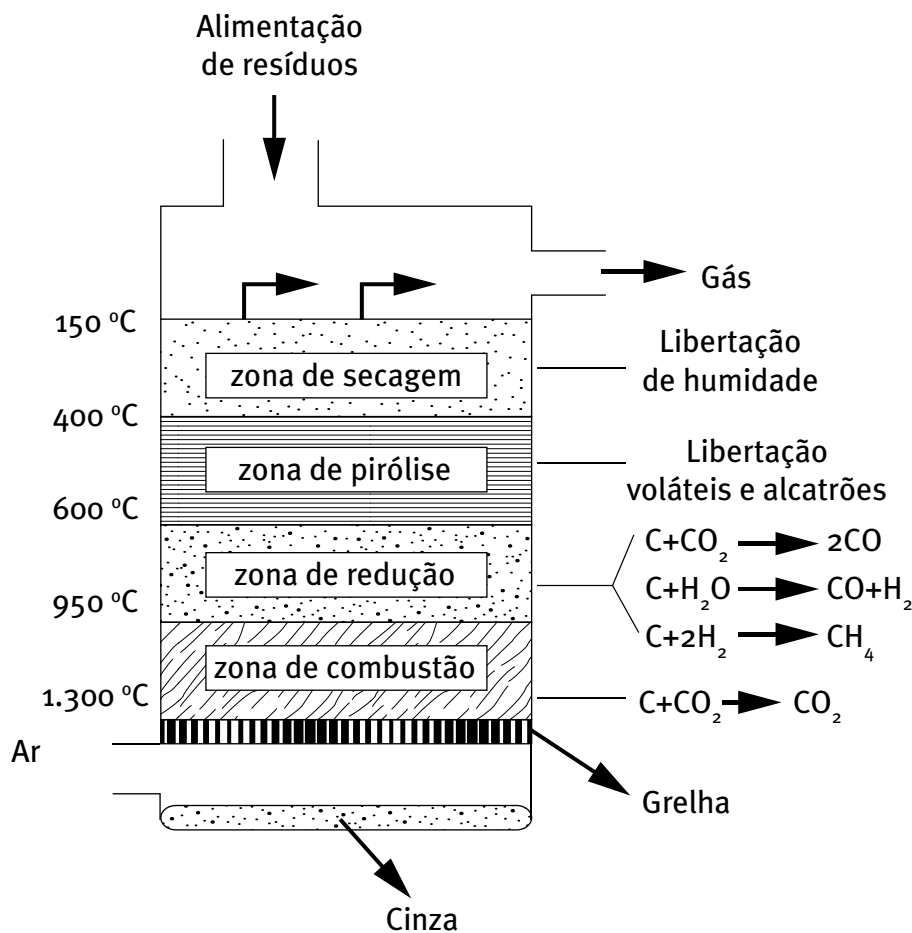
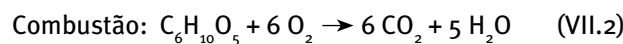
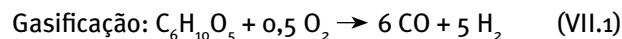
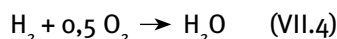
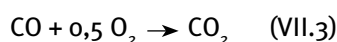


Figura 2
Esquema das principais reacções que ocorrem durante a gasificação de biomassa

Admitindo uma biomassa com a composição da celulose ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$), podem ilustrar-se as diferenças entre a combustão e a incineração pelas reacções (1) e (2).



A combustão converte a energia química da biomassa em calor, libertando uma energia média de cerca de 17,5 MJ/kg. A gasificação converte o potencial energético da biomassa num gás combustível, sendo a energia envolvida bastante menor 1,85 MJ/kg. O gás de gasificação pode também ser posteriormente queimado, libertando sob a forma de calor da energia química contida no gás, através das reacções de combustão (3) e (4):



É mais vantajoso dispor de um combustível gasoso do que de um sólido, pois o primeiro é mais fácil de transportar e de manusear, a sua combustão é mais eficiente devido aos menores excessos de ar, e também mais limpa, originando menores emissões de poluentes, (menos poluentes gasosos e ausência de partículas) e há menores deposições de materiais, como fuligem, nas superfícies de permuta de calor. Por outro lado, gases podem ter utilizações mais diversificadas do que os combustíveis sólidos, para além das caldeiras, podem ser queimados em motores de combustão interna e turbinas a gás, podem ser aplicados em ciclos combinados para produção de energia eléctrica e podem ser utilizados em síntese química.

A gasificação de resíduos de biomassa é um processo atractivo (Franco et al., 2003), pois para além das vantagens apontadas, é uma tecnologia adequada à produção descentralizada de energia e utiliza uma fonte de energia renovável permitindo simultaneamente a eliminação de resíduos.

Para além de biomassa florestal: pinho, eucalipto, azinho, etc., a gasificação pode processar: misturas de fibras têxteis, espumas, papel, etc., resíduos sólidos urbanos (RSU), combustíveis derivados de resíduos (CDR), lamas de ETAR (estações de tratamento de resíduos), bagaço de azeitona, óleos alimentares usados, misturas de plásticos: PE, PP, PS, etc. (Pinto et al., 2005 and 2003). Estes resíduos podem ser usados isoladamente, misturados entre si ou com combustíveis fósseis, como carvão (André et al., 2005).

6.4.3 Sistemas de gasificação

Existem essencialmente três tipos de gasificadores: gasificadores de leito fixo, de leito fluidizado e de leito em suspensão, os quais diferem entre si pelo modo como se processa o movimento dos sólidos dentro do gasificador, tal como é apresentado na Tabela 1.

Nos gasificadores de leito fixo as etapas de secagem, desvolatilização, redução e combustão ocorrem separadamente e em pontos distintos do reactor. Existem três tipos diferentes destes gasificadores: contra-corrente, equicorrente e correntes cruzadas, que diferem entre si pela forma como a biomassa e o agente de gasificação são alimentados ao gasificador e pelo modo como o gás produzido é retirado do reactor. Cada um destes tipos de gasificadores apresenta diferentes características de operação e de emissões.

	Leito Fixo	Leito Fluidizado	Leito em Suspensão
Tipo de Combustível	Sólido	Sólido	Sólido e líquido
Granulometria (combust. sólido)	5-50 mm	0,5-5 mm	< 500 µm
Tempo de Residência do Combustível	15-30 min	5-50 s	1-10 s
Temperatura de Saída do Gás	400-500°C	700-900 °C	900-1 400 °C

Tabela 1 Tipo de gasificadores e principais características

Nos gasificadores de leito em suspensão é utilizado vapor, geralmente misturado com oxigénio, para arrastar a biomassa pulverizada. As partículas de biomassa encontram-se suspensas numa corrente gasosa no interior do reactor e por obtêm-se tempos de residência muito curtos e não existem zonas diferenciadas de reacção ao longo do gasificador, tal como se verifica nos reactores de leito fixo. Este tipo de reactor atinge temperaturas elevadas, normalmente superiores a 1500°C, por isso as cinzas fundem e são arrefecida por um banho de água, antes de serem retiradas pelo base do reactor na

forma de grânulos. Com as velocidades de gasificação são muito elevadas, não se verificam os problemas de aglomeração que podem existir noutros sistemas. Estes gasificadores têm as desvantagens de apresentarem uma operação complexa e mais difícil do que os de leito fixo, requerem um combustível pulverizado, e ainda grandes superfícies de permuta de calor.

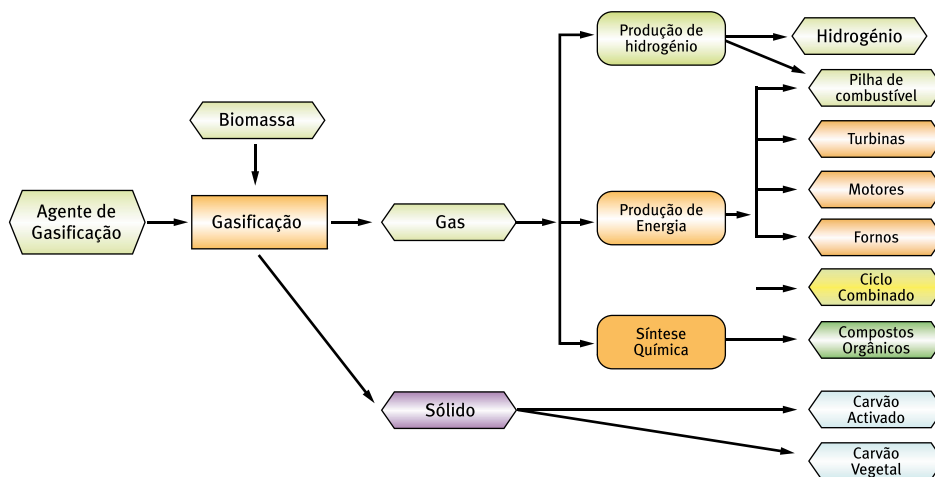
Ao contrário do que se verifica nos gasificadores de leito fixo, no gasificador de leito fluidizado não existem zonas de reacção distintas, devido à fluidização do leito, a secagem, desvolatilização e gasificação ocorrem simultaneamente em todo o leito do reactor, atingindo-se condições praticamente isotérmicas. O agente de gasificação é introduzido no reactor através de um distribuidor e a uma velocidade suficiente para manter o material do leito num estado de suspensão, com características semelhantes às um fluido.

A gasificação em leito fluidizado apresenta várias vantagens, nomeadamente evita a formação de escória de cinzas, pois a temperatura de operação (800-900°C) é inferior à temperatura de fusão da maior parte das cinzas existentes nos combustíveis, o que possibilita a utilização de alguns resíduos de biomassa, como bagasso de azeitona, que não podem ser usados em gaseificados de leito fixo. Por outro lado, os gasificadores de leito fluidizado facilitam o controle da temperatura de operação e os fenómenos de transferência de massa e de calor, devido natureza turbulenta do leito fluidizado e à elevada miscibilidade dos materiais. Este tipo de reactores apresenta uma elevada retenção de contaminantes no leito fluidizado utilizando no leito adsorventes contendo cálcio e por têm menor emissão de poluentes. Pelas vantagens referidas, este tipo de gasificadores tem sido bastante utilizado sobretudo para processar diferentes tipos de resíduos.

6.4.4 Potencialidades do gás de gasificação

O gás de gasificação pode ter diferentes utilizações, as quais se podem agrupar fundamentalmente em três tipos, como combustível, para produção de hidrogénio ou como matéria prima em síntese química. Na Figura 3 apresentam-se as principais utilizações do gás produzido por gasificação.

Figura 3
Esquema ilustrativo das principais aplicações do gás produzido por gasificação de biomassa



A capacidade do gás para ser usado como combustível está essencialmente dependente do seu poder calorífico e este depende do agente de gasificação utilizado no processo de gasificação. Como o uso de oxigénio puro é caro, normalmente utiliza-se ar e por isso o gás produzido fica diluído com o azoto do ar, e o seu poder calorífico é baixo, apresentando valores entre 4 e 6 MJ/Nm³, comparado com os 36 MJ/Nm³ do gás natural (Franco et al., 2003). Este processo tem a vantagem da energia necessária ao processo poder ser fornecida pela combustão parcial da biomassa utilizada. O baixo poder calorífico do gás obtido não permite o seu transporte ou armazenamento, pelo que só pode ser usado no

local onde é gerado. Para conseguir um rendimento global mais elevado, deve recuperar-se o calor sensível dos gases de combustão, pela sua utilização em operações de aquecimento, secagem, etc. ou através do seu uso em geradores de vapor, fornos, etc.

A gasificação em presença de oxigénio produz um gás com um poder calorífico mais elevado, na gama 10-15 MJ/Nm³. Em presença de vapor também se obtém um gás de médio poder calorífico com valores que podem oscilar entre 13-20 MJ/Nm³. Este gás de médio poder calorífico pode ser transportado economicamente a longas distâncias e usado para a geração de calor e/ou energia eléctrica. Mas neste caso é necessário fornecer ao gasificador o calor necessário ao processo, o que pode ser feito por uma câmara de combustão exterior ao reactor de gasificação, sendo o calor produzido, fornecido ao gasificador através de um material inerte (areia) que circula entre o gasificador e a câmara de combustão ou através da utilização de um permutador de calor no interior do leito.

O gás de gasificação pode também ser utilizado em síntese química após remoção dos constituintes prejudiciais à sua posterior utilização, por meios mecânicos (filtração, separação por ciclones, etc.), por lavagem com água, por absorção física ou química e por conversão termoquímica (Pinto et al., 2008). A razão H₂/CO que o gás de síntese deve apresentar depende da síntese química em que ele vai participar. Para aumentar o valor desta razão, parte do gás pode ser enviado a um reactor, onde em presença de vapor e de um catalisador adequado, o CO é convertido em CO₂ e H₂, sendo o excesso de CO₂ posteriormente removido. Este gás purificado pode ser utilizado em síntese de metanol ou síntese de Fischer-Tropsch. Alternativamente, pode promover-se a conversão de CO em H₂, de modo a obter hidrogénio, o qual pode ser utilizado para alimentar uma pilha de combustível ou sofrer combustão para produção de energia.

Na síntese de metanol, o CO, CO₂ e H₂ são convertidos em metanol em presença de catalisadores e de condições de temperatura e de pressão adequadas. O metanol obtido é purificado por destilação e pode ser posteriormente convertido em gasolina pelo processo Mobil MTG, que utiliza zeólitos. Vários tipos de compostos podem ser obtidos conforme as reacções químicas que ocorrem, as quais dependem das condições operatórias e dos catalisadores utilizados. As misturas de hidrocarbonetos obtidas apresentam predominantemente temperaturas de ebulição semelhantes às da gasolina, embora se forme uma pequena fracção de GPL (gás de petróleo liquefeito) e uma quantidade ainda menor de gás.

Na síntese de Fischer-Tropsch obtém-se uma vasta gama de hidrocarbonetos (parafinas e olefinas) e de produtos oxigenados (álcoois), os quais dependem dos catalisadores e das condições operatórias utilizadas. Quando ocorre a formação de uma vasta gama de produtos é necessário proceder à sua separação. A utilização de zeólitos mais selectivos e de condições de pressão e temperatura adequadas permite aumentar a quantidade e a qualidade da gasolina produzida e reduz a formação de hidrocarbonetos pesados e de produtos oxigenados, o que permite eliminar ou simplificar as operações de separação dos compostos obtidos por Fischer-Tropsch.

6.4.5 Instalação de gasificação existentes no INETI

Durante a última década, o Departamento de Engenharia Energética e Controlo Ambiental do INETI tem vindo a desenvolver trabalhos de investigação na área da gasificação de biomassa com tecnologia de leito fluidizado através da utilização das suas instalações de gasificação para a execução do trabalho experimental. Para cada tipo de resíduos de biomassa gasificado têm sido optimizadas as condições experimentais de gasificação, que permitam maximizar a produção de gás e simultaneamente melhorar as suas características, minimizando a libertação de contaminantes e de sub-produtos sólidos. Para o efeito, o INETI possui duas instalações de gasificação, uma delas é apresentada na Figura 4 (a) e permite alimentar cerca de 10 g/min de resíduos de biomassa a um reactor com 1,5 m de altura e um diâmetro de 0,08 m. Após abandonar o gasificador o gás produzido passa por um ciclone para remoção de partículas sólidas, seguindo depois para um sistema de arrefecimento e de filtros, após o que são recolhidas amostras de gás

para análise química. O outro reactor de gasificação tem com 3,5 m de altura e o, 2m de diâmetro e permite gasificar cerca de 8 kg/h de resíduos, Figura VII.4 (b).



Figura 4
Instalações
de gasificação
existentes
no INETI

As partículas sólidas transportadas pelo gás produzido pelo gasificador piloro são também removidas num ciclone. A fim de melhorar as características do gás e de remover alguns dos seus constituintes indesejáveis, O INETI acoplou a esta instalação dois reactores apresentados na Figura 5. O primeiro utiliza um leito de dolomite e tem como objectivo a remoção de H_2S e de HCl e o segundo utiliza um catalisador de níquel e destina-se à eliminação de alcatrões e de amónia (Pinto et al., 2007). O INETI pretende no futuro acoplar a esta instalação um novo reactor que permita enriquecer o gás em hidrogénio, através da conversão de CO em CO_2 e H_2 , tal como descrito em 2.4.



Figura 5
Instalações
de gasificação
existentes
no INETI

6.4.6 Descrição da instalação de gasificação do projecto PETER

O trabalho desenvolvido pelo INETI e os conhecimentos adquiridos na área de gasificação de resíduos de biomassa permitiram projectar, no âmbito do projecto PETER, uma instalação para a produção de energia eléctrica a partir da biomassa, utilizando um sistema de gasificação de leito fluidizado integrado com um motor a gás. O gasificador de leito fluidizado tem uma capacidade térmica de 350 kW e um consumo de cerca de 80 kg/h de biomassa. Neste reactor, a biomassa de origem florestal é gasificada com ar, sendo o processo auto-suficiente do ponto de vista energético. O gás produzido sofre uma limpeza exaustiva por forma a produzir um gás com a qualidade necessária para utilização em motores de combustão interna. O grupo gerador será composto por um motor de combustão interna dual-fuel acoplado a um gerador eléctrico de 70 kWe.

A instalação proposta está apresentada no diagrama da Figura 6.

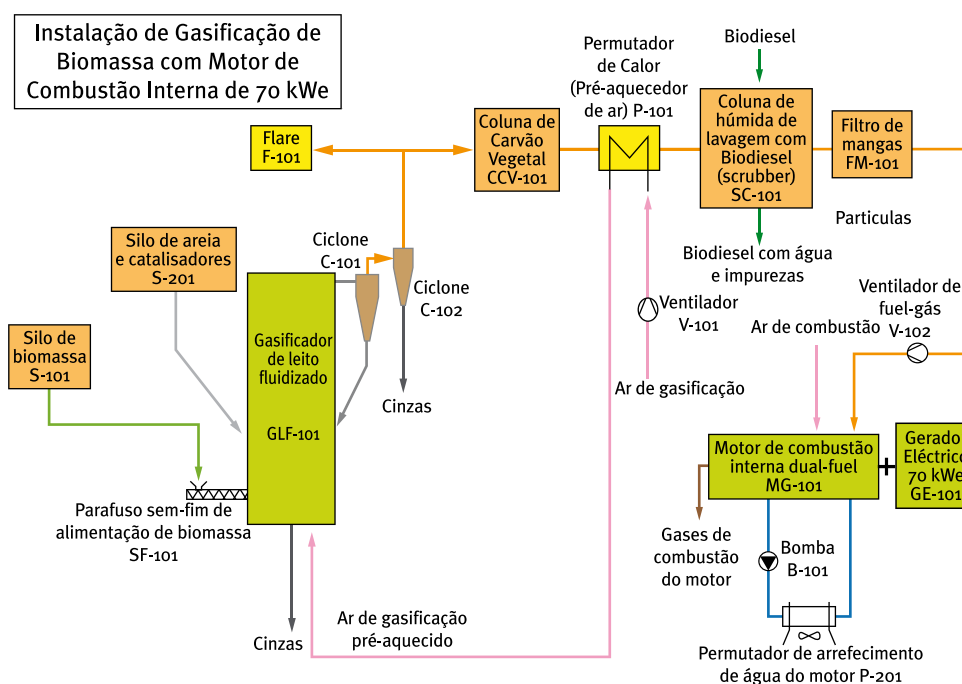


Figura 6
Diagrama da instalação de gasificação de biomassa com motor de combustão interna de 70 MWe

A instalação é essencialmente composta pelos seguintes sistemas:

- Sistema de gasificação em leito fluidizado;
- Sistema de alimentação de biomassa;
- Sistema de limpeza e condicionamento do gás;
- Grupo gerador com motor a gás;
- Sistema de combustão de gases residuais (flare ou chama de segurança).

Sistema de gasificação

O sistema de gasificação é essencialmente composta pelos seguintes componentes:

- Gasificador de leito fluidizado;
- Grupos de ciclones;
- Sistema de alimentação de ar;
- Sistema de alimentação de material do leito;
- Sistema de extracção de cinzas;
- Sistema de pré-aquecimento do gasificador.

Gasificador de leito fluidizado

O gasificador tem uma capacidade térmica de 350 kW, 8 m de altura e uma secção transversal interior de forma circular com o diâmetro de 0,7 m. O reactor é em chapa de aço revestida internamente por material refractário e externamente é envolvido em manta rígida de lã mineral, para isolamento térmico do reactor, a qual será protegida por uma chapa metálica.

O reactor pode dividir-se em 3 zonas:

- “windbox” onde o ar é introduzido e distribuído pelos injectores existentes na placa distribuidora;
- zona do leito onde ocorre a desvolatilização da biomassa alimentada;
- zona acima do leito ou “freeboard”, onde ocorrem as principais reacções químicas responsáveis pelo processo de gasificação.

A parte inferior do gasificador contém um leito de areia, cuja altura expandida é de 50 cm, sendo fluidizado com uma mistura de ar e vapor proveniente de uma placa distribuidora.

Grupos de ciclones

Os gases provenientes do gasificador passam por 2 ciclones, para maximizar a capacidade de retenção de partículas. No primeiro ciclone são recolhidas as partículas sólidas de maiores dimensões constituídas fundamentalmente por combustível não processado (carbono) e alcatrões, que serão recicladas ao gasificador. No segundo ciclone ficam retidas as partículas mais finas, constituídas por material inerte do leito e partículas de combustível, elutriadas do leito. Estes ciclones serão construídos em chapa de aço macio, são revestidos internamente por material refractário e externamente por uma manta de lã mineral, a qual será protegida por uma chapa metálica.

Sistema de alimentação de ar

O calor necessário ao processo de gasificação é fornecido a partir da combustão parcial da biomassa alimentada, com uma determinada quantidade de ar. Esta é controlada de modo a manter a temperatura desejada no interior do reactor, dependendo também da alimentação de biomassa. O ar de gasificação é alimentado utilizando um ventilador centrífugo accionado por um motor de velocidade variável. O ar é pré-aquecido no permutador de calor, de arrefecimento dos gases, antes de ser alimentado à “windbox” do gasificador, por forma a aumentar a eficiência da instalação.

Sistema de alimentação de material do leito

Na zona da “freeboard” do gasificador existe uma entrada de areia de reposição. Esta está contida num silo, sendo alimentada por gravidade para o interior do reactor, através de duas válvulas rotativas, as quais são accionadas periodicamente, conforme a extracção de material do leito pelo sistema de extracção de cinzas. Por questões de segurança, este sistema deverá ser estanque, para evitar fugas de gás combustível.

Sistema de extracção de cinzas

A extracção de cinzas do reactor é realizada periodicamente através de um sistema automatizado de extracção de cinzas, conforme a acumulação de material no leito. Também por questões de segurança, este sistema deverá ser estanque.

Sistema de pré-aquecimento

O sistema de arranque e pré-aquecimento é constituído por um queimador a gás de 250 kWt, funcionando a gás natural ou propano, localizado imediatamente acima do leito. Este sistema faz a combustão de gás no interior do reactor, para o aquecer até à temperatura de operação desejada, nos períodos de arranque e/ou avaria da mesma.

Sistema de alimentação de combustível

A biomassa florestal utilizada apresenta um diâmetro inferior a 4 mm. Esta é transportada numa correia transportadora até o silo de armazenagem com capacidade para 24 horas de operação (cerca de 10 m³). A biomassa é depois transportada por uma correia transportadora até uma tremonha localizada junto ao gasificador, a qual possui um misturador para facilitar a alimentação ao sem-fim doseador localizado no fundo da tremonha. Este sem-fim está ligado ao sem-fim de alimentação por intermédio de uma conduta possuindo 2 válvulas rotativas, de modo a manter o sistema estanque. O sem-fim é arrefecido por uma camisa de água e está localizado 25 cm acima da placa distribuidora, sendo a alimentação facilitada com ar de modo a evitar a saída de gases e areia do interior do gasificador. Por questões de segurança, este sistema deverá ser estanque, para evitar fugas de gás combustível.

Sistema de limpeza e condicionamento do gás

O tratamento do gás será essencialmente feito por via húmida, após um tratamento prévio a quente no reactor catalítico que tem carvão vegetal. O sistema integrado de limpeza e de condicionamento do gás será constituído por:

- 1 reactor catalítico com carvão vegetal de leito fixo;
- Permutador de calor;
- Coluna de lavagem com enchimento;
- Filtro de mangas;
- Ventilador do gás de biomassa.

Após os ciclones o gás é introduzido num reactor catalítico de leito fixo para converter a maior parte dos alcatrões produzidos no gasificador em hidrocarbonetos mais leves. Esta operação unitária permite também a remoção de contaminantes, como os compostos de azoto contidos no gás.

O gás proveniente destes reactores atravessa um conjunto de permutadores de calor para arrefecer o gás combustível até cerca de 250 °C e simultaneamente utilizar essa energia no pré-aquecimento do ar necessário ao processo de gasificação. O gás arrefecido é enviado a “scrubber” ou coluna húmida de lavagem com enchimento, para promover a condensação de alcatrões, e a remoção de HCl, NH₃ e partículas que o gás ainda possa conter. O gás passa depois por um filtro de mangas para reter as partículas sólidas que ainda possam existir.

Seguidamente, o gás limpo é alimentado a um ventilador, de modo a ser introduzido no motor. Estima-se que os gases produzidos por gasificação da biomassa tenham um poder calorífico superior na ordem de 6 a 8 MJ/Nm³.

Grupo gerador

O grupo gerador é composto por um motor de combustão interna dual-fuel, funcionando a uma velocidade de 1500 r.p.m., capaz de produzir o equivalente a 70 kWe aos terminais do gerador eléctrico acoplado. Será necessário um permutador de calor externo para arrefecimento do motor.

Sistema de combustão de gases residuais – “Flare”

A instalação possuirá ainda um sistema de queima de gases residuais, vulgarmente denominado “flare”, ou chama de segurança, tendo por finalidade queimar o excesso de gás produzido, por razões de segurança. Interessa otimizar o funcionamento da instalação de modo a minimizar esta quantidade de gases residuais. A “flare” deverá

queimar o gás produzido sempre que o motor ou o sistema de condicionamento do gás, estejam fora de serviço.

6.5 DIGESTÃO ANAERÓBIA DE BIOMASSA HÚMIDA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

6.5.1 Introdução

As repercussões nos agentes vitimados pela poluição, no que respeita às funções de utilização e/ou de produção, tem, ao longo das últimas décadas, originado uma crescente consciência colectiva relativa à necessidade de proteger os recursos existentes e de promover e seu aproveitamento de forma sustentável.

Portugal dependente das importações de energia embora disponha de importantes recursos energéticos endógenos. As instalações hidroeléctricas e eólicas são as principais fontes renováveis de energia eléctrica no País, continuando o potencial contido nos efluentes orgânicos para a produção de biogás a ser subaproveitado. Efectivamente, estima-se que a capacidade anual de energia eléctrica com proveniência em materiais orgânicos (168 MW, potencial de energia eléctrica de 1467 GWh) representa cerca de 3% das actuais necessidades eléctricas em Portugal. Adicionalmente, através da co-geração, um potencial de energia térmica 2106 GWh pode ainda ser recuperado (Freitas and Marques, 2008).

Tendo em conta os diversos tipos de efluentes e resíduos produzidos resultantes das diferentes actividades económicas, três sectores - a pecuária, os resíduos sólidos urbanos e águas residuais e a indústria alimentar - são identificados como os mais relevantes no que respeita ao volume de efluentes gerado e, por conseguinte, ao potencial energético neles contido. Destes sectores, a pecuária representa o potencial de produção de biogás mais elevado (Freitas and Marques, 2008). Os efluentes das explorações agro-pecuárias têm vindo frequentemente a constituir significativos contributos para a contaminação do solo envolvente às respectivas unidades de produção e das linhas de água superficiais e subterrâneas (Costa, 1999).

Tem por base estas constatações, é de todo o interesse que a proposta de tratamento de efluentes englobe diversas metodologias e procedimentos e os perspective de forma a associar as opções que, por um lado, visam fazer uso dos potenciais recursos endógenos, por outro, definam como prioritários os processos que não impliquem consumos energéticos adicionais à exploração e, por fim, possam gerar mais valias a nível local (Marques et al., 2006; 2007). Com estes pressupostos, a instalação de tratamento para a produção de biogás do Parque Experimental está associada a outros sectores com o objectivo de promover o tratamento dos efluentes orgânicos e de os valorizar através da respectiva conversão em produtos finais de interesse para a própria Instalação.

6.5.2 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo de tratamento de efluentes orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigénio e, simultaneamente, uma opção energética com reconhecidas vantagens ambientais. Um dos benefícios do processo, que cedo contribuiu para um crescente interesse por esta tecnologia, reside na conversão da maior parte da carga poluente do efluente numa fonte de energia, o biogás. O biogás é constituído por metano (60-75%) e por dióxido de carbono e outros componentes (e.g. H₂O, H₂, H₂S, azoto) em proporções bastantes inferiores. O metano contido no biogás confere-lhe conteúdo energético e possibilita a respectiva utilização como combustível gasoso em diversas aplicações.

Processo da Digestão Anaeróbia

Nos ecossistemas naturais e nos digestores anaeróbios, a matéria orgânica é biologicamente mineralizada a moléculas onde o carbono se encontra no seu estado máximo

de redução e de oxidação - metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) –, apenas quando o oxigénio molecular ou outros receptores de electrões alternativos (NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} ou SO_4^{2-}) se encontram ausentes.

A degradação da matéria orgânica em condições anaeróbias é um processo que resulta da acção de um consórcio microbiano, através do qual os compostos orgânicos e seus produtos intermédios são metabolizados em sequência e de forma interdependente. Com base nos principais produtos formados e nos grupos fisiológicos da respectiva cadeia trófica, o processo da digestão anaeróbia pode ser descrito em três etapas (Figura 7):

- 1 Fase da hidrólise e fermentação-«Bacteria fermentativas primárias», onde os polímeros orgânicos são hidrolisados a compostos susceptíveis de atravessar a membrana celular dos organismos fermentativos;
- 2 Fase da oxidação anaeróbia dos ácidos gordos a acetato - «Bacteria fermentativas secundárias», onde os ácidos como o propionato e o butirato são convertidos a acetato;
- 3 Fase metanogénea - «Archaea metanogéneas», onde os produtos decorrentes da anterior etapa, principalmente acetato e H_2 - CO_2 , são convertidos essencialmente em CH_4 e CO_2 , mistura gasosa que vulgarmente é designada por biogás.

Os polímeros orgânicos contidos na matéria orgânica são convertidos nos respectivos oligómeros e monómeros que, por sua vez, são fermentados a compostos como o acetato, o propionato e o butirato. Enquanto o acetato é directamente convertido em metano, a formação do butirato e do propionato é a resposta do sistema à acumulação do hidrogénio no meio. Apesar de em condições standard as reacções relativas à conversão do butirato e do propionato serem termodinamicamente inviáveis, elas são viabilizadas nas condições que prevalecem nos digestores anaeróbios através do eficiente consumo de hidrogénio por parte das bactérias hidrogenotróficas que, deste modo, mantêm a pressão parcial do H_2 em baixos níveis ($\sim 10^{-4}$ atm) no interior do digestor.

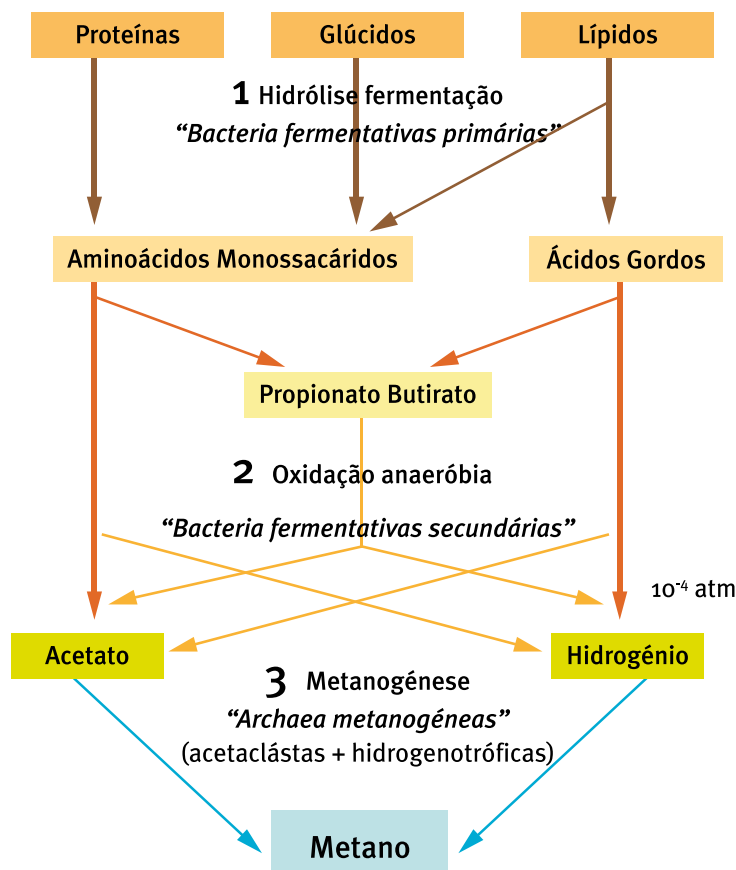


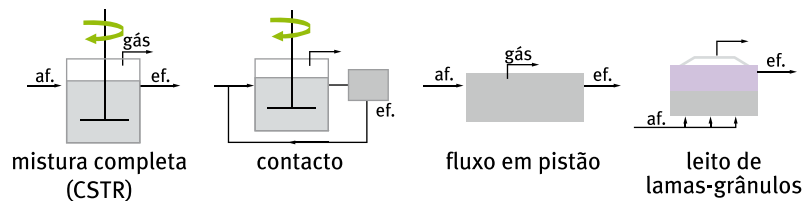
Figura 7
Digestão anaeróbia

Unidades de digestão

A evolução tecnológica dos digestores anaeróbios tem como principal factor o aumento da retenção dos sólidos biológicos, ou seja, em vez de se operar com um tempo de retenção da fracção sólida (TRS) igual à da fracção líquida (TRH), à semelhança do que acontece nos digestores de mistura completa, são desenvolvidas unidades em que o TRS passa a ser superior ao TRH. Este facto permite operar com uma maior quantidade de agregados microbianos, por unidade de volume de efluente em digestão, possibilitando obter maiores eficiências de tratamento e diminuir o volume da unidade de tratamento.

Com base na forma como a biomassa é retida, existem dois grandes grupos de digestores: os de biomassa em suspensão (sem qualquer meio de suporte microbiano) e os de biomassa imobilizada que possuem um meio de enchimento (Figura 8). No primeiro caso, além do digestor de mistura completa, existe o de contacto, onde os sólidos são sedimentados e reciclados, o de fluxo em pistão, com um movimento peristáltico induzido pela entrada do afluente, e o leito de lamas (LL). Este último, ao contrário dos anteriores, é utilizado em substratos pouco concentrados e a sua eficiência depende da formação de agregados microbianos -os grânulos- cuja elevada densidade permite que se mantenham no interior do digestor activos.

biomassa em suspensão (sem suporte)



biomassa imobilizada (com suporte)

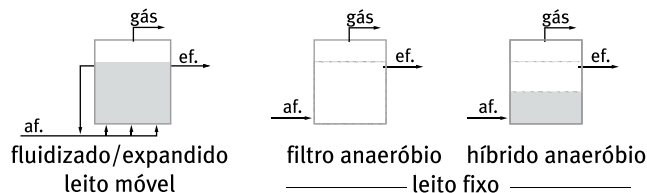


Figura 8
Digestores anaeróbios

Os meios de suporte são constituídos por diferentes materiais (siliciosos, argilosos e os poliméricos, como o plástico) e utilizados para aumentar a superfície de aderência dos microrganismos. As unidades equipadas com um meio de suporte operam em fluxo ascendente e incluem (1) as unidades de leito móvel, (2) o Filtro Anaeróbio (FA) e (3) o Híbrido Anaeróbio. Enquanto o FA é caracterizado por possuir um meio de enchimento fixo e que ocupa toda a coluna, o Híbrido, ao resultar da conjugação do FA e do LL, apenas tem enchimento na parte superior. Este último digestor surge para minimizar as desvantagens de cada uma das unidades progenitoras no que respeita à tendência do FA para formar de caminhos preferenciais e desenvolver zonas mortas e ao facto do LL ser propício a sofrer processos de lavagem do sistema, originados pela contínua saída de biomassa, quando sujeito a perturbações operacionais.

6.5.3 Instalação: valorização de biomassa húmida

A instalação de Digestão Anaeróbia do Parque de Energias Renováveis, situado na Herdade da Mitra, em Évora, caracteriza-se por um funcionamento integrado noutras unidades funcionais (Figura 9) que, de uma forma interdependente, permitem tornar rendível o equipamento instalado e promover a valorização de todos os fluxos decorrentes do tratamento dos efluentes.

O processo de digestão anaeróbia surge, assim, a montante para maximizar a conversão do material orgânico em energia. A jusante do digestor anaeróbio existe um parque de compostagem e um sistema de lagoas para efectuar a estabilização da fracção sólida e líquida do substrato digerido. O biogás obtido no processo de digestão é tratado em conjunto com o fluxo gasoso resultante da unidade de gasificação para depois ser convertido num grupo de co-geração para fornecimento de energia eléctrica e térmica à instalação. A energia eléctrica decorrente é integrada no sistema de microgeração enquanto que a energia térmica é, por seu turno, utilizada na manutenção da temperatura de funcionamento do digestor anaeróbio (Figura 9). É objectivo dos trabalhos de demonstração que, de acordo com as épocas do ano, a energia térmica excedente tenha uma aplicação adicional, com é o caso do condicionamento térmico vegetal e/ou animal.

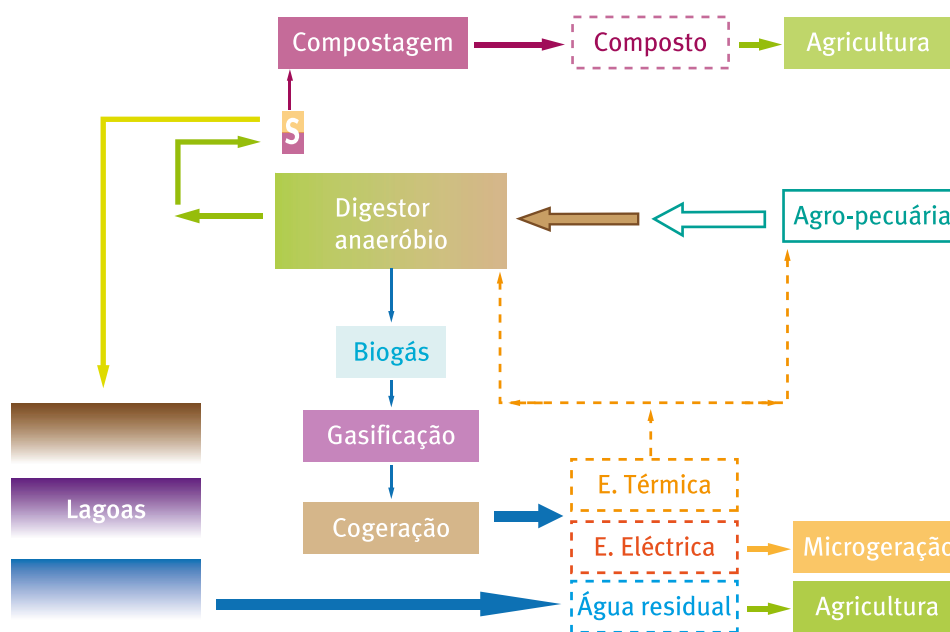


Figura 9
Valorização da biomassa húmida, Herdade da Mitra – Évora

A instalação de digestão anaeróbia destina-se à conversão da matéria orgânica em biogás, a partir dos efluentes agro-pecuários e industriais, produzidos na Herdade da Mitra e/ou na Região. É constituída por um digestor anaeróbio de fluxo ascendente - Híbrido do leito de lamas e do filtro anaeróbio -. A instalação é composta pelos seguintes elementos:

- Digestor anaeróbio
- Sistema de alimentação do digestor: afluente
- Sistema de saída do fluxo digerido: efluente
- Sistema de recolha do biogás
- Sistema de temperatura do digestor

Digestor anaeróbio

O digestor anaeróbio, com um volume total de 15 m³, tem uma forma tubular. É essencialmente constituído por um corpo central, coadjuvado por uma secção de deposição de sólidos, na sua base, e outras duas secções que se destinam à clarificação do substrato digerido e à colecta de gás.

Estas últimas secções encontram-se ajustadas sequencialmente na zona superior da coluna central, com é apresentado na Tabela 2.

O corpo central corresponde a uma coluna cilíndrica (4 m de altura x 1.75 m de diâmetro interno) que integra diversas zonas de funcionamento da unidade:

- (a) A zona de alimentação diz respeito à entrada do substrato no digestor e é realizada de forma, por um lado, a permitir uma adequada homogeneização do fluxo com o material e os aglomerados microbianos em desenvolvimento e a evitar choques térmicos, e, por outro lado, a possibilitar a deposição de partículas de maior densidade na base do digestor. A Secção de deposição de sólidos está equipada com uma toma na sua base, para possibilitar a remoção periódica do material sedimentado;
- (b) A zona intermédia corpo central corresponde ao designado leito de lamas. Nele, os consórcios microbianos, principalmente em forma de grânulos, encontram-se dispersos no material em digestão;
- (c) A existência de um leito fixo, na parte superior do corpo central, permite garantir uma maior concentração de agregados e sólidos biológicos no interior do digestor e uma melhor separação da fracção líquida/sólida da gasosa. O leito é constituído por um meio de enchimento que proporciona o aumento da superfície específica para o desenvolvimento dos agregados bacterianos, constituídos essencialmente por a denominada biomassa em suspensão e alguma biomassa aderida.

Híbrido	Volume (m³)
Secção de colecta de biogás	3.5
Secção de clarificação do substrato digerido	1.3
Corpo central	9.6
zona de leito fixo	
zona intermédia	
zona de alimentação	
Secção de deposição de sólidos	0.7

Tabela 2 Digestor anaeróbio: constituição e volumetrias

Ao longo do corpo central existem diferentes tomas, colocadas a várias alturas, com a função de possibilitar a amostragem do material em digestão para o acompanhamento e estudo do processo. Além destas, existem tubuladuras destinadas à colocação de sensores (e.g. temperatura, pH) para o controlo/avaliação do comportamento do digestor.

A eficiência de capacidade de degradação/conversão do processo é efectuada através da avaliação de diversos parâmetros, utilizando para o efeito métodos analíticos e cromatográficos de acordo com procedimentos testados (Marques, 2000). A caracterização da população microbiana e a respectiva evolução ao longo do tempo é efectuada por monitorização molecular. As técnicas moleculares aplicadas ao consórcio microbiano em desenvolvimento no digestor anaeróbio permitem obter informação detalhada sobre toda a comunidade e contribuir eficazmente para a optimização do funcionamento da unidade (Eusébio e tal., 2008).

O fluxo que sai do leito fixo é sujeito a uma diminuição da respectiva velocidade de forma a promover a manutenção de sólidos e/ou aglomerados microbianos no interior da unidade. O efluente obtido é recolhido em calha apropriada, situada ao nível do orifício de saída do fluxo, e dirigido para o exterior da unidade. O biogás é colectado no topo do digestor que é fechado por cúpula. O sistema de encerramento do digestor possibilita a sua abertura de forma a dar acesso ao seu interior e a permitir, se necessário, a remoção do material de enchimento.

Sistema de alimentação do digestor

Afluente do digestor

O substrato a digerir é constituído, numa primeira fase, pelos efluentes agro-pecuários resultantes da produção de suínos e de gado vacum da exploração da Herdade da Mitra. Com base nas características da exploração em causa, o digestor opera em co-tratamento, recebendo os fluxos que resultam da sua actual actividade.

A co-digestão é entendida como a digestão conjunta de substratos de diferentes proveniências. Este procedimento pode ser utilizado em diversas situações com vantagens relevantes para efluentes que, no respeitante às exigências do desenvolvimento do processo anaeróbio, apresentem complementaridade na sua composição e nas suas concentrações no respeitante ao material orgânico, nutrientes e compostos inibidores do processo anaeróbio (Marques and Freitas, 2007). Com base nos trabalhos desenvolvidos no Departamento de Energias Renováveis do INETI, a conjugação de diversos substratos complementares proporciona a simplificação do processo operativo e torna-o bastante mais económico na medida em que não recorre a acções prévias de diluição, com água potável, nem procede a correcções químicas do substrato e dispensa quaisquer pré-tratamentos de destoxificação. Por outro lado, no caso do efluente complementar apresentar elevadas concentrações de nutrientes (e.g. azoto), os pós-tratamentos (nitrificação e desnitrificação) deixam de ser necessários, dado o consumo deste nutriente por parte do metabolismo celular (Marques *et al.*, 1997-1998; Marques, 2000-2008).

Neste contexto, a disponibilização de outros substratos locais, como os efluentes da indústria do azeite, são igualmente objecto de interesse dos trabalhos a levar a cabo nesta unidade de demonstração. A produção de azeite é uma actividade agro-industrial, com importância económica e social relevante nos países da orla mediterrânea. Estes tipos de efluentes são gerados em elevadas quantidades e durante um curto período de tempo e apresentam elevadas cargas orgânicas, as quais são convertíveis num potencial energético por intermédio da sua degradação anaeróbia. Com a perspectiva de explorar o interesse de diferentes abordagem de tratamento, outros métodos (e.g. processos electroquímicos), podem ser conjugados com a digestão anaeróbia, nomeadamente no que respeita à degradação de compostos potencialmente inibidores e/ou recalcitrantes para o processo de degradação, com o objectivo de melhorar e otimizar o processo de tratamento e de valorização (Tudella *et al.* 2003; Gonçalves *et al.*, 2004-2008).

A alimentação da unidade é efectuada de forma contínua ou semi-contínua e de acordo com as condições operacionais definidas e a disponibilidade diária de volume de substrato. Os substratos gerados actualmente na Herdade da Mitra são conduzidos por tubagem, individualmente equipadas com bomba e válvula não retorno massa-líquido. A existência de um triturador assegura a obtenção de uma granulometria constante dos vários materiais a digerir.

Tanque receptor do alimento

O Tanque de recepção, com a função de recolher e efectuar a homogeneização dos substratos, é coberto e possui um agitador mecânico para a devida mistura dos diferentes materiais a tratar. O fluxo obtido é conduzido por tubagem e introduzido no digestor por intermédio de bomba. Este troço integra diversos equipamentos, como sejam: (a) válvulas de seccionamento, de forma a possibilitar o isolamento de um determinado elemento da montagem ou mesmo do próprio digestor; (b) um caudalímetro, destinado à monitorização do volume de alimento ao longo do tempo e (c) tomas de amostragem, para avaliação da composição e concentração do afluente.

Sistema de saída do fluxo digerido

Efluente do digestor

A saída do substrato digerido é promovida por meio de um sistema em sifão adaptado a um funcionamento, em contínuo ou semi-contínuo, da unidade de digestão. Na tubagem

de conduita do efluente existe uma toma que permite efectuar a amostragens do substrato digerido para posteriormente ser sujeita a avaliação analítica e cromatográfica.

Tanque de recolha do substrato digerido

O fluxo digerido é colectado por gravidade num tanque receptor, à semelhança do tanque associado à alimentação. De acordo com as condições operacionais vigentes, o material digerido é continuamente ou periodicamente dirigido para o separador sólido/líquido através de bomba, equipada de válvulas manuais. A necessidade deste elemento receptor prende-se com o facto de a sua existência possibilitar uma operação mais versátil e optimizada da instalação aquando da ocorrência de situações imprevistas, com a avaria de algum dos equipamentos ou a falta ou a diminuição do volume de afluente.

Separador sólido/líquido

O Separador tem a função de originar um fluxo sólido, destinado ao Parque de compostagem, e outro líquido que é digerido para o sistema de lagoas de estabilização. Temporariamente, este equipamento recebe os sólidos que se acumulam ao longo do tempo nas referidas lagoas, podendo também receber, embora de forma mais esporádica, os sólidos depositados na base do digestor e os materiais sedimentados ou susceptíveis de formar crosta, provenientes do tanque da alimentação. O fluxo líquido obtido no Separador é conduzido para a primeira lagoa por gravidade e a respectiva amostragem é realizada por meio de uma toma, associada a uma válvula manual.

Sistema de recolha do biogás

O biogás resultante do processo anaeróbio é conduzido para o gasificador através de tubagem e convertido em energia por um motor de combustão interna, localizado na unidade de gasificação. O facto de o biogás gerado ser utilizado na vertente de alimento do gasificador, em associação com a biomassa seca, permite atenuar as consequências de situações de carência deste material e, conseqüentemente, contribuir para manter a produção de energia eléctrica. Adicionalmente, a rentabilização do equipamento necessário aos dois processos em causa proporciona uma economia nos custos globais de instalação.

A conduita de gás possui essencialmente uma toma destinada à amostragem do biogás, uma válvula de não retorno do fluxo gasoso e um ventilador para facilitar a injeção de gás no gasificador. O volume de biogás produzido é contabilizado diariamente através de um contador para gás apropriado que está associado a válvulas de seccionamento e a um sensor de temperatura. A qualidade do biogás produzido, composição e concentração dos diferentes componentes, é avaliada por amostragem sistematizada e por meio de cromatografia gasosa. Todo o sistema que se encontra envolvido na conduita de gás é construído em material não sujeito a corrosão, devido à possibilidade de as concentrações de gás sulfídrico do respectivo fluxo, em conjugação com o vapor de água, poderem causar danos nas tubagens e/ou equipamento ao longo do tempo de operação.

Sistema de temperatura do digestor

O processo de digestão anaeróbia opera em condições mesófilas de temperatura (ff 37°C). Para o efeito, recupera a energia térmica resultante da conversão dos fluxos gasosos em energia eléctrica que tem origem na unidade de gasificação.

A manutenção da temperatura de digestão é efectuada através de permutador externo, intercalado na tubagem de alimentação do digestor, de forma a neutralizar oscilações da temperatura ambiente extremas entre -5 e 42 °C. Todo o troço da tubagem, existente depois do permutador, é revestido com um isolamento térmico. A unidade de digestão anaeróbia encontra-se igualmente isolada em termos térmicos, de forma a garantir que temperatura de digestão se mantenha constante e não seja sujeita a gradientes diários superiores a 1°C.

Valorização da Instalação

São reconhecidos os frequentes problemas de ordem ambiental associados às descargas directas dos efluentes das instalações agro-pecuárias e industriais. O primeiro aspecto a ter em conta, na análise de um sistema de tratamento, diz respeito ao facto do lançamento de um efluente não tratado, em qualquer meio receptor, de forma indiferenciada, representar custos de importância relevante a médio e a longo prazo. Estes factores de carácter negativo são obviamente alteráveis através da gestão de efluentes que envolva o respectivo tratamento. Contudo, numa perspectiva de gestão global, há que enquadrar as repercussões positivas dos produtos gerados pelo próprio sistema de tratamento, nas funções de utilidade e/ou de produção.

Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia permite reduzir a carga poluente do fluxo original em 70-80% e converter alguns dos seus constituintes em compostos mais simples e de natureza mineral. Através da mineralização da matéria orgânica, obtém-se uma diminuição do volume do efluente produzido e é reduzida a proliferação de insectos, dos odores e a carga patogénica, onde a destruição de agentes de contaminação representa um contributo importante na minimização dos riscos veiculados pela descarga de efluentes em termos de saúde pública. A digestão anaeróbia desempenha ainda um papel relevante no que respeita à produção de um fluxo gasoso cuja recuperação permite criar uma disponibilidade eléctrica e térmica. No presente caso, o processo de digestão anaeróbia encontra-se interligado, de uma forma interdependente, com o processo de gasificação por duas vias: uma, no que diz respeito à valorização energética o biogás resultante da fase anaeróbia e, outra, relativa ao fornecimento do fluxo térmico que é gerado pela conversão do gás em electricidade e que é utilizado no processo anaeróbio.

Disponibilidade Energética

Este tipo de utilização encerra a vertente de disponibilidade energética obtida por via directa e a adquirida de forma indirecta. A obtida e por via directa resulta da própria produção de biogás e subsequente transformação e que representa um valor contabilístico importante. A obtida por via indirecta diz respeito à poupança devida à não utilização de outras soluções de tratamento que requerem elevados consumos energéticos na manutenção do seu funcionamento.

Embora a energia resultante da conversão do biogás não seja uma solução energética e nível nacional, quando comparada com a hídrica e a eólica, a sua utilização reveste-se de importância a nível local, no que respeita à facturação de electricidade de uma unidade de produção. Em adição à perspectiva de produção energética existe a relacionada com a preservação do ambiente, sobre a qual o metano representa um potencial efeito de estufa de 21 vezes superior ao do dióxido de carbono. Assim, o tratamento dos efluentes, conjugado com a devida utilização do produto gasoso resultante é, além do mais, uma efectiva medida ambiental.

Composto

A utilização de técnicas de compostagem possibilita a maturação e a higiene dos sólidos resultante do processo de tratamento, fornecendo o composto que é um produto de valor acrescentado. A realização deste produto encerra as vantagens inerentes quer à dispensa de um meio receptor para a eliminação de um material que é orgânico quer à obtenção um produto reciclável como condicionador/corrector de solos de cultivo ou como solo de envasamento.

Água residual para rega

«A escassez de água pode ser provocada pelo homem, isto é, pelo mau uso e abuso dos recursos naturais, caso da desertificação e penúria de água, a primeira sendo permanente por afectar outros recursos naturais, como o solo, e ter origem também nas mudanças climáticas» (Pereira *et al.*, 2002 in Pereira et al., 2004). «A grande questão que se põe é de (re)aprender a convivência com a escassez de água e com as secas» (Pereira *et al.*, 2004). As elevadas quantidades de águas residuais resultantes dos processos de tratamento constituem um produto de interesse económico na medida em que podem ser valorizadas em perímetros de rega agrícola e/ou desportiva (Beltrão, 2002; Marques 2001; Martins, 2004; Martins e Correia, 2004).

Benefícios de índole social

Inerente à instalação de uma Estação de Tratamento está a necessidade em estabelecer contratos especializados, necessários ao funcionamento da infra-estrutura, que podem desenvolver-se em diversificadas áreas de competências, associadas com as fases de construção, transporte, equipamento, instalação, controlo, manutenção, operação do sistema, etc. A necessidade em tirar um maior partido dos potenciais renováveis locais traduz-se num factor de desenvolvimento que contribui para inserção do investimento na Região e para a criação de postos de trabalho e consequente fixação da população em zonas onde, por vezes, o êxodo rural e/ou a parca qualidade de vida já começa a ser uma realidade preocupante.

A oportunidade de canalizar o efeito negativo dos efluentes resultantes de uma actividade produtiva para acções que fomentem a utilização dos potenciais endógenas/renováveis, deve ser entendida com um motor de desenvolvimento regional e de criação de melhores condições de vida dos agentes envolvidos, directa ou indirectamente, na zona de intervenção.

6.6 A CONVERSÃO FOTOVOLTAICA DA ENERGIA SOLAR

6.6.1 Introdução

Na Figura 10 encontra-se um esquema simplificado de uma célula fotovoltaica.

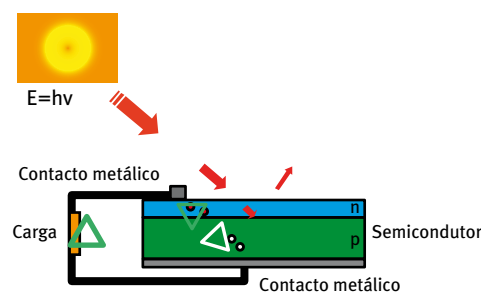


Figura 10

Esquema de uma célula Fotovoltaica

Ao atravessar a célula fotovoltaica, a energia contida nos fotões permite libertar electrões dos átomos de silício, fazendo com que passem da chamada banda de valência para a banda de condução, vencendo uma barreira energética designada por “band gap” ou hiato de energia e tornando-os disponíveis para condução. A existência de duas zonas no material, uma onde existe um excesso de electrões (zona n) e uma outra onde esses electrões estão em défice (zona p) cria uma barreira na zona da junção que não permite que os electrões em excesso da zona n circulem para a zona p através do material. Desta forma ao fechar um circuito eléctrico exterior através de contactos metálicos

existentes nos extremos das duas zonas, haverá um fluxo de electrões da zona onde existe excesso de cargas negativas para a zona onde há falta, o que não é mais do que uma corrente eléctrica, que pode ser aproveitada para alimentar dispositivos eléctricos (cargas). Quanto maior for a radiação solar incidente maior será a corrente que poderá circular pelo circuito exterior.

Células de silício cristalino com diâmetros da ordem dos 15 cm e espessura da ordem dos 200 μm são depois interligadas vindo a constituir um módulo fotovoltaico. Os módulos fornecem corrente contínua, sendo a potência eléctrica de cada módulo aproximadamente proporcional à intensidade da radiação solar incidente e ao número de células do módulo. Em condições de radiação solar exterior de 1000 W/m^2 , repartição espectral AM1.5 e temperatura ambiente de 25°C , também designadas por STC-Standard Test Conditions na literatura anglo americana, a potência máxima que o módulo pode fornecer designa-se por potência de pico. Do ponto de vista da temperatura verifica-se que a potência dos módulos da tecnologia de silício cristalino diminui à razão de cerca $0.5\%/^\circ\text{C}$.

A curva que relaciona a tensão e a corrente num módulo fotovoltaico, para cada valor de Radiação solar e Temperatura ambiente, designada abreviadamente por curva IV, é a principal característica de um módulo fotovoltaico determinando a curva correspondente aos valores de 1000 W/m^2 de radiação solar e de 25°C de temperatura ambiente os principais parâmetros de um módulo. Na Figura 11 pode ver-se uma típica curva IV (traço a negrito) onde se sobrepõe a curva de potência do módulo.

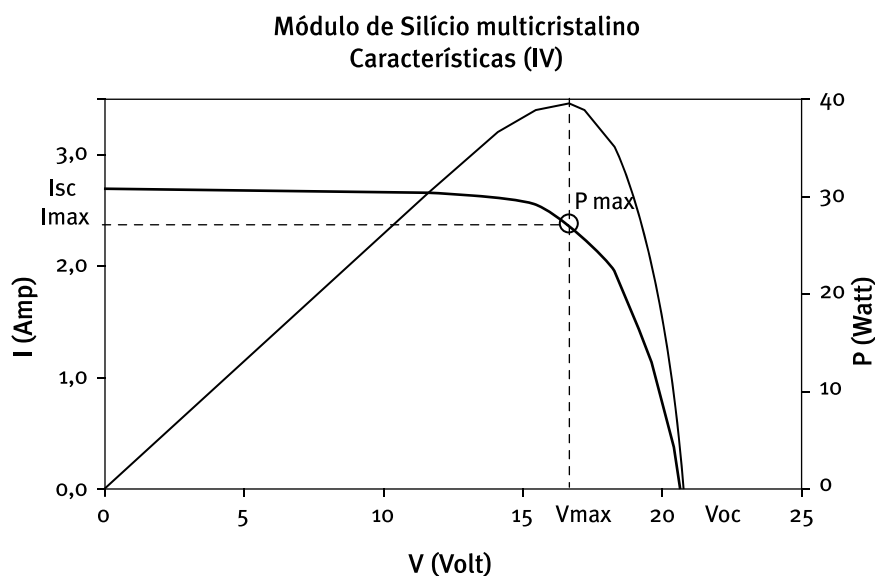


Figura 11

Característica Tensão/Corrente (IV) de um módulo de silício multicristalino

Nela podem ser identificados os parâmetros: tensão de circuito aberto (V_{oc}); corrente de curto circuito (I_{sc}); ponto de potência máxima P_{max} .

Efectivamente são estes os parâmetros que aparecem nos catálogos dos fabricantes de módulos fotovoltaicos e com os quais é necessário trabalhar para projectar e instalar sistemas.

Na Figura VII.12 mostra-se um conjunto de curvas IV para um módulo comercial. Cada curva corresponde a um valor de radiação solar incidente na superfície do módulo. A zona a sombreado corresponde à zona de funcionamento das baterias de acumulação de energia.

A potência disponível num módulo pode variar consoante a tecnologia empregue e o número de células interligadas. Hoje em dia fabricam-se módulos fotovoltaicos com valores de potência que podem ir de 5W até 200W.

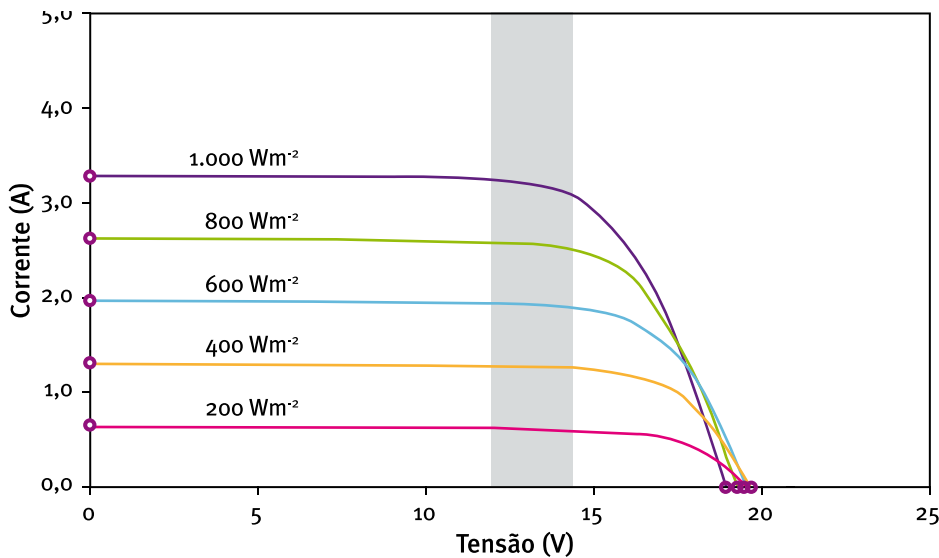


Figura 12

Curvas IV para um módulo comercial

Os módulos são assim a unidade básica deste tipo de sistemas podendo depois ser associados em série para se obter o valor da tensão do sistema e em paralelo permitindo obter a corrente ou potência de pico final pretendida.

O agrupamento de módulos colocados numa mesma estrutura de suporte forma um **painel** e um conjunto de painéis constitui um campo (**array**) fotovoltaico.

6.6.2 Tecnologias de conversão e eficiências

Como se referiu anteriormente os módulos são as unidades básicas dos sistemas fotovoltaicos, sendo constituídos por células fabricadas em bolachas ou em película fina depositada sobre substratos de suporte. Basicamente existem três tipos de tecnologias para fabricar estes módulos:

- Silício cristalino ou primeira geração tecnológica.
- Películas finas ou segunda geração tecnológica.
- Novos conceitos emergentes ou terceira geração tecnológica.

Estas tecnologias diferem quanto às suas dimensões e peso, flexibilidade e rigidez, aspecto global final e em última análise em eficiência e custo da energia final produzida. A sua disponibilidade no mercado é também variável.

Silício cristalino

Presentemente a tecnologia do silício cristalino representa cerca de 90 % da produção mundial de células fotovoltaicas, dominando este mercado desde o início da era fotovoltaica.

A razão para a escolha do silício como material base das células fotovoltaicas está associada às características únicas deste material, nomeadamente a sua abundância no planeta (cerca de 30%, no conjunto dos elementos que constituem a crosta terrestre), a sua não-toxicidade, o facto de ser a matéria-prima da indústria electrónica (e portanto ter sido alvo de uma investigação extraordinariamente detalhada nas últimas décadas) e uma série de vantagens técnicas, em particular o valor do hiato energético que é apropriado à radiação solar, o baixo coeficiente de segregação de metais e ser facilmente dopável.

No seu fabrico, quer seja para a tecnologia do silício mono cristalino, quer para os módulos multi cristalinos são considerados seis passos básicos:

- 1 Produção do Silício
- 2 Purificação do Silício
- 3 Cristalização
- 4 Produção das Bolachas
- 5 Fabrico da célula
- 6 Assemblagem dos módulos

O ingrediente básico desta tecnologia é como se referiu o silício purificado (polysilicon). Este material é fundido e posteriormente solidificado para produção de lingotes cilíndricos, constituídos por um só cristal (mono-cristalino), através do processo Czochralski, para lingotes paralelepípedicos, por vazamento, constituídos por diferentes cristais (multi-cristalino) ou para produção de células em fita (*ribbon cells*).

Os lingotes cilíndricos ou rectangulares são cortados em bolachas por serras de fio ou por processo laser. As bolachas de silício são depois submetidas a um processo de dopagem para criação da junção p-n e são colocados os contactos metálicos, frontal e posteriores, dando lugar às células fotovoltaicas.

O processo final de assemblagem dos módulos consiste num conjunto diversificado de operações que passam, entre outras, pela soldadura das células que constituem o módulo, pela colocação do caixilho de alumínio, do vidro frontal e do material das costas do módulo e pela colocação dos cabos e ligações dos módulos.

Nos últimos anos, no sentido de diminuir a utilização do silício nas células assistiu-se à redução da espessura das bolachas que passou de cerca de 400 µm em 1990 a 200 µm em 2006 ou ainda menor nos próximos anos. O processo de fabrico desta tecnologia também tem sido aperfeiçoado no sentido de diminuir os custos quer em matérias-primas quer em energia.

Actualmente a eficiência dos módulos mono cristalinos comerciais varia entre os 16% e os 18% enquanto que os módulos multi-cristalinos comerciais têm eficiências entre os 14 e os 16%.

Películas Finas

A tecnologia das películas finas consiste na deposição de uma estrutura que forma uma célula solar, directamente sobre um substrato que pode ser um vidro uma lâmina de material plástico ou outro. Tem um grande potencial para a redução do custo dos módulos dado que nesta tecnologia se utiliza muito menos matéria-prima e também é menos consumidora de energia. A espessura típica destas películas é da ordem dos poucos µm.

Actualmente esta tecnologia representa cerca de 10% do mercado dos sistemas fotovoltaicos, esperando-se um aumento da penetração que poderá atingir os 30% por volta de 2030.

É importante referir que em 2007 um fabricante módulos de películas finas entrou já para o top ten dos fabricantes mundiais de sistemas fotovoltaicos com uma produção anual de 200 MWp.

A eficiência desta tecnologia é no entanto e actualmente mais baixa do que a eficiência da tecnologia do silício cristalino. A título de exemplo pode referir-se que a tecnologia de película fina de silício amorfo apresenta eficiências da ordem dos 6.5%, que para a tecnologia do Telurieto de Cádmiio (CdTe) essa eficiência é de 9 % e que para a tecnologia do Diseleniuto de Cobre Índio e Gálio (CIGS) o valor da eficiência está hoje nos 12%.

Outras tecnologias

Um conjunto de outras tecnologias começa a surgir e que passam pela melhor utilização do espectro solar na conversão para energia eléctrica, utilizando células multi-camada, com cada camada adaptada a uma banda do espectro, e muito particularmente pelo

desenvolvimento das chamadas células orgânicas, que possibilitarão a utilização de matérias primas menos dispendiosas e com custos energéticos menores. Estas tecnologias encontram-se presentemente em desenvolvimento laboratorial.

Associar às células solares concentração poderá também permitir a utilização de células que possam ter um custo por unidade de área superior mas que apresentem eficiências muito elevadas.

Uma outra ideia em estudo é a das células termofotovoltaicas em que a radiação solar não incide directamente na célula mas num corpo que por absorção da radiação solar aquece, radiando uma componente na parte infravermelha do espectro que é posteriormente aproveitada numa célula adaptada àqueles comprimentos de onda.

6.6.3 Tipos de sistemas

Basicamente os sistemas fotovoltaicos podem ser:

- Autónomos (off grid ou stand alone) destinados a lugares isolados da rede eléctrica ou para sistemas portáteis e de emergência.
- Ligados à rede eléctrica (grid connected) em que a produção de energia eléctrica é colocada na rede eléctrica.

Sistemas Autónomos

Na Figura 13 encontra-se representado o esquema básico de um sistema fotovoltaico autónomo.

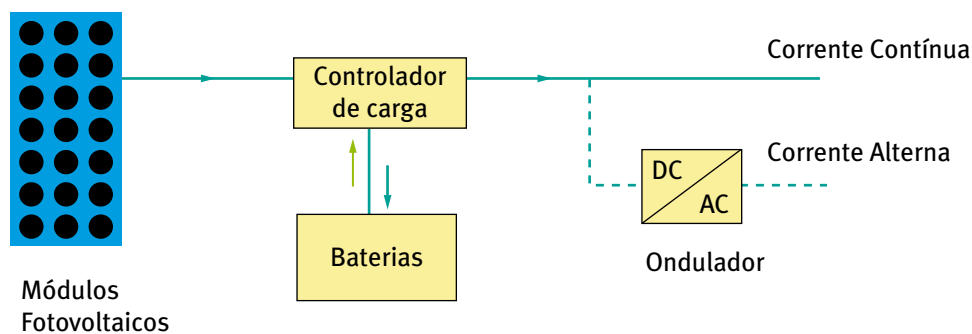


Figura 13

Esquema básico de um sistema fotovoltaico autónomo

Estes sistemas destinam-se basicamente a electrificação de locais isolados, afastados da rede eléctrica e para sistemas portáteis de socorro, de emergência ou de *back up*. Assentam na existência de armazenamento de energia (por baterias de acumuladores ou outro sistema de armazenamento) para poder fornecer energia durante o período nocturno ou quando a radiação solar incidente é fraca. Poderão existir, ou não, formas complementares de fornecimento de energia, quer através de geradores a funcionarem a combustíveis fósseis, quer recorrendo à utilização de outras formas de energias renováveis, como por exemplo a energia eólica. Neste caso os sistemas designam-se por sistemas híbridos.

O Controlador de Carga destina-se a regular a carga e a descarga das baterias, enquanto que o Ondulador ou Inversor converte a corrente contínua fornecida pelos módulos e bateria em corrente alternada para alimentação dos equipamentos consumidores de energia eléctrica que, em geral, utilizam corrente alternada.

A solução mais comum para acumular a energia produzida é baseada em baterias electroquímicas, tradicionalmente de ácido-chumbo ou de níquel-cádmio. A acumulação de energia baseada no hidrogénio é também muitas vezes apresentada como uma solução interessante, sobretudo a médio prazo. O armazenamento de energia acrescenta, no entanto, um custo significativo ao preço do sistema e exige uma manutenção regular.

Efectivamente as baterias são os componentes mais críticos destes sistemas já que, para além de exigirem manutenção periódica, têm um tempo de vida relativamente curto (5-10 anos), dependendo de inúmeros factores relacionados com o regime de funcionamento que lhes é imposto (número de ciclos de carga-descarga, profundidade de descarga, temperatura, etc...). Por outro lado, o recurso a um sistema de apoio convencional, por exemplo gerador diesel, só se justifica em determinadas aplicações, para as quais há que garantir uma elevada qualidade de serviço, isto é, o fornecimento de energia sem falhas.

Aplicações típicas deste tipo de sistemas são a iluminação de casas e comunidades, os sistemas de bombagem para abastecimento de água a populações e para rega, sistemas de arrefecimento principalmente ligados à área da saúde, para transporte de vacinas, sangue e outros consumíveis vitais, estações de abastecimento de baterias para alimentar pequenos aparelhos, rádios, televisões, lâmpadas, etc e principalmente, como já se referiu, a electrificação de casas isoladas.

Sistemas Ligados à Rede Eléctrica

Na Figura 14 encontra-se representado o esquema básico de um sistema fotovoltaico ligado à rede eléctrica.

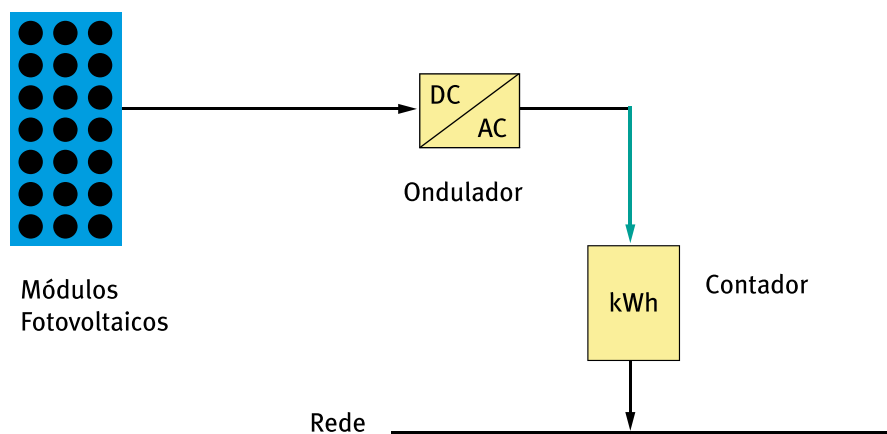


Figura 14

Esquema básico de um sistema fotovoltaico ligado à rede

Os sistemas ligados à rede eléctrica, de configuração mais simples, são constituídos por um gerador fotovoltaico, um Ondulador/Inversor que, em geral, inclui um sistema automático de seguimento do ponto de máxima potência (Maximum Power Point Tracking) e uma interface com a rede que inclui um contador da energia fornecida à rede, dispensando o armazenamento em baterias. Aqui, o elemento crítico é o inversor, que determina a qualidade da energia entregue à rede (estabilidade de tensão e frequência, distorção harmónica, interferência electromagnética) e, como tal, deverá satisfazer os requisitos técnicos de ligação impostos pela companhia eléctrica.

Por vezes e, em geral, em sistemas ligados à rede eléctrica de grande dimensão, são utilizados sistemas seguidores do movimento aparente do Sol vulgarmente designados por *trackers*. Estes sistemas podem seguir o Sol, ou em altura, ou em azimute (sistemas de um eixo) ou em ambos os movimentos (sistemas de dois eixos). A sua utilização, embora resulte num acréscimo de custo da instalação, dá origem a um aumento da ordem dos 30% na electricidade produzida anualmente.

6.6.4 Aplicações dos sistemas fotovoltaicos

Estes sistemas tiveram as suas primeiras aplicações no Espaço fornecendo energia eléctrica para os satélites. Hoje os sistemas fotovoltaicos têm um conjunto enorme de aplicações, desde a electrificação de locais isolados, a bombagem de água, a alimentação de sistemas de sinalização e de urgência, e a produção de electricidade para in-

tegração na rede eléctrica quer em pequenos sistemas descentralizados, na óptica da chamada microgeração, quer em integração em edifícios e mobiliário urbano (paragens de transportes públicos, sombreamento de parques de estacionamento de automóveis, parquímetros), quer ainda em centrais de produção de energia eléctrica de alguns MW de potência.

Inicialmente as aplicações terrestres destinavam-se à electrificação de locais isolados da rede eléctrica convencional, quer para habitações isoladas quer em mini ou micro redes em pequenos aldeamentos. Na Figura 15 pode ver-se um sistema fotovoltaico autónomo para alimentação de uma habitação isolada, no centro de Portugal.



Figura 15

Exemplo de sistema autónomo instalado no Centro de Portugal

Mais recentemente e aproveitando esquemas financeiros, que passam pelo apoio ao investimento inicial ou mais frequentemente por esquemas de tarifário bonificado da energia eléctrica produzida por estes sistemas e vulgarmente conhecidos pela designação anglo saxónica de feed in tariff, os sistemas ligados à rede ultrapassaram largamente, em capacidade instalada, os sistemas autónomos e são hoje o principal motor do desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos. Na Figura 16 pode ver-se o Edifício Solar XXI do INETI, com a sua fachada Fotovoltaica de tecnologia silício policristalino e em frente o sistema de sombreamento para o parque de estacionamento, onde a cobertura é constituída por módulos Fotovoltaicos da tecnologia de silício amorfo. Este é um exemplo de um sistema integrado em edifícios e em mobiliário urbano, directamente ligado à rede eléctrica.

A integração em edifícios, designada na terminologia anglo saxónica por Building Integration of Photovoltaics (BIPV) é efectivamente uma das mais interessantes aplicações desta tecnologia existindo um pouco por todo o mundo vários bons exemplos, não só do ponto de vista de concepção e realização técnica, mas também do ponto de vista da estética final que é possível obter desta integração.

A Península Ibérica e muito em particular as regiões do Alentejo em Portugal e da Extremadura em Espanha, onde se desenvolve o projecto do Parque Experimental Transfronteiriço de Energias Renováveis (projecto PETER), ao abrigo do Programa INTERREG III A, possui um recurso solar excelente para a produção de energia eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos e efectivamente em ambas as regiões se encontram hoje os maiores parques fotovoltaicos do mundo como por exemplo os sistemas de Serpa de 11 MW e da Amareleja de 46 MW.



Figura 16

Edifício Solar XXI do INETI. Um exemplo de sistema ligado à rede integrado em edifícios

O parque de demonstração de energias renováveis da Universidade de Évora, com o seu sistema fotovoltaico ligado à rede e a fachada fotovoltaica do Edifício Bioclimático do campus da Universidade da Extremadura em Badajoz, instalados no âmbito do Projecto PETER, constituem dois polos dinamizadores do desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos, possibilitando a formação, a demonstração e a divulgação daquela tecnologia nas duas regiões vizinhas

Como conclusão pode referir-se que os sistemas fotovoltaicos são uma área de grande evolução tecnológica no domínio das Energias Renováveis e por onde passará, seguramente, a mudança de paradigma no abastecimento de energia eléctrica ou seja a transição de um modelo de produção centralizada para um modelo de produção descentralizada e de microgeração.

6.7 BIBLIOGRAFIA

- André R. N., Pinto F., Franco C., Dias M., Gulyurtlu I., Matos M. A. A., Cabrita I., 2005, Fluidised Bed Co-gasification of Coal and Olive Oil Industry Wastes, *Fuel*, 84, 12-13, 1635-1644.
- André R.N., 2007, Desenvolvimento de processos de co-gasificação de carvão com plásticos e biomassa, Tese de Doutoramento, Universidade de Aveiro.
- Beltrão J. 2002. A Reutilização das águas residuais. *10º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (SILUBESA) "Uso Sustentável da Água"*, Setembro, 16-19 de Setembro. Braga, Portugal.
- Costa CQD. 1999. Poluição da água pela suinicultura. Legislação e economia do ambiente. O concelho de Leiria como caso de estudo. Associação Portuguesa de Economia Agrária (Ed.).
- Eusébio A, Tacão M, Baeta-Hall L, Freitas P, Almeida-Vara E and Marques IP. 2008. TGGE-Monitoring of the microbial community along the olive mill wastewaters anaerobic treatment. *Bioenergy: Challenges and Opportunities. International Conference and Exhibition on Bioenergy*, April 6th – 9th 2008, Univ. Minho, Guimarães, Portugal.
- Franco C., Pinto F., Gulyurtlu I., Cabrita I., 2003. "The Study of Reactions Influencing the Biomass Steam Gasification Process", *Fuel*, 82, 835–842.
- Freitas P and Marques IP. 2008. Biogas in Portugal: attainable production from wastewaters and municipal solid wastes. *Bioenergy: Challenges and Opportuni-*

- ties. *International Conference and Exhibition on Bioenergy*, April 6th – 9th 2008, Univ. Minho, Guimarães, Portugal.
- Gonçalves M, Alves M, Correia JP and Marques IP. 2008. Electrooxidation as the anaerobic pretreatment of fats: oleate conversion using RuO₂ and IrO₂ based anodes. *Biores. Technol.*, 99, 8207-821.
 - Gonçalves M, Bastos E, Alves MM, Correia JP and Marques IP. 2006. Effect of electrochemical treatment of oleic acid on anaerobic digestion. *Environ. Technol.*, 27, 1289-1295.
 - Gonçalves M, Joyce A, Alves M, Correia JP and Marques IP. 2005. Anodic oxidation of oleate for wastewater treatment. *Desalination* 185, 351-355.
 - Gonçalves M, Joyce A, Alves M, Correia JP, Marques IP. 2004. Pré-tratamento de compostos lipídicos para tratamento anaeróbio: oxidação anódica do ião oleato. *Actas XII Congreso Iberico y VII Congreso Ibero Americano de Energía Solar*, 14-18 Setembro, Vigo, Espanha. Vázquel, M and Seara, JF. (Ed.), 1185-1190.
 - Marques IP. 2008. Biogás: vantagens da complementaridade de efluentes no tratamento da água-ruça. *Workshop BIOGÁS: Desafios e oportunidades para Portugal*, 29 Maio 2008, Centro Cultural de Belém, Lisboa.
 - Marques IP. 2005. A energia do biogás. Caso de estudo em Alcobertas, *Revista de Ciências Agrárias*, 28 (1), 351-362.
 - Marques IP. 2001. Anaerobic digestion treatment of olive mill wastewater for effluent re-use in irrigation. *Desalination*, 137, 233-239.
 - Marques, IP. 2000. Valorização de recursos poluidores por digestão anaeróbia. Água ruça e efluente suinícola. *Tese de Doutoramento*, Instituto Superior Técnico, Univ. Técnica de Lisboa, Portugal.
 - Marques, IP. 2000a. Valorização das águas ruças. *Vida rural*, 1665 (48), 151-153.
 - Marques IP and Freitas P. 2007. Olive Mill Wastewater anaerobic digestion: effect of the influent composition and concentration. *11th IWA World Congress on Anaerobic Digestion*, 23-27 September 2007, Brisbane, Australia.
 - Marques IP, Loureiro D, Borges P. 2007. Energetic Potential of Olive Mill Wastewater: application perspectives. *The Third International Energy, Energy and Environment Symposium*, 1-5 July 2007, Univ. Évora, Portugal. Miguel AF, Heitor Reis A and Rosa NR (Ed.), 043-CD rom.
 - Marques IP, Rosa F, Loureiro D. 2006. Valorização integrada de Efluentes de Suinicultura na região Autónoma da Madeira. *Actas CIES 2006 – XIII Congresso Ibérico e VIII Congresso Ibero-Americano de Energia Solar*. 9-10 Nov. 2006, Lisboa. SPES-Sociedade Portuguesa de Energia Solar (Ed.), CD rom.
 - Marques, IP; Teixeira A; Rodrigues, L; Martins Dias, S and Novais, JM. 1998. Anaerobic treatment of olive mill wastewater with digested piggery effluent. *Water Environ. Research*, 70, 1056-1061.
 - Marques IP, Teixeira A, Rodrigues L, Martins Dias S and Novais JM. 1997. Anaerobic co-treatment of olive mill and piggery effluents. *Environ. Technol.*, 18, 265-274.
 - Martins MV e Correia AH. 2004. O golfe no Algarve: o presente e o futuro. *Notifor-ma, Imagem e Comunicação*, Lda (Ed.).
 - Martins MV. 2004. Estudo sobre o Golfe no Algarve. *Diagnóstico e Áreas Proble-ma*, Volume I, Universidade do Algarve.
 - Pereira LS, Cordery I and Iacovides I. 2002. Coping with Water Scarcity. UNESCO IHP VI, Technical Documents in Hydrology, N.º 58, UNESC, Paris, 267.
 - Pereira LS. 2004. Recursos Hídricos, Secas e Desertificação. *Desertificação. Sinais, Dinâmicas e Sociedade*. Estudos e Documentos, Instituto Piaget (Ed.), 47-60.

- Pinto F., Lopes H., André R. N., Dias M., Gulyurtlu I., 2008. “Alternative processes for waste management”, in “Energetic valorization of wastes through gasification”, Nova Science Publishers, Inc. N.Y., ISBN: 978-1-60456-256-9.
- Pinto F., Lopes H., André R. N., Gulyurtlu I., Cabrita I., 2007. Effect of Catalysts in the Quality of Syngas and By-Products Obtained by Co- Gasification of Coal and Wastes. 1. Tars and Nitrogen Compounds Abatement, Fuel, 86, 14, 2052-2063.
- Pinto F., Franco C., Lopes H., André R. N., Gulyurtlu I., Cabrita I., 2005. “Effect of Used Edible Oils in Coal Fluidised Bed Gasification, Fuel, 84, 17, 2236-2247.
- Pinto F., André R. N., Franco C., Tavares C., Dias M., Gulyurtlu I., Cabrita I., 2003. Effect of Experimental Conditions on Co-gasification of Coal Biomass and Plastic Wastes with Air/Steam Mixtures in a Fluidised Bed, Fuel, 82, 15-17, 1967-1976.
- Tudella J, Gonçalves M, Marques IP, Joyce A, Alves M and Correia J. 2003. Oxidação electroquímica de compostos lipídicos como persursora do tratamento anaeróbio. 6º Encontro Nacional de Química-Física, 31 Agosto - 3 Setembro, Faculdade de Ciências, Lisboa.



EFICIÊNCIA E GESTÃO ENERGÉTICA NAS EMPRESAS



Paula Paulino

Ana Brejo

Celso Mendes

Raquel Flores

Ana Bugio

Sónia Mendes

Paula Sofio

Agência de Desenvolvimento Regional do Alentejo, S.A. ADRAL

7.1 SUMÁRIO EXECUTIVO

Na era da globalização é indispensável inovar, incentivar à mudança nas organizações e investir em energias renováveis como forma de sustentabilidade do planeta, assim como, na redução da dependência dos combustíveis fósseis e/ou dos países que os dominam.

Atendendo à crise recente no sector energético, com o petróleo a atingir valores recorde, não basta ter uma boa ideia, um bom produto, é crucial pensar na carga energética das empresas, pois esta pode ser um factor determinante para a sua viabilidade.

O preço da energia é hoje um factor chave de competitividade. Neste momento torna-se clara a necessidade de implementar uma política integrada de apoio à utilização racional das energias e da criação de sistemas alternativos que tornem as empresas mais competitivas e em simultâneo um planeta mais limpo de poluição.

Sendo que a dinâmica empresarial de uma economia regional, ou mesmo nacional, sofre com a frequentes oscilações no mercado energético considera-se necessário testar o conhecimento do tecido empresarial da Região Alentejo, garantindo assim, que se poderá tomar medidas que possam divulgar e promover, de forma eficaz, as energias renováveis.

7.2 INTRODUÇÃO

Este estudo visa sensibilizar as entidades competentes para a divulgação e promoção das energias renováveis como forma de sustentar o crescimento económico, visto que, a dependência energética tenderá a agravar-se nas próximas décadas e os recursos fósseis tendem a ser cada vez mais escassos e a serem detidos por um número reduzido de países que revelam claros indícios de instabilidade política e social levando constantemente a oscilações que prejudicam os países mais dependentes.

Por outro lado, temos que considerar os compromissos assumidos pelos diversos governos no que respeita às condicionantes ambientais que vão passar a marcar decisivamente a política e a regulação da energia.

O facto de não investir em alternativas energéticas poderá estrangular completamente o crescimento económico, visto que estamos cada vez mais expostos à volatilidade e ao crescimento dos preços nos mercados internacionais da energia.

7.3 CONTEXTUALIZAÇÃO

A ADRAL – COMPETÊNCIAS E KNOW HOW

No âmbito das suas competências e nos domínios de intervenção pré definidos, a ADRAL – Agência de Desenvolvimento Regional do Alentejo, tem desenvolvido ao longo dos seus dez anos de existência inúmeras iniciativas junto das Micro e PME's da Região Alentejo, nomeadamente no apoio directo ao investimento, consultoria e criando sinergias com os demais agentes económicos, sociais e culturais.

A ADRAL foi constituída em 18 de Junho de 1998, tendo como Missão *“a promoção do desenvolvimento regional do Alentejo e o fortalecimento da sua base económica e produtiva, em cooperação com os demais agentes e entidades da Região, do País ou de outros países, nomeadamente dos que integram a União Europeia, cuja actividade concorra para o mesmo fim”* (art.nº4 – Pacto Social).

Mais recentemente a Agência definiu como slogan da sua actividade e postura o seguinte: *“Alentejo: o desafio, a mudança, um novo futuro”*.

Estes conceitos são identificadores do reconhecimento da necessidade de mudar, mudar procedimentos, mudar mentalidades, inovar, aceitar desafios, definir prioridades, ter um espírito cada vez mais empreendedor naquilo que se faz e em que se acredita.

Neste âmbito, a Agência tem vindo a desenvolver inúmeros projectos que lhe têm permitido angariar um capital de conhecimento sobre a realidade desta Região e, em particular, do seu tecido empresarial que sempre tem envolvido nas suas actividades de modo a proporcionar a integração de elementos competitivos nas empresas, impulsionando a economia regional.

Ao longo destes 10 anos de funcionamento, várias têm sido as iniciativas desenvolvidas em prol da investigação que proporcione um desenvolvimento regional sustentável.

7.4 O ESTUDO

7.4.1 Objectivos

O Estudo “Eficiência e gestão Energética nas Empresas” apresentou como objectivo geral:

O incremento no interior das empresas, do uso das energias renováveis de modo a proporcionar maior competitividade ao tecido empresarial da Região Alentejo.

Visou testar o conhecimento sobre energias renováveis no tecido empresarial da região Alentejo. A aquisição de competências ao nível das energias deverá por seu turno induzir nas empresas posturas mais activas face ao mercado global pelo incremento da sua competitividade com base no uso eficiente das energias e sustentada em factores de inovação de produtos/serviços e processos de produção.

7.4.2 Enquadramento do Estudo na região

A grande maioria das empresas da região são de micro ou pequena dimensão, sendo que, os empresários têm na sua grande maioria com baixo nível de escolaridade e pouca apetência para introduzir grandes mudanças nas empresas, sendo que, serão bastante resistentes no que respeita a alterações das instalações para a utilização de energias renováveis.

Antes da aplicação do estudo, o conhecimento empírico indiciava um nível muito baixo de experiência a este nível, que por sua vez se traduz também na fraca preocupação com o meio ambiente.

As empresas do Alentejo apresentam fraca diversidade energética e uma forte dependência dos combustíveis fósseis. Embora este tema seja bastante badalado nos meios de comunicação social, são poucos os que realmente já tomaram medidas no sentido de alterar os padrões de consumo e da utilização racional de energia.

7.5 METODOLOGIA

Face aos objectivos anteriormente definidos procurou-se traçar uma metodologia integrada e que fosse simultaneamente adaptada ao público-alvo em que se pretendia intervir.

A Equipa definiu como público-alvo para este Estudo o universo das Micro e PME's com sede nos concelhos da área de intervenção do promotor ADRAL, ou seja, os 47 concelhos da Região Alentejo (sem a Lezíria do Tejo).

A primeira fase do Estudo pode ser definida como de recolha primária da informação. Esta recolha recorreu a fontes primárias e secundárias, permitindo a contextualização

do tecido sócio económico alentejano, bem como a definição da integração das energias renováveis nestas empresas.

Realizou-se previamente um pré-teste, a que se seguiu a aplicação do Questionário (Anexo nº 1 - Inquérito “Eficiência e gestão Energética nas Empresas”).

Recolhidos os dados procedeu-se ao seu tratamento estatístico através da criação de uma matriz de armazenamento e de tratamento dos dados. A equipa do Estudo optou pela criação de uma matriz em Excel, que permitiu o tratamento estatístico da informação com a inclusão de todos os campos de análise, correspondentes ao leque de perguntas presentes no inquérito por questionário.

O tratamento estatístico dos dados recolhidos por esta via permitiu:

- Realizar a caracterização das empresas inquiridas.
- Perceber a utilização que as empresas fazem ao nível das energias.
- Identificar o conhecimento dos empresários sobre energias renováveis.
- Identificar as preocupações com o meio ambiente.
- Conhecer as necessidades de investimento ao nível das energias renováveis.

7.6 ANÁLISE DA INFORMAÇÃO RECOLHIDA NO INQUÉRITO

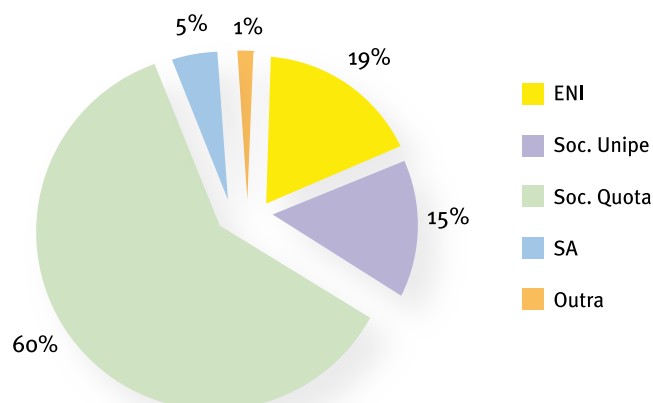
7.6.1 Caracterização dos inquiridos

A grande maioria dos empresários inquiridos são do sexo masculino, ascendendo a cerca de 70%.

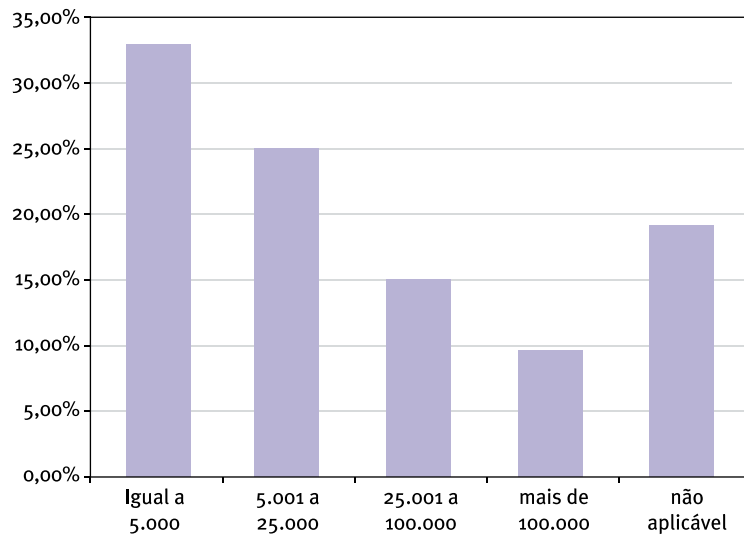
Ao nível das habilitações literárias os empresários inquiridos distribuem-se da seguinte forma:

Até ao 9º ano	10º ao 12º	Licenciatura	Mestrado/ Doutoramento
37%	33%	30%	0%

A forma jurídica mais usual nas empresas que participaram neste estudo é sociedade por quotas, seguida de Empresário em nome individual, tal como se pode verificar no gráfico que se segue:



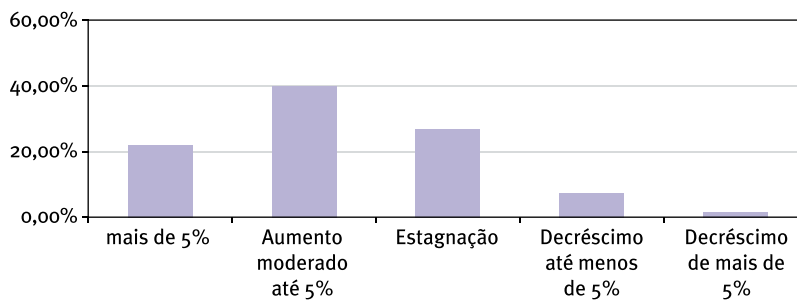
A grande maioria das empresas tem o Capital social mínimo permitido por lei, o que pressupõe um nível bastante baixo de capacidade financeira:



Outro indicador que caracteriza a dimensão das empresas é o seu volume de negócios, sendo que, mais um vez se comprova que a grande maioria das empresas do Alentejo são Micro e Pequenas empresas, uma vez que mais de 70% não ultrapassa os 150.000,00 euros nesta vertente:

menos de 50.000	50.001 a 150.000	150.001 a 500.000	500.001 a 1.500.000	Mais de 1.500.000
16,00%	29,00%	32,00%	9,00%	14,00%

Considerando os indicadores económicos do País e da UE, foi considerado um indicador que pudesse testar as expectativas dos empresários em relação às vendas para o próximo ano, o que evidencia um optimismo generalizado, visto que, 64% dos inquiridos acredita que as suas vendas vão aumentar no próximo ano:



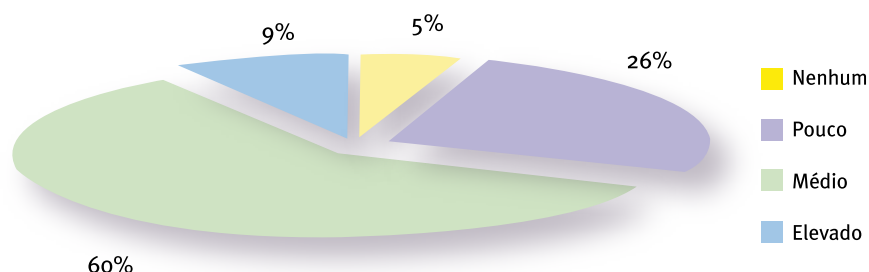
No que respeita à criação de postos de trabalho os empresários foram mais comedidos, uma vez que apenas 30% diz que tem intenção de contratar mão-de-obra qualificada no próximo ano:

não	sim
70,00%	30,00%

7.6.2 Conhecimento e Utilização Racional de Energia

Questionámos os empresários sobre o conhecimento que tem sobre a utilização racional da energia, ao que, a grande maioria respondeu que tem um conhecimento médio:

Nenhum	Pouco	Médio	Elevado
5,00%	26,00%	60,00%	9,00%



Quando perguntámos se conhecia a expressão “energias renováveis” a esmagadora maioria respondeu que sim, havendo apenas um dos empresários que respondeu que não sabia o significado:

Não	Sim
1,00%	99,00%

Questionou-se os empresários sobre o facto de já ter elaborado algum tipo de diagnóstico ou se utilizam algumas ferramentas e/ou serviços que permitam o analisar o potencial de redução de custos com energia, sendo que é muito evidente que são muito poucos ainda, os que se preocupam com esta questão, como se pode verificar no quadro se segue:

Sim	Não
19,00%	81,00%

Quanto ao conhecimento sobre o custo benefício da utilização de Energias Renováveis são também muito poucos os que demonstraram já ter efectuado alguma análise a esse rácio:

Não	Sim
81,00%	19,00%

O inquérito tinha também como objectivo identificar se os empresários estão mobilizados para a utilização de energias renováveis e se pensam fazer algum tipo de investimento nesta área nos próximos anos. De acordo com as respostas conclui-se que existe um árduo trabalho a fazer pelas entidades competentes e os demais agentes económicos, visto que, só 39% dos empresários diz que pretende investir em energias renováveis:

Sim	Não
39,00%	61,00%

Quando questionados sobre se sabem a quem se dirigir no caso de virem a fazer investimento nesta área, os resultados melhoram um pouco, no entanto considera-se que estão ainda muito abaixo do que seria de esperar neste momento, já que cada vez existem

mais empresas com actividade neste sector. Assim apenas 53% respondeu que sabe a quem se dirigir:

Sim	Não
53,00%	47,00%

Atendendo ao facto das emissões de CO₂ serem um dos maiores problemas ambientais, considerámos importante saber se as empresas estão apetrechadas de algum tipo de equipamento e/ou parque para bicicletas que contribua para a diminuição dessas emissões, no entanto apenas 16% afirmou que os sócios ou colaboradores andam de bicicleta ou dispõe desse tipo de equipamento:

Sim	Não
16,00%	84,00%

Quase 3/4 das empresas não dispõe ainda de qualquer plano de poupança de energia como se pode comprovar aquando da realização desta questão aos empresários:

Sim	Não
26,00%	74,00%

Em relação ao conhecimento sobre o termo Casas ou edifícios Bioclimáticos apenas metade conhece o termo:

Sim	Não
50,00%	50,00%

No que respeita à diferença entre solar térmico e solar fotovoltaico são ainda mais de 50% os que não sabem a diferença o que demonstra mais uma vez que ainda há muito trabalho a fazer, para a divulgação e promoção deste tipo de energias:

Sim	Não
47,00%	53,00%

Outro dos aspectos que tem sido bastante focado nos meios de comunicação social e pelas entidades competentes diz respeito às recentes alterações no que respeita à classificação energética das habitações, ao que apenas 29% dos inquiridos respondeu que conhecia as implicações:

Sim	Não
29,00%	71,00%

Das 100 empresas inquiridas 78 responderam à questão do valor que gastam em energia eléctrica por mês, sendo que, o valor médio ascende a 386,82 Euros.

7.7 CONCLUSÕES

Podemos afirmar que o conhecimento sobre energias renováveis é ainda muito baixo nas empresas do Alentejo, uma vez que, a maioria dos empresários nunca fez qualquer diagnóstico com vista à redução dos consumos de energia, nem promove a poupança, não havendo na grande maioria das empresas qualquer plano que possibilite a redução dos

c) Qual o volume de negócios de empresa?

- Menos de 50.000 €
 Entre 50.001 € e 150.000 €
 Entre 150.001 € e 500.000 €
 Entre 500.001 € e 1.500.000 €
 Mais de 1.500.000 €

d) Quais são as suas expectativas de vendas para o próximo ano?

- Aumento das vendas de *mais* de
 Aumento moderado das vendas *até* 5%
 Estagnação
 Decréscimo moderado das vendas *até* *menos* 5%
 Decréscimo elevado as vendas *mais* de 5%

e) Para o próximo ano, na sua opinião, a empresa necessita de contratar mão-de-obra qualificada (recursos humanos) considerando o sector de actividade onde está inserida a empresa?

- Não
 Sim. Quantos? _____

3 Conhecimento e utilização racional de energia

a) Classifique o seu conhecimento no que concerne à Utilização Racional de Energia

- Nenhum
 Pouco
 Médio
 Elevado

b) Quais as fontes energéticas que utiliza na sua empresa?

- | | |
|--|--|
| <input type="radio"/> Energia Eléctrica | <input type="radio"/> Gás Natural |
| <input type="radio"/> Solar Fotovoltaica | <input type="radio"/> Gás Propano/Butano |
| <input type="radio"/> Solar Térmica | <input type="radio"/> Diesel |
| <input type="radio"/> Eólica | <input type="radio"/> Bio-diesel |
| <input type="radio"/> Biomassa | <input type="radio"/> Outra: _____ |

c) É do seu conhecimento a expressão "energias renováveis"?

- Não
 Sim

d) Já elaborou algum diagnóstico ou utiliza algumas ferramentas e/ou serviços que permitam o diagnóstico do potencial de redução de custos com energia?

- Sim
 Não

e) Já elaborou alguma análise do custo benefício da utilização de energias renováveis?

- Sim
 Não

- f) Pensa investir em energias renováveis nos próximos anos?
- Sim. Quanto? Não
- 5.000,00 €
- 10.000,00 €
- 15.000,00 €
- 20.000,00 €
- g) No caso de decidir investir em energias renováveis sabe a quem se dirigir?
- Sim Não
- h) A empresa ou a zona onde está instalada possui parque de estacionamento para bicicletas?
- Sim Não
- i) Os sócios e colaboradores da empresa deslocam-se habitualmente de bicicleta?
- Sim Não
- j) Existe na empresa algum plano para a poupança de energia?
- Sim Não
- k) Os equipamentos eléctricos estão sempre desligados quando não estão a ser utilizados?
- Sim Não
- l) Conhece o termo casas ou edifícios bio-climáticas
- Sim Não
- m) Sabe a diferença entre solar térmica e solar fotovoltaica
- Sim Não
- n) Conhece as alterações recentes no que respeita à classificação energética das habitações
- Sim Não

ñ) Valor médio que gasta (€) em energia por mês:

Energia eléctrica €

Combustível €

Outros €

Obrigado pela sua colaboração.



IDA Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idae.es
www.idae.es