

5.- RECURSOS ENERGÉTICOS.

5.1.- Recurso eólico.

Para caracterizar este recurso se recurrirá al “Atlas Eólico de España”, publicado en julio de 2009 por el Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE) y se extraerá de él la información correspondiente a Andalucía.

Para caracterizar con exactitud el recurso eólico hacen falta una gran cantidad de parámetros que lo definan. No obstante, una primera aproximación suficientemente buena se puede conseguir conociendo los tres siguientes parámetros:

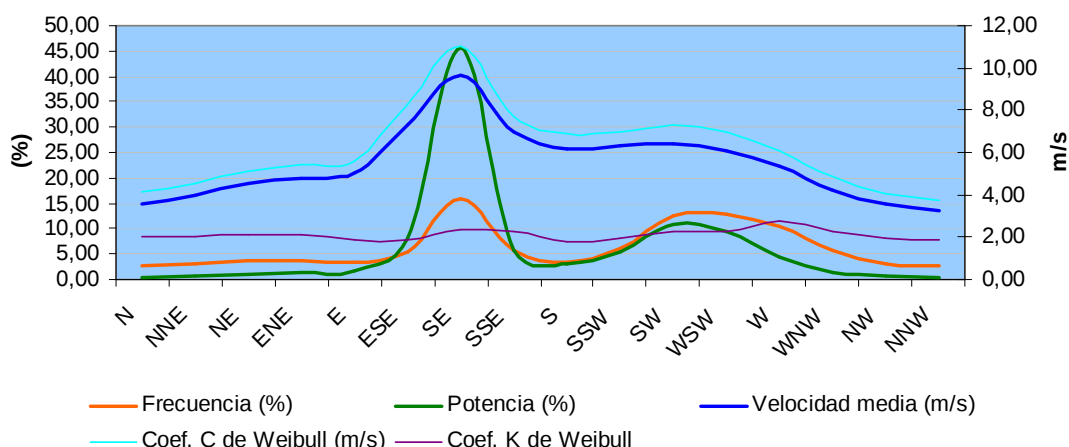
- Velocidad media del viento.
- Distribución de frecuencias de velocidad.
- Distribución de direcciones de viento.

Con estos tres parámetros se estará en condiciones de realizar una primera aproximación al potencial de generación eólica. Para una estimación realmente precisa del potencial de generación eólico en una ubicación dada se requiere conocer además datos de ráfagas de vientos, máximas y mínimas, la cizalladura del viento (wind shear), presiones atmosféricas, temperaturas ambientales, humedad del aire, etc.

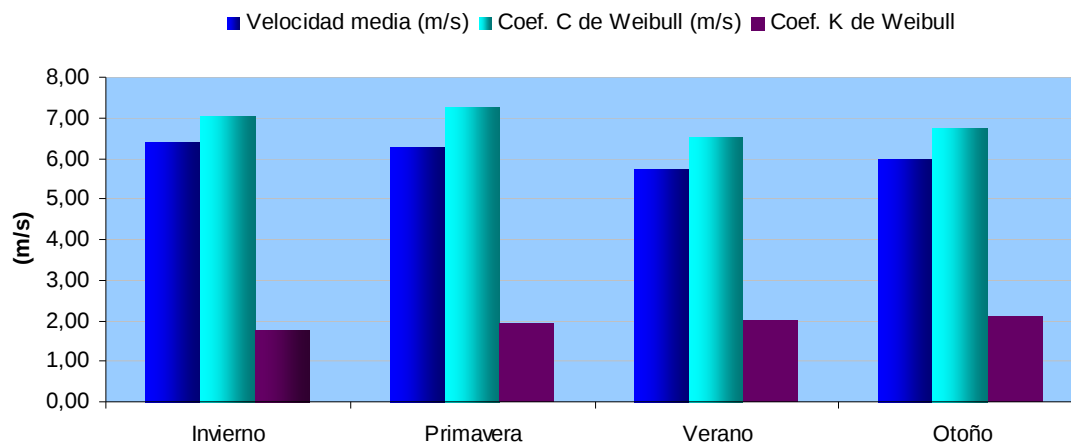
La función de distribución de Weibull representa la velocidad del viento como una variable aleatoria para un emplazamiento dado. Esto se hace así debido a las características dispersas y aleatorias de la energía eólica. Se trata de una distribución de dos parámetros:

- Coeficiente C de Weibull (m/s): Parámetro de escala.
- Coeficiente K de Weibull (adim.): Parámetro de factor de distribución de forma.

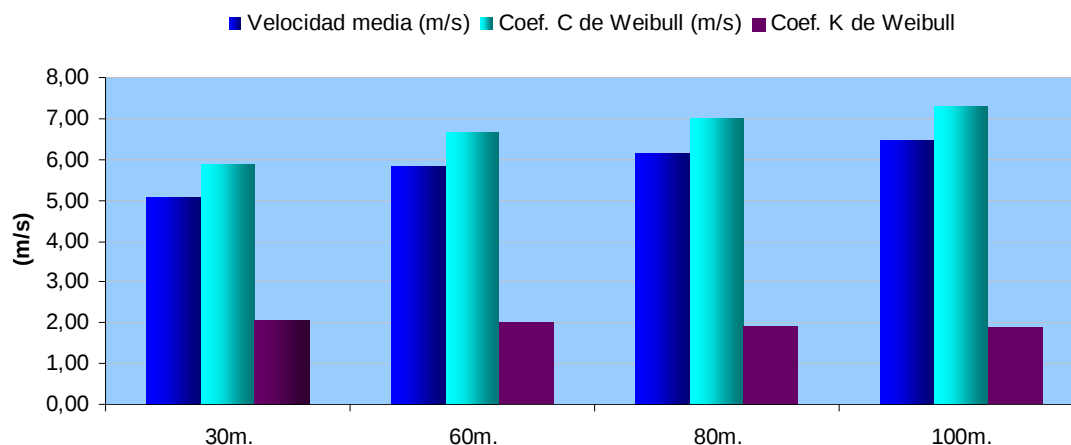
A continuación se muestran los parámetros elegidos para la caracterización del recurso para una ubicación concreta (Morón de la Frontera, Sevilla). Al igual que en el caso del recurso solar, para la evaluación de este recurso en cualquier otro punto se requerirá este mismo estudio particularizado para esta nueva ubicación.



Gráfica 5.-Distribución de los parámetros por direcciones a 80 m.
Fuente: Atlas Eólico de España, (IDAE)



Gráfica 6.-Valores estacionales de los parámetros a 80 m.
Fuente: Atlas Eólico de España, (IDAE)

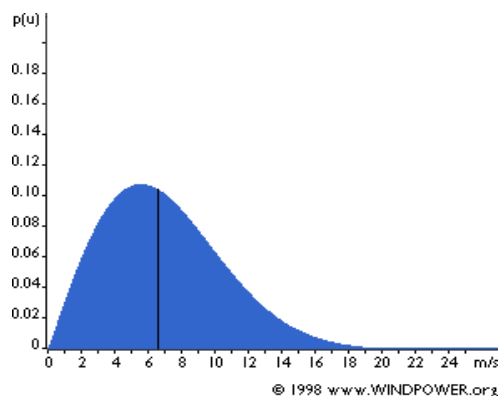


Gráfica 7.-Media anual de los parámetros a distintas alturas.
Fuente: Atlas Eólico de España, (IDAE)

Conociendo estos datos se estará en disposición de valorar en primera aproximación cuánta energía será capaz de generar una hipotética central eólica y su distribución estacional a lo largo del año. En este caso no es posible valorar la distribución diaria ni mensual de estos parámetros. Hacerlo requiere un estudio más exhaustivo del recurso, con mediciones in situ.

Los parámetros C y K de Weibull definen la curva cualitativa y cuantitativamente de la distribución de Weibull, que representa la probabilidad en una ubicación dada de que el viento alcance una determinada velocidad.

Gráfica 8.- Ejemplo de distribución de Weibull
Fuente: WINDPOWER

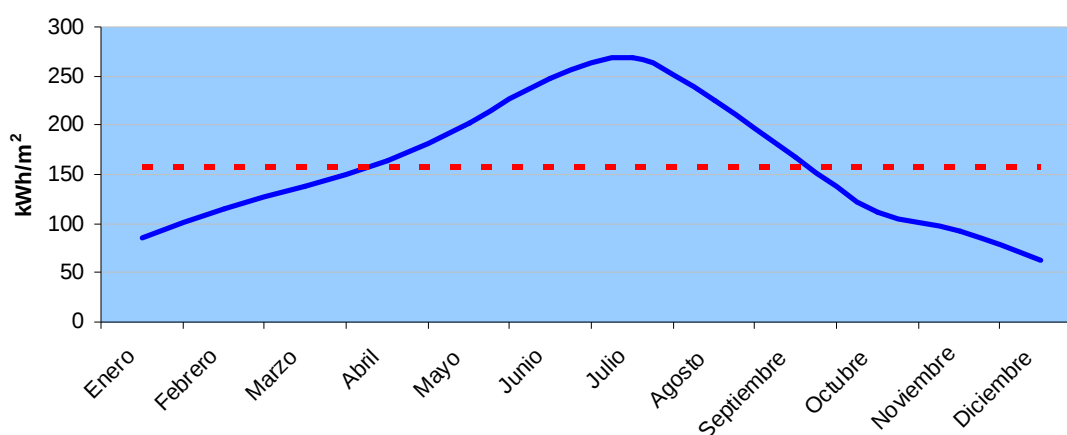


5.2.- Recurso Solar

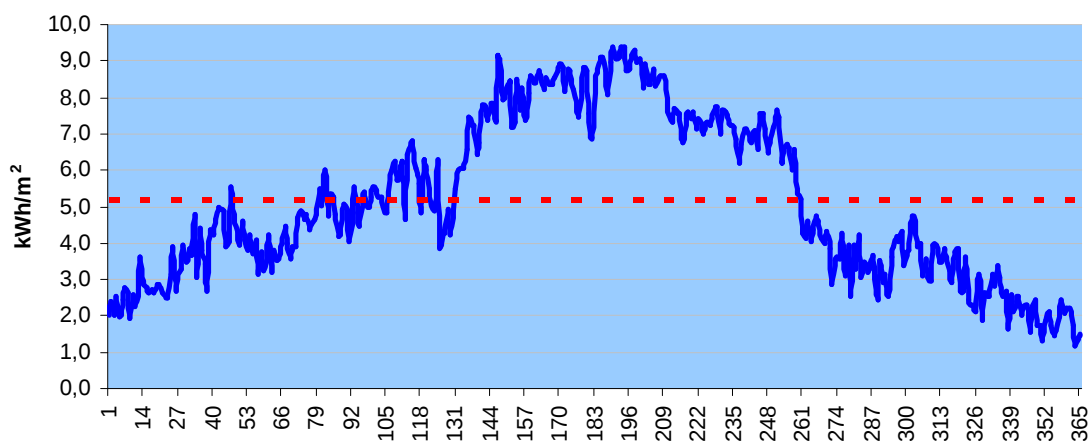
Se presenta a continuación la disponibilidad de este recurso a lo largo de los distintos periodos de tiempo que son objeto de estudio en el proyecto. Como ya se comentó en el apartado donde se caracterizaban las distintas tecnologías, existen tres formas de instalar los captadores (fijas, seguimiento en un eje y seguimiento en dos ejes).

Por simplicidad, en este apartado se va a representar la radiación directa sobre una superficie orientada al sur e inclinada 35° respecto a la horizontal, así como la radiación directa total (para seguidores en dos ejes). En caso de ser necesario la evaluación de la radiación en otra posición fija o con seguimiento a un solo eje sólo habrá que presentar los valores particularizados para estos casos de la misma forma en que se presentan los ejemplos seleccionados.

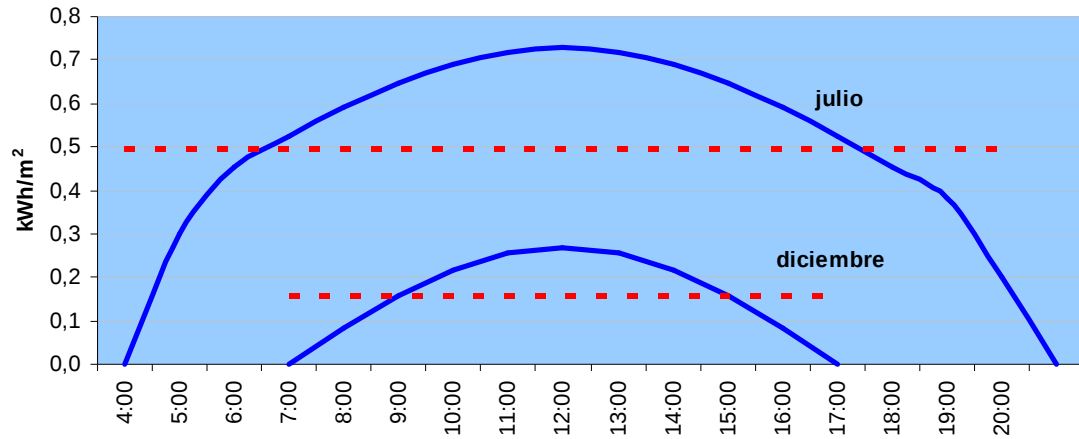
5.2.1.- Curvas de radiación para seguimiento a dos ejes



Gráfica 9.- Radiación solar media mensual durante un año.
Fuente: Radiación Solar en Andalucía, Agencia Andaluza de la Energía (AAE)



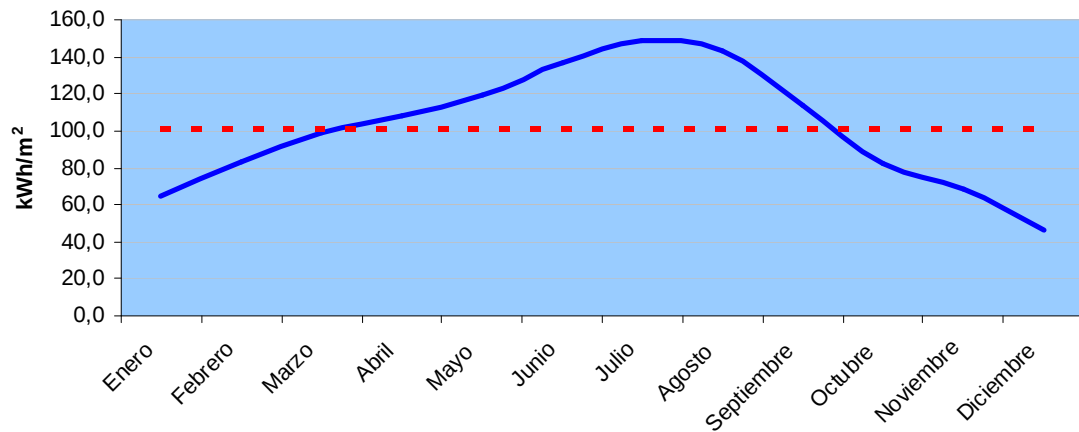
Gráfica 10.- Radiación solar media mensual durante un año.
Fuente: Radiación Solar en Andalucía, Agencia Andaluza de la Energía(AAE)



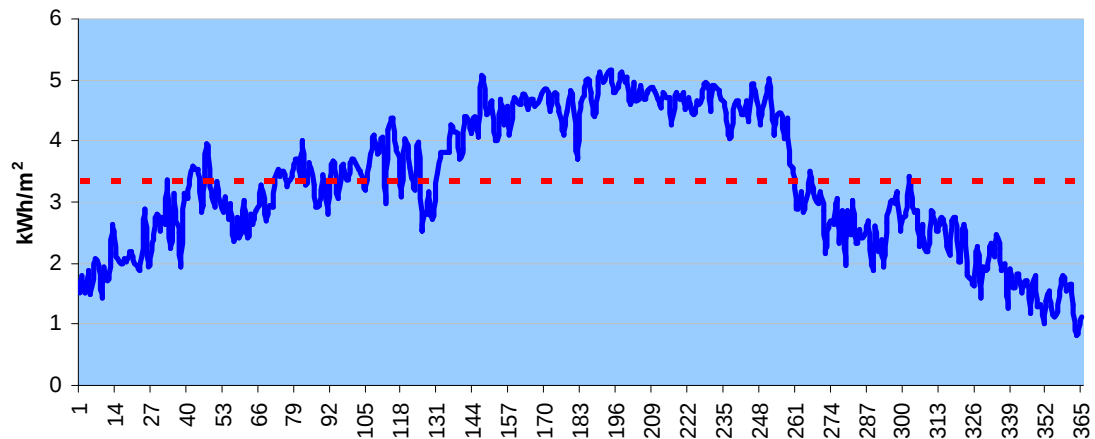
Gráfica 11.- Radiación solar media mensual durante un año.
Fuente: Radiación Solar en Andalucía, Agencia Andaluza de la Energía(AAE)

5.2.2.- Curvas de radiación para centrales fijas

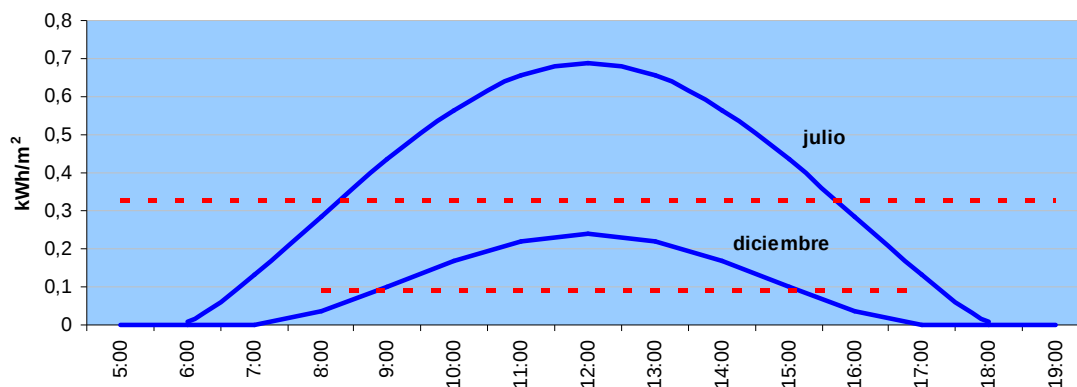
A continuación se muestran las gráficas del recurso solar para superficies fijas, orientadas al Sur e inclinadas 35° respecto a la horizontal:



Gráfica 12.- Radiación solar media mensual durante un año.
Fuente: Radiación Solar en Andalucía, Agencia Andaluza de la Energía(AAE)



Gráfica 13.- Radiación solar media mensual durante un año.
Fuente: Radiación Solar en Andalucía, Agencia Andaluza de la Energía(AAE)



Gráfica 14.- Radiación solar media mensual durante un año.
Fuente: Radiación Solar en Andalucía, Agencia Andaluza de la Energía (AAE)

5.3.- Recurso hídrico.

Es fundamental la elección de un caudal de diseño adecuado para definir el equipamiento a instalar, de forma que la energía producida sea la máxima posible en función de la hidrología. Por tanto, el conocimiento del régimen de caudales del río en la zona próxima a la toma de agua es imprescindible para la determinación del caudal de diseño del aprovechamiento.

La medición de los caudales del río se realiza en las estaciones de aforo, donde se registran los caudales instantáneos que circulan por el tramo del río donde está ubicada la estación y a partir de estos se determinan los caudales máximos, medios y mínimos diarios correspondientes a un gran número de años, con los que se elaboran series temporales agrupadas por años hidrológicos.

La obtención de los datos de estaciones de aforo puede hacerse a través de los Organismos de cuenca o en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), organismo autónomo adscrito orgánicamente al Ministerio de Fomento y funcionalmente a los Ministerios de Fomento y Medio Ambiente. En España hay una extensa red de estaciones de aforo, que nos proporcionan datos sobre los caudales de un gran número de ríos durante un significativo número de años.

A continuación se muestra el plano general de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, a modo de ejemplo, donde se muestra entre otras cosas, las estaciones de aforo existentes.



Imagen 1.- Mapa de estaciones de aforo en la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.
Fuente: Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX) y Dirección General del Agua

Este mismo mapa, así como los correspondientes a las demás confederaciones hidrográficas se pueden encontrar en la página web:

<http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/mapas/>

Seleccionando una de las estaciones de aforo e introduciendo su código en la siguiente página web se pueden obtener los datos históricos necesarios para evaluar el potencial de generación en dicha estación.

http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/estaf-afo_0.asp

La anterior página web muestra, entre otros, los siguientes datos, a modo de ejemplo presentados para una estación cualquiera. No obstante, además de los a continuación presentados, en esta herramienta informática se pueden conseguir los demás datos trascendentes para el fin perseguido, que se detallarán en el capítulo donde se explique la metodología.

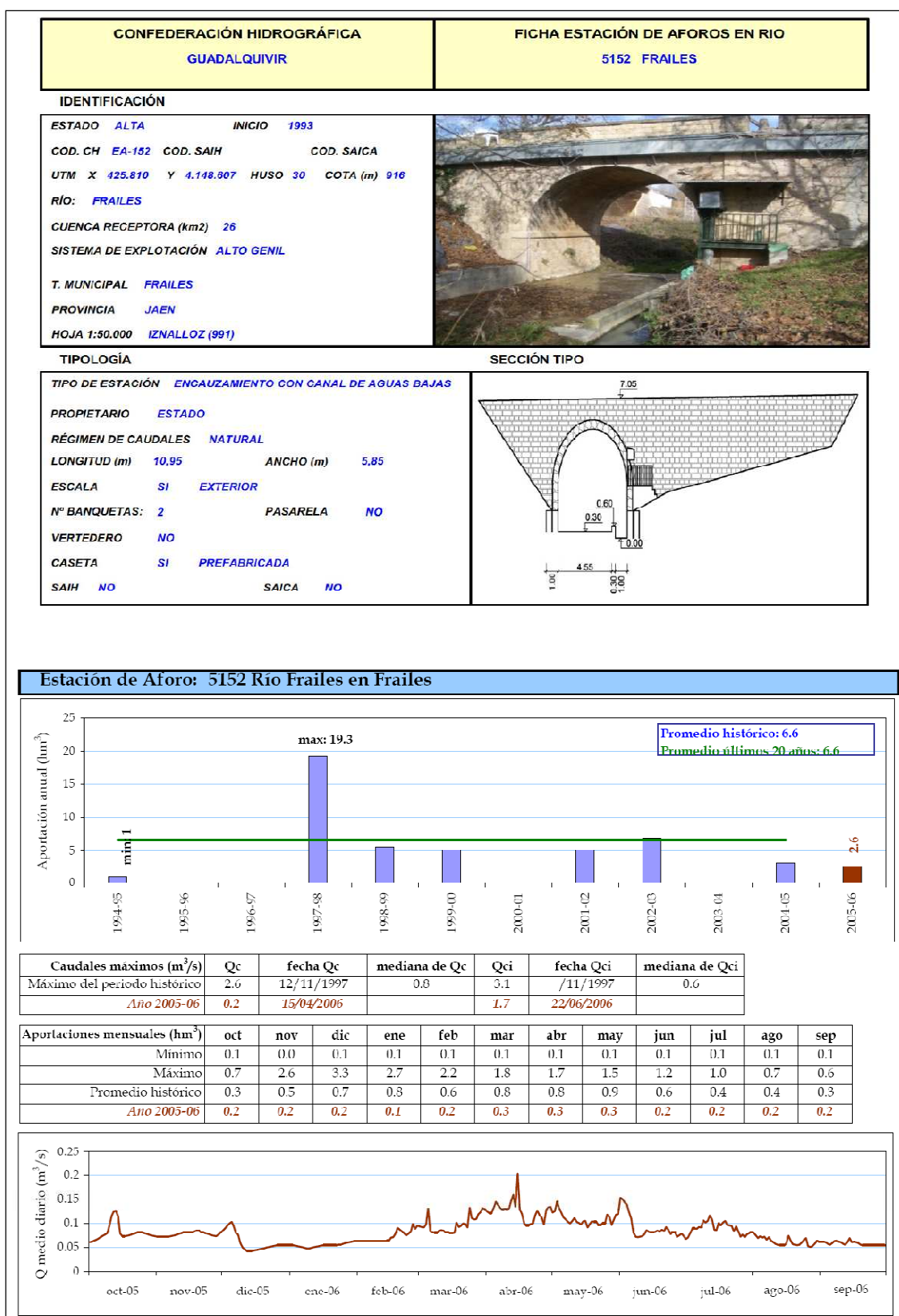


Imagen 2.- Información proporcionada para una estación de aforo en concreto.
 Fuente: Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX) y Dirección General del Agua

No obstante, el conocimiento del salto hidráulico de este caudal también es imprescindible para la determinación de la potencia posible a instalar y de la energía a generar. Éste deberá ser el máximo permitido por la topografía del terreno, teniendo en cuenta los límites que marcan la afección al medio ambiente y la viabilidad económica de la inversión.

En función del tipo de central mini hidráulica, este salto se considerará constante (centrales fluyentes) o variable (centrales de pie de presa, según la curva Q-H del depósito o embalse).

5.4.- Biomasa

5.4.1.- Cultivos energéticos

Los cultivos energéticos no representan en la actualidad una fracción considerable del total de la biomasa sólida utilizada para generar electricidad. No obstante, como se vio en el comienzo del capítulo, existen en el territorio andaluz 20,7 MW instalados. El motivo de incluir este recurso radica en el gran potencial que presenta ya que no requiere suelos de alta calidad para su cultivo, por lo que pueden ser explotadas tierras que hoy en día no lo están siendo debido a su baja productividad. Además, se ha creído justificable introducirlo debido a la gran complementariedad que presentan estos dos tipos de biomasa para ser usadas en las mismas centrales, por lo que se amplían las posibilidades de sus abastecimientos.

Los cultivos comúnmente usados para la generación eléctrica son los lignocelulósicos, tanto herbáceos como leñosos. Las especies leñosas se caracterizan por dar cosechas cada 3-6 años, un poder calorífico algo superior respecto a las herbáceas y una difícil erradicación, mientras que los herbáceos ofrecen cosechas anuales y un fácil cambio de éstas.

En la siguiente tabla se detallan las características más relevantes de varios tipos de cultivos energéticos para producción de electricidad:

Parámetros	Especies Herbáceas			
	Cynara	Caña Común	Switchgrass	Miscanthus
Requerimientos hídricos	Secano en climas mediterráneos (400-600 mm). Tolerante a la sequía	En general Regadío. Evidencias a partir del 2º año cultivo en secano	Requiere riego (300-600 mm en verano)	Exigente. Requiere riego (900-1.000 mm)
Productividad	5-20 t/(ha*año)	5-37 t/(ha*año)	10,1-18,2 t/(ha*año)	27 t/(ha*año) a partir de 3er año. Con riego
Composición	5-10 % Cenizas. 23,6-59 % Cel. 15,9-26,5 % Hem. 2,6-13,2 % Lign.	3-3,8 % Cenizas. 26,6-28,3 % Cel. 25,7-28,3 % Hem. 17,7-19,4 % Lign.	1,9-10,1 % Cenizas. 32-39,6 % Cel. 28,6-32,9 % Hem. 5,7-18,9 % Lign.	1,6-3,6 % Cenizas. 44,7 % Cel. 29,6 % Hem. 2,1 % Lign.
Poder Calorífico (MJ/kg)	HHV: 15,1-23,3 s/fracción;x=17,1 LHV: 13,9-21,9	HHV: 18,3-18,9 LHV: 17,2-17,6	HHV: 17,3-18,9 LHV: 15,9-17,6	HHV: 19,0-19,5 LHV: 17,8-18,2
Otros	- Origen mediterráneo - Producción dependiente de precipitaciones. - Cosecha anual. - Contenido en cenizas a veces alto.	- Amplia distribución en el mediterráneo. - Tolerante a la sequía. - Rendimientos máximos en regadío. - Cosecha anual.	- Alcanza su potencial en 3er año. - Introd. Reciente en Europa. - Variedad Álamo más productiva. - Caída rendimiento a partir de 5º año.	- Introd. Reciente en Europa. - Alta variación del rend. Según genotipos. - Potencial productivo 3-5 años.

Tabla 20.- Principales características de los cultivos lignocelulósicos herbáceos.

Fuente: Centro de Investigación Agraria La Orden-Valdesequera.

Parámetros	Especies Leñosas		
	Olmo de Siberia	Chopo (SRC)	Paulownia
Requerimientos hídricos	Secano	Necesario riego	Necesario riego (800) mm
Productividad	5 t/(ha*año)	7,35-18,35 t/(ha*año)	En estudio
Composición	Madera: 0,8 % Cenizas. 41,0 % Cel. 15,6 % Hem. 26,0 % Lign. Corteza: 9,0 % Cenizas. 6,3 % Cel. 27,1 % Hem. 12,5 % Lign.	1-2 % Cenizas. 40,0 % Cel. 23,0 % Hem. 20,0 % Lign.	1,8-4,5 % Cenizas. 46-49 % Cel. 22-25 % Hem. 21-23 % Lign.
Poder Calorífico (MJ/kg)	PCS: 18,89; PCI: 17,55 PCS ^{madera} : 19,54; PCS ^{corteza} : 17,39.	PCS: 18,2-20,3 PCI: 19,4	PCS: 19,6-19,8 PCI: 18,4-18,5
Otros	Rotación: 3 años	- Rotación: 3-6 años 5.000-10.000 pl/ha	- Rápido crecimiento (2m/año) - Resistencia al frío. 1.100-3.300 pl/ha

Tabla 21.- Principales características de los cultivos lignocelulósicos leñosos.
Fuente: Centro de Investigación Agraria La Orden-Valdesequera.

Para concluir, se muestra la siguiente tabla resumen.

	Origen	Rég. Hid.	Rust.	t/ha	% Cel.	% Hem	% Lign	PCS
Cynara	Med	Secano	+++	5-20	23-45	23	3-13	15-23
Arundo	Natriz	Sec/Reg	+++	5-37	28-36	21-30	16-22	18-19
Switch	Aloc.	Regadío	+	10-18	32-40	29-33	6-19	17-19
Misc.	Aloc.	Regadío	++	5-27	45	30	2	19
Olmo S.	Natriz.	Secano	+++	5-10	41 (27)	16 (6)	26 (12)	19,5
Chopo	Med.	Regadío	+++	10-14	40	23	20	20
Paulow	Aloc.	Regadío	+++		46-49	22-25	21-23	20

Tabla 22.-Resumen principales características de los cultivos lignocelulósicos herbáceos y leñosos.
Fuente: Centro de Investigación Agraria La Orden-Valdesequera.

5.4.2.- Residuos agrícolas

Existen una gran variedad de residuos del sector agrícola susceptibles de ser valorizados energéticamente para producir electricidad. El principal condicionante para poder aprovecharlos con este fin es poder garantizar la disponibilidad de las cantidades necesarias siempre y cuando el coste de su transporte no encarezca demasiado al combustible. Es por esto por lo que se aconseja valorar la disponibilidad de éste en un radio determinado del punto de consumo previsto, siendo en muchas ocasiones más recomendable acercar la central de generación al punto de disponibilidad del combustible, y no al revés.

A continuación se muestran los poderes caloríficos de distintos tipo de biomasa proveniente del sector agrícola.

Producto	PCS (kcal/kg) Humedad = 0 %	PCI a la humedad x (kcal/kg)			
		x	PCI	x	PCI
Olivo					
Hueso	4.960	15 %	3.860	35 %	2.810
Orujillo	4.870	15 %	3.780	35 %	2.760
Cáscara frutos secos					
Almendra	4.760	10 %	3.940	15 %	3.690
Avellana	4.500	10 %	3.710	15 %	3.470
Piñón	4.930	10 %	4.060	15 %	3.830
Cacahuete	4.250	10 %	3.480	15 %	3.260
Paja de cereales	4.420	10 %	3.630	20 %	3.160
Cascarilla de arroz	4.130	10 %	3.337	15 %	3.150
Girasol	4.130	10 %	3.337	15 %	3.150
Residuos de campo	4.060	10 %	3.310	15 %	3.090
Leñas y ramas					
Coníferas	4.950	20 %	3.590	40 %	2.550
Frondosas	4.600	20 %	3.331	40 %	2.340
Serrines y virutas					
Coníferas	4.880	15 %	3.790	35 %	2.760
Frondosas autóct.	4.630	15 %	3.580	35 %	2.600
Frondosas tropicales	4.870	15 %	3.780	35 %	2.760
Corteza					
Coníferas	5.030	20 %	3.650	40 %	2.650
Frondosas	4.670	20 %	3.370	40 %	2.380
Vid					
Sarmientos	4.560	25 %	3.280	40 %	2.310
Ramilla de uva	4.440	25 %	2.950	50 %	1.770
Orujo de uva	4.820	25 %	3.240	50 %	1.960

Tabla 23.-Poderes caloríficos de diferentes tipos de biomasa.
Fuente: Energía de la Biomasa, IDAE.

La disponibilidad de biomasa en Andalucía se muestra en los siguientes mapas, extraídos de “La Biomasa en Andalucía. Situación de la biomasa en Andalucía, enero 2008. Agencia Andaluza de la Energía”.

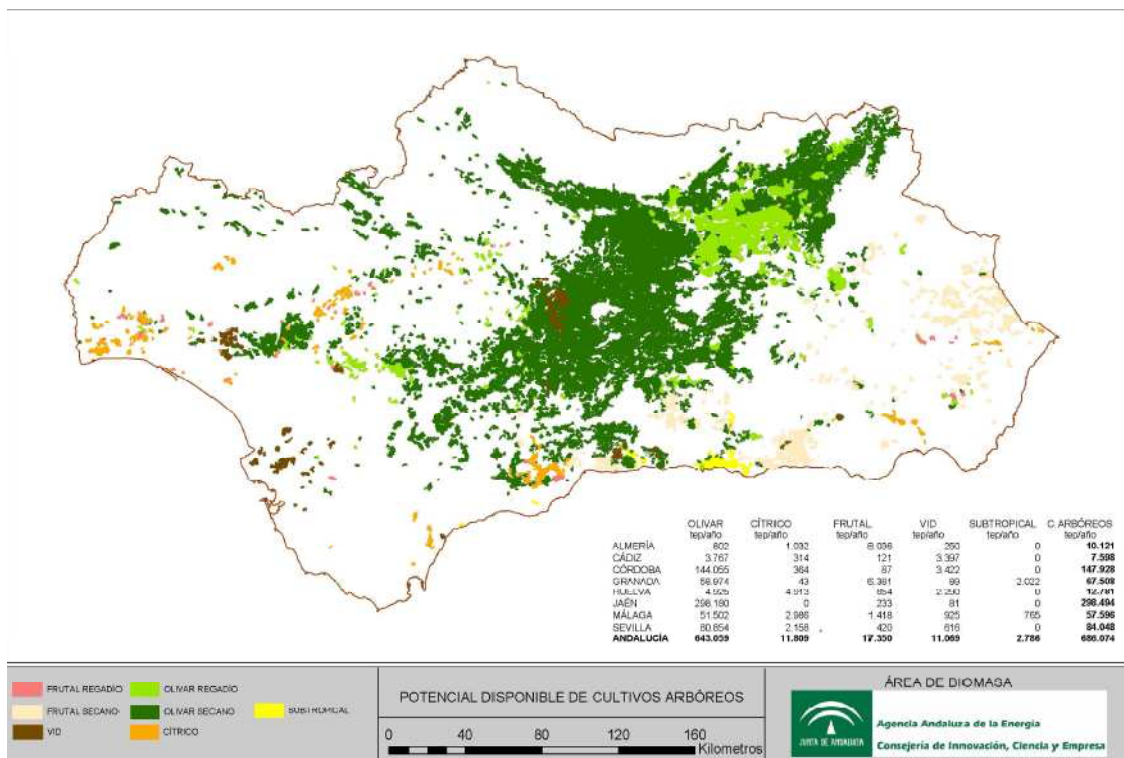


Imagen 3.- Mapa de Potencial disponible de cultivos arbóreos en Andalucía.
Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

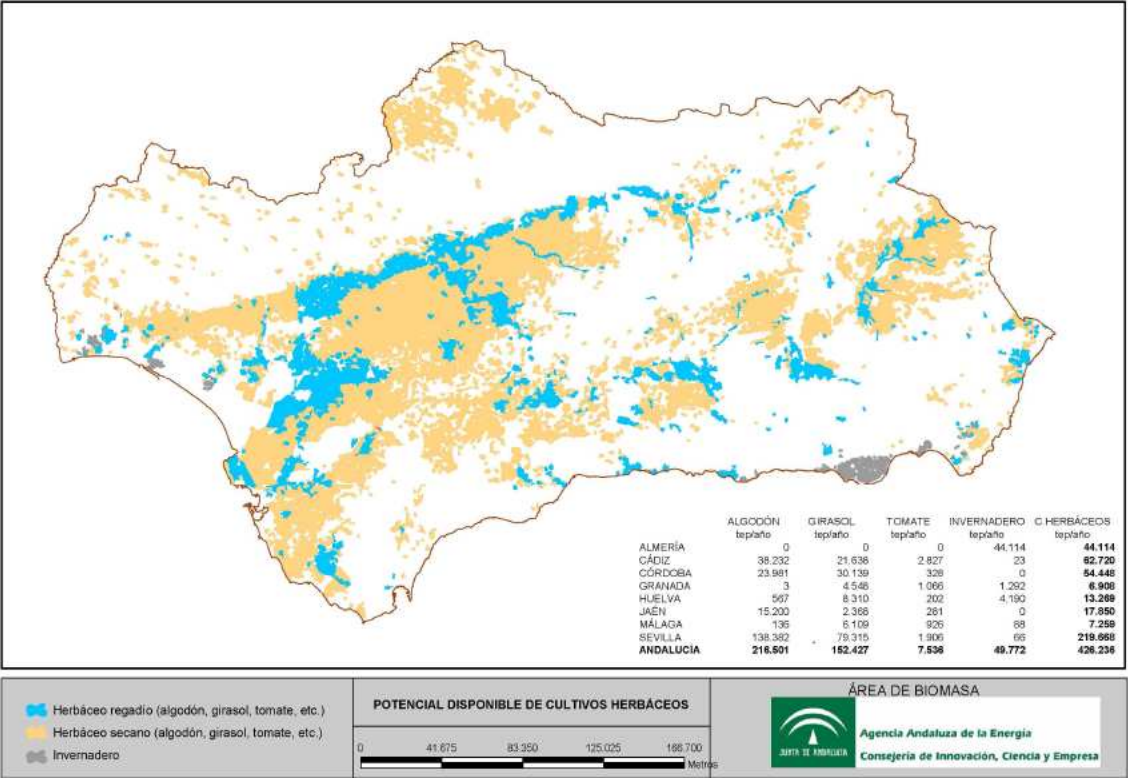


Imagen 4.- Mapa de Potencial disponible de cultivos herbáceos en Andalucía.
Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

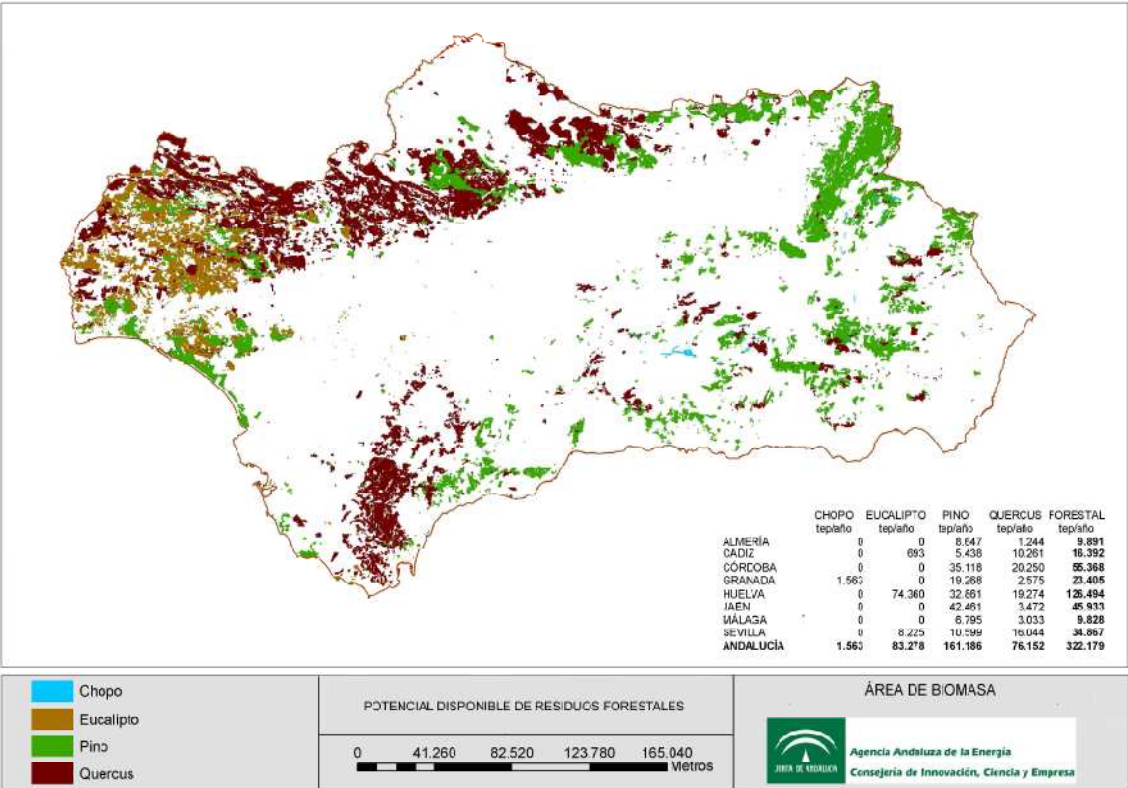


Imagen 5.- Mapa de Potencial disponible de residuos forestales en Andalucía.
Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

5.5.- Recurso para centrales de cogeneración

Para que la generación de energía eléctrica mediante cogeneración se realice eficientemente, según criterios ambientales, la/s central/es de cogeneración debe/n tener como límite superior la capacidad de generación de energía térmica necesaria para que en ningún momento se sobrepase la demandada, ya que en caso contrario se cedería al ambiente o a algún otro sumidero de energía térmica este excedente, considerándose entonces como "Energía No Útil".

Por tanto, el recurso que se postula como más apropiado para su evaluación de cara a estimar el potencial de generación de energía eléctrica mediante cogeneración es la demanda de energía térmica. Es necesario aclarar que se ha seleccionado la demanda de energía térmica como recurso en el sentido de factor limitante de generación eléctrica mediante cogeneración, ya que por analogía con los apartados anteriores, los recursos se han planteado de esta manera. Entendido el recurso como la energía primaria a utilizar, es el Gas Natural el combustible del que se obtendrá la energía generada, si bien, el único estudio que es necesario realizar es la existencia cercana o no de una red de distribución de este gas. En caso de no existir, se desestimará este tipo de centrales (se procedería a valorar otros posibles combustibles).

A continuación se muestran los parámetros típicos de emisiones de diferentes combustibles fósiles, donde se deja evidencia de que en el caso del gas natural, éstas son mínimas:

	NO como NO ₂ (kg/tep)	SO _x como SO ₂ (kg/tep)	CO (kg/tep)	HC como CH ₄ (kg/tep)	Partículas (kg/tep)	CO ₂ (kg/tep)
Carbón (C. Termoeléctrica)	15	28	0,4	0,15	180	4.936
Fuel Oil	9	19,4	0,26	0,3	2,7	3.238
Propano	3	0,0	0,01	1	0,3	2.700
Gasóleo	75,2	3,9	16,05	2,11	0,9	3.120
Gas Natural	3	0,0	0,001	1	0,3	2.100

Tabla 24.- Emisiones de distintos combustibles fósiles.
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, las bondades medioambientales del gas natural sobresalen sobre el resto de combustibles, a excepción del propano que, aunque emite más CO₂, tienen características similares.

Debido a las posibilidades tecnológicas de acumulación de energía térmica, la potencia térmica generada mediante cogeneración podría superar en algunos momentos a la demandada, a fin de conseguir una curva de generación lo más uniforme posible (así se obtendrán mejores resultados en la eficiencia de cogeneración). Es decir, en el ámbito temporal diario, la producción eléctrica instantánea se podrá desvincular de la producción térmica, siempre y cuando, en términos globales la energía eléctrica generada a lo largo del día sea la correspondiente a la energía térmica demandada a lo largo de este periodo de tiempo.

Para determinar el recurso debemos analizar todos y cada uno de los puntos de consumo de energía térmica. Este análisis se realizará con el fin de evaluar la posibilidad de incluirlos o no para que se abastezcan desde una misma central de cogeneración. Con carácter general, una central de cogeneración será viable, desde el punto de vista de la mínima demanda de energía térmica que abastecerá, si ésta supera los 50 kWt funcionando unas 4.000 horas anuales, cuando la generación se realice en el punto de consumo. Por tanto, una vez evaluadas todas las posibles centrales de cogeneración según las ubicaciones de los puntos de consumo y sus cuantías, se procederá a desechar todas aquellas que no superen este umbral.

No obstante, es posible agrupar distintos consumos térmicos para que sean abastecidos mediante una única central de cogeneración, es decir, se puede plantear una “cogeneración centralizada”. En este tipo de centrales hay que tener en cuenta las pérdidas acaecidas en el transporte de la energía térmica a los lugares de consumo. Desde este punto de vista, existe una demanda térmica mínima por consumo que hace que por debajo de este nivel no sea rentable ni eficiente el transporte.

Se proponen los siguientes números índices, que pretenden dar una idea de cuándo la relación entre potencia térmica a suministrar y distancia a la canalización principal de cada punto de consumo hacen viable la implementación de la red de climatización:

Potencia Demandada Frío (MW)	Potencia Demandada Calor (MW)	Distancia máx. del punto de consumo al ramal principal (m)
3,5	1,7	150
2	1	100

Tabla 25.- Valores orientativos en cuanto a distancia del punto de consumo de Et al ramal principal, según potencias demandadas de frío y calor.

Fuente: Modelo de ordenanza municipal para Climatización de Distrito, Asociación Española de Agencias de Gestión de la Energía (EnerAgen).

Por último, una vez evaluado la demanda de energía térmica en un punto de consumo, o bien, en un conjunto de ellos, se estará en disposición de evaluar el potencial de generación de energía eléctrica. A continuación se muestra la relación entre las dos generaciones, así como con el consumo de energía primaria (para un sistema de generación combinada de energía eléctrica y térmica así como para un sistema convencional de generación de ambas energías).

	Sistema convencional			Sistema Cogeneración		
	Energía Primaria	Energía Útil	η	Energía Primaria	Energía Útil	H
Energía Eléctrica	218	72	33%	200	72	36%
Energía Térmica	110	100	90%		100	50%
Total	328	172	52,5%	200	172	86%

Tabla 26.- Valores de eficiencia en generación de energía térmica eléctrica mediante sistema convencional y central de cogeneración.

Fuente: Elaboración propia.

Por último, se muestran el PCI y el PCS del gas natural como combustible:

Gas Natural	
PCI (MWh/t)	PCS (MWh/t)
11,1	12,2

Tabla 27.-PCI y PCS del Gas Natural.

Fuente: Elaboración propia.