

# ANEXO 1

## Corrección de velocidad del viento

---

En este anexo se muestran las líneas de código utilizadas para llevar las velocidades del viento mediadas de diez en diez minutos a una altura de 20m a la altura del eje del aerogenerador, y posteriormente realizar la media de las medidas de cada hora para pasarlas a un periodo horario.

```
%Se carga el archivo donde se encuentran las velocidades  
medidas a una altura de 20m de diez minutos en diez minutos  
hasta alcanzar las 48 horas.
```

```
format short e  
load vientos.txt
```

```
%Se modifican los parámetros para cambiar la altura dónde  
se toman las medidas y el factor de fricción.
```

```
ka=(100/20)^0.35;  
viento=ka*vientos;  
k=length (viento);
```

```
%CÁLCULO DEL VECTOR VELOCIDADES POR HORAS
```

```
m=k/6;  
v=[];  
suma=0;  
j=1;  
while j< m  
    for i=1 : k  
        suma = suma + viento(i);  
        coc=i/6;  
        if (coc / floor(coc))==1% múltiplo de 6.  
            v(j) = suma/6;  
            j=j+1;  
            suma=0;  
        end  
    end  
end  
end
```



# ANEXO 2

## Cálculo de la energía eólica generada en función del viento

---

En este anexo se muestran las líneas de código que son necesarias para el cálculo de la energía que ceden los aerogeneradores según la velocidad del viento que haya en esa hora. Como entradas tiene la curva de potencia del aerogenerador y los resultados del primer programa, que ofrece la media de las velocidades para cada hora a la altura a la que se encuentra el eje del aerogenerador.

El código realiza una interpolación lineal para cada velocidad y da como resultado un vector de energía generada en cada hora según la velocidad del viento del momento. Este vector de resultados lo almacena en un archivo de texto llamado energiaeol.txt.

*%Es parte del código del programa anterior, y es necesario para que funcione el programa del cálculo de energía.*

```
format short e
Vmin=4;
Vmax=25;
load vientosol.txt
```

```
ka=(100/20)^0.35;
viento=ka*vientosol;
k=length (viento);
```

*%CURVA DE POTENCIA*

*%Es la curva de potencia de un aerogenerador de eje horizontal de 2MW de potencia*

```
p=[79 181 335 550 832 1175 1530 1816 1963 1988 1996 1999
2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000 2000];
```

*%En España hay instalada una potencia cercana a los 20000MW, se escala por 10000. Se multiplica sólo por 10 porque las unidades en GAMS están en miles de MW*  
*P=10\*p;*

```
VIEN=[4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18
19 20 21 22 23 24 25];
r=length(VIEN);
```

```
%CÁLCULO DE LA POTENCIA POR HORAS SEGÚN LA VELOCIDAD INTERPOLADA
LINEALMENTE CON LA CURVA DE POTENCIA
```

```
poten=[];
j=1;
while j< m+1
    %si la velocidad se encuentra fuera de límites
    if v(j)>Vmax||v(j)<Vmin
        poten(j)=0;
    else
        for t=1:r
            % si la velocidad se encuentra dentro de los límites
            if v(j)>=VIEN(t) && v(j)<=VIEN(t+1)
                poten(j)=(P(t+1)-P(t))/(VIEN(t+1)-VIEN(t))*(v(j)-
                VIEN(t))+P(t);
            end
        end
    end
    j=j+1
end
```

```
%ARCHIVO DE TEXTO PARA GUARDAR LOS RESULTADOS
```

```
fi = fopen('Energiaeol.txt', 'w');
fprintf(fi, '%f ', poten)
fclose(fi);
```

```
%GRÁFICA DE LA POTENCIA CEDIDA Y LA VELOCIDAD DEL VIENTO POR
HORAS
```

```
horas=[1:1:m];
subplot(2,1,1)
plot( horas, poten,'g')
axis([0 50 0 23000])
```

```
xlabel('(horas)')
ylabel('Potencia(miles MW)')
title('Potencia eólica generada el 2 y 3 de Junio de 2004')
```

```
subplot(2,1,2)
plot( horas, v, 'r')
axis([0 50 0 25])
xlabel('(horas)')
ylabel('Velocidad del viento (m/s)')
title('Velocidad del viento el 2 y 3 de Junio de 2004')
```

# ANEXO 3

## Adaptación de resultados y representación gráfica de los mismos

---

En este anexo se muestran las líneas de código que son necesarias para poder extraer los resultados en forma gráfica. Para ello, lo primero que hace es leer de un archivo EXCEL los resultados que ha almacenado GAMS. Previamente a la lectura los valores numéricos han de ser tratados ya que MATLAB utiliza el punto decimal y EXCEL la coma.

Una vez que se leen los resultados, se ordenan las matrices que van a almacenar los valores ya que GAMS omite todo valor que sea nulo, pero para poder extraer los resultados de forma gráfica se necesita tener todos los valores ordenados, aun siendo nulos. (En la lectura de resultados se ha utilizado el ejemplo donde el porcentaje era 80% y 20% de la media de la demanda con la energía eólica constante).

Una vez que se tienen las matrices rellenas de forma adecuada se representan gráficamente los resultados mediante diagramas de barras.

Se ha utilizado diagramas de barras y no gráficas porque se resalta de forma más clara la información que representa.

```
format short e
demanda=[ 31      27.5      25.5      24.5      25  27.5      34.5      39.7
41.5      42  42  43  40  39.5      41  43  44  44  43  40  36  35
33  31  31      27.5      25.5      24.5      25  27.5      34.5      39.7
41.5      42  42  43  40  39.5      41  43  44  44  43  40  36  35
33  31];
Edem=[(0:47); demanda*1000];
Eтурb=xlsread('resultado8020final','NewSheet','A1:AV2');
Ebomb=xlsread('resultado8020final','NewSheet','A3:AV4');
Ealm=xlsread('resultado8020final','NewSheet','A5:AV6');
Eimp=xlsread('resultado8020final','NewSheet','A7:AV8');
Eexp=xlsread('resultado8020final','NewSheet','A9:AV10');
Eeol=xlsread('resultado8020final','NewSheet','A13:AV14');
enerturbi=zeros(2,48);
enerbomb=zeros(2,48);
eneralm=zeros(2,48);
enerimp=zeros(2,48);
enerexp=zeros(2,48);
enereol=zeros(2,48);
```

%Bucles que van a ir rellenando las matrices con los valores  
 %correspondientes y donde son nulos añade un cero ya que al  
 exportar los valores desde GAMS los que son nulos no aparecen

```
[x,y]=size(Eturb);
for i=1:y
    j=Eturb(1,i);
    enerturbi(2,(j+1))=Eturb(2,i);
end
```

```
for i=1:48
    enerturbi(1,i)=(i-1);
end
```

```
[x,y]=size(Ebomb);
for i=1:y
    j=Ebomb(1,i);
    enerbomb(2,(j+1))=Ebomb(2,i);
end
```

```
for i=1:48
    enerbomb(1,i)=(i-1);
end
```

```
[x,y]=size(Ealm);
for i=1:y
    j=Ealm(1,i);
    eneralm(2,(j+1))=Ealm(2,i);
end
```

```
for i=1:48
    eneralm(1,i)=(i-1);
end
```

```
[x,y]=size(Eeol);
for i=1:y
    j=Eeol(1,i);
    enereol(2,(j+1))=Eeol(2,i);
end
```

```
for i=1:48
    enereol(1,i)=(i-1);
end
```

```
[x,y]=size(Eexp);
for i=1:y
    j=Eexp(1,i);
    enerexp(2,(j+1))=Eexp(2,i);
end
```

```
for i=1:48
    enerexp(1,i)=(i-1);
end
```

```
[x,y]=size(Eimp);
for i=1:y
    j=Eimp(1,i);
    enerimp(2,(j+1))=Eimp(2,i);
end
```

```
for i=1:48
    enerimp(1,i)=(i-1);
end
```

% Diagrama de barras donde se puede observar la energía  
 almacenada, bombeada y turbinada de forma más clara que en un  
 gráfico normal, además de la energía demandada

```

figure (1)
bar(eneralm(1,:),eneralm(2,:), 'g')
hold on
bar(enerbomb(1,:),enerbomb(2,:), 'r')
hold on
bar(enerturbi(1,:),enerturbi(2,:),)
hold on
plot(Edem(1,:),Edem(2,:), 'b')
axis ([ 0 50 0 68000])

xlabel('(horas)')
ylabel('Energía(miles MWh)')
title('Energía demandada en dos días')
legend('Energía almacenada', 'Energía bombeada', 'Energía
turbinada', 'location', 'North')

figure(2)

bar(enerimp(1,:),enerimp(2,:), 'r')
hold on
bar(enerexp(1,:),enerexp(2,:))
axis ([ 0 50 0 3000])

xlabel('(horas)')
ylabel('Energía(miles MWh)')
title('Resultado con energía eólica constante a un 20% de la
media de la demanda')
legend('Energía importada', 'Energía exportada'
, 'location', 'Northeast')

figure(3)
bar(enerbomb(1,:),enerbomb(2,:), 'r')
hold on
bar(enerturbi(1,:),enerturbi(2,:), 'b')
hold on
bar(enerimp(1,:),enerimp(2,:), 'g')
hold on
bar(enerexp(1,:),enerexp(2,:), 'm')
axis ([ 0 50 0 15000])

xlabel('(horas)')
ylabel('Energía(miles MWh)')
title('Resultado con energía eólica constante a un 20% de la
media de la demanda')
legend('Energía bombeada', 'Energía turbinada', 'Energía
importada', 'Energía exportada', 'location', 'Northeast')

```



# ANEXO 4

## Modelado del problema en GAMS con energía eólica constante

---

Este anexo contiene el código en GAMS con el cual se modela y se optimiza el problema con la energía eólica constante en función de un porcentaje de la media de la demanda

Al principio se introducen los valores de la demanda, el de los costes de cada tipo de energía y se definen los parámetros.

Una vez declaradas todas las variables se puede empezar a modelar el problema mediante de inequaciones, por último se declara la función objetivo.

Los resultados de la optimización que aporta el programa se almacenan en un EXCEL de donde se extraerán las tablas de resultados y las representaciones gráficas mediante el programa de MATLAB mostrado en el ANEXO 3

```
SET t tiempo /0*47/;
```

### PARAMETER

demanda (t) energía demandada en cada hora en miles de MWh

0	31
1	27.5
2	25.5
3	24.5
4	25
5	27.5
6	34.5
7	39.7
8	41.5
9	42
10	42
11	43
12	40
13	39.5
14	41
15	43

16	44		
17	44		
18	43		
19	40		
20	36		
21	35		
22	33		
23	31		
24	31		
25	27.5		
26	25.5		
27	24.5		
28	25		
29	27.5		
30	34.5		
31	39.7		
32	41.5		
33	42		
34	42		
35	43		
36	40		
37	39.5		
38	41		
39	43		
40	44		
41	44		
42	43		
43	40		
44	36		
45	35		
46	33		
47	31/;		
<b>scalar</b>	Cturb	€/Mwh	/30/
	Cterm	€/Mwh	/50/
	Ceol	€/Mwh	/60/
	Cbomb	€/Mwh	/0.167/
	Cimp	€/Mwh	/61/
	Cexp	€/Mwh	/61/
	rendimiento		/0.8/;

**parameter** Eterm(t) energia termica en porcentaje de la demanda;  
Eterm(t)=0.5\*1000\*36.375 ;

**parameter** Eeol(t) energia eolica en porcentaje de la demanda;  
Eeol(t)=0.5\*1000\*36.375;

### Variables

Eturb(t) energia turbinada

Ebomb(t) energia bombeada

Eimp(t) energia importada

Eexp(t) energia exportada

Ealm(t) energia almacenada

z coste total;

**positive variable** Eturb(t) , Ealm(t), Ebomb(t),Eimp(t), Eexp(t)  
;

**free variable** z ;

Eimp.up(t)= (0.03)\*1000\*36.375 ;

*\* Un 3% de la media de la demanda*

Eexp.up(t)= (0.03)\*1000\*36.375;

Ealm.up(t)= (175000);

Ealm.l(t)= 10000;

*Energía almacenada inicialmente*

*\*energía máxima almacenada un 20% de la energía diaria*

### Equations

Enturbalm(t) energia turbinada

Energia(t) energia demandada en cada hora

Eneolbomb(t) relacion eolica con bombeo

Enalm(t) energia almacenada

Etubom(t) solo bombeo o turbina

Eimpoexpo(t) o se exporta o se importa

coste va a definir la funcion objetivo;

*\*La energía o se importa o se exporta en cada instante temporal*

Eimpoexpo(t) .. Eimp(t)\*Eexp(t)=e=0;

*\*Solo se puede bombear o turbinar en un periodo de tiempo*

Etubom(t).. Eturb(t)\*Ebomb(t)=e=0;

*\*La energía eólica tiene que ser mayor que la bombeada*

Eneolbomb(t) .. Eeol(t)\*rendimiento-Ebomb(t)=g=0;

*\* la energía almacenada tiene que ser la que había almacenada mas lo que se ha bombeado menos lo que se ha turbinado*

Enalm(t).. Ealm(t)=e=Ealm(t-1)+Ebomb(t)-Eturb(t);

*\*La energía turbinada tiene que ser menor que la almacenada*

Enturbalm(t) .. Ealm(t)\*rendimiento-Eturb(t)=g=0;

*\*La energía es la suma de todas las energías y tiene que ser igual a la demandada*

```
Energia(t)..(Eeol(t)+Eturb(t)+Eterm(t)+Eimp(t)-Eexp(t)-Ebomb(t))  
=e= (demanda(t)*1000);
```

*\*Coste total de abastecer la demanda, y función a minimizar*

```
coste..z=e=(sum(t,Eturb(t))*Cturb)+(sum(t,Eeol(t))*Ceol)+  
+(sum(t,Eimp(t))*Cimp)+(sum(t,Eexp(t))*Cexp)+  
+(sum(t,Ebomb(t))*Cbomb)+(sum(t, Eterm(t))*Cterm);
```

```
model transporte /all/;
```

```
solve transporte using nlp minimizing z
```

```
display Eturb.l, Ebomb.l, Eimp.l, Eexp.l, Eterm, Eeol, ealm.l ;
```

```
execute_unload "resultado5050final.gdx" Eturb.L Ebomb.l Ealm.l  
Eimp.l Eexp.l demanda Eeol
```

```
execute'gdxxrw.exeresultado5050final.gdx  
o=resultado5050final.xls var=Eturb.L rng=NewSheet!a1:av1'
```

```
execute'gdxxrw.exeresultado5050final.gdx  
o=resultado5050final.xls var=Ebomb.L rng=NewSheet!a3:av3'
```

```
execute'gdxxrw.exeresultado5050final.gdx  
o=resultado5050final.xls var=Ealm.L rng=NewSheet!a5:av5'
```

```
execute'gdxxrw.exeresultado5050final.gdx  
o=resultado5050final.xls var=Eimp.L rng=NewSheet!a7:av7'
```

```
execute'gdxxrw.exeresultado5050final.gdx  
o=resultado5050final.xls var=Eexp.L rng=NewSheet!a9:av9'
```

```
execute'gdxxrw.exeresultado5050final.gdx  
o=resultado5050final.xls par=demanda rng=NewSheet!a11:av11'
```

```
execute'gdxxrw.exeresultado5050final.gdx  
o=resultado5050final.xls par=Eeol.L rng=NewSheet!a13:av13'
```

*\*hay que crear un EXCEL diferente para cada solución porque si no se van reescribiendo una encima de otra.*

Nota: en los casos en los que la energía bombeada está en función de la energía eólica y de la energía base, hay que variar en la línea del código lo siguiente:

```
Eneolbomb(t) .. Eeol(t)*rendimiento-Ebomb(t)=g=0 por
```

```
Eneolbomb(t) .. (Eterm(t)+Eeol(t))*rendimiento-Ebomb(t)=g=0
```

Cuando la generación de energía eólica está en función del viento, lo único que hay que adicionar como parámetro en GAMS dos columnas, del mismo modo que la demanda, donde aparecerán las horas del día y la energía que aporta.