

Tutorial 3. Análisis de caso realista de producción eólica.

Oliver Vicente García Esparza

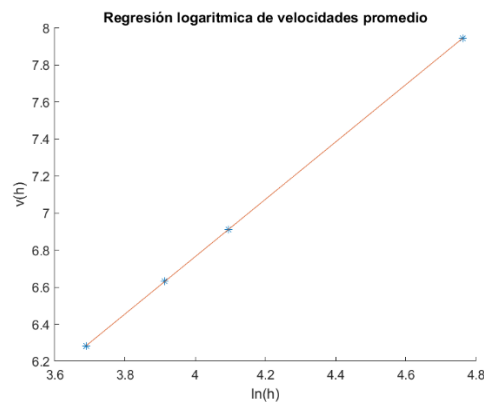
23 de abril de 2020

Introducción

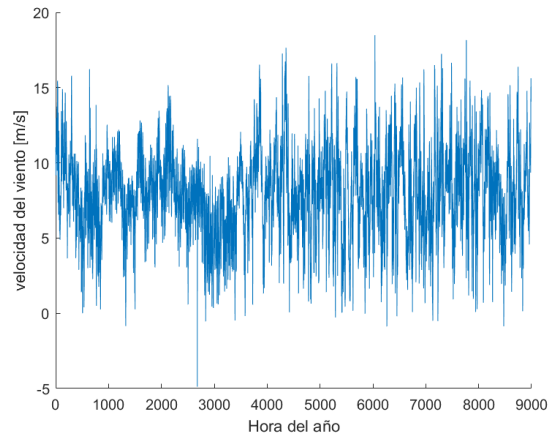
En el presente escrito se analizará la distribución de la velocidad del viento y producción energética de una planta eólica realista. El análisis numérico fue realizado en Matlab y los datos extraídos de la hoja de Excel Sitio_con_sigma.xlsx se pueden importar desde el archivo datos importados.mat .

Problema 1

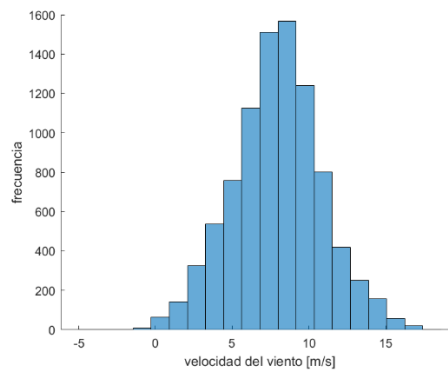
Para comenzar, se pide que se aplique la ley logarítmica del viento para obtener el valor promedio de la velocidad a 117 metros de altura. La ley utilizada establece que la velocidad del viento sobre un terreno rugoso varía logarítmicamente respecto al valor de la altura a la que se encuentre de acuerdo a la ecuación $v(h) = \frac{u^*}{z} \ln\left(\frac{h}{h_0}\right) = \frac{u^*}{z} \ln(h) - \frac{u^*}{z} \ln(h_0)$. Esta ecuación se puede describir como una recta $y = mx + b$ donde $y = v(h)$, $x = \ln(h)$. Dado esto, podemos realizar una regresión lineal de los valores promedios de la velocidad a las alturas 40, 50 y 60 m para obtener un valor promedio a 117m. Los valores promedios de una función vienen dados por la ecuación $\langle f_x(t) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{c=1}^N f_x(c)$. Para las velocidades a diferentes alturas se obtiene $\langle v_{40} \rangle = 6.2836 \text{ m/s}$, $\langle v_{50} \rangle = 6.6313 \text{ m/s}$, $\langle v_{60} \rangle = 6.9111 \text{ m/s}$. Utilizando un la función de fit polinómico de Matlab con grado 1 con vectores de entrada $x = [\ln(40), \ln(50), \ln(60)]$, $y = [\langle v_{40} \rangle, \langle v_{50} \rangle, \langle v_{60} \rangle]$ se obtiene $m = 1.7288$, $b = 5.8269$. Por tanto $\langle v_{117} \rangle = 1.7288 * \ln(117) + 5.8269 = 7.9457 \frac{m}{s}$.



Se observa que los valores de las medias a los valores promedios de las alturas a 40, 60 y 60 metros son alineados a la recta. Prosiguiendo, se pide aplicar la ley logarítmica para construir la serie de tiempo $v_{117}(t)$. Para esto se ha aplicado el mismo método de regresión a cada terna de datos $\{v_{40}(t_i), v_{50}(t_i), v_{60}(t_i)\} \forall t_i$. Graficando la serie de tiempo se obtiene:

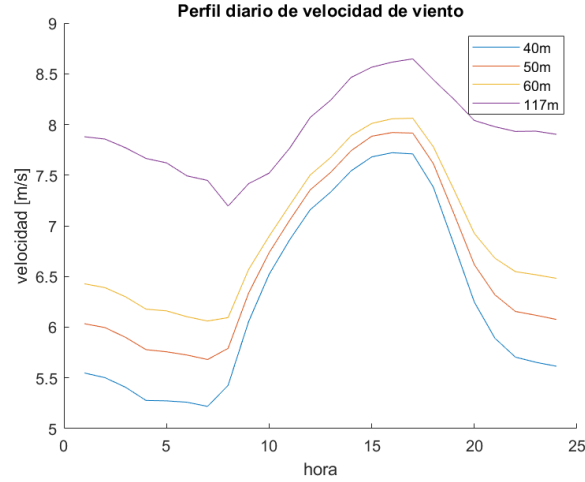


Se nota que se tienen 12 valores negativos para la velocidad, lo cual carece de significado físico. Para hacer notar el valor de estos valores muestro el histograma con el cual se puede observar la distribución de velocidades:



Problema 2

En esta sección se pide calcular los perfiles diarios de la velocidad del viento para cada serie de velocidades que se tiene a cada altura. Este procedimiento consiste en aprovechar el orden en que se han dado los datos de las series de tiempo dada la periodicidad de 24 horas cada día, en sí, se genera un vector numérico con la velocidad promedio a cada hora del día, siendo un vector representativo del perfil diario de cada altura. Esta comparación se puede observar en la siguiente gráfica:



De esta gráfica se puede concluir que el mínimo ocurre entre las 7 y 8 de la mañana para todas las alturas. De igual manera, se observa que a bajas alturas como son 40, 50 y 60 metros hay un mayor rango de valores de velocidad respecto a una serie de velocidades a una altura de 117 metros. Por lo cual, puedo inferir que el efecto que caracteriza el cambio de velocidad de viento a altas alturas es diferente al que caracteriza en mayor medida al de bajas alturas.

Problema 3

Para esta sección se han utilizado las series de tiempo de las velocidades a las alturas de 40, 50, 60 y 117 metros para calcular la potencia promedio útil que puede usar en la industria. Para esto, he hecho uso de la ecuación de la potencia en función de la velocidad dada por:

$$P(v_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } v < v_{cut-in} \\ \frac{1}{2} \rho A c_p (v - v_{cut-in})^3 & \text{si } v_{cut-in} < v < v_d \\ \frac{1}{2} \rho A c_p (v_d - v_{cut-in})^3 & \text{si } v \geq v_d \end{cases}$$

Considerando un los datos del ejemplo de un disco con un radio de 50 metros se tienen los datos: $A = 7.854 * 10^3 m^2$, $\rho = \frac{1.1kg}{m^3}$, $v_{cut-in} = \frac{3m}{s}$, $v_d = 10 \frac{m}{s}$, $c_p = 0.5$. El procedimiento consiste en calcular $P(v_i)$ para cada valor de velocidad de la serie, después calcular el promedio de la potencia

$$< P_x(t) > = \frac{1}{8992} \sum_{c=1}^{N=8992} P_x(v_c) \text{ donde } x = 40, 50, 60, 117;$$

Después, utilizando el factor de perdida calculado por la ecuación $1 - f_{perd} = (1 - f_{disp})(1 - f_{rend})(1 - f_{elec})$ donde $f_{disp} = 3\%$, $f_{rend} = 6\%$, $f_{estela} = 6\%$, $f_{elec} =$

2% se obtiene $1 - f_{perd} = 0.84$. Para calcular la potencia útil a una altura x metros se computa: $\langle P_{x,util}(t) \rangle = (1 - f_{perd}) \langle P_x(t) \rangle$. De lo cual se obtiene como resultado:

$$\langle P_{40,util}(t) \rangle = 0.1515MW$$

$$\langle P_{50,util}(t) \rangle = 1731MW$$

$$\langle P_{60,util}(t) \rangle = 0.1932MW$$

$$\langle P_{117,util}(t) \rangle = 0.2847MW$$

Para calcular la energía promedio generada al año basta con multica las potencias por la cantidad de horas en un año lo cual da como resultado:

$$\langle E_{40,anual}(t) \rangle = 1327.5MWh$$

$$\langle E_{50,anual}(t) \rangle = 1516.3MWh$$

$$\langle E_{60,anual}(t) \rangle = 1.6921MWh$$

$$\langle E_{117,anual}(t) \rangle = 2494.4MWh$$

El factor de planta para una altura x metros esta dado por la ecuación $f_{p,x} = \frac{\langle P_{x,util}(t) \rangle}{P_{nominal}}$. El valor de $P_{nominal} = \frac{1}{2} \rho A C_p (v_d - v_{cut-in})^3 = 0.7083MW$. Dado esto como resultado

$$f_{p,40} = 0.2046$$

$$f_{p,50} = 0.2336$$

$$f_{p,60} = 0.2607$$

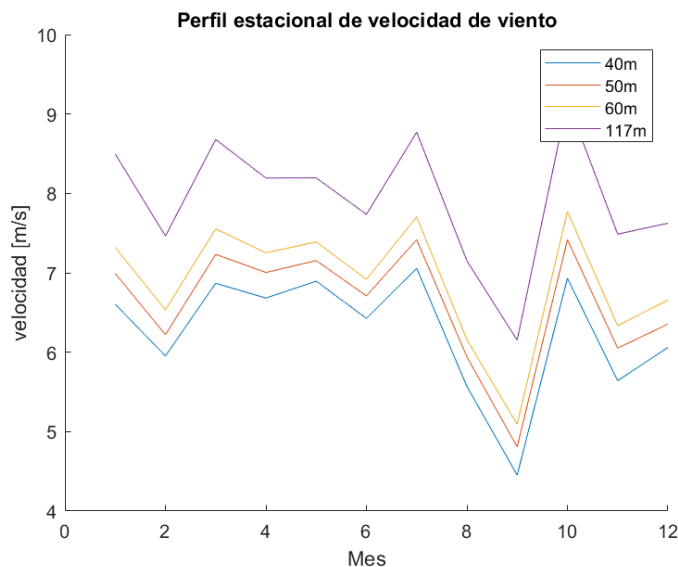
$$f_{p,117} = 0.3844$$

Problema 4

En esta última sección se pide que se calcule y grafique el perfil estacional de las cuatro series de viento, así como la de la producción neta de potencia. Para esto es necesario agrupar los datos pertenecientes que caracterizan a cada mes. He decido hacer una limpieza cada renglón de los datos en Excel para transforma la fecha en que fue medido el dato a un valor numérico que represente el mes en que fue medido, esto fue realizado utilizando la herramienta de buscar y remplazar de la aplicación. Después he proseguido a importar a Matlab la columna que contiene el mes en que fue medido cada dato de cada renglón. Esta variable se utiliza como array numérico y le he asignado el nombre `mes_del_dato`.

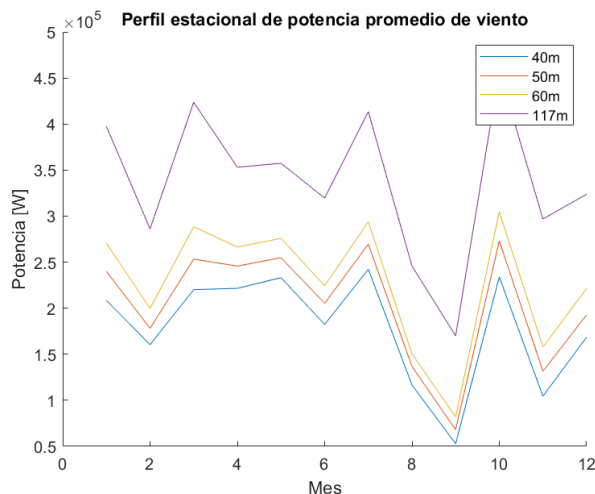
Haciendo uso de una indexación lógica en la serie de velocidades por cada mes se ha calculado la velocidad promedió de cada mes. La indexación lógica tiene como ventaja que

es muy eficiente en el uso de recursos computacionales y aumenta la rapidez de computo al evitar usar ciclos for. El resultado de este proceso tiene como resultado la siguiente gráfica:



El mes 1 corresponde a enero y el mes 12 corresponde a diciembre. Se nota que hay una caída en la velocidad promedio del viento en el 9no mes, que corresponde a septiembre. Esto se puede deber a las precipitaciones de lluvias que ocurre en la zona de México por tal estación del año.

Prosiguiendo con el análisis de la potencia promedio, para facilitar la redacción del código he definido una función como $P = \text{potencia}(v)$, la cual tiene como entrada un vector de velocidades y como salida un vector de potencias para cada velocidad con su índice respectivo. De esta manera, al utilizar la técnica de obtener un vector de velocidades que caracterizan a cada mes con la indexación lógico se computa un vector de potencias que caracteriza a tal mes. Con este vector de potencias se procede a calcular la potencia promedio de cada mes, con lo cual graficando los resultados se obtiene la siguiente gráfica:



Contents

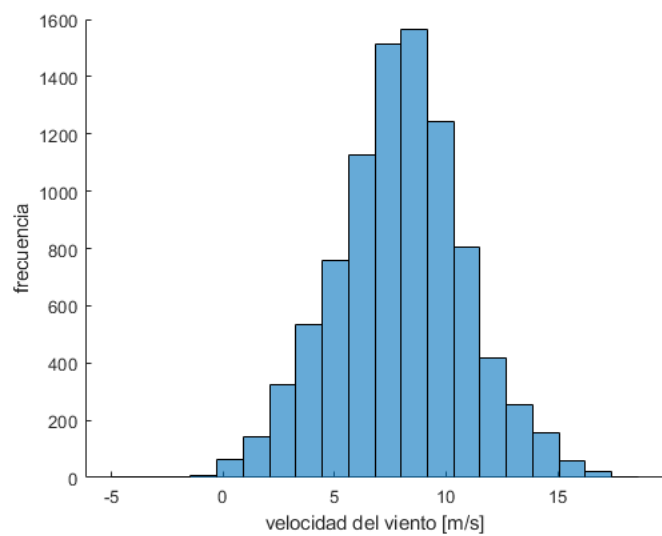
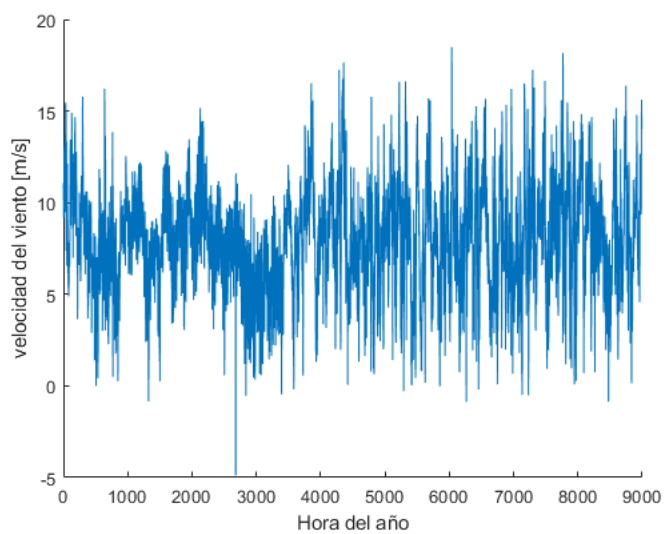
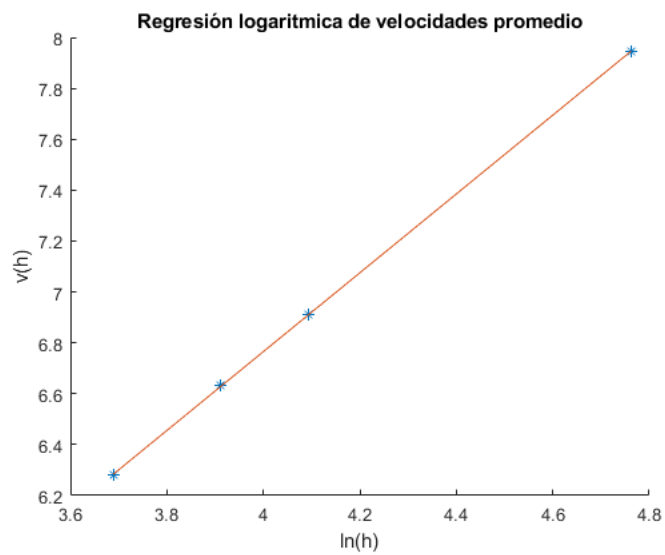
- [Se importan los valores de las velocidades de viento en los vectores v40,](#)
- [Problema 1](#)
- [Problema 2](#)
- [Problema 3](#)
- [Problema 4](#)

Se importan los valores de las velocidades de viento en los vectores v40,

```
%v50, v60, mes_del_dato con herramienta de importación de datos de matlab  
load datos_importados
```

Problema 1

```
%Promedios de velocidades  
v40_promedio=mean(v40);  
v50_promedio=mean(v50);  
v60_promedio=mean(v60);  
  
%Valores de altura  
h=[40;50;60];  
  
%Ley logaritmica  
X=log(h);  
Y=[v40_promedio; v50_promedio; v60_promedio];  
B=polyfit(X,Y,1);  
  
%Calculo en H=117m  
v117_promedio=B(1)*log(117)+B(2);  
%Gráfica de regresión utilizada  
Xnuevo=[X;log(117)]; Ynuevo=[Y; v117_promedio];  
figure(1), hold on, plot(Xnuevo,Ynuevo,'*',linspace(min(Xnuevo),max(Xnuevo),1000),linspace(min(Ynuevo),max(Ynuevo),1000)), title('Regresión logaritmica de velocidades de viento en H=117m')  
  
%Aplicación de la ley logaritmica para cada paso de tiempo de 1 hora  
v117=zeros(8992,1);  
for t=1:8992  
    Y=[v40(t);v50(t);v60(t)];  
    B=polyfit(X,Y,1);  
    v117(t)=B(1)*log(117)+B(2);  
end  
  
figure(2), hold on, plot(1:8992,v117), xlabel('Hora del año'), ylabel('velocidad del viento [m/s]'), hold off  
figure(3), hold on, histogram(v117,20), xlabel('velocidad del viento [m/s]'), ylabel('frecuencia'), hold off  
  
numero_de_valores_negativos=length(v117(v117<0));
```



Problema 2

```
%Perfiles diarios
v40_diario=zeros(24,1); v50_diario=zeros(24,1); v60_diario=zeros(24,1); v117_diario=zeros(24,1);
for h=1:24
    v40_diario(h)=mean(v40(h:24:end));
    v50_diario(h)=mean(v50(h:24:end));
    v60_diario(h)=mean(v60(h:24:end));
```

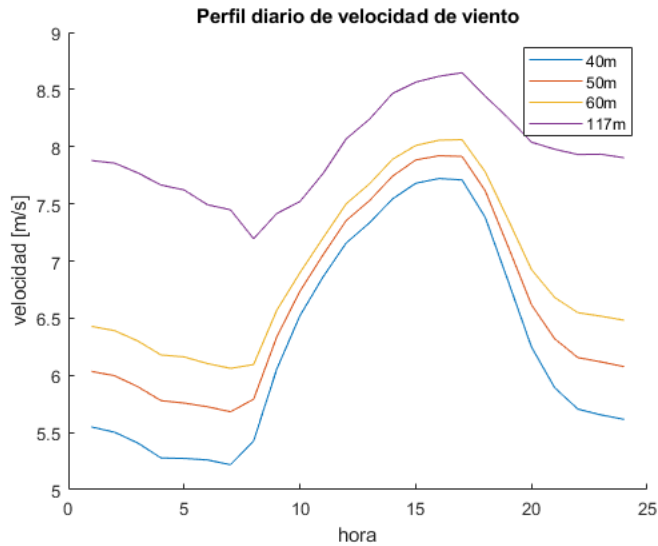
```

v117_diario(h)=mean(v117(h:24:end));
end

%Gráficas
figure(4), hold on, plot(1:24, v40_diario,1:24, v50_diario,1:24, v60_diario,1:24, v117_diario), title('Perfil diario de velocidad de viento'), xlabel('hora'), ylabel('velocidad [m/s]')

%Obtención del valor mínimo de velocidad para cada altura con su índice que
%indica la hora en que sucede
[v40_minimo, indice40]=min(v40_diario);
[v50_minimo, indice50]=min(v50_diario);
[v60_minimo, indice60]=min(v60_diario);
[v117_minimo, indice117]=min(v117_diario);
%"Interpretación: se observa que el mínimo ocurre entre las 7 y 8 de la mañana a diferentes alturas"

```



Problema 3

```

%Constantes
densidad=1.1; cp=0.5; vcutin=3; vd=10; A=pi*(50)^2;
Pnom=(0.5)*densidad*A*cp*(vd-vcutin)^3;

%Constantes para factor de perdidas
f_disp=0.03; f_rend=0.06; f_estela=0.06; f_elec=0.02;
%Compu de factor de perdidas
f_perd=1-(1-f_disp)*(1-f_estela)*(1-f_rend)*(1-f_elec);

%Se calcula P(t) para cada dato
P40=potencia(v40);
P50=potencia(v50);
P60=potencia(v60);
P117=potencia(v117);

%Potencia promedio
P40_promedio=mean(P40);
P50_promedio=mean(P50);
P60_promedio=mean(P60);
P117_promedio=mean(P117);

%Potencia util considerando perdidas en Watts
P40_util=P40_promedio*(1-f_perd);
P50_util=P50_promedio*(1-f_perd);
P60_util=P60_promedio*(1-f_perd);
P117_util=P117_promedio*(1-f_perd);

%Computo de energia promedio en MW
P40_util_MW=P40_util*10^-6;
P50_util_MW=P50_util*10^-6;
P60_util_MW=P60_util*10^-6;
P117_util_MW=P117_util*10^-6;

%Energia anual generada en MWh
E40=P40_util_MW*365*24;
E50=P50_util_MW*365*24;
E60=P60_util_MW*365*24;
E117=P117_util_MW*365*24;

%Factor de planta
fp40=P40_util/Pnom;
fp50=P50_util/Pnom;
fp60=P60_util/Pnom;
fp117=P117_util/Pnom;

```


Problema 4

```
%Cálculo de perfiles estacionales de las cuatro velocidades de viento y de
%la producción neta de potencia
%Se importa la columna del número del mes de cada renglon de dato del excel
%haciendo un uso extensivo de la función buscar y remplazar para limpiar
%los datos

%mes=["Enero", "Febrero", "Marzo", "Abril", "Mayo", "Junio", "Julio", "Agosto", "Septiembre", "Octubre", "Noviembre", "Diciembre"];

v40_mensual=zeros(12,1); v50_mensual=zeros(12,1); v60_mensual=zeros(12,1); v117_mensual=zeros(12,1);
for c=1:12
    v40_mensual(c)=mean(v40(mes_del_dato==c));
    v50_mensual(c)=mean(v50(mes_del_dato==c));
    v60_mensual(c)=mean(v60(mes_del_dato==c));
    v117_mensual(c)=mean(v117(mes_del_dato==c));
end
%Gráfica para perfil de velocidad mensual promedio
figure(5), hold on, plot(1:12, v40_mensual, 1:12, v50_mensual, 1:12, v60_mensual, 1:12, v117_mensual), title('Perfil estacional de velocidad de viento'), xlabel('Me

p40_mensual=zeros(12,1); p50_mensual=zeros(12,1); p60_mensual=zeros(12,1); p117_mensual=zeros(12,1);
for c=1:12
    p40_mensual(c)=mean(potencia(v40(mes_del_dato==c)));
    p50_mensual(c)=mean(potencia(v50(mes_del_dato==c)));
    p60_mensual(c)=mean(potencia(v60(mes_del_dato==c)));
    p117_mensual(c)=mean(potencia(v117(mes_del_dato==c)));
end
%Gráfica para perfil de potencia mensual promedio
figure(6), hold on, plot(1:12, p40_mensual, 1:12, p50_mensual, 1:12, p60_mensual, 1:12, p117_mensual), title('Perfil estacional de potencia promedio de viento'), xl

%Se define la función de potencia que tiene como valor de retorno un vector
%de P que representa la potencia respectiva a cada valor del vector de
%entrada v
function P=potencia(v)
    densidad=1.1; cp=0.5; vcutin=3; vd=10; A=pi*(50)^2; Pnom=(0.5)*densidad*A*cp*(vd-vcutin)^3;
    P=zeros(length(v),1);
    for t=1:length(v)
        if(v(t)<vcutin)
            P(t)=0;
        elseif((vcutin<=v(t))&&(v(t)<=vd))
            P(t)=(0.5)*densidad*A*cp*(v(t)-vcutin)^3;
        else
            P(t)=Pnom;
        end
    end
end
end
```

