

# Annex

## A.1. Càlculs

### A.1.1. Coeficients 'Lift' i 'Drag'

**Matriu que reuneix a la primera columna l'angle d'atac, la segona el *lift* i la tercera el *drag***

```
% Naca0015
LD=[ 0 0 .0115;
1 .11 .0117;
2 .22 .0124;
3 .33 .012;
5 .55 .014;
7 .715 .0176;
10 .8322 .0233;
12 .5936 .0281;
14 .2371 .10;
16 .2665 .1970;
19 .406 .26;
22 .5611 .329;
25 .7224 .405;
30 .85 .57;
40 1.03 .92;
50 1.02 1.21;
60 .87 1.47;
75 .5 1.73;
90 .09 1.8;
105 -.32 1.7;
120 -.67 1.46;
135 -.93 1.08;
150 -.77 .57;
160 -.63 .32;
170 -.85 .14;
175 -.66 .055;
180 0 .025];
```

**Funció que calcula el coeficient *lift* per angles d'atac des de 0º a 360º**

```
function y = Cl(A, x)
while x<0 x=360+x;end
if x<=180
y=interp1(A(:,1),A(:,2),x);
```

```

else
    y=-interp1(A(:,1),A(:,2),360-x);
end
end

```

**Funció que calcula el coeficient *drag* per angles d'atac des de 0º a 360º**

```

function y = Cd(A,x)
while x<0 x=360+x;end
if x<=180
    y=interp1(A(:,1),A(:,3),x);
else
    y=interp1(A(:,1),A(:,3),360-x);
end
end

```

## A.1.2. Parell i força arrossegament

**Valors dels paràmetres geomètrics de la turbina**

```

% Radi de la base
a=0.5;
% Longitud d'àlep
b=1.5;
% Corda d'àlep
c=0.2;
% Pitch
p=5;
% Semi-obertura con
q=45;
% Escora
s=45;

```

```

par=[a b c p q s];

```

**Matriu del qual s'obtenen els dos vectors de posició de l'àlep objectes d'estudi**

```

function y = U(par,r)
q=par(5)*pi/180;
s=par(6)*pi/180;
r=r*pi/180;
cs=cos(s);
ss=sin(s);
cr=cos(r);
sr=sin(r);
cq=cos(q);
sq=sin(q);
y=[cs*cr -cs*sr*cq+ss*sq;

```

```

sr cr*cq;
-ss*cr ss*sr*cq+cs*sq];
end

```

**Matriu de la qual s'obtenen els dos vectors de la direcció relativa del vent a l'àlep. La primera la component tangencial a la rotació de l'àlep i la segona la component radial.**

```

function y = V(par, r, r1, w, z)
q=par(5)*pi/180;
s=par(6)*pi/180;
r=r*pi/180;
r1=r1*pi/180;
a=par(1);
cs=cos(s);
ss=sin(s);
cr=cos(r);
sr=sin(r);
cq=cos(q);
sq=sin(q);
y=[-sq*z*r1+cs*cr*w-a*r1    -cq*cs*sr*w+ss*sq*w ];
end

```

**Funció que calcula l'angle d'atac per cada posició de l'àlep**

```

function y = alpha(par, p, r, r1, w, z)
flex=1;
Vec=V(par, r, r1, w, z);
Vm=norm(Vec, 2);
pz=p(z)*pi/180;
if Vm==0 y=0; else
    if Vec(2)>0 y=flex*(pi-pz-acos(Vec(1)/Vm))*180/pi+0;
    else y=flex*(pi-pz+acos(Vec(1)/Vm))*180/pi+0;
    end
end
end
end

```

**Components de la força en la direcció paral·lela i perpendicular a la corda respectivament**

```

function y = F1zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, z)
induccio=0*ind;
Vec=V(par, r, r1, w, z);
Vm=norm(Vec, 2);
al=alpha(par, p, r, r1, w, z);
CD=Cd(LD, al);
CL=Cl(LD, al);
y=rho*(Vec(1)*(CD+induccio*CL^2)+Vec(2)*CL)*Vm*c(z)/2;
end

```

```

function y = F2zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, z)
induccio=0*ind;
Vec=V(par, r, r1, w, z);
Vm=norm(Vec, 2);
al=alpha(par, p, r, r1, w, z);

```

```

CD=Cd(LD, a1);
CL=C1(LD, a1);
y=rho*(Vec(2)*(CD+induccio*CL^2)-Vec(1)*CL)*Vm*c(z)/2;
end

```

### Parell entregat per una posició angular determinada

```

function y = Tr(par, LD, rho, c, p, ind, G, r, r1, w)
n=20;
q=par(5)*pi/180;
a=par(1);
b=par(2);
h=b/n;
I1=0;
for k=1:1:n-1
    z1=h*k;

T1=(a+z1*sin(q))*F1zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, z1)*G(z1);
    I1=I1+T1*h;
end;
T0=a*F1zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, 0)*G(0);
Tn=(a+b*sin(q))*F1zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, b)*G(b);
I1=I1+(T0+Tn)*h/2;
y=I1;
end

```

### Càlcul de la força resultant de les components F1zr i F2zr

```

function y = Fr(par, LD, rho, c, p, ind, G, r, r1, w)
n=10;
Ur=U(par, r);
b=par(2);
h=b/n;
I1=[0 ; 0];
for k=1:1:n-1
    z1=h*k;
    F1=[F1zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, z1);
        F2zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, z1)];
    I1=I1+G(z1)*h*F1;
end
F0=[F1zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, 0); F2zr(par, LD, rho, c, p, i
nd, r, r1, w, 0)];
Fn=[F1zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, b);
    F2zr(par, LD, rho, c, p, ind, r, r1, w, b)];
I1=I1+(F0*G(0)+Fn*G(b))*h/2;
y=Ur*I1;
end

```

### Càlcul del parell d'arrossegament que generen les forces

```

function y = T(par, LD, rho, c, p, G, r1, w)
n=360;
h=360/n;
ind=0.23;

```

```

I1=0;
for k=1:1:n-1
    r0=k*h;
    T1=Tr(par,LD,rho,c,p,ind,G,r0,r1,w);
    I1=I1+T1*h;
end
T0=Tr(par,LD,rho,c,p,ind,G,0,r1,w);
Tn=Tr(par,LD,rho,c,p,ind,G,360,r1,w);
I1=I1+(T0+Tn)*h/2;
y=I1/360;
end

```

### **Càlcul de les tres components de la força d'arrossegament**

```

function [f1,f2,f3] = F(par,LD,rho,c,p,G,r1,w)
n=360;
h=360/n;
ind=(c(0)+c(par(2)))/pi*1.2*par(2);
I1=[0;0;0];
for k=1:1:n-1
    r0=k*h;
    F1=Fr(par,LD,rho,c,p,ind,G,r0,r1,w);
    I1=I1+F1*h;
end
F0=Fr(par,LD,rho,c,p,ind,G,0,r1,w);
F1=Fr(par,LD,rho,c,p,ind,G,360,r1,w);
I1=I1+(F0+F1)*h/2;
y=I1/360;
f1=y(1);
f2=y(2);
f3=y(3);
end

```

## **A.1.3. RPM d'equilibri**

### **Càlcul dels RPM en funció d'una velocitat de vent donada**

```

function y = rev(par,LD,rho,c,p,G,R,r1,w)
pas=100;
e=.01;
y=r1;
T1=T(par,LD,rho,c,p,G,y,w)-R(y);
t=0;
while (abs(T1)>e) & (t<80)
    t=t+1;
    y=y+pas;
    T2=T(par,LD,rho,c,p,G,y,w)-R(y);
    if (T2-T1)*T2>0 pas=-pas/2; end
end

```

```

    T1=T2;
end
[t pas T1]
end

```

## A.1.4. Potència màxima

**Càlcul de la potència màxima i RPM associats a la potència màxima**

```

function [r1,pot] = pmax(par,LD,rho,c,p,G,L,r0,w)
pas=400;
ee=5;
z=r0;
T0=z*(T(par,LD,rho,c,p,G,z,w)-L(z));
t=0;
while (abs(pas)>ee)&(t<40)
    t=t+1;
    z=z+pas;
    T1=z*(T(par,LD,rho,c,p,G,z,w)-L(z));
    M=T1-T0;
    if M<0 pas=-pas/2; end
    T0=T1;
end
r1=z;
pot=T1;
end

```

## A.1.5. Gràfics

**Parell vs revolució**

```

x=[1:1:360];
y=x;
for k=1:1:360 y(k)= Tr(par,LD,rho,c,p,ind,G,x(k),2170,10);
end;
plot(x,y)

```

**Parell vs superfície (per una posició angular fixada)**

```

x=[0:1:100];
y=x;
g=x;

```

```

for k=1:1:101 g(k)=x(k)*par(2)/100;
y(k)=(par(1)+sin(pi/4)*g(k))*F1zr(par,LD,rho,c,p,ind,270,27
00,10,g(k));end;
plot(g,y)

```

### **Parell vs superfície (per una revolució)**

```

x=[0:1:100];
y=x;
g=x;
for k=1:1:101 y(k)=0; g(k)=x(k)*par(2)/100; for h=1:1:360
y(k)=y(k)+(par(1)+sin(pi/4)*g(k))*F1zr(par,LD,rho,c,p,ind,h
,2700,10,g(k));end;end;
plot(g,y/360)

```

### **F2zr vs superfície (per una posició angular fixada)**

```

x=[0:1:100];
y=x;
g=x;
for k=1:1:101 g(k)=x(k)*par(2)/100;
y(k)=F2zr(par,LD,rho,c,p,ind,270,2170,10,g(k));end;
plot(g,y)

```

### **F2zr vs superfície (per una revolució)**

```

x=[0:1:100];
y=x;
g=x;
for k=1:1:101 y(k)=0; g(k)=x(k)*par(2)/100; for h=1:1:360
y(k)=y(k)+F2zr(par,LD,rho,c,p,ind,h,2170,10,g(k));end;end;
plot(g,y/360)

```

### **Lift vs superfície (per una posició angular fixada)**

```

x=[0:1:100];
y=x;
g=x;
for k=1:1:101 g(k)=x(k)*par(2)/100;
y(k)=lift(par,LD,rho,c,p,ind,270,2170,10,g(k));end;
plot(g,y)

```

### **Lift vs superfície (per una revolució)**

```

x=[0:1:100];
y=x;
g=x;
for k=1:1:101 y(k)=0; g(k)=x(k)*par(2)/100; for h=1:1:360
y(k)=y(k)+lift(par,LD,rho,c,p,ind,h,2170,10,g(k));end;end;
plot(g,y/360)

```

### Potència vs inclinació (q=20°)

```
x=[0:1:90];
rpm=2170;
for k=1:1:91
    s(k) = x(k);
    par = [.5 1.5 .2 5 20 s(k)];
    y(k) = pmax(par, LD, rho, c, p, G, L, 0, 10);
end;
plot(x, y)
```

### Potència vs inclinació (q=30°)

```
x=[0:1:90];
rpm=2170;
for k=1:1:91
    s(k) = x(k);
    par = [.5 1.5 .2 5 30 s(k)];

    y(k) = pmax(par, LD, rho, c, p, G, L, 0, 10);
end;
plot(x, y)
```

### Potència vs inclinació (q=40°)

```
x=[0:1:90];
rpm=2170;
for k=1:1:91
    s(k) = x(k);
    par = [.5 1.5 .2 5 40 s(k)];
    y(k) = pmax(par, LD, rho, c, p, G, L, 0, 10);
end;
plot(x, y)
```

### Potència vs inclinació (q=50°)

```
x=[0:1:90];
rpm=2170;
for k=1:1:91
    s(k) = x(k);
    par = [.5 1.5 .2 5 50 s(k)];
    y(k) = pmax(par, LD, rho, c, p, G, L, 0, 10);
end;
plot(x, y)
```

### Potència vs inclinació (q=60°)

```
x=[0:1:90];
rpm=2170;
```



```

for k=1:1:91
    s(k) = x(k);
    par = [.5 1.5 .2 5 60 s(k)];
    y(k) = pmax(par, LD, rho, c, p, G, L, 0, 10);
end;
plot(x, y)

```

### Parell vs RPM

```

x=[1:1:40];
y=x;
z=x;
for k=1:1:40
    x(k)=k*100-1;
    y(k)= T(par, LD, rho, c, p, G, x(k), 10);
end;
plot(x, y)

```

## A.1.6. Càlcul iteratiu per la inclinació 's'

### Càlcul de 's' donats els paràmetres que conformen el diagrama del sòlid lliure

```

% Introduïm les variables del diagrama del sòlid lliure.
'cr' i 'ck'
% les distàncies superior i inferior respectivament dels
extrems de
% l'eix respecte el metacentre. 'h' com el contrapès.
cr=1;
ck=3.5;
h=10;

% Calculem els RPM i la potència màxima que ajusta la corba
de la
% funció 'pmax' (potència màxima) a un valor màxim donats
els
% paràmetres dimensionals de la turbina en el script
anterior. En
% aquest apartat hem de definir la velocitat del vent 'w' i
el valor
% inicial 'r0'.
w=10;
r0=0;
[r1, pot] = pmax(par, LD, rho, c, p, G, L, r0, w);

% Introduïm la velocitat del vent 'w' i els RPM inicials on
comença el
% càlcul 'r1' i obtenim les 3 components de la força 'F' de

```

```

% arrossegament
[f1,f2,f3] = F(par,LD,rho,c,p,G,r1,w);

% Solucionem l'equació biquadrada de 'Lambda'
L1 = -cr/sqrt(cr^2*f1^2 + cr^2*f2^2 + cr^2*f3^2 -
2*cr*ck*f3*h + ck^2*h^2);
L2 = cr/sqrt(cr^2*f1^2 + cr^2*f2^2 + cr^2*f3^2 -
2*cr*ck*f3*h + ck^2*h^2);
L3 = -cr/sqrt(cr^2*f1^2 + cr^2*f2^2 + cr^2*f3^2 +
2*cr*ck*f3*h + ck^2*h^2);
L4 = cr/sqrt(cr^2*f1^2 + cr^2*f2^2 + cr^2*f3^2 +
2*cr*ck*f3*h + ck^2*h^2);

Lm = [L1 L2 L3 L4]

Lambda = L1;

% Calculem E=[e1,e2,e3]
e1 = Lambda*f1;
e2 = Lambda*f2;
e3 = sqrt(1-Lambda^2*(f1^2+f2^2));

% Trobem la s,t
s = asin(e1)*180/pi;
t = atan(-e2/e3)*180/pi;

% Trobem finalment la Sm o escora com
sm = asin(cr*sqrt((e2*f3-e3*f2)^2+(e1*f3-e3*f1)^2+(e1*f2-
e2*f1)^2)/(ck*h))*180/pi

```

### Iteració del càlcul amb modificacions

```

% Introduïm les variables del diagrama del sòlid lliure.
'cr' i 'ck'
% les distàncies superior i inferior respectivament dels
extrems de
% l'eix respecte el metacentre. 'h' com el contrapès.
cr=1;
ck=3.5;
h=10;

% Calculem els RPM i la potència màxima que ajusta la corba
de la
% funció 'pmax' (potència màxima) a un valor màxim donats
els
% paràmetres dimensionals de la turbina en el script
anterior. En
% aquest apartat hem de definir la velocitat del vent 'w' i
el valor

```

```

% inicial 'r0'.
w=10;
r0=0;
[r1,pot] = pmax(par,LD,rho,c,p,G,L,r0,w);

% Introduïm la velocitat del vent 'w' i els RPM inicials on
comença el
% càlcul 'r1' i obtenim les 3 components de la força 'F' de
% arrossegament

[f1,f2,f3] = F(par,LD,rho,c,p,G,r1,w);
Rt = [1 0 0; 0 cos(t) -sin(t); 0 sin(t) cos(t)];
f=[f1;f2;f3];
fm = Rt*f;
fm1 = fm(1);
fm2 = fm(2);
fm3 = fm(3);

% Solucionem l'equació biquadrada de 'Lambda'
L1 = -cr/sqrt(cr^2*fm1^2 + cr^2*fm2^2 + cr^2*fm3^2 -
2*cr*ck*fm3*h + ck^2*h^2);
L2 = cr/sqrt(cr^2*fm1^2 + cr^2*fm2^2 + cr^2*fm3^2 -
2*cr*ck*fm3*h + ck^2*h^2);
L3 = -cr/sqrt(cr^2*fm1^2 + cr^2*fm2^2 + cr^2*fm3^2 +
2*cr*ck*fm3*h + ck^2*h^2);
L4 = cr/sqrt(cr^2*fm1^2 + cr^2*fm2^2 + cr^2*fm3^2 +
2*cr*ck*fm3*h + ck^2*h^2);

Lm = [L1 L2 L3 L4];

Lambda = L1

% Calculem E=[e1,e2,e3]
e1 = Lambda*fm1;
e2 = Lambda*fm2;
e3 = sqrt(1-Lambda^2*(fm1^2+fm2^2));

% Trobem la s,t
s = asin(e1)*180/pi;
t = atan(-e2/e3)*180/pi;

% Trobem finalment la Sm o escora com
sm = asin(cr*sqrt((e2*fm3-e3*fm2)^2+(e1*fm3-
e3*fm1)^2+(e1*fm2-e2*fm1)^2)/(ck*h))*180/pi

```

## A.1.7. Sèries de convergència per 's'

**Càlculs per la representació gràfica dels punts trobats mitjançant el programa anterior.  
Contrast amb un ajust de tipus polinòmic quadràtic.**

```
% Ajust quadràtic
x = [1:1:5];
y1 = [15 12.9814 6.9290 6.3369 6.2314];
y2 = [12.9814 6.9290 6.3369 6.2314 6.2135];
x1 = x;
p1 = polyval(polyfit(x,y1,2),x1);
p2 = polyval(polyfit(x,y2,2),x1);
plot(x,y1,'o',x,y2,'o',x,p1,x,p2)

grid on
title('Sèries de convergència per la inclinació "s"')
xlabel('N° iteracions')
ylabel('Inclinació "s" , graus °')
legend('Dades "s0"', 'Dades "sf"', 'Adjust quadràtic
"s0"', 'Adjust quadràtic "sf"')
```

**Càlculs per la representació gràfica dels punts trobats mitjançant el programa anterior.  
Contrast amb un ajust de tipus polinòmic cúbic.**

```
% Ajust cúbic
x = [1:1:5];y1 = [15 12.9814 6.9290 6.3369 6.2314];
y2 = [12.9814 6.9290 6.3369 6.2314 6.2135];
x1 = x;
p1 = polyval(polyfit(x,y1,3),x1);
p2 = polyval(polyfit(x,y2,3),x1);
plot(x,y1,'o',x,y2,'o',x,p1,x,p2)

grid on
title('Sèries de convergència per la inclinació "s"')
xlabel('N° iteracions')
ylabel('Inclinació "s", graus °')
legend('"Dades s0"', '"Dades sf"', 'Adjust cúbic
"s0"', 'Adjust cúbic "sf"')
```

## A.2. Plànols

### ÍNDEX DE PLÀNOLS

- Plànol 1/9: Rotor
- Plànol 2/9: 'Carrier'
- Plànol 3/9: Engranatge Cilíndric Anella
- Plànol 4/9: Engranatge Cilíndric Central
- Plànol 5/9: Engranatge Cilíndric Planetari
- Plànol 6/9: Estructura Housing-Àlep
- Plànol 7/9: Estructura Interna Àleps
- Plànol 8/9: 'Housing'
- Plànol 9/9: Àlep