

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA NAVAL Y OCEÁNICA

---

# ANEXOS

---

Alumno: Marçal Castells Mur

Director: Juan Francisco Sánchez Pérez  
Manuel Conesa Valverde

Cartagena, 26 de Abril de 2016

## Índice

1. Procedimiento matemático del programa.....	2
2. Valores de entrada para Matlab .....	7
3. Nomenclatura.....	8
4. Diagrama de flujo .....	9
4.1 Nomenclatura del diagrama de flujos .....	10
5. Función del programa .....	11

## 1. Procedimiento matemático del programa

$$j_c = -j_0 \left[ e^{\frac{-a_3(E_{met}-\varphi)}{RT}} \right] \quad (Ec. 1)$$

$$j_a = -j_0 \left[ e^{\frac{a_3(E_{met}-\varphi)}{RT}} \right] \quad (Ec. 2)$$

$$j_0 = j_{0Ref} \cdot (C_{H^+})^{a_1} \cdot (C_{O_2})^{a_2} \quad (Ec. 3)$$

$$\sum j_c = \sum j_a \quad (Ec. 4)$$

Elección de los parámetros electroquímicos para la densidad de corriente, junto con la temperatura y concentración de O<sub>2</sub> y pH como variables de entrada ambientales.

PARÁMETROS ELECTROQUÍMICOS				
SPECIE	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	j <sub>0Ref</sub>
H <sup>+</sup>	1	0	0,5	2.000 (A · cm/mol)
OH <sup>-</sup>	0	0	0,5	8 · 10 <sup>-8</sup> (A/cm <sup>2</sup> )
O <sub>2</sub>	0	1	0,5	1.620 (A · cm/mol)
Fe <sup>2+</sup>	0	0	1	2,7 · 10 <sup>-15</sup> (A/cm <sup>2</sup> )

**Tabla 1.** Electrochemical parameters for the current density, Sharland and Tasker [1988], and Sharland et al [1988]

Una vez obtenida la velocidad de corrosión (CR) mediante la fórmula.

$$CR = \frac{j_{Fe2+} \cdot a_{Fe2+} \cdot M_{Fe2+}}{n_{Fe2+} \cdot F \cdot \rho_{Fe2+}} \quad (Ec. 5)$$

$$CR = 1.159 \cdot j_{Fe2+} \text{ (mm/year)} \quad (Ec. 6)$$

Se procede a calcular la influencia de la corrosión sobre la rugosidad, para la relación corrosión vs rugosidad existen dos casos: **Por ello es necesario poner como variable de entrada el tipo de salinidad.**

**1) Relación corrosión vs rugosidad independiente a la salinidad**

$$CR = 0,033 \ln(Ks) - 0,0287 \quad (\text{Ec. 7})$$

**2) Relación corrosión vs rugosidad dependiente a la salinidad (en este existen tres modelos)**

- Relación con una salinidad de 80g/kg

$$CR = -0,4958Ks^4 + 8,2365Ks^3 + 53,337Ks^2 - 226,81ks + 664,99 \quad (\text{Ec. 8})$$

- Relación con una salinidad de 60g/kg

$$CR = 0,133Ks^5 - 4,9818Ks^4 + 63,117Ks^3 - 266,87Ks^2 + 525,39ks + 57,842 \quad (\text{Ec. 9})$$

- Relación con una salinidad de 40g/kg

$$CR = -0,0307Ks^6 + 1,5044Ks^5 - 28,289Ks^4 + 253,64Ks^3 - 1.065,6Ks^2 + 2.030,3ks - 1.019,6 \quad (\text{Ec. 10})$$

Para el cálculo de rugosidad en las ecuaciones (Ec. 7,8,9,10) utilizar nanómetros para las unidades, a continuación hay que cambiar las unidades a micrómetros. (**nm – μm**).

$$Ks = Ks \cdot 10^{-3} \quad (\text{Ec. 11})$$

A continuación, se puede calcular la influencia de la rugosidad en la resistencia al avance, para ello se calcula previamente el coeficiente de correlación de rugosidad mediante la siguiente fórmula.

$$\Delta C_F = 10^{-3} \cdot \left( 105 \cdot \left( \frac{ks_o}{L_F} \right)^{\frac{1}{3}} - 0,64 \right) \quad (\text{Ec. 12})$$

Seguidamente, se calcula la corrección al coeficiente de correlación de rugosidad.

$$\Delta(\Delta C_F) = \frac{105 \cdot 10^{-3}}{L^{1/3}} \cdot \left( k_S^{1/3} - \left( \frac{150}{10^6} \right)^{1/3} \right) \quad (\text{Ec. 13})$$

Teniendo como valores de entrada la superficie mojada y la velocidad del buque, se puede dar el incremento de resistencia de avance debido al incremento de rugosidad.

$$R_{\Delta(\Delta C_F)} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_0^2 \cdot \Delta(\Delta C_F) \quad (\text{Ec. 14})$$

En el caso que no se tenga la resistencia del buque como dato inicial, se obtiene a partir de la siguiente fórmula, aunque es indispensable tener como dato de entrada la potencia efectiva.

$$R_{T_0} = \frac{75 \cdot EHP}{V_0} \quad (\text{Ec. 15})$$

Para poder conocer los valores de las componentes de resistencia al avance se calculan los coeficientes adimensionales de resistencia al avance.

$$C_{T_0} = \frac{2 \cdot R_{T_0}}{\rho \cdot S \cdot V_0^2} \quad (\text{Ec. 16})$$

Para calcular el coeficiente adimensional de resistencia de fricción primero es necesario calcular el número de Reynolds.

$$Re = \frac{V_0 \cdot L}{\nu} \quad (\text{Ec. 17})$$

Luego,

$$C_F = \frac{0,075}{(\log_{10} Re - 2)^2} \quad (\text{Ec. 18})$$

El coeficiente adimensional de resistencia residual se calcula a partir diferencia del coeficiente adimensional de resistencia total inicial con los otros coeficientes adimensionales obtenidos anteriormente.

$$C_R = C_{T_0} - C_F - \Delta C_F - \Delta(\Delta C_F) \quad (\text{Ec. 19})$$

A continuación, se calculan las componentes restantes de la resistencia al avance a partir de sus coeficientes adimensionales respectivamente.

$$R_R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_0^2 \cdot C_R \quad (\text{Ec. 20})$$

$$R_F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_0^2 \cdot C_F \quad (\text{Ec. 21})$$

Una vez resueltas las ecuaciones de los términos de resistencia se puede calcular la resistencia al avance total sumando cada parámetro que compone la resistencia al avance total inicial.

$$R_T = R_{T_0} + R_{\Delta(\Delta C_F)} = R_F + R_R + R_{\Delta C_F} + R_{\Delta(\Delta C_F)} \quad (\text{Ec. 22})$$

Ahora, se calcula el incremento de resistencia al avance y también en tanto por ciento.

$$\Delta R_T = R_T - R_{T_0} \quad (\text{Ec. 23})$$

$$\Delta R_T = 100 \cdot \frac{R_T - R_{T_0}}{R_{T_0}} \quad (\text{Ec. 24})$$

Para poder obtener la pérdida de potencia es necesario calcular anteriormente la velocidad del buque actual, asumiendo un aumento de resistencia debida al incremento de rugosidad del casco.

$$V_f = \frac{75 \cdot EHP}{R_T} \quad (\text{Ec. 25})$$

$$V_{per} = V_0 - V_f = V_0 - \frac{75 \cdot EHP}{R_T} \quad (\text{Ec. 26})$$

Finalmente, se calcula la pérdida de potencia efectiva debido al incremento de resistencia.

$$P_{EHP} = \frac{\Delta R_T \cdot V_f}{75} \quad (\text{KW}) \quad (\text{Ec. 27})$$

Para dar el resultado de potencia efectiva en caballos.

$$P_{EHP} = \frac{\Delta R_T \cdot V_f}{75} \cdot 1,3596 \quad (\text{CV}) \quad (\text{Ec. 28})$$

## 2. Valores de entrada para Matlab

Los parámetros del buque.

- $EHP$  → potencia efectiva o de remolque. ( $kw$ )
- $R_{T_0}$  → resistencia al avance inicial del buque. ( $kg$ )
- $V_0$  → velocidad inicial del buque. ( $m/s$ )
- $L$  → eslora del buque. ( $m$ )
- $S$  → superficie mojada. ( $m^2$ )
- $ks_0$  → Coeficiente de rugosidad superficial estándar ( $120 - 150 \mu m$ )

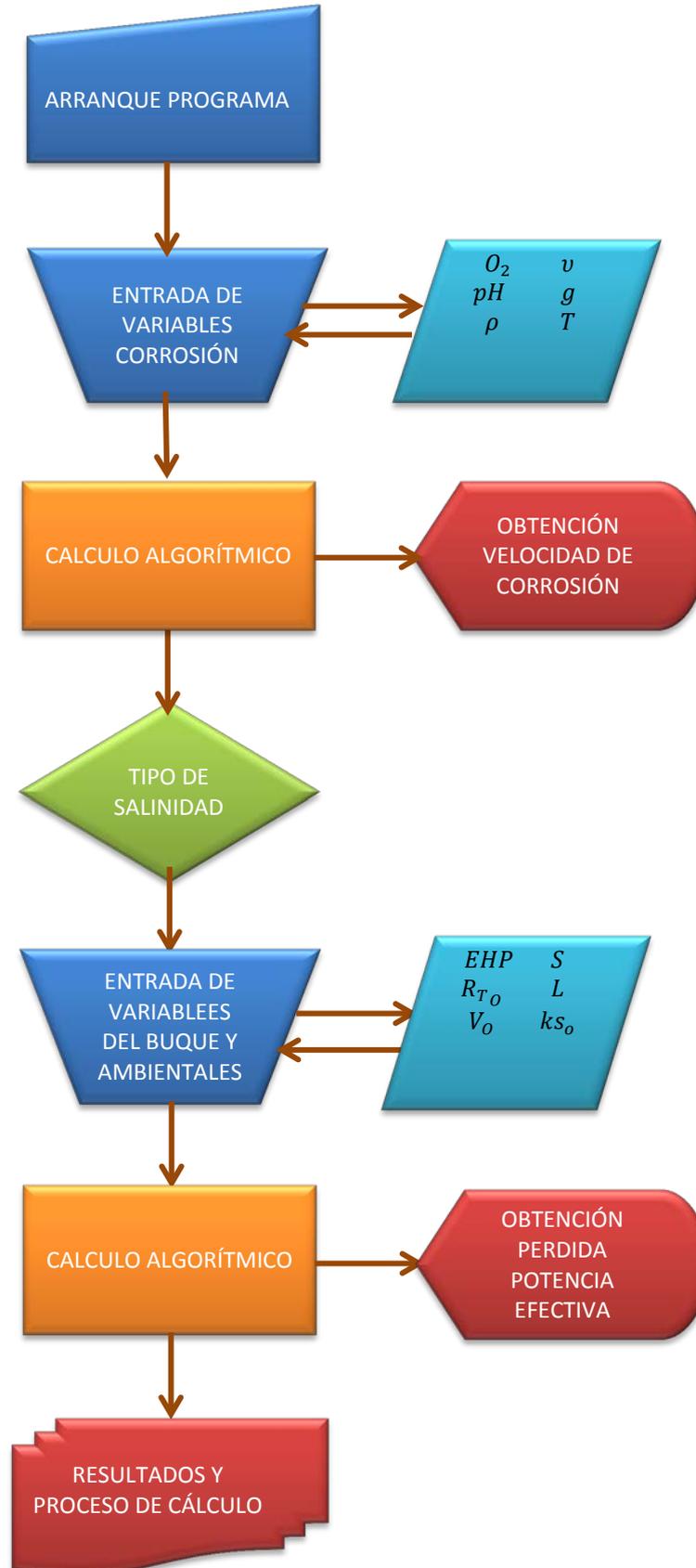
Los datos necesarios del ambiente son los siguientes.

- $\rho$  → densidad del fluido. ( $kg/m^3$ )
- $\nu$  → viscosidad cinemática del fluido. ( $m^2/s$ )
- $g$  → gravedad. ( $m/s^2$ )
- $s$  → concentración salinidad. ( $g/kg$ )
- $T$  → temperatura. ( $^{\circ}C$ )
- $O_2$  → concentración de  $O_2$ . ( $A \cdot cm/mol$ )
- $pH$  → potencial hidrógeno.

### 3. Nomenclatura

$CR$	Velocidad de corrosión ( <b>mm/año</b> )	$j_6$	Densidad de corriente del $Fe^{2+}$ ( $A/m^2$ )
$M_6$	Masa molecular del hierro ( <b>Da</b> )	$a_6$	Coefficiente estequiométrico para la especie $j$
$\rho_6$	Densidad del $Fe^{2+}$ ( $kg/m^3$ )	$n_6$	Número de transferencia de carga.
$s$	Salinidad ( <b>g/kg</b> )	$g$	Gravedad ( $m/s^2$ )
$pH$	Potencial hidrógeno	$O_2$	Concentración de $O_2$ ( $A \cdot cm/mol$ )
$T$	Temperatura ( $^{\circ}C$ )	$Ks$	Incremento de rugosidad ( $nm - \mu m$ )
$\Delta C_F$	Coefficiente de correlación de rugosidad	$\Delta(\Delta C_F)$	Corrección al coeficiente $\Delta C_F$
$ks_0$	Coefficiente de rugosidad superficial estándar ( <b>120 – 150 <math>\mu m</math></b> )	$\rho$	Densidad del agua de mar ( $kg/m^3$ )
$R_{\Delta(\Delta C_F)}$	Resistencia al avance debida a la rugosidad ( <b>Kg</b> )	$S$	Superficie mojada del buque ( $m^2$ )
$V_0$	Velocidad del buque ( $m/s$ )	$C_{T_0}$	Coefficiente adimensional de resistencia al avance total
$L$	Eslora del buque ( <b>m</b> )	$\nu$	Viscosidad del agua de mar ( $m^2/s$ )
$Re$	Número de Reynolds	$C_F$	Coefficiente adimensional de resistencia de fricción
$C_R$	Coefficiente adimensional de resistencia residual	$R_R$	Resistencia al avance residual ( <b>Kg</b> )
$R_F$	Resistencia al avance por fricción ( <b>Kg</b> )	$R_{T_0}$	Resistencia al avance total inicial ( <b>Kg</b> )
$R_T$	Resistencia al avance total ( <b>Kg</b> )	$\Delta R_T$	Incremento de resistencia al avance ( <b>Kg</b> )
$V_f$	velocidad del buque actual (final) ( $m/s$ )	$EHP$	Potencia efectiva ( <b>Kw</b> )
$V_{per}$	Perdida de velocidad del buque ( $m/s$ )	$P_{EHP}$	Perdida de potencia efectiva ( <b>CV</b> )

#### 4. Diagrama de flujo



## 4.1 Nomenclatura del diagrama de flujos



## 5. Función del programa

```
function[RT2,PEHP1,PEHP2,Pvfin1]=pitting_power_loss(Ta,ppH,O2,Relsal,ro,LL,Vin,SS,Kso,EPH)|
%*****
% Modelo de corrosión generalizada con ecuaciones de corrosión por picadura
%
% Datos de entrada:
% --> ambientales:
% Ta: Temperatura (°C)
% ppH: pH
% O2: Concentración de O2
% Relsal Relación sal-agua [0,40,60,80] (g/kg)
% ro: Densidad del fluido (kg/m^3)
% --> parámetros del buque
% LL: Eslora (m)
% Vin: Velocidad inicial (m/s)
% SS: Superficie mojada (m^2)
% Kso: Coeficiente de rugosidad superficial estándar (120-150 um)
% EPH: Potencia efectiva o de remolque. (kw)
%
% Datos de salida:
% RT2: Resistencia al avance total (kg)
% PEHP1: Pérdida de potencia efectiva máxima (kw)
% PEHP2: Pérdida de potencia efectiva mínima (kw)
% Pvfin1: Pérdida de velocidad del buque (m/s)
%
% Sintaxis:
% function pitting power loss
% [RT2,PEHP1,PEHP2,Pvfin1]= pitting_power_loss(Ta,ppH,O2,Relsal,ro,LL,Vin,SS,Kso,EPH)
%*****
clc;
close all;
fclose all;
clear;
colormap(jet(128))
format long;

Relsali=10; %Relación sal-agua inicial °C
Relsalf=90; %Relación sal-agua final °C
ARelsal=Relsalf-Relsali;
for i=1:ARelsal
% Parámetros de entrada
Ta=25; %Temperatura °C
ppH=8; %pH
O2=2E-4; %Concentracion de O2
Relsal=Relsali+i; % Relación sal-agua (g/kg)
Relsalmat(i)=Relsal;
LL=20; %Eslora del buque (m)
Vin=30; %Velocidad inicial del buque (m/s)
ro=1000; % Densidad del fluido (kg/m^3)
SS=80; % Superficie mojada del buque (m^2)
Kso=120; % Coeficiente de rugosidad superficial estándar (120-150 um)
EPH= 1380; % Potencia efectiva o de remolque. (kw)

%Constantes
R=8.314472; %Constante de los gases ideales (J/molK)
RJulio=R/1000;%Cambio de unidades (kJ/molK)
F=96485.3383; %Constante de Faraday (C/mol)

%Parametros
T=Ta;
TT=T+273;
pH=ppH;
```

```
%Concentraciones
CNCG=O2;
CNCE=10^-pH;

%Cálculo de la corrosión generalizada
potcor=(-R*IT/(1.5*F))*log(((2E3*CNCE)+(1.62E3*CNCG)-0.8E-7)/2.7E-15);
ip=2.7E-15*exp((-F*potcor)/(R*IT));
CR=1.159*ip; % mm/y

%Cálculo de la rugosidad

if Relsal<40
Ks=exp((CR+0.0287)/0.033); %Independiente de la salinidad
Ks1=Ks;
Ks2=Ks;
end

if (Relsal>=40)&& (Relsal<60)
Kss=[-0.0307 1.5044 -28.289 253.64 -1065.6 2030.3 -1019.6-CR];
Ksss=roots(Kss);
n=1;
for j=1:6
if imag(Ksss(j))==0
KS(n)=real(Ksss(j));
n=n+1;
end
end

Ks1=max(max(KS));
Ks2=min(min(KS));
if Ks1<0
Ks1=0;
end
if Ks2<0
Ks2=0;
end
end

if (Relsal>=60)&& (Relsal<80)
Kss=[0.133 -4.9818 63.117 -266.87 525.39 57.842-CR];
Ksss=roots(Kss);

n=1;
for j=1:5
if imag(Ksss(j))==0
KS(n)=real(Ksss(j));
n=n+1;
end
end

Ks1=max(max(KS));
Ks2=min(min(KS));
if Ks1<0
Ks1=0;
end
if Ks2<0
Ks2=0;
end
end
```

```
if (Reisal>=80)
Kss=[-0.4958 8.2365 53.337 -226.81 664.99-CR];
Ksss=roots(Kss);

n=1;
for j=1:4
if imag(Ksss(j))==0
KS(n)=real(Ksss(j));
n=n+1;
end
end

Ks1=max(max(KS));
Ks2=min(min(KS));
if Ks1<0
Ks1=0;
end
if Ks2<0
Ks2=0;
end

end
Ks1=Ks1/1000;
Ks2=Ks2/1000;

%Coeficiente de correlación de rugosidad
AAC1=(0.105/(LL^(1/3)))*((Ks1^(1/3))-((150E-6)^(1/3)));
AAC2=(0.105/(LL^(1/3)))*((Ks2^(1/3))-((150E-6)^(1/3)));

%Incremento de rugosidad
RA1=0.5*ro*SS*AAC1*Vin^2;
RA2=0.5*ro*SS*AAC2*Vin^2;

% Resistencia al avance total inicial (Kg)
RTo=(75*EPH)/Vin;

%Resistencia al avance total (Kg)
RT1=RTo+RA1;
RT2=RTo+RA2;

% Velocidad del buque actual (final) (m/s)
vfin1=(75*EPH)/RT1;
vfin2=(75*EPH)/RT2;

% Perdida de potencia efectiva debido al incremento de resistencia (kw)

PEHP1=RA1*vfin1/75;
PEHP2=RA2*vfin2/75;

if PEHP1>=PEHP2
PEHPmax(i)=PEHP1;
PEHPmin(i)=PEHP2;
else
PEHPmax(i)=PEHP2;
PEHPmin(i)=PEHP1;
end
end
```

```
%Graficas de potencia y temperatura
```

```
plot(Relsalmat,PEHPmax,'-bd')  
hold on  
plot(Relsalmat,PEHPmin,'-gd')  
hold on  
xlabel('Relación sal-agua, g/kg','FontSize',16);  
ylabel('Pérdida de potencia efectiva, kW','FontSize',16);  
set(gca,'FontSize',16)|
```