

## Apéndices

- i Rutina de MATLAB
  - ii Pantalla de Valores de entrada para el ejemplo 1 en la rutina de MATLAB
  - iii Hoja de cálculo de Crystal Ball para el ejemplo 1
  - iv Cuadros estadísticos de objetivos A yB
- 

### I Rutina de Cómputo en MATLAB

---

```
clc
close all
clear all
display(';;; TODAS LAS UNIDADES DE LAS CANTIDADES ALIMENTADAS DEBERÁN SER EXPRESADAS
EN UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL!!!');
% ;;;TODAS LAS UNIDADES EN EL PROGRAMA, SALVO EXCEPCIÓN EXPLÍCITA, ESTÁN
% EXPRESADAS EN EL SISTEMA INTERNACIONAL!!!
%Bloque de datos de entrada de modelo
%H=input('Proporciona el espesor de la zona de estabilidad en metros: ');
Tb=input('Proporcione la temperatura del fondo marino en °C: ');
hw=input('Proporcione la profundidad desde el fondo marino en metros: ');
z1=input('Proporcione la profundidad desde el fondo marino a la superficie superior
de la zona de estabilidad en metros: ');
z2=input('Proporcione la profundidad al BSR desde el fondo marino en metros: ');
rhoW=input('Proporcione la densidad del agua: ');
rho1=input('Proporcione la densidad del sedimento sobre la zona de estabilidad:
');
rho2=input('Proporcione la densidad del medio dentro de la zona de estabilidad:
');
f1=input('Proporcione la fracción de metano esperada en la mezcla (valor de 0 a 1):
');
f2=1-f1;
P01=input('Proporcione la presión crítica del metano: ');
P02=input('Proporcione la presión crítica del gas 2: ');
Pmix=input('Proporcione la presión crítica de mezcla: ');

%Bloque de declaración de criterios de simulación
n=input('Proporcione el número de iteraciones que desea: ');
ranb1=input('valor mínimo de b: ');
ranb2=input('valor máximo de b: ');
ranc1=input('valor mínimo de c: ');
ranc2=input('valor máximo de c: ');
g1=input('valor mínimo de gradiente geotérmico (°C/100m): ');
g2=input('valor máximo de gradiente geotérmico (°C/100m): ');
```

```

%Bloque de cálculo de variables escalares
g=9.81;%(m/s^2)
P1=g*(hw*rhow+z1*rho1+z2*rho2);
P2=g*(hw*rhow+z1*rho1+z2*rho2);
P2ln=log(P2);
H=z2-z1;
%Pmix=1/((f1/P01)+(f2/P02));
Pmixln=log(Pmix);

%Bloque de Monte Carlo
Y=rand(3,n);
randn('state',0);
G=(g2-g1).*rand(1,n)+g1;
b=ranb2*Y(2,:)+ranb1;
c=ranc2*Y(3,:)+rancl;
pt=zeros(1,n);
T2a=zeros(1,n);
T2=zeros(1,n);
G2=zeros(1,n);
Po=zeros(1,n);
fmix=zeros(1,n);
out=zeros(5,n);
gn=zeros(1,100);
bn=zeros(1,100);
cn=zeros(1,100);
fmy=zeros(1,100);
Pn=zeros(1,100);
v=[.1,.3,.5,.7,.9];
q=1;
%Bloque de modelo
for i = 1:n
    if ((b(i))^2 >= 4*(log(Pmix/P2).*c(i)))
        pt(i)=sqrt((b(i))^2-4.*(log(Pmix/P2).*c(i)));
        T2a(i)=(-b(i)+pt(i))/(2*c(i));
        G2(i)=(T2a(i)-Tb)*100./z2;
        T2(i)=z2.*(G(i)./100)+Tb;
        Po(i)=P2.*exp(-(b(i).*T2(i))-(c(i).(T2(i))^2));

        if (G2(i) >= g1) && (G2(i) <= g2)
            out(1,i)=G2(i);
            out(2,i)=b(i);
            out(3,i)=c(i);
        end
        if (Po(i) >= Pmix) && (Po(i) <= P01)
            out(4,i)=Po(i);
            out(5,i)=1.+f2.*(Po(i)-P01)/(P01-Pmix);
            b1(q)=b(i);
            c1(q)=c(i);
            gt1(q)=G(i);
            q=q+1;
        elseif (Po(i) >= P02) && (Po(i) < Pmix)
            out(5,i)=f1.*(Po(i)-P02)/(Pmix-P02);
            b1(q)=b(i);
            c1(q)=c(i);
        end
    end
end

```

```

        gt1(q)=G(i);
        q=q+1;

    end

else
    G2(i)=0;

end

end

gt=find (out(1,:) > g1);
for l=1:length(gt)
    gg(l)=out(1,gt(l));
end
bt=find (out(2,:) > ranb1);
for k=1:length(bt)
    bb(k)=out(2,bt(k));
end
ct=find (out(3,:) > ranc1);
for h=1:length(ct)
    cc(h)=out(3,ct(h));
end
pf=find (out(4,:) > 0);
for r=1:length(pf)
    pp(r)=out(4,pf(r));
end
ft=find (out(5,:) > 0);
for m=1:length(ft)
    fm(m)=out(5,ft(m));
end

%Bloque de histogramas
for j=1:100
    gn(j)=min(gg)+(j/100).* (max(gg)-min(gg));
    bn(j)=ranb1+(j/100).* (max(bb)-min(bb));
    cn(j)=ranc1+(j/100).* (max(cc)-min(cc));
    Pn(j)=min(pp)+(j/100).* (max(pp)-min(pp));
    fmy(j)=(j/100).* (max(fm)-min(fm));
end
prob1=hist(gg(:),100)/length(gg);
prob2=hist(bb(:),100)/length(bb);
prob3=hist(cc(:),100)/length(cc);
prob4=hist(pp(:),100)/length(pp);
prob5=hist(fm,100)/length(fm);

[X,Y] = meshgrid(min(b1):(max(b1)-min(b1))/(100):max(b1),min(c1):(max(c1)-
min(c1))/(100):max(c1));
Z = 1.+f2.* ((P2.*exp(-X.*T2(i))-(Y.*(T2(i))^2))-P01)/(P01-Pmix);
Z1=f1.* ((P2.*exp(-X.*T2(i))-(Y.*(T2(i))^2))-P02)/(Pmix-P02);
%Bloque de Graficación
figure

```

```

axis([g1 g2 0 max(probl)])
bar(gn,probl/max(probl))
legend('Probabilidad normalizada de gradientes calculados')
xlabel('\fontsize{12}Distribución de probabilidad de gradientes
geotérmicos (°C/100m)')
figure
axis([ranb1 ranb2 0 1])
bar(bn,prob2/max(prob2))
legend('Frecuencia normalizada de b')
xlabel('\fontsize{12}Histograma de valores de parámetro b aceptados')
figure
axis([ranc1 ranc2 0 1])
bar(cn,prob3/max(prob3))
legend('Frecuencia normalizada de c')
xlabel('\fontsize{12}Histograma de valores de parámetro c aceptados')
figure
bar(Pn/101100,prob4/max(prob4))
legend('Presión de escalamiento (Po)')
xlabel('\fontsize{14}Atmósferas')
figure
bar(fmy,prob5/max(prob5)),title('\fontsize{14}Fracción de metano')
legend('Fracción de metano (fm)')
xlabel('\fontsize{12} Fracción de metano')
figure
scatter(b1,log10(c1),10,fm,'*k');
hold on
scatter(bb,log10(cc),3,gg,'o'),title('\fontsize{12}Valores de gradiente geotérmico
(°C/100m) vs b y c')
colorbar;
xlabel('\fontsize{14}b')
ylabel('\fontsize{14}log10(c)')
hold off
figure
scatter(b1,log10(c1),3,gt1,'o');
title('\fontsize{12}Valores de gradiente geotérmico y fracción de metano vs b y c');
colorbar;
xlabel('\fontsize{14}b'),ylabel('\fontsize{14}log10(c)');
figure
scatter(bb,log10(cc),3,gg,'o');
colorbar;
title('\fontsize{14}Valores de gradiente geotérmico (°C/100m) vs b y c');
xlabel('\fontsize{14}b'),ylabel('\fontsize{14}log10(c)');

```

## II Pantalla de Valores de entrada para el ejemplo 1 en la rutina de MATLAB

---

Temperatura del fondo marino en °C: 4

Profundidad desde el fondo marino en metros: 250

Profundidad desde el fondo marino a la superficie superior de la zona de estabilidad en metros: 100

Profundidad al BSR desde el fondo marino en metros: 350

Densidad del agua: 1030

Densidad del sedimento sobre la zona de estabilidad: 1750  
Densidad del medio dentro de la zona de estabilidad: 1500  
Fracción de metano esperada en la mezcla (valor de 0 a 1): 0.9  
Presión crítica del metano: 2806020  
Presión crítica del gas 2: 558920  
Presión crítica de mezcla: 1020100  
Número de iteraciones que desea: 10000  
Valor mínimo de b: .01  
Valor máximo de b: .25  
Valor mínimo de c: .0001  
Valor máximo de c: .1  
Valor mínimo de gradiente geotérmico ( $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ): 1.5  
Valor máximo de gradiente geotérmico ( $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ): 5.5

### III Hoja de cálculo de Crystal Ball para el ejemplo 1

En el código en realidad ambos módulos operan en la misma hoja y al mismo tiempo pero por cuestiones de estructura la densidad de energía y la fracción de metano aparecen en apartados separados.

#### a) Módulo de estimación de cálculo de fracción de metano.

Datos de entrada		
Profundidad del agua (m)		250
Temperatura de agua en fondo (°C)		4.00000
Profundidad de superficie superior de hidratos desde fondo marino (m)		100.00000
Espesor de hidratos (m)		250
Densidad del agua (adimensional)		1.03000
Densidad promedio de sedimentos sobre hidratos (adimensional)		1.75000
Densidad promedio de sedimentos en hidratos (adimensional)		1.50000
Procedimiento de cálculo		
Constantes de escalamiento en ecuación de curva de estabilidad		
$\ln P - \ln P_0 = bT + cT^2$		
	b=	0.12500
	c=	0.00015
Gravedad (m/s <sup>2</sup> )	g=	9.81000
Presión en superficie superior de hidratos (P1) [Pa]		4242825.00000
Presión en la base de hidratos (P2) [Pa]		7921575.00000
Gradiente geotérmico (1ra estimación) [°C/100m]	G=	3.00000
Gradiente geotérmico (2da estimación) [°C/100m]		1.61492
Gradiente geotérmico (3ra estimación) [°C/100m]		1.56707
Temperatura en superficie superior (°C)		7.00000
Temperatura en base de hidratos (°C)		14.50000
Presión de escalamiento (P0) [Atm]		12.40609
Determinación de Composición		
P(metano @ 0°C) [KPa]		26.20000
P(etano @ 0°C) [KPa]		5.20000
P(90%met,10%et @ 0°C) [KPa]		10.10000
fraccion de metano inicial f0		0.90000
Fracción estimada de metano		
f1		0.91432

### III Hoja de cálculo de Crystal Ball para el ejemplo 1

#### b) Cálculo de densidad de energía de hidrato de metano

Porosidad		0.50000
Saturación		0.50000
Densidad de energía de metano		0.09600
Relación de poder calorífico etano/metano		0.88800
Densidad de energía de etano		0.01902
Densidad total de energía		0.11502

#### Cuadro estadístico de objetivo A

Punto A	Punto A	Punto A	Punto A	Punto A	Punto A
<b>Estimación: Fracción de metano</b>			<b>Estimación: Densidad de energía de hidrato de metano (Qmet/QLNG)</b>		
Estadístico	Aproximación de Dist.: Gamma	Valores Estimados	Estadístico	Aproximación de Dist.: Gamma	Valores Estimados
Ensayos	'---	5,000	Ensayos	'---	5,000
Media	0.99823	0.99823	Media	0.10481	0.10481
Mediana	0.98004	0.97947	Mediana	0.1029	0.10284
Moda	0.9422	'---	Moda	0.09893	'---
Desviación Estándar	0.09049	0.08966	Desviación Estándar	0.0095	0.00941
Varianza	0.00819	0.00804	Varianza	0.00009	0.00009
Asimetría	1.24	1.05	Asimetría	1.24	1.05
Curtosis	5.3	4.04	Curtosis	5.3	4.04
Coef. de Variación	0.0907	0.0898	Coef. de Variación	0.0907	0.0898
Mínimo	0.8521	0.85421	Mínimo	0.08947	0.08969
Máximo	Infinito	1.41195	Máximo	Infinito	0.14826
Error Estándar Medio	'---	0.00127	Error Estándar Medio	'---	0.00013

**Cuadro estadístico de objetivo B**

<b>Punto B</b>	<b>Punto B</b>	<b>Punto B</b>	<b>Punto B</b>	<b>Punto B</b>	<b>Punto B</b>
Estimación: Fracción de metano			Estimación: Densidad de energía de hidrato de metano (Qmet/QLNG)		
Estadístico	Aproximación de Dist.: Gamma	Valores Estimados	Estadístico	Aproximación de Dist.:Gamma	Valores Estimados
Ensayos	'---	5,000	Ensayos	'---	5,000
Media	1.09938	1.09938	Media	0.11544	0.11544
Mediana	1.08194	1.08319	Mediana	0.1136	0.11374
Moda	1.04633	'---	Moda	0.10986	'---
Desviación Estándar	0.11389	0.11153	Desviación Estándar	0.01196	0.01171
Varianza	0.01297	0.01244	Varianza	0.00014	0.00014
Asimetría	0.9317	0.6325	Asimetría	0.9317	0.6325
Curtosis	4.3	2.96	Curtosis	4.3	2.96
Coef. de Variación	0.1036	0.1014	Coef. de Variación	0.1036	0.1014
Mínimo	0.85491	0.88084	Mínimo	0.08977	0.09249
Máximo	Infinito	1.55852	Máximo	Infinito	0.16364
Error Estándar Medio	'---	0.00158		'---	0.00017