Proyecto de aplicación de método numéricos

Funciones Auxiliares

```
function acc = derivada5p(h, vel)
    % Calcular la aceleración usando la fórmula de diferenciación de 5 puntos
    % h: paso de tiempo
    % vel: vector de velocidad angular

    n = length(vel);
    acc = zeros(n, 1);

    % Fórmula de 5 puntos en el interior
    for i = 3:n-2
        acc(i) = (vel(i-2) - 8*vel(i-1) + 8*vel(i+1) - vel(i+2))/(12*h);
    end

    % Tratamiento de bordes
    % Primer punto - Diferencia hacia adelante
    acc(1) = (-3*vel(1) + 4*vel(2) - vel(3))/(2*h);

    % Segundo punto - Diferencia hacia adelante
    acc(2) = (-3*vel(2) + 4*vel(3) - vel(4))/(2*h);

    % Penúltimo punto - Diferencia hacia atrás
    acc(n-1) = (3*vel(n-1) - 4*vel(n-2) + vel(n-3))/(2*h);

    % Último punto - Diferencia hacia atrás
    acc(n) = (3*vel(n) - 4*vel(n-1) + vel(n-2))/(2*h);
end

function acc = segundaDerivada(h, pos)
    % Calcular la aceleración usando la fórmula de la segunda derivada
directa
    % h: paso de tiempo
    % pos: vector de posición angular (yaw)

    n = length(pos);
    acc = zeros(n, 1);

    % Fórmula de segunda derivada en el interior
    for i = 2:n-1
        acc(i) = (pos(i+1) - 2*pos(i) + pos(i-1))/(h^2);
    end

    % Tratamiento de bordes
    % Usar la fórmula del punto interior para el primer y último punto
    acc(1) = (pos(3) - 2*pos(2) + pos(1))/(h^2);
```

```
    acc(n) = (pos(n) - 2*pos(n-1) + pos(n-2))/(h^2);
end
```

Cálculo aceleración angular

```
clear all;
close all;
clc;

% Cargar datos
load('DLCtest_data.mat');

% Conversión de unidades a SI
vel_long = vel_long/3.6;  % Convertir km/h a m/s
h = 0.002;  % Tiempo de muestreo en segundos

% Convertir de grados a radianes
beta = deg2rad(beta);
beta_rate = deg2rad(beta_rate);
delta = deg2rad(delta);
yaw = deg2rad(yaw);
yaw_rate = deg2rad(yaw_rate);

% Cálculo de aceleración con derivada de 5 puntos
acc_d5 = derivada5p(h, yaw_rate');

% Cálculo de aceleración con segunda derivada
acc_2d = segundaDerivada(h, yaw');

% Datos reales de aceleración
yaw_acc_real = yaw_acc';  % rad/s^2

% Vector de tiempo para gráficas
t = 0:h:(length(beta)*h - h);

% Visualización de resultados
figure;
subplot(2,1,1);
plot(t, acc_d5, 'r-', 'LineWidth', 1.2);
hold on;
plot(t, acc_2d, 'b-', 'LineWidth', 1.2);
plot(t, yaw_acc_real, 'k--', 'LineWidth', 1.5);
grid on;
title('Comparación de métodos de diferenciación numérica');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Aceleración angular (rad/s²)');
legend('Derivada 5 puntos', 'Segunda derivada', 'Datos reales');

% Cálculo del error
```

```
error_d5 = yaw_acc_real - acc_d5;
error_2d = yaw_acc_real - acc_2d;

subplot(2,1,2);
plot(t, error_d5, 'r-', 'LineWidth', 1.2);
hold on;
plot(t, error_2d, 'b-', 'LineWidth', 1.2);
grid on;
title('Error de estimación');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('Error (rad/s²)');
legend('Error derivada 5 puntos', 'Error segunda derivada');
```

```
% Cálculo del coeficiente de determinación R²
% Para derivada de 5 puntos
St_d5 = sum((yaw_acc_real - mean(yaw_acc_real)).^2);
Sr_d5 = sum((yaw_acc_real - acc_d5).^2);
R2_d5 = (St_d5 - Sr_d5) / St_d5;

% Para segunda derivada
St_2d = sum((yaw_acc_real - mean(yaw_acc_real)).^2);
Sr_2d = sum((yaw_acc_real - acc_2d).^2);
R2_2d = (St_2d - Sr_2d) / St_2d;

% Mostrar resultados
```

```
% fprintf('Coeficiente de determinación R² para derivada de 5 puntos:
%.4f\n', R2_d5);
% fprintf('Coeficiente de determinación R² para segunda derivada: %.4f\n',
R2_2d);

% También podemos calcular el RMSE (Error cuadrático medio)
RMSE_d5 = sqrt(mean((yaw_acc_real - acc_d5).^2));
RMSE_2d = sqrt(mean((yaw_acc_real - acc_2d).^2));

% fprintf('RMSE para derivada de 5 puntos: %.4f\n', RMSE_d5);
% fprintf('RMSE para segunda derivada: %.4f\n', RMSE_2d);
```

Determinación de los paramétros del modelo mediante RL

```
% Parámetros conocidos del modelo
m = 1507;  % masa del vehículo [kg]
Iz = 2995.02;  % momento de inercia [kg*m^2]

% Construcción de matrices para la regresión
n = length(t);
A = zeros(2*n, 4);  % Matriz de coeficientes
b = zeros(2*n, 1);  % Vector de términos independientes

% Llenado de matrices con las ecuaciones reorganizadas
for i = 1:n
    v = vel_long(i);

    % Ecuación para beta_dot (reorganizada)
    % beta_dot + r = -(cf+cr)/(m*v)*beta + (cf/(m*v))*delta
    A(i, 1) = -beta(i)/v;  % Coeficiente para (cf+cr)/m
    A(i, 2) = 0;          % Coeficiente para (lf*cf-lr*cr)/m
    A(i, 3) = delta(i)/v;  % Coeficiente para cf/m
    A(i, 4) = 0;          % Coeficiente para lf*cf/m
    b(i) = beta_rate(i) + yaw_rate(i);

    % Ecuación para yaw_acc (reorganizada)
    % r_dot + (r/v) = -(lf*cf-lr*cr)/Iz*beta - (lf^2*cf+lr^2*cr)/(Iz*v)*r +
(lf*cf/Iz)*delta
    A(i+n, 1) = 0;            % Coeficiente para (cf+cr)/m
    A(i+n, 2) = -beta(i);     % Coeficiente para (lf*cf-lr*cr)/Iz
    A(i+n, 3) = 0;            % Coeficiente para cf/m
    A(i+n, 4) = delta(i);     % Coeficiente para lf*cf/Iz
    b(i+n) = yaw_acc_real(i) + yaw_rate(i)/v;
end

% Resolución del sistema de ecuaciones sobredeterminado usando mínimos
cuadrados
p = A\b;  % Equivalente a p = inv(A'*A)*A'*b pero más eficiente

% Extracción de los parámetros calculados
```

```
cf_plus_cr_over_m = p(1);
lf_cf_minus_lr_cr_over_Iz = p(2);
cf_over_m = p(3);
lf_cf_over_Iz = p(4);

% Cálculo de los parámetros físicos del modelo
cf = cf_over_m * m;
lf = lf_cf_over_Iz * Iz / cf;
cr = cf_plus_cr_over_m * m - cf;
lr = (lf*cf - lf_cf_minus_lr_cr_over_Iz * Iz) / cr;

% Mostrar los parámetros estimados
fprintf('Parámetros estimados del modelo:\n');
```

```
Parámetros estimados del modelo:
```

```
fprintf('cf = %.2f N/rad\n', cf);
```

```
cf = 8484.02 N/rad
```

```
fprintf('cr = %.2f N/rad\n', cr);
```

```
cr = 149313.03 N/rad
```

```
fprintf('lf = %.2f m\n', lf);
```

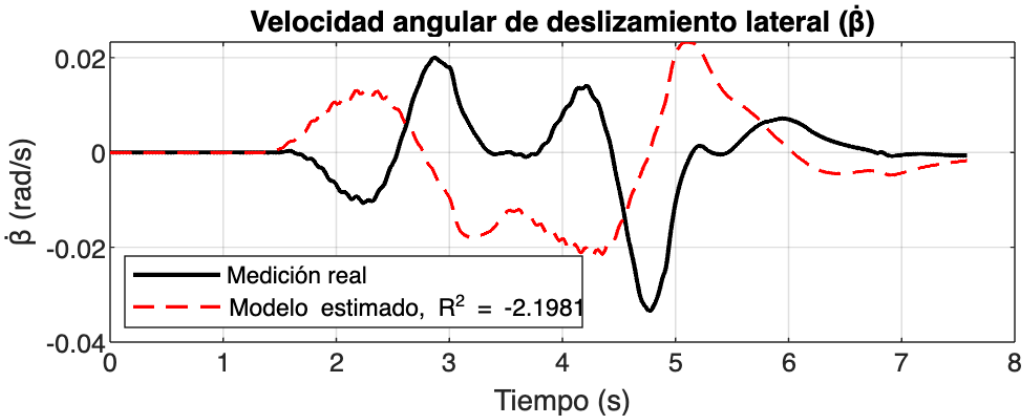
```
lf = 0.13 m
```

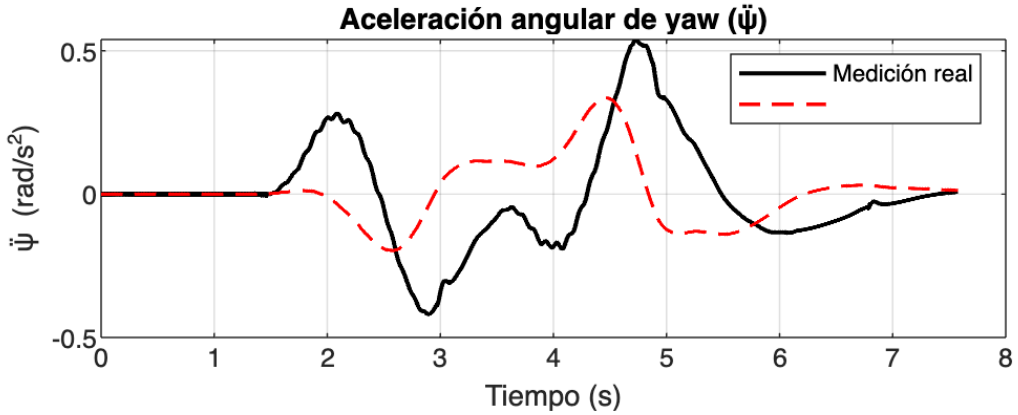
```
fprintf('lr = %.2f m\n', lr);
```

```
lr = 0.86 m
```

```

% Simulación con los parámetros estimados
beta_dot_est = zeros(n, 1);
yaw_acc_est = zeros(n, 1);

for i = 1:n
    v = vel_long(i);

    % Ecuaciones del modelo con los parámetros estimados
    beta_dot_est(i) = -(cf+cr)/(m*v)*beta(i) + ...
                      (-(lf*cf-lr*cr)/(m*v^2) - 1)*yaw_rate(i) + ...
                      (cf/(m*v))*delta(i);

    yaw_acc_est(i) = -(lf*cf-lr*cr)/Iz*beta(i) + ...
                     -(lf^2*cf+lr^2*cr)/(Iz*v)*yaw_rate(i) + ...
                     (lf*cf/Iz)*delta(i);
end

% Cálculo de R^2 para la validación del modelo
r2_beta_dot = 1 - sum((beta_rate - beta_dot_est).^2) / sum((beta_rate -
mean(beta_rate)).^2);
```

```
r2_yaw_acc = 1 - sum((yaw_acc_real - yaw_acc_est).^2) / sum((yaw_acc_real -
mean(yaw_acc_real)).^2);

% Visualización de resultados
figure(2);
subplot(2,1,1);
plot(t, beta_rate, 'k', 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(t, beta_dot_est, 'r--', 'LineWidth', 1.2);
grid on;
title('Velocidad angular de deslizamiento lateral (β⌧)');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('β⌧ (rad/s)');
legend('Medición real', ['Modelo estimado, R^2 = ' num2str(r2_beta_dot,
'%.4f')], 'Location', 'best');

subplot(2,1,2);
plot(t, yaw_acc_real, 'k', 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(t, yaw_acc_est, 'r--', 'LineWidth', 1.2);
grid on;
title('Aceleración angular de yaw (ψ⌧)');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('ψ⌧ (rad/s^2)');
legend('Medición real', ['Modelo estimado, R^2 = ' num2str(r2_yaw_acc,
'%.4f')], 'Location', 'best');
```

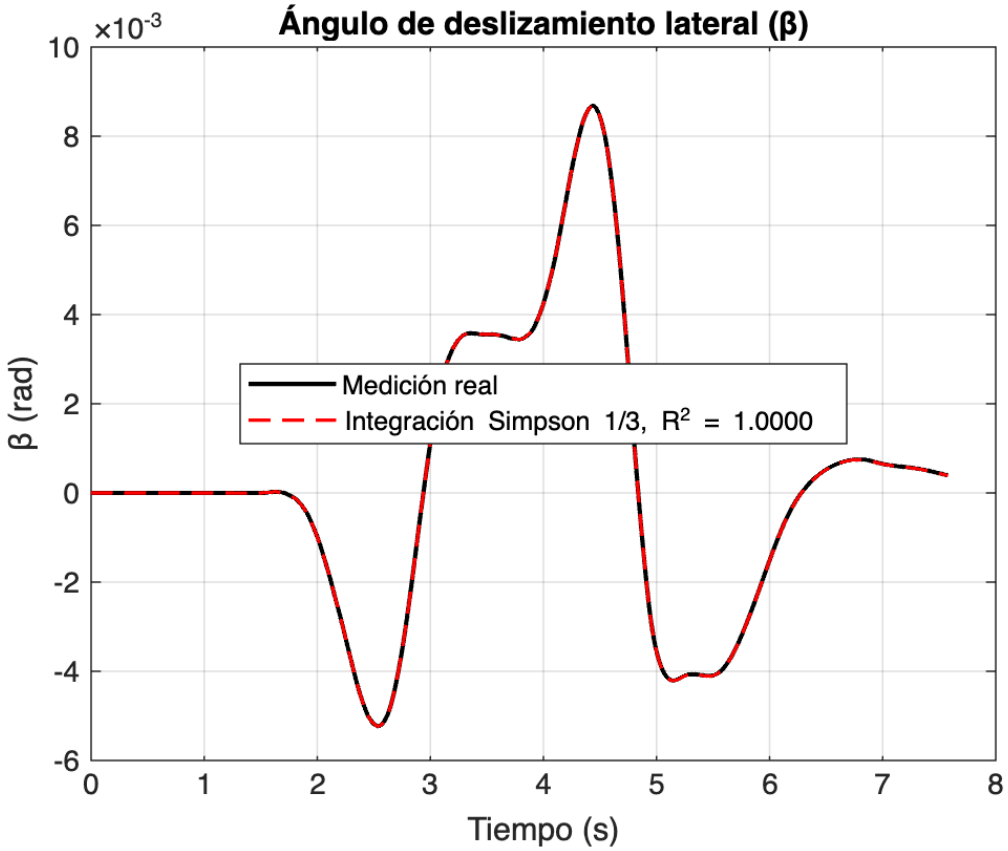




Integración numérica mediante simpson 1/3

```
% Integración de la velocidad angular de deslizamiento
beta_simpson = zeros(size(beta));
beta_simpson(1) = beta(1);  % Condición inicial

% Aplicación de la regla de Simpson 1/3 para cada intervalo
for i = 3:2:length(t)
    % Para cada punto i, integramos desde 0 hasta t(i)
    h_simpson = t(2) - t(1);  % Paso de integración
    n_simpson = i;  % Número de puntos hasta el instante actual

    if mod(n_simpson-1, 2) == 0  % Verificar si tenemos un número par de
subintervalos
        % Aplicar Simpson 1/3
        suma = beta_rate(1);

        % Términos con coeficiente 4 (índices impares)
        for j = 2:2:n_simpson-1
            suma = suma + 4*beta_rate(j);
        end

        % Términos con coeficiente 2 (índices pares)
```

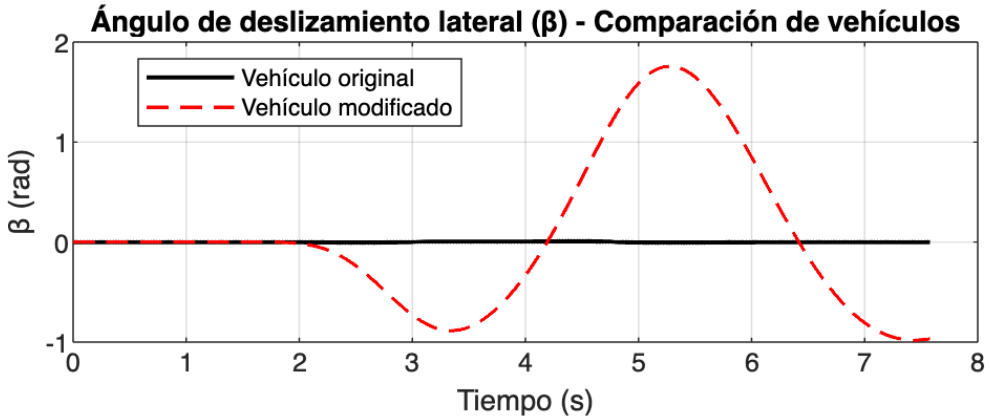
```
        for j = 3:2:n_simpson-2
            suma = suma + 2*beta_rate(j);
        end

        suma = suma + beta_rate(n_simpson);
        beta_simpson(i) = beta(1) + (h_simpson/3)*suma;
    else
        % Si no tenemos número par de subintervalos, usamos el valor anterior
        % y agregamos un trapecio para el último intervalo
        if i > 2
            beta_simpson(i) = beta_simpson(i-1) + ...
                              h_simpson*(beta_rate(i-1) + beta_rate(i))/2;
        end
    end

    % Si hay un punto adicional, usamos trapecio para completar
    if i < length(t)
        beta_simpson(i+1) = beta_simpson(i) + h_simpson*(beta_rate(i) +
beta_rate(i+1))/2;
    end
end

% Cálculo de R^2 para la integración
r2_beta_int = 1 - sum((beta - beta_simpson).^2) / sum((beta -
mean(beta)).^2);

% Visualización de resultados
figure(3);
plot(t, beta, 'k', 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(t, beta_simpson, 'r--', 'LineWidth', 1.2);
grid on;
title('Ángulo de deslizamiento lateral (β)');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('β (rad)');
legend('Medición real', ['Integración Simpson 1/3, R^2 = '
num2str(r2_beta_int, '%.4f')], 'Location', 'best');
```

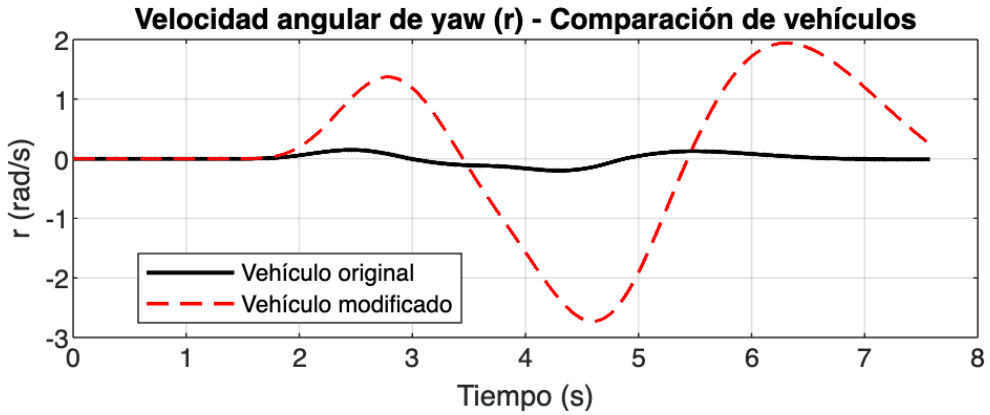


Método de Heun para ecuaciones diferenciales

```
% Parámetros del nuevo automóvil
m_nuevo = 1860;         % kg
Iz_nuevo = 3420;         % kg·m^2
cf_nuevo = 12200;        % N/rad
cr_nuevo = 12200;        % N/rad
lf_nuevo = 1.23;         % m
lr_nuevo = 1.55;         % m

% Condiciones iniciales
beta_heun = zeros(size(t));
yaw_rate_heun = zeros(size(t));

% Método de Heun para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales
for i = 1:length(t)-1
    % Modelo de bicicleta para el nuevo vehículo
    % Paso predictor (Euler explícito)
    k1_beta = -(cf_nuevo+cr_nuevo)/(m_nuevo*vel_long(i))*beta_heun(i) + ...
              (-(lf_nuevo*cf_nuevo-lr_nuevo*cr_nuevo)/
(m_nuevo*vel_long(i)^2) - 1)*yaw_rate_heun(i) + ...
              (cf_nuevo/(m_nuevo*vel_long(i)))*delta(i);

    k1_yaw_rate = -(lf_nuevo*cf_nuevo-lr_nuevo*cr_nuevo)/
Iz_nuevo*beta_heun(i) + ...
```

```
                    -(lf_nuevo^2*cf_nuevo+lr_nuevo^2*cr_nuevo)/
(Iz_nuevo*vel_long(i))*yaw_rate_heun(i) + ...
                    (lf_nuevo*cf_nuevo/Iz_nuevo)*delta(i);

    beta_pred = beta_heun(i) + h*k1_beta;
    yaw_rate_pred = yaw_rate_heun(i) + h*k1_yaw_rate;

    % Paso corrector
    k2_beta = -(cf_nuevo+cr_nuevo)/(m_nuevo*vel_long(i+1))*beta_pred + ...
              (-(lf_nuevo*cf_nuevo-lr_nuevo*cr_nuevo)/
(m_nuevo*vel_long(i+1)^2) - 1)*yaw_rate_pred + ...
              (cf_nuevo/(m_nuevo*vel_long(i+1)))*delta(i+1);

    k2_yaw_rate = -(lf_nuevo*cf_nuevo-lr_nuevo*cr_nuevo)/Iz_nuevo*beta_pred
+ ...
                    -(lf_nuevo^2*cf_nuevo+lr_nuevo^2*cr_nuevo)/
(Iz_nuevo*vel_long(i+1))*yaw_rate_pred + ...
                    (lf_nuevo*cf_nuevo/Iz_nuevo)*delta(i+1);

    % Actualización final (método de Heun)
    beta_heun(i+1) = beta_heun(i) + h*(k1_beta + k2_beta)/2;
    yaw_rate_heun(i+1) = yaw_rate_heun(i) + h*(k1_yaw_rate + k2_yaw_rate)/2;
end

% Visualización de resultados del método de Heun
figure(4);
subplot(2,1,1);
plot(t, beta, 'k', 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(t, beta_heun, 'r--', 'LineWidth', 1.2);
grid on;
title('Ángulo de deslizamiento lateral (β) - Comparación de vehículos');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('β (rad)');
legend('Vehículo original', 'Vehículo modificado', 'Location', 'best');

subplot(2,1,2);
plot(t, yaw_rate, 'k', 'LineWidth', 1.5);
hold on;
plot(t, yaw_rate_heun, 'r--', 'LineWidth', 1.2);
grid on;
title('Velocidad angular de yaw (r) - Comparación de vehículos');
xlabel('Tiempo (s)');
ylabel('r (rad/s)');
legend('Vehículo original', 'Vehículo modificado', 'Location', 'best');
```





Función de Transferencia y Newton Raphson

```
% Velocidad constante
v_const = 27.77;  % m/s (100 km/h)

% Parámetros del automóvil modificado
m = m_nuevo;
Iz = Iz_nuevo;
cf = cf_nuevo;
cr = cr_nuevo;
lf = lf_nuevo;
lr = lr_nuevo;

% Coeficientes para la función de transferencia
a = (cf + cr) / (m * v_const);
b = (lf * cf - lr * cr) / (m * v_const^2);
c = (lf * cf - lr * cr) / Iz;
d = (lf^2 * cf + lr^2 * cr) / (Iz * v_const);
e = cf / (m * v_const);
f = lf * cf / Iz;

% Coeficientes del denominador y numerador
% G(s) = (Cs + D) / (s^2 + As + B)
A = a + d;
B = a*d - c*b - c;
```

```
C = e;
D = e*d - f*b;

% Mostrar la función de transferencia
fprintf('\nFunción de transferencia G(s) = β(s)/δ(s):\n');
```

```
Función de transferencia G(s) = β(s)/δ(s):
```

```
fprintf('G(s) = (%.4f·s + %.4f) / (s^2 + %.4f·s + %.4f)\n', C, D, A, B);
```

```
G(s) = (0.2362·s + 0.1307) / (s^2 + 0.9754·s + 1.3760)
```

```

% Método de Newton-Raphson para encontrar las raíces del denominador
% Función polinómica del denominador: s^2 + As + B
f_denom = @(s) s^2 + A*s + B;
% Derivada de la función
df_denom = @(s) 2*s + A;

% Configuración del método
s0 = -1;  % Valor inicial
tol = 0.001;  % Tolerancia (0.1%)
max_iter = 100;

% Variables para almacenar resultados
iter = 0;
s = s0;
error_rel = 1;

% Iteraciones del método de Newton-Raphson
fprintf('\nMétodo de Newton-Raphson para encontrar las raíces:\n');
```

```
Método de Newton-Raphson para encontrar las raíces:
```

```
fprintf('Iter\t s\t\t f(s)\t\t Error relativo\n');
```

```
Iter     s         f(s)         Error relativo
```

```

while error_rel > tol && iter < max_iter
    s_old = s;
    s = s_old - f_denom(s_old) / df_denom(s_old);
    error_rel = abs((s - s_old) / s);
    iter = iter + 1;
    fprintf('%d\t %.6f\t %.6e\t %.6e\n', iter, s, f_denom(s), error_rel);
end
```

```
1     0.366962     1.868585e+00     3.725078e+00
2     -0.726241     1.195094e+00     1.505289e+00
3     1.778504     6.273751e+00     1.408344e+00
4     0.394291     1.916045e+00     3.510635e+00
5     -0.691943     1.179905e+00     1.569832e+00
6     2.196194     8.341333e+00     1.315065e+00
7     0.642218     2.414840e+00     2.419700e+00
```

8	-0.426395	1.141935e+00	2.506156e+00
9	-9.743748	8.681306e+01	9.562391e-01
10	-5.054229	2.199159e+01	9.278407e-01
11	-2.646331	5.797973e+00	9.099006e-01
12	-1.303371	1.803540e+00	1.030373e+00
13	-0.197849	1.222179e+00	5.587695e+00
14	-2.306319	4.445645e+00	9.142142e-01
15	-1.084077	1.493875e+00	1.127449e+00
16	0.168329	1.568522e+00	7.440219e+00
17	-1.027182	1.429247e+00	1.163875e+00
18	0.297405	1.754532e+00	4.453811e+00
19	-0.820016	1.248630e+00	1.362683e+00
20	1.058526	3.528918e+00	1.774677e+00
21	-0.082632	1.302240e+00	1.381016e+01
22	-1.690162	2.584155e+00	9.511102e-01
23	-0.615658	1.154559e+00	1.745294e+00
24	3.894954	2.034562e+01	1.158066e+00
25	1.573788	5.387812e+00	1.474891e+00
26	0.266995	1.707708e+00	4.894443e+00
27	-0.864431	1.280124e+00	1.308868e+00
28	0.834451	2.886198e+00	2.035928e+00
29	-0.257048	1.191369e+00	4.246287e+00
30	-2.839931	6.671286e+00	9.094880e-01
31	-1.421870	2.010899e+00	9.973218e-01
32	-0.345595	1.158367e+00	3.114264e+00
33	-4.422044	1.661743e+01	9.218472e-01
34	-2.310214	4.459825e+00	9.141275e-01
35	-1.086693	1.497002e+00	1.125911e+00
36	0.162854	1.561369e+00	7.672802e+00
37	-1.037221	1.440180e+00	1.157010e+00
38	0.273117	1.716985e+00	4.797721e+00
39	-0.855302	1.273329e+00	1.319322e+00
40	0.876521	2.999211e+00	1.975792e+00
41	-0.222739	1.208371e+00	4.935198e+00
42	-2.503229	5.200635e+00	9.110194e-01
43	-1.213103	1.664425e+00	1.063493e+00
44	-0.065900	1.316074e+00	1.740824e+01
45	-1.626060	2.434099e+00	9.594726e-01
46	-0.556958	1.142980e+00	1.919540e+00
47	7.691782	6.804171e+01	1.072409e+00
48	3.532478	1.729981e+01	1.177447e+00
49	1.380842	4.629537e+00	1.558206e+00
50	0.142016	1.534691e+00	8.723171e+00
51	-1.076590	1.485001e+00	1.131912e+00
52	0.184203	1.589601e+00	6.844577e+00
53	-0.998749	1.399376e+00	1.184434e+00
54	0.370307	1.874314e+00	3.697085e+00
55	-0.721973	1.193075e+00	1.512909e+00
56	1.824095	6.482465e+00	1.395798e+00
57	0.422039	1.965761e+00	3.322097e+00
58	-0.658388	1.167323e+00	1.641020e+00
59	2.760592	1.168942e+01	1.238495e+00
60	0.961261	3.237595e+00	1.871846e+00
61	-0.155972	1.248207e+00	7.163052e+00
62	-2.037480	3.540073e+00	9.234488e-01
63	-0.895376	1.304400e+00	1.275557e+00
64	0.704326	2.559047e+00	2.271253e+00
65	-0.369099	1.152240e+00	2.908230e+00
66	-5.227731	2.360631e+01	9.293960e-01
67	-2.737644	6.200537e+00	9.095733e-01
68	-1.359727	1.898654e+00	1.013377e+00
69	-0.271114	1.185079e+00	4.015336e+00
70	-3.007238	7.486375e+00	9.098462e-01
71	-1.521588	2.207155e+00	9.763810e-01

```
72     -0.454208     1.139300e+00     2.349979e+00
73     -17.475322     2.897183e+02     9.740086e-01
74     -8.947999     7.271525e+01     9.529867e-01
75     -4.650571     1.846788e+01     9.240644e-01
76     -2.432418     4.920204e+00     9.119128e-01
77     -1.167417     1.600228e+00     1.083590e+00
78     0.009669     1.385532e+00     1.217345e+02
79     -1.383260     1.940251e+00     1.006990e+00
80     -0.300028     1.173392e+00     3.610443e+00
81     -3.426605     9.775484e+00     9.124417e-01
82     -1.763501     2.765912e+00     9.430687e-01
83     -0.679532     1.174989e+00     1.595169e+00
84     2.382617     9.376761e+00     1.285204e+00
85     0.749202     2.668046e+00     2.180207e+00
86     -0.329339     1.163250e+00     3.274866e+00
87     -4.002686     1.349348e+01     9.177205e-01
88     -2.083278     3.684127e+00     9.213404e-01
89     -0.928815     1.332784e+00     1.242941e+00
90     0.581800     2.281957e+00     2.596452e+00
91     -0.485059     1.138187e+00     2.199441e+00
92     -217.972621     4.730084e+04     9.977747e-01
93     -109.227532     1.182549e+04     9.955831e-01
94     -54.852370     2.956658e+03     9.913001e-01
95     -27.659555     7.394492e+02     9.831256e-01
96     -14.052671     1.851473e+02     9.682774e-01
97     -7.228220     4.657313e+01     9.441398e-01
98     -3.773520     1.193495e+01     9.155113e-01
99     -1.957403     3.298280e+00     9.278194e-01
100     -0.835332     1.259045e+00     1.343265e+00
```

```
% La segunda raíz se puede calcular usando la fórmula cuadrática
s1 = s;  % Primera raíz obtenida por Newton-Raphson
s2 = (-A - s1);  % Segunda raíz (usando la relación entre raíces y
coeficientes)

fprintf('\nRaíces del denominador (polos):\n');
```

```
Raíces del denominador (polos):
```

```
fprintf('s1 = %.6f\n', s1);
```

```
s1 = -0.835332
```

```
fprintf('s2 = %.6f\n', s2);
```

```
s2 = -0.140019
```

```
% Análisis del tipo de amortiguamiento
discriminante = A^2 - 4*B;
fprintf('\nDiscriminante = %.6f\n', discriminante);
```

```
Discriminante = -4.552720
```

```
if discriminante > 0
    fprintf('Sistema SOBREAMORTIGUADO: Los polos son reales y distintos.\n');
elseif discriminante == 0
```

```
    fprintf('Sistema CRÍTICAMENTE AMORTIGUADO: Los polos son reales e
iguales.\n');
else
    fprintf('Sistema SUBAMORTIGUADO: Los polos son complejos conjugados.\n');
end
```

```
Sistema SUBAMORTIGUADO: Los polos son complejos conjugados.
```