



**Universidad**  
Zaragoza

## Anexo I

GEOMETRÍA DETALLADA DE PROYECTILES

Simulación de la aerodinámica  
de proyectiles mediante CFD



**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura**  
**Universidad Zaragoza**

## 1. COMPONENTES DEL CARTUCHO

---

El cartucho de un arma de fuego está compuesto por cuatro elementos que se muestran en la figura 2 y se detallan a continuación:

- o Bala o proyectil (1)  
Objeto sólido impulsado mecánicamente por la acción de la energía química y rectificado a través de un tubo sólido denominado cañón. Será el objeto de nuestro estudio ya que es la única pieza del cartucho que se mantiene en vuelo tras el disparo, mientras el resto es desechado.
- o Casquillo o vaina (2)  
Tubo hueco, generalmente de metal, que contiene una carga propulsora en su interior. En su parte abierta se introduce el proyectil a presión.
- o Carga propulsora (3)  
Es una sustancia explosiva cuya reacción química propulsará el proyectil. La carga más usada es la pólvora blanca o pólvora sin humo, siendo un material granular que sustituyó progresivamente a la antigua pólvora negra.
- o Cápsula fulminante (4)  
Cápsula situada en la base del cartucho (denominada culotte) donde se aloja la materia fulminante, destinada a iniciar la inflamación de la carga explosiva.

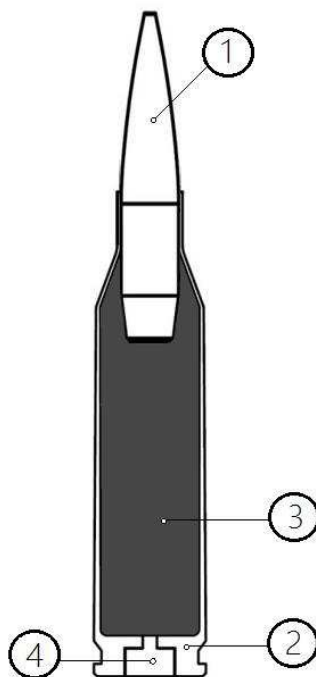


Figura 1: Componentes de un cartucho de arma de fuego

## 2. GEOMETRÍA DEL PROYECTIL

---

El proyectil es la parte más importante del cartucho, su forma es fundamental en el éxito del disparo. Siendo además, la parte en la que se centrará este estudio, se definen a continuación las siguientes dimensiones características para un proyectil aerodinámico

- o Nariz  
Longitud desde la punta hasta el cuerpo (mayor o igual que la ojiva).
- o Ojiva  
Longitud desde la punta hasta el punto de contacto con el estriado del cañón.
- o Cuerpo  
Longitud de la porción de bala con diámetro máximo.
- o Cola de bote  
Longitud desde la base al cuerpo excluyendo el reborde.
- o Reborde  
Terminación en ángulo de la base, debido a cuestiones mecánicas de fabricación
- o Calibre real (plano)  
Diámetro del hueco interior o ánima antes de grabar en él las estrías
- o Calibre nominal (de fondo)  
Diámetro teniendo en cuenta el espesor de las estrías (de valle a valle), coincide con el diámetro máximo, en el cuerpo de la bala. Este es el valor proporcionado por los fabricantes

En los cañones estriados el diámetro del proyectil (calibre nominal) es mayor que el calibre real ya que el proyectil entra en el cañón de manera forzada. De esta manera, tras un disparo las estrías del cañón quedan impresas en el proyectil.

A continuación se muestran en una figura todas las dimensiones mencionadas.

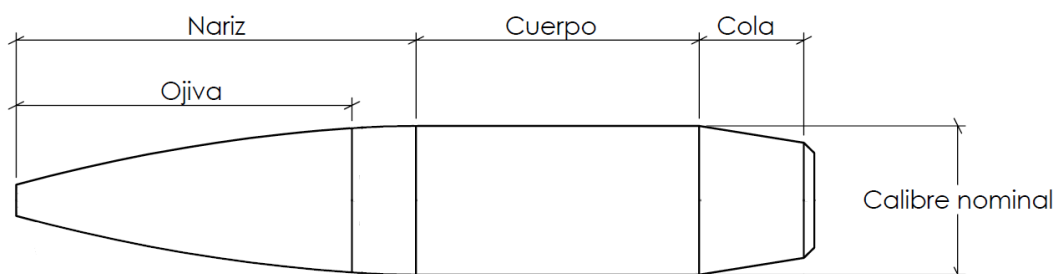


Figura 2 Dimensiones características de un proyectil

### 3. CLASIFICACIÓN DE LOS PROYECTILES

---

Existen varias geometrías de proyectil estandarizadas tales como los perfiles G1 y G7.

A pesar de ello, cada fabricante desarrolla sus propios perfiles con ligeras mejoras. La clasificación de los proyectiles se puede hacer atendiendo a varios criterios:

En función del arco de la ojiva y como éste conecta con el cuerpo, el proyectil puede ser:

- o Tangente
  - Un ejemplo de este tipo de proyectil es el G1
  - Tiene peor aerodinámica
  - Engarza mejor con el estriado del cañón
- o Secante
  - Un ejemplo de este tipo de proyectil es el G7
  - Tiene mejor aerodinámica
  - Engarza peor con el estriado del cañón, lo que puede hacer que el proyectil entre descentrado, y salga del arma con un movimiento de precesión que empeore la aerodinámica.
- o Híbrida
  - La nariz está formada por un doble arco
  - El primer arco (denominado secante) tiene su origen en la punta y su final en el punto de engarce con el estriado.
  - El segundo arco (denominado tangente) tiene su origen en el punto de engarce con el estriado y finaliza de forma tangente en el cuerpo.
  - Combina la buena aerodinámica de los arcos secantes con el buen engarzado en las estrías del arco tangente

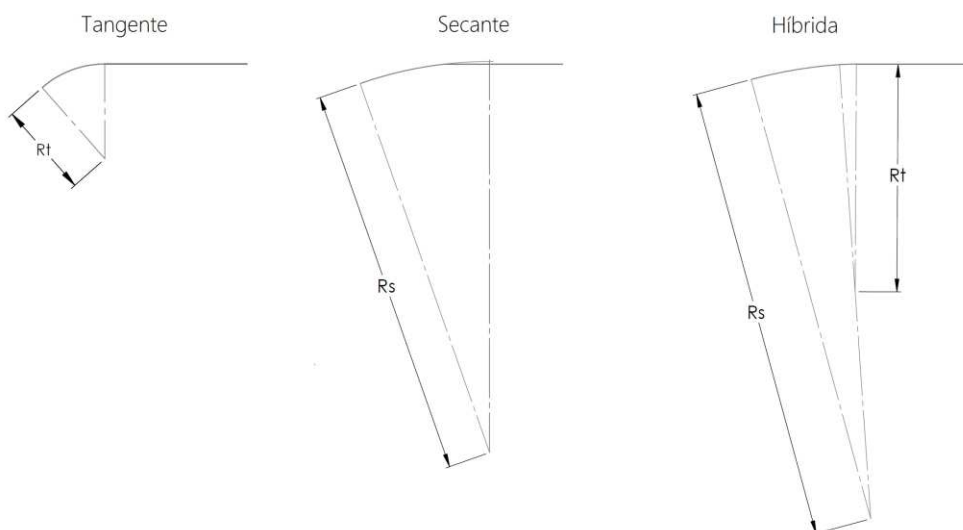


Figura 3: Tipos de proyectiles según el tipo de arco

En función de la punta del proyectil este puede ser:

- o Punta aguda
  - Un ejemplo de este tipo es el proyectil G1
  - Mayor alcance
  - Mayor capacidad de penetración, ceden menos energía en el impacto
- o Punta roma y redondeada
  - Menor alcance
  - Menor capacidad de penetración, ceden más energía en el impacto

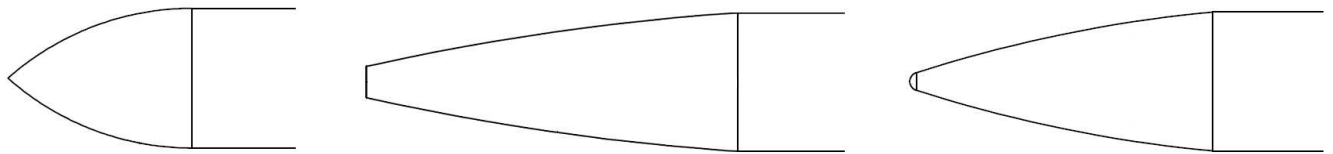


Figura 4: Tipos de proyectiles según el tipo de punta

En función de su base, los proyectiles

- o Plana
- o Cola de bote

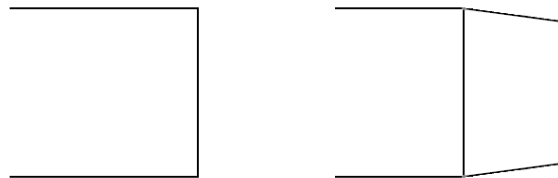


Figura 5: Tipos de proyectiles según el tipo de base



**Universidad**  
Zaragoza

## Anexo II

CÁLCULOS

Simulación de la aerodinámica  
de proyectiles mediante CFD



**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura**  
**Universidad Zaragoza**



# 1. GEOMETRÍA ANALÍTICA

---

Para la resolución de los arcos de las nariz del proyectil son necesarias dos ecuaciones:

o Ecuación de la circunferencia

Un punto de coordenadas  $(x, y)$ , pertenece a una circunferencia de radio  $R$ , con centro en el punto  $(x_o, y_o)$  si satisface:

$$(x - x_o)^2 + (y - y_o)^2 = R^2$$

o Pendiente de la recta tangente

La pendiente de una recta tangente a una circunferencia de radio  $R$ , con centro en el punto  $(x_o, y_o)$  en el punto  $(x, y)$  se obtiene derivando implícitamente la ecuación de la circunferencia:

$$2 \cdot (x - x_o) + 2 \cdot (y - y_o) \cdot y' = 0$$

$$2 \cdot (y - y_o) \cdot y' = -2 \cdot (x - x_o)$$

$$y' = \frac{-2 \cdot (x - x_o)}{2 \cdot (y - y_o)}$$

$$y' = -\frac{(x - x_o)}{(y - y_o)}$$

Si un arco es tangente a una recta horizontal en un punto, la pendiente en dicho punto se igualará a cero.

Si dos arcos son tangentes en un punto tendrán la misma pendiente en dicho punto.

## 1.1. TERCER PUNTO DE LA CIRCUNFERENCIA

El software de dibujo (GiD) permite únicamente el trazado de un arco mediante la introducción de 3 puntos, por lo que fue necesario el cálculo de un tercer punto intermedio conociendo otros dos puntos  $P_1 = (x_1, y_1)$ ,  $P_2 = (x_2, y_2)$

o Coordenada  $x_3$

Se calcula como el punto medio de los otros dos puntos conocidos

$$x_3 = \frac{x_1 + x_2}{2}$$

o Coordenada  $y_3$

Se obtiene con la ecuación de pertenencia, conociendo el radio y centro de la circunferencia y la coordenada  $x_3$  ya calculada

$$(x_3 - x_o)^2 + (y_3 - y_o)^2 = R^2$$

Las cotas proporcionadas por los fabricantes proporcionan información sobre los puntos que a partir de este punto se van denominar  $P_1 = (x_1, y_1)$ ,  $P_2 = (x_2, y_2)$

## 1.2. PROYECTILES DE ARCO TANGENTE

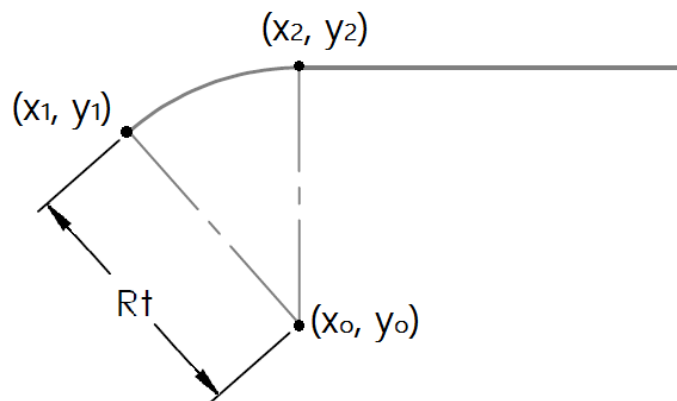


Figura 1: Puntos en un arco tangente

o Ecuaciones

$$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = R_t^2$$

$$(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 = R_t^2$$

$$\frac{(x_2 - x_0)}{(y_2 - y_0)} = 0$$

o Incógnitas

$$x_0, y_0$$

La tercera ecuación indica que el punto 2 tiene la misma coordenada x que el centro

$$x_2 = x_0$$

### 1.3. PROYECTILES DE ARCO SECANTE

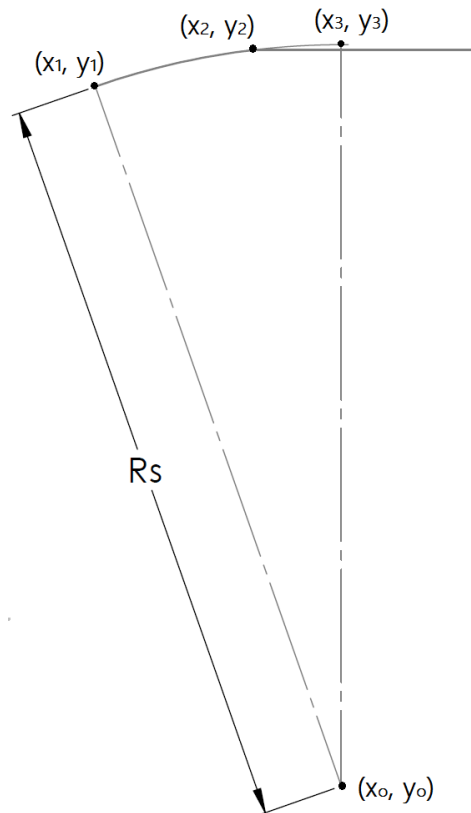


Figura 2: Puntos en un arco secante

o Ecuaciones

$$(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = R_t^2$$

$$(x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 = R_t^2$$

$$(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 = R_t^2$$

$$\frac{(x_2 - x_0)}{(y_2 - y_0)} = 0$$

o Incógnitas

$$x_0, y_0$$

$$x_3, y_3$$

Con las dos primeras ecuaciones calcularemos las coordenadas del centro y con las dos últimas las coordenadas del punto 3

## 1.4. PROYECTILES DE ARCO HÍBRIDO

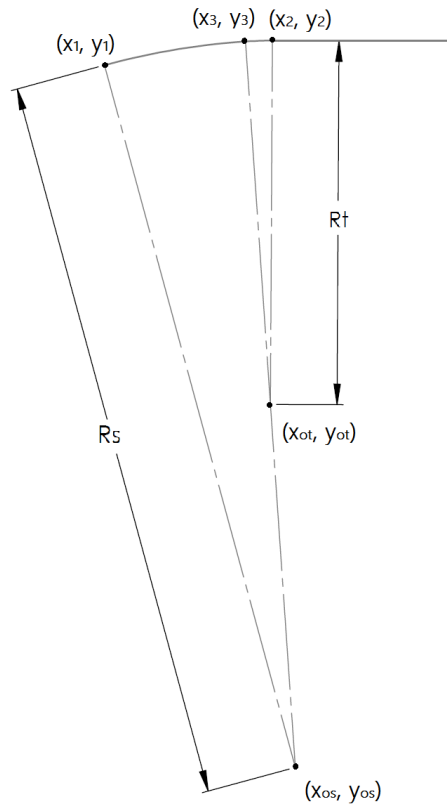


Figura 3: Puntos en un arco híbrido

### o Ecuaciones

$$(x_1 - x_{os})^2 + (y_1 - y_{os})^2 = R_s^2$$

$$(x_3 - x_{os})^2 + (y_3 - y_{os})^2 = R_s^2$$

$$(x_3 - x_{ot})^2 + (y_3 - y_{ot})^2 = R_t^2$$

$$(x_3 - x_{ot})^2 + (y_3 - y_{ot})^2 = R_t^2$$

$$\frac{(x_3 - x_{ot})}{(y_3 - y_{ot})} = \frac{(x_3 - x_{os})}{(y_3 - y_{os})}$$

$$\frac{(x_2 - x_{ot})}{(y_2 - y_{ot})} = 0$$

### o Incógnitas

$$x_{os}, y_{os}$$

$$x_{ot}, y_{ot}$$

$$x_3, y_3$$

## 1.5. PROYECTILES DE PUNTA REDONDEADA

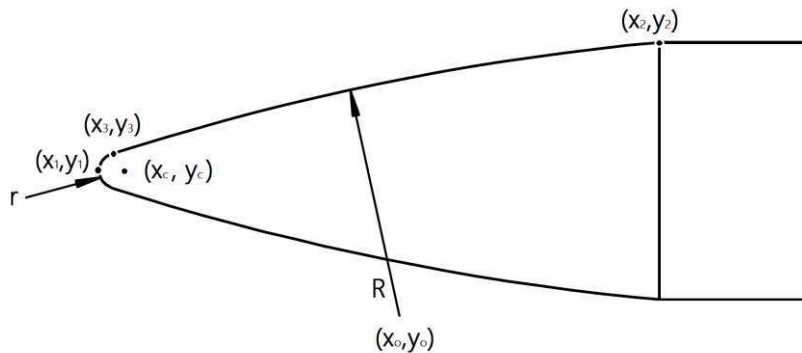


Figura 4: Puntos en proyectil con punta redondeada

- o Ecuación de pertenencia a la circunferencia pequeña

$$(x_3 - x_c)^2 + (y_3 - y_c)^2 = r^2$$

$$(x_3 - r)^2 + (y_3 - 0)^2 = r^2$$

$$x_3^2 - 2x_3r + r^2 + y_3^2 = r^2$$

$$y_3 = \sqrt{-x_3^2 + 2x_3r}$$

- o Ecuación de pertenencia a la circunferencia grande

$$(x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 = R^2$$

$$(x_3 - x_0)^2 + \left(\sqrt{-x_3^2 + 2x_3r} - y_0\right)^2 = R^2$$

$$(x_3^2 - 2x_3x_0 + x_0^2) + \left((-x_3^2 + 2x_3r) - 2y_0\sqrt{-x_3^2 + 2x_3r} + y_0^2\right) = R^2$$

$$-2x_3x_0 + x_0^2 + 2x_3r - 2y_0\sqrt{-x_3^2 + 2x_3r} + y_0^2 = R^2$$

$$\boxed{x_0^2 + y_0^2 - R^2} + 2x_3(r - x_0) = 2y_0\sqrt{-x_3^2 + 2x_3r}$$

$$\boxed{A} + 2x_3(r - x_0) = 2y_0\sqrt{-x_3^2 + 2x_3r}$$

$$A^2 + 4Ax_3(r - x_0) + 4x_3^2(r - x_0)^2 = 4y_0^2(-x_3^2 + 2x_3r)$$

$$A^2 + 4Ax_3(r - x_0) + 4x_3^2(r - x_0)^2 = -4y_0^2x_3^2 + 8y_0^2x_3r$$

$$[4((r - x_0)^2 - y_0^2)]x_3^2 + [4A(r - x_0) - 8y_0^2r]x_3 + A^2 = 0$$

Resolviendo la última ecuación de segundo grado se obtiene  $x_3$  y resolviendo la ecuación de pertenencia a la circunferencia pequeña se obtiene  $y_3$  quedando completamente definido el punto  $P_3$  en el que se produce la tangencia de los dos arcos.

## 2. INTERPOLACIÓN DE LOS COEFICIENTES

### 2.1. INTERPOLACIÓN DE TÉRMINOS IMPARES

La dificultad en este caso reside en interpolar la función a un polinomio sin términos pares

Siendo conocidos los coeficientes para dos ángulos (no nulos) podemos calcular A y B a través del siguiente proceso:

$$\begin{cases} C_L(1^\circ) = A \cdot \text{sen } 1^\circ + B \cdot (\text{sen } 1^\circ)^3 \\ C_L(2^\circ) = A \cdot \text{sen } 2^\circ + B \cdot (\text{sen } 2^\circ)^3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{C_L(1^\circ)}{\text{sen } 1^\circ} \cdot \text{sen } 2^\circ = A \cdot \frac{\text{sen } 1^\circ}{\text{sen } 1^\circ} \cdot \text{sen } 2^\circ + B \cdot \frac{(\text{sen } 1^\circ)^3}{\text{sen } 1^\circ} \cdot \text{sen } 2^\circ \\ C_L(2^\circ) = A \cdot (\text{sen } 2^\circ) + B \cdot (\text{sen } 2^\circ)^3 \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{C_L(1^\circ)}{\text{sen } 1^\circ} \cdot \text{sen } 2^\circ = A \cdot \text{sen } 2^\circ + B \cdot (\text{sen } 1^\circ)^2 \cdot \text{sen } 2^\circ \\ C_L(2^\circ) = A \cdot (\text{sen } 2^\circ) + B \cdot (\text{sen } 2^\circ)^3 \end{cases}$$

Restando ambas ecuaciones:

$$\frac{C_L(1^\circ)}{\text{sen } 1^\circ} \cdot \text{sen } 2^\circ - C_L(2^\circ) = B \cdot ((\text{sen } 1^\circ)^2 \cdot \text{sen } 2^\circ - (\text{sen } 2^\circ)^3)$$

$$\frac{C_L(1^\circ) \cdot \text{sen } 2^\circ - C_L(2^\circ) \cdot \text{sen } 1^\circ}{\text{sen } 1^\circ} = B \cdot ((\text{sen } 1^\circ)^2 \cdot \text{sen } 2^\circ - (\text{sen } 2^\circ)^3)$$

$$\frac{C_L(1^\circ) \cdot \text{sen } 2^\circ - C_L(2^\circ) \cdot \text{sen } 1^\circ}{\text{sen } 1^\circ ((\text{sen } 1^\circ)^2 \cdot \text{sen } 2^\circ - (\text{sen } 2^\circ)^3)} = B$$

$$\frac{C_L(1^\circ) \cdot \text{sen } 2^\circ - C_L(2^\circ) \cdot \text{sen } 1^\circ}{(\text{sen } 1^\circ)^3 \cdot \text{sen } 2^\circ - (\text{sen } 2^\circ)^3 \text{ sen } 1^\circ} = B$$

$$C_L(1^\circ) = A \cdot \text{sen } 1^\circ + B \cdot (\text{sen } 1^\circ)^3$$

$$C_L(1^\circ) - B \cdot (\text{sen } 1^\circ)^3 = A \cdot \text{sen } 1^\circ$$

$$\frac{C_L(1^\circ) - B \cdot (\text{sen } 1^\circ)^3}{\text{sen } 1^\circ} = A$$

## 2.2. INTERPOLACIÓN DE TÉRMINOS PARES

El parámetro  $C_{D0}$  se define como el coeficiente aerodinámico  $C_D$  para ángulo nulo, con el fin de simplificar la interpolación para el cálculo de  $C_{D\alpha^2}$  se toman logaritmos en la expresión obteniendo:

$$C_D = C_{D0} + C_{D\alpha^2} \cdot (\text{sen } \alpha)^2$$

$$C_D - C_{D0} = C_{D\alpha^2} \cdot (\text{sen } \alpha)^2$$

$$\log(C_D - C_{D0}) = \log(C_{D\alpha^2} \cdot (\text{sen } \alpha)^2)$$

$$\underbrace{\log(C_D - C_{D0})}_y = \log(C_{D\alpha^2}) + 2 \cdot \underbrace{\log(\text{sen } \alpha)}_x$$

Si representamos gráficamente  $\log(C_D - C_{D0})$  frente a  $\log(\text{sen } \alpha)$  la ordenada en el origen de la recta formada es  $\log(C_{D\alpha^2})$ , bastando con deshacer el logaritmo para obtener el término cuadrático

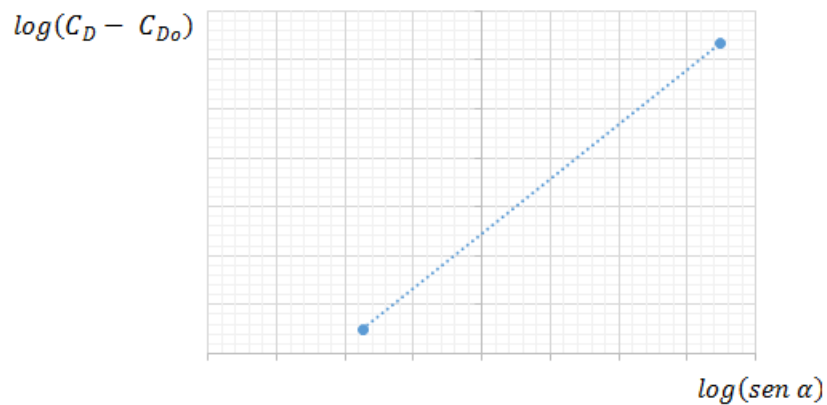


Figura 5: Representación gráfica para la obtención de  $C_{D\alpha^2}$

Simulación de la aerodinámica  
de proyectiles mediante CFD



**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura**  
**Universidad Zaragoza**





**Universidad**  
Zaragoza

## Anexo III

CÓDIGOS INFORMÁTICOS

Simulación de la aerodinámica  
de proyectiles mediante CFD



**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura**  
**Universidad Zaragoza**



# 1. RESOLUCIÓN DE GEOMETRÍAS

---

## 1.1. PROYECTIL M168

```
clear all
close all

% -----
%                               DATOS
% -----

% Radio
R = 7.0

% P1 (Punto superior)
X1 = 2.26
Y1 = 0.5

% P2 (Vértice, punta)
X2 = 0.0
Y2 = 0.125

% -----
%                               ECUACIONES
% -----

% Cálculo del centro
syms Xc Yo

Xc = ((Y1-Y2)/(-X1+X2))*Yo+(1/2)*((X2^2)-(X1^2)+(Y2^2)-(Y1^2))/(-X1+X2);
Yo = solve(((X1-Xc)^2)+((Y1-Yo)^2) == R^2);
Xo = ((Y1-Y2)/(-X1+X2))*Yo+(1/2)*((X2^2)-(X1^2)+(Y2^2)-(Y1^2))/(-X1+X2);

Xo = vpa(Xo(1,1))
Yo = vpa(Yo(1,1))

% Cálculo del tercer punto
syms X3 Y3

X3 = (X1+X2)/2;
Y3 = solve(((X3-Xo)^2)+((Y3-Yo)^2) == R^2);

X3 = vpa(X3)
Y3 = vpa(Y3)
```



## 1.2. PROYECIL M180

```
clear all  
close all
```

```
% -----  
%                               DATOS  
% -----  
  
% Radio  
R = 8.8  
  
% P1 (Punto superior)  
X1 = 2.09  
Y1 = 0.5  
  
% P2 (Vértice, punta)  
X2 = 0.0  
Y2 = 0.105  
  
% -----  
%                               ECUACIONES  
% -----  
  
% Cálculo del centro  
syms Xc Yo  
  
Xc = ((Y1-Y2)/(-X1+X2))*Yo+(1/2)*(((X2^2)-(X1^2)+(Y2^2)-(Y1^2))/(-X1+X2));  
Yo = solve(((X1-Xc)^2)+((Y1-Yo)^2) == R^2);  
Xo = ((Y1-Y2)/(-X1+X2))*Yo+(1/2)*(((X2^2)-(X1^2)+(Y2^2)-(Y1^2))/(-X1+X2));  
  
Xo = vpa(Xo(1,1))  
Yo = vpa(Yo(1,1))  
  
% Cálculo del tercer punto  
syms X3 Y3  
  
X3 = (X1+X2)/2;  
Y3 = solve(((X3-Xo)^2)+((Y3-Yo)^2) == R^2);  
  
X3 = vpa(X3)  
Y3 = vpa(Y3)
```



### 1.3. PROYECIL VLD 168

```
clear all
close all

% -----
%                               DATOS
% -----

% Radio
R = 18.05282

% P1 (Punto superior)
X1 = 2.68662
Y1 = 0.5

% P2 (Vértice, punta)
X2 = 0.0
Y2 = 0.11268

% -----
%                               ECUACIONES
% -----

% Cálculo del centro
syms Xc Yo

Xc = ((Y1-Y2)/(-X1+X2))*Yo+(1/2)*(((X2^2)-(X1^2)+(Y2^2)-(Y1^2))/(-X1+X2));
Yo = solve(((X1-Xc)^2)+((Y1-Yo)^2) == R^2);
Xo = ((Y1-Y2)/(-X1+X2))*Yo+(1/2)*(((X2^2)-(X1^2)+(Y2^2)-(Y1^2))/(-X1+X2));

Xo = vpa(Xo(1,1))
Yo = vpa(Yo(1,1))

% Cálculo del tercer punto
syms X3 Y3

X3 = (X1+X2)/2;
Y3 = solve(((X3-Xo)^2)+((Y3-Yo)^2) == R^2);

X3 = vpa(X3)
Y3 = vpa(Y3)
```



## 1.4. PROYECIL M180

```
clear all
close all

% -----
%                               DATOS
% -----

% Radio
R = 18.47887

% P1 (Punto superior)
X1 = 2.69014
Y1 = 0.5

% P2 (Vértice, punta)
X2 = 0.0
Y2 = 0.10387

% -----
%                               ECUACIONES
% -----

% Cálculo del centro
syms Xc Yo

Xc = ((Y1-Y2)/(-X1+X2))*Yo+(1/2)*(((X2^2)-(X1^2)+(Y2^2)-(Y1^2))/(-X1+X2));
Yo = solve(((X1-Xc)^2)+((Y1-Yo)^2) == R^2);
Xo = ((Y1-Y2)/(-X1+X2))*Yo+(1/2)*(((X2^2)-(X1^2)+(Y2^2)-(Y1^2))/(-X1+X2));

Xo = vpa(Xo(1,1))
Yo = vpa(Yo(1,1))

% Cálculo del tercer punto
syms X3 Y3

X3 = (X1+X2)/2;
Y3 = solve(((X3-Xo)^2)+((Y3-Yo)^2) == R^2);

X3 = vpa(X3)
Y3 = vpa(Y3)
```



## 2. LECTURA DE ARCHIVOS

---

```
% -----  
%                               LECTURA GEOM  
% -----  
  
archivol=fopen('geom.dat','r');  
  
fin_nodos=0;  
fin_elem=-1;  
fin_geom=0;  
  
i=1; % Columnas / cada variable de geom (nodo)  
j=1; % Filas / Cada nodo de geom  
  
k=1; % Columna / Cada variable de geom (elemento)  
l=1; % Filas / Cada elemento de geom  
  
num_linea_nodos=0;  
num_linea_elem=0;  
  
while fin_geom==0  
  
linea_geom = fgets(archivol);  
  
% LECTURA NODOS  
% =====  
% if (fin_nodos==0)  
  
% -----  
% Comprobamos que no es la linea final de los nodos  
  
final_nodos = findstr(linea_geom,'/ end coordinates');  
  
if final_nodos~=0  
    fin_nodos=1;  
end  
  
if fin_nodos==0  
    num_linea_nodos = num_linea_nodos+1;  
end  
  
% -----  
% A partir de la segunda linea leemos  
  
if (num_linea_nodos>1)  
  
Linea_datos_nodos = textscan(linea_geom,'%f');  
n_variables_nodos = length(Linea_datos_nodos{1,1});  
  
for i=1:n_variables_nodos  
    Nodos(j,i)=Linea_datos_nodos{1,1}(i);  
    i=i+1;  
end  
  
j=j+1;  
  
end  
  
end
```



```
% LECTURA ELEMENTOS
% =====
if (fin_nodos==1)&&(fin_elem~=1)

% -----
% Comprobamos que es la linea inicial de los elementos

    final_elem = findstr(linea_geom, '/ end of flux output');

    if final_elem~=0
        fin_elem=0;
    end

% -----
% Comprobamos que no es la linea final de los elementos

    final_elem = findstr(linea_geom, '/ connectivity');

    if final_elem~=0
        fin_elem=1;
        fin_geom=1;
    end

    if fin_elem==0
        num_linea_elem = num_linea_elem+1;
    end

% -----
% A partir de la cuarta linea leemos

    if (num_linea_elem>3)

        Linea_datos_elem = textscan(linea_geom, '%f');
        n_variables_elem = length(Linea_datos_elem{1,1});

        for k=1:n_variables_elem
            Elem(l,k)=Linea_datos_elem{1,1}(k);
            k=k+1;
        end

        l=l+1;

    end

end

end

end
```





```
% -----  
%                               LECTURA FLUX  
% -----  
  
archivo2=fopen('flux.100','r');  
  
fin_flux=0;  
  
m=1; % Columnas / cada variable del flux  
n=1; % Filas / Cada nodo del flux  
  
num_linea_flux=0;  
  
while fin_flux==0  
  
    linea_flux = fgets(archivo2);  
    num_linea_flux = num_linea_flux+1;  
  
    % -----  
    % Comprobamos que no es la linea final  
  
    if linea_flux==-1  
        fin_flux=1;  
    end  
  
    % -----  
    % A partir de la tercera linea leemos  
  
    if (num_linea_flux>2)&&(fin_flux==0)  
  
        Linea_datos_flux = textscan(linea_flux,'%f');  
        n_variables_flux = length(Linea_datos_flux{1,1});  
  
        for m=1:n_variables_flux  
            Flux(n,m)=Linea_datos_flux{1,1}(m);  
            m=m+1;  
        end  
  
        n=n+1;  
  
    end  
  
end
```



```
% -----  
%                               LECTURA FORCE  
% -----  
  
archivo3=fopen('force.dat','r');  
  
fin_force=0;  
  
o=1; % Columnas / cada variable del force  
p=1; % Filas / Cada nodo del force  
  
num_linea_force=0;  
  
while fin_force==0  
  
    linea_force = fgets(archivo3);  
    num_linea_force = num_linea_force+1;  
  
    % -----  
    % Comprobamos que no es la linea final  
  
    if linea_force==-1  
        fin_force=1;  
    end  
  
    % -----  
    % Leemos todo  
  
    if(fin_force==0)  
  
        Linea_datos_force = textscan(linea_force,'%f');  
        n_variables_force = length(Linea_datos_force{1,1});  
  
        for o=1:n_variables_force  
            Force(p,o)=Linea_datos_force{1,1}(o);  
            o=o+1;  
        end  
  
        p=p+1;  
  
    end  
  
end  
  
ST = fclose('all')
```



### 3. POST-PROCESADO

---

```
% -----  
%                               INICIALIZACIÓN DE VARIABLES  
% -----  
  
iNodos = length(Nodos)  
iElem = length(Elem)  
iNodosSup = length(Flux)  
iForce=length(Force);  
  
rho_inf=1;  
v_inf=1;  
Diam=1;  
angulo=0;  
Area=pi()*((Diam/2)^2);  
  
%Poner  
% 1 si está la bala entera  
% 2 si por simetría se ha hecho 1/2 bala  
% 4 si por simetría se ha hecho 1/4 de bala  
Partes=2;  
  
i=1;  
j=1;  
k=1;  
  
% -----  
%                               BUCLE 1  
% -----  
  
% -----  
% Inspeccionamos los nodos que pertenecen a la superficie de interés  
%(flux==bala)  
  
for i=1:iNodosSup  
    nodoSuperficie=Flux(i,1);  
  
    % En la matriz de nodos  
    % - Ponemos un 1 si pertenece a la bala en 2a columna  
    % - Se queda un 0 si no pertenece a la bala en la 2a columna  
    Nodos(nodoSuperficie,2)=1;  
  
    % Pasamos las columnas con datos de interés de Flux a nodos  
    Nodos(nodoSuperficie,6:18)=Flux(i,5:17);  
end
```



```
% -----  
%                               BUCLE 2  
% -----  
  
% -----  
% Recorremos la matriz de elementos  
% Sumamos +1 a la segunda columna por cada nodo que tenga y pertenezca a la  
% superficie de interés (flux==bala).  
  
% Si un elemento tiene 3 nodos en la superficie de la bala, aprovecharemos  
% para calcular en el área apoyada:  
% - Valores medios de x,y,z  
% - Valores medios de t1,t2,t3,P  
% - Vector normal y Superficie  
  
for j=1:iElem  
  
    x=0;  
    y=0;  
    z=0;  
  
    t1=0;  
    t2=0;  
    t3=0;  
    P=0;  
  
    si =0;  
  
    nodo1=Elem(j,3);  
    nodo2=Elem(j,4);  
    nodo3=Elem(j,5);  
    nodo4=Elem(j,6);  
  
    si=si+Nodos(nodo1,2);  
    si=si+Nodos(nodo2,2);  
    si=si+Nodos(nodo3,2);  
    si=si+Nodos(nodo4,2);  
  
    Elem(j,2)=si;  
  
% -----  
% Si el elemento tiene 3 nodos en la superficie, los valores de las  
variables  
% en el punto medio
```



```
if (si==3)

% =====
% Medias

% -----
% Coordenadas

x=x+Nodos (nodo1, 3) *Nodos (nodo1, 2);
x=x+Nodos (nodo2, 3) *Nodos (nodo2, 2);
x=x+Nodos (nodo3, 3) *Nodos (nodo3, 2);
x=x+Nodos (nodo4, 3) *Nodos (nodo4, 2);
xMedia=x/3.0;
Elem (j, 7)=xMedia;

y=y+Nodos (nodo1, 4) *Nodos (nodo1, 2);
y=y+Nodos (nodo2, 4) *Nodos (nodo2, 2);
y=y+Nodos (nodo3, 4) *Nodos (nodo3, 2);
y=y+Nodos (nodo4, 4) *Nodos (nodo4, 2);
yMedia=y/3.0;
Elem (j, 8)=yMedia;

z=z+Nodos (nodo1, 5) *Nodos (nodo1, 2);
z=z+Nodos (nodo2, 5) *Nodos (nodo2, 2);
z=z+Nodos (nodo3, 5) *Nodos (nodo3, 2);
z=z+Nodos (nodo4, 5) *Nodos (nodo4, 2);
zMedia=z/3.0;
Elem (j, 9)=zMedia;

% -----
% Esfuerzos

t1=t1+Nodos (nodo1, 9) *Nodos (nodo1, 2);
t1=t1+Nodos (nodo2, 9) *Nodos (nodo2, 2);
t1=t1+Nodos (nodo3, 9) *Nodos (nodo3, 2);
t1=t1+Nodos (nodo4, 9) *Nodos (nodo4, 2);
t1Media=t1/3.0;
Elem (j, 10)=t1Media;

t2=t2+Nodos (nodo1, 10) *Nodos (nodo1, 2);
t2=t2+Nodos (nodo2, 10) *Nodos (nodo2, 2);
t2=t2+Nodos (nodo3, 10) *Nodos (nodo3, 2);
t2=t2+Nodos (nodo4, 10) *Nodos (nodo4, 2);
t2Media=t2/3.0;
Elem (j, 11)=t2Media;

t3=t3+Nodos (nodo1, 11) *Nodos (nodo1, 2);
t3=t3+Nodos (nodo2, 11) *Nodos (nodo2, 2);
t3=t3+Nodos (nodo3, 11) *Nodos (nodo3, 2);
t3=t3+Nodos (nodo4, 11) *Nodos (nodo4, 2);
t3Media=t3/3.0;
Elem (j, 12)=t3Media;

% -----
% Presión

P=P+Nodos (nodo1, 18) *Nodos (nodo1, 2);
P=P+Nodos (nodo2, 18) *Nodos (nodo2, 2);
P=P+Nodos (nodo3, 18) *Nodos (nodo3, 2);
P=P+Nodos (nodo4, 18) *Nodos (nodo4, 2);
PMedia=P/3.0;
Elem (j, 13)=PMedia;
```



```
% =====
% Vectores
% -----
% Comprobamos cuál es el cuarto nodo que se queda fuera de la
% superficie y renombramos para que esté formada nodo1, nodo2, nodo3

if (Nodos (nodo1,2) ==0)
    aux=nodo1;
    nodo1=nodo4;
    nodo4=aux;
end

if (Nodos (nodo2,2) ==0)
    aux=nodo2;
    nodo2=nodo4;
    nodo4=aux;
end

if (Nodos (nodo3,2) ==0)
    aux=nodo3;
    nodo3=nodo4;
    nodo4=aux;
end

% -----
% Calculamos dos vectores contenidos en la superficie
% y un tercero hacia el nodo que está fuera
v1x=Nodos (nodo2,3) -Nodos (nodo1,3);
v1y=Nodos (nodo2,4) -Nodos (nodo1,4);
v1z=Nodos (nodo2,5) -Nodos (nodo1,5);

v2x=Nodos (nodo3,3) -Nodos (nodo1,3);
v2y=Nodos (nodo3,4) -Nodos (nodo1,4);
v2z=Nodos (nodo3,5) -Nodos (nodo1,5);

v3x=Nodos (nodo4,3) -Nodos (nodo1,3);
v3y=Nodos (nodo4,4) -Nodos (nodo1,4);
v3z=Nodos (nodo4,5) -Nodos (nodo1,5);

% -----
% Producto vectorial de los dos primeros
nx=(v1y*v2z) - (v1z*v2y);
ny=(v1z*v2x) - (v1x*v2z);
nz=(v1x*v2y) - (v1y*v2x);

% -----
% Producto escalar de la normal por el tercero,
% si sale negativo es que va hacia adentro y cambiamos el signo
escalar=(v3x*nx) + (v3y*ny) + (v3z*nz);

if (escalar<0)
    nx=-nx;
    ny=-ny;
    nz=-nz;
end

Sx=nx/2;
Sy=ny/2;
Sz=nz/2;

Area_Elemento=sqrt ((Sx*Sx) + (Sy*Sy) + (Sz*Sz) );

Elem (j,14) =Sx;
Elem (j,15) =Sy;
Elem (j,16) =Sz;
Elem (j,17) =Area_Elemento;
```



```
% =====  
% Fuerzas  
  
    FxP=- (PMedia*Sx) ;  
    FyP=- (PMedia*Sy) ;  
    FzP=- (PMedia*Sz) ;  
  
    FxT=t1Media*Area_Elemento ;  
    FyT=t2Media*Area_Elemento ;  
    FzT=t3Media*Area_Elemento ;  
  
    Elem(j,18)=FxP ;  
    Elem(j,19)=FyP ;  
    Elem(j,20)=FzP ;  
  
    Elem(j,21)=FxT ;  
    Elem(j,22)=FyT ;  
    Elem(j,23)=FzT ;  
  
% =====  
% Momentos  
  
    MzP=(-FxP*yMedia) + (FyP*xMedia) ;  
    MzT=(-FxT*yMedia) + (FyT*xMedia) ;  
  
    Elem(j,24)=MzP ;  
    Elem(j,25)=MzT ;  
  
% =====  
% Suma Final  
  
    FxTotalP=FxTotalP+Elem(j,18) ;  
    FyTotalP=FyTotalP+Elem(j,19) ;  
    FzTotalP=FzTotalP+Elem(j,20) ;  
    MzTotalP=MzTotalP+Elem(j,24) ;  
  
    FxTotalT=FxTotalT+Elem(j,21) ;  
    FyTotalT=FyTotalT+Elem(j,22) ;  
    FzTotalT=FzTotalT+Elem(j,23) ;  
    MzTotalT=MzTotalT+Elem(j,25) ;  
  
end  
end
```



```
% -----  
%                                CÁLCULO COEFICIENTES  
% -----  
  
C_dP =  
Partes*((FxTotalP*cos(angulo))+(FyTotalP*sin(angulo)))/((1/2)*rho_inf*(v_inf^2)  
)*Area)  
C_dT =  
Partes*((FxTotalT*cos(angulo))+(FyTotalT*sin(angulo)))/((1/2)*rho_inf*(v_inf^2)  
)*Area)  
C_d = C_dP + C_dT  
C_d_Force =  
Partes*((FxTotal_Force*cos(angulo))+(FyTotal_Force*sin(angulo)))/((1/2)*rho_in  
f*(v_inf^2)*Area)  
  
C_lP = Partes*(-  
(FxTotalP*sin(angulo))+(FyTotalP*cos(angulo)))/((1/2)*rho_inf*(v_inf^2)*Area)  
C_lT = Partes*(-  
(FxTotalT*sin(angulo))+(FyTotalT*cos(angulo)))/((1/2)*rho_inf*(v_inf^2)*Area)  
C_l = C_lP + C_lT  
C_l_Force = Partes*(-  
(FxTotal_Force*sin(angulo))+(FyTotal_Force*cos(angulo)))/((1/2)*rho_inf*(v_inf  
^2)*Area)  
  
C_mP = Partes*MzTotalP/((1/2)*rho_inf*(v_inf^2)*Area*Diam)  
C_mT = Partes*MzTotalT/((1/2)*rho_inf*(v_inf^2)*Area*Diam)  
  
% -----  
%                                COMPROBACIÓN ELEMENTOS DE CADA TIPO  
% -----  
  
CuatroNodos=0;  
TresNodos=0;  
DosNodos=0;  
UnNodo=0;  
CeroNodos=0;  
  
for k=1:iElem  
    if Elem(k,2)==4  
        CuatroNodos=CuatroNodos+1 ;  
    end  
  
    if Elem(k,2)==3  
        TresNodos=TresNodos+1 ;  
    end  
  
    if Elem(k,2)==2  
        DosNodos=DosNodos+1 ;  
    end  
  
    if Elem(k,2)==1  
        UnNodo=UnNodo+1 ;  
    end  
  
    if Elem(k,2)==0  
        CeroNodos=CeroNodos+1 ;  
    end  
end
```





**Universidad**  
Zaragoza

## Anexo IV

RESULTADOS

Simulación de la aerodinámica  
de proyectiles mediante CFD



**Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura**  
**Universidad Zaragoza**

# 1. PROYECTIL VLD 168

	CD						
Ángulo [°]	0	1	2	ln(CD-Cdo)	ln(CD-Cdo)	ln(CD α2)	CD α2
Seno	0	0,01745241	0,0348995	-3,51628936	-2,91436167		
Mach							
0							
0,5							
0,6							
0,7							
0,8	0,1166	0,1225	0,1286	-2,22914799	-1,92081875	-0,42797681	0,37327009
0,9	0,1469	0,1517	0,1575	-2,31875876	-1,97469413	-0,30883164	0,49109822
0,95	0,1813	0,1877	0,1922	-2,19382003	-1,9625735	-0,84294399	0,14356746
1	0,2429	0,2405	0,2499	#¡NUM!	-2,15490196	#¡VALOR!	#¡VALOR!
1,05	0,3285	0,326	0,3346	#¡NUM!	-2,21467016	#¡VALOR!	#¡VALOR!
1,1	0,3851	0,3869	0,394	-2,74472749	-2,05060999	1,31010837	20,4224747
1,2	0,3766	0,3835	0,3899	-2,16115091	-1,87614836	-0,49624755	0,31897192
1,3	0,359	0,3633	0,3699	-2,36653154	-1,9625735	-0,00672423	0,98463613
1,4	0,3484	0,3516	0,3586	-2,49485002	-1,99139983	0,44616197	2,79358554
1,5	0,3389	0,341	0,3479	-2,67778071	-2,04575749	1,0143181	10,3351813
1,6	0,3297	0,3314	0,3383	-2,76955108	-2,06550155	1,34330485	22,0447334
1,8	0,3115	0,3132	0,3197	-2,76955108	-2,08618615	1,22247134	16,6905767
2	0,2935	0,2956	0,3017	-2,67778071	-2,08618615	0,77814545	5,99991986
2,2	0,2765	0,2786	0,2843	-2,67778071	-2,1079054	0,65126781	4,4798947
2,5	0,2534	0,2554	0,2603	-2,69897	-2,16115091	0,44281528	2,77214079
3	0,2229	0,2245	0,2282	-2,79588002	-2,27572413	0,24272186	1,74872638
3,5	0,2002	0,2014	0,2049	-2,92081875	-2,32790214	0,54283046	3,49004047
4	0,1835	0,1846	0,1878	-2,95860731	-2,36653154	0,50012995	3,163224

	CL				
Ángulo [°]	0	1	2	CL α0	C1
Seno	0	0,01745241	0,0348995		
Mach					
0					
0,5					
0,6					
0,7					
0,8	-0,0208	0,0462	0,0676	2,88403183	-777,55393
0,9	0,023	0,0438	0,0656	2,71976764	-689,738673
0,95	-0,0168	0,0431	0,0607	2,7131035	-799,543101
1	-0,012	0,0458	0,0734	2,79804975	-570,510587
1,05	-0,0162	0,0486	0,0756	2,99096533	-677,144492
1,1	-0,015	0,0483	0,0765	2,95944392	-630,091184
1,2	0,0143	0,0449	0,075	2,71399615	-463,858526
1,3	-0,0075	0,0424	0,0741	2,53158073	-335,262207
1,4	-0,0028	0,0403	0,0747	2,36539504	-184,702517
1,5	-0,0015	0,0397	0,0768	2,29948569	-81,1846679
1,6	-0,00064403	0,0403	0,0789	2,32526355	-52,94523
1,8	-0,0002397	0,0412	0,0819	2,36536361	-15,2916905
2	0,00002211	0,0423	0,0843	2,42647794	-9,00702259
2,2	0,00016778	0,0429	0,0858	2,45798887	0,40994572
2,5	0,00017009	0,043	0,0865	2,45894089	16,0962926
3	0,00036117	0,0429	0,0863	2,45321131	16,0953371
3,5	0,000301	0,0419	0,0843	2,39591554	16,0857812
4	0,00059646	0,0405	0,0813	2,31761247	9,79824649

Ángulo [°]	CM				CM $\alpha_0$	C2
	0	1	2			
Seno	0	0,01745241	0,0348995			
Mach						
0						
0,5						
0,6						
0,7						
0,8	0,032968	0,04262589	0,12092256	2,10144469	1119,42795	
0,9	-0,03338	0,04928021	0,1305124	2,51824325	1002,82928	
0,95	0,028028	0,05346253	0,14610695	2,68878952	1229,67754	
1	0,01512	0,0522706	0,12551308	2,79449576	658,403913	
1,05	0,021252	0,04751753	0,12238321	2,46123917	858,386802	
1,1	0,0186	0,04753674	0,12181955	2,46809254	839,499565	
1,2	-0,019528	0,05102192	0,12102734	2,74195136	596,014602	
1,3	0,0115	0,05785136	0,12727112	3,20410162	363,462279	
1,4	0,005488	0,06164759	0,12839514	3,48341589	160,578878	
1,5	0,00544	0,06476148	0,12834004	3,7218624	-36,4903137	
1,6	0,00584215	0,06497587	0,12620165	3,75867579	-117,022655	
1,8	0,00467131	0,06144585	0,12014273	3,5468544	-85,6500266	
2	0,00456721	0,05995557	0,11572459	3,47520372	-130,762254	
2,2	0,00511005	0,05787735	0,11103577	3,3612176	-147,483456	
2,5	0,00461707	0,05455042	0,1048162	3,16644883	-133,891053	
3	0,00389796	0,05080706	0,09770294	2,94840145	-122,210973	
3,5	0,00401504	0,04754194	0,09035464	2,76914089	-147,905601	
4	0,00331324	0,04449526	0,08522598	2,58536108	-117,671245	



## 2. PROYECTIL VLD 180

	CD						
Ángulo [°]	0	1	2	ln(CD-Cdo)	ln(CD-Cdo)	ln (CD α2)	CD α2
Seno	0	0,01745241	0,0348995	-3,51628936	-2,91436167		
Mach							
0							
0,5							
0,6							
0,7							
0,8	0,1131	0,1136	0,1215	-3,30103	-2,07572071	3,85687628	7192,44046
0,9	0,1472	0,1428	0,1538	#jNUM!	-2,18045606	#jVALOR!	#jVALOR!
0,95	0,1909	0,1844	0,1937	#jNUM!	-2,55284197	#jVALOR!	#jVALOR!
1	0,2456	0,2364	0,2481	#jNUM!	-2,60205999	#jVALOR!	#jVALOR!
1,05	0,3159	0,3083	0,3132	#jNUM!	#jNUM!	#jVALOR!	#jVALOR!
1,1	0,3796	0,3715	0,3791	#jNUM!	#jNUM!	#jVALOR!	#jVALOR!
1,2	0,3777	0,375	0,3839	#jNUM!	-2,20760831	#jVALOR!	#jVALOR!
1,3	0,3565	0,3561	0,3637	#jNUM!	-2,1426675	#jVALOR!	#jVALOR!
1,4	0,3473	0,3479	0,3544	-3,22184875	-2,14874165	3,04693591	1114,13011
1,5	0,3381	0,3389	0,3449	-3,09691001	-2,16749109	2,33248945	215,025245
1,6	0,3284	0,3293	0,3352	-3,04575749	-2,16749109	2,08482357	121,569204
1,8	0,3079	0,3093	0,315	-2,85387196	-2,14874165	1,26529759	18,4203379
2	0,2878	0,2896	0,2951	-2,74472749	-2,13667714	0,80732872	6,41695096
2,2	0,2694	0,2712	0,2763	-2,74472749	-2,16115091	0,66435996	4,61700092
2,5	0,2453	0,247	0,2516	-2,76955108	-2,20065945	0,55375106	3,5789123
3	0,2136	0,2148	0,2186	-2,92081875	-2,30103	0,69980985	5,00967849
3,5	0,1898	0,1909	0,1943	-2,95860731	-2,34678749	0,61546909	4,12542871
4	0,1722	0,1733	0,1764	-2,95860731	-2,37675071	0,44043251	2,75697297

	CL				
Ángulo [°]	0	1	2	CL α0	C1
Seno	0	0,01745241	0,0348995		
Mach					
0					
0,5					
0,6					
0,7					
0,8	-0,0311	0,049	0,0699	3,07599189	-881,050757
0,9	-0,027	0,0375	0,0661	2,23363221	-278,841622
0,95	-0,0279	-0,0012	0,0611	-0,67550484	1992,03323
1	-0,0135	0,0247	0,0663	1,25372424	530,402256
1,05	-0,0155	0,0194	0,0624	0,88603734	740,535854
1,1	-0,0169	0,021	0,068	0,9547783	815,841022
1,2	-0,0106	0,0317	0,0738	1,71690295	326,55906
1,3	-0,0063	0,0354	0,0736	2,00151621	88,1764684
1,4	-0,0034	0,0379	0,075	2,17915408	-24,7344596
1,5	-0,0015	0,0384	0,0761	2,20684645	-21,5926034
1,6	-0,00090343	0,0391	0,0779	2,24313145	-9,03760129
1,8	-0,00063465	0,041	0,082	2,34912689	0,39178962
2	-0,00037655	0,0425	0,0853	2,43220403	9,81735818
2,2	-0,00023938	0,0436	0,0876	2,49427387	12,9649479
2,5	-0,00070267	0,0444	0,0898	2,53437742	31,7950622
3	-0,00071013	0,0448	0,0908	2,55538471	38,073041
3,5	-0,00092445	0,0437	0,0892	2,48662629	56,8849992
4	-0,0011	0,0423	0,0864	2,4064122	56,871621

Ángulo [°]	CM				
	0	1	2	CM $\alpha 0$	C2
Seno	0	0,01745241	0,0348995		
Mach					
0					
0,5					
0,6					
0,7					
0,8	0,052391	0,04001067	0,12607169	1,85242572	1445,01802
0,9	0,04547	0,06215691	0,13875301	3,42336037	453,562684
0,95	0,048599	0,13293872	0,15455477	8,68052822	-3491,00873
1	0,018635	0,08314214	0,14158898	4,99965989	-773,916152
1,05	0,022955	0,09284061	0,15020311	5,65837285	-1112,08931
1,1	0,025589	0,09226238	0,14409283	5,67257679	-1267,49973
1,2	0,016986	0,07448504	0,13241794	4,4258359	-518,541742
1,3	0,009903	0,07073402	0,13713148	4,09419699	-135,365398
1,4	0,006554	0,06865128	0,13805939	3,9261972	24,3981869
1,5	0,003115	0,06834498	0,13740863	3,90901207	23,1980315
1,6	0,00121806	0,06714318	0,13516723	3,8386039	28,2752705
1,8	0,00037547	0,06448979	0,12938941	3,69107697	13,4727757
2	0,00039881	0,0616773	0,12379454	3,52964541	14,3905683
2,2	-0,00031906	0,05886138	0,11843408	3,36571197	22,8770519
2,5	-0,00064152	0,0557657	0,11249797	3,18590368	30,8547961
3	-0,00106531	0,05124883	0,10321216	2,92951464	22,9039368
3,5	-0,00199228	0,04700978	0,09540596	2,6802145	43,9418939
4	-0,002409	0,04376461	0,08948661	2,48882431	61,8229855



### 3. PROYECTIL M168

Mach	$\alpha$	CD	CD o	CD $\alpha^2$		CL $\alpha$	CM $\alpha$	CM $\alpha^0$	C2
2,219	6,24	0,3995	0,34	2,2	5,4	2,69	2,61	2,6619827	-4,4
2,217	1,63	0,3404	0,34	1,8	6,7		2,69	2,69356013	-4,4
2,21	1,04	0,3371	0,34	1,4	7,5		2,66	2,66144953	-4,4
2,202	6,95	0,4099	0,34	1,12	4,1	2,69	2,62	2,68442374	-4,4
1,826	1,29	0,3664	0,36	0,78	2,8		2,89	2,89223004	-4,4
1,817	1,3	0,3678	0,36			2,3	2,88	2,88226475	-4,4
1,775	6,6	0,4496	0,36			2,53	2,84	2,89812641	-4,4
1,773	6,81	0,4503	0,36			2,49	2,84	2,90186651	-4,4
1,45	1,75	0,4111	0,4				3,06	3,06410344	-4,4
1,412	2,08	0,4182	0,405			2,02	3,06	3,0657962	-4,4
1,15	7,79	0,5451	0,441			1,88	3	3,08083597	-4,4
1,119	1,79	0,4433	0,433				2,99	2,99429311	-4,4
0,866	4,12	0,2033	0,19				3,17	3,19219571	-4,3
0,817	4,18	0,1713	0,155			1,5	3,36	3,38284573	-4,3
0,753	3,73	0,1592	0,145			1,39	3,35	3,36819815	-4,3
0,703	4,65	0,1538	0,135				3,29	3,31826021	-4,3

Ángulo [°]	CD						
	0	1	2	ln(CD-Cdo)	ln(CD-Cdo)	ln(CD $\alpha^2$ )	CD $\alpha^2$
Seno	0	0,01745241	0,0348995	-3,51628936	-2,91436167		
Mach							
0							
0,5							
0,6							
0,7							
0,8	0,1345	0,142	0,1493	-2,12493874	-1,82973828	-0,40046215	0,39768375
0,9	0,1892	0,1959	0,2027	-2,1739252	-1,86966623	-0,39653137	0,40129951
0,95	0,2506	0,2594	0,2669	-2,05551733	-1,7878124	-0,4916617	0,32235789
1	0,2864	0,2856	0,2972	#¡NUM!	-1,96657624	#¡VALOR!	#¡VALOR!
1,05	0,3824	0,3822	0,3897	#¡NUM!	-2,13667714	#¡VALOR!	#¡VALOR!
1,1	0,4729	0,4748	0,4825	-2,7212464	-2,01772877	1,38850234	24,4625843
1,2	0,4636	0,4665	0,4738	-2,537602	-1,99139983	0,65315483	4,49940237
1,3	0,4479	0,4512	0,4585	-2,48148606	-1,97469413	0,47904738	3,01333474
1,4	0,4365	0,4399	0,4473	-2,46852108	-1,96657624	0,46369706	2,90868747
1,5	0,4247	0,428	0,4354	-2,48148606	-1,97061622	0,50286938	3,18323995
1,6	0,4127	0,4158	0,4232	-2,50863831	-1,9788107	0,58646298	3,8588952
1,8	0,39	0,3927	0,3999	-2,56863624	-2,00436481	0,72767603	5,34165736
2	0,3686	0,3708	0,3773	-2,65757732	-2,06048075	0,83049003	6,76846251
2,2	0,3486	0,3508	0,3565	-2,65757732	-2,10237291	0,58576801	3,85272496
2,5	0,3217	0,3238	0,3288	-2,67778071	-2,14874165	0,41271409	2,58650959
3	0,2867	0,2885	0,2926	-2,74472749	-2,22914799	0,26714048	1,84986689
3,5	0,2613	0,2627	0,2663	-2,85387196	-2,30103	0,37567265	2,37504943
4	0,2425	0,2438	0,247	-2,88605665	-2,34678749	0,26419951	1,83738223

	CL				
Ángulo [°]	0	1	2	CL α0	C1
Seno	0	0,01745241	0,0348995		
Mach					
0					
0,5					
0,6					
0,7					
0,8	0,0211	0,049	0,072	3,05592615	-815,172113
0,9	0,0196	0,0467	0,0686	2,91267972	-777,549152
0,95	-0,0091	0,05	0,0737	3,11608846	-824,573792
1	-0,00092573	0,0359	0,0696	2,07793968	-68,6726671
1,05	0,00037798	0,0337	0,0678	1,92704567	12,870345
1,1	0,00016285	0,0344	0,0687	1,97193027	-2,80835722
1,2	0,00065951	0,0358	0,0702	2,06456601	-43,5769965
1,3	0,00036509	0,037	0,0728	2,13140992	-37,291373
1,4	0,0015	0,0393	0,0764	2,27274533	-68,6401772
1,5	0,0014	0,0404	0,0788	2,33385966	-62,3555092
1,6	0,0015	0,0413	0,0807	2,38447035	-59,2098307
1,8	0,002	0,0433	0,0845	2,50097293	-65,4648755
2	0,0016	0,0438	0,0862	2,52293224	-43,5005498
2,2	0,0019	0,0448	0,0876	2,58596108	-62,3134635
2,5	0,0015	0,0441	0,0869	2,53916546	-40,3606047
3	0,00098442	0,0426	0,0846	2,44653321	-18,4153906
3,5	0,00071163	0,0406	0,0807	2,33098614	-15,2974241
4	0,0003211	0,0381	0,0763	2,18201363	3,50115593

	CM				
Ángulo [°]	0	1	2	CM α0	C2
Seno	0	0,01745241	0,0348995		
Mach					
0					
0,5					
0,6					
0,7					
0,8	-0,015516	0,0432887	0,10608659	2,29384719	612,432142
0,9	-0,016076	0,04717283	0,11464291	2,5088611	637,191558
0,95	0,013496	0,04272768	0,11014626	2,21219084	774,981534
1	-0,00289447	0,05844461	0,11862855	3,33201012	55,1223519
1,05	-0,00517773	0,05859103	0,12281604	3,30318548	177,302056
1,1	-0,00290265	0,06044204	0,12401306	3,43317578	98,7363197
1,2	-0,0021908	0,05680407	0,11532999	3,23818109	54,5583701
1,3	-0,00050918	0,05748009	0,11476725	3,29521012	-5,50313631
1,4	6E-05	0,05711004	0,11379217	3,27625293	-12,8781618
1,5	0,000816	0,05628688	0,11143126	3,23591756	-35,3034442
1,6	0,00066	0,05476303	0,10862555	3,14629458	-27,7261809
1,8	0,00048	0,0513586	0,10280779	2,94176493	3,33308696
2	0,000604	0,04964582	0,09912877	2,84605232	-4,63513006
2,2	0,000336	0,04783377	0,09487147	2,74827988	-24,5164904
2,5	-0,00044	0,04467627	0,08950572	2,5582979	5,23243147
3	-0,00049802	0,04121362	0,08281454	2,35766542	12,543946
3,5	-0,00086362	0,0386357	0,07786476	2,20799245	18,9838159
4	-0,00031652	0,03713179	0,07439182	2,12626939	4,37780256





## 4. PROYECTIL M190

Mach	$\alpha$	CD	CD o	CD $\alpha^2$		CL $\alpha$	CM $\alpha$	CM $\alpha^0$	C2
2,208	1,43	0,3306	0,33	2,2	2,75		2,82	2,82348758	-5,6
2,138	3,25	0,3411	0,335	1,8	5,25	3,02	2,83	2,8479988	-5,6
1,821	2,41	0,3615	0,355	1,4	7,5		2,98	2,98990195	-5,6
1,8	2,11	0,356	0,35	1,1	6,5	2,41	2,96	2,96759122	-5,6
1,44	2,37	0,3971	0,383	0,7	2,5	2,23	3,18	3,18957617	-5,6
1,347	4,52	0,459	0,392			2,11	3,19	3,22477911	-5,6
1,14	4,23	0,4588	0,42			1,93	3,33	3,36046732	-5,6
1,114	2,93	0,4394	0,425				3,35	3,36463186	-5,6
0,763	3,73	0,1441	0,135				3,58	3,59819815	-4,3
0,732	3,16	0,1452	0,135			1,64	3,57	3,58306643	-4,3
0,673	4,06	0,2844	0,135			1,58	3,15	3,17155501	-4,3
0,639	18,29	0,3848	0,135			1,97	2,94	3,36349507	-4,3

Ángulo [°]	CD						
	0	1	2	ln(CD-Cdo)	ln(CD-Cdo)	ln(CD $\alpha^2$ )	CD $\alpha^2$
Seno	0	0,01745241	0,0348995	-3,51628936	-2,91436167		
Mach							
0							
0,5							
0,6							
0,7							
0,8	0,1189	0,1304	0,1392	-1,93930216	-1,69250396	-0,4975777	0,31799647
0,9	0,1651	0,1686	0,182	-2,45593196	-1,7721133	1,53874102	34,5733149
0,95	0,2204	0,2202	0,2344	#¡NUM!	-1,85387196	#¡VALOR!	#¡VALOR!
1	0,2495	0,2568	0,2686	-2,13667714	-1,71896663	0,30346814	2,01125964
1,05	0,3593	0,3615	0,3696	-2,65757732	-1,98716278	1,25879265	18,1464905
1,1	0,4527	0,4543	0,4612	-2,79588002	-2,07058107	1,4411089	27,6127019
1,2	0,4365	0,4381	0,4445	-2,79588002	-2,09691001	1,28730278	19,3777245
1,3	0,4211	0,4228	0,4293	-2,76955108	-2,08618615	1,22247134	16,6905767
1,4	0,4086	0,4107	0,4175	-2,67778071	-2,05060999	0,98597116	9,68213568
1,5	0,3963	0,3988	0,4058	-2,60205999	-2,02227639	0,78486991	6,09354339
1,6	0,3839	0,3867	0,3939	-2,55284197	-2	0,67670265	4,75009886
1,8	0,3599	0,3631	0,3701	-2,49485002	-1,99139983	0,44616197	2,79358554
2	0,3378	0,341	0,3476	-2,49485002	-2,00877392	0,34466748	2,21140087
2,2	0,3178	0,3207	0,3266	-2,537602	-2,05551733	0,27859874	1,89932263
2,5	0,2915	0,2938	0,2989	-2,63827216	-2,13076828	0,32642033	2,12041238
3	0,2568	0,2585	0,2625	-2,76955108	-2,24412514	0,29983691	1,99451317
3,5	0,2313	0,2325	0,2357	-2,92081875	-2,35654732	0,37549351	2,37406994
4	0,2121	0,2131	0,2161	-3	-2,39794001	0,51706222	3,28898751

	CL				
Ángulo [°]	0	1	2	CL α0	C1
Seno	0	0,01745241	0,0348995		
Mach					
0					
0,5					
0,6					
0,7					
0,8	-0,0154	0,0429	0,0634	2,67202348	-702,295586
0,9	-0,0119	0,035	0,0602	2,09899237	-307,099216
0,95	-0,0169	0,0271	0,0575	1,5211837	103,782546
1	-0,0085	0,0396	0,0629	2,42466121	-510,965346
1,05	-0,003	0,029	0,0597	1,64533386	53,60745
1,1	-0,0022	0,0307	0,0627	1,74655873	41,0753819
1,2	-0,0018	0,0321	0,0652	1,82963935	31,6775253
1,3	-0,0022	0,0335	0,0686	1,90412037	50,5133731
1,4	-0,0018	0,0352	0,0718	2,00343422	44,2554615
1,5	-0,0015	0,0369	0,075	2,10274807	37,9975499
1,6	-0,0013	0,0385	0,078	2,19633233	31,7386827
1,8	-0,0011	0,0407	0,0824	2,32238304	31,7597055
2	-0,00091154	0,0423	0,0854	2,41596731	25,5008383
2,2	-0,0007988	0,0434	0,0875	2,47994818	22,3742715
2,5	-0,0018	0,043	0,088	2,44460822	63,1524666
3	-0,002	0,042	0,0864	2,38349039	75,6912239
3,5	-0,0021	0,0407	0,0838	2,30900588	75,6788013
4	-0,0018	0,0393	0,0809	2,2297473	72,5283448

	CM				
Ángulo [°]	0	1	2	CM α0	C2
Seno	0	0,01745241	0,0348995		
Mach					
0					
0,5					
0,6					
0,7					
0,8	0,0167	0,04412315	-0,04412315	3,79287571	-4152,1116
0,9	0,01155	0,05494286	0,12118759	3,04000342	355,073382
0,95	0,01995	0,06784723	0,13101354	3,93208668	-146,195966
1	0,00865	0,05348937	0,12788922	2,86491275	656,48945
1,05	0,0005	0,06656157	0,13450622	3,8004815	44,0242114
1,1	0,0001	0,06455988	0,13049363	3,68588113	43,7162827
1,2	0,0004	0,05935253	0,11948277	3,39321793	24,9648217
1,3	0,0008	0,05858444	0,11695141	3,35871885	-6,26220709
1,4	0,0007	0,05670586	0,113617	3,24704451	6,98204827
1,5	0,00115	0,055636	0,11059132	3,19421181	-20,8217753
1,6	0,00115	0,05430745	0,10764849	3,1208221	-29,7983517
1,8	0,00135	0,05167692	0,10226527	2,97127112	-33,655795
2	0,00122115	0,04871207	0,0961976	2,80271566	-38,0119187
2,2	-9,7E-05	0,04577594	0,09111218	2,62696959	-13,35634
2,5	-0,0008	0,04250242	0,08584463	2,4271849	26,7510581
3	-0,0006	0,03926263	0,07897121	2,24532146	14,3653659
3,5	-0,00165	0,03677871	0,07473691	2,09599499	37,3526073
4	-0,0033	0,03363281	0,07078125	1,89342544	110,609665

## 5. PARÁMETROS MALLAS

---

VLD 168

Parámetros	
Tamaño bala	0.03
Tamaño	0.3
Crecim	50%
Nodes	100.778
Elements	537.169
Flux	8.646
Xcg	3,04

VLD180

Parámetros	
Tamaño bala	0.03
Tamaño	0.3
Crecim	50%
Nodes	101.843
Elements	542.253
Flux	9.069
Xcg	3,19

Match 168

Parámetros	
Tamaño bala	0.03
Tamaño	0.3
Crecim	50%
Nodes	97.169
Elements	520.778
Flux	7.159
Xcg	2,44

Match 190

Parámetros	
Tamaño bala	0.03
Tamaño	0.3
Crecim	50%
Nodes	98.054
Elements	524.795
Flux	7.554
Xcg	2,5