



Facultad de
Ingeniería del
Ejército



Universidad de la
Defensa Nacional
UNA DÉCADA DE EDUCACIÓN PARA LA DEFENSA

ESTUDIO DE DINÁMICA DE SISTEMAS DE ARTILLERÍA

**Autores: Pablo Mari Thomsen
Pablo Vilar
Elvio Heidenreich**

Expositor: Pablo Mari Thomsen

INTRODUCCIÓN

- **Sistema de Artillería, elemento de estudio:**
 - **SOFMA/CITER L33 calibre 155mm.**
 - **Remolcado.**
 - **Peso aprox. 8 ton.**
 - **Origen Francés.**
 - **Alcance 20 kilómetros.**



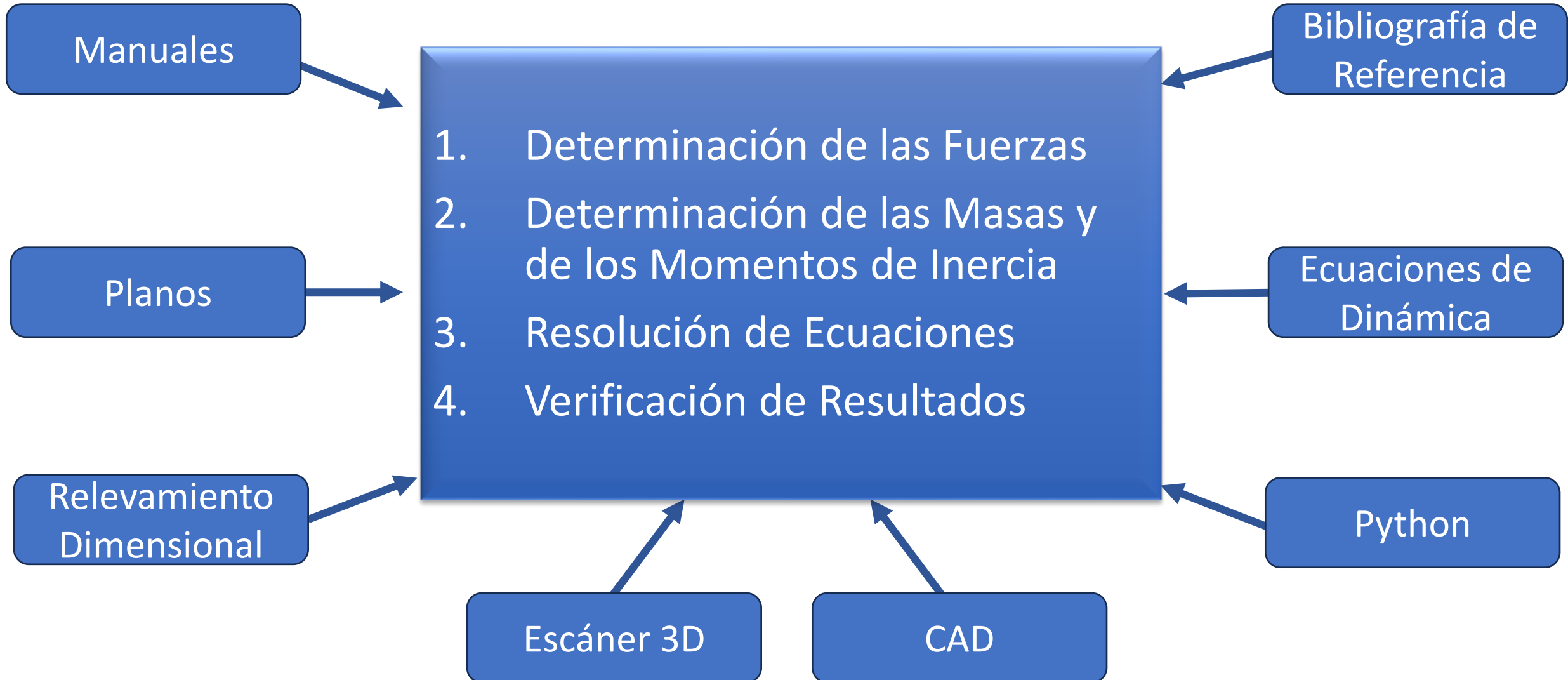
OBJETIVO

- **Determinar la dinámica del disparo.**
- **Obtener los desplazamientos y velocidades de los distintos cuerpos que componen el cañón.**
- **Modelar matemáticamente las fuerzas que actúan.**
- **Caracterizar las constantes del sistema, tal que representen adecuadamente la dinámica del disparo.**



Disparo en cámara lenta de un cañón SOFMA 155mm.
Fuente: Pablo Mari Thomsen.

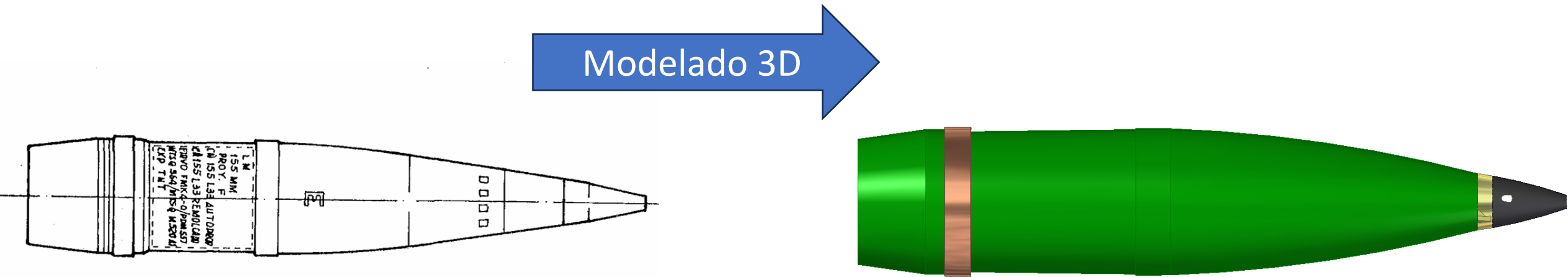
METODOLOGÍA



1.Determinación de las Fuerzas

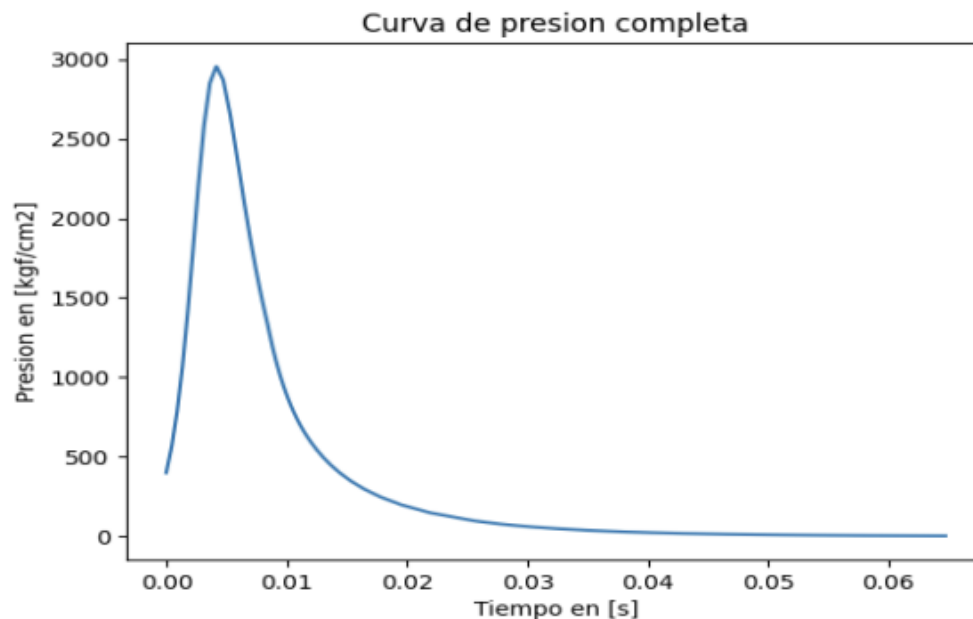
La fuerza principal actuante es aquella que se origina por la balística interior. Es decir, la reacción debido a impulsar el proyectil a más de 800 m/s.

Utilizando las ecuaciones de la balística interior, características de la pólvora, la recámara y el proyectil, se obtiene la curva de presión.



1.Determinación de las Fuerzas

Además de la balística interior, existen las fuerzas debido a los mecanismos de freno de tiro, recuperador, moderador, entre otros no considerados (por ahora) como el freno de tiro.



$$\text{Freno de tiro: } R = \begin{cases} R & \text{para } v < 0 \\ 0 & \text{para } v > 0 \end{cases}$$

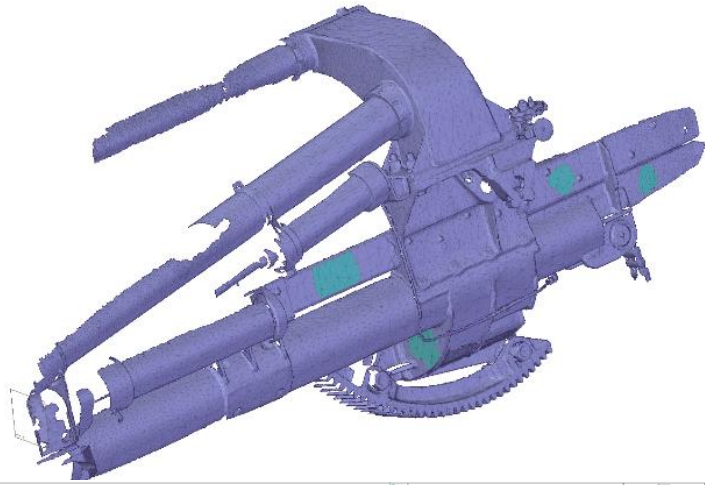
$$\text{Moderador Vuelta en Batería: } F = \begin{cases} 0 & \text{para } v < 0 \\ C \cdot v & \text{para } v > 0 \end{cases}$$

$$\text{Recuperador: } F = T_0 + K \cdot x \quad \text{para } v > 0$$

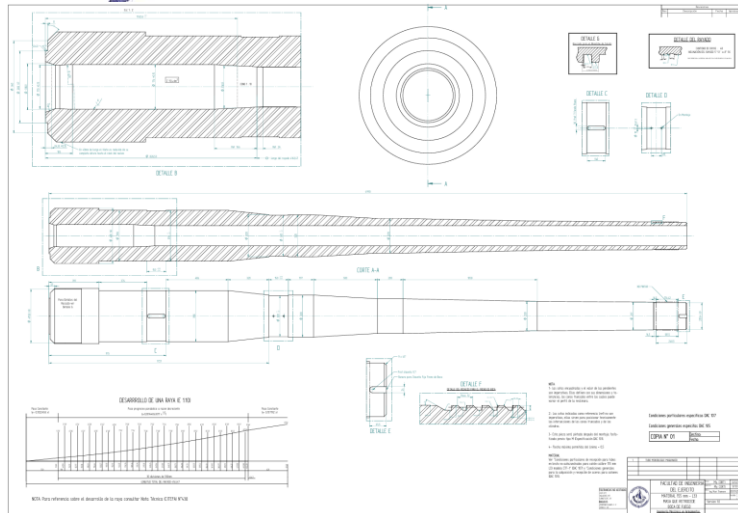
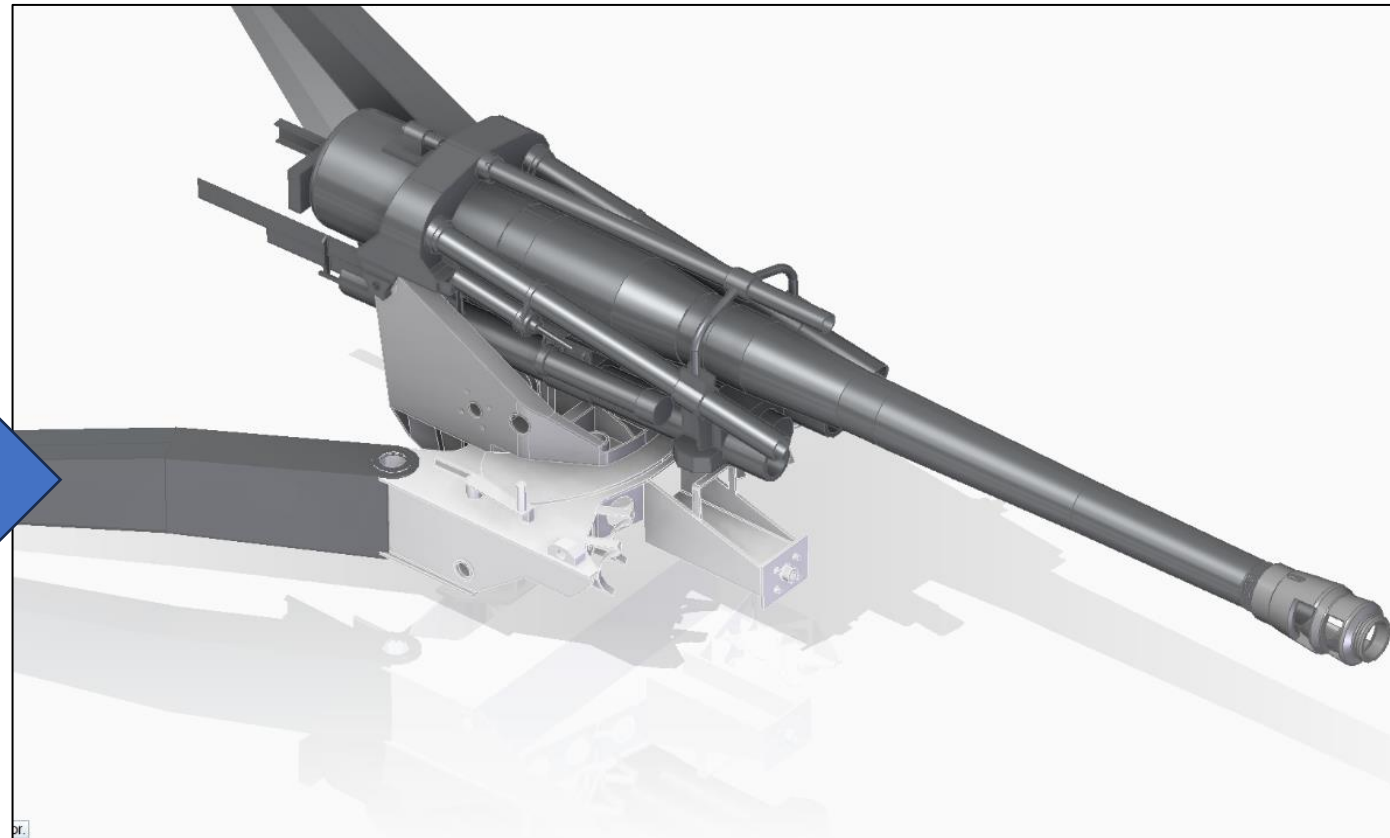
$$\text{Impulso } B(t) : B(t) = \begin{cases} B(t) & \text{para } t < t_{\max} \\ 0 & \text{para } t > t_{\max} \end{cases}$$

2.Determinación de las Masas y de los Momentos de Inercia

Para determinar las masas se refirió a manuales y a escaneos 3D del mismo cañón.



Modelado
3D



3. Resolución de las Ecuaciones de Dinámica

En una primera aproximación se resolvió un modelo de un grado de libertad. En particular, el movimiento de la masa que retrocede.

```
Mod_1DOF_v2_A.ipynb
C:\Users\pablo>Downloads>Doctorado>Modelo 1GL E.P.v2>Mod_1DOF_v2_A.ipynb>Cvar=np.linspace(0,10000,10000)
# VecPos[i,j]=v[-1]
# VecPos[i,j]=v[-1]

#solve_ivp(fun, t_span, y0, method='RK45', t_eval=None, dense_output=False, events=None)
#ti=soln.t; xi=soln.y[0]; vi=soln.y[1] Solo lo saco porque lo meti en el for

[12] Python
50000.0 10000.0

OBTENCION DE LAS FUERZAS DE REACCION

#aca la idea seria poder calcular la fuerza a C constante y K constante
#FrecC=np.zeros((len(Cvar),len(Kvar)))
a=len(Cvar); b=len(vi)
FrecC=np.zeros((b,a))
Kmin=np.min(Kvar) #calculo en el caso de el menor K
i=len(xi)
for i in range(len(xi)):
    for j in range(len(Cvar)):
        FrecC[i,j]=Presor(Kmin,xi[i])+Famort(Cvar[j],vi[i])

A,B=np.meshgrid(Cvar,ti)

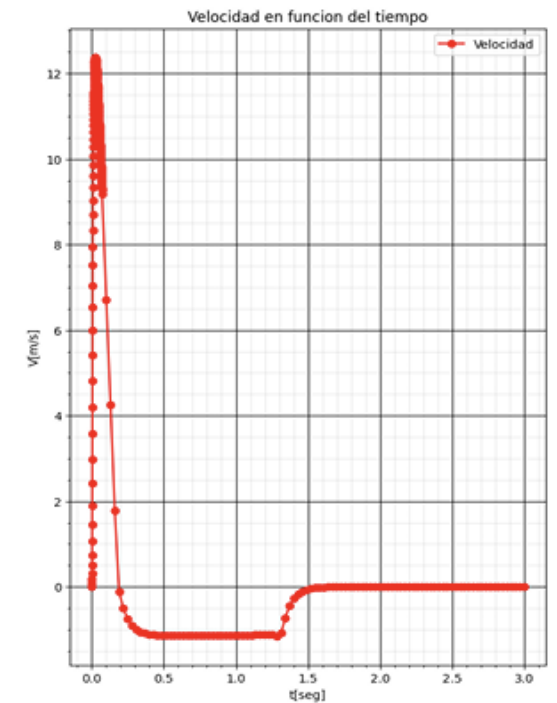
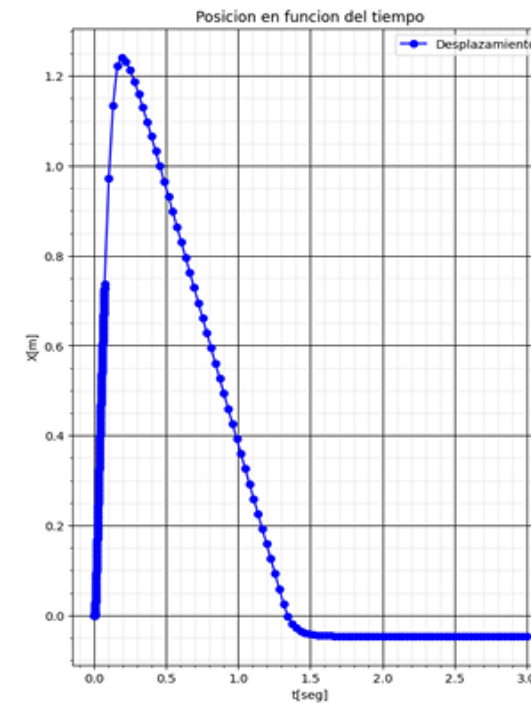
fig=plt.figure(figsize=(14,9))
ax=plt.axes(projection='3d')
ax.set_xlabel('Tiempo [s]')
ax.set_ylabel('Constante C')
ax.set_zlabel('Fuerza de Reacción [N]')

surf=ax.plot_surface(B,A,FrecC,cmap=cm.coolwarm,linewidth=0.1,antialiased=False)
plt.show()
```

```
Funciones.py
C:\Users\pablo>Downloads>Doctorado>Modelo 1GL E.P.v2>Funciones.py>FPlot
def FrenoTiro(R,v):
    # La fuerza debe estar en [N]
    F=0.0
    if (v > 0):
        F=R
    return (F)

def FuncRec(x):
    # VARIABLES DEL PROBLEMA
    Pr = 3150 #unit.kgf #.Peso de la masa que retrocede [kgf]
    im = 67 #unit.deg #.Angulo de elevación máximo [deg]
    Sum1f = 435 #unit.kgf #.Fuerzas de rozamiento de las juntas del vástago
    Sum2f = 465 #unit.kgf #.Fuerzas de rozamiento de las juntas del recuperador
    fpl = 1460 #unit.kgf #.Rozamientos del pistón libre [kgf]
    Sprima = 42.22 #unit.cm**2 #.sección mojada del pistón recuperador [cm2]
    Sprima2 = 76.97 #unit.cm**2 #.sección mojada/activa del pistón libre [cm2]
    Mu = 0.2 #.Coef de rozamiento entre cobre y acero
    K = 1.2 #.factor de seguridad por perdidas de liquido en
    # Calculo del Frotamiento Sumatoria 2f
    Sum2f = fpl*(Sprima/Sprima2)+Sum2f
    # Calculo de la Suma de las Resistencias
    SumPrimaF=Sum1f+Sum2f+Mu*Pr*np.cos(np.deg2rad(im))
    # Temperatura a 15 Grados
    #Calculo de la Tension en reposo
    T01=K*(Pr*np.sin(np.deg2rad(im))+SumPrimaF)
    #Calculo de la Presion en Reposo
    P01=T01/Sprima
    # Constantes C y D segun ante project0
    c=2280 #unit.kgf/unit.m
    Gamma0=P01*Sprima2
    T=(Gamma0+c*x)*(Sprima/Sprima2)
    return (T)

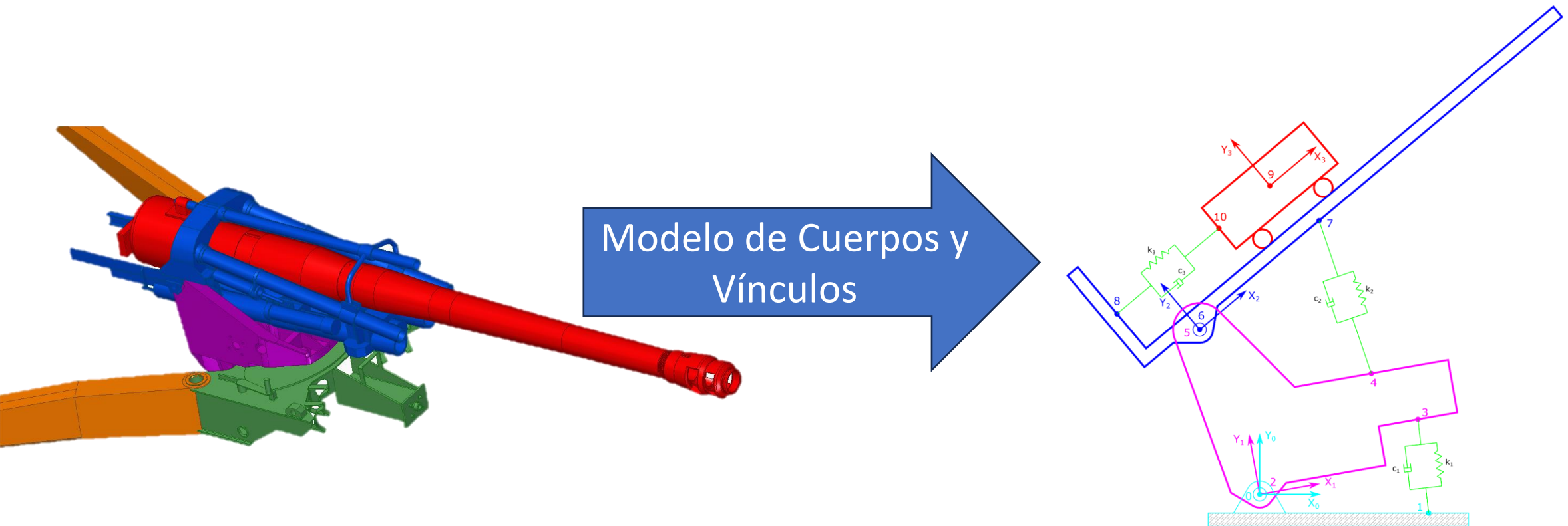
def C_Pvaciado(P,Plim,Pdec):
    #
    while P[-1] > Plim:
        P.append(P[-1]-Pdec)
```

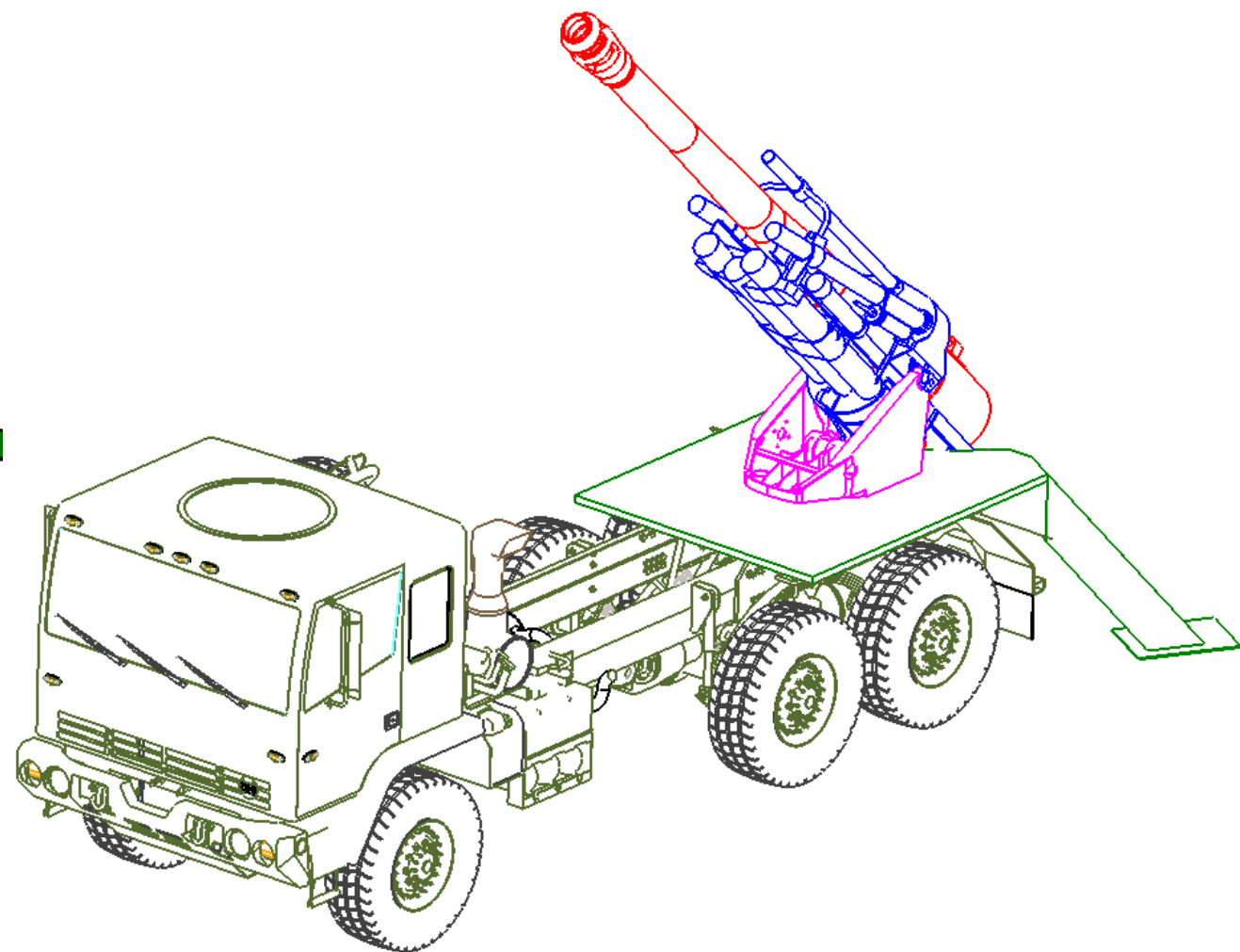
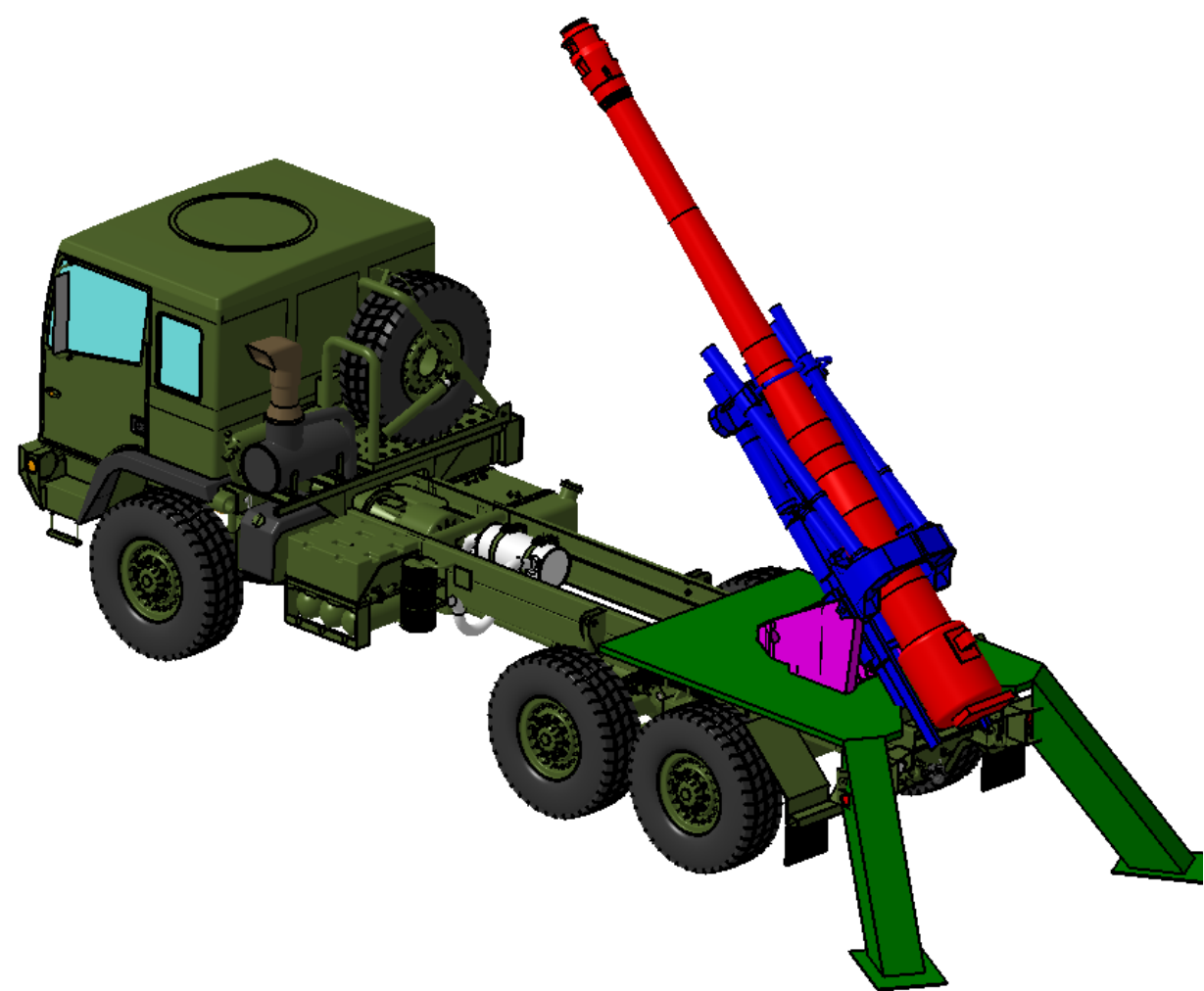


3. Resolución de las Ecuaciones de Dinámica

Actualmente se está trabajando para aumentar la cantidad de grados de libertad del modelo, en base al esquema que se muestra.

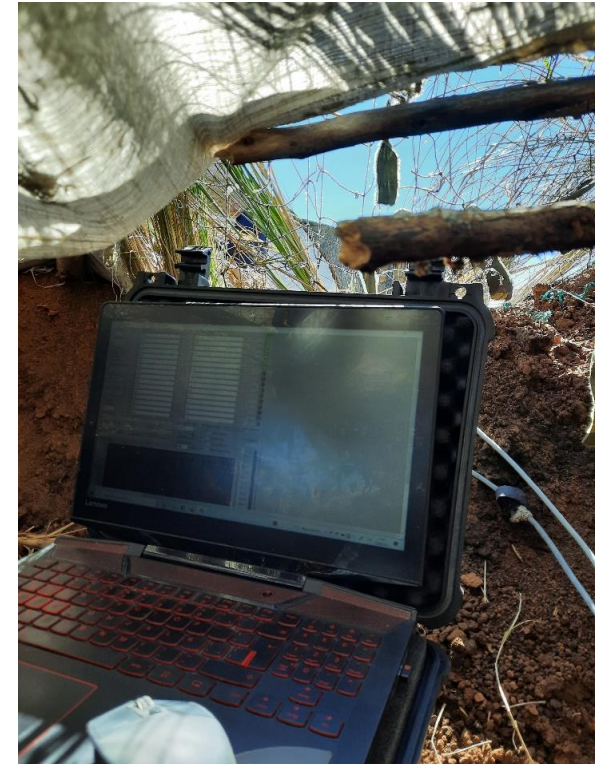
Los colores del modelo CAD se corresponden a los del cuerpo del modelo dinámico.





4. Verificación de Resultados y Estado actual

1. El modelo de un grado de libertad arrojó resultados concordantes con la información recopilada.
2. Actualmente se está incursionando en la opción de lenguaje simbólico con Python dada la elevada complejidad de las derivadas para modelos de varios grados de libertad y sistemas de referencia.
3. La verificación de resultados se realizará en campo.





Facultad de
Ingeniería del
Ejército



Universidad de la
Defensa Nacional
UNA DÉCADA DE EDUCACIÓN PARA LA DEFENSA

MUCHAS GRACIAS

Contactos:

Pablo Mari Thomsen

Pablo Vilar

Elvio Heidenreich

pmarithomsen@fie.undef.edu.ar

pvilar@fie.undef.edu.ar

elvioh@fie.undef.edu.ar