

# FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA MAESTRÍA DE DISEÑO MECÁNICO

**“Selección de material a través de técnicas MCDM, para aislantes eléctricos de alta tensión SPB de bobinas de encendido COP. Verificación de resultados mediante simulación y validación experimental”.**

Autores:

Ing. Eduardo Portilla H.

Ing. Javier Martínez G. PhD

UISEK



25 AÑOS

Quito, marzo 2019

# INTRODUCCIÓN



Motor Ciclo Otto



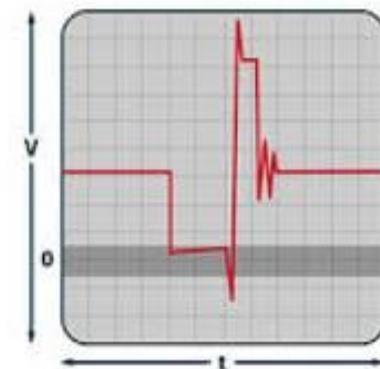
Alta tensión



Bobina COP



Medición Osciloscópica



Encendido Mezcla



COP con falla en SPB

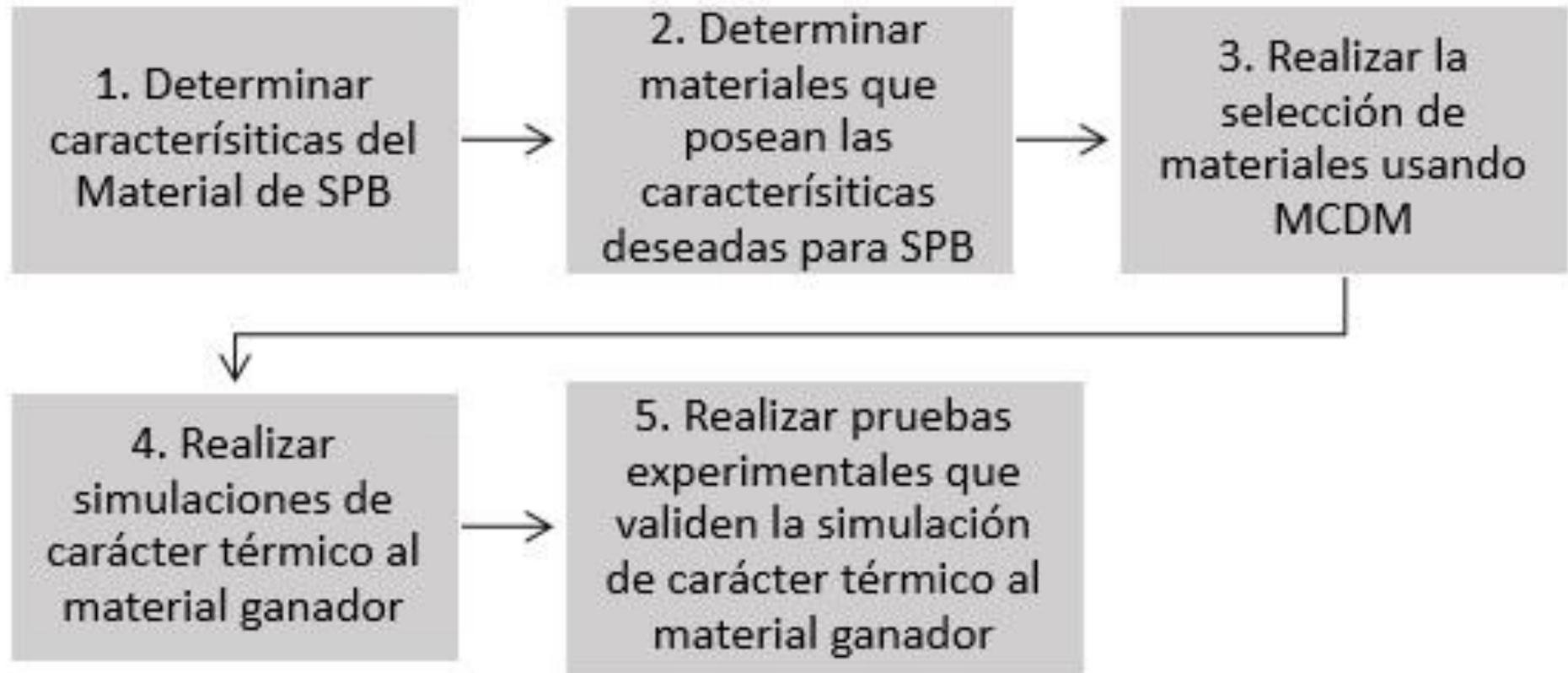


Spark Plug Boot

## OBJETIVOS:

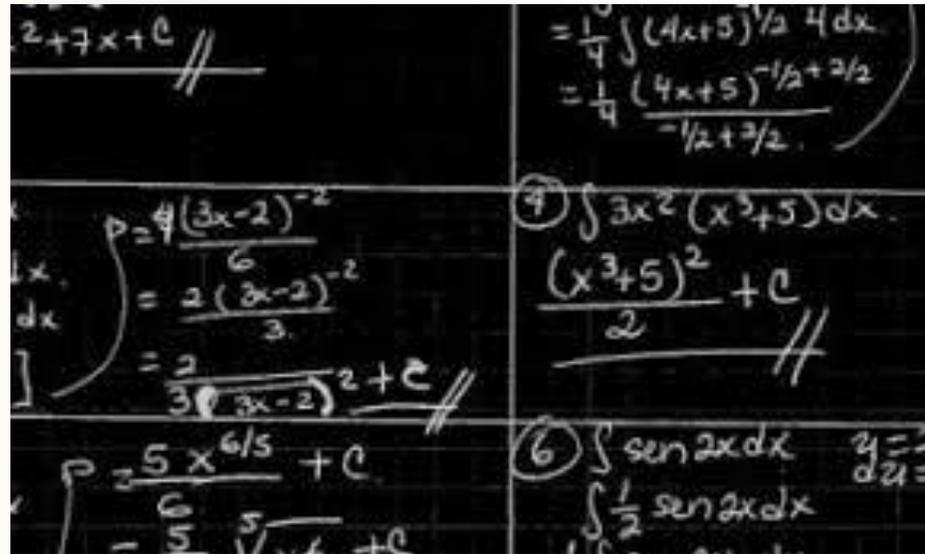
- **Objetivo General.**
- Seleccionar un material aislante eléctrico de alta tensión de bobinas de encendido COP, mediante simulación y de forma experimental.
- **Objetivos Específicos.**
- 1. Seleccionar un material aislante eléctrico de alta tensión, de una selección de siete materiales, utilizando MCDM.
- 2. Aplicar simulación virtuales de naturaleza térmica, para simular el entorno térmico de trabajo de un SPB.
- 3. Realizar pruebas de laboratorio, (TGA) a un prototipo de SPB fabricado con el material ganador de la selección, para validar los resultados.

# MÉTODO



# MCDM

## Métodos de Decisión Multicriterio



# 1. Características que debe poseer un SPB

Magnitudes	Valores máximos de trabajo
Constante dieléctrica	$20 \times 10^6 \text{ V} \times \text{m}$
Temperatura de trabajo	140 °C
Magnitud Química	Si
Resistencia a Hidro Carburos	Si
Coefficiente expansión térmica	$250 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$
Conductividad térmica	$0.22 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1} @ 23^\circ\text{C}$
Módulo de elasticidad	4.0 GPa
Precio Promedio \$ x Kg.	3

- **Materiales originales:**
- Caucho – Silicón – Silicón Dieléctrico (Silcoset)
- (Bosch, 2011)

## 2. Materiales que poseen estas características:

Criterios de Pre selección:

<b>Características Técnicas</b>	<b>Disponibilidad Mercado Ecuatoriano</b>	<b>Precio</b>
≥ Al material original	Si	Mínimo

**Material:**  
**Espesor: 2.0mm**

**Polietilen  
o BD**   **Polietilen  
o AD**   **Poliestire  
no**   **PVC**   **Nylon**   **Teflón**   **Polipropil  
eno**

**Valores deseados**

**Características Dieléctricas**

**Resistencia Dieléctrica**

22x10<sup>6</sup> V x m   27x10<sup>6</sup> V x m   20x10V x m   14x10<sup>6</sup> V x m   25x10<sup>6</sup> V x m   25x10<sup>6</sup> V x m   30x10<sup>6</sup> V x m

20x10<sup>6</sup> V x m

**Características Térmicas**

**Temperatura de trabajo**

120 °C   90 °C   95 °C   75 °C   160 °C   160 °C   120 °C

140 °C

**Coeficiente de expansión térmica**

100 x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>   100 x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>   70 x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>   75 x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>   95 x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>   90 x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>   100 x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>

100 x10<sup>-6</sup>K<sup>-1</sup>

**Conductividad térmica**

0.33 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>   0.52 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>   0.17 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>   0.25 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>   0.28 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>   0.24 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>   0.22 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

0.25 Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>

**Características Químicas**

**Hidro Carburos**

Si   Si   Si   Si   Si   Si   Si

Si

**Grasa y aceites**

Si   Si   Si   Si   Si   Si   Si

Si

**Características económicas**

**Precio \$ x Kg.**

4   4   4.25   4   4.5   4.5   5

3

**Características Mecánicas**

**Módulo de elasticidad**

0.3   1.2   1.65   4.0   3.0   0.8   1.2

4.0

GPa   GPa   GPa   GPa   GPa   GPa   GPa

GPa

# Matriz de Materiales y Criterios

<b>Materiales</b>	<b>Resistencia Dieléctrica V x m</b>	<b>Temperatura de trabajo °C</b>	<b>Precio \$ x Kg.</b>	<b>Coefficiente de expansión térmica <math>\times 10^{-6} K^{-1}</math></b>	<b>Conductividad térmica <math>Wm^{-1}K^{-1}</math></b>	<b>Módulo de elasticidad GPa</b>	<b>Resistencia a Hidrocarburos</b>	<b>Resistencia a grasa y aceites</b>
<b>(M)</b>	<b>(C1)</b>	<b>(C2)</b>	<b>(C3)</b>	<b>(C4)</b>	<b>(C5)</b>	<b>(C6)</b>	<b>(C7)</b>	<b>(C8)</b>
<b>Polietileno AD (M1)</b>	22	120	4	100	0.33	0.3	Si	Si
<b>Polietileno BD (M2)</b>	22	90	4	100	0.52	1.2	Si	Si
<b>Poliestireno (M3)</b>	20	95	4.25	70	0.17	1.65	Si	Si
<b>PVC (M4)</b>	14	75	4	75	0.25	4.0	Si	Si
<b>Nylon (M5)</b>	25	160	4	95	0.28	3.0	Si	Si
<b>Teflón (M6)</b>	25	160	4.5	90	0.24	0.8	Si	Si
<b>Polipropileno (M7)</b>	30	120	5	100	0.22	1.5	Si	Si

# Aplicación de Métodos MCDM

- **Métodos de Ponderación:**

- Entropía :  $p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} m$  (Estrada García, 2002)

- Desviación Estándar:  $\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}{m}}$

- Variación estadística:  $p_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}$

- **Métodos Multicriterio:**

- VIKOR:  $r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m a_{ij}^2}}$  (Muñoz & Romana, 2016, p.8)

- PUGH:  $P = (M1i \times W1i), (M2i \times W2i) \dots$  (Martínez, Vaca, Orozco, Montero, & Carrión, 2015)

- TOPSIS:  $S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$

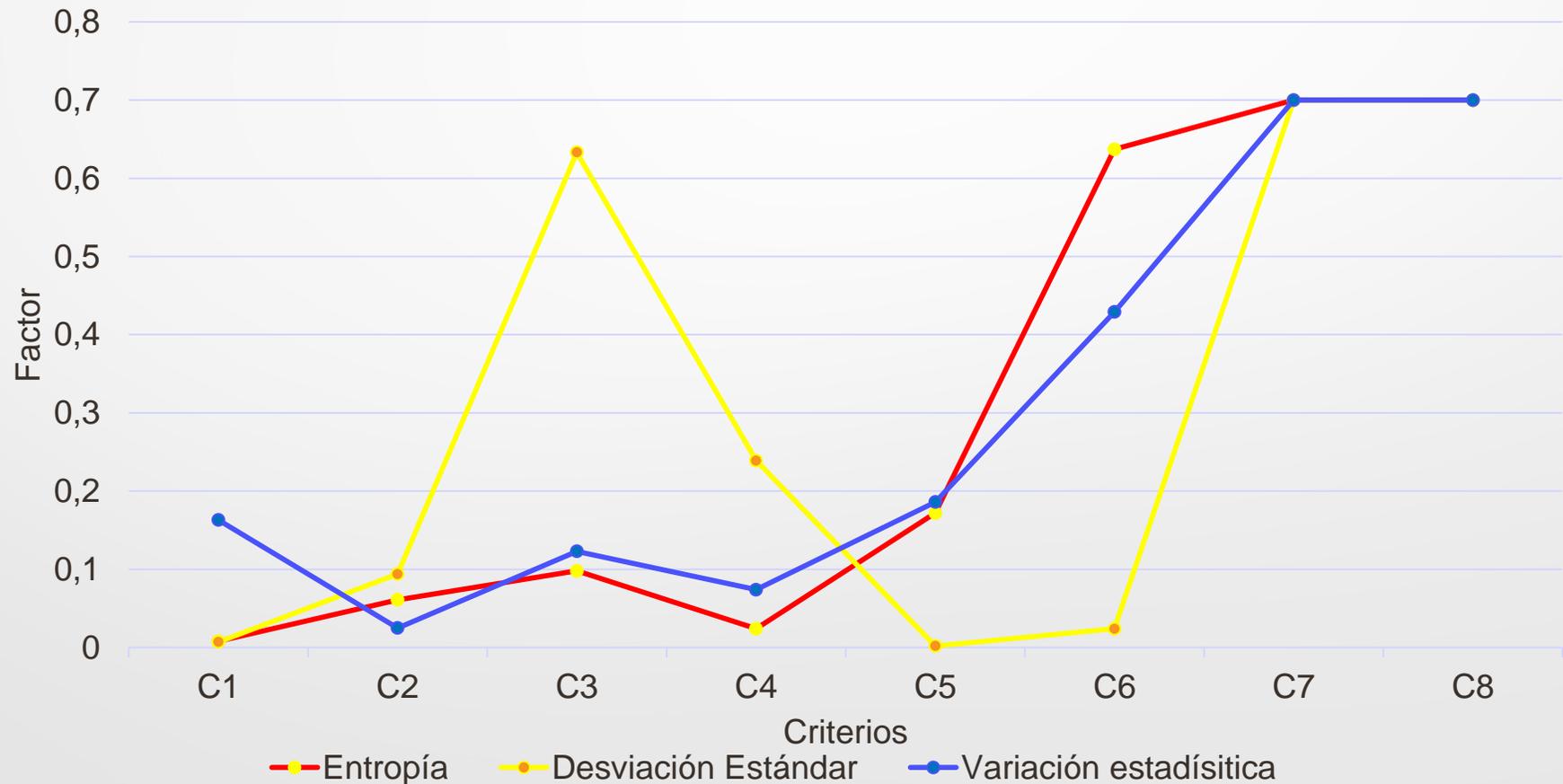
- PROMETHEE II:  $\Pi(i, i') = \left[ \frac{\sum_{j=1}^m W_j * P_j(i, i')}{\sum_{j=1}^m W_j} \right]$  (Liao & Xu, 2014)

- DOMINIC:  $K = [Mi1 * Wij]$  (Martínez, Vaca, Orozco, Montero, & Carrión, 2014, p. 5)

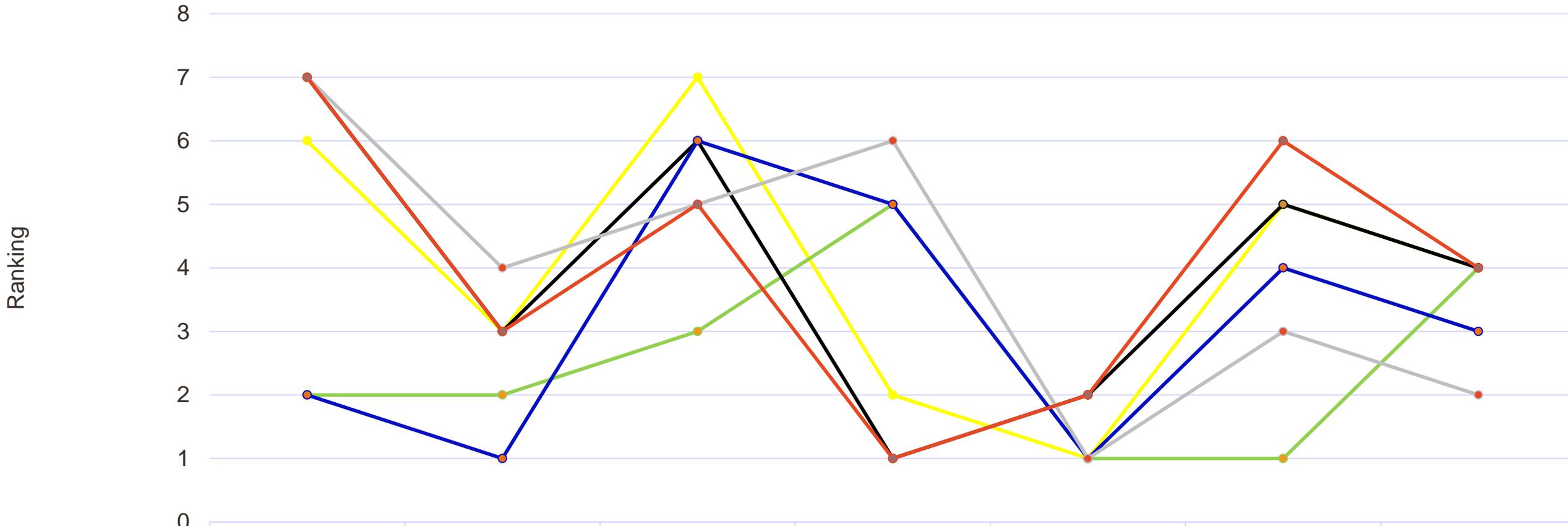
- COPRAS:  $r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}$

# Resultados Métodos de Ponderación

Método:	w 1	w 2	w 3	w 4	w 5	w 6
Entropía	0.008	0.061	0.098	0.024	0.172	0.637
Desviación Estándar	0.007	0.094	0.633	0.239	0.002	0.024
Variación Estadística	0.163	0.025	0.123	0.074	0.186	0.429



# Resultados de Métodos MCDM



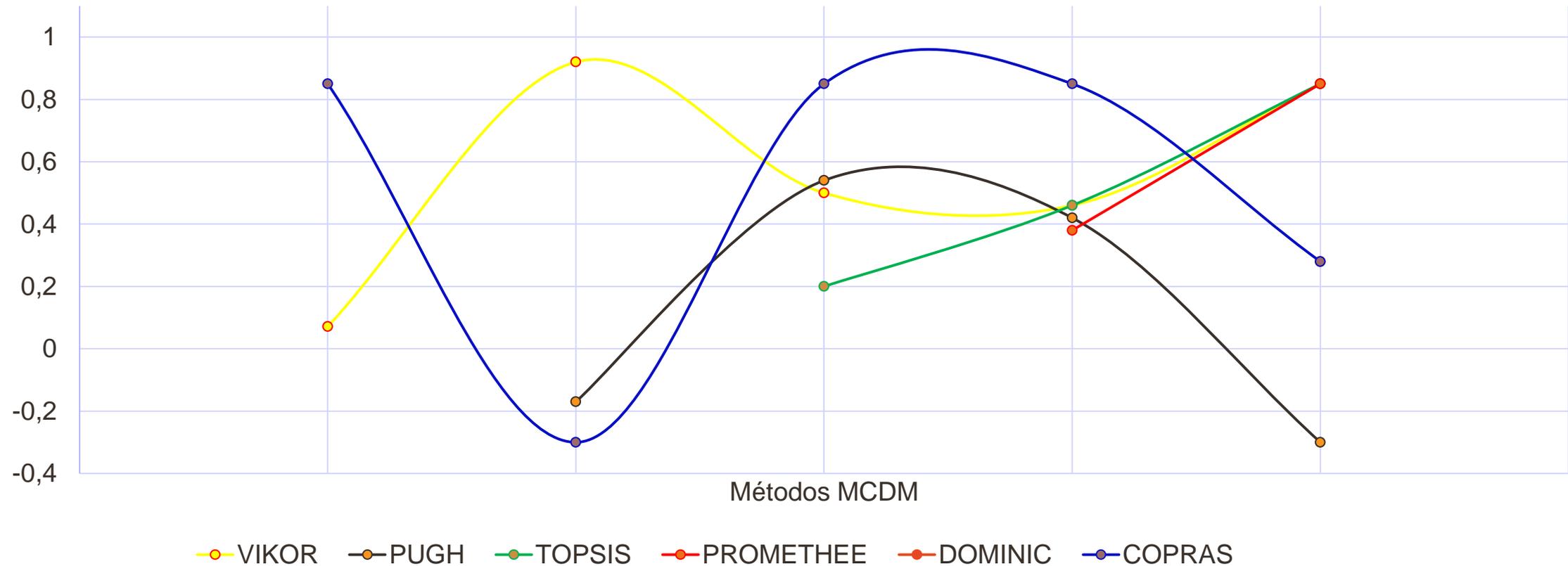
	Polietileno BD	Polietileno AD	Poliestireno	PVC	Nylon	Teflón	Polipropileno
VIKOR	6	3	7	2	1	5	4
PUGH	2	2	3	5	1	1	4
TOPSIS	7	3	6	1	2	5	4
PROMETHEE	2	1	6	5	1	4	3
DOMINIC	7	4	5	6	1	3	2
COPRAS	7	3	5	1	2	6	4

Material

# Correlación de Métodos MCDM (Spearman)

	VIKOR	PUGH	TOPSIS	PROMETHEE	DOMINIC
PUGH	0.071	-	-	-	-
TOPSIS	0.92	-0.17	-	-	-
PROMETHEE	0.5	0.54	0.2	-	-
DOMINIC	0.46	0.42	0.46	0.38	-
COPRAS	0.85	-0.3	0.85	0.85	0.28

Coeficiente Correlación SPEARMAN

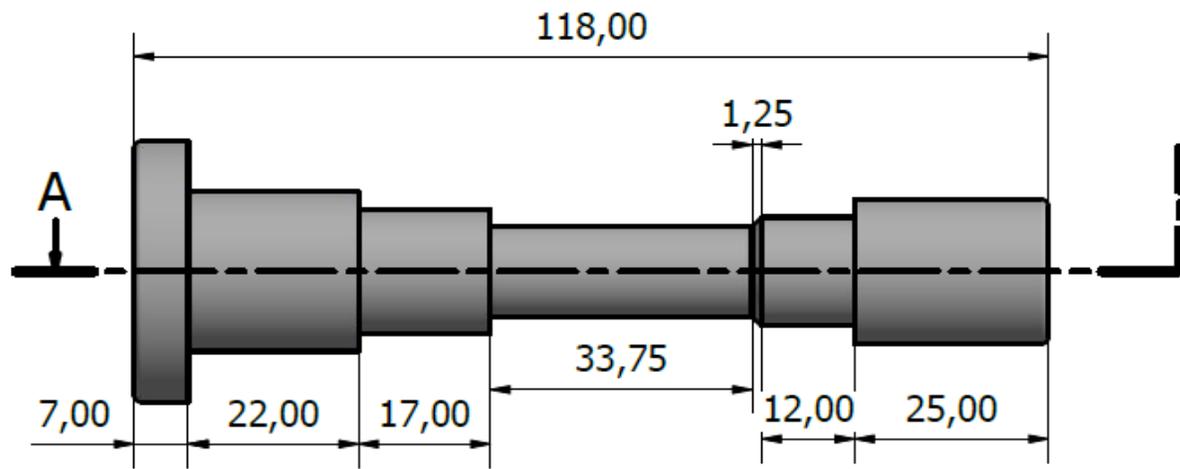


# Material Ganador

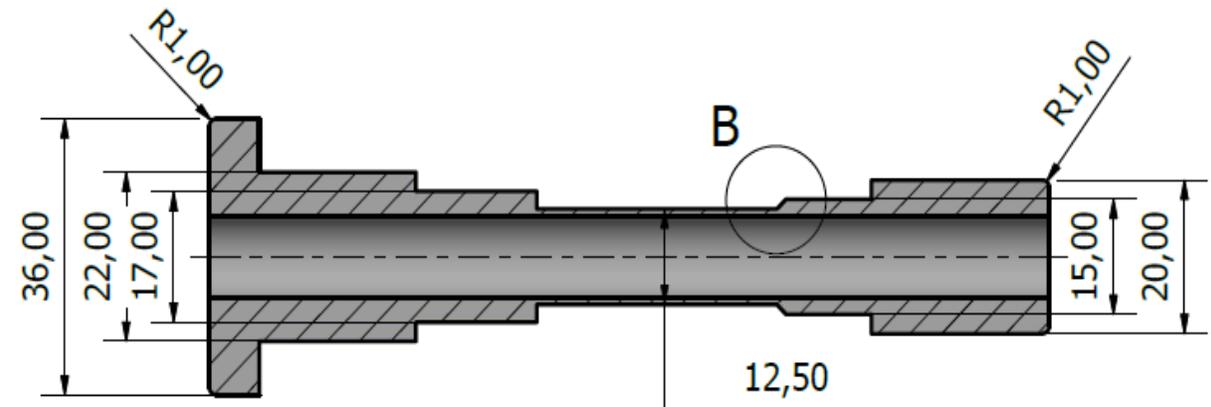


POLIAMIDA 6 (NYLON)

## 4. Simulación térmica



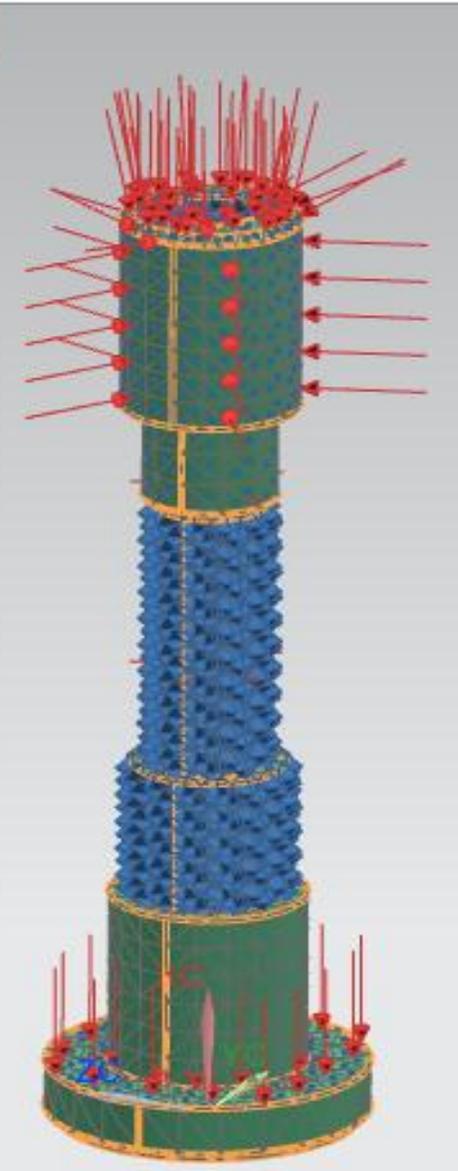
Vista Frontal  
(1 : 1)



Corte Longitudinal  
A-A (1 : 1)

Modelado CAD

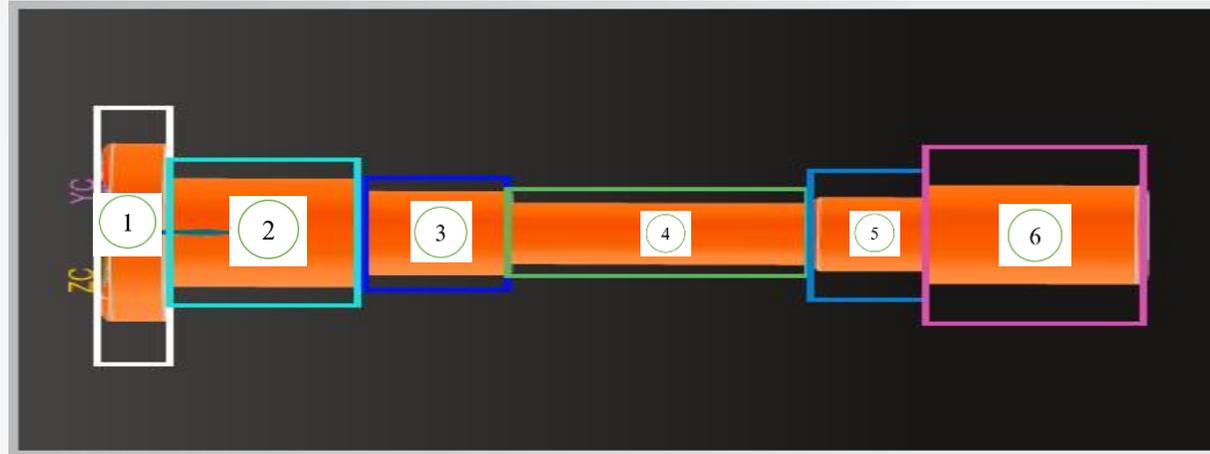
# Simulación Térmica



Material	Carga (W)	Temperatura ° C	Coefficiente de conductividad térmica a 23 ° C ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	Tiempo de exposición térmica De 0 sec. A 600 Sec.	Tiempo informático por simulación (Min.)
Polietileno BD	30	160	0.3	Si	10
Polietileno AD	30	160	1.2	Si	12
Poliestireno	30	160	1.65	Si	14
PVC	30	160	4.0	Si	15
Nylon	30	160	3.0	Si	20
Teflón	30	160	0.8	Si	17
Polipropileno	30	160	1.5	Si	21

Condiciones de Borde

# Características del Análisis de Simulación



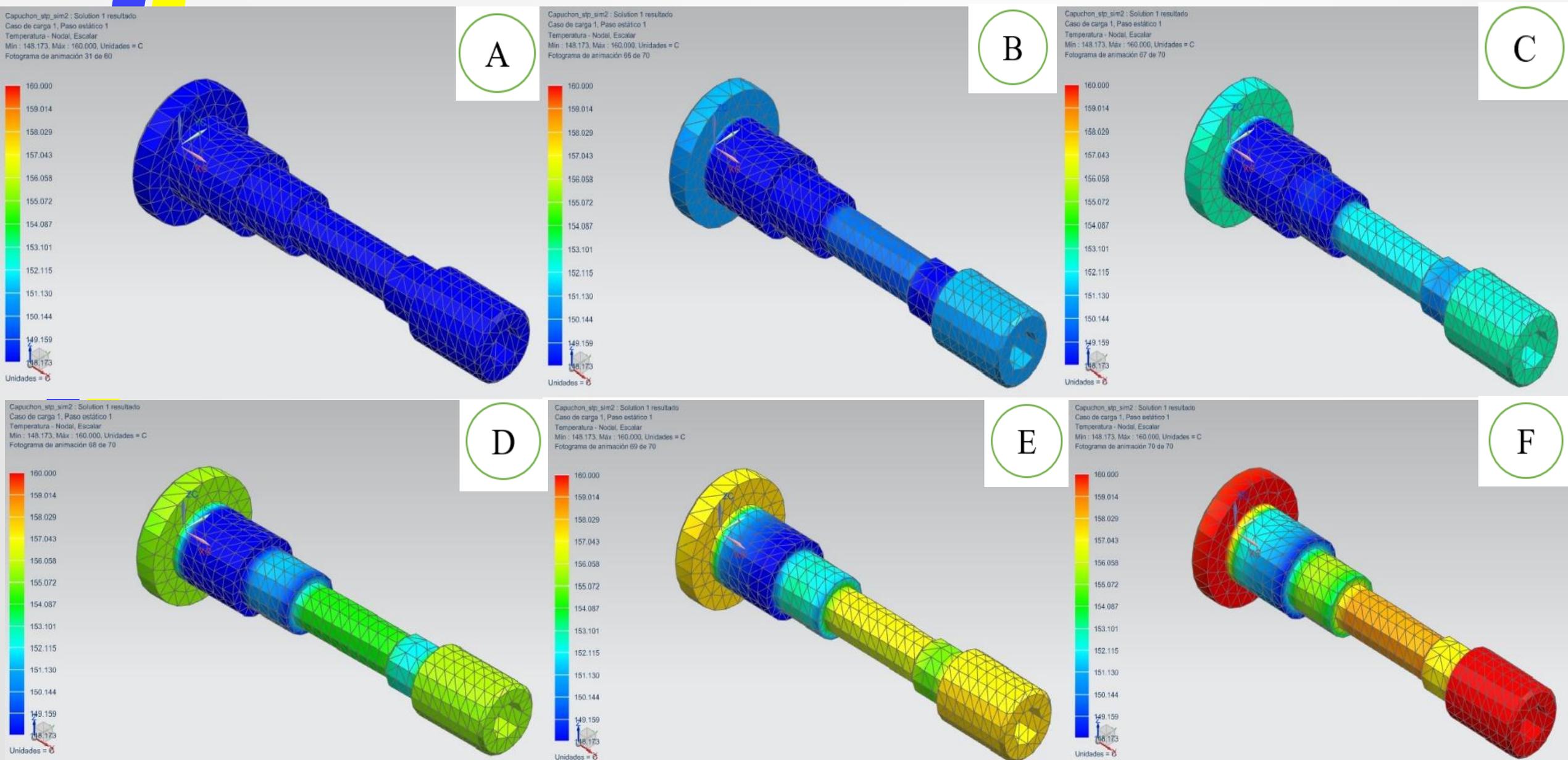
Cuadrantes Térmicos

- 
- 

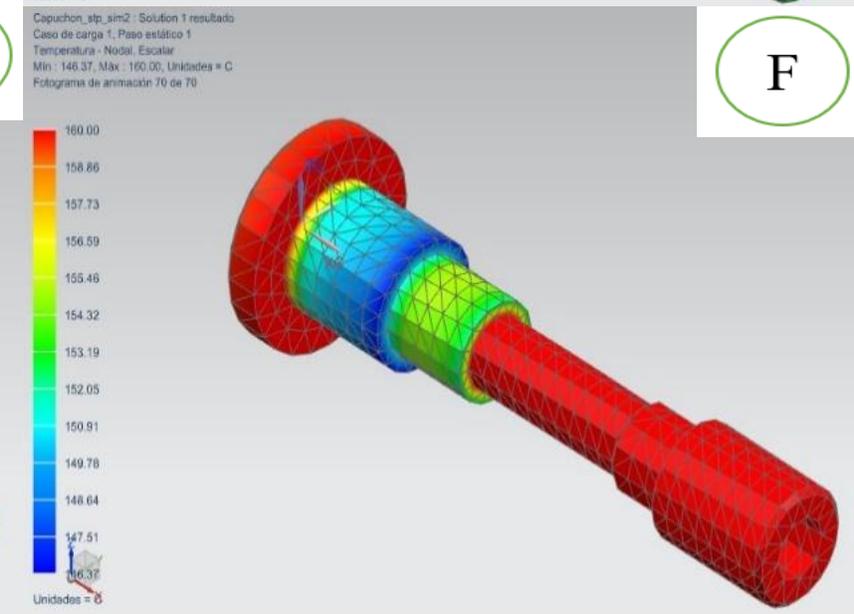
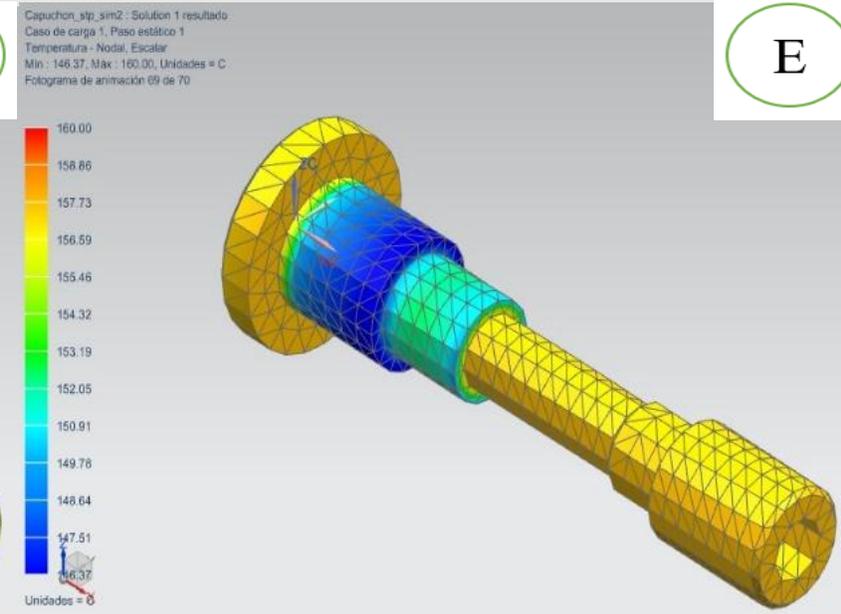
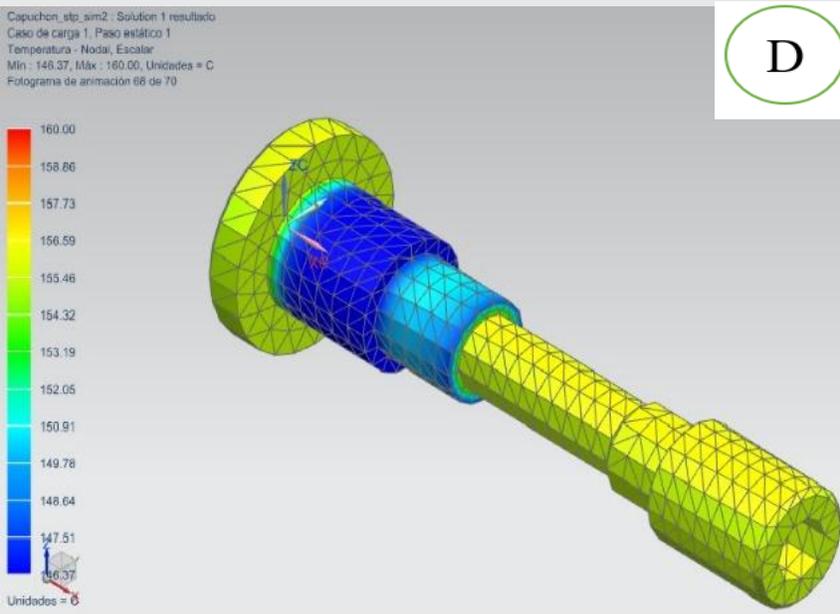
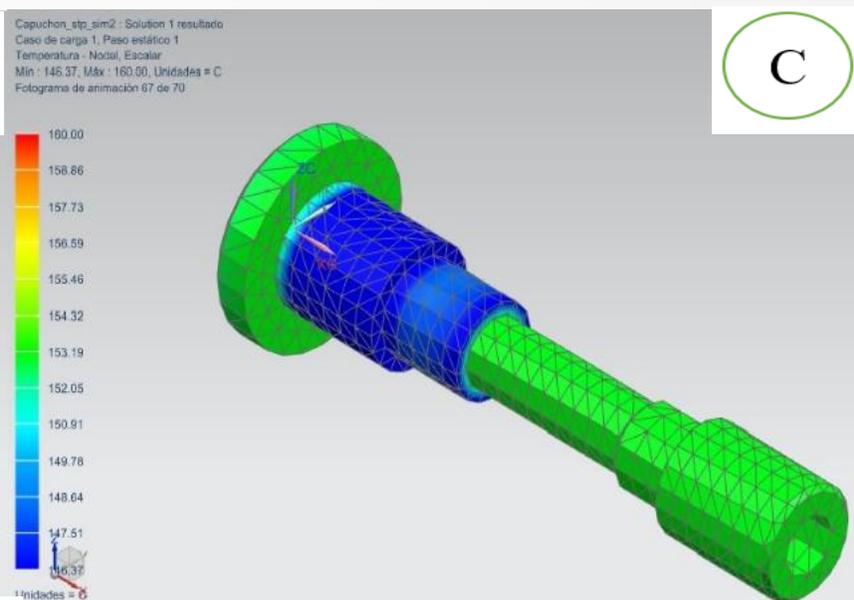
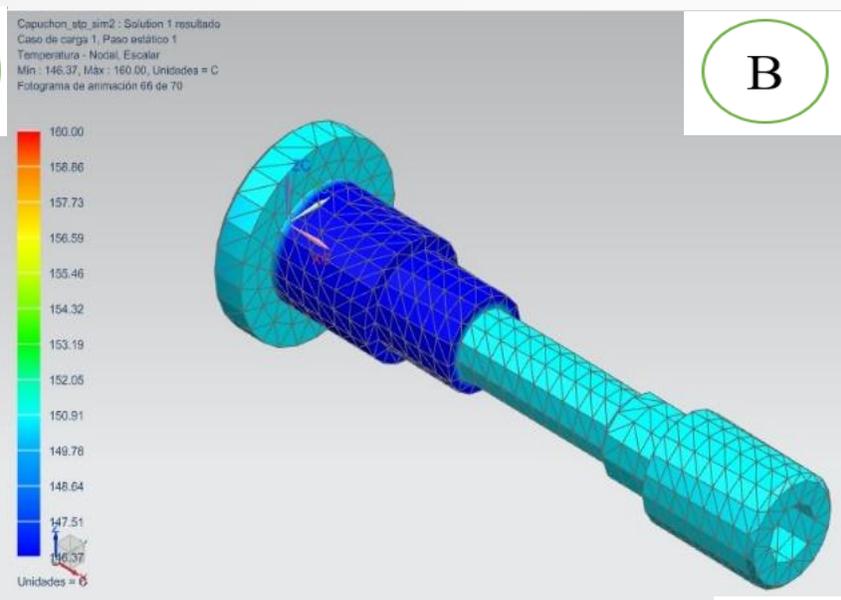
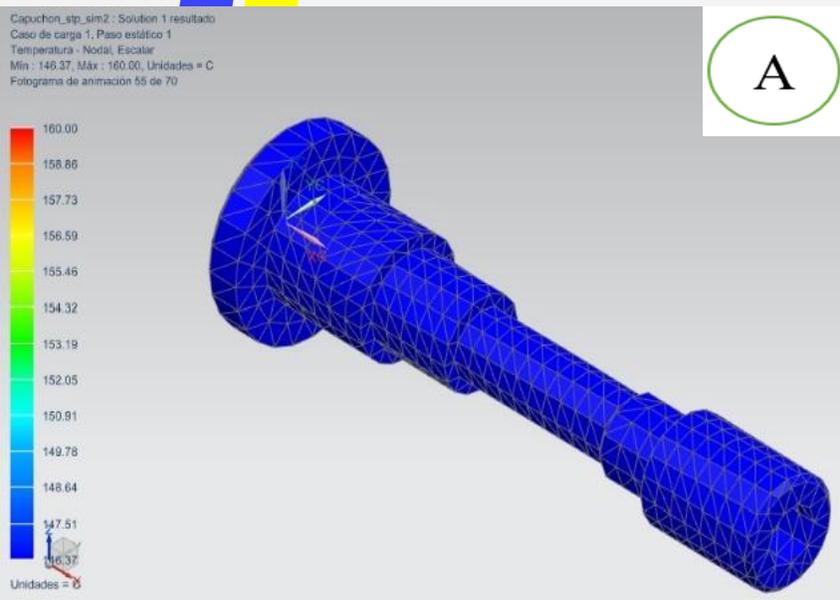
(A) 0 s.	(B) 120 s.	(C) 240 s.
(D) 360 s.	(E) 480 s.	(F) 600 s.

Cuadrantes Temporales

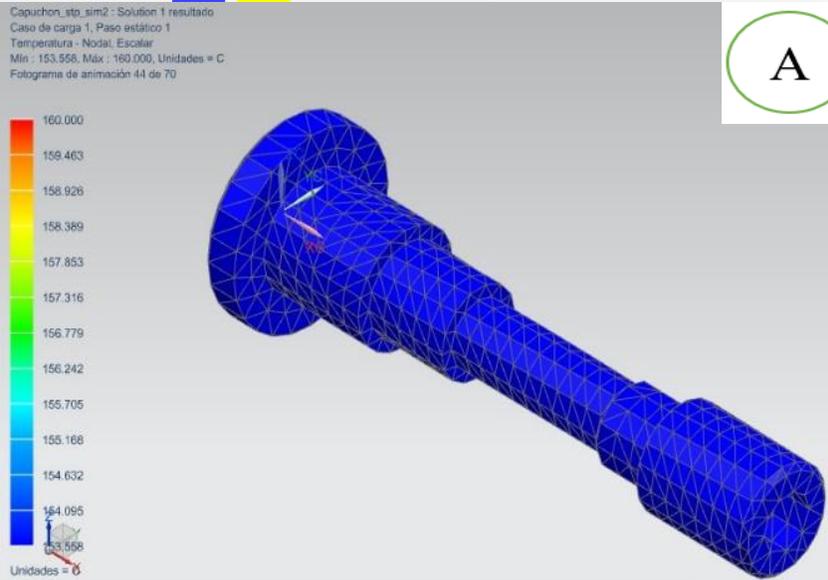
# Resultados Simulación Temperatura Vs Tiempo Polietileno BD



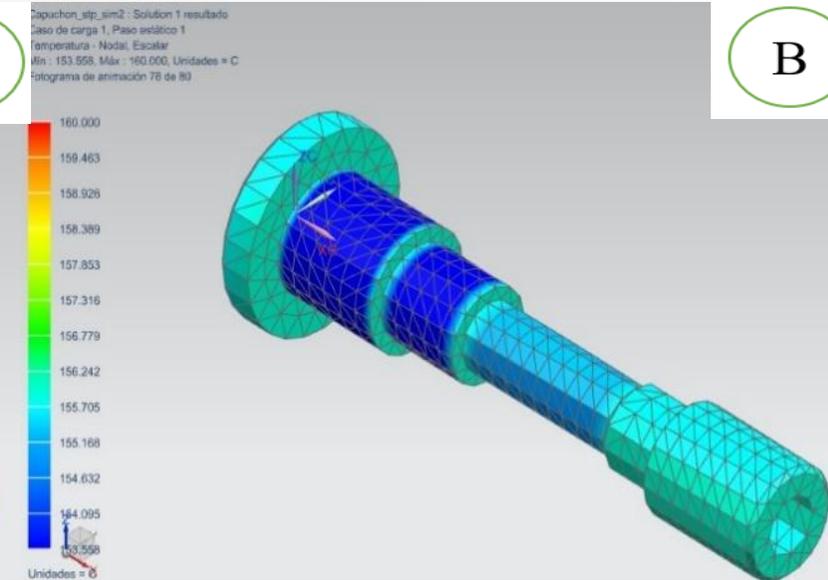
# Resultados Simulación Temperatura Vs Tiempo Polietileno AD



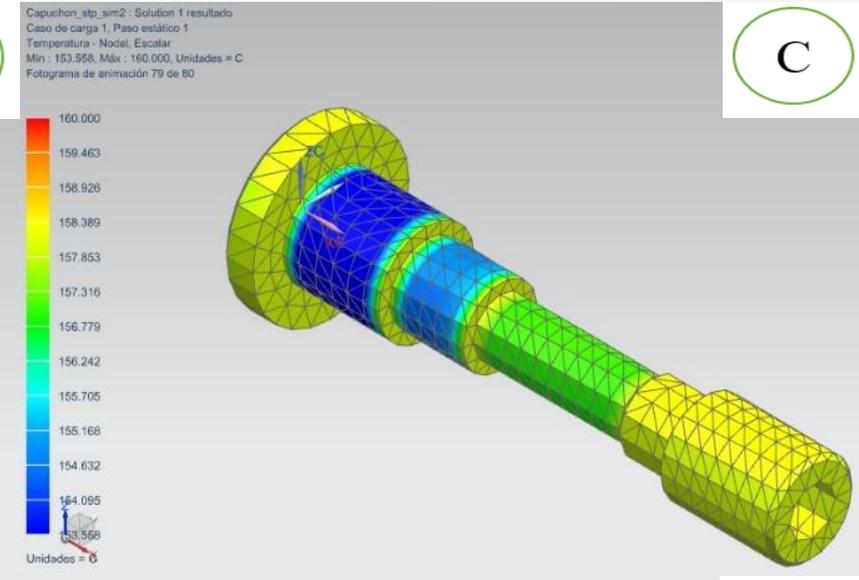
# Resultados Simulación Temperatura Vs Tiempo Poliestireno



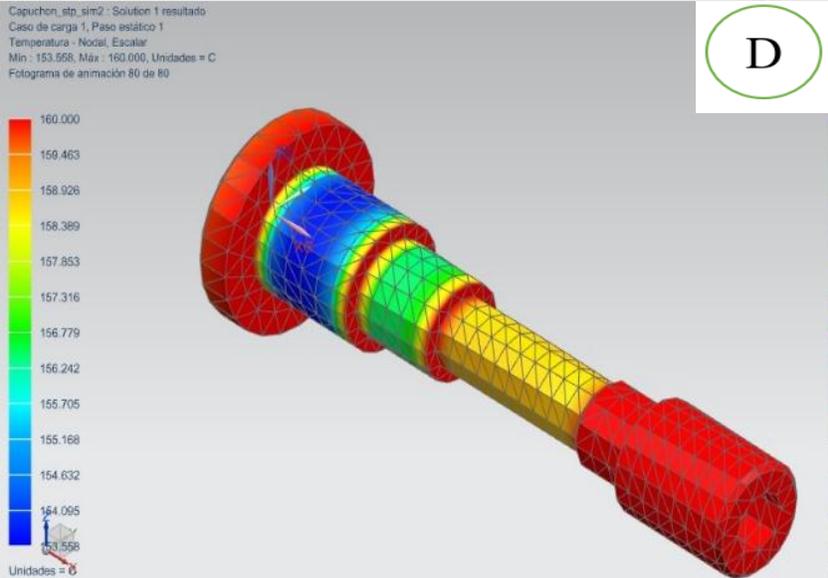
A



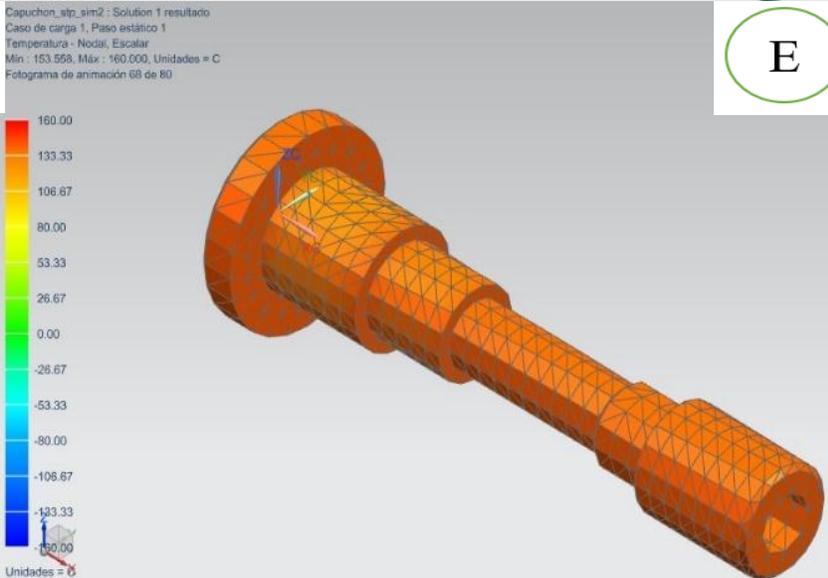
B



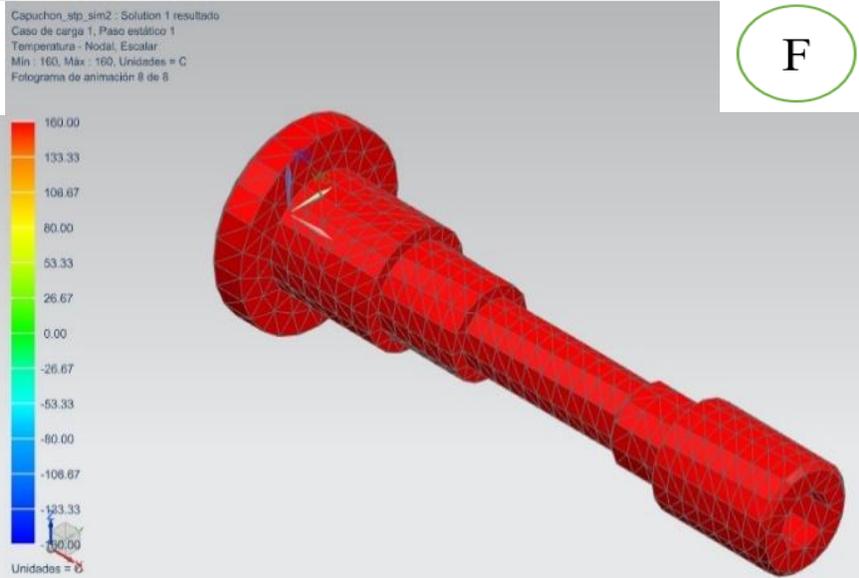
C



D

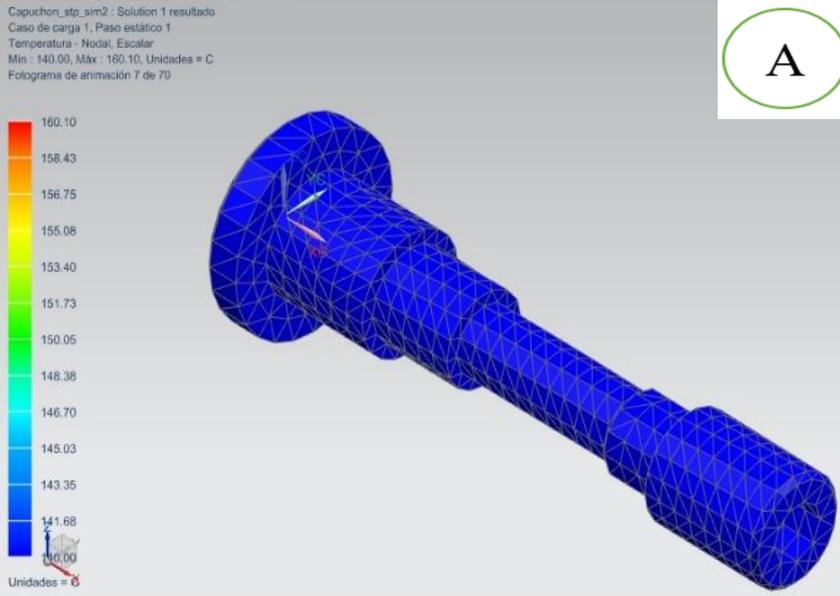


E

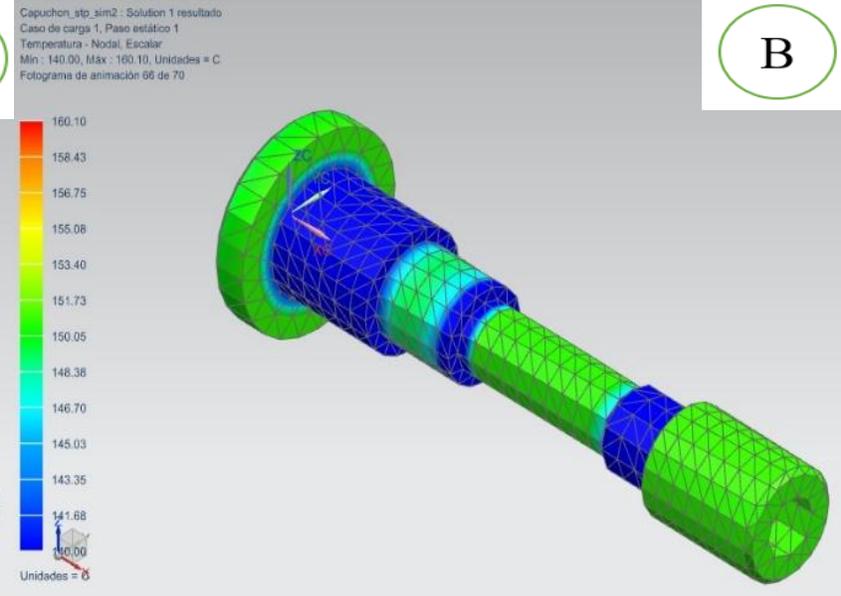


F

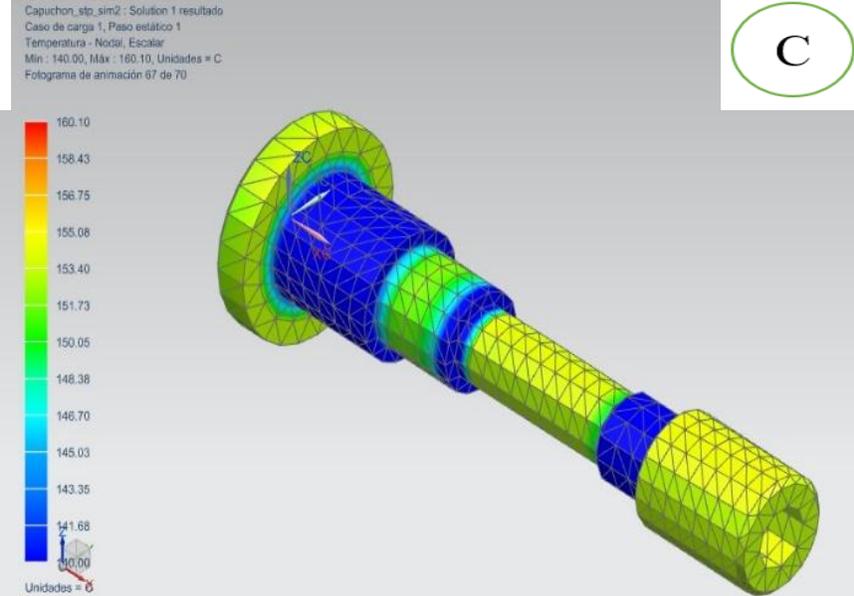
# Resultados Simulación Temperatura Vs Tiempo PVC



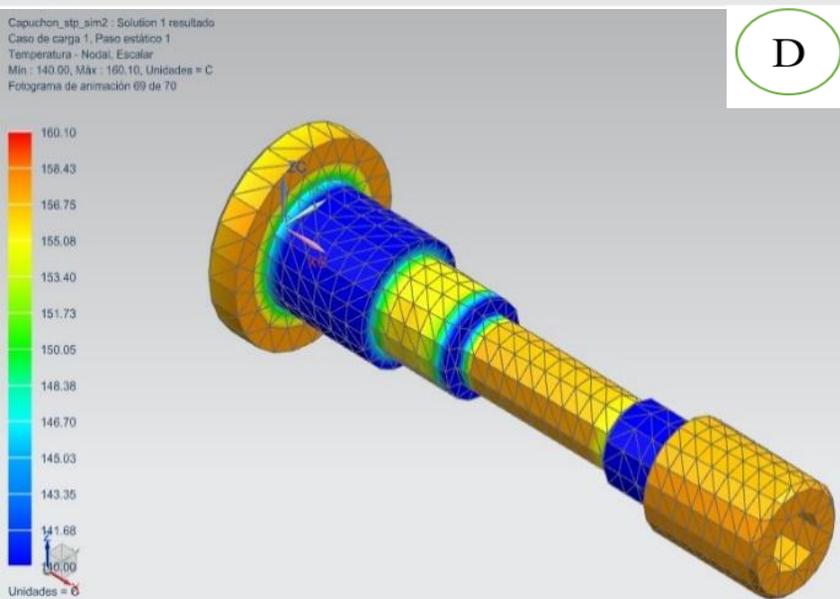
A



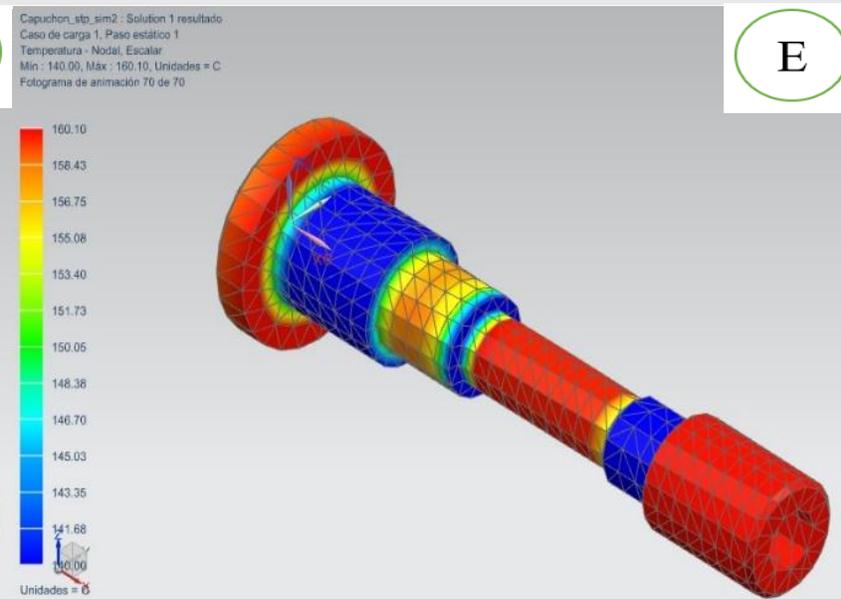
B



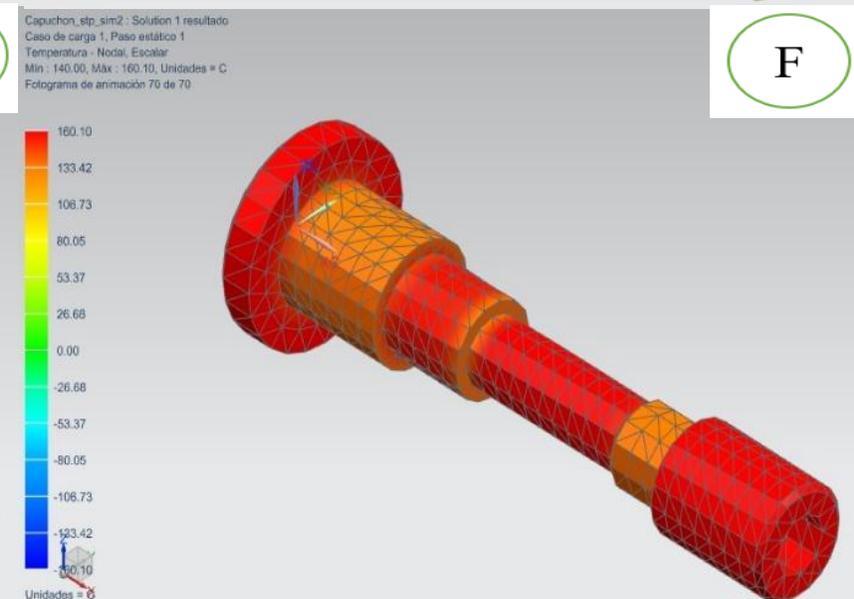
C



D

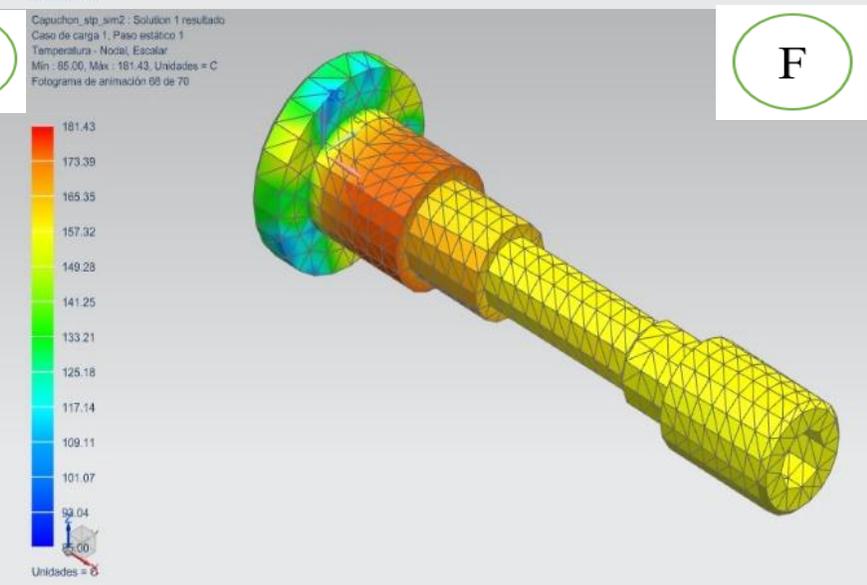
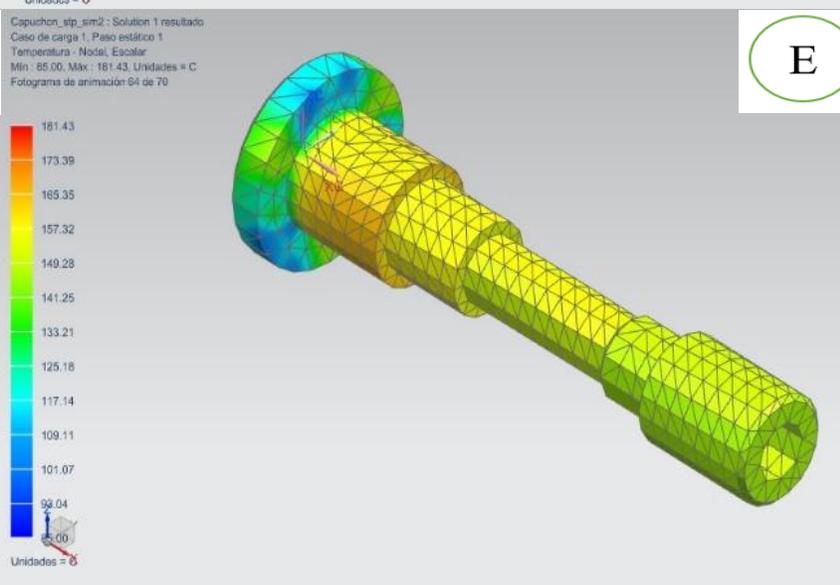
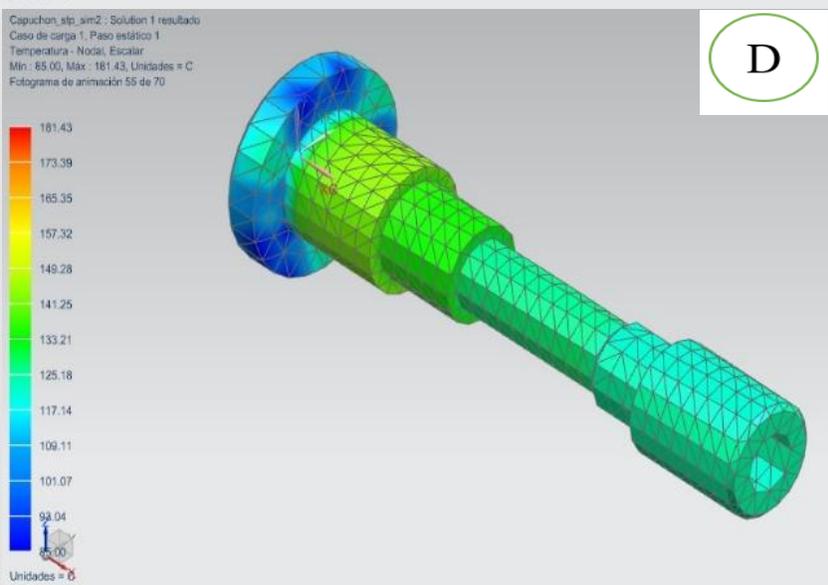
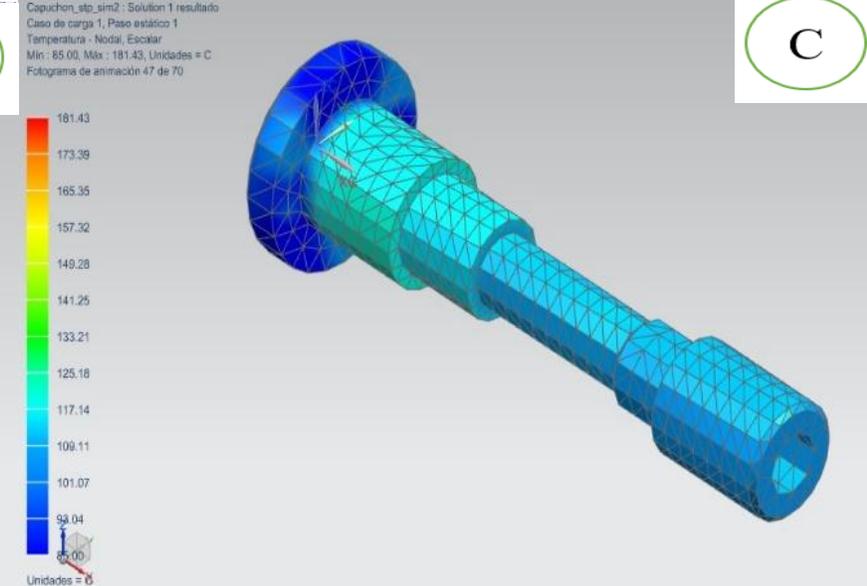
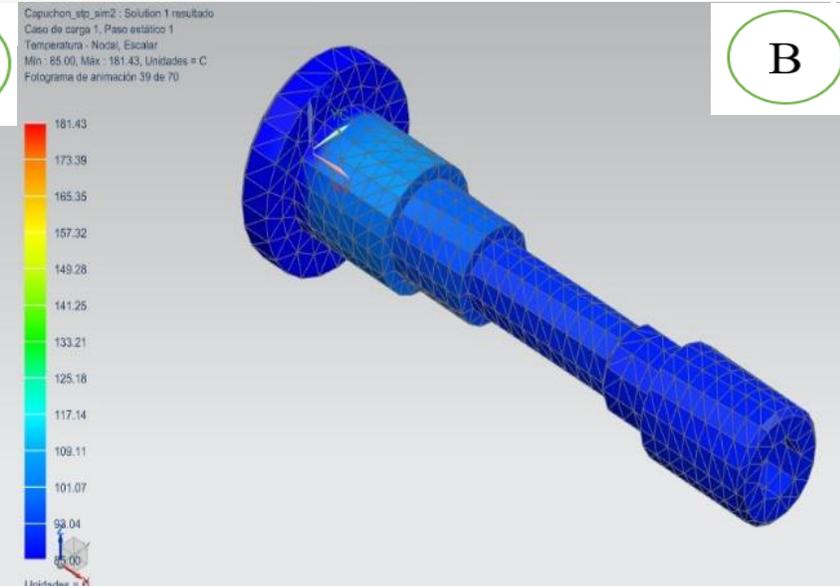
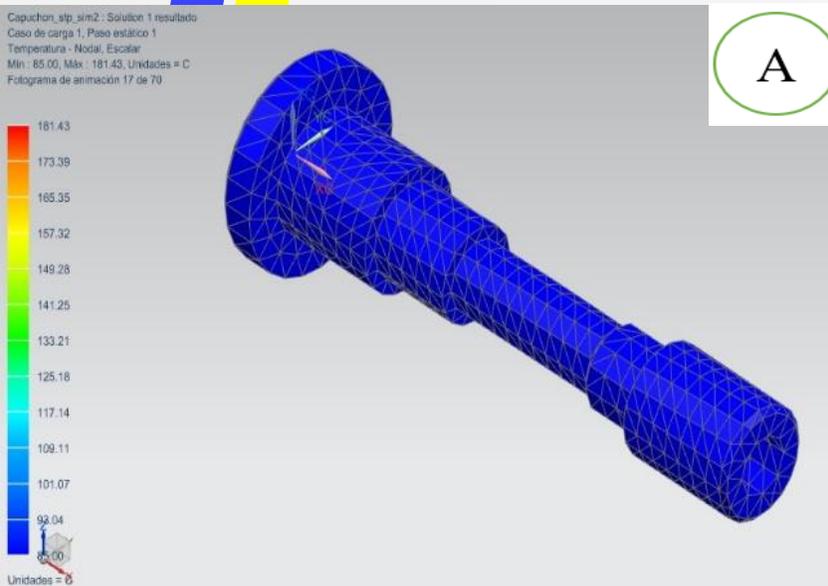


E

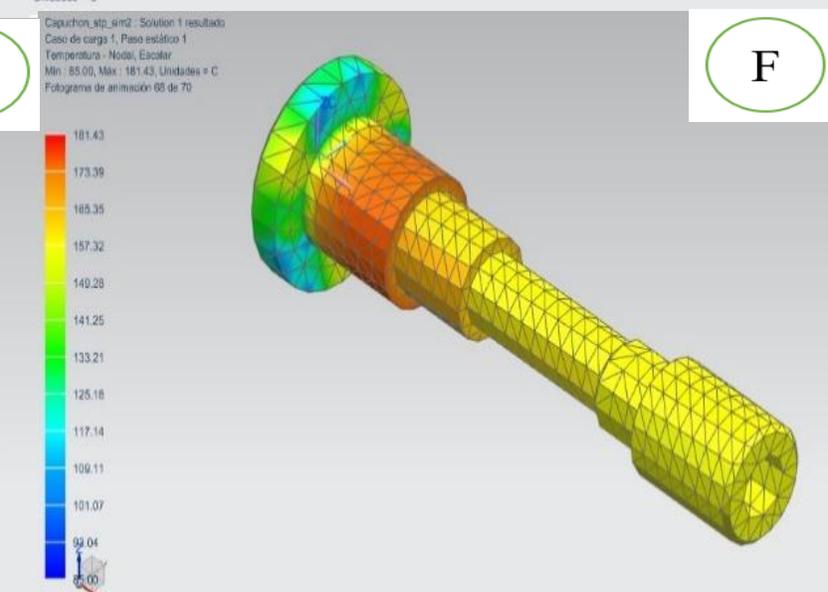
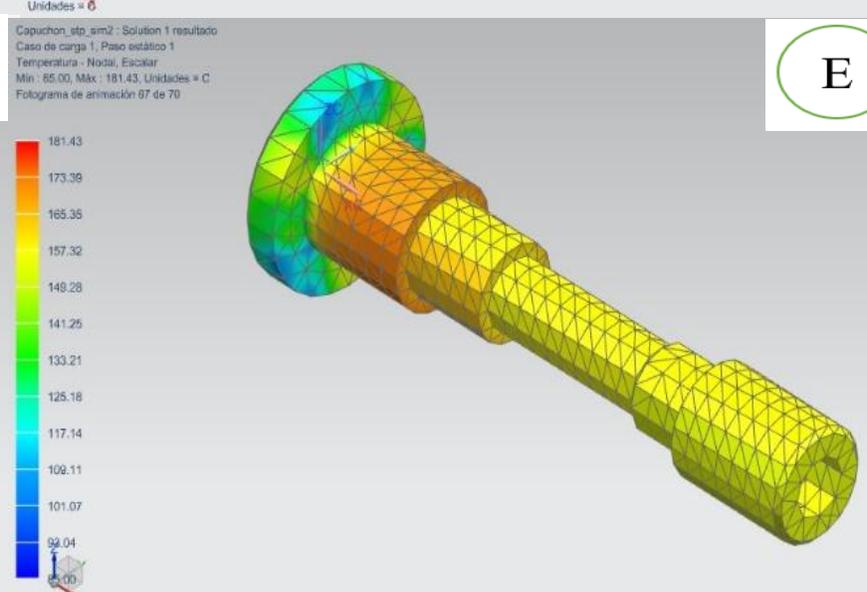
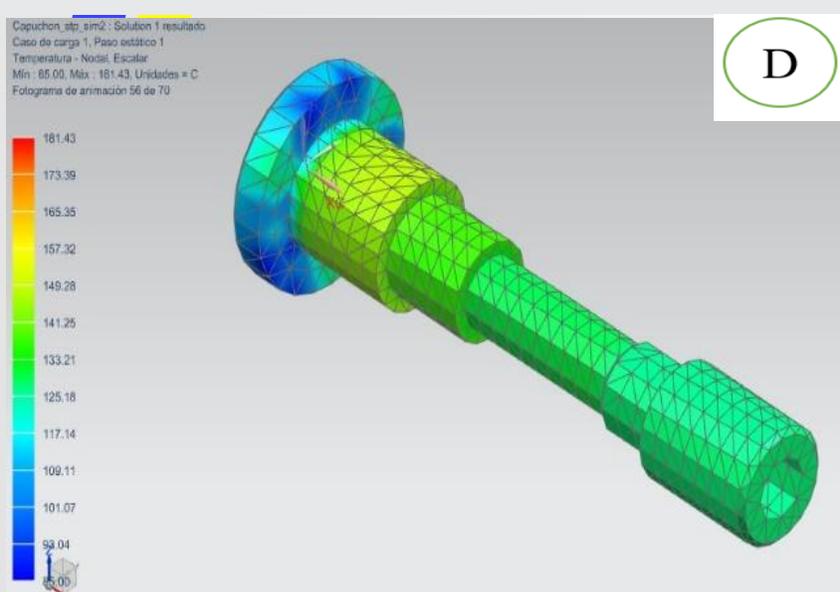
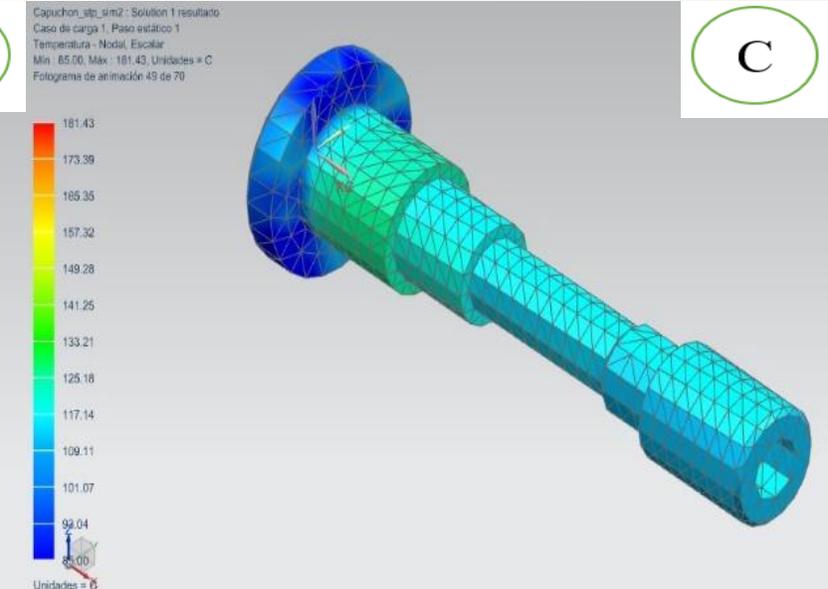
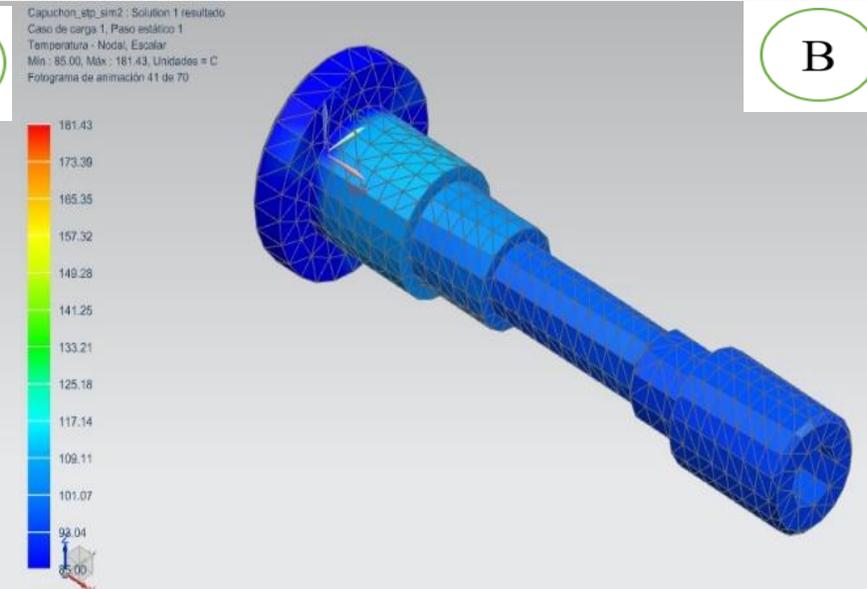
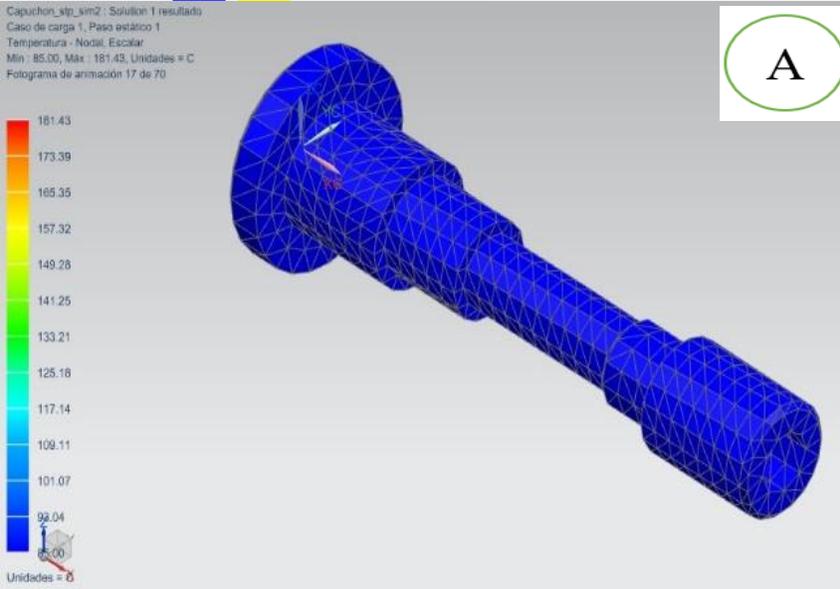


F

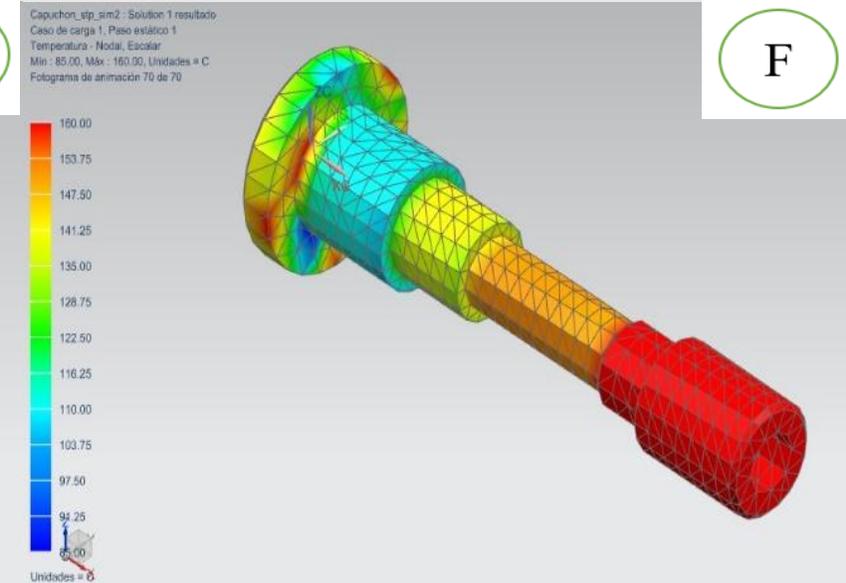
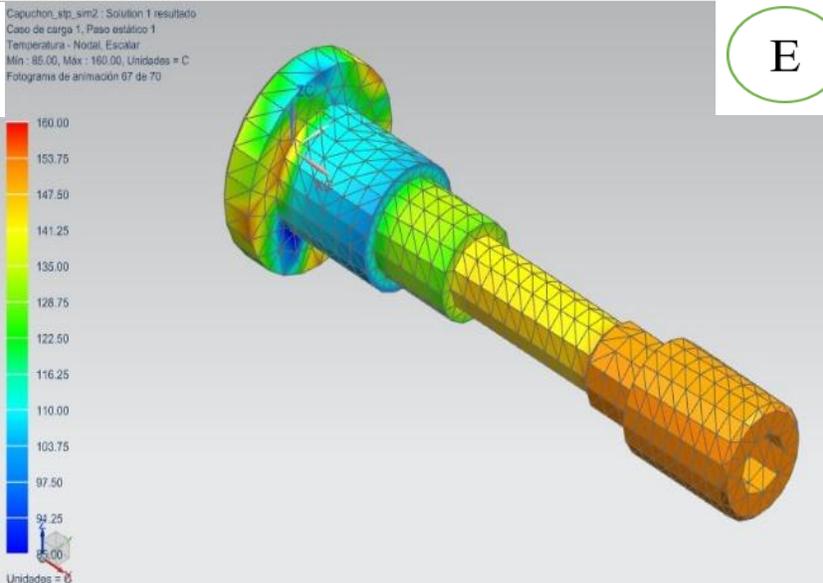
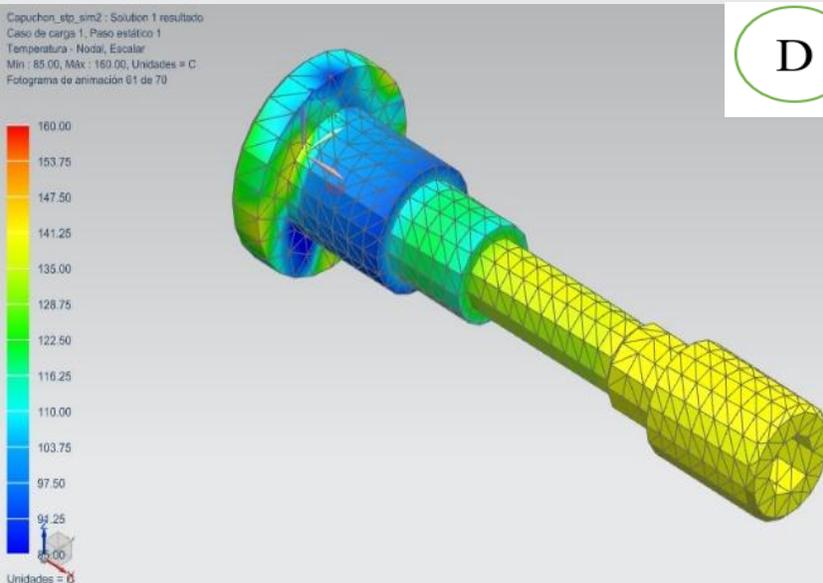
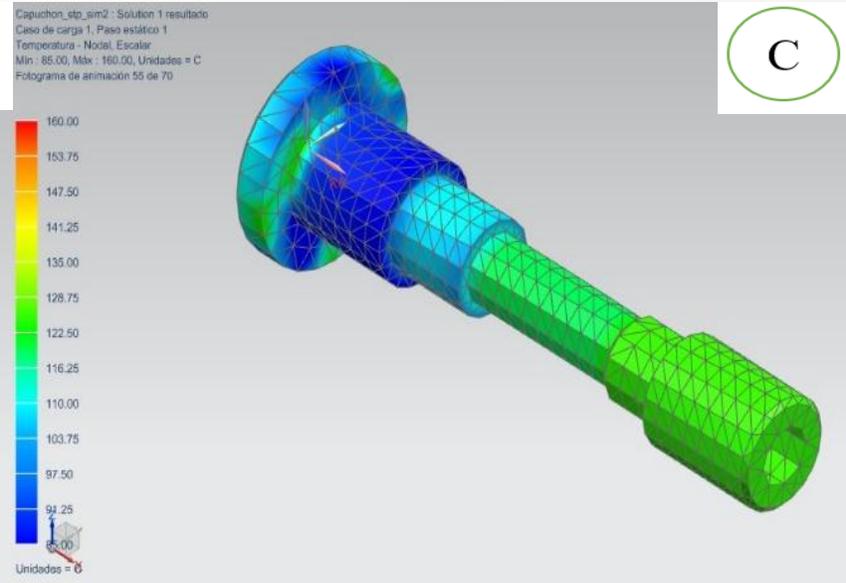
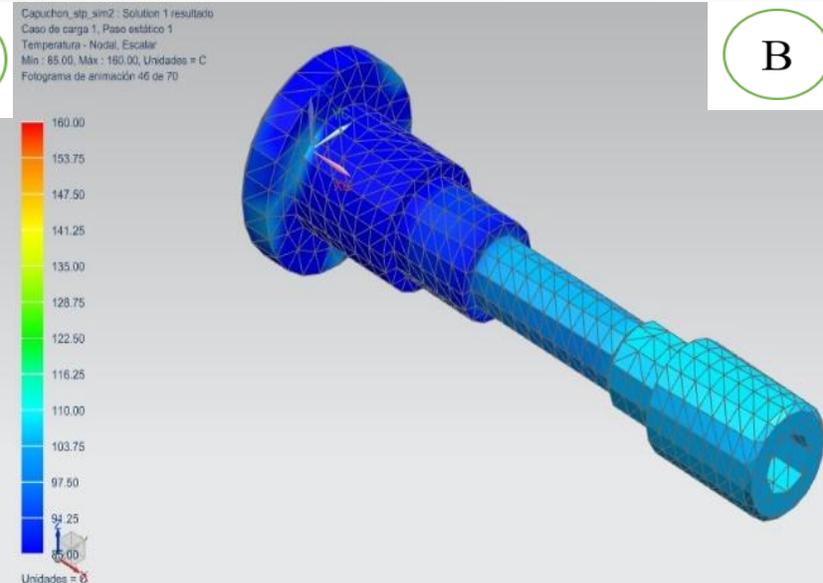
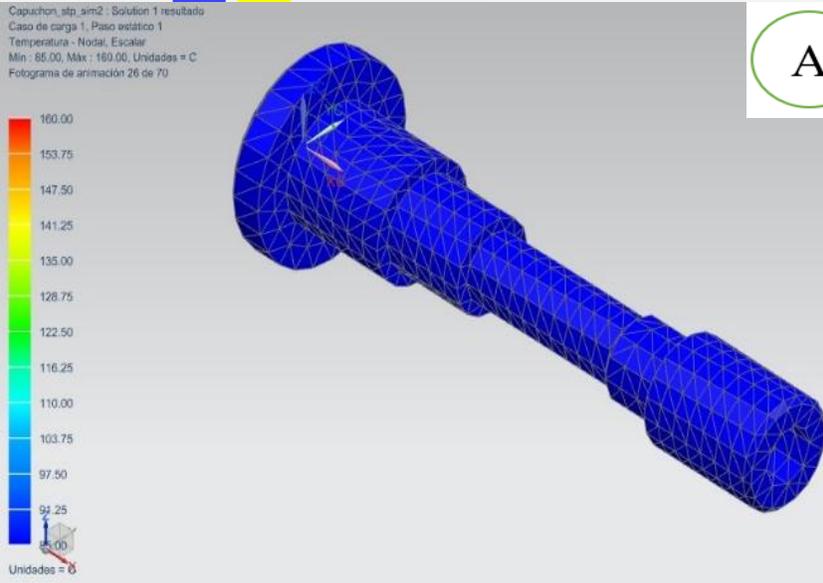
# Resultados Simulación Temperatura Vs Tiempo Nylon



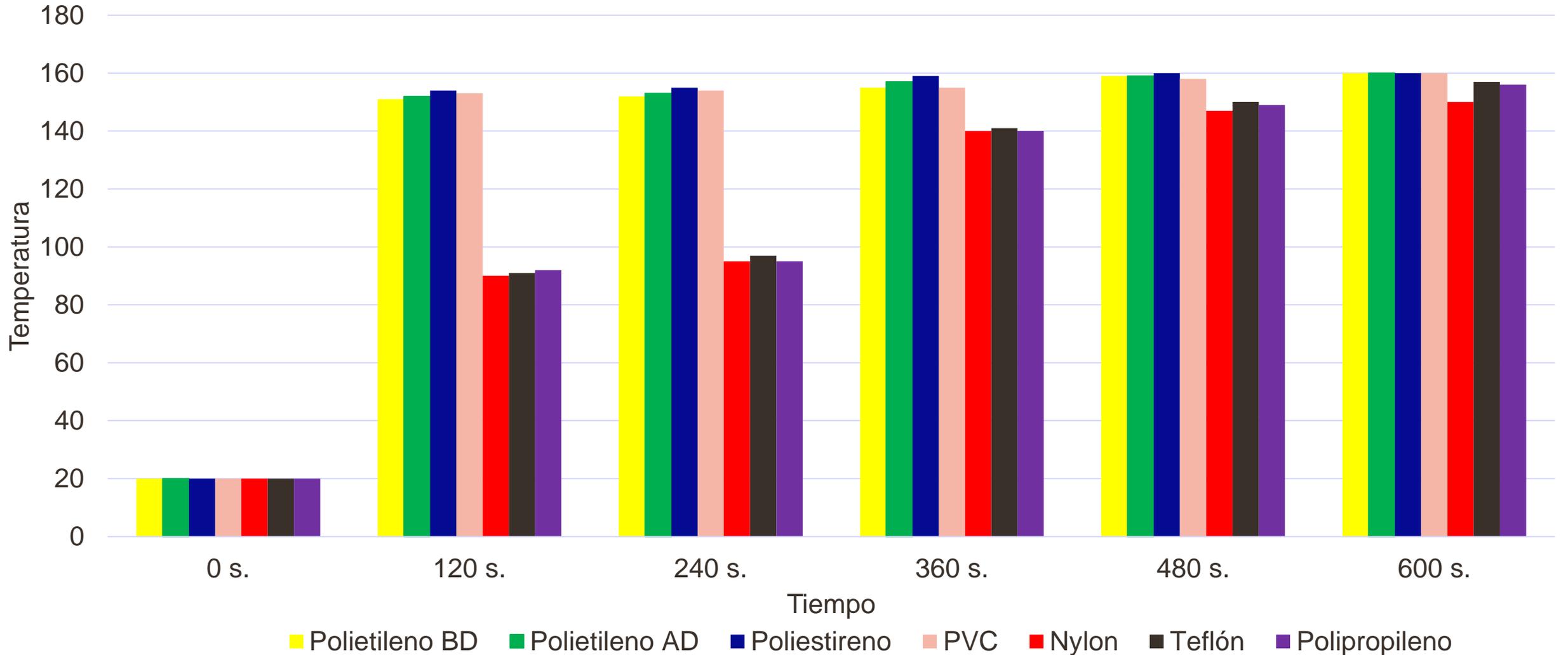
# Resultados Simulación Temperatura Vs Tiempo Teflón



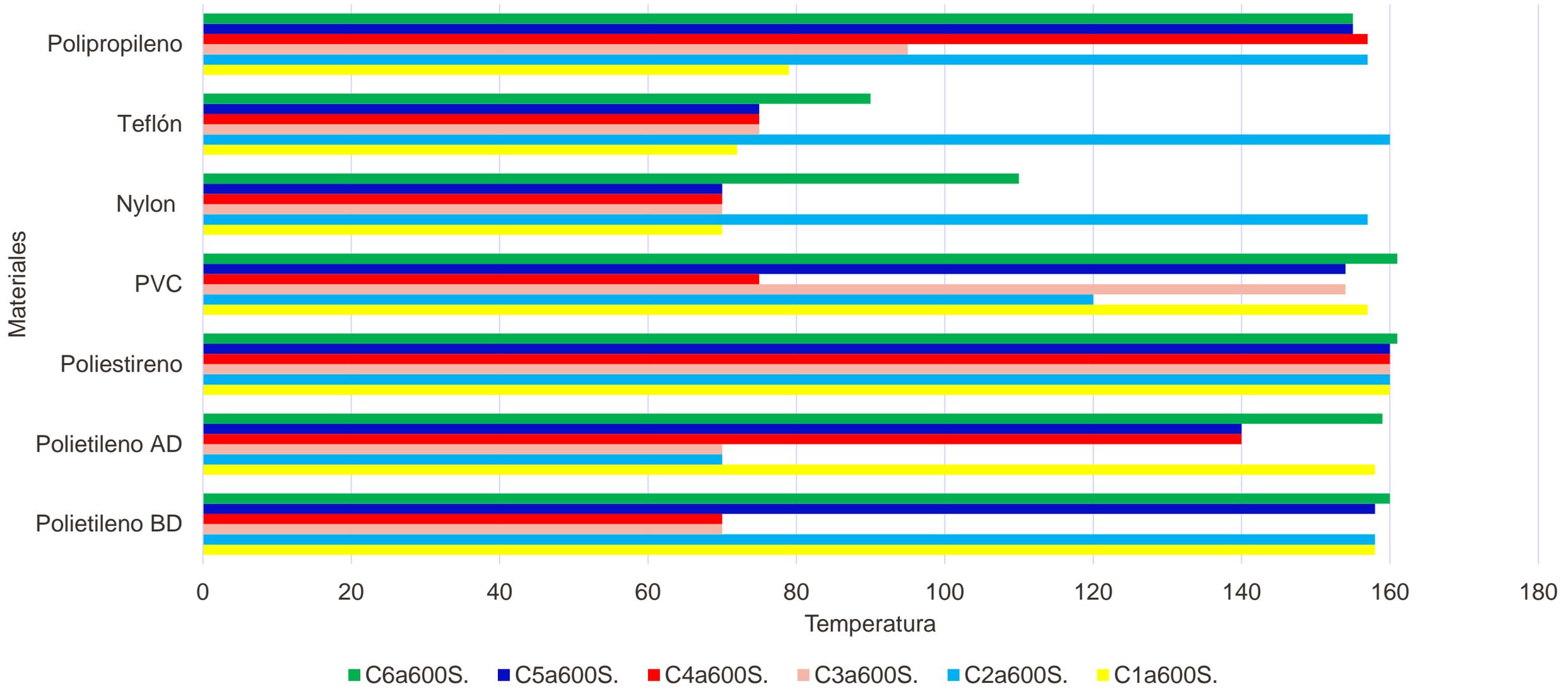
# Resultados Simulación Temperatura Vs Tiempo Polipropileno



# Comparación Resultados Simulación (Global)



# Comparación Resultados Simulación (Por cuadrante)



# 5. EXPERIEMNTACIÓN

## “Degradación Termo Gravitacional (TGA)”



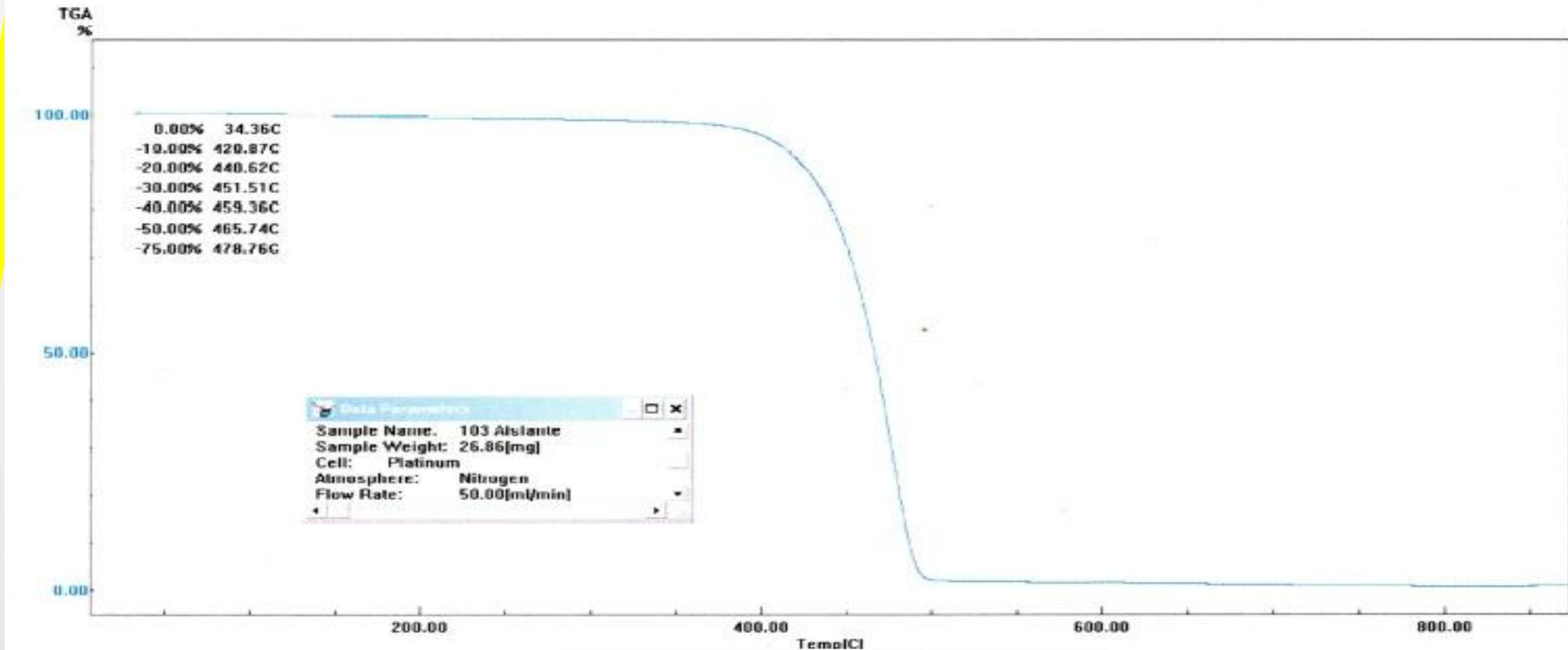
# “Rapid Thermal Degradation of Solid Electrical Insulating Materials By Thermogravimetric Methods (TGA)”

<b><i>Factores</i></b>	<b><i>Características/Valores</i></b>
<b>Laboratorio:</b>	CIAP/EPN
<b>Norma:</b>	ASTM D3850-12
<b>Equipo:</b>	Termobalanza
<b>Velocidad de calentamiento:</b>	10 <sup>0</sup> C/min
<b>Gas:</b>	Nitrógeno
<b>Flujo de gas:</b>	50 ml/min
<b>Crisol:</b>	Platino

Condiciones del ensayo

# Resultados TGA

N DE  
EN UN  
IAL



Pérdida de peso (%)	Temperatura (°C)
10	420,9
20	440,6
30	451,5
40	459,4
50	465,7
75	478,8

# CONCLUSIONES

- Se determinó que, el 66.7% de MCDM, colocan al Nylon como material idóneo para fabricar SPB.
- Se estableció que, la secuencia: selección, simulación prueba es exitosa.
- Mediante el proceso de simulación virtual, se determinó que, en un mismo entorno donde las condiciones de borde son las mismas, el comportamiento térmico de los materiales varía significativamente, siendo la única constante en el cuadrante 6 el cual suele ser el más afectado incluso en el material original (Silicón).
- Se determinó que, al ser el Nylon un material de fácil acceso en el Ecuador, construir SPB, es una tarea accesible incluso dentro del campo artesanal, ya que se podría mecanizar el Nylon en un torno tradicional.
- Se estableció que, para que se cumpla el proceso de asilamiento dieléctrico del SPB construido con Nylon, son determinantes las dimensiones.

# REFERENCIAS

- Bosch. (2011). Single fire coil P35-T data sheet. *Bosch Motorsport*, 3.
- Caliskan, H., Kursuncu, B., Kurbanglu, C., & Güven, S. (2013). Material selection for the tool holder working under hard milling conditions using different multi criteria decision making methods. *Materials & Design*, 45, 473-479.
- Chérrez-Troya, M., Martínez-Gómez, J., Peralta-Zurita, D., & Llanes-Cedeño, E. (2018). Métodos multicriterio aplicados en la selección de un material para discos de freno. *Ingenius*, 12.
- Company, D. (2007). Dow LDPE 132G. *Dow products*, 4.
- Company, S. S. (2008). Ignition Accesorioes. *Ignition accesorioes*, 34.
- Estrada García, J. M. (2002). Asignación de pesos no subjetivos para la evaluación. *D. D. Federal*, 54.
- Ferrer J., M. I., & Salas, J. M. (2013). Dimensionado de un sistema térmico solar mediante simulación y su validación energética; Sizing of a solar thermal system by means of simulation and their energy validation. *Ingeniería Energética*, 12.
- Front Pérez, M., & Hernández Arias, F. L. (2011). Estudio de los principales proceso que originan emisiones de gases a la atmósfera. *Ciencias Holguín*, 10.
- Funk, W., & Eiler, T. L. (2003). Apparatus and method for combustion initiation. *United States Patent*, 19.
- Girbal, P., & Amalvy, J. I. (2016). Desarrollo y evaluación de electrolitos poliméricos con aplicaciones en baterías de litio. *In Investigación Joven (Vol. 3)*.
- Girubha, R. J., & Vinodh, S. (2011). Application of fuzzy VIKOR and enviromental impact analysis for material selection of an automotive component. *Materials and Design*, 9.
- Goodfellow. (5 de 10 de 2018). Obtenido de [http://www.goodfellow.com/catalogue/GFCat4l.php?ewd\\_token=7DKGfX1ZAZsn5kSKwj3b7NGmooskD&n=IZsegnMjf5OHYrXe7qaosywEUNHNUx&ewd\\_urlNo=GFCatSeaRed6&Catite=ET317920&CatSearNum=2](http://www.goodfellow.com/catalogue/GFCat4l.php?ewd_token=7DKGfX1ZAZsn5kSKwj3b7NGmooskD&n=IZsegnMjf5OHYrXe7qaosywEUNHNUx&ewd_urlNo=GFCatSeaRed6&Catite=ET317920&CatSearNum=2)
- Goodfellow. (5 de 10 de 2018). *Todos los materiales para Investigación Científica y Fabricación*. Obtenido de <http://www.goodfellow.com/S/Polietileno-Alta-Densidad.html>