



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA PETROQUÍMICA

**TEMA: “DESARROLLO DE COMPUESTOS DE POLICLORURO DE VINILO (PVC) CON RETARDANTE DE LLAMA, PARA SU USO COMO MATERIAL DE RECUBRIMIENTO DE CABLES ELÉCTRICOS EN LA EMPRESA MILLPOLIMEROS S.A. EN LA CIUDAD DE AMBATO-ECUADOR.”**

**AUTOR: WILSON FRANCISCO MALAVÉ VACA.**

**DIRECTOR: LIC. VIRGINIA VALBUENA PhD.**

**LATACUNGA - 2018**



Introducción

Revisión bibliográfica

Justificación e importancia

Objetivos

Metodología experimental

Resultados y discusiones

Conclusiones

Recomendaciones

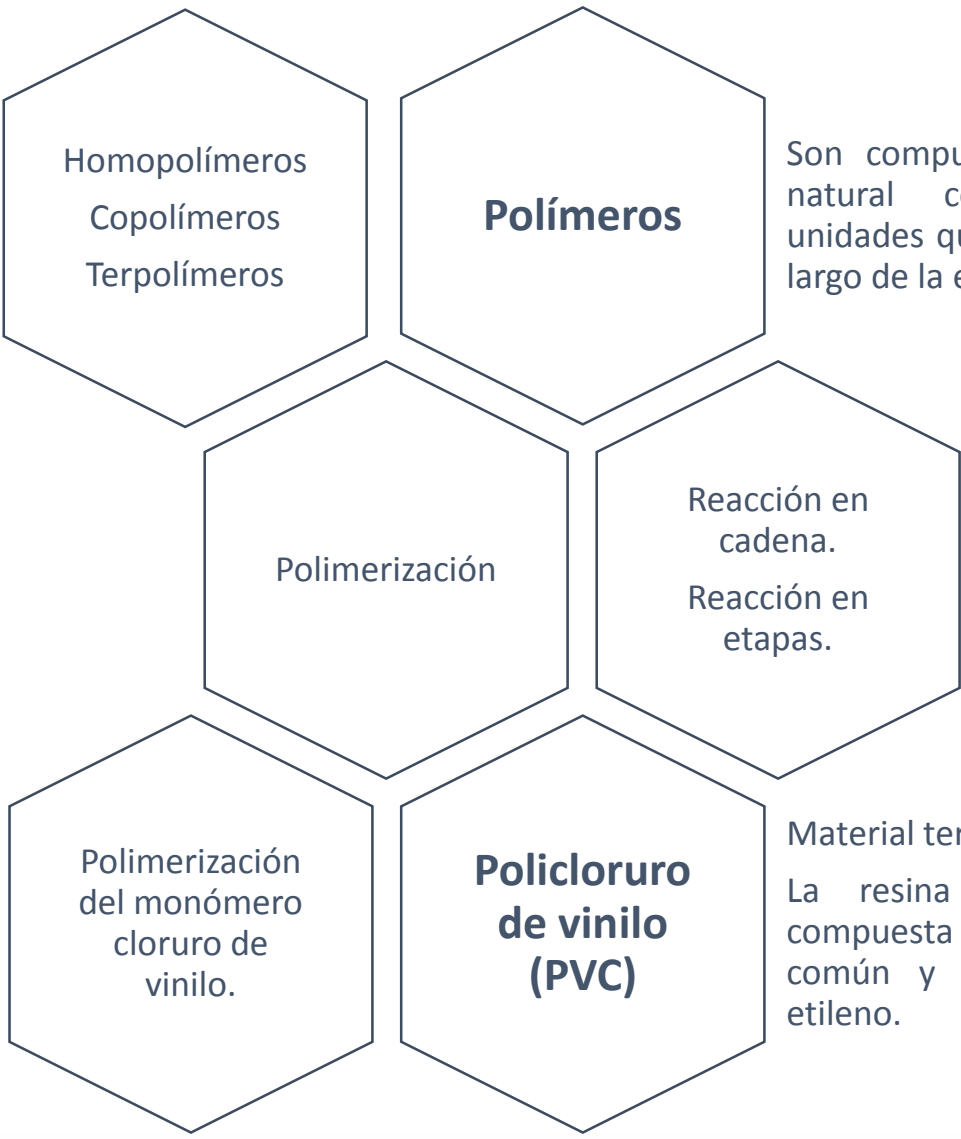
La empresa MILLPOLIMEROS S.A. fundamenta su actividad económica en la fabricación y comercialización de compuestos rígidos y flexibles de PVC

La empresa pretende ampliar su producción.

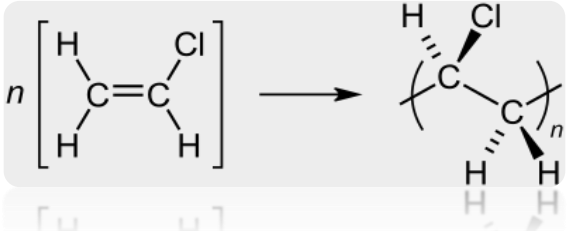
Mejorar Propiedades físicas, mecánicas y térmicas

Desarrollo de compuestos de PVC para recubrimiento de cables eléctricos.

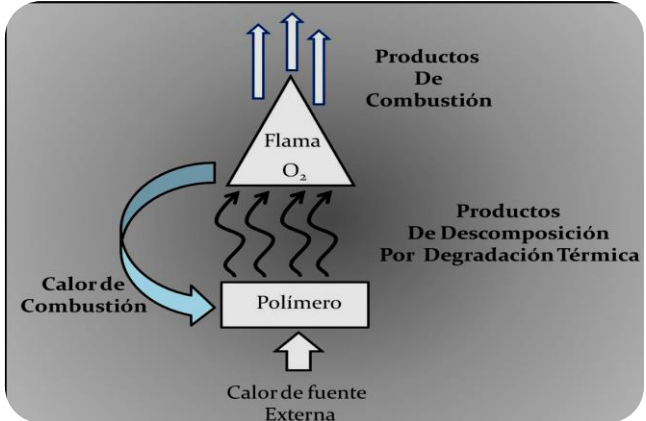
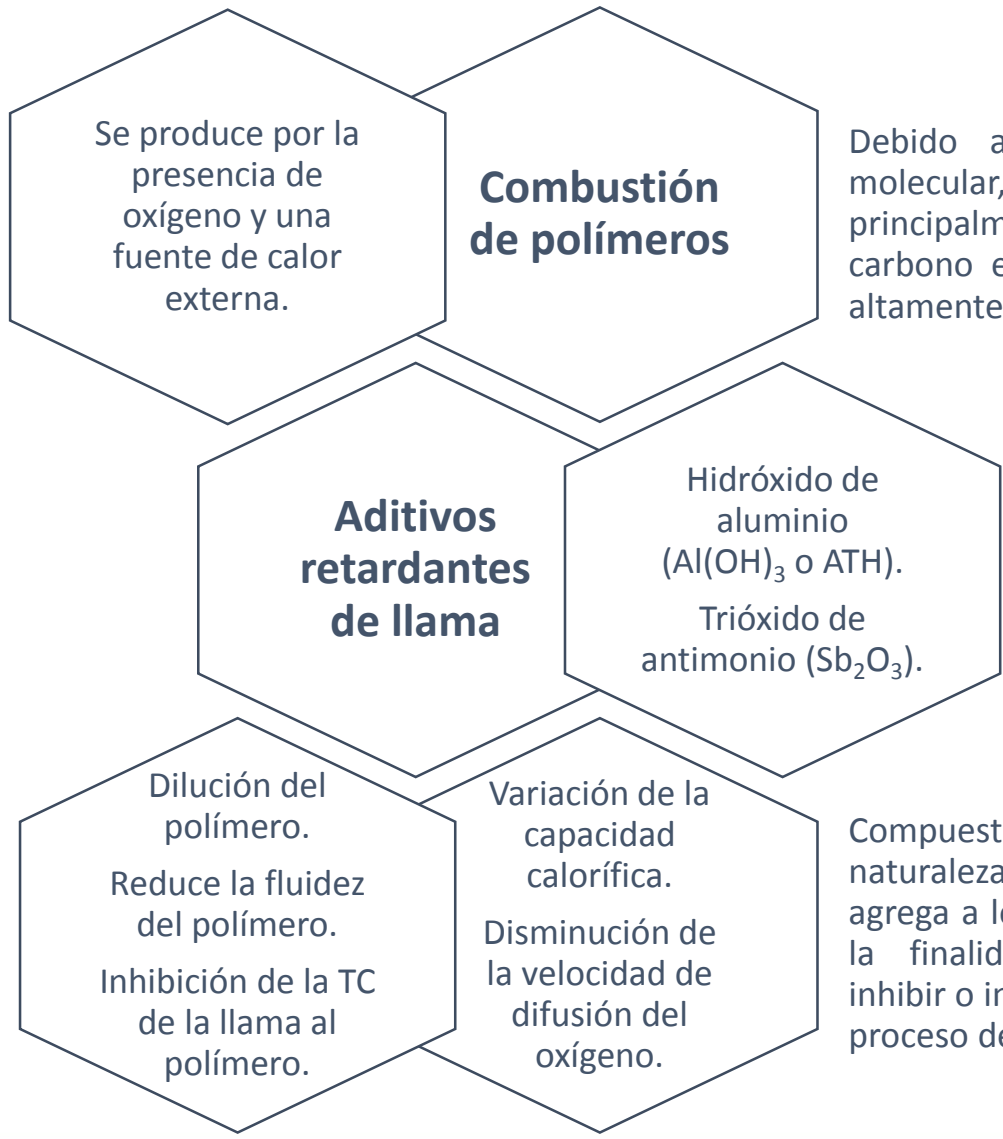




Son compuestos de origen natural constituidos por unidades que se repiten a lo largo de la estructura.



Material termoplástico.  
La resina de PVC está compuesta en un 57% de sal común y en un 43% de etileno.



Compuestos de diversa naturaleza química que se agrega a los polímeros con la finalidad de reducir, inhibir o incluso suprimir el proceso de combustión.

Referencia de la imagen:

Cabrera Álvarez, E. N. (2014). *Estudio de nanocompuestos a base de polietileno con hidróxido de magnesio e hidrotalcita como retardante de flama. Efecto de agentes de acoplamiento y de compatibilización.*



**Alambre:** se componen de un hilo conductor eléctrico sólido cubierto o no por un material de aislamiento.

**Cable:** estructura que contiene en su interior uno o varios hilos conductores o alambres de baja sección.



Está constituido por una resina base y aditivos que le confieren propiedades mecánicas, físicas y térmicas características.

Basfar, en 2002, reporta el estudio del efecto de la combinación de aditivos retardantes de llama en función del rendimiento del límite de índice de oxígeno (LOI) en los compuestos desarrollados, alcanzando hasta un 31 % de LOI.

- *Effect of various combinations of flame-retardant fillers on flammability of radiation cross-linked poly(vinyl chloride) (PVC)*

Basfar, en 2001, reporta el estudio de las propiedades del PVC reticulado, variando el tipo de plastificante y los rellenos retardantes de llama en alambres y cables eléctricos, obteniéndose un porcentaje de LOI máximo de 36 %.

- *Flame retardancy of radiation cross-linked poly(vinyl chloride) (PVC) used as an insulating material for wire and cable.*

Zhang y colaboradores, en 2014, analizaron la acción del Hidróxido de Aluminio (ATH) y Trióxido de Antimonio ( $\text{Sb}_2\text{O}_3$ )

- *Research of the properties of flame-retardant flexible PVC.*

Wang y colaboradores, en 2013, mediante radiación infrarroja como fuente de calor y la medición de la resistencia de aislamiento analizaron el efecto de protección de los recubrimientos de PVC para cables con retardantes de llama.

- *The protective effect of a fire-retardant coating on the insulation failure of PVC cable.*



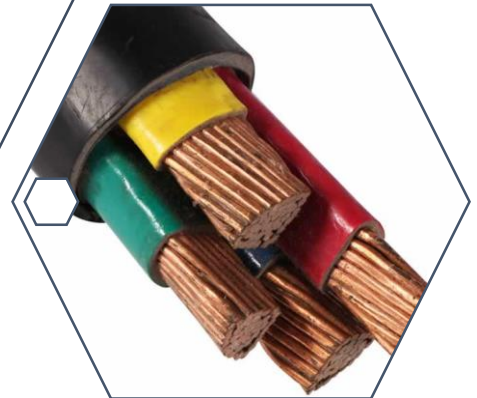


Cambio de la matriz productiva en el Ecuador



Ampliar el mercado diversificando el uso del PVC

Impulso en los sectores productivos: telecomunicaciones infraestructura construcción



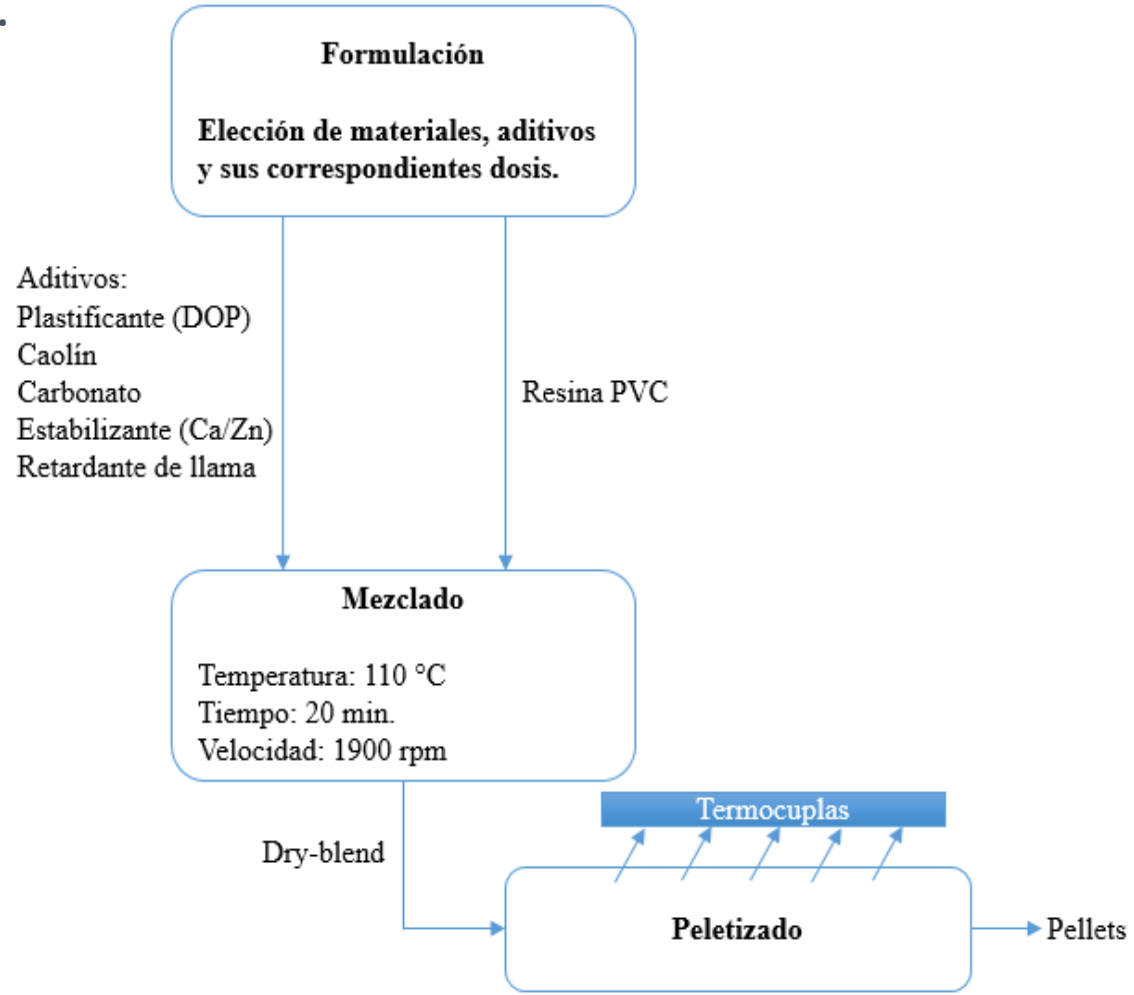
## Objetivo general

- Desarrollar compuestos de Policloruro de Vinilo (PVC) con retardante de llama, para su uso como recubrimiento de cables eléctricos, en la empresa MILLPOLIMEROS S.A.

## Objetivos específicos

- Realizar formulaciones para el desarrollo de los compuestos de cable.
- Producir los compuestos formulados a escala de laboratorio.
- Realizar caracterización fisicoquímica y mecánica de la materia prima y los compuestos desarrollados, con la finalidad de verificar si cumplen o no con los parámetros establecidos para su comercialización, así como comprobar la efectividad de la modificación.
- Efectuar un análisis comparativo del desempeño de los compuestos desarrollados para establecer cuál de todas las formulaciones resulta ser la más satisfactoria.

Diagrama del proceso de elaboración de compuestos.



## Formulación de compuestos de cables de PVC con retardantes de llama.

Componentes	Dosis (phr)
<b>Compuesto de cable base</b>	
Resina PVC	100
Plastificante (DOP)	53
Carbonato	30
Caolín	9
Estabilizante (Ca/Zn)	6
<b>Compuestos con un aditivo sobre la mezcla base.</b>	
$Sb_2O_3$	0 – 2 – 4
ATH	2,5 – 5 – 10
<b>Compuestos con mezclas de aditivos sobre la mezcla base</b>	
Dosis fija de $Sb_2O_3$	2
ATH	10 – 15 – 20

## Caracterización de los compuestos

**Ensayos físicos y mecánicos**

Densidad
Dureza Shore
Tracción-elongación
Envejecimiento acelerado
Índice de fluidez

**Condiciones de ensayo**

ASTM D792-08, 2008
ASTM D2240-03, 2003
UL 83
UL 83
ASTM D3364-99, 1999 ASTM D1238-04, 2004

## Caracterización de los compuestos



### Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

- Método: Dinámico (calentamiento)
- Temperatura de inicio: 30 °C
- Temperatura de finalización: 360 °C
- Velocidad de calentamiento: 10 °C/min
- Atmósfera: Nitrógeno (N<sub>2</sub>)

Análisis térmicos.

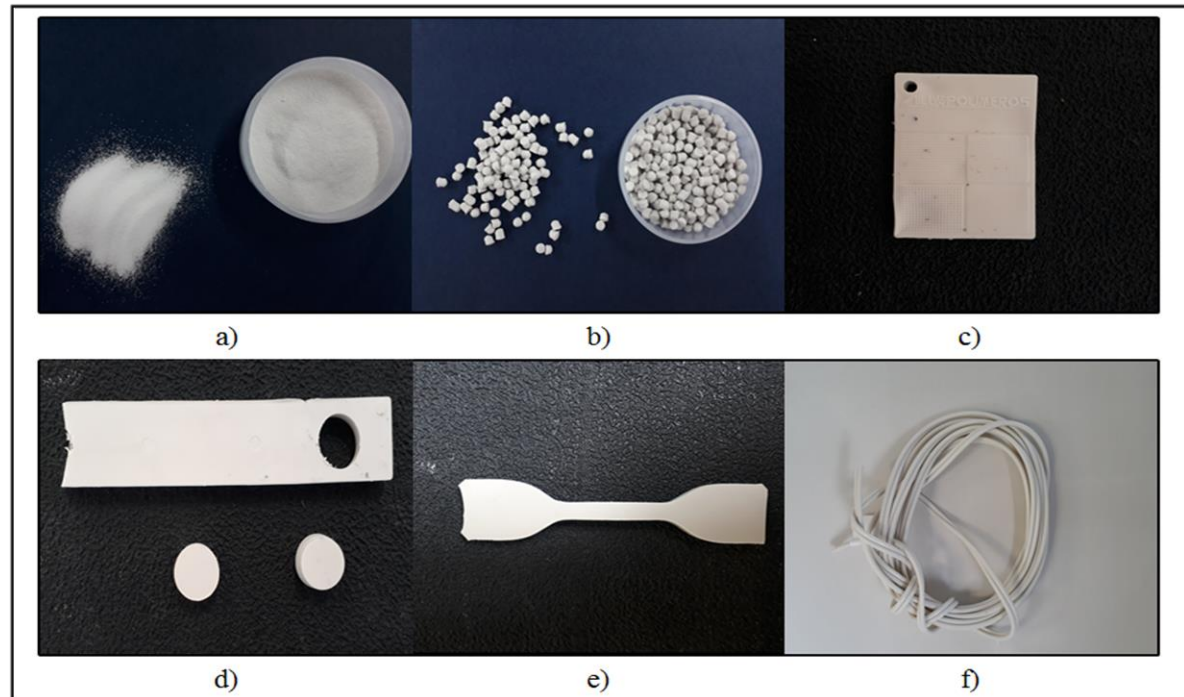


### Análisis Termogravimétrico (TGA)

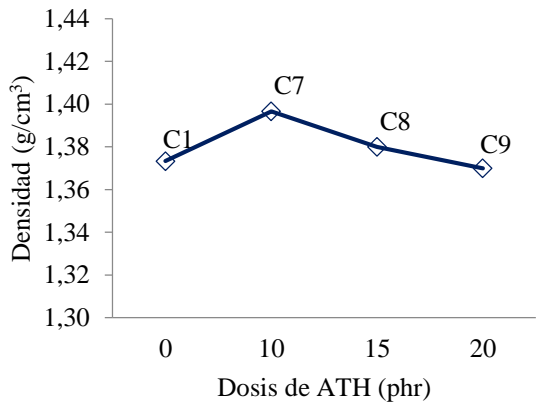
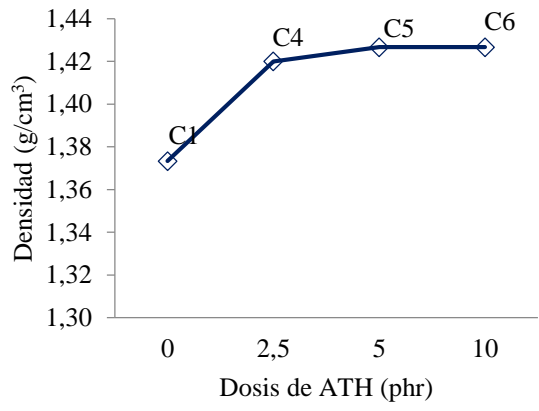
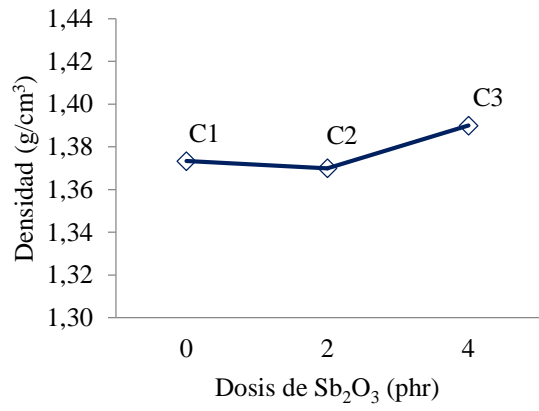
- Fase 1: Temperatura del horno a 30 °C durante 30 segundos.
- Fase 2: Calentamiento de 30 °C a 600 °C a 10 °C/min, en atm. de N<sub>2</sub>.
- Fase 3: A 600 °C se sustituye la atmósfera de N<sub>2</sub> por aire.
- Fase 4: Calentamiento de 600 °C a 750 °C a 10 °C/min, en atm. de aire.
- Fase 5: Mantener a 750 °C durante 3 minutos.

## Placas y probetas para la elaboración de ensayos mecánicos, físicos y térmicos

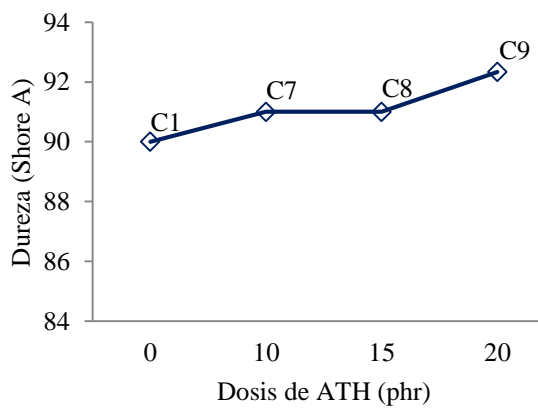
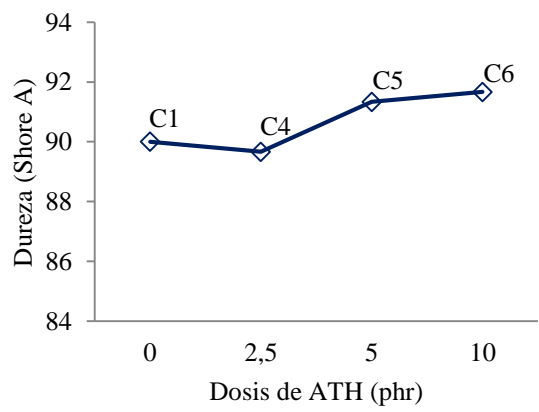
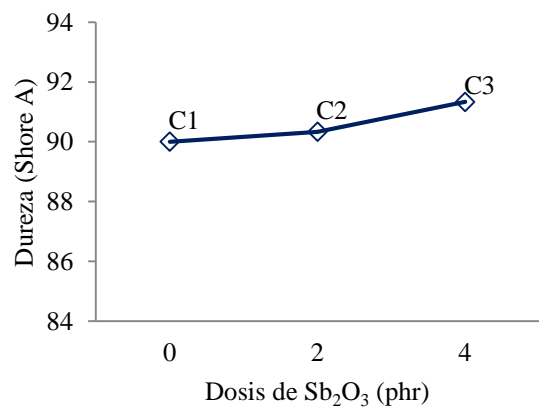
- a) DSC y TGA
- b) Índice de fluidez
- c) Dureza
- d) Densidad
- e) Elongación, resistencia a la tracción y envejecimiento acelerado.
- f) Cordón de cable.



## Densidad.

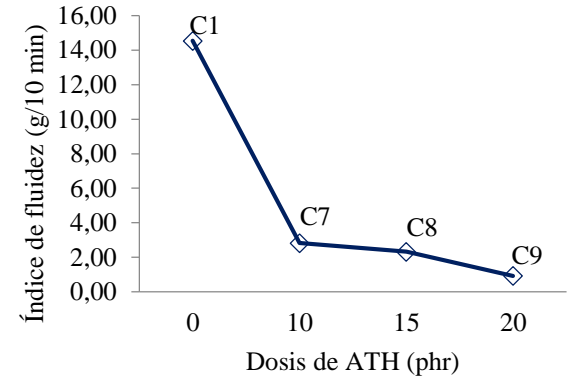
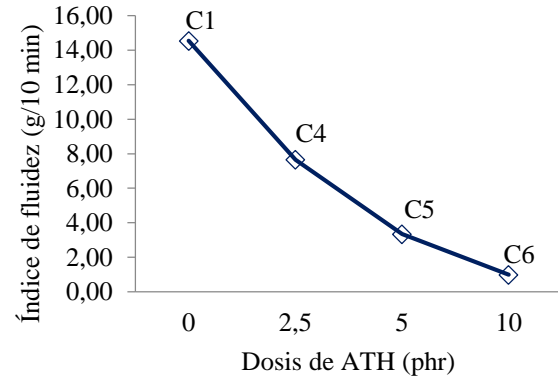
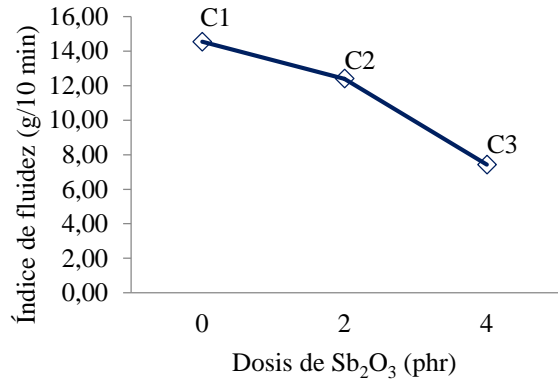


## Dureza Shore.

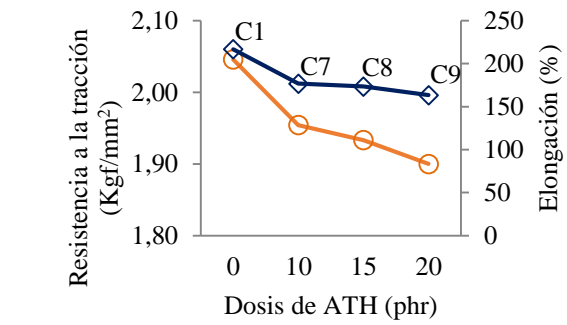
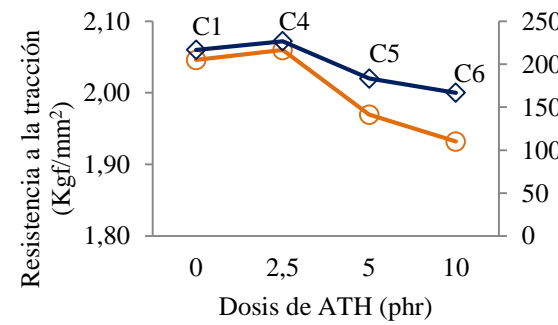
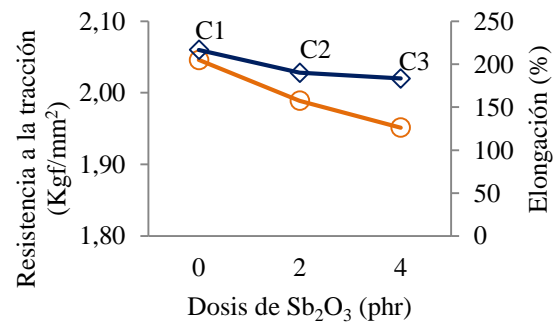




## Índice de fluidez.



## Resistencia a la tracción y elongación.



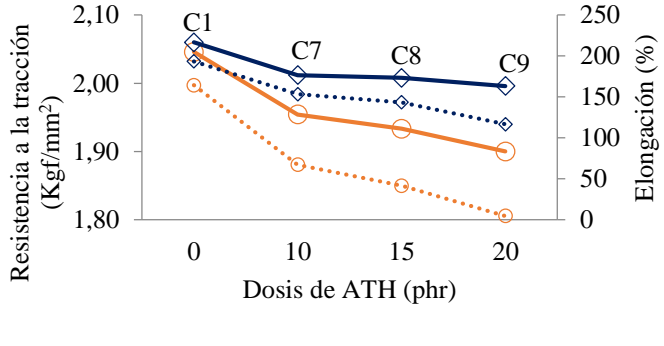
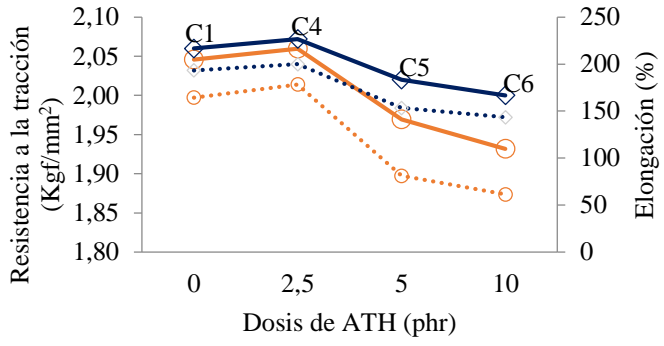
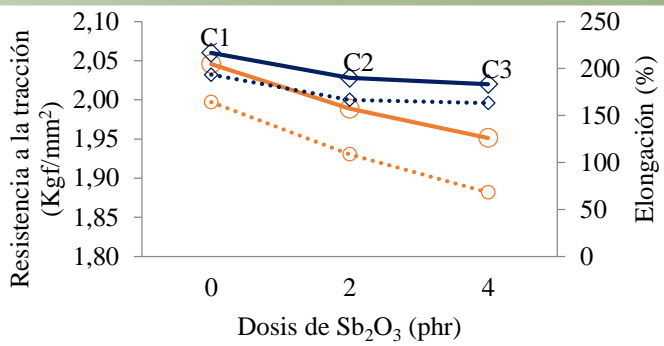
○ Tracción    ◆ Elongación

○ Tracción    ◆ Elongación

○ Tracción    ◆ Elongación

## Retención de resistencia a la tracción y retención de elongación

ID	Retención de resistencia a la tracción (%)	Retención de elongación (%)
C1	97,62%	89,23%
C2	97,07%	87,72%
C3	96,44%	89,09%
C4	97,77%	88,24%
C5	96,33%	83,64%
C6	96,98%	86,00%
C7	96,23%	86,79%
C8	95,69%	82,69%
C9	95,03%	71,43%



—◇— Elongación inicial    - - -◇- - - Elongación final  
—○— Tracción inicial    - - -○- - - Tracción final

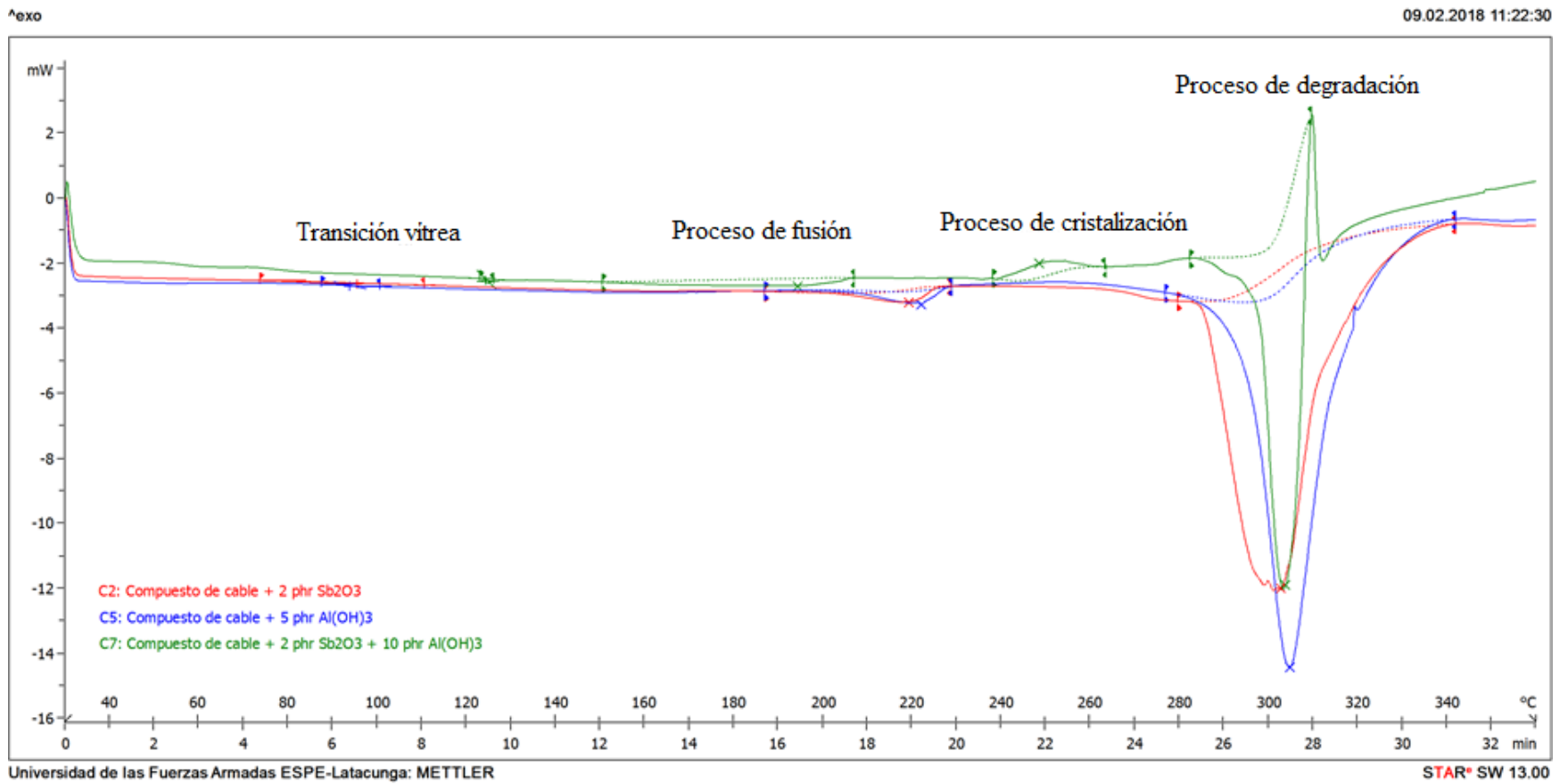
## Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

ID	Tg (°C)	Tm (°C)	Tc (°C)	Onset de degradación (°C)	Td (°C)
C1	94,15	218,66		286,56	300,57
C2	91,41	219,00		300,31	302,12
C3	95,23	220,01		288,05	299,6
C4	105,64	219,84		292,98	303,67
C5	93,75	222,00		294,72	303,97
C6	111,84	223,99		294,48	304,00
C7	124,28	197,20	248,56	297,76	303,46
C8	126,78	190,55	248,09	297,13	304,42
C9	126,56	195,33	250,51	297,66	303,91

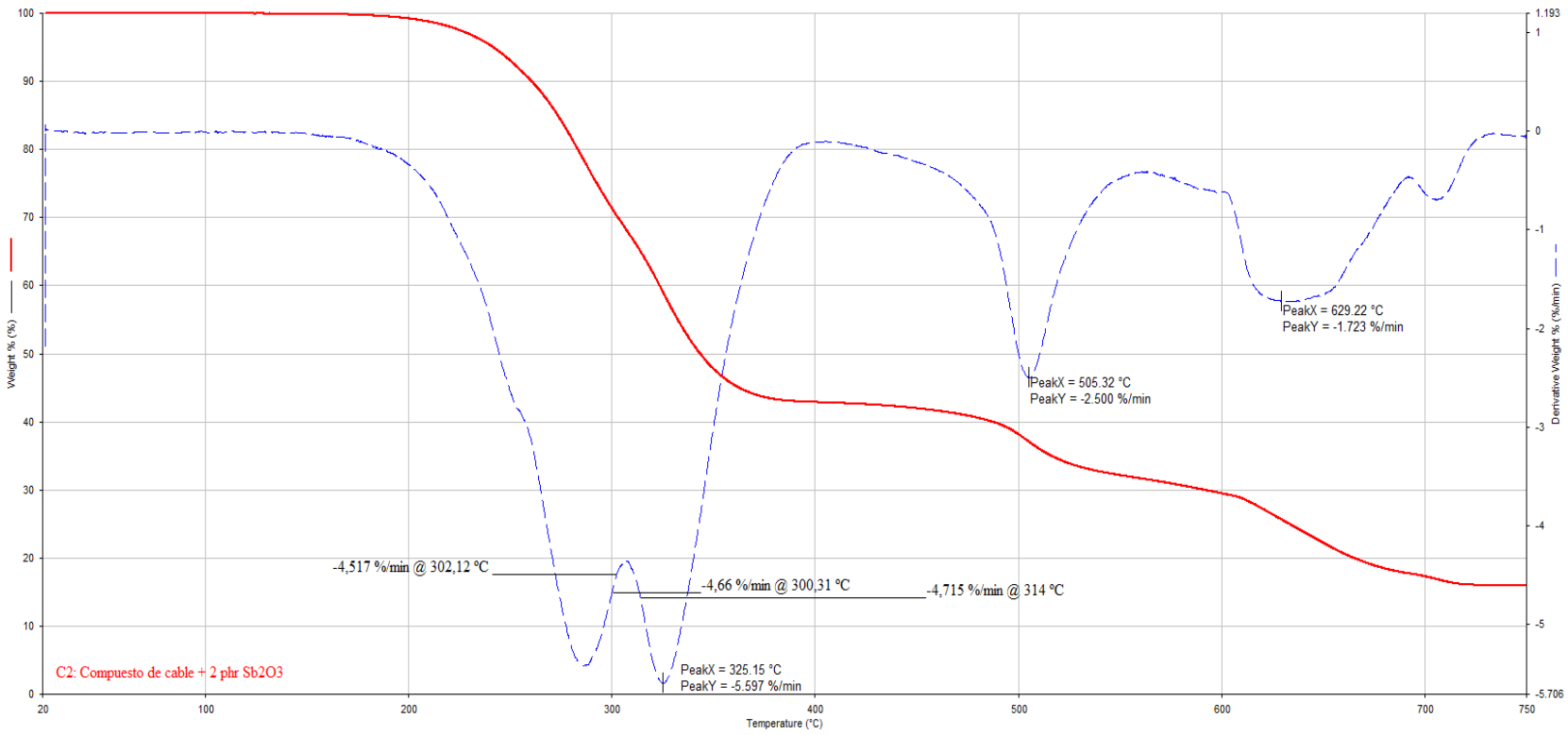
## Análisis Termogravimétrico (TGA)

ID	Pérdida de masa			
	°T a 25%	°T a 50%	°T a 75%	% de residuo
R	317,780	340,580	485,870	0,000
C1	295,580	348,140	633,220	16,282
C2	292,750	343,003	633,280	15,910
C3	293,220	339,540	632,620	16,140
C4	299,060	345,150	626,020	16,741
C5	296,710	348,520	629,090	18,239
C6	293,290	349,660	631,040	19,514
C7	311,220	340,670	662,820	20,196
C8	307,480	347,710	647,920	20,412
C9	305,670	350,410	632,982	20,911

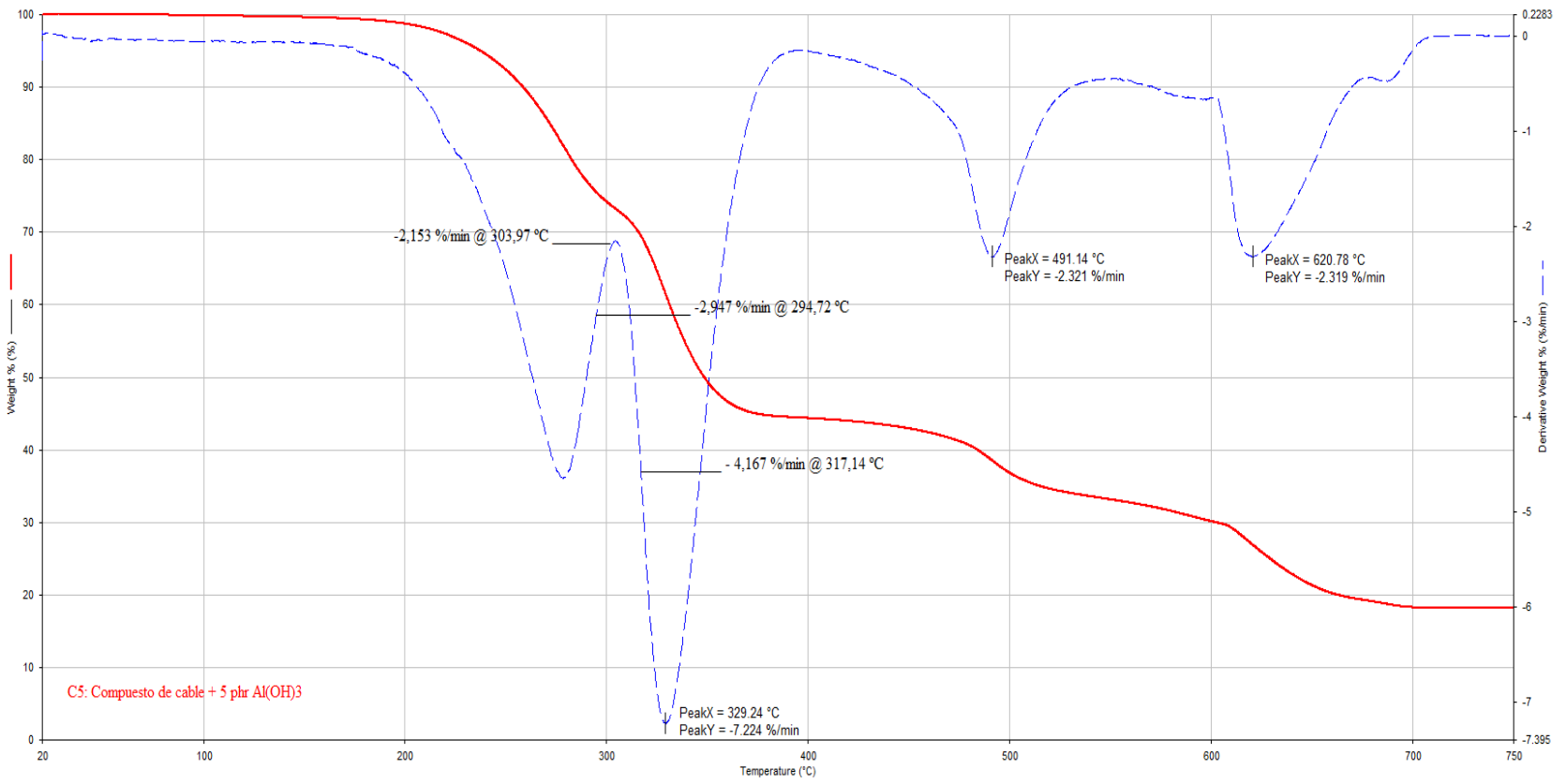
## Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)



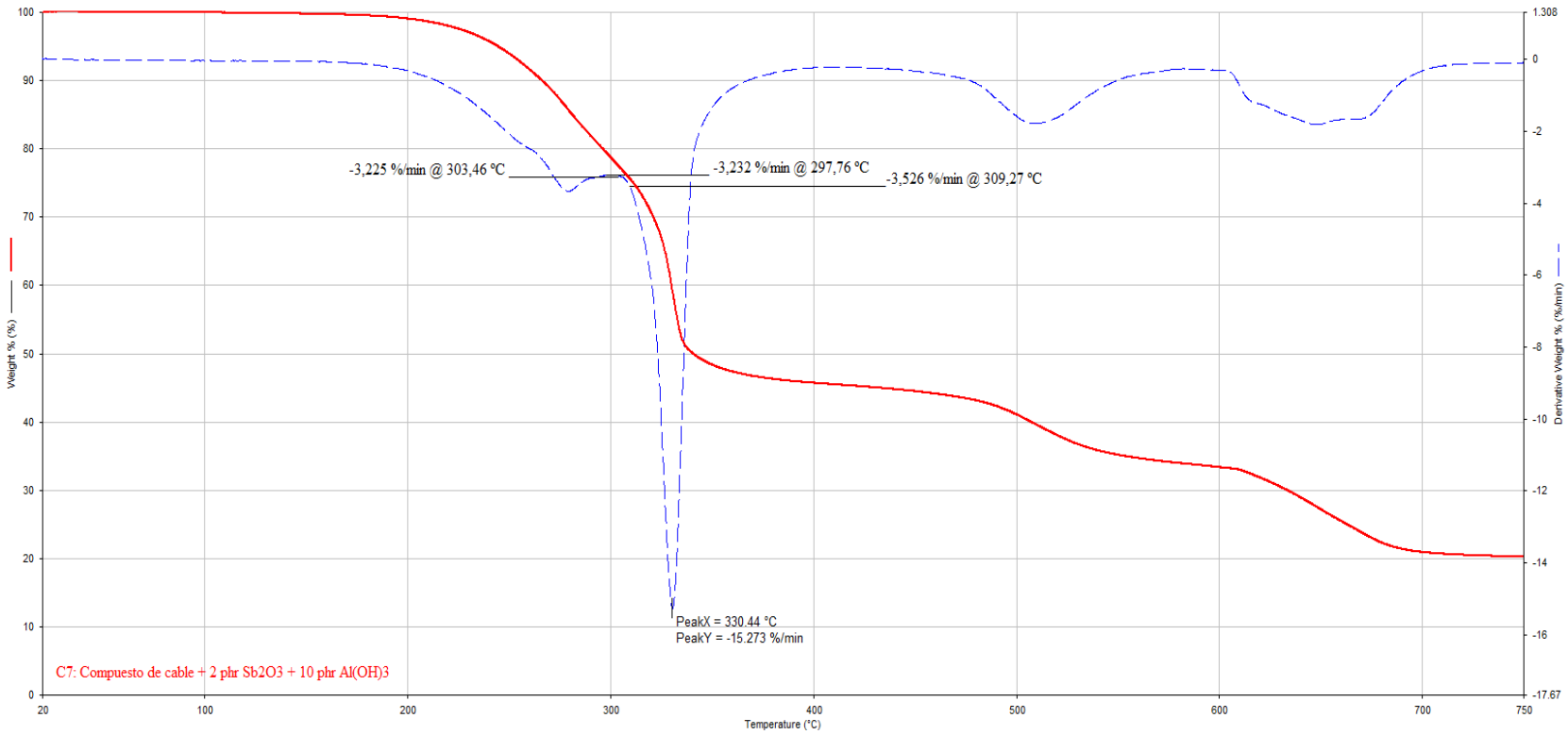
## Análisis Termogravimétrico (TGA)



## Análisis Termogravimétrico (TGA)



## Análisis Termogravimétrico (TGA)



Se desarrollaron formulaciones de PVC con dos tipos de aditivos retardantes de llama: trióxido de antimonio e hidróxido de aluminio, en condiciones de operación y dosis similares a datos experimentales reportados en la literatura para este tipo de compuestos, y en acuerdo con los intereses técnicos y económicos de la empresa MILLPOLÍMEROS S.A.

Las propiedades físicas y mecánicas de los compuestos formulados con aditivos retardantes de llama, de forma individual y combinada, demuestran que su adición afecta incrementando los valores de densidad y dureza por encima de los establecidos según sus respectivas normas, a excepción de los valores de densidad de los compuestos formulados con aditivos combinados, que presentan una disminución, atribuido a una posible interacción entre los aditivos. Las propiedades de resistencia a la tracción, elongación e índice de fluidez, presentan una disminución en sus valores correspondientes. En términos de comportamiento mecánico, el compuesto que presenta las mejores características es el compuesto C2.



Las propiedades térmicas de los compuestos formulados con aditivos retardantes de llama, de forma individual y combinada, demuestran que éstos modifican las transiciones de fase desplazándolas a temperaturas mayores y disminuyendo la velocidad de pérdida de materia en la etapa de degradación; por consiguiente, en términos de comportamiento térmico, los compuestos que presentan mejor desempeño son C2, C5 y C7.

Se concluye que la adición de  $Sb_2O_3$  y  $Al(OH)_3$  a la resina de PVC de MILLPOLÍMEROS, produce compuestos que presentan mejor desempeño a altas temperaturas, es decir, que podrían utilizarse como material de recubrimiento de cables eléctricos, ya que exhiben propiedades térmicas significativamente mejores a las del compuesto base.

La adición de trióxido de antimonio incurre en un costo más elevado del compuesto de cable elaborado, en comparación del uso de hidróxido de aluminio; sin embargo, las altas dosis necesarias para que el compuesto presente buen desempeño ignífugo, con la adición de éste último, conlleva a equiparar el costo de estos compuestos.

Efectuar análisis térmicos adicionales a los materiales desarrollados, mediante ensayos de llama vertical, supresión de humos e índice de oxígeno, que permitan conocer el comportamiento de los materiales en presencia de fuego.

Realizar un estudio que permita analizar de manera más detenida el comportamiento del PVC mediante DSC y TGA, ya que son técnicas muy amplias para desarrollar.

Analizar con un cromatógrafo de gases acoplado al TGA los componentes que se desprenden en cada escalón durante la degradación de los compuestos desarrollados.

**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**