

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE POLÍMEROS TIPO IPN's CON BASE EN
ACEITE DE HIGUERILLA MODIFICADO, ALMIDÓN Y MONÓMERO ACRÍLICO



DIANA CONSUELO CAMARGO BEDOYA
DANIEL NAVAS ORDÓÑEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN POLÍMEROS
BUCARAMANGA
2006

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE POLÍMEROS TIPO IPN's CON BASE EN
ACEITE DE HIGUERILLA MODIFICADO, ALMIDÓN Y MONÓMERO ACRÍLICO

DIANA CONSUELO CAMARGO BEDOYA
DANIEL NAVAS ORDÓÑEZ

Trabajo presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Químico

Director
JORGE ENRIQUE PULIDO
Ingeniero Químico M.Sc.

Codirector
ÁLVARO RAMÍREZ GARCÍA
Ingeniero Químico PhD

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN POLÍMEROS
BUCARAMANGA
2006

*A Dios por ser el motor que impulsa mi vida.
A mi papi y a mi mami (Eduardo y Stella) porque gracias
a su apoyo incondicional, logré culminar otra etapa en mi vida.
A mis hermanos Carlos y Diego porque siempre han estado ahí
atentos para brindarme su ayuda y soporte en cada momento.
A Daniel porque, aparte de ser mi compañero de proyecto, es mi amigo.
Y a todos los que de alguna forma estuvieron presentes siempre conmigo.*

*Gracias
Diana Consuelo*

*A mi mami y a mi papi, que siempre me brindaron esa fuerza y empuje necesario
para no desfallecer en este largo camino.*

A Diana, por tanto aguante.

A Pocho, por su gran ayuda y dedicación.

*A Carlos Andrés, que siempre me dio apoyo en los momentos difíciles
y la esperanza para continuar.*

*A Carolina, Alberto, y a mis queridas sobrinas Natalia y Catalina,
que por cierto, casi me alcanzan.*

*A la familia Camargo Bedoya, por todo el soporte que nos
dieron a lo largo de nuestra carrera.*

Gracias.

Daniel

AGRADECIMIENTOS

Profesores Jorge Enrique Pulido y Álvaro Ramírez García directores de este proyecto y del Grupo de Investigación en Polímeros UIS.

Ingeniero Manuel Fernando Valero, coordinador del Grupo de Investigación en Polímeros UIS.

A quienes nos antecedieron en el Grupo de Investigación en Polímeros UIS.

Luis Eduardo Carreño y Wilson Eduardo Carreño, técnicos del laboratorio de Operaciones Unitarias de Ingeniería Química.

A los profesores Jesús Manuel Mendoza y Guillermo Aceros.

A la Universidad Industrial de Santander, a la Escuela de Ingeniería Química, a COLCIENCIAS y a todos aquellos que de una u otra forma colaboraron o hicieron parte de este proyecto.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Sintetizar y caracterizar redes interpenetradas de polímero tipo IPN a partir de polioles del aceite de higuera modificados con pentaeritritol y almidón de yuca y monómero acrílico (metilmetacrilato).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener redes interpenetradas de polímero tipo IPN vía simultánea a partir de polioles del aceite de higuera modificados con pentaeritritol, almidón de yuca, glucósidos y monómero acrílico (metilmetacrilato), manteniendo constante la relación NCO/OH, y variando la proporción PU/PMMA.
- Caracterizar los IPN's obtenidos.
- Determinar por medio de estudios comparativos las diferencias de las propiedades térmicas, fisicoquímicas y fisicomecánicas entre los materiales obtenidos en el presente trabajo, en función del tipo y la composición.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO	2
1.1. ACEITE DE HIGUERILLA	2
1.2. ALMIDÓN	3
1.3. REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN	4
1.4. ISOCIANATOS	5
1.5. POLIOLES	6
1.6. POLIURETANOS	6
1.7. POLIMETIL METACRILATO (PMMA)	7
1.8. REDES INTERPENETRADAS DE POLIMEROS (IPN's)	7
1.9. ANÁLISIS Y ENSAYOS	9
1.9.1 En polioles	9
1.9.2 En polímeros	9
1.10 ANTECEDENTES	11
2. DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	13
2.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	13
2.2 REACTIVOS Y EQUIPOS	14
2.2.1 Reactivos de Síntesis	14
2.2.2 Reactivos de Análisis	14
2.2.3 Equipos	15

2.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	15
2.3.1 Modificación del aceite de higuera con pentaeritritol.	15
2.3.2 Incorporación de almidón de yuca al aceite modificado.	16
2.3.3 Modificación del almidón de yuca (preparación de glucósidos).	17
2.3.4 Preparación de poliál-glicósidos.	17
2.3.5 Síntesis de elastómeros de poliuretano.	18
2.3.6 Síntesis de IPN's.	19
2.3.7 Obtención de IPN's vía simultánea.	19
2.3.8 Caracterización de elastómeros e IPN's.	21
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	22
3.1 CARACTERIZACIÓN DE POLIOLES, POLIOL-SUSP. Y POLIOL-GLUCÓSIDOS	22
3.2. CARACTERIZACIÓN DE POLIURETANOS	22
3.2.1. Ensayos de tensión.	22
3.2.2. Dureza.	23
3.2.3 Ataque químico.	23
3.2.4 Análisis termogravimétrico.	24
3.3 CARACTERIZACIÓN DE IPN's vía SIN	24
3.3.1 Ensayos de tensión.	24
3.3.1.1 Relación PU/PMMA 90/10.	24
3.3.1.2 Relación PU/PMMA 80/20.	25
3.3.1.3 Relación PU/PMMA 70/30.	26
3.3.1.4 Relación PU/PMMA 60/40 y 50/50.	26
3.3.2 Dureza.	27
3.3.3 Ataque químico.	27
3.3.4 Análisis termogravimétrico.	28
CONCLUSIONES	30
BIBLIOGRAFÍA	32
ANEXOS	35

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1.	Composición aproximada de ácidos grasos del aceite de higuera.	2
Tabla 2.	Tabla comparativa de amilasa y amilopectina.	3
Tabla 3.	Composición del almidón de yuca comercial.	4
Tabla 4.	Rasgos característicos de las curvas de tensión–deformación en relación con las propiedades del polímero.	10
Tabla 5.	Peso de los reactivos para la reacción de transesterificación.	16
Tabla 6.	Suspensión, poliol–suspensión preparados.	17
Tabla 7.	Poliol–glucósidos preparados.	18
Tabla 8.	IPN's sintetizados.	20
Tabla 9.	Resistencia al ataque químico (poliuretanos).	23
Tabla 10.	Ataque químico IPN's.	27
Tabla 11.	Análisis termogramas IPN's.	29

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Molécula del triglicérido del ácido ricinoléico.	3
Figura 2. Estructura de la amilosa y amilopectina.	4
Figura 3. Reacción general de transesterificación.	5
Figura 4. Estructura de la isoforona diisocianato (IPDI).	6
Figura 5. Estructura general de los poliuretanos.	6
Figura 6. Reacción de polimerización del metilmetacrilato.	7
Figura 7. Red interpenetrada de polímeros.	8
Figura 8. Curva generalizada de tensión–deformación para plásticos.	10
Figura 9. Curvas de tensión–deformación para algunos materiales poliméricos.	10
Figura 10. Montaje reacción transesterificación.	15
Figura 11. Montaje preparación polioliol–suspensiones.	16
Figura 12. Montaje preparación glucósidos.	17
Figura 13. Procedimiento para obtención de IPN's.	20
Figura 14. Poliuretanos.	22
Figura 15. Dureza Poliuretanos.	23
Figura 16. Porcentaje variación en peso (poliuretanos).	23

Figura 17.	IPN's relación 90/10.	25
Figura 18.	IPN's relación 80/20.	25
Figura 19.	IPN's relación 70/30.	26
Figura 20.	IPN's relación 60/40 y 50/50.	26
Figura 21.	Comparación dureza IPN's todas las relaciones.	27
Figura 22.	Ataque químico IPN's representativos: (a) tetracloruro de carbono, (b) Tolueno, (c) Gasolina.	28

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A COPIA ANÁLISIS DE ÁCIDOS GRASOS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES DE ALTA RESOLUCIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA	36
ANEXO B CARACTERIZACIÓN DE POLIOLES	43
ANEXO C CALCULO DEL INDICE DE HIDROXILO EN POLIOLES	45
ANEXO D ANALISIS TERMOGRAVIMÉTRICO DE LOS POLIURETANOS E IPN's	47
ANEXO E CALCULO DE REACTIVOS EMPLEADOS EN LA SINTESIS DE POLIURETANOS E IPN's	63
ANEXO F RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE LOS POLIURETANOS E IPN's	66
ANEXO G COMPARACIÓN PROPIEDADES MECÁNICAS IPN's	86
ANEXO H RESISTENCIA DE LOS POLIURETANOS E IPN's AL ATAQUE QUÍMICO	89
ANEXO I DUREZA DE LOS POLIURETANOS E IPN's	95

RESUMEN

TÍTULO

Síntesis y caracterización de polímeros tipo IPN's con base en aceite de higuera modificada, almidón y monómero acrílico¹.

AUTORES

DIANA CONSUELO CAMARGO BEDOYA

DANIEL NAVAS ORDÓÑEZ²

PALABRAS CLAVES

Aceite de higuera, almidón de yuca, doble modificación, IPN's, poliuretano, polimetilmetacrilato, redes interpenetradas, polímeros.

CONTENIDO

Se llevó a cabo una doble modificación del aceite de higuera mediante transesterificación con pentaeritritol y posterior incorporación de almidón de yuca, (obteniéndose los denominados poliol-suspensiones) y modificación con glucosilados (obteniéndose los poliol glucósidos).

Estos polioles, poliol-suspensiones y poliol-glucósidos, fueron caracterizados (índice de hidroxilo, viscosidad y gravedad específica) y a partir de ellos se sintetizaron elastómeros de poliuretano e IPN's; se utilizó IPDI (como diisocianato), EGDMA, peróxido de benzoilo y polimetilmetacrilato. El tiempo y temperatura de curado fue de 24h a temperatura ambiente y 4h a 90°C para los elastómeros, y de 24h a temperatura ambiente y de 48h a 90°C para IPN's. Estos materiales fueron también caracterizados (resistencia a la tensión, dureza, ataque químico y análisis termogravimétrico).

Se utilizaron diferentes cantidades de pentaeritritol (P0, P1), almidón y glucosilados en la doble modificación del aceite con el fin de aumentar la funcionalidad (índice hidroxílico); la relación NCO/OH = 1 y PU/PMMA (90/10, 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50) en la síntesis de materiales; y la vía de polimerización (SIN) en el caso de los IPN's.

Se observó aumento de las propiedades mecánicas y térmicas de los IPN's con respecto a los poliuretanos, de acuerdo al aumento de las modificaciones, observando estabilidad en la relación 80/20 e inestabilidad en las demás relaciones.

Por medio del análisis de datos se determinó que la incorporación del almidón como glucósido en la síntesis de los IPN's genera materiales que poseen las mayores propiedades analizadas.

¹ Proyecto de grado

² Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Ingeniería Química, Ing. Químico M.Sc. Jorge E. Pulido F.

ABSTRACT

TITLE

Synthesis and characterization of polymers IPN's based on modified castor oil, starch and acrylic monomer³.

AUTHORS

DIANA CONSUELO CAMARGO BEDOYA

DANIEL NAVAS ORDÓÑEZ ⁴

KEY WORDS

Castor oil, yucca starch, double modification, IPN's, polyurethane, polymethylmethacrylate, interpenetrating polymer networks, polymers.

CONTENT

It was carried out a double modification of castor oil by means of transesterification with pentaerythritol and later yucca starch incorporation, (being obtained the denominated polyol-suspensions) and modification with glucosidos (being obtained the polyol glucosidos).

These polyol, polyol-suspensions and polyol-glucosidos, were characterized (hydroxyl value, viscosity and specific gravity), and from them, polyurethane elastomers and IPN's were synthesized; IPDI was used (as diisocyanate), EGDMA, benzoyl peroxide and polymethylmethacrylate. Time and temperature of cured was 24h at room temperature and 4h at 90°C for elastomers, and 24h at room temperature and 48h at 90°C for IPN's. These materials were also characterized (resistance to the tension, hardness, chemical attack and thermogravimetric analysis).

Different amounts from pentaerythritol (P0, P1), starch and glucosidos, were used in the double modification of the oil with the purpose of grow up the functionality (hydroxyl value); the relationship NCO/OH = 1 and PU/PMMA (90/10, 80/20, 70/30, 60/40 and 50/50) in the synthesis of materials; and the polymerization road (SIN) in the case of the IPN's.

Increase of the mechanical and thermal properties of the IPN's was observed in comparison with the polyurethanes, according to the increase of the modifications, observing stability in the 80/20 relation and uncertainty in the other ones.

By means of the data analysis, it was determined that the incorporation of the starch like glucosido in the synthesis of the IPN's, generate materials that possess the biggest analyzed properties.

³ Degree project

⁴ Faculty of Physical-Chemistry Engineerings, Chemical Engineer. Jorge Enrique Pulido F. (Chemical Engineer, M.Sc.).

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha tenido la necesidad de utilizar nuevos recursos renovables y poco contaminantes para la búsqueda de mejores materiales y nuevas aplicaciones industriales. Dentro del Grupo de Investigación en Polímeros de la UIS, se han realizado trabajos relacionados con aceite de higuera modificada, almidón de yuca y estireno, lo mismo que con almidón de yuca modificada con glicerina y etilenglicol, utilizando como materia prima de interés el aceite de higuera debido a su especial estructura química y pureza.

Este trabajo busca obtener redes interpenetradas de polímeros simultáneamente a partir de dos polímeros inmiscibles (Poliuretano/Polimetilmetacrilato) y establecer las relaciones entre las propiedades fisicoquímicas, fisicomecánicas y térmicas de éstos, lo mismo que las condiciones de mayor compatibilidad y afinidad entre los monómeros, utilizando como hipótesis el hecho de que las propiedades de las redes de polímeros interpenetradas IPN's sintetizadas a partir de aceite de higuera modificada podrían depender de la naturaleza de los monómeros al momento de mezclarse y durante la polimerización.

MARCO TEORICO

1.1. ACEITE DE HIGUERILLA ^(6, 16, 19)

El aceite de higuera, también llamado aceite de ricino o castor oil, es un triglicérido vegetal que se extrae de la semilla de la planta de higuera (*Ricinus communis*) que se puede encontrar en muchas áreas tropicales y subtropicales. Es un líquido viscoso con olor desagradable característico y alta gravedad específica, que lo distingue de otros aceites; es soluble en solventes orgánicos y es relativamente menos soluble en hidrocarburos alifáticos. El ácido ricinoléico (ricinoleína) forma aproximadamente el 89.5% del aceite de higuera (ver tabla 1), siendo este último uno de los pocos glicéridos naturales casi puros; el 10.5% restante incluye ácidos grasos no hidroxilados. Cerca del 70% del aceite está en forma de triglicérido y el restante en forma de diglicéridos y monoglicéridos.

ÁCIDO	PORCENTAJE (%)
Ricinoléico	89.5
Linoléico	4.2
Oleico	3.0
Palmítico	1.0
Esteárico	1.0
Dihidroxiesteárico	0.7
Eicosanóico	0.3
Linolénico	0.3

Tabla 1. Composición aproximada de ácidos grasos del aceite de higuera.

El ácido ricinoléico contiene un doble enlace en la posición 9,10, y un grupo hidroxilo en el carbono número 12, como se observa en la figura 1. Su estructura trihidroxílica permite la producción de sistemas de uretano altamente entrecruzados. Debido a las largas cadenas del ácido graso, el aceite de higuera imparte características no polares a los polímeros de uretano, dándole a éstos flexibilidad y buena resistencia

al agua. Sin embargo, una desventaja del uso del aceite de higuera es el bajo número de hidroxilo (aproximadamente 2.7), lo cual origina materiales con bajo módulo, baja velocidad de curado de los grupos hidroxilo secundarios y una estructura irregular que conlleva una baja resistencia a la tensión.

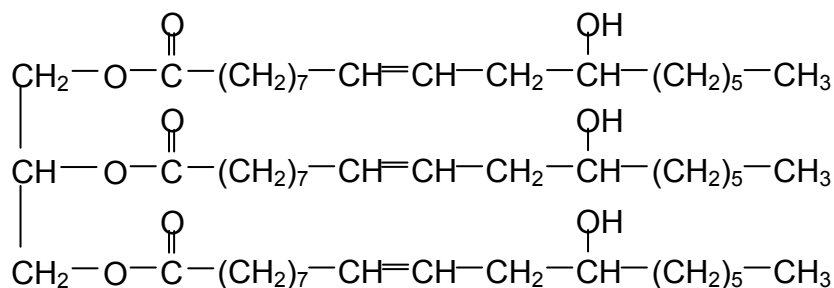


Figura 1. Molécula del triglicérido del ácido ricinoléico

1.2. ALMIDÓN ⁽²⁾

El almidón representa la reserva de carbohidratos de las plantas y se forma en las hojas verdes por medio de la fotosíntesis. El almidón es un polvo blanco, inodoro, con densidad aproximada de 1.6 g/cm³, pH 6.0, insoluble en agua fría, alcohol y éter. Este carbohidrato es obtenido de 5 diferentes plantas (maíz, yuca, centeno, papa y arroz). Los gránulos de almidón son redondos u ovalados con una sección aplanada, los cuales oscilan entre 5 y 15 µm de diámetro; presentan ruptura sobre los 80 °C. Su fórmula empírica es (C₆H₁₀O₅)_n, con n~4. Está constituido principalmente por dos polímeros estructuralmente diferentes, formados por unidades repetitivas de D-glucopiranosil unidas entre sí por enlaces glucosídicos: ellos son la amilosa y la amilopectina (fig. 2), con características mencionadas en la tabla 2.

	AMILOSA	AMILOPECTINA
Estructura	Lineal	Ramificado
Enlace glucosídico	α(1,4)	α(1,6)
Peso molecular promedio	1.5 millones g/mol	10 millones g/mol
Aplicaciones	Tiende a formar películas flexibles y tiene valor como agente de revestimiento	Amplio uso como agente espesante en la industria de alimentos.

Tabla 2. Tabla comparativa de amilosa y amilopectina.

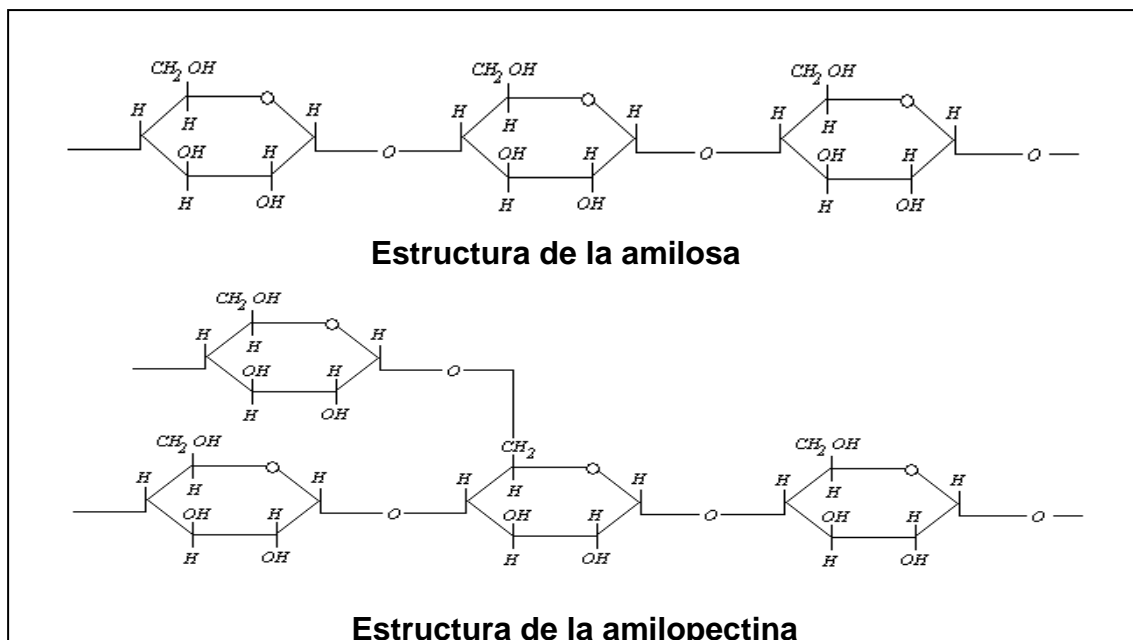


Figura 2. Estructura de la amilosa y amilopectina.

La composición del almidón de yuca comercial se muestra en la tabla 3.

COMPONENTE	VALOR PROMEDIO (%)
Agua	11.3
Proteína	0.5
Compuestos grasos	0.1
Cenizas	0.09
Almidón	88.01

Tabla 3. Composición del almidón de yuca comercial.

1.3 REACCIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN ^(7, 17, 21)

Es la reacción entre un éster y un alcohol en la cual el grupo -O-R del éster y el grupo -O-R' del alcohol intercambian posiciones. En la transesterificación de aceites vegetales, un triglicérido reacciona con un alcohol en presencia de un ácido o base fuerte produciendo una mezcla de ésteres alquílicos de ácidos grasos y glicerol.

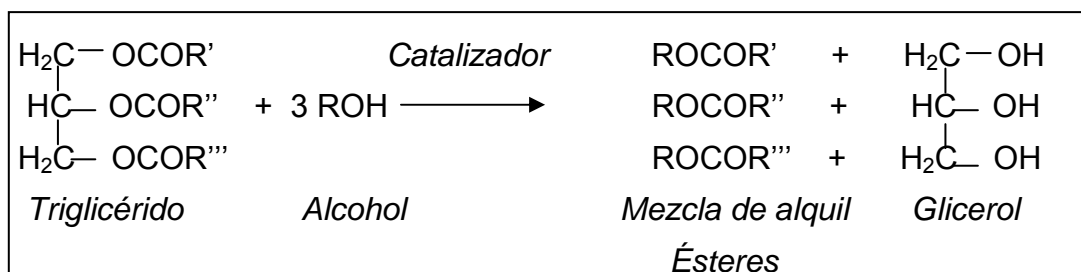


Figura 3. Reacción general de transesterificación.

1.4 ISOCIANATOS ⁽¹³⁾

Los isocianatos orgánicos son compuestos en los cuales el grupo isocianato –NCO, está unido a un radical orgánico. Frecuentemente se clasifican como ésteres del ácido isocianico, HNCO. El primer isocianato orgánico fue preparado por Wurtz en 1849. En 1900 se prepararon gran variedad de isocianatos y se observaron cualitativamente las reacciones generales de estos compuestos. Son los precursores de los poliuretanos. Las formas no poliméricas de isocianatos se utilizan como insecticidas, explosivos y otros productos biológicamente activos. Otros usos se han derivado de su adhesividad, su dureza y de las características de su superficie para la obtención de colas, elastómeros y revestimientos de superficies. Poseen una elevada reactividad química frente a compuestos que disponen de hidrógenos activos.

Los isocianatos más utilizados en la industria son los diisocianatos, de los cuales los más comunes son:

Tolueno diisocianato (TDI)	Difenilmetano diisocianato (MDI)
Hexametileno diisocianato (HDI)	Naftaleno diisocianato (NDI)
Isoforona diisocianato (IPDI)	

Las aplicaciones de los isocianatos se realizan en muy diversos campos, desde la agricultura a la medicina, debido a que la reactividad de su grupo funcional permite obtener nuevas moléculas mediante reacciones químicas espontáneas y de fácil control. La ISOFORONA DIISOCIANATO (IPDI) es una mezcla de isómeros cis y trans; es un líquido incoloro, de olor penetrante.

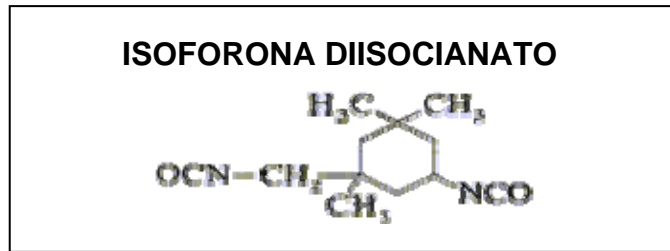


Figura 4. Estructura de la Isoforona diisocianato (IPDI).

1.5 POLIOLES ^(9, 26)

Son alcoholes que contienen en su estructura tres o más grupos hidroxilo sobre átomos de carbono diferentes. Son compuestos no corrosivos, con elevados puntos de ebullición. Estos compuestos son materia prima importante para muchas clases de polímeros incluyendo los ésteres acrílicos, resinas alquídicas, resinas epóxicas, amino resinas, poliésteres, polímeros de vinil éter y poliuretanos.

1.6 POLIURETANOS ^(7, 12)

El nombre poliuretano se deriva del uso de la palabra *uretano*, usada genéricamente para describir los ésteres del ácido carbámico ($H_2N-COOH$). El método comercial más común para formar poliuretanos es la reacción de compuestos hidroxil di o polifuncionales, como los poliésteres o poliéteres con terminación hidroxil, con isocianatos di o polifuncionales. La estructura general de un poliuretano derivado de un compuesto dihidroxil ($HO-R-OH$) y un diisocianato ($OCN-R'-NCO$) se presenta en la figura 5.

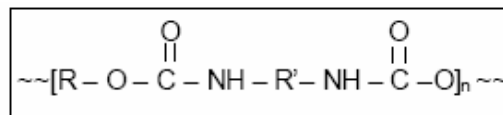


Figura 5. Estructura general de los poliuretanos.

Debido a su composición química, el POLIURETANO presenta propiedades físico mecánicas muy superiores a los elastómeros utilizados convencionalmente y no convencionales, lo que conlleva a la solución de muchos de los problemas en las industrias que cauchos y plásticos no pueden resolver. Por sus excelentes propiedades fisicomecánicas el POLIURETANO es un material único e ideal para muchas aplicaciones críticas donde se exige un alto grado de desempeño.

1.7 POLIMETIL METACRILATO (PMMA) ^(11, 23)

Es el material más importante dentro del grupo de los termoplásticos denominados acrílicos: es duro, rígido y transparente, tiene buena resistencia a las condiciones atmosféricas y es más resistente al impacto que el vidrio.

Estructura y propiedades: La sustitución de los grupos metilo y metacrilato en cada dos átomos de la cadena principal de carbono proporciona un considerable impedimento estérico y por ello hace al PMMA rígido y relativamente duro. La configuración aleatoria de sus átomos de carbono asimétricos produce una estructura completamente amorfa que tiene una gran transparencia a la luz visible. El PMMA también tiene buena resistencia química en medios ambientes al aire libre.

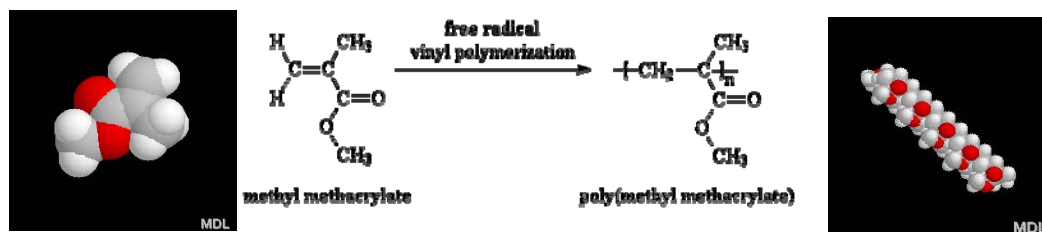


Figura 6. Reacción de polimerización del Metilmetacrilato.

1.8 REDES INTERPENETRADAS DE POLIMEROS (IPN's) ^(6, 23, 25)

Son una de las tres clases generales de materiales heterogéneos, con los compuestos y las mezclas. Difieren de los compuestos porque no poseen agentes reforzadores como las fibras, dentro del material. Las mezclas y los IPN's están más estrechamente relacionadas pero son diferentes. Las mezclas consisten en dos polímeros mezclados y ninguno de los componentes está entrecruzado apreciablemente; por otro lado los IPN's están conformados por dos componentes poliméricos que están entrecruzados, lo que afecta la clase de morfología producida. Muchos IPN's tienen separación de fases como sus correspondientes mezclas (lineales) debido a la baja entropía de mezcla y calores positivos de mezcla. Sin embargo, la formación de redes estructurales, restringen el tamaño del dominio. Son definidos como una combinación de dos redes poliméricas donde al menos un polímero es sintetizado o entrecruzado en presencia de otro. Así como mezclas

físicas y copolimerización, los IPN's son otra forma de combinar dos polímeros diferentes. No hay enlaces covalentes entre los dos polímeros; un monómero A reacciona sólo con otro A, y de otra mano, un monómero B reacciona sólo con otro B. El material obtenido se hincha pero no se disuelve en un solvente dado.

Los IPN's pueden clasificarse en secuenciales o simultáneos, dependiendo de la forma en que ocurre la polimerización. También pueden ser definidos como **IPN Látex**, cuando los polímeros son sintetizados por una polimerización de la emulsión; como **IPN Gradiente**, cuando cada superficie de la película es predominada por un tipo de polímero y existe un gradiente adentro de tal película; como **IPN Termoplástico**, cuando existe un entrecruzamiento físico y un entrecruzamiento químico en los polímeros; y **Semi-IPN**, cuando solo uno de los polímeros existe como red.

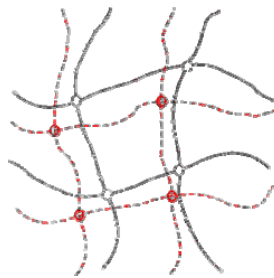


Figura 7. Red interpenetrada de polímeros.

Existen dos vías de polimerización de IPN's:

- **Vía Secuencial (SEQ):** A partir del monómero I y el entrecruzante I, es sintetizada la red polimérica I. Ahora el monómero II y el entrecruzante II hinchan esta red y polimerizan en ella, obteniéndose el IPN.
- **Vía Simultánea (SIN):** Los monómeros y/o prepolímeros, más entrecruzantes y activadores de ambas redes son mezclados, seguido por las polimerizaciones simultáneas vía reacciones no interferidas.

1.9 ANÁLISIS Y ENSAYOS ^(3, 20, 22)

1.9.1 En polioles

- **Índice de hidroxilo:** La medición se realizó con el fin de calcular el aumento en el número de grupos OH en la modificación del aceite de higuera.

1.9.2 En polímeros

- **Solubilidad y ataque químico:** La disolución de un polímero es un proceso lento que acontece en dos fases. Primero, las moléculas de disolvente se difunden lentamente dentro del polímero produciendo un gel hinchado. Si las fuerzas intermoleculares polímero-polímero son superadas por la introducción de interacciones polímero-disolvente, puede tener lugar la segunda fase de la disolución, en ella el gel se desintegra gradualmente.

Esta fase puede acelerarse por agitación, incluso así el proceso de disolución puede ser bastante lento (días o semanas) para materiales de muy alto peso molecular. Existe una relación entre el grado de reticulación y el hinchamiento; los polímeros reticulados, como los poliuretanos de aceite de higuera y polioles derivados, no se disuelven, solamente se hinchan.

- **Análisis termogravimétrico (TGA).** ⁽²⁴⁾ En el análisis termogravimétrico se utiliza una balanza sensible que registra continuamente la masa de una muestra, colocada en una atmósfera controlada, en función de la temperatura o del tiempo al ir aumentando la temperatura de la muestra. La representación de la masa o del porcentaje de masa en función del tiempo se denomina termograma o curva de descomposición térmica. Aplicaciones características incluyen la evaluación de la estabilidad térmica y temperatura final de descomposición, composición e información sobre la distribución de secuencias en los copolímeros y composición de polímeros con relleno y análisis del proceso de degradación térmica de los elastómeros.
- **Deformación en tensión** ⁽³⁾: Esta se realiza por medida continuada de la fuerza que se desarrolla mientras la muestra es alargada a velocidad constante de tensión. La curva generalizada de tensión-deformación para plásticos se muestra

en la figura 8 y sirve para definir algunas magnitudes, tales como: módulo, tensión límite, resistencia y alargamiento en ruptura.

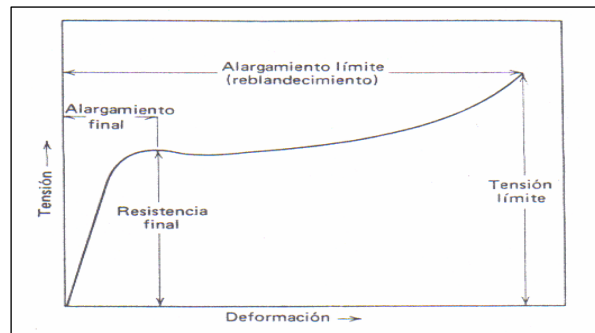


Figura 8. Curva generalizada de tensión-deformación para plásticos.

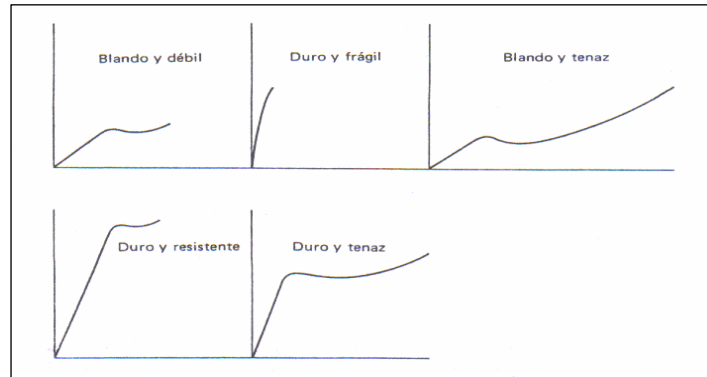


Figura 9. Curvas de tensión-deformación para algunos materiales poliméricos.

Descripción del polímero	Modulo	Tensión Límite	Tensión Final	Alargamiento en la ruptura
Blando, débil	Bajo	Baja	Baja	Moderado
Blando, tenaz	Bajo	Baja	Tensión límite	Alto
Duro, frágil	Alto	Ninguna	Moderada	Bajo
Duro, resistente	Alto	Alta	Alta	Moderada
Duro, tenaz	Alto	Alta	Alta	Alto

Tabla 4. Rasgos característicos de las curvas de tensión-deformación en relación con las propiedades del polímero.

- **Dureza:** La dureza es una propiedad compuesta que combina los conceptos de resistencia a la penetración, rayado, daño superficial, etc. La mayoría de los ensayos de dureza para los plásticos se basan en la resistencia a la penetración

por un punzón que hace presión sobre el plástico bajo una carga constante. La dureza puede variar en amplio rango desde una dureza Shore A de 10 hasta Shore D de 75. Sin embargo para muchas aplicaciones comerciales el intervalo de Shore A es de 60 a 100.

1.10 ANTECEDENTES (4, 5, 7, 8, 10, 15, 18, 28)

El uso extensivo del aceite de higuera en la búsqueda de IPN's comienza en 1977 con sulfuro entrecruzado con aceite de higuera, que fue mezclado con estireno y DVB o MMA y GDMA. IPN's basados en poliésteres y poliuretanos de aceite de higuera, fueron estudiados en la Universidad de Lehigh. Yenwo fue el primero en utilizar aceite de higuera para sintetizar IPN's secuencialmente, estudiando sus propiedades mecánicas dinámicas. Devia estudió la síntesis de IPN's simultáneos, basados en polímeros elastoméricos derivados del aceite de higuera y poliestireno entrecruzados. Los elastómeros incluían poliuretano entrecruzado con tolueno diisocianato (TDI), y entrecruzamiento entre poliéster-poliuretano de aceite de higuera, ácido sebácico y TDI. El comportamiento de transición vítrea y la morfología de IPN's simultáneos fueron estudiadas utilizando microscopía electrónica y técnicas de espectroscopia mecánica dinámica, respectivamente. La espectrometría mecánica dinámica mostró dos temperaturas de transición vítrea bien definidas, cerca respectivamente a la temperatura de transición vítrea del homopolímero. Estos materiales probaron ser más fuertes que sus respectivas redes homopolímeras. La dureza de estos IPN's simultáneos, se incrementaba con una disminución del tamaño de dominio de la fase dispersada. Xie, sintetizó IPN's simultáneos a temperatura ambiente a partir de poliuretanos de aceite de higuera y copolímeros de monómeros vinílicos incluyendo estireno, metilmetacrilato y acrilonitrilo usando un iniciador redox y sin agente entrecruzante.

Frisch observó un máximo en la fuerza tensil última Vs. composición en IPN's basados en poliuretano/poliacrilatos, un máximo que era significativamente más alto que la fuerza tensil última de las redes compuestas. También observó que la fuerza tensil última era dependiente del nivel de interpenetración. La naturaleza de las fuerzas intermoleculares existentes en las redes compuestas también juegan un

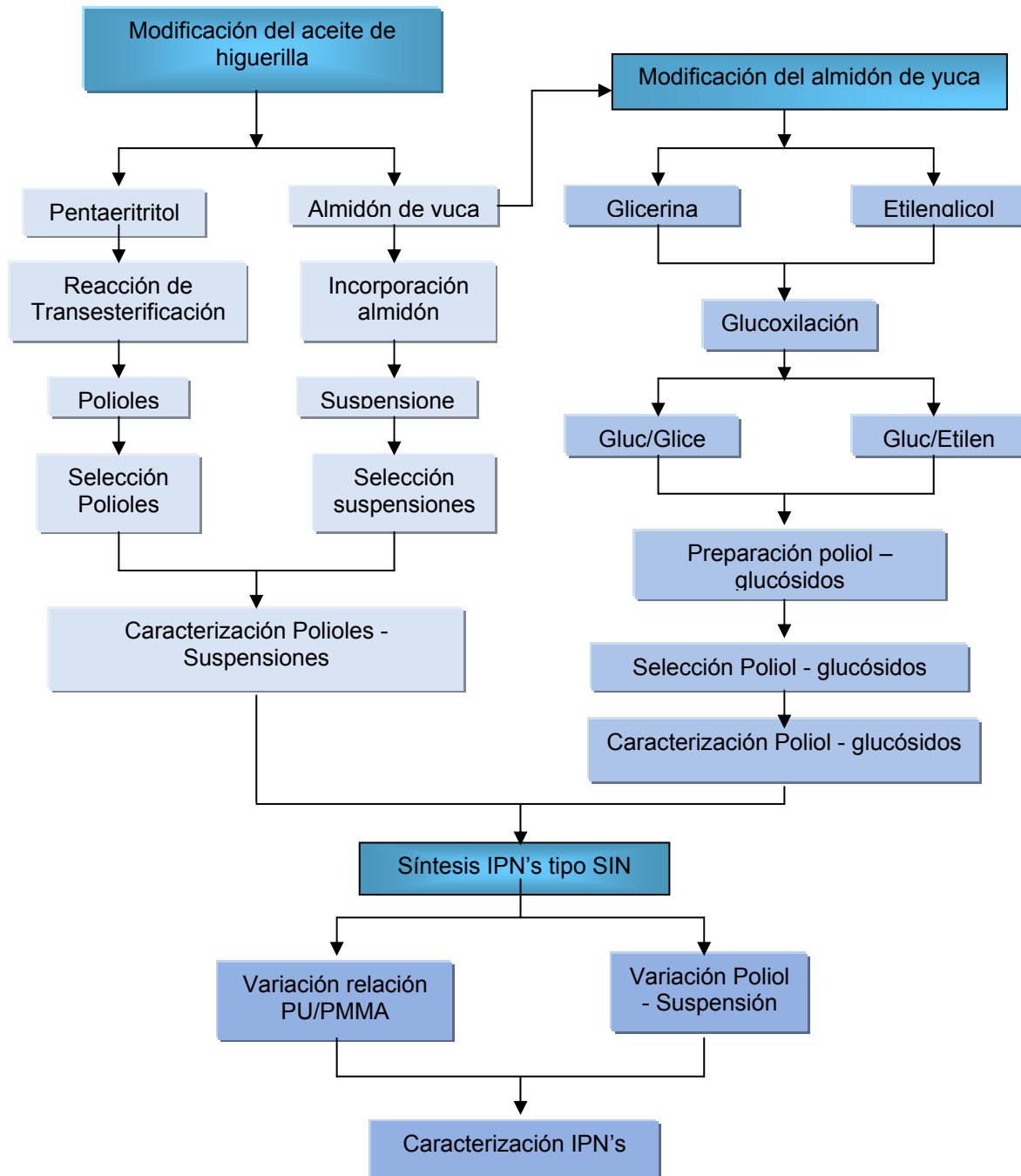
papel importante en las propiedades mecánicas afectadas. En sistemas heterogéneos el efecto de la interpenetración no ha sido claramente identificado.

Touhsaent ha reportado estudios con varias composiciones epoxi–acrílicas. Scarito y Sperling repitieron este trabajo adicionando glicidil metacrilato al sistema. Reportaron que al menos 3% de glicidil metacrilato, que fue incorporado en ambos componentes durante la formación de la red simultanea, fue suficiente para lograr la mezcla de los materiales mostrando así solo una temperatura de transición vítrea T_g .

El Grupo de Investigación en Polímeros de la UIS realizó modificaciones del aceite de higuera por dos vías: transesterificación con pentaeritritol y con glicerina, e incorporación de almidón de yuca, lo mismo que modificaciones al almidón de yuca con etilenglicol y glicerina. Las modificaciones del aceite y almidón aumentaron los valores de las propiedades medidas obteniendo mejores materiales.

2. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA EXPERIMENTAL

2.1. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



2.2 REACTIVOS Y EQUIPOS

2.2.1 Reactivos de Síntesis

- Aceite de higuera grado USP. Distribuido por laboratorios León, Bucaramanga.
- Almidón de yuca comercial, marca Yucarina. Fabricado por DISA S.A., Cali.
- Pentaeritrol, marca Fisher. Distribuido por Produquímica de Colombia S.A., Bogotá.
- Óxido de plomo, marca Merck. Distribuido por Produquímica de Colombia S.A., Bogotá.
- Nitrógeno inerte.
- Peróxido de benzoilo, marca Merck. Distribuido por Arquilab Ltda. Bucaramanga.
- Metilmetacrilato, marca Merck, Distribuido por Arquilab Ltda. Bucaramanga.
- Etilenglicol dimetacrilato (EGDMA).

2.2.2 Reactivos de análisis

- Agua destilada.
- Etanol, marca Carlo Erba. Grado reactivo analítico. Distribuido por Prolar Ltda., Bucaramanga.
- Fenolftaleína.
- Tolueno, marca Mallinckrodt. Distribuido por Arquilab Ltda., Bucaramanga.
- Hidróxido de potasio, marca Carlo Erba. Grado reactivo analítico. Distribuido por Prolar Ltda., Bucaramanga.
- Ácido clorhídrico, marca Mallinckrodt. Distribuido por Prolar Ltda., Bucaramanga.
- Acetona, marca Merck. Grado reactivo analítico. Distribuido por Arquilab Ltda., Bucaramanga.
- Anhídrido acético, marca Merck. Distribuido por Prolar Ltda., Bucaramanga.
- Piridina, marca Merck. Distribuido por Produquímica de Colombia S.A., Bogotá.
- Gasolina corriente comercial.
- Hidróxido de sodio, marca Carlo Erba. Grado reactivo analítico. Distribuido por Prolar Ltda., Bucaramanga.
- Sulfato de sodio anhidro, marca Carlo Erba. Distribuido por Arquilab Ltda., Bucaramanga.
- Tetracloruro de carbono.

- Sulfato de sodio anhidro, marca Carlo Erba. Distribuido por Arquilab Ltda., Bucaramanga.

2.2.3 Equipos

- Manta de Calentamiento, marca Vilab.
- Agitador mecánico, marca IKA.
- Viscosímetro, marca Brookfield.
- Bomba de vacío, marca Büchi.
- Balanza digital, marca OHAUS.
- Horno
- Placa de calentamiento. Marca Thermolyne, MLW y marca IKA.
- Moldes de acero inoxidable.
- Rotoevaporador, marca Büchi.
- Balanza termogravimétrica TGA 2050 TA instruments.
- Máquina INSTROM

2.3 DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.3.1 Modificación del aceite de higuera con pentaeritritol ⁽⁷⁾: Se modificó el aceite de higuera con pentaeritritol en una reacción de transesterificación, para obtener un polioli de mayor funcionalidad, utilizando óxido de plomo como catalizador, en presencia de nitrógeno para tener una atmósfera inerte. Se usó un balón de cuatro bocas esmeriladas, termómetro, agitador mecánico, corcho con dos capilares para adicionar y retirar nitrógeno inerte, un condensador de reflujo total y una manta de calentamiento, como se ve en la figura 10. De esa manera fueron preparados dos clases de polioli. (Tabla 5)

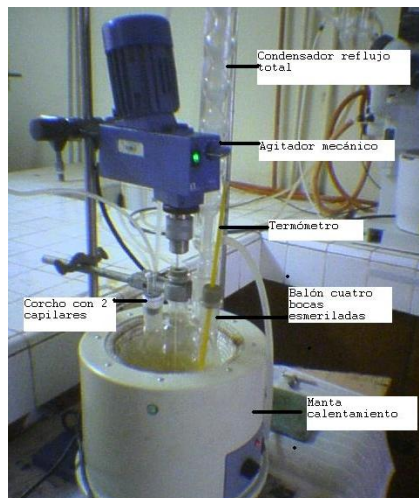


Figura 10. Montaje reacción transesterificación.

Condiciones de reacción:

- Temperatura: 210 +/- 5 °C.
- Tiempo: 10 minutos después de alcanzar 100 °C (sin corcho para nitrógeno con el fin de eliminar la humedad) y 2h a 210 °C (con entrada y salida de nitrógeno).
- Cantidad de catalizador: 0.05% con relación al peso de aceite.

NOMBRE	NOMENCLATURA	AC. HIGUERILLA (g)	CATALIZADOR (g)	PENTAERITRITOL (g)
Poliol 0	P0	800	0.4	10.56
Poliol 1	P1	800	0.4	21.14

Tabla 5. Peso de los reactivos para la reacción de Transesterificación.

2.3.2 Incorporación de almidón de yuca al aceite modificado ⁽⁸⁾: Se incorporó almidón de yuca a cada uno de los polioles obtenidos, teniendo así una segunda modificación; además se incorporó almidón al aceite sin modificar. El montaje fue similar al anterior pero utilizando un balón de 3 bocas, por la no utilización del condensador de reflujo total, como se ve en la figura 11.

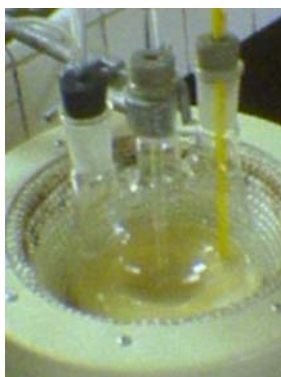


Figura 11. Montaje preparación polioli-suspensiones.

Condiciones de reacción:

- Temperatura: 130 +/- 5 °C.
- Tiempo: 10 minutos después de alcanzar 100 °C (sin el corcho para nitrógeno con el fin de eliminar la humedad) y 2h a 130 °C (con entrada y salida de nitrógeno).
- Porcentaje de almidón: 5% peso con relación al volumen de aceite o polioli.

NOMBRE	NOMENCLATURA	PESO ACEITE HIGUERILLA (g)	PESO ALMIDÓN (g)
Suspensión Poliol0 al 5% p/v	SP0	194	10
Suspensión Poliol1 al 5% p/v	SP1	194	10
Suspensión de aceite al 5% p/v	SCO	194	10.38

Tabla 6. Suspensión, poliol-suspensión preparados.

2.3.3 Modificación del almidón de yuca (preparación de glucósidos) ⁽¹⁰⁾: Se mezcló el etilenglicol o glicerina y el catalizador, ácido sulfúrico concentrado, en relación 0.5% p/p en un balón de tres bocas esmeriladas, con agitador magnético, termómetro, entrada de nitrógeno y línea de vacío.



Figura 12. Montaje preparación glucósidos.

Condiciones de reacción:

- Temperatura: 110 +/- 5 °C.
- Tiempo: 10 minutos a 80 °C agitando continuamente en presencia de nitrógeno y presión reducida de 125 mmHg para retirar humedad.
- Adicionar almidón de yuca (0.33 g/ml) y calentar durante una hora a 110 °C.
- Se adiciona hidróxido de bario, en relación 1:3, para neutralizar el H₂SO₄ remanente y precipitarlo como sulfato de bario; éste se separa por filtración de la mezcla de α-glicol glucósido y β-glicol glucósido. El etilenglicol que no reacciona se retira por destilación a 150 °C y presión reducida de 125 mmHg.

2.3.4 Preparación de poliol-glucósidos ⁽¹⁰⁾: El procedimiento realizado es el mismo utilizado para la obtención de polioles: se realizó mediante reacción de

transesterificación, utilizando óxido de plomo como catalizador en presencia de nitrógeno para tener una atmósfera inerte. Se usó un balón de cuatro bocas esmeriladas, termómetro, agitador mecánico, corcho con dos capilares para adicionar y retirar nitrógeno inerte, un condensador de reflujo total y una manta de calentamiento. Ver figura 10 y tabla 7.

Condiciones de reacción:

- Temperatura: 210 +/- 5 °C.
- Tiempo: 10 minutos después de alcanzar 100 °C (sin corcho para nitrógeno, con el fin de eliminar la humedad).
- Cantidad de glucósido de glicerina o etilenglicol: 5 y 10% con relación al peso de aceite.
- Agitar y calentar a 210 °C durante 2 horas.

NOMBRE	NOMENCLATURA	PESO ACEITE HIGUERILLA (g)	PESO ALMIDÓN (g)
Aceite + 5% glucósido etilenglicol	CO+5GE	200	10
Aceite + 5% glucósido glicerina	CO+5GG	200	10
Aceite + 10% glucósido etilenglicol	CO+10GE	200	20
Aceite + 10% glucósido glicerina	CO+10GG	200	20
Poliol 0 + 5% glucósido etilenglicol	P0+5GE	200	10
Poliol 0 + 5% glucósido glicerina	P0+5GG	200	10
Poliol 0 + 10% glucósido etileng.	P0+10GE	200	20
Poliol 0 + 10% glucósido glicerina	P0+10GG	200	20
Poliol 1 + 5% glucósido etilenglicol	P1+5GE	200	10
Poliol 1 + 5% glucósido glicerina	P1+5GG	200	10
Poliol 1 + 10% glucósido etileng.	P1+10GE	200	20
Poliol 1 + 10% glucósido glicerina	P1+10GG	200	20

Tabla 7. poliol–glucósidos preparados.

2.3.5 Síntesis de elastómeros de poliuretano ^(4, 10): Se llevó a cabo en reactores de vidrio de 250 ml, así:

- En el reactor se agita el poliol, poliol–susp. o el poliol–glucósido para lograr homogeneidad.
- Se pesa el IPDI, se agrega al reactor y se continúa agitando por 5 min.

- Se pasa el reactor a la bomba de vacío para retirar las burbujas presentes en el prepolímero.
- Se vierte el prepolímero sobre el molde.
- Se cura durante 24 horas a temperatura ambiente y 4 horas a 90 °C.

Manteniendo la relación de NCO/OH la cantidad de reactivos se muestran en el Anexo E.

3.3.6 Síntesis de IPN's:

- **Lavado del Metilmetacrilato para remover el inhibidor** ^(24, 27): El metilmetacrilato debe ser desinhibido antes de su utilización lavándolo con una solución de NaOH al 10%, agitando y posteriormente separándolo en un embudo de decantación, donde se puede observar dos fases: una fase básica pesada correspondiente a la soda más el inhibidor, y una liviana correspondiente al metilmetacrilato. La fase liviana se lava con agua destilada hasta remover completamente la soda. El agua presente en el metilmetacrilato se separa mediante rotoevaporación al vacío y finalmente se almacena en presencia de sulfato de sodio anhidro para eliminar las últimas trazas de agua.

2.3.7 Obtención de IPN's vía simultánea ⁽⁴⁾: Se llevó a cabo en reactores de vidrio de 250 ml, así (figura 13):

- En el reactor se agita el polioliol, polioliol–suspensión o el polioliol–glucósido para lograr homogeneidad.
- Se pesa IPDI, se agrega al reactor y se continúa agitando por 5 min.
- Se prepara el polimetilmetacrilato (PMMA) de la siguiente manera: en otro reactor se pesa el metilmetacrilato (MMA), el etilenglicol dimetacrilato (EGDMA) – agente entrecruzante -, y el peróxido de benzoilo (PBO) – iniciador -.
- Se adiciona el PMMA al primer reactor y se continúa agitando durante 15 minutos.
- Se pasa el reactor a la bomba de vacío para retirar las burbujas presentes.
- Se vierte la mezcla sobre el molde.
- Se somete a curado durante 24 horas a temperatura ambiente y 48 horas a 90°C.



Figura 13. Procedimiento para obtención de IPN's.

Los IPN's sintetizados se obtuvieron con la relación NCO/OH=1 (tabla 8).

NOMENCLATURA	PROPORCIÓN PU/PMMA				
	80/20	70/30	90/10		
PUCO/PMMA	80/20	70/30	90/10		
PUSCO/PMMA	80/20				
PUCO+5GE/PMMA	80/20	70/30	90/10		
PUCO+5GG/PMMA	80/20	70/30	90/10		
PUCO+10GE/PMMA	80/20				
PUCO+10GG/PMMA	80/20				
PUPO/PMMA	80/20				
PUSPO/PMMA	80/20				
PUP0+5GE/PMMA	80/20				
PUP0+5GG/PMMA	80/20				
PUP0+10GE/PMMA	80/20				
PUP0+10GG/PMMA	80/20				
PUP1/PMMA	80/20	70/30	90/10		
PUSP1/PMMA	80/20	70/30	90/10		
PUP1+5GE/PMMA	80/20	70/30	90/10		
PUP1+5GG/PMMA	80/20	70/30	90/10		
PUP1+10GE/PMMA	80/20	70/30	90/10		
PUP1+10GG/PMMA	80/20	70/30	90/10	50/50	60/40
PUGLICE3/PMMA	80/20				

Tabla 8: IPN's sintetizados.

La cantidad de reactivos empleados en la obtención de los IPN's se puede observar en el Anexo E.

2.3.8 Caracterización de elastómeros e IPN's: Se realizaron mediciones de las siguientes propiedades fisicoquímicas, fisicomecánicas y térmicas:

Propiedades fisicoquímicas:

- ✓ Resistencia al ataque químico, según norma ASTM D543-87. Las muestras tomadas fueron circunferencias de 9.2 mm de diámetro. Los reactivos usados para tal fin fueron: tolueno, gasolina y tetracloruro de carbono.
- ✓ Extracción Soxhlet, realizada a algunas muestras tomando probetas rectangulares de 4 x 2 cm, sometidas a extracción con tolueno por un periodo de 24 h, y luego sometidas a una temperatura de 90 °C durante 24 h en el horno.

Propiedades fisicomecánicas:

- ✓ Dureza Shore A, según la norma ASTM D785. Medida con un durómetro calibrado para tal fin.
- ✓ Resistencia a la tensión, según la norma ASTM D638. Pruebas realizadas en el Laboratorio de Resistencia de materiales de la Escuela de Ingeniería Civil de la UIS con una máquina INSTRON con mordazas cilíndricas que sostienen la muestra. La energía de ruptura se determinó calculando el área bajo la curva esfuerzo-deformación.

Propiedades térmicas:

- ✓ Análisis Termogravimétrico. Llevado a cabo en una balanza termogravimétrica TA 2050. La velocidad de prueba fue de 10°C/min en un rango de temperatura de 25-700 °C, bajo una atmósfera de nitrógeno.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. CARACTERIZACIÓN DE POLIOLES, POLIOL-SUSP. Y POLIOL- GLUCÓSIDOS

Estas pruebas de caracterización de los polioles, se presentan en el Anexo B, ya que se llevaron a cabo con el fin de comprobar los resultados obtenidos en trabajos anteriores realizados dentro del Grupo de Investigación en Polímeros de la UIS.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE POLIURETANOS

Se hizo un estudio preliminar de las propiedades de los poliuretanos para tener una base de comparación con los IPN's obtenidos.

3.2.1. Ensayos de tensión: Se obtiene gran variedad de elastómeros de poliuretano, además de materiales plásticos, encontrando que el mayor porcentaje de elongación en los elastómeros fue 325%, con un esfuerzo máximo de ruptura de 8035 kPa, mientras que en los plásticos el mayor punto de fluencia fue 14838 kPa a un porcentaje de elongación de 12.5%, con esfuerzo de ruptura máximo 16882 y porcentaje de elongación máximo 63.13%. Figura 14.

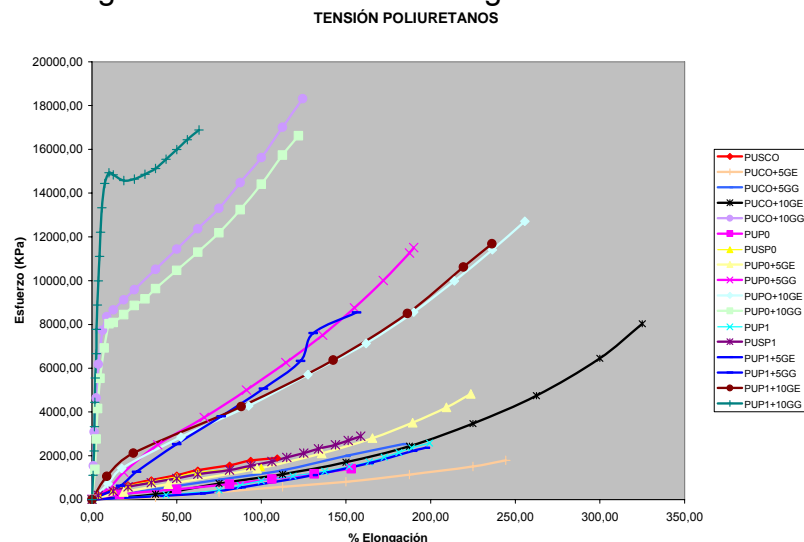


Figura 14. Poliuretanos.

3.2.2. Dureza: Se encuentra el mayor valor de dureza Shore A, de 97, para el poliuretano que contiene aceite de higuera modificada y almidón de yuca modificado con glicerina (PUP1+10GG); y el menor valor, de 59, para PUCO+5GE. Figura 15.

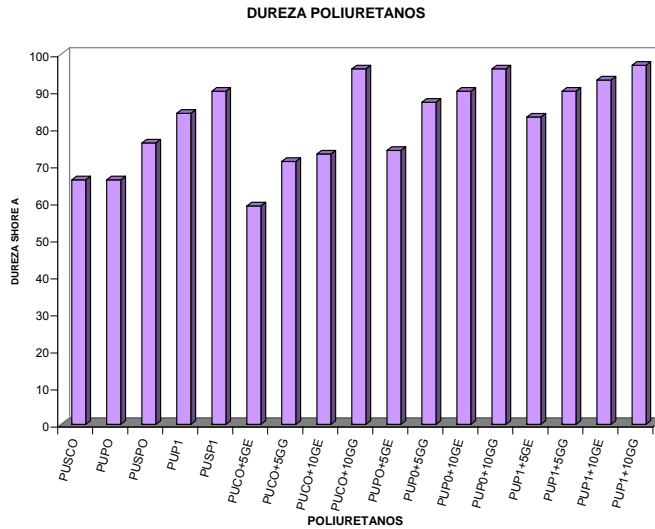


Figura 15. Dureza poliuretanos.

3.2.3 Ataque químico: Se utilizaron como solventes gasolina, tolueno y tetracloruro de carbono, ya que estos poliuretanos tienen alta resistencia a: agua destilada, ácido clorhídrico al 10%, hidróxido de sodio al 10%, varsol, etanol, ácido acético, hexano, entre otros ⁽⁷⁾. Se tomó un grupo de poliuretanos significativos para realizar esta prueba, encontrando los resultados mostrados en la tabla 9 y figura 16. Ver Anexo H.

SOLVENTE	RESISTENCIA
Tetracloruro de carbono	Hinchamiento, cambio de color, agrietamiento
Tolueno	Hinchamiento, cambio de color, agrietamiento
Gasolina	Bajo hinchamiento

Tabla 9. Resistencia al ataque químico (Poliuretanos).

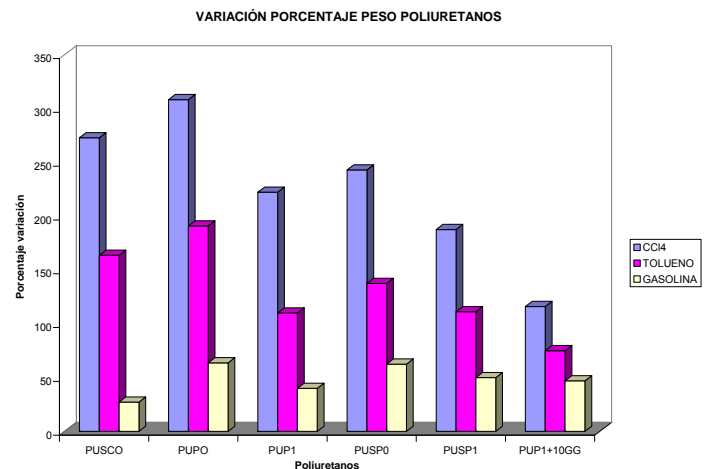


Figura 16. Porcentaje variación en peso (Poliuretanos).

Se tiene entonces, que el mayor porcentaje de variación en peso (menor resistencia al ataque químico) se encuentra con el tolueno como solvente.

3.2.4 Análisis termogravimétrico: Los termogramas obtenidos fueron analizados partiendo de las temperaturas que representaban cambios significativos de descomposición. De estos termogramas, las temperaturas T_i y T_f corresponden a la temperatura inicial y temperatura final de descomposición del poliuretano, y se encuentran en los rangos de temperatura de 276.79–302.91 °C para T_i y de 464.57–560.65 °C para T_f . Las temperaturas intermedias corresponden a las temperaturas de las etapas de descomposición por las que pasa el material. La estabilidad térmica de los poliuretanos fue evaluada por comparación de temperaturas de descomposición en las diferentes etapas y por los valores de sus porcentajes de residuos. Los valores de descomposición de todos los poliuretanos se encuentran entre 276.79-464.57 °C que corresponde a un rango de pérdida de peso de 0.889 - 99.5949%. Ver Anexo D.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE IPN's vía SIN

Debido a la inestabilidad de las propiedades fisicomecánicas de los IPN's producidos, se decidió trabajar con las siguientes relaciones PU/PMMA: 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 Y 50/50.

Ya que el Grupo de Polímeros en diferente investigaciones había trabajado con 19 diferentes poliuretanos, se sintetizaron 19 IPN's con relación PU/PMMA 80/20; se escogieron 9 poliuretanos para sintetizar los IPN's con relación 90/10, 70/30, y únicamente 1 poliuretano representativo para las relaciones 60/40 y 50/50.

3.3.1 Ensayos de tensión: Se realizaron las pruebas en la máquina INSTRON en la escuela de Ingeniería Civil de la UIS, obteniendo los siguientes resultados:

3.3.1.1 Relación PU/PMMA 90/10: Se observa variedad de materiales: en la gráfica se encuentran elastómeros con alto porcentaje de elongación pero bajo esfuerzo de ruptura, y un material plástico (PUP1+10GG/PMMA) con un alto esfuerzo de ruptura

pero bajo porcentaje de elongación, indicando esto, que con esta relación se obtiene una gama de materiales dúctiles y tenaces, tal como se ve en la figura 17.

3.3.1.2 Relación PU/PMMA 80/20: Se observa nuevamente la variedad de materiales entre elastómeros, plásticos y plásticos rígidos, lo que muestra que con esta relación, variando únicamente el poliuretano, obtenemos materiales con alta ductilidad, tenaces y blandos, hasta materiales con alta resistencia a la tensión, rigidez, dureza, poca ductilidad y no tenaces. Figura 18.

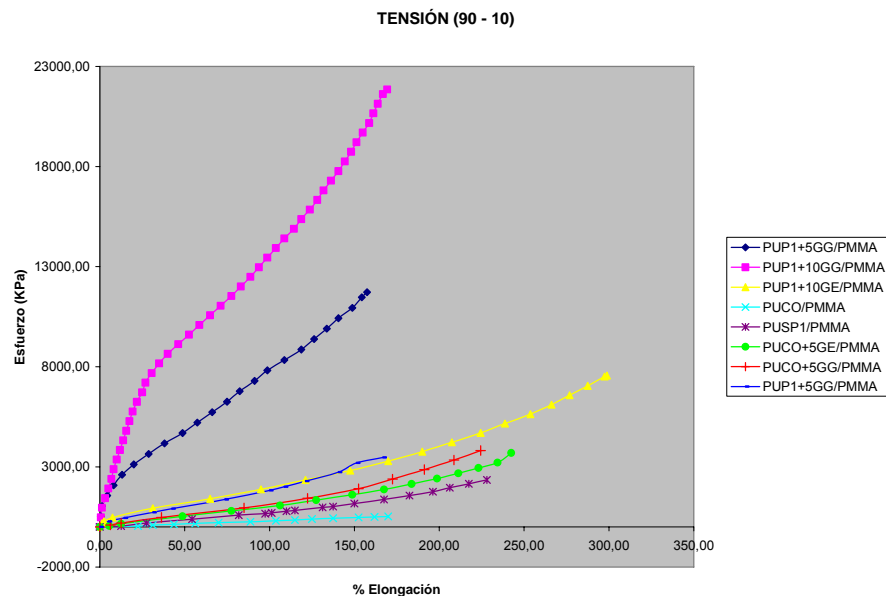


Figura 17. IPN's relación 90/10.

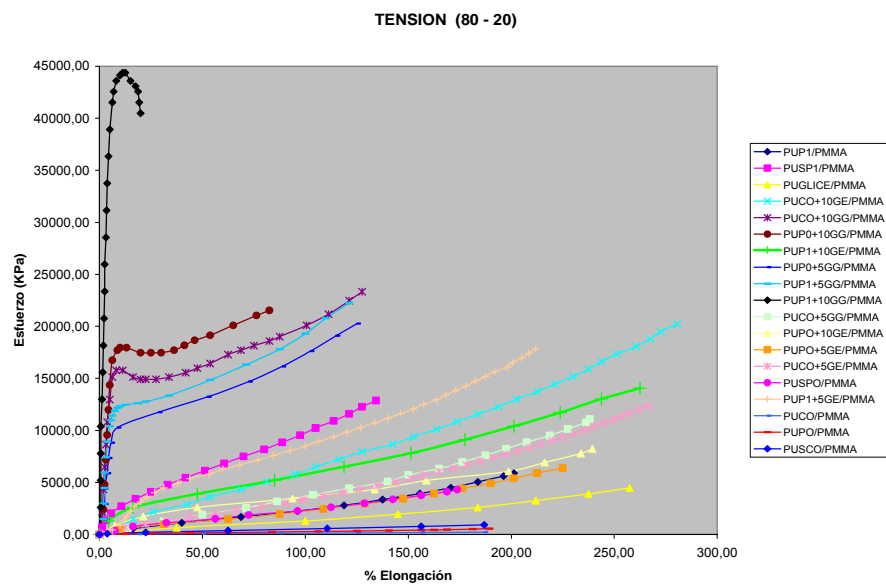


Figura 18. IPN's relación 80/20.

3.3.1.3 Relación PU/PMMA 70/30: Al igual que las relaciones anteriores, observamos materiales plásticos y elásticos, mostrando mejores propiedades que las IPN's obtenidos a partir aceite sin modificar, como se observa en la figura 19.

3.3.1.4 Relación PU/PMMA 60/40 y 50/50: Se puede observar la tendencia del polímero a la elasticidad con estas relaciones, obteniendo un mayor valor de esfuerzo de ruptura para la relación 60/40, y un mayor valor en el porcentaje de elongación para la relación 50/50, lo que hace a la primera relación menos dúctil y más rígida en comparación con la relación 50/50. Figura 20.

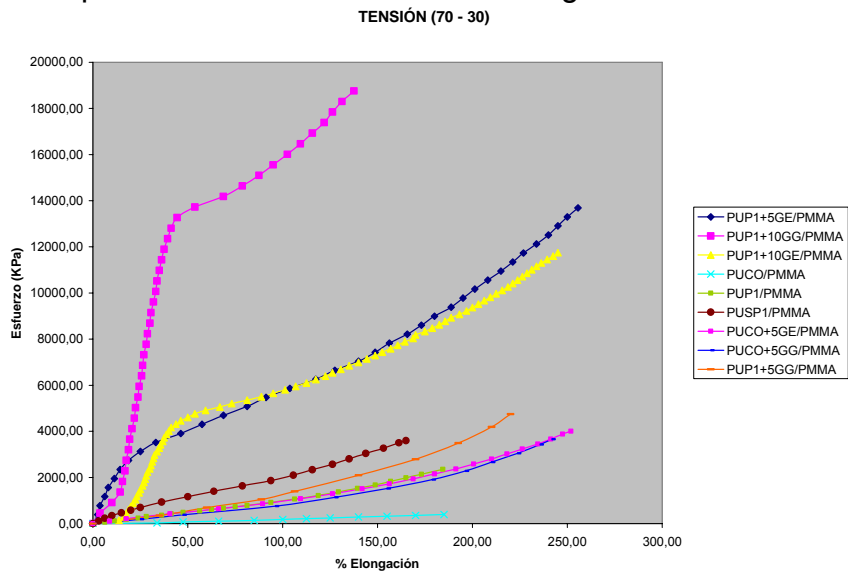


Figura 19. IPN's relación 70/30.

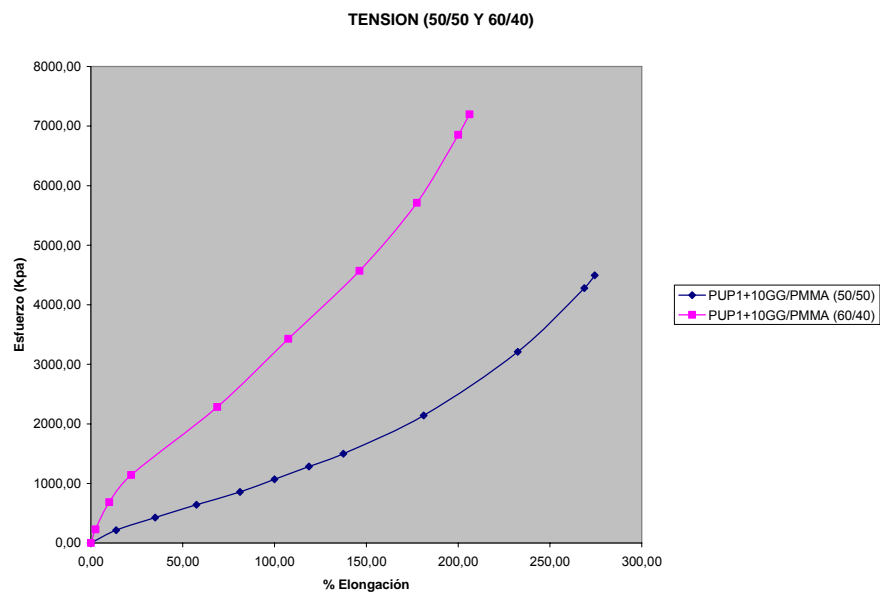


Figura 20. IPN'S relación 60/40 y 50/50.

Se realizó un estudio comparativo para cada IPN en las diferentes relaciones PU/PMMA, encontrando las mejores propiedades en los IPN's con la relación 80/20, en razón al conjunto de propiedades (esfuerzo último, % elongación máxima, energía de ruptura, punto de fluencia). Ver Anexo F.

3.3.2 Dureza: Comparando la dureza de cada IPN en las diferentes relaciones PU/PMMA, se encontraron materiales desde blandos hasta duros y quebradizos, y nos damos cuenta que ésta aumenta a medida que aumenta la modificación del aceite, además que los valores más altos se encuentran en la relación 80/20. Figura 21.

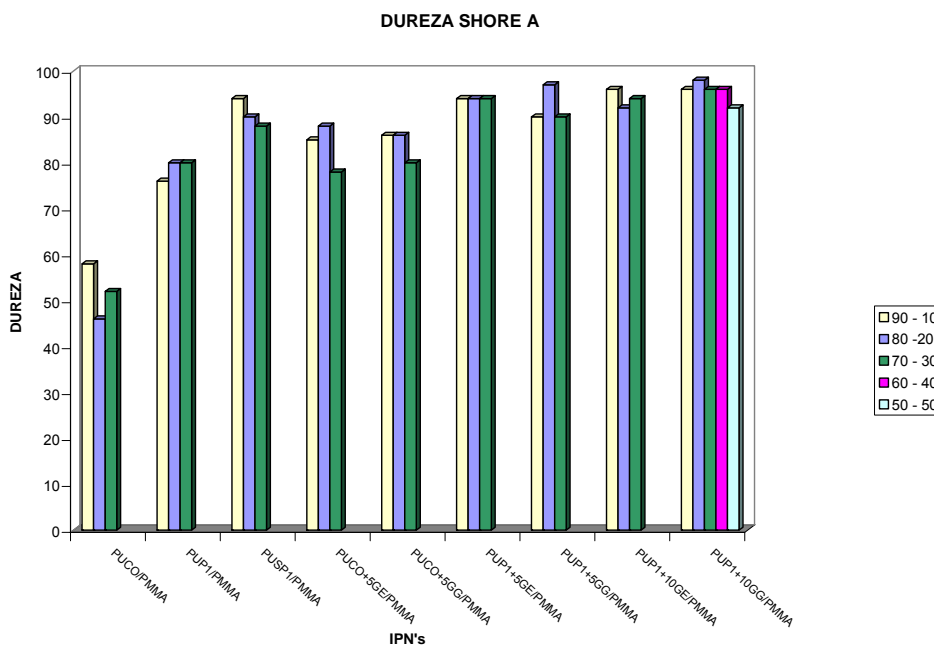


Figura 21. Comparación dureza IPN's todas las relaciones.

Todas las tablas y gráficas de los datos obtenidos se encuentran en el Anexo I.

3.3.3 Ataque químico: Trabajando con los mismos solventes utilizados para el ataque químico realizado a los poliuretanos, podemos observar los resultados en la tabla 10 y figura 22

SOLVENTE	RESISTENCIA
Tetracloruro de carbono	Hinchamiento, cambio de color, agrietamiento
Tolueno	Hinchamiento, cambio de color, agrietamiento
Gasolina	Bajo hinchamiento

Tabla 10. Ataque químico IPN's.

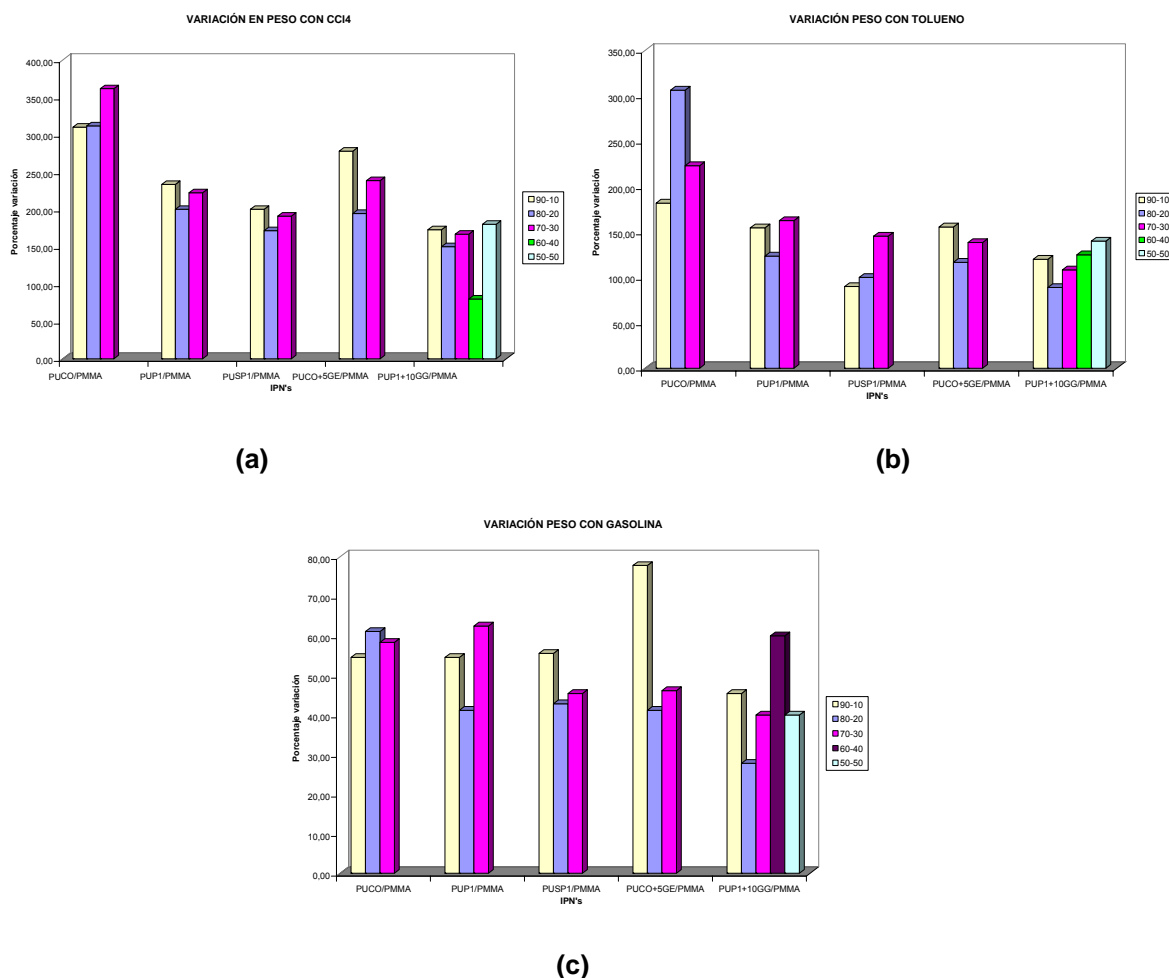


Figura 22. Ataque químico IPN's representativos: (a) Tetracloruro de carbono, (b) Tolueno, (c) Gasolina

3.3.4 Análisis termogravimétrico: El análisis efectuado a los termogramas indica algunas zonas intermedias donde la primera corresponde a pérdida de humedad, hidrocarburos alifáticos lineales del aceite de higuera, almidón y oligómeros ⁽⁴⁾, mientras las otras corresponden a la degradación de compuestos de peso molecular promedio y demás compuestos presentes en la red. Se realizó un análisis comparativo de los termogramas por relaciones PU/PMMA por comparación de temperaturas de descomposición en las diferentes etapas y por los valores de sus porcentajes de residuos.

RELACIÓN PU/PMMA	RANGO T INICIAL (°C)	RANGO T FINAL (°C)	% RESIDUO
90/10	293.23 – 300.22	457.33 – 477.74	0.05472 – 0.1026
80/20	291.58 – 308.63	471.71 – 541.80	0.1076 – 0.8854
70/30	246.88 – 302.75	457.88 – 552.43	0.04543 – 0.3375

Tabla 11. Análisis termogramas IPN's.

Del análisis termogravimétrico realizado a los IPN's representativos en las diferentes relaciones PU/PMMA, se puede observar que los IPN's obtenidos son estables por debajo de 246.88 °C y completamente degradados alrededor de los 552.43 °C. Al analizar los cambios de temperatura de las diferentes relaciones (ΔT), se concluye que esta aumenta significativamente con respecto a los poliuretanos, observando así una mayor resistencia térmica por parte de los IPN's analizados, y entre estos, la relación 80/20 es la que presenta mejores valores. Anexo D.

CONCLUSIONES

1. Se logró la síntesis de polímeros tipo IPN's vía simultánea a partir de polimetilmetacrilato y aceite de higuera modificado con pentaeritritol, almidón de yuca y glucósidos.
2. Con base en los resultados de caracterización obtenidos, se puede asegurar un mejoramiento en las propiedades fisicoquímicas, fisicomecánicas y térmicas de los materiales sintetizados (IPN's) con respecto a los materiales base (poliuretanos).
3. De acuerdo con el estudio comparativo realizado entre las diferentes propiedades de los IPN's para las relaciones PU/PMMA (90/10, 80/20, 70/30, 60/40 y 50/50), bajo las mismas condiciones de reacción, tiempo y temperatura de curado, cantidad de catalizador, e igual proporción de iniciador y agente entrecruzante, se encuentra que la relación 80/20 posee los más altos valores en las diferentes propiedades analizadas: mejor resistencia al ataque químico, mayor diferencial de temperatura (resistencia térmica), mejores propiedades tensiles y mayor dureza; y que se mantiene la tendencia al aumento en estas propiedades en función de la cantidad de modificador (pentaeritritol, almidón de yuca y glucósido).
4. Se encontró una amplia gama de materiales IPN en cada relación PU/PMMA sintetizada, obteniendo materiales con alto módulo de Young, es decir, con alta resistencia, rigidez, dureza, poca ductilidad, baja energía y alto esfuerzo de ruptura - plásticos rígidos -; además de materiales con bajo módulo de Young, alta ductilidad, alto porcentaje de elongación, alta energía y bajo esfuerzo de ruptura y tenacidad – elastómeros -, consiguiendo de esta forma elevar el número de aplicaciones y usos a nivel industrial de este tipo de materiales.

5. La incorporación del almidón como glucósido en la síntesis de los IPN's genera materiales que poseen las mejores propiedades de resistencia tensil, dureza, resistencia térmica y resistencia al ataque de solventes. Este efecto es más notorio si se utiliza glicerina en lugar de etilenglicol para obtener el glucósido de partida para el IPN.

BIBLIOGRAFIA

1. A. A. Donatelli, L. H. Sperling, D. A. Thomas. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 21, 1189-1197 (1977).
2. BADILLO, L., Ríos, J.. Estudio técnico para la producción y aplicaciones de copolímeros vinílicos de almidón. Trabajo de grado (Ingeniero Químico), Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 1987.
3. BILLMEYER, Fred. *Ciencia de los Polímeros*. Barcelona. Reverté, 1975. p. 129 - 136.
4. CABRERA, Juan, NAVAS, Kelly. Síntesis y caracterización de elastómeros de poliuretano y redes poliméricas interpenetradas (IPN's) a partir de poliolsuspensiones de aceite de higuera y almidón de yuca, y estireno. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico), Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 2005
5. D. J. Hourston, Y. Zia. *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 29, 629-635, 2963-2967 (1984).
6. DEVIA, N. MANSON, J.A. SPERLING, H. CONDE, A. En *Journal of Applied Polymer Science*, vol.24, 559-582, 1979.
7. DUARTE, Diana, VALDIVIESO, María. Obtención y Caracterización de elastómeros de poliuretano a partir de Aceite de higuera modificado. Trabajo de Grado, Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 2004.

8. ESCALANTE, Susana, SOCARRAS, Jorge. Síntesis y caracterización de elastómeros de poliuretano a partir de metilen difenil diisocianato (MDI) y aceite de higuera modificado con almidón de yuca. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico), Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 2005
9. GOMEZ, Marco. Química orgánica. Bogotá, 1988. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, 191–196.
10. HERNANDEZ, Juan C., POSADA, José A.. Síntesis y caracterización de elastómeros de poliuretano a partir de almidón de yuca y aceite de higuera modificados. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de ingeniería química. Bucaramanga, 2005
11. <http://www.pslc.ws/macrog/kidsmac/pmma.htm>
12. <http://www.pslc.ws/spanish/urethane.htm>
13. <http://www.textoscientificos.com/quimica/isocianatos>
14. M. Begum, SIDDARAMAIAH, R. Somashekar, H. Somashekarappa. Journal of Elastomers and Plastics, vol. 36, 197-212 (2004).
15. MARTÍNEZ, Maria, RAMÍREZ, Patricia. Síntesis y caracterización de redes interpenetradas de polímero simultáneamente formadas (SIN) a partir de aceite de higuera modificado y estireno. Trabajo de Grado (Ingeniero Químico). Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química. Bucaramanga, 2005.
16. MEJÍA, Sandra, La Higuera (Ricinus communis), Universidad Nacional. Bogotá.

17. PRASHANTHA, K. VASANTH K. PAI, K. SHERIGARA, B. S. PRASANNAKUMAR, S. En Polymer, Vol. 40, 3153-3163, 1999.
18. S. C. Kim, D. Klemperer, K. C. Frisch, H. L. Frisch. Journal of Applied Polymer Science, vol. 21, 1289-1295 (1977).
19. SAUNDERS, J. FRISCH, K. En Chem. and techn. Parte I, vol XVI, p. 49-53, 1964.
20. SAUNDERS, J and FRISCH, K. Chem. and techn. Parte II, Vol XVI, 1964; p. 400.
21. SCHURCHARDI, U. SERCHELI, R. MATHEUS VARGAS. En Chem. Soc Vol. 9 N° 1, 199-210, 1998.
22. SKOOG, Douglas; HOLLER, James and NIEMAN, Timothy. Principios de Análisis Instrumental, Mc Graw Hill, Quinta Edición, Madrid, 1998
23. SMITH William F. Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Mc Graw- Hill. Tercera Edición, 1998. Pág. 359 – 360
24. SPERLING L.H., MANSON J.A., YENWO G.M, DEVIA N., PULIDO J., CONDE A. En Polymer Alloys, D. Klemperer and K.C. Frisch, eds., Plenum Press, New York, 1977.
25. SPERLING L. H, MISHRA V. En Pol. for advanced techn. Vol 7, 197-208, 1998.
26. WILEY, J. Encyclopedia of pol. Science and Techn. Vol. 1, p.586- 607,1964.
27. YENWO G.M., MANSON J.A., PULIDO J., SPERLING L.H, CONDE A., DEVIA N. En J. Appl. Polym. Sci. 21(6), 1531, 1977.
28. ZHANG, Liucheng, DING, Huilee. J Appl Polym Sci, vol. 64: 1393–1401, 1997

ANEXOS

ANEXO A
COPIA ANÁLISIS DE ÁCIDOS GRASOS POR CROMATOGRFÍA DE GASES DE
ALTA RESOLUCIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA

Bucaramanga, 22 de octubre de 2003

Profesor
JORGE ENRIQUE PULIDO
GRUPO DE INVESTIGACIONES EN POLÍMEROS
UIS/Presente

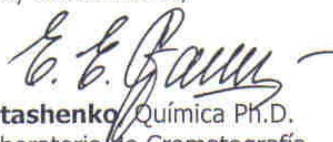
Estimado profesor Pulido:

Atentamente me permito enviarle el resultado del análisis de ácidos grasos por cromatografía de gases de alta resolución con detector selectivo de masas (HRGC/MSD), de la muestra identificada como: "Aceite de Higuierilla".

Los metilésteres de ácidos grasos, obtenidos del aceite de Higuierilla según la norma **ISO 5509** ("Animal and Vegetable Fats and Oils – Preparation of Methyl Ester of Fatty Acids"), inicialmente fueron analizados en un cromatógrafo de gases de alta resolución HP5890A con detector de ionización en llama (HRGC/FID), dotado de una columna de poli(etilenglicol), fase estacionaria de naturaleza muy polar (60 m x 0.25 mm x 0.25 µm). Con este equipo se lograron determinar los metilésteres de los ácidos grasos palmítico, linoleico, oleico y esteárico. Una vez conocida la naturaleza polar del ácido ricinoleico y su retención en la fase polar excesiva, se determinó cambiar de la columna equipo y del sistema de detección, para lograr su cuantificación. Para ello, se empleó un cromatógrafo de gases de alta resolución *Agilent Technologies* 6890 Plus con detector selectivo de masas Agilent 5273N dotado de una columna DB-1 (60 m x 0.30 mm x 0.30 µm) de naturaleza apolar. Con este equipo se determinó la presencia del metiléster del **ácido ricinoleico** y del **ácido 9,10,12-trihidroxi octadecanoico** en cantidades relativas de 90.36 y 0.37%, respectivamente.

El costo del análisis es de **\$ 110.000.00 (ciento diez mil pesos m/cte)**. El pago debe hacerse a: Universidad Industrial de Santander, Fondo 7983, cuenta corriente de recaudo nacional # 184-16798-9 del Banco de Bogotá. **Favor enviar por fax (097-6358210) copia de la consignación.**

Muy cordialmente,



Elena E. Stashenko Química Ph.D.
Directora Laboratorio de Cromatografía
Universidad Industrial de Santander

DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE ÁCIDOS GRASOS SEGÚN LA NORMA ISO 5508 EN MUESTRAS DE ACEITE VEGETAL Y GRASA VEGETAL

1. DATOS GENERALES

ENTIDAD SOLICITANTE: GRUPO DE INVESTIGACIONES EN POLÍMEROS

NOMBRE DE LA(S) MUESTRA(S): "Aceite de Higuera".

ANÁLISIS SOLICITADO(S): Perfil de ácidos grasos obtenido según la norma ISO 5508, por cromatografía de gases de alta resolución con detector selectivo de masas.

FECHA: Octubre 17/2003

No DE SERVICIO(S): 981055

2. DESCRIPCIÓN DEL ANÁLISIS

El análisis de ácidos grasos se llevó a cabo mediante la obtención y cuantificación de sus metilésteres por cromatografía de gases de alta resolución con detector selectivo de masas (HRGC/MSD), según las normas ISO 5509 ("*Animal and Vegetable Fats and Oils – Preparation of Methyl Ester of Fatty Acids*") y 5508 ("*Animal and Vegetable Fats and Oils - Analysis by Gas Chromatography of Methyl Ester of Fatty Acids*"), respectivamente.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Preparación de la muestra

3.1.1. Reactivos y materiales

Complejo de trifluoruro de boro en metanol al 12% (w/v), Aldrich Chemical Company, Inc. Milwaukee, WI, USA, Cat. N° 26,412-1.

3.1.2. Derivación y extracción

La muestra (ca. 60 mg) se colocó en un tubo de ensayo con tapa rosca (16 x 150 mm). Luego, se adicionó el complejo de trifluoruro de boro al 12% en metanol (5 mL). La mezcla, con agitación magnética, se sumergió en un baño de aceite a 85-90° C durante 1 hora, hasta observar la desaparición de la fase lipídica.

Posteriormente, la muestra fue retirada del baño de aceite y se dejó reposar por 5 minutos. Seguidamente, se realizó la extracción de los metilésteres de los ácidos grasos con n-heptano (1 mL x 3). Del extracto orgánico obtenido se tomaron 0,5 mL y se aforaron con n-heptano a 1 mL. Una alícuota (1 µL) de esta solución fue inyectada al cromatógrafo de gases de alta resolución con detector selectivo de masas (MSD), para su respectivo análisis.

3.2 Parámetros analíticos

CG-MSD Modelo: Agilent Technologies 6890 Plus (Palo Alto, California, USA)
 acoplado a un detector selectivo de masas (5973N)

Horno Temperatura inicial: 100°C tiempo inicial: -----
 a 2 °C/min hasta 140 °C durante 1 min
 a 5 °C/min hasta 270 °C durante 15 min

Columna Longitud (m) 60 d.i (mm): 0.25
 Fase: poli(dimetilsiloxano) Espesor(μm): 0.30
 Velocidad del gas de arrastre: 1 mL/min (70 °C)
 Presión de entrada de columna: 24.4 Psi

Inyector Manual: ----- Automático: HP-7683
Split: X *Splitless:* ----- Relación *split:* 30:1
 Temperatura (° C): 250

Gases *Carrier:* Helio (99.995%)

Analizador Emisión (mA): 34.6 Ion Focus (V): 86.4
 Repeller (V): 24.09 Ent. Lens (V): 18.5
 Energía de e⁻ (eV): 69.9 Multiplicador (V): 1776
 Vel. de barrido (scan/seg): 3.0 Filamento off (min): 6
 Rango de masas (u.m.a.s): 40 – 400

Fuente de Iones Temperatura (° C): 250 Presión (torr): 3.2 x 10⁻⁵ (N₂)
 Línea de transferencia (° C): 285

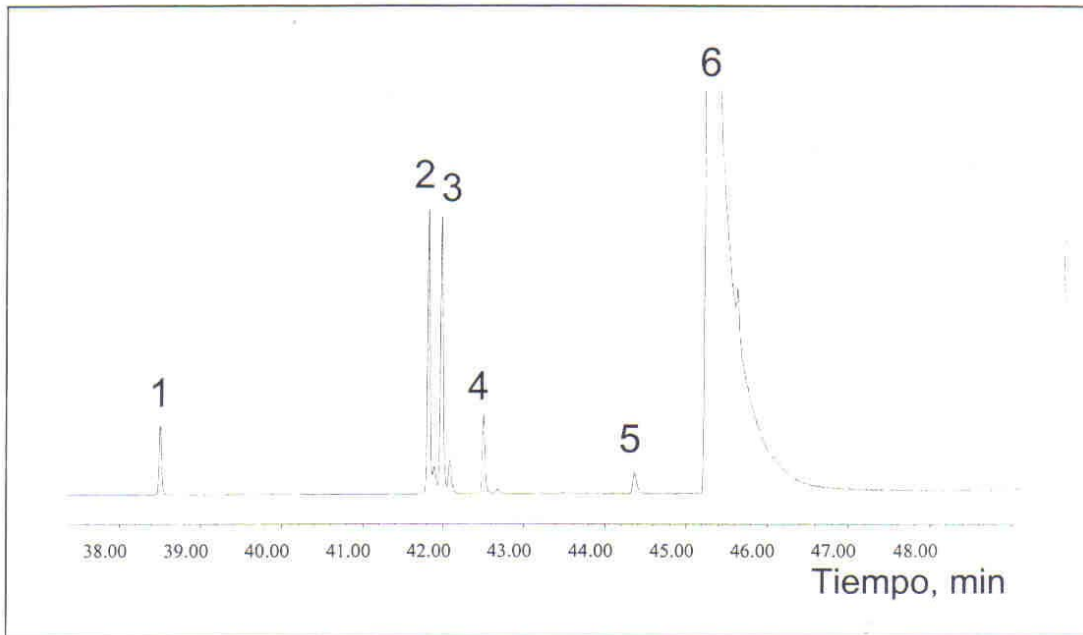
Modo Full scan: X SIM: -----

4. RESULTADOS

Los metilésteres de ácidos grasos (FAME's) presentes en la muestra de aceite de higuierilla se identificaron con base en sus espectros de masas. Los componentes mayoritarios y su cantidad relativa (%) fueron: ácido palmítico (0.77%), ácido linoleico (3.22%), ácido oleico (3.46%), ácido esteárico (0.95%), ácido 9,10,12-trihidroxiocetadecanoico (0.37%) y **ácido ricinoleico** (90.36%).

En el **Anexo** se encuentran la corriente iónica reconstruida (cromatograma) obtenida por GC/MSD de la mezcla de los metilésteres de los ácidos grasos (FAME's) presentes en el aceite de higuierilla y de sus espectros de masas.

Aceite de higuera. Análisis de ácidos grasos por HRGC/MSD (EI, 70 eV)



Cantidad relativa (%) de ácidos grasos mayoritarios presentes en el aceite de higuera

1- Ácido palmítico	0.77%
2- Ácido linoleico	3.22%
3- Ácido oleico	3.46%
4- Ácido esteárico	0.95%
5- Ácido 9,10,12 trihidroioctadecanoico	0.37%
6- Ácido ricinoleico	90.36%

Columna DB 1 (60 m). Inyección *split* (1:30, vol. 2 μ L). Programación del horno: 100°C @ 2°C/min 140°C (1 min) @ 5°C/min 270°C (15 min). Inyector: 250°C. MSD: 230°C.

ANEXO B
CARACTERIZACIÓN DE POLIOLES

B.1 CARACTERIZACIÓN DE POLIOLES, POLIOL-SUSPENSIÓN Y POLIO-GLUCÓSIDOS

Poliol	Gravedad específica	Viscosidad (cp)	Índice de hidroxilo
Aceite higuerilla	0.9576	574.4 ⁽²⁵⁾	160.00
P0	0.96170	699.2 ⁽²⁵⁾	186.30
P1	0.96613	782.4 ^(23.5)	233.80
SCO	0.9758	566.4	185.53
SP0	0.9760	726.4 ⁽²⁵⁾	215.23
SP1	0.9763	857.6 ^(23.5)	258.07
Glice 3	0.96803	649.6	231.92
CO +5GE	1	444.8	257.90
CO+5GG	1.005	849.6	242.50
CO+10GE	1.005	353.6	302.80
CO+10GG	1.015	776	338.40
P0+5GE	1	571.2	265.90
P0+5GG	1.005	912	283.90
P0+10GE	1.005	395.2	347.20
P0+10GG	1.015	868.8	348.90
P1+5GE	1.005	564.8	297.09
P1+5GG	1.01	923.2	287.50
P1+10GE	1.015	435.2	349.60
P1+10GG	1.015	963.2	347.50

ANEXO C
CÁLCULO DEL ÍNDICE DE HIDROXILO EN POLIOLES

C.1. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE HIDROXILO SEGÚN NORMA ASTM D1957-86

Según la norma ASTM 1957-86, el índice de hidroxilo calculado como el número de miligramos de KOH equivalente al contenido de grupos OH presentes en un gramo de la muestra estudiada, se expresa así:

$$\text{Índice.hidroxilo} = \frac{B + \left(\frac{D * A}{C}\right) - V}{D} * N * 56.1 \quad [\text{mgKOH} / \text{g.muestra}]$$

A = Solución de KOH requerida para la titulación del valor ácido (ml).

B = Solución de KOH requerida para la titulación del blanco (ml).

C = Muestra usada para el valor ácido (g).

V = Solución de KOH requerida para la titulación de la muestra acetilada (ml).

S = Muestra usada para la acetilación (g).

Poliol .Aceite	Índice de hidroxilo
CO	160,00
P0	186,30
P1	233,80
SCO	185,53
SP0	215,23
SP1	258,07
Glice3	231,92
CO+5GE	257,90
CO+5GG	242,50
P0+5GE	265,90
P0+5GG	283,90
P1+5GE	297,09
P1+5GG	287,50
CO+10GE	302,80
CO+10GG	338,40
P0+10GE	347,20
P0+10GG	348,90
P1+10GE	349,60
P1+10GG	347,50

ANEXO D
ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO DE LOS POLIURETANOS E IPN's

D.1. Datos obtenidos del estudio de TGA para los elastómeros de poliuretano

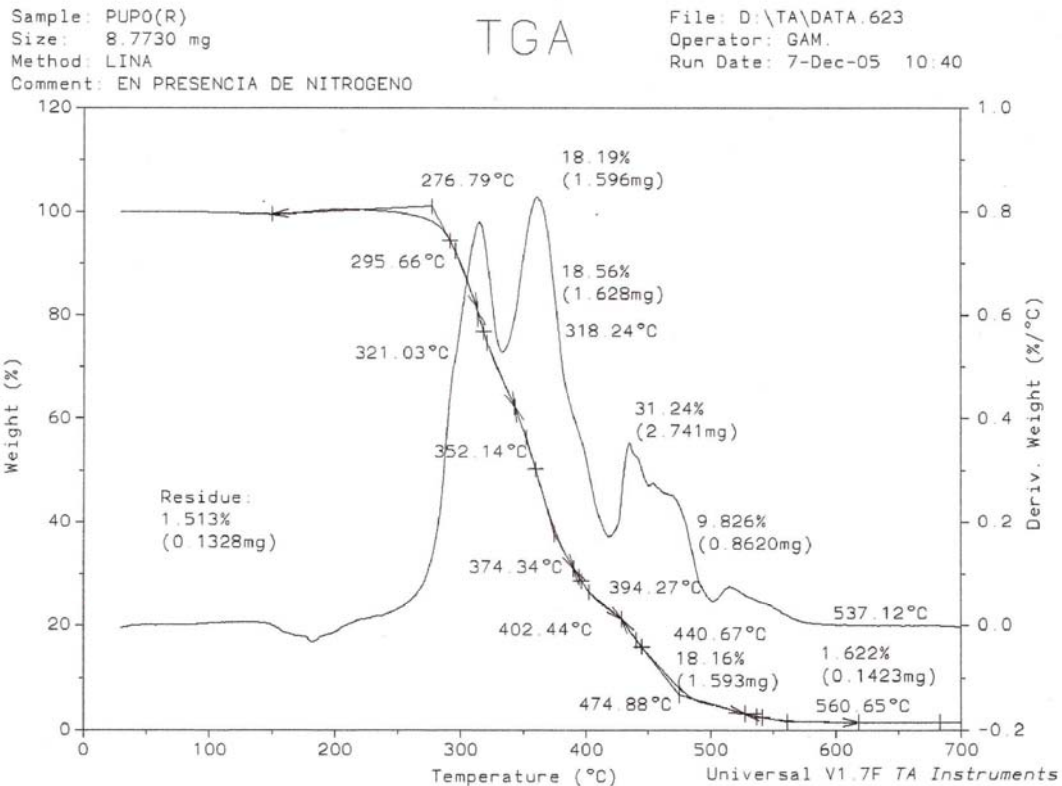
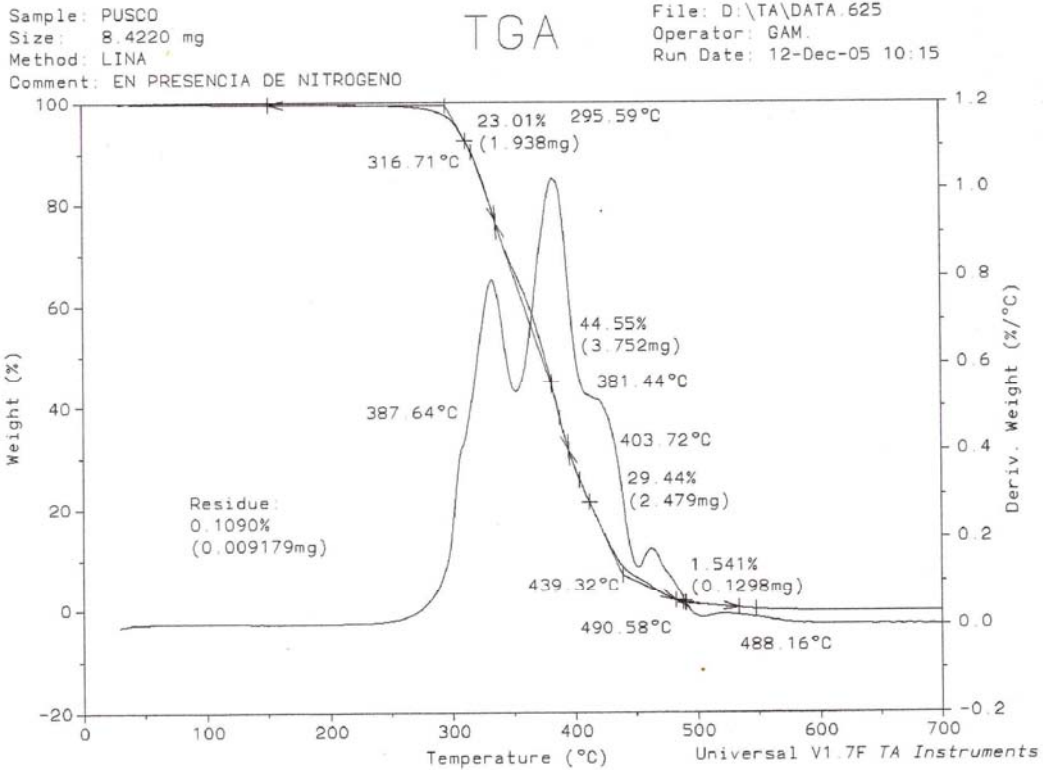
Nombre	Proceso	Temperatura °C	% Pérdida peso	ΔT (°C)
POLIURETANOS				
PUSCO	T _i	295.59	1.35	194.99
	T ₁	316.71	24.36	
	T ₂	381.44	68.91	
	T ₃	403.72	98.35	
	T _f	490.58	99.891	
	Residuo		0.1090	
PUP0	T _i	276.79	0.889	283.86
	T ₁	295.66	19.079	
	T ₂	318.24	37.639	
	T ₃	352.14	68.829	
	T ₄	394.27	78.705	
	T ₅	440.67	96.865	
	T _f	560.65	98.487	
Residuo		1.513		
PUSP0	T _i	302.91	1.4722	165.62
	T ₁	350.98	52.0522	
	T ₂	370.35	83.6622	
	T _f	468.53	99.4422	
	Residuo		0.5578	
PUP1	T _i	299.57	0.4239	165.95
	T ₁	309.31	40.2239	
	T ₂	357.31	75.8339	
	T _f	465.52	99.6839	
	Residuo		0.3161	
PUSP1	T _i	302.57	0.7549	162.00
	T ₁	343.42	49.9049	
	T ₂	365.83	77.6549	
	T _f	464.57	99.5949	
	Residuo		0.4051	

B2. Datos obtenidos del estudio de TGA para los IPN's

Nombre	Proceso	Temperatura °C	% Pérdida peso	ΔT (°C)
PU/PMMA 90/10				
PUCO/PMMA	T _i	297.72	1.46474	178.34
	T ₁	332.13	44.01474	
	T ₂	364.26	89.60474	
	T _f	476.06	99.94474	
	Residuo		0.05526	
PUP1/PMMA	T _i	298.46	1.28528	170.63
	T ₁	327.31	54.32528	
	T ₂	376.22	80.57528	
	T _f	469.09	99.94528	
	Residuo		0.05472	
PUSP1/PMMA	T _i	300.22	0.6174	159.35
	T ₁	352.10	68.6974	
	T _f	459.57	99.8974	
	Residuo		0.1026	
PUCO+5GE/PMMA	T _i	293.23	0.8833	184.51
	T ₁	331.12	42.0533	
	T ₂	353.92	78.0533	
	T ₃	405.11	95.8739	
	T _f	477.74	99.8053	
	Residuo		0.1947	
PUP1+10GG/PMMA	T _i	296.74	0.9987	160.59
	T ₁	334.77	58.4487	
	T ₂	373.63	80.4687	
	T _f	457.33	99.5287	
	Residuo		0.4713	
PU/PMMA 80/20				
PUCO/PMMA	T _i	308.63	0.0274	233.17
	T ₁	367.01	67.7274	
	T ₂	415.72	94.8574	
	T _f	541.80	99.8474	
	Residuo		0.1526	
PUP1/PMMA	T _i	295.88	0.16346	214.74
	T ₁	329.38	39.28346	
	T ₂	354.61	72.62346	
	T ₃	420.23	95.88346	
	T _f	510.62	99.91146	
Residuo		0.8854		
PUSP1/PMMA	T _i	294.63	0.4605	191.28
	T ₁	305.54	39.2305	
	T ₂	354.67	72.0705	
	T ₃	421.57	93.6605	
	T _f	485.91	99.8565	
Residuo		0.1435		
PUCO+5GG/PMMA	T _i	294.69	1.0632	177.02
	T ₁	325.33	39.2632	
	T ₂	354.17	69.2432	
	T ₃	408.77	88.7732	
	T _f	471.71	99.5132	
Residuo		0.4868		

PUP1+10GG/PMMA	T _i	291.58	0.4021	182
	T ₁	332.57	41.2121	
	T ₂	351.61	68.8821	
	T ₃	418.71	86.3921	
	T _f	473.58	99.8921	
Residuo		0.1079		
PU/PMMA 70/30				
PUCO/PMMA	T _i	302.75	1.1915	170.94
	T ₁	334.75	40.6015	
	T ₂	368.95	90.5015	
	T _f	473.69	99.7265	
	Residuo		0.2735	
PUP1/PMMA	T _i	246.88	0.8875	233.39
	T ₁	281.05	4.6325	
	T ₂	306.04	48.6725	
	T ₃	366.57	46.2025	
	T _f	460.27	99.6625	
Residuo		0.3375		
PUSP1/PMMA	T _i	293.55	1.3034	167.74
	T ₁	315.25	34.0034	
	T ₂	353.65	68.1734	
	T _f	461.29	99.8134	
	Residuo		0.1866	
PUCO+5GE/PMMA	T _i	297.52	0.78426	160.36
	T ₁	315.29	50.49426	
	T ₂	369.71	74.02426	
	T _f	457.88	99.98426	
	Residuo		0.01574	
PUP1+10GG/PMMA	T _i	295.22	0.13657	257.21
	T ₁	348.12	64.17657	
	T ₂	423.63	97.03657	
	T _f	552.43	99.95457	
	Residuo		0.04543	
PU/PMMA 60/40				
PUP1+10GG/PMMA	T _i	281.05	2.4583	210.16
	T ₁	304.72	28.2983	
	T ₂	327.83	60.0683	
	T ₃	370	73.1383	
	T ₄	421.52	97.8583	
	T _f	491.21	99.2713	
Residuo		0.7287		
PU/PMMA 50/50				
PUP1+10GG/PMMA	T _i	292.3	1.5764	168.25
	T ₁	322.93	43.5564	
	T ₂	351.05	72.1364	
	T _f	460.55	99.8264	
	Residuo		0.1736	

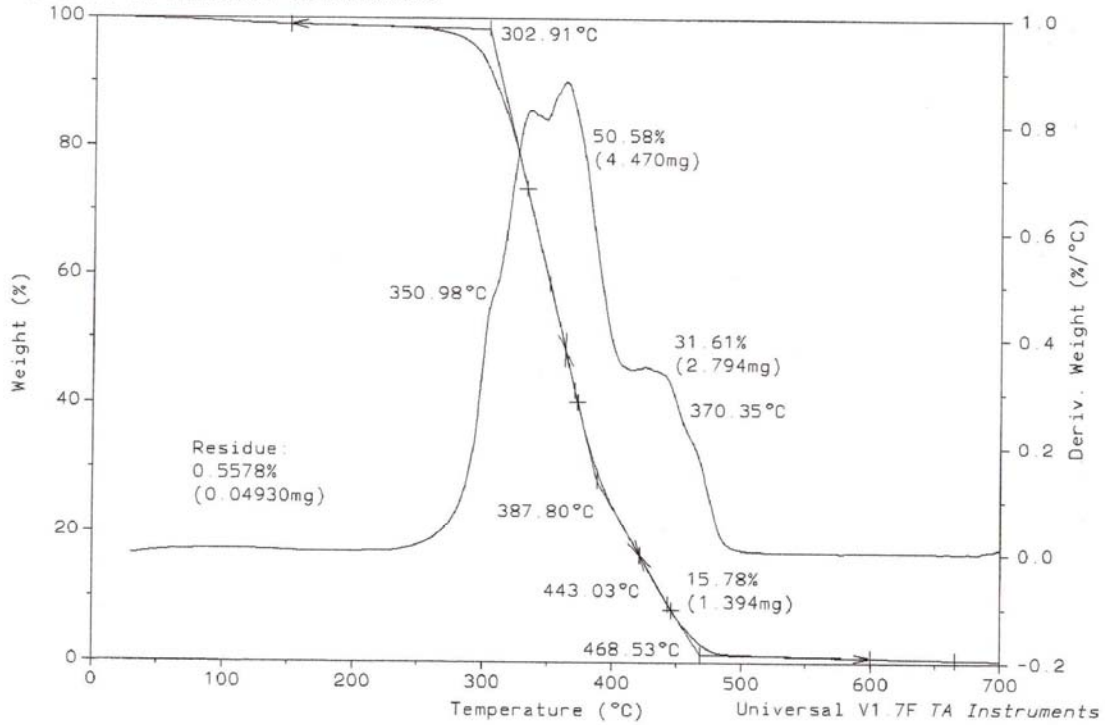
D.3. Termogramas obtenidos para cada muestra



Sample: PUSPO
Size: 8.8390 mg
Method: LINA
Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

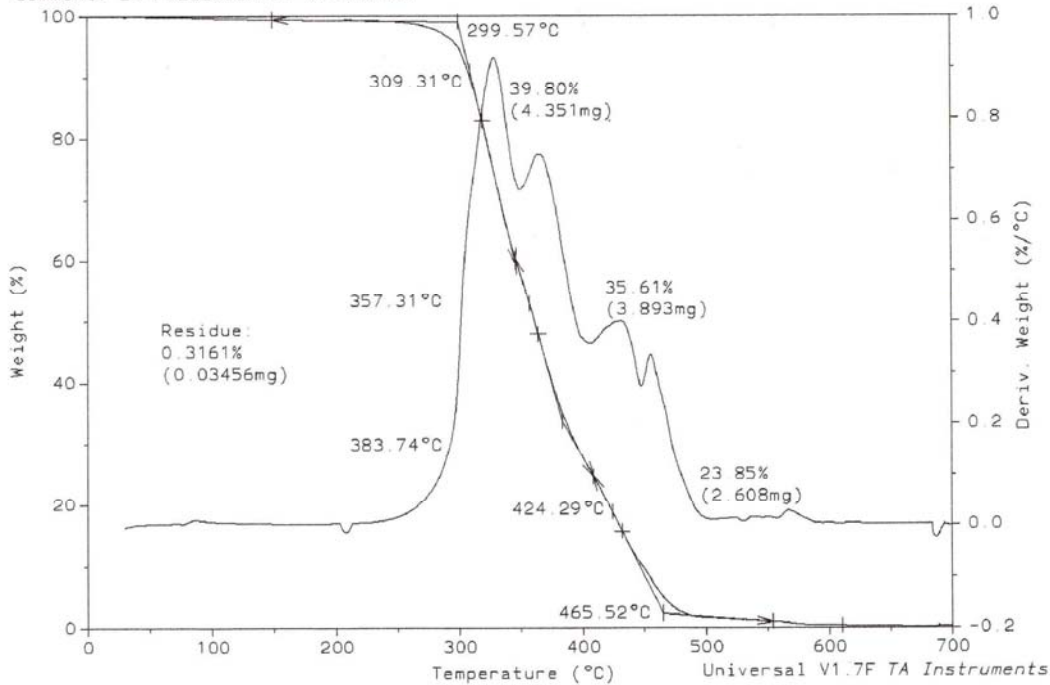
File: D:\TA\DATA.621
Operator: GAM
Run Date: 6-Dec-05 14:59



Sample: PUP1
Size: 10.9330 mg
Method: LINA
Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

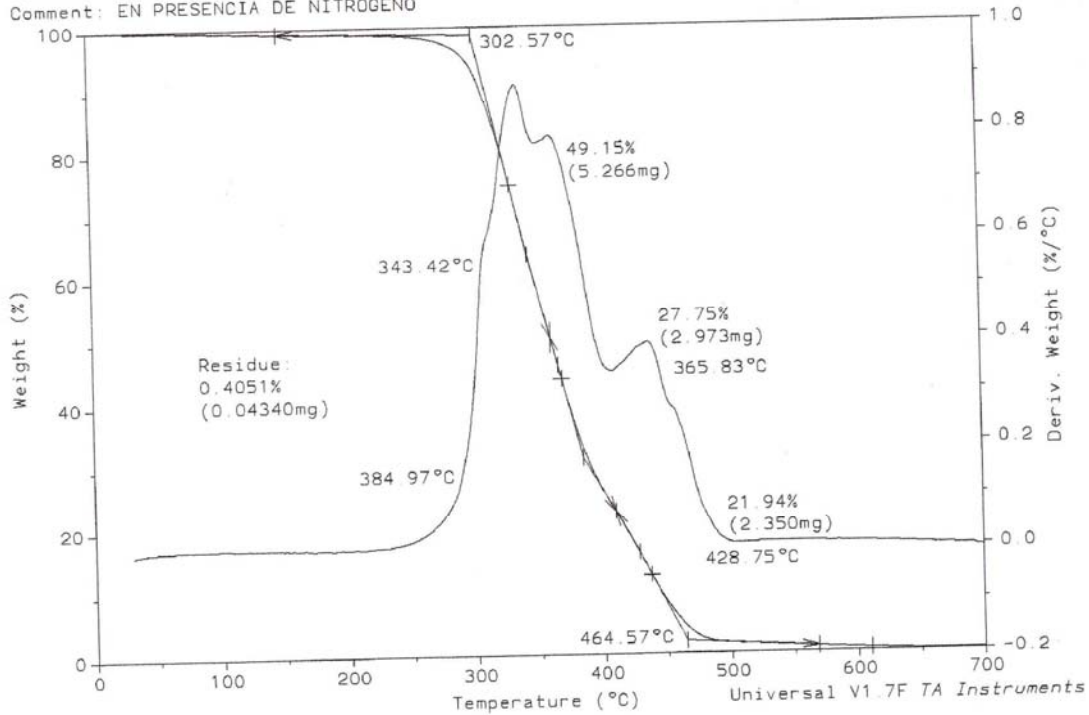
File: D:\TA\DATA.620
Operator: GAM
Run Date: 6-Dec-05 10:33



Sample: PUSP1
 Size: 10.7130 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

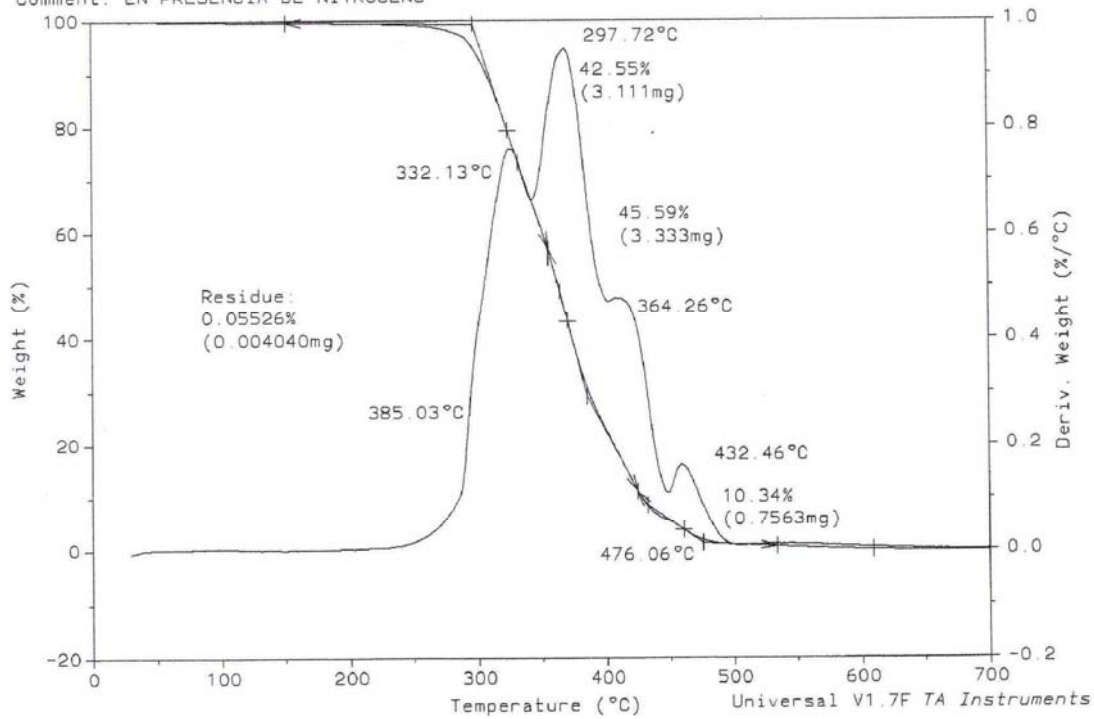
File: D:\TA\DATA.619
 Operator: GAM.
 Run Date: 5-Dec-05 14:37



Sample: PUCO/PMMA (90-10)
 Size: 7.3110 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

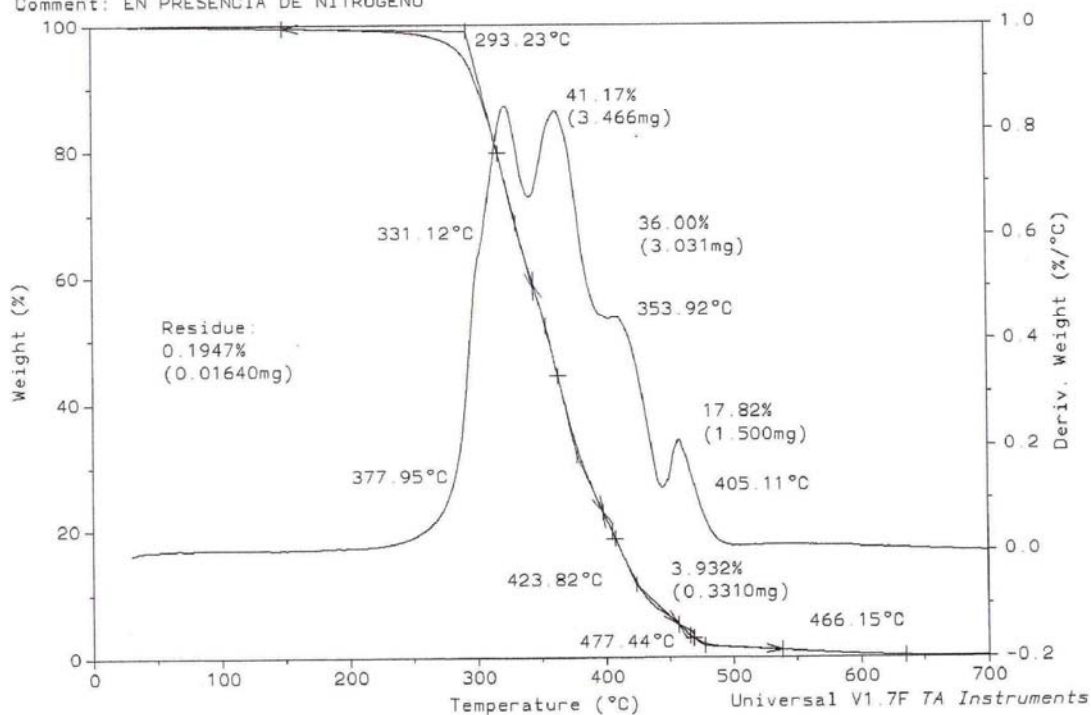
File: D:\TA\DATA.630
 Operator: GAM.
 Run Date: 14-Dec-05 09:03



Sample: PUCO+5GE/PMMA (90-10)
 Size: 8.4190 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

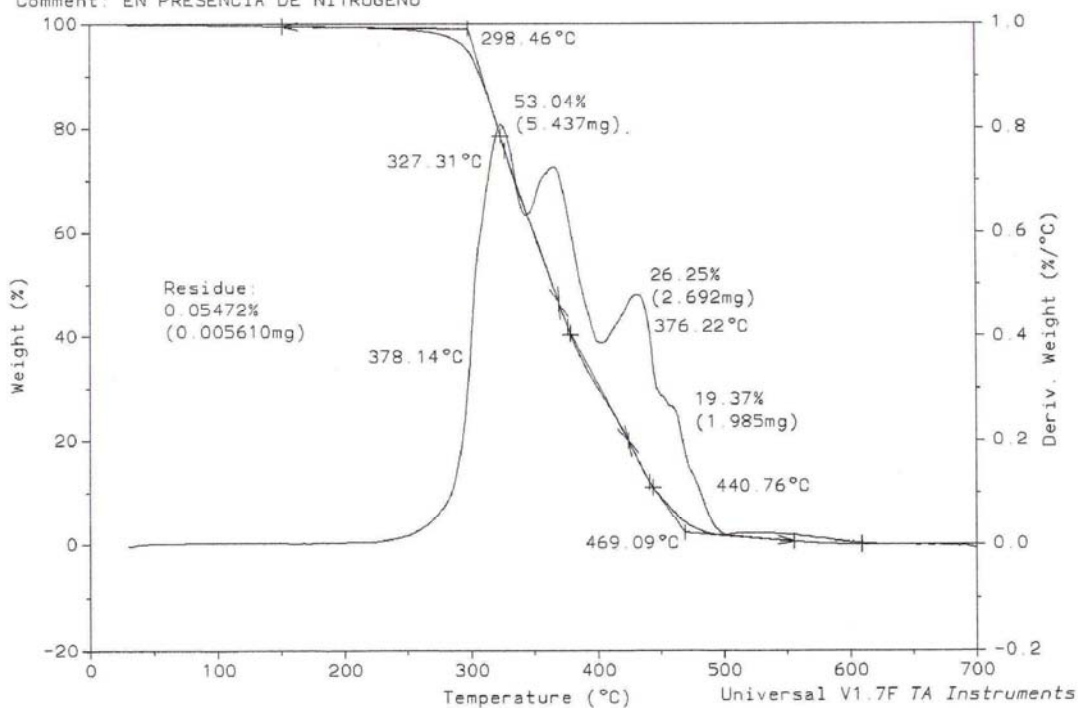
File: D:\TA\DATA.633
 Operator: GAM
 Run Date: 19-Dec-05 15:14



Sample: PUP1/PMMA (90-10)
 Size: 10.2520 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

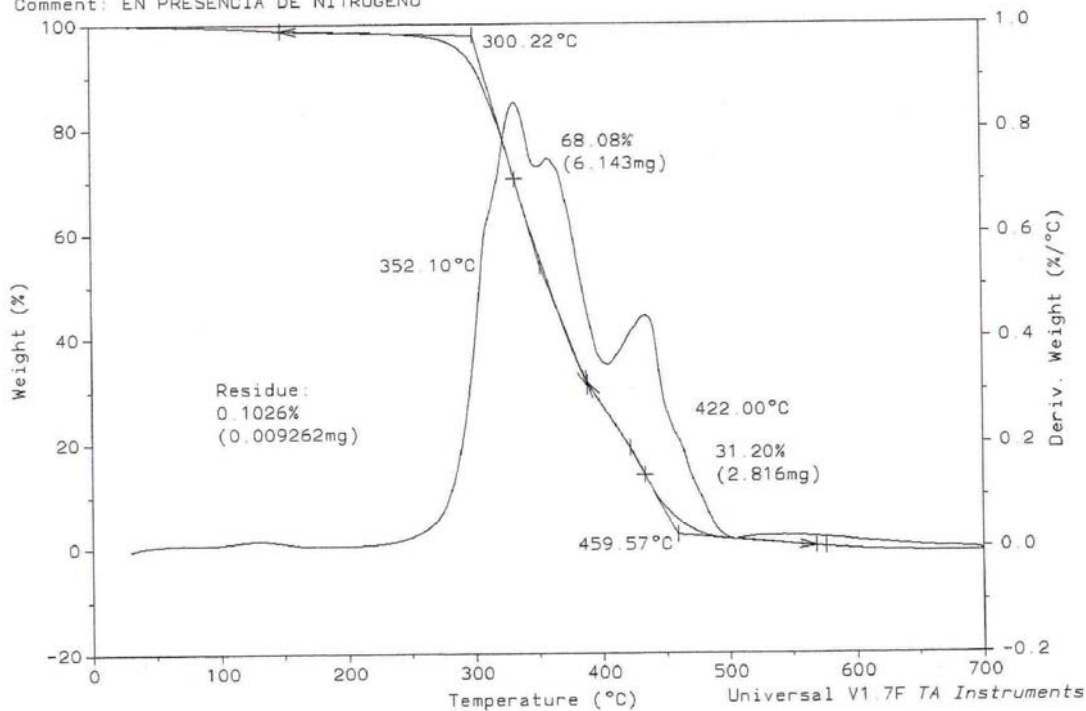
File: D:\TA\DATA.631
 Operator: GAM
 Run Date: 16-Dec-05 09:01



Sample: PUSP1/PMMA (90-10)
Size: 9.0240 mg
Method: LINA
Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

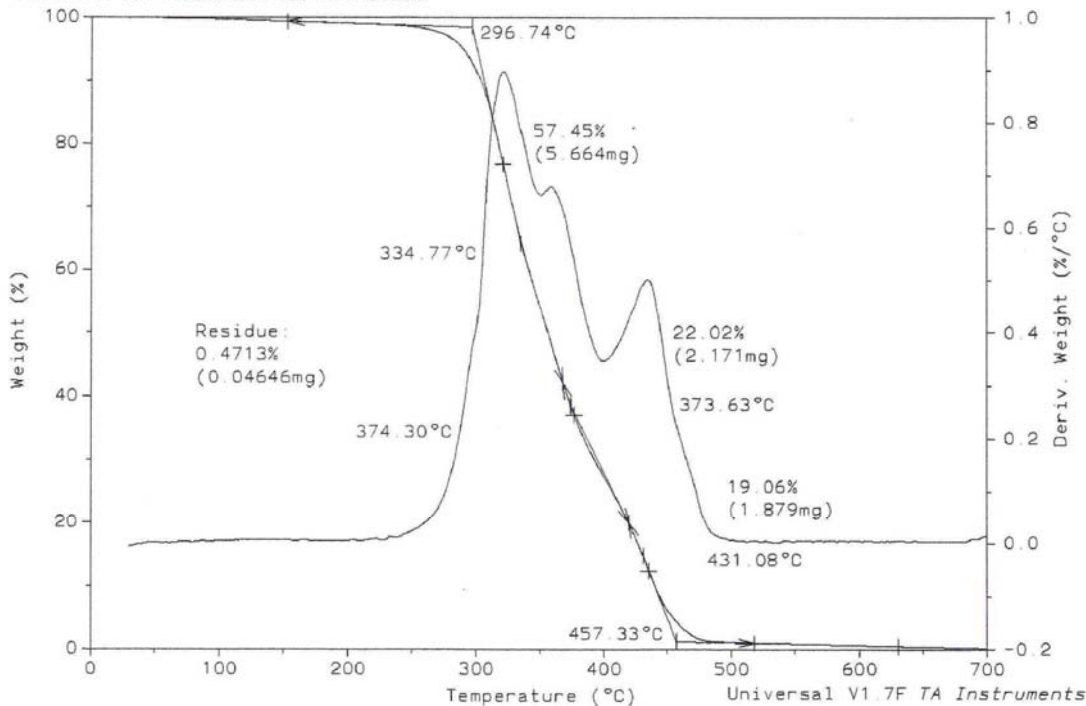
File: D:\TA\DATA.632
Operator: GAM.
Run Date: 19-Dec-05 08:48



Sample: PUP1+10GG/PMMA (90-10)
Size: 9.8590 mg
Method: LINA
Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

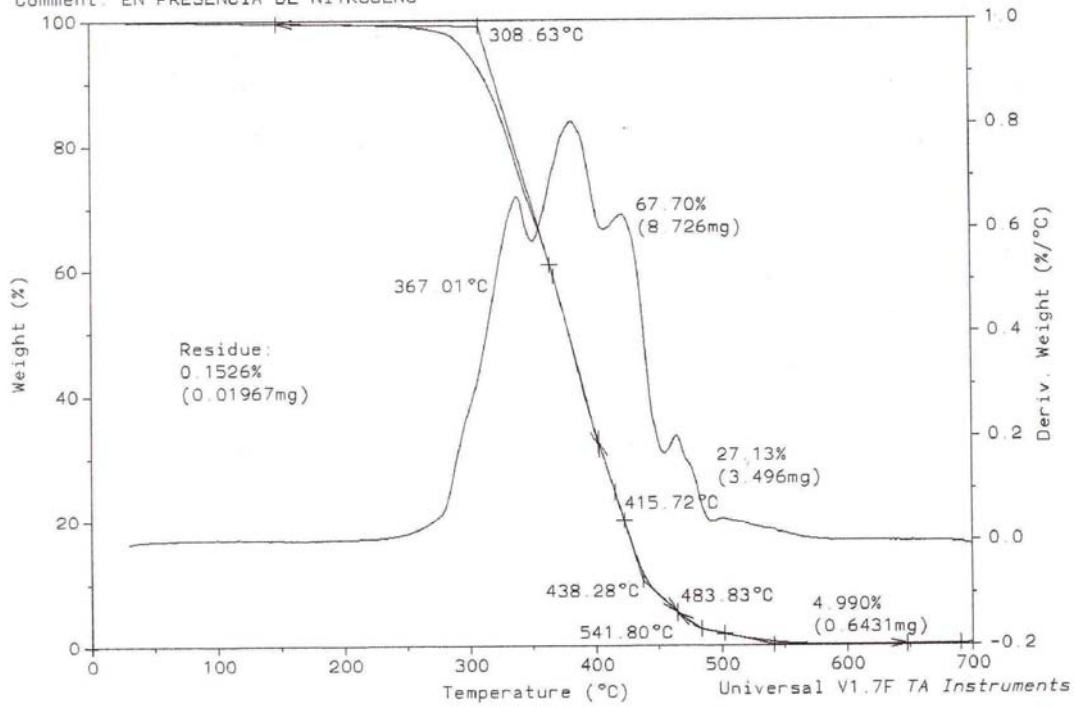
File: D:\TA\DATA.635
Operator: GAM.
Run Date: 16-Jan-06 14:40



Sample: PUCO/PMMA (80-20)
 Size: 12.8890 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

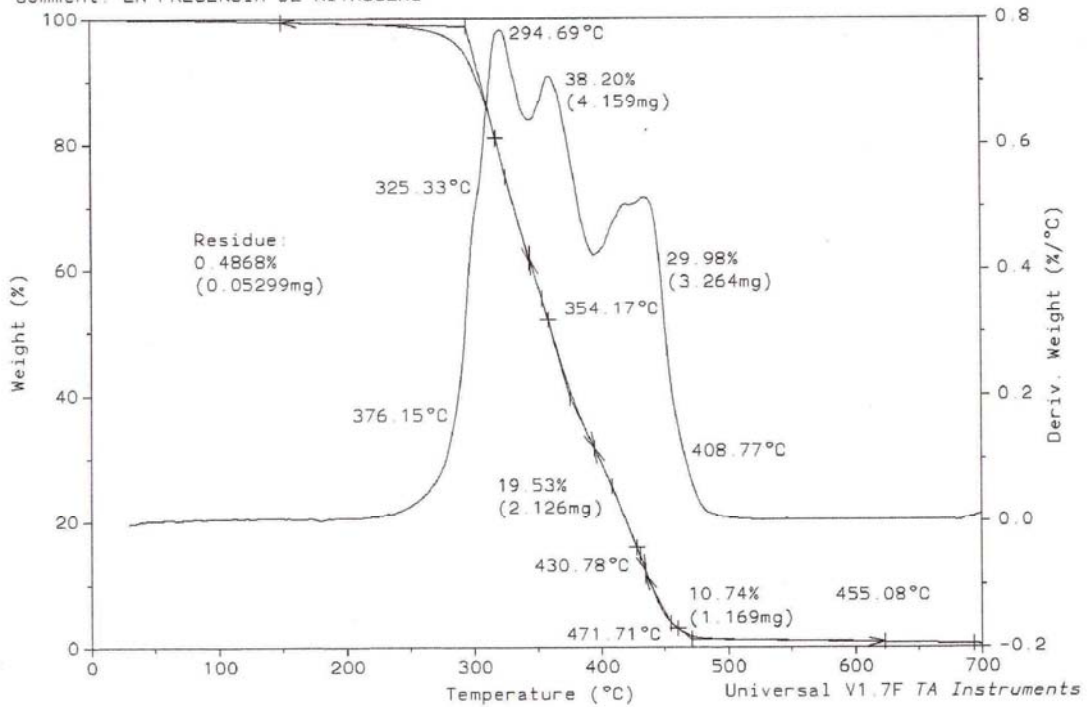
File: D:\TA\DATA.598
 Operator: GAM.
 Run Date: 25-Oct-05 09:04



Sample: PUCO+5GG/PMMA (80-20)
 Size: 10.8860 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

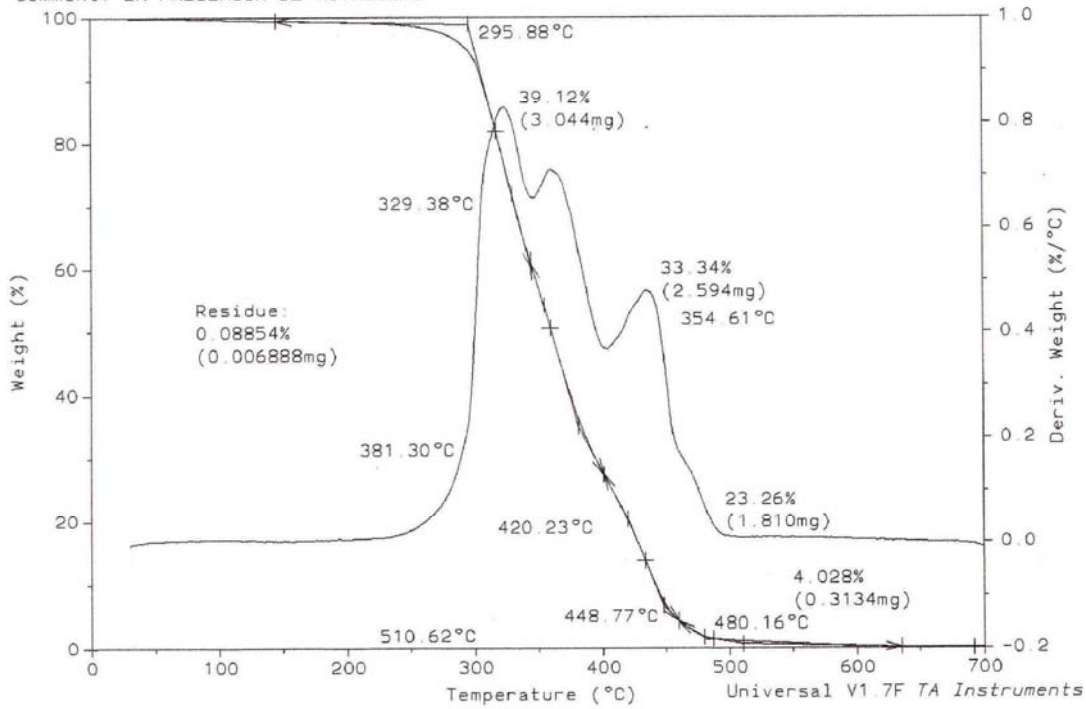
File: D:\TA\DATA.602
 Operator: GAM.
 Run Date: 26-Oct-05 14:16



Sample: PUP1/PMMA (80-20)
 Size: 7.7800 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

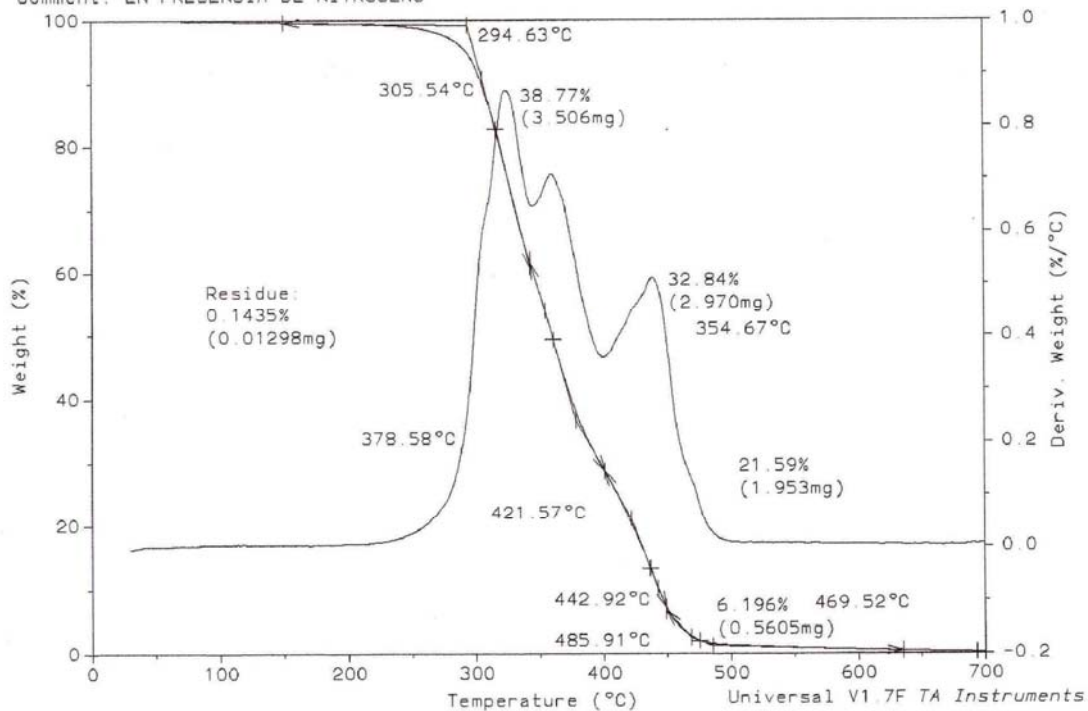
File: D:\TA\DATA.601
 Operator: GAM.
 Run Date: 26-Oct-05 10:55



Sample: PUSP1/PMMA (80-20)
 Size: 9.0450 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

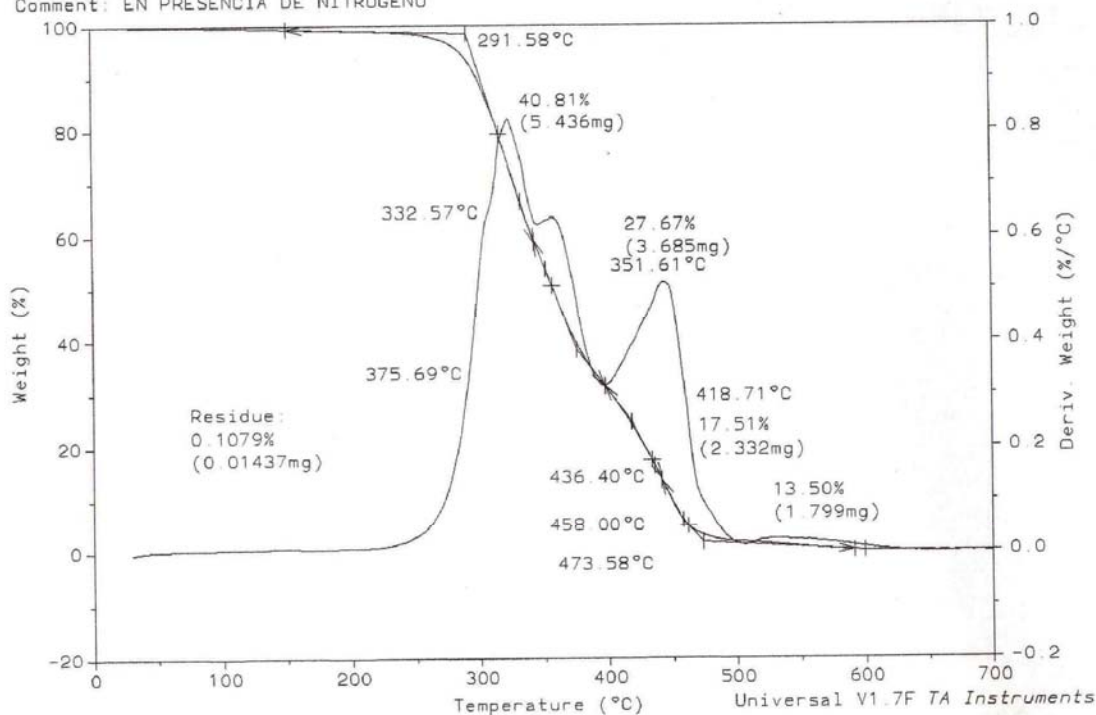
File: D:\TA\DATA.605
 Operator: GAM.
 Run Date: 27-Oct-05 13:53



Sample: PUP1+10GG/PMMA (80-20)
 Size: 13.3210 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

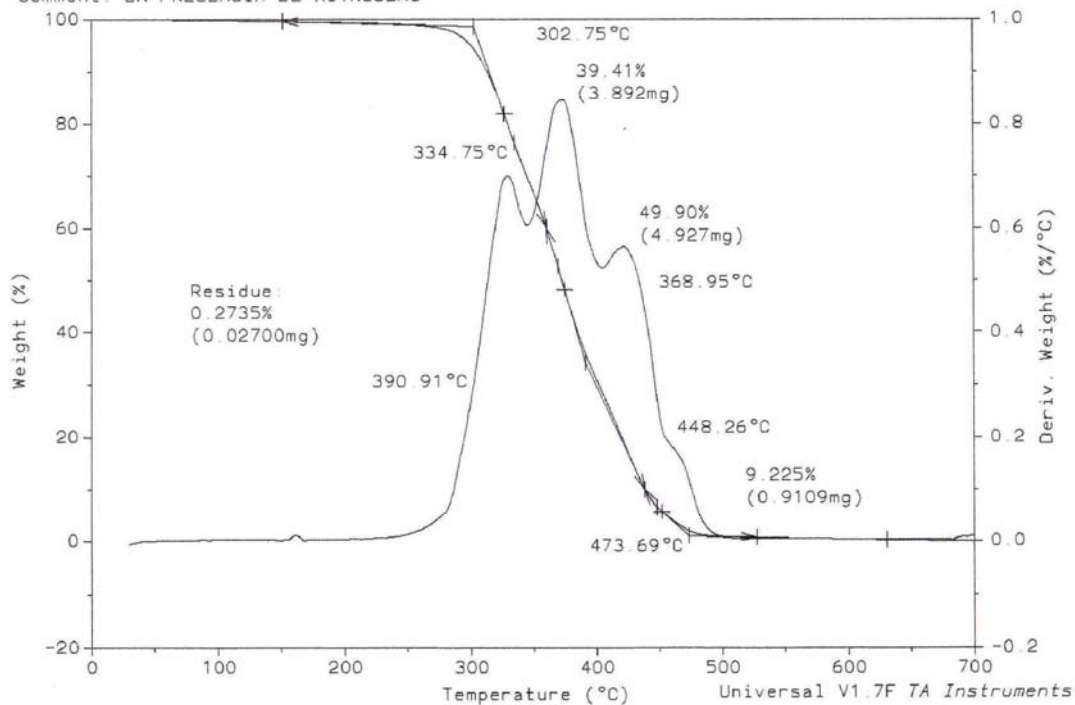
File: D:\TA\DATA.618
 Operator: GAM.
 Run Date: 5-Dec-05 09:23



Sample: PUCO/PMMA (70-30)
 Size: 9.8740 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

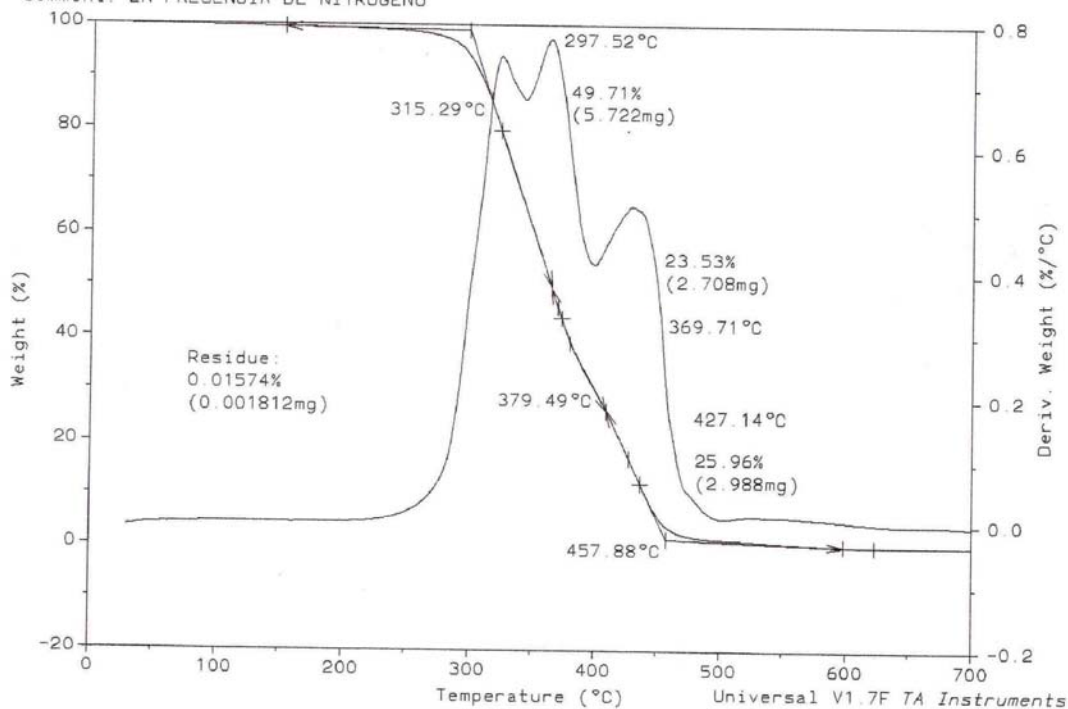
File: D:\TA\DATA.629
 Operator: GAM.
 Run Date: 13-Dec-05 15:34



Sample: PUCO+5GE/PMMA (70-30)
 Size: 11.5110 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

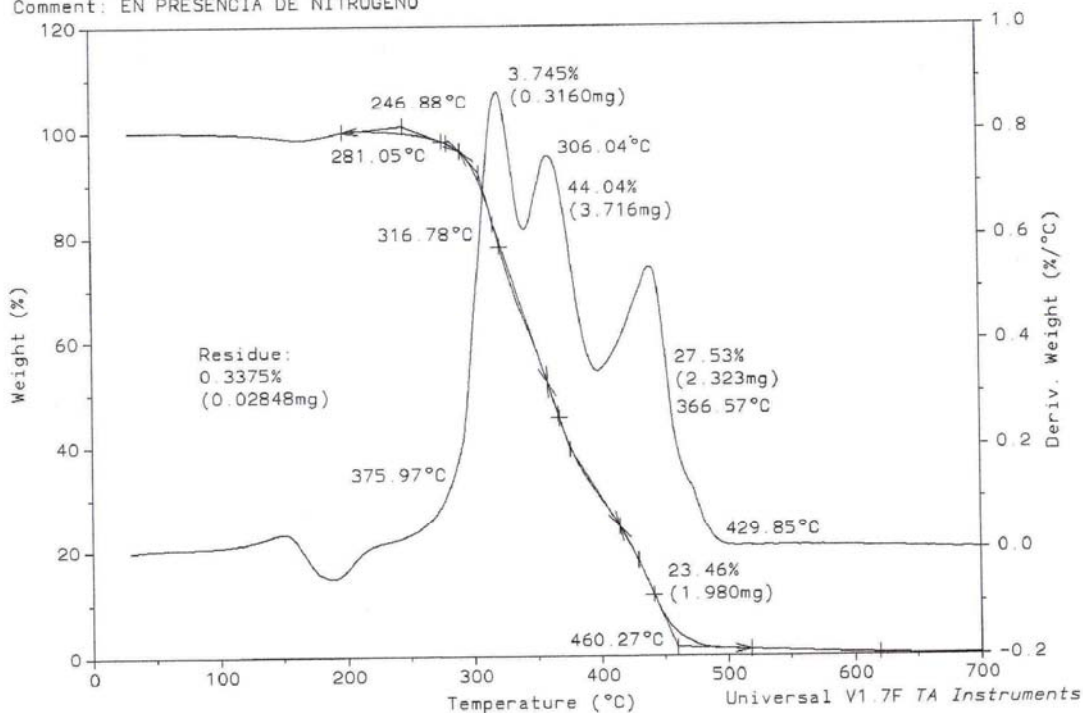
File: D:\TA\DATA.624
 Operator: GAM.
 Run Date: 7-Dec-05 14:43



Sample: PUP1/PMMA (70-30)
 Size: 8.4380 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

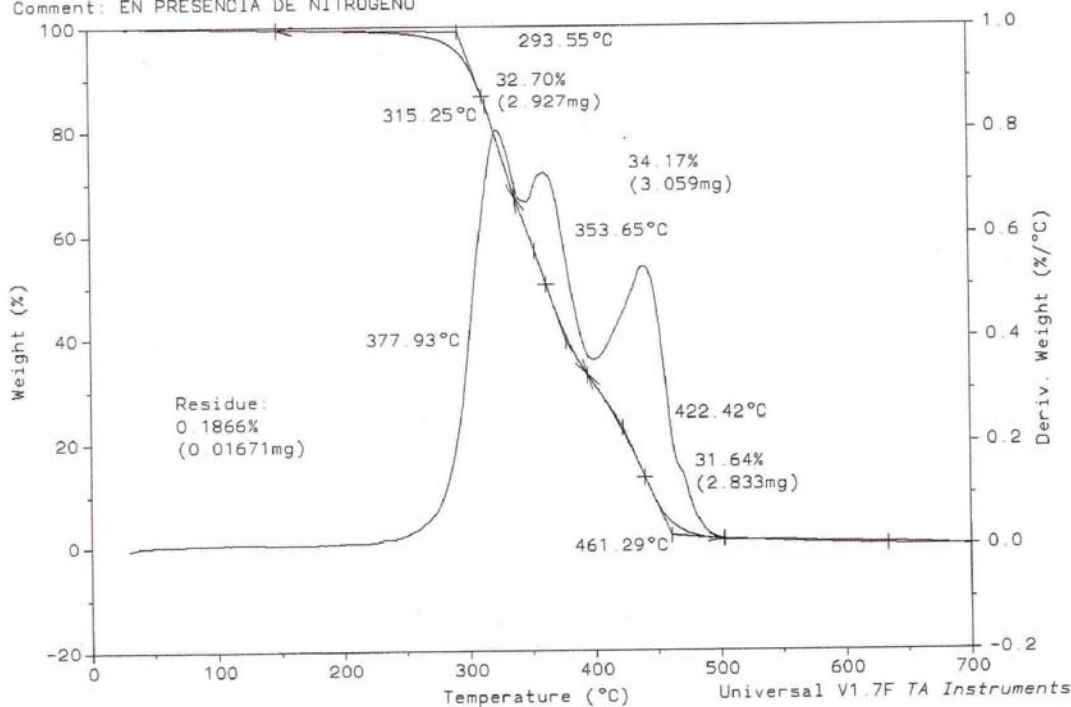
File: D:\TA\DATA.628
 Operator: GAM.
 Run Date: 13-Dec-05 10:27



Sample: PUP1/PNMA (70-30)
 Size: 8.9520 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

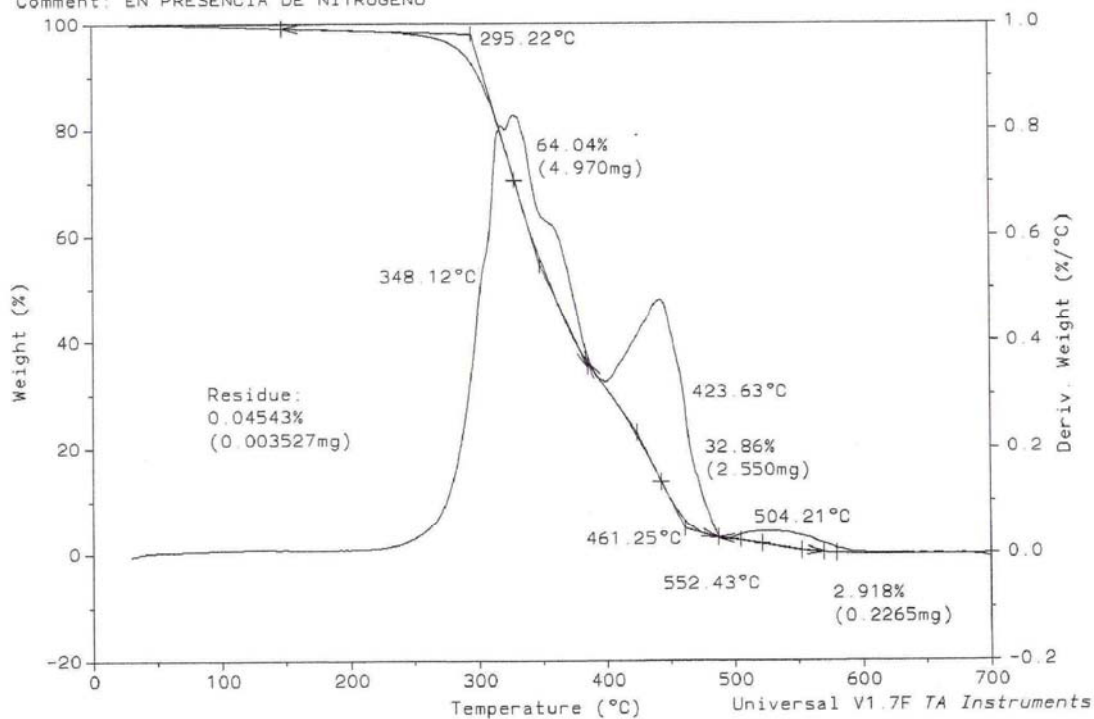
File: D:\TA\DATA 626
 Operator: GAM.
 Run Date: 12-Dec-05 14:47



Sample: PUP1+10GG/PNMA (70-30)
 Size: 7.7620 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

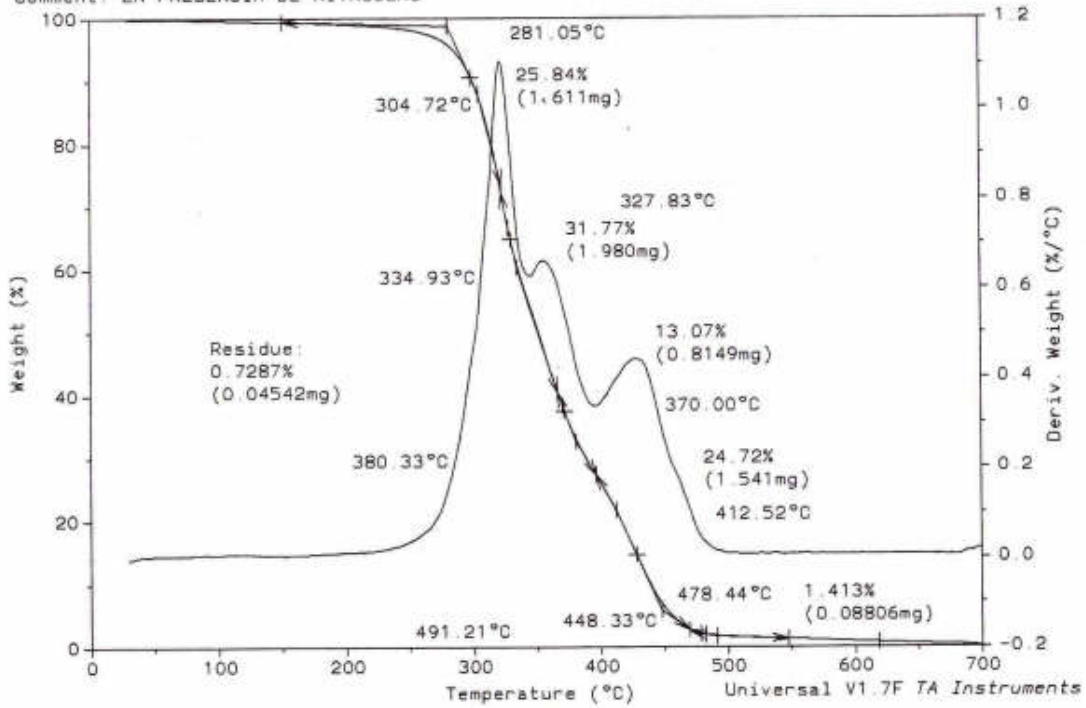
File: D:\TA\DATA 634
 Operator: GAM.
 Run Date: 16-Jan-06 09:06



Sample: PUP1+10GG/PMMA (60-40)
 Size: 6.2330 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

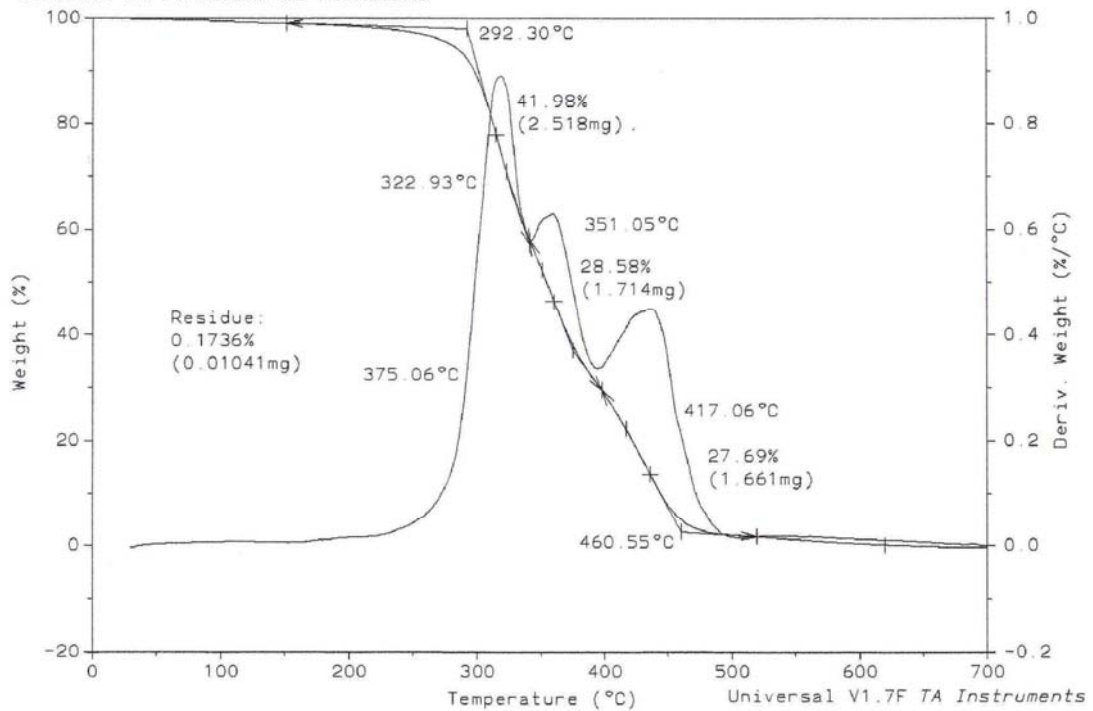
File: D:\TA\DATA.637
 Operator: GAM
 Run Date: 17-Jan-06 14:36



Sample: PUP1+10GG/PMMA (50-5)
 Size: 5.9990 mg
 Method: LINA
 Comment: EN PRESENCIA DE NITROGENO

TGA

File: D:\TA\DATA.636
 Operator: GAM
 Run Date: 17-Jan-06 08:24



D.4 FOTOS BALANZA TERMOGRAVIMÉTRICA



ANEXO E
CÁLCULO DE REACTIVOS EMPLEADOS EN LA SÍNTESIS DE POLIURETANOS
E IPN's

E.1. CALCULO DE MASA DE IPDI

Después de calcular el Índice de hidroxilo, se debe tener en cuenta la relación:

$$R = \frac{NCO}{OH} = \frac{\eta_{NCO}}{\eta_{OH}}$$

Según esta relación para determinada cantidad de moles de OH se puede calcular la cantidad de moles de NCO así:

$$\eta_{CO} = R * (\eta_{OH})$$

Dada la estructura del IPDI, se tiene que su molécula contiene dos grupos NCO y su peso molecular es 222.3 g/mol, por tanto la masa de IPDI requerida para determinado número de moles de NCO es:

$$W_{IPDI} = \frac{\eta_{NCO} * 222.3 \text{ g/mol}}{2}$$

E.2. CÁLCULO DE LA MASA DE METILMETACRILATO

La relación PU/PMMA indica la relación másica de poliuretano y polimetilmetacrilato. Es decir, es la relación entre polioli-suspensión empleada y el metilmetacrilato requerido.

$$X = \frac{100}{\% PU_{relación}} PU \longrightarrow W_{MMA} = X - PU$$

Donde

$\%PU_{relación}$ = Porcentaje de Poliuretano deseado en la relación PU/PMMA

W_{MMA} = Masa metilmetacrilato para la relación deseada.

E.3 CANTIDAD DE REACTIVOS NECESARIOS PARA PREPARAR POLIURETANOS

Poliol	N° hidrox	N°molOH/gmues	N°molOHreq	g req	NCO	W (ISOPRONE)
CO	160,00	0,00285205	0,06	20	0,06	6,34
P0	186,30	0,00332086	0,07	20	0,07	7,38
P1	233,80	0,00416756	0,08	20	0,08	9,26
SCO	185,53	0,00330713	0,07	20	0,07	7,35
SP0	215,23	0,00383654	0,08	20	0,08	8,53
SP1	258,07	0,00460018	0,09	20	0,09	10,23
GLICE 3	231,92	0,00413405	0,08	20	0,08	9,19
CO+5GE	257,90	0,00459715	0,09	20	0,09	10,22
CO+5GG	242,50	0,00432264	0,09	20	0,09	9,61
P0+5GE	265,90	0,00473975	0,09	20	0,09	10,54
P0+5GG	283,90	0,00506061	0,10	20	0,10	11,25
P1+5GE	297,09	0,00529572	0,11	20	0,11	11,77
P1+5GG	287,50	0,00512478	0,10	20	0,10	11,39
CO+10GE	302,80	0,00539750	0,11	20	0,11	12,00
CO+10GG	338,40	0,00603209	0,12	20	0,12	13,41
P0+10GE	347,20	0,00618895	0,12	20	0,12	13,76
P0+10GG	348,90	0,00621925	0,12	20	0,12	13,83
P1+10GE	349,60	0,00623173	0,12	20	0,12	13,85
P1+10GG	347,50	0,00619430	0,12	20	0,12	13,77

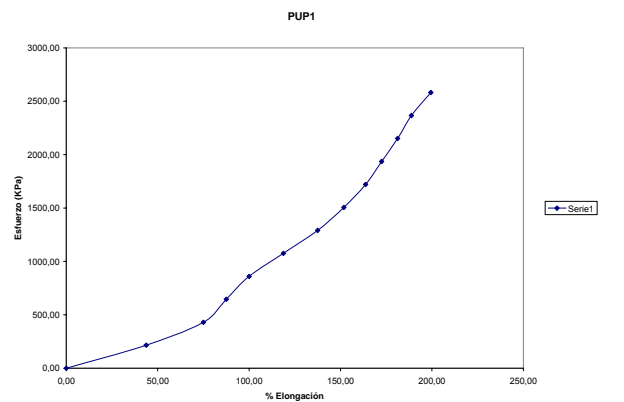
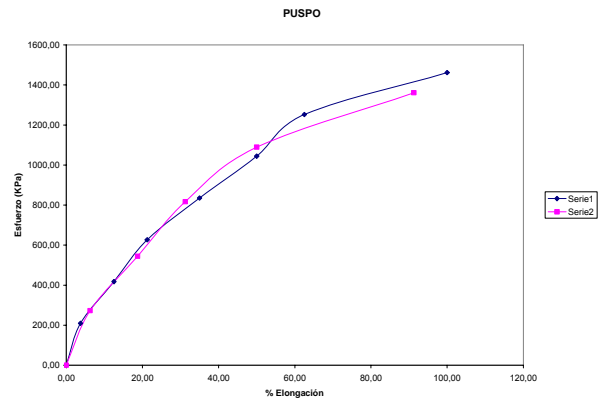
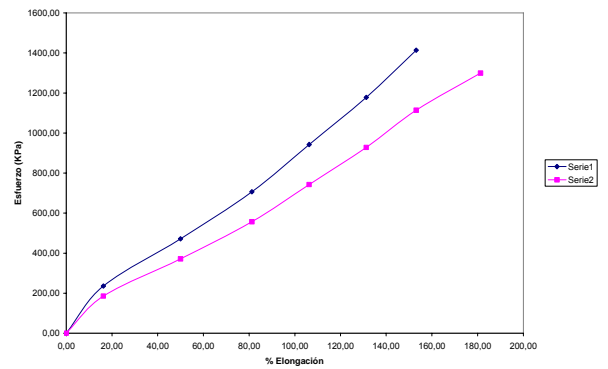
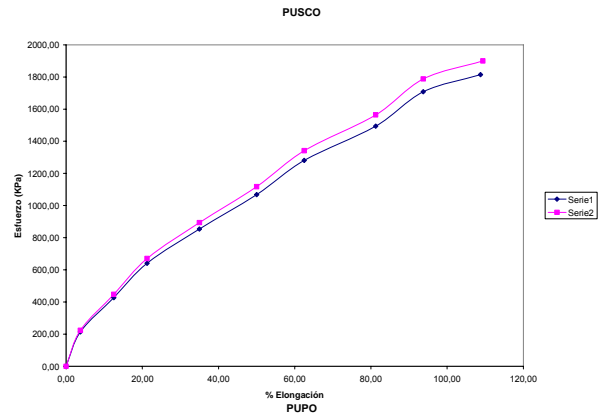
E.4 FOTOS IPN's OBTENIDOS



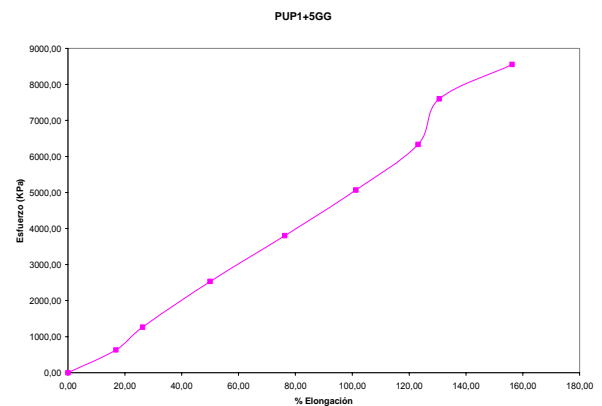
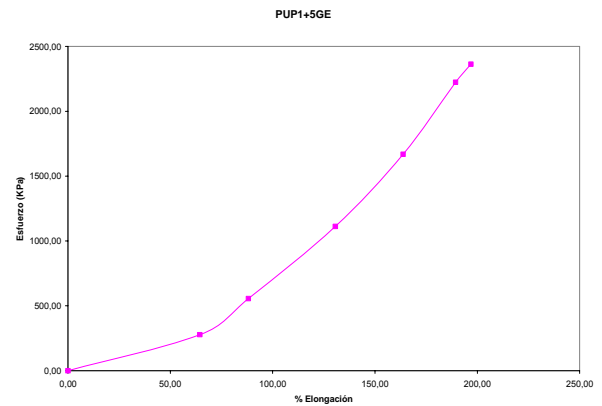
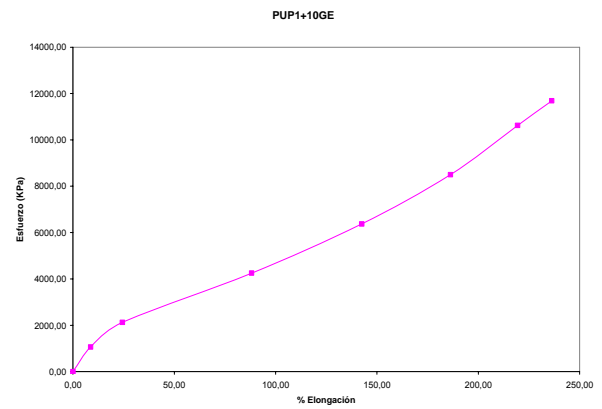
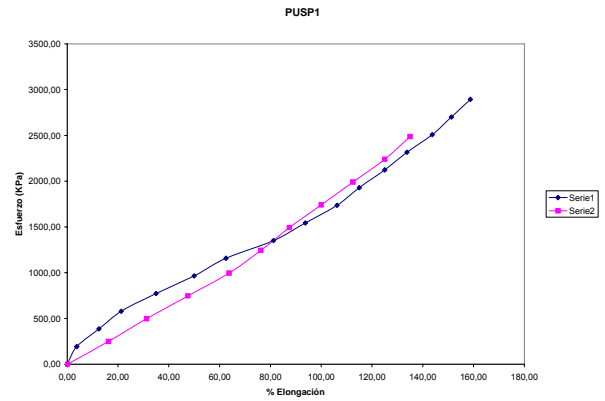
ANEXO F
RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE LOS POLIURETANOS E IPN's

F.1 ENSAYOS DE TENSIÓN POLIURETANOS

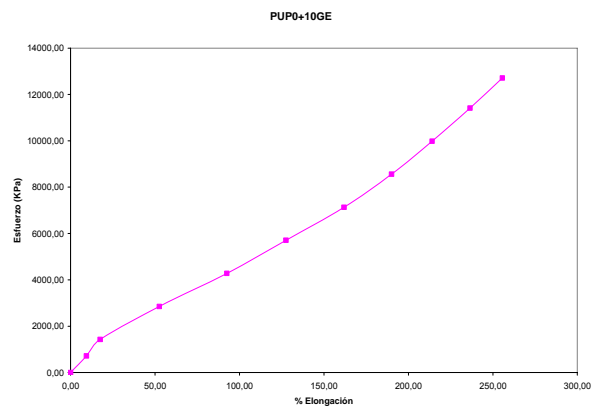
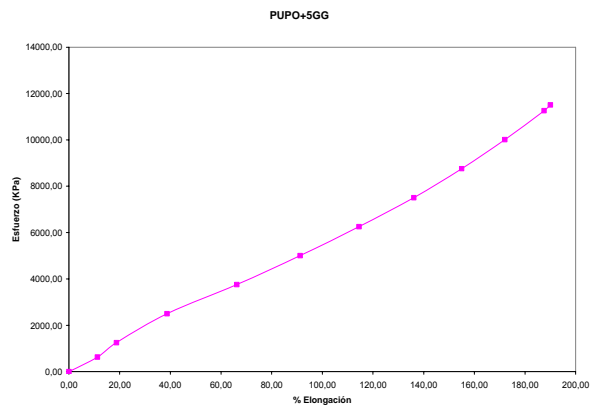
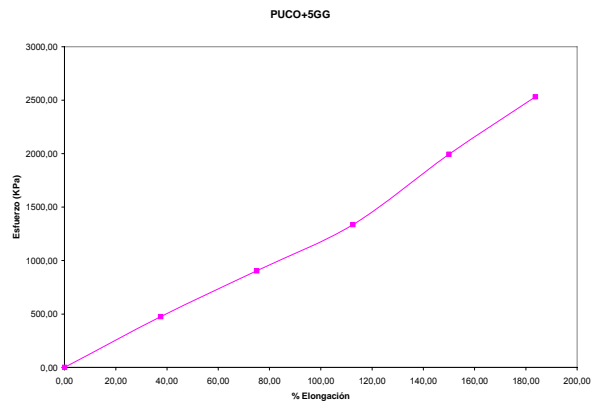
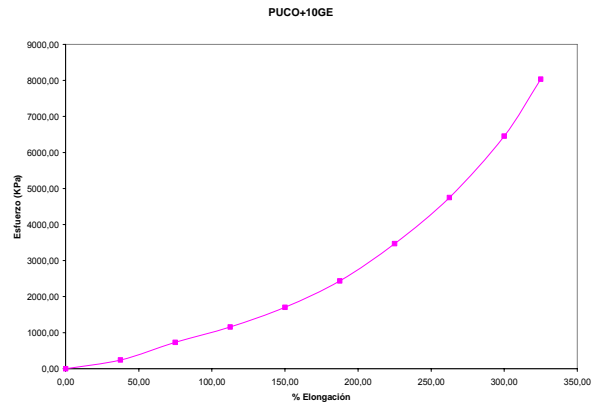
POLIURETANO	% Elongación	ESFUERZO (KPa)
USCO	0,00	0,00
	3,75	223,49
	12,50	446,98
	21,25	670,47
	35,00	893,96
	50,00	1117,45
	62,50	1340,94
	81,25	1564,42
	109,38	1899,66
PUPU	0,00	0,00
	16,25	185,61
	50,00	371,21
	81,25	556,82
	106,25	742,42
	131,25	928,03
	153,13	1113,64
	181,25	1299,24
PUSPO	0,00	0,00
	3,75	208,73
	12,50	417,47
	21,25	626,20
	35,00	834,93
	50,00	1043,66
	62,50	1252,40
	100,00	1461,13
PUP1	0,00	0,00
	43,75	215,15
	75,00	430,30
	87,50	645,44
	100,00	860,59
	118,75	1075,74
	137,50	1290,89
	151,88	1506,04
	163,75	1721,19
	172,50	1936,33
	181,25	2151,48
	188,75	2366,63
199,38	2581,78	



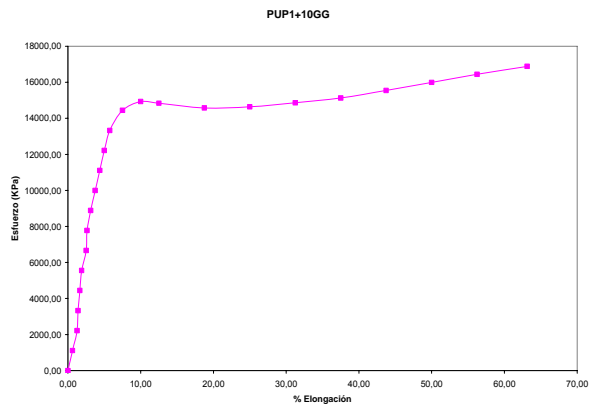
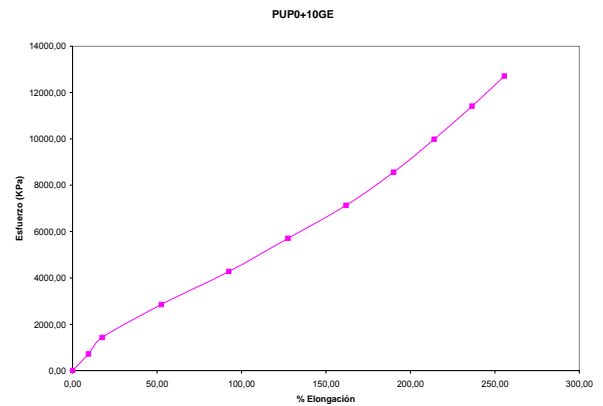
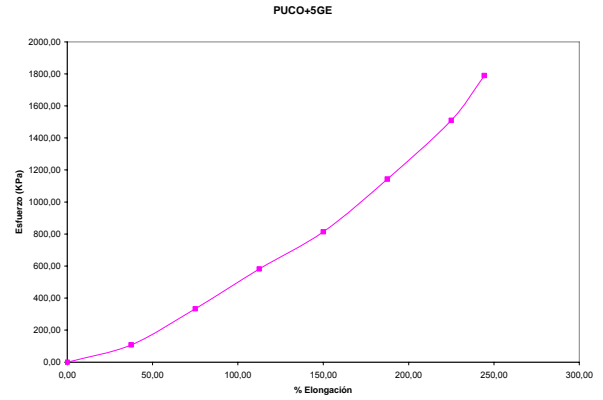
PUSP1	0,00	0,00
	3,75	192,91
	12,50	385,83
	21,25	578,74
	35,00	771,65
	50,00	964,57
	62,50	1157,48
	81,25	1350,39
	93,75	1543,31
	106,25	1736,22
	115,00	1929,13
	125,00	2122,05
	133,75	2314,96
	143,75	2507,87
	151,25	2700,79
158,75	2893,70	
PUP1+10GE		
0,00	0,00	
8,75	1063,00	
24,38	2125,00	
88,13	4250,00	
142,50	6375,00	
186,25	8500,00	
219,38	10625,00	
236,25	11688,00	
PUP1+5GE		
0,00	0,00	
64,38	278,00	
88,13	556,00	
130,63	1112,00	
163,75	1668,00	
189,38	2223,00	
196,88	2362,00	
PUPI+5GG		
0,00	0,00	
16,88	633,00	
26,25	1267,00	
50,00	2534,00	
76,25	3801,00	
101,25	5068,00	
123,13	6335,00	
130,63	7602,00	
156,25	8552,00	



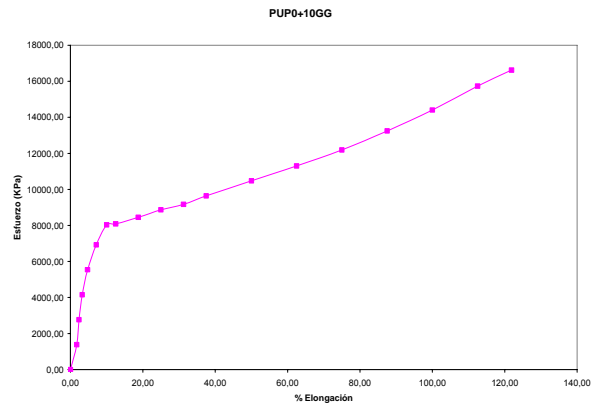
PUCO+10GE	0,00	0,00
	37,50	243,00
	75,00	730,00
	112,50	1157,00
	150,00	1704,00
	187,50	2435,00
	225,00	3470,00
	262,50	4748,00
	300,00	6452,00
325,00	8035,00	
PUCO+5GG	0,00	0,00
	37,50	475,00
	75,00	905,00
	112,50	1336,00
	150,00	1994,00
	183,75	2532,00
PUP0+5GG	0,00	0,00
	11,25	626,00
	18,75	1251,00
	38,75	2502,00
	66,25	3754,00
	91,25	5005,00
	114,50	6256,00
	136,13	7507,00
	155,00	8758,00
	172,00	10010,00
	187,50	11261,00
	190,00	11511,00
PUP0+10GE	0,00	0,00
	9,38	713,00
	17,50	1427,00
	52,50	2853,00
	92,50	4280,00
	127,50	5707,00
	161,88	7133,00
	190,00	8560,00
	214,00	9987,00
	236,50	11413,00
	255,63	12711,00



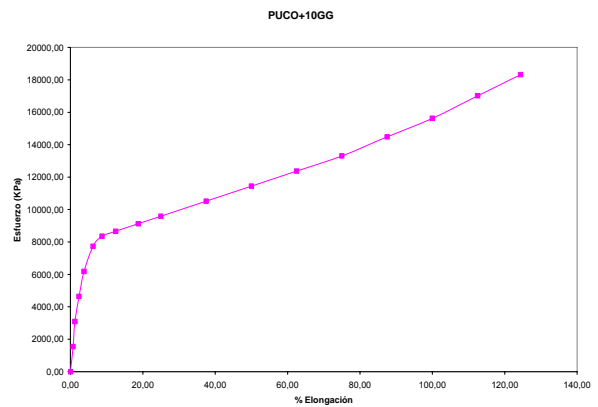
PUCO+5GE	0,00	0,00
	37,50	108,00
	75,00	334,00
	112,50	582,00
	150,00	814,00
	187,50	1143,00
	225,00	1510,00
	244,38	1790,00
PUP0+5GE	0,00	0,00
	18,75	351,00
	45,00	702,00
	97,50	1405,00
	135,63	2107,00
	165,63	2810,00
	189,38	3512,00
	209,38	4214,00
223,75	4826,00	
PUP1+10GG	0,00	0,00
	0,63	1111,00
	1,25	2221,00
	1,38	3332,00
	1,63	4443,00
	1,88	5553,00
	2,50	6664,00
	2,63	7775,00
	3,13	8885,00
	3,75	9996,00
	4,38	11107,00
	5,00	12217,00
	5,75	13328,00
	7,50	14439,00
	10,00	14927,00
	12,50	14838,00
	18,75	14572,00
	25,00	14638,00
31,25	14861,00	
37,50	15127,00	
43,75	15549,00	
50,00	15993,00	
56,25	16438,00	
63,13	16882,00	



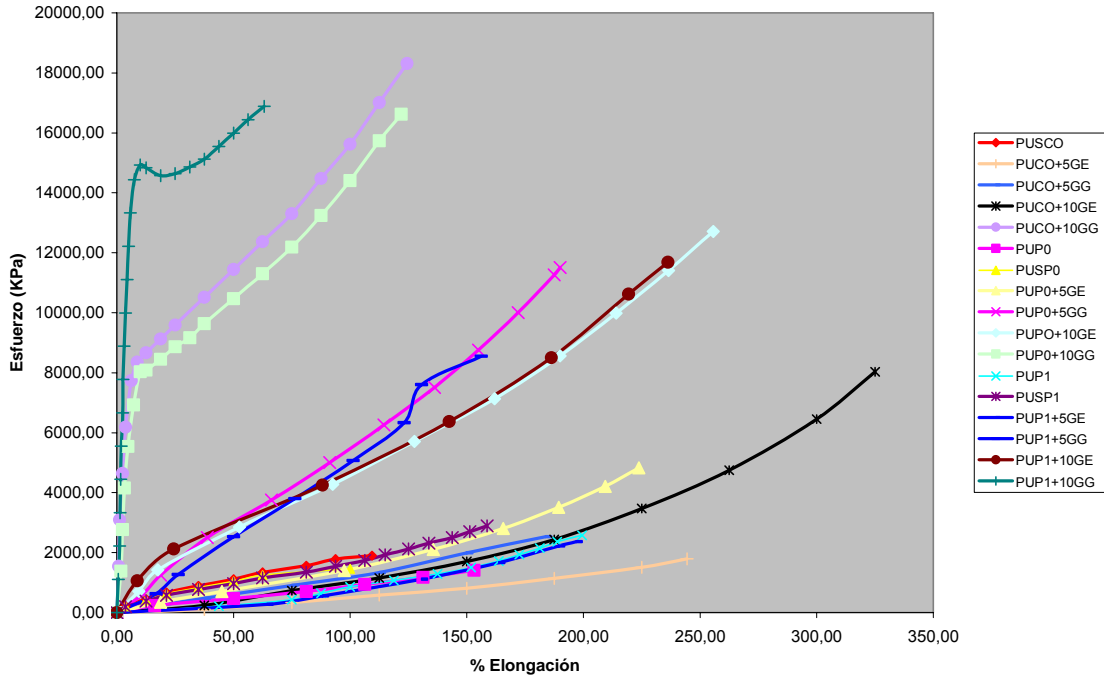
PUP0+10GG	0,00	0,00
	1,75	1385,00
	2,38	2770,00
	3,25	4155,00
	4,75	5540,00
	7,13	6926,00
	10,00	8034,00
	12,50	8089,00
	18,75	8449,00
	25,00	8865,00
	31,25	9169,00
	37,50	9640,00
	50,00	10472,00
	62,50	11303,00
	75,00	12189,00
87,50	13242,00	
100,00	14405,00	
112,50	15735,00	
121,88	16621,00	



PUC0+10GG	0,00	0,00
	0,75	1547,00
	1,25	3093,00
	2,38	4640,00
	3,75	6187,00
	6,25	7734,00
	8,75	8352,00
	12,50	8662,00
	18,75	9126,00
	25,00	9590,00
	37,50	10518,00
	50,00	11446,00
	62,50	12374,00
	75,00	13302,00
	87,50	14477,00
100,00	15622,00	
112,50	17014,00	
124,38	18313,00	



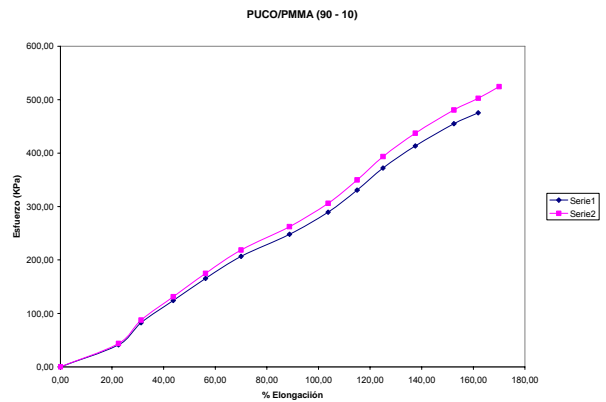
TENSIÓN POLIURETANOS



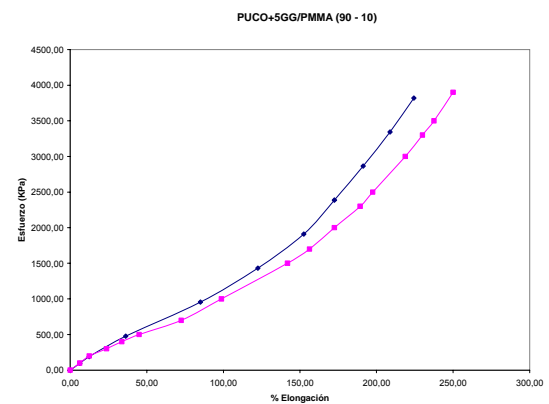
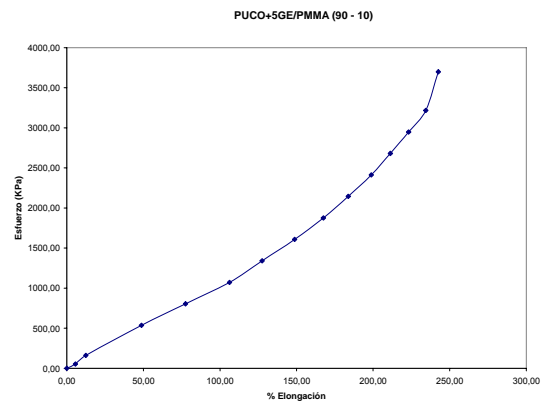
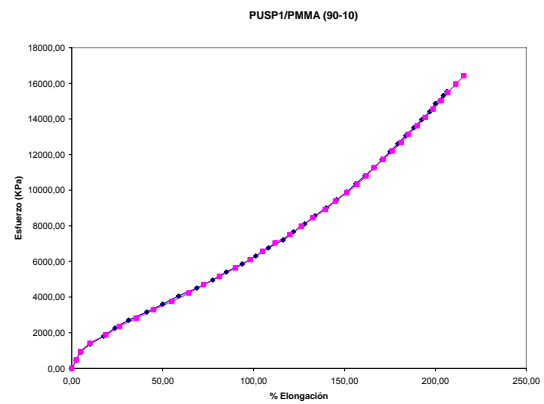
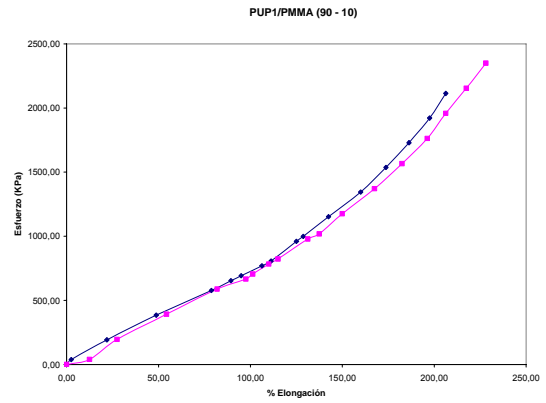
F.2 ENSAYOS DE TENSIÓN IPN's

F.2.1 Relación PU/PMMA 90/10

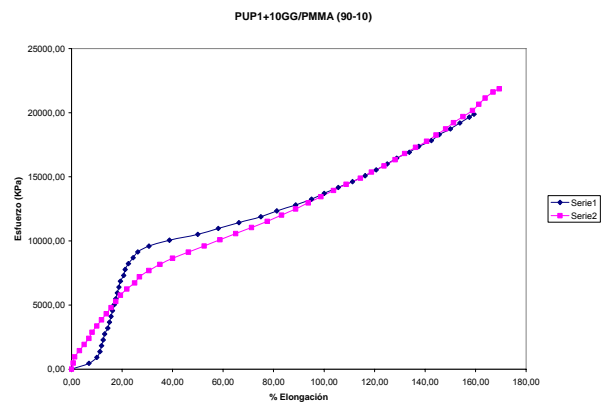
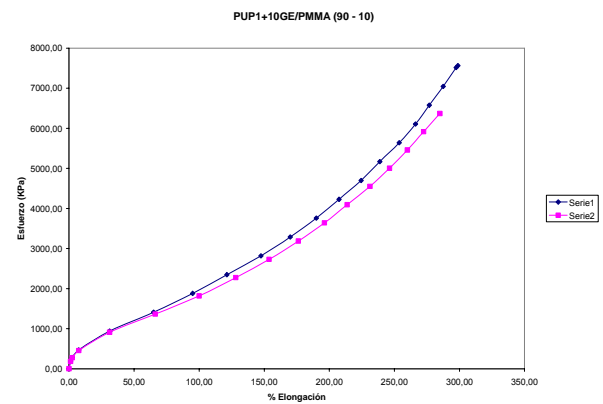
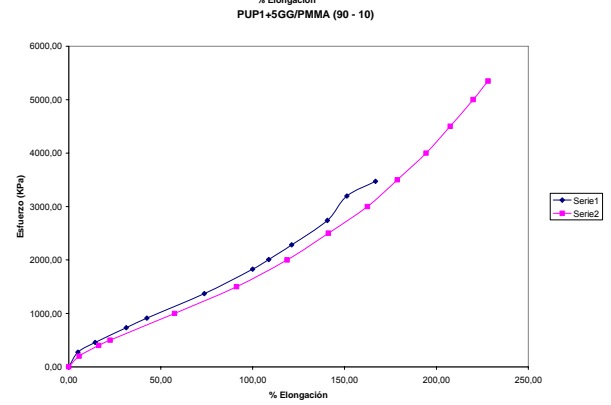
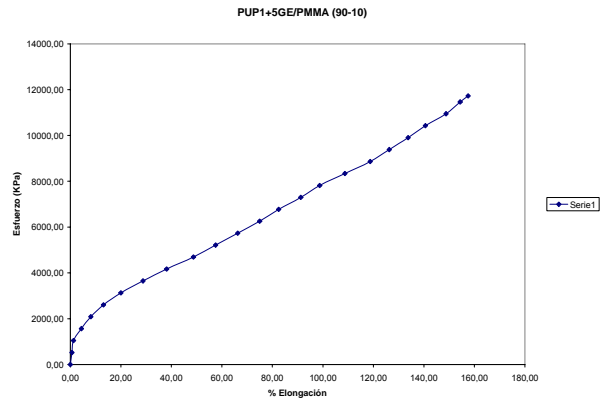
IPN's	% ELONG	ESFUERZO (KPa)
PUCO/PMMA	0,00	0,00
	22,50	43,71
	31,25	87,42
	43,75	131,13
	56,25	174,84
	70,00	218,55
	88,75	262,27
	103,75	305,98
	115,00	349,69
	125,00	393,40
	137,50	437,11
	152,50	480,82
	161,88	502,68
170,00	524,53	



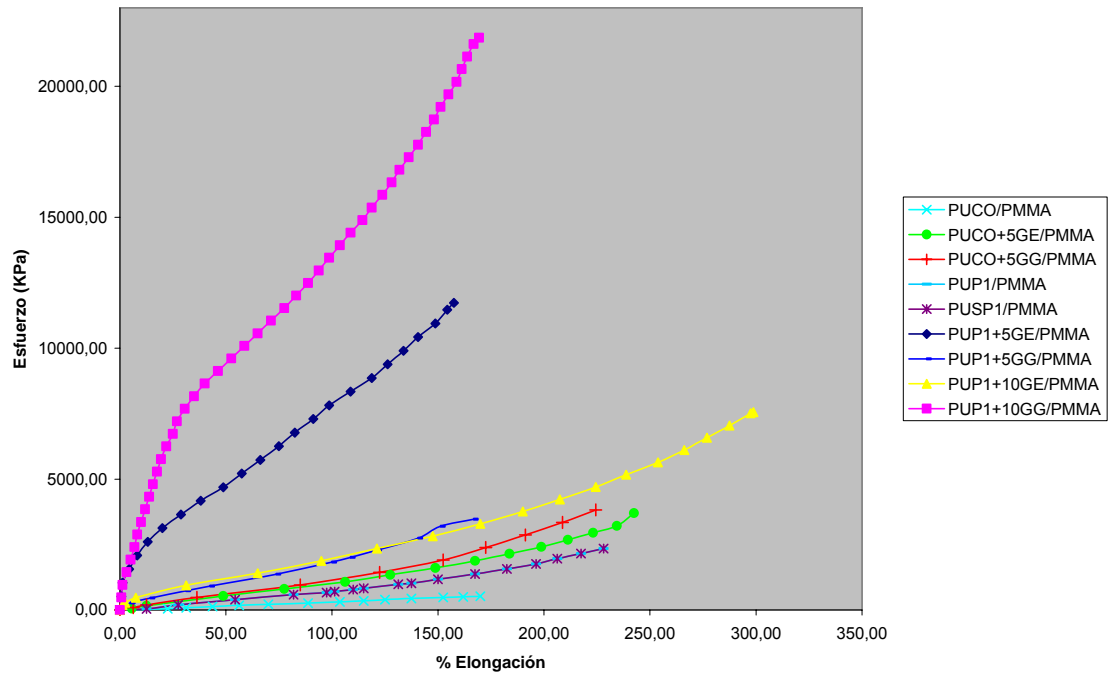
PUP1/PMMA	0,00	0,00
	12,50	39,17
	54,38	391,69
	81,88	587,53
	101,25	705,04
	110,00	783,37
	131,25	979,22
	150,00	1175,06
	182,50	1566,75
	196,25	1762,59
	206,25	1958,43
	217,50	2154,28
	228,13	2350,12
PUSP1/PMMA	0,00	0,00
	2,50	469,35
	10,00	1408,05
	26,25	2346,74
	55,00	3754,79
	81,25	5162,84
	105,00	6570,88
	145,00	9386,97
	156,88	10325,67
	176,25	12203,07
	194,38	14080,46
215,63	16427,20	
PUCO+5GE/PMMA	0,00	0,00
	5,63	53,61
	12,50	160,83
	77,50	804,16
	106,25	1072,21
	148,75	1608,32
	183,75	2144,42
	211,25	2680,53
	223,13	2948,58
	234,38	3216,63
	242,50	3699,12
PUCO+5GG/PMMA	0,00	0,00
	6,25	100,00
	12,50	200,00
	33,75	400,00
	45,00	500,00
	98,75	1000,00
	141,88	1500,00
	156,25	1700,00
	172,50	2000,00
	218,75	3000,00
	230,00	3300,00
250,00	3900,00	



PUP1+5GE/PMMA	0,00	0,00
	1,25	1042,55
	4,38	1563,83
	13,13	2606,38
	20,00	3127,66
	38,13	4170,21
	57,50	5212,77
	75,00	6255,32
	91,25	7297,87
	108,75	8340,43
	140,63	10425,53
	157,50	11728,72
PUP1+5GG/PMMA	0,00	0,00
	5,63	200,00
	16,25	400,00
	22,50	500,00
	57,50	1000,00
	91,25	1500,00
	118,75	2000,00
	141,25	2500,00
	194,38	4000,00
	207,50	4500,00
	220,00	5000,00
	228,13	5350,00
PUP1+10GE/PMMA	0,00	0,00
	7,50	469,80
	31,25	939,60
	65,00	1409,40
	121,25	2348,99
	147,50	2818,79
	170,00	3288,59
	190,00	3758,39
	207,50	4228,19
	253,75	5637,58
	276,88	6577,18
	298,75	7563,76
PUP1+10GG/PMMA	0,00	0,00
	8,13	2882,35
	17,50	5284,31
	35,00	8166,67
	58,75	10088,24
	93,75	12970,59
	108,75	14411,76
	140,63	17774,51
	155,00	19696,08
	158,75	20176,47
	161,25	20656,86
	169,38	21857,84

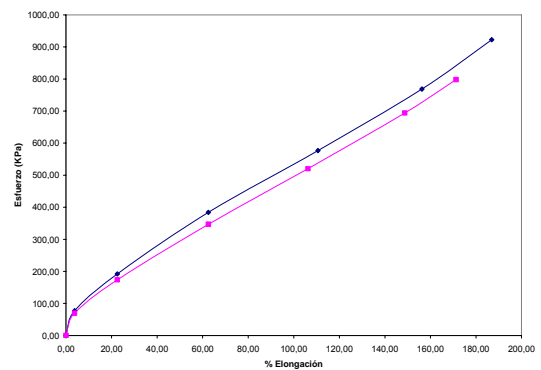
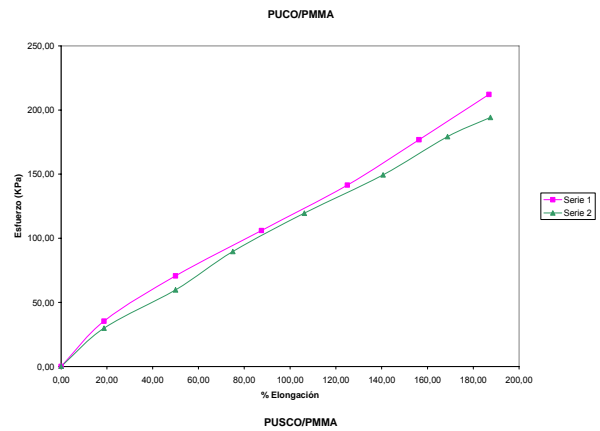


TENSIÓN (90 - 10)

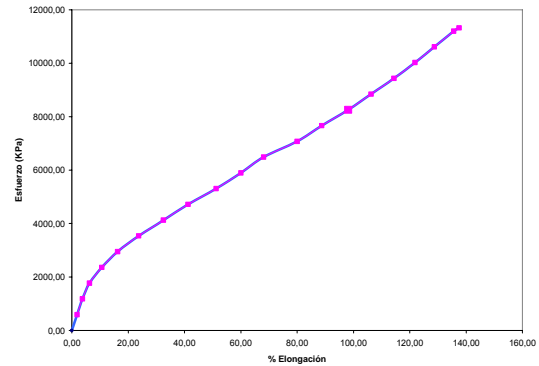
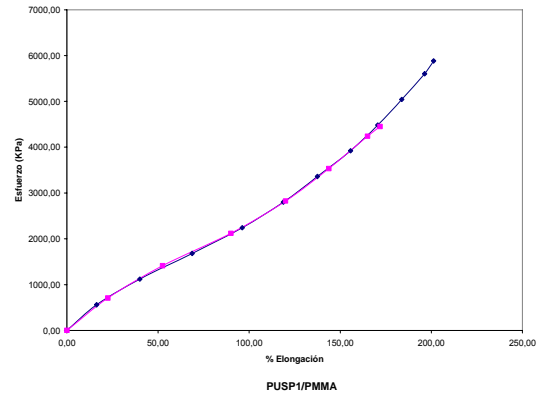
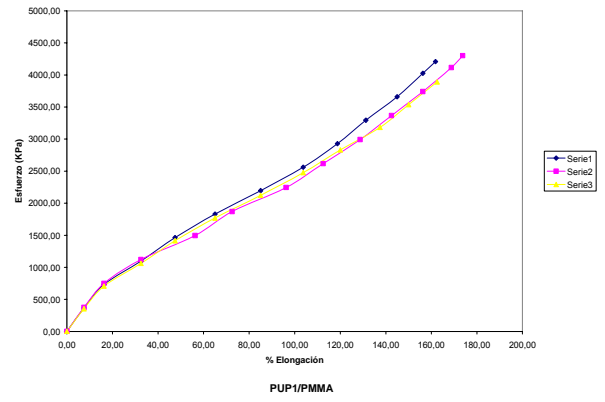
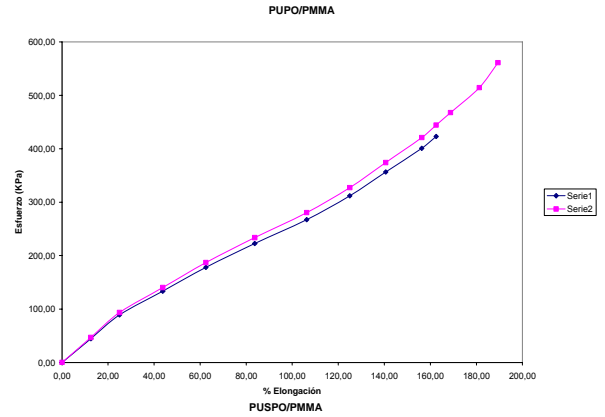


F.2.2 Relación PU/PMMA 80/20

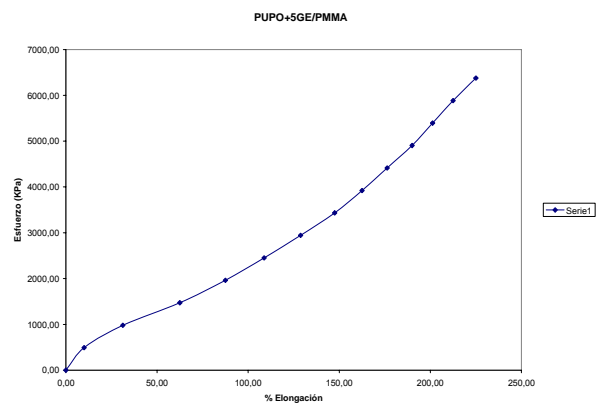
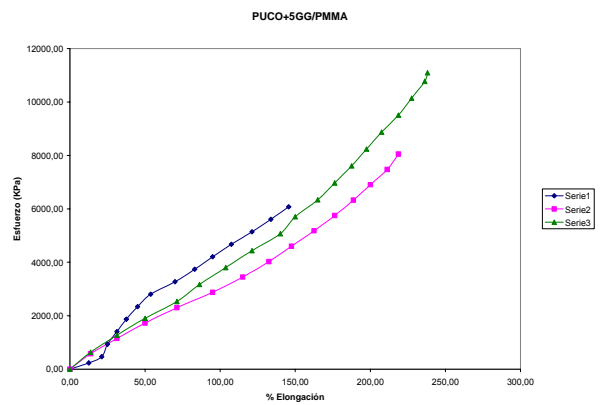
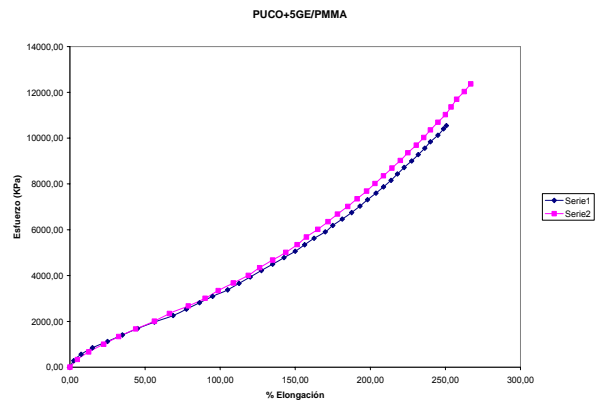
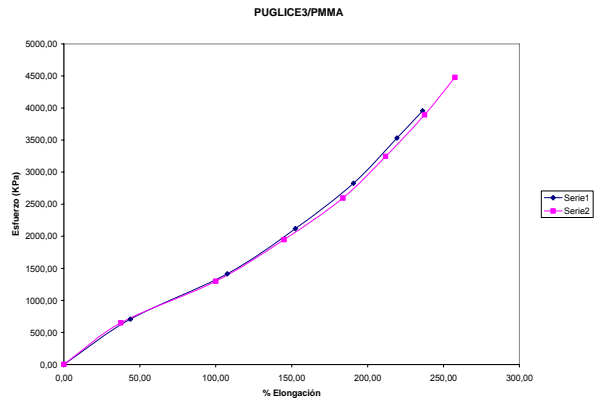
IPN's	% Elongación	ESFUERZO (KPa)
PUCO/PMMA	0,00	0,00
	18,75	35,35
	50,00	70,71
	87,50	106,06
	125,00	141,41
	156,25	176,77
	186,88	212,12
PUSCO/PMMA	0,00	0,00
	3,75	76,86
	22,50	192,16
	62,50	384,31
	110,63	576,47
	156,25	768,63
	186,88	922,35



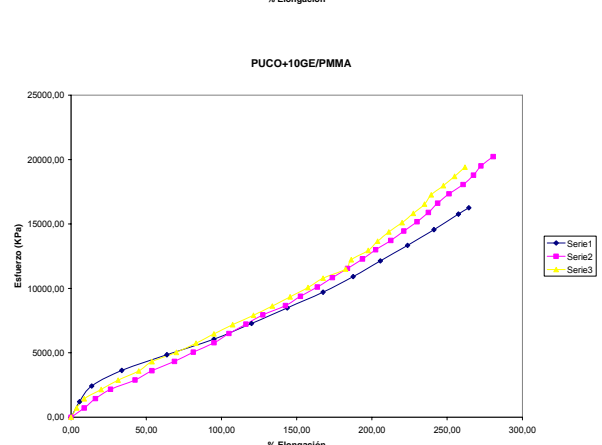
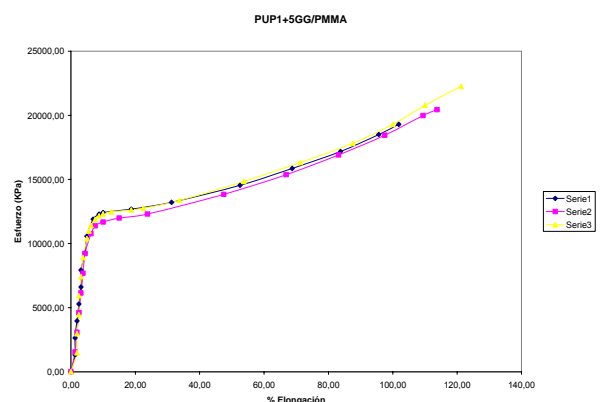
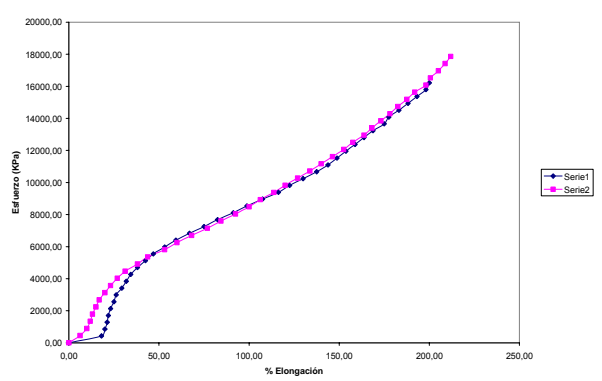
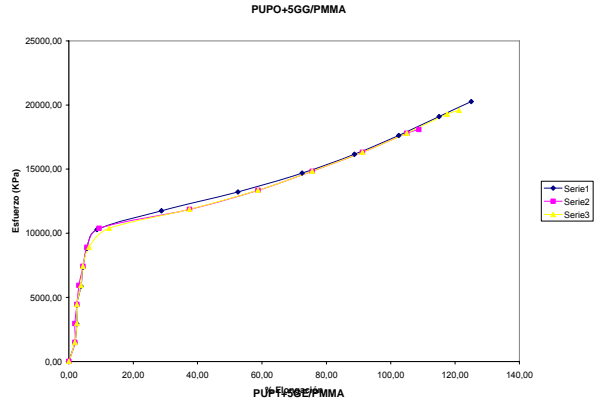
PUPO/PMMA	0,00	0,00
	12,50	46,76
	25,00	93,51
	43,75	140,27
	62,50	187,02
	83,75	233,78
	106,25	280,53
	125,00	327,29
	140,63	374,05
	156,25	420,80
	181,25	514,31
	189,38	561,07
PUSPO/PMMA	0,00	0,00
	7,50	374,05
	16,25	748,09
	32,50	1122,14
	56,25	1496,18
	72,50	1870,23
	96,25	2244,27
	112,50	2618,32
	142,50	3366,41
	156,25	3740,46
	168,75	4114,50
	173,75	4301,53
PUP1/PMMA	0,00	0,00
	16,25	560,32
	40,00	1120,64
	68,75	1680,96
	96,25	2241,28
	118,75	2801,60
	137,50	3361,92
	155,63	3922,24
	170,63	4482,56
	183,75	5042,88
	196,25	5603,20
	201,25	5883,36
PUSP1/PMMA	0,00	0,00
	5,63	2044,51
	10,63	2726,01
	25,00	4089,01
	41,88	5452,02
	51,25	6133,52
	60,63	6815,02
	70,00	7496,52
	80,00	8178,03
	105,00	10222,53
	121,25	11585,54
	134,38	12880,39



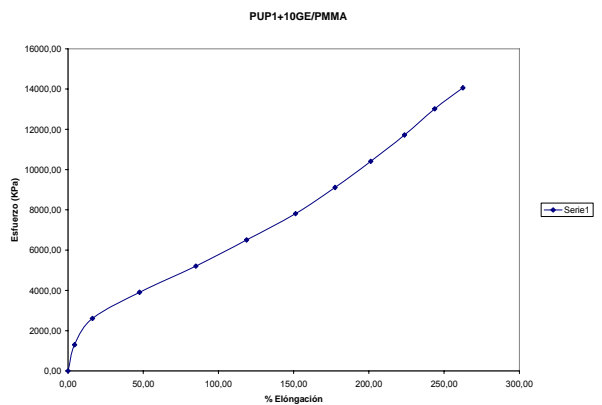
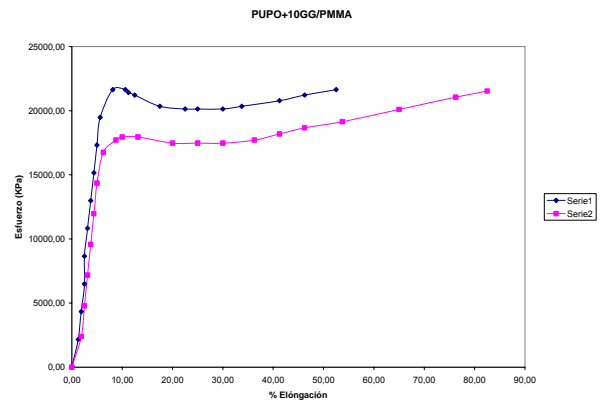
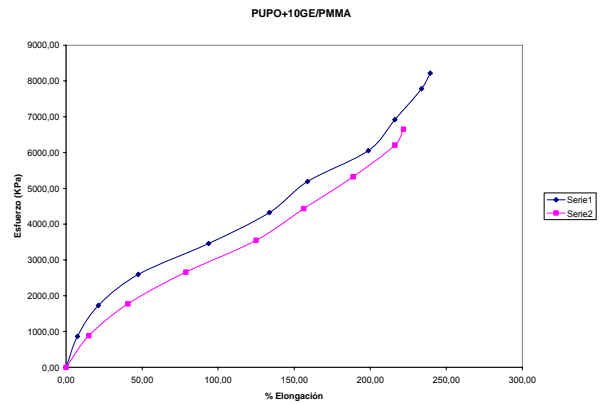
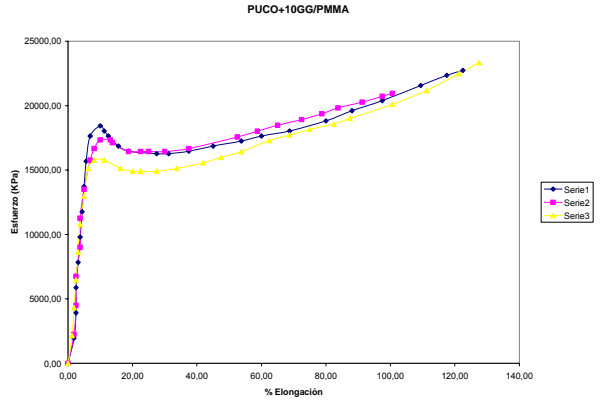
PUGlice3/PMMA	0,00	0,00
	37,50	649,01
	100,00	1298,01
	145,00	1947,02
	183,75	2596,03
	211,88	3245,03
	237,50	3894,04
	257,50	4478,15
PUCO+5GE/PMMA	0,00	0,00
	5,00	334,24
	32,50	1336,97
	43,75	1671,21
	78,75	2673,94
	98,75	3342,43
	118,75	4010,91
	135,00	4679,40
	157,50	5682,13
	165,00	6016,37
	185,00	7019,10
	203,13	8021,83
	240,00	10361,53
266,88	12366,98	
PUCO+5GG/PMMA	0,00	0,00
	13,75	633,89
	31,25	1267,79
	71,25	2535,58
	86,25	3169,47
	103,75	3803,36
	140,00	5071,15
	165,00	6338,94
	176,25	6972,83
	197,50	8240,62
	218,75	9508,41
	227,50	10142,30
238,13	11093,14	
PUPO+5GE/PMMA	0,00	0,00
	10,00	490,49
	31,25	980,98
	62,50	1471,47
	87,50	1961,96
	108,75	2452,45
	128,75	2942,94
	147,50	3433,43
	176,25	4414,41
	190,00	4904,90
	201,25	5395,40
	212,50	5885,89
225,00	6376,38	



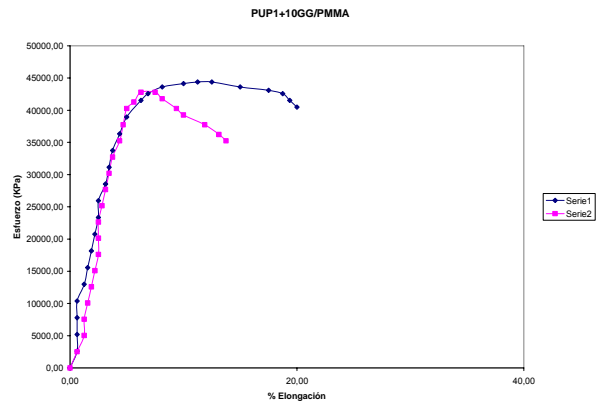
PUP0+5GG/PMMA	0,00	0,00
	1,88	1468,82
	2,50	2937,65
	2,50	4406,47
	3,75	5875,30
	4,38	7344,12
	5,63	8812,95
	8,75	10281,77
	28,75	11750,60
	88,75	16157,07
	125,00	20269,78
PUP1+5GE/PMMA	0,00	0,00
	10,00	893,35
	20,00	3126,71
	60,00	6253,42
	84,38	7593,44
	106,25	8933,45
	120,00	9826,80
	168,13	13400,18
	187,50	15186,87
	211,88	17866,91
PUP1+5GG/PMMA	0,00	0,00
	1,88	1483,95
	1,88	2967,90
	2,50	4451,85
	2,50	5935,80
	5,00	10387,64
	8,75	12168,38
	10,00	12316,78
	22,50	12761,96
	53,75	14839,49
	100,00	19291,34
	121,25	22259,24
	PUCO+10GE/PMMA	0,00
8,75		722,18
16,25		1444,36
42,50		2888,73
53,75		3610,91
81,25		5055,27
95,00		5777,45
142,50		8666,18
163,75		10110,54
193,75		12277,08
212,50		13721,44
221,25		14443,63
243,75		16610,17
251,25		17332,35
280,63	20221,08	



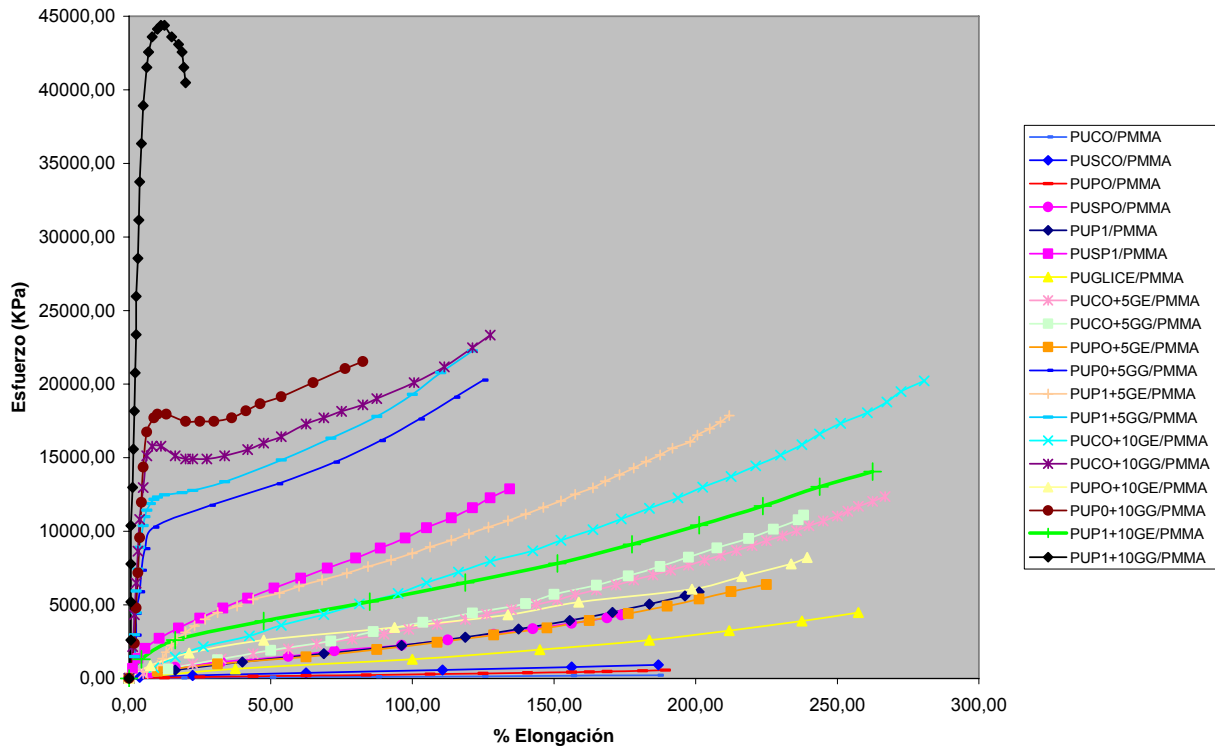
PUCO+10GG/PMMA	0,00	0,00
	1,88	4320,99
	3,13	8641,98
	5,00	12962,96
	8,13	15771,60
	11,25	15771,60
	16,25	15123,46
	20,00	14907,41
	27,50	14907,41
	33,75	15123,46
	47,50	15987,65
	53,75	16419,75
	87,50	19012,35
	127,50	23333,33
PUPO+10GE/PMMA	0,00	0,00
	7,50	864,96
	21,25	1729,92
	47,50	2594,88
	93,75	3459,84
	133,75	4324,80
	198,75	6054,72
	216,25	6919,68
	233,75	7784,64
239,38	8217,12	
PUPO+10GG/PMMA	0,00	0,00
	3,13	7177,73
	3,75	9570,31
	5,00	14355,47
	8,75	17705,08
	10,00	17944,34
	13,13	17944,34
	25,00	17465,82
	36,25	17705,08
	46,25	18662,11
	53,75	19140,63
	82,50	21533,20
PUP1+10GE/PMMA	0,00	0,00
	4,38	1301,81
	16,25	2603,61
	47,50	3905,42
	85,00	5207,23
	118,75	6509,03
	151,25	7810,84
	177,50	9112,65
	201,25	10414,45
	223,75	11716,26
	243,75	13018,07
262,50	14059,51	



PUP1+10GG/PMMA	0,00	0,00
	0,63	2595,34
	0,63	5190,68
	0,63	7786,02
	0,63	10381,36
	1,25	12976,69
	1,88	18167,37
	2,19	20762,71
	2,50	23358,05
	2,50	25953,39
	3,13	28548,73
	3,75	33739,41
	5,00	38930,08
	6,25	41525,42
	8,13	43601,69
	10,00	44120,76
11,25	44380,30	
12,50	44380,30	
15,00	43601,69	
17,50	43082,63	
20,00	40487,29	

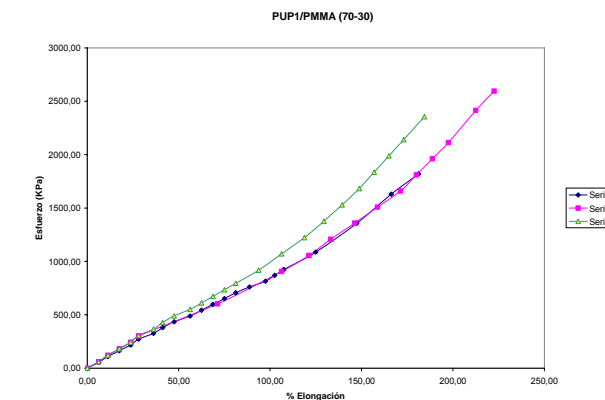
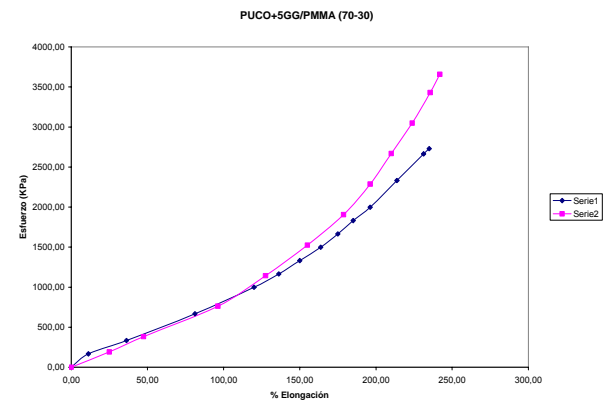
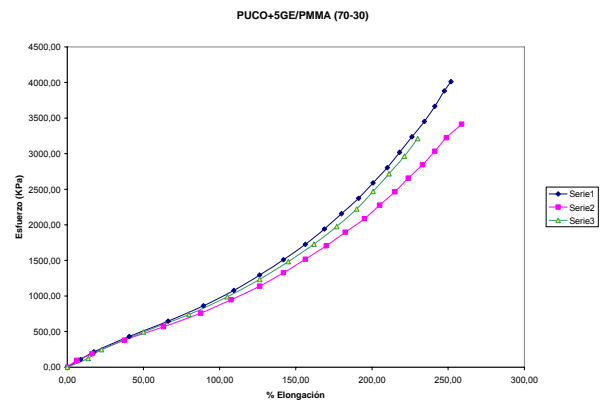
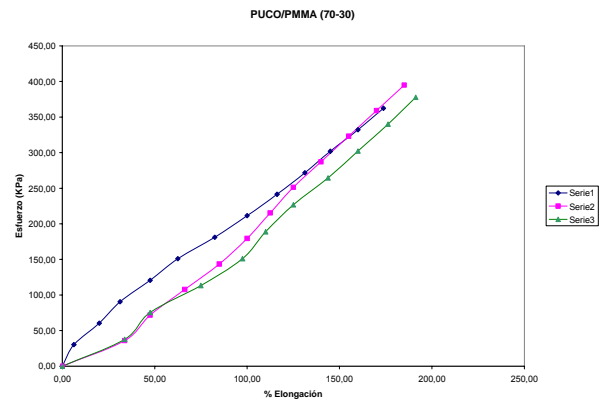


TENSION (80 - 20)

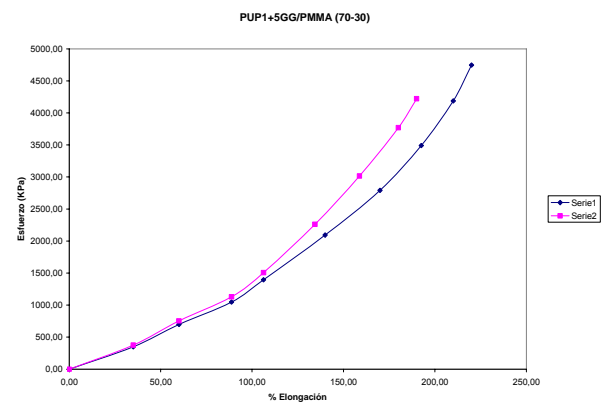
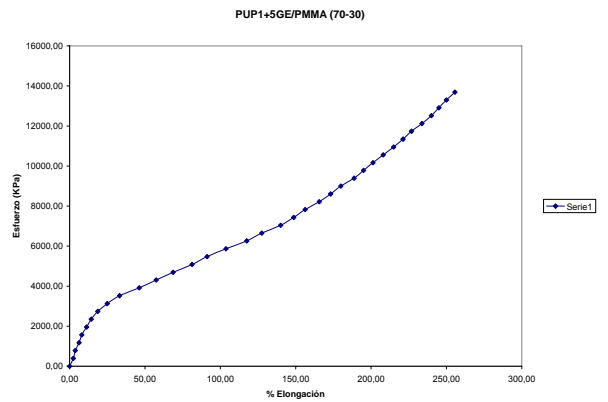
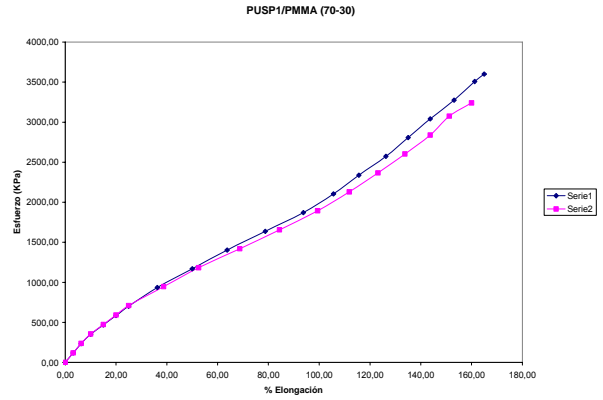


F.2.3 Relación PU/PMMA 70/30

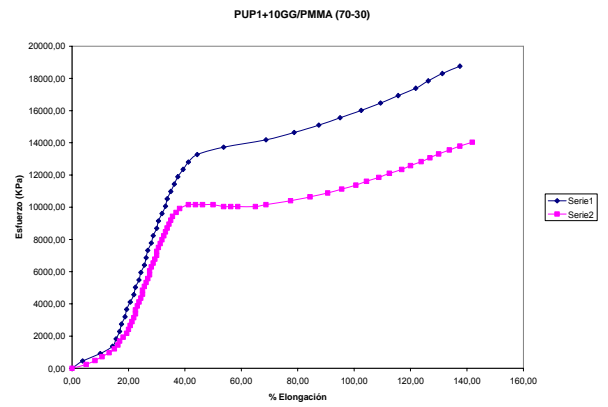
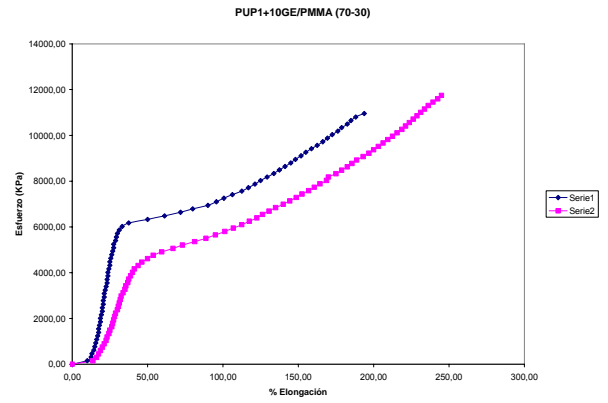
IPN's	% Elongación	ESFUERZO (KPa)
PUCO/PMMA	0,00	0,00
	33,75	35,90
	47,50	71,79
	66,25	107,69
	85,00	143,59
	100,00	179,49
	112,50	215,38
	125,00	251,28
	140,00	287,18
	155,00	323,08
185,00	394,87	
PUCO+5GE/PMMA	0,00	0,00
	8,75	107,83
	17,50	215,67
	40,63	431,34
	66,25	647,01
	89,38	862,68
	109,38	1078,35
	141,88	1509,68
	168,75	1941,02
	191,25	2372,36
	241,25	3666,37
251,88	4011,44	
PUCO+5GG/PMMA	0,00	0,00
	25,00	190,51
	47,50	381,03
	96,25	762,05
	127,50	1143,08
	155,00	1524,11
	178,75	1905,13
	196,25	2286,16
	223,75	3048,21
	235,63	3429,24
241,88	3657,85	
PUP1/PMMA	0,00	0,00
	6,25	60,34
	11,25	120,69
	28,13	301,72
	71,25	603,45
	121,25	1056,03
	158,75	1508,62
	180,00	1810,34
	197,50	2112,07
222,50	2594,83	



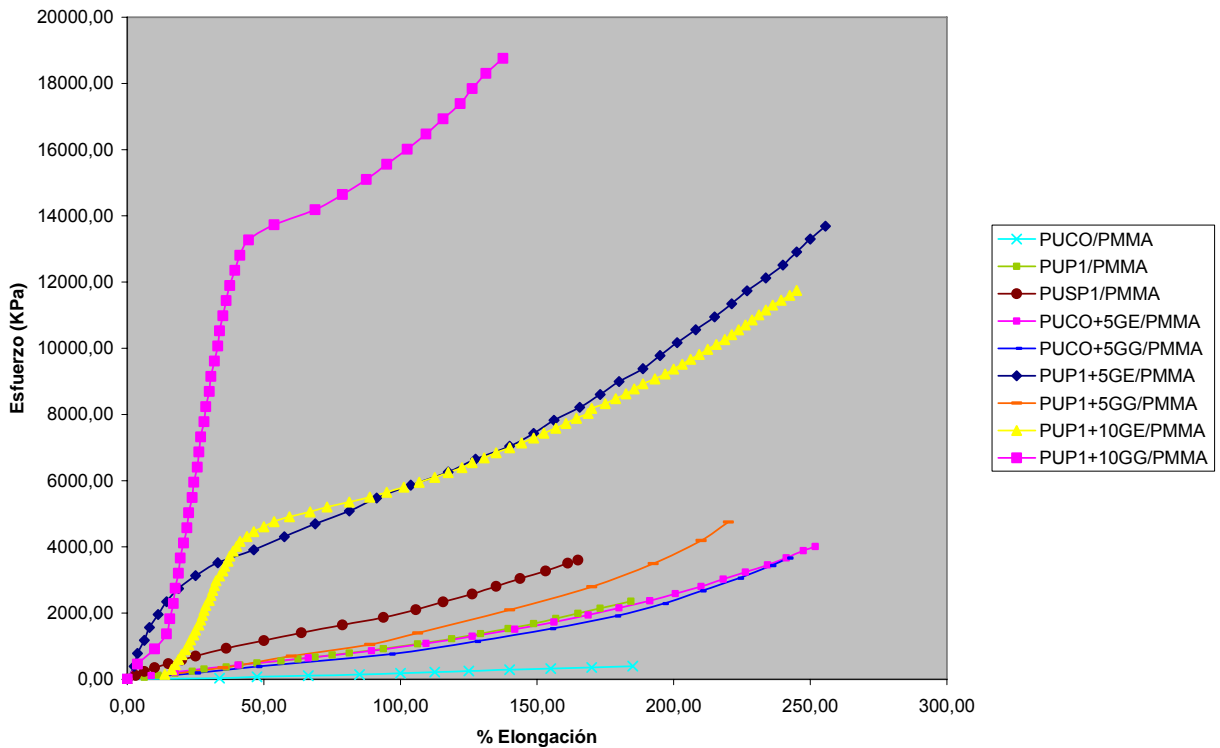
PUSP1/PMMA	0,00	0,00
	6,25	233,78
	10,00	350,67
	20,00	584,45
	36,25	935,11
	50,00	1168,89
	78,75	1636,45
	93,75	1870,23
	115,63	2337,79
	135,00	2805,34
	143,75	3039,12
	153,13	3272,90
165,00	3600,19	
PUP1+5GE/PMMA	0,00	0,00
	2,50	391,06
	3,75	782,12
	6,25	1173,18
	8,13	1564,25
	14,38	2346,37
	18,75	2737,43
	25,00	3128,49
	33,13	3519,55
	46,25	3910,61
	57,50	4301,68
	68,75	4692,74
	81,25	5083,80
	91,25	5474,86
	140,00	7039,11
	156,25	7821,23
	173,13	8603,35
180,00	8994,41	
195,00	9776,54	
201,25	10167,60	
226,88	11731,84	
240,00	12513,97	
255,63	13687,15	
PUP1+5GG/PMMA	0,00	0,00
	35,00	349,00
	60,00	698,01
	88,75	1047,01
	106,25	1396,01
	140,00	2094,02
	170,00	2792,02
	192,50	3490,03
	210,00	4188,03
	220,00	4746,44



PUP1+10GE/PMMA	0,00	0,00
	13,75	148,71
	25,00	1487,10
	28,13	2081,94
	40,00	4015,17
	66,88	5056,15
	88,75	5502,28
	112,50	6097,12
	126,25	6543,25
	203,13	9517,45
	223,75	10558,42
	245,00	11748,10
PUP1+10GG/PMMA	0,00	0,00
	3,75	457,52
	10,00	915,03
	22,50	5032,68
	23,75	5490,20
	33,13	10065,36
	44,38	13267,97
	68,75	14183,01
	87,50	15098,04
	102,50	16013,07
	121,88	17385,62
	137,50	18758,17

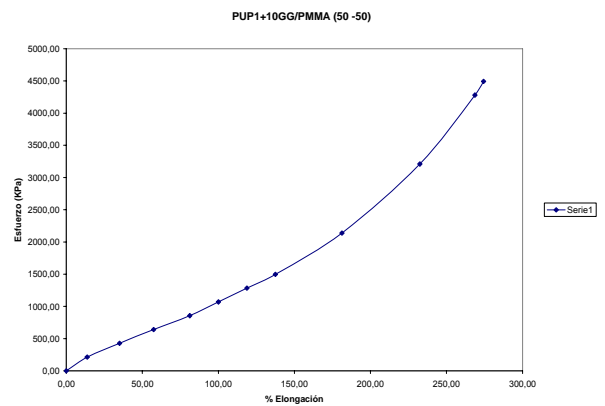
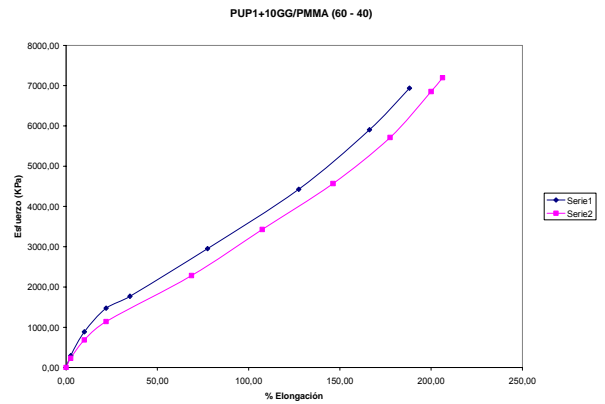


TENSIÓN (70 - 30)

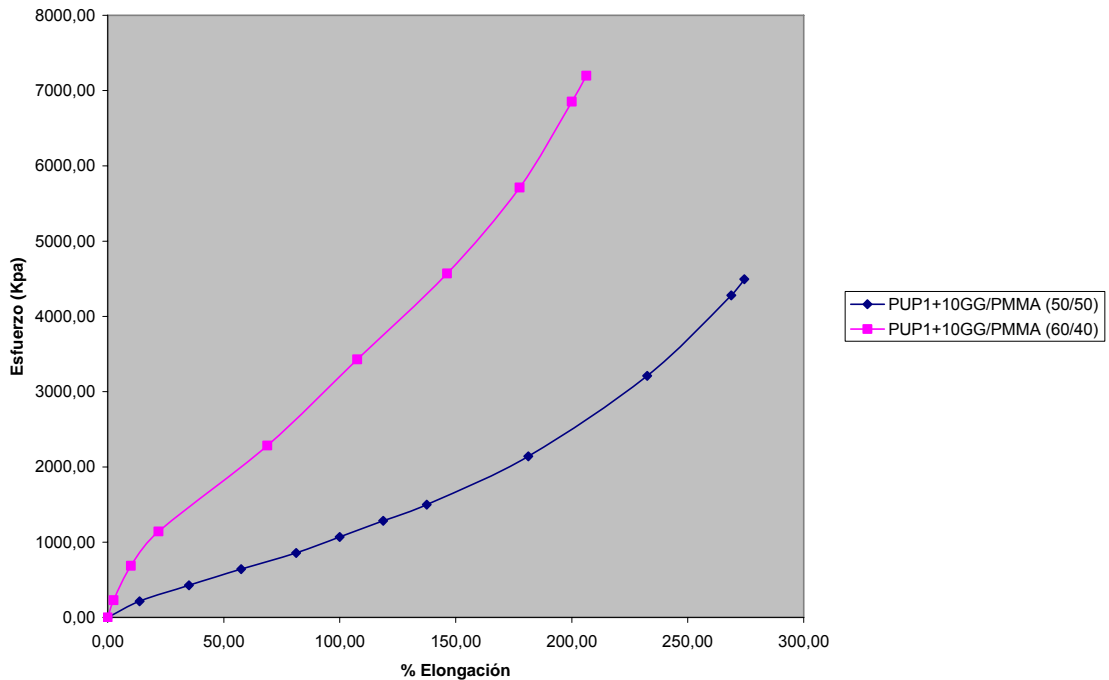


F.2.3 Relación PU/PMMA 60/40 y 50/50

IPN's	% Elongación	ESFUERZO (KPa)
PUP1+10GG/PMMA 60 - 40	0,00	0,00
	2,50	228,44
	10,00	685,31
	21,88	1142,19
	68,75	2284,38
	107,50	3426,57
	146,25	4568,76
	177,50	5710,96
	206,25	7195,80
PUP1+10GG/PMMA 50 - 50	0,00	0,00
	13,75	213,97
	35,00	427,95
	57,50	641,92
	81,25	855,90
	100,00	1069,87
	118,75	1283,84
	137,50	1497,82
	181,25	2139,74
	232,50	3209,61
	268,75	4279,48
	274,38	4493,45



TENSION (50/50 Y 60/40)



F.3 FOTOS ENSAYOS DE TENSION MÁQUINA INSTRON



ANEXO G
COMPARACIÓN PROPIEDADES MECÁNICAS IPN's

G.1 COMPARACIÓN PROPIEDADES MECANICAS DE LOS IPN's

IPN	ENERGIA RUPTURA (KJ/m ³)	σ ÚLTIMO (KPa)	% ELONG MAXIMO	LÍMITE ELÁSTICO (Esfuerzo fluencia) (Kpa)	E (Módulo)	DUREZA SHORE A
IPN's 90/10						
PUCO/PMMA	160160	524,53	170		194,2	58
PUCO+5GE/PMMA	352020	3699,12	242,5		952,2	85
PUCO+5GG/PMMA	378770	3900	250		1600	86
PUP1/PMMA	304880	2350,12	228,13		314	76
PUSP1/PMMA	267880	16427	215,63		18774	94
PUP1+5GE/PMMA	136960	11728,72	157,5		33000,2	94
PUP1+10GE/PMMA	600540	7563,76	298,75		7516,8	96
PUP1+5GG/PMMA	304850	5350	228,13		3550,6	90
PUP1+10GG/PMMA	158950	21857,84	169,38	9166,67	38431,4	96
IPN's 80/20						
PUCO/PMMA	195480	212.12	186.88		188.6	46
PUSCO/PMMA	195480	922.35	186.88		1691	58
PUCO+5GE/PMMA	445130	12366.98	266.88		6684.8	88
PUCO+10GE/PMMA	506640	20221.08	280.63		8253.4	88
PUCO+5GG/PMMA	337110	11093.14	238.13		4610.2	86
PUCO+10GG/PMMA	90049	23333.33	127.50	15761,6	259259.2	90
PUPO/PMMA	201140	561.07	189.38		374	58
PUSPO/PMMA	167600	4301.53	173.75		4987.4	84
PUPO+5GE/PMMA	295270	6376.38	225.0		4905	85
PUPO+10GE/PMMA	341320	8217.12	239.38		11532.8	92
PUPO+5GG/PMMA	86630	20269.78	125	10281,77	161453.2	96
PUPO+10GG/PMMA	39373	21533.2	82.50	17944,34	287109.4	96
PUP1/PMMA	229610	5883.36	201.25		3448.2	80
PUSP1/PMMA	99817	12880.39	134.38		36302.4	90
PUP1+5GE/PMMA	257470	17866.91	211.88		7146.8	94
PUP1+10GE/PMMA	427040	14059.51	262.50	4610,02	27396.2	92
PUP1+5GG/PMMA	81633	22259.24	121.25	12465,17	207752.8	97

PUP1+10GG/PMMA	3147.2	40487.29	20	44380,3	778601.6	98
PUGLICE3/PMMA	407150	4478.15	257.50		1730.6	78
IPN's 70/30						
PUCO/PMMA	191310	394	185		106,4	52
PUCO+5GE/PMMA	385710	4011,44	251,88		1232,4	78
PUCO+5GG/PMMA	349860	3657,85	241,88		762	80
PUP1/PMMA	287770	2954,83	222,5		964,8	80
PUSP1/PMMA	150600	3600,19	165		3737,8	88
PUP1+5GE/PMMA	399890	13687,15	255,63		19563	94
PUP1+10GE/PMMA	360760	11748,1	245	4758,73	1081,6	94
PUP1+5GG/PMMA	280410	4746,44	220		997,2	90
PUP1+10GG/PMMA	104440	18758,17	137,5	13267,97	10980,4	96
IPN's 60/40						
PUP1+10GG/PMMA	242430	7195,8	206,25		7614,6	96
IPN's 50/50						
PUP1+10GG/PMMA	477760	4493,45	274,38		1556,2	92

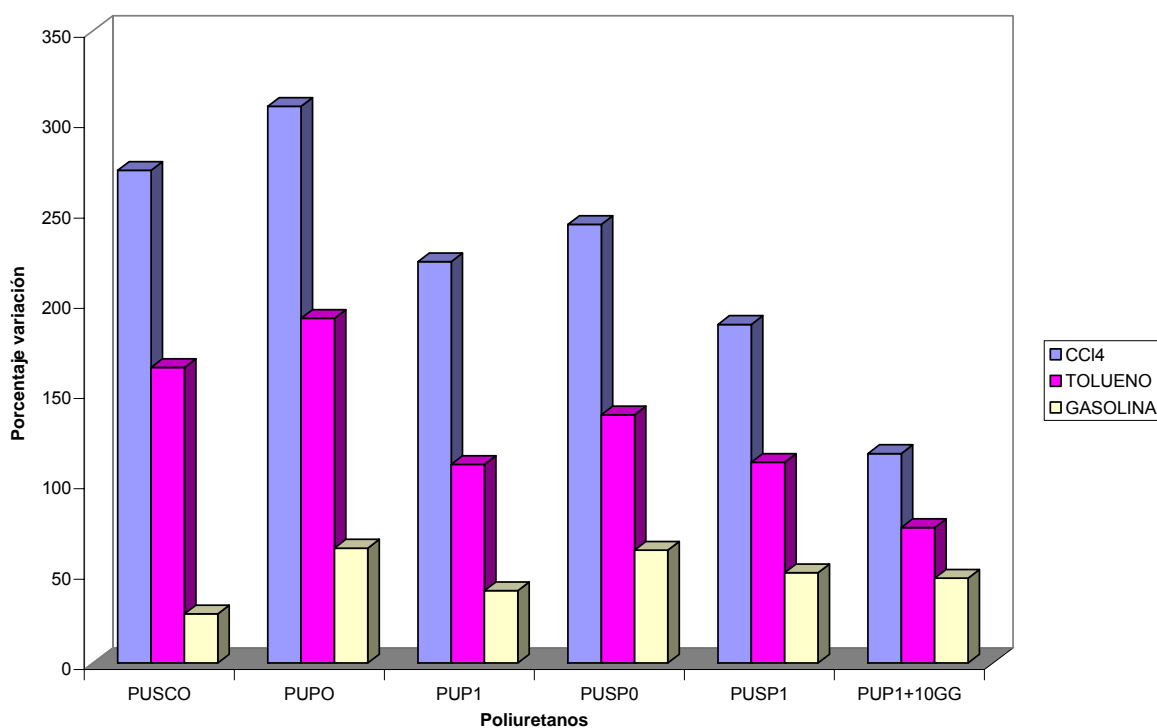
ANEXO H
RESISTENCIA DE LOS POLIURETANOS E IPN's AL ATAQUE QUÍMICO

H.1. RESISTENCIA DE LOS POLIURETANOS AL ATAQUE QUÍMICO

PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN PESO

	PUSCO	PUPO	PUP1	PUSP0	PUSP1	PUP1+10GG
CCI4	272,72	308,33	222,22	242,86	187,5	116
TOLUENO	163,64	190,91	110	137,5	111,11	75
GASOLINA	27,273	63,64	40	62,5	50	47

VARIACIÓN PORCENTAJE PESO POLIURETANOS

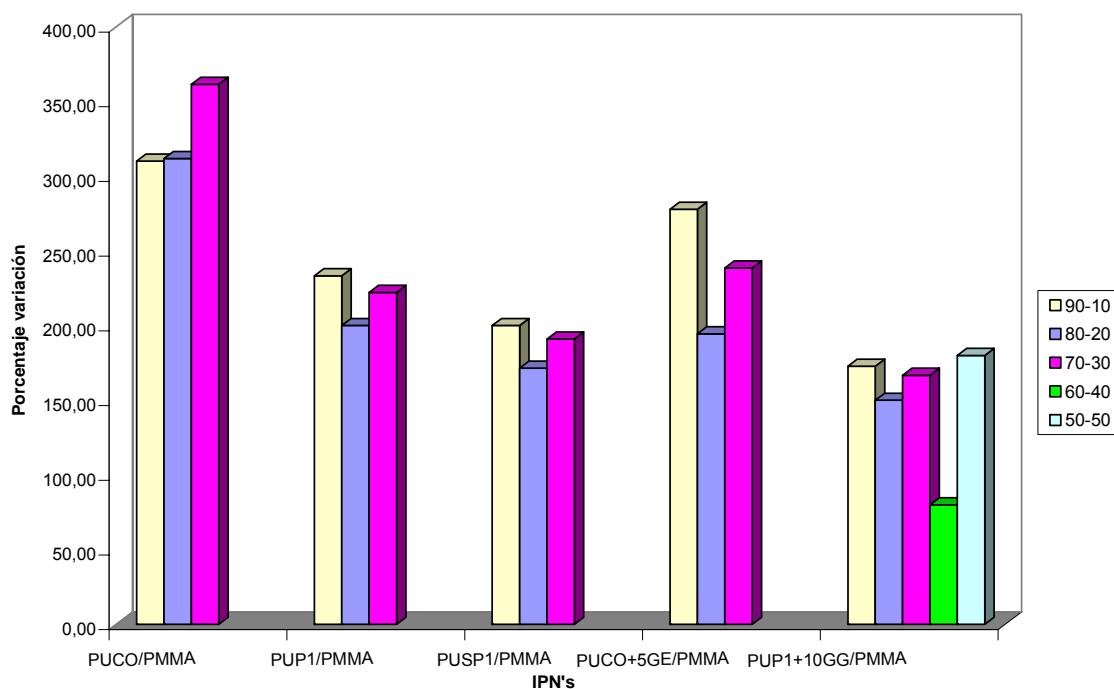


H.2 RESISTENCIA DE LOS IPN's AL ATAQUE QUÍMICO

H.2.1 PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN PESO CON TETRACLORURO DE CARBONO

RELACIÓN PU/PMMA	PUCO/PMMA	PUP1/PMMA	PUSP1/PMMA	PUCO+5GE/PMMA	PUP1+10GG/PMMA
80-20	311,76	200,00	171,43	194,44	150,00
70-30	361,54	222,22	190,91	238,46	166,67
90-10	310,00	233,33	200,00	277,78	172,73
50-50					180,00
60-40					80,00

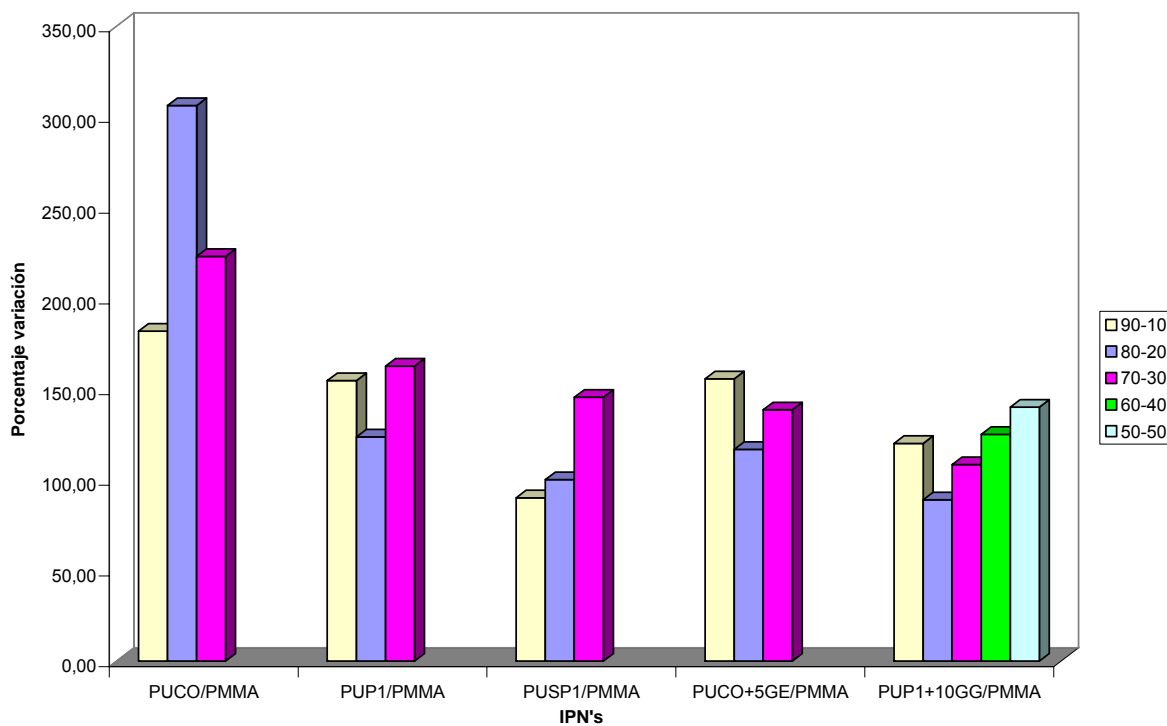
VARIACIÓN EN PESO CON CCl₄



H.2.2 PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN PESO CON TOLUENO

	PUCO/PMMA	PUP1/PMMA	PUSP1/PMMA	PUCO+5GE/PMMA	PUP1+10GG/PMMA
80-20	306,25	123,53	100,00	116,67	88,89
70-30	223,08	162,50	145,45	138,46	108,33
90-10	181,82	154,55	90,00	155,56	120,00
50-50					140,00
60-40					125,00

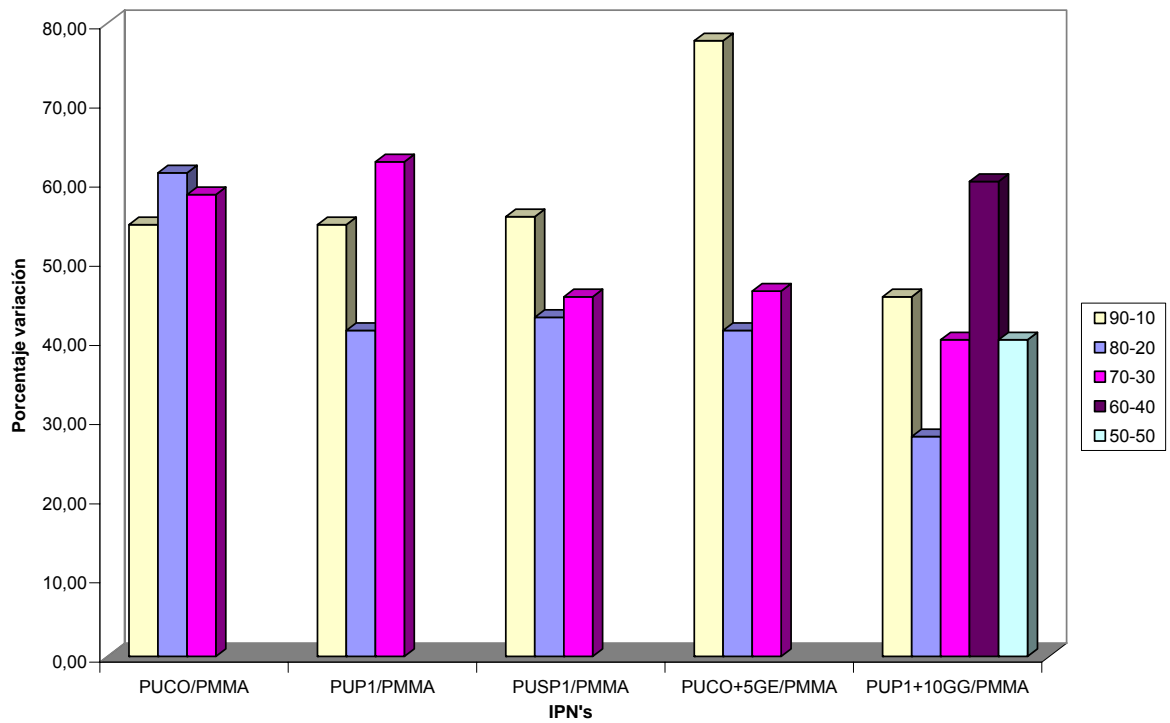
VARIACIÓN PESO CON TOLUENO



H.2.3 PORCENTAJE DE VARIACIÓN EN PESO CON GASOLINA

	PUCO/PMMA	PUP1/PMMA	PUSP1/PMMA	PUCO+5GE/PMMA	PUP1+10GG/PMMA
80-20	61,11	41,18	42,86	41,18	27,78
70-30	58,33	62,50	45,45	46,15	40,00
90-10	54,55	54,55	55,56	77,78	45,45
50-50					40,00
60-40					60,00

VARIACIÓN PESO CON GASOLINA



H.3 FOTOS IPN's DESPUES DE ATAQUE QUÍMICO

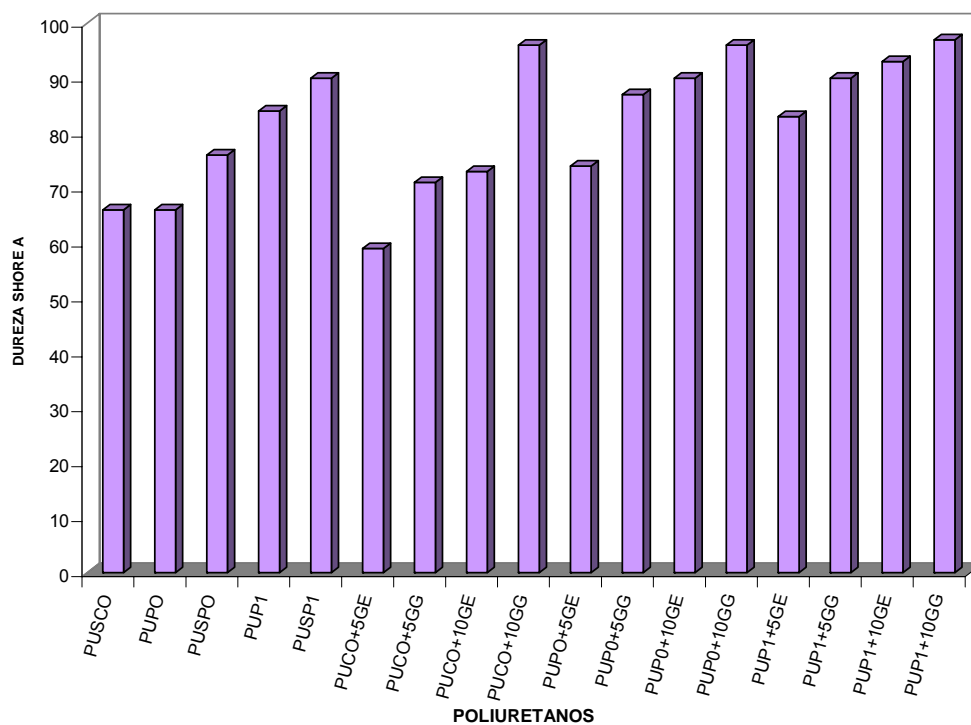


ANEXO I
DUREZA DE LOS POLIURETANOS E IPN's

I.1 DUREZA DE POLIURETANOS

POLIURETANOS	DUREZA
PUSCO	66
PUP0	66
PUSP0	76
PUP1	84
PUSP1	84
PUCO+5GE	59
PUCO+5GG	71
PUCO+10GE	73
PUCO+10GG	96
PUP0+5GE	74
PUP0+5GG	87
PUP0+10GE	90
PUP0+10GG	96
PUP1+5GE	83
PUP1+5GG	90
PUP1+10GE	93
PUP1+10GG	97

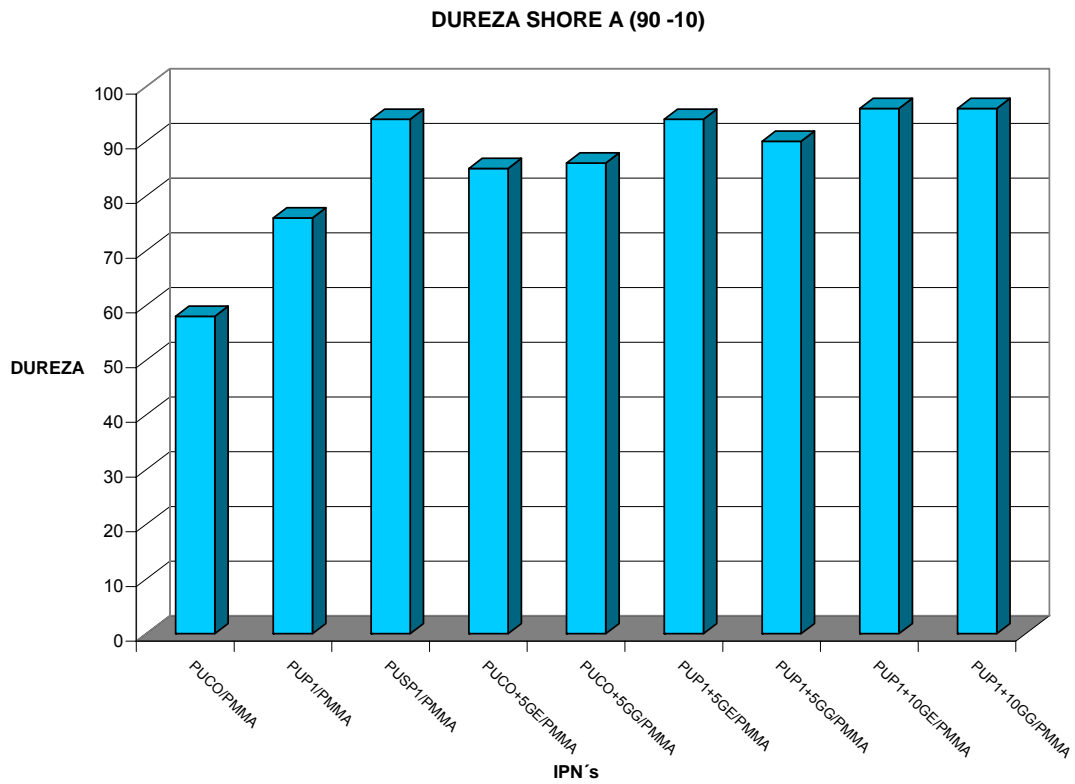
DUREZA POLIURETANOS



I.2 DUREZA IPN's

I.2.1 RELACIÓN 90/10

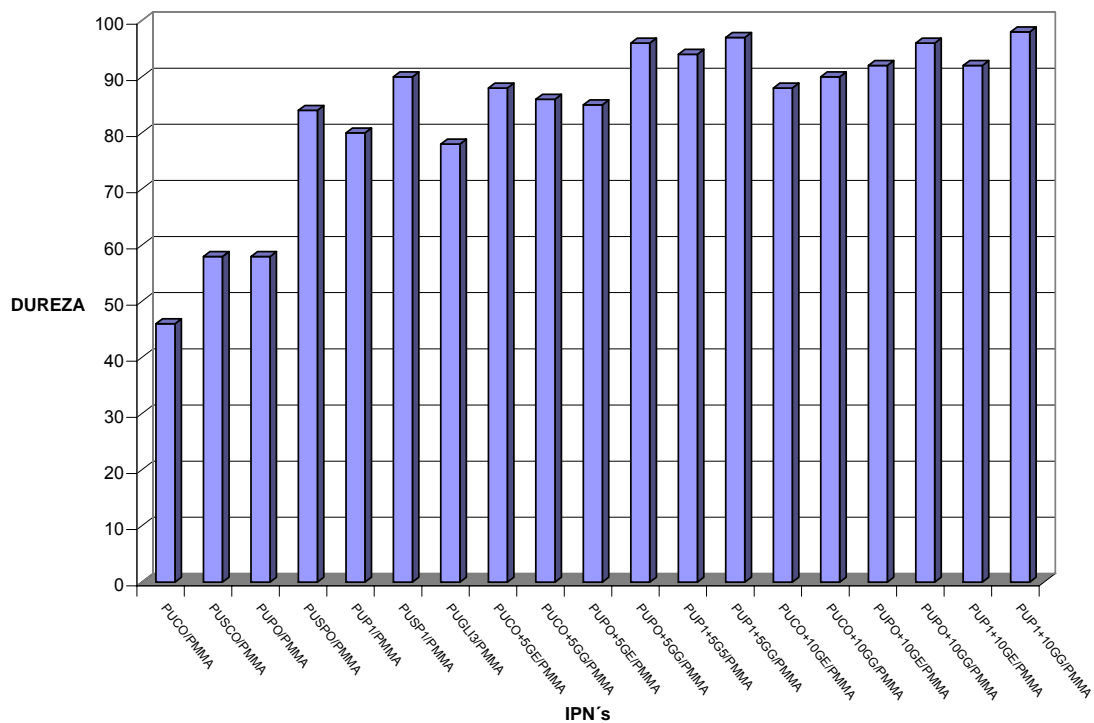
IPN's	DUREZA
PUCO/PMMA	58
PUP1/PMMA	76
PUSP1/PMMA	94
PUCO+5GE/PMMA	85
PUCO+5GG/PMMA	86
PUP1+5GE/PMMA	94
PUP1+5GG/PMMA	90
PUP1+10GE/PMMA	96
PUP1+10GG/PMMA	96



I.2.2 RELACIÓN 80/20

IPN's	DUREZA
PUCO/PMMA	46
PUSCO/PMMA	58
PUCO+5GE/PMMA	88
PUCO+10GE/PMMA	88
PUCO+5GG/PMMA	86
PUCO+10GG/PMMA	90
PUPO/PMMA	58
PUSPO/PMMA	84
PUPO+5GE/PMMA	85
PUPO+10GE/PMMA	92
PUPO+5GG/PMMA	96
PUPO+10GG/PMMA	96
PUP1/PMMA	80
PUSP1/PMMA	90
PUP1+5GE/PMMA	94
PUP1+10GE/PMMA	92
PUP1+5GG/PMMA	97
PUP1+10GG/PMMA	98
PUGLICE3/PMMA	78

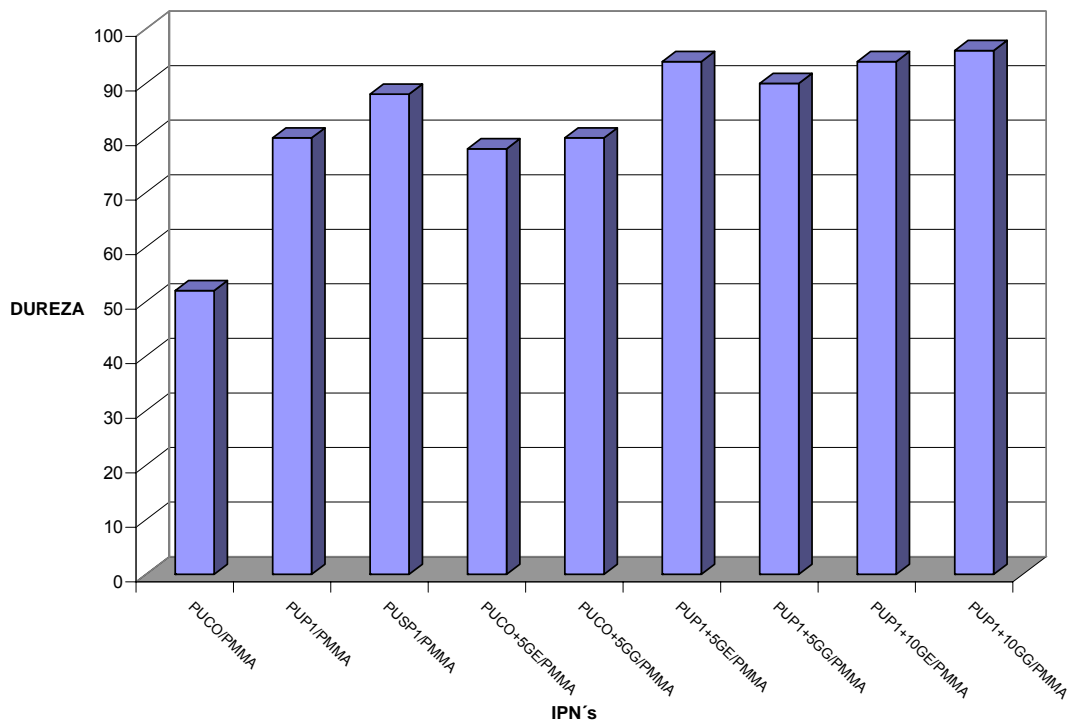
DUREZA SHORE A (80-20)



I.2.3 RELACIÓN 70/30

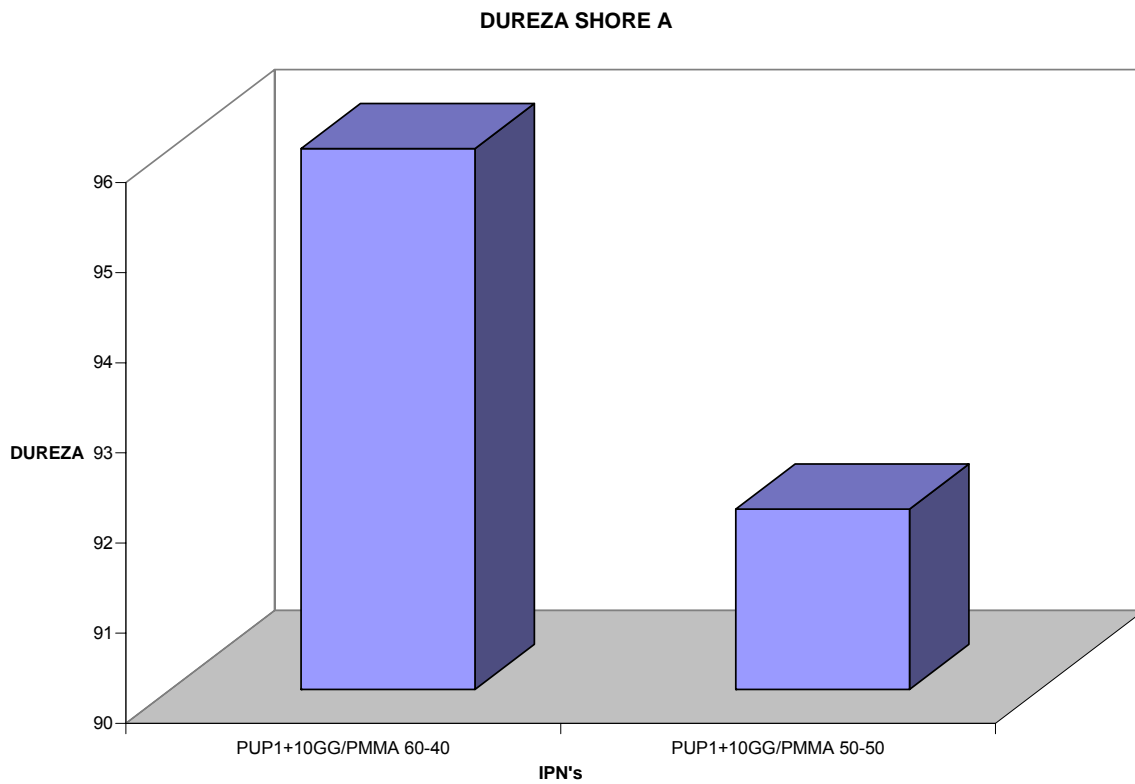
IPN's	DUREZA
PUCO/PMMA	52
PUP1/PMMA	80
PUSP1/PMMA	88
PUCO+5GE/PMMA	78
PUCO+5GG/PMMA	90
PUP1+5GE/PMMA	94
PUP1+5GG/PMMA	90
PUP1+10GE/PMMA	94
PUP1+10GG/PMMA	96

DUREZA SHORE A (70-30)



I.2.4 RELACIÓN 60/40 y 50/50

IPN's	DUREZA
PUP1+10GG/PMMA (60/40)	96
PUP1+10GG/PMMA (50/50)	92



I.2.5 COMPARACIÓN DUREZA IPN's

