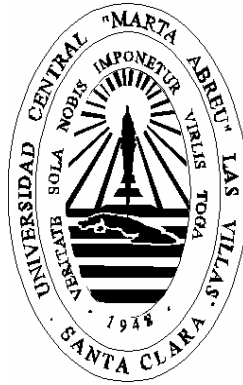


Ministerio de Educación Superior



Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas Facultad de Ingeniería Mecánica

Informe de investigación terminada.

Título: "Material elastomérico para resortes de gomas para troqueles".

Autores: - MsC. Daniel Pérez Pérez.
- Dra. Guiselda Fernández Levy.
- Dr. Emilio Álvarez G.
- MsC. Maydell Pérez Inerárity.

Resumen:

En esta investigación se propone desarrollar un material elastomérico para resortes de gomas para troqueles.

Introducción:

Los elastómeros o compuestos de goma son muy utilizados en diversas esferas de la industria. Por su demanda cada vez más creciente se hace necesario profundizar en todo lo relacionado con los componentes de estas mezclas, sus características y propiedades, así como los métodos y equipos para la determinación de estas. Además es importante conocer cómo influyen todos estos factores bajo diferentes regímenes de trabajo con el objetivo de establecer métodos que permitan mejorar determinados parámetros que alarguen la vida útil de los artículos elaborados y/o la sustitución de componentes de estas mezclas por otros de más bajo costo o de producción nacional, reduciendo de esta forma los gastos por importaciones.

La atención especial al material de los resortes se basa en lo fundamental en que en nuestras fábricas a pesar de su alta demanda no existe una norma por la que se puedan guiar los diseñadores para elegir las dimensiones y el material de los mismos, lo cual se hace arbitrariamente con lo que no siempre se consiguen buenos resultados.

Los resortes de goma son los que soportan la carga del conjunto superior del troquel cuando en este se emplean extractores o prensa-chapa. La pérdida de sus propiedades influye de manera significativa en la productividad de los troqueles.

Esta investigación se propone desarrollar un material elastomérico para la fabricación de resortes de gomas para troqueles porque no existe una norma cubana vigente para la selección de resorte de goma.

Para dar cumplimiento a tal propósito se realizan una serie de acciones que facilitan la obtención del material deseado.

Sistema de acciones:

1. Revisión de la documentación existente en Cuba y en el mundo acerca de los compuestos de goma.
2. Análisis de los posibles elementos que componen una mezcla patrón.

3. Comparación entre las propiedades físico-mecánicas de los materiales reportados por la literatura y la mezcla patrón.
4. Ejecución del diseño de experimento para la selección de las proporciones los elementos a obtener.
5. Determinación de la zona de mejor mezclado.
6. Análisis económico.

Desde el punto de vista teórico el valor de la investigación radica en que se ofrecen los procedimientos metodológicos para el desarrollo de un material utilizado en la fabricación de resortes de goma, así como el establecimiento de la influencia de rellenos, acelerantes y resinas reforzantes en las propiedades físico-mecánicas del material de goma desarrollado.

El Valor práctico se aprecia en lo siguiente:

- Ahorro de recursos económicos por sustitución de importaciones al desarrollar un material elastomérico de producción nacional.
- Ampliación de las posibilidades de cooperación y comercialización entre diferentes empresas del país.

1. Resortes de goma.

Los resortes de goma son aquellos elementos que soportan la carga del conjunto superior del troquel cuando en este se emplean extractores o prensa-chapa. La pérdida de sus propiedades influye de manera significativa en la productividad de las máquinas. La atención especial a estos elementos se basa en lo fundamental en que en el país no existe una norma por la que se puedan guiar los diseñadores para elegir las dimensiones y el material de los mismos, lo cual se hace arbitrariamente y con lo cual no siempre se logran buenos resultados.

Se partió de consultar la norma para “Resortes de Neopreno (RNE)” referida en [16], donde se reconoce solamente como material a emplear el caucho (Neopreno) y no se especifican los demás componentes de la mezcla. Se representan además los valores de las fuerzas que estos soportan y la dureza oscila entre 70 ± 3 Shore A.

Los objetivos giraron alrededor del análisis bibliográfico sobre la influencia del tipo de caucho y rellenos en las propiedades físico-mecánicas de los materiales elastoméricos, así como el establecimiento de los modelos matemáticos que definen la influencia de diferentes elementos componentes de la mezcla en dichas propiedades de los elastómeros.

Fue necesario revisar varias investigaciones realizadas por el grupo de trabajo de "Tribología" de la UCLV en coordinación con la empresa "Tres Mártires" en el municipio de Remedios que sirvió como precedente al desarrollo de un material elastomérico adecuado para su funcionamiento en troqueles.

Las gomas se emplean para hacer neumáticos, amortiguadores, elementos elásticos de acoplamientos, correas, empaquetaduras etc. y tienen propiedades particulares tales como:

- a) Admiten grandes deformaciones reversibles.
- b) Dispersan una gran cantidad de energía durante las deformaciones y por consiguiente, amortigua bien las oscilaciones.
- c) Poseen buenas propiedades electroaislantes.
- d) Son impermeables al agua y los gases.
- e) Resisten bien al desgaste por rozamiento y a las acciones de muchos productos químicamente activos.

Dichas propiedades colocan a la goma entre los materiales insustituibles en las diferentes ramas de la economía nacional, por ejemplo, en la industria automotriz.

Acerca de esto Oehler. G [8], plantea que desde que se consiguió fabricar materiales resistentes a los aceites, se emplean cada vez más los resortes de goma, aplicándose también en los últimos años en la construcción de troqueles.

Estos resortes normalmente tienen una configuración sencilla, pues suelen ser de forma cilíndrica con un diámetro exterior (D_a), que varía al sufrir el resorte la compresión aumentando hasta un valor (D_b), y con un orificio central de diámetro (D_i), que prácticamente no varía como muestra en la figura 3.5

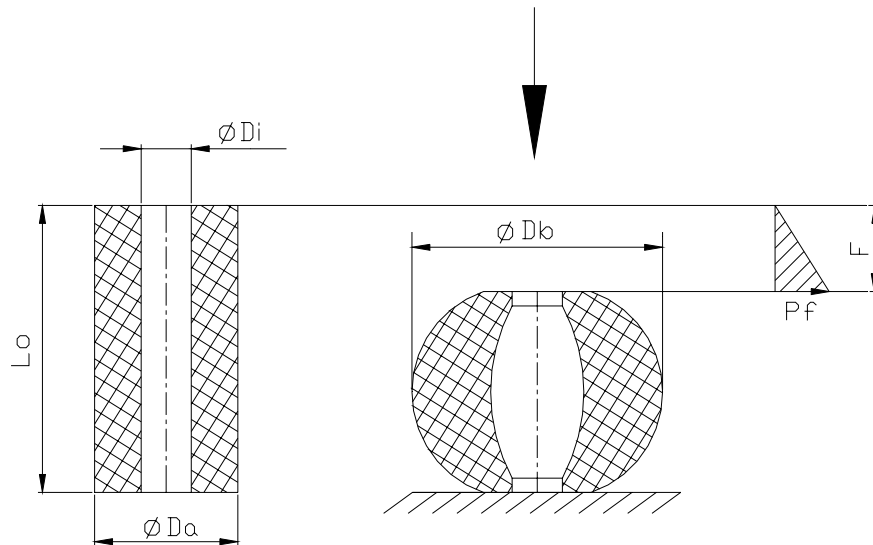


Fig. 3.5. Resorte de goma.

Siendo.

L_0 - Longitud total del resorte en (mm).

P_f - Fuerza de trabajo final cuando se alcanza el máximo recorrido de trabajo en (Kgf/mm^2).

F - Recorrido de trabajo en (mm).

1.1 Características y propiedades del material elastomérico para la fabricación de resortes de gomas para troqueles.

Como elementos componentes de las mezclas que forman los materiales elastoméricos se entienden todas aquellas sustancias que se añaden al caucho virgen para ablandarlo, endurecerlo, vulcanizarlo etc.; en fin todo lo que se adicione al caucho para adaptarlo mediante el proceso de vulcanización al uso que se le debe dar. Se puede definir como carga toda sustancia distinta del caucho que se adicione al mismo.

Un elastómero posee un alto grado de elasticidad que es característico del caucho, es posible deformarlo considerablemente y puede volver a su forma

original. El caucho natural es un hidrocarburo de gran importancia que se obtiene del látex de ciertos árboles de la zona tropical. Cuando se calienta el látex o se le añade ácido acético, los hidrocarburos en suspensión, con pequeñas cantidades de otras sustancias se coagulan y pueden extraerse del líquido. El producto obtenido es el caucho bruto del comercio, viscoso y pegajoso, blando en caliente y duro y quebradizo en frío. Al estirarlo, no vuelve a adquirir después la forma primitiva.

El caucho virgen es un producto duro que requiere en su elaboración un intenso trabajo mecánico, así como una elevación de temperatura conveniente para permitir la adición de las cargas que se necesitan para obtener las mezclas deseadas. Con el desarrollo de la ciencia y la técnica se hace necesario obtener productos con mejores propiedades y menos costo por lo que es una constante la búsqueda de métodos y materiales que conlleven a lograrlo. El punto de partida será invariablemente la determinación de las propiedades inherentes al objeto de fabricación. En ciertos casos para las manufacturas destinadas a las grandes empresas, los objetos deben responder a las especificaciones exigidas. En otros casos el técnico debe establecerlas según las ideadas para el artículo.

Este conjunto de propiedades permitirá fijar, al menos aproximadamente:

- La proporción del caucho que ha de emplearse en la maestra.
- Las proporciones posibles de regenerado.
- La naturaleza de las cargas a utilizar, con preferencia y las excluidas a priori.
- La dosis elevada o baja de azufre.
- Los antioxidantes a elegir.
- En determinados casos los colorantes, los agentes de hinchamiento.

Después de esta determinación, basada en sus propiedades se puede conocer la estructura de la mezcla; el estudio de la adaptación operatoria permitirá fijar los últimos puntos. Esta última serie de operaciones fijará la elección y la dosis de los plastificantes y los acelerantes.

Esta relación de consideraciones permite llegar a una primera forma de mezcla, la cual será ensayada y en lo posterior se corrige para eliminar los defectos

encontrados, aproximándose cada vez más a la formulación definitiva. Los tanteos anteriores se deben reducir al mínimo. Es por ello que las nuevas técnicas de diseño de experimentos juegan un papel importante.

Ball, J. M [4], al igual que otros autores plantea como propiedades fundamentales para la evaluación de materiales elastoméricos:

- La resistencia a la rotura.
- Módulo al 300%.
- Dureza.
- Resistencia al desgarro.
- Resistencia a la abrasión.
- La viscosidad.

Todas estas cualidades miden la calidad del compuesto y sirven de indicador de calidad para todo productor de artículos de gomas.

Dependiendo del uso o aplicación a la que esté destinado el compuesto de goma debe poseer determinadas propiedades físico-mecánicas, las cuales se definen con la composición de la mezcla, es decir su receta. De la correcta constitución de la mezcla dependen en gran medida las propiedades del compuesto, así como los indicadores económicos de la producción.

En los compuestos de goma están presentes una serie de elementos que le confieren a la mezcla una u otras propiedades atendiendo al tipo y proporción en que se utilizan estos, es por ello que existen diferentes formulaciones atendiendo al uso para el cual va a estar destinado el compuesto. Desde luego son diversos los productos que se pueden adicionar al caucho virgen para conseguir fines específicos.

A partir de una mezcla "máster" empleada en diferentes fábricas de elaboración de artículos de goma y del análisis de la bibliografía se elaboró una mezcla patrón (Tabla 3.1), en la cual como variables independientes se toma: el negro de humo, la resina endurecedora Durez - Resin o vulcadur A y el acelerante del tipo TMTD.

Formulación patrón	Partes (p.p.c.c)	Masa (g)
Caucho CKH- 40	100.00	1000.0
Negro de humo HAF	80.00	800.0
Óxido de zinc	3.75	37.5
Ácido esteárico	5.00	50.0
Durez Resin	10.0	100.0
DOP	14.00	140.0
TMTD	1.00	10.0
Azufre	3.00	30.0

Tabla 3.1-Formulación de referencia propuesta.

Como criterios de evaluación de las formulaciones a desarrollar se emplean los requerimientos establecidos por la norma internacional ISO 6447. (Tabla 3.2 y 3.3).

Formulación	2.1	2.2
SBR 1502	100	-
Caucho natural SMR 5L	-	100
Cenizas volantes	70	70
Óxido de zinc	3	5
Ácido esteárico	1,5	1,5
TBBS	2,0	1,0
TMTD	2,0	2,0
Azufre	0,4	0,4

Tabla 3.2- Formulación sugerida por la ISO 6447 para la evaluación de caolines.

Propiedades de los compuestos Sugeridos por la ISO	Formulación	
	2.1	2.2
Tiempo de vulcanización a 160°C, min	20	10

Dureza Shore A	55	48
Esfuerzo para un alargamiento de:		
100%, Mpa	1,10	1,01
200%, Mpa	1,86	2,21
300%, Mpa	-	5,13
Resistencia a la tracción, Mpa	12,07	13,47
Alargamiento a la rotura, %	333	638
Resistencia al desgarre, N	8,97	12,52

Tabla 3.3. Propiedades de la formulación establecida por la ISO para la evaluación de caolines y rellenos.

En la tabla 3.4 se dan las propiedades de algunos cauchos reportado por la literatura, cuyos valores son tomados en cuenta como patrones de referencia que permiten evaluar la calidad del compuesto desarrollado en el presente trabajo.

Tipo de caucho	Propiedades							
	γ , gr/cm ³	Sh A	σ_r , MPa	ϵ , %	E, MPa	IRA	T, °C	Det.
Natural	0.93	30-90	31	700	-	A	70	1
Butadieno estireno	0.93	40-100	21	500	-	A	100	2
Butadieno acrilonitrilo	1	40-90	21	150-350	(9-10%) ϵ	A	120-150	3
Silicona	1.1-1.6	25-90	11	120-700	(5-50%) ϵ	C-B	225-250	4
Flursilicona	1.4	40-80	8.3	400-700	0.7	D	225-250	5
Poliertano	1.1-1.24	65-80	30-50	-	-	B	100-125	6
Neopreno	1.23	40-95	31	-	-	A	100-125	7

Tabla 3.4. Propiedades de los cauchos según reportes de la literatura.

- **Notaciones de la tabla:**

A - Alta resistencia al desgaste.

D - Baja resistencia al desgaste.

1- Aplicaciones de uso general, con pobre resistencia a los aceites e hidrocarburos y agentes oxidantes.

2- Idem.

3- Excelente resistencia a los hidrocarburos pero no a los agentes oxidantes.

4- Excelente resistencia a un amplio rango de temperaturas, regular resistencia a los aceites, aromáticos y a la abrasión.

5- Excelentes propiedades de resistencia al envejecimiento, excelente resistencia a los aceites y combustibles.

6- Buena resistencia a los aceites combustibles y condiciones del medio, buenas propiedades mecánicas.

7- Buena resistencia a los aceites y a la oxidación.

A partir de las consideraciones anteriores se desarrolló una primera etapa experimental que permitió evaluar las características y propiedades de la formulación patrón a partir de la cual se planifica la segunda etapa de la investigación.

Formulación patrón desarrollada							
Propiedades físico – mecánicas							
σ_{rot} (MPa)	RD, (N/mm)	HSh A	E, (MPa)	IRA, (%)	ML100	μ	γ
22.3	9.28	86	13.72	172.21	76	0.52	1.23
Propiedades físico – mecánicas compuesto reportado por la literatura							
11 – 21	-	40 - 90	0.5 – 7.5	A =IRA >100	-	0 - 0.5	1-1.6

Tabla. 3.5. Propiedades de la formulación patrón.

Los resultados de los experimentos se muestran en la tabla 3.5. Al comparar los mismos con los reportados por la literatura especializada (tablas 3.3 y 3.4) se tiene un compuesto con muy buenas propiedades físico–mecánicas. Estos resultados posibilitaron la realización de los estudios posteriores.

Partiendo del hecho de que el elemento a fabricar a partir de los materiales a desarrollar es un resorte que esta sometido a la acción de lubricantes y relativamente alta temperatura se decidió utilizar un caucho sintético del tipo acrilonitrilo de la marca CKH.

En las figuras 3.6 y 3.7 se muestra el comportamiento de la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad. Ha de señalarse que el comportamiento logrado en esta formulación corresponde plenamente con lo reportado por la literatura especializada.

Como se puede observar en una primera etapa el módulo de elasticidad incrementa con el incremento de la elongación, luego baja hasta elongación de 0.5, haciendo un mínimo e incrementando nuevamente hasta un máximo para elongación de alrededor de 1.65 y con tendencia a disminuir posteriormente.

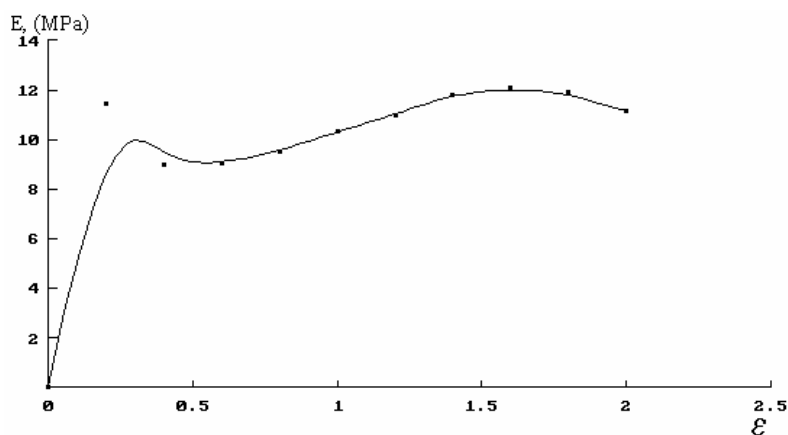


Fig.3.6. Comportamiento del módulo elasticidad.

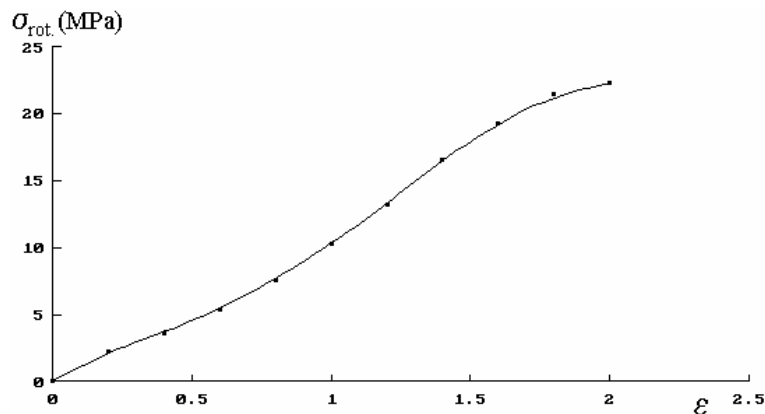


Fig.3.7. Comportamiento de la resistencia a la tracción.

Para el caso de la resistencia a la tracción (Figura.3.7) se tiene que la misma todo el tiempo incrementa con ligera tendencia a maximizar a partir del 2% de elongación.

1.2 Planificación y diseño de los experimentos.

En los últimos tiempos se reconoce a escala mundial diferentes métodos experimentales y estadísticos [6] y [7], que posibilitan la solución y explicación científica a problemas objeto de estudio, resultando los mismos una vía efectiva y económica en el campo de las investigaciones científicas.

El diseño de experimentos se fundamenta sobre cuatro reglas básicas:

1. Minimizar los experimentos: siempre el número menor posible de experimentos.
2. Cambiar el valor de los factores de acuerdo con reglas.
3. Utilizar en el procesamiento métodos matemáticos normalizados.
4. Tener una estrategia de trabajo por etapas.

Tomando en cuenta los requerimientos anteriores, se utiliza un diseño de mezcla del tipo SIMPLEX – CENTROID CÚBICO ESPECIAL. Como variables a estudiar se tomaron Negro de Humo, Durez Resin y el TMTD.

A partir de la matriz experimental que se muestra en la tabla 3.6 se desarrollaron diez formulaciones.

Las formulaciones desarrolladas permiten evaluar la influencia del Negro de Humo, el Durez Resin y el TMTD sobre las propiedades físico-mecánicas de las mezclas elastoméricas.

No	Negro de Humo	Durez Resin	TMTD
1.1	1	0	0
1.2	0	1	0
1.3	0	0	1
1.4	0.5	0.5	0
1.5	0.5	0	0.5
1.6	0	0.5	0.5
1.7	0.333333	0.333333	0.333333
1.8	0.166667	0.166667	0.666667
1.9	0.666667	0.166667	0.166667
1.10	0.166667	0.666667	0.166667

Tabla 3.6 - Matriz de los experimentos.

El procesamiento de los resultados experimentales se realiza a través del paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS Versión 4.1, 1999.

Del análisis de los trabajos anteriores y los resultados del estudio bibliográfico se toma como propiedades a evaluar la dureza Shore A (Sh A), resistencia al desgarro (RD), viscosidad Mooney (ML100), módulo de elasticidad (E), Coeficiente de Poisson (μ), resistencia a la tracción (σ_r) y peso específico (γ).

Los experimentos se realizaron siguiendo el orden de la matriz anteriormente descrita. Los resultados de estas pruebas experimentales, Ver Anexos III-1, III-2 y III-3, dan claridad sobre la influencia del Negro de Humo, el Durez Resin y el TMTD sobre las propiedades analizadas. A manera de síntesis estos resultados se muestran en la Tabla 3.7. El grado de significación de la influencia de cada factor sobre cada propiedad será analizado posteriormente.

Formulación	Propiedades de las mezclas				
	Sh A	ML100	RD, N/mm	σ_r , Mpa	IRA%

1.1	74	76	9.28	16.72	172.21	1.143
1.2	51	24	3.60	2.37	587.81	1.174
1.3	67	18	0.77	1.46	261.53	1.229
1.4	85	35	0.72	14.36	65.30	1.068
1.5	81	30	1.07	10.80	87.32	1.074
1.6	74	21	1.32	1.93	69.21	1.146
1.7	82	27	1.31	5.28	72.75	1.025
1.8	77	22	0.98	3.35	68.07	1.038
1.9	87	43	0.95	14.45	54.99	1.109
1.10	74	24	0.99	4.24	92.69	1.032

Tabla 3.7- Resultado de los experimentos.

Por los métodos estadísticos adecuados al diseño seleccionado se realizó el ajuste de los datos experimentales a la ecuación polinomial del tipo lineal empírica:

$$Y = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3$$

Y es el valor de la propiedad considerada.

En la tabla 3.8 se recogen los valores estimados de los coeficientes obtenidos del procesamiento de los resultados.

Propiedad Estudiada	Coeficientes y factor de correlación							R ² ajust.
	b1	b2	b3	b12	b13	b23	b123	
Shore A	75.09	51.03	66.19	89.60	45.24	59.79	-83.29	0.963
ML100	76.27	24.36	18.18	-64.05	-68.41	-0.23	61.41	0.994
RD	-1.86	-6.37	13.96	958.7	-9.91	1.69	-3490.9	0.917
σr	17.65	1.59	1.63	18.93	-13.93	-2.08	12.01	0.949
IRA	180.89	496.39	258.14	-1138.14	-456.64	-1240.53	1496.7	0.974

Tabla 3.8. Valores de los coeficientes estimados y coeficientes de correlación de los modelos.

La tabla 3.8 pone de manifiesto que para las propiedades estudiadas las ecuaciones empíricas representan el efecto de los factores, por cuanto los valores de los coeficientes satisfacen la prueba de distribución t de Student y F de Fischer del modelo. Ver Anexos III-4, III-5, III-6 y III-7.

A partir de los resultados anteriores se puede conformar para cada propiedad el correspondiente modelo matemático empírico.

Análisis y discusión de los resultados de los experimentos.

El estudio de las formulaciones propuestas permite analizar el efecto de las variables independientes sobre las propiedades físico-mecánicas y de servicio del material elastomérico a utilizar en la fabricación de resortes.

- **Dureza Shore A.**

Los valores de dureza alcanzada por las diferentes formulaciones (Tabla 3.7) satisfacen lo establecido por las normas ISO 6447 y Resortes de Neopreno (RNE). Sobre la dureza la mayor incidencia la manifiesta el Negro de Humo (A). Un incremento del negro de humo de hasta el 60%, trae consigo un incremento de la dureza y posteriormente una disminución (Figura.3.8).

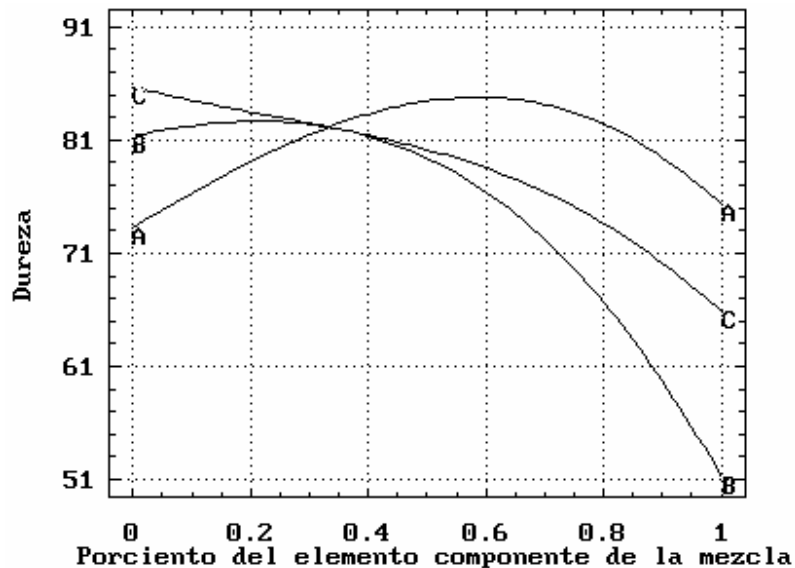


Fig. 3.8. Variación de la dureza en dependencia del NH, el DR y el TMTD.

El incremento del Durez Resin (B) hasta un 27.5% hace que la dureza permanezca casi invariable con una ligera tendencia a incrementar. En lo adelante un incremento del Durez Resin provoca una disminución acelerada de la dureza. Contrario a los dos anteriores elementos de la mezcla el incremento del TMTD (C) trae consigo una disminución de la dureza. Lo anterior resulta de extrema importancia porque si bien un incremento del TMTD resulta favorable porque disminuye los tiempos de vulcanización, bien puede ser perjudicial porque disminuye la dureza, la cual a su vez está estrechamente relacionada con el resto de las propiedades del material.

Con la variación del Durez Resin y el TMTD la dureza aumenta y disminuye pasando por un valor máximo (Figura.3.9 a y b), todo lo cual ocurre con la disminución del DR y el incremento del TMTD, alcanzando su máximo valor para la combinación 20% de DR y 80% TMTD. Igual comportamiento se tiene para la combinación DR - NH, siendo menos marcada la disminución de la dureza a partir del máximo, es decir cuando se tiene 60% de NH y 40% de DR, por demás se tiene que el valor de dureza máximo es superior al alcanzado en la interacción anterior.

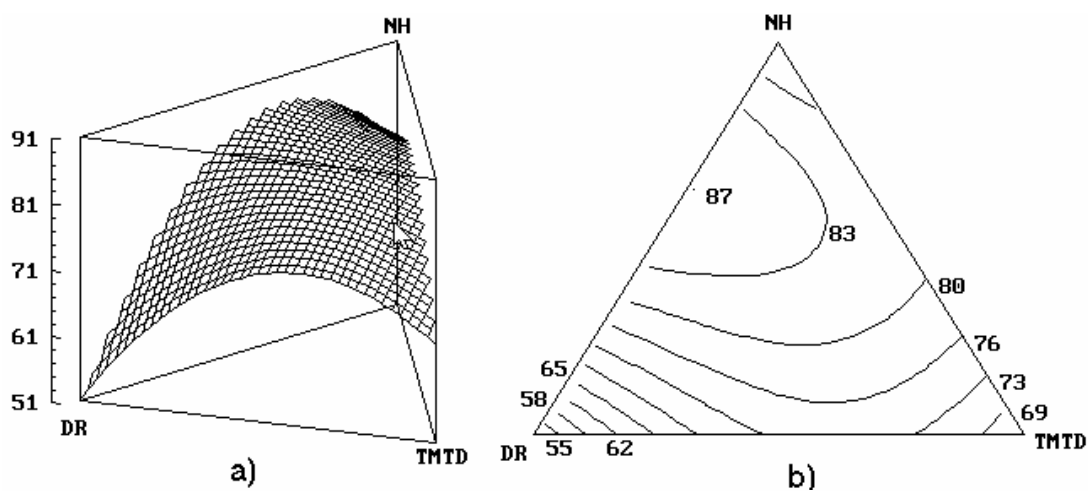


Fig. 3.9. Comportamiento de la dureza en dependencia de la variación del NH, el DR y el TMTD.

Si se analiza la interacción TMTD - NH se tiene que con la disminución del negro de humo y el incremento del TMTD la dureza todo el tiempo disminuye.

Finalmente se tiene que todas las interacciones tienen marcada influencia sobre la dureza.

- **Viscosidad.**

La viscosidad en los materiales elastoméricos juega un papel importante durante el proceso de mezclado. Como era de suponer el incremento del Negro de Humo al ser un relleno trae consigo un incremento de la viscosidad (Figura.3.10.), si posteriormente se quiere seguir incrementando los por cientos de relleno se debe al mismo tiempo incrementar los niveles de plastificantes debido a que el incremento de la viscosidad puede empeorar la calidad y elaboración del compuesto. Con el incremento del Durez Resin y el TMTD no ocurren cambios significativos en la viscosidad y ambos más bien tienden a disminuirla.

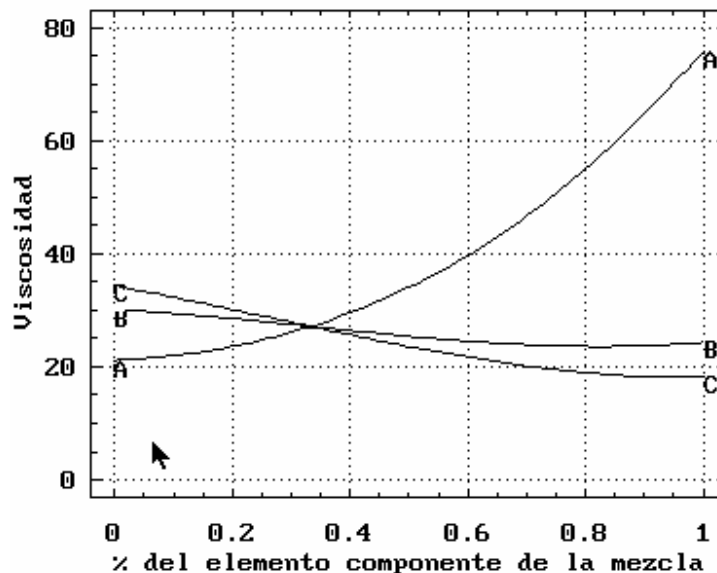


Fig. 3.10. Variación de la viscosidad en función de la variación del % de NH, DR y TMTD.

Si se analiza el efecto de las diferentes interacciones sobre la viscosidad (Figura.3.11. a y b) se tiene: Con el incremento del negro de humo y la disminución del TMTD ocurre un incremento de la viscosidad. Para el caso de la disminución del DR y el aumento del NH también ocurre un incremento de la

viscosidad. A este aspecto se le debe prestar especial atención, debido a que se debe tratar por todos los medios de lograr viscosidad baja.

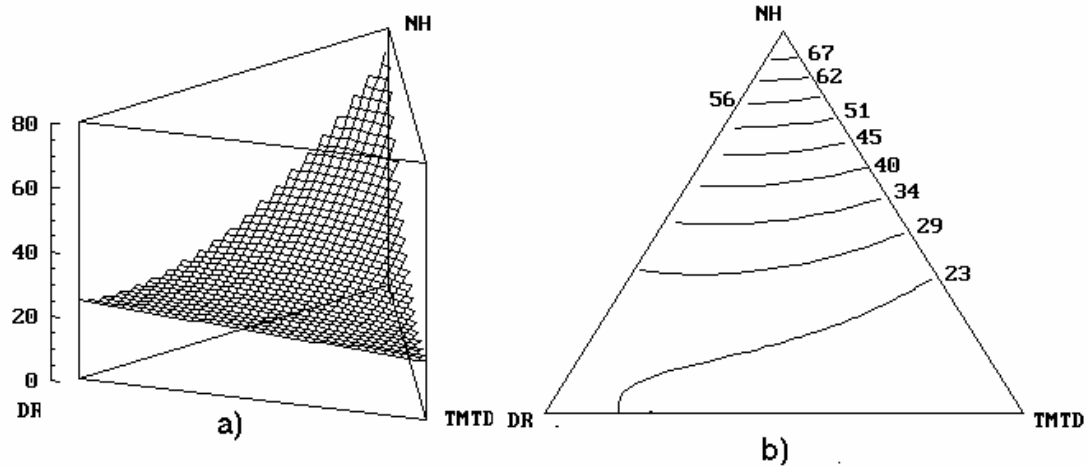


Fig. 3.11. Comportamiento de la Viscosidad en dependencia de la variación del NH, el DR y el TMTD.

Sobre esta propiedad, la variación de los niveles de DR y TMTD no influye de manera alguna, todo lo cual deja claro el hecho de que sobre la viscosidad la influencia primordial la tiene el relleno, siendo en este caso el Negro de Humo.

- **Resistencia al desgarre.**

La mayor influencia sobre la resistencia al desgarre la presenta el Negro de Humo, quien con un incremento de sus niveles hasta el 30% provoca una leve disminución de la misma y en lo posterior un incremento acelerado alcanzándose con ello los mayores valores (Figura.3.12.). La variación del Durez Resin en sus inicios no trae consigo cambios en la propiedad incrementando ligeramente el valor de la misma sin llegar a alcanzar valores similares a los logrados con el negro de humo.

Para el caso del tercer elemento objeto de estudio, el TMTD se tiene, que si bien el mismo como acelerante de la vulcanización juega un papel importante sobre la resistencia al desgarre, no tiene la más mínima influencia.

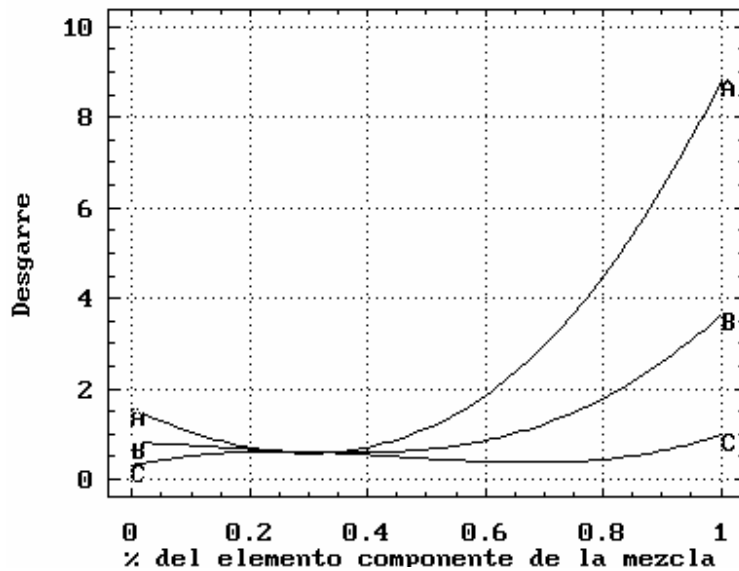


Fig. 3.12. Variación de la resistencia al desgarre en función de la variación del % de NH, DR y TMTD.

Analizando el efecto combinado del Negro de Humo y el Durez Resin (Fig.3.13. a y b), se tiene que el desgarre varía aumentando y disminuyendo, pasando por un mínimo, el cual tiene lugar para la combinación 60% de NH – 40% de DR.

Cuando se varía el TMTD y el Negro de Humo se tiene que la resistencia al desgarre aumenta con el incremento del NH y la disminución del TMTD.

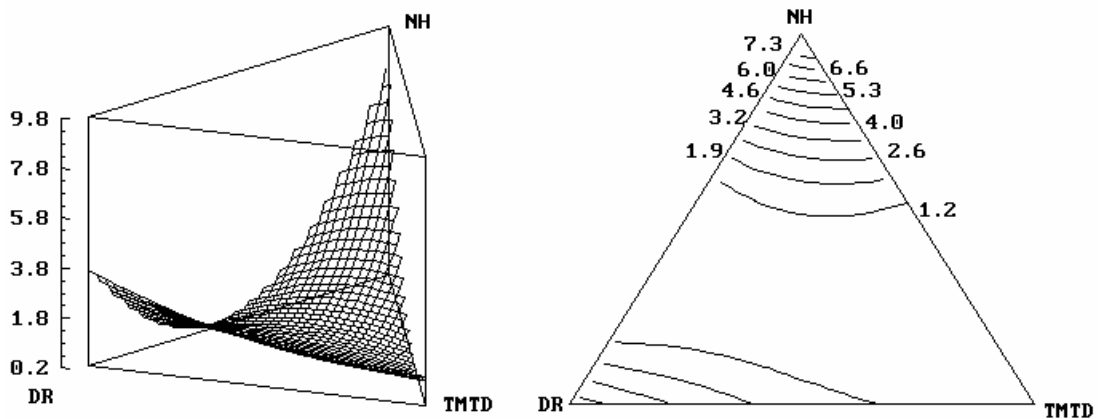


Fig. 3.13. Comportamiento de la resistencia al desgarre en dependencia de la variación del NH, el DR y el TMTD.

Si se toma como referencia el Durez Resin y el TMTD la resistencia al desgarre disminuye ligeramente en la medida que se incrementan los niveles

Al igual que en los casos anteriores se tiene que sobre esta propiedad la mayor influencia la posee el Negro de Humo. Nótese que cuando no existe Negro de humo los valores de la propiedad caen a valores muy bajos.

- **Resistencia a la tracción.**

La resistencia a la tracción se ve favorecida con el incremento del Negro de Humo, y la disminución del Durez Resin y el TMTD. Sobre esta propiedad la mayor influencia la presenta el Negro de Humo. (Figura. 3.14. a y b). Si se analiza la interacción Durez Resin - TMTD se tiene que para cualquiera de sus combinaciones no ocurren cambios significativos de la resistencia a la tracción.

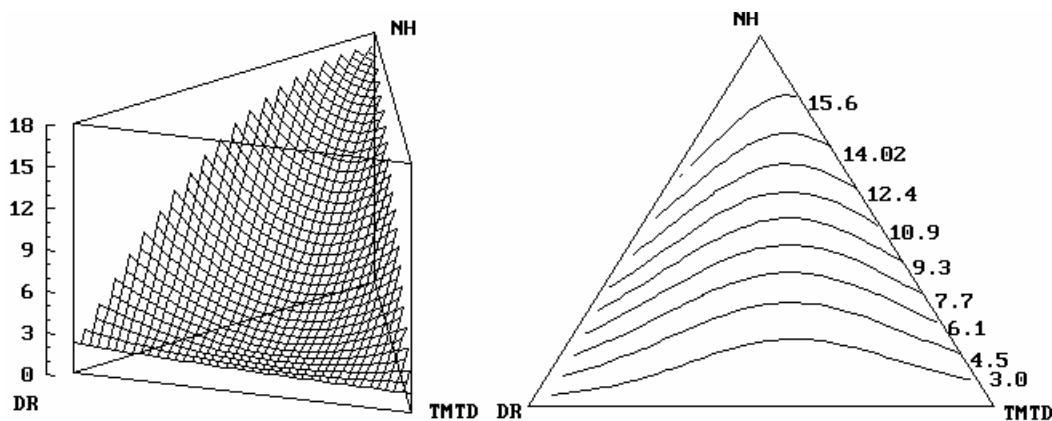


Fig. 3.14. Comportamiento de la resistencia a la tracción en dependencia de la variación del NH, el DR y el TMTD.

Al analizar el efecto de cada variable por separado (Figura. 3.15) se observa un incremento de la resistencia a la tracción en la medida que aumenta el porcentaje de Negro de Humo, alcanzándose los valores más altos de dicha propiedad. Al fijar el Negro de humo y el TMTD y variar el Durez Resin ocurre una marcada disminución de la resistencia a la tracción hasta valores de alrededor del 33%, en lo posterior continúa la disminución de la propiedad pero de manera menos marcada. Un efecto similar se observa para el caso en el que lo que varía es el TMTD, con la diferencia de que al inicio los valores de la propiedad analizada son

ligeramente superiores a los alcanzados con el Durez Resin, pero inferiores para el nivel máximo del TMTD.

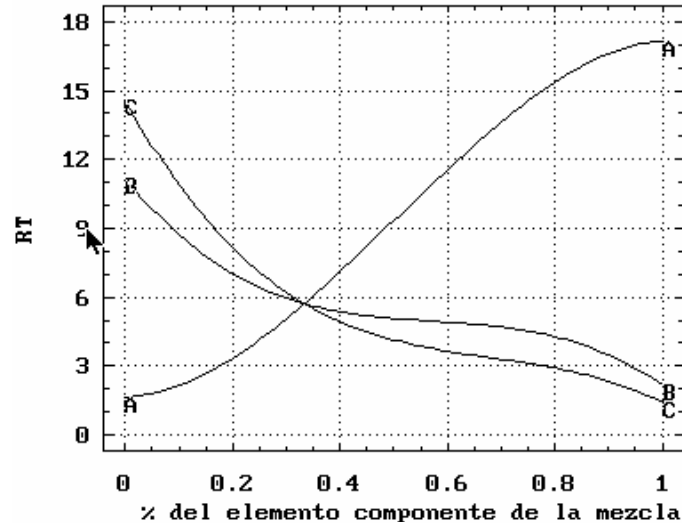


Fig. 3.15. Variación de la resistencia a la tracción en función de la variación del % de NH, DR y TMTD.

- **Índice de Resistencia a la Abrasión. (IRA)**

En las formulaciones desarrolladas el Durez Resin en su combinación con el Negro de Humo y el TMTD hacen que la resistencia al desgaste varíe aumentando y disminuyendo pasando por un mínimo (Figura. 3.16 a y b).

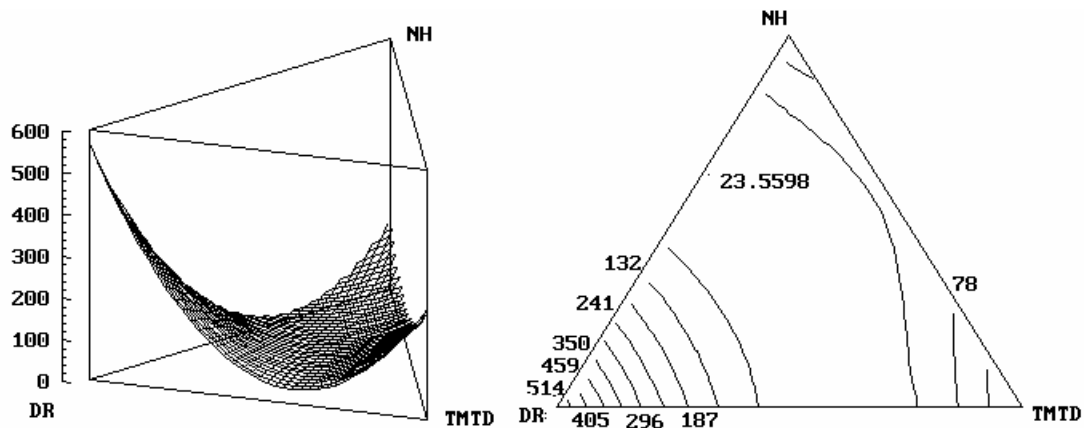


Fig. 3.16. Comportamiento del IRA en dependencia de la variación del NH, el DR y el TMTD.

Los mayores valores de resistencia a la abrasión se obtienen para el máximo nivel de Durez Resin y cero de Negro de Humo y TMTD. Es oportuno señalar que para

las interacciones anteriores los valores cuantitativos de variación de la resistencia al desgaste son similares. Por otro lado se tiene que la variación del desgaste para la interacción Negro de Humo TMTD es cualitativamente similar a las anteriores con la diferencia de que es para esta, para la que se obtienen los menores valores de resistencia al desgaste.

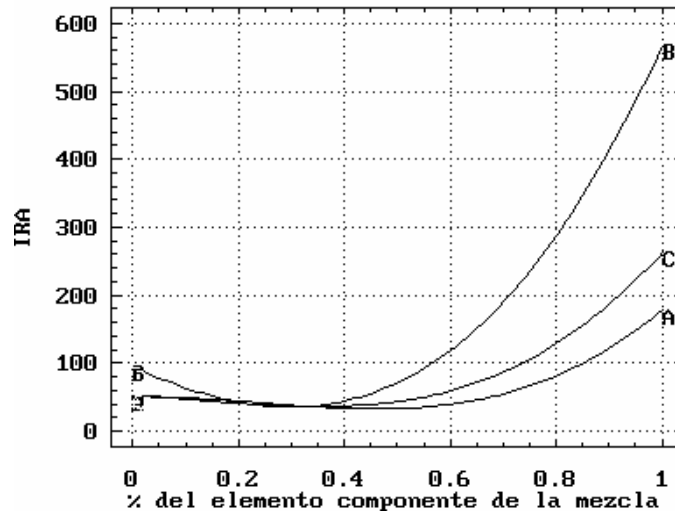


Fig. 3.17. Comportamiento del IRA en dependencia de la variación del NH, el DR y el TMTD.

Analizando el comportamiento de cada una de las variables independientemente, se tiene que en sus inicios estas tienden a disminuir de manera insignificante la resistencia al desgaste, lo que sucede hasta niveles de 35% para el caso del Durez Rezin, del 45% para el TMTD y del 55% para el Negro de Humo. A partir de los correspondientes porcentajes anteriores ocurre un incremento de la resistencia al desgaste. Nuevamente queda demostrado que la mayor resistencia al desgaste abrasivo se logra cuando la mezcla es sobre la base de 100% de Durez Rezin.

Determinación de la mejor zona de mezclado.

Partiendo de los criterios referidos anteriormente dados por diferentes autores, de los criterios tecnológicos y las condiciones de explotación a que está sometido el elemento objeto de estudio, se establecieron las siguientes restricciones tecnológicas:

- Dureza Shore A = 82 - 87.

- Viscosidad Mooney ML 100 = 30 - 50.

- Resistencia al desgarro, RD = 2 - 6 $\frac{N}{mm}$

- Resistencia a la tracción, $\sigma_r = 11- 15$ MPa.

- Índice de Resistencia a la Abrasión, IRA = 110 –150 %.

El estudio de superficie básica de respuesta realizado a partir de los modelos matemáticos empíricos obtenidos para cada propiedad, nos permitió obtener la mejor región de mezclado correspondiente a las variables estudiadas. La parte rayada de la figura 3.18 representa la zona de composición que satisface el sistema de restricciones asignados a cada propiedad.

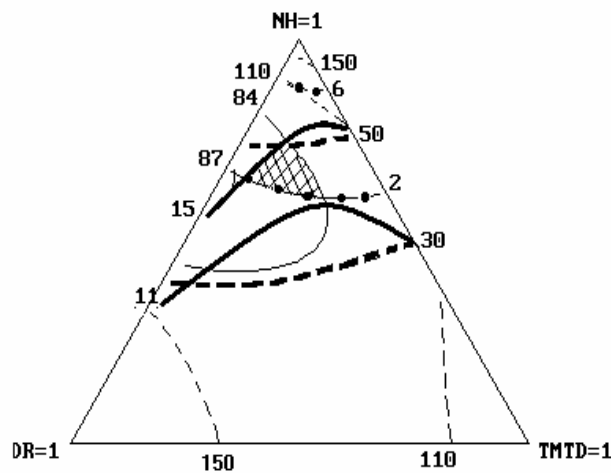


Fig. 3.18. Gráfico de isopropiedades.

La zona de composición o zona de mejor mezclado brinda la posibilidad de desarrollar formulaciones con diferentes combinaciones de negro de humo, Durez Rezin y TMTD, garantizando buenas propiedades físico-mecánicas. Además resulta de gran interés debido a que representa ventajas tanto tecnológicas como económicas.

Los estudios realizados mostraron que el compuesto de mejores propiedades físico-mecánicas para la construcción de resortes de goma es la formulación # 4, debido a la influencia de la combinación Negro de Humo-Durez Resing la cual

hace que el compuesto posea altos valores de dureza, resistencia al desgarre y de resistencia a la tracción, por eso esta formulación resultó seleccionada y registrada con el nombre de “GRUC-47”.

Conclusiones:

1. Del análisis de la bibliografía se concluye que el Negro de Humo, el Durez Rezin y el TMTD utilizados en las formulaciones de gomas tienen marcada influencia sobre las propiedades físico-mecánicas de los materiales elastoméricos, variando sus exigencias según el destino y aplicación del elemento para el cual el compuesto será utilizado.
2. Se obtuvo un material con las propiedades físico- mecánicas requeridas en cuanto a dureza, resistencia al desgarre y a la tracción cuyo nombre es GRUC-47 que puede ser utilizado como resorte de goma.

Recomendaciones:

- Extender la experiencia con el material elastomérico desarrollado a otras empresas del país en cuyos talleres se fabriquen troqueles.

Bibliografía:

1. Álvarez, G. E.: Evaluación tribológica de nuevo material compuesto base caucho. Informe de Investigación Terminada. CDICT. UCLV 1992.
2. Álvarez, G. E.: Material Elastomérico para la Fabricación y recuperación de rodillos de las maquinas hiladoras y manuales de la industria textil Sakenaf. Ponencia X Forum Provincial de Ciencia y Técnica.
3. Álvarez, G. E.: Valoración tribológica de compuestos de gomas reforzados con sílice para la fabricación y recuperación de neumáticos. Informe de Investigación Terminada. CDICT. UCLV 1993.
4. Ball, J. M.: Manual of Reclaimed Rubber, New York, Rubber recñaoomers association, Inc. 1956. P. 9-15.
5. Barreto Morales, Maykel.: Desarrollo y evaluación de materiales elastoméricos para la elaboración de la cubierta de goma de las ruedas del carro de la cisterna de primera sedimentación del Combinado Textil “Desembarco del Granma”. U.C.L.V., 2001.
6. González. S, E.: Planificación de experimentos de la industria química. UCLV.1992.
7. Kafarov. V, V.: Optimización de experimentos en la industria y tecnología química. Moscú. Escuela superior 1978.
8. Oehler, G.: Herramientas de troquelar, estampar y embutir, Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1979.
9. Surtido de aceros y Materiales Especiales de la Firma THYSSEN para la fabricación de Herramientales tecnológicos Moldes, Troqueles, Estampas, Dispositivos y Utiles de Corte. División Comercial Herramientales Tecnológicos. Ciudad de La Habana. Cuba. 1997.
10. <http://banner.linkexchange.com/24/X180861/clickbanner>. Caucho y cauchos sintéticos.
11. <http://banner.linkexchange.com/21/X180861/clickbanner>. Caucho natural bruto.

12. <http://banner.linkexchange.com/23/X180861/clickbanner>. Copolímeros y Terpolímeros.
13. <http://members.tripod.com/~vecom>. Polímeros.
14. <http://12.espacenet.com/espacenet/bnsviewer?CY=es&LG=es&DB=EPD&PN=ES8600109&ID=ES+++8600109A++I+>. Procedimiento para la fabricación de una base. amortiguadora del golpeo en las operaciones de troquelado y/o corte.
15. <http://12.espacenet.com/espacenet/bnsviewer?CY=es&LG=es&DB=EPD&PN=FR2693929&ID=FR+++2693929A3+I+>. Punch and die tool for piercing sheet metal etc. - comprises cylindrical die cooperating with matrix defined by cutting blades supported by polymer packing pieces in folded metal casing.
16. Portamatrices y Accesorios. Moldes prefabricados VAP, S.A. E 08907 L'HOSPITALET (Barcelona). 1998.

ANEXOS

Anexo III-1.

Tabla 1- Formulación 1.1

Ingredientes de la formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Peso específico (g/cm³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de Humo	80.0	400.0	222.22	1.8
Oxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25	29.76	0.84
Durez resin	-	-	-	-
DOP	14.0	70	62.5	1.12
TMTD	-	-	-	-
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Tabla 2- Formulación 1.2

Ingredientes de la formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Peso específico (g/cm³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de humo	-	-	-	-
Oxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25	29.76	0.84
Durez resin	10	50	39.37	1.27
DOP	14.0	70	62.5	1.12
TMTD	-	-	-	-
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Tabla 1- Formulación 1.3

Ingredientes de la Formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Peso específico (g/cm³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de humo	-	-	-	-
Óxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25	29.76	0.84
Durez resin	-	-	-	-
DOP	14.0	70	62.5	1.12
TMTD	1.0	5	3.57	1.4
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Tabla 2- Formulación 1.4

Ingredientes de la Formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Peso específico (g/cm³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de humo	40.0	200.0	111.11	1.8
Oxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25.00	29.76	0.84
Durez resin	5.0	25.00	19.68	1.27
DOP	14.0	70	62.5	1.12
TMTD	-	-	-	-
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Tabla 1- Formulación 1.5

Ingredientes de la Formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Peso específico (g/cm ³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de humo	40.0	200.0	111.11	8.8
Óxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25.0	29.76	0.84
Durez resin	-	-	-	-
DOP	14.0	70.0	62.5	1.12
TMTD	0.5	2.5	1.786	1.4
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Tabla 2- Formulación 1.6

Ingredientes de la Formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm ³)	Peso específico (g/cm ³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de humo	-	-	-	-
Óxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25.0	29.76	0.84
Durez resin	5.0	25.0	19.685	1.27
DOP	14.0	70.0	62.5	1.12
TMTD	0.5	2.5	1.786	1.4
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Tabla 1- Formulación 1.7

Ingredientes de la Formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Peso específico (g/cm³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de humo	26.4	132.0	73.33	1.8
Óxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25	29.76	0.84
Durez resin	3.3	16.5	12.99	1.27
DOP	14.0	70	62.5	1.12
TMTD	0.33	1.65	1.179	1.4
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Tabla 2- Formulación 1.8

Ingredientes de la Formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Peso específico (g/cm³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de humo	12.8	64.0	35.55	1.8
Oxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25	29.76	0.84
Durez resin	1.6	8	6.299	1.27
DOP	14.0	70	62.5	1.12
TMTD	0.66	2.178	1.556	1.4
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Tabla 1- Formulación 1.9

Ingredientes de la Formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Peso específico (g/cm³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de humo	52.8	264	146.66	1.8
Óxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25	29.76	0.84
Durez resin	1.6	8	6.299	1.27
DOP	14.0	70	62.5	1.12
TMTD	0.16	0.8	0.57	1.4
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Tabla 2- Formulación 1.10

Ingredientes de la Formulación	Partes (p.p.c.c)	Peso (g)	Volumen (cm³)	Peso específico (g/cm³)
Caucho CKH40	100.0	500.0	505.05	0.99
Negro de humo	12.8	64.0	35.55	1.8
Óxido de zinc	3.75	18.75	3.34	5.62
Ácido esteárico	5.0	25	29.76	0.84
Durez resin	6.6	33.0	25.98	1.27
DOP	14.0	70	62.5	1.12
TMTD	0.66	2.178	1.556	1.4
Azufre	3.0	15.0	13.89	1.08

Anexo III-2.

Tabla 1- Propiedades de las mezclas, dureza, índice de resistencia a la abrasión y resistencia a la tracción.

Dureza Shore A			IRA . (%)		RT. (MPa)	
1.1	75	74.33	166.98	169.81	16.98	16.01
	73		169.98		16.50	
	75		179.68		14.54	
1.2	49	51	506.22	579.77	2.20	2.44
	51		674.96		2.37	
	53		582.26		2.74	
1.3	66	66.67	245.36	260.81	1.68	1.65
	68		260.13		1.70	
	66		279.1		1.57	
1.4	85	84.67	62.51	65.24	14.36	13.44
	84		62.95		16.02	
	85		67.44		9.93	
1.5	81	81.66	106.25	84.69	4.33	6.29
	82		86.55		5.46	
	82		69.16		8.68	
1.6	75	74	60.38	68.42	7.68	3.73
	74		68.49		1.81	
	73		78.8		1.75	
1.7	82	81.66	83.98	71.93	7.53	5.57
	81		68.47		5.24	
	82		65.82		4.17	
1.8	75	76.66	61.87	67.57	10.70	5.78
	81		66.31		3.22	
	74		76.03		3.41	
1.9	88	87.33	55.46	54.67	12.15	13.98
	87		55.74		14.37	
	87		53.76		15.43	
1.10	74	74.33	73.84	89.71	4.207	4.21
	74		89.35		4.65	
	75		114.87		3.78	

Tabla1- Propiedades de las mezclas, desgarre y viscosidad.

Desgarre (N/mm)			Viscosidad (ML100)	
1.1	8.75	7.98	77	76.33
	10.05		75	
	5.15		77	
1.2	4.04	3.60	24	24.33
	3.20		25	
	3.57		24	
1.3	0.81	0.73	18	17.67
	0.72		17	
	0.66		18	
1.4	0.77	1.25	34	34.67
	1.62		35	
	0.99		35	
1.5	1.07	0.98	31	30.00
	0.8		29	
	1.07		30	
1.6	1.23	1.20	21	20.66
	1.30		21	
	1.08		20	
1.7	1.13	1.24	25	25.66
	1.49		26	
	1.11		29	
1.8	0.79	0.76	23	22.33
	0.77		22	
	0.72		22	
1.9	4.23	2.08	43	43.33
	1.059		42	
	0.98		45	
1.10	0.83	0.99	24	24.33
	1.07		24	
	1.07		25	

Anexo III-3.

Tabla - 1. Formulación 1.1

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.228
Negro de humo	80.0	400.0	486	0.1944	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25	1450	0.03625	
Durez resin	-	-	-	-	
DOP	14.0	70	430	0.0301	
TMTD	-	-	-	-	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		1028.75		0.75624	

Tabla - 2. Formulación 1.2

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH 40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.038
Negro de humo	-	-	-	-	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25	1450	0.03625	
Durez resin	10	50	4110	0.2055	
DOP	14.0	70	430	0.0301	
TMTD	-	-	-	-	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		678.75		0.7683	

Tabla - 3. Formulación 1.3

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH 40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.025
Negro de humo	-	-	-	-	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25	1450	0.03625	
Durez resin	-	-	-	-	
DOP	14.0	70	430	0.0301	
TMTD	1.0	5	3310	0.01655	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		633.75		0.5645	

Tabla - 4. Formulación 1.4

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH 40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.125
Negro de humo	40.0	200.0	486	0.0972	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25.00	1450	0.03625	
Durez resin	5.0	25.00	4110	0.10275	
DOP	14.0	70	430	0.0301	
TMTD	-	-	-	-	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		853.75		0.76179	

Tabla - 5. Formulación 1.5

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH 40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.142
Negro de humo	40.0	200.0	486	0.0972	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25.0	1450	0.03625	
Durez resin	-	-	-	-	
DOP	14.0	70.0	430	0.0301	
TMTD	0.5	2.5	3310	0.008275	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		831.25		0.6673	

Tabla - 6 Formulación 1.6

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH 40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.031
Negro de humo	-	-	-	-	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25.0	1450	0.03625	
Durez resin	5.0	25.0	4110	010275	
DOP	14.0	70.0	430	0.0301	
TMTD	0.5	2.5	3310	0.008275	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		656.25		0.643747	

Tabla - 7 Formulación 1.7

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH 40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.109
Negro de humo	26.4	132.0	486	0.064152	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25	1450	0.03625	
Durez resin	3.3	16.5	4110	0.06781	
DOP	14.0	70	430	0.0301	
TMTD	0.33	1.65	3310	0.005461	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		778.9		0.9954	

Tabla - 8 Formulación 1.8

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH 40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.068
Negro de humo	12.8	64.0	486	0.031104	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25	1450	0.03625	
Durez resin	1.6	8	4110	0.03288	
DOP	14.0	70	430	0.0301	
TMTD	0.66	2.178	3310	0.00721	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		702.928		0.6457	

Tabla -9. Formulación 1.9

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH 40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.173
Negro de humo	52.8	264	486	0.128304	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25	1450	0.03625	
Durez resin	1.6	8	4110	0.03288	
DOP	14.0	70	430	0.0301	
TMTD	0.16	0.8	3310	0.002648	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		901.55		0.7257	

Tabla - 10. Formulación 1.10

Ingredientes de la formulación.	Partes (p.p.c.c)	No. de ingredientes en la mezcla (g)	Costo de la Ton. del producto. (\$)	Costo por ingrediente. (\$)	Peso específico de la mezcla gr/cm³
Caucho CKH 40	100.0	500.0	900.68	0.45034	1.074
Negro de humo	12.8	64.0	486	0.031103	
Óxido de zinc	3.75	18.75	2026	0.03798	
Ácido esteárico	5.0	25	1450	0.03625	
Durez resin	6.6	33.0	4110	0.13563	
DOP	14.0	70	430	0.0301	
TMTD	0.66	2.178	3310	0.00721	
Azufre	3.0	15.0	478	0.00717	
Total		727.928		0.6168	

Anexo III-4.

Analysis Summary

File name: Tesis Daniel.sfx
Comment: Tesis Daniel

Estimated Full Model Effects for HsA

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Mean	169802,0	1	169802,0		
Blocks	1,26667	2	0,633333	0,01	0,9943
Linear	1136,44	2	568,222	7,63	0,0026
Quadratic	1762,31	3	587,438	130,09	0,0000
Special Cubic	20,2236	1	20,2236	5,37	0,0307
Error	79,1183	21	3,76754		
Total	172801,0	30			

Full Model Results

Model	SE	R-Squared	Adj. R-Squared
Linear	8,62938	37,93	28,00
Quadratic	2,12498	96,69	95,63
Special Cubic	1,94101	97,36	96,36

The StatAdvisor

This table shows the results of fitting different models to the data in HsA. The mean model consists of only a constant. The blocks model adds terms to differentiate between the 3 blocks. The linear model consists of first-order terms for each of the components. The quadratic model adds crossproducts between pairs of components. The special cubic model adds terms involving products of three components. Each model is shown with a P-value which tests whether that model is statistically significant when compared to the mean square for the term below. Normally, you would select the most complicated model with a P-value less than 0.05, assuming that you are operating at the 95% confidence level. According to this criterion, it appears that the special cubic model is adequate for the data. The currently selected model is the special cubic model.

In the lower portion of the output, the standard error of the estimate and the R-squared statistics have been tabulated for each of the models. Some analysts prefer to select the model which maximizes the adjusted R-squared.

ANOVA for HsA - Tesis Daniel

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Special Cubic Model	2920,25	8	365,031	96,89	0,0000
Total error	79,117	21	3,76748		
Total (corr.)	2999,37	29			

R-squared = 97,3622 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 96,3573 percent

The StatAdvisor

This table shows an analysis of variance for the currently selected special cubic model. Since the P-value for this model is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between HsA and the components at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 97,3622% of the variability in HsA. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 96,3573%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be . The mean absolute error (MAE) of 1,19789 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Special Cubic Model Fitting Results for HsA

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
A:Negro de Humo	75,0994	1,08331		
B:DR	51,0388	1,08331		
C:TMTD	66,1903	1,08331		
AB	89,6096	5,45315	16,4326	0,0000
AC	45,2459	5,45315	8,29721	0,0000
BC	59,7914	5,45315	10,9646	0,0000
ABC	-83,2937	35,9509	-2,31687	0,0307

R-squared = 97,3622 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 96,3573 percent
Standard Error of Est. = 1,941
Mean absolute error = 1,19789
Durbin-Watson statistic = 2,27844

The StatAdvisor

This pane displays the equation of the fitted special cubic model.
The equation of the fitted model is

$$\text{HsA} = 75,0994 \cdot \text{Negro de Humo} + 51,0388 \cdot \text{DR} + 66,1903 \cdot \text{TMTD} + 89,6096 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{DR} + 45,2459 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{TMTD} + 59,7914 \cdot \text{DR} \cdot \text{TMTD} - 83,2937 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{DR} \cdot \text{TMTD}$$

where the values of the components are specified in pseudo-components.
To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

Goal: maximize HsA

Optimum value = 87,0865

Factor	Low	High	Optimum
Negro de Humo	0,0	1,0	0,63424
DR	0,0	1,0	0,36576
TMTD	0,0	1,0	4,66358E-11

The StatAdvisor

This table shows the combination of factor levels which maximizes HsA over the indicated region. Use the Analysis Options dialog box to indicate the region over which the optimization is to be performed. You may set the value of one or more factors to a constant by setting the low and high limits to that value.

Anexo III-5.

Analysis Summary

File name: Tesis Daniel.sfx

Comment: Tesis Daniel

Estimated Full Model Effects for RT

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Mean	1576,16	1	1576,16		
Blocks	0,00928667	2	0,00464333	0,00	0,9999
Linear	851,029	2	425,515	87,27	0,0000
Quadratic	86,0037	3	28,6679	17,57	0,0000
Special Cubic	0,421063	1	0,421063	0,25	0,6228
Error	35,4769	21	1,68938		
Total	2549,1	30			

Full Model Results

Model	SE	R-Squared	Adj. R-Squared
Linear	2,20818	87,47	85,47
Quadratic	1,27739	96,31	95,14
Special Cubic	1,29976	96,35	94,96

The StatAdvisor

This table shows the results of fitting different models to the data in RT. The mean model consists of only a constant. The blocks model adds terms to differentiate between the 3 blocks. The linear model consists of first-order terms for each of the components. The quadratic model adds crossproducts between pairs of components. The special cubic model adds terms involving products of three components. Each model is shown with a P-value which tests whether that model is statistically significant when compared to the mean square for the term below. Normally, you would select the most complicated model with a P-value less than 0.05, assuming that you are operating at the 95% confidence level. According to this criterion, it appears that the quadratic model is adequate for the data. The currently selected model is the special cubic model.

In the lower portion of the output, the standard error of the estimate and the R-squared statistics have been tabulated for each of the models. Some analysts prefer to select the model which maximizes the adjusted R-squared.

ANOVA for RT - Tesis Daniel

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Special Cubic Model	937,463	8	117,183	69,36	0,0000
Total error	35,4768	21	1,68937		
Total (corr.)	972,94	29			

R-squared = 96,3536 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 94,9646 percent

The StatAdvisor

This table shows an analysis of variance for the currently selected special cubic model. Since the P-value for this model is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between RT and the components at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 96,3536% of the variability in RT. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 94,9646%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be . The mean absolute error (MAE) of 0,779263 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Special Cubic Model Fitting Results for RT

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
A:Negro de Humo	17,6515	0,725421		
B:DR	1,59161	0,725421		
C:TMTD	1,63212	0,725421		
AB	18,9396	3,65162	5,18663	0,0000
AC	-13,9301	3,65162	-3,81476	0,0010
BC	-2,08589	3,65162	-0,571223	0,5739
ABC	12,0188	24,074	0,499244	0,6228

R-squared = 96,3536 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 94,9646 percent
Standard Error of Est. = 1,29976
Mean absolute error = 0,779263
Durbin-Watson statistic = 2,20831

The StatAdvisor

This pane displays the equation of the fitted special cubic model.
The equation of the fitted model is

$$RT = 17,6515 \cdot \text{Negro de Humo} + 1,59161 \cdot \text{DR} + 1,63212 \cdot \text{TMTD} + 18,9396 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{DR} - 13,9301 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{TMTD} - 2,08589 \cdot \text{DR} \cdot \text{TMTD} + 12,0188 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{DR} \cdot \text{TMTD}$$

where the values of the components are specified in pseudo-components.
To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

Goal: maximize RT

Optimum value = 17,761

Factor	Low	High	Optimum
Negro de Humo	0,0	1,0	0,924015
DR	0,0	1,0	0,075985
TMTD	0,0	1,0	7,44521E-9

The StatAdvisor

This table shows the combination of factor levels which maximizes RT over the indicated region. Use the Analysis Options dialog box to indicate the region over which the optimization is to be performed. You may set the value of one or more factors to a constant by setting the low and high limits to that value.

Anexo III-6.

Analysis Summary

 File name: Tesis Daniel.sfx
 Comment: Tesis Daniel

Estimated Full Model Effects for Viscosidad

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Mean	30848,1	1	30848,1		
Blocks	3,26667	2	1,63333	0,01	0,9946
Linear	6916,33	2	3458,17	70,62	0,0000
Quadratic	1181,21	3	393,737	201,18	0,0000
Special Cubic	10,9934	1	10,9934	7,20	0,0139
Error	32,0635	21	1,52683		
Total	38992,0	30			

Full Model Results

Model	SE	R-Squared	Adj. R-Squared
Linear	6,9979	84,97	82,56
Quadratic	1,39898	99,47	99,30
Special Cubic	1,23565	99,61	99,46

The StatAdvisor

 This table shows the results of fitting different models to the data in Viscosidad. The mean model consists of only a constant. The blocks model adds terms to differentiate between the 3 blocks. The linear model consists of first-order terms for each of the components. The quadratic model adds crossproducts between pairs of components. The special cubic model adds terms involving products of three components. Each model is shown with a P-value which tests whether that model is statistically significant when compared to the mean square for the term below. Normally, you would select the most complicated model with a P-value less than 0.05, assuming that you are operating at the 95% confidence level. According to this criterion, it appears that the special cubic model is adequate for the data. The currently selected model is the special cubic model.

In the lower portion of the output, the standard error of the estimate and the R-squared statistics have been tabulated for each of the models. Some analysts prefer to select the model which maximizes the adjusted R-squared.

ANOVA for Viscocidad - Tesis Daniel

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Special Cubic Model	8111,8	8	1013,98	664,12	0,0000
Total error	32,0629	21	1,5268		
Total (corr.)	8143,87	29			

R-squared = 99,6063 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 99,4563 percent

The StatAdvisor

This table shows an analysis of variance for the currently selected special cubic model. Since the P-value for this model is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between Viscocidad and the components at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 99,6063% of the variability in Viscocidad. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 99,4563%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be . The mean absolute error (MAE) of 0,808648 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Special Cubic Model Fitting Results for Viscosidad

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
A:Negro de Humo	76,2745	0,689634		
B:DR	24,3654	0,689634		
C:TMTD	18,1836	0,689634		
AB	-64,0535	3,47147	-18,4514	0,0000
AC	-68,4171	3,47147	-19,7084	0,0000
BC	-0,235302	3,47147	-0,0677817	0,9466
ABC	61,4119	22,8863	2,68334	0,0139

R-squared = 99,6063 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 99,4563 percent
Standard Error of Est. = 1,23564
Mean absolute error = 0,808648
Durbin-Watson statistic = 2,71372

The StatAdvisor

This pane displays the equation of the fitted special cubic model.
The equation of the fitted model is

$$\text{Viscosidad} = 76,2745 \cdot \text{Negro de Humo} + 24,3654 \cdot \text{DR} + 18,1836 \cdot \text{TMTD} - 64,0535 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{DR} - 68,4171 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{TMTD} - 0,235302 \cdot \text{DR} \cdot \text{TMTD} + 61,4119 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{DR} \cdot \text{TMTD}$$

where the values of the components are specified in pseudo-components.
To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

Goal: maximize Viscosidad

Optimum value = 76,2745

Factor	Low	High	Optimum
Negro de Humo	0,0	1,0	1,0
DR	0,0	1,0	0,0
TMTD	0,0	1,0	0,0

The StatAdvisor

This table shows the combination of factor levels which maximizes Viscosidad over the indicated region. Use the Analysis Options dialog box to indicate the region over which the optimization is to be performed. You may set the value of one or more factors to a constant by setting the low and high limits to that value.

Anexo III-7.

Analysis Summary

File name: Tesis Daniel.sfx
Comment: Tesis Daniel

Estimated Full Model Effects for IRA

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Mean	696789,0	1	696789,0		
Blocks	0,0261505	2	0,0130752	0,00	1,0000
Linear	124378,0	2	62188,8	3,90	0,0336
Quadratic	382683,0	3	127561,0	172,85	0,0000
Special Cubic	6529,84	1	6529,84	14,13	0,0012
Error	9705,43	21	462,163		
Total	1,22009E6	30			

Full Model Results

Model	SE	R-Squared	Adj. R-Squared
Linear	126,32	23,77	11,57
Quadratic	27,1655	96,90	95,91
Special Cubic	21,498	98,15	97,44

The StatAdvisor

This table shows the results of fitting different models to the data in IRA. The mean model consists of only a constant. The blocks model adds terms to differentiate between the 3 blocks. The linear model consists of first-order terms for each of the components. The quadratic model adds crossproducts between pairs of components. The special cubic model adds terms involving products of three components. Each model is shown with a P-value which tests whether that model is statistically significant when compared to the mean square for the term below. Normally, you would select the most complicated model with a P-value less than 0.05, assuming that you are operating at the 95% confidence level. According to this criterion, it appears that the special cubic model is adequate for the data. The currently selected model is the special cubic model.

In the lower portion of the output, the standard error of the estimate and the R-squared statistics have been tabulated for each of the models. Some analysts prefer to select the model which maximizes the adjusted R-squared.

ANOVA for IRA - Tesis Daniel

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Special Cubic Model	513591,0	8	64198,9	138,91	0,0000
Total error	9705,53	21	462,168		
Total (corr.)	523296,0	29			

R-squared = 98,1453 percent

R-squared (adjusted for d.f.) = 97,4388 percent

The StatAdvisor

This table shows an analysis of variance for the currently selected special cubic model. Since the P-value for this model is less than 0.01, there is a statistically significant relationship between IRA and the components at the 99% confidence level.

The R-Squared statistic indicates that the model as fitted explains 98,1453% of the variability in IRA. The adjusted R-squared statistic, which is more suitable for comparing models with different numbers of independent variables, is 97,4388%. The standard error of the estimate shows the standard deviation of the residuals to be . The mean absolute error (MAE) of 12,9087 is the average value of the residuals. The Durbin-Watson (DW) statistic tests the residuals to determine if there is any significant correlation based on the order in which they occur in your data file. Since the DW value is greater than 1.4, there is probably not any serious autocorrelation in the residuals.

Special Cubic Model Fitting Results for IRA

Parameter	Estimate	Standard Error	T Statistic	P-Value
A:Negro de Humo	180,899	11,9985		
B:DR	496,393	11,9985		
C:TMTD	258,145	11,9985		
AB	-1138,14	60,398	-18,844	0,0000
AC	-456,644	60,398	-7,56059	0,0000
BC	-1240,53	60,398	-20,5392	0,0000
ABC	1496,7	398,185	3,75882	0,0012

R-squared = 98,1453 percent
R-squared (adjusted for d.f.) = 97,4388 percent
Standard Error of Est. = 21,4981
Mean absolute error = 12,9087
Durbin-Watson statistic = 2,2864

The StatAdvisor

This pane displays the equation of the fitted special cubic model.
The equation of the fitted model is

$$\text{IRA} = 180,899 \cdot \text{Negro de Humo} + 496,393 \cdot \text{DR} + 258,145 \cdot \text{TMTD} - 1138,14 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{DR} - 456,644 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{TMTD} - 1240,53 \cdot \text{DR} \cdot \text{TMTD} + 1496,7 \cdot \text{Negro de Humo} \cdot \text{DR} \cdot \text{TMTD}$$

where the values of the components are specified in pseudo-components.
To have STATGRAPHICS evaluate this function, select Predictions from the list of Tabular Options. To plot the function, select Response Plots from the list of Graphical Options.

Optimize Response

Goal: maximize IRA

Optimum value = 496,393

Factor	Low	High	Optimum
Negro de Humo	0,0	1,0	0,0
DR	0,0	1,0	1,0
TMTD	0,0	1,0	0,0

The StatAdvisor

This table shows the combination of factor levels which maximizes IRA over the indicated region. Use the Analysis Options dialog box to indicate the region over which the optimization is to be performed. You may set the value of one or more factors to a constant by setting the low and high limits to that value.