

# UNIVERSIDAD DE CUENCA



## FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

### **“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MEZCLADO EN COMPUESTOS PRIMARIOS EN BASE A LA ESTANDARIZACIÓN EN EL ANALIZADOR DE PROCESAMIENTO DE CAUCHO (RPA 2000) EN CONTINENTAL TIRE ANDINA S.A.”**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO  
QUÍMICO.

#### **AUTORES:**

LUIS ISRAEL MUÑOZ JUCA  
MARÍA JACQUELINE CEDILLO PUMA

**DIRECTORA:** DRA. MARÍA EULALIA VANEGAS PEÑA

**CUENCA-ECUADOR**

**2015**



## RESUMEN

Debido al constante avance tecnológico en la Industria de neumáticos, la empresa “Continental Tire Andina S.A” tiene como finalidad aplicar toda la tecnología que este a su alcance para un mejor desarrollo en los procesos de producción dentro de su establecimiento.

Por tal motivo la empresa cuenta con áreas de control de calidad como lo es el Laboratorio Físico -Químico, cuya finalidad es la aprobación de los compuestos de caucho primarios y finales. El uso de ensayos auxiliares de procesamiento permite la determinación de propiedades relevantes, el Analizador del Procesamiento del Caucho (RPA) evalúa las características viscoelásticas de los compuestos del caucho para así dar paso a posteriores procesos de producción del neumático.

Con este estudio se demostró la capacidad de optimizar las características de los compuestos primarios, mediante el seguimiento de cuatro compuestos de mayor producción en planta, tomadas como referencia, levantamiento de información, análisis, comparación de resultados, estandarización de curvas y rangos de control, con el uso del equipo RPA 2000, dando lugar a un mejor control del mezclado y, por ende, la capacidad de poder tomar acciones para optimizar el proceso en cualquier Mixer.

**Palabras Claves:** Compuestos, caucho, mixer, neumático, mezclas, identificación, estandarización, equipos, formulación, optimización, RPA 2000, análisis, ajuste, control, primarios.



## ABSTRACT

Due to the constant technological progress in the tire industry, the company "Continental Tire Andina S.A" has as its finality apply all the technology at its reach for a much better development in the processes within your establishment.

For this reason, this company counts with a quality control area such as the Physical-Chemical laboratory, whose finality is the approval of the master batches and final rubber compounds. The use of auxiliary processing tests allows the determination of relevant properties. The Rubber Processing Analyzer, also known as the RPA evaluates the viscoelastic characteristics of the rubber compounds to make way for subsequent tire production processes.

With this study it was demonstrated the ability to optimize the characteristics of master batches, by following four reference compounds of higher production in plant, information gathering, analysis, benchmarking, standardization of control curves and ranges, with the RPA 2000 device, resulting in better control of mixing and therefore the ability to take actions to optimize the process at any Mixer.

**Keywords:** Compounds, rubber, mixer, tire, mixes, identification, standardization, equipment, formulation, optimization, RPA 2000, analysis, adjustment, control, master batches.



## INDICE

RESUMEN.....	2
ABSTRACT .....	3
Lista de Figuras .....	5
Lista de Cuadros.....	6
Lista de Gráficas.....	6
Lista de Anexos .....	7
CLAUSULAS DE RESPONSABILIDAD .....	9
DEDICATORIA.....	13
AGRADECIMIENTOS .....	15
INTRODUCCION .....	16
CAPITULO 1.....	19
1.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	19
1.1.    Antecedentes.....	19
1.2.    Objetivos de la Tesis .....	20
1.3.    Justificación.....	21
CAPÍTULO 2.....	23
2.    MARCO TEÓRICO.....	23
2.1.    Neumáticos.....	23
2.1.1.    Composición de un neumático .....	23
2.1.2.    Componentes de un neumático.....	24
2.1.2.1.    Neumáticos convencionales o Bias.....	27
2.1.2.2.    Neumáticos radiales.....	27
2.2.    Proceso de producción .....	29
2.2.1.    Mapa de proceso en Mixer.....	30
2.2.2.    Proceso de mezclado de compuestos primarios.....	31
2.2.2.1.    Parámetros que intervienen en el proceso de mezclado del Mixer.....	35
2.3.    Reometría .....	36
2.3.3.    Equipos y Estudios Tecnológicos en Cauchos.....	38
2.3.3.1.    Evolución y principio de funcionamiento de Equipos tipo Rotorless.....	39
2.3.4.    RPA 2000.....	43
2.3.4.1.    Principio de Prueba del RPA 2000.....	44
2.3.4.2.    Variables de Medición del RPA 2000 .....	44
2.3.4.3.    Selección de Condiciones de Prueba del RPA para las Pruebas de Caucho ....	49



CAPITULO 3.....	52
3. PARTE EXPERIMENTAL.....	52
3.1. Materiales y Métodos.....	52
3.1.1. Formulación general de los compuestos primarios.....	52
3.1.2. Análisis de los compuestos primarios con el RPA 2000. ....	54
3.1.3. Muestreo .....	55
3.1.4. Cálculo de Límites de Control. ....	57
3.2. Resultados y Discusión.....	58
3.3. Proceso de Estandarización de Compuestos Primarios .....	67
3.4. Proceso de Optimización .....	80
CAPITULO 4.....	94
4. Conclusiones .....	94
4.1. Recomendaciones.....	97
4.2. Bibliografía .....	99
4.3. Anexos .....	102

## Lista de Figuras

Figura 1: Marcas comerciales de Neumáticos en Continental Tire Andina S.A. ....	20
Figura 2: Componentes de un neumático de Pasajero (PLT) .....	24
Figura 3: Componentes de un neumático CVT Radial.....	26
Figura 4: Estructura interna de un neumático Bias.....	27
Figura 5: Estructura interna de un neumático Radial .....	28
Figura 6: Montaje de neumáticos Bias vs Radial.....	28
Figura 7: Proceso de fabricación de neumáticos .....	29
Figura 8: Diagrama de proceso en Mixer .....	30
Figura 9: Partes del Mixer.....	32
Figura 10: Mezcla de materiales .....	33
Figura 11: Ingreso de materia prima en el Mixer.....	34
Figura 12: Molino del Mixer.....	34
Figura 13: Almacenamiento de caucho en pallets.....	35
Figura 14: Disco Biconical .....	40
Figura 15: Disco especial incrustado en una muestra de caucho .....	40
Figura 16: Diferencia de resultados, y vista superior del rotor y disco de lViscosímetro Mooney y Reómetro. ....	41
Figura 17: A) Matriz de diseño de sellado, cizallamiento torsional de Rotorless Curemeter. B) Vista superior e inferior de la Reacción de la Matriz .....	42
Figura 18: Diseño del equipo RPA 2000.....	44
Figura 19: Aplicación de la deformación sinusoidal es un método eficaz para separar torque S * en componentes viscosos y elásticos. ....	47
Figura 20: Dos fuentes de SBR 1006 con diferentes perfiles viscoelásticas.....	50



Figura 21: RPA determinando el estado de la mezcla.....	51
Figura 22: Laboratorio Físico- Químico (reómetros).....	52
Figura 23: Plataforma con cargas de caucho. ....	55
Figura 24: Patrón de Desplazamiento.....	70
Figura 25: Patrón de Tendencias en el Nivel del Proceso .....	71
Figura 26: Patrón de Periodicidad .....	71
Figura 27: Patrón de Mucha Variabilidad .....	72
Figura 28: Patrón de Estratificación.....	73

## Lista de Cuadros

Cuadro 1: Composición de una neumático.....	23
Cuadro 2: Pasos generales de Mixer para el proceso de Mezclado.....	32
Cuadro 3: Fórmulas para el cálculo de las diferentes variables del RPA 2000.....	45
Cuadro 4: Compuestos primarios en estudio. ....	53
Cuadro 5: Formulación de compuestos primarios Mixer 3 / Mixer 4. ....	53
Cuadro 6: Viscosidades Mooney para los compuestos Alpha, Beta, Gamma y Delta de los Mixer 3 y Mixer 4. ....	54
Cuadro 7: Cuadro de muestreos realizados para los compuestos primarios en estudio.....	57
Cuadro 8: Resultados del Analisis de RPA para la variable $G'$ del compuesto Alpha Mixer 3 .....	59
Cuadro 9: Resultados del Analisis de RPA para la variable $G''$ del compuesto ALPHA Mixer 3 ..	59
Cuadro 10: Resultados del Analisis de RPA para la variable $G'$ del compuesto ALPHA Mixer 4 .	60
Cuadro 11: Resultados del Analisis de RPA para la variable $G''$ del compuesto ALPHA Mixer 4	61
Cuadro 12: Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Alpha Mixer 3.....	68
Cuadro 13: Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Alpha Mixer 3.....	68
Cuadro 14: Coeficiente de variación calculados para el compuesto Alpha al 1%, 10% y 100% de Strain para Mixer 3 y Mixer 4 .....	77
Cuadro 15: Características técnicas del Mixer 3 y Mixer 4 .....	82
Cuadro 16: Cambios realizados de presión y tiempo en el Mixer 4 para ajuste del compuesto Beta.....	86

## Lista de Gráficas

Gráfica 1: $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Alpha Mixer 3.....	63
Gráfica 2: $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Alpha Mixer 4.....	64
Gráfica 3: $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Alpha Mixer 3.....	64
Gráfica 4: $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Alpha Mixer 4.....	65
Gráfica 5: Curvas Patrón de $G'$ para el compuesto Alpha Mixer 3 y Mixer 4.....	66
Gráfica 6: Curvas Patrón de $G''$ para el compuesto Alpha Mixer 3 y Mixer 4.....	66
Gráfica 7: Gráfica de Tendencias $G'$ (1% Uncured) para Alpha Mixer 3.....	74
Gráfica 8: Gráfica de Tendencias $G''$ (1% Uncured) para Alpha Mixer 3.....	74
Gráfica 9: Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Alpha, de un total de 60 cargas de Mixer 3.....	78
Gráfica 10: Coeficiente de variación entre cargas de compuesto Alpha, de un total de 60 cargas de Mixer 4.....	79
Gráfica 11: Porcentaje de variación en el Mixer 4 de los compuestos Alpha, Beta, Gamma y Delta. ....	81



Gráfica 12: Comparación de Curvas Patrón $G'$ del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando presiones para el compuesto Alpha. ....	83
Gráfica 13: Comparación de Curvas Patrón $G'$ del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando velocidades para el compuesto Alpha. ....	84
Gráfica 14: Comparación de Curvas Patrón $G'$ del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando presiones para el compuesto Beta. ....	85
Gráfica 15: Comparación de Curvas Patrón $G'$ del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando velocidades para el compuesto Beta. ....	85
Gráfica 16: Comparación de Curvas Patrón $G'$ del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando tiempos y presiones para el compuesto Beta. ....	86
Gráfica 17: Comparación de Curvas Patrón $G'$ del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, disminuyendo el trabajo para el compuesto Beta. ....	87
Gráfica 18: Comparación de Curvas Patrón $G'$ del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando el lote de caucho para el compuesto Beta. ....	87
Gráfica 19: Comparación de Curvas Patrón $G'$ del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, disminuyendo la presión al 50% para el compuesto Beta. ....	88
Gráfica 20: Comparación de Curvas Patrón $G'$ del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, disminuyendo la presión al 80% y la velocidad a 44 rpm para el compuesto Beta. ....	89
Gráfica 21: Control de Mezclado con ajuste de Velocidad de Mixer 4. ....	90
Gráfica 22: Control de Mezclado en Mixer 3 y Mixer 4 conservando las condiciones iniciales. ....	91
Gráfica 23: Control de Mezclado con ajuste de Presión en Mixer 4. ....	91
Gráfica 24: Control de Mezclado del Mixer 3 y Mixer 4 para compuesto Gamma. ....	92
Gráfica 25: Control de Mezclado del Mixer 3 y Mixer 4 para compuesto Delta. ....	93

## Lista de Anexos

Anexo 1: Gráfica $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Beta Mixer 3. ....	102
Anexo 2: Gráfica $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Beta Mixer 3. ....	102
Anexo 3: Gráfica $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Beta Mixer 4. ....	103
Anexo 4: Gráfica $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Beta Mixer 4. ....	103
Anexo 5: Gráfica $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Gamma Mixer 3. ....	104
Anexo 6: Gráfica $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Gamma Mixer 3. ....	104
Anexo 7: Gráfica $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Gamma Mixer 4. ....	105
Anexo 8: Gráfica $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Gamma Mixer 4. ....	105
Anexo 9: Gráfica $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Delta Mixer 3. ....	106
Anexo 10: Gráfica $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Delta Mixer 3. ....	106
Anexo 11: Gráfica $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Delta Mixer 4. ....	107
Anexo 12: Gráfica $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Delta Mixer 4. ....	107
Anexo 13: Gráfica Curvas Patrón de $G'$ para el compuesto Beta Mixer 3 y Mixer 4. ....	108
Anexo 14: Gráfica Curvas Patrón de $G''$ para el compuesto Beta Mixer 3 y Mixer 4. ....	108
Anexo 15: Gráfica Curvas Patrón de $G'$ para el compuesto Gamma Mixer 3 y Mixer 4. ....	109
Anexo 16: Gráfica Curvas Patrón de $G''$ para el compuesto Gamma Mixer 3 y Mixer 4. ....	109
Anexo 17: Gráfica Curvas Patrón de $G'$ para el compuesto Delta Mixer 3 y Mixer 4. ....	110
Anexo 18: Gráfica Curvas Patrón de $G''$ para el compuesto Delta Mixer 3 y Mixer 4. ....	110
Anexo 19: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Beta. ....	111
Anexo 20: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Beta Mixer 3. ....	111



Anexo 21: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Gamma Mixer 3 .....	111
Anexo 22: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Gamma Mixer 3 .....	111
Anexo 23: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Delta Mixer 3 .....	112
Anexo 24: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Delta Mixer 3 .....	112
Anexo 25: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Alpha Mixer 4.....	112
Anexo 26: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Alpha Mixer 4.....	112
Anexo 27: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Beta.....	113
Anexo 28: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Beta Mixer 4.....	113
Anexo 29: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Gamma Mixer 4 .....	113
Anexo 30: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Gamma Mixer 4 .....	113
Anexo 31: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Delta Mixer 4 .....	114
Anexo 32: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Delta Mixer 4 .....	114
Anexo 33: Gráfica de Tendencias $G'$ (1% Uncured) para Beta Mixer 3.....	114
Anexo 34: Gráfica de Tendencias $G''$ (1% Uncured) para Beta Mixer 3.....	115
Anexo 35: Gráfica de Tendencias $G'$ (1% Uncured) para Gamma Mixer 3.....	115
Anexo 36: Gráfica de Tendencias $G''$ (1% Uncured) para Gamma Mixer 3.....	115
Anexo 37: Gráfica de Tendencias $G'$ (1% Uncured) para Delta Mixer 3.....	116
Anexo 38: Gráfica de Tendencias $G''$ (1% Uncured) para Delta Mixer 3.....	116
Anexo 39: Cuadro del Coeficiente de variación calculado para el compuesto Beta al 1%, 10% y 100% de Strain para Mixer 3 y Mixer 4.....	116
Anexo 40: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Beta, de un total de 60 cargas de Mixer 3.....	117
Anexo 41: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Beta, de un total de 60 cargas de Mixer 4.....	117
Anexo 42: Cuadro del Coeficiente de variación calculado para el compuesto Gamma al 1%, 10% y 100% de Strain para Mixer 3 y Mixer 4 .....	118
Anexo 43: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Gamma, de un total de 60 cargas de Mixer 3.....	118
Anexo 44: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Gamma, de un total de 60 cargas de Mixer 4.....	119
Anexo 45: Cuadro del Coeficiente de variación calculado para el compuesto Delta al 1%, 10% y 100% de Strain para Mixer 3 y Mixer 4.....	119
Anexo 46: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Delta, de un total de 60 cargas de Mixer 3.....	120
Anexo 47: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Delta, de un total de 60 cargas de Mixer 4.....	120





## CLAUSULAS DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Luis Israel Muñoz Juca* autor de la tesis "*Optimización del proceso de mezclado en compuestos primarios en base a la estandarización en el analizador de procesamiento de caucho (RPA 2000) en Continental Tire Andina S.A.*", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Químico. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 31 de Julio del 2015

Luis Israel Muñoz Juca

C.I: 0104774401



Yo, *María Jacqueline Cedillo Puma*, autora de la tesis "*Optimización del proceso de mezclado en compuestos primarios en base a la estandarización en el analizador de procesamiento de caucho (RPA 2000) en Continental Tire Andina S.A.*", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniera Química. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autora.

Cuenca, 31 de Julio del 2015

María Jacqueline Cedillo Puma

C.I: 0104486378



Yo, *Luis Israel Muñoz Juca*, autor de la tesis "*Optimización del proceso de mezclado en compuestos primarios en base a la estandarización en el analizador de procesamiento de caucho (RPA 2000) en Continental Tire Andina S.A.*", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 31 de Julio del 2015

Luis Israel Muñoz Juca

C.I: 0104774401



Yo, *María Jacqueline Cedillo Puma*, autora de la tesis *"Optimización del proceso de mezclado en compuestos primarios en base a la estandarización en el analizador de procesamiento de caucho (RPA 2000) en Continental Tire Andina S.A."* certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 31 de Julio del 2015

María Jacqueline Cedillo Puma

C.I: 0104486378



## **DEDICATORIA**

***Luis Israel Muñoz Juca***

Es grato sentir una satisfacción personal por haber cumplido una meta que me propuse culminar como profesional en una carrera que demanda mucha dedicación y esfuerzo. Al escribir estas líneas de dedicatoria y agradecimiento retorna a mi mente los recuerdos que desde muy niño sentí esa vocación sobre la química y todas sus áreas que lo complementan. Quien más que mis padres al darse cuenta sobre mi inclinación a la química, me dieron ese apoyo incondicional para guiarme en los pasos que hoy culmina mi carrera, y es por eso que hoy siento esa necesidad de agradecer ese apoyo y esa guía que hoy me ayuda a culminar con éxito la carrera de Ingeniería Química. A mi padre Luis y mi madre Cumandá les doy un agradecimiento eterno por ser las personas que llenaban mis curiosidades en mis deseos a mi corta edad de tener un pequeño laboratorio químico, que por cierto todo era de juguete, por lo que tengo la obligación de ser grato con quienes me apoyaron en el proceso de estudio tanto en la escuela, colegio y universidad, y estoy seguro que me seguirán apoyando a lo largo de mi existencia, tanto en mi vida personal como profesional. Mi éxito en mi carrera se debe a que han existido muchas personas a quienes tengo que dar gracias por esas palabras de aliento para seguir esforzándome en mis estudios. El apoyo de mis hermanos Karina, Edwin y Diego, mis primos Damián y Brian, familia, amigos y seres queridos que han influido mucho para no declinar en mi esfuerzo, y de manera muy especial un gran agradecimiento a la empresa La Colina Cia. Ltda dirigida por el Ing. Amador Suin y familia, por todo el apoyo brindado de manera familiar, personal y profesional, todo esto no hubiese sucedido sin la fuerza celestial que solo Dios nos sabe dar.



## DEDICATORIA

### ***María Jaqueline Cedillo Puma***

La presente tesis está dedicada a Dios por haberme brindado fuerza y sabiduría para llegar a la meta final.

A mis padres por haberme dado la vida, por sus consejos Dios los bendiga siempre. Y de manera muy especial dedico a mi madre por ser mi amiga y compañera, por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi hija Katherine por ser mi principal motivación para seguir adelante.

A mis hermanos y amigos por sus palabras de aliento lo cual ha hecho que tenga confianza en mí misma y sea más ameno el desarrollo de esta tesis, por todo esto los quiero mucho.



## AGRADECIMIENTOS

Esta tesis de Ingeniería pudo ser realizada gracias al apoyo de la empresa Continental Tire Andina S.A. quienes nos abrieron las puertas para ejecutar este estudio.

Nuestro más amplio agradecimiento para la Dra. María Eulalia Vanegas Peña, directora de esta tesis, por su valiosa orientación, paciencia y apoyo para la conclusión de la misma.

También quisiéramos hacer palpable nuestros agradecimientos al Ing. Alk Weinrich, Vicepresidente de Manufactura por la aprobación de este tema de tesis; al Ing. Vinicio Landy, Gerente de Relaciones Laborales por brindarnos los permisos necesarios en el transcurso de desarrollo del estudio; a la Ing. Doris Cabrera, Jefa del Laboratorio Físico – Químico de la empresa por brindarnos el apoyo necesario y permitirnos el uso de las instalaciones; un especial agradecimiento al Ing. Diego Creamer encargado de la Industrialización de Procesos en Mezcladores por brindarnos su tiempo, apoyo y conocimientos en la realización del estudio; al Ing. Patricio Angumba, Supervisor de Mixer por la colaboración brindada en el área; y al Ing. Esteban Mora, Supervisor del área de Construcción de Neumáticos por su aporte para mejorar la presente investigación.

Así mismo quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a todos quienes estuvieron vinculados de alguna manera en este proyecto; profesores, analistas de laboratorio, jefes, supervisores, por brindarnos las facilidades necesarias para completar este estudio.

A todos nuestros mayores reconocimientos y gratitud.



## INTRODUCCION

La presente tesis es una investigación que tiene por objetivo optimizar el proceso de mezclado de compuestos primarios de caucho en dos diferentes Mixers o Mezcladores, mediante la estandarización del proceso de mezclado utilizando el Analizador de Procesamiento de Caucho (RPA 2000) recientemente adquirido por la empresa. Estos compuestos primarios son utilizados para la elaboración de compuestos finales, cuya finalidad es elaborar las partes que conforma un neumático, los cuales han sido seleccionados conjuntamente con la jefa de Laboratorio Físico – Químico de la empresa, debido a su mayor producción y uso.

El laboratorio Físico – Químico cuenta con equipos tecnológicos que se han venido utilizando para la identificación de compuestos primarios, como lo es el Viscosímetro Mooney, obteniendo así la viscosidad del compuesto mediante su análisis y así valorando la calidad de mezclado de una manera general. Debido al avance tecnológico, la empresa ha adquirido el equipo ya mencionado RPA 2000, por lo que se pretende analizar los compuestos en estudio de una manera más detallada determinando las diferencias de homogeneidad de mezclado que tiene un mismo compuesto en dos diferentes Mixers de una manera eficiente, dando paso a la caracterización de los compuestos en ambos Mixer. Esta caracterización permitirá conocer la situación actual de mezclado en cada Mixer, por lo que este análisis ayudará a re-ajustar las condiciones de mezclado, para reducir al mínimo la brecha de homogeneidad por las diferencias estructurales de los mezcladores.

Este trabajo presenta los siguientes capítulos:

En el Capítulo 1 se presenta los antecedentes, los objetivos y la justificación de la investigación, los cuales abordarán los principales problemas, limitaciones y alcances de la misma.

En el Capítulo 2 se aborda los aspectos teóricos relacionados con las partes que conforman un neumático, así mismo dando lugar a las principales diferencias entre los diferentes neumáticos que son elaborados en la empresa, por





consiguiente se abordará todo al respecto sobre el proceso de producción en Mezcladores, centrándose en las partes del equipo, el proceso que conlleva al mezclado de compuestos y los principales parámetros que intervienen para un óptimo mezclado. Por otro lado se realiza un estudio de la ciencia de la Reología, presentando los principales equipos tecnológicos que se han venido utilizando a lo largo del tiempo para los análisis en la industria del neumático, siendo el RPA 2000 el de principal enfoque debido a su uso durante este estudio; además se revisará las principales condiciones y variables que tiene este equipo, los cuales son de vital importancia para comprender el proceso de análisis que tiene el mismo. Por otra parte se establecerá las principales diferencias entre el Viscosímetro Mooney que comúnmente se utiliza en la industria del caucho y el RPA 2000, valorando la eficiencia que tiene este último a comparación de los análisis en Mooney.

En el Capítulo 3 se presenta la parte experimental, en la cual se tratan aspectos, como los materiales y metodología empleada para este estudio, abordando temas tales como, muestreo, formulación general de los compuestos en estudio y cálculos aplicados para el transcurso del mismo. Además se tratará dos apartados muy importantes como lo es el Proceso de Estandarización, en el que se analizará los resultados obtenidos en el RPA 2000 para cada compuesto en los Mixers independientemente, mediante el gráfico de curvas, selección de datos, gráficas de tendencia y elaboración de curvas patrón de cada compuesto; posteriormente se realizará una comparación entre las curvas patrón de cada compuesto en cada Mixer, estableciendo la variación que existe en cada equipo mediante el análisis de tendencias y dispersión de datos basados en estudios bibliográficos, para así tomar como modelo el equipo que tenga un mejor mezclado, para dar paso al siguiente apartado que es el Proceso de Optimización de mezclado, en el que previamente analizado la variación entre los compuestos en los diferentes Mixer, se ajustará el equipo con menor eficiencia de mezclado hacia el equipo tomado como modelo, mediante la modificación de variables como son la temperatura, velocidad, tiempos y presión para el ajuste de curvas, homogenizando el mezclado en ambos equipos. Como último punto en este capítulo se realizará un control de los ajustes mediante la



toma de muestras, análisis de datos y gráficas para la comprobación de los mismos.

En el Capítulo 4 se presentan las conclusiones y recomendaciones para esta tesis.



## CAPITULO 1

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes.

Continental Tire Andina S.A es una empresa destinada a la producción y comercialización de neumáticos. Esta empresa es la única en el país y se le atribuye como una de las de mayor inversión, crecimiento de la ciudad y del país. Además, la empresa se ha convertido en una fuente de empleo de más de mil empleados y trabajadores.

Constituye una industria grande en la fabricación de neumáticos a nivel nacional. Su mercado se encuentra a nivel local, nacional, e internacional. La empresa exporta a todos los países de la región andina incluyendo a Chile. Además provee al mercado de Equipo Original para Elasto (General Motors – Chevrolet), Maresa (Mazda) y Aymesa (Kia), las tres ensambladoras ecuatorianas y los que forman parte del mercado de reposición: Moya baca Tires; Tecnineumático S.A.; Importadora Andina; Tecniguay; Tecfaroni; Frenoseguro; Tedasa; Motricentro; El Juri, entre otros. (Continental, 2014)

ERCO “*Ecuadorian Rubber Company*” fue fundada en la ciudad de Cuenca en el año 1955. En Diciembre de 1962 se produce el primer neumático. En 1987 Continental AG Hannover-Alemania compra *General Tire & Rubber Company*. En 1993 se empieza a exportar a la Región Andina y asume la marca Continental creando su nueva imagen corporativa “Continental General Tire”. En 1996 exporta a 17 países de Latinoamérica. En 1999 consolida su liderazgo en el mercado local y muestra su rápido crecimiento en el mercado internacional.

En el año 2000 logra una inversión importante para incrementar su capacidad de producción PLT (*Passenger Light Truck*). En el 2003 - 2008 existen nuevos canales de distribución, mejores políticas comerciales y fuerte enfoque en torno al cliente final. Creación de Erco Tires, Conti Truck Center y Todaneumático. En el 2009 Integración al grupo Continental AG y finalmente en el año 2010

Compañía Ecuatoriana del Caucho S.A. (ERCO) pasa a llamarse Continental Tire Andina S.A.. (Continental, 2014)

La producción de neumáticos se divide en Neumáticos de Pasajero y Camioneta (*Passenger and Light Truck Tire División, PLT*) y Neumáticos de Camión (*Comercial Vehicle Tire División, CVT*).

Además dentro de las líneas CVT y PLT, se producen dos tipos de neumáticos diferenciándose por su construcción y materiales que intervienen en cada una siendo el neumático Radial el cual no lleva tubo por estar incluido en el neumático (*Innerliner*) y el neumático Bías el cual lleva tubo interno que impide la salida de aire. En la planta se elaboran neumáticos bajo las siguientes marcas: Continental, General Tire, Barum, Sportiva, Sidewinder, Viking, cuyos logos se presentan en la **Figura 1**.

**Figura 1:** Marcas comerciales de Neumáticos en Continental Tire Andina S.A.  
**Fuente:** Revista Erco.



Se estima una cantidad aproximada de 500 neumáticos CVT y 6000 neumáticos PLT diarios para el año 2014 y 2015.

## 1.2. Objetivos de la Tesis

### 1.2.1. Objetivo General

- Optimizar el proceso de mezclado en compuestos primarios en base a la estandarización mediante el uso del RPA.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar mediante RPA los compuestos primarios para elaborar curvas patrón para su posterior uso como curvas de control.



- Optimizar los procesos de mezclado basado en el ajuste de curvas del Mixer 3 y 4.
- Realizar un control del ajuste en producción normal.

### 1.3. Justificación

En la empresa Continental Tire Andina S.A., la elaboración de un neumático implica muchos procesos. El primer proceso es la producción de compuestos primarios, a partir de estas se obtiene los compuestos finales y estos a su vez son utilizados en diferentes áreas tales como área de Tuberías, Calandria, etc., para la obtención de los diferentes componentes que constituyen un neumático. Actualmente los compuestos primarios son monitoreados y controlados utilizando únicamente el Viscosímetro Mooney como medio de análisis. Con la disponibilidad del nuevo analizador de procesamiento de caucho (RPA 2000 *Rubber Process Analyzer*), el mismo que se encuentra en el laboratorio Físico-Químico de la empresa, y cuyo uso estuvo inicialmente direccionado para compuestos finales, el departamento de Industrialización de Procesos de Mezclado planteó la importancia de ampliar su rango de análisis a compuestos primarios, para lo cual se solicitó a Laboratorio Físico-Químico se proceda a solicitar el soporte en el tema, que permitió el trámite formal y posterior aprobación del presente estudio de Tesis en las instalaciones de la empresa, de tal manera que se establezca un proceso de monitoreo, levantamiento de información y generación de rangos y curvas de control estándar para diferentes compuestos producidos en diferentes máquinas, con el objeto de ajustar las condiciones en cada una de ellas que permitan obtener características muy uniformes en cada compuesto indistintamente de la máquina en la cual fue mezclado.

Con este antecedente, mediante la estandarización del proceso de mezclado con el RPA, se podrá llevar un seguimiento en la producción de cada compuesto, asegurando que estas se encuentren dentro de las especificaciones y exigencias que requieren los posteriores procesos. Además se podrá analizar e interpretar estos resultados para observar la variación que existe en la producción de un mismo compuesto en cada Mixer, por lo que se ajustarán estos datos y curvas



mediante la variación de ciertos parámetros como son Tiempos parciales , Temperatura, Presión y Velocidad en el Mixer, logrando así una optimización en el proceso productivo.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO.

#### 2.1. Neumáticos.

El neumático, también denominado *cubierta*, *goma* en América, es un producto complejo fabricado con varios componentes basados en compuestos de caucho y otros elementos, que le confieren seguridad en el rodaje, adherencia, estabilidad y confort entre algunas de las características de desempeño durante su vida útil en los automotores.

Los neumáticos son una parte fundamental del automóvil desde el punto de vista de la estabilidad. Estos se ven sometidos por lo tanto a esfuerzos consecuencia de las distintas aceleraciones y deceleraciones producidas al desarrollar su función. Las características fundamentales de cualquier neumático deben ser resistencia y flexibilidad. (Martín, 1997)

##### 2.1.1. Composición de un neumático

En el **Cuadro 1** se tiene las principales materias primas genéricas que intervienen en el proceso de fabricación de un neumático:

**Cuadro 1: Composición de una neumático**

**Fuente:** Continental Tire Andina

MATERIA PRIMA	%
Caucho natural	19
Caucho sintético	26
Negro de humo	23
Tejidos	9
Alambres	3
Aceites	6
Otros	14
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

En promedio se requiere de 207 materias primas para la elaboración de un neumático, siendo un 90% de estas materias primas derivadas del petróleo y

solo el 10% de las materias primas que se necesitan se encuentran en el mercado nacional es por esto que se tiene que importar un 90% de materias primas.

### 2.1.2. Componentes de un neumático

En la **Figura 2**, mediante un corte transversal se puede observar los componentes de un neumático PLT (pasajeros y camioneta) con su respectiva denominación:

**Figura 2: Componentes de un neumático de Pasajero (PLT)**

**Fuente:** Manual Tire Basics - Continental Tire Andina S.A



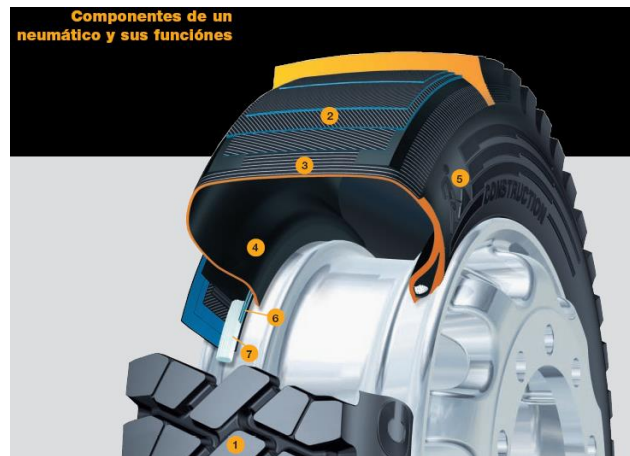
- 1) **Innerliner:** Es una lámina de caucho con un alto porcentaje de goma halobutílica. El principal propósito del revestimiento interior es reducir la permeabilidad del aire y para asegurar que el aire presurizado se mantenga en el interior del neumático
- 2) **Carcasa:** La carcasa está llevando la mayor parte de la carga causada por la presión interna del neumático el material para la carcasa es principalmente poliéster, rayón se utiliza para los neumáticos de alta velocidad. Cambiar el material de la carcasa / número de capas de



- carcasa puede influir en la rigidez radial del neumático y la rigidez de la zona de pared lateral y de ese modo el rendimiento del neumático
- 3) **Núcleo de talón:** Se compone de un número de cables de acero que (en su mayoría) están dispuestos en una forma cuadrada. El propósito principal es asegurar la conexión del neumático con el aro.
  - 4) **Relleno de talón:** Es un perfil extruido de caucho, en forma de triángulo con una dureza alta que se une directamente sobre el haz de talón.
  - 5) **Refuerzos de talón:** Su propósito es rigidizar la zona de pared lateral baja / talón inferior para influir en el comportamiento de conducción y la durabilidad a alta velocidad del neumático.
  - 6) **Banda del aro (*Rim strip*):** El propósito de este *rim strip* es asegurar el asiento correcto del neumático.
  - 7) **Pared lateral:** Es un perfil de caucho extruido, su propósito es proteger la carcasa contra la carga mecánica lateral directa.
  - 8) **Cinturones (*Belts*):** Son dos capas de acero calandrado situado entre la banda de rodadura y la carcasa.
  - 9) **Capa de cubierta (*Capply*):** Consta de 1 o 2 hojas de nylon que se enrollan alrededor de los cinturones (belt).
  - 10) **Rodamiento:** Formado de diferentes tipos de caucho que se ensamblan en en una extrusora dúplex o triplex. El material de la banda de rodadura influye en el agarre del neumático a la carretera.

En la **Figura 3**, mediante un corte transversal se puede observar los componentes de un neumático CVT (camión) con su respectiva denominación:

**Figura 3: Componentes de un neumático CVT Radial.**  
**Fuente:** *Manual Tire Basics - Continental Tire Andina S.A.*



- 1) **Banda de rodamiento:** La banda de rodamiento es donde se hará el labrado en el neumático vulcanizado. Produce resistencia al desgaste, y un buen agarre en todo tipo de superficies de carretera. Está formado de compuestos de caucho.
- 2) **Capa de cinturones de acero (*Breakers*):** Proporciona estabilidad de conducción, reduce la resistencia al rodamiento, prolonga la vida del neumático. El material que lo compone es alambre de acero engomado. Los neumáticos CVT Radial que produce Continental Tire Andina S.A., contienen cuatro *breakers*.
- 3) **Pliego de acero:** Proporciona al neumático su rigidez estructural y sus características de suspensión. Determina sustancialmente el confort de conducción. Está compuesto de alambre de acero engomado.
- 4) ***Innerliner*:** Está formado de materiales de caucho halobutílico. Impide la difusión de aire y la penetración de humedad.
- 5) **Ensamblajes laterales:** Está formado por compuestos de caucho. Protege de agresiones laterales y de efectos meteorológicos. En el lateral se grabará la información del neumático como la marca, tipo, capacidades de carga, velocidad, advertencias de seguridad, etc.
- 6) **Refuerzo de Acero:** Asegura el empalme final de la Carcasa de Acero con el Núcleo del Talón y refuerza la estructura del Talón contra las fuerzas cortantes altas.

- 7) **Núcleo de Acero:** Ensamblado con la bandera (componente de tejido engomado) y el relleno formarán la pestaña que permite la fijación del neumático en el aro.

#### 2.1.2.1. Neumáticos convencionales o Bias.

Estos son los neumáticos que requieren la utilización de tubo en la parte interior del neumático en la carcasa, estos neumáticos tienen una estructura que está compuesta de lonas de nylon, en ángulos de  $45^\circ$  con respecto a la línea imaginaria que pasa por el centro de la banda del rodamiento.

Estos neumáticos van perdiendo mercado ya que tienen bajo rendimiento a altas velocidades en carreteras de asfalto u hormigón frente a la nueva tecnología de neumáticos radiales, pero son mejores para caminos en mal estado, que existen en menor escala en el país, y para lo que fueron diseñadas en su momento, es por esto que aún se las fabrica a menor escala cada año. Dentro de la Corporación Continental las únicas plantas que producen este tipo de neumáticos son de México, India y Ecuador.

En la **Figura 4** se puede observar la estructura interna de un neumático Bias.

**Figura 4: Estructura interna de un neumático Bias**  
**Fuente:** Manual Tire Basic – Continental Tire Andina S.A.



#### 2.1.2.2. Neumáticos radiales

Estos neumáticos tienen una estructura compuesta de una sola lona o pliego de acero fijado de talón a talón del neumático en ángulos de  $90^\circ$  con respecto a la misma línea imaginaria, arriba de la lona tiene un juego de cinturones o breakers de acero.

Entre las ventajas más relevantes de estos neumáticos se destacan la uniformidad de las cargas, reducción de peso y montaje automático y en menos tiempo; además da opción a una reducción de la relación alto-ancho.

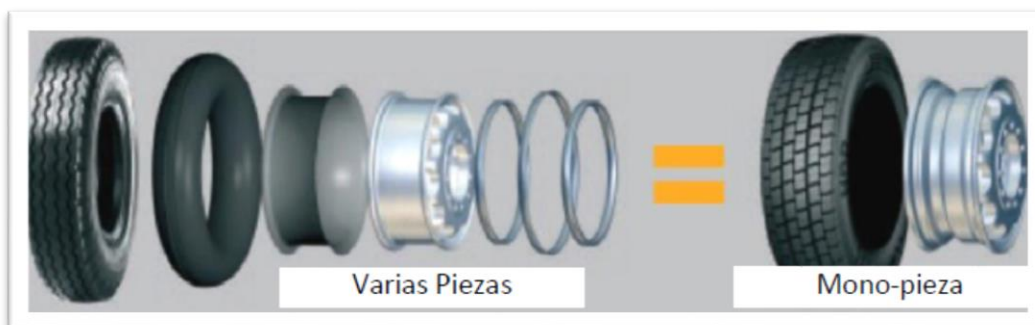
En la **Figura 5** se observa la estructura interna de un neumático radial.

**Figura 5: Estructura interna de un neumático Radial**  
**Fuente:** Manual Tire Basic – Continental Tire Andina S.A.



En la **Figura 6**, se puede apreciar una menor intervención de piezas en los neumáticos radiales vs Bias. Cada neumático tiene diferente composición según requerimientos del consumidor, las mismas que al ser utilizadas en caminos para el cual no fue diseñada su rendimiento y tiempo de vida va a ser menor por tal razón se sigue manteniendo la fabricación de los dos tipos de neumáticos aún.

**Figura 6: Montaje de neumáticos Bias vs Radial**  
**Fuente:** Manual Tire Basic – Continental Tire Andina S.A.

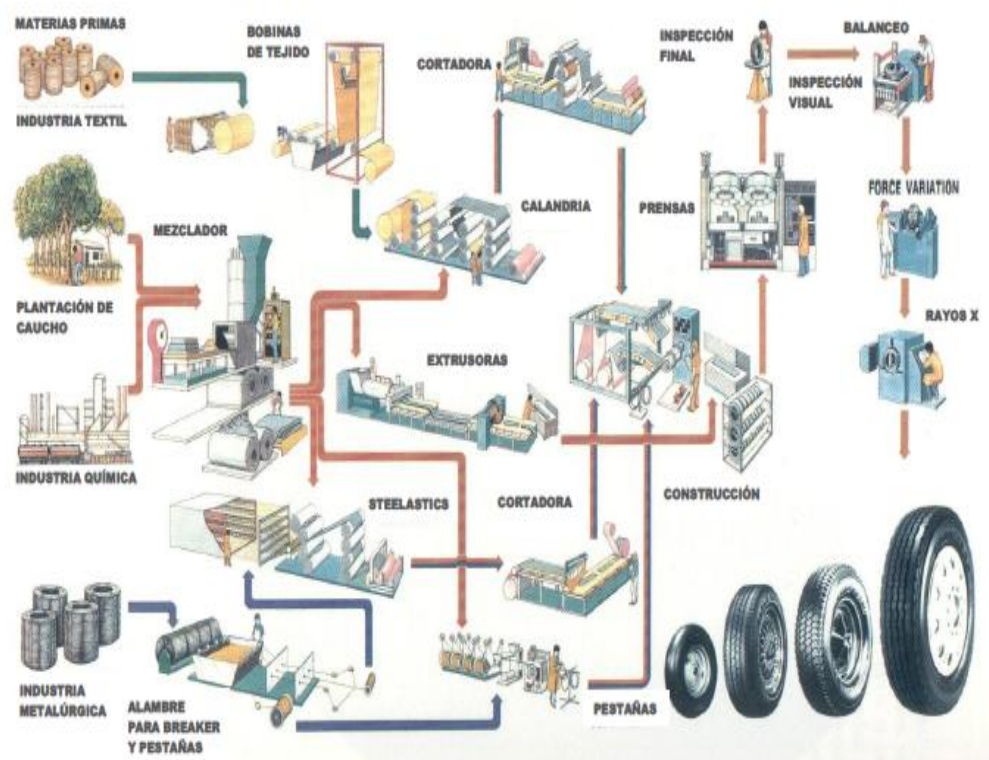


## 2.2. Proceso de producción

No todo neumático tiene el mismo proceso de manufactura, a continuación la **Figura 7** presenta en breves rasgos, ciertos procesos y componentes que intervienen en el proceso de elaboración de un neumático.

**Figura 7: Proceso de fabricación de neumáticos**

**Fuente: Cesar Vargas**

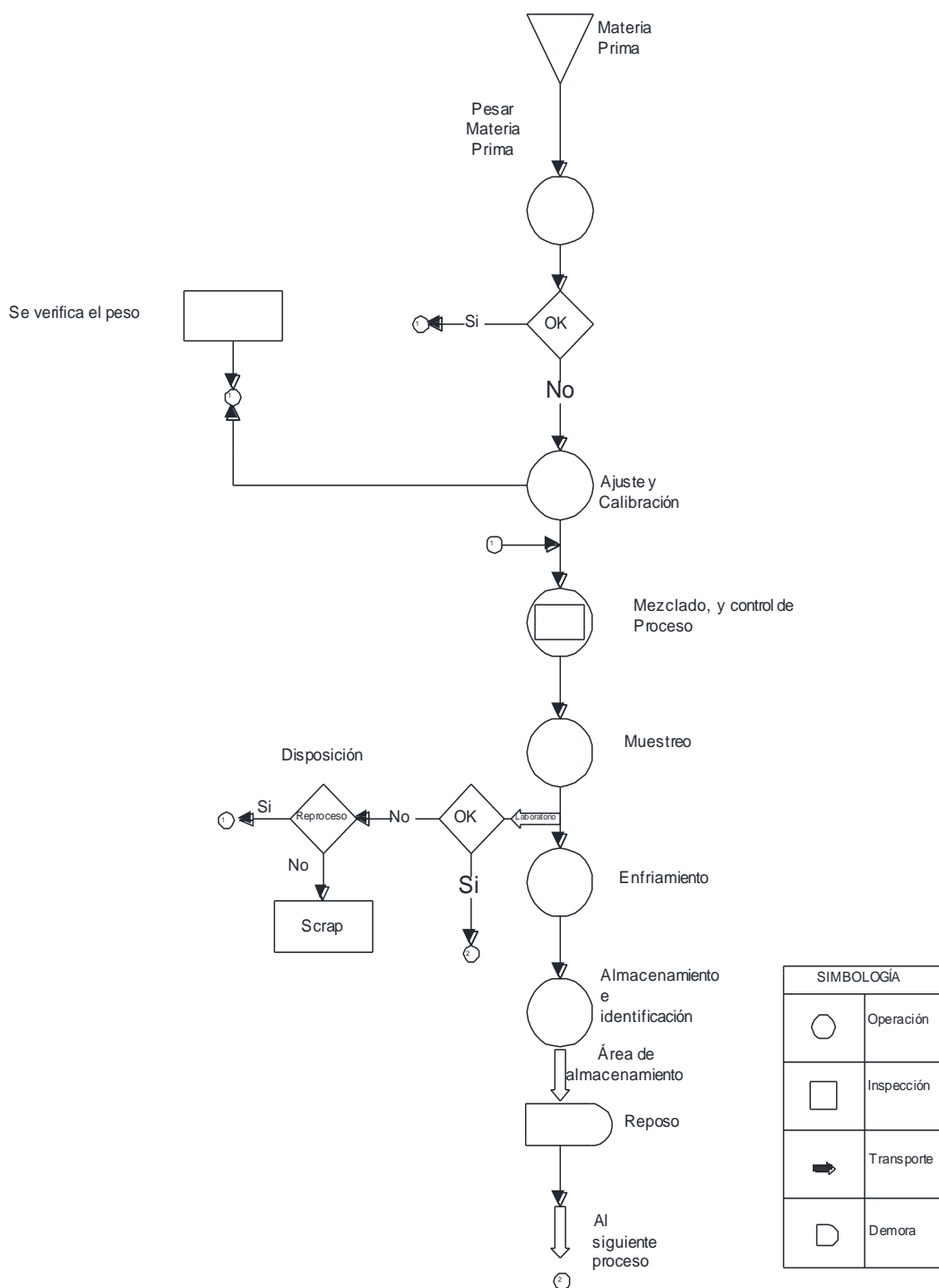


El proceso de elaboración de un Neumático inicia en bodega, la misma que almacena caucho natural, caucho sintético, pigmentos, negro de humo, etc. Las mismas que son aprobadas por laboratorio y son utilizadas en la elaboración de mezclas primarias como primer paso, para luego hacer el segundo paso que son las mezclas finales, pasando a otro departamento para elaborar diferentes componentes del neumático, entre ellos tenemos: **Rodamientos** (En Tuberas: tres, triplex y doble); **Laterales** (En Tuberas: SM35 y Roller Head); **Pestañas** (Steelastic y FSW 400); **Gomas, Pliegos** ( Calandria, Calandria Z) que darán lugar a la fabricación de la carcasa.

### 2.2.1. Mapa de proceso en Mixer.

A continuación se presenta en la **Figura 8** el diagrama de proceso de producción del área de Mixers.

**Figura 8: Diagrama de proceso en Mixer**  
**Fuente: Continental Tire Andina**





### 2.2.2. Proceso de mezclado de compuestos primarios.

La materia prima llega a la planta en diferentes formatos: pacas de caucho de 35 Kg aproximadamente, fundas de 25Kg pigmentos en polvo, en pellets o pastillas, etc... El ayudante del Mixer pesa aquellas materias primas de manejo manual de acuerdo a la especificación técnica de cada tipo de compuesto a procesar, acumulando todas éstas en la banda balanza. Esto representa una carga. Cada carga lista se pasa una banda de alimentación al Mixer para iniciar con el proceso de mezclado.

El Mixer cuenta con una cámara cerrada y dos rotores en su interior, en donde se juntan todos los componentes: caucho natural y/o sintético, negro de humo, aceite de proceso, rellenos y pigmentos o químicos que conforman la mezcla inicial (compuesto primario) que se utiliza para hacer los diferentes componentes del neumático; esta máquina ayuda al proceso de mezclado para obtener un compuesto de caucho homogéneo. Los siguientes parámetros, el tiempo de mezcla, la presión del pistón, la temperatura y la velocidad de los rotores son los factores decisivos en la composición de la mezcla, cuya variación es distinta para cada compuesto, teniendo diferentes pasos en el que interviene cada uno durante el mezclado. A continuación en el **Cuadro 2** se observa de manera general los pasos que sigue el Mixer durante el mezclado.



**Cuadro 2: Pasos generales de Mixer para el proceso de Mezclado**

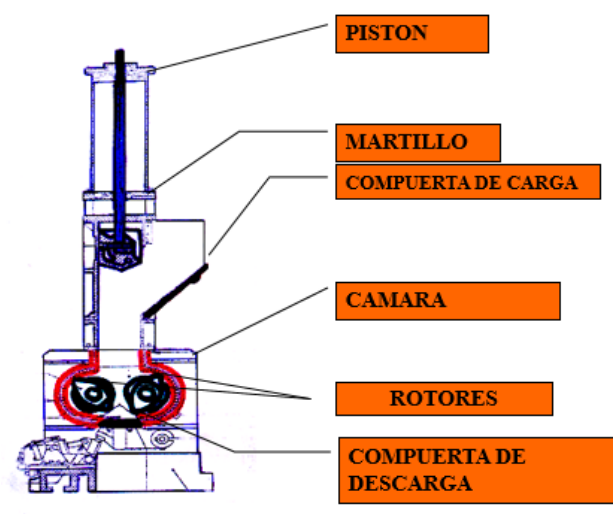
**Fuente:** Continental Tire Andina S.A

Pasos	Descripción	Velocidad	Tiempos Estimado (s)	Temperatura
1	Carga de Caucho y Pigmentos	Inicio con	15	Entre 100°C y 160°C
2	Carga de Negro de Humo	valores	20	
3	Bajar Pistón	altos entre	30	
4	Subir Pistón e Inyectar Aceite	40-50 rpm	15	
5	Bajar Pistón	Al final se	30	
6	Subir Pistón	disminuye	10	
7	Bajar Pistón	la	10	
8	Subir Pistón	velocidad	10	
9	Bajar Pistón		10	
10	Subir Pistón		40	
11	Descarga		2	

El Mixer también cuenta con una campana para apresar el polvo de la carga, los humos y la neblina de aceites procedentes de la mezcla de caucho caliente. En la **Figura 9** se puede apreciar las partes del Mixer.

**Figura 9: Partes del Mixer**

**Fuente:** Continental Tire Andina S.A

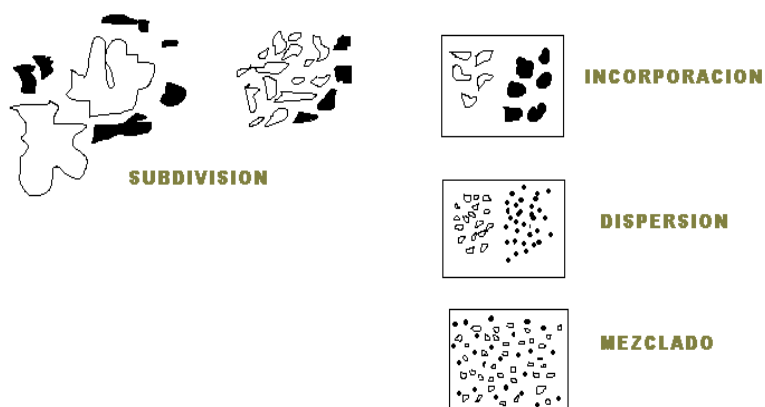




Para la obtención de compuestos de caucho se combinan varios componentes a más de cauchos naturales-sintéticos como, por ejemplo, activadores, antioxidantes, antiozonizantes, plastificantes, etc. (Fajen)

En general cuando dos materiales se mezclan sin que varíen su forma física ni cambien de estado, podemos definir su mezclado en términos de la distribución que los mismos logran al finalizar la operación. En la **Figura 10** se encuentra el proceso de incorporación de los ingredientes el cual debe tener una correcta dispersión para un buen mezclado mediante el empleo de energía en el mezclador.

**Figura 10: Mezcla de materiales**  
**Fuente:** Continental Tire Andina S.A.



El proceso se realiza a una presión alrededor de 65 psi y temperaturas de entre 100°C y 160°C para obtener una mezcla homogénea que será destinada a la elaboración de otros componentes.

La capacidad de los mixer es aproximadamente de 220 kg por cada carga.

En la **Figura 11** se aprecia el momento en que la materia prima ingresa en el Mixer 3.

**Figura 11: Ingreso de materia prima en el Mixer.**  
**Fuente:** César Vargas – Proceso de fabricación de neumáticos.



Una vez finalizado el ciclo de mezclado en el Mixer, el caucho es descargado a una cámara con dos tornillos cónicos gemelos girando en sentido opuesto hacia el centro de los mismos (*Twin screw roller die, TSRD*). Este proceso transforma las placas de caucho en largas láminas al pasar a través de dos rodillos que giran en dirección opuesta y a temperaturas altas. (Fajen). A continuación en la **Figura 12** se aprecia el molino de Mixer 4.

**Figura 12: Molino del Mixer.**  
**Fuente:** Cesar Vargas, (Farrel, 2015)



Con la ayuda de una banda transportadora se enfría el caucho que finalmente con ayuda del apilador de caucho denominado *stacker*, es almacenado en *pallets* como se muestra en la **Figura 13**.

**Figura 13: Almacenamiento de caucho en pallets.**

**Fuente: Cesar Vargas**



### **2.2.2.1. Parámetros que intervienen en el proceso de mezclado del Mixer.**

Es importante comprender la variación de la elasticidad y viscosidad del material con diferentes parámetros dentro del proceso de mezclado, como son la velocidad de rotores, tiempo de mezcla, temperatura y presión de pistón.

#### **2.2.2.1.1. Velocidad de rotores**

La elasticidad y viscosidad de un compuesto es función de la velocidad de cizallamiento, que depende del método de procesamiento. Si la elasticidad y viscosidad del material se incrementa con la velocidad de los rotores se llama comportamiento dilatante, es un comportamiento raro que se produce por la reorganización de la microestructura del material. Los materiales pseudoplásticos son aquellos que disminuyen su elasticidad y viscosidad con el aumento de la velocidad, es el comportamiento más común. La pseudoplasticidad puede explicarse en base a la formación y ruptura de interacciones de las moléculas del polímero.

#### **2.2.2.1.2. Tiempo**

La elasticidad y viscosidad del material no se mantiene constante conforme aumenta el tiempo. Si estas propiedades disminuyen con el tiempo se conoce como tixotrópico y si aumenta con el tiempo se conoce como reopéctico. Las causas más comunes que producen la variación de las variables con respecto al



tiempo suelen estar asociadas a ruptura o formación de agregados coloidales e interacciones que formen una estructura reticular en la muestra.

#### **2.2.2.1.3. Temperatura**

La elasticidad y viscosidad es fuertemente dependiente de la temperatura. La mayoría de los materiales disminuyen esta propiedad con el aumento de la temperatura, al aumentar la velocidad de las moléculas, y por ende, la disminución de sus fuerzas de cohesión como también la disminución de la resistencia molecular interna al desplazamiento. (Tecnología de Polimeros, 2012).

#### **2.2.2.1.4. Presión**

La presión del pistón en el Mixer tiene gran influencia durante el mezclado, ya que su ajuste óptimo permite que la temperatura se distribuya de una manera correcta en el caucho en tiempos determinados, lo cual evita la degradación del compuesto, permitiendo además la relajación del compuesto en los diferentes pasos.

Por lo tanto, al haber una mayor presión, puede provocar un exceso de trabajo, ya que no permite que la temperatura se disperse de manera lenta por el caucho, pudiendo provocar un mal mezclado con viscosidades altas.

### **2.3. Reometría**

La Reometría al ser una ciencia que se fundamenta en muchos criterios, técnicas y métodos basada en la ciencia de los materiales, la física y las matemáticas, se mencionará a continuación solo ciertas definiciones básicas pero centradas en el estudio para un mejor entendimiento y comprensión del trabajo a realizar.

#### **2.3.1. Definición de Reometría.**

La reometría (del griego rheos) es la ciencia que describe tanto los métodos de medida como los instrumentos que permiten obtener datos reológicos de un material. Determina las relaciones cuantitativas y cualitativas entre la deformación y la tensión mecánica y sus derivadas. (Navas, 2006)

### 2.3.2. Reología

El desarrollo de la industria química a principios de siglo, seguido por la aparición a gran escala de procesos de producción de polímeros, junto con otros materiales, como adhesivos, alimentos, cosméticos, plásticos, pinturas, fluidos biológicos, asfaltos, aceites, combustibles,...etc., dio lugar a la aparición de un conjunto de nuevos materiales con un comportamiento de flujo algo fuera de lo normal, cuyo comportamiento no podría ser explicado únicamente por las leyes clásicas. En 1920 el estudio de tales materiales provocó que Eugene Bingham acuñara el término 'Reología', del griego ρειν, fluir, que etimológicamente significa estudio del flujo, fue aceptada en el año 1929, cuando se fundó la *American Society of Rheology*. (Garcia Quesada, 2007).

Por lo tanto según (Caucho, 2014) la reología, por su parte, la podemos definir como la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir.

El comportamiento reológico de los polímeros implica varios fenómenos muy diversos que pueden relacionarse en algún grado con diferentes mecanismos moleculares. Estos fenómenos y sus principales mecanismos asociados son los siguientes:

- a) **Flujo Viscoso**, es la deformación en masa irreversible del material polimérico asociada al deslizamiento irreversible, unas tras otras, de las cadenas moleculares
- b) **Elasticidad de los Cauchos y afines**, en la que se conserva la libertad de movimiento local asociada a los movimientos de cadena a pequeña escala, pero están impedidos los movimientos a gran escala (flujo) por las restricción de una estructura reticular difusa
- c) **Viscoelasticidad**, en la que la deformación de la muestra de polímero es reversible pero depende del tiempo y está asociada (como la elasticidad en el caucho) con la distorsión de las cadenas de polímero a partir de sus conformaciones de equilibrio, por un movimiento activado de los segmentos que implican rotación alrededor de los enlaces químicos
- d) **Elasticidad de Hooke**, en la que el movimiento de los segmentos de la cadena esta drásticamente restringido y probablemente solo implica



alargamiento de los enlaces y deformación de los ángulos de enlace: el material se comporta como un cristal (Billmeyer F. W., 2004)

Cuando un material es extruido, moldeado, mezclado, almacenado, calentado, y enfriado son importantes las propiedades reológicas.

### **2.3.3. Equipos y Estudios Tecnológicos en Cauchos.**

Según (Caucho, 2014) menciona que durante la realización de las últimas Jornadas Latinoamericanas de Tecnología del Caucho, realizadas en Medellín y Buenos Aires, se ha tenido la posibilidad de observar la proliferación de un nuevo lenguaje tecnológico ya popularizado en revistas y artículos técnicos en otros idiomas.

Esta nueva forma de expresarse está relacionada al estudio reológico de cauchos, vulcanizados o crudos, y vinculados a estudios realizados con equipos RPA y similares.

Todo compuesto de caucho, crudo o vulcanizado presenta siempre un porcentaje de comportamiento elástico y otro porcentaje de comportamiento plástico. El significado de este punto se explicara a continuación.

Un compuesto vulcanizado siempre tendrá a mostrar una deformación permanente cuando es sometido a cualquier esfuerzo de tracción, compresión o corte. Los ejemplos más conocidos son deformación permanente por compresión o el simple marcado superficial por presión de una uña.

Un compuesto crudo siempre tendrá a mostrar un comportamiento parcialmente elástico, lo que puede observarse en las tensiones que se producen sobre las bandas de compuestos en molinos abiertos que, al ser cortadas, se retraen. Otro ejemplo habitual, donde se puede observar variaciones de valores elásticos y plásticos, está dado por las curvas de vulcanización donde se mide el valor de dichos componentes a medida que avanza la reacción química del compuesto, cuando se mide con un reómetro tipo Rotorless (por ejemplo MDR 2000, RPA etc.)

### 2.3.3.1. Evolución y principio de funcionamiento de Equipos tipo Rotorless

Una vez que se obtiene la muestra de caucho, una amplia variedad de pruebas pueden ser aplicadas. Algunas de estas pruebas incluyen:

#### 1) El Viscosímetro Mooney

ASTM 1646- En donde las pruebas viscosímetro Mooney fueron establecidas antes de 1930 para medir la viscosidad de caucho crudo, cargas mezcladas de compuestos de caucho, es comúnmente usado para medir el tiempo de quema. El Viscocímetro Mooney consiste en la rotación de un rotor incrustado dentado en una muestra de caucho, conteniendo un sellado, cavidad presurizada. La temperatura de la cavidad puede ser ajustada a un estándar de acuerdo con la ASTM 1646. El rotor gira a dos revoluciones por minuto ya que una mayor velocidad podría causar un calentamiento viscoso en los resultados.

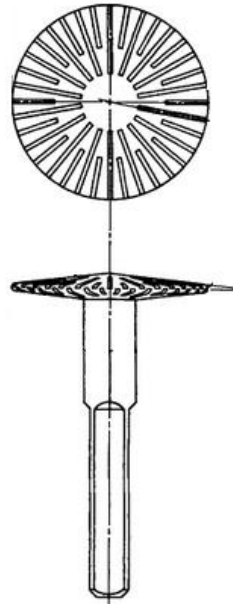
Este rotor se encuentra sellado de acuerdo con la norma ASTM para prevenir el deslizamiento entre el rotor y el caucho, ya que algún deslizamiento introduce un error y reduce la sensibilidad de este método. La norma permite el uso de un rotor grande o un rotor pequeño que puede ser usado en las pruebas del viscosímetro Mooney. El más comúnmente usado es el rotor grande, pero algunas veces el rotor pequeño puede ser usado para diferentes cauchos que son duros o tienen una alta viscosidad.

#### 2) *Oscillating Disc Curemeter*

ASTM D 2084- Es un instrumento comúnmente referido como Oscillating disk Rheometer o *ODR*. Este fue presentado en 1960 y dio una ventaja sobre el Viscosímetro Mooney porque este no solo puede medir el tiempo de quema y tiempo de curado de un compuesto de caucho, sino también puede medir el estado de cura. Esto es porque el ODR oscila un disco biconical como se muestra en la **Figura 14**.

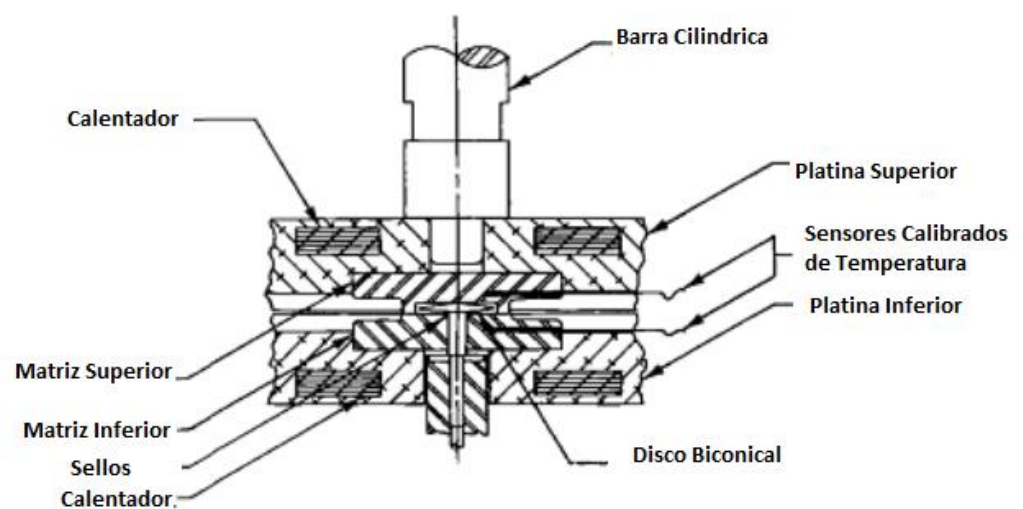


**Figura 14: Disco Biconical**  
**Fuente:** (Dick J. S., 2003)



Este especial disco es incrustado en una muestra de caucho cuando las matrices son cerradas al seleccionar la temperatura de cura como se muestra en la **Figura 15**.

**Figura 15: Disco especial incrustado en una muestra de caucho**  
**Fuente:** (Dick J. S., 2003)



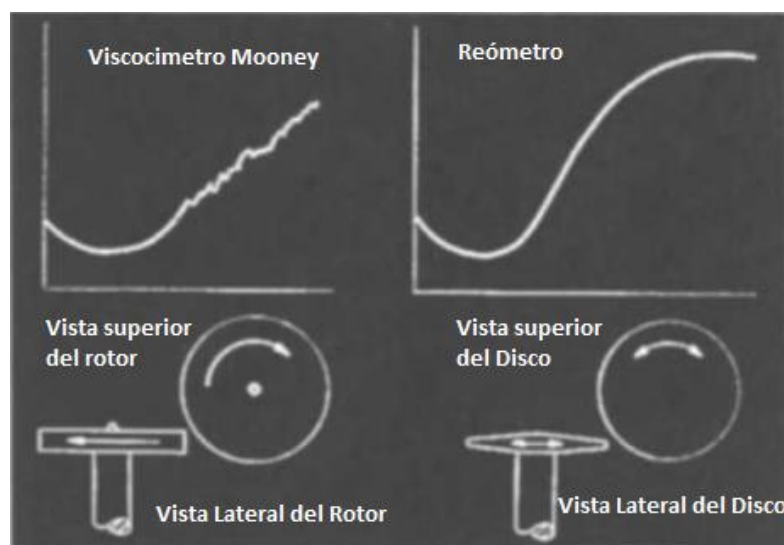


Este disco sinusoidal oscila atrás y adelante en  $\pm 1$  o  $\pm 3$  grado arco, esta es una diferencia del Viscosímetro Mooney con una rotación a velocidad constante en una sola dirección sin oscilar.

La diferencia de los resultados se puede ver en la siguiente **Figura 16**.

**Figura 16: Diferencia de resultados, y vista superior del rotor y disco de Viscosímetro Mooney y Reómetro.**

**Fuente:** (Dick J. S., 2003)



### 3) **Rotorless Curemeter**

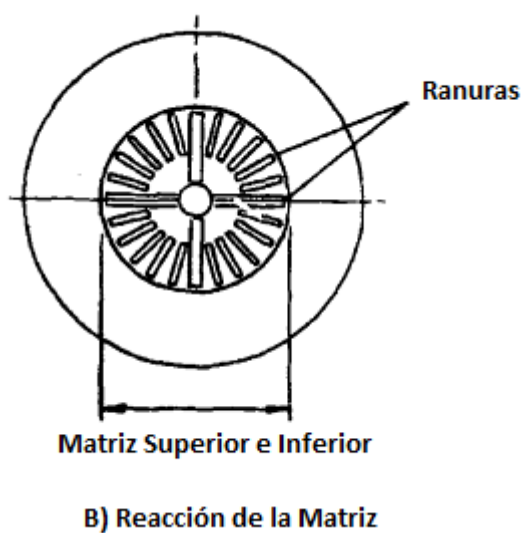
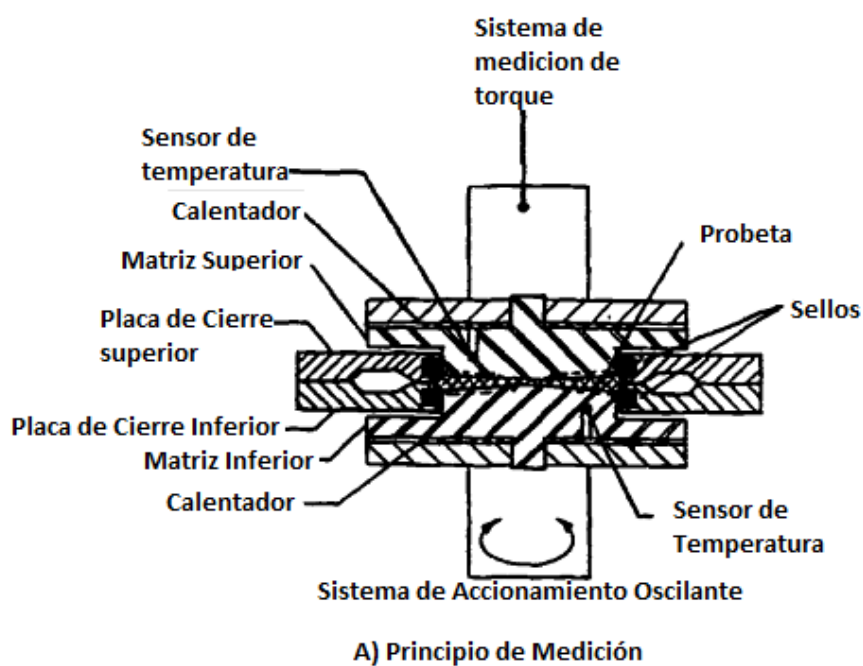
ASTM D 5289- En 1960 fue presentado e introducido en la industria del caucho. En el cual se eliminó el rotor del original *Curemeter* descrito en la ASTM D 2084 debido a que causaba muchos problemas, siendo el principal que no permitía una correcta distribución de calor a la muestra de caucho.

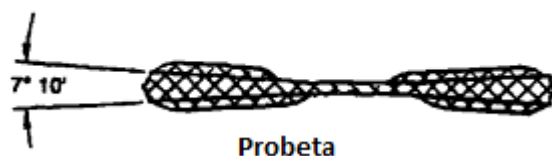
### 4) **Rotorless Shear Rheometer (RPA)**

ASTM D 6204- Este instrumento fue introducido en la industria en 1990 y es comúnmente conocido como RPA. Este instrumento fue una evolución del Rotorless Curemeter por lo cual este analizador de proceso de caucho usa el mismo diseño de matriz como se muestra en la siguiente **Figura 17**.

**Figura 17: A) Matriz de diseño de sellado, cizallamiento torsional de Rotorless Curemeter. B) Vista superior e inferior de la Reacción de la Matriz**

**Fuente: (Dick J. S., 2003)**





Lo que hace el RPA mecánicamente diferente al Rotorless Curemeter es un avanzado y especial motor giratorio que puede ser programado con varias frecuencias y torsiones en una oscilación sinusoidal de la matriz inferior que logra significativamente una mejor sensibilidad a los cambios actuales de las características de procesamiento para cauchos crudo y sus compuestos. (Dick J. S., 2003).

#### 2.3.4.RPA 2000

La sigla RPA se obtiene de la denominación genérica de estos equipos conocidos como *Rubber Process Analyzer*.

Debido al perfeccionamiento de la tecnología de los equipos para el análisis de caucho como se menciona en el apartado **2.3.3.1** se ha desarrollado el analizador de procesamiento de caucho RPA 2000 que es un equipo mecánico dinámico, para medir las propiedades dinámicas de polímeros, materias primas, compuestos no curados y curados. Es el primer instrumento capaz de medir los compuestos de caucho antes, durante y después del curado en una sola prueba es decir en las etapas más complejas del proceso. (Technologies, 2014). De los cuales hay alrededor de 10 fabricantes diferentes en el mundo. El avance tecnológico de este equipo permite que tan solo variando temperatura amplitud y velocidad de oscilación, y haciéndolas similares a las de cualquier etapa de proceso, podemos evaluar las condiciones Reológicas de un compuesto crudo o propiedades dinámicas de un compuesto mezclado. (Caucho, 2014). La fotografía del equipo se muestra en la **Figura 18**.

**Figura 18: Diseño del equipo RPA 2000**  
**Fuente: (AB, 2015)**



#### **2.3.4.1. Principio de Prueba del RPA 2000**

El principio de la prueba de este reómetro tipo Rotorless es Cizallamiento Oscilante y el método de prueba es la Deformación o Torsión. La torsión de una muestra por cizalladura se realiza haciendo oscilar la matriz inferior sinusoidal. La oscilación de frecuencia se puede ajustar desde 0.1 hasta 2000 ciclos por Minuto (cpm). La magnitud de movimiento de la matriz inferior, se puede ajustar por la oscilación angular de la matriz inferior o ser necesaria tensión en una muestra. La matriz inferior puede oscilar de  $\pm 0,05$  grados de arco a  $\pm 90$  grados de arco. Esta oscilación angular corresponde a torsiones de  $\pm 0,7\%$  a  $\pm 1,256\%$ . Prueba de una alta tensión es posible, porque el RPA 2000 utiliza un único sellado de la cavidad a presión para probar la muestra de caucho a una presión de 400 psi al menos.

La temperatura se puede ajustar de  $40^{\circ}$  a  $200^{\circ}\text{C}$  y caer rápidamente a una velocidad de  $1^{\circ}\text{C}$  por segundo por una función de enfriamiento de aire forzado. (Jhon S. Dick, 1997).

#### **2.3.4.2. Variables de Medición del RPA 2000**

El RPA está diseñado para medir las propiedades tanto elásticas y viscosas de elastómeros y compuestos. Estos cálculos se realizan automáticamente por el sistema informático a partir de los valores de torque complejo y tangente delta ( $\tan\delta$ ), obteniendo una serie de valores derivados, que son

usados para la evaluación de los compuestos como puede observarse en el **Cuadro 3**.

**Cuadro 3: Fórmulas para el cálculo de las diferentes variables del RPA 2000.**

**Fuente:** (Caucho, 2014)

Valores originales del equipo: $S^*$ (torque complejo) - $\delta$ (ángulo)			
Símbolo	Denominación	Formula	Observaciones
$S^*$	Torque de Torsion		
$S'$	Torque elástico	$S' = S^* \cos \delta$	
$S''$	Torque plástico	$S'' = S^* \sin \delta$	
$G'$	Módulo elástico	$G' = KS' / \epsilon\%$	Módulo Elástico de corte, o de acumulación de energía
$G''$	Módulo viscoso	$G'' = kS'' / \epsilon\%$	Módulo de pérdida o viscoso
$G^*$	Módulo complejo	$G^* = kS^* / \epsilon\%$	Módulo real de los compuestos crudos, con el cual pelean las máquinas durante proceso
$\tan \delta$	Tangente $\delta$	$\tan \delta = S'' / S' = G'' / G'$	
$\eta$	Viscosidad= Tensión de corte / Velocidad de corte		
$\eta'$	Viscosidad pura	$\eta' = G'' / \omega$	Término teórico
$\eta^*$	Viscosidad compleja	$\eta^* = G^* / \omega$	Viscosidad real de los compuestos crudos, medida en este tipo de equipo

Donde:

- $\epsilon\%$  = elongación o estiramiento porcentual de la mezcla.
- $\omega = 2\pi f$

Donde:

$f$  = frecuencia de oscilación de RPA

La definición y características de estas variables se presentan a continuación:

#### 2.3.4.2.1. Torque de Torsión ( $S^*$ )

La matriz superior está unido a un transductor de torque para eliminar el ruido de la unidad de sistema de matriz inferior y para medir el torque de torsión transmitido a través de la muestra. Este torque es llamado  $S^*$  y no es en fase



con la tensión aplicada debido a la naturaleza viscoelástica del caucho. La señal de torque  $S^*$  se reduce por el ordenador RPA 2000 mediante la aplicación de una transformada de Fourier.

#### **2.3.4.2.1.1. Torque elástico ( $S'$ )**

Este torque elástico se denomina como ( $S'$ ) y se refiere a la calidad pura elástica del caucho. Esta es la respuesta de torque que es precisamente en fase con la tensión aplicada, se trata de la misma calidad que un resorte muestra.

- Formación de reticulaciones de proceso de vulcanización hace que  $S'$  suba.
- Aumentar entrecruzamientos de cadena causa que  $S'$  se eleve para el caucho sin curar.
- Esta calidad puede referirse a resistencia reticular en el procesamiento de caucho.

#### **2.3.4.2.1.2. Torque de viscosidad ( $S''$ )**

Este torque de viscosidad se denomina como ( $S''$ ) que está relacionada con la calidad viscosa pura del caucho. Esta es la respuesta de torque que está respondiendo a la tasa de cambio de la tensión aplicada es precisamente  $90^\circ$  en fase con la tensión aplicada y se utiliza para el cálculo de la viscosidad dinámica real.

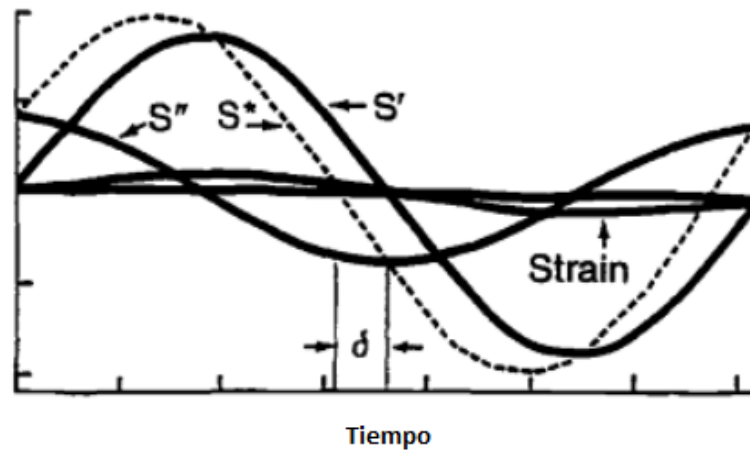
Existen ciertas características del caucho que provocan la variación en esta variable las cuales son:

- Relacionado a las características de flujo puros del caucho.
- Disminuye con una frecuencia menor o mayor temperatura

La transformada de Fourier también mejora la relación señal a ruido de la prueba.  $S^*$ ,  $S'$  y  $S''$  como se muestra en la **Figura 19**.

**Figura 19: Aplicación de la deformación sinusoidal es un método eficaz para separar torque  $S^*$  en componentes viscosos y elásticos.**

**Fuente:** (Jhon S. Dick, 1997)



#### 2.3.4.2.2. Tangente Delta (Tan $\delta$ ).

El caucho tiene ambas cualidades elásticas y viscosas si se trata de curar o curados por lo que esta variable es simplemente la relación de la calidad viscoso dividido por la calidad elástica, dado que es una relación, es un parámetro sin dimensiones. Dicho de otra forma este factor indica la capacidad de amortiguamiento del material.

Existen ciertas características del caucho que provocan la variación en este parámetro las cuales son:

- La Proporción de un compuesto de caucho es siempre relativamente alto en el estado no curado y baja en el estado curado.
- Esta Relación se refiere a la capacidad de procesamiento de caucho en el estado no curado
- Este cociente se refiere a la acumulación de calor (histéresis) e inversamente relacionada con el rebote (resistencia) de caucho en el estado curado.

Tan  $\delta$  se calcula a partir de ( $S''/ S'$ ). Los valores de torque ( $S$ ) se convierten directamente en el módulo de cizalla ( $G$ ). Este procedimiento proporciona el



módulo de almacenamiento  $G'$  y el módulo de pérdida  $G''$ , estos módulos se los llama módulos dinámicos

#### **2.3.4.2.3. Módulos dinámicos**

##### **2.3.4.2.3.1. Módulo complejo ( $G^*$ ).**

Mide la resistencia del material a la deformación.

##### **2.3.4.2.3.2. Módulo Elástico (Almacenamiento) ( $G'$ ).**

Mide la elasticidad del material, la habilidad del material a guardar energía, es la parte real del módulo complejo. Dicho de otra forma, el módulo mide la rigidez del material, entre mayor sea el modulo, mas rígido es el material

##### **2.3.4.2.3.3. Módulo de Viscosidad (Pérdida) ( $G''$ ).**

Es la parte imaginaria del módulo complejo y mide la habilidad del material a disipar energía, energía perdida como calor.

Además también se realizan cálculos de viscosidad dinámica

#### **2.3.4.2.4. Viscosidad dinámica.**

##### **2.3.4.2.4.1. Viscosidad dinámica compleja $\eta^*$ .**

Es la expresión matemática de la viscosidad como la suma de una parte real y otra imaginaria.

##### **2.3.4.2.4.2. Viscosidad dinámica real $\eta'$ .**

Se calcula dividiendo el módulo de pérdida  $G''$  por la frecuencia aplicada en radianes por segundo.

##### **2.3.4.2.4.3. Viscosidad Imaginaria $\eta''$ .**

Está relacionada con la parte real del módulo complejo. (Jhon S. Dick, 1997)





### **2.3.4.3. Selección de Condiciones de Prueba del RPA para las Pruebas de Caucho**

Al establecer nuevas pruebas de RPA, ya sea para un caucho crudo o compuesto de caucho mezclado, la selección apropiada de temperatura, frecuencia y deformación es muy importante, ya que determina la eficacia de las medidas reológicas del equipo. Una correcta selección de las condiciones de prueba mejorará enormemente la sensibilidad de la prueba. (Dick J. S., 2012)

Estos valores deben representar aproximadamente las condiciones de operación en que el compuesto se encuentre en determinada etapa del proceso. O pueden tomarse valores bajo un rango de condiciones, para lo cual en general se utilizan:

- a) Barrido de Temperatura: Para una frecuencia y amplitud fijas, se varían la temperatura y se toman mediciones a intervalos de temperatura determinados
- b) Barridos de Frecuencia: Para una temperatura y amplitud fijas, se varían la frecuencia de oscilación y se toman mediciones a intervalos de frecuencia determinados
- c) Barridos de Amplitud: Para una temperatura y frecuencia fijas, se varían la amplitud de oscilación y se toman mediciones a intervalos de amplitud determinados.

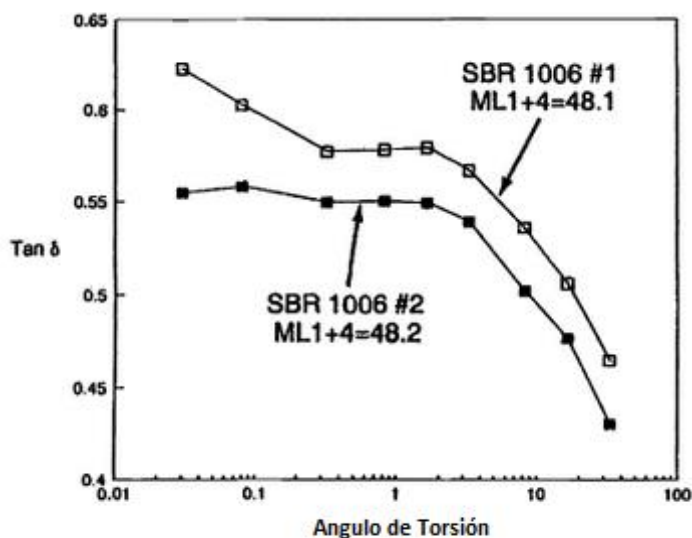
Estos barridos nos permiten determinar las características del compuesto bajo un rango de condiciones de trabajo determinado. (Caucho, 2014)

El RPA está programado con la configuración de prueba apropiada para materias primas específicas y compuestos de caucho.

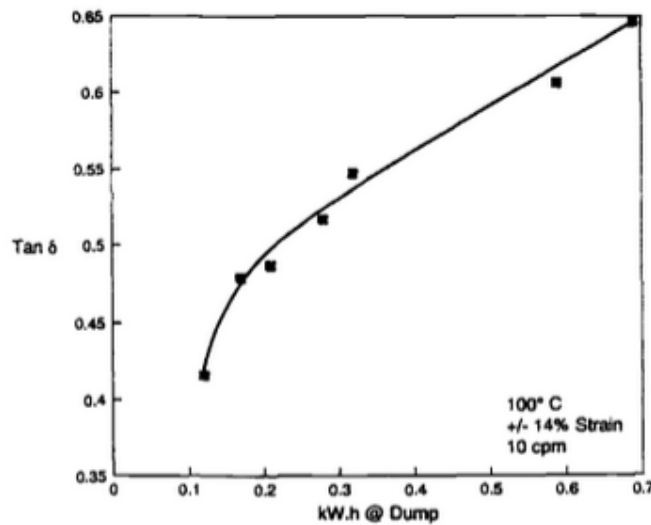
El tiempo de la etapa varía dependiendo del caucho específico. Por ejemplo, el caucho natural crudo requiere un tiempo de acondicionamiento más largo que algunos de los otros cauchos sintéticos, ya que normalmente tiene más elasticidad (resistencia reticular). Además, la condición de temperatura varía en función del elastómero que se está probando.

El RPA es una prueba más avanzada que el Viscosímetro Mooney. Hay muchos ejemplos en los que dos fuentes o lotes del mismo caucho natural o sintético tendrán el mismo valor de Viscosidad Mooney pero proceso muy diferente. Esta diferencia podría estar en la velocidad en la que el polímero ocupa la carga durante la mezcla. También podría ser en la calidad resultante de la mezcla y cómo estos lotes son extruidos, moldeados etc. **Figura 20** muestra esta situación en la que dos fuentes distintas de caucho estireno-butadieno (SBR 1006) tienen casi exactamente el mismo mooney pero significativamente diferentes perfiles viscoelásticos a partir de los datos del RPA que se muestran a continuación.

**Figura 20: Dos fuentes de SBR 1006 con diferentes perfiles viscoelásticos.**  
**Fuente:** (Dick J. S., 2003)



También la RPA se utiliza comúnmente para determinar el estado de mezcla de un mezclador interno, como se muestra en la **Figura 21**.

**Figura 21: RPA determinando el estado de la mezcla.****Fuente:** (Dick J. S., 2003)

Frecuentemente, la respuesta elástica ( $S'$  o  $G'$ ), o de la tangente  $\delta$ , se utiliza para controlar la calidad de la mezcla de un mezclador interno. Generalmente, cuanto más trabajo se dé a un compuesto de caucho, la elasticidad resultante ( $G'$ ) será menor y por lo general la tangente resultante sin curar es mayor. En general, si un compuesto de caucho ha tenido más trabajo, la dispersión de la carga resultante probablemente será mayor con una calidad de mezcla mejor. La mayor sensibilidad de este tipo de pruebas ha llevado a su mayor uso como una prueba de mejor procesabilidad para asegurar la calidad de materias primas, así como de compuestos mezclados

## CAPITULO 3

### 3. PARTE EXPERIMENTAL

El laboratorio Físico – Químico cuenta con equipos de tecnología avanzada entre los que se puede mencionar Viscosímetro Mooney, Reómetros, RPA 2000.

**Figura 22.**

**Figura 22: Laboratorio Físico- Químico (reómetros).**

**Fuente: Cesar Vargas**



El objetivo del Área de laboratorio es la aprobación de mezclas primarios y mezclas finales, cementos, pliegos de tejidos del área de calandrias, para la siguiente fase de producción. Actualmente las mezclas primarios se liberan con la prueba de viscosidad en el viscosímetro Mooney.

#### 3.1. Materiales y Métodos.

##### 3.1.1. Formulación general de los compuestos primarios

Los compuestos que serán analizados y estudiados han sido requeridos y seleccionados por la empresa, los cuales son presentados a continuación en el **Cuadro. 4.**

**Cuadro 4: Compuestos primarios en estudio.***Fuente: Continental Tire Andina.*

COMPUESTOS PRIMARIOS
ALPHA
BETA
GAMMA
DELTA

A continuación en la **Cuadro 5** tenemos la formulación general de compuestos primarios en estudio del Mixer 3 y Mixer 4.

**Cuadro 5: Formulación de compuestos primarios Mixer 3 / Mixer 4.***Fuente: Continental Tire Andina S.A.***MIX 3 / MIX 4**

ALFA	
MATERIA PRIMA	%
Caucho natural	84
Pigmentos	4
Negro de humo	12
Total	100

BETA	
MATERIA PRIMA	%
Caucho natural	82
Pigmentos	6
Negro de humo	12
Total	100

GAMA	
MATERIA PRIMA	%
Caucho sintético	45
Pigmentos	21
Negro de humo	34
Total	100

DELTA	
MATERIA PRIMA	%
Caucho natural	18
Caucho sintético	44
Pigmentos	14
Negro de humo	24
Total	100

En el **Cuadro 6** podemos observar las viscosidades Mooney que se tomaron para los compuesto Alfa, Beta, Gamma y Delta en estudio, en la que se corrobora la similitud de viscosidad Mooney en los dos mixer en estudio, sin embargo en el

capítulo siguiente se comprobará que los perfiles viscoelásticas son diferentes mediante los análisis en el equipo RPA 2000.

**Cuadro 6: Viscosidades Mooney para los compuestos Alpha, Beta, Gamma y Delta de los Mixer 3 y Mixer 4.**

**Fuente: Continental Tire Andina**

VISCOCIDADES MOONEY (MU)		
Compuesto	MIXER 3	MIXER 4
ALFA	96,2250	94,4625
BETA	71,6962	71,9440
GAMMA	68,0813	67,7615
DELTA	56,0188	56,7273

El viscosímetro mide la viscosidad de un fluido en un rango de velocidad limitado de torsión, el reómetro mide la viscosidad sobre un amplio rango de velocidad de torsión y mide las propiedades viscoelásticas aparentes de la estructura molecular de materiales (fluidos, semisólidos y sólidos) en un amplio rango de condiciones de testeo. El comportamiento aparente puede ser usado como una huella digital del material.

### **3.1.2. Análisis de los compuestos primarios con el RPA 2000.**

Las condiciones establecidas para este estudio se han obtenido bajo los siguientes parámetros de análisis, los cuales han sido configurados según las recomendaciones de la casa constructora.

- Temperatura: 70° C
- Frecuencia: 1 Hz
- Barrido de Longitud: 14 [ ].
- Tiempo Aproximado de Análisis: 5 minutos.

Con respecto al barrido de longitud en las pruebas, hace referencia a las mediciones realizadas por el equipo a diferentes longitudes, es decir a diferente

% de ángulo de Strain o Torsión (0.280%, 0.420%, 0.700%, 1%, 1.530%, 2.510%, 4%, 7%, 10%, 15%, 25%, 40%, 70% y 100%), utilizado este método de barrido ya que se trata para procesos de mezcla que se utiliza para valorar la dispersión, optimización de tiempos de ciclo, mejorar eficiencia y reducir *scrap* o *desperdicio*. Diferenciándose de barrido de tiempo usado en procesos de cura y barrido de frecuencia para moldeo por inyección. Por lo tanto la respuesta del material a un incremento de la amplitud de deformación es monitoreada a una frecuencia y temperatura constante.

### 3.1.3. Muestreo

Después del proceso de masticación y mezclado en el Mixer, las láminas de caucho se colocan en pallets de metal como se muestran en la **Figura 23**.

**Figura 23: Plataforma con cargas de caucho.**  
**Fuente: Continental Tire Andina**



Se considera como una carga aproximadamente una cuarta de mano, por lo tanto cada plataforma tendrá entre 6 a 7 cargas de caucho. Para el estudio se tomará 3 muestras por plataforma de cada compuesto (carga 1, 4, y 7), las mismas que tendrán un peso individual de  $5 \pm 1\text{g}$ .

Cada compuesto se elabora según la necesidad de la empresa estableciendo un programa de producción en cada turno.



- Turno 1: 6h00 a 14h00
- Turno 2: 14h00 a 22h00
- Turno 3: 22h00 a 6h00

La elaboración de los compuestos en estudio no tiene una elaboración diaria ni en un turno fijo, por lo que su elaboración puede ser en cualquiera de los turnos, por lo que según los historiales de producción se aproximó a un valor total de población de 200 cargas por semana para cada compuesto. Dicho esto, el cálculo del tamaño de la muestra para una población de 200 cargas se presenta a continuación aplicando la **(Eq. 1)**.

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot q}{d^2 \cdot (N-1) + Z^2 \cdot p \cdot q} \quad (\text{Eq.1})$$

Donde:

N=Total de la Población

Z=Porcentaje de Confianza

p=Proporción esperada

q=1-p

d=Precisión o Error

Se tomó a consideración Z=95% que es igual a 1.96, dato que es comúnmente utilizado en cálculos de tamaño de muestra, se tomó un p=5% ya que los datos no son muy heterogéneos por lo que justifica esta proporción, y un margen de error o precisión aceptada d=5%. Por lo que el cálculo sería de la siguiente forma:

$$n = \frac{200 \cdot (1.96)^2 \cdot (0.05) \cdot (1-0.05)}{(0.05)^2 \cdot (200-1) + (1.96)^2 \cdot (0.05) \cdot (1-0.05)} = 53 \text{ muestras}$$

El resultado obtenido del tamaño muestral es de 53 cargas, pero para incrementar el nivel de confianza de los datos se aproximara a una cantidad de 60 cargas por compuesto, siendo además favorable para estandarizar los compuestos en el RPA 2000, ya que el programa incluido en el ordenador del





mismo, exige un mínimo de 10 cargas para el cálculo de límites, satisfaciendo la necesidad del equipo para este propósito.

De esta manera a continuación en el **Cuadro 7** se presenta un resumen de los muestreos realizados para cada compuesto, añadiendo los turnos en los que se realizaron y ciertas observaciones importantes para su posterior análisis.

**Cuadro 7: Cuadro de muestreos realizados para los compuestos primarios en estudio.**

**Fuente:** Autores

COMPUESTO	MUESTRAS			OBSERVACIONES
	TURNO 1	TURNO 2	TURNO 3	
ALPHA		1-30	31-60	Los dos muestreos se realizaron en diferentes días
BETA			1-20	Los muestreos se realizaron en diferentes días, siendo las cargas 21-50 y 51-60 tomadas en un mismo día pero en diferente turno
		21-50	51-60	
GAMA	1-30		31-60	Los dos muestreos se realizaron en diferentes días
DELTA	1-20	21-50 51-60		Los tres muestreos se realizaron en diferentes días

### 3.1.4. Cálculo de Límites de Control.

Dado a que el proceso de elaboración de compuestos primarios de caucho se realiza de manera lenta, no masiva, es decir se trabaja por lotes, el uso cartas de individuales es óptimo para este estudio.

Para el cálculo de los límites de acción y límites de tolerancia nos hemos basado en los requerimientos de la empresa, los cuales son:

- Límites de Acción:  $x \pm 2\sigma$
- Límites de Tolerancia:  $x \pm 3\sigma$

De esta manera los límites de control coinciden con los límites reales que requieren la elaboración de estas cartas, facilitando los cálculos y el estudio.



#### 3.1.4.1. Cálculo del Límite Central $x$

Para calcular el Límite central para  $G'$  y  $G''$ , se ha tomado los valores de la media aritmética usados para graficar las curvas patrón respectivamente.

#### 3.1.4.2. Cálculo de la Desviación Estándar $\sigma$

Se ha realizado el Cálculo de la Desviación estándar de la misma manera que se ha realizado el cálculo de la media aritmética, es decir la desviación estándar de los 60 Batches respectivamente para cada % de ángulo de Torsión.

### 3.2. Resultados y Discusión.

#### 3.2.1. Resultados de las pruebas realizadas en RPA 2000 del compuesto ALPHA del Mixer 3 y Mixer 4.

Los resultados presentados en los cuadros a continuación se han obtenido del ordenador del RPA, por lo cual se ha clasificado respectivamente para cada compuesto primario en:

- Resultados para  $G'$
- Resultados para  $G''$

El parámetro  $G'$  se toma a consideración ya que este se ve influenciado directamente sobre la calidad de mezclado, mientras  $G''$  permite conocer los enlaces perdidos caucho-negro de humo durante el mezclado, por lo tanto con estas dos variables permite el cálculo del parámetro  $\tan \delta$  según su necesidad.

Los resultados se presentan a continuación para el compuesto Alpha del Mixer 3 **Cuadros (8- 9)** y para Mixer 4 **Cuadros (10-11)**.



**Cuadro 8: Resultados del Analisis de RPA para la variable G' del compuesto Alpha Mixer 3**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**

VARIABLE	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa
BATCH 1	294,52	286,72	299,05	301,79	300,27	299,09	295,48	287,8	281,87	272,96	257,21	235,56	193,54	159,26
BATCH 2	257,18	274,51	273,46	274,19	276,63	272,86	272,62	268,26	263,67	257,03	245,48	228,44	192,75	160,42
BATCH 3	260,15	254,47	260,36	260,88	266,74	266,71	264,49	259,86	255,99	249,98	238,71	222,03	187,42	156,23
BATCH 4	241,08	264,02	266,74	270,73	271,4	270,55	268,37	263,93	259,45	253,66	242,21	225,43	190,24	158,77
BATCH 5	252,95	259,69	268,25	266,84	271,47	270,47	269,77	264,9	260,73	254,94	243,34	226,26	190,78	158,91
BATCH 6	249,56	261,25	261,89	264,44	266,37	266,53	265,36	260,14	256,01	250,62	239,59	223,16	189,16	157,27
BATCH 7	247,59	238,82	253,67	261,91	261,13	260,48	259,95	255,53	251,03	245,37	234,64	218,29	184,65	154,55
BATCH 8	264,39	254,47	267,06	275,11	275,24	272,52	272,24	267,52	262,7	256,67	245,06	227,9	192,12	159,87
BATCH 9	263,44	267,1	266,74	271,54	272,09	270,98	269,64	265,3	261,12	254,6	242,89	225,84	190,17	158,25
BATCH 10	236,02	240,79	249,11	250,86	254,21	252,67	252,24	248,66	244,51	239,06	228,62	212,57	179,55	149,95
BATCH 11	248,45	254,2	262,89	268,99	267,69	267,82	266,51	262,53	258,48	252,66	241	223,66	188,58	156,95
BATCH 12	241,08	252	252,93	260,88	262,52	262,15	261,91	257,74	253,91	248,22	237,75	220,98	185,96	153,45
BATCH 13	248,45	259,41	265,72	268,78	269,1	270,17	268,29	264,06	260,08	254,16	242,98	225,66	189,39	155,64
BATCH 14	263,44	272,59	270,77	273,78	277,88	276,15	274,88	269,38	265,57	258,88	247,37	230,11	194,03	161,49
BATCH 15	213,97	213,84	231,34	232,76	235,97	237,17	235,01	233,7	230,06	225,46	215,54	200,78	168,51	138,91
BATCH 16	247,59	267,1	264,05	268,99	272,58	270,26	269,95	265,59	261,31	254,67	243,36	226,02	190,71	158,91
BATCH 17	251,87	264,63	265,72	271,85	273,84	272,26	271,28	267,28	262,7	256,57	244,87	227,63	191,45	159,32
BATCH 18	225,41	246,78	249,11	256,11	257,66	255,74	255,52	251,81	248,1	242,82	231,97	215,34	180,68	150,74
BATCH 19	256,76	262,16	264,71	268,19	268,88	267,48	267,45	262,63	258,08	252,08	240,76	223,45	187,87	156,45
BATCH 20	241,51	255,42	258,32	253,47	257,52	259,61	257,48	253,11	249,82	243,95	233,47	216,67	181,14	148,39
BATCH 21	245,32	241,29	249,68	254,39	254,98	254,35	253,52	249,05	245,1	239,5	228,94	212,75	179,28	149,67
BATCH 22	245,32	259,69	260,02	261,56	265,6	264,31	263,1	258,12	254,44	248,89	237,76	220,76	185,18	153,57
BATCH 23	221,03	226,19	234,18	235,41	236,18	238,67	237,14	234,1	231,06	226,24	216,7	201,73	169,94	140,41
BATCH 24	245,32	249,25	252,92	254,29	257,59	257,71	256,73	252,99	249,38	244,17	233,4	216,84	182,03	150,3
BATCH 25	243,73	251,72	251,95	258,04	259,1	258,38	258,06	253,66	250,02	244,56	233,62	216,86	181,78	150,75
BATCH 26	236,02	246,51	254,27	255,2	258,22	257,85	256,25	251,97	248,63	243,33	232,5	216,46	182,48	152,42
BATCH 27	259,58	256,94	269,74	269,6	273,7	271,29	271,03	266,79	262,34	255,99	244,73	227,31	191,79	160,01
BATCH 28	244,47	259,69	262,89	260,88	264,34	263,39	262,67	257,85	254,36	248,33	237,11	220,4	185,62	155,01
BATCH 29	241,51	252	255,01	262,48	260,17	259	258,24	253,53	249,61	243,82	232,93	216,06	181,43	151,73
BATCH 30	228,8	252,69	256,35	258,04	261,52	259,51	259,53	255,38	251,74	245,95	235,35	218,7	184,06	152,87
BATCH 31	280,08	276,3	290,29	288,35	286,57	286,75	282,98	275,46	269,4	260,71	245,99	226,22	187,65	154,32
BATCH 32	256,76	264,96	269,43	275,41	273,7	274,14	272,73	267,69	263,34	257,39	245,99	228,39	192,26	159,19
BATCH 33	279,68	290,74	300,03	299,53	300,11	297,41	292,14	283,25	276,8	267,04	251,67	231,28	191,42	157,78
BATCH 34	252,3	260,05	267,06	268,08	268,76	270,17	268,19	262,62	258,98	252,74	241,6	224,81	190,02	157,18
BATCH 35	242,54	241,84	253,52	255,2	257,2	257,32	256,25	252,55	248,98	243,31	232,54	216,09	181,68	150,94
BATCH 36	243,73	262,78	265,39	269,42	272,38	271,75	269,77	264,16	260,12	254,07	242,59	225,53	189,93	158,21
BATCH 37	276,25	279,95	278,69	283,29	282,33	281,22	279,2	274,58	269,94	263,51	251,39	233,51	197,04	163,66
BATCH 38	241,08	244,31	250,84	252,1	256,57	256,23	254,31	250,34	246,61	241,25	230,73	214,52	181,15	151,15
BATCH 39	218,2	239,88	237,59	245,49	246,46	248,8	247,77	244,21	240,98	235,73	226,06	210,5	177,95	148,11
BATCH 40	240,73	247,51	253,89	253,62	254,55	255,12	253,51	250,7	246,68	241,54	231,18	215,25	181,73	151,74
BATCH 41	284,38	275,57	285,71	287,95	289,41	290,38	287,18	280,39	274,59	266,91	253,23	234,02	195,95	161,76
BATCH 42	268,63	259,15	269,11	269,38	270,33	270,08	269,77	264,08	258,97	251,52	238,43	218,99	180,87	147,66
BATCH 43	269,51	267,68	273,01	281,74	284,26	284,01	281,6	276,05	271,06	263,34	249,1	228,36	187,12	152,47
BATCH 44	284,6	287,31	291,61	293,99	294,35	295,85	291,65	285,64	280,43	272,88	258,58	238,03	197,42	161,44
BATCH 45	268,2	270,14	274,65	279,8	280,95	279,68	277,22	270,4	265,27	257,14	242,95	222,44	182,68	150,36
BATCH 46	265,32	265,23	268,56	273,07	275,39	274,66	273,16	266,75	261,8	254,36	241,17	222,96	186,52	153,13
BATCH 47	286,29	268,26	280,03	281,64	284,94	284,09	282,57	277,13	271,79	264,17	249,96	230,01	191,72	159,48
BATCH 48	226,25	234,7	244,15	251,84	252,63	253,22	251,73	246,96	242,83	236,61	224,74	207,66	173,56	143,69
BATCH 49	241,51	255,14	256,35	263,4	264,1	265,03	264,03	258,64	254,39	247,31	234,67	215,84	179,18	148,2
BATCH 50	272,01	272,59	274,05	275,11	277,36	278,91	273,96	268,65	263,55	255,52	241,24	220,26	179,87	147,49
BATCH 51	265,32	289,76	288,54	289,45	291,62	290,77	289,37	282,35	276,38	268,87	254,51	234,75	195,91	161,82
BATCH 52	262,9	253,64	261,7	266,74	271,04	269,99	266,97	262,14	257,38	250,14	237,54	220,14	184,9	152,14
BATCH 53	265,32	278,51	280,75	287,46	288,81	289,12	286,3	279,57	274,82	266,82	253,03	233,03	193,86	159,24
BATCH 54	289,07	282,4	285,56	291,28	293,27	294,18	290,63	284,04	278,39	270,35	256,09	236,03	195,5	160,2
BATCH 55	293,01	277,5	279,95	286,54	285,2	288,73	284,1	278,91	273,72	265,73	251,1	229,69	189	155,65
BATCH 56	279,72	277,5	280,75	288,21	285,65	288,8	285,22	279,2	274,08	266,33	251,69	231,1	191,39	157,47
BATCH 57	267,29	256,08	264,05	266,74	268,85	268,7	267,05	261,22	256,79	249,38	235,45	215,53	177,19	145,19
BATCH 58	255,1	245,06	253,67	255,62	258,65	259,21	257,09	253,15	249,15	241,83	228,57	208,62	170,31	140,04
BATCH 59	260,01	267,68	269,43	275,11	274,98	273,81	271,71	266,63	261,94	254,64	241,5	223,29	186,83	154,5
BATCH 60	269,36	262,78	277,77	283,68	283,07	282,97	280,07	275,31	270,66	263,24	249,28	229,41	191,11	157,72

**Cuadro 9: Resultados del Analisis de RPA para la variable G'' del compuesto ALPHA Mixer 3**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**



VARIABLE	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa
BATCH 1	14,92	42,45	51,01	53,34	57,87	61,23	63,21	63,82	64,78	64,64	64,46	64,65	65,68	62,97
BATCH 2	25	39,8	50,63	57,04	56,72	61,53	61,94	63,31	64,09	64,51	64,03	64,08	64,78	63
BATCH 3	36,44	27,45	50,29	53,8	55,2	57,55	60,09	61,28	62,32	62,66	62,67	62,83	63,78	61,93
BATCH 4	40,25	45,06	49,43	54,86	57,28	60,31	60,08	62,01	63,04	62,89	63,05	63,08	63,93	62,13
BATCH 5	32,62	39,8	51,78	56,02	57,91	60,76	61,12	63,17	62,97	63,42	63,33	63,52	64,43	62,59
BATCH 6	21,18	40,09	50,24	54,71	55,4	59,95	59,81	60,99	61,72	62,39	62,04	62,09	62,73	61,35
BATCH 7	29,13	39,8	51,63	53,3	57,91	58,62	58,78	61,33	61,73	61,91	61,75	61,94	63,16	61,4
BATCH 8	47,88	52,16	53,26	57,04	59,17	60,31	61,64	63,46	63,69	64,12	63,69	63,81	64,76	62,97
BATCH 9	32,98	42,27	47,94	56,02	57,91	60,63	61,76	63	63,29	63,88	63,91	63,95	65,11	63,23
BATCH 10	29,13	42,57	50,33	46,76	56,65	57,34	57,72	60,46	60,6	60,7	60,99	61,13	61,97	60,12
BATCH 11	21,42	39,8	53,26	56,79	56,65	60,31	61,65	62,14	63,23	63,61	63,56	64,26	64,86	62,74
BATCH 12	21,18	37,33	48,58	51,16	54,14	58,19	57,3	60,25	61,21	61,61	61,5	61,73	62,29	60,66
BATCH 13	17,56	39,8	51,78	49,59	57,7	59,92	60,37	62,46	62,65	63,36	62,94	63,13	63,47	61,86
BATCH 14	36,84	39,53	51,97	55,83	59,27	62,63	62,48	64,08	65,04	65,21	64,64	64,87	66,18	64,36
BATCH 15	36,44	34,04	45,85	48,85	50,56	53,92	54,49	56,81	57,73	58,21	58,16	58,35	58,95	57,53
BATCH 16	32,98	32,39	53,47	54,04	59,8	61,4	62,13	63,6	64,48	64,39	64,08	64,2	64,95	62,99
BATCH 17	40,69	34,86	49,1	54,92	58,02	61,01	63,58	63,97	64,48	64,36	64,49	64,69	66,23	64,18
BATCH 18	36,44	34,86	46,15	53,9	55,93	57,72	58,66	60,73	61,93	62,06	61,95	62,54	63,9	61,92
BATCH 19	28,81	27,45	51,73	55,83	58,54	60,24	60,92	62,74	62,73	63,49	63,49	63,77	65,01	62,92
BATCH 20	21,18	41,98	43,78	52,89	56,55	57,06	59,2	61,35	61,58	61,95	61,86	61,95	62,41	60,79
BATCH 21	25	32,39	52,07	51,06	54,77	56,85	59,24	60,34	61,61	61,64	61,52	61,79	62,76	60,79
BATCH 22	25	37,33	52,27	52,21	56,65	58,3	59,08	60,83	61,79	62,02	62,02	62,44	63,39	61,61
BATCH 23	29,13	32,12	47,56	47,94	52,34	54,32	55,5	57,73	58,69	59,03	58,91	59	59,3	57,84
BATCH 24	40,25	32,39	49,32	51,06	55,93	57,77	58,66	59,94	60,83	61,24	61,06	61,24	61,89	60,25
BATCH 25	36,84	47,22	50,48	52,89	58,23	58,02	59,01	61,79	61,68	62,17	62,18	62,25	63,01	61,17
BATCH 26	29,13	42,27	47,98	52,99	56,55	58,09	58,17	59,97	61,47	61,73	61,38	62,1	63,51	61,62
BATCH 27	36,84	52,16	43,44	56,94	58,4	60,88	62,07	63,42	64,22	64,32	64,13	64,31	65,43	63,54
BATCH 28	32,62	32,39	53,11	56,74	56,03	58,13	60,3	61,47	62,05	62,54	62,4	62,66	64,09	62,16
BATCH 29	17,37	32,39	54,6	54,96	56,55	58,09	59,92	61,03	61,9	62,15	62,08	62,53	64,39	62,49
BATCH 30	36,44	37,07	51,78	53,9	55,83	58,81	59,14	61,01	61,65	62,09	61,99	62,06	62,76	60,91
BATCH 31	45,24	41,85	52,13	58,16	60,11	61,8	63,49	64,16	64,63	64,84	64,12	63,57	64,12	61,96
BATCH 32	40,25	41,98	49,29	54,15	58,33	59,54	60,67	63,18	63,42	63,54	63,52	63,63	64,28	62,5
BATCH 33	32,16	45,43	56,78	57,14	61,24	64,73	65,97	66,33	67,15	66,92	65,64	64,97	65,97	63,72
BATCH 34	32,98	41,98	49,1	52,21	56,98	59,54	60,79	61,83	62,51	62,63	62,61	62,7	63,05	61,46
BATCH 35	33,35	39,53	50,14	51,16	53,32	58,88	58,69	59,9	61,16	61,39	61,28	61,57	62,58	60,83
BATCH 36	48,4	34,62	46,45	53,86	57,77	61,46	61,09	63,59	63,86	64,07	64,03	64,02	65,09	63,17
BATCH 37	25	41,98	59,14	58,52	60,56	65	63,1	65,29	66,19	66,09	65,69	65,52	66	64,2
BATCH 38	25	42	48,8	51,19	55,83	56,51	58,93	59,74	60,51	60,85	60,95	61,11	62,05	60,33
BATCH 39	28,81	37,07	48,17	52,61	51,7	56,12	56,31	58,69	59,17	59,66	59,54	59,93	60,72	59,18
BATCH 40	29,13	44,43	47,28	49,1	55,13	56,08	57,61	59,28	59,73	60,26	60,17	60,31	61,13	59,47
BATCH 41	22,15	46,56	50,93	59,63	61,63	62,58	63,85	66,15	66,78	66,7	66,31	66,07	65,95	63,87
BATCH 42	25	41,4	49,48	57,09	56,33	60,37	62,33	64,28	65,03	65,38	64,95	64,51	63,88	61,69
BATCH 43	43,59	44,43	47,54	55,31	58,05	60,29	60,46	63,61	63	63,8	63,81	64,83	65,67	63,49
BATCH 44	28,5	39,53	53,41	53,78	58,37	62,39	63,4	65,26	65,96	66,63	66,15	66,07	66,07	64,06
BATCH 45	40,25	46,89	53,62	57,04	61,14	61,79	64,12	65,44	66,23	66,45	66,24	67,29	68,68	66,19
BATCH 46	39,82	46,89	54,39	58,93	63,35	63,18	64,83	68,08	68,25	68,32	67,36	66,55	66,03	63,92
BATCH 47	29,45	41,69	52,12	55,21	59,21	60,18	62,79	64,66	65,11	65,47	65,13	64,75	64,62	62,17
BATCH 48	36,44	37,07	47,01	50,41	54,42	55,84	58,47	60,19	61,16	61,22	61,36	60,98	60,69	58,71
BATCH 49	32,62	39,53	47,61	49,36	53,07	56,01	57,82	59,81	60,75	61,03	61,18	61,9	62,83	60,7
BATCH 50	40,25	46,89	51,58	60,61	58,22	60,64	63,12	65,14	65,72	65,89	66,35	68,18	69,51	66,54
BATCH 51	36,05	37,07	53,62	59,03	61,58	62,58	64,82	67,03	67,46	67,7	67,19	67,13	67,54	65,49
BATCH 52	33,35	39,25	50,44	56,84	58,86	61,17	63,34	65,06	66	66,3	65,61	65,03	64,61	62,8
BATCH 53	39,82	38,98	53,41	56,43	59,84	61,88	64,25	66,4	67,04	67,29	67,04	67,28	67,59	65,29
BATCH 54	45,55	44,43	50,78	58,11	60,58	62,78	63,85	66,6	66,97	67,45	66,85	66,52	66,79	64,87
BATCH 55	33,72	39,53	44,74	54,49	56,58	59,91	59,3	62,46	63,45	63,49	63,85	64,87	66,21	63,97
BATCH 56	29,13	41,98	46,27	55,55	58,58	60,66	62,62	64,03	65,14	65,1	64,89	64,69	64,67	62,45
BATCH 57	29,13	41,69	50,63	54,08	57,06	59,31	62,57	64,7	64,93	65,4	65,24	65,2	65,13	62,73
BATCH 58	25,55	37,07	45,97	50,41	55,73	55,54	58,26	60,26	60,84	61,03	61,45	63,15	64,86	62,33
BATCH 59	29,13	51,79	51,97	52,25	59,18	59,82	61,2	63,9	64,29	64,46	64,07	63,74	63,51	61,43
BATCH 60	33,72	46,89	50,44	57,25	57,98	60,18	61,23	63,52	64,26	64,72	64,46	64,14	63,94	61,61

**Cuadro 10: Resultados del Analisis de RPA para la variable G' del compuesto ALPHA Mixer 4**

**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**



VARIABLE	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'	G'
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa
BATCH 1	338,310	334,940	337,480	336,300	336,380	331,190	324,610	315,470	308,190	297,160	279,390	253,850	205,790	167,930
BATCH 2	374,410	385,850	381,300	382,140	380,850	377,570	370,370	359,630	350,370	337,830	315,220	282,290	225,540	180,960
BATCH 3	352,240	353,650	364,520	361,060	360,550	356,090	349,350	338,370	329,390	317,350	297,930	269,460	217,620	176,420
BATCH 4	360,900	377,730	378,310	373,380	375,370	369,580	361,210	348,790	337,880	324,540	301,910	267,790	211,120	170,010
BATCH 5	365,500	367,020	364,620	365,830	366,350	360,080	352,810	341,610	331,760	319,470	298,990	269,880	216,230	173,300
BATCH 6	311,840	329,590	322,010	320,310	321,000	318,250	313,240	304,130	296,840	287,250	270,820	247,530	203,860	168,240
BATCH 7	333,980	327,490	330,650	336,300	329,520	326,840	320,410	310,950	303,350	292,980	275,600	251,440	205,550	168,260
BATCH 8	391,690	380,550	388,170	388,690	384,450	381,540	374,840	363,920	353,800	341,140	317,800	283,420	225,110	180,190
BATCH 9	381,240	395,260	390,550	390,420	389,740	381,340	373,500	360,230	349,430	335,260	310,650	272,180	212,410	171,580
BATCH 10	325,460	330,490	332,310	337,290	336,750	333,160	326,820	317,660	309,230	298,850	280,930	256,070	208,780	169,480
BATCH 11	353,070	354,640	371,370	369,610	369,380	363,640	357,310	344,020	334,160	321,570	300,860	270,360	215,470	172,520
BATCH 12	347,500	362,210	355,960	357,360	356,120	352,910	344,890	333,750	325,740	313,850	294,100	265,200	213,990	174,350
BATCH 13	324,360	319,300	322,160	318,270	320,420	317,860	311,980	303,700	296,560	287,500	271,060	247,370	202,900	166,500
BATCH 14	324,840	326,390	330,500	332,410	330,290	324,260	320,960	312,080	304,220	294,500	276,990	252,100	206,350	169,110
BATCH 15	369,850	351,390	361,280	361,950	359,880	355,360	347,820	337,860	328,820	316,270	296,130	265,530	211,520	170,980
BATCH 16	343,220	353,440	344,910	344,920	341,910	339,590	333,800	322,920	315,520	304,720	286,490	259,290	209,400	170,040
BATCH 17	311,840	320,860	323,420	323,040	321,100	315,900	310,690	301,790	294,650	284,880	268,450	244,930	200,780	165,300
BATCH 18	320,510	335,060	333,160	334,340	330,290	327,830	320,790	312,180	303,870	293,410	275,780	251,010	204,590	167,240
BATCH 19	360,690	375,230	364,170	361,110	358,640	355,740	348,090	335,660	326,340	314,170	293,190	262,730	210,240	170,040
BATCH 20	311,840	297,800	308,070	309,310	309,560	308,040	302,710	295,340	288,840	279,540	263,540	241,000	198,790	163,780
BATCH 21	325,630	332,620	326,500	329,860	331,020	325,700	320,100	310,300	302,800	292,320	274,610	250,330	204,880	167,870
BATCH 22	351,770	359,300	361,730	355,380	356,640	352,260	345,360	334,460	325,510	313,480	293,650	265,660	215,210	173,820
BATCH 23	407,830	404,660	402,660	407,470	404,920	400,080	388,870	374,320	362,910	347,530	321,360	283,470	222,500	175,110
BATCH 24	365,040	361,960	367,320	371,540	368,930	366,440	356,090	346,370	336,610	324,640	303,860	272,550	218,390	176,060
BATCH 25	348,040	351,390	351,880	348,800	345,100	343,940	336,820	325,940	318,630	307,120	288,470	261,220	211,870	172,080
BATCH 26	320,620	324,930	319,790	322,480	322,600	318,400	314,390	305,220	297,720	288,390	271,510	247,490	203,850	168,920
BATCH 27	364,920	359,740	363,220	363,050	360,470	358,920	353,080	344,100	335,840	324,530	303,550	272,070	218,800	177,790
BATCH 28	361,110	374,820	375,320	377,150	375,290	373,550	366,010	352,290	341,270	327,800	304,750	270,180	213,040	171,030
BATCH 29	390,260	372,420	371,280	372,430	370,800	367,220	359,510	346,180	335,730	322,560	300,580	269,050	214,390	171,830
BATCH 30	369,140	370,040	374,370	375,300	371,530	370,000	362,640	352,310	344,130	332,100	310,130	277,300	221,160	178,100
BATCH 31	282,260	297,900	306,560	302,690	307,920	304,980	301,880	295,420	289,560	281,020	266,000	244,430	203,060	166,830
BATCH 32	273,330	280,490	290,170	289,640	289,170	289,550	286,570	280,050	275,320	267,200	252,890	232,880	193,880	160,450
BATCH 33	289,230	295,220	303,840	296,970	298,830	298,980	296,100	289,240	283,350	274,920	260,430	239,740	199,660	165,550
BATCH 34	279,820	283,030	290,020	292,610	293,630	291,750	287,800	282,480	276,760	268,570	254,670	234,820	196,190	162,860
BATCH 35	290,450	298,190	303,000	303,020	306,150	302,580	298,190	292,170	286,330	277,680	262,700	241,860	201,240	165,760
BATCH 36	276,670	279,690	290,020	289,850	288,870	288,990	284,890	280,700	275,310	267,580	253,730	232,960	193,020	160,560
BATCH 37	304,330	301,390	310,200	310,010	310,850	311,500	306,590	299,850	293,900	285,140	269,440	246,290	203,590	168,420
BATCH 38	291,650	298,850	307,360	308,550	311,700	307,860	304,870	297,440	292,020	283,220	267,590	244,050	200,920	167,190
BATCH 39	307,570	306,190	316,790	315,620	316,640	315,140	309,910	303,010	296,290	287,160	271,260	248,560	206,040	170,530
BATCH 40	299,480	298,570	304,200	309,380	309,990	308,680	305,140	298,710	292,880	284,550	269,520	247,220	205,420	170,240
BATCH 41	298,370	294,930	305,020	301,870	300,540	301,870	297,670	292,000	286,150	278,160	263,260	242,060	201,400	166,260
BATCH 42	283,190	288,680	297,300	301,070	302,010	298,980	295,400	289,450	283,720	275,970	260,990	239,510	199,040	165,220
BATCH 43	304,420	311,840	308,550	309,700	310,140	308,840	304,870	297,550	291,680	282,520	266,490	242,800	199,880	164,600
BATCH 44	281,420	288,120	294,230	291,740	292,030	294,220	290,830	284,400	279,100	270,990	256,540	235,360	194,660	161,050
BATCH 45	294,730	301,390	307,030	305,010	306,870	306,230	302,310	295,660	289,260	280,480	264,430	240,690	197,200	163,270
BATCH 46	282,730	277,660	288,670	286,710	285,000	285,490	282,750	277,500	272,610	265,490	252,190	232,250	194,120	161,750
BATCH 47	269,100	274,840	280,360	282,990	282,770	283,250	280,520	275,370	270,590	262,980	249,860	230,150	191,760	159,760
BATCH 48	277,140	290,220	293,860	293,280	292,780	292,890	287,650	281,980	276,350	267,870	253,080	232,710	193,200	159,710
BATCH 49	285,370	274,280	286,910	289,480	289,580	291,300	288,400	281,990	277,810	269,630	255,390	234,390	194,040	159,590
BATCH 50	271,420	290,500	294,670	298,340	296,910	295,820	293,130	285,690	280,470	272,560	258,100	237,310	197,340	162,880
BATCH 51	298,850	298,190	305,870	307,060	310,700	308,930	304,960	297,540	291,280	282,450	266,240	243,450	200,500	163,800
BATCH 52	296,710	307,080	306,020	308,990	310,280	307,380	303,280	297,580	290,630	281,530	265,620	241,780	198,170	163,370
BATCH 53	265,820	277,660	287,410	286,710	287,590	286,680	283,790	277,120	271,920	264,010	249,710	229,680	190,890	157,930
BATCH 54	307,570	293,480	291,370	295,230	294,940	295,930	291,360	284,130	279,020	270,320	255,900	234,690	194,640	160,710
BATCH 55	273,330	269,760	279,430	277,360	280,640	277,990	275,820	271,000	266,670	258,890	245,050	224,440	186,680	155,820
BATCH 56	282,010	281,750	286,060	283,940	285,640	286,060	283,480	278,470	273,040	265,460	251,690	230,420	190,700	159,570
BATCH 57	258,910	266,030	275,290	269,790	273,570	274,480	272,410	267,540	263,350	256,240	242,670	221,800	183,510	152,930
BATCH 58	262,880	279,690	280,090	281,350	281,670	282,510	279,580	274,750	270,110	262,720	249,170	228,720	190,120	158,860
BATCH 59	271,900	268,560	274,220	272,450	274,700	274,690	273,450	268,300	263,570	256,650	242,910	222,200	183,460	151,450
BATCH 60	274,740	266,320	276,020	278,660	280,280	279,620	276,860	272,880	268,510	260,970	247,850	228,150	189,780	156,520

**Cuadro 11: Resultados del Analisis de RPA para la variable G'' del compuesto ALPHA Mixer 4**

**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**



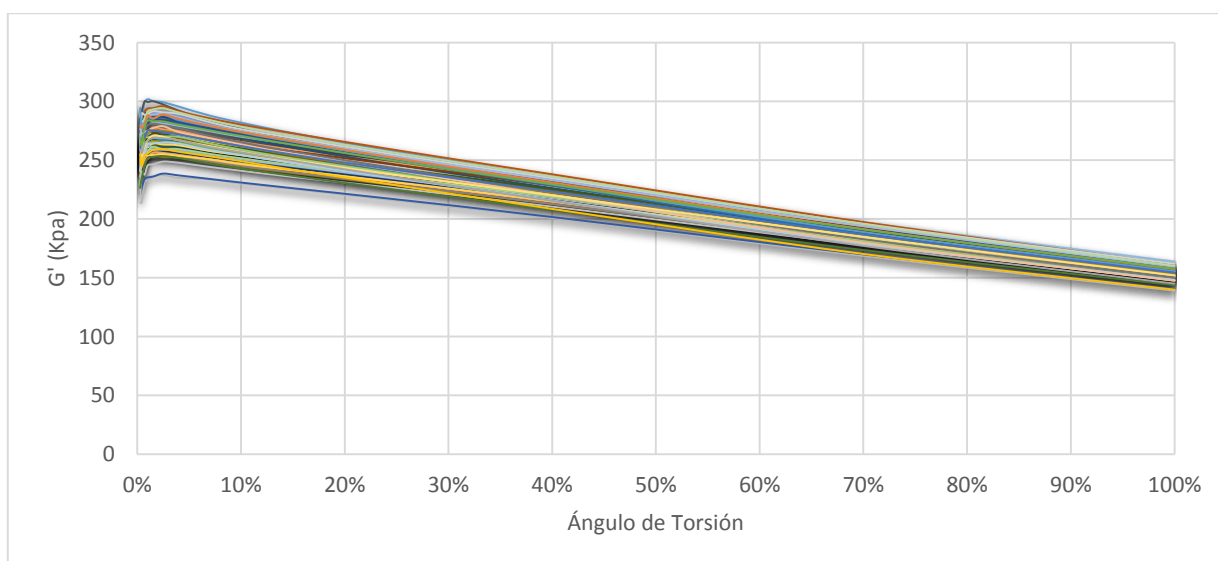
VARIABLE	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''	G''
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa	Kpa
BATCH 1	36,570	56,020	60,820	63,330	66,260	68,930	70,710	71,210	71,270	70,740	69,980	71,700	73,010	69,470
BATCH 2	37,540	63,840	69,150	71,410	71,030	76,470	77,370	78,750	78,730	78,500	79,600	81,850	80,660	76,040
BATCH 3	36,160	55,080	60,800	65,380	69,280	72,650	73,780	73,750	74,320	73,870	73,340	75,230	75,480	71,710
BATCH 4	50,370	64,510	67,510	75,720	77,890	83,650	83,060	84,960	84,210	83,260	83,290	87,800	87,440	80,970
BATCH 5	35,770	57,100	70,320	73,980	72,390	79,020	78,690	79,840	80,100	78,630	77,590	79,230	79,700	75,370
BATCH 6	24,060	32,000	52,330	58,270	60,430	64,220	64,820	66,170	66,250	66,140	65,420	66,180	67,340	64,790
BATCH 7	32,720	47,230	56,580	60,470	62,380	66,180	68,220	68,910	68,750	68,100	67,290	67,790	69,000	66,270
BATCH 8	32,880	60,570	67,510	72,870	75,110	77,540	79,510	80,110	79,910	79,880	80,750	83,740	82,710	77,740
BATCH 9	54,400	69,510	78,410	80,400	84,230	88,090	88,750	89,650	88,770	87,720	88,780	95,240	93,400	85,050
BATCH 10	45,090	44,350	58,400	59,130	64,780	67,830	69,360	69,380	69,720	69,410	68,520	69,050	69,780	66,970
BATCH 11	60,040	58,060	66,420	76,340	77,890	80,890	80,750	81,820	81,580	80,650	79,450	81,470	81,650	76,840
BATCH 12	54,670	52,920	63,760	59,490	68,290	70,490	73,710	73,110	73,190	72,780	72,550	75,490	76,420	72,240
BATCH 13	32,720	50,160	57,790	59,080	62,270	65,380	67,770	67,040	67,550	67,250	66,910	68,210	69,380	66,430
BATCH 14	28,390	40,140	53,690	60,160	63,880	66,690	68,360	69,110	69,080	69,010	68,730	70,120	70,470	67,330
BATCH 15	53,830	60,010	70,050	71,020	74,760	78,770	78,100	79,360	79,310	78,560	77,950	81,510	82,010	76,740
BATCH 16	40,880	45,960	63,700	65,040	67,870	70,910	72,200	72,790	72,620	72,250	71,740	73,700	74,560	70,820
BATCH 17	33,210	39,560	55,430	58,010	60,840	64,770	65,830	66,780	67,120	66,520	65,770	67,340	69,260	66,420
BATCH 18	46,200	47,580	56,640	59,840	63,950	66,800	69,010	68,440	69,050	68,690	68,090	69,680	71,100	67,990
BATCH 19	40,860	60,010	66,120	72,670	74,990	78,680	78,360	78,930	79,240	78,640	78,370	81,470	81,500	76,380
BATCH 20	36,600	42,130	50,770	55,690	58,680	63,440	64,330	64,830	64,540	64,280	64,100	65,600	66,510	63,860
BATCH 21	50,390	36,990	60,440	60,050	63,140	66,520	68,530	69,030	69,160	68,870	67,840	68,990	70,160	67,190
BATCH 22	45,560	65,820	64,820	66,720	71,940	73,350	75,520	75,620	75,540	74,740	74,050	74,950	74,390	70,730
BATCH 23	57,420	73,190	79,440	83,440	89,620	91,550	92,410	94,260	93,280	92,140	92,320	95,670	92,310	84,630
BATCH 24	44,480	67,380	63,420	69,940	72,830	78,090	78,310	78,730	78,080	77,390	77,240	80,730	80,370	75,470
BATCH 25	31,560	54,970	62,970	67,330	70,370	74,490	74,800	75,660	75,600	74,820	74,160	75,930	75,840	71,820
BATCH 26	38,010	52,350	53,070	54,880	60,620	64,010	64,910	65,550	65,530	65,930	65,300	67,260	68,260	65,210
BATCH 27	45,090	43,990	59,140	67,560	68,880	70,890	73,430	72,760	73,020	72,830	73,760	76,960	76,660	72,480
BATCH 28	62,110	60,790	72,730	77,250	79,900	84,690	85,300	86,280	86,310	84,730	84,980	89,390	88,080	81,450
BATCH 29	56,900	49,360	70,850	74,850	76,710	81,400	82,500	82,630	82,180	81,310	80,900	83,750	83,030	77,510
BATCH 30	54,010	57,910	64,620	71,210	69,960	73,380	75,600	76,020	75,340	75,680	76,240	79,160	78,800	74,430
BATCH 31	18,790	25,890	43,660	50,710	52,260	54,980	57,370	57,350	58,170	58,510	58,600	59,120	59,650	57,940
BATCH 32	26,770	38,700	45,900	49,420	52,140	56,740	56,450	57,650	58,740	58,560	58,480	58,640	58,890	56,820
BATCH 33	36,570	36,400	49,250	54,260	56,480	57,380	59,280	60,000	60,350	60,590	60,370	60,390	60,810	58,680
BATCH 34	19,030	28,250	47,260	47,470	51,220	54,870	57,740	58,190	58,710	58,800	58,220	58,250	58,520	56,780
BATCH 35	31,850	36,420	44,530	50,570	55,340	57,030	58,230	58,980	59,720	60,030	59,710	59,520	59,590	57,860
BATCH 36	31,370	31,010	43,190	46,550	49,860	54,030	56,120	56,250	56,840	57,570	57,840	59,930	61,710	59,390
BATCH 37	19,260	36,160	47,490	47,530	52,140	55,410	57,680	58,320	59,610	59,510	59,990	62,300	64,000	61,550
BATCH 38	27,710	33,610	48,540	50,710	51,810	55,750	57,120	58,630	59,130	59,400	60,080	63,120	65,340	62,630
BATCH 39	27,100	30,790	53,070	54,290	55,790	59,430	61,220	61,450	62,430	62,150	62,120	63,350	64,830	62,560
BATCH 40	19,490	33,330	42,130	51,630	50,900	54,980	57,340	57,840	58,940	59,490	59,640	61,140	62,060	59,780
BATCH 41	23,580	42,130	45,200	44,840	48,850	56,480	56,220	57,160	57,800	58,280	58,540	59,360	60,060	58,130
BATCH 42	18,320	22,880	49,030	48,730	50,670	52,920	55,810	56,930	57,590	58,000	58,230	59,840	60,610	58,380
BATCH 43	27,380	39,260	53,220	52,490	56,760	62,400	61,650	62,790	63,460	63,380	63,230	64,150	64,830	62,200
BATCH 44	18,540	27,680	43,350	50,210	53,300	54,930	56,950	57,800	58,420	58,560	58,790	59,920	61,230	58,990
BATCH 45	28,050	33,610	47,710	52,250	56,730	58,210	60,150	60,420	61,420	61,640	62,110	64,650	66,590	63,690
BATCH 46	27,240	38,420	41,840	43,700	48,420	52,240	54,000	54,380	55,560	55,740	56,280	57,790	59,110	57,140
BATCH 47	18,320	41,520	39,730	47,470	47,960	50,830	53,310	54,790	55,310	55,670	55,920	57,260	58,840	56,930
BATCH 48	36,130	31,010	47,740	49,650	53,850	57,760	59,650	60,010	60,500	60,910	60,310	60,260	60,500	58,370
BATCH 49	23,100	33,570	43,060	50,470	50,570	54,550	57,690	58,560	59,090	59,690	59,750	60,090	60,200	58,000
BATCH 50	27,430	31,300	47,190	50,440	52,500	56,500	59,710	60,540	61,340	61,280	60,650	60,510	60,720	58,670
BATCH 51	19,250	42,110	48,690	51,090	54,160	58,620	61,050	60,010	61,640	61,650	61,370	61,420	61,320	59,290
BATCH 52	30,730	33,370	49,880	50,610	55,310	59,010	60,970	62,070	62,680	62,600	62,640	64,870	66,370	63,430
BATCH 53	14,090	41,520	45,730	46,780	51,220	53,490	55,490	56,830	57,550	57,850	57,610	57,790	58,310	56,400
BATCH 54	28,050	38,980	46,050	48,620	53,750	54,470	56,300	57,930	58,760	59,070	58,860	59,530	60,260	58,200
BATCH 55	23,010	27,960	39,430	46,550	50,300	50,950	52,190	53,750	54,490	54,840	55,900	58,410	59,680	57,280
BATCH 56	14,440	44,710	44,380	46,570	49,840	51,020	53,640	54,980	55,720	55,710	56,540	59,480	61,930	59,330
BATCH 57	5,770	33,570	38,680	43,380	47,380	50,510	53,000	53,670	54,070	54,460	55,310	58,070	60,010	57,670
BATCH 58	27,100	33,860	43,040	42,660	48,490	50,980	53,060	53,890	55,210	55,620	55,830	57,900	60,120	57,760
BATCH 59	14,440	33,530	43,060	47,370	46,830	49,250	53,000	53,260	54,670	54,810	55,500	57,050	58,100	55,910
BATCH 60	9,860	28,170	45,600	45,290	46,470	50,610	53,150	54,130	54,760	55,500	55,460	55,770	56,310	54,780

### 3.2.2. Gráficas de los resultados obtenidos del RPA 2000.

Las siguientes Graficas para el compuesto Alpha muestran el comportamiento del compuesto en producción y sus características según las variables G', y G''.

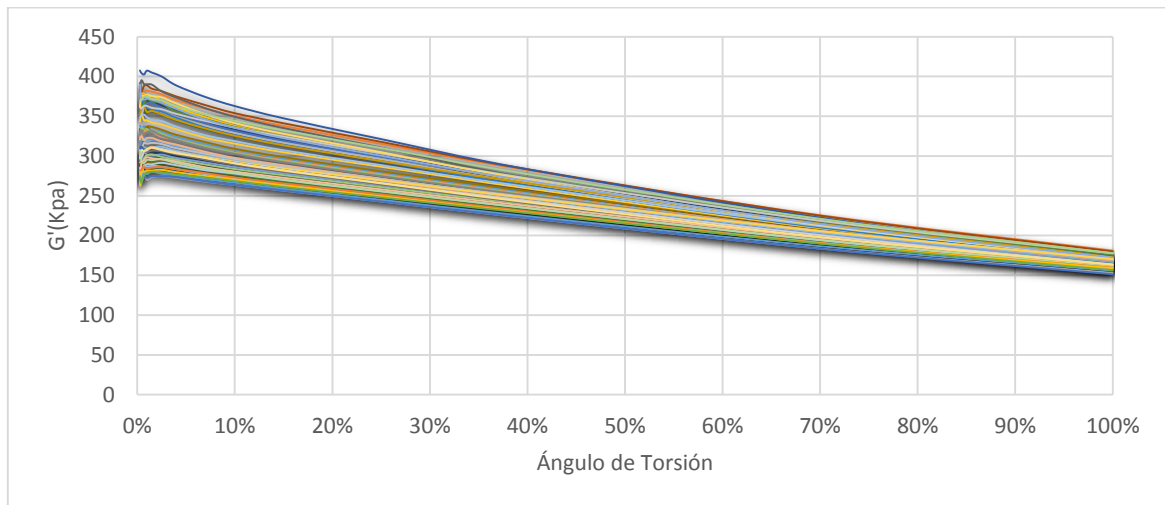
Para las **Gráficas (1-2)** de  $G'$  o módulo de elasticidad se observa que las curvas tienden a descender, mostrando una mayor variación entre el 1% y 40% de ángulo de torsión, ya que a medida que avanza la prueba, la muestra recibe más trabajo por lo que la elasticidad del material disminuye viéndose influenciada directamente sobre la nerviosidad del caucho y los enlaces caucho-negro de humo, siendo este el motivo por lo que las curvas se acercan a un punto en común al 100%.

**Gráfica 1:  $G'$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Alpha Mixer 3**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**



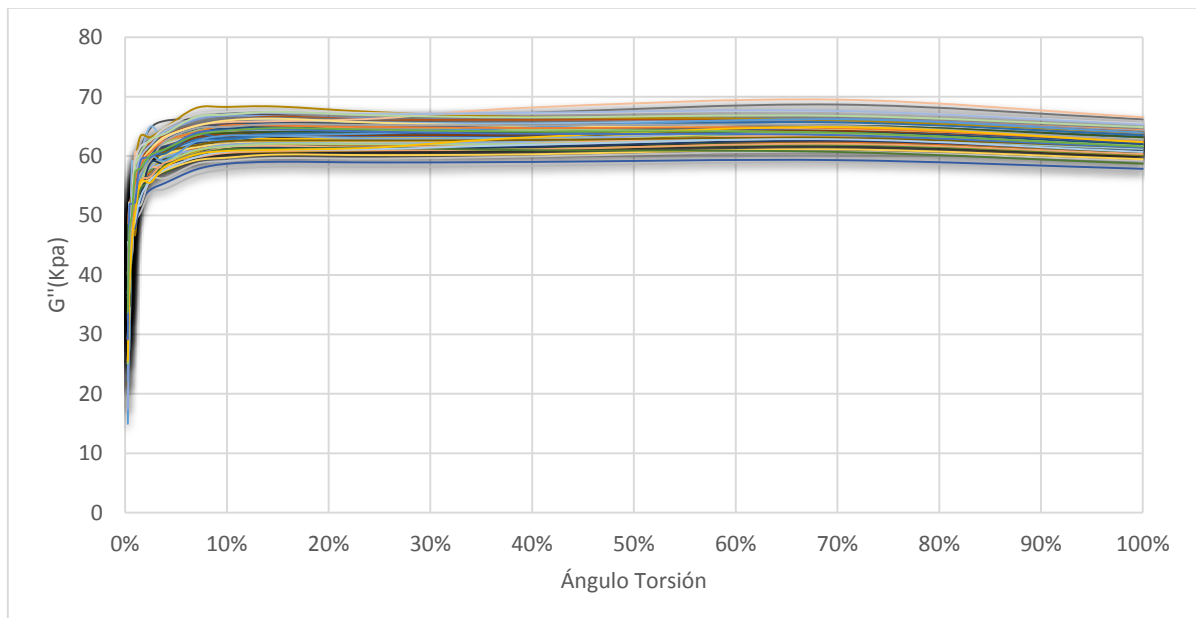


**Gráfica 2:  $G'$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Alpha Mixer 4**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**

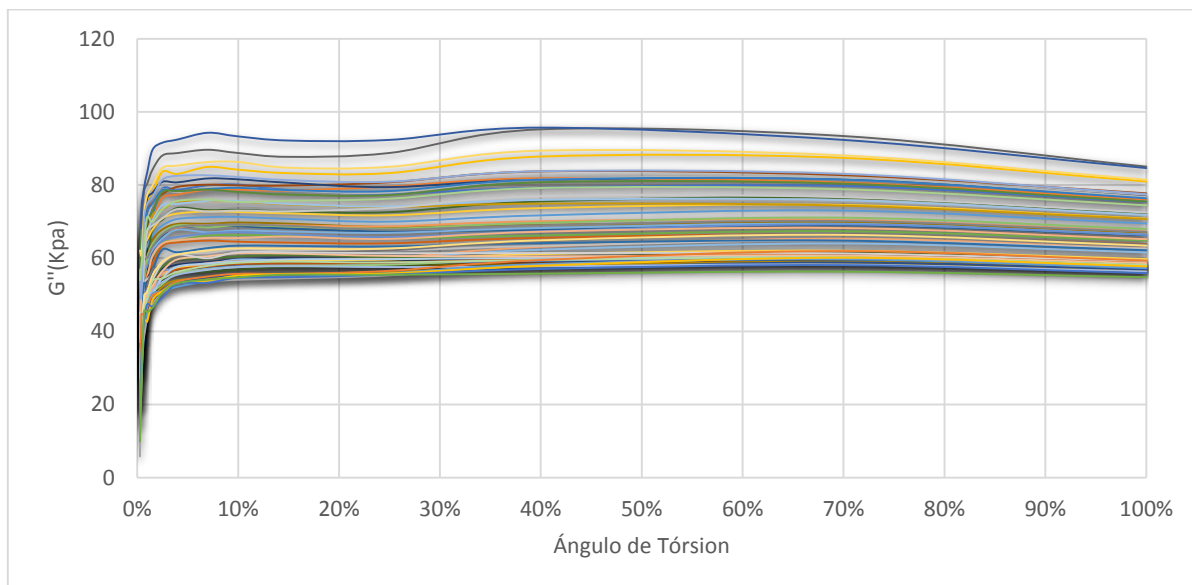


En cambio las **Gráficas (3-4)** de  $G''$  o módulo de viscosidad se tiene una tendencia considerablemente constante, tomando también tendencia hacia un punto en común, por lo tanto este módulo indica la capacidad de disipar energía, la cual es perdida como calor.

**Gráfica 3:  $G''$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Alpha Mixer 3**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**





**Gráfica 4:  $G''$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Alpha Mixer 4****Fuente: Continental Tire Andina y Autores**

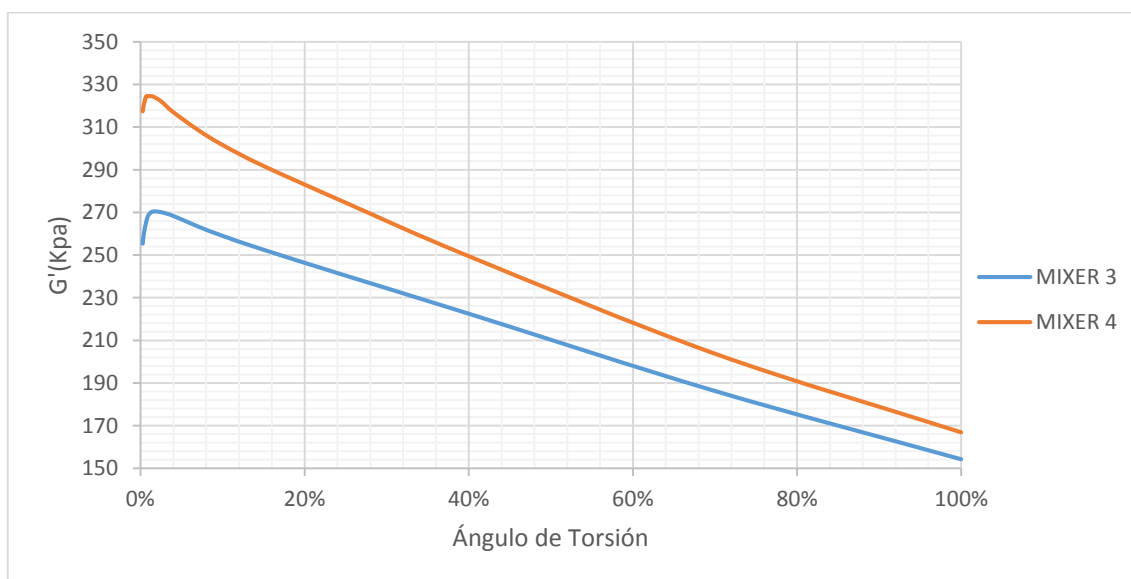
Se puede observar un similar comportamiento para el compuesto Beta en ambos Mixer en **Anexos (1-2-3-4)**

Para el compuesto *Gamma* **Anexos (5-6-7-8)** y compuesto Delta **Anexos (9-10-11-12)**. Se puede observar un mejor comportamiento entre las curvas  $G'$  y  $G''$ , teniendo tendencias diferentes en comparación a los dos compuestos anteriores, ya que estos compuestos contienen caucho sintético lo cual al tener una microestructura controlada, permite un mejor mezclado por lo que su comportamiento es mejor, con tendencias descendentes, favorables para los demás procesos.

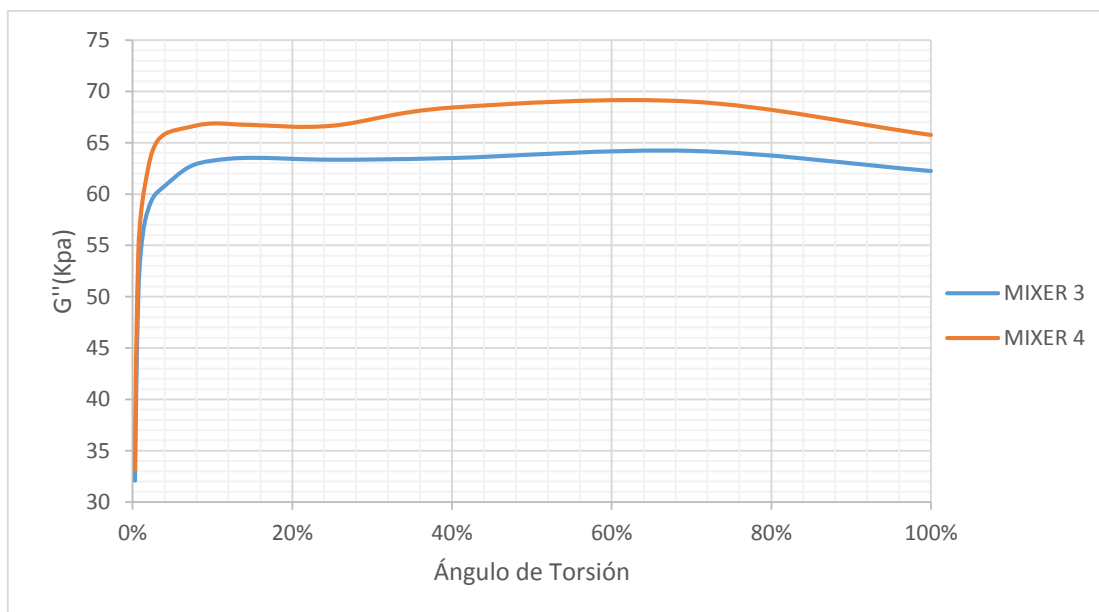
**3.2.3. Cálculo de las Curvas Patrón para cada compuesto analizado en RPA 2000.**

Para el cálculo de las curvas patrón de  $G'$ , y  $G''$  de cada compuesto, se ha realizado una media aritmética de los 60 Batches respectivamente, para cada % de ángulo de torsión. Graficando así las curvas para el compuesto Alpha en las **Gráficas (5-6)**.

**Gráfica 5: Curvas Patrón de  $G'$  para el compuesto Alpha Mixer 3 y Mixer 4.**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**



**Gráfica 6: Curvas Patrón de  $G''$  para el compuesto Alpha Mixer 3 y Mixer 4.**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**



Claramente se puede observar en las gráficas anteriores que existe una variación del compuesto Alpha en los Mixers, y esto se debe a que el Mixer 3 y Mixer 4 no son los mismos equipos, siendo el número 3 de anterior generación y el número 4 un equipo de nueva generación, diferenciándose además por características estructurales en su funcionamiento, lo que produce que el



mezclado no sea el mismo, por lo que en la parte de optimización se intentara ajustar el equipo para así lograr que los compuestos tengan las mismas propiedades o muy cercanas. Así mismo para el compuesto Beta se puede observar esta variación en **Anexos (13-14)**.

Esta variación no se observó en todos los compuestos estudiados, para el caso del compuesto Gamma en **Anexos (15-16)** y compuesto Delta en **Anexos (17-18)** no hubo una variación significativa, pudiendo relacionarse en su composición, al tener en su formulación caucho sintético, por lo que al analizar las gráficas y resultados no se tratará estos casos en la parte de Optimización de este estudio, ya que se encuentran con similares características y propiedades de mezclado en producción.

### 3.3. Proceso de Estandarización de Compuestos Primarios

#### 3.3.1. Condiciones

Para la estandarización de los compuestos primarios, se tomó en consideración varios aspectos para elegir cuál Mixer proporciona el mezclado más óptimo para tomarse como modelo para seleccionar los límites de cada compuesto, y estos aspectos son:

- Se realizó un análisis de las curvas patrón tanto para los compuestos Alpha, Beta, Gamma, y Delta y se observó que en todos los compuestos la curva del Mixer 3 es la más apropiada para tomar como modelo, tal como se menciona en el punto **2.3.4.3** *“Generalmente, cuanto más trabajo se incluya en un compuesto de caucho, la elasticidad resultante ( $G'$ ) será menor. En general, si un compuesto de caucho ha tenido más trabajo, la dispersión de la carga resultante será mayor con una calidad de mezcla mejor.”* Es decir hay una mejor distribución de los componentes. Dicho esto las curvas del Mixer 3 son menores a comparación del Mixer 4, teniendo un mejor mezclado en el número 3.



- Aunque el Mixer 4 es más contemporáneo a comparación del Mixer 3, no sería una desventaja para el numero 3, debido a que al haber trabajado más tiempo, en la fábrica se ha logrado caracterizar las condiciones de trabajo para que sean óptimas en la elaboración de compuestos, teniendo así un mayor conocimiento y especificaciones para cada compuesto durante su elaboración.

Con lo analizado y expuesto, se tomará como modelo los resultados del Mixer 3 para los respectivos cálculos y estandarización de mezclas primarios.

A continuación en los **Cuadros (12-13)** se muestran los resultados obtenidos de los límites calculados para el compuesto Alpha Mixer 3.

**Cuadro 12: Cálculo de Límites de  $G'$  para el Compuesto Alpha Mixer 3**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**

VARIABLE		$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$
ÁNGULO		0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	$X$	254,697	259,563	264,847	268,295	269,895	269,629	267,923	263,019	258,641	252,145	240,088	222,277	186,110	154,121
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	18,200	15,158	14,024	14,069	13,551	13,430	12,721	11,743	11,131	10,287	9,141	8,060	6,734	5,691
LÍMITES: 1 SIGMA	$X+\sigma$	272,897	274,721	278,871	282,365	283,447	283,059	280,644	274,762	269,772	262,432	249,229	230,337	192,843	159,812
	$X-\sigma$	236,497	244,405	250,823	254,226	256,344	256,200	255,202	251,277	247,510	241,858	230,948	214,217	179,376	148,431
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	$X+2\sigma$	291,097	289,879	292,895	296,434	296,998	296,489	293,366	286,505	280,902	272,719	258,370	238,398	199,577	165,502
	$X-2\sigma$	218,297	229,247	236,800	240,157	242,792	242,770	242,481	239,534	236,380	231,571	221,807	206,157	172,643	142,740
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	$X+3\sigma$	309,297	305,038	306,918	310,503	310,549	309,919	306,087	298,248	292,033	283,006	267,511	246,458	206,310	171,193
	$X-3\sigma$	200,097	214,089	222,776	226,088	229,241	229,340	229,759	227,791	225,249	221,284	212,666	198,096	165,909	137,050

**Cuadro 13: Cálculo de Límites de  $G''$  para el Compuesto Alpha Mixer 3**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**

VARIABLE		$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$
ÁNGULO		0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	$X$	32,378	40,156	50,289	54,304	57,344	59,583	60,747	62,597	63,239	63,521	63,336	63,500	64,190	62,240
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	7,389	5,458	3,054	3,098	2,504	2,407	2,459	2,419	2,334	2,276	2,112	2,049	2,034	1,843
LÍMITES: 1 SIGMA	$X+\sigma$	39,767	45,614	53,343	57,402	59,849	61,991	63,207	65,016	65,573	65,797	65,449	65,549	66,224	64,084
	$X-\sigma$	24,990	34,698	47,235	51,206	54,840	57,176	58,288	60,178	60,905	61,245	61,224	61,452	62,155	60,397
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	$X+2\sigma$	47,155	51,072	56,397	60,501	62,353	64,398	65,666	67,435	67,907	68,073	67,561	67,597	68,259	65,927
	$X-2\sigma$	17,601	29,239	44,181	48,108	52,336	54,769	55,828	57,760	58,571	58,969	59,112	59,403	60,121	58,553
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	$X+3\sigma$	54,544	56,531	59,452	63,599	64,857	66,805	68,126	69,854	70,241	70,348	69,673	69,646	69,646	67,771
	$X-3\sigma$	10,212	23,781	41,126	45,010	49,832	52,362	53,369	55,341	56,237	56,694	56,999	57,354	58,087	56,710

Los cuadros con los límites calculados para los demás compuestos en estudio del Mixer 3, podrán ser analizados en **Anexos** para compuesto Beta (19-20), para compuesto Gamma (21-22) y para compuesto Delta (23-24).



Los límites calculados para el Mixer 4, se muestran en **Anexos** para compuesto Alpha **(25-26)**, para compuesto Beta **(27-28)**, para compuesto Gamma **(29-30)** y para compuesto Delta **(31-32)**.

### 3.3.2. Cartas de Control de tipo Individuales.

A continuación se presenta las cartas de individuales de cada compuesto para el Mixer 3 con los límites de acción y tolerancia calculados para  $G'$ , y  $G''$  respectivamente. Con ayuda de estos gráficos se analizara si el proceso se encuentra dentro de un control estadístico para así validar al 100% los límites calculados para cada compuesto y encontrar las causas si sucede lo contrario, por lo tanto se toma a consideración los siguientes patrones de comportamiento no aleatorio según (Pulido, 2008):

#### 1) Desplazamiento o cambios de Nivel de Proceso:

Los Criterios usuales para este patrón son:

- Un punto fuera de los límites de control
- Una tendencia larga y clara a que los puntos consecutivos caigan de un solo lado de la línea central. Tres pruebas concretas son:
  - 8 o más puntos consecutivos de un solo lado de la línea central.
  - Al menos 10 de 11 puntos consecutivos caen de un mismo lado de la línea central.
  - Por lo menos 12 de 14 puntos consecutivos ocurren por un mismo lado de la línea central

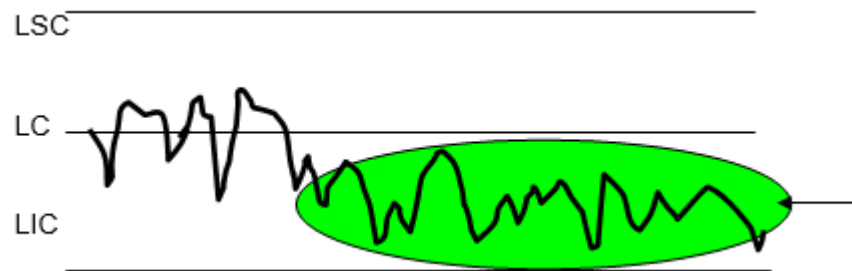
Las causas especiales pueden deberse a los siguientes cambios:

- Introducción de nuevos trabajadores, maquinas, materiales o métodos
- Cambios en los métodos de inspección
- Mayor o menor atención de los operarios
- Proceso mejor o peor

A continuación en la **Figura 24** se puede observar la tendencia de este patrón.

**Figura 24: Patrón de Desplazamiento**

**Fuente:** (Pulido, 2008)



## 2) Tendencias en el Nivel de Proceso:

Este patrón tiene Tendencia a incrementarse (o disminuirse) los valores de los puntos en la carta.

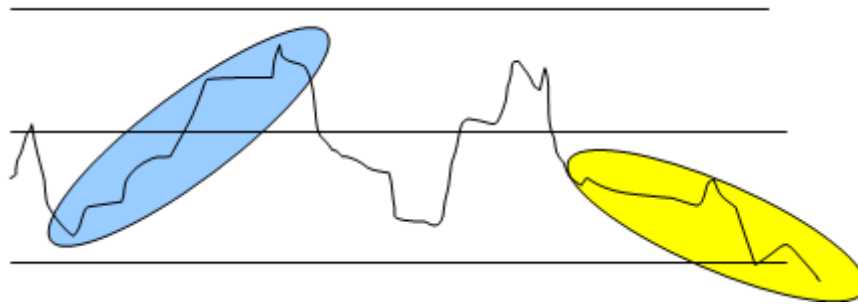
Los criterios usuales para detectar el patrón son:

- 6 o más puntos ascendentes (descendentes)
- Un movimiento de muchos puntos hacia arriba o hacia abajo
- Un punto fuera de los límites de control

Las causas especiales que pueden ocasionar estos cambios son:

- Deterioro o desajuste gradual del equipo de producción
- Desgaste de las herramientas de corte
- Acumulación de productos de desperdicio en tuberías
- Calentamiento de máquinas
- Cambios graduales en condiciones ambientales

En **Figura 25** podemos observar la tendencia de este patrón.

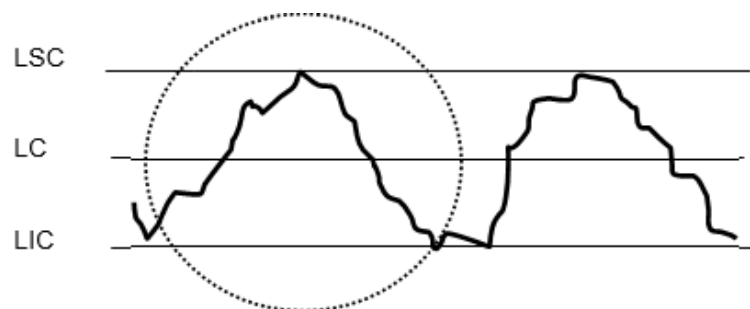
**Figura 25: Patrón de Tendencias en el Nivel del Proceso****Fuente:** (Pulido, 2008)**3) Ciclos recurrentes (Periodicidad):**

Tendencia a incrementarse (o disminuirse) los valores de los puntos en la carta.

Las causas especiales que pueden provocar estos cambios son:

- Cambios periódicos en el ambiente
- Diferencias en los dispositivos de medición o prueba que se utilizan en cierto orden
- Rotación regular de máquinas u operarios
- Efecto sistemático producido por 2 máquinas, operarios o materiales que se usan alternadamente.

En la siguiente **Figura 26** se puede observar la tendencia de este patrón.

**Figura 26: Patrón de Periodicidad****Fuente:** (Pulido, 2008)**4) Mucha Variabilidad:**

Alta proporción de puntos cerca de los límites de control.

Los criterios usuales para detectar el patrón son:

- 8 puntos consecutivos a ambos lados de la LC con ninguno en la zona c.

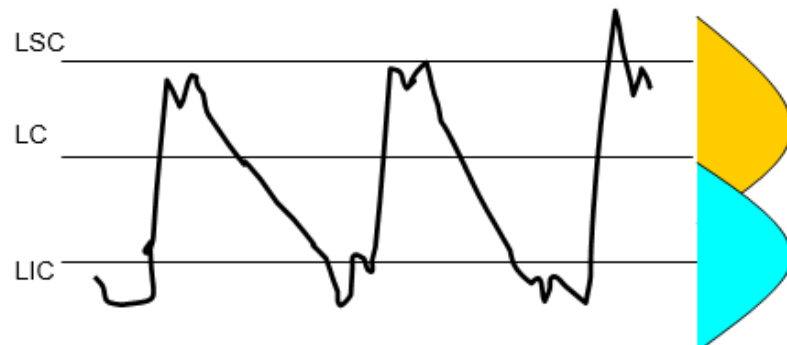
Algunas causas que pueden afectar a la carta de esta manera son:

- Sobre control o ajustes innecesarios en el proceso.
- Diferencias sistemáticas en la calidad del material o en los métodos de prueba
- Control de 2 o más procesos en la misma carta con diferentes promedios.

La tendencia para este patron lo podemos analizar en la **Figura 27.**

**Figura 27: Patrón de Mucha Variabilidad**

**Fuente:** (Pulido, 2008)



##### 5) Falta de Variabilidad(Estratificación):

Prácticamente todos los puntos se concentran en la parte central de la carta

El criterio usual para detectar la falta de variabilidad es:

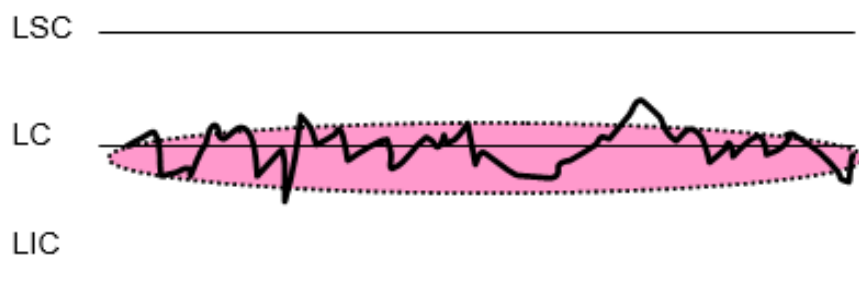
- 15 puntos consecutivos en la zona C, arriba o debajo de la línea central.

Las causas fundamentales que pueden provocar estos cambios son:

- Equivocación en el cálculo de los límites
- Agrupamiento en una misma muestra a datos provenientes de universos con medias bastantes diferentes, que al combinarse se compensan unos con otros
- Carta de control inapropiada para el estadístico graficado

A continuación en la **Figura 28** se puede observar la tendencia de este patrón.



**Figura 28: Patrón de Estratificación****Fuente:** (Pulido, 2008)

Dicho esto, solo se ha tomado los valores a 1% (*Uncured*) de ángulo de torsión para observar la tendencia de los datos en las gráficas ya que al 1% es el punto de análisis en donde se observa de una mejor manera la variación que existe entre las cargas, ya que a medida que aumenta el ángulo de torsión hasta llegar al 100% la muestra recibe más trabajo por lo que los datos mostrados no son muy representativos con respecto a la propiedad inicial de la carga. Esto se puede observar claramente en las gráficas del punto **3.2.2**, en donde al 1% se nota claramente la variación que existe entre las cargas y al aproximarse al 100% todas las curvas tienden a llegar a un punto en común.

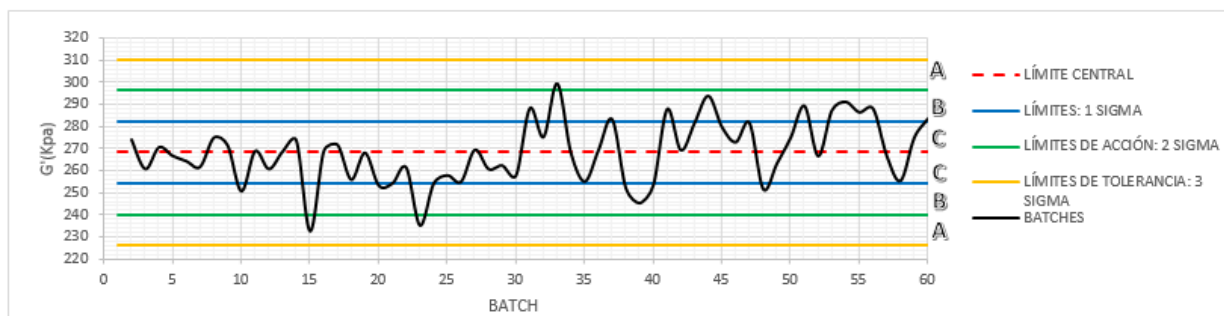
De este modo, a continuación se presentara la carta de individuales para cada compuesto, tomando a consideración además el **Cuadro 7** para el respectivo análisis.

En la **Grafica 7** se puede apreciar que se encuentra dentro de un control estadístico, ya que no cumple con ninguno de los patrones de comportamiento no aleatorio, por lo que los límites son 100% válidos para el control del proceso de mezclado del compuesto Alpha. De la misma forma al ser una variable consecuencia de la otra, la **Grafica 8** de  $G''$  tampoco cumple con los patrones establecidos en el análisis por lo que asegura que el proceso está bajo un control estadístico.

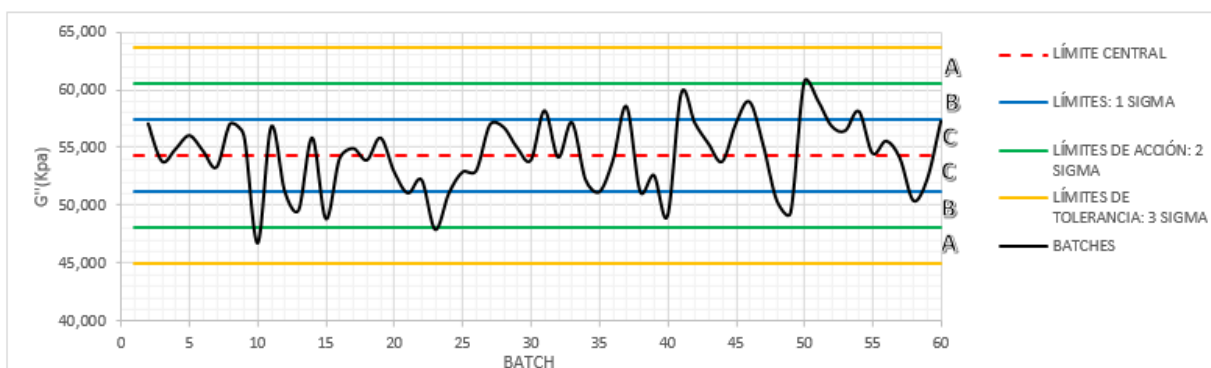
Pese a esto existe una leve diferencia en tendencia entre la carga 1-30 y 31-60, pudiendo deberse a que estas cargas se tomaron en un tercer y segundo turno

respectivamente, en donde la temperatura ambiente juega un papel muy importante en el agua de enfriamiento usado en los Mixers, por lo que produce esta variación.

**Gráfica 7: Gráfica de Tendencias  $G'$  (1% Uncured) para Alpha Mixer 3**  
**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



**Gráfica 8: Gráfica de Tendencias  $G''$  (1% Uncured) para Alpha Mixer 3**  
**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



En el caso para el compuesto Beta, las gráficas pueden ser analizadas en **Anexos (33-34)**, en las que se observa para el caso de las variable  $G'$  tendencias diferentes entre las cargas 1-20, 21-50, y 51-60, dado a que según el **Cuadro 7**, las cargas fueron tomadas en distintos días y diferentes turnos, mostrando una comportamiento muy particular en las 20 primeras cargas, que fueron tomadas en un tercer turno, cumpliendo con el patrón de desplazamiento, dando como resultado un proceso fuera de control estadístico, encontrando nuevamente como causa probable el cambio de turno o variación de la temperatura ambiente. Aunque se podría suponer que el cambio de operador



pudo causar estas variaciones, se minimiza esta causa ya que las materias primas para la elaboración de cada compuesto son pesados individualmente para cada carga según la receta, y además comprobado su peso en la banda transportadora antes de iniciar el proceso de mezclado, por lo que el operario en su mayor parte influye en el control del proceso en los monitores de Mixer, para dar cumplimiento a la receta de cada compuesto. Dicho esto, las siguientes cargas se realizaron en un mismo día en un segundo y tercer turno respectivamente, por lo que se puede ver la variación que existe entre los turnos, asegurando que las condiciones ambientales tiene mucha influencia en el proceso de mezclado, sucediendo una tendencia similar para la variable  $G'$  al haber puntos ubicados a un solo lado de la línea central y las distintas tendencias entre las cargas tomadas en los diferentes turnos.

En el caso del compuesto Gamma, las gráficas se puede observar en **Anexos (35-36)**, de igual manera, se tiene que las cargas 1-30 y 31-60 fueron tomadas en distintos turnos, en cuya grafica para la variable  $G'$  se observa que las 30 primeras cargas tienen un comportamiento aleatorio normal, por consiguiente de la carga 31 en adelante se observa un comportamiento no aleatorio, cumpliendo con el patrón de desplazamiento, ya que tenemos 12 puntos a un lado de la línea central dando paso a tener un proceso fuera de control estadístico, pero pese a esto existe una compensación entre las demás cargas al observar que el proceso tiende a normalizarse, pudiendo confiar en los límites propuestos para este compuesto, ya que los cambios de turno o condiciones ambientales provocan estas tendencias algo particulares. De similar forma se puede observar para la variable  $G''$  que el proceso se encuentra fuera de control estadístico al cumplir con el patrón de desplazamiento al presentarse más de 8 puntos a un lado de la línea central, pero nuevamente existe la compensación entre cargas, asegurando que se puede confiar en los límites establecidos.

Para el compuesto Delta, las gráficas pueden ser analizadas en **Anexos (37-38)**, de igual forma las cargas fueron tomadas en distintos turnos y días, se observa claramente la variación que existe entre las cargas 1-20, 21-50, y 51-60, respectivamente ,ocurriendo un comportamiento similar al caso del compuesto Beta, al haber una tendencia particular en las 20 primeras cargas, cumpliendo



con el patrón de desplazamiento, añadiendo de igual forma como causa probable los cambios de turno o condiciones ambientales, descartando de igual forma la influencia del operario. Pese a esto aunque el proceso se encuentre fuera de control estadístico, las demás cargas a continuación muestran que el proceso tiende a normalizarse, por lo que así mismo existe una compensación entre cargas pudiendo validar los límites establecidos para tomarlos como base para la identificación y control del compuesto. Así mismo para la gráfica de G'' se tiene tendencias similares, llegando a la misma conclusión que para G'

Además de este factor temperatura ambiente, se considera otro como factor influyente para la variación o distintas tendencias, a la naturaleza del caucho crudo utilizado, por lo que a continuación se aplicará un estudio realizado por (Alpha Technologies, Mr. J.S dick, C.A. Stevens, 1999).

#### **3.3.2.1. Estudio del porcentaje de variación entre cargas.**

La industria de caucho consume mucho caucho natural, por lo que la calidad del caucho puede variar grandemente según sus orígenes naturales. Algunos ejemplos de esta variación son:

- Clones de Arboles
- Edad del Árbol
- Condiciones de Suelo
- Condiciones Climáticas
- Forma de Coagulación del Látex
- Historia del Procesamiento
- Historia de Almacenamiento

Los efectos de estas condiciones, pueden producir diferentes distribuciones de peso molecular. También se ha informado de que la magnitud de la distribución del peso molecular puede variar en gran medida con la relación “peso molecular promedio en masa y peso molecular promedio en número: **Mw/Mn**” de entre 2,5 a 10 para todos las calidades de caucho natural. Por otra parte, también se ha reportado que el contenido de gel de caucho natural (se cree ser causada por reticulación de radicales libres o la reacción de grupos aldehído con aminoácidos



libres o moléculas de proteína) puede variar de 5 a 50%. Estas variaciones de calidad son muy importantes y son el resultado de las diferentes condiciones dadas anteriormente.

Se reconoce generalmente que el caucho natural es bastante variable. El propósito de este estudio fue cuantificar la variación en relación con propiedades viscoelásticas entre cada lote mezclado, dicho de otra forma, medir la dispersión relativa de un conjunto de datos. De esta manera se realizará el cálculo del coeficiente de variación utilizando la ecuación. **(Eq.2)**, el cual es el parámetro más adecuado para comparar la variabilidad de dos conjuntos de datos

$$CV = \frac{\text{Desviación Estándar}}{\text{Media Aritmética}} \times 100 \quad (\text{Eq.2})$$

En donde la desviación estándar y la media se calcularán a partir de los datos obtenidos en el RPA para cada compuesto, a un Strain del 1%, 10% y 100%. Los datos son los mismos usados en el punto 3.3.1.

Para el compuesto Alpha los resultados calculados se muestran en el **Cuadro 14**, en donde a mayor CV es mayor la variabilidad y viceversa:

**Cuadro 14: Coeficiente de variación calculados para el compuesto Alpha al 1%, 10% y 100% de Strain para Mixer 3 y Mixer 4**  
**Fuente: Autores**

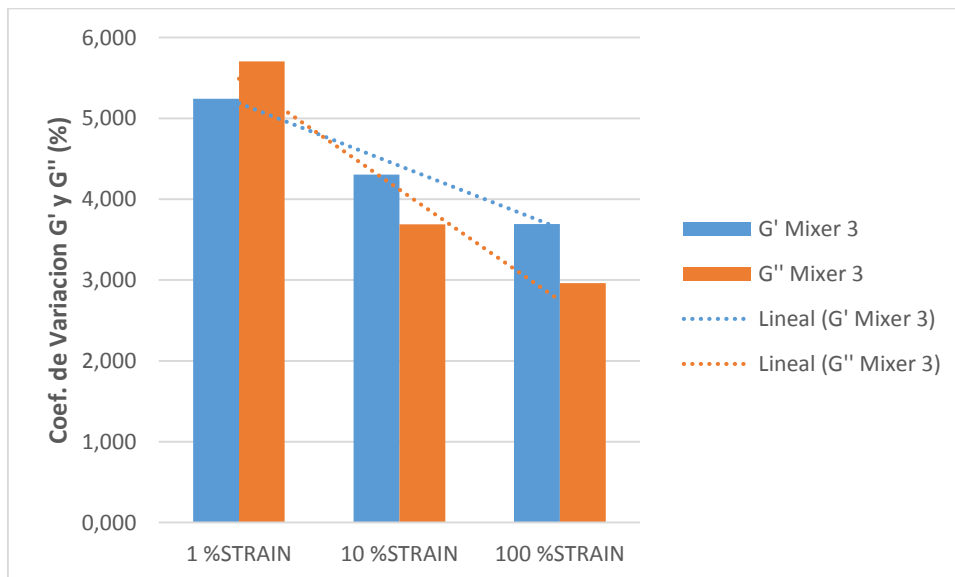
COEFICIENTE DE VARIACION ENTRE CARGAS "CV"			
PRUEBA	1% STRAIN	10% STRAIN	100% STRAIN
G' MIXER 3	5,2440	4,3035	3,6922
G'' MIXER 3	5,7053	3,6910	2,9618
G' MIXER 4	11,0054	8,8371	3,9106
G'' MIXER 4	18,9140	15,0959	12,5931

La variación de CV en el Mixer 4 a 1% de Strain es mayor con un 11% a comparación del Mixer 3 con un 5% en G', y una variación del 5% para Mixer 3 y un 18% para Mixer 4 para G'', lo que demuestra que hay una mayor dispersión del conjunto de datos para el Mixer 4, siendo el Mixer 3 el equipo más

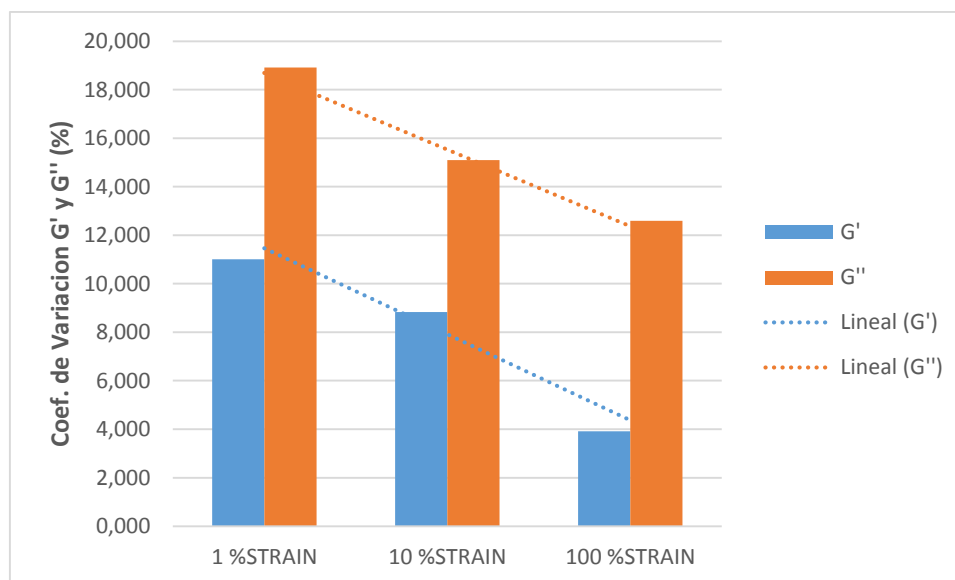
recomendable para tomar como referencia para la optimización del mezclado, debido a que si existe variación entre los lotes de caucho natural usado, también es de gran influencia la calidad del mezclado, por lo que el Mixer 3 claramente se observa una mayor homogenización entre carga y carga, manteniendo la dispersión en porcentajes bajos en comparación con el Mixer 4, dando como resultado un proceso aleatoriamente normal.

De una manera más clara se observa en las **Gráficas (9-10)** lo mencionado en el párrafo anterior, en donde la dispersión de datos es más visible para el Mixer 4 que para el Mixer 3, demostrando una mayor eficiencia en el mezclado en este último.

**Gráfica 9: Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Alpha, de un total de 60 cargas de Mixer 3**  
**Fuente: Autores**



**Gráfica 10: Coeficiente de variación entre cargas de compuesto Alpha, de un total de 60 cargas de Mixer 4**  
**Fuente: Autores**



En el caso del compuesto Beta en **Anexos (39)**, el CV para  $G'$  es casi similar, encontrándose en un 5% para el Mixer 3 y aproximado al 6% para el Mixer 4, cuyos datos demuestran que la variación existente en cada conjunto de datos es casi similar, no siendo el caso de  $G''$  en donde tenemos un 7% para Mixer 3 y un 10% para el Mixer 4. Analizando estos datos se considera el Mixer 3 para tomar como referencia para la Optimización, ya que al observar el  $G''$  hay una menor dispersión de datos para el Mixer 3 en comparación con el Mixer 4, indicándonos que esa pérdida de enlaces caucho- negro de humo tiene datos con menor dispersión de todo el conjunto, indicando también un mejor mezclado o una mejor homogenización. Se puede observar esta variación gráficamente en **Anexos (40-41)**.

Aunque los compuestos Gamma y Delta no se tratarán en la optimización, ya que ambos compuestos tienen similares propiedades en los dos Mixer, sin embargo se analizó en cada caso los CV y se observa una diferencia en cada uno. En el caso de Gamma en **Anexos (42)** se tiene una menor dispersión de datos para  $G'$  y  $G''$  para el Mixer 3 en comparación con porcentajes de CV mayores en el Mixer 4, gráficamente se puede observar también en **Anexos (43-44)**. Habiendo un mejor mezclado en el número 3. Para el compuesto Delta se



observó unos resultados distintos a los anteriores en **Anexos (45)**, teniendo una menor dispersión de datos tanto para  $G'$  y  $G''$  en el Mixer 4, gráficamente estos resultados se pueden observar en **Anexos (46-47)**

En el trazo de curvas patrones para cada Mixer de los dos compuestos anteriores, se observa que tienen tendencias similares, pero al analizar los CV para cada caso se tiene una variación significativa, encontrando como respuesta en el cálculo de la media aritmética para el trazo de las curvas patrón, ya que al ser un promedio del total de datos no se observa los cambios bruscos que existen entre carga y carga, siendo el coeficiente estudiado en este apartado de gran utilidad para hallar esta variación existente entre lotes y así tomar una decisión correcta acerca de cuál equipo es el más óptimo para tomarlo como modelo.

### **3.4. Proceso de Optimización**

En este capítulo se optimizará el proceso de mezclado de los compuestos estudiados, basándonos en los datos obtenidos en el punto anterior en la Estandarización de las mezclas primarios.

En el punto **3.2.3** se realizó los gráficos de las curvas patrón para cada compuesto, en los dos Mixer, en los cuales nos basaremos para realizar el ajuste de los Mixers.

El método que se utilizará para el ajuste, es exactamente el mismo que se usó para la estandarización, pero en este caso se tomará un mínimo de 15 muestras de cada compuesto una vez realizado el ajuste y se hará el cálculo de la curva patrón, comparando la misma con las curvas originales del Mixer 3 y Mixer 4, analizando si tuvo efecto la modificación de las variables para el ajuste

#### **3.4.1. Consideraciones de los Mixers para la Optimización**

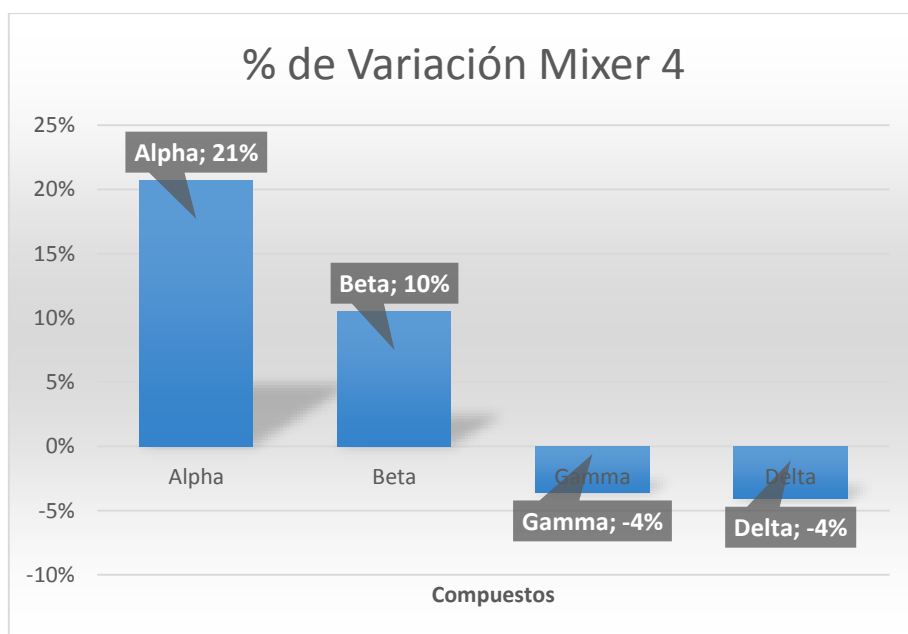
De igual forma que en la estandarización del RPA 2000, se tomó en cuenta ciertas consideraciones, en este caso para justificar el ajuste del Mixer 4 tomando como referencia el Mixer 3 para los compuestos Alfa y Beta, ya que los compuestos Gamma y Delta tienen las mismas propiedades de mezclado en ambos equipos con una pequeña variación en las curvas, los cuales no se le



considero necesario ajustar, ya que el porcentaje de variación en el equipo es muy bajo, tal como se muestra en la **Gráfica 11**.

**Gráfica 11: Porcentaje de variación en el Mixer 4 de los compuestos Alpha, Beta, Gamma y Delta.**

**Fuente: Autores**



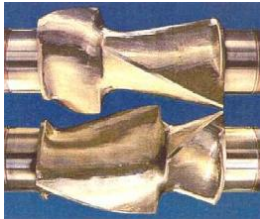
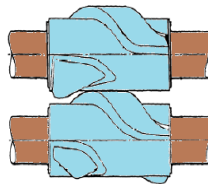
Y estas consideraciones son:

- De acuerdo a lo analizado en las gráficas de curva patrón en el punto **3.2.3**, existe un mejor mezclado en el Mixer 3, mostrando una mejor distribución de los componentes del compuesto.
- Debido a la antigüedad del Mixer 3, se lo tomó también como modelo, ya que por su trayectoria de trabajo, los operadores y técnicos de la fábrica han logrado mantener buenas condiciones de trabajo en el equipo, ya que a lo largo del tiempo con estudios de Mooney y otras pruebas han logrado obtener especificaciones, características y condiciones estables de trabajo, que el Mixer 4 no tiene debido a su contemporaneidad y poco estudio no pudiendo comprobar la eficiencia del mezclado.

- Se ha mencionado durante el capítulo que existe diferencia en ciertas características técnicas entre el Mixer 3 y Mixer 4, y por los resultados obtenidos se seleccionó el Mixer 4 para modificar las variables de velocidad, tiempo, temperatura y presión y así reducir la brecha de los resultados. Las especificaciones técnicas se pueden observar en el **Cuadro 15.**

**Cuadro 15: Características técnicas del Mixer 3 y Mixer 4**

**Fuente:** Continental Tire Andina y (Ferré, 2007)

MIXER 3	MIXER 4
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Motor de Velocidad variable (6-60 rpm)</li> <li>* Farrel Pomini 250 litros</li> <li>* Temperatura de trabajo 150-160 °C para mezclas primarias</li> <li>* Únicamente Primarias</li> <li>* TSRD</li> <li>* 4 wing rotors para optimizar mezclado</li> <li>* Pistón Neumático</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Motor de Velocidad variable (6-60 rpm)</li> <li>* Farrel Pomini 310 litros INTERMIX</li> <li>* Temperatura de trabajo 130-160 °C para mezclas primarias.</li> <li>* Únicamente Primarias</li> <li>* TSRD</li> <li>* NR rotors con óptimo control temperatura</li> <li>* Pistón Hidráulico</li> </ul>
	

Por lo tanto, se intentará ajustar o aproximar las curvas del Mixer 4 hacia la curva del Mixer 3, mediante el ajuste de variables que se tratará a continuación.

### 3.4.2. Ajuste de Variables

Dado a que las variables presentadas en el punto **2.2.2.1** definen la calidad del mezclado de los compuestos de caucho, existen ciertas restricciones que se debe tomar en cuenta para la modificación de las mismas, siendo una de ellas la temperatura, puesto a que dependiendo del compuesto, existe un rango muy corto con el que se puede variar, ya que al salir de los límites del rango de la variable, se puede quemar o incendiar el compuesto dentro del mixer o caso contrario un mal mezclado. Otra variable que tiene restricción es el tiempo de mezcla, dado a que el tiempo óptimo estudiado de mezcla es entre 2-3 minutos, ya que al haber más tiempo hay mayor eficiencia de mezcla pero produciría un

aumento en los costos de producción, y caso contrario a menor tiempo de mezcla menor es la eficiencia de mezclado

Las variables presión y velocidad son con las que más se puede variar dentro del proceso, siendo las de mayor influencia, procurando modificarlas en los pasos en los que mayor tiempo de mezcla existe.

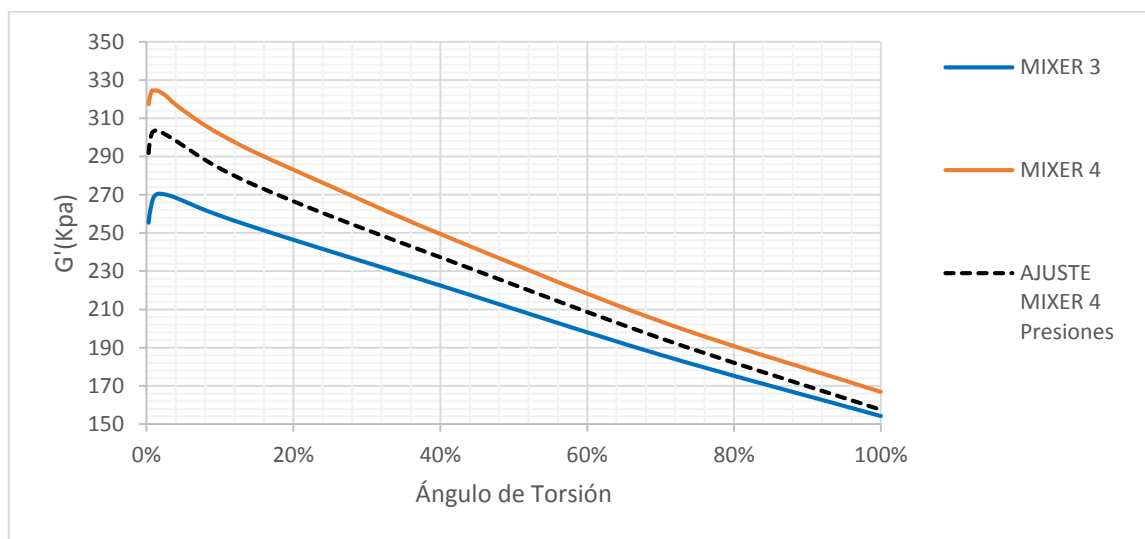
Seleccionado el Mixer 3 como modelo y el Mixer 4 para el ajuste, se analizará el ajuste solo para  $G'$  ya que este se ve influenciado directamente en la mezcla Negro de Humo-Caucho, por lo que la correcta distribución de los componentes se ve reflejada en la calidad de mezcla, lo cual es de nuestro interés.

#### 3.4.2.1. Ajuste para el compuesto Alpha

Se observa en la **Gráfica 5** que existe una variación significativa entre el Mixer 3 y Mixer 4, siendo el porcentaje de variación del 21%, por lo que se realizó un primer ajuste, modificando la presión del 100% al 90% en el paso 7 del Mixer, obteniendo el siguiente resultado. **Gráfica 12.**

**Gráfica 12: Comparación de Curvas Patrón  $G'$  del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando presiones para el compuesto Alpha.**

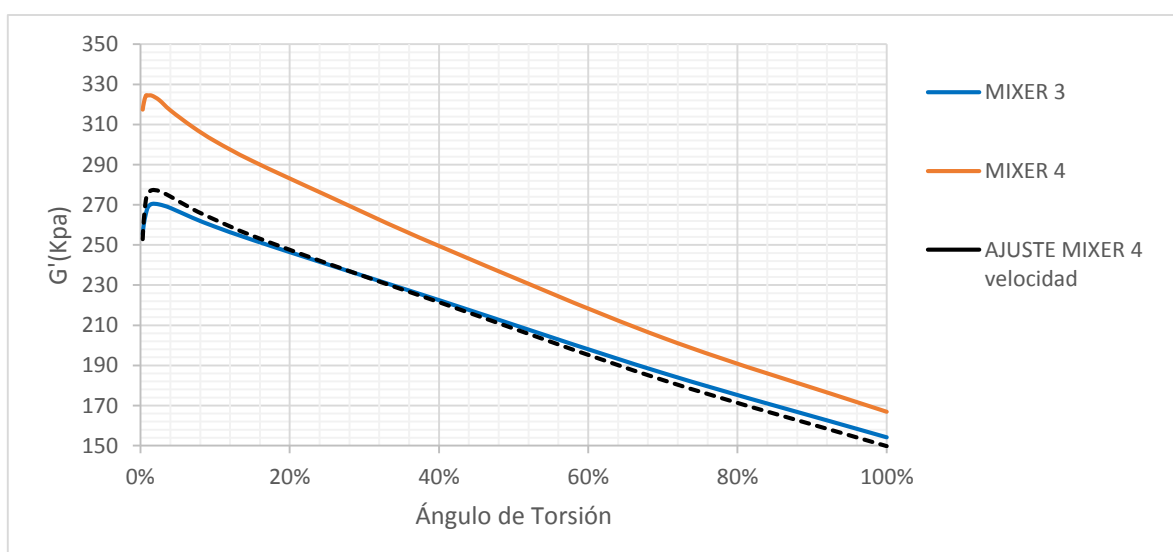
**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



Con este ajuste se obtuvo un porcentaje de mejora del 8%, por lo que se vio conveniente realizar otro ajuste en una nueva corrida de producción para el compuesto manteniendo el ajuste anterior, y ajustando la velocidad en +3 rpm en pasos 1-6 del Mixer, obteniendo el resultado mostrado en la **Gráfica 13**.

**Gráfica 13: Comparación de Curvas Patrón  $G'$  del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando velocidades para el compuesto Alpha.**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



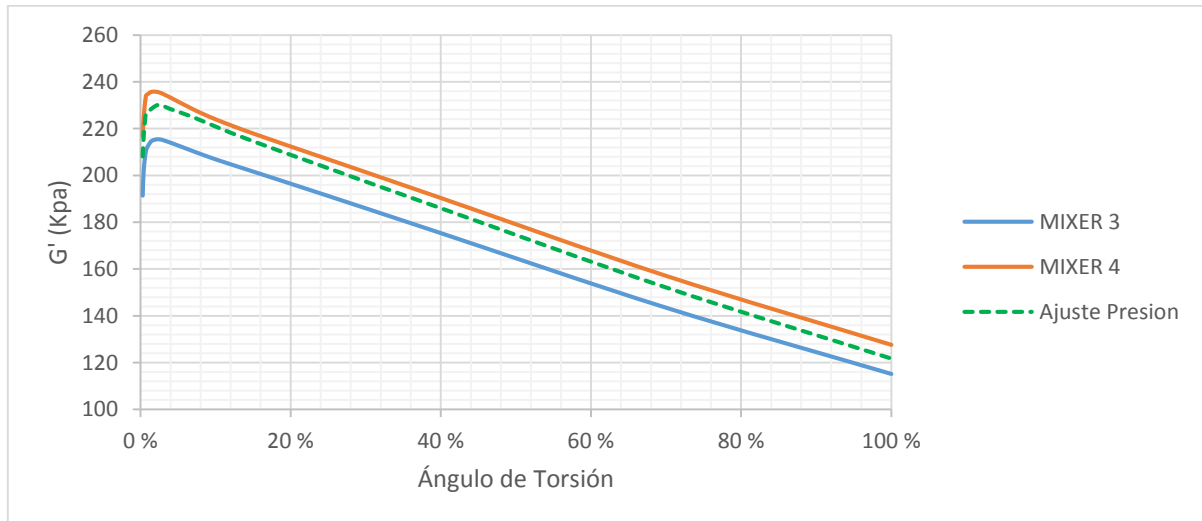
Al realizar este ajuste se tuvo una mejora en conjunto con las dos ajustes anteriores del 18% de un total del 21%, por lo que podemos decir que el ajuste tuvo excelentes resultados al aproximar a las condiciones de trabajo del Mixer modelo.

#### **3.4.2.2. Ajuste para el Compuesto Beta.**

El porcentaje de mejora que se pretende en el Mixer 4 de este compuesto es del 10%, por lo que se realizó un primer ajuste, modificando la presión del 100% a 80 % en paso 10, obteniendo el resultado de la **Gráfica 14**.

**Gráfica 14: Comparación de Curvas Patrón  $G'$  del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando presiones para el compuesto Beta**

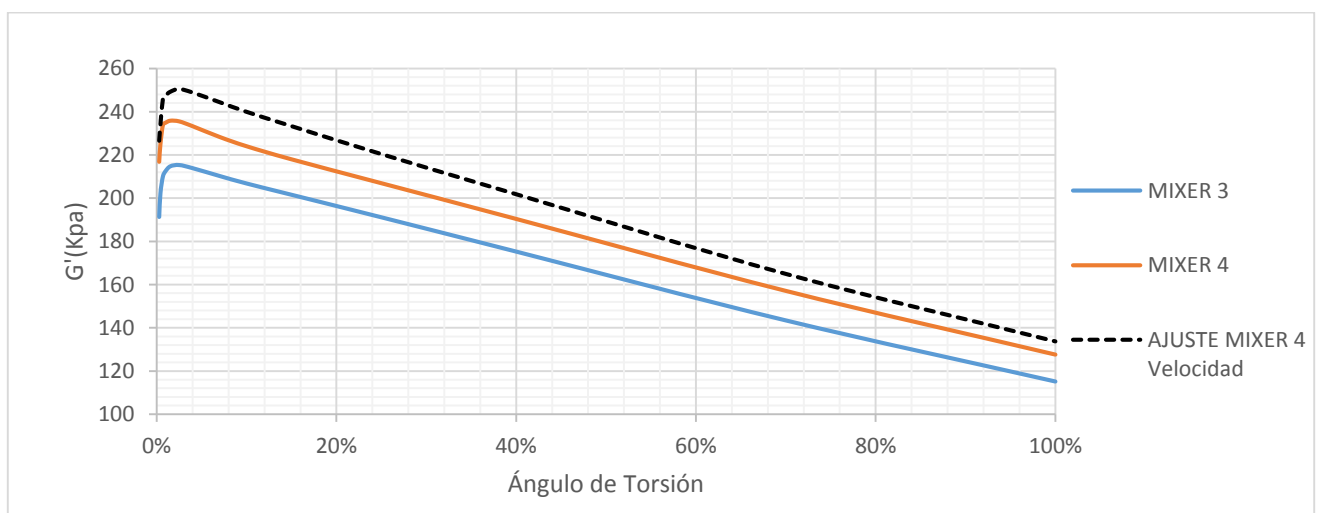
**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



Al parecer existió una mejora del 3% con el ajuste realizado, por lo que se realizó un nuevo ajuste, procediendo a modificar la velocidad en +3rpm en pasos 1 al 6, llegando a ser 50rpm, obteniendo el resultado de la **Gráfica 15**.

**Gráfica 15: Comparación de Curvas Patrón  $G'$  del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando velocidades para el compuesto Beta.**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



Sin tener efecto en los resultados, nuevamente se realizó un ajuste, modificando presión y tiempo de mezclado. **Cuadro 16.**

**Cuadro 16: Cambios realizados de presión y tiempo en el Mixer 4 para ajuste del compuesto Beta**

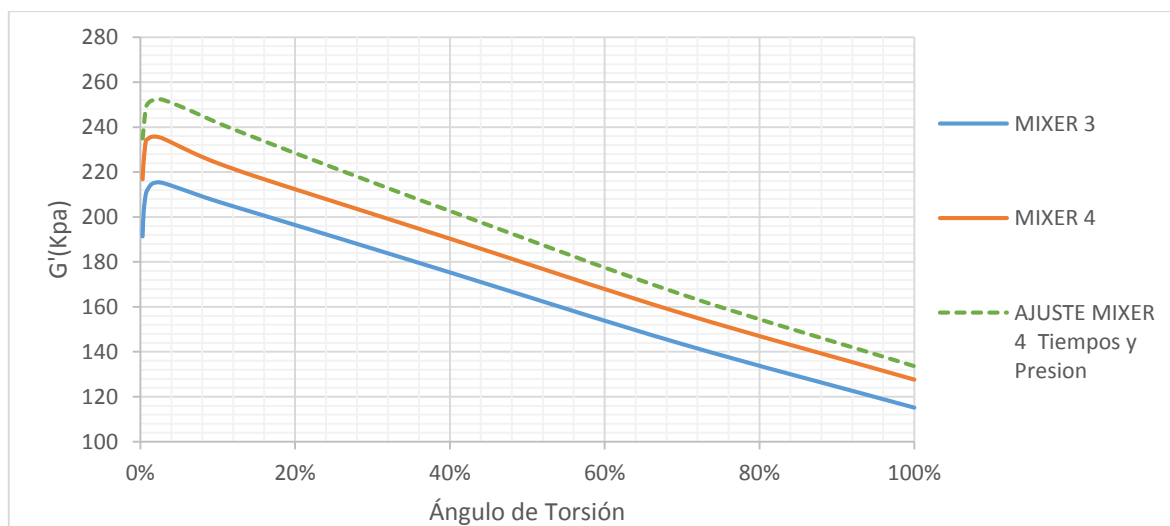
**Fuente: Continental Tire Andina**

PASOS	Tiempos (s)	Presión (%)
2	-5	
5	7	
6		100 a 90
8		100 a 90
10	-2	
Diferencia	0	10

El resultado obtenido fue el siguiente. **Gráfica 16.**

**Gráfica 16: Comparación de Curvas Patrón  $G'$  del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando tiempos y presiones para el compuesto Beta.**

**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**

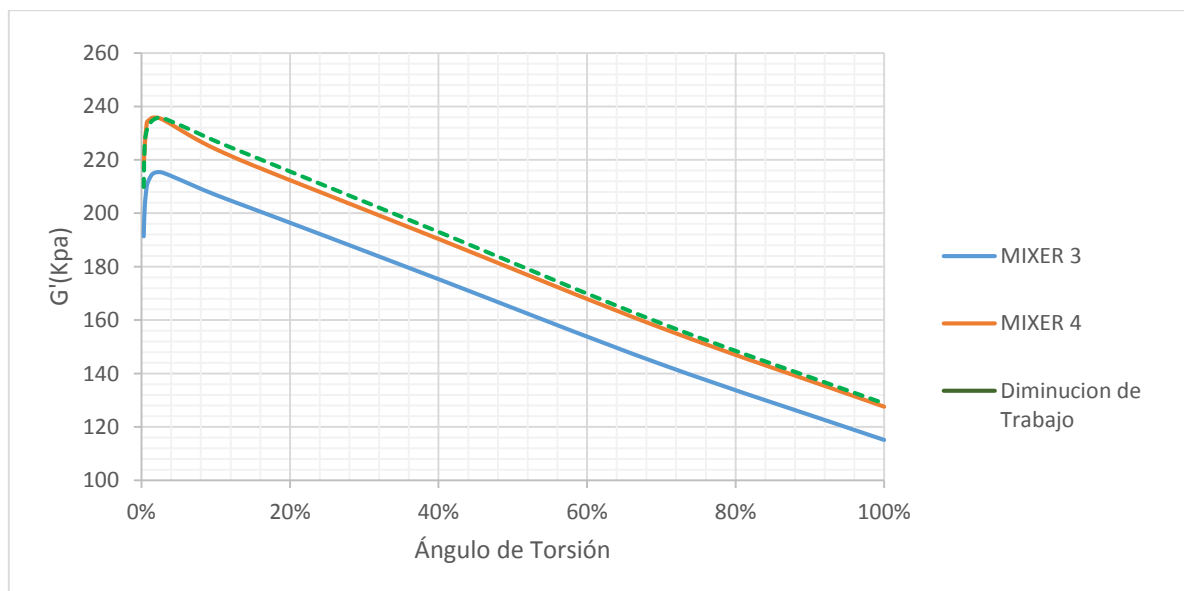


Después de los resultados obtenidos, se observó que a medida que se da más trabajo al compuesto, las tendencias de las curvas tienden a ascender, por lo que puede verse influenciada en el exceso de trabajo, rompiendo los enlaces

caucho-negro de humo provocando un aumento de estos valores, por lo que se decidió realizar una prueba disminuyendo el trabajo en el Mixer, precisamente la potencia del motor de 35 HP a 25 HP, además la temperatura de 160°C a 145°C y una disminución de 30 segundos en los diferentes pasos de mezclado, obteniendo el resultado del **Gráfica 17**, en el que no se obtuvo los resultados requeridos.

**Gráfica 17: Comparación de Curvas Patrón  $G'$  del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, disminuyendo el trabajo para el compuesto Beta**

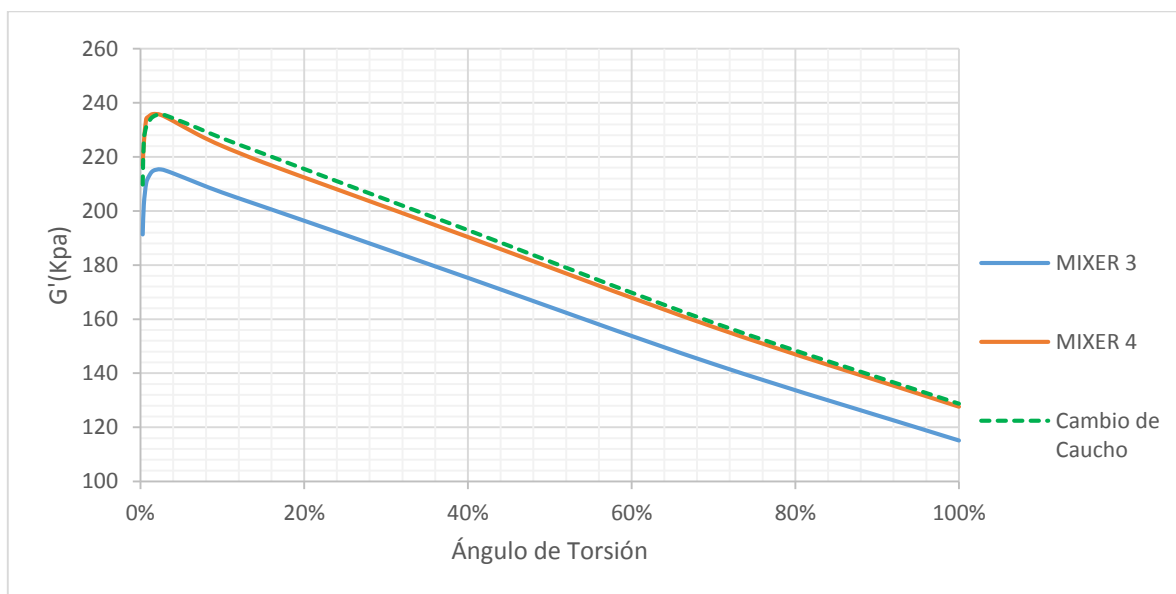
**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



Una nueva experiencia se realizó en este compuesto, mediante el cambio de lote de caucho, aunque la tendencia de la curva no ascendió como sucedió en los anteriores ajustes, se mantuvo en tendencia con la curva inicial **Gráfica 18**, por lo tanto no se logró ajustar mediante la modificación de la fórmula del compuesto.

**Gráfica 18: Comparación de Curvas Patrón  $G'$  del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, modificando el lote de caucho para el compuesto Beta.**

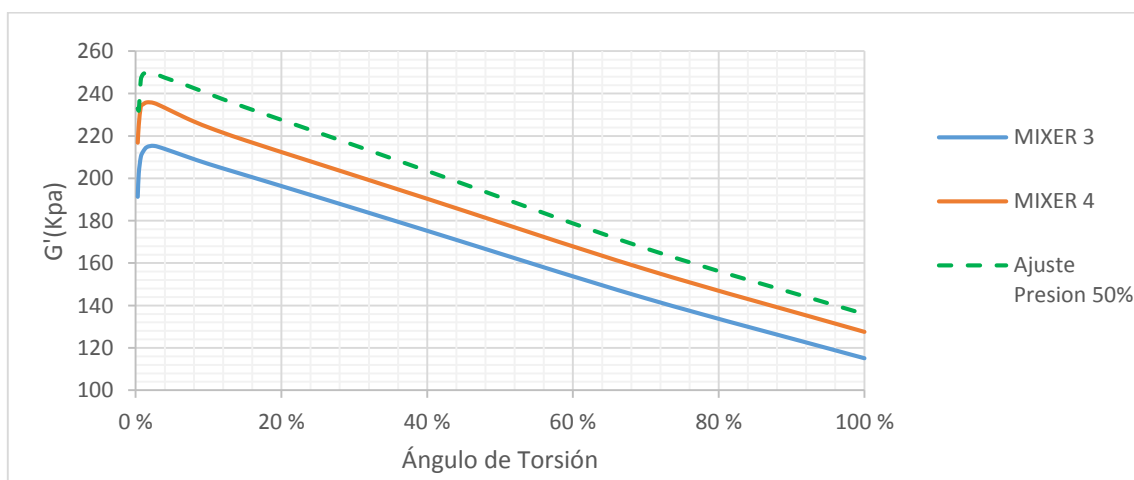
**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



Debido a que a nivel de receta del compuesto se ha llegado a los límites de los cambios posibles de las variables en estudio, se forzó un cambio de presión disminuyéndola al 50%. Se tomó esta variable ya que en la primera experiencia con la disminución de la presión se tuvo el mejor de los resultados de todos los cambios realizados. El resultado obtenido se presenta en la **Gráfica 19**.

**Gráfica 19: Comparación de Curvas Patrón  $G'$  del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, disminuyendo la presión al 50% para el compuesto Beta.**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



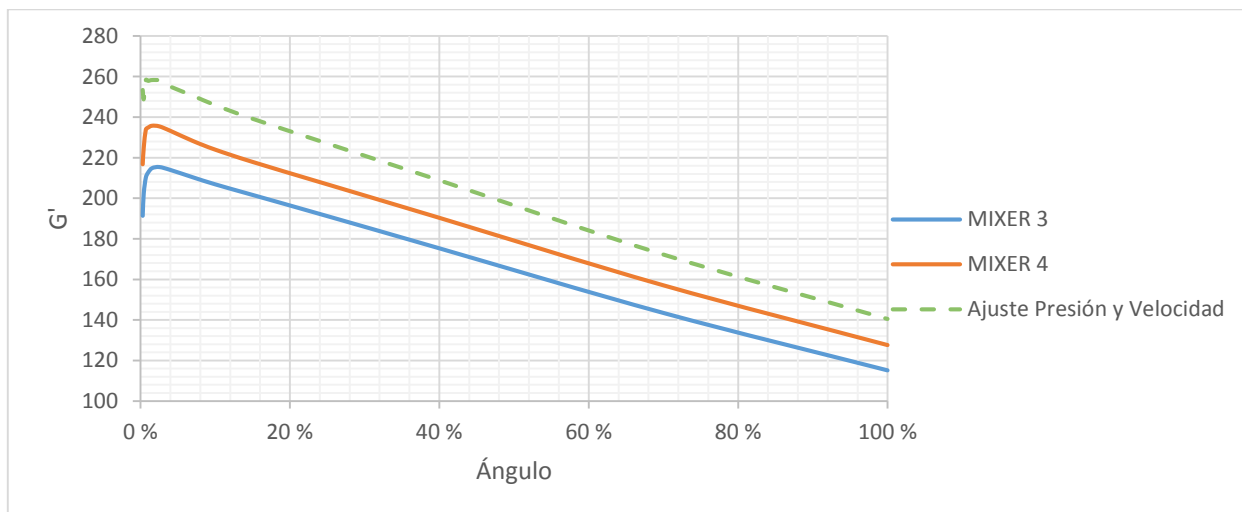


Con este cambio realizado no hubo un buen resultado el cual puede deberse a la misma disminución de la presión al 50%, dando lugar a un mal mezclado de los componentes al no tener mucho trabajo, ni una buena dispersión de la temperatura, por lo que origina esta tendencia superior.

Después de realizar varios cambios, modificando las diferentes variables, se tomó en consideración las variables que más tienen influencia en el proceso de mezclado, los cuales son la presión del pistón y la velocidad del rotor como se mencionan en el punto **3.4.2**, por lo que al tener una mejora del 3% al disminuir la presión a un 80% en estas pruebas, se decidió tomar en consideración esta misma presión y una disminución de la velocidad del rotor de 47rpm(Condiciones normales) a 44 rpm en pasos 1 al 6 del proceso de mezclado a la vez, obteniendo el resultado de la **Gráfica 20**.

**Gráfica 20: Comparación de Curvas Patrón  $G'$  del Mixer 3 y Mixer 4 con curva patrón ajustada del Mixer 4, disminuyendo la presión al 80% y la velocidad a 44 rpm para el compuesto Beta.**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



Como se observa en la gráfica anterior, no hubo un buen resultado, por lo que se ha probado de distintas formas el ajuste de este compuesto, agotando las posibilidades de variación dentro del proceso de mezclado en el Mixer 4, por lo

que al no tener éxito en los diferentes ajustes ya sea en variables individuales como en variables juntas, se ha llegado a la conclusión de que el compuesto se encuentra en condiciones óptimas para el Mixer 4, puesto a que cualquier cambio que se realiza a nivel de proceso, da resultados inversos a los buscados, es decir la calidad del mezclado empeora en lugar de mejorar, por lo que al estudiar este compuesto, la variación que se recomienda considerar es mantener la presión al 80% y las demás variables en sus condiciones iniciales, dado a que en esta experiencia hubo una mejora del 3% del 10% que se buscaba.

### 3.4.3. Control de Ajuste

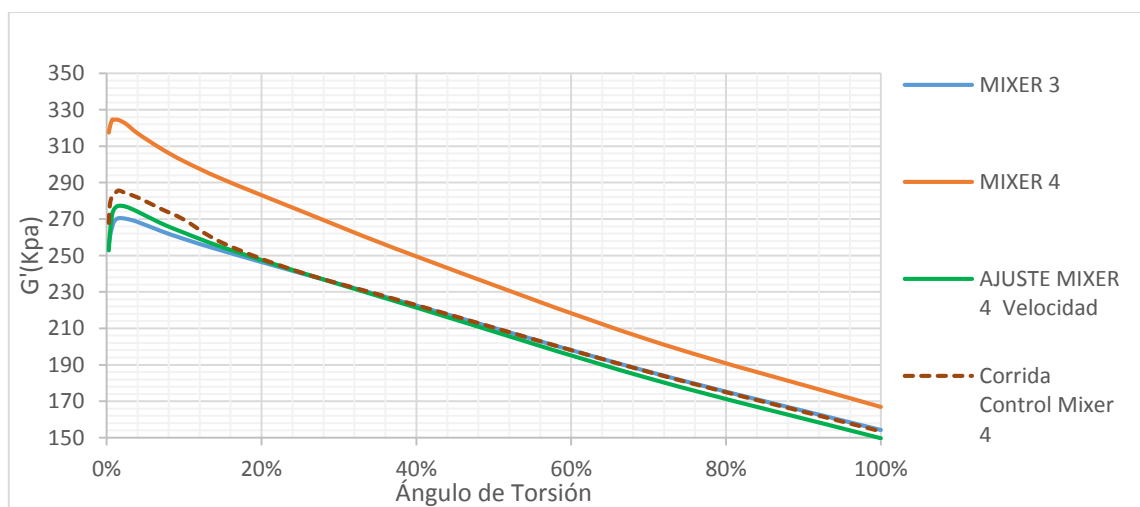
Después de realizado los ajustes para cada compuesto, se ha realizado un nuevo muestreo para el control del mismo y corroborar la eficiencia del ajuste realizado.

#### 3.4.3.1. Control de Ajuste compuesto Alpha.

Se puede observar en la **Gráfica 21** que el ajuste tuvo un excelente resultado, manteniendo la tendencia del ajuste en nuevas corridas, por lo que los límites de control calculados y los ajustes realizados en el Mixer son válidos, asegurando un mejor mezclado para este compuesto.

#### **Gráfica 21: Control de Mezclado con ajuste de Velocidad de Mixer 4**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores

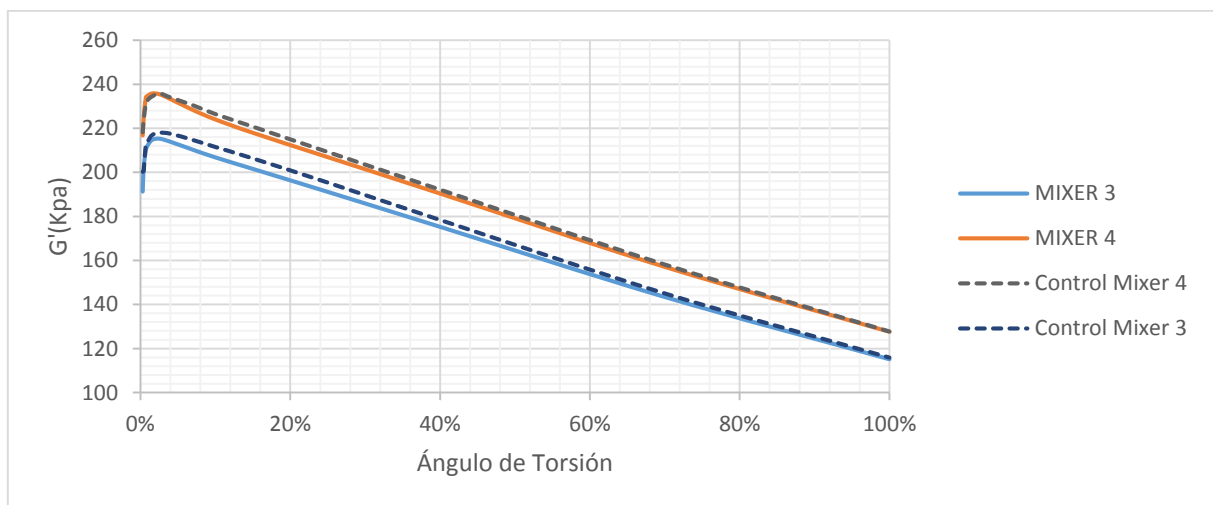


### 3.4.3.2. Control de Ajuste compuesto Beta

Debido a los diferentes intentos y pruebas realizadas en este compuesto para este ajuste, se ha realizado un muestreo en cada Mixer, conservando las condiciones iniciales para comprobar y descartar cualquier fallo en el equipo, obteniendo resultados similares con los que se empezó este estudio, tal como se observa en el **Gráfica 22**.

**Gráfica 22: Control de Mezclado en Mixer 3 y Mixer 4 conservando las condiciones iniciales**

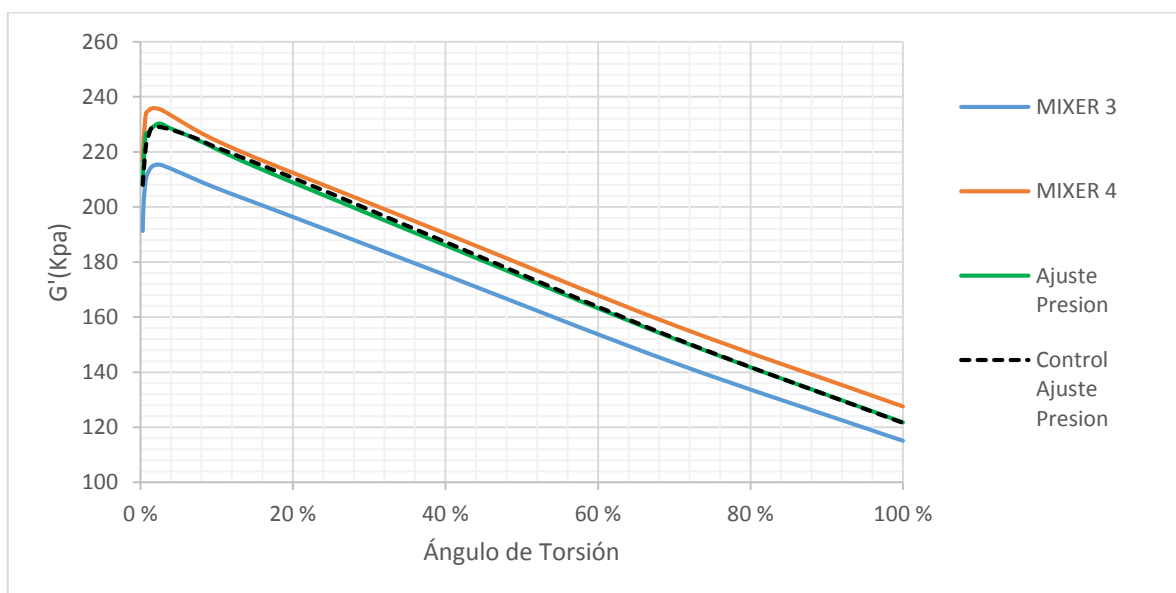
**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



Además con el ajuste de Presión realizado se obtuvo una pequeña mejora del 3% en el mezclado, por lo que se tomó un muestreo bajo esas mismas condiciones para controlar ese ajuste, siendo el resultado de la **Gráfica 23**.

**Gráfica 23: Control de Mezclado con ajuste de Presión en Mixer 4.**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores

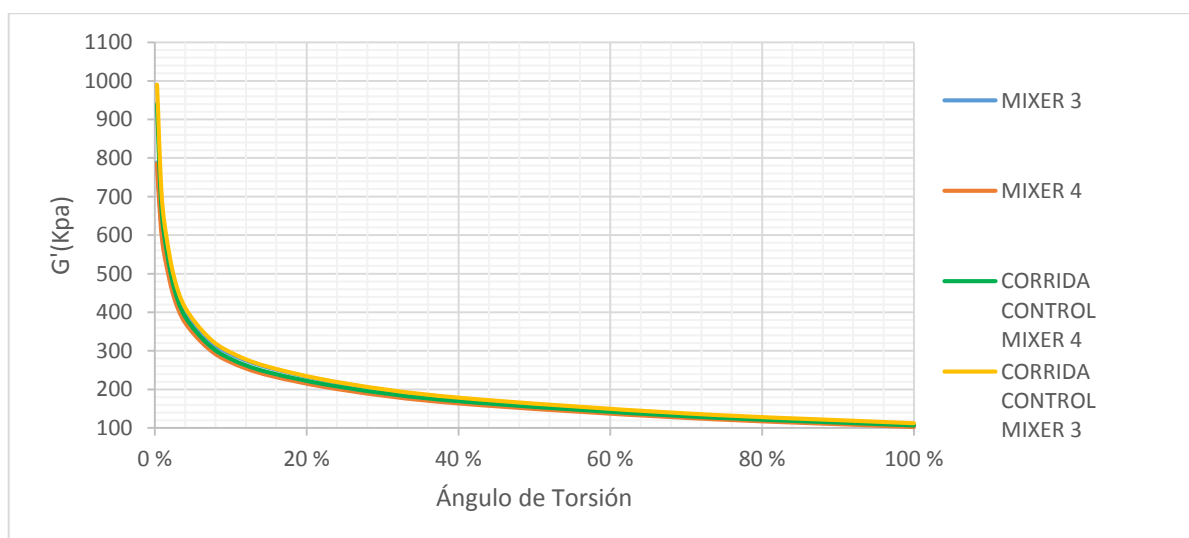


### 3.4.3.3. Control de Ajuste compuesto Gamma

Se realizó el muestreo con el mismo criterio de la estandarización y optimización de este estudio, viendo los resultados en la **Gráfica 24**, sin mostrar ninguna variación desde que se comenzó este trabajo.

**Gráfica 24: Control de Mezclado del Mixer 3 y Mixer 4 para compuesto Gamma.**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores

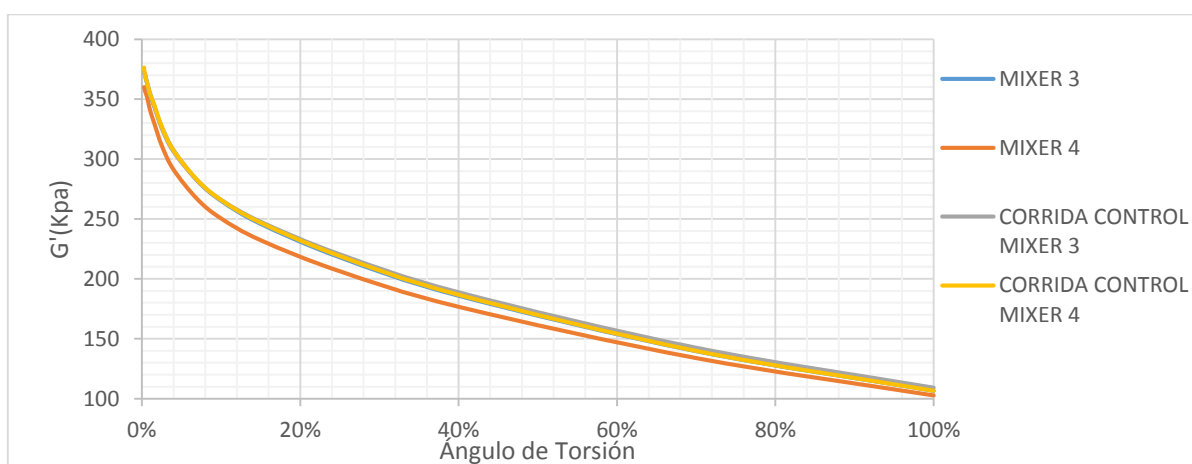


### 3.4.3.4. Control de Ajuste compuesto Delta

Los resultados que se obtuvieron en el control de mezclado de este compuesto, se muestran en la **Gráfica 25** resultando una misma tendencia para los dos Mixer, con una mínima variación del Mixer 4.

**Gráfica 25: Control de Mezclado del Mixer 3 y Mixer 4 para compuesto Delta**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



## CAPITULO 4

### 4. Conclusiones

- El uso del RPA 2000 permitió evaluar la eficiencia del proceso de mezclado de los principales compuestos primarios en cada Mixer, siendo un ensayo adicional más confiable que el Viscosímetro Mooney permitiendo obtener datos y por ende información sobre el estado de mezcla. Los compuestos pueden tener una misma viscosidad tanto para el Mixer 3 como para el Mixer 4 pero perfiles viscoelásticas muy diferentes.
- Se pudo estandarizar cada una de los compuestos primarios estudiados dando lugar al cálculo de límites de control según los requerimientos de la empresa, logrando así establecer un sistema de monitoreo de los compuestos primarios y un mejor control del mezclado mediante la aplicación de cartas de control.
- Se ha analizado que existe una variación de tendencias entre las cargas tomadas en los diferentes turnos, por lo que según las cartas de control de tipo individuales para cada compuesto, se ha llegado a la conclusión de que el compuesto Beta, Gamma, y Delta se encuentran con un proceso fuera de control estadístico, no sucediendo lo mismo con el compuesto Alpha al tener un proceso dentro de un control estadístico, por lo que una causa probable de esta variación en dichos compuestos se debe mayormente a las distintas condiciones ambientales presentes en los diferentes turnos de producción, ya que la temperatura ambiente tiene gran influencia sobre el agua de enfriamiento que se utiliza en los diferentes Mixer, lo cual se refleja durante la producción ya que al haber temperaturas bajas como es en el caso de la mañana y madrugada, existen pérdidas de calor en los equipos, provocando estas variaciones en el compuesto. Además de este factor ambiental, se considera otra causa probable influyente en la variación, a la naturaleza y origen del caucho natural en uso, tal como se mostró en estudio.
- Se minimiza como causa probable de variación en las tendencias de los compuestos, al cambio de operario o método, ya que el proceso se realiza

casi de manera automática, dado a que existen diferentes áreas en las cuales las materias primas son pesadas, siendo comprobados sus pesos en la banda transportadora antes del proceso de mezclado.

- El uso de caucho sintético permite un mayor control de proceso de mezcla del compuesto, como se pudo observar en los compuestos Gamma y Delta, al tener una microestructura controlada, los resultados fueron mejores durante la elaboración de compuestos.
- En el proceso de optimización para el compuesto Alpha se logró obtener un 18% de mejora quedando un 3% de variación entre el Mixer 3 y Mixer 4 del 21% que existía, por lo que gráficamente en el apartado se puede observar el excelente resultado que se obtuvo mediante el ajuste de las variables presión y velocidad en el Mixer. En el caso del compuesto Beta se logró una optimización del 3%, quedando un 7% de variación entre los Mixers del 10% que se pretendía lograr, mediante el ajuste de la presión al 80% de sus condiciones iniciales. Por lo cual se realizaron múltiples experiencias modificando las variables tanto individualmente como en conjunto, además de una experiencia adicional mediante el cambio de caucho natural en la receta, buscando una mejora la cual no se logró como se demuestra en el estudio, cuyos resultados fueron inversos de los que se esperaba, por lo que se llega a la conclusión de que las condiciones iniciales establecidas para el compuesto, son las óptimas en el Mixer 4, hallando solo la mejora del 3% mencionado, puesto a que cualquier otro cambio que se realizaba se reflejaba en un mal mezclado.
- En las múltiples experiencias para la optimización del proceso se considera como variables de mayor influencia dentro del mezclado a la presión del pistón y la velocidad de los rotores en el Mixer, puesto a que son las variables que cuentan con un mayor rango para su modificación, no siendo el caso de la temperatura y tiempo que tienen sus restricciones dentro del proceso de mezclado. Por lo que el ajuste de las variables se lo realizó en los pasos en donde existe un mayor tiempo de mezclado dentro del Mixer.



- Este estudio ha fomentado el uso del equipo RPA 2000 en el laboratorio Físico-Químico de la empresa, para llevar un control de mezclado de compuestos primarios de caucho y así definir condiciones de trabajo y de mezclado adecuadas en los diferentes Mixer, mejorando las características de los compuestos para las siguientes etapas productivas.





#### 4.1. Recomendaciones

- Para la elaboración de compuestos de caucho, se debe tomar en cuenta la procedencia del caucho natural usado, ya que sus propiedades varían según su naturaleza, por lo que un control de caucho natural con el RPA 2000 debe ser fundamental para un control y para la elaboración de nuevos compuestos.
- El uso de graficas de tendencia o cartas de control de tipo individuales se le considera primordial durante el proceso de estandarización, ya que una correcta observación y selección de datos, permitirá tener datos precisos y confiables para la elaboración de los límites de control.
- Dado a que el proceso de mezclado no se encuentra dentro de un control estadístico para los compuestos Beta, Gamma y Delta por probables causas ambientales, se recomienda tomar como base los límites establecidos en el estudio para la identificación de compuestos y control del proceso de mezclado, puesto a que es necesario estudiar a fondo estas causas probables que producen la variación para minimizarlas y así validar estos límites en el transcurso del tiempo, o en caso contrario realizar un nuevo ajuste de los límites del control.
- La cantidad de trabajo dado durante el proceso de mezclado debe ser moderadamente equilibrado, por lo que una correcta distribución de tiempo, velocidad, temperatura, y presión en los pasos de mezclado se verá reflejado en la calidad de mezclado, favoreciendo en los demás procesos de la elaboración de un neumático.
- Para la estandarización de compuestos en general y optimización del proceso es necesario llevar un control estricto del cumplimiento de la receta del compuesto de caucho, ya que descargas del compuesto fuera de tiempo del Mixer o ingredientes mal pesados, produce diferentes resultados, lo cual no asegura datos confiables y precisos.
- Dado a que hubo diferentes experiencias al intentar llegar a las condiciones de mezclado del Mixer 3 en el Mixer 4 del compuesto Beta, se recomienda usar el cambio realizado de la disminución de la presión al 80%, manteniendo las demás variables en sus condiciones iniciales



puesto a que hay una leve mejora o ajuste de la curva, logrando así una mayor eficiencia en el mezclado.



## 4.2. Bibliografía

- AB, I. &. (2015). *Instrument & Calibration Sweden AB*. Recuperado el 20 de febrero de 2015, de <http://www.icssweden.com/product/rheometers/rpa-2000/>
- Aguilar, D. P. (Octubre de 2008). *icicm*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2015, de [www.icicm.com/files/CursoCEP2.doc](http://www.icicm.com/files/CursoCEP2.doc)
- Alpha Technologies, Mr. J.S dick, C.A. Stevens. (21-24 de Septiembre de 1999). *Factory Testing and Control of Raw Natural Rubber and Mixed Batches Using the Rubber Process Analyzer*. Akron, Ohio, USA. Recuperado el 10 de Marzo de 2015, de <http://www.pharma-food.de/ai/resources/e0885af9411.pdf>
- ASTM. (1996-2014). *ASTM INTERNATIONAL*. Recuperado el 20 de Octubre de 2014, de <http://www.astm.org/>
- Billmeyer, F. W. (1975). *Ciencia de los polímeros*. En F. W. Billmeyer, *Ciencia de los polímeros* (pág. 540). Barcelona, España: Editorial Reverté S.A. Recuperado el 18 de diciembre de 2014, de [https://books.google.com.ec/books?id=vL9QrpOKsQcC&pg=PA540&dq=cauchos&hl=es-419&sa=X&ei=QXOgVL27M4S-ggS\\_2IHgCQ&ved=0CCEQ6wEwAQ#v=onepage&q=cauchos&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=vL9QrpOKsQcC&pg=PA540&dq=cauchos&hl=es-419&sa=X&ei=QXOgVL27M4S-ggS_2IHgCQ&ved=0CCEQ6wEwAQ#v=onepage&q=cauchos&f=false)
- Billmeyer, F. W. (2004). *Ciencia de los polimeros*. España: REVERTÉ, S.A., 1975. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de [http://books.google.com.ec/books?id=vL9QrpOKsQcC&pg=PA187&lpg=PA187&dq=reologia+polimeros&source=bl&ots=ywKz7busvi&sig=810aM1CEXI79Qe2lsN5K5GplGu8&hl=es&sa=X&ei=ayyFVN\\_FKNHIsAT8k4HwCg&ved=0CDUQ6AEwBA#v=onepage&q=reologia%20polimeros&f=false](http://books.google.com.ec/books?id=vL9QrpOKsQcC&pg=PA187&lpg=PA187&dq=reologia+polimeros&source=bl&ots=ywKz7busvi&sig=810aM1CEXI79Qe2lsN5K5GplGu8&hl=es&sa=X&ei=ayyFVN_FKNHIsAT8k4HwCg&ved=0CDUQ6AEwBA#v=onepage&q=reologia%20polimeros&f=false)
- Castro, I. G. (2008). *Materiales y compuestos para la industria del neumatico*. Recuperado el 1 de enero de 2015, de Departamento de ingeniería mecánica F.I.U.B.A: [http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material\\_Complementario/Materiales\\_y\\_Compuestos\\_para\\_la\\_Industria\\_del\\_Neumatico.pdf](http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf)
- Cauchó, S. L. (Abril de 2014). *Conceptos Basicos para Estudios Reologicos en Cauchos. SLTCAUCHO(1)*, 7-11. Recuperado el 16 de Diciembre de 2014, de <http://issuu.com/sltc/docs/revista-sltcaucho-abril-2014>
- Continental. (2014). *Continental global site*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de Continental Tire: [http://www.continentaltire.com/ec/www/llantas\\_an\\_es/](http://www.continentaltire.com/ec/www/llantas_an_es/)
- Dick, J. S. (2003). *Basic Ruber Testing*. Bridgeport, New Jersey: ASTM INTERNACIONAL. Recuperado el 18 de Febrero de 2015, de <http://books.google.com.ec/books?id=VQVAHZyHyPAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Dick, J. S. (15 de Octubre de 2012). *RubberNews*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2014, de <http://www.rubbernews.com/assets/pdf/rn841581129.pdf>



- Fajen, L. D. (s.f.). En L. D. Fajen, *Industria del caucho*. Recuperado el 23 de diciembre de 2014, de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/80.pdf>
- Farrel. (15 de 7 de 2015). *asmenh*. Recuperado el 15 de 7 de 2015, de [http://www.asmenh.org/events/Farrel\\_TOUR/farrel\\_clip\\_image008.jpg](http://www.asmenh.org/events/Farrel_TOUR/farrel_clip_image008.jpg)
- Ferré, M. (29 de 7 de 2007). *cerclesbd*. Recuperado el 20 de Junio de 2015, de <https://cerclesbd.wordpress.com/2007/07/29/iv-a-mezclado-del-caucho/>
- García Quesada, J. C. (2 de Octubre de 2007). *Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante "RUA"*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/2003>
- IMAGES, C. (2014). Recuperado el 15 de DICIEMBRE de 2014, de CONTIMEDIA: [http://www.contimedia-cvt.com/images\\_corporate.html](http://www.contimedia-cvt.com/images_corporate.html)
- Jhon S. Dick, C. H. (1997). *Polymer Testing*. (R. Brown, Ed.) California, Anaheim, Estados Unidos. Recuperado el 20 de Diciembre de 2014
- Martín, J. C. (1997). *Mecánica del automóvil actual*. (E. Reverte, Ed.) Recuperado el 1 de marzo de 2015, de [https://books.google.com.mx/books?id=QUWEJdvweOsC&dq=partes+de+un+neumatico&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.mx/books?id=QUWEJdvweOsC&dq=partes+de+un+neumatico&source=gbs_navlinks_s)
- Navas, J. S. (2006). *Introducción a la Reología de los alimentos*. Cali, Colombia: 2006 ReCiTeLa. Recuperado el 12 de Diciembre de 2014, de [https://books.google.com.ec/books?id=IVCAQaI\\_ePkC&pg=PA10&lpg=PA10&dq=que+es+la+reometria&source=bl&ots=OL7q7sgIWI&sig=huHEIK8Is-637ftMIgIGkmQ8uCo&hl=es&sa=X&ei=8oWIVMTGJMebgwTyjYLwBw&sqi=2&ved=0CD0Q6AEwBQ#v=onepage&q=que%20es%20la%20reometria&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=IVCAQaI_ePkC&pg=PA10&lpg=PA10&dq=que+es+la+reometria&source=bl&ots=OL7q7sgIWI&sig=huHEIK8Is-637ftMIgIGkmQ8uCo&hl=es&sa=X&ei=8oWIVMTGJMebgwTyjYLwBw&sqi=2&ved=0CD0Q6AEwBQ#v=onepage&q=que%20es%20la%20reometria&f=false)
- Pulido, H. G. (2008). *Calidad Total y Productividad* (Tercera ed.). Mexico, D.F, Mexico: MCGRAW-HILL. Recuperado el 21 de Septiembre de 2015
- Seguro, C. (2015). *Circula Seguro*. Recuperado el 15 de Junio de 2015, de <http://www.circulaseguro.com/que-es-el-neumatico/>
- STRUCKTOL. (4 de Noviembre de 2014). *Manual del caucho*. (strucktol, Productor) Recuperado el 2 de Enero de 2015, de [http://www.strucktoll.com/pdfs/Manual\\_del\\_caucho.pdf](http://www.strucktoll.com/pdfs/Manual_del_caucho.pdf)
- Technologies, A. (2014). *Alpha Technologies*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2014, de <http://www.alpha-technologies.com/rubber-process-analyzer-rpa-2000-dynamic-mechanical-rheological-tester>
- Tecnología de Polimeros. (2012). En A. M. Maribel Beltrán Rico, *Tecnología de Polimeros. Procesado y Propiedades* (pág. 273). Publicaciones Universidad de Alicante. Recuperado el 21 de diciembre de 2014, de [https://books.google.com.ec/books?id=jxilUUn4\\_QAC&pg=PA40&dq=variacion+de+la+viscosidad+con+respecto+al+tiempo&hl=es-](https://books.google.com.ec/books?id=jxilUUn4_QAC&pg=PA40&dq=variacion+de+la+viscosidad+con+respecto+al+tiempo&hl=es-)

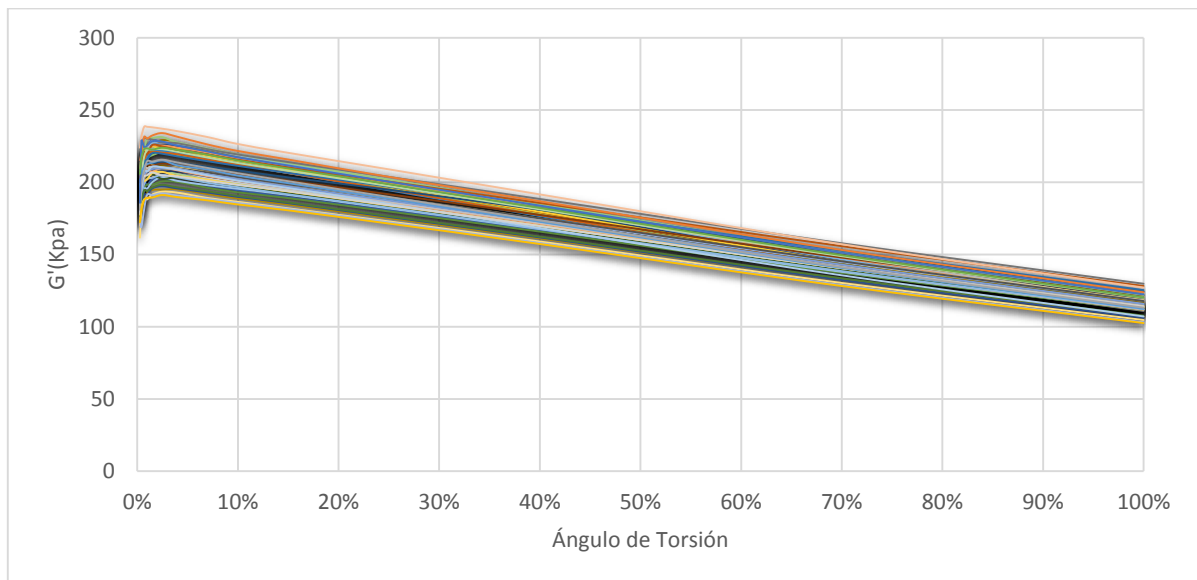


419&sa=X&ei=NDKgVLO5GImuggTsnIDw&ved=0CCEQ6AEwAQ#v=onepage&q=varia  
cion%20de%20la%20viscosidad%20con%20respecto%20al%20tiempo&f=false

### 4.3. Anexos

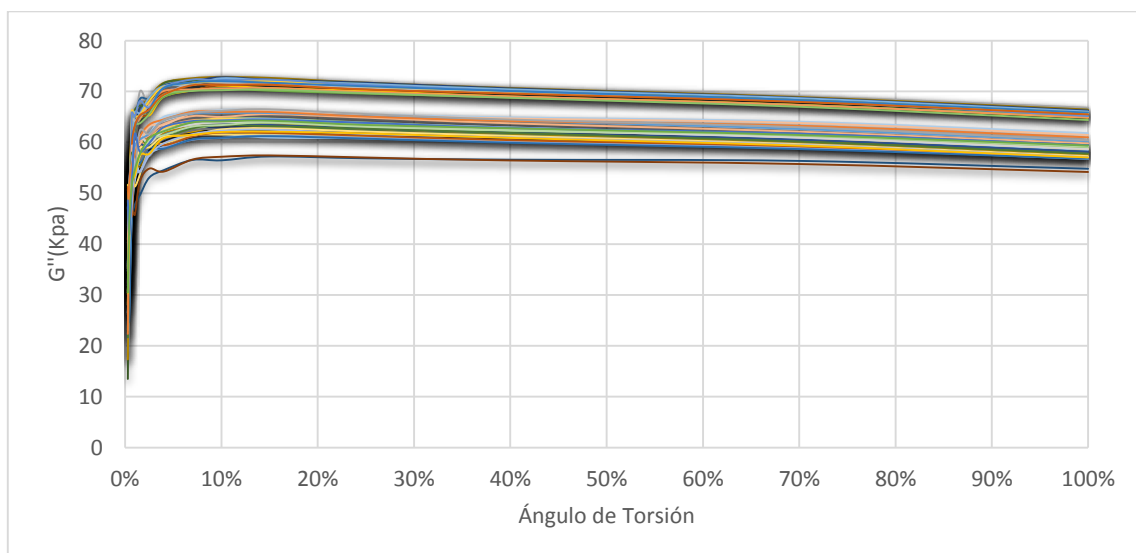
#### **Anexo 1: Gráfica $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Beta Mixer 3**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores

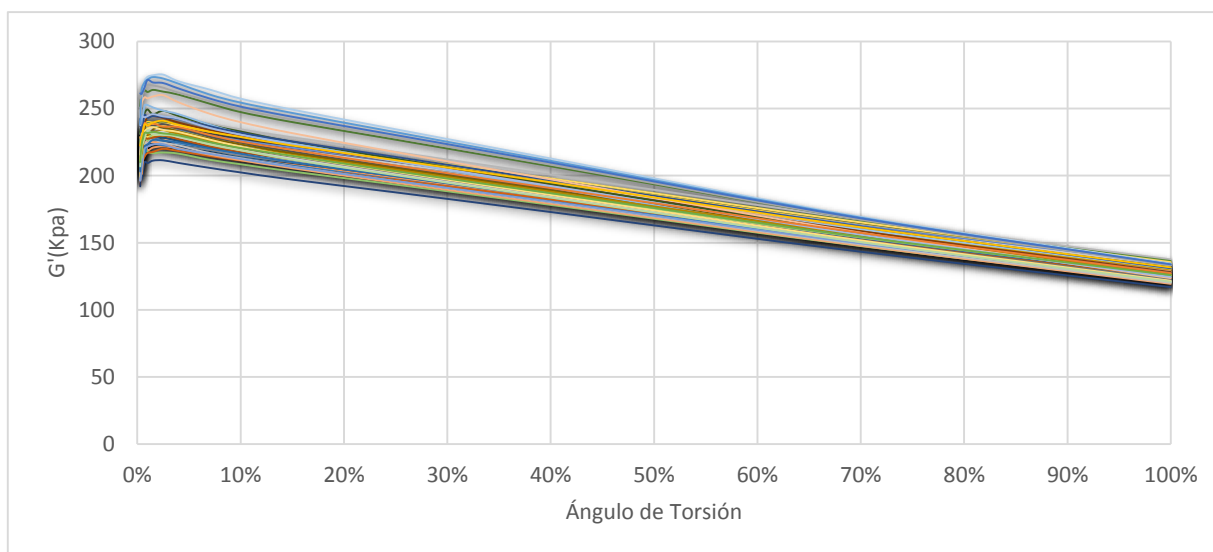


#### **Anexo 2: Gráfica $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Beta Mixer 3**

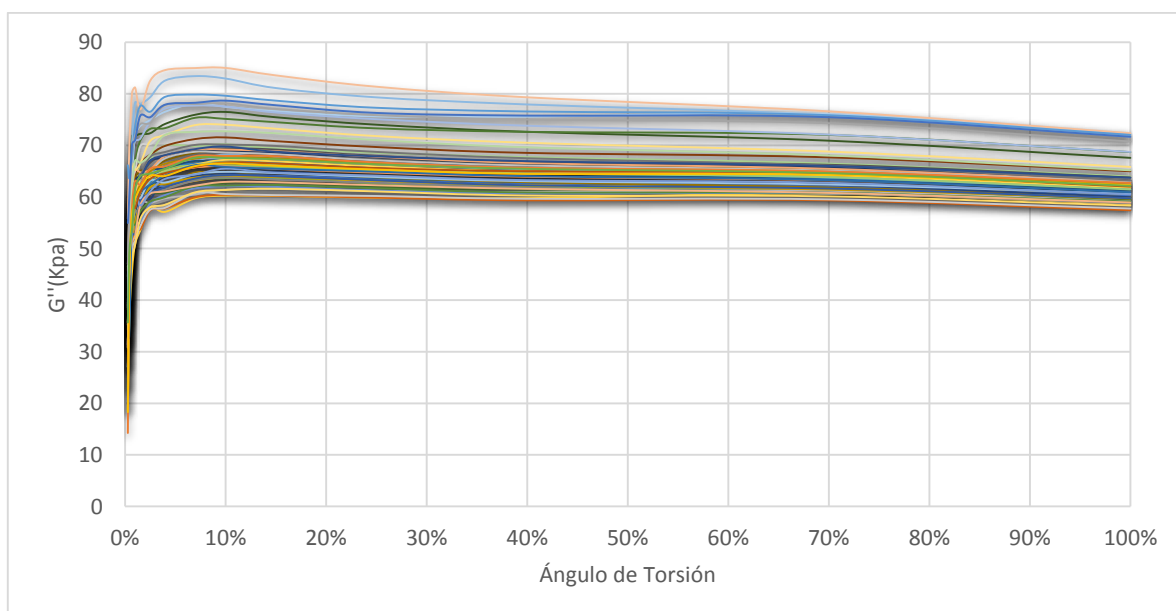
**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



**Anexo 3: Gráfica  $G'$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Beta Mixer 4**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**

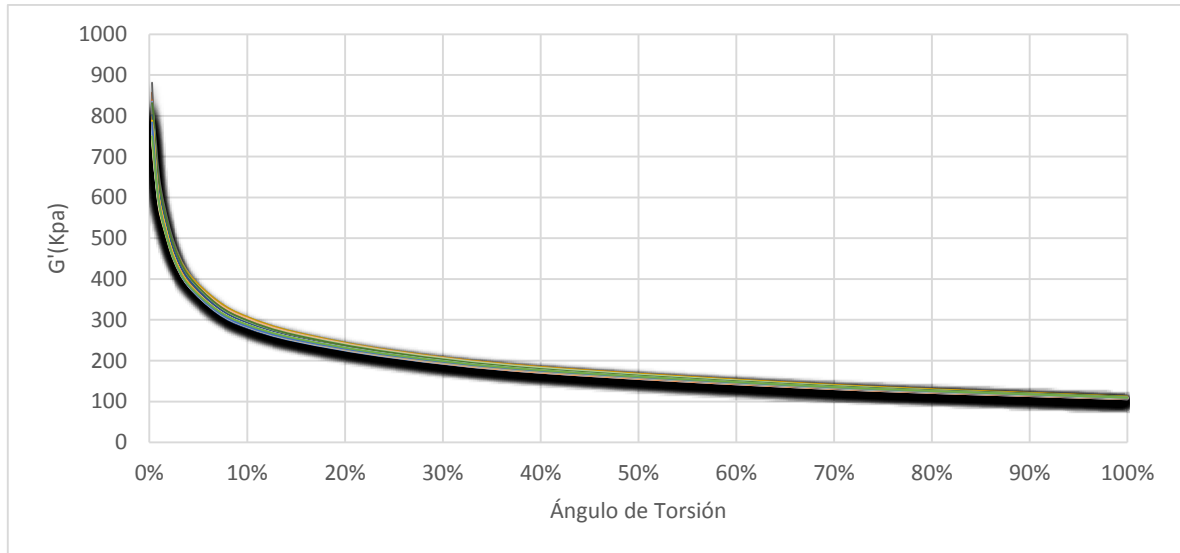


**Anexo 4: Gráfica  $G''$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Beta Mixer 4**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**



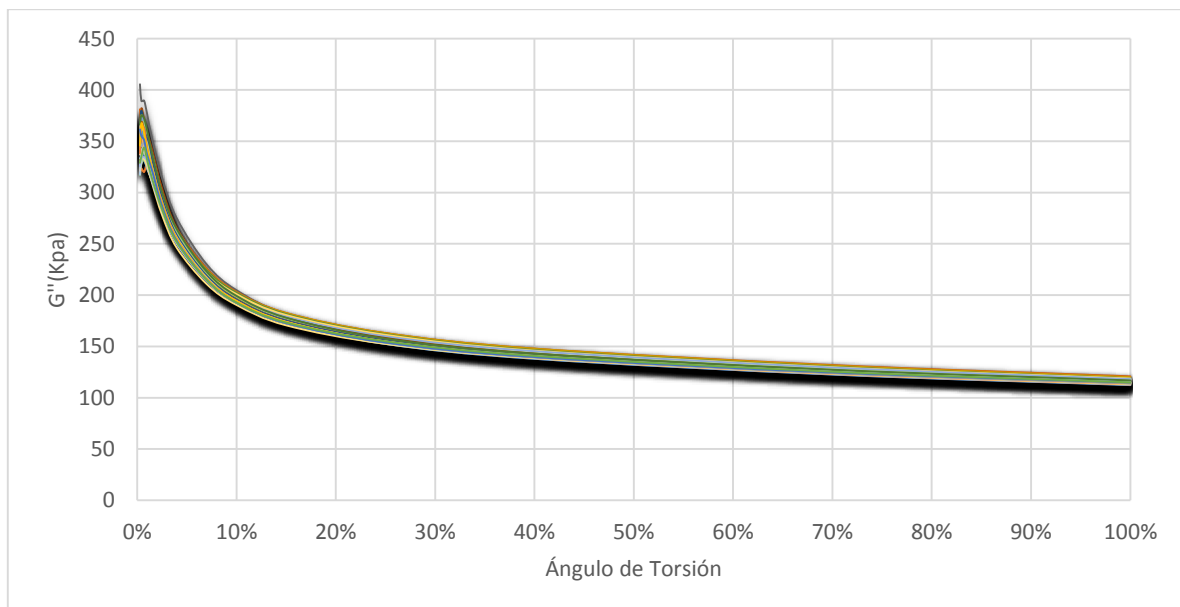
**Anexo 5: Gráfica  $G'$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Gamma Mixer 3**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



**Anexo 6: Gráfica  $G''$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Gamma Mixer 3**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores

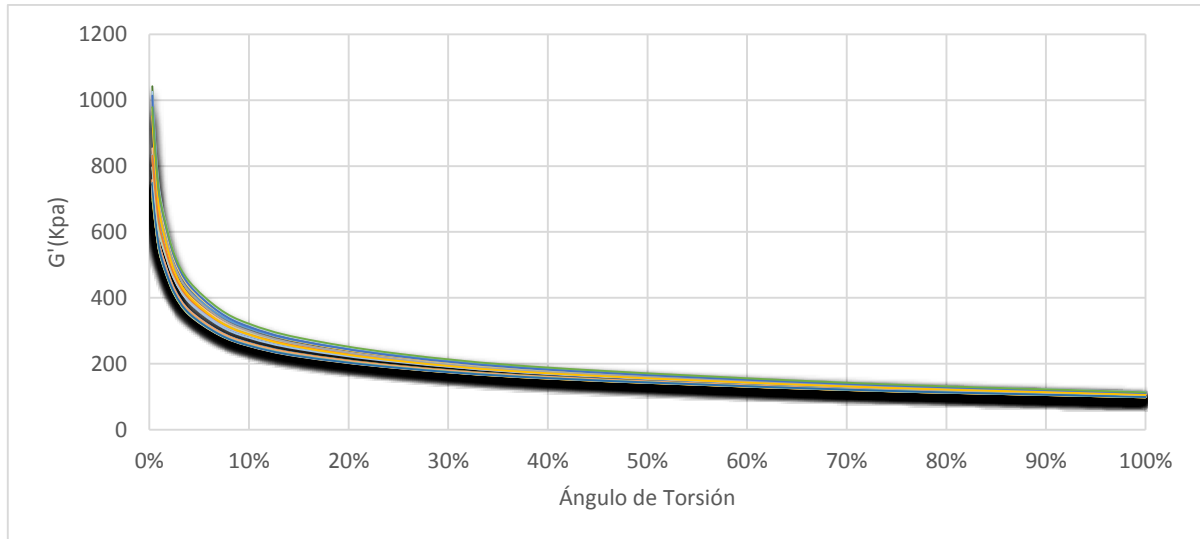






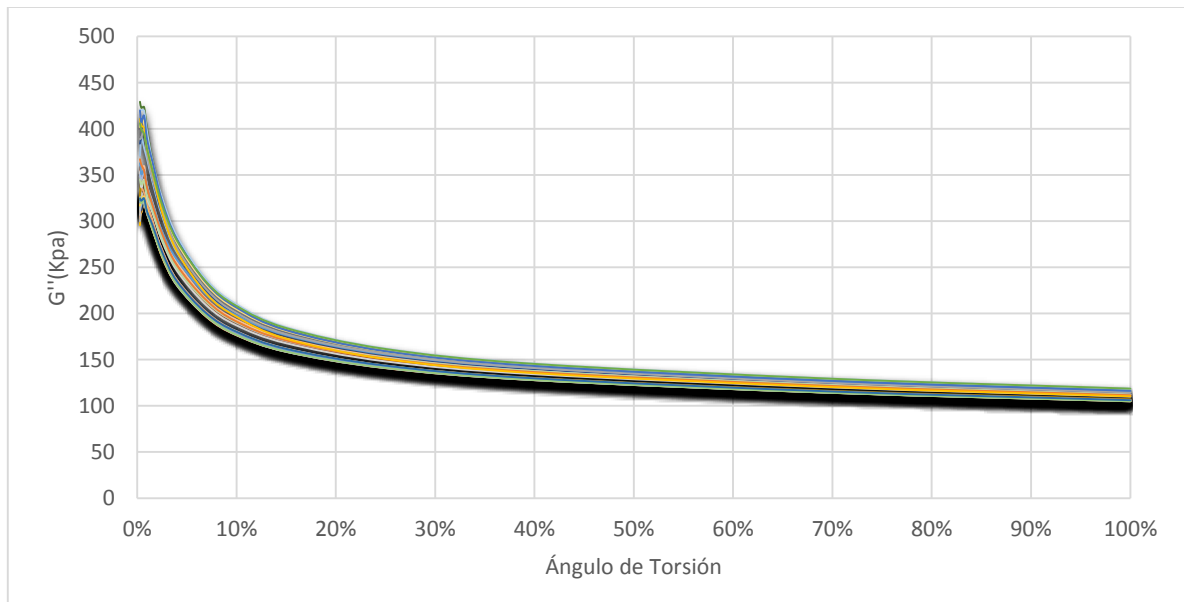
**Anexo 7: Gráfica  $G'$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Gamma Mixer 4**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores

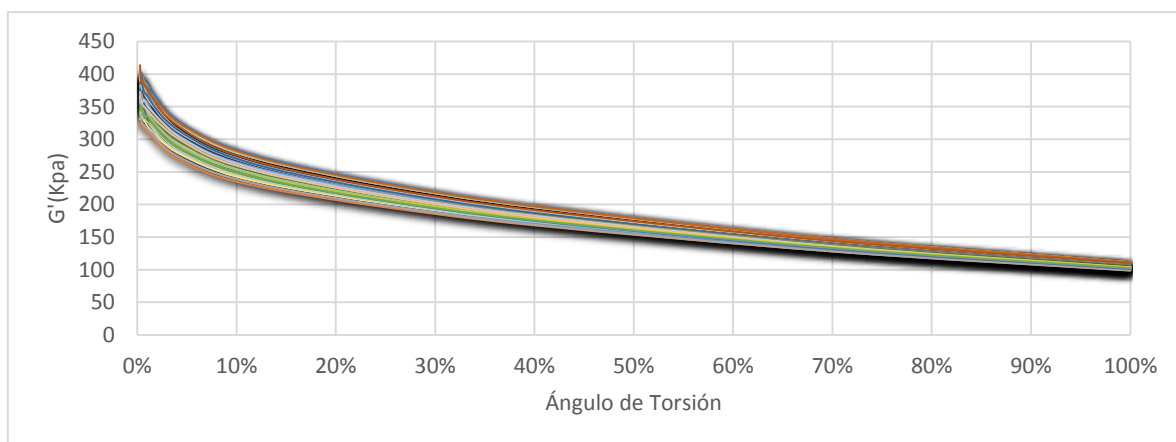


**Anexo 8: Gráfica  $G''$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Gamma Mixer 4**

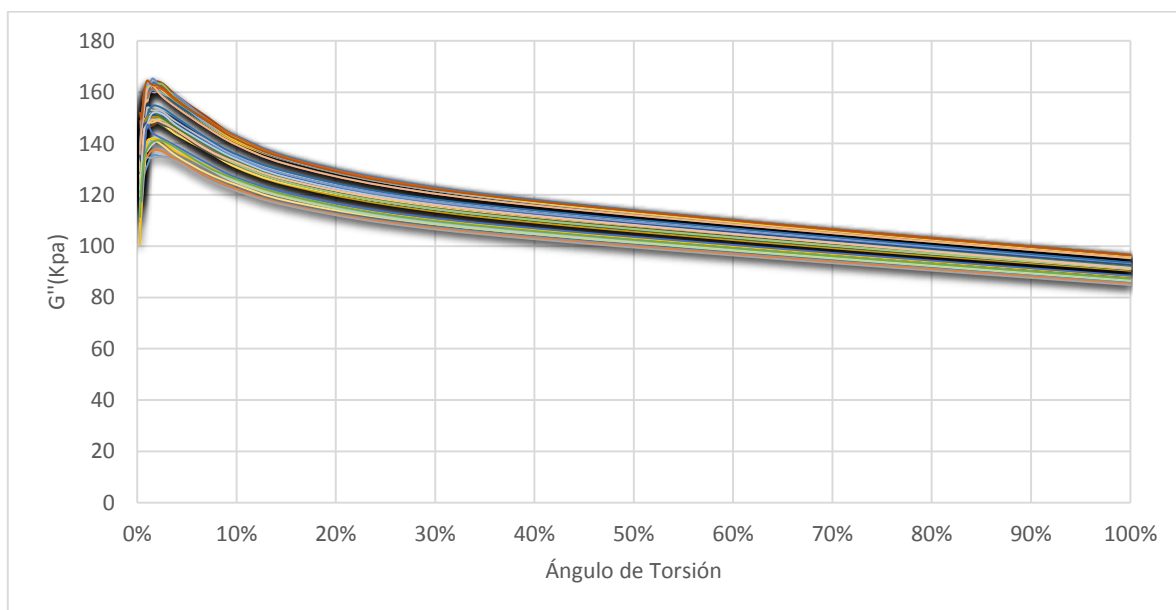
**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



**Anexo 9: Gráfica  $G'$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Delta Mixer 3**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**

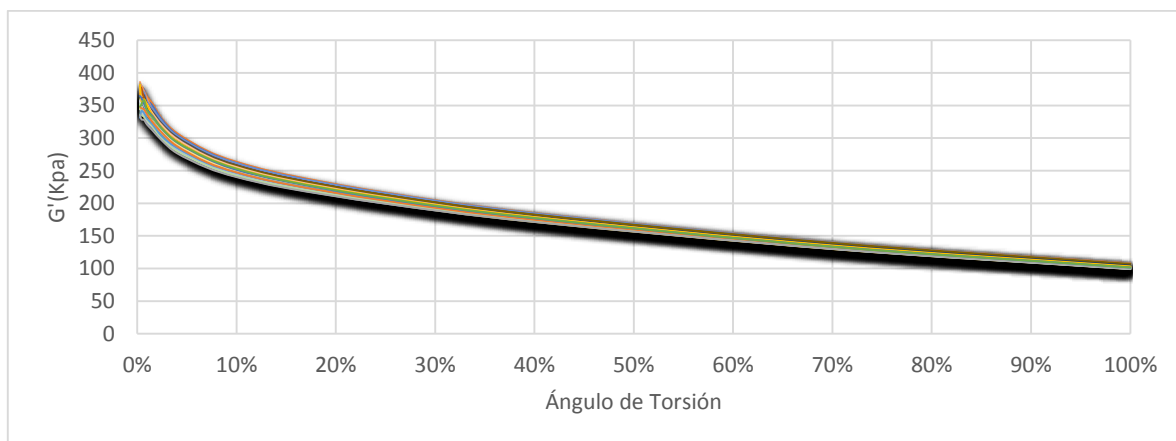


**Anexo 10: Gráfica  $G''$  vs Ángulo de Torsión para el compuesto Delta Mixer 3**  
**Fuente: Continental Tire Andina y Autores**



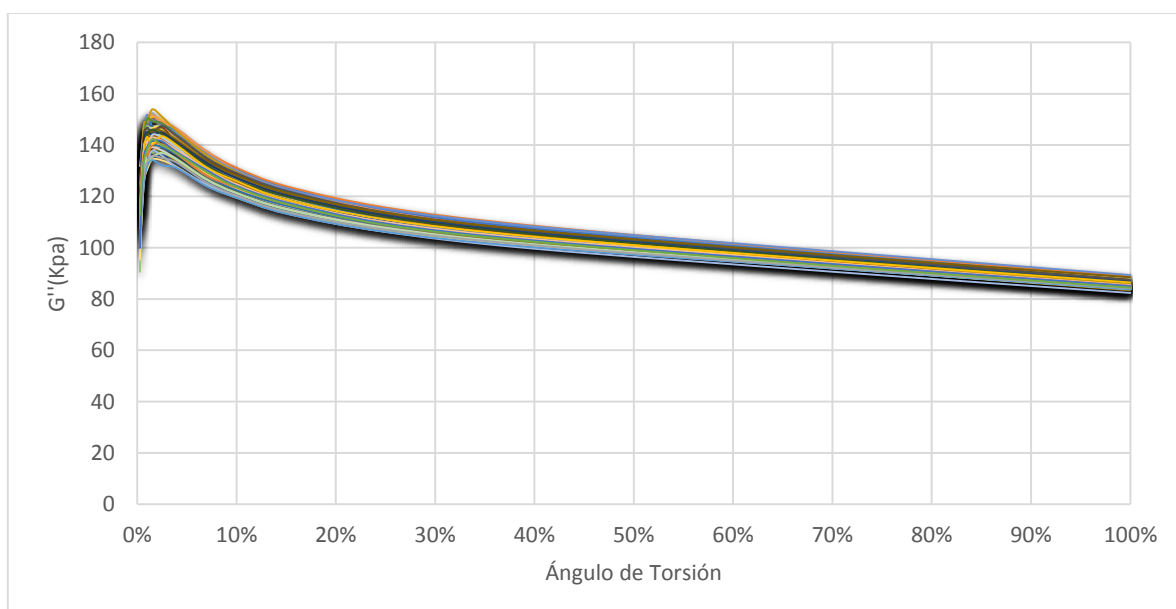
### Anexo 11: Gráfica $G'$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Delta Mixer 4

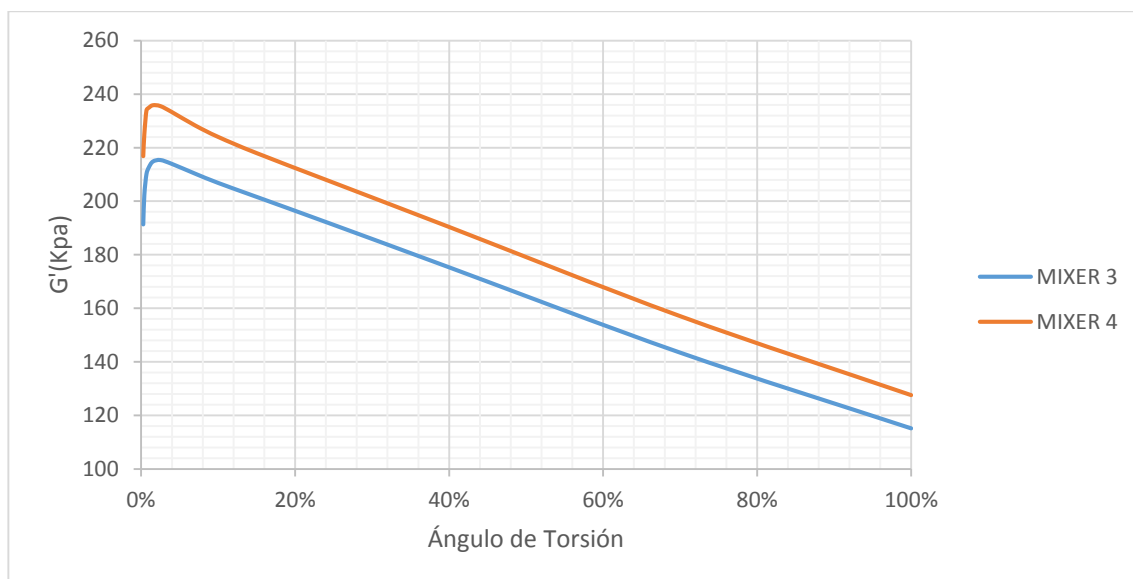
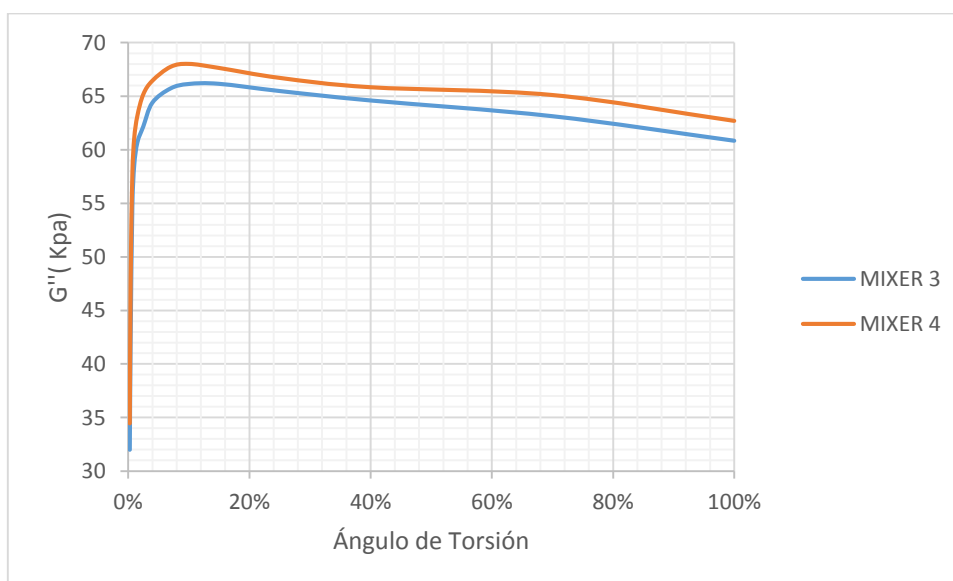
Fuente: Continental Tire Andina y Autores



### Anexo 12: Gráfica $G''$ vs Ángulo de Torsión para el compuesto Delta Mixer 4

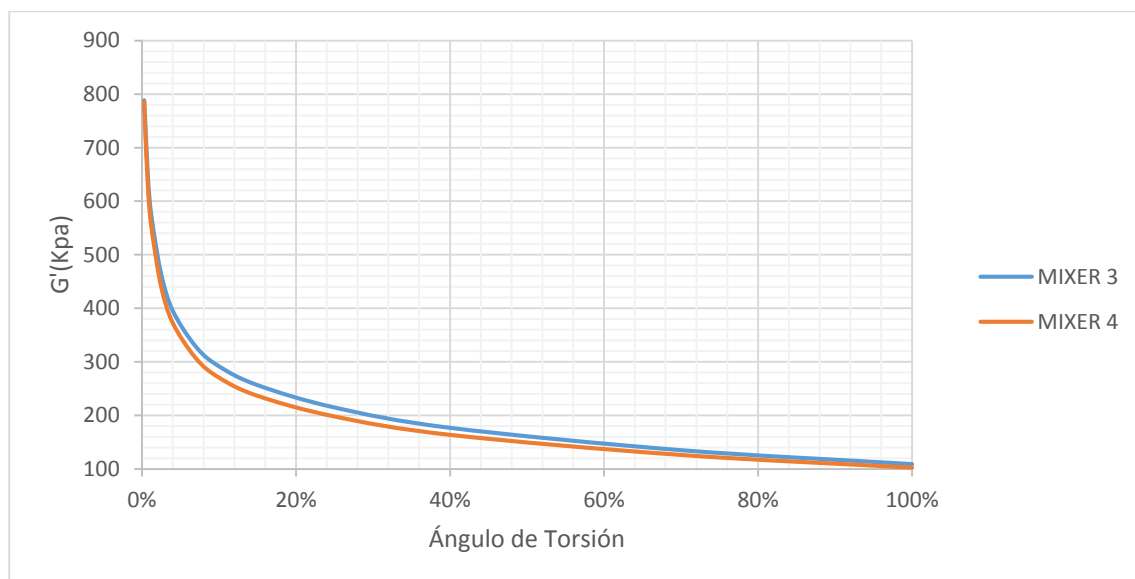
Fuente: Continental Tire Andina y Autores



**Anexo 13: Gráfica Curvas Patrón de  $G'$  para el compuesto Beta Mixer 3 y Mixer 4****Fuente:** Continental Tire Andina y Autores**Anexo 14: Gráfica Curvas Patrón de  $G''$  para el compuesto Beta Mixer 3 y Mixer 4****Fuente:** Continental Tire Andina y Autores

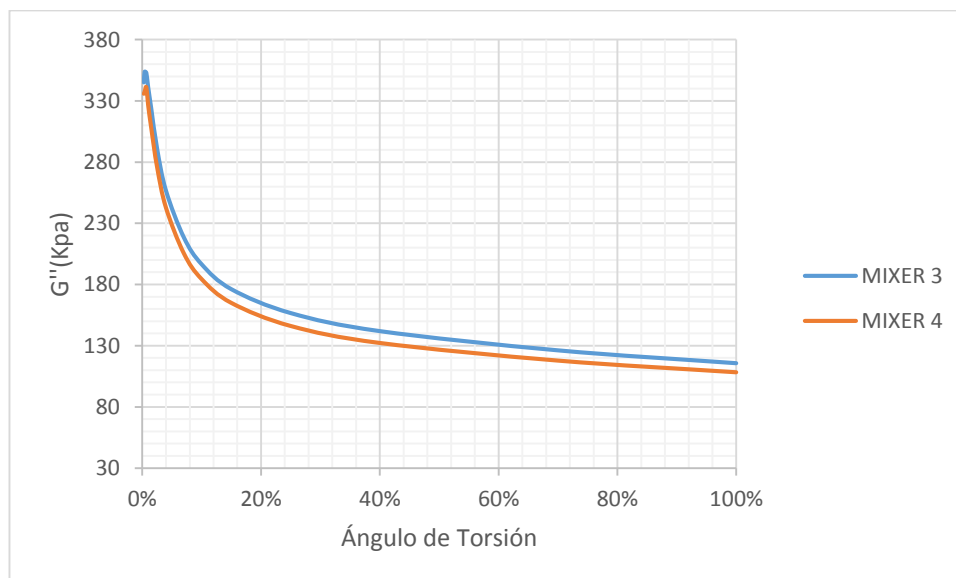
### **Anexo 15: Gráfica Curvas Patrón de $G'$ para el compuesto Gamma Mixer 3 y Mixer 4**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



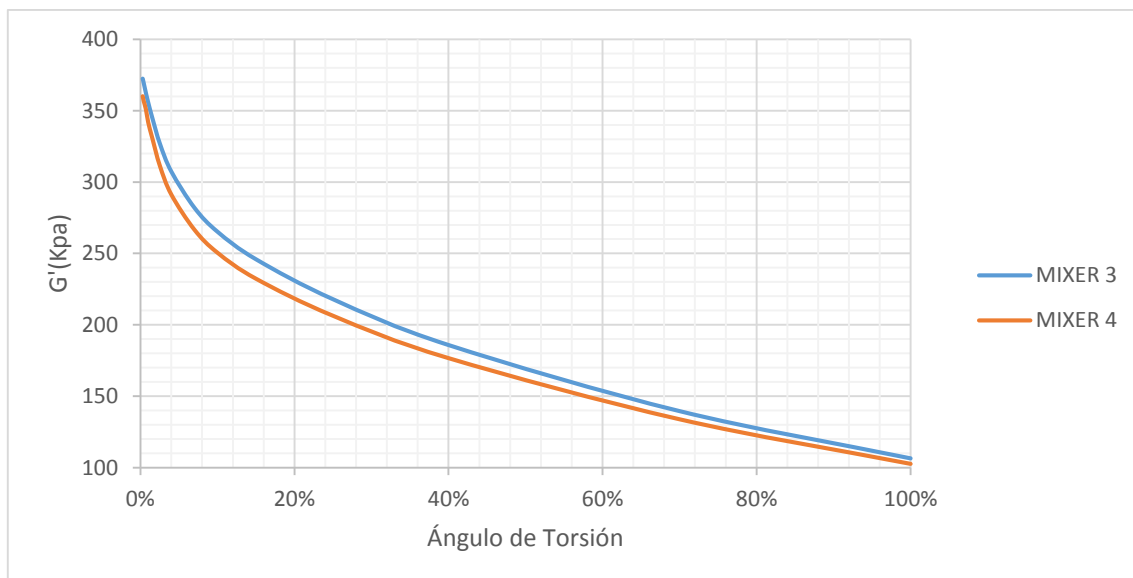
### **Anexo 16: Gráfica Curvas Patrón de $G''$ para el compuesto Gamma Mixer 3 y Mixer 4**

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



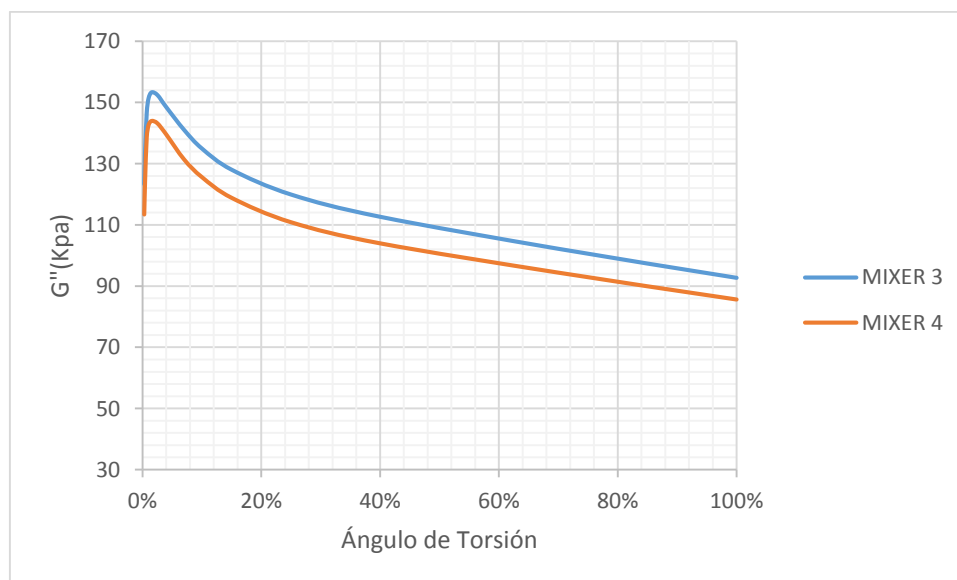
### Anexo 17: Gráfica Curvas Patrón de $G'$ para el compuesto Delta Mixer 3 y Mixer 4

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores



### Anexo 18: Gráfica Curvas Patrón de $G''$ para el compuesto Delta Mixer 3 y Mixer 4

**Fuente:** Continental Tire Andina y Autores





## Anexo 19: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Beta Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	X	191,327	202,327	210,145	212,600	214,791	215,362	213,917	210,297	206,822	201,604	191,167	175,295	143,431
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	13,844	13,350	11,752	11,790	11,765	11,328	11,190	10,842	10,416	9,865	9,042	7,931	6,432
LÍMITES: 1 SIGMA	X+ $\sigma$	205,171	215,677	221,897	224,390	226,555	226,690	225,107	221,139	217,238	211,469	200,209	183,226	149,863
	X- $\sigma$	177,483	188,977	198,393	200,810	203,026	204,034	202,728	199,455	196,407	191,738	182,125	167,363	136,998
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	X+2 $\sigma$	219,015	229,027	233,648	236,181	238,320	238,019	236,296	231,981	227,654	221,334	209,252	191,157	156,296
	X-2 $\sigma$	163,639	175,627	186,642	189,020	191,262	192,706	191,538	188,613	185,991	181,873	173,083	159,432	130,566
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	X+3 $\sigma$	232,858	242,378	245,400	247,971	250,084	249,347	247,486	242,823	238,069	231,200	218,294	199,089	162,728
	X-3 $\sigma$	149,796	162,276	174,890	177,230	179,497	181,377	180,348	177,771	175,575	172,007	164,040	151,501	124,133

## Anexo 20: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Beta Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	X	31,988	42,364	54,746	58,492	60,687	62,188	64,402	65,736	66,155	66,169	65,496	64,615	63,145
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	9,159	6,145	5,028	4,493	4,538	4,067	4,646	4,413	4,389	4,252	4,164	4,063	3,867
LÍMITES: 1 SIGMA	X+ $\sigma$	41,147	48,510	59,773	62,985	65,226	66,255	69,047	70,149	70,544	70,421	69,660	68,678	67,012
	X- $\sigma$	22,829	36,219	49,718	53,999	56,149	58,120	59,756	61,322	61,766	61,917	61,333	60,552	59,278
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	X+2 $\sigma$	50,306	54,655	64,801	67,477	69,764	70,322	73,693	74,562	74,933	74,673	73,823	72,741	70,879
	X-2 $\sigma$	13,670	30,074	44,690	49,507	51,610	54,053	55,110	56,909	57,377	57,665	57,169	56,489	55,410
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	X+3 $\sigma$	59,465	60,800	69,828	71,970	74,303	74,390	78,339	78,975	79,322	78,925	77,987	76,804	76,804
	X-3 $\sigma$	4,511	23,928	39,663	45,014	47,072	49,986	50,464	52,496	52,988	53,413	53,005	52,426	51,543

## Anexo 21: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Gamma Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	X	786,920	747,971	662,476	599,165	541,235	462,060	394,859	328,109	291,595	256,514	214,824	176,899	135,138
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	28,318	26,858	18,151	14,326	11,750	8,976	7,831	7,138	6,383	5,559	4,492	3,691	2,335
LÍMITES: 1 SIGMA	X+ $\sigma$	815,238	774,829	680,627	613,491	552,984	471,036	402,690	335,247	297,978	262,073	219,316	180,590	137,472
	X- $\sigma$	758,602	721,113	644,325	584,840	529,485	453,084	387,029	320,972	285,211	250,954	210,332	173,209	132,803
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	X+2 $\sigma$	843,556	801,688	698,779	627,817	564,734	480,012	410,520	342,384	304,362	267,632	223,807	184,281	139,807
	X-2 $\sigma$	730,284	694,255	626,173	570,514	517,735	444,107	379,198	313,834	278,828	245,395	205,840	169,518	130,469
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	X+3 $\sigma$	871,875	828,546	716,930	642,142	576,484	488,989	418,351	349,522	310,745	273,191	228,299	187,971	142,141
	X-3 $\sigma$	701,966	667,397	608,022	556,188	505,985	435,131	371,367	306,697	272,445	239,836	201,349	165,828	128,134

## Anexo 22: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Gamma Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	X	344,023	353,113	352,095	340,873	323,219	290,595	256,456	218,422	196,445	176,133	156,666	141,944	126,256
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	14,017	15,717	12,123	9,209	8,116	5,388	3,930	3,156	2,876	2,817	2,743	2,531	2,260
LÍMITES: 1 SIGMA	X+ $\sigma$	358,040	368,830	364,218	350,082	331,335	295,982	260,386	221,577	199,320	178,950	159,408	144,475	128,516
	X- $\sigma$	330,006	337,396	339,973	331,664	315,103	285,207	252,526	215,266	193,569	173,316	153,923	139,413	123,996
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	X+2 $\sigma$	372,056	384,547	376,340	359,291	339,452	301,370	264,316	224,733	202,196	181,766	162,151	147,007	130,776
	X-2 $\sigma$	315,990	321,679	327,850	322,455	306,987	279,819	248,596	212,111	190,693	170,499	151,180	136,882	121,736
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	X+3 $\sigma$	386,073	400,263	388,463	368,500	347,568	306,757	268,246	227,888	205,072	184,583	164,894	149,538	149,538
	X-3 $\sigma$	301,973	305,962	315,728	313,246	298,871	274,432	244,666	208,955	187,818	167,682	148,437	134,351	119,477



### Anexo 23: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Delta Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE		$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$
ÁNGULO		0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	$X$	372,393	369,126	362,288	355,612	344,888	326,911	307,324	281,976	265,164	245,878	217,926	185,854	139,583	106,512
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	19,621	21,854	21,530	20,276	19,230	18,219	16,872	15,269	14,181	12,866	10,992	8,998	6,015	3,949
LÍMITES: 1 SIGMA	$X+\sigma$	392,013	390,980	383,817	375,888	364,117	345,131	324,196	297,246	279,345	258,745	228,918	194,851	145,598	110,461
	$X-\sigma$	352,772	347,272	340,758	335,336	325,658	308,692	290,451	266,707	250,982	233,012	206,934	176,856	133,567	102,563
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	$X+2\sigma$	411,634	412,835	405,347	396,165	383,347	363,350	341,068	312,515	293,526	271,611	239,910	203,849	151,613	114,411
	$X-2\sigma$	333,151	325,417	319,228	315,060	306,428	290,472	273,579	251,438	236,801	220,146	195,942	167,859	127,552	98,614
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	$X+3\sigma$	431,255	434,689	426,877	416,441	402,577	381,570	357,940	327,784	307,707	284,477	250,902	212,846	157,628	118,360
	$X-3\sigma$	313,530	303,563	297,698	294,784	287,198	272,253	256,707	236,169	222,620	207,280	184,950	158,861	121,537	94,665

### Anexo 24: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Delta Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE		$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$
ÁNGULO		0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	$X$	123,289	133,711	146,603	151,239	153,278	152,374	148,404	140,978	134,892	127,983	119,879	112,605	102,145	92,662
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	9,737	10,037	8,429	8,075	8,430	7,908	7,367	6,825	6,275	5,694	5,110	4,451	3,787	3,353
LÍMITES: 1 SIGMA	$X+\sigma$	133,026	143,748	155,032	159,314	161,707	160,282	155,772	147,803	141,167	133,677	124,989	117,055	105,932	96,016
	$X-\sigma$	113,552	123,674	138,173	143,164	144,848	144,466	141,037	134,153	128,617	122,290	114,768	108,154	98,358	89,309
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	$X+2\sigma$	142,763	153,786	163,461	167,390	170,137	168,190	163,139	154,628	147,441	139,371	130,099	121,506	109,720	99,369
	$X-2\sigma$	103,815	113,637	129,744	135,089	136,419	136,558	133,669	127,328	122,342	116,596	109,658	103,703	94,570	85,956
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	$X+3\sigma$	152,500	163,823	171,890	175,465	178,567	176,098	170,506	161,454	153,716	145,065	135,209	125,956	125,956	102,722
	$X-3\sigma$	94,078	103,600	121,315	127,014	127,989	128,650	126,302	120,503	116,067	110,902	104,548	99,253	90,783	82,602

### Anexo 25: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Alpha Mixer 4

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE		$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$
ÁNGULO		0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	$X$	317,384	320,521	324,326	324,460	324,304	322,108	316,992	308,692	301,628	291,761	274,561	249,469	203,737	166,871
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	38,915	38,326	35,546	35,708	34,555	33,012	31,076	28,550	26,655	24,633	21,406	16,649	10,307	6,526
LÍMITES: 1 SIGMA	$X+\sigma$	356,300	358,848	359,872	360,168	358,859	355,120	348,068	337,242	328,283	316,394	295,968	266,118	214,044	173,397
	$X-\sigma$	278,469	282,195	288,779	288,751	289,749	289,095	285,916	280,142	274,973	267,127	253,155	232,819	193,430	160,346
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	$X+2\sigma$	395,215	397,174	395,418	395,876	393,413	388,132	379,144	365,792	354,938	341,027	317,374	282,767	224,351	179,923
	$X-2\sigma$	239,553	243,868	253,233	253,043	255,195	256,083	254,841	251,592	248,318	242,494	231,748	216,170	183,124	153,820
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	$X+3\sigma$	434,130	435,501	430,965	431,584	427,968	421,144	410,220	394,341	381,593	365,660	338,781	299,416	234,658	186,448
	$X-3\sigma$	200,638	205,542	217,686	217,335	220,640	223,071	223,765	223,043	221,662	217,861	210,342	199,521	172,817	147,295

### Anexo 26: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Alpha Mixer 4

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE		$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$
ÁNGULO		0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD		kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	$X$	33,188	43,987	54,422	57,897	60,875	64,268	65,826	66,501	66,867	66,720	66,648	68,418	68,996	65,748
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	13,494	12,676	10,576	10,951	10,836	11,115	10,554	10,558	10,094	9,642	9,555	10,443	9,728	8,280
LÍMITES: 1 SIGMA	$X+\sigma$	46,682	56,662	64,998	68,848	71,711	75,383	76,380	77,058	76,961	76,362	76,203	78,861	78,725	74,028
	$X-\sigma$	19,693	31,311	43,846	46,947	50,038	53,153	55,272	55,943	56,773	57,078	57,094	57,975	59,268	57,468
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	$X+2\sigma$	60,177	69,338	75,575	79,799	82,547	86,498	86,934	87,616	87,056	86,004	85,757	89,303	88,453	82,308
	$X-2\sigma$	6,199	18,636	33,270	35,996	39,202	42,038	44,718	45,385	46,679	47,435	47,539	47,532	49,539	49,189
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	$X+3\sigma$	73,671	82,014	86,151	90,749	93,384	97,613	97,488	98,174	97,150	95,647	95,312	99,746	99,746	90,587
	$X-3\sigma$	-7,296	5,960	22,694	25,045	28,365	30,924	34,164	34,828	36,584	37,793	37,984	37,090	39,811	40,909





## Anexo 27: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Beta Mixer 4

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	X	216,358	224,542	233,481	234,497	235,421	235,076	232,904	227,992	223,732	217,716	206,710	190,250	157,063
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	16,579	14,762	13,264	13,404	12,948	12,729	12,258	11,508	10,870	10,294	9,423	8,162	6,018
LÍMITES: 1 SIGMA	X+ $\sigma$	232,937	239,305	246,745	247,900	248,368	247,805	245,162	239,500	234,602	228,010	216,132	198,412	163,082
	X- $\sigma$	199,780	209,780	220,217	221,093	222,473	222,347	220,646	216,484	212,862	207,421	197,287	182,087	151,045
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	X+2 $\sigma$	249,516	254,067	260,009	261,304	261,316	260,534	257,421	251,008	245,472	238,305	225,555	206,574	169,100
	X-2 $\sigma$	183,201	195,017	206,954	207,689	209,525	209,618	208,388	204,976	201,992	197,127	187,864	173,925	145,026
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	X+3 $\sigma$	266,094	268,829	273,273	274,708	274,264	273,263	269,679	262,517	256,342	248,599	234,978	214,736	175,119
	X-3 $\sigma$	166,622	180,255	193,690	194,286	196,577	196,889	196,130	193,467	191,121	186,832	178,441	165,763	139,008

## Anexo 28: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Beta Mixer 4

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	X	34,084	47,362	57,279	60,676	62,930	64,882	66,131	67,448	67,729	67,366	66,462	65,608	64,915
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	10,004	6,464	5,914	5,967	5,689	5,140	5,729	5,464	5,279	4,936	4,669	4,564	4,353
LÍMITES: 1 SIGMA	X+ $\sigma$	44,088	53,826	63,193	66,643	68,619	70,022	71,861	72,912	73,008	72,303	71,131	70,172	69,268
	X- $\sigma$	24,080	40,898	51,365	54,709	57,241	59,742	60,402	61,984	62,450	62,430	61,793	61,044	60,563
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	X+2 $\sigma$	54,093	60,290	69,107	72,611	74,309	75,162	77,590	78,375	78,288	77,239	75,800	74,736	73,621
	X-2 $\sigma$	14,076	34,434	45,451	48,742	51,551	54,602	54,672	56,521	57,171	57,493	57,124	56,480	56,210
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	X+3 $\sigma$	64,097	66,754	75,021	78,578	79,998	80,302	83,319	83,839	83,567	82,175	80,469	79,301	79,301
	X-3 $\sigma$	4,072	27,969	39,537	42,774	45,862	49,462	48,943	51,057	51,892	52,557	52,454	51,915	51,858

## Anexo 29: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Gamma Mixer 4

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	X	785,748	732,242	646,057	579,273	520,453	438,884	372,286	306,530	270,404	236,445	197,887	163,571	126,046
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	90,835	82,175	65,957	54,218	45,608	36,575	29,852	23,501	20,113	16,804	12,860	9,515	6,444
LÍMITES: 1 SIGMA	X+ $\sigma$	876,583	814,418	712,014	633,491	566,061	475,459	402,137	330,030	290,517	253,248	210,747	173,086	132,489
	X- $\sigma$	694,913	650,067	580,099	525,054	474,845	402,309	342,434	283,029	250,291	219,641	185,026	154,056	119,602
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	X+2 $\sigma$	967,418	896,593	777,971	687,710	611,668	512,035	431,989	353,531	310,629	270,052	223,607	182,602	138,933
	X-2 $\sigma$	604,078	567,891	514,142	470,836	429,237	365,734	312,582	259,529	230,179	202,837	172,166	144,540	113,159
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	X+3 $\sigma$	1058,256	978,769	843,928	741,928	657,276	548,610	461,841	377,032	330,742	286,856	236,468	192,117	145,377
	X-3 $\sigma$	513,243	485,716	448,185	416,618	383,630	329,158	282,730	236,028	210,066	186,033	159,305	135,025	106,715

## Anexo 30: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Gamma Mixer 4

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	X	335,903	337,550	341,176	327,022	307,871	276,027	242,873	205,570	184,433	164,972	146,099	132,207	117,792
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	34,830	31,928	30,019	26,397	23,014	19,339	15,919	11,953	9,894	7,954	6,329	5,385	4,646
LÍMITES: 1 SIGMA	X+ $\sigma$	370,734	369,478	371,194	353,419	330,885	295,366	258,792	217,523	194,327	172,926	152,428	137,592	122,438
	X- $\sigma$	301,073	305,623	311,157	300,624	284,858	256,687	226,954	193,616	174,540	157,018	139,769	126,822	113,146
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	X+2 $\sigma$	405,564	401,405	401,213	379,816	353,899	314,705	274,711	229,476	204,220	180,880	158,757	142,977	127,084
	X-2 $\sigma$	266,242	273,695	281,138	274,227	261,844	237,348	211,035	181,663	164,646	149,065	133,440	121,437	108,501
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	X+3 $\sigma$	440,395	433,333	431,232	406,213	376,912	334,045	290,630	241,430	214,114	188,833	165,086	148,363	148,363
	X-3 $\sigma$	231,412	241,767	251,119	247,830	238,830	218,008	195,116	169,710	154,753	141,111	127,111	116,052	103,855



### Anexo 31: Cuadro del Cálculo de Límites de $G'$ para el Compuesto Delta Mixer 4

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$	$G'$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	$X$	360,042	356,460	350,800	341,678	330,666	311,370	291,200	266,578	250,462	232,276	206,363	176,714	133,918
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	12,335	12,318	11,104	9,888	9,017	8,217	7,259	6,343	5,815	5,224	4,554	3,883	3,068
LÍMITES: 1 SIGMA	$X+\sigma$	372,377	368,778	361,903	351,566	339,683	319,587	298,459	272,920	256,277	237,500	210,917	180,597	136,985
	$X-\sigma$	347,707	344,141	339,696	331,789	321,650	303,153	283,941	260,235	244,646	227,051	201,810	172,832	130,850
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	$X+2\sigma$	384,712	381,096	373,007	361,454	348,700	327,803	305,718	279,263	262,092	242,724	215,470	184,479	140,053
	$X-2\sigma$	335,373	331,823	328,592	321,901	312,633	294,936	276,682	253,893	238,831	221,827	197,256	168,949	127,783
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	$X+3\sigma$	397,046	393,414	384,111	371,342	357,716	336,020	312,977	285,606	267,908	247,949	220,024	188,362	143,121
	$X-3\sigma$	323,038	319,505	317,488	312,013	303,616	286,719	269,423	247,550	233,015	216,603	192,702	165,067	124,715

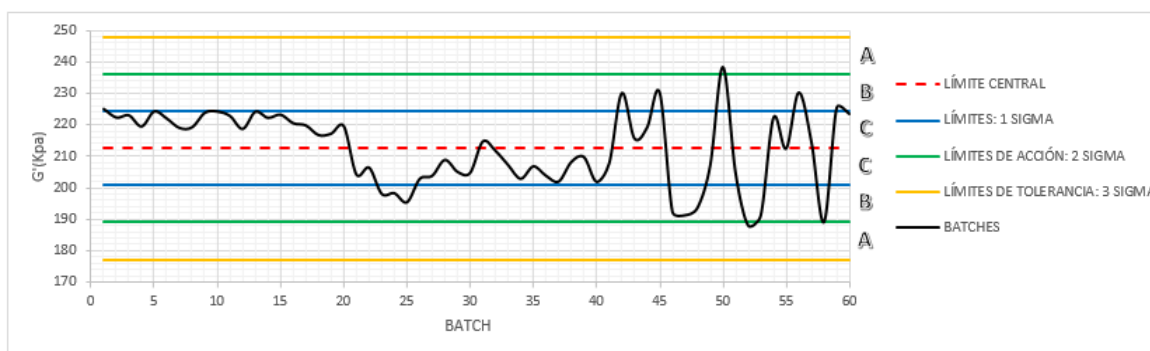
### Anexo 32: Cuadro del Cálculo de Límites de $G''$ para el Compuesto Delta Mixer 4

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

VARIABLE	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$	$G''$
ÁNGULO	0,280 %	0,420 %	0,700 %	1 % (uncured)	1,530 %	2,510 %	4,000 %	7,000 %	10 % (uncured)	15,000 %	25,000 %	40,000 %	70,000 %	100 % (uncured)
UNIDAD	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
LÍMITE CENTRAL	$X$	113,413	124,203	138,692	142,565	143,984	143,182	139,517	131,374	125,603	118,852	110,875	103,982	94,407
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	$\sigma$	8,036	6,567	6,104	5,570	5,123	4,588	4,040	3,660	3,188	2,892	2,545	2,236	1,865
LÍMITES: 1 SIGMA	$X+\sigma$	121,450	130,770	144,796	148,135	149,106	147,770	143,557	135,033	128,791	121,744	113,420	106,218	96,272
	$X-\sigma$	105,377	117,636	132,587	136,995	138,861	138,594	135,477	127,714	122,414	115,960	108,330	101,746	92,543
LÍMITES DE ACCIÓN: 2 SIGMA	$X+2\sigma$	129,486	137,337	150,900	153,705	154,229	152,358	147,597	138,693	131,979	124,636	115,965	108,454	98,136
	$X-2\sigma$	97,341	111,069	126,483	131,425	133,738	134,006	131,437	124,055	119,226	113,068	105,785	99,510	90,678
LÍMITES DE TOLERANCIA: 3 SIGMA	$X+3\sigma$	137,522	143,904	157,004	159,276	159,351	156,946	151,637	142,353	135,168	127,528	118,509	110,690	110,690
	$X-3\sigma$	89,305	104,502	120,379	125,855	128,616	129,418	127,397	120,395	116,038	110,176	103,241	97,274	88,813

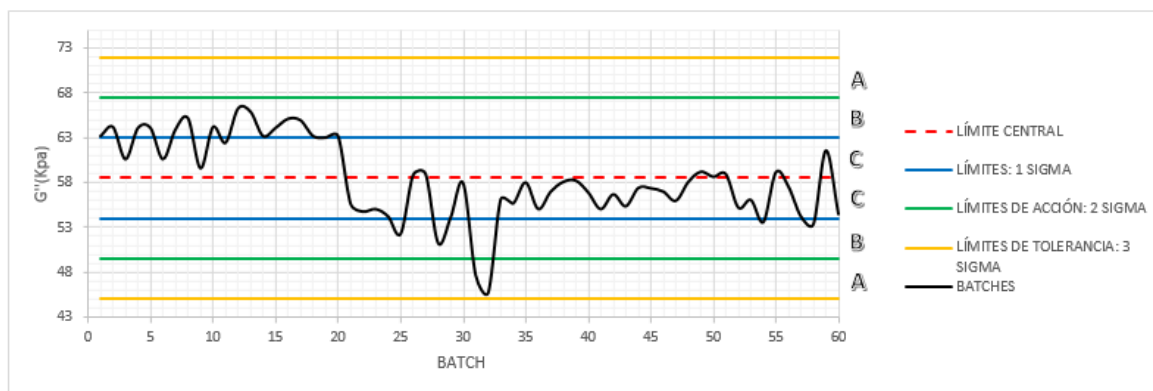
### Anexo 33: Gráfica de Tendencias $G'$ (1% Uncured) para Beta Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores



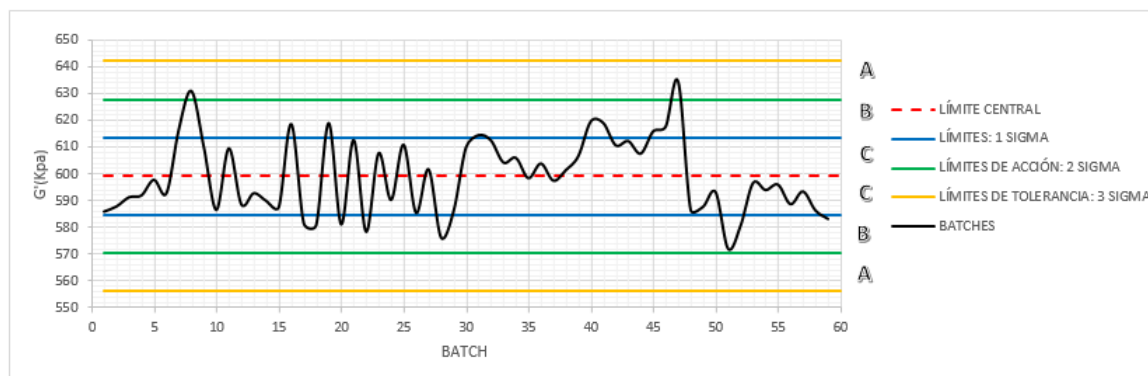
### Anexo 34: Gráfica de Tendencias $G''$ (1% Uncured) para Beta Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores



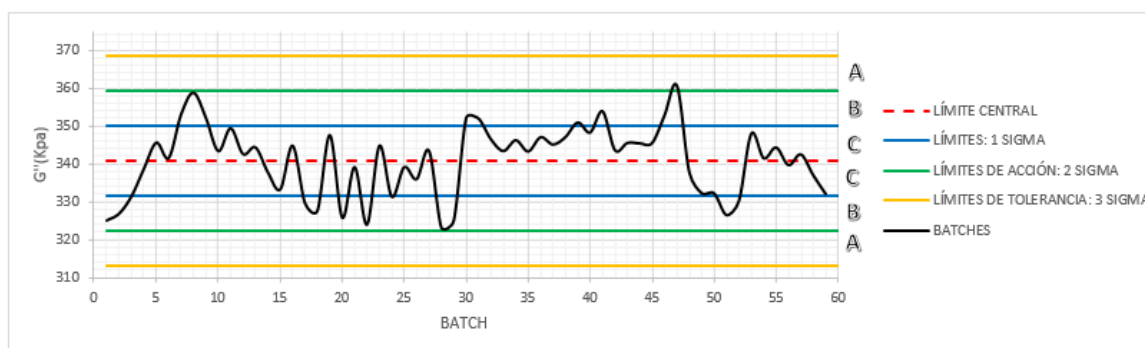
### Anexo 35: Gráfica de Tendencias $G'$ (1% Uncured) para Gamma Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores



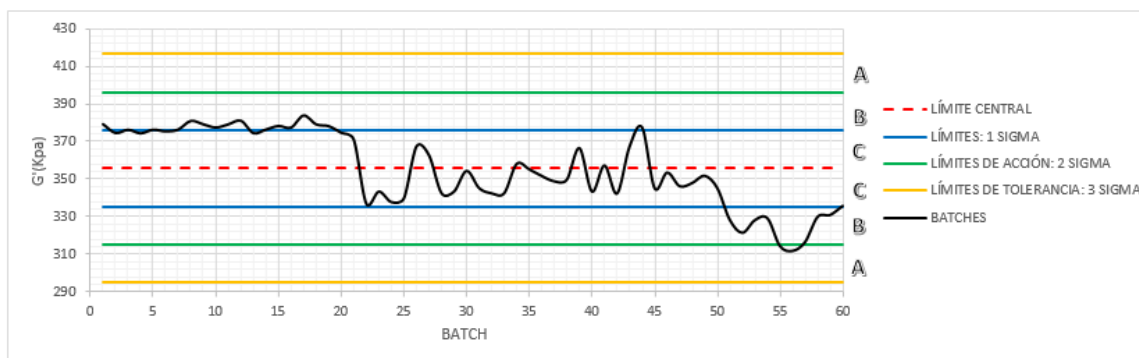
### Anexo 36: Gráfica de Tendencias $G''$ (1% Uncured) para Gamma Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores



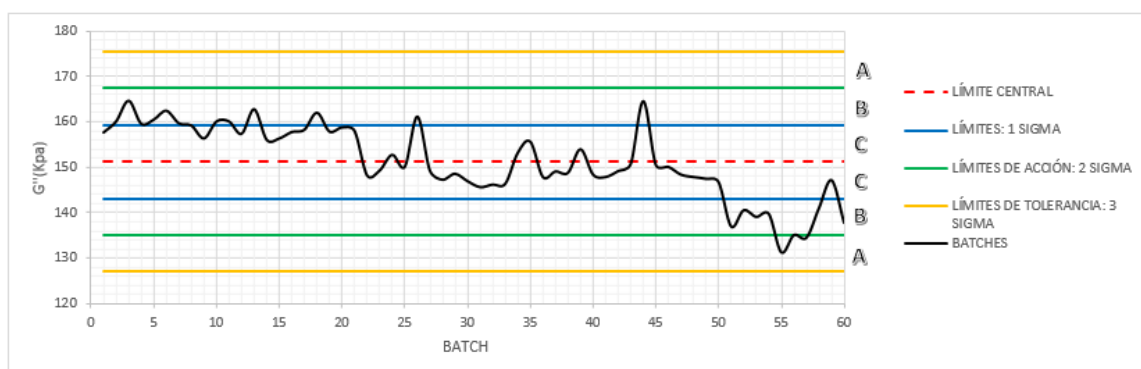
### Anexo 37: Gráfica de Tendencias $G'$ (1% Uncured) para Delta Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores



### Anexo 38: Gráfica de Tendencias $G''$ (1% Uncured) para Delta Mixer 3

Fuente: Continental Tire Andina y Autores

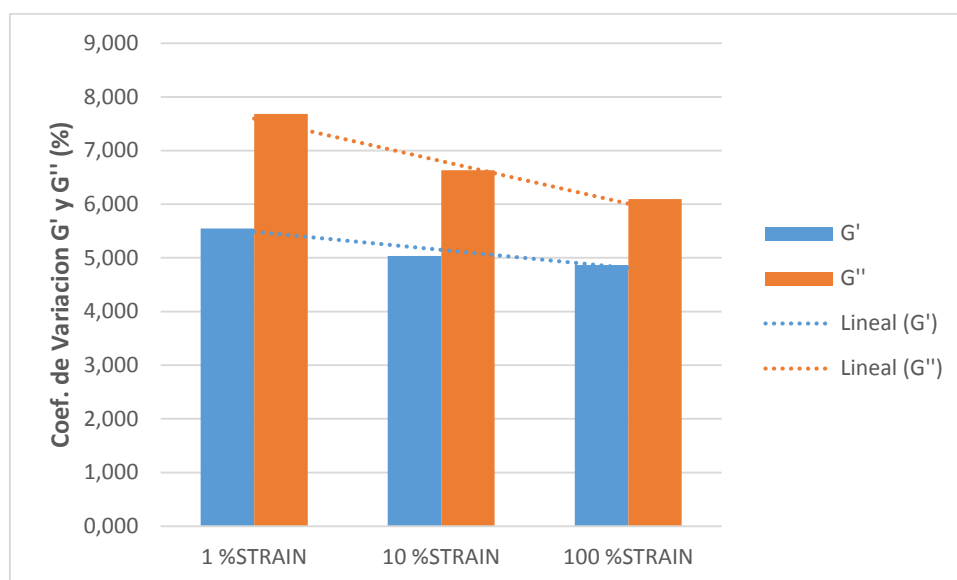


### Anexo 39: Cuadro del Coeficiente de variación calculado para el compuesto Beta al 1%, 10% y 100% de Strain para Mixer 3 y Mixer 4

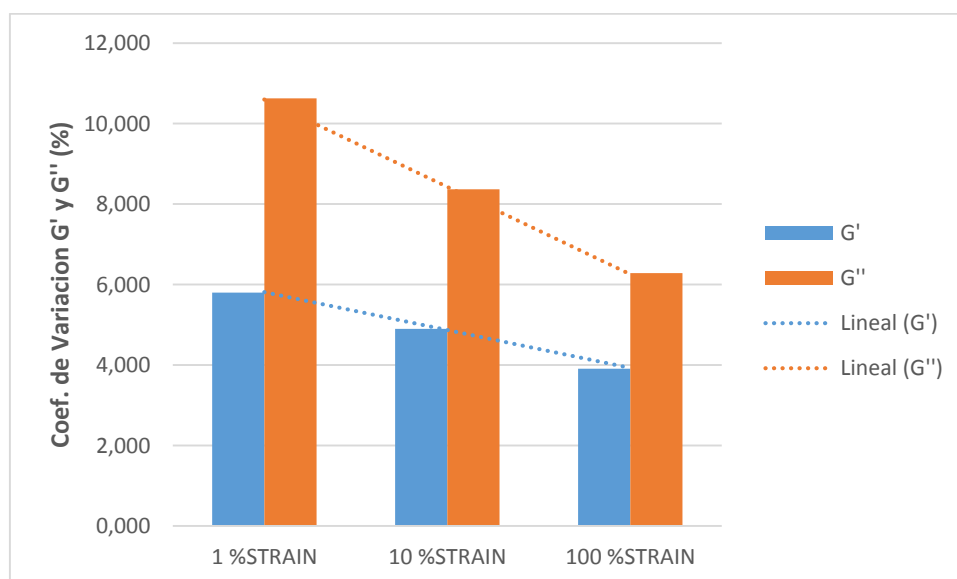
Fuente: Autores

COEFICIENTE DE VARIACION ENTRE CARGAS "CV"			
PRUEBA	1%STRAIN	10%STRAIN	100%STRAIN
$G'$ Mixer 3	5,546	5,036	4,866
$G''$ Mixer 3	7,68056	6,635	6,094
$G'$ Mixer 4	5,797	4,899	3,910
$G''$ Mixer 4	10,626	8,365	6,287

**Anexo 40: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Beta, de un total de 60 cargas de Mixer 3**  
**Fuente: Autores**



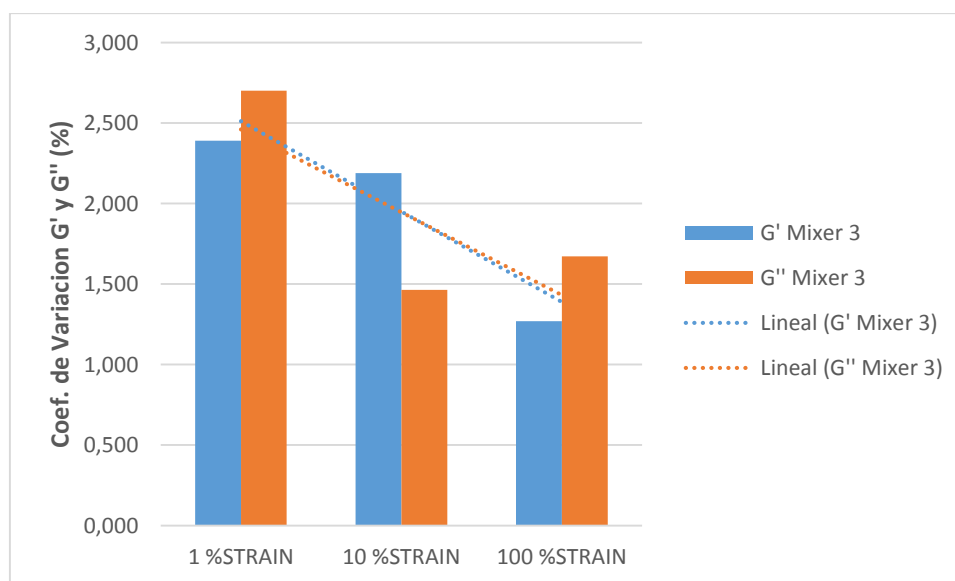
**Anexo 41: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Beta, de un total de 60 cargas de Mixer 4**  
**Fuente: Autores**



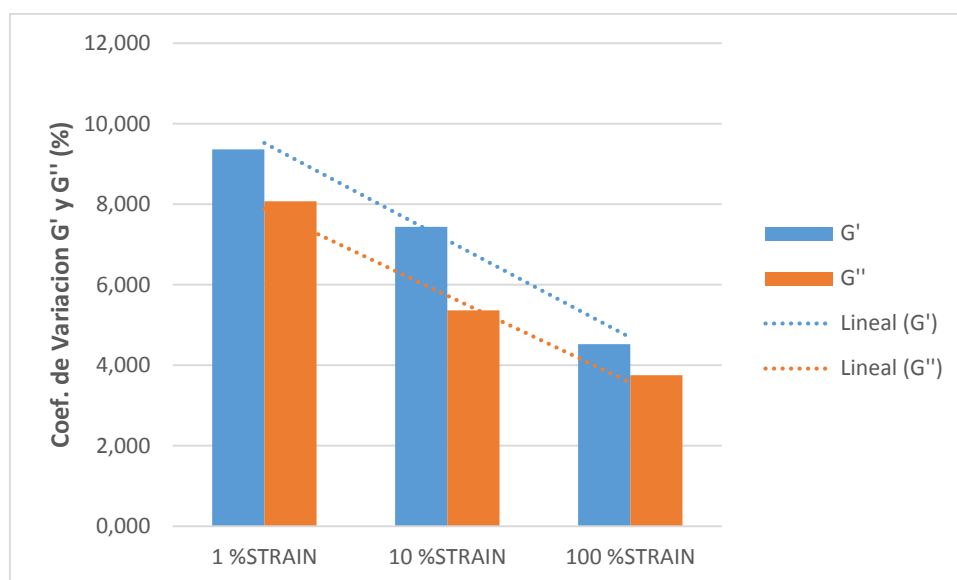
**Anexo 42: Cuadro del Coeficiente de variación calculado para el compuesto Gamma al 1%, 10% y 100% de Strain para Mixer 3 y Mixer 4**  
**Fuente: Autores**

COEFICIENTE DE VARIACION ENTRE CARGAS "CV"			
PRUEBA	1% STRAIN	10% STRAIN	100% STRAIN
G' MIXER 3	2,3909	2,1892	1,2683
G'' MIXER 3	2,7016	1,4639	1,6714
G' MIXER 4	9,3597	7,4380	4,5250
G'' MIXER 4	8,0720	5,3643	3,7542

**Anexo 43: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Gamma, de un total de 60 cargas de Mixer 3**  
**Fuente: Autores**



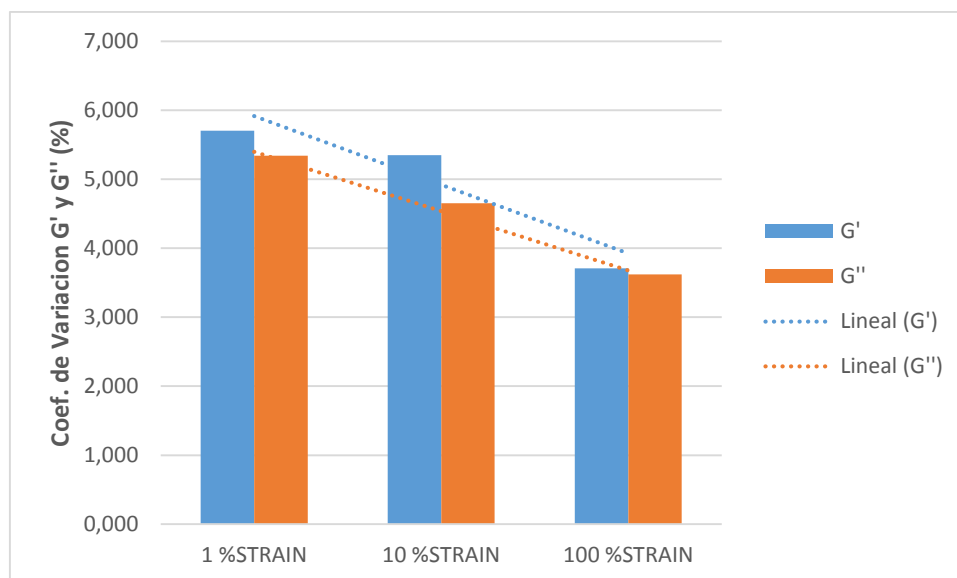
**Anexo 44: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Gamma, de un total de 60 cargas de Mixer 4**  
**Fuente: Autores**



**Anexo 45: Cuadro del Coeficiente de variación calculado para el compuesto Delta al 1%, 10% y 100% de Strain para Mixer 3 y Mixer 4**  
**Fuente: Autores**

COEFICIENTE DE VARIACION ENTRE CARGAS "CV"			
PRUEBA	1 %STRAIN	10 %STRAIN	100 %STRAIN
G' Mixer 3	5,702	5,348	3,708
G'' Mixer 3	5,33929	4,652	3,619
G' Mixer 4	2,894	2,322	2,410
G'' Mixer 4	3,90709	2,538	1,862

**Anexo 46: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Delta, de un total de 60 cargas de Mixer 3**  
**Fuente: Autores**



**Anexo 47: Gráfica del Coeficiente de variación entre cargas del compuesto Delta, de un total de 60 cargas de Mixer 4**  
**Fuente: Autores**

