

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Escuela de Posgrado y Educación Continua

**Informe de Tesis correspondiente a la
Carrera:**

**Licenciado/a en
TECNOLOGÍAS DE POLIMEROS**

Título:
**“Impacto de variables de mezclado en compuestos de
caucho”**

Autor/es:
Nicolás Uribe – Matías Danni

Director/es de Tesis:
Lic. David Drigo

Fecha: 25/05/2019

RESUMEN

El trabajo se desarrolla en una empresa especializada desde hace más de treinta años en el mezclado de compuestos de caucho. Tiene una capacidad de procesamiento de 3200 toneladas por mes y cuenta con cinco líneas de mezclado de goma negra, una línea de procesado de goma color y una línea de mezclado de silicona. En 2015 actualizó su sistema de automatismos incorporando en todas las líneas el software Advice HF, el cual permite registrar y controlar todas las operaciones de sus mezcladores internos y abiertos. La incorporación del nuevo sistema de automatismo permite el uso de variables de mando nunca antes utilizadas en la empresa.

Trabajando en un mezclador interno de 250 litros de capacidad con rotores de tipo interconexo, pisador de accionamiento hidráulico y refrigeración por chiller, en el presente trabajo se comparan las diferentes variables de mando disponibles: Las ya conocidas "Temperatura de mezcla" y "Tiempo de paso" y se incorporan "Energía total consumida" y "Revoluciones de rotor". El objetivo es evaluar el comportamiento individual de cada variable y determinar si su uso contribuye a las propiedades finales del compuesto y/o en su procesamiento.

El compuesto con el que se efectúan las pruebas es de base SBR/ NR (55 phr y 45 phr respectivamente) cargado con 50 phr de negro de humo y 10 phr de plastificante. Es un compuesto que se encuentra homologado y tiene una producción de 400 ton/ mes lo que permite contar con una sólida base de resultados históricos en base a los cuales realizar estudios comparativos.

Manteniendo constantes las variables lotes de materia prima, mano de obra y condiciones ambientales (todas las pruebas se realizan el mismo día), se realizaron 40 batchs de prueba de 250Kg cada uno aproximadamente: En 10 de ellos el ciclo fue comandado por la variable "Temperatura de mezcla", en 10 por la variable "Tiempo de paso", en 10 por "Energía total consumida" y en 10 por "Revoluciones de rotor". Los valores elegidos para fijar cada variable surgieron de un análisis estadístico en el que se estudió la producción histórica de aproximadamente 500 batchs. Los batchs de prueba realizados se comparan entre sí evaluando el impacto en propiedades reológicas y mecánicas, repetitividad de resultados e impacto en productividad de línea.

Como conclusión, se llega a que los batchs comandados por la variable "Revoluciones de los rotores" fueron los que presentaron menores variaciones de viscosidad mooney y una leve mejora en las propiedades mecánicas (aumento en la dureza, mejora en los módulos al 100%,300% y rotura). Desde el punto de vista de productividad final, no se aprecian diferencias considerables en los tiempos promedio por batchs, no obstante, los ciclos comandados por "Tiempo" y "Pasadas rotor" evidenciaron mayor repetitividad de batch a batch.

1 – INDICE

1 – INDICE	3
2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
3.- OBJETIVO DEL PROYECTO	4
4.- JUSTIFICACION	4
5.- MARCO DE REFERENCIA.....	5
6.- ANTECEDENTES	14
8.- LUGAR DE REALIZACIÓN	17
9.- PRESUPUESTO ESTIMADO Y FORMA DE FINANCIACION.....	17
10.- CONCLUSIONES	17
11.- DESARROLLO DEL PROYECTO.....	18
Descripción de pruebas:	18
Análisis	19
Análisis productivo	23
Aceleración:	28
Ensayos	31
Reometría MDR.....	34
Conclusiones ensayos reométricos:	34
Ensayo de tracción y Desgarro.....	35
Conclusiones en propiedades mecánicas:	39
Conclusiones finales:	39
12.- ANEXOS	40
13.- BIBLIOGRAFÍA	51
14.- PERSONAS ENTREVISTADAS Y AGRADECIMIENTOS	52

2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las técnicas aplicadas al mezclado de compuestos de caucho impactan fuertemente en la productividad del proceso y en la calidad del producto terminado. No obstante, al consultar diferentes bibliografías, no se ha podido hallar información suficientemente detallada y las menciones son a nivel genérico.

Se considera que se puede aportar en este sentido, evaluando las variables que intervienen en el proceso de mezclado de caucho y qué efecto producen sobre los compuestos. Se tomarán en cuenta las tradicionales variables tiempo y temperatura, y se analizarán también las variables Energía consumida y revoluciones de rotor.

3.- OBJETIVO DEL PROYECTO

Verificar el impacto de cada variable de control independiente sobre el resto de variables de control de un ciclo de mezclado.

Medir repetitividad, variación de propiedades y lograr la menor dispersión de resultados medidos por efecto de variaciones en el ciclo de mezclado.

4.- JUSTIFICACION

Cada variable que interviene en un ciclo de mezclado impacta de una manera diferente en el proceso y en las propiedades finales del producto. Al analizar cada variable por separado se puede ver el efecto de las mismas, y este dato valer para lograr mayor repetitividad, mejorar ciclos existentes o corregir ciclos con problemas. Tener delimitado el efecto de cada variable permite también trabajar a futuro combinando dos o más de ellas.

Si bien hasta hace unos años algunas variables eran difíciles de administrar, los avances tecnológicos hoy nos permiten tener mayor control de las mismas y obtener mejores datos para posteriores análisis y trabajar con variables que antes no se podía (cuando habitualmente los ciclos se configuran por tiempo o temperatura, en la actualidad también podríamos usar las variables “revoluciones totales” y “Energía”).

5.- MARCO DE REFERENCIA

- Línea de mezclado

El siguiente proyecto fue realizado en una línea de trabajo equipada por un mezclador interno con rotores del tipo interconexos con 250 litros de capacidad de cámara, dos mezcladoras abiertas y un equipo de batch off y apilado automático. Esta línea de trabajo es refrigerada por medio de un equipo chiller de dos unidades.

- Dosificaciones de materias primas

Se realizan en modo automático en diferentes sectores según su naturaleza (Polímeros en línea de producción, negros de humo dosificación por tolva y balanza dedicada, plastificante por bomba y balanza dedicada, agentes de activación, ayudas proceso y agentes de protección en sector Minoritarios). Todas las dosificaciones cuentan con doble chequeo de pesada y validación automática por sistema.

- Mano de obra/ condiciones ambientales:

Todas las pruebas fueron realizadas en el mismo turno de trabajo el día 17 de noviembre de 2017 entre las 9:50 y las 12:50 hs.

- Ciclo de mezclado:

Se mantiene grilla general homologada para el artículo en estudio, temperatura de inicio, tiempo de espera entre batchs, RPMs de los rotores, tiempo de permanencia y tiempo de trabajo en mezclador abierto.

Los ciclos de mezclados son comandados por el sistema de automatismos Advise HF.

Fase	Descripción	RPM	Pruebas de Control			
			Prueba 1 Control por Tiempo Batchs 41 a 50	Prueba 2 Control por Temperatura Batchs 51 a 60	Prueba 3 Control por Energía Batchs 61 a 70	Prueba 4 Control por Pasadas Batchs 71 a 80
1	Espera entre batch	5	30 seg			
2	Incorpora MP	35	Cauchos y minoritarios			
3	Incorpora MP	35	Negro de humo (inyección por tolva)			
4	Baja pisador	35	45 segundos	100°C	45 Kw/h	25 pasadas
5	Incorpora MP	35	Plastificante (inyección por bomba)			
6	Baja pisador	40	45 segundos	110°C	45 Kw/h	25 pasadas
7	Sube pisador	40	Distancia mayor a 1300			
8	Baja pisador	35	60 segundos	145°C	75 Kw/h	30 pasadas
9	Verifica	35	Skip en posición, mezcladora lista			
10	Abre compuerta descarga	35	Descarga batch			
11	Cierra compuerta descarga	35	Vuelve máquina a "Estado 0" para comenzar Fase 1			

Compuesto:

Se toma para la realización de las pruebas un compuesto de caucho natural (45%) y SBR (55%), cargado con 50Phr de negro de humo y 10PhR de plastificante nafténico. El sistema de activación está compuesto por 5Phr de Ozn y 1,5 PhR de ácido esteárico. Sistema de protección con antiozontante TMQ y antidegradante 6PPD en partes normales (2 Phr de cada uno).

Mezclado:

El propósito principal de cualquier proceso de mezclado es el de dispersar y distribuir los ingredientes de la receta en una mezcla macroscópicamente homogénea. El ciclo de mezclado de un empaste de caucho impactará en las propiedades físicas y reológicas finales del mismo, por lo que es de extrema importancia el de tener un control del mismo. De igual modo, el proceso adquiere un carácter “interesante” desde el punto de vista productivo, buscando la mejor calidad en el menor tiempo posible.

El mezclado de compuestos de caucho es una tarea sofisticada. Muchos componentes son difíciles de dosificar y los materiales son transportados al mezclador en formas muy diversas: A polímeros de alta viscosidad se le adiciona un sistema multi fase que también contiene sustancias físicamente diferentes como sólidos, cargas inorgánicas, aceites de baja viscosidad insolubles y aditivos sólidos menos solubles. La conversión de estas materias primas en un fluido homogéneo es muy costosa, y el mezclado discontinuo (o mezclador por batch) en mezclador interno, es la solución más económica y versátil.

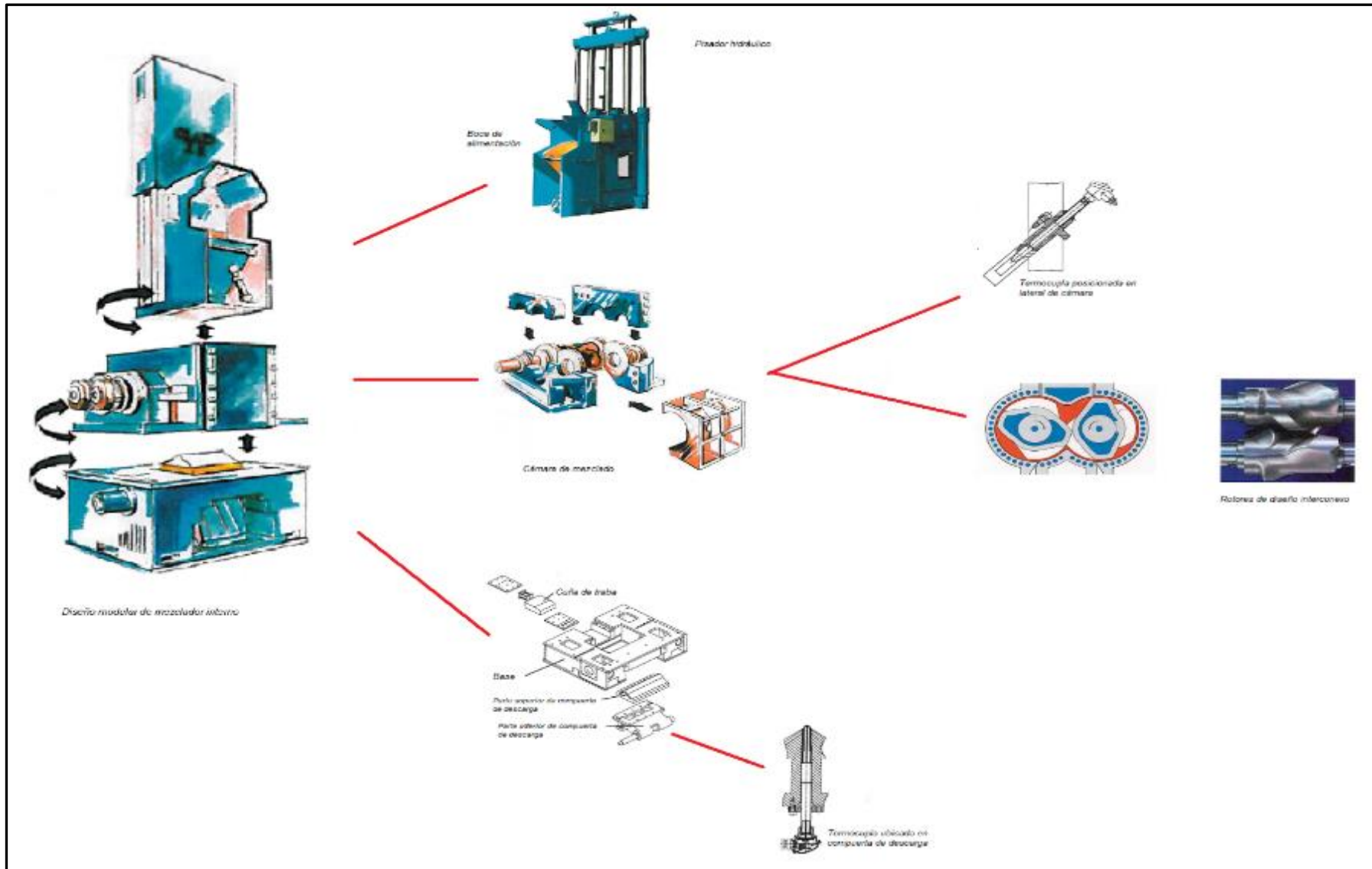
El mezclador interno consiste en una cámara de mezclado que contiene dos rotores que giran en sentido contrario. En la parte superior de la cámara, se ubica una compuerta a través de la cual ingresan los ingredientes y un pisador que al bajar presiona los ingredientes. En la parte inferior de la cámara se ubica una compuerta que se abre al finalizar el ciclo de mezclado para descargar el empaste.

Los mezcladores internos cuentan con la posibilidad de automatizar sus operaciones y monitorear sus variables, de modo de obtener un control más preciso y efectivo de la evolución del ciclo de mezclado.

Al respecto, hay cuatro parámetros fundamentales que permiten realizar este seguimiento. Estas variables pueden coexistir en un mismo paso mediante las opciones “Y” (el paso finaliza cuando todas las variables son verdaderas) u “O” (el paso finaliza cuando alguna de las variables es verdadera):

- Tiempo [seg]: El sistema contabiliza el tiempo transcurrido desde que el pisador comienza a bajar hasta que finaliza el paso. Si el paso está comandado por esta variable, el paso culminará cuando el tiempo transcurrido iguale al elegido.
- Temperatura [°C]: A través de una termocupla ubicada en el lateral de la cámara del banbury, el sistema controla continuamente la temperatura de la mezcla. Si el paso está comandado por esta variable, el paso culminará cuando la temperatura medida iguale a la temperatura elegida.

- Energía [kWh]: El sistema calcula la energía del paso integrando la potencia del motor en función del tiempo transcurrido desde el inicio del paso (comienza a contabilizar cuando el pisador comienza a bajar). Si el paso está comandado por esta variable, el paso culminará cuando energía medida iguale a la energía elegida.
- Pasadas rotor [Revoluciones]: El sistema contabiliza la cantidad de vueltas que da el rotor durante el paso. Comienza a medir en el momento en el que detecta presión en el pisador (pisador abajo). Si el paso está comandado por esta variable, el paso culminará cuando las revoluciones medidas igualen a las revoluciones elegidas.



Ensayos a realizar:

En la industria del caucho se realizan ensayos de manera normalizada con el objetivo de medir las propiedades del compuesto en su estado crudo y vulcanizado. Los ensayos más difundidos para lograr un completo y correcto control de calidad son:

- Viscosidad Mooney
- Ensayo reométrico en equipo tipo MDR
- Propiedades mecánicas (Tracción, desgarro y dureza).

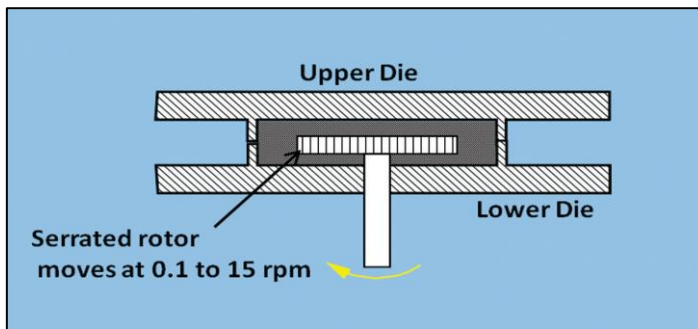
Viscosidad mooney:

La viscosidad es una propiedad de los fluidos que mide la resistencia al movimiento o tensiones de corte. Los materiales como los compuestos de caucho, en su estado crudo, presentan una disminución de viscosidad cuando el movimiento o el esfuerzo de corte aumentan.

Ensayo estándar: Se realizará a 100°C, con 1 minuto de precalentamiento sin giro del rotor + 4 minutos con giro (2RPM). Para esta serie de ensayos se utilizó rotor grande.

Unidad de medida: [MU] – Mooney

Equipo utilizado: Viscosímetro Mooney Alpha - Norma: ASTM D1646



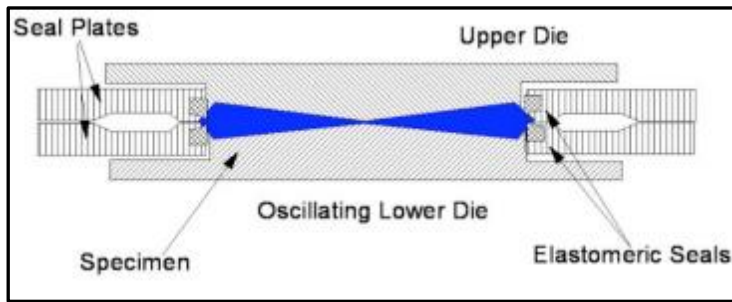
Reometría MDR

Todo compuesto de caucho, crudo o vulcanizado presenta siempre un porcentaje elástico y otro porcentaje de comportamiento plástico o viscoso [Comportamiento visco-elástico]. Un compuesto crudo siempre tendrá a mostrar un comportamiento parcialmente elástico.

El ensayo reométrico consta en colocar una muestra de caucho en un molde calefaccionado. En la mitad inferior del molde se encuentra un disco que oscila de forma sinusoidal. Al comenzar la vulcanización de la muestra por acción del calor y la presión, el disco oscilante conectado a un medidor de torque realiza la toma de datos correspondientes y se genera la curva reométrica en función del tiempo. Al aumentar el grado de vulcanización, el toque necesario para lograr el giro de oscilamiento es mayor.

El objetivo de realizar los ensayos reométricos es el de verificar el grado de dispersión de los acelerantes en el compuesto base, el grado de vulcanización de todas las mezclas y finalmente el de analizar si se detecta alguna variación reométrica al utilizar algunas de las variables de mezclado analizadas (tiempo, Temperatura, energía y revoluciones).

Los ensayos en este proyecto fueron realizados en un reómetro de tipo MDR, 10 minutos de ensayo a 160°C. – Norma: ASTM D5289



Cavidad



Propiedades mecánicas:

Tracción:

Es, después del de dureza, el ensayo que con mayor frecuencia se incluye en las especificaciones y clasificaciones de los vulcanizados. Ha de tener en cuenta, sin embargo, que el ensayo de tracción no pretende ser un ensayo funcional, sino más bien un ensayo de control de calidad y como tal es decididamente muy útil, ya que es muy sensible a las eventuales deficiencias del material, sea por una composición inadecuada o por una elaboración incorrecta. El ensayo de tracción permite también poner de manifiesto la posible anisotropía del vulcanizado, es decir, la diferencia de sus propiedades en función de la dirección considerada. Ahora bien, no existe una correlación exacta entre resistencia a la tracción y otros aspectos de la resistencia mecánica. Por ejemplo, cuando se comparan vulcanizados de composición muy diversa, no siempre el de mayor resistencia a la tracción tendrá también la mejor resistencia mecánica en general. La resistencia a la tracción se expresa por el cociente entre la fuerza necesaria para romper la probeta y la sección original de ésta. El alargamiento en la rotura es la relación entre el incremento de longitud, ΔL , de la probeta en el momento de su rotura y su longitud inicial expresado más frecuentemente como porcentaje.

Desgarro:

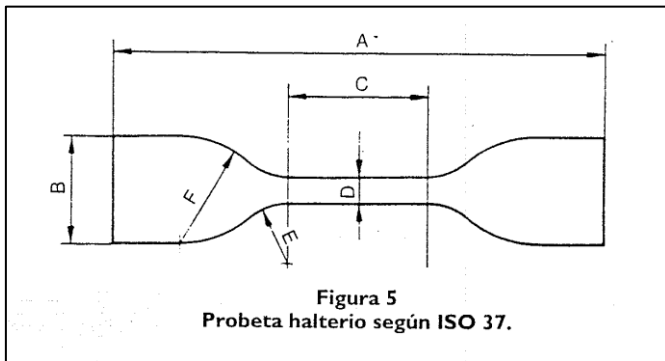
El ensayo de desgarro utilizado actualmente en vez de procurar una distribución homogénea del esfuerzo, como en el caso del ensayo de tracción, se provoca su concentración en un punto o zona limitada, para iniciar el proceso de desgarro. La fuerza se ejerce en el mismo plano de desgarro. Los resultados se expresan en kN/m, dividiendo la fuerza necesaria para la rotura, en N, por el espesor de la probeta en mm.

El equipo utilizado para medir las propiedades de tracción y desgarro es el dinamómetro:

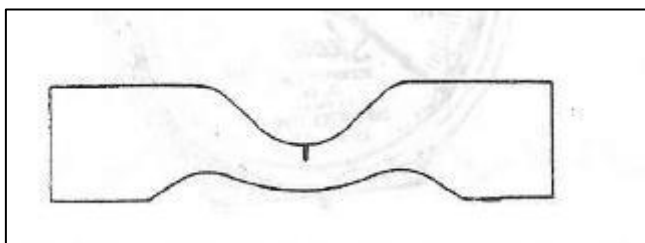
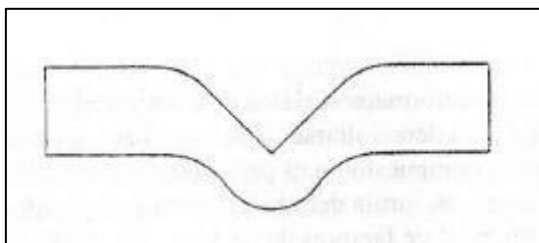
Norma: ASTM D412

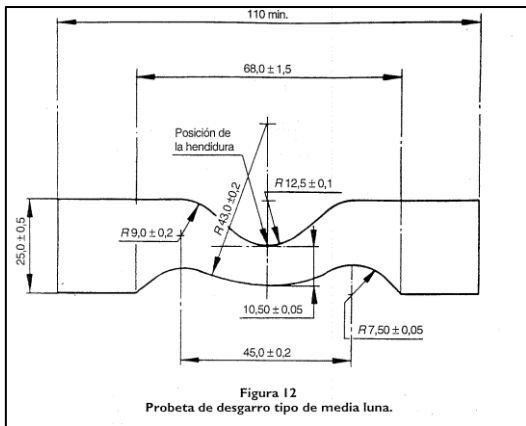


Probetas de tracción:



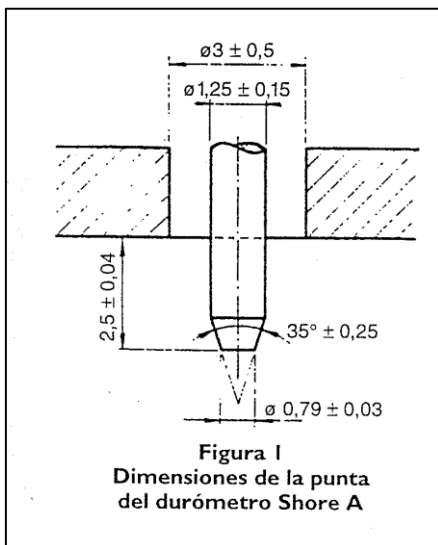
Probetas de desgarro:





Dureza:

- Es un ensayo sencillo y rápido, que puede realizarse con un equipo poco costoso y, con frecuencia portátil
 - Es un ensayo no destructivo que, por lo tanto, se puede llevar a cabo sobre el artículo acabado, nosotros realizamos las correspondientes probetas estipuladas por la norma ISO 7619
 - Es una estimación de la rigidez del material a deformaciones del mismo orden de magnitud que las que se dan frecuentemente en servicio real.
- El método realizado aquí, está basado en la medida de la penetración de una punta troncocónica venciendo la resistencia de un resorte metálico calibrado.



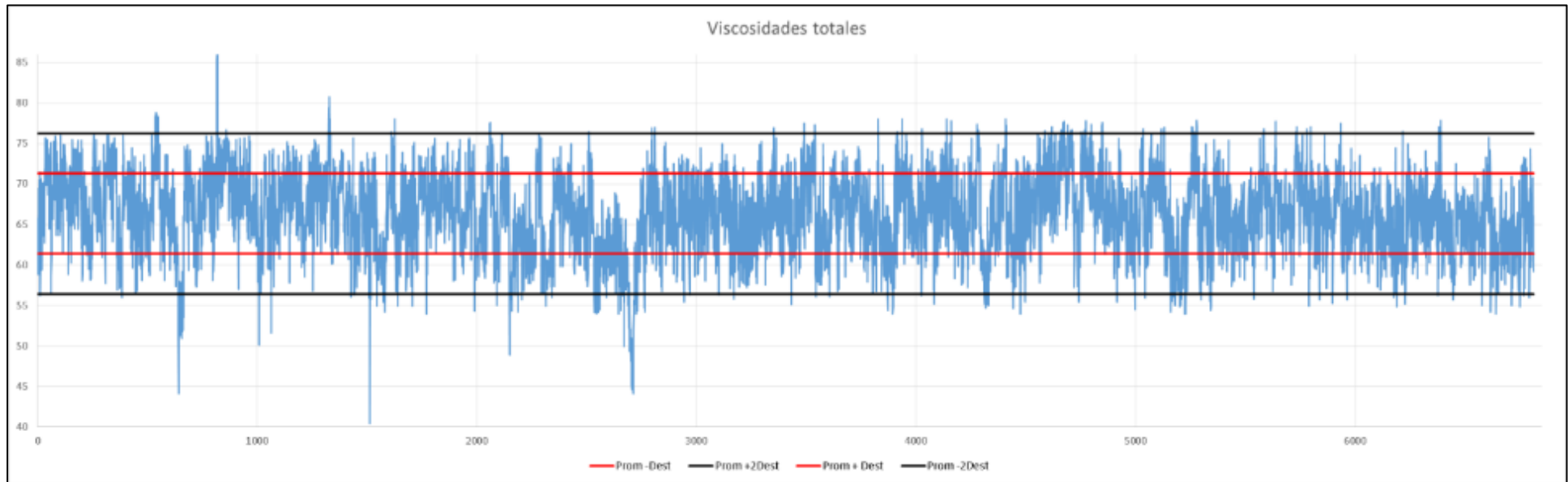
6.- ANTECEDENTES

El compuesto elegido para la realización de todas las pruebas fue seleccionado debido al alto nivel de producción del mismo y a la posibilidad de poder acceder a una vasta base de datos de resultados y ensayos de laboratorio lo cual otorga los datos de entrada para poder evidenciar las mejoras propuestas en este proyecto.

En base a esto, se tomaron datos de mezclado de 496 muestras (batchs), pertenecientes a 4 lotes de producción diferentes. Una vez analizados estos datos, se especificaron valores normales para cada parámetro de mezclado (tiempo, temperatura, energía consumida y revoluciones del rotor), analizando variaciones y resultados de laboratorio. Se fijaron los valores en los que se comandará cada variable independiente.

Posteriormente, se tomaron datos históricos de resultados de ensayos de viscosidad Mooney para lograr los valores iniciales del estudio. Son en total 6813 ensayos los cuales entregan los siguientes resultados de entrada.

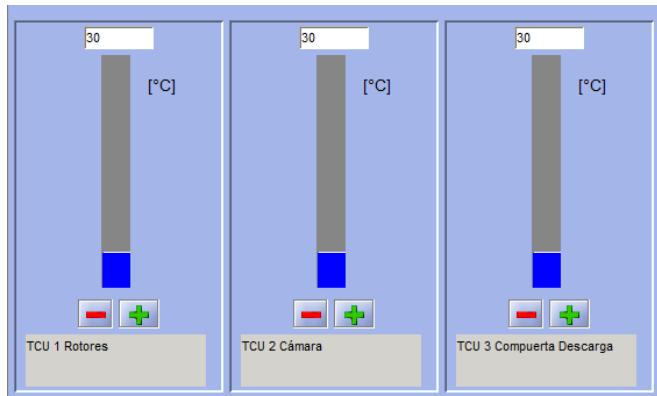
	Histórico de datos
Promedio	66,33
Desv est	4,96
Prom + desv	71,29
Prom - desv	61,37
Prom +2desv	76,25
Prom - 2desv	56,41
Mínimo	40,4
Máximo	86,6
Cp	0,797
CpK	0,788



El gráfico anterior demuestra que la dispersión de resultados de viscosidad Mooney es demasiado amplia, lo cual derivará posteriormente en variaciones en sus propiedades reológicas y en consecuencia, mecánicas y finales.

7.- EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA NECESARIA PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO

- Línea de mezclado:
- Todas las pruebas se realizan en la misma línea de producción.
- Mezclador interno
- Pisón: Pisador de tipo hidráulico, diseño de dos cilindros con control de posición variable por regla regulada.
- Cámara: Kim K250 de 250 litros de volumen. Diseño de rotores interconexos de 4 palas con refrigeración periférica.
- Control de temperatura: La línea cuenta con dos termocupas, una ubicada en el lateral de la cámara y otra ubicada en la compuerta de descarga. Las acciones son comandadas por la termocupa en lateral de cámara, siendo la termocupa de compuerta un testigo de control.
- Sistema de enfriamiento: Circuitos de refrigeración regulables en cámara, rotores y compuerta de tipo periférico. Las condiciones de enfriamiento de la máquina se mantienen en todos los batches mediante un chiller de última generación de dos unidades con compresor Screw, refrigerante ecológico R-134, ventiladores Flying Bird generación IV de muy bajo nivel de ruido. Controlador Pro-Dialog con pantalla tipo touch screen, evaporador de casco y tubo marca Carrier, modelo 30XA0452 de 128 TRn cada uno.



- Skip – Carro bajo el mezclador interno: Al descargar el batch del banbury se traslada el mismo en un carro automatizado. Las condiciones de trabajo del skip se mantienen a lo largo de toda la orden.

Nombre	Unidad	Tipo	Valor prescrito
Espera del Skip debajo del MI	[sec]	⌚	15,00
Espera del Skip en MA1	[sec]	⌚	10,00

- Mezcladores abiertos:

Mezclador abierto 1:

- Marca/ Modelo: KSB 2500
- Diámetro rodillos 760 mm
- Longitud trabajo rodillos entre batidores 2400 mm
- Velocidad de giro rodillos(regulable) 0-14 rpm
- Potencia motor rodillos 2x200 KW
- Refrigeración: Periférica

Mezclador abierto 2:

- Marca/ Modelo: Shaw 2100
- Diámetro rodillos: 660 mm
- Longitud trabajo rodillos entre batidores 2100 mm
- Velocidad de giro rodillos(regulable) 0-14 rpm
- Potencia motor rodillos 2x110 KW
- Refrigeración: Periférica
-

Equipos de laboratorio

- Mezclador abierto de laboratorio
- Reómetro
- Viscosímetro
- Tensiómetro
- Durómetro

8.- LUGAR DE REALIZACIÓN

Causer S.A

9.- PRESUPUESTO ESTIMADO Y FORMA DE FINANCIACION

Todas las pruebas realizadas se harán in-company en la empresa Causer S.A

10.- CONCLUSIONES

Ver conclusiones al final del desarrollo del proyecto.

11.- DESARROLLO DEL PROYECTO

Descripción de pruebas:

Partiendo de un ciclo de mezclado, con 11 fases definidas, se elaboran pruebas cambiando la variable que determina el cumplimiento de las fases en las que baja el pisador ("pasos de mezclado"). Con el objeto de poder aislar estas variables, se busca fijar la máxima cantidad de variables externas posibles. Se analiza el comportamiento del proceso, variaciones registradas en variables de mezclado e impacto en ciclo global. Se efectúan ensayos en laboratorio con el objetivo de verificar impacto de estas variables en las propiedades del compuesto. Considerando la posible variación que se produce de batch a batch, se efectúan diez batches de cada una de las pruebas. Considerando la posible variación de propiedades que se pueden producir dentro del mismo batch, se extraen muestras de tres lugares diferentes de cada uno de los batches.

Detalle de las pruebas:

Se realizarán cuatro pruebas de diez batches cada una; en cada prueba se dejará fija una variable de control (tiempo, temperatura, revoluciones totales o energía) y se medirá como varían las otras.

Luego de esto se medirá el efecto que producen las diferentes variables de mezclado en las propiedades finales de los vulcanizados (propiedades mecánicas), viscosidad mooney y propiedades reológicas.

VARIABLES A ANALIZAR:

- Tiempo
- Temperatura
- Revoluciones totales (pasadas del rotor)
- Energía consumida

Propiedades a medir:

Etapa de compuesto base:

Tres ensayos por batch (Principio –Medio- Final del batch)

- Viscosidad Mooney

Se evaluarán valores individuales y dispersión de resultados (homogeneidad de mezclas)

Etapa de acelerado:

Un ensayo cada dos batches, acelerado en planta piloto con tiempos y dosificaciones controladas.

- Reometría en reómetro tipo MDR, componente elástica y viscosa.
- Propiedades mecánicas.

Análisis

Tras efectuar los batchs de prueba, se recogen los datos y curvas de mezclado de cada uno de ellos y se procede a analizar qué ocurrió en cada caso. Para ello, se determinan cuáles son los batchs más representativos de cada prueba y sobre estos se analiza comportamiento general y se aceleran en planta piloto para poder medir propiedades físicas de vulcanizado.

Además de esto, se analizan la totalidad de datos para evaluar homogeneidad, repetitividad de resultados.

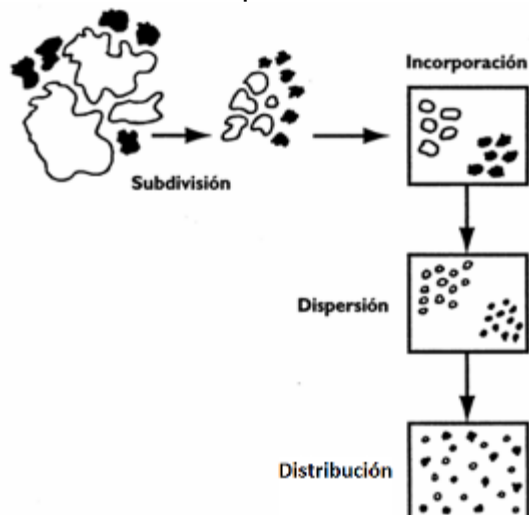
Elección de batch representativo:

Se analiza la respuesta del compuesto en cada variable en cada uno de los pasos de mezclado. En el total de muestras, se escogen aquellas cuyos resultados se asemejan más a la mediana de valores para cada caso. Se consideran los siguientes batchs como más característicos de cada caso:

Variable	Batchs de prueba	Batchs característicos
Tiempo	41 a 50	43, 49
Temperatura	51 a 60	58, 60
Energía	61 a 70	64, 66
Pasadas rotor	71 a 80	71, 75

Análisis de mezclado:

Se analiza qué ocurrió fase a fase en cada paquete de pruebas y cómo pudo influir la variable designada en el resultado final. Para ello, se tiene en cuenta el siguiente esquema básico de etapas de mezclado:



Análisis preliminar de batchs representativos:

Se grafican las curvas de temperatura, corriente y posición del pisador.

En las ocho (2 batchs por prueba) gráficas analizadas, se observa un comportamiento similar, en lo que se destaca:

- Dos primeras bajadas de pisador (fases 4 y 6): El pisador no llega a posición inferior, los registros de corriente presentan oscilaciones altas/ bajas: Se produce la subdivisión de ingredientes, incorporación de negro de humo y dispersión en la masa del compuesto.
- Última bajada de pisón: Transcurridos unos segundos el pisador llega a su posición final, al tiempo que la corriente consumida se mantiene mucho más estable. En este punto se puede suponer que se está produciendo la distribución homogénea de las partículas de negro de humo y plastificante.

De estas graficas se puede concluir que:

- Los parámetros definidos para cada prueba en función de los valores históricos, fueron correctos y equivalentes entre sí: En todos los casos obtuvimos compuestos bien mezclados, de buen aspecto al momento de la descarga (ausencia de material sin incorporar) y homogéneos en sus propiedades.
- El movimiento de pisón en cada una de las etapas es adecuado, lo que habla de un coeficiente de llenado (volumen de cámara ocupado por el empaste) correcto. Esto es importante ya que un valor muy alto implica poco espacio vacío en el material para establecer un buen desplazamiento del caucho y las cargas, y mientras que un valor bajo no asegura buena fricción entre los ingredientes (menor esfuerzo de corte) además de poder inducir a lecturas de temperatura errónea (la termocupla alojada en el lateral de la cámara opera por contacto con la goma, con lo que el mismo debe ser óptimo y constante).

Análisis pormenorizado fase a fase:

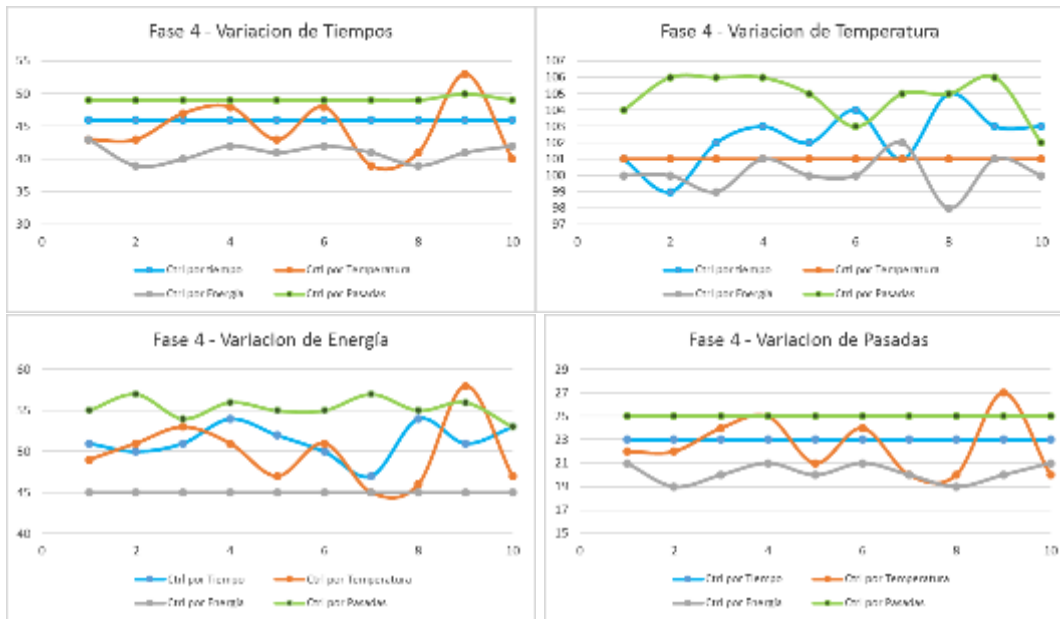
Fase 4:

Primera bajada de pisón luego del ingreso de polímeros, minoritarios y negro de humo.

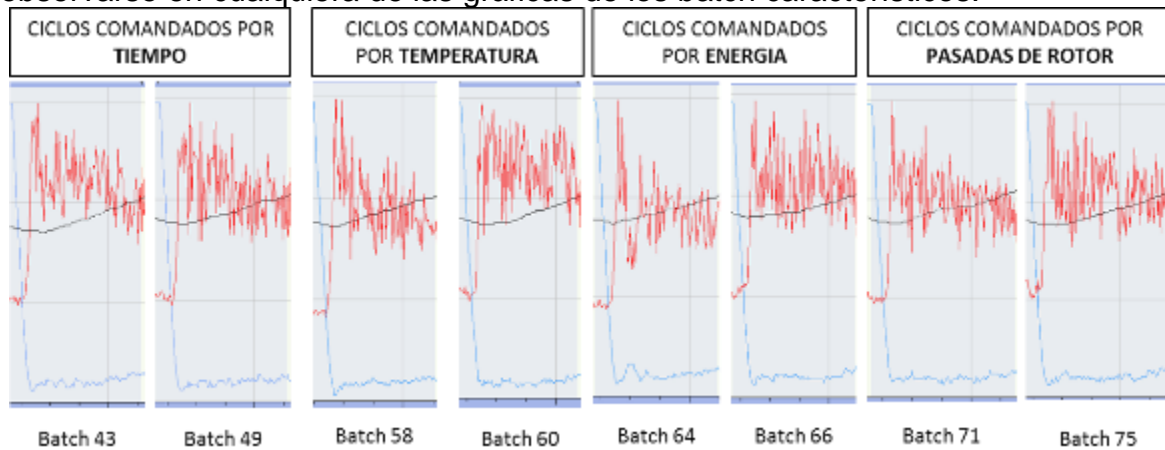
Los fardos de caucho se subdividen en pedazos más pequeños. Superficies nuevas son constantemente creadas de manera de conseguir una mejor penetración de las capas de material debido a las altas tensiones de cizallamiento. En simultáneo, la reducción de viscosidad fomenta una mejora en la distribución de los componentes de la mezcla.

Las cargas se añaden al polímero plastificado. El pistón se mueve hacia abajo y el mezclado continúa, dando lugar a un pico de la energía consumida.

En esta fase las materias primas pierden su forma original (fardo, pellets) y pierden aire alojado en su estructura, disminuyendo su volumen. Por otro lado, la cámara no está completa en su totalidad debido a que aún no se ha producido el ingreso de plastificante, lo que impacta en menores esfuerzos de corte y variaciones en el control de temperatura (el contacto de la mezcla con la termocupla no es óptimo ni constante). Consecuencia de lo anterior puede verse en la variación de variables dependientes al fijar uno de los parámetros. Esto se hace más notorio al trabajar por temperatura o por energía:



Los materiales aun no están integrados entre sí, reflejo de esto son los picos de corriente y la posición del pisador que no llega a posición inferior. Esto puede observarse en cualquiera de las gráficas de los batch característicos:

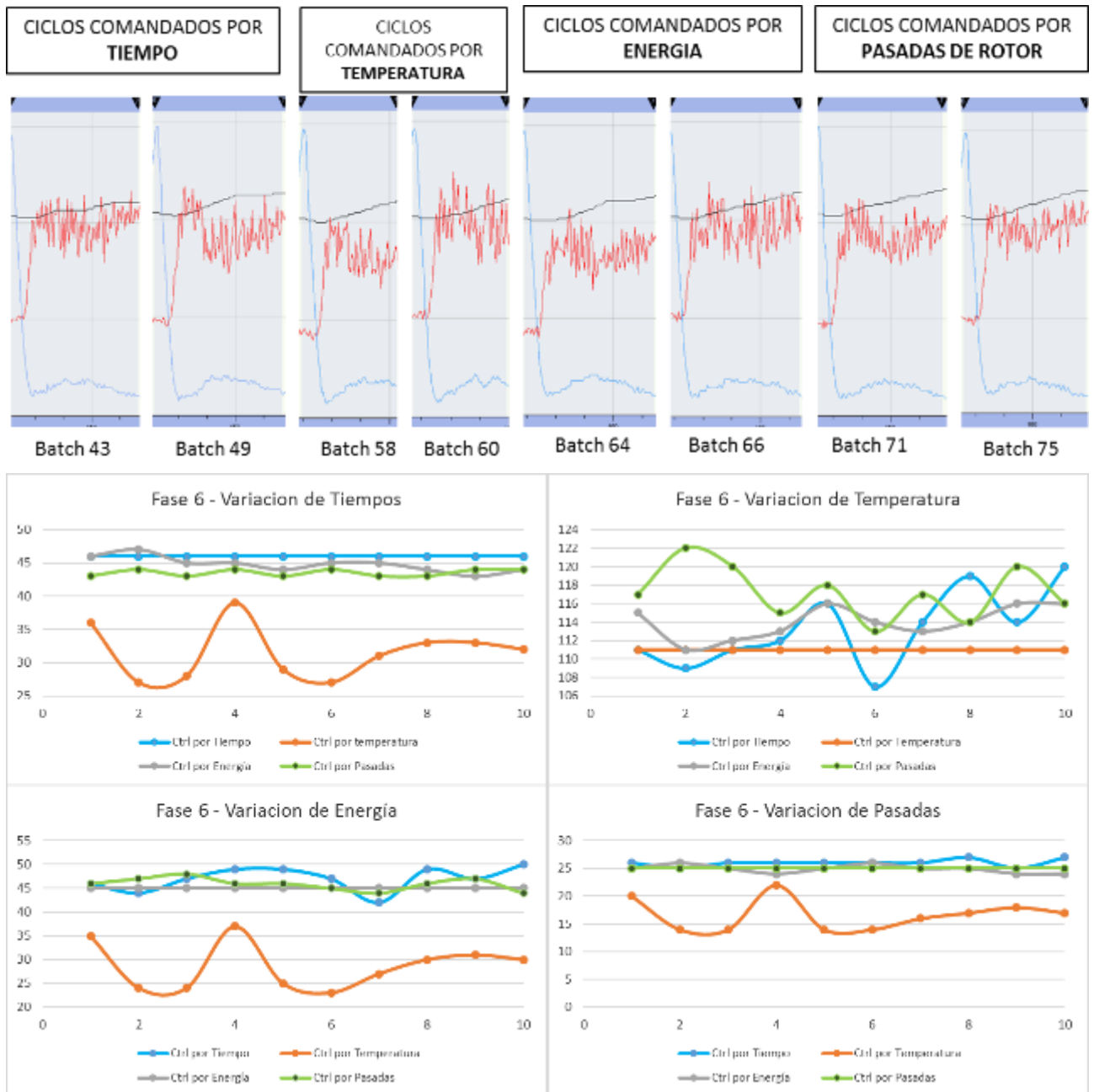


Fase 6:

Bajada de pisón luego de ingreso de aceite plastificante

En esta fase, los aditivos líquidos se añaden a la mezcla de caucho. Al principio, la curva de potencia disminuye, debido a que el aceite humedece la cámara del mezclador y las superficies del rotor. Como respuesta a esto, la temperatura (respuesta a los esfuerzos de corte) se mantiene constante o asciende muy lentamente a medida que el plastificante se incorpora en la mezcla.

En este punto del ciclo la temperatura juega un papel fundamental debido a la incidencia directa que tiene con la viscosidad del plastificante. De hecho, los batches comandados por temperatura (restricción por temperatura en fase anterior) recuperan más rápidamente la potencia y esto podemos verlo en las curvas de corriente y su respuesta en la temperatura de la mezcla (observar cómo al definir el ciclo por temperatura, el tiempo del paso es notablemente menor que cuando trabajamos con el resto de variables), sin embargo, debido a cómo se efectúa la medición, es también la condición que arroja más variables en el resto de parámetros.



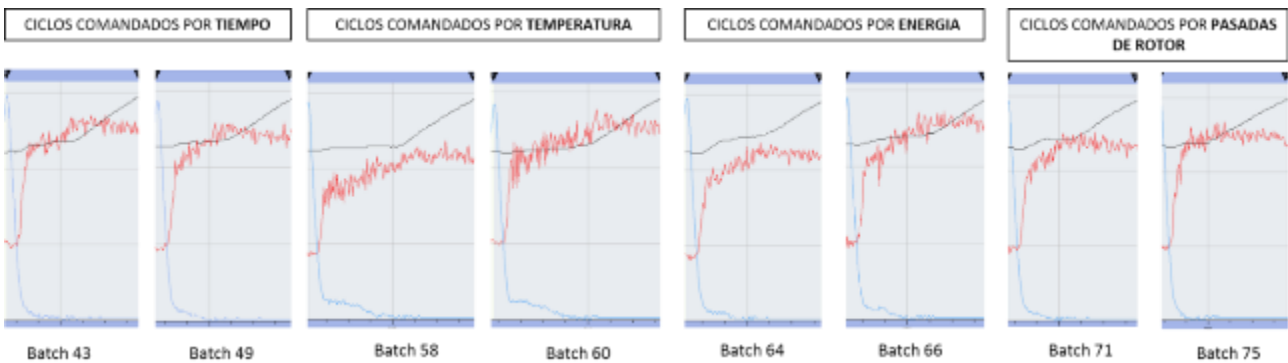
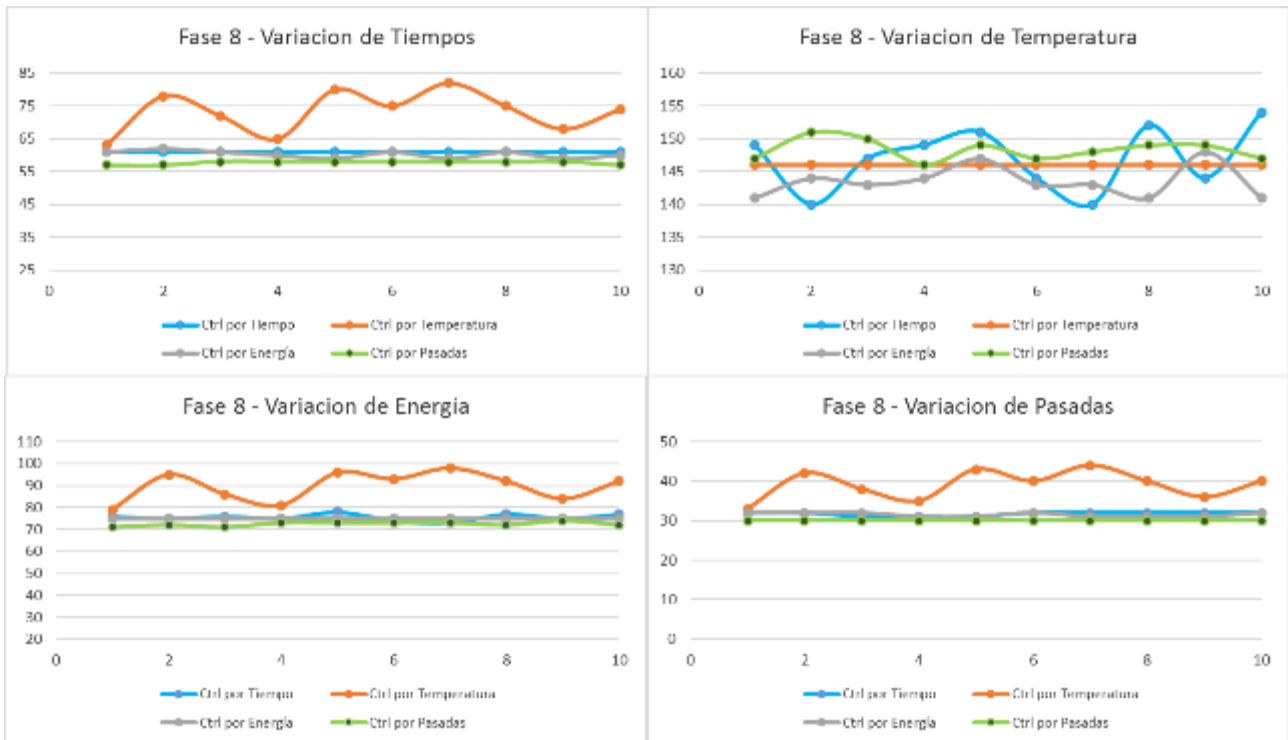
Fase 8:

Bajada de presión final, previa a descarga de batch

Después de que el negro de humo sin incorporar ha absorbido el aceite y el aceite se incorporó en la matriz polimérica, la curva de potencia aumenta. El pistón alcanza su posición final, simultáneamente con el máximo de potencia. La descarga del empaste del banbury tiene lugar cuando el compuesto alcanza la condición de tiempo, temperatura, energía o pasadas de rotor preseleccionadas.

Nuevamente los batches comandados por temperatura presentan mayores variaciones, y los parametrizados por pasadas de rotor resultan más constantes.

Impacto de variables de mezclado en compuestos de caucho – Danni/Uribe



Análisis productivo

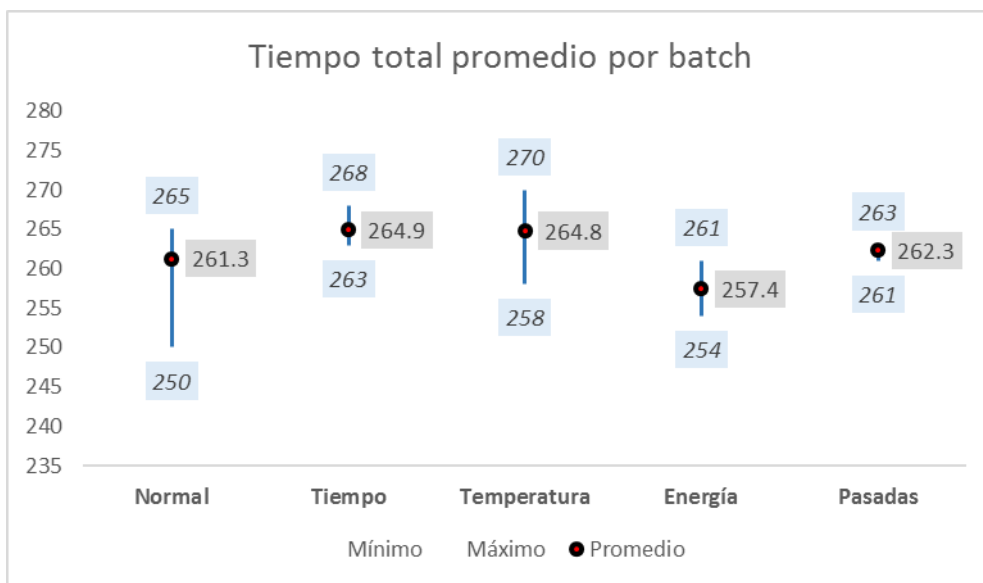
La principal actividad a la que se dedica la empresa en la que se desarrolla el trabajo es el mezclado de compuestos de caucho para terceros, por lo tanto, conocer la productividad de estos procesos es un aspecto muy importante para la evaluación de costos como así también la programación de la producción. Debido a esto, además del análisis técnico, de cada prueba se evalúa tiempo de mezclado total por batch y repetitividad de este valor de batch a batch.

El sistema Advice HF guarda registro de todas las variables de proceso. En este apartado, se trabajará con el tiempo total por batch, que incluye todas las operaciones: Espera, dosificación, pisón abajo, pisón arriba y descarga. Este valor es útil para conocer la productividad final del empaste en línea (permite calcular batchs por hora), y, a su vez, conocer la repetitividad de este valor ayuda a evaluar si el proceso está bajo control: Cuando esto no ocurre, surgen variaciones de batch a batch por variaciones en tiempos de espera, dosificaciones o pasos de mezclado.

Resultados de análisis productivo

Se recopilan los datos de mezclado de los 40 batchs de prueba y se buscan datos de 20 batchs más hechos con ciclo “normal” (homologado).

Tiempo total					
	Normal	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas
Min	250	263	258	254	261
Max	265	268	270	261	263
Rango	15	5	12	7	2
Desvest	3.8	1.5	4.2	2.6	0.8
Promedio	261.3	264.9	264.8	257.4	262.3
Mediana	261.0	264.5	265.0	257.5	262.5



Tiempo total normal por batch

Los batch en los que se controló el ciclo por “Energía” presentan una disminución de aproximadamente 4 segundos con respecto a al ciclo “Normal”.

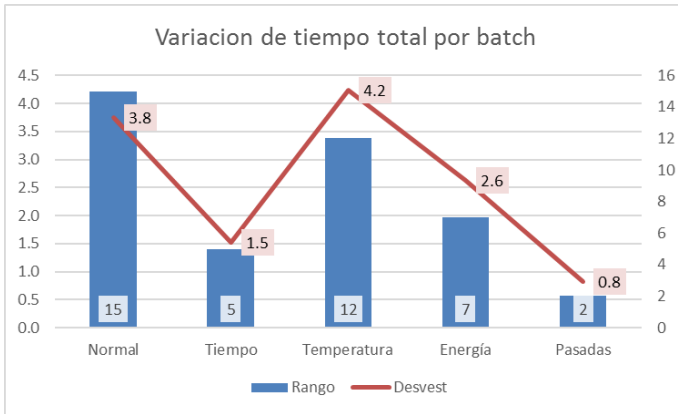
Los valores correspondientes a las pruebas efectuadas por “Tiempo” y “Temperatura” presentan una leve alza del tiempo promedio en aproximadamente 3 segundos.

Las pruebas hechas con “Pasadas de rotor” como variable de mando presentan valores similares al ciclo “Normal”.

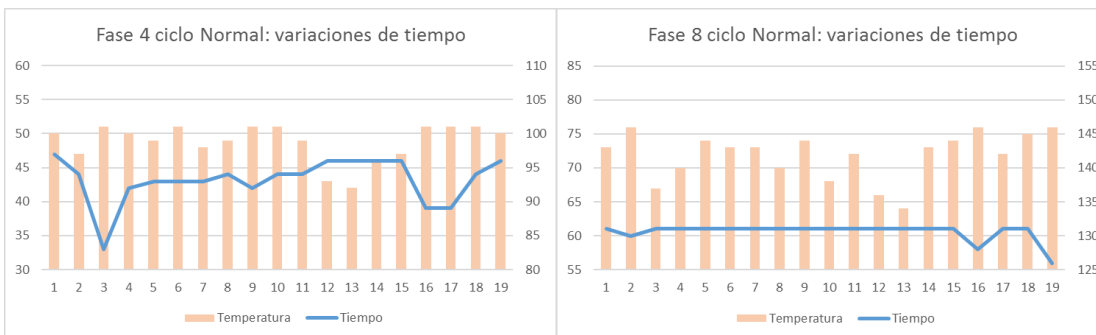
En función de los tiempos normal de ciclo, estas diferencias no se consideran significativas (están en el orden del 1.5% del tiempo total de ciclo) y se supone que las mismas pueden deberse a los valores establecidos para cada paso en cada tipo de prueba. Estos valores surgieron de un análisis estadístico del compuesto, cuyo histórico está realizado con diferentes lotes de materias primas, grupos de trabajo y condiciones ambientales y es probable que las diferencias vengan por ese lado.

Repetitividad/ rango de valores

Para efectuar este análisis se considera el desvío estándar de los datos recogidos y el rango Tiempo máximo vs mínimo. En este análisis se aprecian diferencias importantes entre los diferentes batches de prueba, las cuales son coherentes con lo observado en los ensayos de laboratorio.

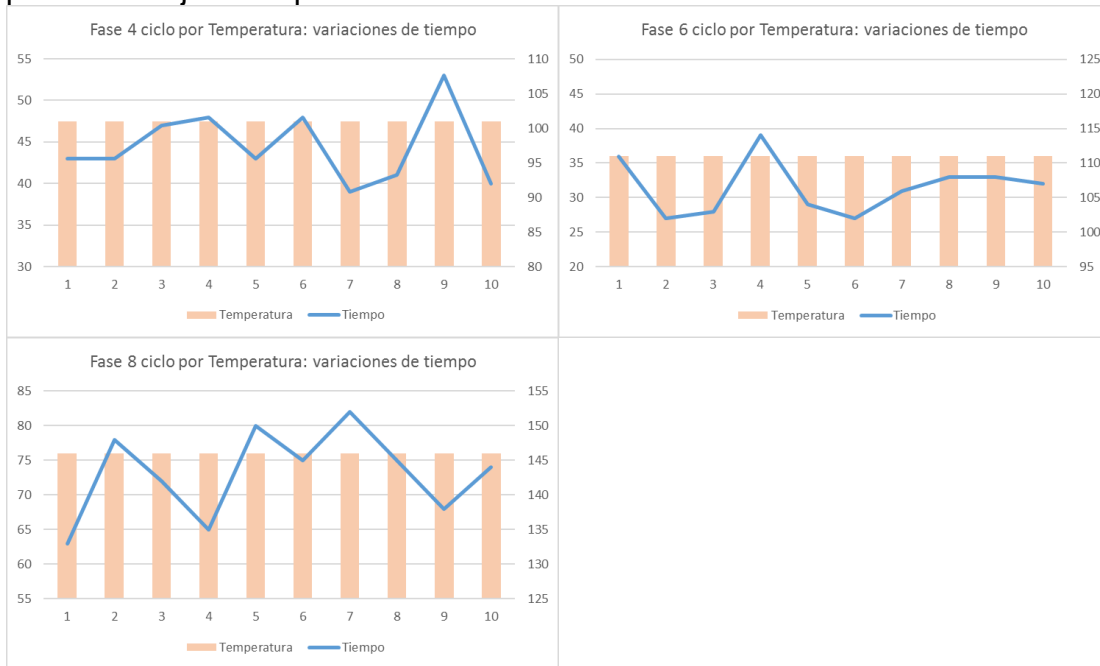


Tanto en los batches con ciclo “Normal” como en aquellos en los que se comanda el ciclo por “Temperatura”, se presentan las mayores diferencias. Esto se debe a que en estos casos el tiempo resulta ser una variable dependiente: En el caso del ciclo “Normal”, las condiciones de cumplimiento de los pasos 4 y 8 son de tipo “Tiempo o Temperatura”; es decir: la condición que se cumpla primero determinará el fin del paso de mezclado; lo que introduce variaciones.

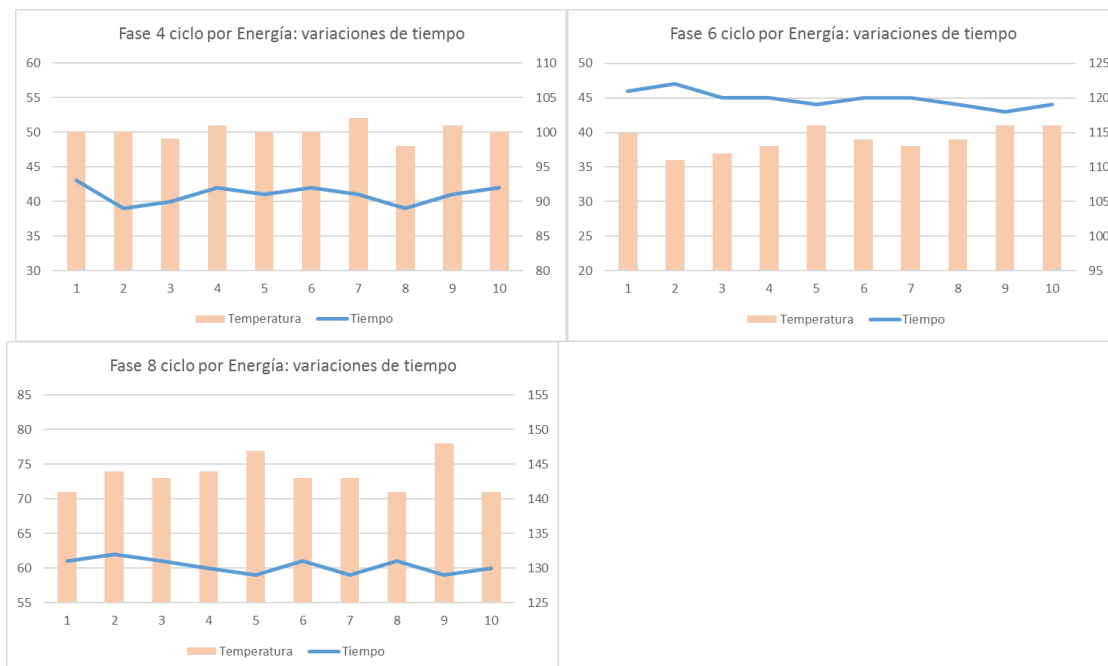


Impacto de variables de mezclado en compuestos de caucho – Danni/Uribe

En el ciclo regulado por “Temperatura”, estas variaciones están presentes en los tres pasos de bajada de pisón:



Ciclos comandados por variable “Energía” también tienen la variable “Tiempo” como dependiente. En estas pruebas, si bien los tiempos finales por batch presentan menor variación que en las otras, se representa la particularidad que las diferencias de tiempo registradas en un paso, son compensadas en pasos posteriores; resultando más parejos los tiempos finales que en los casos anteriores.



Los ciclos comandados por “Tiempo” y “Pasadas de rotor” son los que presentaron tiempos más parejos paso por paso y de tiempo total de mezclado.



Conclusiones de análisis productivo:

En las pruebas realizadas no se aprecian grandes diferencias en los tiempos promedio por batch, sin embargo, los ciclos comandados por las variables “Tiempo” y “Pasadas rotor” mostraron mayor estabilidad de batch a batch. Esta estabilidad está directamente relacionada con las características de la variable de mando ya que actúan de manera directa sobre el tiempo del paso.

Desde el punto de vista de programación de la producción, esto implica mayor previsibilidad en las horas estimadas para realizar un lote de producción, lo que puede mejorar las fechas de cumplimiento y entrega de producto. Por otro lado, contar con un proceso estable permite detectar desvíos o situaciones anormales más fácilmente.

Aceleración:

Para poder medir las propiedades finales del compuesto vulcanizado y realizar las correspondientes comparaciones entre las variables analizadas, se deben acelerar las pruebas realizadas ya que ellas carecen de agentes vulcanizantes y acelerantes.

Esta acción es realizada a escala de planta piloto con mezclas de aproximadamente 600 gr por cada batch mezclado. Los pasos a seguir son los siguientes:

- 1) Se define una aceleración estándar

La aceleración elegida es la siguiente:

	PhR	Gramos	
Base	172,1	600	600
CBS-80	2	6,973	12,551
TMTD-80	0,1	0,349	
AZUFRE-80	1,5	5,230	

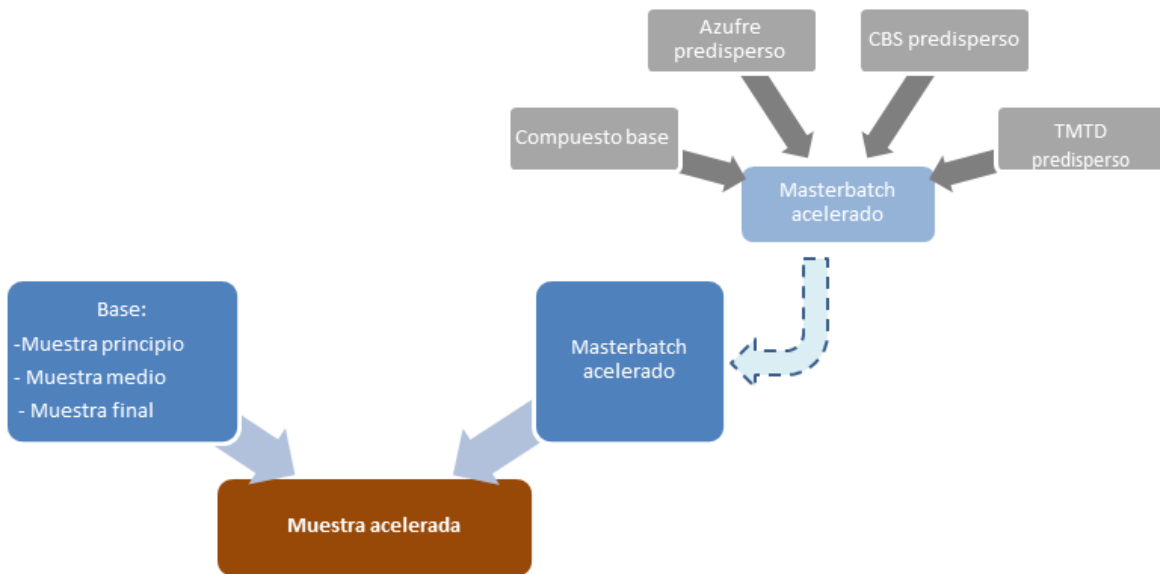
- 2) Se valida aceleración estándar realizando mezcla piloto en laboratorio y luego ensayo reométrico @180°C. (Imagen 1). Debido a que a 180°C la curva presenta reversión, la temperatura elegida para la realización de los próximos ensayos será de 160°C.
- 3) Una vez aprobada, se aceleran en mezcladora abierta en planta piloto, 20 de las 40 pruebas realizadas. Se eligen 5 batchs por cada variable a analizar, estos son:

Tiempo: 41, 43, 45, 46 y 49
 Temperatura: 53, 55, 56, 58 y 60
 Energía: 62, 64, 65, 66 y 68
 Revoluciones: 71, 74, 75, 77 y 79

Para minimizar variables externas y poder lograr los valores más precisos, se han tomado las siguientes precauciones:

- Variaciones dentro del mismo batch: Para cada batch a acelerar, se toman 200g del principio/ medio y final y se homogenizan en mezcladora abierta previo a ser acelerados.
- Variaciones en el pesaje: Se utilizan acelerantes predispersos para facilitar la incorporación y evitar errores de pesaje. Un acelerante predisperso es la mejor opción cuando necesitamos una rápida incorporación de la química ya que es el elemento que generalmente es provisto en polvo o en pellets, disperso en un binder polimérico.
- Se utiliza un master de acelerantes para facilitar la incorporación al compuesto base.

Esquema de aceleración:



Variaciones por mezclado en planta piloto:

- Se define un ciclo patrón y tiempos para cada operación:

Ciclo de trabajo en mezcladora abierta:

- Apertura máxima → 6 pasadas por los rodillos
- Ajuste rodillos a 3mm → 3 pasadas por los rodillos
- Ajuste rodillos a 2mm → Hacer banda y mezclar 30 segundos, verificar que haga banco
- Agregar master de acelerantes
- 10 cortes laterales
- Retirar completo
- Ajustar rodillos a 0,5 mm y realizar 6 pasadas de punta
- Retirar aceleración a 3mm

Tiempos de mezclado por batch:

- 62 → 5'37"
- 64 → 5'35"
- 65 → 5'27"
- 68 → 6'10"
- 41 → 5'35"
- 43 → 5'20"
- 45 → 5'20"
- 49 → 5' 38"
- 71 → 5'43"
- 74 → 5'30"
- 77 → 5'30"
- 75 → Primero
- 58 → 5'27"

Ensayos

Una vez que se han acelerado todas las muestras, se proceden a realizar ensayos de laboratorio para medir las propiedades de los vulcanizados, viscosidades y el estado reológico de la mezcla.

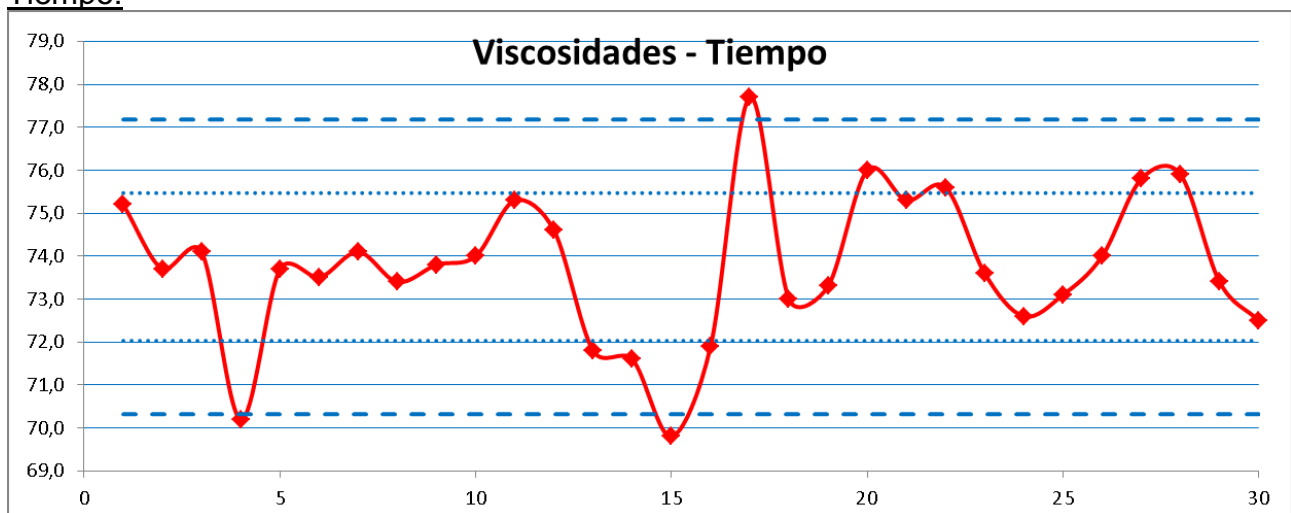
En este punto del proyecto se intentará de verificar si existen diferencias en las propiedades al utilizar las diferentes variables de mezclado estudiadas (tiempo, temperatura, energía y revoluciones) y dispersión de valores (reométricos, viscosidad o propiedades mecánicas).

Viscosidad Mooney

Los ensayos de viscosidad Mooney fueron realizados (en este proyecto) a las muestras de compuesto base (sin acelerar), para esto, se tomaron y analizaron 3 muestras por batch (principio, medio y final del batch) con el objetivo de medir dispersión de todos los componentes del compuesto según la variable de mezclado utilizada.

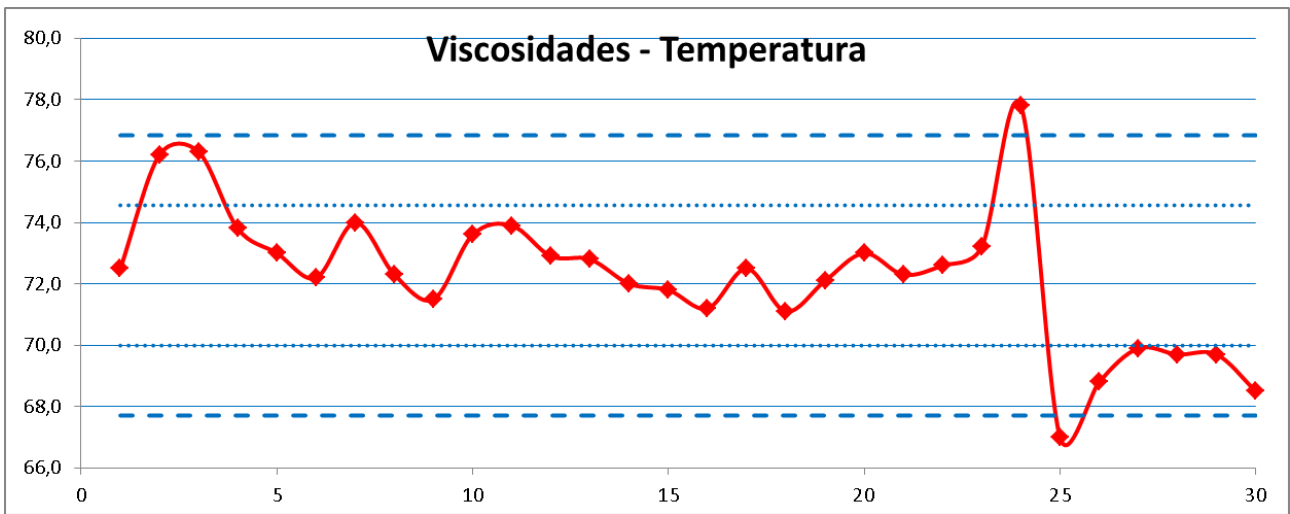
Resultados por variable – Gráficos

Tiempo:



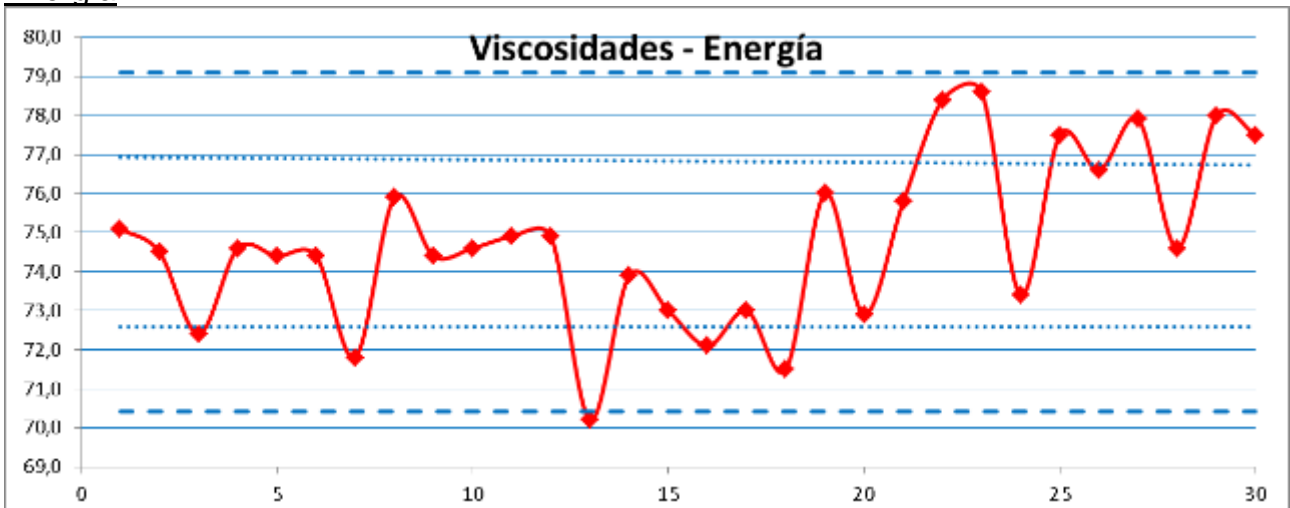
	Tiempo
Promedio	73,75
Desv est	1,72
Prom + desv	75,47
Prom - desv	72,03
Prom +2desv	77,18
Prom - 2desv	70,32

Temperatura:



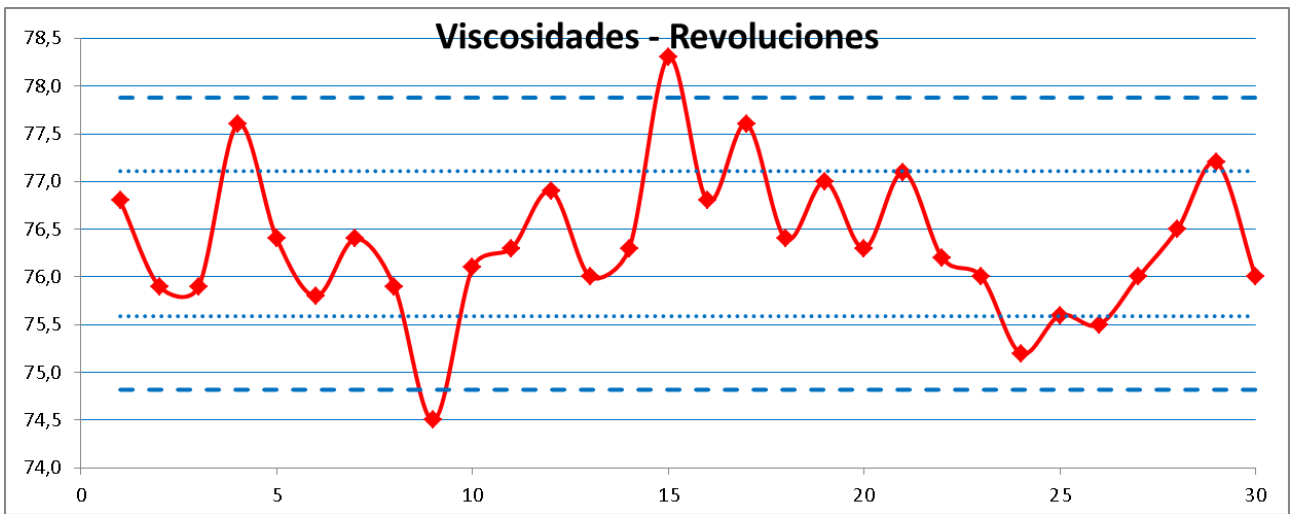
	Temperatura
Promedio	72,27
Desv est	2,28
Prom + desv	74,56
Prom - desv	69,99
Prom +2desv	76,84
Prom - 2desv	67,71

Energía:



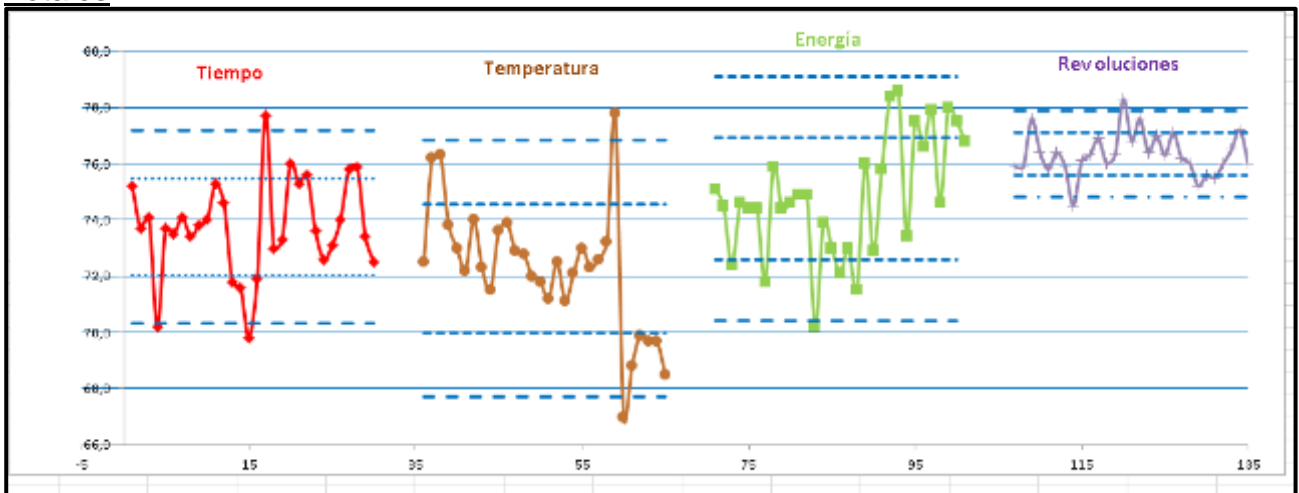
	Energía
Promedio	74,76
Desv est	2,17
Prom + desv	76,93
Prom - desv	72,59
Prom +2desv	79,10
Prom - 2desv	70,42

Revoluciones:

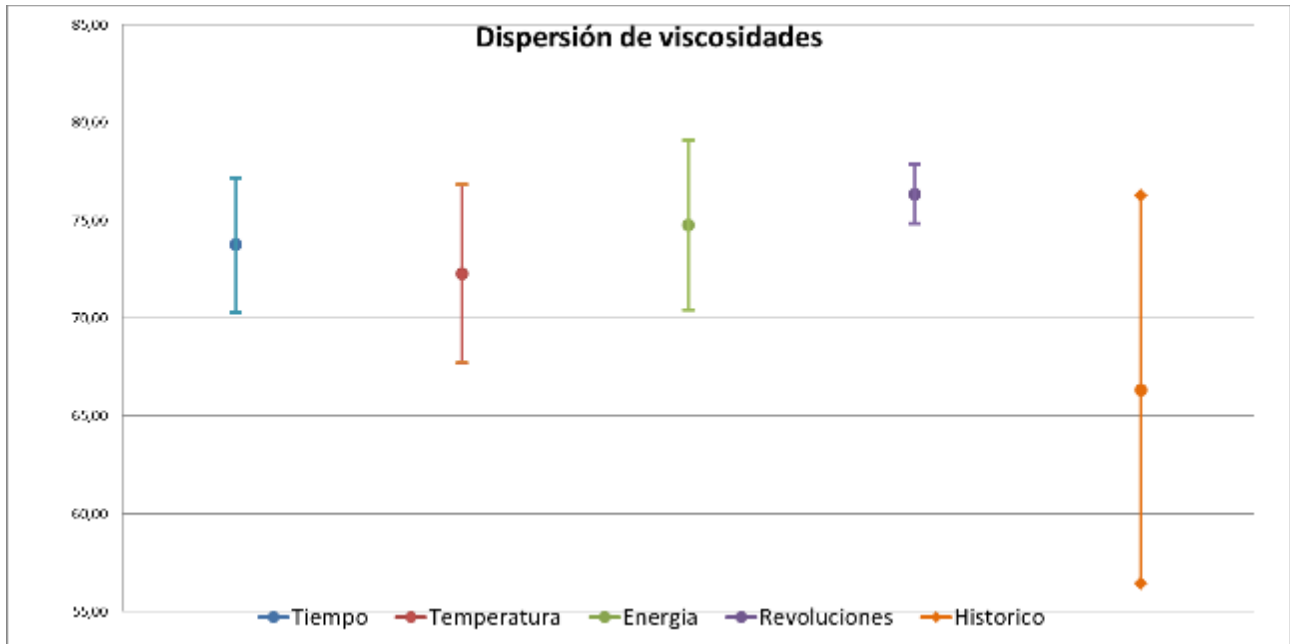


	Revoluciones
Promedio	76,35
Desv est	0,76
Prom + desv	77,11
Prom - desv	75,59
Prom +2desv	77,88
Prom - 2desv	74,82

Totales:



	Tiempo	Temperatura	Energia	Revoluciones	Historico de datos
Promedio	73,75	72,27	74,76	76,35	66,33
Desv est	1,72	2,28	2,17	0,76	4,96
Prom + desv	75,47	74,56	76,93	77,11	71,29
Prom - desv	72,03	69,99	72,59	75,59	61,37
Prom +2desv	77,18	76,84	79,10	77,88	76,25
Prom - 2desv	70,32	67,71	70,42	74,82	56,41



Conclusiones de las pruebas de viscosidad:

El objetivo principal de realizar los ensayos de viscosidad mooney es el de poder analizar el grado de dispersión que se ha obtenido al mezclar polímero, carga y plastificantes en el mezclador interno. Al realizar ensayos del principio, medio y final del batch terminamos de confirmar lo anteriormente planteado.

Los resultados de viscosidades de las variables tiempo, temperatura y energía han resultado con una dispersión normal para este tipo de mezclas, pero en comparación con los valores históricos observamos una notable mejoría en el rango de los valores obtenidos.

La variable de revoluciones es la que ha entregado valores de viscosidad realmente acotados, con un rango de $\pm 1,5$ MU lo cual es para lo estudiado y para cualquier compuesto de caucho.

Reometría MDR

Conclusiones ensayos reométricos:

Al analizar la dispersión de valores reométricos no podemos observar variaciones importantes entre las variables analizadas. Tanto las aceleraciones realizadas a los batches comandados por tiempo, temperatura, energía y revoluciones resultaron con una excelente dispersión y valores reométricos normales. Una vez que se han realizado los correspondientes ensayos reométricos, podemos obtener los tiempos de vulcanizaciones óptimos para poder, a continuación, medir propiedades mecánicas de los vulcanizados.

Propiedades mecánicas

Ensayo de tracción y Desgarro

Resultados:

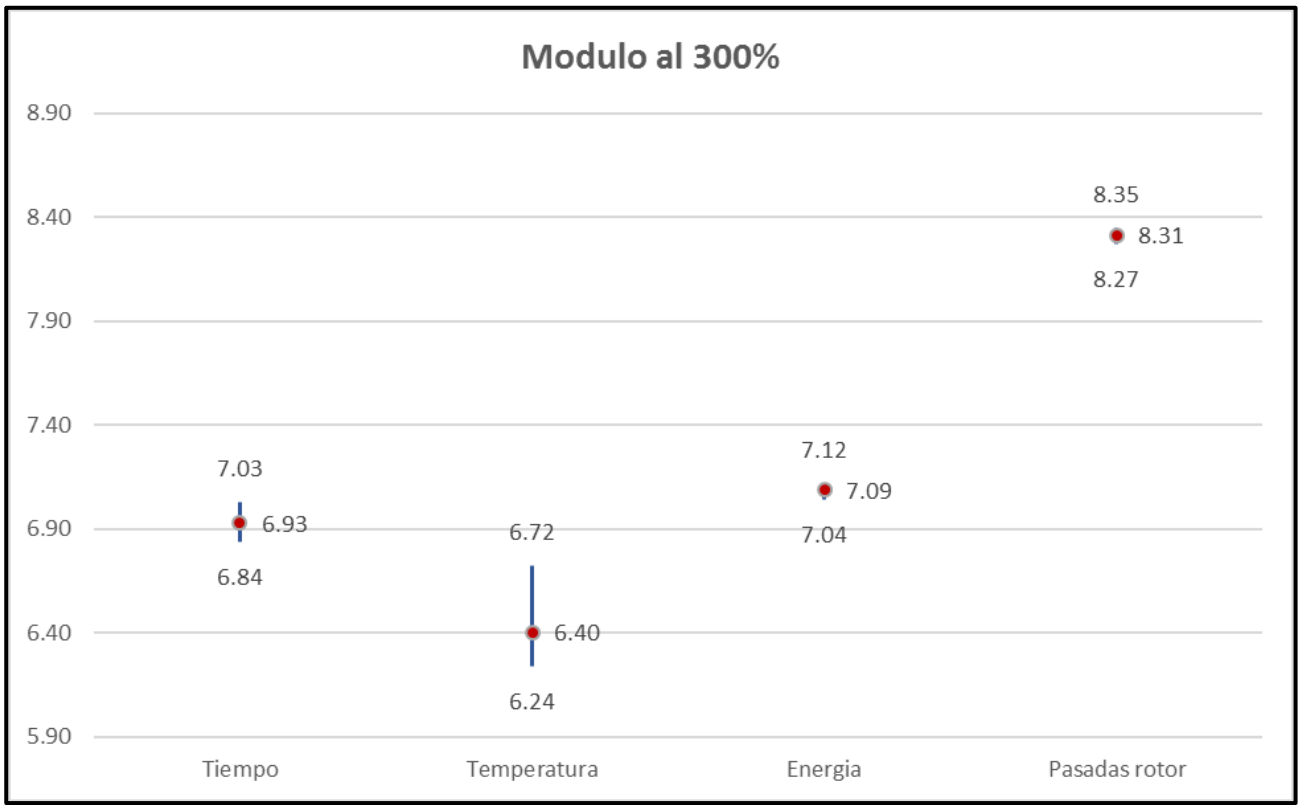
Tracción:

Nº Batch	Break Stress (Mpa)	Break Strain %	Mod@100% (Mpa)	Mod@300% (Mpa)
43	18,45	591,65	1,54	7,03
45	18,34	592,1	1,53	6,84
49	18,65	599,1	1,51	6,92
53	17,85	631,2	1,37	6,25
58	18,63	621,3	1,46	6,72
60	17,86	629,43	1,38	6,24
64	17,92	617,59	1,55	7,12
66	18,39	613,84	1,58	7,04
68	18,34	615,85	1,57	7,1
71	19,47	566,9	1,86	8,27
77	19,45	565,4	1,89	8,35
75	19,34	570,2	1,87	8,32

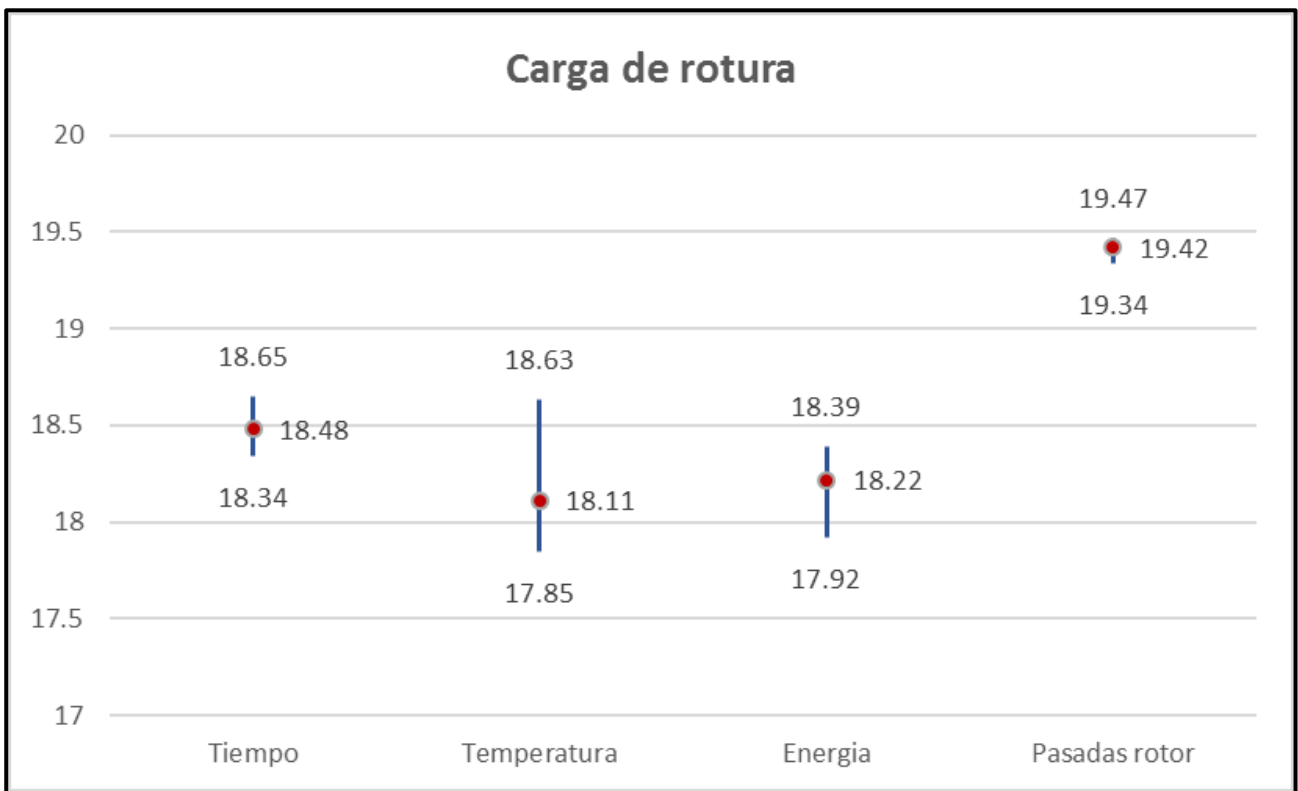
Desgarro:

Nº Batch	Tear strength (N/mm)
43	36,91
45	37,45
49	42,71
53	35,25
58	37,85
60	36,59
64	35,46
66	42,89
68	41,6
71	46,9
73	47,5
75	45,8

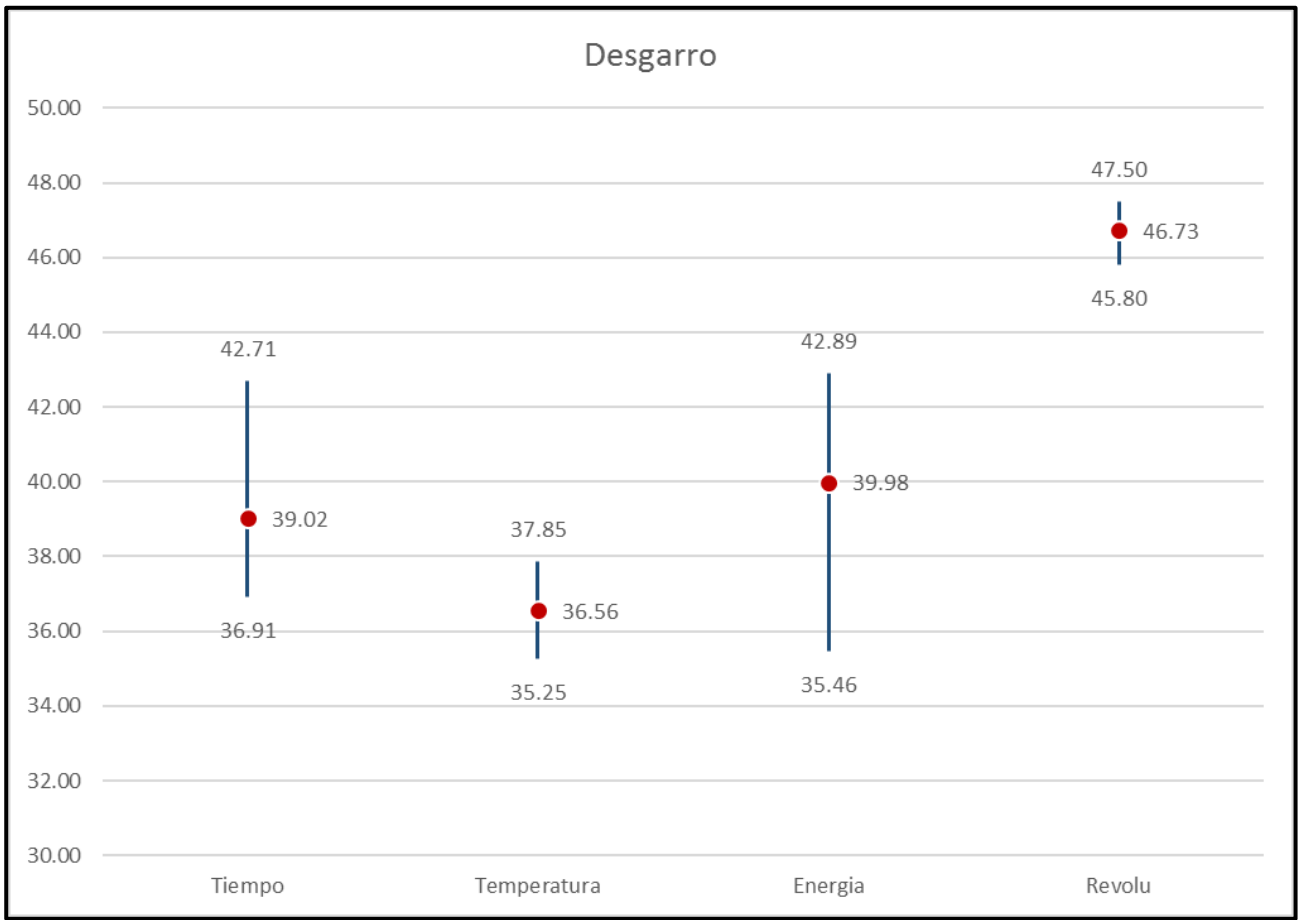
Modulo al 300%



Carga de rotura



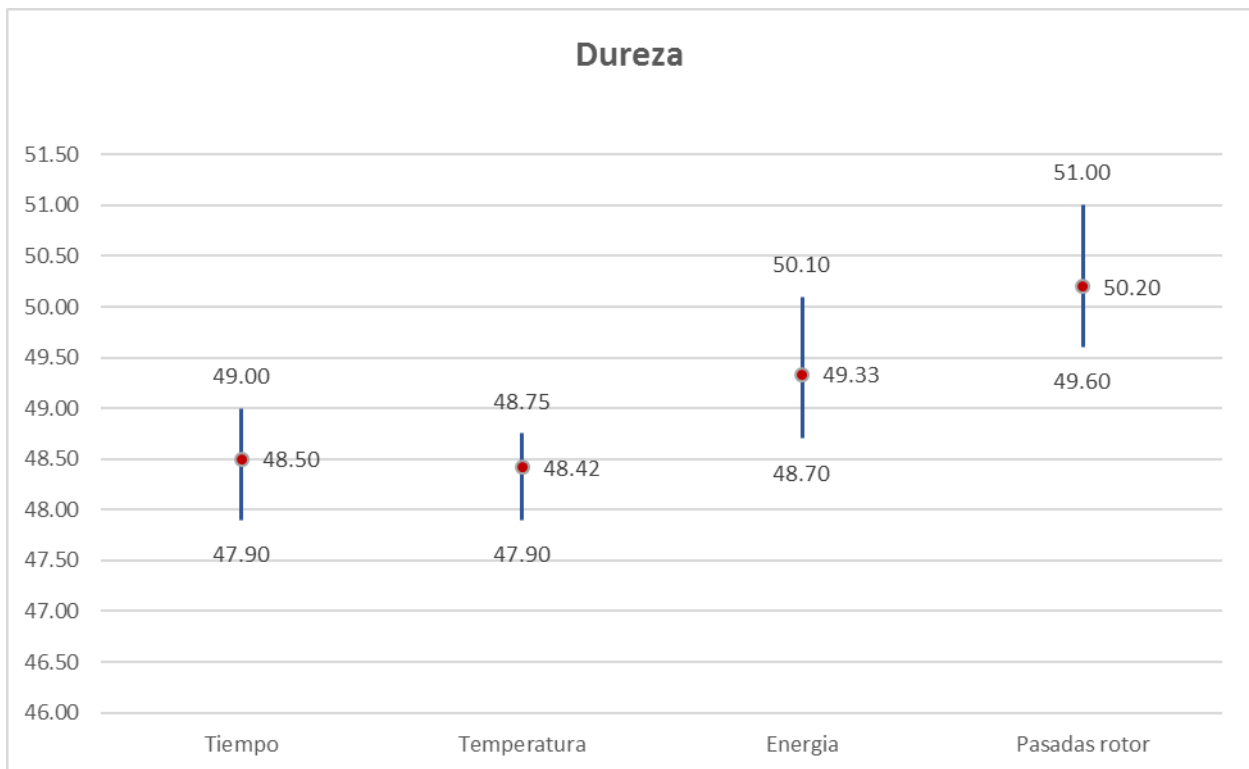
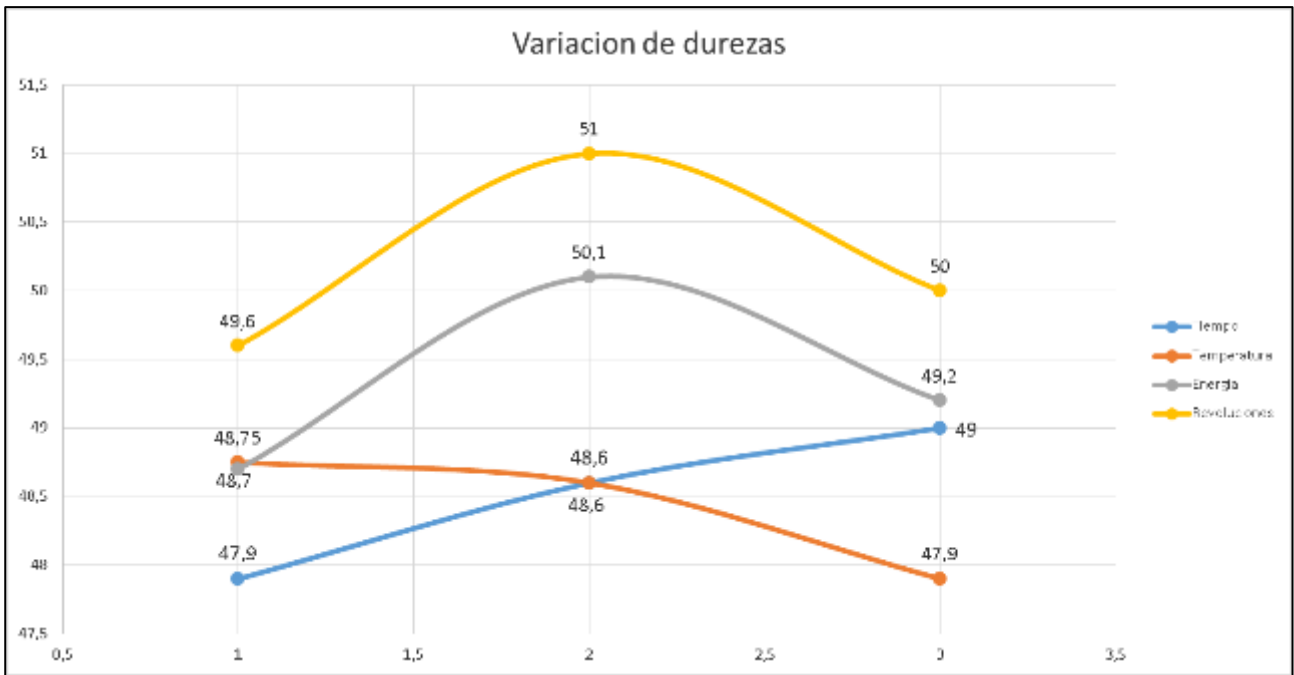
Desgarro



Dureza

DUREZA SHORE A				
N° batch	Medicion1	Medicion2	Medicion3	Mediana
43	47,9	49,4	47,9	47,9
45	48,1	48,6	48,6	48,6
49	48,8	49	49,2	49
53	48,7	48,8	48,5	48,75
58	48,7	48	48,6	48,6
60	47,9	49,1	47,7	47,9
64	48,8	48,7	48,1	48,7
65	50,1	50	50,6	50,1
66	48,2	49,6	49,2	49,2
71	49,8	49,6	49,5	49,6
75	51	51,5	50,9	51
79	50	50,1	49,8	50

Impacto de variables de mezclado en compuestos de caucho – Danni/Uribe



En los ensayos de dureza puede apreciarse un aumento en los valores obtenidos cuando el ciclo fue comandado por el parámetro de revoluciones, seguido por los valores de energía.

Conclusiones en propiedades mecánicas:

Los ciclos comandados por revoluciones presentan una mayor carga de rotura y módulo al 300%. También se observa una mejora en los valores de desgarro obtenidos. Respecto a la elongación disminuye levemente. Si bien las diferencias son muy sutiles, podría reflejar una mejor interacción caucho-carga, lo que vuelve a evidenciar las citadas mejoras que proporciona el mezclado comandado por revoluciones totales.

Conclusiones finales:

Tras comparar las diferentes variables de control disponibles, se observa que al comandar el ciclo de mezclado por la variable de “Pasadas del rotor” se obtiene:

- Una notable disminución de dispersión de resultados de viscosidad Mooney.
- Mejores propiedades mecánicas y una dureza mayor del compuesto vulcanizado.
- Mayor estabilidad en el proceso de mezclado y mayor repetitividad.

La mejor dispersión de valores en viscosidad, incremento de carga de rotura, disminución de elongación de rotura, mejora de resistencia al desgarro hace suponer una mejor dispersión de ingredientes que redundan en una mejor interacción negro de humo – carga.

Por otro lado, no se presentaron diferencias notables en los ensayos reométricos, tanto la componente elástica como la viscosa se mantuvieron estables y con buena dispersión de resultados.

La realización del presente trabajo abre una puerta y permite contar con una alternativa más a la hora de diseñar un ciclo de mezclado.

En la industria del caucho, poder conseguir las mismas propiedades en todos los batches de un lote de producción es de vital importancia y una tarea sumamente dificultosa. Esto se verá reflejado a la hora de procesar el compuesto, ya que el responsable de esta tarea no deberá modificar variables de su proceso que, en caso contrario, derivaría en pérdidas de tiempo y energía, retrabajos, merma de productividad y también dinero.

Un compuesto de caucho correctamente mezclado presentará muy buena dispersión de resultados y repetitividad de propiedades finales batch a batch.

Con estos antecedentes, trabajos posteriores podrán orientarse a:

- Verificación de lo concluido: Las pruebas se realizaron a escala industrial pero acotando todas las variables externas posibles (mano de obra, lotes de materia prima, condiciones ambientales, etc). Implementado en producción: ¿Son extrapolables estos resultados a partidas grandes? ¿Qué variaciones se encuentran de lote a lote? ¿Cómo impactan las otras variables intervinientes?
- Elección de una variable de mando determinada para pasos específicos: Un ciclo de mezclado está compuesto de diferentes “momentos”: Premasticar polímeros, dispersar cargas, homogeneizar producto, bajar viscosidad de compuesto. A partir de lo visto se plantea la duda: Para cada momento del ciclo de mezclado, ¿será conveniente el empleo de alguna variable de mando particular?

12.- ANEXOS

Datos para definición de batchs representativos:

TIEMPO	Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor	Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor	Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor
	4	41	46	101	51	23	6	41	46	111	46	26	8	41	61	149	76	32
	4	42	46	99	50	23	6	42	46	109	44	25	8	42	61	140	75	32
	4	43	46	102	51	23	6	43	46	111	47	26	8	43	61	147	76	31
	4	44	46	103	54	23	6	44	46	112	49	26	8	44	61	149	75	31
	4	45	46	102	52	23	6	45	46	116	49	26	8	45	61	151	78	31
	4	46	46	104	50	23	6	46	46	107	47	26	8	46	61	144	74	32
	4	47	46	101	47	23	6	47	46	114	42	26	8	47	61	140	73	32
	4	48	46	105	54	23	6	48	46	119	49	27	8	48	61	152	77	32
	4	49	46	103	51	23	6	49	46	114	47	25	8	49	61	144	75	32
4	50	46	103	53	23	6	50	46	120	50	27	8	50	61	154	77	32	
	Desv Std	0.00	1.70	2.11	0.00		Desv Std	0.00	4.16	2.49	0.67		Desv Std	0.00	4.88	1.51	0.48	
	Mediana	46.00	102.50	51.00	23.00		Mediana	46.00	113.00	47.00	26.00		Mediana	61.00	148.00	75.50	32.00	

TEMPERATURA	Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor	Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor	Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor
	4	51	43	101	49	22	6	51	36	111	35	20	8	51	63	146	79	33
	4	52	43	101	51	22	6	52	27	111	24	14	8	52	78	146	95	42
	4	53	47	101	53	24	6	53	28	111	24	14	8	53	72	146	86	38
	4	54	48	101	51	25	6	54	39	111	37	22	8	54	65	146	81	35
	4	55	43	101	47	21	6	55	29	111	25	14	8	55	80	146	96	43
	4	56	48	101	51	24	6	56	27	111	23	14	8	56	75	146	93	40
	4	57	39	101	45	20	6	57	31	111	27	16	8	57	82	146	98	44
	4	58	41	101	46	20	6	58	33	111	30	17	8	58	75	146	92	40
	4	59	53	101	58	27	6	59	33	111	31	18	8	59	68	146	84	36
4	60	40	101	47	20	6	60	32	111	30	17	8	60	74	146	92	40	
	Desv Std	4.38	0.00	3.88	2.42		Desv Std	3.95	0.00	4.84	2.80		Desv Std	6.27	0.00	6.62	3.57	
	Mediana	43.00	101.00	50.00	22.00		Mediana	31.50	111.00	28.50	16.50		Mediana	74.50	146.00	92.00	40.00	

Impacto de variables de mezclado en compuestos de caucho – Danni/Uribe

ENERGIA	Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor
	4	61	43	100	45	21
	4	62	39	100	45	19
	4	63	40	99	45	20
	4	64	42	101	45	21
	4	65	41	100	45	20
	4	66	42	100	45	21
	4	67	41	102	45	20
	4	68	39	98	45	19
	4	69	41	101	45	20
4	70	42	100	45	21	
	Desv Std	1.33	1.10	0.00	0.79	
	Mediana	41.00	100.00	45.00	20.00	

Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor
6	61	46	115	45	25
6	62	47	111	45	26
6	63	45	112	45	25
6	64	45	113	45	24
6	65	44	116	45	25
6	66	45	114	45	26
6	67	45	113	45	25
6	68	44	114	45	25
6	69	43	116	45	24
6	70	44	116	45	24
	Desv Std	1.14	1.76	0.00	0.74
	Mediana	45.00	114.00	45.00	25.00

Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor
8	61	61	141	75	32
8	62	62	144	75	32
8	63	61	143	75	32
8	64	60	144	75	31
8	65	59	147	75	31
8	66	61	143	75	32
8	67	59	143	75	31
8	68	61	141	75	31
8	69	59	148	75	31
8	70	60	141	75	32
	Desv Std	1.06	2.42	0.00	0.53
	Mediana	60.50	143.00	75.00	31.50

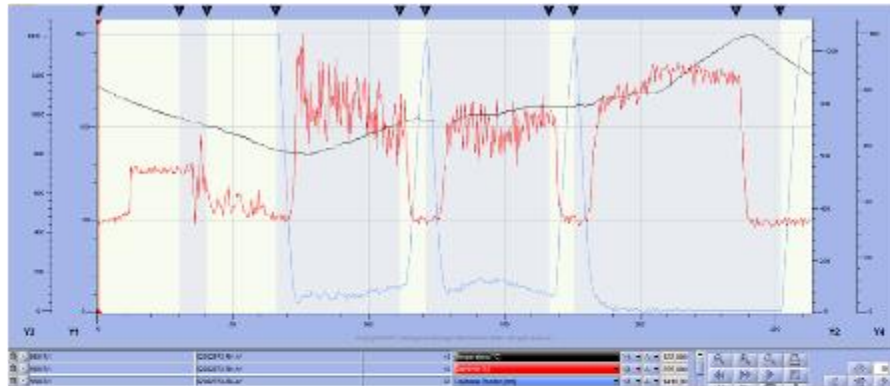
PASADAS	Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor
	4	71	49	104	55	25
	4	72	49	106	57	25
	4	73	49	106	54	25
	4	74	49	106	56	25
	4	75	49	105	55	25
	4	76	49	103	55	25
	4	77	49	105	57	25
	4	78	49	105	55	25
	4	79	50	106	56	25
4	80	49	102	53	25	
	Desv Std	0.32	1.40	1.25	0.00	
	Mediana	49.00	105.00	55.00	25.00	

Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor
6	71	43	117	46	25
6	72	44	122	47	25
6	73	43	120	48	25
6	74	44	115	46	25
6	75	43	118	46	25
6	76	44	113	45	25
6	77	43	117	44	25
6	78	43	114	46	25
6	79	44	120	47	25
6	80	44	116	44	25
	Desv Std	0.53	2.86	1.29	0.00
	Mediana	43.50	117.00	46.00	25.00

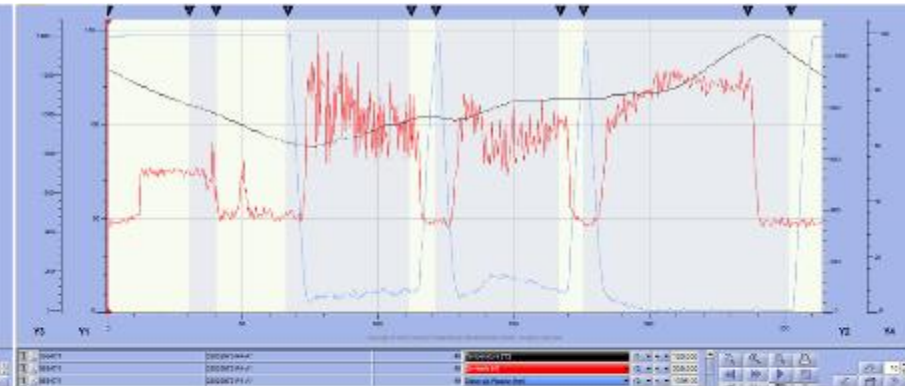
Fase:	Batch #	Tiempo	Temperatura	Energía	Pasadas Rotor
8	71	57	147	71	30
8	72	57	151	72	30
8	73	58	150	71	30
8	74	58	146	73	30
8	75	58	149	73	30
8	76	58	147	73	30
8	77	58	148	73	30
8	78	58	149	72	30
8	79	58	149	74	30
8	80	57	147	72	30
	Desv Std	0.48	1.57	0.97	0.00
	Mediana	58.00	148.50	72.50	30.00

Curvas de mezclado de batch representativos

CICLOS COMANDADOS POR TIEMPO

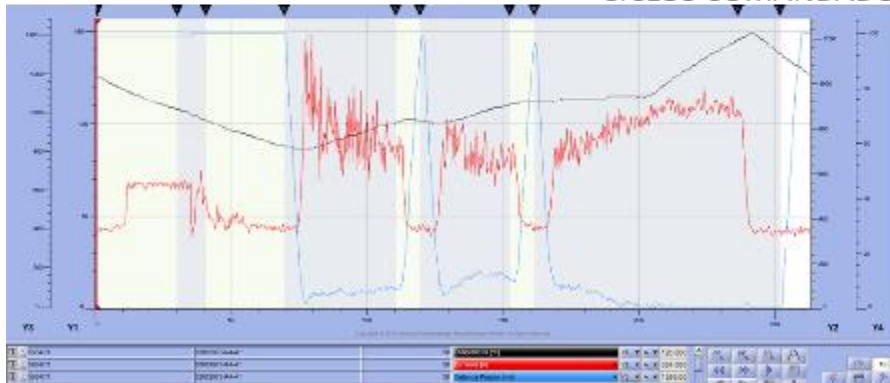


Batch 43

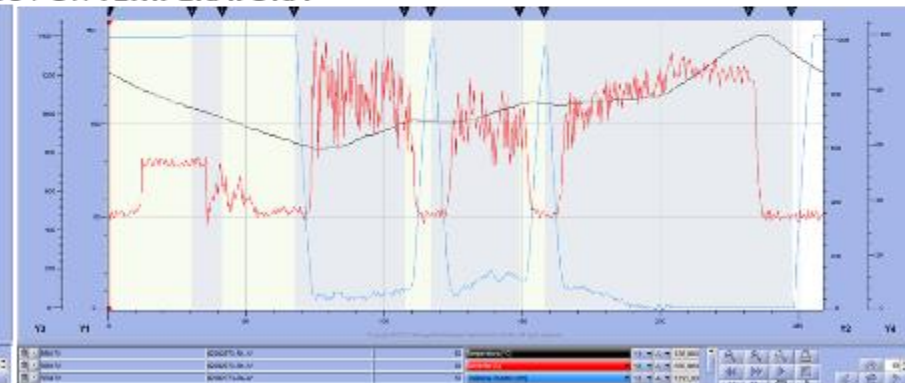


Batch 49

CICLOS COMANDADOS POR TEMPERATURA

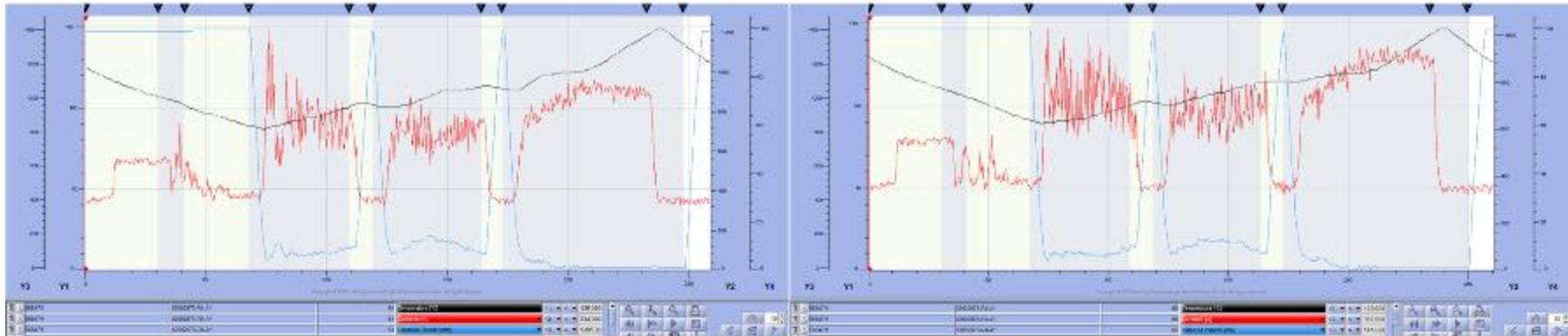


Batch 58



Batch 60

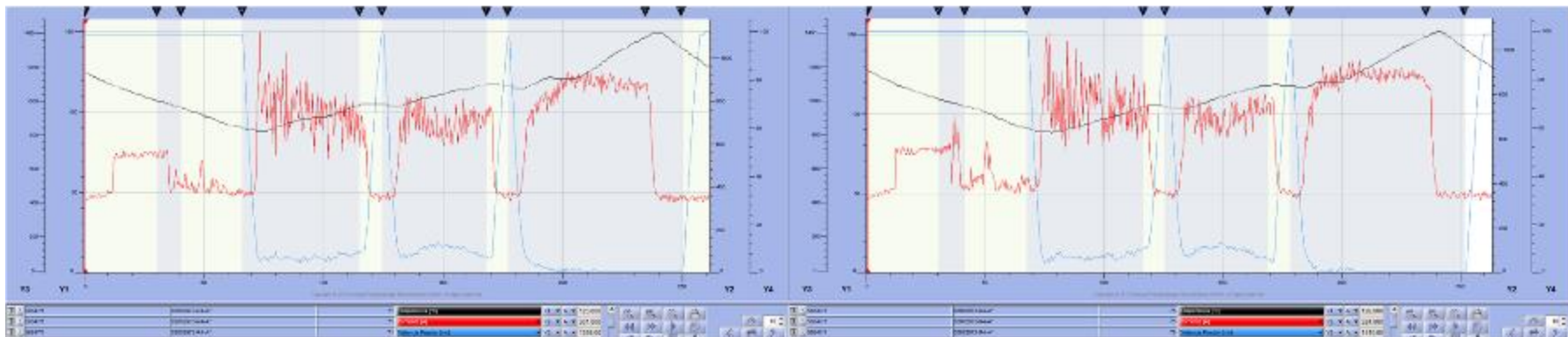
CICLOS COMANDADOS POR ENERGIA



Batch 64

Batch 66

CICLOS COMANDADOS POR PASADAS DE ROTOR



Batch 71

Batch 75

Impacto de variables de mezclado en compuestos de caucho – Danni/Uribe

Valores de viscosidad:

Orderno. ; Batch ; Test		Init	ML(1+4)	Final
		MU	MU	MU
Lower specification limit				54
Upper specification limit				78

PROYECTO ; 41 ; 1	Principio	87,6	75,2	75,2
PROYECTO ; 41 ; 2	Medio	81,7	73,7	73,7
PROYECTO ; 41 ; 3	Final	83,5	74,2	74,1
PROYECTO ; 42 ; 1	Principio	83,8	70,2	70,2
PROYECTO ; 42 ; 2	Medio	84,3	73,7	73,7
PROYECTO ; 42 ; 3	Final	81,9	73,5	73,5
PROYECTO ; 43 ; 1	Principio	84	74,2	74,1
PROYECTO ; 43 ; 2	Medio	83,8	73,5	73,4
PROYECTO ; 43 ; 3	Final	83,7	73,9	73,8
PROYECTO ; 44 ; 1	Principio	87,3	74,2	74
PROYECTO ; 44 ; 2	Medio	86,4	75,4	75,3
PROYECTO ; 44 ; 3	Final	82,8	74,6	74,6
PROYECTO ; 45 ; 1	Principio	85,1	72	71,8
PROYECTO ; 45 ; 2	Medio	81,5	71,7	71,6
PROYECTO ; 45 ; 3	Final	81,5	69,9	69,8
PROYECTO ; 46 ; 1	Principio	82,9	72	71,9
PROYECTO ; 46 ; 2	Medio	90,3	77,7	77,7
PROYECTO ; 46 ; 3	Final	84,9	73,1	73
PROYECTO ; 47 ; 1	Principio	85,8	73,4	73,3
PROYECTO ; 47 ; 2	Medio	87,7	75,9	76
PROYECTO ; 47 ; 3	Final	84,9	75,2	75,3
PROYECTO ; 48 ; 1	Principio	85,8	75,7	75,6
PROYECTO ; 48 ; 2	Medio	85,2	73,7	73,6
PROYECTO ; 48 ; 3	Final	83,7	72,7	72,6
PROYECTO ; 49 ; 1	Principio	83,6	73,3	73,1
PROYECTO ; 49 ; 2	Medio	84,6	74	74
PROYECTO ; 49 ; 3	Final	85	75,8	75,8
PROYECTO ; 50 ; 1	Principio	90,5	76,1	75,9
PROYECTO ; 50 ; 2	Medio	83,1	73,5	73,4
PROYECTO ; 50 ; 3	Final	81,5	72,6	72,5

Variable de temperatura:

Ordeno. ; Batch ; Test		Init	ML(1+4)	Final
		MU	MU	MU
Lower specification limit				54
Upper specification limit				78

PROYECTO ; 51 ; 1	Principio	84,9	72,7	72,5
PROYECTO ; 51 ; 2	Medio	87,8	76,2	76,2
PROYECTO ; 51 ; 3	Final	84,5	76,2	76,3
PROYECTO ; 52 ; 1	Principio	84,1	73,8	73,8
PROYECTO ; 52 ; 2	Medio	85,1	73	73
PROYECTO ; 52 ; 3	Final	83,4	72,2	72,2
PROYECTO ; 53 ; 1	Principio	86,3	74,1	74
PROYECTO ; 53 ; 2	Medio	83,6	72,4	72,3
PROYECTO ; 53 ; 3	Final	82,4	71,4	71,5
PROYECTO ; 54 ; 1	Principio	87,2	73,8	73,6
PROYECTO ; 54 ; 2	Medio	84,8	74	73,9
PROYECTO ; 54 ; 3	Final	82,2	72,9	72,9
PROYECTO ; 55 ; 1	Principio	83,7	73	72,8
PROYECTO ; 55 ; 2	Medio	84,8	72,1	72
PROYECTO ; 55 ; 3	Final	84,7	71,8	71,8
PROYECTO ; 56 ; 1	Principio	84,6	71,3	71,2
PROYECTO ; 56 ; 2	Medio	83,6	72,5	72,5
PROYECTO ; 56 ; 3	Final	81,1	71,1	71,1
PROYECTO ; 57 ; 1	Principio	83,7	72,2	72,1
PROYECTO ; 57 ; 2	Medio	85,3	73	73
PROYECTO ; 57 ; 3	Final	83,1	72,1	72,3
PROYECTO ; 58 ; 1	Principio	84,3	72,7	72,6
PROYECTO ; 58 ; 2	Medio	85,6	73,2	73,2
PROYECTO ; 58 ; 3	Final	84	77,8	77,8
PROYECTO ; 59 ; 1	Principio	81,6	67	67
PROYECTO ; 59 ; 2	Medio	81,5	68,9	68,8
PROYECTO ; 59 ; 3	Final	83,7	69,9	69,9
PROYECTO ; 60 ; 1	Principio	80	69,9	69,7
PROYECTO ; 60 ; 2	Medio	84,1	69,7	69,7
PROYECTO ; 60 ; 3	Final	80,8	68,5	68,5

Variable de energía:

Ordeno. ; Batch ; Test		Init	ML(1+4)	Final
		MU	MU	MU
Lower specification limit				54
Upper specification limit				78

PROYECTO ; 61 ; 1	Inicio	86	75,2	75,1
PROYECTO ; 61 ; 2	Principio	86,5	74,5	74,5
PROYECTO ; 61 ; 3	Final	82,8	72,5	72,4
PROYECTO ; 62 ; 1	Inicio	83,8	74,7	74,6
PROYECTO ; 62 ; 2	Principio	85,1	74,4	74,4
PROYECTO ; 62 ; 3	Final	84,9	74,4	74,4
PROYECTO ; 63 ; 1	Inicio	83,5	72	71,8
PROYECTO ; 63 ; 2	Principio	86,1	75,9	75,9
PROYECTO ; 63 ; 3	Final	82,8	74,2	74,4
PROYECTO ; 64 ; 1	Inicio	85,9	74,7	74,6
PROYECTO ; 64 ; 2	Principio	86,9	74,9	74,9
PROYECTO ; 64 ; 3	Final	85,1	74,7	74,9
PROYECTO ; 65 ; 1	Inicio	82,2	70,2	70,2
PROYECTO ; 65 ; 2	Principio	83,9	74	73,9
PROYECTO ; 65 ; 3	Final	84,9	73,1	73
PROYECTO ; 66 ; 1	Inicio	83,6	72,1	72,1
PROYECTO ; 66 ; 2	Principio	86,1	73,1	73
PROYECTO ; 66 ; 3	Final	84,2	71,5	71,5
PROYECTO ; 67 ; 1	Inicio	90,6	76,1	76
PROYECTO ; 67 ; 2	Principio	85,1	72,9	72,9
PROYECTO ; 67 ; 3	Final	85,1	75,8	75,8
PROYECTO ; 68 ; 1	Inicio	88,7	78,4	78,4
PROYECTO ; 68 ; 2	Principio	88	78,7	78,6
PROYECTO ; 68 ; 3	Final	82,5	73,5	73,4
PROYECTO ; 69 ; 1	Inicio	87	77,6	77,5
PROYECTO ; 69 ; 2	Principio	85,5	76,6	76,6
PROYECTO ; 69 ; 3	Final	85,8	77,9	77,9
PROYECTO ; 70 ; 1	Inicio	84,2	74,6	74,6
PROYECTO ; 70 ; 2	Principio	86,7	78	78
PROYECTO ; 70 ; 3	Final	86,3	77,5	77,5

Variable de revoluciones:

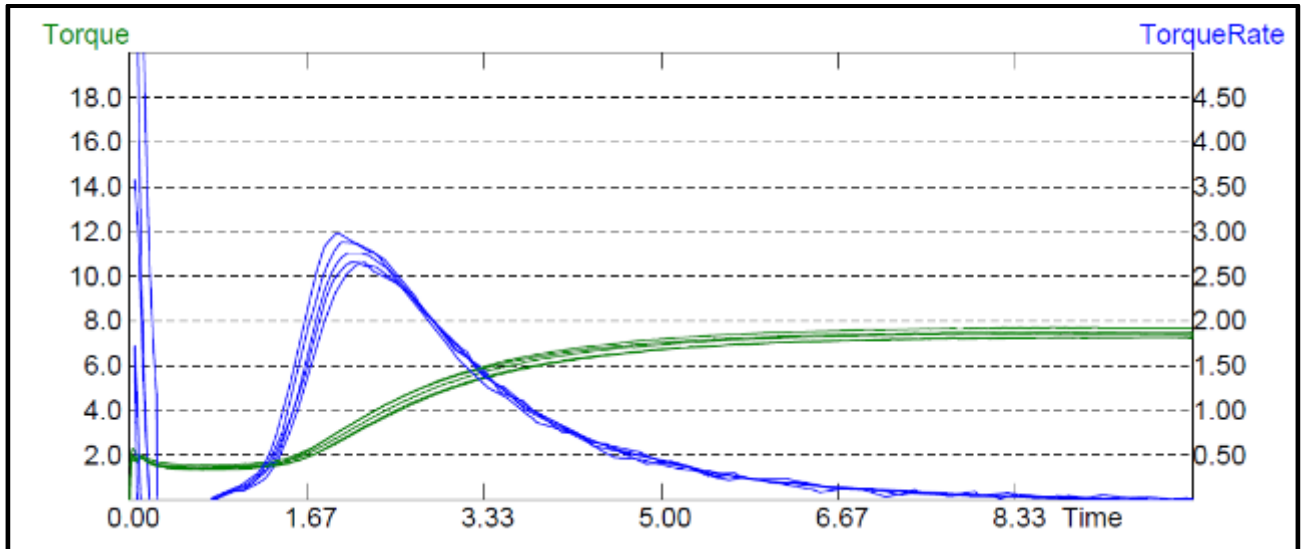
Ordeno. ; Batch ; Test		Init	ML(1+4)	Final
		MU	MU	MU
Lower specification limit				54
Upper specification limit				78

PROYECTO ; 71 ; 1	Principio	85,3	76,8	76,8
PROYECTO ; 71 ; 2	Medio	83,8	76	75,9
PROYECTO ; 71 ; 3	Final	83,1	76	75,9
PROYECTO ; 72 ; 1	Principio	88,8	77,7	77,6
PROYECTO ; 72 ; 2	Medio	86	76,4	76,4
PROYECTO ; 72 ; 3	Final	84,6	75,8	75,8
PROYECTO ; 73 ; 1	Principio	86,2	76,4	76,4
PROYECTO ; 73 ; 2	Medio	85,8	75,9	75,9
PROYECTO ; 73 ; 3	Final	83	74,4	74,5
PROYECTO ; 74 ; 1	Principio	86,7	76,1	76,1
PROYECTO ; 74 ; 2	Medio	84,9	76,3	76,3
PROYECTO ; 74 ; 3	Final	84,5	76,8	76,9
PROYECTO ; 75 ; 1	Principio	84,2	76,9	76
PROYECTO ; 75 ; 2	Medio	84,1	76,4	76,3
PROYECTO ; 75 ; 3	Final	85,1	78,6	78,3
PROYECTO ; 76 ; 1	Principio	86,5	76,9	76,8
PROYECTO ; 76 ; 2	Medio	86,2	77,6	77,6
PROYECTO ; 76 ; 3	Final	85,1	76,4	76,4
PROYECTO ; 77 ; 1	Principio	85,6	78,9	77
PROYECTO ; 77 ; 2	Medio	85,1	76,2	76,3
PROYECTO ; 77 ; 3	Final	86,6	77	77,1
PROYECTO ; 78 ; 1	Principio	86,8	76,3	76,2
PROYECTO ; 78 ; 2	Medio	86,3	76	76
PROYECTO ; 78 ; 3	Final	87	75,3	75,2
PROYECTO ; 79 ; 1	Principio	88,6	76,4	75,6
PROYECTO ; 79 ; 2	Medio	87,2	75,6	75,5
PROYECTO ; 79 ; 3	Final	83,5	77	76
PROYECTO ; 80 ; 1	Principio	90,8	76,5	76,5
PROYECTO ; 80 ; 2	Medio	86,4	77,2	77,2
PROYECTO ; 80 ; 3	Final	84	77	76

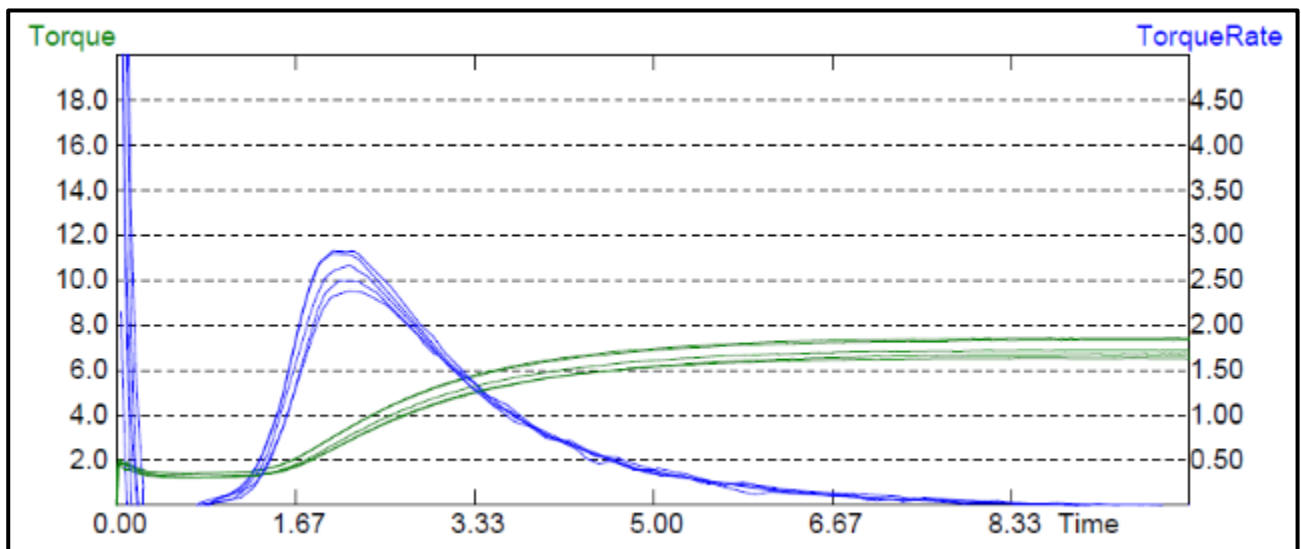
Valores reométricos – MDR:

Resultados:

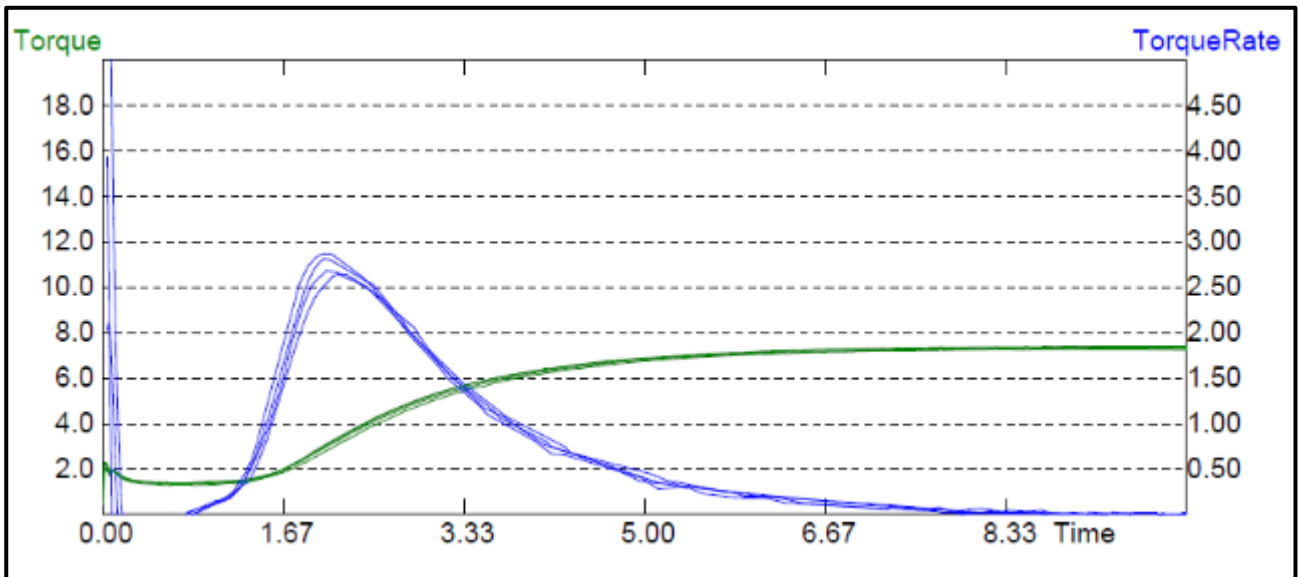
Tiempo:



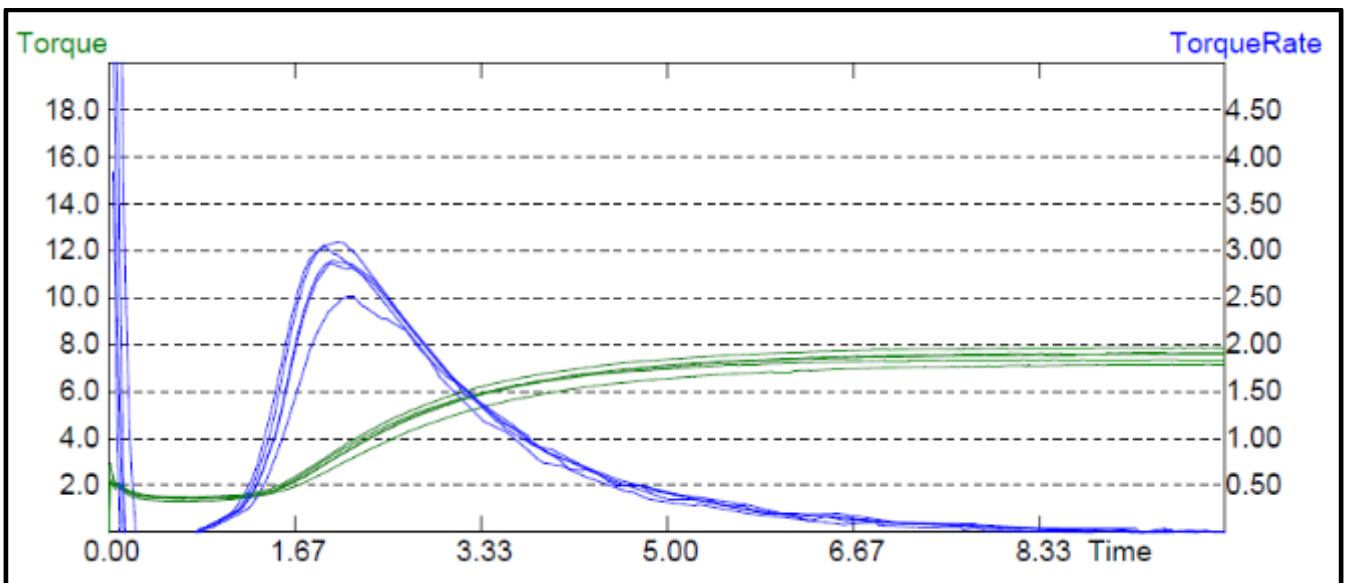
Temperatura:



Energía:



Revoluciones:



Impacto de variables de mezclado en compuestos de caucho – Danni/Uribe

Resultados:

Orderno. ; Batch ; Test	Test temp	Test time	ML	s'@ML	s"@ML	MH	ts1	ts2	t50	t90	tanD	tanD@t90	s'@t90	s"@t90	tReverPerc	Status
	°C	min	dNm	dNm	dNm	dNm	min	min	min	min			dNm	dNm	min	
PROYECTO ; 41 ; 1	160	10	1.44		1.08	7.43	1.84	2.20	2.60	4.71	0.116	0.13	6.84			Tested
PROYECTO ; 42 ; 1	160	10	1.40		1.03	7.29	1.91	2.29	2.70	4.98	0.120	0.12	6.70			Tested
PROYECTO ; 45 ; 1	160	10	1.33		1.00	7.25	1.86	2.24	2.63	4.80	0.126	0.13	6.65			Tested
PROYECTO ; 46 ; 1	160	10	1.53		1.10	7.71	1.80	2.15	2.57	4.77	0.123	0.13	7.09			Tested
PROYECTO ; 48 ; 1	160	10	1.35		1.01	7.50	1.74	2.08	2.49	4.66	0.116	0.12	6.89			Tested
PROYECTO ; 53 ; 1	160	10	1.41		1.05	7.34	1.81	2.16	2.54	4.64	0.120	0.13	6.75			Tested
PROYECTO ; 55 ; 1	160	10	1.40		1.05	7.43	1.80	2.16	2.55	4.68	0.123	0.13	6.82			Tested
PROYECTO ; 56 ; 1	160	10	1.27		0.98	6.71	1.92	2.36	2.69	4.97	0.114	0.13	6.18			Tested
PROYECTO ; 57 ; 1	160	10	1.24		1.00	6.88	1.86	2.24	2.59	4.70	0.115	0.12	6.30			Tested
PROYECTO ; 60 ; 1	160	10	1.25		0.92	6.53	1.91	2.32	2.61	4.66	0.118	0.13	6.01			Tested
PROYECTO ; 62 ; 1	160	10	1.35		1.03	7.33	1.91	2.26	2.68	4.96	0.129	0.13	6.73			Tested
PROYECTO ; 63 ; 1	160	10	1.35		1.01	7.32	1.89	2.28	2.69	4.94	0.129	0.13	6.72			Tested
PROYECTO ; 65 ; 1	160	10	1.39		1.03	7.38	1.83	2.20	2.59	4.74	0.122	0.13	6.78			Tested
PROYECTO ; 66 ; 1	160	10	1.40		1.03	7.39	1.86	2.23	2.64	4.94	0.123	0.13	6.80			Tested
PROYECTO ; 68 ; 1	160	10	1.29		1.02	7.26	1.79	2.15	2.53	4.59	0.124	0.13	6.66			Tested
PROYECTO ; 73 ; 1	160	10	1.31		0.99	7.34	1.70	2.02	2.41	4.41	0.124	0.13	6.72			Tested
PROYECTO ; 74 ; 1	160	10	1.41		1.04	7.15	1.88	2.30	2.69	5.05	0.126	0.13	6.58			Tested
PROYECTO ; 75 ; 1	160	10	1.44		1.06	7.58	1.79	2.14	2.56	4.77	0.126	0.13	6.97			Tested
PROYECTO ; 77 ; 1	160	10	1.50		1.06	7.87	1.73	2.06	2.49	4.70	0.116	0.12	7.23			Tested
PROYECTO ; 79 ; 1	160	10	1.44		1.07	7.64	1.79	2.14	2.56	4.77	0.121	0.12	7.01			Tested

13.- BIBLIOGRAFÍA

CauchoTecnica - Fascículo 1: **Fundamentos de mezclado de compuestos de caucho**

CauchoTecnica –Fascículo 2: **Vulcanización**

CauchoTecnica – Fascículo 6: **Ensayos de los vulcanizados**

Mixing of rubber compounds – **Andreas Limper**

Manual for the rubber industry - **Bayer**

Blue book – **Rubber World**

The Vanderbilt Rubber Handbook – **Vanderbilt Chemicals**

Manual de tecnología del caucho – **Joaquin Royo**

Rubber Technologist's Handbook Volume 1 – **Rapra Technology**

Rubber Technologist's Handbook Volume 2 - **Rapra Technology**

An Introduction to Rubber Technology - **Andrew Ciesielski**

Revista RubberWorld en varias de sus ediciones

Rubber Compounding - Chemistry and Applications (2004) – **Brendan Rodgers**

Material de estudio de la carrera de **Técnico Universitario en Plásticos y Elastómeros**

Material de estudio de la carrera de **Licenciatura en Tecnología de los Polímeros**

14.- PERSONAS ENTREVISTADAS Y AGRADECIMIENTOS

Jose Regueira- Asesor técnico en Causer S.A

Marcela Gola- Gerencia Desarrollo Causer S.A.

Felipe Laino- Dirección Grupo Laino

Nestor Laino- Dirección Grupo Laino- Causer S.A.

Carlos Pisano- Director de la Licenciatura en tecnología de polímeros. Docente

Hugo Peleteiro- Director de la carrera de Técnico en Plásticos y elastómeros y docente.

Liliana Zayas- Docente

David Drigo- Director de nuestra tesis y docente en la carrera de técnico universitario en plásticos y elastómeros

Guillermo Rodriguez- Docente