

SLTC

Sociedad Latinoamericana
de Tecnología del Caucho

EDICIÓN ESPECIAL

SLTCAUCHO

CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN AMÉRICA LATINA



JORNADAS CAUCHO

▶ 18-22 Septiembre - Lima, Perú

**Fluoroelastómeros:
elastómeros de alto
desempeño.**

Pág. 6

Reciclaje y sinergias.

Pág. 22

**Definición del tiempo
de vulcanización final.**

Pág. 34



Índice

06. RITC

Fluoroelastómeros: elastómeros de alto desempeño con perspectivas de aplicación en áreas críticas

12. Jornadas Latinoamericanas

24. Un cafecito con Esteban

Sobre cadenas y eslabones

28. Reciclaje de neumáticos

Guía de empleo del caucho reciclado procedente del neumático - Parte 2

34. Sustentabilidad y RSE

Reciclaje y sinergias industriales: oportunidades de innovación y colaboración

38. Ciencia y tecnología

Optimización de las mezclas de caucho natural mediante la modelización basada en datos: materiales y métodos - Parte 4

46. Registros fósiles

Sobre una adecuada definición del tiempo de vulcanización final

54. Entrevista Rubber Service

De la pasión por el caucho a la excelencia global: la historia de Rubber Service

58. Artículo técnico-comercial Quimipol

Proceso de vulcanización del hule (caucho) Parte 4

62. Revista España

- Línea universal para fabricación de perfiles
- Reforestación: un aliado natural para cumplir tus objetivos de sostenibilidad
- Los 75 años del Consorcio del Caucho

68. Ficha técnica

70. Fórmulas

72. Noticias de interés

78. Noticias institucionales



**JORNADAS
CAUCHO**

Cada vez falta menos para el evento más importante de la industria del caucho en Latinoamérica: las XVII Jornadas Latinoamericanas y X Jornadas Iberoamericanas de Tecnología del Caucho están a tu alcance.

Desde el 18 hasta el 22 de septiembre, en el Centro de Eventos NOS de la Pontificia Universidad Católica del Perú, podrás acceder a variadas conferencias técnicas y entrar en contacto con las principales marcas de la región.

Accede aquí para más información:
www.jornadascaucho.com

◀ Los conferenciantes ▶ de esta edición

 **Arturo Mauricci**



- Aplicaciones del caucho en la industria minera.
- El reencauche y su importancia en la economía circular.

 **Tim Osswald**



- Métodos ecológicos para preservar, estabilizar y procesar el látex de caucho natural en un medio ácido.

 **Lizardo Benítes**



- Cómo recuperar neumáticos en la gran minería.

 **Mayu Si**



- Aplicaciones de los aditivos de procesamiento en los compuestos de caucho para minería.

 **Robert Schuster**



- Las ventajas de la formación continua en la industria moderna del caucho.

 **Dariusz Bieliński**



- Soluciones proecológicas prometedoras para la tecnología del caucho.

 **Ulrich Giese**



- Sostenibilidad - Nuevos retos para la industria del caucho.
- Elastómeros mejorados de alto rendimiento - Papel y mecanismos de los coagentes en la reticulación con peróxido.

 **Javier Muñoz**



- Cómo realizar control de mezclas de caucho en el laboratorio.

 **Alberto Ramperti**



- ¿Las mezclas procesan siempre igual? - Indicadores de Mezclado.

 **Marianella Hernández Santana**



- La autorreparación como estrategia para prolongar la vida útil de los elastómeros

**Esteban Friedenthal**

- Ideas para mejorar la gestión de una fábrica de productos de caucho.

**Evandro Falaguasta**

- Peróxidos orgánicos de alto rendimiento con protección antiquemaduras para mezclas de caucho.

**Nora Restrepo**

- Determinación por dinámica molecular de la rigidez de entrecruzamientos con azufre de monómeros de caucho natural.

**Denis Lanzillotta**

- Influencia de los plastificantes en las propiedades de los compuestos de nitrilo.

**Jason Silva**

- Bajo tiempo de curado en la producción de cintas transportadoras sin la toxicidad generada por el resorcinol.

**Matías Danni**

- Evaluación de parámetros de control en el proceso de mezclado de compuestos de caucho.

**César Zavala**

- Empleo de neumáticos fuera de uso desvulcanizados en compuestos de caucho.

**Flavio Silvestre**

- Perspectivas ARLANXEO para el mercado de caucho.

**Jordão Gheller Jr.**

- Retos en el desarrollo de mezclas de caucho sostenibles.

**Héctor Aguilar-Bolados**

- Compuestos de fluorelastómeros para tecnologías punteras.

**Marcia da Silva**

- Influencia de la composición del monómero en el látex XNBR sobre las propiedades finales de los guantes con y sin soporte.

**Raúl Macher**

- Agentes desmoldantes para elastómeros y otros. Marbocote - KBR Ingenieros.

JORNADAS LATINOAMERICANAS 2023

**Cristian Castro**

- Modelos, variables y eficiencia productiva en la extrusión de EPDM vía Micro Ondas.

**Hubert Karl**

- Soluciones especiales DESMA para nuevos sectores de artículos de elastómeros.

**Víctor Dvoskin**

- Sostenibilidad: contribución de las ayudas al proceso.

**Christian Klo**

- La transformación del mercado mundial del caucho natural: la importancia de las especialidades y la "descomoditización".

**Rodrigo Beltrán**

- CAUSER: creando soluciones para un nuevo contexto.

**Ligia Alejand Villamiza**

- Compañía Cauchera Colombiana: una empresa de excelencia.

**Luciana Ferraz**

- ZEON Elastómeros de alta performance.

**Henrique de Oliveira Brito**

- Uso de aceite de anacardo modificado como plastificante en compuestos de caucho natural y negro de humo.

**Alfredo B. Rejtman**

- Evaluación de uso de residuo de eva expandido como promotor de adherencia de suela antidesgaste de caucho.

**Mauro C. de Avila**

- Evaluación de la compatibilidad de formulaciones de caucho nitrílico con fluidos aislantes (OMI Y ENI) utilizados en transformadores de potencia.

Conoce a los patrocinadores que nos apoyan

¿Quieres ser patrocinador y dar a conocer tu marca? Escríbenos a caucho@sltcaucho.org y entérate cómo participar.



JORNADAS LATINOAMERICANAS 2023

Pre Jornadas, fuente de conocimiento

Durante el 18 y 19 de septiembre podrás acceder a los clásicos cursos intensivos organizados por la SLTC y dictados por profesionales del sector. Conoce cuáles son:

Curso Integral de Formulaciones y Procesos del Caucho: Teoría y Experiencia



- Fundamentos teórico-prácticos para el diseño óptimo de formulaciones de caucho y su ajuste para resolver distintos problemas de calidad y de manufactura (productividad, procesabilidad, rentabilidad de productos).

- Principales características de los procesos esenciales del caucho (mezclado, extrusión, calandrado, moldeo, inyección, vulcanización, continua, adhesión goma-textil, adhesión goma-metal, etc.).

- Implementación de programas en la fábrica para eliminar defectos y mejorar las variables económicas del negocio.



Esteban Friedenthal



Robert Schuster



Víctor Dvoskin



Sergio Junovich



Patricio Zúñiga



Javier Peláez



Ricardo Ortíz

El Laboratorio como herramienta de control y desarrollo de compuestos



- Técnicas de caracterización (infrarrojo, reometría, reología, hinchamiento, tensión-deformación, DSC, TGA) para el control efectivo de la calidad de materias primas, compuestos crudos y vulcanizados y calidad del producto.

- Fundamentos de la técnica, su potencialidad e interpretación de los resultados. Laboratorios capaces de realizar los análisis.



Marly Jacobi



Marianella Hernández Santana



Robert Schuster



Mauricio de Greiff



Javier Muñoz

Optimización de las mezclas de caucho natural mediante la modelización basada en datos: materiales y métodos - Parte 4



COLUMNISTAS INVITADOS

Allen Jonathan Román (USA)
ajroman@wisc.edu

Julio C. Rodríguez (COL)
jcero@soanlaboratorios.com

Tim A. Osswald (USA/COL)
tosswald@wisc.edu

Shiqi Qin (CHI)
sqin34@wisc.edu

Leonardo D. González
gonzlezchvez@wisc.edu

Victor M. Zavala (MEX)
victor.zavala@wisc.edu

RESUMEN

Este artículo forma parte de una serie de 5 artículos que explican cómo los métodos computacionales, como el aprendizaje de máquina, pueden utilizarse para optimizar el proceso de formulación para obtener propiedades específicas. El artículo número 1 explica la introducción y los métodos experimentales utilizados en el estudio, el 2 explica los métodos computacionales utilizados, el 3 describe los resultados experimentales, el 4 (el presente artículo) repasa los resultados computacionales y el 5 informa sobre cómo se pueden aplicar estos métodos para la ingeniería inversa de materiales.

En esta parte se explican los resultados extraídos de todas las metodologías de predicción empleadas en este estudio, que incluyen la regresión lineal,

el método de superficie de respuesta, las redes neuronales artificiales y la regresión del proceso gaussiano. A continuación, describiremos los resultados computacionales, mientras que las precisiones se explican para cada una de las propiedades de los materiales.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

1.1. Resultados de la predicción del método de superficie de respuesta (RSM)

Cada respuesta de salida tiene su respectiva ecuación del modelo, como se ve en la **tabla 1**, donde cada coeficiente describe el nivel de influencia que tiene cada parámetro lineal, cuadrático y de interacción en el rendimiento del sistema.



Con la dureza y σ_{relax} durante la relajación están estrechamente interrelacionadas con la rigidez del material, una propiedad transitoria. Los modelos para ambas respuestas alcanzan altas precisiones de predicción en comparación con las otras dos propiedades viscoelásticas en las que se caracteriza el comportamiento dependiente de la escala de tiempo.

El modelo RSM creado a partir de sólo 11 mezclas da como resultado un promedio de R de predicción² de 0.89, y al comparar la proximidad de cada R^2 dentro de cada modelo respectivo, es evidente que no se está produciendo un sobreajuste en este modelo dado que no hay una gran variación entre los tres valores de R^2 .

Variable de respuesta	Ecuación del modelo	R^2	R^2 ajustado	R^2 pronosticado
Dureza [° Shore A]	$25.76 + 7.14A - 0.44B - 0.26C - 1.15A^2 + 0.002B^2 + 0.0001C^2 + 0.03AB + 0.01AC - 0.0005BC$	0.9689	0.9680	0.9667
σ_{relax} [kPa]	$440.12 + 268.26A - 10.80B - 9.90C - 26.37A^2 + 0.07B^2 + 0.01C^2 + 1.39AB + 2.94AC + 0.14BC$	0.9906	0.9903	0.9900
η_{relax} [-]	$-0.024 + 0.01674A - 0.00018B - 0.00049C - 0.003A^2 + 0.000001B^2 + 0.000008C^2 + 0.0000034AB + 0.000025AC + 0.000000BC$	0.7533	0.7463	0.7367
$\tan \delta$ [-]	$0.119 - 0.0819A + 0.0004B + 0.00079C + 0.014A^2 - 0.000002B^2 - 0.000013C^2 - 0.000083AB - 0.000003AC - 0.000001BC$	0.8748	0.8712	0.8660

Tabla 1. Formulación de cada mezcla.

La estandarización de los coeficientes permite la configuración del diagrama de Pareto de los efectos estandarizados, donde las **figuras 1-4** muestran el diagrama de Pareto para cada respuesta de salida respectiva dentro de este estudio. A, B y C representan toda una variable controlable (factores), como se ve en la leyenda a la derecha de cada diagrama de Pareto.

Un término lineal dentro del gráfico sólo incluye un factor, como A, que representa el término lineal del azufre. Un término cuadrático incluye dos factores, como AA, y un término de interacción dentro del gráfico se muestra con dos factores diferentes, como AB, que describe la interacción entre el azufre y el aceite de parafina.

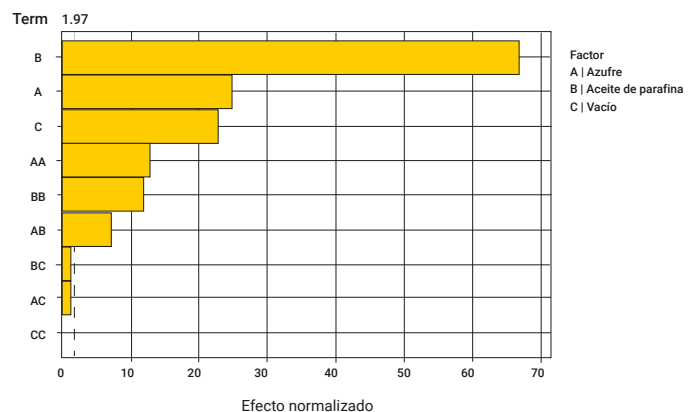


Figura 1. Gráfico de Pareto de los efectos normalizados para la lectura del durómetro.

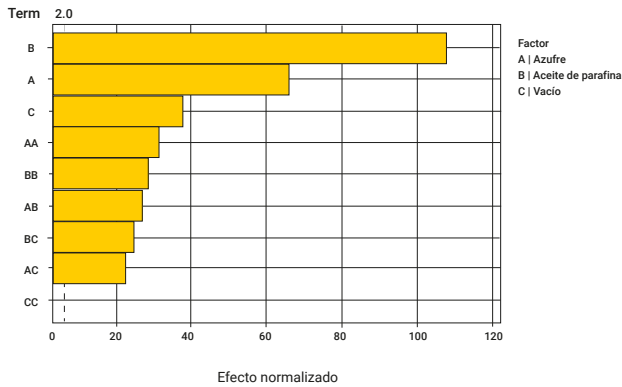


Figura 2. El diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para σ_{relax} .

Los diagramas de Pareto para σ_{relax} y la dureza muestran que **el aceite de parafina tiene la mayor influencia en la respuesta de salida y que la respuesta debería seguir de cerca una tendencia lineal ya que los términos más grandes sólo tienen un factor**. Observando los diagramas de Pareto para η_{relax} y $\tan \delta$ ambos muestran la complejidad del modelo, ya que dos de los términos más influyentes son cuadráticos. RSM sugiere que, si el coeficiente del término cuadrático es significativo, se puede concluir que la relación entre ambas variables controlables sigue de cerca una respuesta curva. Esta afirmación se apoya en la **figura 5**, donde la relación del azufre con η_{relax} no sigue una tendencia lineal, sino más bien una curva asintótica.

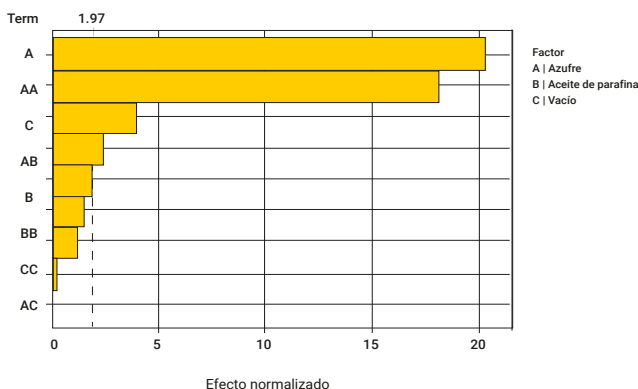


Figura 4. El diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para $\tan \delta$.

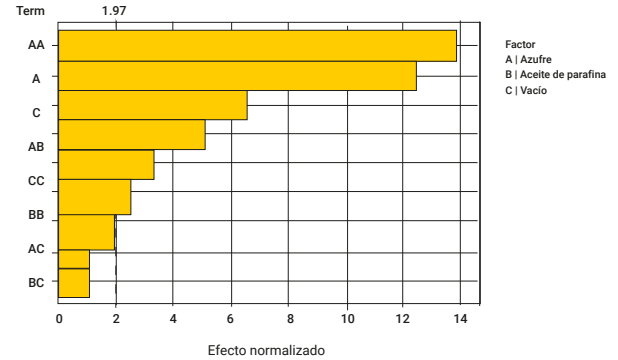


Figura 3. El diagrama de Pareto de los efectos estandarizados para η_{relax} .

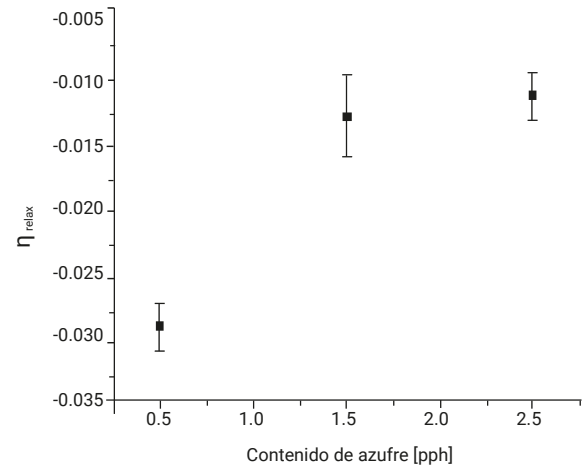


Figura 5. La respuesta curva del contenido de azufre en η_{relax} confirmando aún más los resultados del diagrama de Pareto.

1.2. Resultados de la predicción de la red neuronal artificial (ANN)

Las arquitecturas ANN finales seleccionadas se resumen en la **tabla 2**, y los gráficos de paridad de los valores experimentales y predichos de la validación cruzada de 5 veces se ilustran en la **figura 6**. Para cada una de las cuatro propiedades de los materiales, el valor de R^2 aumentó en comparación con la línea de base de la regresión lineal (LR).

Cabe destacar que una arquitectura ANN simple tiene la capacidad de captar la correlación material-propiedad pertinente al contenido de la mezcla de caucho, especialmente para η_{relax} y $\tan \delta$ cuyas funciones subyacentes son más no lineales, como sugieren las mejoras significativas de ambas. En comparación con la RSM, los resultados de ANN también mostraron mejoras en las precisiones de predicción para η_{relax} y $\tan \delta$. Esto confirma de nuevo que η_{relax} y $\tan \delta$ se beneficiarían de un enfoque de modelado más no lineal.

Aunque la arquitectura de ANN seleccionada para σ_{relax} se comportó ligeramente peor que RSM, algunas de las arquitecturas más complejas (con más de 1000 parámetros) probadas pudieron alcanzar un valor de R^2 comparable. Sin embargo, para evitar el sobreentrenamiento, se aprovechó la complejidad y la precisión del modelo durante el proceso de selección del mismo. La **tabla 2.** siguiente muestra la capacidad de predicción de la ANN.

Propiedad del material objetivo	Número de capas ocultas	Número de neuronas en la capa oculta	Tasa de aprendizaje	Número de parámetros aprendibles en el modelo	CV de 5 veces R^2 de la RNA	CV de 5 veces R^2 de la regresión lineal
Dureza	1	64	0.01	321	0.99	0.91
σ_{relax}	2	16.16	0.01	353	0.96	0.90
η_{relax}	2	16.16	0.01	353	0.94	0.48
$\tan \delta$	1	32	0.003	161	0.98	0.67

Tabla 2. Capacidad de predicción de la ANN.

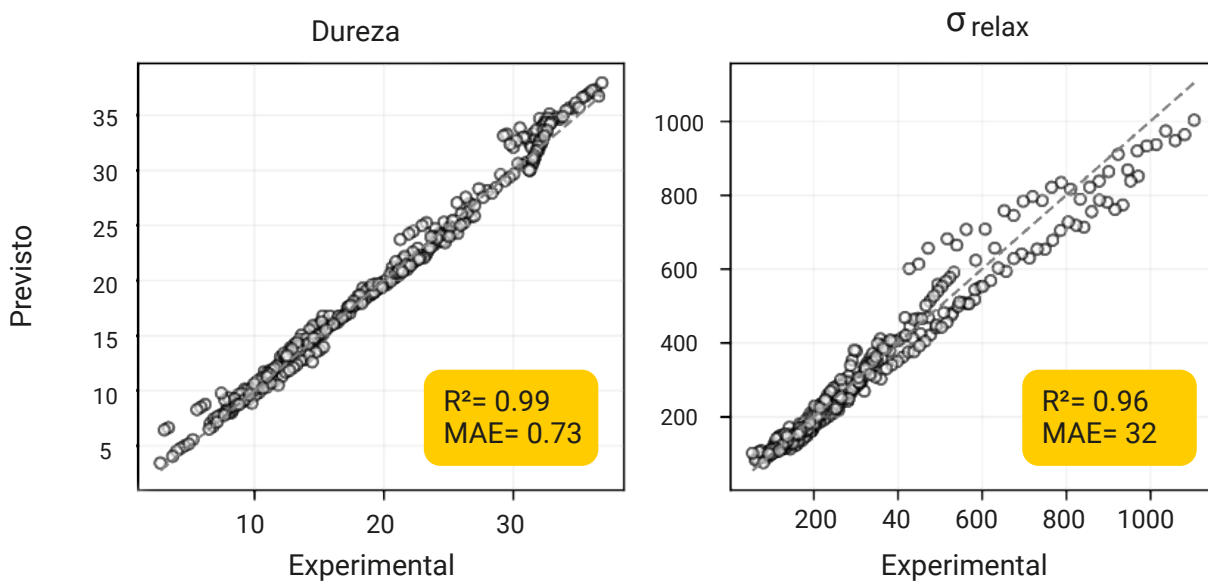


Figura 6. Los gráficos de paridad de los cuatro modelos de ANN.

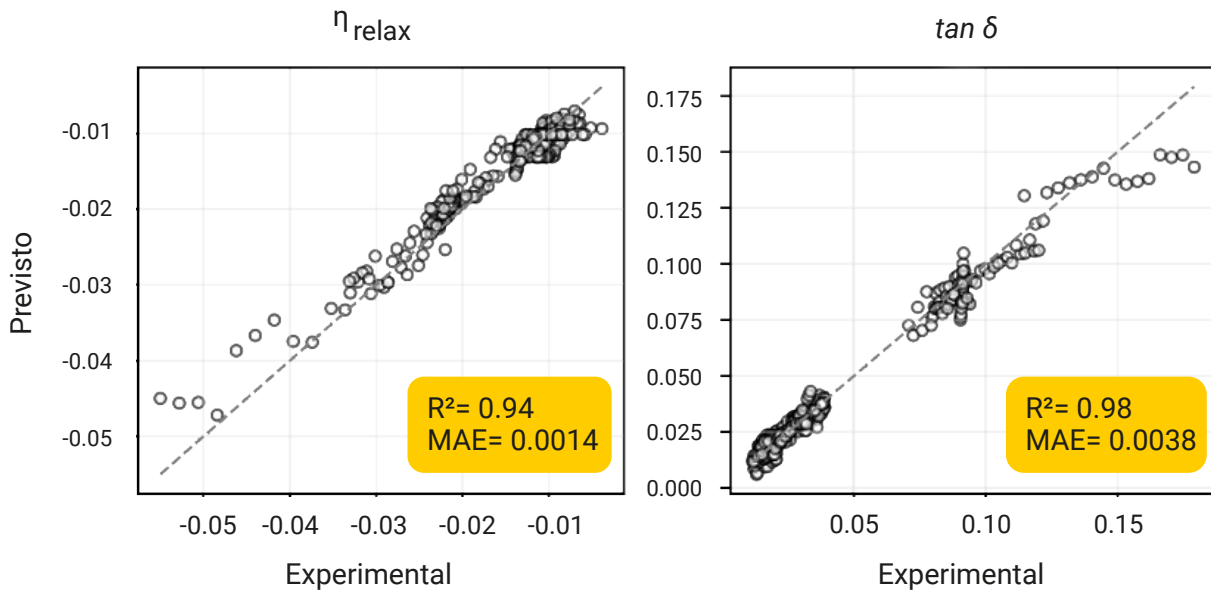


Figura 6. Los gráficos de paridad de los cuatro modelos de ANN.

Una vez desarrollados los modelos, el análisis de sensibilidad se realizó tanto en la línea de base de la regresión lineal como en las ANN. En el caso de las regresiones lineales, los gradientes fueron simplemente los pesos, y en el caso de las ANN, los gradientes se obtuvieron a partir de la retropropagación. La **figura 7** muestra los gradientes promediados de los pliegues individuales de validación cruzada. En general, los gradientes de los modelos LR y ANN tienen la misma tendencia, excepto para η_{relax} donde el contenido de aceite de parafina tiene un gradiente positivo en LR, pero negativo en ANN. El análisis RSM también sugiere un gradiente negativo, lo que corrobora la teoría de la relajación, ya que el plastificante aumenta el volumen libre entre las moléculas de caucho, facilitando aún más la relajación a medida que se aumenta el contenido de plastificante.

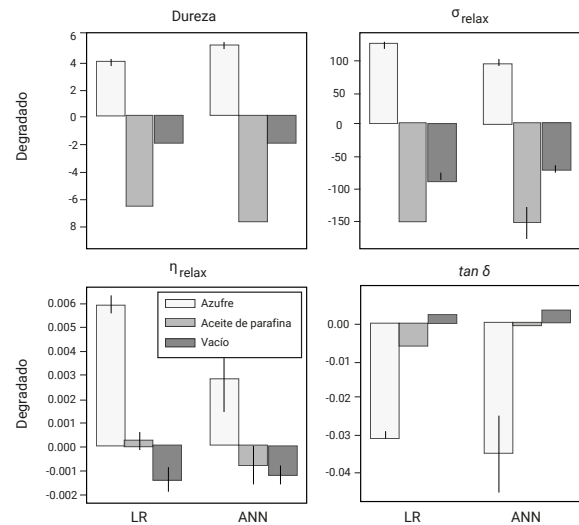


Figura 7. Los resultados del análisis de sensibilidad tanto para la regresión lineal de referencia como para las RNA.





DESDE ITALIA HACIA EL MUNDO

Desarrollo y mejora continua de productos para la industria del caucho.

www.rdc srl.com | info@rdc srl.com



Hilado poliester

Telas corp

Látex

Engine Corporation

Caucho

Nylon

Telas ep

Hilado poliéster (alta tenacidad)

www.hmls.com.ar

+54 911 5035 | +598 99 614 994

sergio@hmls.com.ar | diegogiuccihmls@gmail.com
Montevideo, Uruguay.



1.2. Resultados de la predicción de la regresión del proceso gaussiano (GPR)

Los gráficos de paridad para el GPR se ilustran en la **figura 8**, y la región sombreada sugiere los límites de los intervalos de confianza del 95 % (obtenidos por 1,96 desviaciones estándar dadas por la predicción del GPR). Para cada una de las cuatro propiedades del material, el valor de R^2 aumentó significativamente en comparación con todos los métodos anteriores, y las incertidumbres son pequeñas en las regiones donde los datos experimentales son abundantes.

A pesar de la capacidad de hacer predicciones con incertidumbre, **es difícil obtener conocimientos físicos a partir del GPR debido a su naturaleza no paramétrica**. Sin embargo, dada la alta precisión de la validación cruzada, la GPR podría utilizarse potencialmente para generar datos sintéticos para el algoritmo de optimización bayesiano que pretende encontrar el contenido óptimo de la mezcla. ■

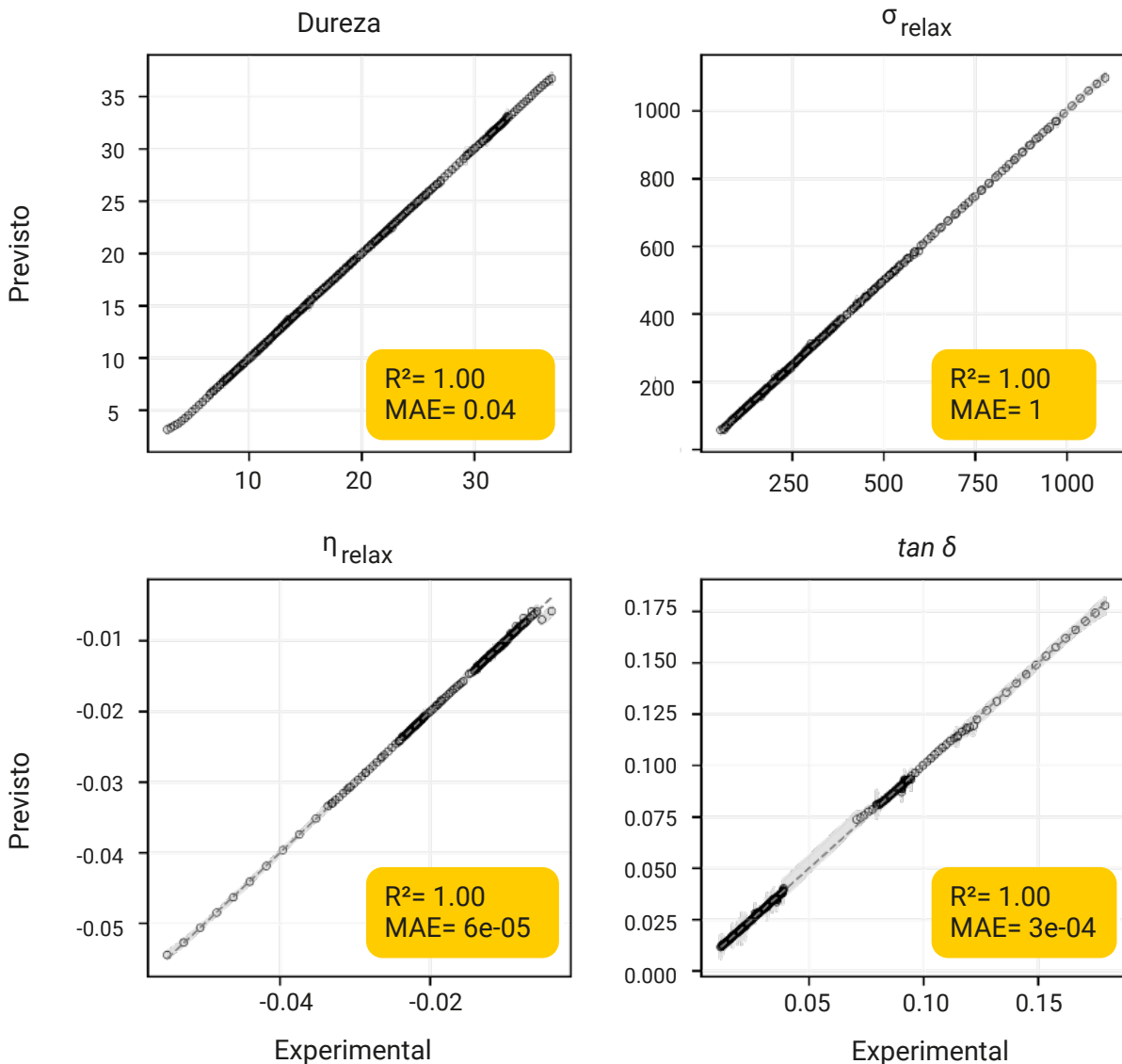


Figura 8. Los gráficos de paridad que describen la predicción frente a la experimentación para el GPR.



SLTCAUCHO

CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN AMÉRICA LATINA

   | sltcaucho

www.sltcaucho.org

