

CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA DEL CAUCHO

**Los ensayos normalizados
que se hacen
a los compuestos
vulcanizados incluyen
medidas de la densidad,
dureza, módulo de tensión,
esfuerzo de tensión y
elongación al rompimiento**

I Parte

Introducción

Los elastómeros son materiales complejos que difieren considerablemente de otros materiales de ingeniería. Esta clase "inusual" de materiales requiere su propio y elaborado trabajo de procedimientos de chequeo.

El caucho ha sido ampliamente usado en aplicaciones de ingeniería desde hace unos cien años.

Aún hoy en día, los ingenieros y diseñadores siguen teniendo dificultad en correlacionar los términos y expresiones usadas en la tecnología del caucho con los que se usan frecuentemente. La resistencia a la tensión, la dureza, la elongación y la cedencia elástica "creep", por ejemplo, son términos familiares para los ingenieros, pero su significado en la tecnología del caucho puede ser diferente.

Ciro Martínez
Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería de Materiales

Las propiedades físicas de los elastómeros dependen en gran medida de la temperatura, la rata de deformación y la forma y espesor de las piezas. Por ejemplo, la resistencia a la tensión de un compuesto de caucho a 100°C puede ser tan pequeña como del 10% al 20% del valor obtenido a temperatura ambiente. Las repetidas deformaciones de la pieza de ensayo pueden también generar cambios substanciales en la medida de los valores de las propiedades. Además, debe anotarse que no todos los datos físicos medidos de los compuestos de caucho no son valores constantes o exactos, debido a que en la mezcla y en el curado van envueltas muchas variables que son difíciles de controlar. Es necesario tener un gran cuidado para obtener una precisión de $\pm 10\%$. En este punto, es importante considerar el significado de los ensayos en los compuestos de caucho.

Control de Calidad

El control de calidad es necesario para asegurar la calidad del producto final. Durante varias etapas, el chequeo deberá ser realizado desde la recepción de la materia prima y el material en proceso hasta el artículo final. El fabricante de productos de caucho generalmente chequea los materiales crudos (por ejemplo el caucho crudo y los ingredientes del compuesto) para asegurarse que sean uniformes y de una adecuada calidad.

Los ensayos son aplicados en varios pasos de los procesos de manufactura. Los más importantes, son las corridas en los lotes después de la operación de mezclado, con el fin de certificar

que no se han cometido errores.

Los ensayos empleados son sensibles a cualquier cambio en el compuesto de caucho, por errores como:

1. Falta de algún ingrediente en el compuesto.
2. Pobre dispersión.
3. Control inapropiado de la temperatura.
4. Secuencia errónea del orden de adición.
5. Tiempo de ciclo de mezclado muy largo o corto.

El esquema de control utiliza principalmente ensayos estandarizados, tanto en los compuestos sin vulcanizar como en los ya vulcanizados.

Los ensayos hechos a los compuestos no vulcanizados incluyen, por ejemplo, medida de la viscosidad, tiempo de scorch y la rata de cura. Los ensayos normalizados que deben hacerse a los compuestos vulcanizados incluyen, entre otros, medidas de la densidad, dureza, módulo de tensión, esfuerzo de tensión y

elongación al rompimiento.

El control de calidad del producto terminado involucra la inspección visual para detectar defectos, el control dimensional, así como los ensayos físicos de acuerdo con las especificaciones, tales como dureza, compresión set y densidad.

Razones para los Ensayos

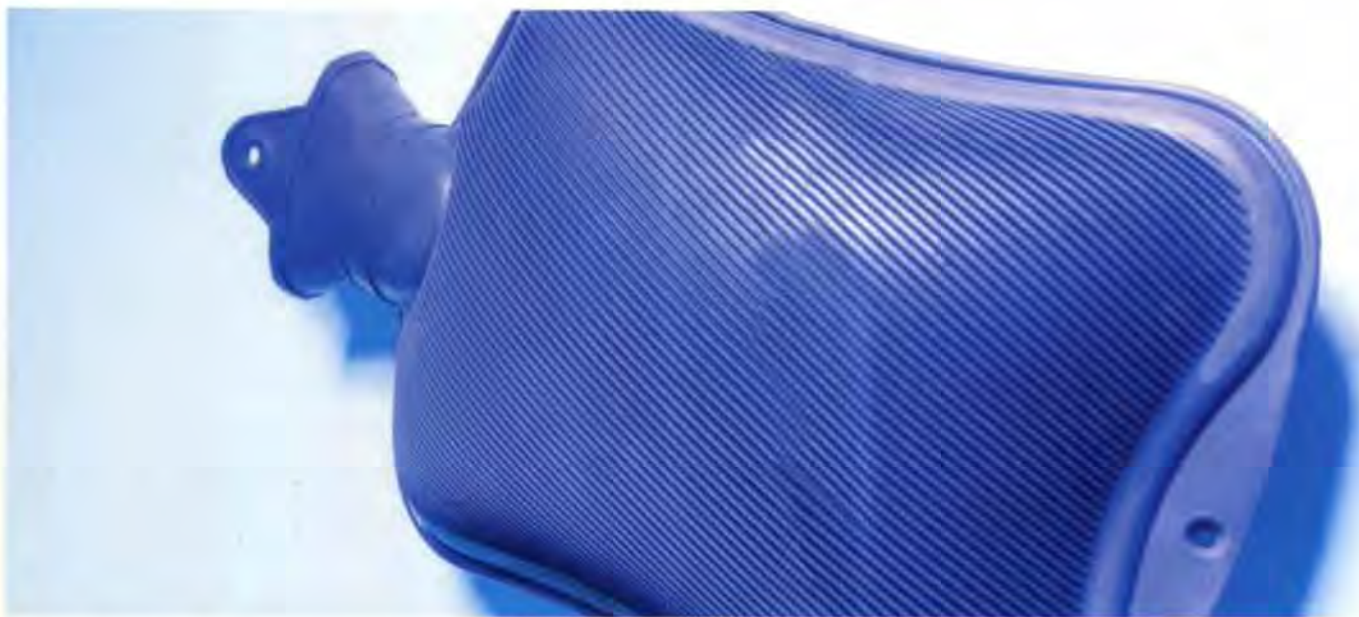
Los ensayos y sus procedimientos en el caucho crudo deben ser clasificados en tres grupos:

- Ensayos de Control
- Ensayos de Especificaciones
- Ensayos de Investigación y Desarrollo.

Los ensayos de control se realizan para determinar las propiedades de los cauchos crudos, del material en proceso y del producto terminado, con el fin de asegurar su uniformidad.

Los ensayos son aplicados bajo especificaciones para los productos de caucho que fueron creados cumpliendo las especifica-





ciones del cliente.

Primero, el fabricante elabora los ensayos especificados para asegurar que los productos de la compañía se encuentran dentro de los límites impuestos por las especificaciones. Si es el caso, el producto que va a ser enviado al cliente deberá ir con los resultados de los ensayos.

Los ensayos para Investigación y Desarrollo están diseñados especialmente para obtener un mejor entendimiento de la química o física del caucho, tales como la vulcanización, el envejecimiento y el desempeño en servicio. Los ensayos pueden incluir la evaluación de nuevos cauchos crudos, cargas y químicos, entre otros. Los resultados de este trabajo serán la base para desarrollar nuevos materiales elastoméricos.

Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio en la industria del caucho son generalmente usados para establecer a satisfacción productos reproducibles,

más que por cuestiones de diseño. Por ejemplo, las propiedades de tensión del caucho medido por los métodos de laboratorio, para cualquier tipo de caucho, tiene un comportamiento directo en el desempeño y siempre afecta considerablemente un cálculo de diseño.

De forma similar, el ensayo estándar de la abrasión, en el cual una muestra estándar es colocada en contacto con una superficie abrasiva en movimiento, da resultados completamente falsos para el uso de un caucho, como son las mangueras utilizadas para soplado de arena ("sandblasting"). Las mangueras están sujetas a una corriente abrasiva más que a una superficie abrasiva rígida y esos compuestos de mangueras que han sido probados, para ser los mejores en servicio, pueden dar resultados inferiores en el ensayo estándar de laboratorio.

Estas dificultades no significan que los ensayos de laboratorio son superfluos. Con un mejor entendimiento de las situaciones, los

escollos o las "trampas" se pueden evitar de esta manera, adquiriendo información útil y de confianza. Los resultados de los ensayos pueden ser usados para decidir qué compuestos garantizan el campo de aplicación y eliminar aquellos que sean inadecuados. También, una vez que el compuesto ha sido probado para estar en servicio, los datos de los ensayos físicos periódicos son necesarios para asegurar la uniformidad en el producto comercial.

La interpretación de los resultados se discutirá y se hará énfasis donde sea necesario en su significado o por lo menos, como un indicio de su función. Sin embargo, el desempeño de los productos de caucho solo se predice de manera exacta en el servicio real, o por métodos de ensayo muy bien simulados.

El Caucho no es un Simple Material

Los elastómeros son materiales complejos que exhiben combinaciones de propiedades únicas muy útiles.

Los cauchos son descritos como

materiales que muestran propiedades elásticas. Tales materiales son generalmente moléculas de largas cadenas conocidas como "polímeros" y la combinación de elástico y polímero les ha dado el nombre alternativo de "elastómeros".

La primera propiedad más importante es la elasticidad (opuesta a la plasticidad). Todos los elastómeros tienen la habilidad de deformarse substancialmente por esfuerzos, compresión o torsión y regresar casi a su forma original después de remover la fuerza causante de su de formación.

Junto con su propiedad elástica, la mayoría de los elastómeros poseen otras propiedades útiles, tales como:

- Baja permeabilidad al aire, a diferentes gases, al agua y al vapor.
- Buenos aislantes térmicos y eléctricos.
- Buenas propiedades mecánicas; y la capacidad de adherirse a varias fibras, metales y plásticos rígidos.

También, por selección propia de los ingredientes del compuesto, los productos se mejorarán o también pueden diseñarse con propiedades específicas para cumplir una gran variedad de condiciones de servicio.

Esta sobresaliente e importante combinación de propiedades útiles es la razón por la cual los elastómeros sirven en una gran cantidad para aplicaciones en ingeniería, en campos como los sellos, la absorción de choques,

amortiguamiento de vibraciones, aislamiento eléctrico y térmico, entre otros.

Consecuentemente, los elastómeros son usados en una gran variedad de productos como las llantas, suelas de zapatos, bandas transportadoras, juguetes, balones, artículos médicos, productos para el hogar, caucho esponjado, abrigos para la lluvia, empaques y miles de otros productos elastoméricos esenciales para la civilización moderna.

Lo citado anteriormente debe ser suficiente para probar que el caucho no es un simple material.

En adición, es un material en el cual las propiedades cambian con el tiempo y son afectadas por el medio en que son utilizados.

Los metales están sujetos a la corrosión, pero el caucho puede deteriorarse en contacto con calor, aceites, químicos, luz solar y las condiciones ambientales.

Un compuesto de caucho aparentemente puede ser útil en un medio específico, según ensayos de laboratorio; pero puede deteriorarse en pocos meses de exposición a las condiciones de servicio.

Por ejemplo, el ensayo estándar de abrasión es un índice bastante confiable de la calidad de los tacones y suelas de caucho, si los zapatos van a ser utilizados en condiciones normales.

Pero el mismo ensayo dará resultados muy diferentes después que las suelas han sido utilizadas en algún taller de mecánica, estación de gasolina u otro local donde se utilicen aceites.

Otro problema encontrado en las propiedades físicas de los compuestos de caucho, varían enormemente con las condiciones del ensayo, más que las propiedades del cemento y concreto.

Por ejemplo; considere el efecto de la temperatura, la resistencia a la tensión de un compuesto de caucho a 100°C puede ser el 10% de la medida a la temperatura ambiente.

La rata de aplicación de la carga también tiene su efecto. Lo requerido para producir una elongación determinada en un compuesto de caucho bajo condiciones de carga rápida puede ser hasta tres veces que la dada a una baja velocidad de carga.

La correlación entre las propiedades del compuesto de caucho es también algunas veces confusa y pueden ser lo contrario que las



relaciones de uso común, como las del acero.

Por ejemplo, un incremento en la dureza del acero es acompañado de un incremento en la resistencia a la tensión.

Esta correlación entre estas dos propiedades es estrecha y muy conocida. Sin embargo, esta relación no es aplicable a todos los compuestos de caucho.

Con el incremento en la dureza, la resistencia a la tensión del caucho puede llegar a un máximo y luego disminuir, o simplemente puede disminuir desde el comienzo, dependiendo de la formulación del compuesto.

Significado de los Ensayos de Laboratorio

Probablemente hay miles de procedimientos para chequear los materiales elastoméricos y los productos. Ahora, hay diferentes ensayos que están incluidos en las normas nacionales e internacionales.

Es importante resaltar que estos ensayos tienen valor en el control de calidad y desarrollo de compuestos, pero raras veces son confiables para predecir la función en servicio de la parte elastomérica, ya que las condiciones en servicio pueden variar.

El propósito de este artículo es discutir el significado de la mayoría de los métodos de ensayo estandarizados y enfatizar en la funcionalidad y servicio de los productos elastoméricos, y como pueden ser predichos sólo por lo real o por ensayos simulados en servicio de alta calidad.

Dureza

En Europa, los ensayos de dureza del caucho vulcanizado generalmente siguen la norma ISO 48. Esta norma está basada en la medida de la profundidad de indentación por una bola rígida bajo una carga constante.

Está es convertida a grados de dureza internacional del caucho (IRHD: *International Rubber Hardness Degrees*), tiene una escala que abarca desde 0 (infinitamente blando) hasta 100 (infinitamente duro).

La norma ISO permite un ensayo "normal" y un ensayo "micro".

Es importante enfatizar que cualquier ensayo de indentación depende del espesor del caucho. Aquí, el espesor indicado en la norma de ensayo deberá ser usado hasta donde sea posible, y cualquiera que se utilice deberá ser reportado.

La dureza que es aplicada a los elastómeros, está definida como la resistencia de una superficie a la penetración por un indentador con unas dimensiones dadas sobre

una carga específica.

La dureza es una propiedad de considerable importancia, usualmente incluida en las especificaciones junto con las propiedades de tensión. Los durómetros o los instrumentos IRHD (*International Rubber Hardness Degrees*) son los utilizados para medir la dureza.

Los durómetros (que utilizan un resorte para producir la fuerza de indentación), no son tan precisos como lo son los instrumentos de carga muerta o fija para medir la dureza. Sin embargo, los durómetros son ampliamente usados debido a su bajo costo.

La dureza es medida tanto en IRHD's como en grados de dureza Shore. El ensayo IRHD está basado en la medida de la penetración de una bola rígida especificada en el espécimen de ensayo bajo una carga constante específica.

Los instrumentos de dureza Shore son llamados durómetros, tipos A y D. En ambos mecanismos Shore un resorte calibrado fuerza un indentador específico en el espécimen de ensayo.

Nota: Gráfico de comparación de la escala de dureza.
Esta no es y no puede ser usada como referencia de conversión

Type A	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Type B	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Type C	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Type D	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Type DO	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Type O	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
Type OO	10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Figura 1. Relación de las Escalas de Dureza

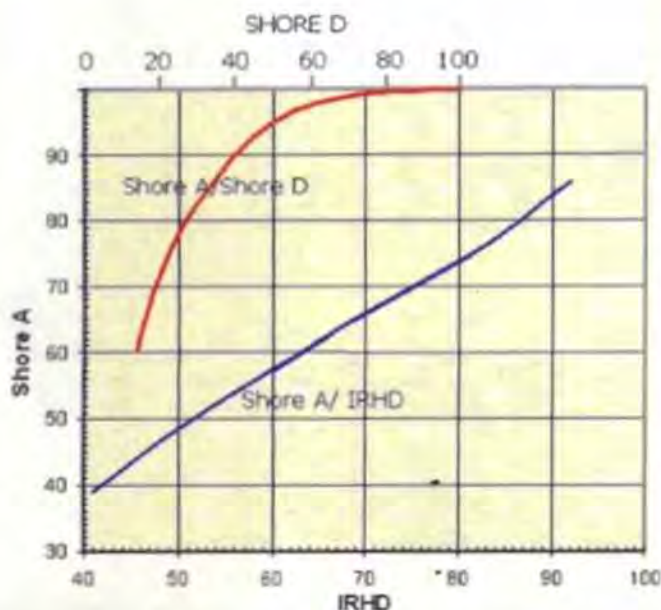


Figura 2. Relación gráfica entre los sistemas de dureza IRHD, Shore A y Shore D.

ebonitas puede ser usada para los elastómeros.

La Figura 3 muestra un durómetro de banco y la Figura 4 muestra los diferentes tipos de indentadores usados para medir la dureza.

La pieza debe tener las partes superior e inferior planas, suaves y paralelas. La lectura de la dureza depende de las dimensiones de la pieza de ensayo, siendo el espesor la dimensión más crítica.



Figura 3: Durómetro de Banco o de mesa.

El durómetro tipo A tiene un indentador cónico obtuso y es usado para medir la dureza del caucho suave hasta 90 Shore A.

El durómetro tipo Shore D tiene un indentador cónico puntiagudo es usado para medir la dureza de materiales duros (mayores de 90 Shore A).

Los grados Shore A son aproximadamente los mismos de IRHD. Sin embargo, se deben evitar conversiones directas, ya que se podrían presentar diferencias.

Para la mayoría de las aplicaciones de los compuestos elastoméricos, la dureza puede variar entre 40 y 90 IRHD's. En las Figuras 1 y 2 se relacionan las diferentes durezas.

Los métodos estándar para la determinación de la dureza están dados en la Tabla No. 1.

Sin embargo, no hay una norma internacional que cubra la dureza para todos los elastómeros; la norma ISO 868 para plásticos y

Para el ensayo normal de IRHD, la pieza deber tener al menos 4 mm, pero preferiblemente de 8 a 10 mm de espesor.

También hay piezas no estándar más delgadas o más gruesas.

Las medidas no son exactas para piezas de menos de 4 mm de espesor.

Para piezas de ensayo más delgadas se utiliza un instrumento micro IRHD o micro-durómetro (con una versión de escala por

debajo del ensayo normal). La pieza de ensayo para la microdureza debe ser de 2.0 ± 0.5 mm.

Sólo un espesor en este rango dará resultados acordes con el ensayo normal, usando su pieza estándar.

Así, podrán usarse piezas más delgadas o más gruesas, pero tampoco deberán emplearse espesores menores de 1 mm. Si las lecturas son tomadas demasiado cerca al borde de la

ESTÁNDAR ISO	TÍTULO	CORRESPONDENCIA
868	Plásticos y ebonitas- Determinación de la dureza por medio de un durómetro (dureza Shore).	ASTM D 2240 BS 2719 DIN 53505
48	Caucho vulcanizado -Determinación de la dureza (dureza entre 30 y 85 IRHD)	ASTM D 1415 BS 903 Parte A 26 DIN 53519
1400	Caucho vulcanizado de alta dureza (85 a 100 IRHD) Determinación de la dureza.	ASTM D 1415 BS 903 Parte A 26 DIN 53519
1818	Caucho vulcanizado de baja dureza (100 a 35 IRHD). Determinación de la dureza.	ASTM D 1415 BS 903 Parte A 26 DIN 53519

Tabla 1. Métodos Estándar para la Medida de la Dureza.



Figura 4. Diferentes tipos de indentadores.

pieza de ensayo, habrá un "efecto de borde"; es por esto que hay unas distancias mínimas al borde, las cuales están estandarizadas bajo las normas ISO 48, 1400 y 1818.

El ensayo de la dureza debe ser llevado a cabo a las temperaturas estándar de laboratorio [$20(\pm 2)^{\circ}\text{C}$, $23(\pm 2)^{\circ}\text{C}$, $27(\pm 2)^{\circ}\text{C}$].

El reporte del ensayo deberá contener:

- a) Las dimensiones de la pieza de ensayo.
- b) La temperatura.
- c) El tipo de superficie evaluada (moldeada, alisada, etc).
- d) El tipo de instrumento utilizado.

Todas las medidas hechas en piezas no estándar son llamadas dureza aparente.

El término dureza estándar se refiere a la medida hecha en piezas estándar [8-10 mm para ensayo normal y $2,0(\pm 0,5)$ mm para la microdureza].

Las partes elastoméricas hechas

de un mismo material deben tener diferente dureza aparente basado en su forma y en su espesor.

Los resultados de ensayos obtenidos de superficies curvas (por ejemplo "O" rings) son valores arbitrarios aplicables sólo a esta parte particular y pueden diferir del ensayo estándar de la dureza hasta por 10 grados o más.

Significado

La dureza no es una medida confiable de la rigidez. Las medidas de la dureza se derivan de pequeñas deformaciones en la superficie, mientras que la medida de la rigidez, como la medida del módulo de tensión, se derivan de grandes deformaciones de la masa entera.

A diferencia de los metales, aquí no

hay una correlación entre la dureza y los esfuerzos de tensión en los elastómeros.

A medida que la dureza se incrementa, la medida de tensión de un elastómero puede aumentar a un máximo y luego disminuir, o simplemente puede reducirse desde el comienzo, dependiendo de la formulación del compuesto.

La dureza es una de las propiedades más útiles y frecuentes del caucho pero en contraste, los datos pueden llegar a ser engañosos.

Primero, los valores medidos, especialmente por los durómetros, son frecuentemente erróneos debido a las limitaciones mecánicas del instrumento y por los errores del operador. Los grados de la dureza no deben, por tanto, tener una tolerancia menor de 5 grados.

Segundo, la característica que mide, la indentación de la superficie, raramente guarda alguna relación con el desempeño del producto de caucho en su función final. ■

Continuará la próxima edición No. 72

La Dureza de algunos productos de caucho típicos

PRODUCTO	IRHD
Empaques de grifería, pisos	90 ± 5
Suelas de zapatos	80 ± 5
Llantas sólidas, tacones de zapatos, empaquetaduras	70 ± 5
Llantas, mangueras, bandas transportadoras	60 ± 5
Neumáticos, gorros de baño	50 ± 5
Bandas de caucho	40 ± 5

Las durezas por debajo de 30 son, en la mayoría de los casos, para productos tales como borradores y rodillos de impresión.